



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103038708 B

(45)授权公告日 2016.08.17

(21)申请号 201180037433.9

G21K 1/06(2006.01)

(22)申请日 2011.07.28

G02B 5/08(2006.01)

(30)优先权数据

61/369,142 2010.07.30 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2013.01.30

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2011/062996 2011.07.28

(87)PCT国际申请的公布数据

W02012/013747 EN 2012.02.02

(73)专利权人 卡尔蔡司SMT有限责任公司

地址 德国奥伯科琛

专利权人 ASML荷兰有限公司

(72)发明人 N·贝尔 U·勒尔林 O·纳特

G·维蒂希 T·劳弗尔

P·屈尔兹 G·林巴赫

S·亨巴赫尔 H·沃尔特

Y-B-P·关 M·豪夫

F-J·施蒂克尔 J·凡舒特

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 陈松涛 韩宏

(51)Int.Cl.

G03F 7/20(2006.01)

(56)对比文件

US 2007/0035814 A1,2007.02.15,

US 2007/0035814 A1,2007.02.15,

DE 10317662 A1,2004.11.18,

US 2005/0207001 A1,2005.09.22,

CN 1495529 A,2004.05.12,

US 2004/0218160 A1,2004.11.04,

US 2005/0190347 A1,2005.09.01,

WO 2010037575 A1,2010.04.08,

CN 1550909 A,2004.12.01,

WO 2010028748 A1,2010.03.18,

Ina Mitra et al.Improved Materials

meeting the demands for EUV Substrates.

《Proceedings of SPIE》.2003,第5037卷第219-226页.

Kenneth E. Hrdina et al.Measuring and

tailoring CTE within ULE®_Glass.

《Proceedings of SPIE》.2003,第5037卷第227-235页.

审查员 彭文炫

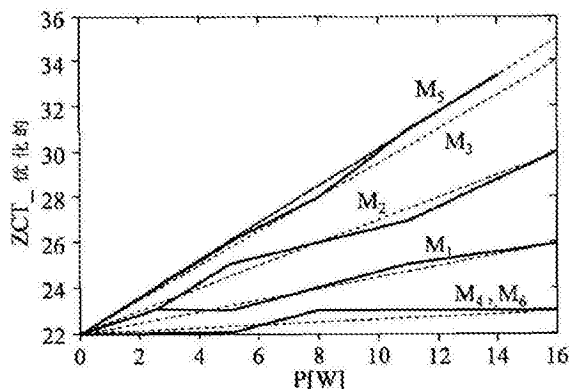
权利要求书9页 说明书38页 附图18页

(54)发明名称

EUV曝光设备

(57)摘要

一种EUV光刻投影曝光系统的投影透镜,具有至少两个反射光学元件,每个反射光学元件包括主体和反射表面,用于在以EUV光的曝光功率对投影透镜曝光时,将分划板上的物场投影到衬底上的像场上,其中至少两个反射光学元件的主体包括具有与温度相关的热膨胀系数的材料,热膨胀系数在相应的零交叉温度处为零,并且其中零交叉温度之间的差异的绝对值大于6K。



1. 一种EUV光刻投影曝光系统的投影透镜,包括至少两个反射光学元件 M_i ,每个反射光学元件 M_i

- 包括主体 MB_i 和反射表面 MS_i ,用于在以EUV光的曝光功率对所述投影透镜曝光时将分划板上的物场投影到衬底上的像场上,所述EUV光在所述分划板由所述EUV光刻投影曝光系统的照射系统照射时从所述分划板反射,其中

- 至少两个反射光学元件的主体 MB_m 、 MB_n 包括具有与温度相关的热膨胀系数的材料,所述热膨胀系数在相应的零交叉温度 T_{0m} 、 T_{0n} 处为零,其中

- 所述零交叉温度 T_{0m} 、 T_{0n} 之间的差异的绝对值大于6K,表达为 $\text{abs}(T_{0m}-T_{0n})>6K$,并且其中

- 所述投影透镜设计为以波长在小于50nm的波长范围中的EUV光的大于8W的曝光功率曝光。

2. 根据权利要求1所述的投影透镜,包括

- 四个或六个反射光学元件 M_i ,

- 所述投影透镜设计为以大于10W的曝光功率曝光,并且

- 所述零交叉温度 T_{0m} 、 T_{0n} 之间的差异的绝对值大于8K,表达为 $\text{abs}(T_{0m}-T_{0n})>8K$ 。

3. 根据权利要求1或2所述的投影透镜,包括

- 支撑结构,用于被动地或主动地支撑所述反射光学元件 M_i ,其中所述支撑结构的至少一部分的温度处于基准温度 T_{Ref} ,

- 用于加热所述主体 MB_m 、 MB_n 中的至少一个主体的加热器,所述主体包括具有与温度相关的热膨胀系数的材料,所述热膨胀系数在相应的零交叉温度 T_{0m} 、 T_{0n} 处为零,以及

- 温度控制系统,用于将加热的所述至少一个主体的温度控制到温度 T_k 。

4. 根据权利要求3所述的投影透镜,其中

在所述加热器不工作的情况下,以由所照射的分划板反射并包括根据照射设定的角度、偏振和强度的空间分布的EUV光对所述主体 MB_n 、 MB_m 的所述反射表面 MS_m 和 MS_n 曝光,获得所述主体 MB_n 、 MB_m 相对于所述基准温度 T_{Ref} 的具有相应的平均和最大温度 ΔT_{nav} 、 ΔT_{mav} 以及 ΔT_{nmax} 和 ΔT_{mmax} 的温度分布 $\Delta T_n(x, y, z) = (T_n(x, y, z) - T_{\text{Ref}})$ 、 $\Delta T_m(x, y, z) = (T_m(x, y, z) - T_{\text{Ref}})$;并且其中

所述零交叉温度 T_{0m} 、 T_{0n} 中的至少一个高于所述基准温度 T_{Ref} 和基于相应的空间温度分布 $\Delta T_m(x, y, z)$ 、 $\Delta T_n(x, y, z)$ 的相应的平均或最大温度 $\Delta T_{\text{mav}}+T_{\text{Ref}}$ 或 $\Delta T_{\text{mmax}}+T_{\text{Ref}}$ 、 $\Delta T_{\text{nav}}+T_{\text{Ref}}$ 或 $\Delta T_{\text{nmax}}+T_{\text{Ref}}$ 中的最大值,表达为 $T_{0m}>\max(T_{\text{Ref}}, \Delta T_{\text{mav}}+T_{\text{Ref}})$ 、 $T_{0m}>\max(T_{\text{Ref}}, \Delta T_{\text{mmax}}+T_{\text{Ref}})$ 或 $T_{0n}>\max(T_{\text{Ref}}, \Delta T_{\text{nav}}+T_{\text{Ref}})$ 、 $T_{0n}>\max(T_{\text{Ref}}, \Delta T_{\text{nmax}}+T_{\text{Ref}})$ 。

5. 根据权利要求4所述的投影透镜,其中

- 包括所述零交叉温度 T_{0m} 、 T_{0n} 的所述材料由于制造导致相应的制造公差 ΔT_{0m} 、 ΔT_{0n} 而改变它们的零交叉温度的实际值,使得相应的零交叉温度的实际值在区间 $T_{0m} \pm \Delta T_{0m}$ 和 $T_{0n} \pm \Delta T_{0n}$ 内,并且其中

- 所述零交叉温度 T_{0m} 、 T_{0n} 中的至少一个高于所述基准温度 T_{Ref} 和基于相应的空间温度分布 $\Delta T_m(x, y, z)$ 、 $\Delta T_n(x, y, z)$ 的相应的平均或最大温度 $\Delta T_{\text{mav}}+T_{\text{Ref}}$ 或 $\Delta T_{\text{mmax}}+T_{\text{Ref}}$ 、 $\Delta T_{\text{nav}}+T_{\text{Ref}}$ 或 $\Delta T_{\text{nmax}}+T_{\text{Ref}}$ 中的最大值与相应的制造公差 ΔT_{0m} 、 ΔT_{0n} 的绝对值之和,表达为 $T_{0m}>\max(T_{\text{Ref}}, \Delta T_{\text{mav}}+T_{\text{Ref}}) + |\Delta T_{0m}|$ 、 $T_{0m}>\max(T_{\text{Ref}}, \Delta T_{\text{mmax}}+T_{\text{Ref}}) + |\Delta T_{0m}|$ 或 $T_{0n}>\max(T_{\text{Ref}}, \Delta T_{\text{nav}}+T_{\text{Ref}}) + |\Delta T_{0n}|$ 、 $T_{0n}>\max(T_{\text{Ref}}, \Delta T_{\text{nmax}}+T_{\text{Ref}}) + |\Delta T_{0n}|$ 。

$|\Delta T_{0n}|, T_{0n} > \max(T_{\text{Ref}}, \Delta T_{\text{nmax}} + T_{\text{Ref}}) + |\Delta T_{0n}|$ 。

6. 根据权利要求4所述的投影透镜, 其中

- 加热的所述至少一个主体的所述温度 T_k 在以所述相应的零交叉温度 T_{0m}, T_{0n} 为中心附近 $\pm 5K$ 的区间内。

7. 根据权利要求3所述的投影透镜, 其中

- 在以所述EUV光的所述曝光功率对所述投影透镜曝光之前的时刻, 通过以第一加热功率加热所述加热器, 将加热的所述至少一个主体的所述温度 T_k 控制到其值。

8. 根据权利要求7所述的投影透镜, 其中

- 在以所述EUV光的所述曝光功率对所述投影透镜曝光的同时, 所述加热器的加热功率低于所述第一加热功率。

9. 根据权利要求7所述的投影透镜, 其中

- 所述温度控制系统控制所述温度 T_k , 使得加热所述至少一个主体的所述加热器的加热功率和由加热的所述至少一个主体吸收的所述EUV光的所述曝光功率在时间上恒定。

10. 根据权利要求1或2所述的投影透镜, 具有4或6个镜子形式的反射光学元件。

11. 根据权利要求3所述的投影透镜, 其中加热的所述至少一个主体连接到致动器, 用以平移移动所述主体。

12. 根据权利要求3所述的投影透镜, 其中用于加热所述主体 MB_n, MB_m 中的所述至少一个主体的所述加热器包括从由IR发光二极管、Peltier元件、光纤、光导棒和IR激光器构成的组中选择的加热元件。

13. 根据权利要求12所述的投影透镜, 其中在一个维度或两个维度上以预定义的空间坐标布置所述加热元件, 形成栅格结构。

14. 根据权利要求12所述的投影透镜, 其中发射或引导IR辐射的所述加热元件包括用以配置所述IR辐射的光学装置, 所述光学装置包括从由准直器、聚焦透镜、可调节透镜、镜子和衍射光学元件构成的组中选择的布置元件, 其中所述布置元件能够绕至少一个轴倾斜。

15. 根据权利要求14所述的投影透镜, 其中所述主体 MB_n, MB_m 中的所述至少一个主体包括所述主体 MB_n, MB_m 中的所述至少一个主体中或上的变型, 所述变型选自由凹陷、盲孔、定义的表面粗糙度、衍射结构、球形突起、球形凹陷和表面曲率构成的组。

16. 根据权利要求6所述的投影透镜, 其中

- 加热的所述至少一个主体的所述温度 T_k 在以所述相应的零交叉温度 T_{0m}, T_{0n} 为中心附近 $\pm 2K$ 的区间内。

17. 一种EUV光刻投影曝光系统, 包括根据权利要求1到16中的任一项所述的投影透镜。

18. 一种EUV光刻投影曝光系统的投影透镜, 包括

- 至少两个反射光学元件 M_i , 每个反射光学元件 M_i
- 包括主体 MB_i 和反射表面 MS_i , 用于在以波长在小于50nm的波长范围中的EUV光的曝光功率对所述投影透镜曝光时将分划板上的物场投影到衬底上的像场上, 所述EUV光在所述分划板由所述EUV光刻投影曝光系统的照射系统照射时从所述分划板反射, 其中

- 至少两个反射光学元件的主体 MB_m, MB_n 包括具有与温度相关的热膨胀系数的材料, 所述热膨胀系数在相应的零交叉温度 T_{0m}, T_{0n} 处为零, 并且其中所述透镜包括

- 支撑结构,用于被动地或主动地支撑所述反射光学元件 M_i ,其中所述支撑结构的至少一部分的温度处于基准温度 T_{Ref} ,

- 用于加热所述主体 MB_m 、 MB_n 中的至少一个主体的加热器,所述主体 MB_m 、 MB_n 包括具有所述零交叉温度 T_{0m} 、 T_{0n} 的所述材料,以及

- 温度控制系统,用于将加热的所述至少一个主体的温度控制到温度 T_k ,其中

- 在不以所述加热器加热所述主体 MB_n 、 MB_m 的情况下,以由所照射的分划板反射并包括根据照射设定的角度、偏振和强度的空间分布的所述EUV光的所述曝光功率对所述反射表面 MS_m 和 MS_n 曝光,获得所述主体 MB_n 、 MB_m 相对于所述基准温度 T_{Ref} 的具有相应的平均和最大温度 ΔT_{nav} 、 ΔT_{mav} 以及 ΔT_{nmax} 和 ΔT_{mmax} 的温度分布 $\Delta T_n(x,y,z)=(T_n(x,y,z)-T_{Ref})$ 、 $\Delta T_m(x,y,z)=(T_m(x,y,z)-T_{Ref})$;并且其中

- 所述零交叉温度 T_{0m} 、 T_{0n} 中的至少一个高于所述基准温度 T_{Ref} 和基于相应的空间温度分布 $\Delta T_m(x,y,z)$ 、 $\Delta T_n(x,y,z)$ 的相应的平均或最大温度与所述基准温度之和($\Delta T_{mav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{mmax}+T_{Ref}$ 、 $\Delta T_{nav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{nmax}+T_{Ref}$)中的最大值,表达为 $T_{0m}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{mav}+T_{Ref})$ 、 $T_{0m}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax}+T_{Ref})$ 或 $T_{0n}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{nav}+T_{Ref})$ 、 $T_{0n}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax}+T_{Ref})$ 。

19. 根据权利要求18所述的投影透镜,其中

- 包括所述零交叉温度 T_{0m} 、 T_{0n} 的所述材料由于制造导致制造公差 ΔT_{0m} 、 ΔT_{0n} 而改变它们的零交叉温度的实际值,使得相应的零交叉温度的实际值在区间 $T_{0m} \pm \Delta T_{0m}$ 和 $T_{0n} \pm \Delta T_{0n}$ 内,并且其中

- 所述零交叉温度 T_{0m} 、 T_{0n} 中的至少一个高于所述基准温度 T_{Ref} 和基于相应的空间温度分布 $\Delta T_m(x,y,z)$ 、 $\Delta T_n(x,y,z)$ 的相应的平均或最大温度 $\Delta T_{mav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{mmax}+T_{Ref}$ 、 $\Delta T_{nav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{nmax}+T_{Ref}$ 中的最大值与相应的制造公差 ΔT_{0m} 、 ΔT_{0n} 的绝对值之和,表达为 $T_{0m}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{mav}+T_{Ref})+|\Delta T_{0m}|$ 、 $T_{0m}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax}+T_{Ref})+|\Delta T_{0m}|$ 或 $T_{0n}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{nav}+T_{Ref})+|\Delta T_{0n}|$ 、 $T_{0n}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax}+T_{Ref})+|\Delta T_{0n}|$ 。

20. 根据权利要求18或19所述的投影透镜,其中

- 所述零交叉温度 T_{0m} 、 T_{0n} 之间的差异的绝对值大于6K,表达为 $\text{abs}(T_{0m}-T_{0n})>6K$,并且其中

- 所述投影透镜被设计为以波长在小于50nm的波长范围中的EUV光的大于8W的曝光功率曝光。

21. 根据权利要求20所述的投影透镜,包括

- 四个或六个反射光学元件 M_i ,
- 所述投影透镜被设计为以波长在小于50nm的波长范围中的EUV光的大于10W的曝光功率曝光,并且

- 所述零交叉温度 T_{0m} 、 T_{0n} 之间的差异的绝对值大于8K,表达为 $\text{abs}(T_{0m}-T_{0n})>8K$ 。

22. 根据权利要求18或19所述的投影透镜,其中

- 加热的所述至少一个主体的温度 T_k 在以相应的零交叉温度 T_{0m} 、 T_{0n} 为中心附近 $\pm 5K$ 的区间内。

23. 根据权利要求18或19所述的投影透镜,其中

- 在所述投影透镜受到所述EUV光的所述曝光功率作用之前的时刻,通过以第一加热功率加热所述加热器,将加热的所述至少一个主体的所述温度 T_k 控制到其值。

24. 根据权利要求23所述的投影透镜, 其中

- 在所述投影透镜受到所述EUV光的所述曝光功率作用时, 所述加热器的加热功率小于所述第一加热功率。

25. 根据权利要求23所述的投影透镜, 其中

- 所述温度控制系统控制所述温度 T_k , 使得加热所述至少一个主体的所述加热器的所述加热功率和由加热的所述至少一个主体吸收的所述EUV光的所述曝光功率在时间上恒定。

26. 根据权利要求18或19所述的投影透镜, 其中

- 具有所述相应的零交叉温度 T_{0m} 、 T_{0n} 的所述主体 MB_n 、 MB_m 由相同材料制成。

27. 根据权利要求18或19所述的投影透镜, 具有4或6个镜子形式的反射光学元件。

28. 根据权利要求18或19所述的投影透镜, 其中加热的所述至少一个主体连接到致动器, 用以平移移动所述主体。

29. 根据权利要求18或19所述的投影透镜, 其中用于加热所述主体 MB_n 、 MB_m 中的所述至少一个主体的所述加热器包括从由IR发光二极管、Peltier元件、光纤、光导棒和IR激光器构成的组中选择的加热元件。

30. 根据权利要求29所述的投影透镜, 其中在一个维度或两个维度上以预定义的空间坐标布置所述加热元件, 形成栅格结构。

31. 根据权利要求29所述的投影透镜, 其中发射或引导IR辐射的所述加热元件包括用于配置所述IR辐射的光学装置, 所述光学装置包括从由准直器、聚焦透镜、可调节透镜、镜子和衍射光学元件构成的组中选择的布置元件, 其中所述布置元件能够绕至少一个轴倾斜。

32. 根据权利要求31所述的投影透镜, 其中所述主体 MB_n 、 MB_m 中的所述至少一个主体包括所述主体 MB_n 、 MB_m 中的所述至少一个主体中或上的变型, 所述变型选自由凹陷、盲孔、定义的表面粗糙度、衍射结构、球形突起、球形凹陷和表面曲率构成的组。

33. 根据权利要求22所述的投影透镜, 其中

- 加热的所述至少一个主体的温度 T_k 在以相应的零交叉温度 T_{0m} 、 T_{0n} 为中心附近 $\pm 2K$ 的区间内。

34. 一种EUV光刻投影曝光系统, 包括根据权利要求18到33中的任一项所述的投影透镜。

35. 一种EUV光刻投影曝光系统的投影透镜, 包括

- 至少两个反射光学元件 M_i , 每个反射光学元件 M_i

- 包括主体 MB_i 和反射表面 MS_i , 用于在以波长在小于50nm的波长范围中的EUV光的曝光功率对所述投影透镜曝光时将分划线上的物场投影到衬底上的像场上, 所述EUV光在所述分划线由所述EUV光刻投影曝光系统的照射系统照射时从所述分划线反射, 其中

- 至少两个反射光学元件的主体 MB_n 、 MB_m 包括具有与温度相关的热膨胀系数的一种材料, 所述热膨胀系数在至少第一零交叉温度 T_{0mn}^1 和第二零交叉温度 T_{0mn}^2 处为零, 并且其中所述透镜包括

- 支撑结构, 用于被动地或主动地支撑所述反射光学元件 M_i , 其中所述支撑结构的至少一部分的温度处于基准温度 T_{Ref} ,

• 至少两个回火模块,优选为加热器,用于独立地加热和/或冷却所述主体 MB_n 、 MB_m ,以及

• 温度控制系统,用于独立地将加热或冷却的所述主体 MB_n 、 MB_m 的温度控制到相应的温度 T_{kn} 和 T_{km} ,并且其中

• 在以所述EUV光的所述曝光功率对所述透镜曝光期间,温度受控的所述主体 MB_n 的温度 T_{kn} 在以所述第一零交叉温度 T^1_{0mn} 为中心附近 $\pm 5K$ 的区间内,温度受控的所述主体 MB_m 的温度 T_{km} 在以所述第二零交叉温度 T^2_{0mn} 为中心附近 $\pm 5K$ 的区间内。

36. 根据权利要求35所述的投影透镜,其中所述第一零交叉温度 T^1_{0mn} 和所述第二零交叉温度 T^2_{0mn} 中的至少一个高于所述基准温度 T_{Ref} 。

37. 根据权利要求35或36所述的投影透镜,其中

• 在不以所述加热器加热所述主体 MB_n 、 MB_m 的情况下,以由所照射的分划板反射并包括根据照射设定的角度、偏振和强度的空间分布的所述EUV光对所述反射表面 MS_m 和 MS_n 曝光,获得所述主体 MB_n 、 MB_m 相对于所述基准温度 T_{Ref} 的具有相应的平均和最大温度 ΔT_{nav} 、 ΔT_{max} 以及 ΔT_{nmax} 和 ΔT_{mmax} 的温度分布 $\Delta T_n(x, y, z) = (T_n(x, y, z) - T_{Ref})$ 、 $\Delta T_m(x, y, z) = (T_m(x, y, z) - T_{Ref})$;并且其中

• 所述第一零交叉温度 T^1_{0mn} 和所述第二零交叉温度 T^2_{0mn} 中的至少一个高于所述基准温度 T_{Ref} 和基于相应的空间温度分布 $\Delta T_m(x, y, z)$ 、 $\Delta T_n(x, y, z)$ 的相应的平均或最大温度 $\Delta T_{nav} + T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{mmax} + T_{Ref}$ 、 $\Delta T_{nav} + T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{nmax} + T_{Ref}$ 中的最大值,表达为 $T^1_{0mn} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nav} + T_{Ref})$ 、 $T^1_{0mn} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax} + T_{Ref})$ 或 $T^2_{0mn} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nav} + T_{Ref})$ 、 $T^2_{0mn} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax} + T_{Ref})$ 。

38. 根据权利要求35或36所述的投影透镜,其中

• 包括所述零交叉温度 T^1_{0mn} 和 T^2_{0mn} 的所述材料由于制造导致制造公差 ΔT^1_{0mn} 、 ΔT^2_{0mn} 而改变它们的这些零交叉温度的实际值,使得相应的实际值在区间 $T^1_{0mn} \pm \Delta T^1_{0mn}$ 和 $T^2_{0mn} \pm \Delta T^2_{0mn}$ 内,并且其中

• 所述零交叉温度 T^1_{0mn} 、 T^2_{0mn} 中的至少一个高于所述基准温度 T_{Ref} 和基于相应的空间温度分布 $\Delta T_m(x, y, z)$ 、 $\Delta T_n(x, y, z)$ 的相应的平均或最大温度 $\Delta T_{nav} + T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{mmax} + T_{Ref}$ 、 $\Delta T_{nav} + T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{nmax} + T_{Ref}$ 中的最大值与相应的制造公差的绝对值 $|\Delta T^1_{0mn}|$ 、 $|\Delta T^2_{0mn}|$ 之和,表达为 $T^1_{0mn} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nav} + T_{Ref}) + |\Delta T^1_{0mn}|$ 或 $T^1_{0mn} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax} + T_{Ref}) + |\Delta T^1_{0mn}|$ 或 $T^2_{0mn} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nav} + T_{Ref}) + |\Delta T^2_{0mn}|$ 或 $T^2_{0mn} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax} + T_{Ref}) + |\Delta T^2_{0mn}|$ 。

39. 根据权利要求35或36所述的投影透镜,其中

• 在所述投影透镜受到所述EUV光的所述曝光功率作用之前的时刻,通过以第一加热功率加热所述加热器,将加热的至少一个主体的所述温度 T_{kn} 或 T_{km} 控制到其值。

40. 根据权利要求39所述的投影透镜,其中

• 在所述投影透镜受到所述EUV光的所述曝光功率作用时,具有所述第一加热功率的所述加热器的加热功率小于所述第一加热功率。

41. 根据权利要求39所述的投影透镜,其中

• 所述温度控制系统控制所述温度 T_{km} 和 T_{kn} 中的至少一个,使得相应的加热器的加热功率和由温度受控的所述主体 MB_n 、 MB_m 吸收的所述EUV光的所述曝光功率在时间上恒定。

42. 根据权利要求35或36所述的投影透镜,其中

- 所述零交叉温度 T_{0mn}^1 、 T_{0mn}^2 之间的差异的绝对值大于6K,表达为 $\text{abs}(T_{0mn}^1 - T_{0mn}^2) > 6K$,和/或其中

- 所述透镜被设计为以波长在小于50nm的波长范围中的EUV光的大于8W的曝光功率曝光。

43. 根据权利要求35或36所述的投影透镜,具有4或6个镜子形式的反射光学元件。

44. 根据权利要求43所述的投影透镜,其中由所述温度控制系统控制的所述主体 MB_n 、 MB_m 之一连接到致动器用以平移移动。

45. 根据权利要求35或36所述的投影透镜,其中在所述投影透镜受到所述EUV光的所述曝光功率作用之前的时刻,通过以第一冷却功率冷却所述回火模块,将温度受控的所述主体 MB_n 、 MB_m 中的至少一个主体的所述温度 T_{kn} 或 T_{km} 控制到其温度值。

46. 根据权利要求45所述的投影透镜,其中在所述投影透镜受到所述EUV光的所述曝光功率作用时,具有所述第一冷却功率的所述回火模块的冷却功率高于所述第一冷却功率。

47. 根据权利要求35或36所述的投影透镜,其中用于加热所述主体 MB_n 、 MB_m 中的至少一个主体的所述回火模块包括从由IR发光二极管、Peltier元件、光纤、光导棒和IR激光器构成的组中选择的加热元件。

48. 根据权利要求47所述的投影透镜,其中在一个维度或两个维度上以预定义的空间坐标布置所述加热元件,形成栅格结构。

49. 根据权利要求47所述的投影透镜,其中发射或引导IR辐射的所述加热元件包括用于配置所述IR辐射的光学装置,所述光学装置包括从由准直器、聚焦透镜、可调节透镜、镜子和衍射光学元件构成的组中选择的布置元件,其中所述布置元件能够绕至少一个轴倾斜。

50. 根据权利要求49所述的投影透镜,其中所述主体 MB_n 、 MB_m 中的所述至少一个主体包括所述主体 MB_n 、 MB_m 中的所述至少一个主体中或上的变型,所述变型选自由凹陷、盲孔、定义的表面粗糙度、衍射结构、球形突起、球形凹陷和表面曲率构成的组。

51. 根据权利要求35所述的投影透镜,在以所述EUV光的所述曝光功率对所述透镜曝光期间,温度受控的所述主体 MB_n 的温度 T_{kn} 在以所述第一零交叉温度 T_{0mn}^1 为中心附近 $\pm 2K$ 的区间内。

52. 根据权利要求35所述的投影透镜,在以所述EUV光的所述曝光功率对所述透镜曝光期间,温度受控的所述主体 MB_m 的温度 T_{km} 在以所述第二零交叉温度 T_{0mn}^2 为中心附近 $\pm 2K$ 的区间内。

53. 根据权利要求35所述的投影透镜,在以所述EUV光的所述曝光功率对所述透镜曝光期间,温度受控的所述主体 MB_n 的温度 T_{kn} 在以所述第一零交叉温度 T_{0mn}^1 为中心附近 $\pm 2K$ 的区间内,温度受控的所述主体 MB_m 的温度 T_{km} 在以所述第二零交叉温度 T_{0mn}^2 为中心附近 $\pm 2K$ 的区间内。

54. 一种EUV光刻投影曝光系统,包括根据权利要求35到53中的任一项所述的投影透镜。

55. 一种配置EUV光刻投影曝光系统的投影透镜的方法,包括以下步骤:

- 确定反射光学元件 M_i 的数量,所述反射光学元件用于以波长小于50nm的EUV投影光束以预定空间分辨率质量,将分划板上的物场投影到衬底上的像场上,

- 基于所述物场和所述像场的几何数据和所述预定空间分辨率质量,确定每个反射光学元件 M_i 的面型和表面形状,

- 针对具有其形状和尺寸的每个反射光学元件 M_i 确定用于所述每个反射光学元件 M_i 的衬底材料,其中

- 至少一种衬底材料选自具有与温度相关的热膨胀系数的一组材料,所述热膨胀系数在零交叉温度 T_{0m} 处为零,

- 针对每个反射光学元件 M_i 确定在将所述物场投影到所述像场上期间预计的的最大热负载,

- 针对每个反射光学元件 M_i ,基于其热负载来确定空间温度 $T(x,y,z)$,并估计最大和平均温度 $T_{i\max}$ 和 T_{iav} ,

- 基于所述零交叉温度 T_{0m} 选择具有零交叉温度 T_{0m} 的至少一种材料,使得与所述至少一种材料相关的所述反射光学元件 M_i 的温度 $T(x,y,z)$ 的最大温度或平均温度 $T_{m\max}$ 和 T_{mav} 低于所述零交叉温度 T_{0m} ,表达为 $T_{m\max} < T_{0m}$ 或 $T_{mav} < T_{0m}$,以及

- 以所选择的材料形成所述反射光学元件 M_i 和所述透镜。

56. 根据权利要求55所述的方法,具有以下步骤,

- 选择所述至少一种材料,使得所述零交叉温度 T_{0m} 高于所述最大温度或平均温度 $T_{m\max}$ 和 T_{mav} 与相应的制造公差 ΔT_{0m} 的绝对值之和,表达为 $T_{0m} > T_{m\max} + |\Delta T_{0m}|$ 或 $T_{0m} > T_{mav} + |\Delta T_{0m}|$,其中

- 具有所述零交叉温度 T_{0m} 的所述材料由于所述制造公差 ΔT_{0m} 而改变其零交叉温度的实际值,使得所述实际值在区间 $T_{0m} \pm \Delta T_{0m}$ 内。

57. 根据权利要求56所述的方法,其中

- 具有所述零交叉温度 T_{0m} 的所述一种材料包括第二零交叉温度 T_{0m}^2 ,使得所述零交叉温度和所述第二零交叉温度之间的差异的绝对值小于40K,表达为 $abs(T_{0m} - T_{0m}^2) < 40K$ 。

58. 根据权利要求57所述的方法,其中

- 将具有所述第二零交叉温度的材料用作至少一个附加的反射光学元件的衬底材料。

59. 根据权利要求55到58中的任一项所述的方法,具有以下步骤,

- 应用加热器和温度控制系统,以可控地加热具有所述零交叉温度的所述至少一种材料。

60. 一种EUV光刻投影曝光系统的投影透镜,包括

- 多个反射光学元件 M_i ,每个反射光学元件 M_i 包括

- 主体 M_{Bi} 和反射表面 MS_i ,用于在以波长在小于50nm的波长范围中的EUV光的曝光功率对所述投影透镜曝光时将分划板上的物场投影到衬底上的像场上,所述EUV光在所述分划板由所述EUV光刻投影曝光系统的照射系统照射时从所述分划板反射,

- 支撑结构,用于被动地或主动地支撑所述反射光学元件 M_i ,其中所述支撑结构的至少一部分的温度处于基准温度 T_{Ref} ,

- 加热器,用于加热至少一个光学元件 M_k ,在以所述曝光功率对所述投影透镜曝光而不加热所述加热器时,在所述光学元件上形成相对于所述基准温度 T_{Ref} 的空间温度分布 $\Delta T(x,y,z) = (T(x,y,z) - T_{Ref})$,所述温度分布 $\Delta T(x,y,z)$ 具有平均温度 ΔT_{av} 和最高温度 ΔT_{max} ,以及

• 温度控制系统,用于将所述至少一个光学元件 M_k 的温度控制到温度 T_k ,其中加热的所述至少一个光学元件 M_k 的主体 MB_k 包括具有与温度相关的热膨胀系数的材料,所述热膨胀系数在高于所述基准温度 T_{Ref} 的温度零交叉温度 T_{0k} 处为零,并且其中

• 在以所述曝光功率曝光之前,通过以所述加热器加热所述光学元件 M_k ,所述光学元件 M_k 具有温度 T_k ,所述温度 T_k 选自由 $T_k = T_{0k} - \Delta T_{av}$ 、 $T_k = 2 * T_{0k} - T_{Ref} - \Delta T_{av}$ 、 $T_k = T_{Ref} + 3 * (T_{0k} - T_{Ref}) / 2 - \Delta T_{av}$ 、 $T_k = T_{0k} - \Delta T_{max}$ 、 $T_k = 2 * T_{0k} - T_{Ref} - \Delta T_{max}$ 、 $T_k = T_{Ref} + 3 * (T_{0k} - T_{Ref}) / 2 - \Delta T_{max}$ 构成的组。

61. 根据权利要求60所述的投影透镜,其中所述温度 T_k 表示从以下温度构成的组中选择的温度

- 所述光学元件 M_k 的反射表面 MS_k 的温度 T_{MSk} ,
- 所述光学元件 M_k 的主体 MB_k 的温度 T_{MBk} ,
- 由所述主体 MB_k 的温度 T_{MBk} 和/或所述反射表面 MS_k 的温度 T_{MSk} 的函数给出的温度,以及
- 从所述主体 MB_k 或所述反射表面 MS_k 的空间温度分布选择的温度。

62. 根据权利要求60或61所述的投影透镜,其中

• 加热的所述至少一个光学元件 M_k 的所述加热器被设计为在至少一个维度上均匀地加热所述元件 M_k 。

63. 根据权利要求60或61所述的投影透镜,其中

- 通过以第一加热功率加热所述加热器,将所述光学元件 M_k 的温度 T_k 控制到其值
- 在所述投影透镜受到所述EUV光的所述曝光功率作用之前的时刻。

64. 根据权利要求63所述的投影透镜,其中

• 在所述投影透镜受到所述EUV光的所述曝光功率作用时,所述加热器的加热功率小于所述第一加热功率。

65. 根据权利要求60或61所述的投影透镜,包括

• 第二加热器,用于将第二光学元件 M_{2k} 加热到温度 T_{2k} ,其中

• 在所述第二光学元件上,在以所述曝光功率对所述投影透镜曝光而不加热所述第二加热器时,形成相对于所述基准温度 T_{Ref} 的第二空间温度分布 $\Delta T_2(x, y, z) = (T_2(x, y, z) - T_{Ref})$,所述第二空间温度分布具有平均温度 ΔT_{2av} 和最高温度 ΔT_{2max} ,其中

• 所述第二光学元件 M_{2k} 的主体 MB_{2k} 包括具有与温度相关的热膨胀系数的材料,所述热膨胀系数在高于所述基准温度的温度 T_{02k} 处为零,并且其中

• 在以所述曝光功率曝光之前,通过以所述第二加热器加热所述光学元件 M_{2k} ,所述光学元件 M_{2k} 具有温度 T_{2k} ,所述温度 T_{2k} 选自由 $T_{2k} = T_{02k} - \Delta T_{2av}$ 、 $T_{2k} = 2 * T_{02k} - T_{Ref} - \Delta T_{2av}$ 、 $T_{2k} = T_{Ref} + 3 * (T_{02k} - T_{Ref}) / 2 - \Delta T_{2av}$ 、 $T_{2k} = T_{02k} - \Delta T_{2max}$ 、 $T_{2k} = 2 * T_{02k} - T_{Ref} - \Delta T_{2max}$ 、 $T_{2k} = T_{Ref} + 3 * (T_{02k} - T_{Ref}) / 2 - \Delta T_{2max}$ 构成的组。

66. 根据权利要求65所述的投影透镜,其中加热的所述至少一个光学元件 M_k 的主体 MB_k 和加热的所述第二光学元件 M_{2k} 的主体 MB_{2k} 由相同材料制成。

67. 根据权利要求65所述的投影透镜,其中所述至少一个光学元件 M_k 和所述第二光学元件 M_{2k} 的零交叉温度 T_{0k} 、 T_{02k} 之间的差异的绝对值大于6K,表达为 $abs(T_{0k} - T_{02k}) > 6K$ 。

68. 根据权利要求60或61所述的投影透镜,其中加热的所述至少一个光学元件 M_k 的所述零交叉温度 T_{0k} 高于所述基准温度 T_{Ref} 和基于相应的空间温度分布 $\Delta T(x, y, z)$ 的所述平均或

最高温度 $\Delta T_{av}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{max}+T_{Ref}$ 中的最大值, 表达为 $T_{0k}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{av}+T_{Ref})$ 或 $T_{0k}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{max}+T_{Ref})$ 。

69. 根据权利要求60或61所述的投影透镜, 具有4或6个镜子形式的反射光学元件。

70. 根据权利要求60或61所述的投影透镜, 其中可以由所述加热器加热的所述至少一个光学元件 M_k 连接到致动器, 用于其平移移动。

71. 根据权利要求60或61所述的投影透镜, 其中用于加热所述至少一个光学元件 M_k 的所述加热器包括从由IR发光二极管、Peltier元件、光纤、光导棒和IR激光器构成的组中选择的加热元件。

72. 根据权利要求71所述的投影透镜, 其中在一个维度或两个维度上以预定义的空间坐标布置所述加热元件, 形成栅格结构。

73. 根据权利要求71所述的投影透镜, 其中发射或引导IR辐射的所述加热元件包括用于配置所述IR辐射的光学装置, 所述光学装置包括从由准直器、聚焦透镜、可调节透镜、镜子和衍射光学元件构成的组中选择的布置元件, 其中所述布置元件能够绕至少一个轴倾斜。

74. 根据权利要求73所述的投影透镜, 其中所述至少一个光学元件 M_k 包括所述主体 MB_k 中或上的变型, 所述变型选自由凹陷、盲孔、定义的表面粗糙度、衍射结构、球形突起、球形凹陷和表面曲率构成的组。

75. 一种EUV光刻投影曝光系统, 包括根据权利要求60到74中的任一项所述的投影透镜。

EUV曝光设备

技术领域

[0001] 本发明涉及一种反射光学元件,用于在EUV光刻投影曝光系统中反射小于50nm的波长范围中的光。此外,本发明涉及EUV光刻投影曝光系统的EUV投影透镜和配置EUV投影透镜的方法。

[0002] 背景技术——EUV光刻投影曝光系统

[0003] 为了利用光刻技术减小像半导体电路(例如集成的、模拟的、数字的或存储电路、薄膜磁头)的微结构化器件的尺寸,必须进一步提高光学微光刻投影曝光系统的光学分辨率极限。由于衍射的原因,一阶近似的分辨率极限与微光刻投影曝光系统的投影透镜的数值孔径成反比,利用微光刻投影曝光系统的投影透镜,通过投影束从掩模向衬底上投影结构,以通过例如以至少部分投影光束对光致抗蚀剂(其覆盖衬底)曝光而在其上形成微结构化器件。因此,一个关注点是增大投影透镜的数值孔径。另一个关注点是减小对于投影过程而使用的波长,因为光学分辨率极限还与这一波长成正比。因此,光刻系统的历史发展是投影过程中使用的光的波长从可见光减小到紫外光,并且现在到达极深紫外光(VUV光,例如由高级ArF准分子激光器产生的193nm)。现在,VUV光刻广泛应用于半导体电路的大规模生产中。当前,高度集成电路的大规模生产几乎都是利用上述193nm波长的投影光在光刻投影曝光系统上进行的,而向衬底上投影掩模上的结构(或结构化物体)的投影系统的数值孔径NA远远大于1.0,甚至大于1.3。这样高的数值孔径仅能够利用浸没系统实现。例如,已经在DD 221563A1或US 2006092533A1中描述了这种系统的原理。

[0004] 为了不断减小微结构化器件的尺寸,进一步减小投影光的波长是必需的。由于在极深紫外线波长范围中,几乎所有光学材料都变得不透明,所以对于低于大约157nm的波长,没有用于光学透镜的合适材料。对于投影光使用甚至更短的波长,投影透镜仅能够与像镜子或像衍射光学元件那样的反射光学元件一起工作。在过去一些年中,大量努力致力于开发用于小于50nm的投影过程波长的光学微光刻投影曝光系统。例如,在EP1533832A1或US 20040179192A1中描述了利用10nm和14nm之间投影波长工作的系统。根据可用于这样短波长的投影光的光源,用于投影光的波长甚至可以是5nm或更小。在小于50nm或甚至更短的这种短波长下,光学微光刻投影系统的投影透镜仅包括像镜子那样的反射光学元件和/或像反射衍射结构的衍射结构。在小于大约50nm波长下工作的投影系统称为EUV(极紫外)光刻投影曝光系统。

[0005] 图1中示意性地示出了简化的EUV光刻投影曝光系统100。该系统包括EUV光源1,产生在极紫外或EUV光谱区中,尤其是在小于50nm的波长范围中,优选在介于5nm和15nm的范围中,具有显著能量密度的EUV光。放电产生或激光产生的等离子体光源用作EUV光源,利用例如氙、锡或锂等离子体,产生极紫外光。这样的源在大约 4π 立体角下辐射非偏振光。其他源产生更加有空间方向性且更加偏振的极紫外光束,例如同步加速辐射源。根据EUV光源1,尤其是如果使用EUV等离子体光源,可以使用集热器反射镜2收集光源1的EUV光,以提高EUV辐射的能量密度或辐照度,并形成照射束3。照射束3通过照射系统10照射结构化物体M。结构化物体M例如是反射性掩模,包括反射和非反射或至少微反射区域,以在其上形成至少一

个结构。替代地或此外,结构化物体包括多个镜子或由多个镜子构成,该多个镜子在至少一个维度上并排布置以形成像镜子阵列的镜子装置。有利地,可以绕着至少一个轴调节镜子阵列的镜子,以调节辐照在相应镜子上的照射束3的入射角。

[0006] 应当理解,术语:反射、微反射和非反射是指照射束3的EUV光的反射率。由于EUV光的波长非常短,如果EUV光的入射角小于大约 45° ,反射表面通常带涂层。涂层优选包括具有预定层厚度的预定层材料的多层。这样的镜子通常用于小于或远小于 45° ,直到大约 0° 的入射角。对于这样的镜子,由于反射的EUV光在多层各个层的各种材料边界处部分反射导致相长干涉,可以实现大于60%的反射率。这种多层涂层反射镜或表面的另一优点是它们能够用作光谱滤波器的特性,使得例如EUV光刻投影系统的照射和/或投影束更加单色的。在EUV光刻投影曝光系统中,带涂层镜子有时也称为正入射(normal incidence)镜子。

[0007] 对于大于大约 45° 的入射角,尤其是对于大得多的入射角,像大约 70° 甚至更大的角,如果反射表面包括像钉的金属或金属层,或者如果反射表面由金属或金属层,包括例如钉构成,则是足够的。在这样高的入射角下,反射率可以增大到高达60%和更高,而不需要上述的多层。作为一般规则,反射率随着入射角增大而增大,这就是为什么这些镜子也称为掠入射镜的原因。EUV光刻投影曝光系统常常使用等离子体光源。在这种情况下,集热器反射镜2可以是例如W02002/065482A2或US2004/0130809A1中所述的掠入射镜。

[0008] 结构化物体M将部分照射束3反射到形成形成投影束4的光路中。结构化物体M根据掩模M上的结构,在照射束3在其上被反射之后对其进行结构化。这个投影束4承载着结构化物体的结构信息并辐照进投影透镜20中,使得结构化物体M的结构的至少两个衍射级通过投影透镜20并在衬底W上形成结构化物体M的结构的一种图像。包括像硅的半导体材料的衬底W,例如晶片,布置于衬底台WS上,衬底台也称为晶片台。

[0009] 除了关于结构化物体M的结构的信息之外,投影束还包括关于照射条件的信息,即在结构化物体M的物点OP中在角度、偏振和强度(或每单位面积的辐射功率)方面结构化物体M如何被照射,以及这些参数如何分布在结构化物体M的所照射表面上。由术语“设定(setting)”表达照射的种类。这意味着结构化物体M上的物点OP是以预定义的角度和/或偏振和/或强度分布照射的,以及这些分布如何取决于结构化物体M上的空间位置。该设定还影响通过投影透镜20进行的投影过程的光学分辨率。通常,如果该设定适于结构化物体M上的结构的形状,光学分辨率可以增大。例如,在Wong, Alfred Kwok-Kit的著作“Resolution Enhancement Techniques in Optical Lithography”, ISBN 0-8194-3995-9中描述了对于结构化物体的照射使用适应设定的高级照射技术。可以利用包括多个镜子12、13、14、15、16的照射系统10(参见图1)调节照射的种类、设定。

[0010] 在图1中,作为范例,投影透镜20示意性示出了四个镜子21、22、23和24作为反射光学元件,以在晶片W上形成结构化物体M的结构的一种图像。这样的EUV投影透镜20通常包括4到8个镜子。然而,也可以使用仅有两个镜子的投影透镜。在面型(或其几何形式)和表面粗糙度方面,以最高精度制造这些镜子。与期望规格的每一偏差都导致衬底或晶片W上图像质量的下降。通常,规格要求与面型(要求或指定的表面形状的尺度)的偏差小于所使用的投影波长的十分之一。根据使用的波长,必须以好于1nm的精度制造镜子21、22、23和24的面型,对于一些镜子,精度要求甚至高5到20倍,最终处于远小于一个原子层的精度范围,这意味着好于0.1nm。为了利用EUV光刻投影技术从掩模向衬底投影结构,以使得衬底上的图像

包括小至横向尺度大约10nm的结构或横向尺度更小的结构,投影透镜20的光学像差必须小于RMS值的1nm,甚至小于0.1nm或小于50pm(皮米)。这意味着实际波前与理想波前的偏差的均方根(RMS)值小于所提到的值。必须在大于10cm的镜子尺度上保持关于表面形状(面型或几何形式)的这一极高精度。在对面型具有这样高的要求的情况下,现代EUV投影透镜包括直径为30cm或更大的镜子。这一极高的机械精度是通过利用根据预定设定的良好配置的照射束辐照物点OP以从结构化物体M上的照射物点OP在衬底W上形成像点IP所必需的。此外,为了利用至少部分投影束4以投影透镜20,向衬底W上投影照射物点OP,由照射束3和结构化物体M的衍射特性来产生投影束4。在衬底W上形成图像的一个必需条件是来自物点OP的衍射波前在衬底或晶片W上的像点IP发生干涉。为了获得良好的图像质量,干涉波前必须具有远小于投影束光的一个波长的相对相移。由于结构化物体M如何由照射束3照射的各种照射设定,通过结构化物体M上一个物点OP的光的光路可在投影透镜20内变化,使得投影束4的光束在具有不同尺寸的不同表面区域处被投影透镜20的镜子21、22、23、24反射。这一变化取决于照射设定和镜子21、22、23、24在投影透镜20内的位置。为了确保在所有照射设定下实现图像质量,以所提到的高机械精度实现上述面型是必需的。

[0011] 除了投影透镜20中镜子21、22、23、24的面型的高机械精度之外,这些镜子21、22、23、24彼此相对的位置和取向,相对于结构化物体M和相对于衬底W的位置和取向也必须在相同的精度范围中。这意味着这些物体(镜子21、22、23、24、结构化物体M和衬底W)的位置和取向也必须在纳米范围或更低范围中调节。此外,必需一种计量技术以实现制造这样精确的镜子表面,组装EUV光刻投影系统的投影透镜,将组装的投影透镜集成到投影系统中,并实现在该系统的操作期间对系统进行任何就地监测和控制。

[0012] 为了实现上述机械精度,另外一个问题是镜子21、22、23、24对投影束4的吸收。可能在高达30%的范围中的这种吸收将加热镜子。根据吸收的热,每个镜子会由于镜子的热膨胀而导致变形。在吸收了一定量投影束4时,减小投影步骤期间这种热效应的一种方法是使用温度控制系统来保持如上所述的非常高的机械精度数据,尤其是对于镜子的面型度而言。另一种或额外的方法是使用低热膨胀材料作为镜子材料或作为镜子的支撑结构,该低热膨胀材料具有小的热膨胀系数(CTE),例如5ppb/K(或更小),以在例如由于部分吸收投影束4而导致温度变化的情况下减小镜子的变形。例如,在US 7295284B2中描述了这种方法和具有相应小CTE的适当材料的选择以及镜子温度的控制。

[0013] 像图1中所示的EUV光刻投影曝光系统通常在真空条件下操作。在减小的压力或真空中操作投影透镜20和/或照射系统10。通常,照射系统和投影透镜中的压力条件不同。减小的压力或真空条件显著减少了针对上述关于镜子变形及其主动或被动位置控制的问题的技术方案。尤其是用于控制EUV光刻投影曝光系统内部部件的温度的温度控制系统常常局限于并非本质上基于热对流原理的特定技术方案。

发明内容

[0014] 本发明涉及一种改进的EUV投影透镜,以进一步减小任何温度变化对这种投影透镜内部的反射光学元件或镜子的变形和/或位置变化的影响。

[0015] 根据本发明的EUV光刻投影曝光系统的投影透镜包括镜子和用于支撑或悬挂镜子的支撑结构。在镜子附近,支撑结构处于基准温度。优选地,对于接近镜子的所有支撑结构

部分而言,基准温度是相同的,并且如果镜子不受到如EUV光的任何辐射的作用,它们也处在这基准温度。此外,投影透镜包括加热器和用于控制至少一个可加热的镜子的温度的温度控制系统。在未加热该加热器的情况下,如果以用于向像场投影物场的EUV光的曝光功率对投影透镜曝光,镜子从基准温度升温平均温度。更确切地说,在这样的曝光期间,在镜子上形成与基准温度的恒定温度不同的温度分布。这一温度分布的特征在于,例如平均温度或最高温度。此外,在本发明的投影透镜中,至少一个可加热的镜子包括主体,主体包括具有与温度相关的热膨胀系数的材料,热膨胀系数在温度 T_{0k} 处(称为零交叉温度)为零。选择零交叉温度,使其高于基准温度。根据本发明,在由EUV光的曝光功率导致温度分布的形成之前,将可加热的镜子加热并控制到从一组确定的温度中选择的温度。这具有如下优点:可加热的镜子的升温时间(如果以EUV光的曝光功率对镜子曝光)显著减少。此外,选择所确定的温度,使得升温后镜子的平均温度接近或处于零交叉温度。这意味着,在稳态条件下,至少一个可加热的镜子具有处于或接近零交叉温度的温度。优选地,投影透镜的多于一个镜子是可加热的。

[0016] 本发明的另一投影透镜,称为第一投影透镜,包括至少两个具有镜子主体的镜子,其中每个主体包括具有与温度相关的热膨胀系数的材料,热膨胀系数在相应的零交叉温度 T_{0m} , T_{0n} 处为零。这些零交叉温度 T_{0m} , T_{0n} 之间的差异的绝对值大于6K,透镜被设计为以波长在小于50nm的波长范围中的EUV光的大于8W的曝光功率曝光。选择其相应零交叉温度相差悬殊的材料有利地提供了制造用于更高曝光功率的投影透镜的可能性,而没有镜子的热诱发像差增大的缺点。这提供了制造具有最小像差和高曝光功率的EUV投影透镜的可能性。

[0017] 在根据本发明的称为第二投影透镜的另一投影透镜中,根据也是本发明一部分的规则,选择镜子主体或衬底的材料。选择至少一种材料,以使其零交叉温度高于镜子在工作中能够实现的最大温度值。利用附加的加热器,镜子升温到或接近零交叉温度,导致最小的热像差。第二投影透镜的优点是,透镜对于所选的曝光功率、零交叉温度的任何制造公差、任何选择的照射设定和任何掩模图案非常不敏感。

[0018] 在根据本发明的称为第三投影透镜的另一投影透镜中,对于至少两个镜子,选择用于镜子主体的一种材料。这种材料具有取决于温度的热膨胀系数,该热膨胀系数在至少两个零交叉温度 T_{0mn}^1 和 T_{0mn}^2 处为零。设计投影透镜,使得如果投影透镜受到批量生产中投影过程必需的EUV曝光功率作用,在第一零交叉温度 T_{0mn}^1 或接近第一零交叉温度下操作两个镜子之一,在第二零交叉温度 T_{0mn}^2 或接近第二零交叉温度下操作另一个镜子。第三投影透镜的优点是透镜需要更少的不同衬底材料用于其镜子。

[0019] 此外,本发明涉及一种配置EUV投影透镜的方法。尤其是,该方法关注于镜子主体的适当材料的选择,从而可以使透镜的热像差最小化。

[0020] 本发明的其他方面是提供各种加热模块或回火模块,利用其可以加热或冷却EUV投影透镜中的镜子。这些模块还包括具有特征的镜子主体,特征例如是在其在投影透镜中工作期间改善相应镜子的温度控制的涂层或形状。

[0021] 通常,EUV投影透镜的上述镜子还应包括任何反射元件,如反射衍射结构,因为本发明的教导不限于镜子。

[0022] 参考以下附图,从示范性实施例的以下详细描述,本发明的其他特征和优点以及进一步改善将变得显而易见,附图中,类似的附图标记指示相同或类似部分。然而,通过示

范性实施例进行的本发明以下描述仅仅是例示性的,决不是要限制本发明及其应用。如本说明书中所示,可以交换和/或组合不同实施例的特征以得到本发明的附加实施例。

附图说明

[0023] 图1示意性示出了具有照射系统和包括四个镜子的EUV投影透镜的简化EUV光刻投影曝光系统。

[0024] 图2a,作为温度的函数的各种材料的线性膨胀系数(CTE)。材料具有零交叉温度,在零交叉温度处,该系数为零。(来自Critical Reviews of Optical Science and Technology, Vol. CR43, p183, 文章来自S.F. Jacobs “Variable invariables-dimensional instability with time and temperature”; ISBN0-8194-0953-7; 1992)

[0025] 图2b,作为温度的函数的各种Zerodur®材料的线性膨胀系数,具有各种零交叉温度,在零交叉温度处,该系数为零。(来自Critical Reviews of Optical Science and Technology, Vol. CR43, p186, 文章来自S.F. Jacobs “Variable invariables-dimensional instability with time and temperature”; ISBN0-8194-0953-7; 1992)

[0026] 图3a示意性示出了像镜子那样的反射光学元件在两个不同温度下的侧视图。

[0027] 图3b示意性示出了由于沿镜子的x轴的温度变化导致的镜面变形。

[0028] 图3c针对Zerodur®和ULE®,以ppb为单位示意性示出了作为温度的函数的,具有长度 L_0 的主体的相对长度变化 $\Delta L/L_0$ 。

[0029] 图3d示出了图6的EUV投影透镜的第四镜子上的温度分布以及镜子的尺寸。

[0030] 图3e示出了图3d的镜子沿x方向通过温度最大值的温度分布图。给出了与基准温度的温差。

[0031] 图3f示出了图3d的镜子沿y方向通过温度最大值的温度分布图。给出了与基准温度的温差。

[0032] 图3g按照相对单位示出了图3d到图3f的镜子M4的Zernike系数的值。

[0033] 图3h示出了图6的EUV投影透镜的第六镜子上的温度分布以及镜子的尺寸。

[0034] 图3i示出了图3h的镜子沿x方向通过温度最大值的温度分布图。给出了与基准温度的温差。

[0035] 图3k示出了图3h的镜子沿y方向通过x方向上最大值之间的最小温度的温度分布图。给出了与基准温度的温差。

[0036] 图3l按照相对单位示出了图3h到3k的镜子M6的Zernike系数的值。

[0037] 图4示意性示出了镜子安装组件,具有例如在WO 2005/026801A2中所述的EUV光刻投影曝光系统的投影透镜中使用的镜子。

[0038] 图5示意性示出了图4的镜子安装组件,具有用于加热镜子的加热器和用于控制镜子温度的温度控制系统。

[0039] 图6示意性示出了包括6个镜子的EUV投影透镜、加热器和用于第六个镜子的温度或像差控制系统。

[0040] 图7示出了在透镜暴露于在分划板(reticle)M之后具有16W功率的EUV投影束的情况下,图6所示的投影透镜的六个镜子的升温(warming-up)的范例。

[0041] 图8示出了由Zernike系数Z5表达的图6的投影透镜的每个镜子的像差。在投影透

镜的每个镜子处于图7所示的稳态时, Z_5 由其RMS(均方根)值给出作为零交叉温度的函数。

[0042] 图9示出了在投影过程期间图6的EUV透镜所受到的分划板M之后作为EUV光功率P的函数的优化的零交叉温度。

[0043] 图10示意性示出了像图4和图6所示的EUV投影透镜的镜子的反射光学元件 M_k 的侧视图。此外, 加热器和冷却器布置在由支撑元件支撑的镜子的附近。

[0044] 图11示意性示出了图10所示反射光学元件的侧视图, 但没有加热器。通过反射元件或镜子紧邻区域或体积之内的压力的压力控制, 控制反射光学元件或镜子 M_k , 421的温度。

[0045] 图12a示出了Zerodur®对于5mm和25mm的透射路径的透射率。

[0046] 图12b示意性示出了反射光学元件或镜子 M_k , 421, 在其几乎整个表面上涂覆涂层C, 以使该镜子可利用IR辐射加热。

[0047] 图12c示意性示出了反射光学元件或镜子 M_k , 421, 在其表面上至少部分涂覆涂层C2, 以使该镜子可加热。选择涂层C2, 以使其具有特定电阻。

[0048] 图12d示意性示出了反射光学元件或镜子 M_k , 421, 其至少部分由布置于反射表面 MS_k 附近的多区线栅1050加热。

[0049] 图13示意性示出了与反射元件或镜子 M_k , 421相关的加热器或回火模块300的几个实施例。

具体实施方式

[0050] 为了减小投影透镜20内部(参见如上所述的图1)的镜子或反射光学元件的变形或位置变化并实现0.1nm范围中或甚至更好的面型精度和位置精度, 必须最小化任何热膨胀。这意味着, 关于镜子的表面形状的实际表面数据和其实际位置数据必须在相对于镜子表面形状的要求或指定尺度或相对于其要求或指定位置的指定范围之内。利用投影透镜中这样的光学元件, 可以产生横向尺度小至大约10nm的图像结构或更小横向尺度的结构。此外, 对于这样的光学元件(镜子)或对于投影透镜, 光学像差小于1nm, 甚至小于0.1nm或小于50pm(皮米)的RMS值。这意味着实际波前与理想波前的偏差的均方根(RMS)值小于所述值。为了使光学元件的热膨胀最小化(这使得热诱生的光学像差减小), 投影透镜的多个反射光学元件 M_i 的至少一个镜子或反射光学元件k的主体 MB_k 由具有与温度相关的热膨胀系数(CTE)的材料制造或包括这样的材料, 在温度 T_{0k} 处CTE为零。这一温度 T_{0k} 称为零交叉温度。图2a和2b中示出了这种材料的范例。例如, 在W02004/015477A1中描述了在EUV光刻投影曝光系统中应用这样的材料。根据光刻投影曝光系统100的操作温度或这种系统的反射光学元件的操作温度, 存在具有至少一个零交叉温度 T_0 的不同的可用材料。由于反射光学元件的通常操作温度在大约0℃直到大约100℃的范围中, 优选在大约10℃到大约60℃的范围中, 更好在大约20℃到大约40℃的范围中, 所以可用材料的数量非常有限。

[0051] 根据图2a, 超级殷钢(Superinvar)(Fe-Ni-Co合金)或ULE®(Corning Inc.的注册商标)是适当的材料, 或者根据图2b, 可以选择由Zerodur®(Schott AG的注册商标)型制造的材料, 其由玻璃陶瓷制造。ULE®是二氧化钛硅酸盐玻璃, 这是 SiO_2 和 TiO_2 的玻璃状混合物。在一阶近似中, 可以由等式 $CTE(T) = a_1(T - T_0)$ 近似相应零交叉温度附近ULE®和Zerodur®的CTE值, 例如参见图2a和图2b。对于ULE®, 常数或斜率(lope) a_1 是正的。这意

意味着,如果(由ULE®制成的)材料的温度 T 低于 T_0 ,材料随着温度升高而收缩,如果其温度 T 高于 T_0 ,材料膨胀。对于Zerodur®而言,如图2b所示,在室温范围中,常数或斜率 a_1 为负。这意味着,如果温度 T 低于 T_0 ,材料随着温度升高而膨胀,如果其温度 T 高于 T_0 ,材料收缩。在更高的温度下,在近似 $CTE(T)=a_2(T-T_0^2)$ 中,存在第二零交叉温度 T_0^2 ,具有正常数或斜率 a_2 。这意味着,在热收缩和热膨胀方面,该材料的行为类似于ULE®。在零交叉温度附近的一定温度范围中,ULE®和Zerodur®的CTE值在ppb/K($10^{-9}/K$)直到低至零的范围中。这意味着,如果温度变化一开尔文(1K),由CTE值约为1ppb/K的材料制造的厚度约为例如100mm的主体会膨胀或收缩大约0.1nm。对于超级殷钢而言,零交叉温度附近的温度范围必须小得多,以实现1ppb/K的有效CTE值。这导致温度控制系统方面额外的工作,这是超级殷钢不如ULE®和/或Zerodur®更优选用作EUV光刻中反射光学元件的衬底材料的一方面原因,尤其是EUV光刻曝光系统100的投影透镜20中。

[0052] 通常,热或温度变化影响光学成像系统的像差或图像缺陷。然而,温度的总体变化或均匀变化例如温度从 $T(x,y,z)$ 变化到 $T(x,y,z)+\Delta T$ (x,y 和 z 表示空间坐标)的空间温度分布的温度偏移值 ΔT 对VUV光刻中使用的折射透镜元件仅有很小影响。这是因为,折射能力在透镜元件中总体发生变化,且由于折射材料的热膨胀(CTE)系数几乎恒定,所以折射透镜的面型变化可以忽略。

[0053] 在像镜子的反射光学元件由例如图2a和图2b所示的材料(包括强烈依赖于温度 T 的热膨胀系数 $CTE(T)$)制造的EUV光刻投影系统中,即使所述均匀温度变化也对光学系统的像差值具有强烈影响。基于发明人的分析,利用图3a和图3b更详细地示意性解释了这种情况。

[0054] 图3a示意性示出了例如具有主体 MB_k 和反射面 MS_k 的镜子 M_k 的反射光学元件的侧视图。镜子 M_k 具有空间温度分布 $T(x,y,z)$ 。如果镜子主体 MB_k 包括具有零交叉温度的材料,那么温度分布 $T(x,y,z)$ 通常与零交叉温度不同。如果温度分布改变恒定值 ΔT ,那么,如果例如温度升高得更接近零交叉温度,镜子将膨胀为具有主体 MB_k^* 的镜子 M_k^* ,例如,如果在斜率 a_2 (在近似 $CTE(T)=a_2(T-T_0^2)$)为负的温度区域中使用Zerodur®。然而,尽管有第一近似中的膨胀,但表面 MS_k 的面型不会改变其形状,而是膨胀的镜子 M_k^* 的表面 MS_k^* 改变其位置。如图所示,其被偏移到例如 z 方向上,偏移值 Δz 。可以通过被加热的镜子 M_k^* 的平移运动容易地校正反射表面的位置的这一变化。在这种情况下,图像缺陷或光学像差几乎不变。

[0055] 图3b示意性示出了具有温度分布 $T(x,y,z)=T_{Ref}$ (称为基准温度)的镜子 M_k 的状况。此外,作为范例,沿着镜子主体 MB_k 的 x 维度从 x_1 到 x_2 在表面区域中局部加热镜子,如添加到基准温度 T_{Ref} 的温度分布图或温度分布 $\Delta T(x)$ 所示,其具有最高温度 ΔT_{max} 。在这种情况下,基准温度 T_{Ref} 表示在这一温度下,镜子具有基准形状,而且其反射面 MS_k 具有基准面型。由于热膨胀导致的任何偏差都与这些基准形状和面型相关。进一步假设,与镜子主体在 x 方向的尺度相比,区间 $[x_1, x_2]$ 是小的。如果从基准温度 T_{Ref} 将镜子主体加热温度分布(profile) $\Delta T(x)$,如果它由在温度 T_0 下热膨胀系数为零的具有温度相关的热膨胀系数的材料制造,像图2a和图2b所示的Zerodur®或ULE®,且如果镜子主体的最大温度,给出为 $T_{Ref}+\Delta T_{max}$,例如低于零交叉温度 T_0 且由于加热高于基准温度 T_{Ref} ,那么坐标 x_1 和 x_2 之间镜子的反射面将相对于基准温度下的表面收缩。这是例如使用ULE®的情况。在图3b中,由 MS_k^* 示意性地示出了面型的变化,可以将其与基准温度 T_{Ref} 下基准面型 MS_k 比较。 L_1 和 L_2 表示基准温度 $T(x,$

$y, z) = T_{\text{Ref}}$ 下主体的坐标, 其导致主体在 x 方向上的长度 $L_0(T_{\text{Ref}}) = (L_2 - L_1)$ 。为了更详细地解释这一变形, 参考图 3c。

[0056] 图 3c 示意性示出了作为温度的函数的、以 ppb (十亿分之几, 表示 10^{-9} 的值) 为单位的、主体 MB_k 的长度对于长度 L_0 (像结合图 3b 提到的那个) 的相对变化 L/L_0 。选择 $T_{\text{Ref}} = 22^\circ\text{C}$ 作为基准温度。这意味着长度 L_0 是 22°C 时的长度。作为范例, 将零交叉温度 T_{0k} 设定为 25°C , 比基准温度高 3K。曲线 301 示意性示出了 ULE® 的相对长度变化, 曲线 302 示意性示出了 Zerodur® 材料的状况, 选择为也具有在大约 25°C 的零交叉温度 T_0 , 并具有对于 CTE 近似 $CTE(T) = a_1 * (T - T_0)$ 的负斜率 a_1 。例如, 如果镜子主体 MB_k 由 ULE® 制造, 且在温度区间 T_{Ref} 和 $(2T_{0k} - T_{\text{Ref}})$ 之内选择镜子主体的温度, 那么镜子主体将相对于基准温度下的镜子主体收缩。在镜子主体由 Zerodur® 制造的情况下, 参见曲线 302, 那么镜子主体将相对于基准温度下的主体膨胀, 如从图 3c 可以看出的。如果镜子表面的温度分布类似于图 3b 所示, 那么 (在第一近似中), L_1 和 x_1 之间的镜子表面区域不会因为热膨胀而改变。 x_2 和 L_2 之间的区域同样如此, 因为那里的温度处于基准温度或接近基准温度。在 x_1 和 x_2 之间的区域中, 镜子主体将膨胀或收缩, 因为温度与基准温度不同。这个区域中发生膨胀还是收缩取决于材料和绝对温度分布 $\Delta T(x) + T_{\text{Ref}}$ 和零交叉温度 T_{0k} 彼此的相对位置。温度分布的平均温度 ΔT_{av} 被给出为 $\Delta T_{\text{av}} = (\int \Delta T(x) dx |_{x_1}^{x_2}) / (x_2 - x_1)$, 积分限为 x_1 和 x_2 。如果绝对温度分布 $+T_{\text{Ref}}$ 大致等于零交叉温度 T_{0k} , 那么区间 $[x_1, x_2]$ 没有膨胀或收缩。然而, 在这个区间中, 如果存在温度分布 $\Delta T(x)$ 的局部温度变化, 在低于这个区间的尺度上仍然可能有表面变形 (图 3b 中未示出)。对于 $T_{\text{av}} + T_{\text{Ref}} = T_{0k}$ 的情况, 面型变形被最小化, 在区间 $[x_1, x_2]$ 的尺度上, 其可以被忽略。在这种情况下, 像差或图像缺陷被最小化。在另一种情况下, 如果平均温度不是零交叉温度, 且如果镜子主体 MB_k 在区间 $[x_1, x_2]$ 内收缩, 那么反射表面的面型如图 3b 中示意性所示地变化, 表示为 MS_k^* 。在膨胀的情况下, 反射表面变化到 MS_k^{**} , 也导致面型的变化。在两种情况下, 像差和成像缺陷都将增大。在图 3b 中, 作为范例, 绝对平均温度低于零交叉温度但在基准温度 T_{Ref} 和 $2T_0 - T_{\text{Ref}}$ 给出的温度内, 导致对于图 3a 的镜子主体 MB_k , ULE® 的表面变形 MS_k^* 以及 Zerodur® 的表面变形 MS_k^{**} 。应当指出, 如果镜子被均匀加热到大约温度 $T = (2T_0 - T_{\text{Ref}})$, 那么镜子与基准温度 T_{Ref} 下具有相同尺度和面型, 这不会导致由加热造成额外的像差或图像误差。在热膨胀对像差的影响的以上简化解释中, 存在像该特殊温度分布的各种简化, 假设仅有 x 方向上的温度变化, 并且其他维度保持在基准温度 T_{Ref} , 且镜子主体由在零交叉温度下没有变化的材料制造, 这意味着零交叉温度不会在镜子的 x 、 y 和 z 方向上改变。对于实际的设计, 必需有更复杂的模拟计算或有限元计算以优化反射表面和其他镜子参数, 像在给定热负载下工作的镜子的零交叉温度或工作温度。根据本发明, 应当选择镜子的工作温度和零交叉温度, 使得与镜子或反射光学元件的基准温度 $T_{\text{Ref}}(x, y, z)$ 不同的绝对温度分布 $\Delta T(x, y, z) + T_{\text{Ref}}$ 应当关于零交叉温度 T_0 是对称的。对于一个维度, 例如在 x 方向, 这意味着 $T_{\text{av}} + T_{\text{Ref}} = (\int \Delta T(x) dx |_{x_1}^{x_2}) / (x_2 - x_1) + T_{\text{Ref}} = T_0$ 。

[0057] 如果温度分布 ΔT 在大于一个维度上变化, 例如, 如果 $\Delta T = \Delta T(x, y, z)$, 那么在每个维度上进行积分以获得平均温度, 表示 $T_{\text{av}} = (\iiint \Delta T(x, y, z) dx dy dz |_{x_1}^{x_2} |_{y_1}^{y_2} |_{z_1}^{z_2}) / (x_2 - x_1) / (y_2 - y_1) / (z_2 - z_1)$ 其中 y_1, y_2 和 z_1, z_2 是 y 和 z 方向上的相应镜子边缘。或者, 单独计算对于每个维度的平均温度。在这种情况下, 可以对零交叉温度进行优化, 到达个体平均温度或两个个体平均温度, 其与和像差最相关的维度相关。

[0058] 此外,根据本发明,针对具有零交叉温度的EUV投影透镜的每个镜子,优化零交叉温度以适应于预期的绝对平均温度 $\Delta T_{av} + T_{Ref} = T_0$ 。或者,例如,通过利用加热模块在至少一个维度上均匀加热镜子主体,将预期的绝对平均温度均匀升高到镜子材料的零交叉温度。由于最后的方法提供了更多灵活性,所以下文将论述它,这一方法是优选的。

[0059] 图3d到3f示出了投影透镜20(图1)中使用的EUV镜子的更实际温度分布。在图3d中,从顶部示出了具有其尺度的镜子 M_k 。为了模拟这个镜子的温度分布以及相应的像差,使用具有6个镜子($k=1$ 到6)的EUV投影透镜,如图6所示。在图3d到3f中示出了对于镜子24的结果(参见图6),它是沿投影束的方向计数的,分划板之后的第四个镜子。下文示出并解释具有6个镜子的EUV透镜。在图3d中,以灰色阴影图案示出温度分布。从镜子周边,从作为基准温度 T_{Ref} 的22°C,到中间的黑斑,温度升高到大约 $T_{Ref} + T_{max}(x) = 24^\circ\text{C}$ 。图3e示出了与基准温度的温差作为沿x方向通过温度最大值 ΔT_{max} 的镜子的温度分布 $\Delta T(x)$ 。图3f示出了与基准温度的温差作为沿y方向通过温度最大值 ΔT_{max} 的镜子的温度分布 $\Delta T(y)$ 。镜子的不均匀温度分布导致如上所述的镜子表面变形。这些变形导致像差,造成图像误差或缺陷。在图3g中示出了这种情况,其中给出了针对镜子M4的Zernike系数的值。这些系数是产生像点IP的图像平面(参见图1)中理想球面波前的偏差的定量或度量。

[0060] 为了得到Zernike系数,在一系列Zernike函数中展开波前。理想的球面波只具有第一Zernike系数,所有其他系数都是零。因此,大于2的Zernike系数的值是各种成像误差的度量,并且这些系数越大,光学成像系统的光学像差越大。

[0061] 在图3g中,针对每个Zernike系数,给出了两个值。左边的值(条)是未额外加热镜子的情况下的值。右边的条给出的右边值是额外均匀加热镜子的情况下的值。现在更详细地对此进行解释。在本范例中,镜子 M_4 具有由零交叉温度为25°C的ULE®制造的镜子主体。基准温度是 $T_{Ref} = 22^\circ\text{C}$ 。这意味着没有EUV光的情况下,镜子的温度为22°C。优选地,在这个温度下像差被最小化。如果打开EUV光以将物点OP投影到像点IP,那么镜子会变热,并且出现如图3g中左边条所示的像差。如果在打开EUV光之前,额外将镜子 M_4 均匀加热2°C,到达24°C,那么打开EUV光之后的像差导致显著低于左边条的右边条。这意味着,可以通过均匀加热至少一个透镜镜子来显著减少EUV透镜的像差。

[0062] 图3h到3l示出了投影透镜20(图1)中使用的EUV镜子的另一实际温度分布。在图3h中,图6的EUV投影透镜的镜子 M_6 被示为类似于图3d。为了模拟这个镜子的温度分布以及相应的像差,对图3d到3g使用具有6个镜子的EUV投影透镜,如图6所示。在图3h到3l中示出了镜子26(参见图6)或 M_6 的结果,表示沿投影束的方向计数的,分划板之后的第六个镜子。从镜子周边,从作为基准温度 T_{Ref} 的22°C,到左右黑斑中间,温度升高到大约1.2°C。图3i示出了沿镜子的x方向通过温度最大值的温度分布,其中给出了与基准温度的温差 $\Delta T(x) = T(x) - T_{Ref}$ 。图3k示出了在x方向上最大值之间沿y方向通过最低温度的与基准温度的温差 $\Delta T(y) = T(y) - T_{Ref}$ 。镜子的不均匀温度分布再次导致镜子表面的变形。图3l中给出了针对这个镜子的Zernike系数值。左边值(条)再次是未额外加热镜子情况下的值。右边值是镜子额外加热情况下的值。镜子 M_6 也具有由零交叉温度为25°C的ULE®制造的镜子主体。基准温度也是 $T_{Ref} = 22^\circ\text{C}$ 。这再次意味着没有EUV光的情况下,镜子的温度为22°C。优选地,在这个温度下像差被最小化。如果打开EUV光以例如将物点OP投影到像点IP,那么镜子变热,并且发生如图3l中左边条所示的像差。如果在打开EUV光之前,额外将镜子 M_6 均匀加热3.8°C,从基准

温度 T_{Ref} 到达 25.8°C ,那么打开EUV光之后的像差导致显著低于左边条的右边条。这再次意味着,可以通过均匀加热投影透镜的至少一个镜子来显著减少EUV透镜的像差。

[0063] 参照图4,给出了具有镜子安装架的镜子和基准温度 T_{Ref} 含义的更详细描述。如上文参照图1或图6所述的投影透镜20包括镜子21、22、23、24(25、26)或通常的多个反射光学元件 M_i ,每个都包括主体 MB_i 和反射表面 MS_i ,如果投影透镜20暴露于具有小于50nm的波长范围中的波长的EUV光的曝光功率,以将分划板或结构化物体M上的物场的至少一个物点OP投影到衬底或晶片W上的像场中的像点IP上。优选地,使用大约13nm的波长。在由EUV光刻投影曝光系统100的照射系统10照射之后,从分划板M反射EUV光。此外,投影透镜20包括支撑结构,用于被动或主动支撑反射光学元件 M_i (例如镜子21、22、23、24)。支撑结构或支撑结构的至少一部分的温度为基准温度 T_{Ref} 。在图4中更详细示出了这种情况,图4示意性示出了用于镜子421的镜子安装组件400,镜子421代表EUV光刻投影曝光系统100(图1)中使用并如例如W02005/026801A2中所述的多个反射光学元件 M_i 中的一个反射光学元件 M_k 。镜子421包括由Zerodur®或ULE®制造,或由包括例如材料Zerodur®或ULE®之一的材料制造或由具有至少一个零交叉温度的材料制造的镜子主体 MB_k 。镜子421还包括反射表面450,具有可选的多层具有预定层厚度的预定层材料,以提高EUV光的投影束4(图1)的反射率。镜子主体 MB_k 由支持元件480支撑。作为范例,镜子421由三个安装或连接点451、452、453支撑或悬挂。在这些安装点的每一个,镜子主体 MB_k 与具有两脚架结构461、462、463的连接元件471、472、473连接,以实现保持镜子421的运动学安装架,使得几乎没有寄生力和/或力矩从支架元件480传递到镜子。通常,但并非必然的,这些两脚架结构中的至少一个可以包括致动装置。支架元件480固定在投影透镜20的外壳结构481处。外壳结构有时也称为投影光学箱或POB。根据本发明,优选选择以下元件之一作为具有定义或控制的基准温度 T_{Ref} 的支撑结构:连接点451、452、453,连接元件471、472、473,两脚架结构461、462、463,支撑元件480或外壳结构481。所选择的支撑结构还取决于EUV光刻曝光系统中使用的温度控制系统等。因为这一原因,在图4中,利用 T_{Ref} 指定所有这些元件,这未必表示所有这些元件在投影系统100工作期间具有相同温度。

[0064] 根据本发明,基准温度 T_{Ref} 是在EUV光刻曝光系统的关闭EUV光的操作模式中或在EUV光的功率小于曝光功率的大约10%的操作模式中支撑反射光学元件421的所选支撑元件的温度,后一种操作模式通常用于在EUV光刻曝光系统的批量生产操作模式中向衬底上的像场投影分划板上的物场。通常选择这一基准温度 T_{Ref} 接近操作投影透镜20的清洁室的室温,意味着基准温度在大约 20°C 到 24°C 的范围,优选 22°C 。在大多数EUV光刻投影曝光系统中,额外的温度控制系统控制基准温度 T_{Ref} ,使得在投影透镜20工作期间这个温度也是常数。通常,这是外壳结构481和/或支撑元件480(图4)的温度,例如,如图3中选择的那样,为 22°C 。根据本发明,优选地,选择温度,使得零交叉温度 T_{0k} 高于基准温度。这具有以下优点,即不必将镜子或反射光学元件冷却到低于基准温度 T_{Ref} 的温度以在零交叉温度附近操作镜子。避免冷却EUV投影透镜中的镜子是一个优点,因为透镜工作在真空中,其中镜子的冷却在技术上是困难的或昂贵的。

[0065] 此外,根据本发明,投影透镜20包括加热器300,以加热至少一个光学元件 M_k ,并包括温度控制系统200,以将至少一个光学元件 M_k 的温度控制到温度 T_k ,如图5所示,其中类似的附图标记表示与图4相同或相似的部分。在可加热的光学元件 M_k 上,在利用曝光功率对投

影透镜曝光时,且如果加热器300未激活或被加热,形成相对于基准温度的空间温度分布 $\Delta T(x, y, z) = (T(x, y, z) - T_{\text{Ref}})$ 。这种分布具有如上所述的平均温度 ΔT_{av} 。

[0066] 至少一个被加热的光学元件 M_k 可以通过与图4所示相同方式连接到支撑结构。此外,至少一个被加热反射光学元件 M_k 的镜子主体 MB_k 包括具有取决于温度的热膨胀系数的材料,在高于基准温度 T_{Ref} 的温度 T_{0k} (这个温度也称为零交叉温度)热膨胀系数为零。由于优选的基准温度为 $T_{\text{Ref}} = 22^\circ\text{C}$,所以优选的零交叉温度 T_{0k} 介于 22°C 和大约 70°C 之间。如上所述,这样的材料例如是Zerodur®或ULE®。至少一个温度受控或可加热的光学元件 M_k 的温度 T_k 与零交叉温度 T_{0k} 和基准温度 T_{Ref} 的关系是使得 T_k 是从 $T_k = T_{0k} - \Delta T_{\text{av}}$; $T_k = 2 * T_{0k} - T_{\text{Ref}} - \Delta T_{\text{av}}$; $T_k = T_{\text{Ref}} + 3 * (T_{0k} - T_{\text{Ref}}) / 2 - \Delta T_{\text{av}}$; $T_k = T_{0k} - \Delta T_{\text{max}}$; $T_k = 2 * T_{0k} - T_{\text{Ref}} - \Delta T_{\text{max}}$; $T_k = T_{\text{Ref}} + 3 * (T_{0k} - T_{\text{Ref}}) / 2 - \Delta T_{\text{max}}$ 构成的组中选择的。优选在光学元件 M_k 上形成温度分布 $\Delta T(x, y, z)$ 之前实现这个温度 T_k ,而在投影系统的操作模式期间光学元件受到EUV光作用时,由加热导致温度分布。这具有如下优点,即反射元件 M_k 非常接近零交叉温度,使得被镜子或反射元件 M_k 吸收的投影束的EUV光将把其加热到大约零交叉温度。本发明的优点在于,可以相当自由地选择零交叉温度,因为应用加热器300能够在投影过程期间在有利的零交叉温度下操作镜子。作为替代,如果 ΔT_{av} 小,像比 T_k 大约1K,也可以是零交叉温度 T_0 。

[0067] 这意味着,由温度控制系统200,利用加热器300(参见图5)将温度 T_k 控制到这样的温度。优选地,加热器将镜子 M_k 均匀加热到这样的恒定温度值。温度 T_k 是在EUV功率停止的EUV光刻曝光系统的操作模式中镜子 M_k 的工作温度。将EUV光的功率切换到曝光功率(其通常用于在光刻曝光系统的批量生产操作模式中向衬底上的像场投影分划板上的物场),然后反射光学元件或镜子 M_k 的温度升高平均温度 ΔT_{av} ,到达或接近零交叉温度 T_0 。如上所述,优选地,在打开EUV光之前,已经将温度 T_k 控制到其值。在优选实施例中,控制加热器,使得镜子 M_k 受到的热能恒定。这意味着,如果,例如镜子吸收某些其他能量,例如一些EUV光,那么加热器减小其加热功率,使得输入到镜子上的总热能在时间上是恒定的。这导致镜子的平均温度在时间上也是恒定或几乎恒定的。下文将给出 T_k 各优选值的更详细描述。

[0068] 可以在反射表面 MS_k 或在镜子主体 MB_k 处控制温度 T_k 。上文给出的温度 T_{0k} (零交叉温度)、镜子 M_k (或一般地,反射光学元件)的工作温度 T_k 和支撑结构的基准温度 T_{Ref} 以及平均温度 ΔT_{av} 之间的关系对于大部分实际情况而言导致反射光学元件 M_k 非常小的长度变化或面型变化,像差或图像误差显著减小,如图3g和31所示,其中将温度 T_k 控制到大约 $T_k = T_{0k} - \Delta T_{\text{av}}$ 和 $T_k = T_{\text{Ref}} + 3 * (T_{0k} - T_{\text{Ref}}) / 2 - \Delta T_{\text{av}}$ 。

[0069] 等式 $T_k = T_{\text{Ref}} + 3 * (T_{0k} - T_{\text{Ref}}) / 2 - \Delta T_{\text{av}}$ 还考虑到还存在镜子的厚度或z方向上的温度分布而不仅在镜子的表面上。如果假设,在反射表面的一侧,例如在镜子周边温度为 T_k ,如果在镜子后侧,由于例如处于基准温度 T_{Ref} 的支撑结构的任何热传导,存在该温度,那么由 $T_k = 2 * T_{0k} - T_{\text{Ref}} - \Delta T_{\text{av}}$ 给出针对 T_k 的良好温度。然而,温度控制系统的精度或温度 T_k 可控的精度还将影响到像差或成像误差。如果反射光学元件 M_k 的主体 MB_k 的温度由于温度控制和其他系统变化而导致精度在 $\pm 1\text{K}$ 之内,那么长度的相对变化通常小于大约10ppb,如在图3c中由附图标记303可以示意性地看出。然而,这假设可以在大约 $T_{\text{Ref}} + (T_{0k} - T_{\text{Ref}}) / 2$ 和 $T_{\text{Ref}} + 3 * (T_{0k} - T_{\text{Ref}}) / 2$ 之间选择工作温度。如从图3c可以看出,如果工作温度太接近基准温度 T_{Ref} ,或通常太远离零交叉温度 T_{0k} ,那么长度的相对变化远远大于10ppb,如附图标记304和305所示。在这种情况下,由于主体 MB_k 的变形,存在镜子变形的显著风险,导致系统的光学性能恶化。出于这些

原因,优选工作温度 $T_k=T_{0k}-\Delta T_{av}$ 和 $T_k=T_{Ref}+3*(T_{0k}-T_{Ref})/2-\Delta T_{av}$,尤其是如果它们在区间 $[T_{Ref}+T_0)/2;T_{Ref}+3*(T_{0k}-T_{Ref})/2]$ 内。

[0070] 此外,有利的是选择材料,使得用于镜子主体 MB_k 的材料的零交叉温度高于根据用于设计投影透镜的任何设计计算或模拟得到的值。在这些计算中,可以考虑环境温度的任何波动、透镜设计、EUV光源的设计假设的变化以及分划板反射的变化,这导致在设计EUV投影透镜时计算镜子 M_k 的最大或平均温度。如果选择的零交叉温度比计算值高几个开尔文,那么可以在接近像差最小化的零交叉温度的优选温度下在所有条件下操作EUV透镜。可以利用加热器300和控制器200均匀而可控地加热,实现镜子的这个工作温度。对于加热器300,可以使用各种实施例。范例是形成为金属板并接近镜子,优选接近镜子的后侧布置的加热元件。这样的板是电加热的。替代地或此外,电加热元件直接接触镜子主体。另一种替代或额外的加热器包括照射镜子或反射元件的红外源。

[0071] 此外,温度控制系统200可以包括传感器,其直接测量一个或几个位置处的镜子温度 T_k 。在本发明的其他实施例中,由温度控制系统控制的至少一个光学元件 M_k 的温度 T_k 可以是光学元件 M_k 的反射表面 MS_k (图5)的温度 T_{MSk} 或光学元件 M_k 的主体的温度 T_{MBk} 。替代地, T_k 可以是由主体 MB_k 的温度 T_{MBk} 的函数给出的温度和/或反射表面 MS_k 的温度。此外,反射表面的温度 T_{MSk} 可以是平均表面温度。例如,可以通过由红外相机或空间分辨高温计测量表面温度来进行这种平均。而且,主体的温度 T_{MBk} 可以是在主体 MB_k 的多个空间位置测量的多个温度的平均温度。优选地,测量镜子主体温度的空间位置或空间位置子集布置为接近反射表面。通过控制器200,可以从反射表面和/或主体的温度测量值计算温度值或控制参数。作为另一替代,如上所述,从主体 MB_k 或反射表面 T_{MSk} 的空间温度分布选择用于控制系统的温度 T_k 。根据是否在一个或几个位置测量光学元件 M_k 的温度以及温度控制系统是否包括用于温度信号的一个或多个输入通道,选择上述温度控制选项之一。作为替代或此外,可以确定光学像差,温度控制器200控制镜子温度,使得像差成为最低。为了温度控制或控制像差,未必要明确地确定温度 T_k 。也可以使用基于模型的控制器控制镜子的温度或加热器传递到镜子的热。该模型可以考虑像对透镜曝光的EUV光功率、分划板被照射的照射设定、分划板上的结构和透镜光学像差的参数。

[0072] 在另一实施例中,被照射的分划板的EUV光包括根据照射设定的角度空间分布、偏振和强度。这通常会导致相对于基准温度 T_{Ref} 的空间温度分布 $\Delta T(x,y,z)=(T(x,y,z)-T_{Ref})$ 。这一温度分布通常具有平均温度 ΔT_{kav} 和最大温度 $\Delta T_{kmax}=(T_{Ref}+\Delta T_{kmax})$ 。应当提到,在利用曝光功率对投影透镜曝光而不加热加热器时,在可加热光学元件 M_k 的反射表面 MS_k 上形成这一温度分布。

[0073] 作为温度 T_k 的上述选择的替代,在确定温度分布之后,选择温度 T_k 为 $T_k=(T_{0k}+T_{Ref}+\Delta T_{kmax})/2$ 。根据 ΔT_{kmax} ,这一选择具有以下优点:在零交叉温度高于最大温度 $T_{kmax}=T_{Ref}+\Delta T_{kmax}$ 的情况下,将被加热的光学元件加热到更接近零交叉温度。如上所述,在打开投影束4的EUV光的功率之前, T_k 可以是光学元件 M_k 主体 MB_k 的温度 T_{MBk} ,由主体 MB_k 的温度 T_{MBk} 的函数给出的温度,以及反射表面 MS_k 的温度 T_{MSk} 或从主体 MB_k 或反射表面 T_{MSk} 的空间温度分布选择的温度。

[0074] 在根据本发明的投影透镜的另一实施例中,在投影透镜受到EUV光曝光功率作用之前的时间,通过利用第一加热功率加热加热器,将光学元件 M_k 的温度 T_k 控制到其值。这具

有如下优点:在利用EUV光曝光之前光学元件的工作温度 T_k 非常接近曝光期间的工作温度。这导致可以显著减小作为曝光时间的函数的像差误差的变化,并且在稳态工作条件下投影系统要快得多,其中成像质量将几乎不变。优选地,在曝光期间(在使投影透镜受到EUV光曝光功率作用期间),加热器的加热功率小于第一加热功率。这是为了防止光学元件 M_k 的升温。

[0075] 在根据本发明的投影透镜的另一实施例中,使用第二加热器,用于将第二光学元件 M_{2k} 加热到温度 T_{2k} ,其中第二光学元件 M_{2k} 的主体 MB_{2k} 也包括具有与温度相关热膨胀系数的材料,该热膨胀系数在高于基准温度的温度 T_{02k} 处为零。在第二光学元件上,在利用曝光功率对投影透镜曝光而不加热第二加热器时,形成相对于基准温度 T_{Ref} 的第二空间温度分布 $\Delta T_2(x, y, z) = (T_2(x, y, z) - T_{Ref})$,具有平均温度 ΔT_{2av} 和最大温度 ΔT_{2max} 。类似于上述实施例,也结合图3c,根据上文针对第一加热镜子 M_k 的工作温度 T_k 描述的相同关系,选择第二光学元件 M_{2k} 的温度 T_{2k} 。这意味着,优选从 $T_{2k} = T_{02k} - \Delta T_{2av}$; $T_{2k} = 2 * T_{02k} - T_{Ref} - \Delta T_{2av}$; $T_{2k} = T_{Ref} + 3 * (T_{02k} - T_{Ref}) / 2 - \Delta T_{2av}$; $T_{2k} = T_{02k} - \Delta T_{2max}$; $T_{2k} = 2 * T_{02k} - T_{Ref} - \Delta T_{2max}$; $T_{2k} = T_{Ref} + 3 * (T_{02k} - T_{Ref}) / 2 - \Delta T_{2max}$ 构成的组选择第二光学元件 M_{2k} 的工作温度 T_{2k} 。那么,在打开投影束4的EUV光功率之前,对光学元件或镜子 M_{2k} 加热或优选加温到这样的温度 T_{2k} 。在这一实施例中,主体 MB_{2k} 的材料可以与第一光学元件的主体 MB_k 的材料相同或不同。在相同材料的第一种情况下,材料优选具有与第一反射元件 M_k 不同的零交叉温度,可以选择为使得 $CTE(T)$ 函数(例如参见图2b)在相应的零交叉温度下具有不同的斜率代数符号。这要求材料包括至少两个零交叉温度 T_0 和 T_{02} ,如图2b针对Zerodur®材料所示。不同材料的范例是针对一个光学元件使用ULE®,针对另一个使用Zerodur®。在这种情况下,也优选在相应零交叉温度的斜率的代数符号是不同的。可以有利地将这用作另一种减小像差的措施,例如在W02005/040924A1中所述。

[0076] 图6示出了EUV投影透镜的另一种示意布置,其包括6个镜子作为反射光学元件 M_1 到 M_6 ,分别用附图标记21、22、23、24、25和26表示。在图6中,相似的附图标记表示与图1中相同或相似的部分。此外,按照镜子布置于从分划板M到晶片W的投影束4的下游方向对它们编号。如果利用EUV光对例如图1或图6中所示的这种EUV投影透镜20曝光以向晶片W上的像点IP投影物点OP,那么各个镜子被升温。优选地,在打开EUV光之前,这些镜子处于基准温度 T_{Ref}' ,例如22°C。图7示出了如果利用在分划板M之后具有16W功率的投影束4曝光这样的透镜,图6的投影透镜20的六个镜子加温的范例。为了产生这样的功率,光源1必需大于1kW的光源功率(参见图1)。图示的图表是模拟计算,其中利用偶极子照射设定照射分划板,这种设置在最后的镜子 M_6 上给出类似于图3h所示的温度分布。可以在镜子上看到偶极子,因为这个镜子布置于投影透镜20的光瞳面附近或光瞳面处。

[0077] 在图7中,针对6个镜子的每一个,平均温度 ΔT_{av} ,即相应的下曲线,被示为时间的函数。如上所述计算平均温度。而且对于每个镜子,温度分布 $\Delta T(x, y, z)$ 的最大温度 ΔT_{max} 被示为时间的函数,由针对每个镜子的相应上曲线表示。可以看出,针对镜子 M_5 、 M_3 和 M_2 的热负载使得这些镜子分别升温大约4.5K、4.0K和3.5K。 M_1 升温大约2K, M_4 、 M_6 升温大约0.5K。此外,可以看出,镜子需要大约150分钟或更久来达到几乎恒定的稳态温度。在这个时间期间,如由图3a到3c所解释的,反射表面的实际位置和这些表面的面型将变化。这导致如上所述的光学像差,因为平均温度相对于相应的零交叉温度随时间变化。然而,可以优化透镜20以实现稳态条件。这意味着,选择镜子的零交叉温度,使其为稳态温度或几乎是稳态温度,表

示对于第*i*个镜子(*i*=1到6), $T_{0i}=(T_{avi}+T_{Ref})$ 。在这种情况下,如结合图3a到3c所述使像差最小化。如果在大约22°C(或通常在基准温度或接近基准温度)下关于其面型来制造镜子,那么即使镜子被均匀加热到这样选择的零交叉温度,这一面型几乎保持相同,如结合图3a所解释的那样。此外,如果由于投影束4的被吸收功率,镜子具有空间温度分布 $T(x,y,z)$,那么由这一吸收产生的像差也被最小化,如图3b和3c中所解释那样。实际上,对零交叉温度提出的优化(通过选择材料)具有以下缺点:

[0078] 1. 稳态温度取决于光源的功率、被照射的分划板和照射分划板所用的照射设定。

[0079] 2. 制造具有指定零交叉温度的镜子材料非常昂贵。此外,存在的制造公差使得仅可以通过从具有制造公差的更大材料集合中选出需要的材料来实现指定的零交叉温度。这将极其昂贵。在US 2003/0125184A1中,描述了制造具有特定预定义零交叉温度的Zerodur®的困难。此外,还示出了关于确定零交叉温度的困难。

[0080] 3. 在大约最初的2到3小时之内的加温阶段期间将存在不能接受的像差,其中EUV透镜不能用于微结构化物体的批量生产。

[0081] 可以在图8中看出以上缺点对像差的影响。图8以Zernike系数Z5的形式示出了像差。对于Z5,针对图6所示透镜的6个镜子的每个给出其RMS(均方根)值。如果投影透镜的每个镜子处于图7所述的稳态,Z5被示为零交叉温度的函数。每个镜子的条表明,如果零交叉温度选择得更高或更低,像差如何增大。对于从18°C(最左边的条)到34°C(最右边的条)的零交叉温度,以1K的步长进行计算。对于M2,其具有大约25.5°C的稳态温度($T_{av2}=3.5K$, $T_{Ref}=22^{\circ}C$),例如,通过具有相应零交叉温度数据的所示箭头表示针对各零交叉温度的像差值。根据图8,最好的零交叉温度应该介于26°C和27°C之间,如果稳态温度(25.5°C)对应于零交叉温度,这与应当实现的最低像差符合得很好。图8清楚地表明,如果镜子的稳态温度不在大约±1K之内匹配零交叉温度,那么像差将增大。由于稳态温度 $T_{Ref}+\Delta T_{av}$ 取决于EUV光源的功率、所用的照射设定、所用的分划板和某些其他方面,似乎不可能构造EUV透镜,使得在提到的所有工作条件下,都可以使像差最小,因为如果选择了镜子材料,则零交叉温度就被固定。

[0082] 图8中还可以看到制造公差在零交叉温度 T_{0k} 方面的影响。例如,如果对于镜子M2,27°C的零交叉温度会使像差最小化,且如果制造的材料具有零交叉温度 $T_{02}=29^{\circ}C$,这几乎将使像差加倍。对于镜子M1,与最好的零交叉温度2K的偏差将导致更高的像差,如由箭头81和82所示的。

[0083] 图9示出了作为投影期间EUV透镜20所受的分划板M之后的EUV光功率P的函数的优化的零交叉温度。针对产生最大像差的设置进行计算。可以看出,对于所有镜子的优化的零交叉温度 T_{0i} 与功率P呈良好线性近似地增大。将计算进行到直到16W,针对图7和图8的计算,选择ULE®作为用于所有6个镜子的镜子材料。此外,可以看出,如果制造的透镜20将在光学像差方面得到优化,一个EUV透镜内的零交叉温度的变化也随着功率增大。这意味着,必须使用具有不同零交叉温度和宽变化的不同材料来生产镜子。这使得制造也非常昂贵。此外,发明人第一次意识到,对于更高的曝光功率,如果要将EUV透镜优化到EUV光功率和像差,投影透镜内的零交叉温度必须相差大于6K,甚至大于8K。因此,优选地,在本发明投影透镜的上述实施例的另一实施例中,选择可加热光学元件和第二可加热光学元件的零交叉温度 T_{0k} , T_{02k} 之间的差异的绝对值,使其大于6K,表达为 $abs(T_{0k}-T_{02k})>6K$ 。利用这样的投影透

镜,有利地,即使在更高的EUV光功率下也能够减小(由于光学元件处EUV光的吸收造成的热效应导致的)光学像差。在上述本发明投影透镜的另一实施例中,至少一个可加热光学元件 M_k 的零交叉温度 T_{0k} 高于最高基准温度 T_{Ref} 和基于相应的空间温度分布 $\Delta T(x,y,z)$ 的平均或最高温度 $\Delta T_{av}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{max}+T_{Ref}$ 中的最大值,表达为 $T_{0k}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{av}+T_{Ref})$ 或 $T_{0k}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{max}+T_{Ref})$ 。这具有如下优点:利用加热器300,可以独立于投影过程期间使用的EUV光功率(和基准温度)将至少一个可加热光学元件加热到零交叉温度。可以针对投影透镜20的所有工作状况使这样的光学像差最小化。上述发明实施例的教导与镜子数量无关。可以将其应用于,例如图1所示具有4个镜子21、22、23和24的投影透镜20或图6所示,包括6个镜子21、22、23、24、25和26的投影透镜20。

[0084] 此外,为了使光学像差,尤其是由加热器300加热至少一个镜子或光学元件 M_k 的投影透镜20中的光学像差最小化,有利的是将至少一个被加热的光学元件 M_k 连接到致动器,实现其平移运动。这允许平移镜子 M_k ,以补偿镜子 M_k 的均匀加热,如结合图3a所述的。此外,用于加热镜子或光学元件 M_k 的加热器300有利地包括从IR发光二极管、Peltier元件、光纤、光导棒和IR激光器构成的组中选择的加热元件,如下文结合图13的描述中更详细所述的。此外,任选地在一个维度上或两个维度上在预定义空间坐标布置这样的加热元件,从而形成栅格结构。有利地,在加热元件发射或引导IR辐射的实施例中,这些实施例包括光学装置,用以配置IR辐射,该光学装置包括从准直器、聚焦透镜、可调节透镜、镜子和衍射光学元件构成的组中选择的装置元件,其中装置元件可以绕至少一个轴倾斜。图13中示出了这种光学装置的范例。

[0085] 此外,在上述投影透镜的替代实施例中,至少一个光学元件 M_k 包括镜子主体 MB_k 中或上的变型。从凹陷、盲孔、定义的表面粗糙度、衍射结构、球形突起、球形凹陷和表面曲率构成的组中选择该变型。下文结合图13更详细描述变型有利地用于引导例如IR辐射,以局部地加热光学元件。

[0086] 由于以上发现,即对于更高的曝光功率,投影透镜内镜子的零交叉温度必须相差6K或更多,本发明还涉及另一种投影透镜,下文称为第一投影透镜,其被设计为以波长在小于50nm的波长范围内,优选波长为13nm的EUV光的大于8W的曝光功率来曝光。在13nm的情况下,针对具有6个镜子的透镜20,如图6所示,进行图7、图8和图9的计算。通常,这样的透镜包括至少两个像镜子那样的反射光学元件 M_i 。每个镜子或反射光学元件包括主体 MB_i 和反射表面 MS_i ,如果利用EUV光的曝光功率对投影透镜曝光,用于向衬底上的像场上投影分划板上的物场。在由EUV光刻投影曝光系统的照射系统照射分划板之后,从分划板反射该光。此外,至少两个反射光学元件的主体 MB_m 、 MB_n 包括具有与温度相关的热膨胀系数的材料,热膨胀系数在相应零交叉温度 T_{0m} 、 T_{0n} 为零,其中在这一第一投影透镜中零交叉温度 T_{0m} 、 T_{0n} 之间的差异的绝对值大于6K,表示为 $\text{abs}(T_{0m}-T_{0n})>6K$ 。如果透镜受到8W或更高的曝光功率作用,这是例如对于镜子 M_5 和镜子 M_4 或 M_6 的情况,如从图8中可以看出的。

[0087] 作为这种第一投影透镜的另一第二实施例,透镜可以包括四个或六个反射光学元件 M_i 或镜子(例如,如图1和图6中所示),优选将投影透镜设计为利用大于10W的曝光功率曝光。在这种情况下,零交叉温度 T_{0m} 、 T_{0n} 之间的差异的绝对值大于8K,表达为 $\text{abs}(T_{0m}-T_{0n})>8K$ 。对于图6的6反射透镜20,图9清晰示出了对于镜子 M_5 和 M_4 或 M_6 的这种情况。如果曝光功率大于10W,这些镜子的零交叉温度相差大于8K。

[0088] 第一投影透镜及其在第三实施例中的先前实施例可以包括支撑结构,用于被动或主动支撑反射光学元件 M_i ,如结合图4和图5所述那样。支撑结构至少一部分的温度处于基准温度 T_{Ref} ,例如选择为 22°C 。此外,根据第一透镜的实施例的透镜包括加热器300,用于加热镜子主体 MB_n 、 MB_m 中的至少一个,其包括具有不同零交叉温度的材料。温度控制系统200将至少一个被加热镜子主体 MB_n 、 MB_m 的温度控制到温度 T_k 。优选地,加热器300制造为可以均匀加热主体。这意味着,在主体的至少一个维度中均匀加热主体 MB_n 、 MB_m 。在本说明书中下面将描述各种加热器300。

[0089] 在第一透镜(及其先前实施例)的另一第四实施例中,无需操作刚刚提到的加热器300,利用EUV光对主体 MB_n 、 MB_m 的反射表面 MS_m 和 MS_n 曝光获得主体 MB_n 、 MB_m 相对于具有相应平均和最高温度 ΔT_{nav} 、 ΔT_{mav} 和 ΔT_{nmax} 与 ΔT_{mmax} 的基准温度 T_{Ref} 的温度分布 $\Delta T_n(x,y,z)=(T_n(x,y,z)-T_{Ref})$, $\Delta T_m(x,y,z)=(T_m(x,y,z)-T_{Ref})$ 。用于对反射表面 MS_m 和 MS_n 曝光的EUV光由被照射的分划板反射,该EUV光包括根据照射设定的角度、偏振和强度参数的空间分布。在这一实施例中,至少一个零交叉温度 T_{0m} 、 T_{0n} 选择为高于最高基准温度 T_{Ref} 和基于相应的空间温度分布 $\Delta T_m(x,y,z)$ 、 $\Delta T_n(x,y,z)$ 的相应的平均或最高温度的最大值 $\Delta T_{mav}+T_{ref}$ 或 $\Delta T_{mmax}+T_{ref}$, $\Delta T_{nav}+T_{ref}$ 或 $\Delta T_{nmax}+T_{ref}$ 中的最大值,表达为 $T_{0m}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{mav}+T_{ref})$, $T_{0m}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax}+T_{ref})$ 或 $T_{0n}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{nav}+T_{ref})$, $T_{0n}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax}+T_{ref})$ 。

[0090] 通常,基准温度为常数,并且选择为支撑元件480或外壳结构481(参见图4和5)的温度。即使透镜受到EUV光曝光功率的作用,镜子的后侧常常也具有这一温度。该选择零交叉温度的优点是,利用加热器300,始终可以通过加热使相应的镜子到达零交叉温度。这是因为,通常不应用加热器300,镜子仅加热到平均温度,如利用图7所解释的那样。如果零交叉温度调整到这一温度,那么光学像差变为最小,如结合图3a和图3b所述那样。然而,如果选择零交叉温度高于绝对平均温度 $T_{Ref}+\Delta T_{mav}$ 或 $T_{Ref}+\Delta T_{nav}$,那么利用额外的加热器300加热镜子,可以将其加热到或接近选择的零交叉温度以使像差最小化。

[0091] 在第一投影透镜(及其先前实施例)的另一第五实施例中,还考虑了零交叉温度的制造公差。这意味着,如果根据本发明的第一投影透镜(包括零交叉温度为 T_{0m} 、 T_{0n} 的材料)的材料由于制造过程导致制造公差 ΔT_{0m} 、 ΔT_{0n} 而在其零交叉温度的实际值方面存在变化,那么相应的实际值在温度区间 $T_{0m}\pm\Delta T_{0m}$ 和 $T_{0n}\pm\Delta T_{0n}$ 内。在这种情况下,有利地,选择至少一个零交叉温度高于最高基准温度 T_{Ref} 和基于相应的空间温度分布 $\Delta T_m(x,y,z)$ 、 $\Delta T_n(x,y,z)$ 的相应的绝对平均或最高温度 $\Delta T_{mav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{mmax}+T_{Ref}$, $\Delta T_{nav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{nmax}+T_{Ref}$ 的最大值,但此外,这些值增大相应制造公差 ΔT_{0m} 、 ΔT_{0n} 的绝对值,表达为 $T_{0m}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{mav}+T_{Ref})+|\Delta T_{0m}|$, $T_{0m}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax}+T_{Ref})+|\Delta T_{0m}|$ 或 $T_{0n}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{nav}+T_{Ref})+|\Delta T_{0n}|$, $T_{0n}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax}+T_{Ref})+|\Delta T_{0n}|$ 。关于零交叉材料的这样的材料选择的大优点是,可以放松对零交叉温度的规格要求,因为加热器300确保可以通过额外加热将具有选定零交叉温度的相应可加热反射光学元件加热到或接近零交叉温度,并且可以使这样的像差最小化。优选但并不是必然地,进行加热以使得镜子被均匀加热。这种关于材料选择的简化实现了巨大成本节省。如果选择最大温度 ΔT_{nmax} 和 ΔT_{mmax} 而非平均温度 ΔT_{nav} 、 ΔT_{mav} 用于零交叉温度的选择,那么在选择过程中,系统在例如对于曝光功率到达更高值的变化方面更加鲁棒。

[0092] 在第一透镜(及其先前实施例)的另一第六优选实施例中,将被加热镜子主体或被加热镜子主体 MB_n 、 MB_m 的温度控制到温度 T_k 的值,该值在以相应零交叉温度 T_{0m} 、 T_{0n} 为中心的

±5K,更好±2K的区间内,以使任何热诱发的光学像差最小化。

[0093] 由于使用加热器300,可以通过本发明第一EUV透镜的第三到第六实施例解决上述第三项缺点,即例如如图7所示,如果零交叉温度被优化到稳态,则该系统不能在加温阶段中使用。同样为了解决这个缺点,在根据其第三到第六实施例之一的第一透镜的第七实施例中,在利用EUV光的曝光功率对投影透镜曝光之前的时间,加热投影透镜20。其中,通过以第一加热功率加热加热器300,将反射光学元件 M_n, M_m 的至少一个被加热主体 MB_n, MB_m 的温度 T_k 控制到其值。优选地,从第一投影透镜的以上第三到第六实施例的值选择温度 T_k 。根据零交叉温度和EUV透镜所接受曝光光的功率的值,在第一透镜的第八实施例中,在利用EUV光的曝光功率对投影透镜20曝光的时间期间,选择加热器的加热功率低于第七实施例中提到的第一加热功率。在第一透镜的优选第九实施例中,温度控制系统200控制温度 T_k ,使得加热反射光学元件 M_n, M_m 的至少一个主体 MB_n, MB_m 的加热器300的加热功率,以及由至少一个被加热主体 MB_n, MB_m 吸收的EUV光的曝光功率在时间上是恒定的或几乎恒定的。有利地,这将导致镜子主体的温度波动最小,并且还使热诱发的光学像差最小化。

[0094] 第一透镜及其各实施例实质上利用了用于反射光学元件或镜子的材料,它们在零交叉温度方面区别明显。应当提到,第一透镜的本发明及其各实施例不限于图4和图6所述的具有4或6个形式为镜子的反射光学元件的EUV投影透镜。假设如果EUV曝光光的EUV功率也增大,光刻投影曝光设备的EUV投影透镜的镜子数量增加到大于6个。EUV光功率将取决于将来可用的EUV光源。通常,镜子的数量可以根据要求变化,可以将结合第一投影透镜的教导原理应用于每个镜子或每个反射光学元件,尤其是如果用于EUV光刻投影曝光设备中的情况下。

[0095] 此外,为了使光学像差,尤其是由加热器300加热至少一个镜子或光学元件 M_k 的根据本发明第一透镜的投影透镜20中的光学像差最小化,有利的是将至少一个被加热的光学元件 M_k 连接到致动器,以实现其平移运动。这允许平移镜子 M_k ,以补偿镜子 M_k 的均匀加热,如结合图3a所述的。此外,用于加热镜子或光学元件 M_k 的加热器300有利地包括从IR发光二极管、Peltier元件、光纤、光导棒和IR激光器构成的组中选择的加热元件,如下文结合图13的描述中更详细所述。此外,任选地在一个维度上或两个维度上在预定义空间坐标布置这种加热元件,以形成栅格结构。有利地,在加热元件发射或引导IR辐射的实施例中,这些实施例包括光学装置,用以配置IR辐射,该光学装置包括从准直器、聚焦透镜、可调节透镜、镜子和衍射光学元件构成的组中选择的装置元件,其中装置元件可以绕至少一个轴倾斜。图13中示出了这种光学装置的范例。

[0096] 此外,在上述第一投影透镜的替代实施例中,至少一个光学元件 M_k 包括镜子主体 MB_k 中或上的变型。从凹陷、盲孔、定义的表面粗糙度、衍射结构、球形突起、球形凹陷和表面曲率构成的组中选择该变型。下文结合图13更详细描述该变型有利地用于引导例如IR辐射,以局部地加热光学元件。

[0097] 第一透镜的替代实施例是如下所述的用于EUV光刻曝光系统的第二投影透镜。发明人意识到,使用加热器300将对透镜设计,尤其是镜子材料的选择要求具有显著影响。

[0098] 根据本发明的第二投影透镜20的第一实施例包括如图1和图6所示的至少两个反射光学元件 M_i ,指示为21、22、23、24、25和26。每个这样的元件包括主体 MB_i 和反射表面 MS_i ,

如果以波长在小于50nm的波长范围中的EUV光的曝光功率对投影透镜20曝光,用于向衬底上的像场IP上投影分划板上的物场OP。优选地,使用13nm的波长。在被EUV光刻投影曝光系统的照射系统照射之后,EUV光从分划板被反射。透镜20的至少两个反射光学元件的主体 MB_m , MB_n 包括具有与温度相关的热膨胀系数的材料,热膨胀系数在相应的零交叉温度 T_{0m} , T_{0n} 为零,例如如图2a和图2b所示。作为范例,这样的材料是Zerodur®或ULE®,但还有超级殷钢。此外,第二透镜包括支撑结构,用于被动或主动支撑反射光学元件 M_i 。结合图4和图5详细描述了这样的支撑结构。支撑结构的至少一部分的温度处于基准温度 T_{Ref} ,例如在22℃,如在图3和图6的实施例中那样。这个温度接近清洁室的温度。通常,也在这一基准温度下就其表面和面型方面,指定EUV投影透镜的镜子或反射光学元件。此外,第二投影透镜包括加热器300,用于加热具有零交叉温度的反射光学元件的主体 MB_n , MB_m 中的至少一个。第二透镜还包括温度控制系统200,用于将至少一个被加热主体 MB_n , MB_m 的温度控制到温度 T_{km} , T_{kn} 。此外,如果在第二透镜中,不利用加热器加热主体 MB_n , MB_m ,那么以被照射的分划板反射的EUV光对反射表面 MS_m 和 MS_n 曝光会获得主体 MB_n , MB_m 相对于具有相应平均和最高温度 ΔT_{nav} , ΔT_{mav} 和 ΔT_{nmax} 与 ΔT_{mmax} 的基准温度 T_{Ref} 的温度分布 $\Delta T_n(x,y,z)=(T_n(x,y,z)-T_{Ref})$, $\Delta T_m(x,y,z)=(T_m(x,y,z)-T_{Ref})$ 。EUV光通常包括由照射设定定义的强度、角度和偏振参数的已确定空间分布。

[0099] 此外,在第二透镜中,选择至少一个零交叉温度 T_{0m} , T_{0n} 高于最高基准温度 T_{Ref} 和基于相应的空间温度分布 $\Delta T_m(x,y,z)$, $\Delta T_n(x,y,z)$ 的相应的绝对平均或最大温度 $\Delta T_{mav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{mmax}+T_{Ref}$, $\Delta T_{nav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{nmax}+T_{Ref}$ 的最大值,表达为 $T_{0m}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{mav}+T_{Ref})$, $T_{0m}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax}+T_{Ref})$ 或 $T_{0n}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{nav}+T_{Ref})$, $T_{0n}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax}+T_{Ref})$ 。如果在选择过程中考虑绝对最大温度而非绝对平均温度,则系统例如在曝光功率变为更高值方面更加鲁棒。根据本发明的第二投影透镜基于镜子如果被投影束照射可以达到的平均或最高温度,选择用于镜子或反射光学元件的材料。由于应用了加热器,所以可以独立于利用投影束的低或高EUV光功率来操作投影透镜而达到零交叉温度。优选地,针对投影透镜可受到的最大功率,确定可加热镜子主体上的最大或平均温度。对于根据本发明第二投影透镜的实施例,对于基准温度,可以如结合第一投影透镜所述的以及结合图4和图5的描述应用同样的情况。

[0100] 为了考虑零交叉温度的制造公差,第二投影透镜的第二实施例考虑到,具有零交叉温度 T_{0m} , T_{0n} 的材料可能由于制造的原因而改变其零交叉温度值。通常,这导致制造公差 ΔT_{0m} , ΔT_{0n} ,使得零交叉温度的相应实际值在区间 $T_{0m} \pm \Delta T_{0m}$ 和 $T_{0n} \pm \Delta T_{0n}$ 内。如果是这样的话,有利的是选择第二透镜中至少一个零交叉温度 T_{0m} , T_{0n} 高于最高基准温度 T_{Ref} 和基于相应的空间温度分布 $\Delta T_m(x,y,z)$, $\Delta T_n(x,y,z)$ 的相应的绝对平均或最大温度与基准温度之和(得到 $\Delta T_{mav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{mmax}+T_{Ref}$, $\Delta T_{nav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{nmax}+T_{Ref}$)的最大值。进一步将这个最大值增加相应制造公差 ΔT_{0m} , ΔT_{0n} 的绝对值,表达为 $T_{0m}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{mav}+T_{Ref})+|\Delta T_{0m}|$, $T_{0m}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax}+T_{Ref})+|\Delta T_{0m}|$ 或 $T_{0n}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{nav}+T_{Ref})+|\Delta T_{0n}|$, $T_{0n}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax}+T_{Ref})+|\Delta T_{0n}|$ 。像第二透镜的第一实施例中那样,并非绝对最大值温度,绝对平均温度也可以是足够的,但在这种情况下,第二透镜对于可能因为更高曝光功率导致的镜子温度的升高较不鲁棒。

[0101] 在第二投影透镜的第三实施例中,零交叉温度 T_{0m} , T_{0n} 之间的差异的绝对值大于

6K, 表达为 $\text{abs}(T_{0m}-T_{0n}) > 6K$ 。优选地, 在这种情况下, 第二投影透镜被设计为以波长在小于50nm的波长范围中的EUV光的大于8W的曝光功率来曝光。如已经结合本发明第一投影透镜的描述所描述的那样, 同样的优点也成立。优选地, 波长在从[12nm, 14nm]、[12.5nm, 13.5nm]、[5nm, 15nm]、[15nm, 25nm]和[25nm, 50nm]构成的组中选择的波长区间中。也可以针对本说明书中描述的EUV光刻投影曝光系统的透镜的其他实施例进行这样的波长选择。

[0102] 在第二投影透镜的第四实施例中, 使用至少四个或六个反射光学元件 M_i 。此外, 投影透镜被设计为以波长在小于50nm的波长范围中的EUV光的大于10W的曝光功率来曝光。随着EUV光的功率更高, 镜子的数目也增加。对于16W的功率, 如图6所示, 通常使用6个镜子。在这一实施例中, 零交叉温度 T_{0m} , T_{0n} 之间的差异绝对值大于8K, 表达为 $\text{abs}(T_{0m}-T_{0n}) > 8K$ 。

[0103] 根据本发明的第二透镜的第五实施例将至少一个被加热主体 MB_n , MB_m 的温度 T_k 控制在以相应零交叉温度 T_{0m} , T_{0n} 为中心的 $\pm 5K$, 更好 $\pm 2K$ 的区间之内, 以使任何热诱发的光学像差最小化。

[0104] 在第二投影透镜的第六实施例中, 在投影透镜受到EUV光的曝光功率作用之前的时间, 通过利用第一加热功率加热加热器300将至少一个被加热主体 MB_n , MB_m 的温度 T_k 控制到其值。这类似于第一投影透镜的第七实施例, 并减少了EUV投影系统的加温阶段。此外, 在第二投影透镜的第七实施例中, 第六实施例的加热功率小于投影透镜暴露于EUV光的曝光功率时的第一加热功率。在第二投影透镜的更高级第八实施例中, 温度控制系统200控制温度 T_k , 使得加热至少一个主体 MB_n , MB_m 的加热器300的加热功率和至少一个被加热主体吸收的EUV光的曝光功率在时间上恒定。这类似于第一投影透镜的相应实施例。在此(还针对这里所述的其他透镜实施例), 在时间上恒定意味着镜子受到的总热功率(例如任何加热器的加热功率和被吸收光, 像EUV光的功率之和)仅在从[0%, 20%], [0%, 10%], [0%, 5%]和[0%, 2%]构成的组中选择的总功率区间内变化。如果EUV源在时间上连续提供EUV光, 像同步加速辐射源那样, 就是这种情况。对于脉冲EUV源, 像等离子体EUV光源, 通过在若干脉冲上求平均值确定如上所述的总功率。选择脉冲数量, 使其在从[1, 5], [1, 10], [1, 20], [1, 50]和[1, 100]个脉冲构成的区间组中选择的区间内。

[0105] 在第二投影透镜的第九实施例中, 具有相应零交叉温度 T_{0m} , T_{0n} 的主体 MB_n 和 MB_m 由相同材料制造。此外, 在第二透镜的第十实施例中, 透镜包括4或6个形式为镜子的反射光学元件。如前所述, 第二透镜的镜子数量也可以根据要求变化, 可以将结合第一和第二投影透镜的教导原理应用于每个镜子或每个反射光学元件, 尤其是如果用于EUV光刻投影曝光设备中时。

[0106] 此外, 为了使光学像差, 尤其是由加热器300加热至少一个镜子或光学元件 M_k 的根据本发明第二透镜的投影透镜20中的光学像差最小化, 有利的是将至少一个被加热的光学元件 M_k 连接到致动器, 以实现其平移运动。这允许平移镜子 M_k , 以补偿镜子 M_k 的均匀加热, 如结合图3a所述那样。此外, 用于加热镜子或光学元件 M_k 的加热器300有利地包括从IR发光二极管、Peltier元件、光纤、光导棒和IR激光器构成的组中选择的加热元件, 如下文结合图13的描述中更详细所述。此外, 任选地在一个维度上或两个维度上在预定义空间坐标布置这种加热元件, 以形成栅格结构。有利地, 在加热元件发射或引导IR辐射的实施例中, 这些实施例包括光学装置, 用以配置IR辐射, 该光学装置包括从准直器、聚焦透镜、可调节透镜、镜子和衍射光学元件构成的组中选择的装置元件, 其中装置元件可以绕至少一个轴倾斜。图

13中示出了这种光学装置的范例。

[0107] 此外,在上述第二投影透镜的替代实施例中,至少一个光学元件 M_k 包括镜子主体 MB_k 中或上的变型。从凹陷、盲孔、定义的表面粗糙度、衍射结构、球形突起、球形凹陷和表面曲率构成的组中选择该变型。下文结合图13更详细描述变型用于引导例如IR辐射,以局部地加热光学元件。

[0108] 在下文中,将描述作为本发明一部分的第三投影透镜。这一第三投影透镜利用来自图9的知识,图9表明,如果设计透镜以将光学像差减小到最小值,不同镜子的零交叉温度随着EUV光功率增大而变得更加不同。对于图6的透镜,作为范例,如果透镜受到大约16W的EUV光作用,镜子 M_4 和 M_6 应当具有至少在基准温度以上大约1K的零交叉温度。相反,镜子 M_5 应当具有大约34℃的零交叉温度 T_{05} ,甚至更高,大约在22℃的基准温度以上12K或更高。根据本发明的第一和第二投影透镜的实施例,优选具有高于图9所示的零交叉温度。在这样的情况下,这些实施例的加热器能够加热镜子,例如将其均匀加热到相应的零交叉温度,以使光学像差最小化。因此,如果EUV光功率仍将增大(这是始终希望的),那么零交叉温度的差异也将升高,并变得大于11K,如同对图6所述的具有图9的值的透镜那样。这种差异可能将甚至加倍,尤其是如果在将来的透镜中使用更高的EUV光功率,使得最冷和最热镜子的差异将为大约20K,或甚至更大。在这种情况下,有利地,可以使用玻璃陶瓷,像Zerodur®,使得对于最冷和最热的镜子,使用相同的材料。在第一零交叉温度 T^1_0 或接近第一零交叉温度 T^1_0 处使用或操作两者中较冷的镜子。在高于第一个的第二零交叉温度 T^2_0 处或其附近使用或操作更热的镜子。这意味着,例如镜子 M_m 和镜子 M_n 由具有两个所述零交叉温度,表示为 T^1_{0mn} 和 T^2_{0mn} 的相同材料制造。如US2003/0125184A1中所示,存在着在大约0℃到大约100℃温度范围中具有两个零交叉温度的玻璃陶瓷材料,具有大约20K的零交叉温度的差异 $T^2_0 - T^1_0$ 。对于两个镜子仅使用一种材料还降低了投影透镜的成本。

[0109] 由于以上优点,根据本发明的第三投影透镜同样包括至少两个反射光学元件 M_i ,每个都具有主体 MB_i 和反射表面 MS_i ,如果利用波长在小于50nm的波长范围中的EUV光的曝光功率对投影透镜曝光,用于向衬底上的像场上投影分划板上的物场。如上所述,在由EUV光刻投影曝光系统的照射系统照射时,从分划板反射EUV光。至少两个反射光学元件的主体 MB_m , MB_n 包括具有与温度相关的热膨胀系数的材料,热膨胀系数在至少两个零交叉温度 T^1_{0mn} 和 T^2_{0mn} 为零。第三透镜还包括支撑结构,用于被动或主动支撑反射光学元件 M_i ,而支撑结构的至少一部分的温度处于基准温度,如上文结合例如图4、图5和图3所述。此外,第三透镜包括至少两个回火模块,优选为加热器,用于独立地加热或冷却两个反射光学元件的至少两个主体 MB_n , MB_m 。此外,第三投影透镜包括温度控制系统,用于将至少两个被加热或冷却的主体 MB_n , MB_m 的温度控制到相应温度 T_{kn} 和 T_{km} 。作为选择,两个零交叉温度 T^1_{0mn} 和 T^2_{0mn} 中的至少一个高于基准温度 T_{Ref} ,因为基准温度通常在22℃的范围中。这一任选实施例简化了材料选择,以得到具有两个零交叉温度的适当材料。此外,在利用EUV光的曝光功率对透镜曝光期间,主体 MB_n 的温度 T_{kn} 优选在以第一零交叉温度 T^1_{0mn} 为中心的±5K,更好±2K的区间内,主体 MB_m 的温度 T_{km} 优选在以第二零交叉温度 T^2_{0mn} 为中心的±5K,更好±2K的区间内。在第三透镜的另一实施例中,控制反射光学元件的主体的温度 T_{kn} 和 T_{km} ,使其尽可能接近相应的零交叉温度 T^1_{0mn} 和 T^2_{0mn} 。

[0110] 这里要指出,通常,可以针对每个镜子逐个设置基准温度 T_{Ref} 。这也取决于保持镜

子的所使用的支撑结构。在当前的系统中,基准温度对于所有镜子都是相同的。然而,将来这可能变化。因此,根据本发明,基准温度 T_{Ref} 的含义应理解是对于相关镜子或反射光学元件的基准温度。

[0111] 此外,根据本发明的第三投影透镜还可以具有冷却器和加热器,冷却器用于冷却具有最低零交叉温度 T^1_{0mn} 的镜子,加热器用于加热具有更高零交叉温度 T^2_{0mn} 的镜子。这具有如下优点:最低零交叉温度并不必然在基准温度 22°C 以上。通过应用冷却器,可以使用材料,其中 T^1_{0mn} 大约为 15°C ,如果参考图6,其用于例如镜子 M_4 或 M_6 ,其中 T^2_{0mn} 大约为 35°C ,其用于例如镜子 M_3 或 M_5 。镜子的这一选择实质上来自图9。例如,在US2003/0125184A1中公开了这种材料。当然,如果可以制造材料,以使得两个零交叉温度都在大约 22°C 到大约 40°C 的温度范围中,表示高于相应镜子或光学元件的基准温度 T_{Ref} ,那么第三透镜的优选实施例是利用加热器加热两个镜子 M_m 和 M_n 。

[0112] 在第三透镜的第二实施例中,不利用加热器加热,主体 MB_n , MB_m 的温度导致主体 MB_n , MB_m 相对于具有相应平均和最大温度 ΔT_{nav} , ΔT_{mav} 和 ΔT_{nmax} 与 ΔT_{mmax} 的基准温度 T_{Ref} 的温度分布 $\Delta T_n(x,y,z)=(T_n(x,y,z)-T_{Ref})$, $\Delta T_m(x,y,z)=(T_m(x,y,z)-T_{Ref})$ 。这是由利用被照射的分划板反射的EUV光对反射表面 MS_m 和 MS_n 曝光导致的,EUV光包括根据照射设定的角度、偏振和强度参数的空间分布。此外,两个零交叉温度 T^1_{0mn} 和 T^2_{0mn} 中的至少一个高于最高基准温度 T_{Ref} 和基于相应的空间温度分布 $\Delta T_m(x,y,z)$, $\Delta T_n(x,y,z)$ 的相应的绝对平均或最大温度 $\Delta T_{mav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{mmax}+T_{Ref}$, $\Delta T_{nav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{nmax}+T_{Ref}$ 中的最大值,表达为 $T^1_{0mn}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{mav}+T_{Ref})$, $T^1_{0mn}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax}+T_{Ref})$ 或 $T^2_{0mn}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{nav}+T_{Ref})$, $T^2_{0mn}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax}+T_{Ref})$ 。通过这种方式选择零交叉温度与已经结合本发明第一和第二透镜描述的具有类似优点。

[0113] 在第三透镜的第三实施例中,包括一种材料,由于制造导致制造公差 ΔT^1_{0mn} , ΔT^2_{0mn} ,该材料的零交叉温度 T^1_{0mn} 和 T^2_{0mn} 改变其实际值,使得相应的实际值在区间 $T^1_{0mn} \pm \Delta T^1_{0mn}$ 和 $T^2_{0mn} \pm \Delta T^2_{0mn}$ 内。由于这一公差,有利地,至少一个零交叉温度 T^1_{0mn} 和 T^2_{0mn} 高于最高基准温度 T_{Ref} 和基于相应的空间温度分布 $\Delta T_m(x,y,z)$, $\Delta T_n(x,y,z)$ 的相应的绝对平均或最大温度 $\Delta T_{mav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{mmax}+T_{Ref}$, $\Delta T_{nav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{nmax}+T_{Ref}$ 中的最大值,表达为 $T^1_{0mn}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{mav}+T_{Ref})+|\Delta T^1_{0mn}|$ 或 $T^1_{0mn}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax}+T_{Ref})+|\Delta T^1_{0mn}|$ 或 $T^2_{0mn}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{nav}+T_{Ref})+|\Delta T^2_{0mn}|$ 或 $T^2_{0mn}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax}+T_{Ref})+|\Delta T^2_{0mn}|$,空间温度分布额外增大了相应制造公差的绝对值。

[0114] 如上文对第二投影透镜的描述中所述的,对于第三投影透镜,作为替代,也可以通过 $T_{0n}>\max(T_{Ref}, T_{avn}+T_{Ref})$ 或 $T_{0m}>\max(T_{Ref}, T_{avm}+T_{Ref})$ 进行零交叉温度的选择,其中 T_{avn} 和 T_{avm} 是如上文例如结合图7或图3所述的镜子 M_m 和 M_n 的相应平均温度。然而,如果在选择过程中考虑最大温度而非平均温度,第三透镜也将更加鲁棒,例如对于曝光功率变化到更高值而言。像根据本发明的透镜的先前实施例那样,并非绝对最高温度,绝对平均温度也可以是足够的,但在这种情况下,第三透镜对可能因曝光功率更高的镜子温度升高而较不鲁棒。

[0115] 类似于本发明的第一和第二投影透镜,也控制第四实施例中的第三投影透镜,使得在投影透镜受到EUV光曝光功率作用之前的时间,通过利用第一加热功率加热加热器将至少一个被加热主体 MB_n , MB_m 的温度 T_{kn} 或 T_{km} 控制到其值。在第五实施例中,进行控制,以使得在利用EUV光的曝光功率对第三投影透镜曝光时期间,具有初始第一加热功率的加热器

的加热功率小于第一加热功率。作为第三投影透镜的第四和第五实施例的替代,在第三透镜的第六实施例中,温度控制系统控制温度 T_{km} 和 T_{kn} 中的至少一个,使得相应加热器的加热功率和至少一个温度受控主体 MB_m 或 MB_n 吸收的EUV光的曝光功率在时间上恒定。已经结合第一和第二投影透镜提到了第三透镜的第四到第六实施例的优点。

[0116] 在本发明第三投影透镜的第七实施例中,透镜被设计为以波长在小于50nm的波长范围中的EUV光的大于8W的曝光功率来曝光。尤其是图9表明,对于透镜受到曝光的更高EUV光功率,由于如前所述,当前已有材料可用,可以使用第三实施例。

[0117] 在第三投影透镜的第八实施例中,选择零交叉温度 T^1_{0mn} , T^2_{0mn} 之间的差异的绝对值大于6K,表达为 $\text{abs}(T^1_{0mn}-T^2_{0mn})>6K$ 。在这种情况下,投影透镜被设计为以波长在波长范围小于50nm的EUV光的大于8W的曝光功率来曝光。图9示出了这种透镜的范例。此外,在第三投影透镜4或6的第九实施例中,反射光学元件为镜子。如上所述,替代地或此外,可以操作第三投影透镜的实施例,使得例如在投影透镜受到EUV光曝光功率作用之前的时间,通过利用具有第一冷却功率的相应回火模块冷却,将温度受控主体 MB_n , MB_m 中的至少一个控制到其值。此外,在投影透镜受到EUV曝光光作用时,可以由回火模块提高第一冷却功率。冷却功率描述每次从温度受控主体至回火模块的热传递。同样,第三投影透镜的镜子数量可能根据要求变化。可以将第三投影透镜中使用的原理应用于每个镜子或每个反射光学元件,尤其是如果用于EUV光刻投影曝光设备中时。

[0118] 此外,为了使光学像差,尤其是由加热器300或回火模块加热或冷却至少一个镜子或光学元件 M_k 的根据本发明第三透镜的投影透镜20中的光学像差最小化,有利的是将至少一个被加热和/或冷却的光学元件 M_k 连接到致动器,以实现其平移运动。这允许平移镜子 M_k ,以补偿镜子 M_k 的均匀加热或冷却,如结合图3a所述那样。此外,回火模块,例如用于加热镜子或光学元件 M_k 的加热器300,有利地包括从IR发光二极管、Peltier元件、光纤、光导棒和IR激光器构成的组中选择的加热元件,如下文将利用图13的描述更详细所述。此外,任选地在一个维度上或两个维度上在预定义空间坐标布置这种加热元件,以形成栅格结构。有利地,在加热元件发射或引导IR辐射的实施例中,这些实施例包括光学装置,用以配置IR辐射,该光学装置包括从准直器、聚焦透镜、可调节透镜、镜子和衍射光学元件构成的组中选择的装置元件,其中装置元件可以绕至少一个轴倾斜。图13中示出了这种光学装置的范例。

[0119] 此外,在上述第三投影透镜的替代实施例中,至少一个光学元件 M_k 包括镜子主体 MB_k 中或上的变型。从凹陷、盲孔、定义的表面粗糙度、衍射结构、球形突起、球形凹陷和表面曲率构成的组中选择该变型。有利地使用下文结合图13更详细描述的变型以引导例如IR辐射,以局部地加热光学元件。

[0120] 此外,本发明还涉及一种配置EUV光刻投影曝光系统的投影透镜的方法。以下方法基于本发明前面实施例的教导。该配置方法包括如下步骤:

[0121] • 在第一步骤中,确定EUV投影透镜的反射光学元件 M_i 的数量。一些要求在于,投影透镜向衬底上给定尺寸的像场上投影分划板上给定尺寸的物场。为了投影,使用波长小于50nm的EUV投影光束。投影要求例如是具有预定质量的预定空间分辨率。

[0122] • 在第二步骤中,基于物场和像场的几何数据和预定的空间分辨率来确定每个反射光学元件 M_i 的面型和表面形状。

[0123] • 在第三步骤中,选择用于具有其形状和尺寸的每个反射光学元件 M_i 的衬底材

料,其中通过考虑热膨胀来选择材料。

[0124] • 在第四步骤中,从具有取决于温度的热膨胀系数的一组材料中选择至少一种衬底材料,热膨胀系数在零交叉温度 T_{0m} 处为零。这一材料优选用于具有高热负载的镜子。

[0125] • 在第五步骤中,确定每个反射光学元件 M_i 的最大热负载,该最大热负载是在EUV投影曝光系统的各种条件下向像场上投影物场期间预计的,各种条件例如是EUV光功率、分划板的透射或反射、各种照射设定和分划板上各种图案结构。

[0126] • 在第六步骤中,基于第五步骤,考虑到其热负载,确定每个反射光学元件 M_i 的空间温度 $T(x,y,z)$,连同其最大和其平均温度值 $T_{i\max}$ 和 $T_{i\text{av}}$ 。

[0127] • 在第七步骤中,基于零交叉温度 T_{0m} 选择具有零交叉温度 T_{0m} 的至少一种材料。进行选择,以使得与至少一种衬底材料相关的光学元件 M_m 的温度 $T(x,y,z)$ 的最大温度或平均温度 $T_{m\max}$ 和 $T_{m\text{av}}$ 低于零交叉温度 T_{0m} ,表达为 $T_{m\max}T_{0m}$ 或 $T_{m\text{av}}<T_{0m}$ 。

[0128] • 在第八步骤中,利用所选择的材料形成镜子和透镜。

[0129] 在优选方法中,该配置方法包括额外的步骤,其中选择至少一种材料,以使得零交叉温度 T_{0m} 高于增加上相应制造公差 ΔT_{0m} 的绝对值的最大温度或平均温度 $T_{\max}$ 和 T_{av} ,以制造具有零交叉温度的材料,表达为 $T_{0m}>T_{m\max}+|\Delta T_{0m}|$ 或 $T_{0m}>\max(T_{\text{Ref}}, T_{m\max})+|\Delta T_{0m}|$ 。对于这种材料选择,还考虑了零交叉温度 T_{0m} 的偏差,因为由于制造工艺参数的原因,它们的实际值会变化,例如如US2003/0125184A1所述。零交叉温度 T_{0m} 的实际值在区间 $T_{0m}\pm\Delta T_{0m}$ 内。

[0130] 该配置方法可以包括,选择具有零交叉温度 T_{0m} 的一种材料,以使其包括第二零交叉温度 T_{0m}^2 ,该零交叉温度与该第二零交叉温度之间的差异的绝对值小于40K,表达为 $abs(T_{0m}-T_{0m}^2)<40K$ 。这具有以下优点,这样的材料适用于EUV投影透镜的两个镜子,而两个镜子具有不同的热负载,导致非常不同的零交叉温度,以使光学像差最小化,如结合图9所述的。

[0131] 此外,该配置方法可以包括,将具有第二零交叉温度的材料用作至少一个额外反射光学元件的衬底材料,如刚才所述那样。

[0132] 该配置方法可以包括如下步骤:选择加热器300和温度控制系统200,以使得具有零交叉温度的至少一种材料可加热到其零交叉温度。

[0133] 在下文中,描述了加热器300的各种实施例。此外,还示出了加热方法和用于反射光学元件 M_k 的特殊主体,其允许加热反射元件或镜子,使得热诱发的光学像差变为最小。这些其他方面还被作为本发明的部分来处理。

[0134] 图10示意性示出了EUV投影透镜,例如如图4和图5所示,的反射光学元件 M_k ,像镜子421的侧视图。光学元件包括反射表面 MS_k ,其可以是镜面450或也可以是衍射表面。通常,也是在所有反射光学元件上,根据本发明,反射表面可以包括衍射结构,以形成用于入射辐射的衍射光学元件。入射辐射1000可以是EUV光投影束4(参见图1),或者可以是另一波长的光,例如红外光。此外,在图10中,示意性地示出了支撑模块,像结合图4和图5描述的这样一些模块那样,其中使用了相同的附图标记。这些支撑模块例如是图4中所述的链接点451、链接元件471或两脚架结构461。还示出了支撑元件480和外壳结构481的一部分。此外,示出了加热器或一般的第一回火元件300。已经连同图5一起描述了这种加热器或第一回火元件300的部分和一些实施例。加热器和回火元件之间的差异在于,加热器仅能够以受控方式加热,而回火元件能够以受控方式加热和冷却。在此,加热表示从加热器或回火元件向其周围传递热能。冷却表示从加热器或回火元件周围向加热器或回火元件传递热能,可以控制加

热器或回火元件,使其温度低于周围温度。此外,图10所示的实施例包括冷却器或第二回火元件350。冷却器350或第二回火元件优选布置于加热器或第一回火元件300和支撑元件480和/或外壳结构481(未示出)和/或支撑模块451、461、471(未示出,参见图5)之间。如果使用加热器或第一回火元件300来影响反射光学元件 M_k 的温度分布,则存在反射元件 M_k 周围的其他元件温度也改变的风险。这样的元件例如可以是支撑元件480、外壳结构481或支撑模块451、461、471。然而,这些元件的一些必须处于控制很好的恒温下,以将反射光学元件或镜子 M_k ,421保持在其位置。如上所述,这个位置必须要在纳米,甚至亚纳米范围内恒定。因此,这些元件被指定为热敏元件。例如,利用加热器或第一回火元件300对反射光学元件或镜子 M_k ,421的周围进行任何加热和/或冷却以影响其温度或温度分布,都可能改变这个位置。因此,制造冷却器或第二回火元件350,使其吸收由加热器或第一回火元件300导致的任何热效应。这意味着,在冷却器350或第二回火元件的面向热敏元件(像支撑元件480和/或外壳结构481和/或支撑模块451、461、471)的方向的一侧351,冷却器或第二回火元件的温度保持恒定,导致热敏元件温度恒定,使得相应光学元件 M_k 的位置在纳米,甚至亚纳米水平上恒定。利用这种手段,即使例如加热器或第一回火元件改变其温度以影响反射光学元件或镜子 M_k ,421的温度或温度分布,从而实现结合本发明上述投影透镜描述的优点,也可以减小这些热敏元件的温度变化。

[0135] 由于图10所示实施例的优点,本发明还涉及EUV光刻投影曝光系统的第四投影透镜,其包括多个反射光学元件 M_i 。每个反射元件 M_i 包括主体 MB_i 和反射表面 MS_i ,如果以波长在小于50nm的波长范围中的EUV光的曝光功率对投影透镜曝光,以向衬底上的像场上投影分划板上的物场,EUV光是在用EUV光刻投影曝光系统的照射系统照射分划板的同时从分划板反射的。透镜还包括支撑模块,其包括从链接点451、两脚架结构461、链接元件471、支撑元件480和外壳结构481构成的组中选择的热敏元件,用于被动或主动支撑至少一个光学元件 M_k 。此外,将热敏元件控制到恒定温度或预定义温度。该透镜还包括第一回火元件300和第二回火元件350,第一回火元件300用于将至少一个光学元件 M_k 加热和/或冷却到温度 T_k ,第二回火元件350用于将热敏元件回火到恒定温度或预定义温度。此外,第二回火元件350在空间上布置于热敏元件和第一回火元件300之间。

[0136] 在第四投影透镜的另一第二实施例中,被加热或冷却的反射光学元件 M_k 包括具有与温度相关的热膨胀系数的材料,热膨胀系数在与热敏元件的恒定或预定义温度不同的零交叉温度 T_{0k} 处为零。优选地,在第四投影透镜的另一第三实施例中,第四投影透镜中热敏元件的温度处于基准温度 T_{Ref} 。基准温度 T_{Ref} 具有与本发明的其他投影透镜相同的含义或如这里所述的含义。优选地但非必然地,基准温度 $T_{Ref}=22^{\circ}\text{C}$ 或处于操作光刻投影曝光设备以批量生产的清洁室的温度。

[0137] 第四投影透镜的另一第四实施例包括以上第二和第三实施例的特征,此外还包括如下特征:不利用第一回火元件300对主体 MB_k 回火,利用由被照射的分划板反射的EUV光对反射表面 MS_k 进行曝光,并包括根据照射设定的角度、偏振和强度空间分布,这导致主体 MB_k 相对于具有平均和最大温度 ΔT_{kav} 和 ΔT_{kmax} 的基准温度的温度分布 $\Delta T_k(x,y,z)=(T_k(x,y,z)-T_{Ref})$ 。此外,在这一实施例中,零交叉温度 T_{0k} 高于基准温度 T_{Ref} 和基于空间温度分布 $\Delta T_k(x,y,z)$ 的相应的平均或最高温度增加基准温度得到的 $\Delta T_{kav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{kmax}+T_{Ref}$ 中的最大值,表达为 $T_{0k}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{kav}+T_{Ref})$ 或 $T_{0k}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{kmax}+T_{Ref})$ 。

[0138] 在第四投影透镜的另一第五实施例中,由于制造过程,具有零交叉温度 T_{0k} 的材料改变其零交叉温度的实际值。这导致制造公差 ΔT_{0k} ,使得实际值在区间 $T_{0k} \pm \Delta T_{0k}$ 内。在这一实施例中,选择零交叉温度 T_{0k} 高于基准温度 T_{Ref} 和(基于空间温度分布 $\Delta T_k(x, y, z)$ 的)相应的平均或最高温度增加基准温度得到的 $\Delta T_{kav} + T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{kmax} + T_{Ref}$ 中的最大值,该最大值被增加了制造公差 ΔT_{0k} 的绝对值,表达为 $T_{0k} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{kav} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0k}|$, $T_{0k} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{kmax} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0k}|$ 。

[0139] 在第四投影透镜(及其实施例)的另一第六实施例中,反射光学元件 M_k 的零交叉温度 T_{0k} 低于基准温度 T_{Ref} ,或至少比基准温度高6K。在零交叉温度低于基准温度的情况下,由第一回火模块将反射光学元件 M_k 冷却到接近这个零交叉温度的温度。可以将第四投影透镜的这个特征用于本发明的第三投影透镜中,用于如上所述地冷却具有最低零交叉温度的镜子。如果零交叉温度 T_{0k} 至少在所述基准温度以上6K,可以将第四投影透镜的这个特征用于根据第一投影透镜的投影透镜中,其中两个反射元件的零交叉温度相差至少6K,且两个反射元件之一具有接近或处于基准温度的零交叉温度。如本发明的第一投影透镜的描述中所述,这样的投影透镜被设计为用于大于8W的EUV曝光功率(也参见具有描述的图9)。

[0140] 在第四投影透镜(及其实施例)的另一第七实施例中,反射光学元件 M_k (在至少一个空间维度上)均匀受到第一回火元件300导致的热传递作用。这样的均匀热传递均匀加热或冷却光学元件 M_k ,如果仅考虑第一回火元件300的影响,这导致反射光学元件 M_k 沿至少一个维度的恒定温度分布。第四投影透镜的这一变化可以用于第一、第二和第三投影透镜中,例如以将反射光学元件均匀加热到或接近其零交叉温度,如结合这些投影透镜所述的,并如图3a到3i和图5示意性所述的。有利地,在第四投影透镜的另一实施例及其各实施例中,光学元件 M_k 连接到致动器,以实现其平移运动。对于将光学元件均匀加热或冷却到与基准温度 T_{Ref} 不同的温度的情况,如例如结合图3a和图3b所述的,这是为了使投影透镜或光学元件 M_k 的光学像差最小化。

[0141] 如图10所示,在第四投影透镜及其实施例的优选第八实施例中,第一回火元件300位于与其反射表面 MS_k 相反的至少一个光学元件 M_k 的主体 MB_k 一侧上。这是图5针对加热器300所述的第一回火元件300的类似布置。在第四投影透镜及其实施例中,优选地,第一回火元件300包括Peltier元件或辐射源,发射辐射,辐射的波长对于至少一个光学元件 M_k 的主体 MB_k 而言是半透明的。如图10所示,在第四投影透镜的另一实施例中,第二回火元件350位于第一回火元件300的与至少一个光学元件 M_k 的主体 MB_k 相反的一侧上。

[0142] 在根据图10的一个实施例中,回火元件300可以是Peltier元件或可以包括如上所述的Peltier元件。Peltier元件可以加热或冷却其面向反射元件或镜子 M_k ,421方向的表面侧362的周围。优选地,Peltier元件平行于或大致平行于反射元件 M_k ,421的与反射表面 MS_k ,450相反的表面延伸。如果Peltier元件的尺寸至少使得反射表面,或甚至反射元件可以从一侧被覆盖,那么可以对反射元件进行均匀加热和/或冷却,实现在此所述(例如结合图3a)的所有优点。为了使Peltier元件效率更高,优选通过,例如将其表面361之一耦合到冷却器350或第二回火元件的表面352之一,将其耦合到冷却器350,或通常耦合到第二回火元件。冷却器350或通常第二回火元件可以具有一种夹层结构,使得与第一回火或Peltier元件300接触的表面352与朝向热敏元件,像支撑元件480、外壳结构481或支撑模块451、461、471的方向的表面351分开。在另一实施例中,第一回火元件300可以包括几个Peltier元件。优

选地,沿至少一个维度并排布置Peltier元件,以形成阵列状布置。在两个甚至三个维度上布置Peltier元件也是有利的。优选地,可以由控制系统,例如图5所述的温度控制系统控制这种装置的每个Peltier元件。在这种情况下,可以调节指向反射元件或镜子一侧上的可控温度分布。这将以受控方式影响反射元件或镜子 $M_k, 421$ 内的温度分布。可以使用这样的加热器或回火元件以根据本发明的教导对反射元件或镜子 $M_k, 421$ 进行温度控制,使得热诱发的光学像差或成像误差最小化。在根据本发明的第三投影透镜中使用所述Peltier元件300或Peltier元件装置作为回火模块将具有如下优点:可以将(根据本发明第三投影透镜)具有低零交叉温度 T_{0mn}^1 的镜子冷却到该温度或甚至更低,这在零交叉温度低于基准温度 T_{Ref} 的情况下是重要的。此外,可以将具有高零交叉温度 T_{0mn}^2 (或零交叉温度高于基准温度 T_{Ref})的镜子加热到该温度或相应工作温度,如上文结合根据本发明的投影透镜中的一项所述的。

[0143] 在第四投影透镜及其上述实施例的另一实施例中,投影透镜包括压力控制系统,用于控制至少一个反射光学元件 M_k 周围的压力 Δp 。下文将结合图11描述这样的压力控制系统。压力控制基于从以下构成的组中选择的参数:反射光学元件 M_k 的温度、时间、直接或间接影响光学元件 M_k 温度的参数、照射设定、分划板的变化、光学元件 M_k 或投影透镜的热或机械诱发的光学像差数据以及来自模型的输出参数。模型输入包括从以下构成的组选择的数据:反射光学元件 M_k 的温度、时间、直接或间接影响光学元件 M_k 温度的参数、照射设定、光学元件 M_k 或投影透镜的热或机械诱发的光学像差数据以及分划板的变化。此外,压力控制系统优选包括至少一个光学元件 M_k 附近的气体入口和/或气体出口。

[0144] 根据本发明的第四投影透镜优选操作为:通过在投影透镜受到EUV光曝光功率作用之前的时间由第一回火元件以第一加热功率加热,将光学元件 M_k 的温度 T_k 控制到其值。然后,在投影透镜受到EUV光的曝光功率作用期间,第一回火元件的加热功率小于第一加热功率。此外,在第四投影透镜及其各实施例的优选实施例中,由第一回火元件300加热和/或冷却的至少一个光学元件 M_k 的温度 T_k 是零交叉温度 T_{0k} 。

[0145] 图11示意性示出了本发明的另一实施例,类似于图10所示,其中相似元件是用相同附图标记表示的。在下文中,描述仅集中于和图10实施例的差异。未描述的元件及其功能如图10中所述的那些。在图11的实施例中,没有加热器或回火模块。通过反射元件或镜子 $M_k, 421$ 周围压力(指定为 Δp)的压力控制,控制反射光学元件或镜子 $M_k, 421$ 的温度。在这种情况下,例如,根据反射元件或镜子 $M_k, 421$ 的温度、根据时间、根据直接或间接影响反射元件或镜子 $M_k, 421$ 的温度的其他参数,来控制压力。此外,控制压力的控制系统可以包括使用输入数据的模型,像所述的函数变量,以任选地调节模型并提供输出参数,如压力或任何直接或间接影响所述周期压力的参数。从上文可知,本发明还涉及第五投影透镜。第五投影透镜是EUV光刻投影曝光系统的投影透镜。透镜包括多个反射光学元件 M_i ,每个反射元件 M_i 包括主体 MB_i 和反射表面 MS_i ,在以EUV光刻投影曝光系统的照射系统照射分划板的同时从分划板反射光时,如果以波长在小于50nm的波长范围中的EUV光的曝光功率对投影透镜曝光,则用于向衬底上的像场上投影分划板上的物场。透镜还包括用于被动或主动支撑至少一个光学元件 M_k 的支撑模块,用于控制至少一个反射光学元件 M_k 周围压力的压力控制系统(如结合图11的实施例所述),其中控制基于从以下构成的组中选择的参数:反射光学元件 M_k 的温度、时间、直接或间接影响光学元件 M_k 温度的参数、照射设定、分划板的变化、光学元件 M_k 或

投影透镜的热或机械诱发的光学像差数据以及来自模型的输出参数。此外,该模型利用从以下构成的组中选择的输入数据:反射光学元件 M_k 的温度、时间、直接或间接影响光学元件 M_k 温度的参数、照射设定、光学元件 M_k 或投影透镜的热或机械诱发的光学像差数据以及分划板的变化。

[0146] 下文还参考图11以各种变型的实施例更详细地描述第五投影透镜。

[0147] 在第五投影透镜的第二实施例中,从链接点451、两脚架结构461、链接元件471、支撑元件480和外壳结构481构成的组中选择包括热敏元件的支撑模块(如结合图10所述),用于被动或主动支撑至少一个光学元件 M_k ,其中由冷却器350将热敏元件控制到恒定或预定义温度。优选地,在热敏元件和至少一个光学元件 M_k 之间在空间上布置冷却器350。在第五投影透镜及其各实施例中,至少一个光学元件 M_k 周围的压力在0.1Pa到10Pa范围中,更优选地,在1Pa和5Pa之间的范围中。至少一个光学元件 M_k 和冷却器350之间的距离优选在1mm到10mm范围中,更优选在3mm和5mm之间的范围中。此外,压力控制系统包括至少一个反射光学元件 M_k 附近的气体入口和/或气体出口。利用气体入口和/或气体出口(图11中未示出),可以调节至少一个光学元件 M_k 周围的压力。在第五投影透镜的另一优选实施例中,可以调节至少一个反射光学元件 M_k 和冷却器350之间的冷却器350的距离,以控制这些元件之间的热传递。

[0148] 此外,与利用图10所述的第四投影透镜及其实施例类似,在第五投影透镜中,至少一个反射光学元件 M_k 还包括具有与温度相关的热膨胀系数的材料,热膨胀系数在零交叉温度 T_{0k} 处为零。通常,这个零交叉温度与热敏元件的恒定或预定义温度不同,其温度优选,但不必需处于基准温度 T_{Ref} ,如结合参考图10所述的本发明第四投影透镜的。

[0149] 第五投影透镜有利地提供了如下可能性:压力 Δp (受到控制系统的控制)使得至少一个反射光学元件 M_k 的温度处于其零交叉温度。

[0150] 通常,反射元件或镜子 M_k ,421的周围包括压力在大约1到5Pa(帕斯卡)范围,优选大约3.5Pa压力的气体。冷却器350通常屏蔽热敏元件,使得镜子421的任何温度变化不会影响它们,如已经结合图10所述的。为此,优选地,在热敏元件和至少一个光学元件 M_k 之间在空间上布置冷却器350。

[0151] 由支撑模块或镜子421支持的至少一个光学元件和冷却器350之间的距离大约为3到5mm。在这个空间之内,存在上文提到的气体压力。通常使用氢作为气体。如果,对于氢气而言,压力变化大约 $\pm Pa$,那么气体的热阻将改变大约 $\pm 25\%$ 。通过利用压力控制系统控制镜子421紧邻环境的压力,可以根据时间,在其绝对温度和其温度分布方面控制镜子。作为范例,在EUV投影过程开始时,镜子421处于与其在稳态中那样的较低温度。在这种情况下,压力降低,使得镜子加热更快,以到达其稳态温度。作为另一范例,如果照射设定和/或分划板变化,如上所述,最可能的是EUV投影透镜经受的功率也将变化。在这种情况下,镜子421将加热到更高或更低的稳态温度。在第一种情况下,压力增大,以减小冷却器350和镜子421之间的热阻。在第二种情况下,压力将减小,以增大气体的热阻,使镜子到达最接近零交叉温度的其最佳的稳态温度(利用图7解释了这种情况)。应用镜子421周围的气体压力的调节将影响稳态温度。理想地,稳态温度应该是零交叉温度,以使光学像差最小化。作为另一应用,还可以补偿例如由于制造公差造成的特定镜子 M_k 零交叉温度的小变化,从而调节这个镜子紧邻环境中的压力,使得在稳态中这个镜子的平均温度 T_{avk} 最好地符合零交叉温

度。这样的压力控制要求EUV透镜的各个镜子或反射光学元件紧邻环境中的压力可以独立地被改变。实际上,这通过镜子附近的气体入口和气体出口完成。由此,在第五投影透镜的另一实施例中,压力控制系统包括由支撑模块支持的至少一个反射光学元件 M_k 附近的气体入口和气体出口。

[0152] 在第五投影透镜的其他实施例中,还可以调节冷却器表面352的距离,或一般地,冷却器350和镜子421或反射光学元件 M_k 之间的距离,以控制这些元件之间的热传递。

[0153] 图12a示出了用于5mm和25mm传输路径的Zerodur®传输。其表明,Zerodur®对于波长在700nm直到大约2 μ m范围中的光(这里进一步表示为红外或IR辐射或IR光)具有大约恒定的吸收系数。对于波长在这个范围中的IR光,Zerodur®中的衰减长度大约为50mm到大约100mm。这来自图12a。图3d和图3h还示出了EUV投影透镜中使用的镜子的典型镜子尺寸。直径典型地在200mm到600mm的范围中,厚度高达100mm。这意味着,如果IR光在Zerodur®材料中通过50mm到大约100mm的距离,那么沿其路径吸收其63%的能量。因此,衰减长度很好地匹配EUV透镜的镜子的尺寸,使得镜子如果由Zerodur®制造或如果包括Zerodur®,可以由所述IR光加热。这是因为IR光在大约50mm直到甚至100mm和更多的距离上沉积其能量。这样的距离可以通过或多或少均匀的方式同时升温。这意味着,例如,如图5、图10或图11所示,镜子 M_k 的镜子主体 MB_k 对于包括红外线范围中波长的辐射是半透明的,如图12a所示。为了利用这一效果,图12b示意性示出了本发明的另一实施例,其中在反射光学元件或镜子 M_k ,421的整个或几乎整个表面上涂覆涂层C,以使镜子可以利用IR辐射加热。涂层C与反射表面 MS_k ,450不同,其还可以包括形式为多层的涂层,以反射EUV光。

[0154] 选择涂层C,以使得红外辐射IR被反射。可以使用非常薄的金属层作为涂层材料。也可以使用反射IR辐射的其他涂层。此外,可以调整涂层和IR辐射的波长,以使其反射最佳化。涂层C具有如下功能:IR辐射不会离开镜子主体 MB_k ,并且由于图12b中示为1002的各种反射,镜子得到更均匀的加热。利用该方法,IR辐射几乎即时和完全地沉积其能量在镜子主体 MB_k 中。为了使IR辐射进入镜子主体 MB_k 中,其至少一个表面区域未涂覆或涂层对于IR辐射是部分透明的。这样的表面区域由1004和1006表示,称为IR窗口。IR窗口或多个IR窗口1004、1006位于镜子上的适当位置,这考虑到IR辐射在镜子主体材料内的衰减长度、几何形式和镜子尺寸。还考虑关于构造空间的任何限制。然而,由于衰减长度较大,或换言之,在镜子尺寸的范围中,IR窗口的位置不那么关键。尤其是,该位置可以在镜子主体 MB_k 的布置有反射元件或镜子的反射表面 MS_k ,450的一侧上,如图12b的范例所示的。这具有如下优点:也可以使用镜子前方的构造空间以将IR辐射耦合到反射元件或镜子中。大部分其他加热器或回火模块不能用于这个空间中,因为它们将阻碍或遮挡EUV投影束1000。优选地,IR窗口围绕反射表面 MS_k ,450,如图12b中示意性所示的。作为另一选项,IR窗口包括特定表面粗糙度或衍射结构,以在镜子主体内散射或分布IR辐射。此外,IR辐射可以至少部分共享与EUV投影束1000相同的构造空间,如图12b中针对右IR射束所示的。作为IR辐射源,可以使用任何源,如激光器、IR二极管、灯丝或灯等。根据IR源,可以使用适当的光学装置以配置IR辐射,使得可以通过IR窗口将其耦合到反射元件或镜子 M_k ,421中。这样的光学装置可以包括透镜和镜子或一般的折射、衍射和/或反射光学元件。此外或替代地,这样的光学装置还可以包括石英纤维或光纤(通常地,光导),例如,用于将IR辐射从IR源输送到IR窗口1004,1006。在这种情况下,甚至可以将IR源定位在EUV投影透镜外部或EUV光刻投影系统外部。如图12b所

述的反射光学元件或镜子 M_k ,421具有如下优点:加热器或回火元件或回火模块(包括IR源和任选的光学装置,用以配置IR光)与反射元件或镜子 M_k 无机械接触。

[0155] 在本发明的另一实施例中,可以将图12b的反射元件或镜子与回火元件或回火模块一起使用,例如,图10的实施例的加热器300和/或这里所述的冷却器350,或如图11的实施例所述的。此外,或作为替代,也可以将图11所述的压力控制与图12b的实施例一起使用。所有这些实施例可以有利地用于EUV投影透镜中,尤其是根据本发明上述的一个实施例中,优选在根据本发明的第一、第二和第三投影透镜中,以具有热诱发的光学像差最小化的优点。

[0156] 图12a和图12b的以上论述导致根据本发明的第六投影透镜,并在图12b中示出。用于EUV光刻投影曝光系统的第六投影透镜的第一实施例包括多个反射光学元件 M_i 。每个反射光学元件 M_k 包括主体 MB_i 和反射表面 MS_i ,如果以波长在小于50nm的波长范围中的EUV光的曝光功率对投影透镜曝光,以向衬底上的像场上投影分划板上的物场,EUV光是在用EUV光刻投影曝光系统的照射系统照射分划板的同时从分划板反射的。此外,至少一个反射光学元件 M_k 包括具有与温度相关的热膨胀系数的材料,热膨胀系数在零交叉温度 T_{0k} 为零。此外,光学元件 M_k 的主体 MB_k 对于IR辐射是半透明的,具有其主体 MB_k 的至少一个反射光学元件 M_k 包括主体 MB_k 整个或几乎整个表面上的涂层C。涂层C反射主体 MB_k 内部的IR辐射。

[0157] 第六投影透镜的第二实施例包括IR光源或包括光学装置,以形成IR光路。IR光源或IR光路将IR辐射耦合到包括涂层C的主体 MB_k 中。在优选实施例中,IR光源或光学装置包括从激光器、IR二极管、灯丝、透镜、镜子、折射元件、衍射元件、反射元件、光导和光纤构成的组中选择的元件。此外,主体 MB_k 优选包括未涂覆涂层C的表面区域1004、1006,或包括具有对IR辐射半透明的涂层的表面区域1004、1006,用于将IR辐射耦合到主体 MB_k 中。优选地,涂层C包括金属。

[0158] 在第六投影透镜的另一实施例中,在包括反射表面 MS_k 的主体 MB_k 一侧布置表面区域1004、1006。替代地或此外,表面区域1004、1006围绕反射表面 MS_k 。此外,表面区域1004、1006可以包括表面粗糙度,以向主体中散射IR辐射,或者表面区域可以包括衍射结构,以通过衍射在主体 MB_k 内分布IR辐射。

[0159] 在第六投影透镜的另一实施例中,由IR辐射和EUV光照射反射表面 MS_k 附近的构造空间。优选地,在投影透镜外部或EUV光刻投影曝光系统外部布置IR源。

[0160] 此外,如上述第一到第五投影透镜中那样,在第六投影透镜中,光学元件 M_k 还任选地连接到致动器,以实现其平移运动。

[0161] 类似于第一到第五投影透镜,第六投影透镜也可以包括这样的实施例,其包括位于至少一个光学元件 M_k 的主体 MB_k 的与其反射表面 MS_k 相反一侧的冷却器350。此外,冷却器350到至少一个反射光学元件 M_k 的距离优选是可调节的,用以控制这些元件之间的热传递。替代地或此外,第六投影透镜(及其实施例)包括压力控制系统,用于控制至少一个反射光学元件 M_k 周围的压力 Δp 。此外,所提到的压力控制系统可以包括至少一个光学元件 M_k 附近的气体入口和/或气体出口。

[0162] 在不以IR辐射辐照第六投影透镜的主体 MB_k 的情况下,以EUV光(由被照射的分划板反射,且包括根据照射设定的角度、偏振和强度的空间分布)对反射表面 MS_k 进行曝光导致主体 MB_k 的温度 $T_k(x,y,z)$ 相对于基准温度 T_{Ref} 的温度分布 $\Delta T_k(x,y,z)=(T_k(x,y,z)-$

T_{Ref})。温度分布包括平均值和最高温度 ΔT_{kav} 和 ΔT_{kmax} 。优选地,零交叉温度 T_{0k} 高于基准温度 T_{Ref} 和基于空间温度分布的相应的平均或最高温度加基准温度 $\Delta T_{kav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{kmax}+T_{Ref}$ 中的最大值,表达为 $T_{0k} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{kav}+T_{Ref})$ 或 $T_{0k} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{kmax}+T_{Ref})$ 。此外,如果由于制造导致制造公差 ΔT_{0k} ,具有零交叉温度的材料改变其零交叉温度 T_{0k} 的实际值,使得零交叉温度 T_{0k} 的实际值在区间 $T_{0k} \pm \Delta T_{0k}$ 内,则选择零交叉温度高于基准温度 T_{Ref} 和基于空间温度分布 $\Delta T_k(x, y, z)$ 的相应的平均或最高温度加基准温度 $\Delta T_{kav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{kmax}+T_{Ref}$ 中的最大值,其中最大值增大制造公差的绝对值,表达为 $T_{0k} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{kav}+T_{Ref}) + |\Delta T_{0k}|$, $T_{0k} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{kmax}+T_{Ref}) + |\Delta T_{0k}|$ 。

[0163] 在第六投影透镜(及其各实施例)的另一实施例中,通过在投影透镜受到EUV光曝光功率作用之前的时间以第一IR辐射功率辐照光学元件 MB_k ,将光学元件 M_k 的温度 T_k 控制到其值。任选地,在投影透镜受到EUV光的曝光功率作用期间,IR辐射功率小于第一IR辐射功率。

[0164] 此外,本发明涉及镜子(如图12所示),其包括主体 MB_k 和反射表面 MS_k ,以及具有取决于温度的热膨胀系数的材料,该热膨胀系数在零交叉温度 T_{0k} 为零。此外,光学元件 M_k 的主体 MB_k 对于IR辐射而言是半透明的,主体 MB_k 包括主体 MB_k 整个或几乎整个表面上的涂层 C ,其中涂层 C 反射主体 MB_k 内部的IR辐射,并且其中镜子适于EUV光刻投影曝光系统的投影透镜,如果以波长在小于50nm的波长范围中的EUV光的曝光功率对投影透镜曝光,用于向衬底上的像场投影分划板上的物场。任选地,镜子主体 MB_k 包括未涂覆涂层 C 的表面区域1004,1006,或其包括具有涂层的表面区域1004,1006,涂层对于IR辐射而言是半透明的,均用于将IR辐射耦合到主体 MB_k 中。优选地,涂层包括金属。在镜子的另一实施例中,在镜子主体 MB_k 上布置反射表面 MS_k 的一侧布置表面区域1004,1006。替代地或此外,表面区域1004、1006围绕反射表面 MS_k 。在根据本发明的镜子的另一实施例中,表面区域1004,1006包括表面粗糙度,以将IR辐射散射到主体中,或者表面区域包括衍射结构,以通过衍射在主体 MB_k 内分布IR辐射。

[0165] 图12c示意性示出了本发明的另一实施例,其中反射光学元件或镜子 M_k ,421在其表面上至少部分涂覆有涂层 C_2 ,以使得镜子可加热。根据本实施例,涂层 C_2 与反射表面 MS_k ,450不同,反射表面也可以包括形式为多层涂层的涂层,以反射EUV光1000。选择涂层 C_2 ,以使其具有特定电阻,因此将其称为电阻涂层 C_2 。如果在电阻涂层 C_2 中,产生电流,那么产生能量,该能量作为热能传递到反射元件或镜子 M_k 以使其升温。通过这种方式,可以控制反射元件或镜子 M_k ,421的温度。在这一实施例中,加热器或回火模块300包括电阻涂层 C_2 和连接到涂层 C_2 的电压源 VS 。根据本发明的本实施例,电阻涂层 C_2 可以覆盖主体 M_k 的表面。优选地,在反射表面 MS_k ,450和主体 MB_k 之间没有电阻涂层 C_2 。或者,以电阻涂层 C_2 仅涂布主体表面的一部分或几个部分。选择这些部分,从而可以实现主体中和/或反射表面上均匀的温度分布。如上述实施例中那样,这将使反射元件或镜子的像差最小化。可以由电压在电阻涂层 C_2 中产生电流。因此,电压源 VS 连接到光学元件 M_k ,421的电阻涂层 C_2 。这可以由电缆1008实现。替代地或此外,电压源 VS 安装在数字1010所示的主体上。如果电压源安装在主体 MB_k 上,没有像使用电缆或导线1008时那样由涂层 C_2 形成的加热器或回火模块300到支撑结构的机械连接。有利地,那么将没有从电缆或电线向镜子或反射光学元件 M_k ,421传递的力或力矩。

[0166] 在本发明的另一实施例中,根据图12c所述的实施例,可以将图12c的反射元件或

镜子与回火元件或回火模块一起使用,例如,图10的实施例的回火模块或加热器300和/或所述的冷却器350。此外,或作为替代,也可以将结合图11所述的压力控制与图12c的实施例一起使用。此外,可以组合图12b和12c的实施例,例如,将涂层C用于反射IR光并作为电阻涂层C2。作为替代,可以利用电阻涂层C2覆盖(图12b的)IR反射涂层C,由图12c所述的电压源VR加热电阻涂层C2。同样,所有这些实施例可以有利地用于EUV投影透镜中,尤其是根据本发明上述的一个实施例中,优选在根据本发明的第一、第二和第三到第六投影透镜中,以减小热诱发的光学像差。

[0167] 由于结合具有结合图12c描述的镜子或反射光学元件的投影透镜的实施例描述的优点,本发明还涉及第七投影透镜及其中使用的镜子。

[0168] 结合图12c,根据本发明的镜子包括主体 MB_k 和反射表面 MS_k 。此外,镜子包括具有与温度相关的热膨胀系数的材料,热膨胀系数在零交叉温度 T_{0k} 为零,主体 MB_k 至少部分涂覆有电阻涂层C2,其中电阻涂层C2具有适于通过电阻加热加热主体的电阻。此外,镜子适于EUV光刻投影曝光系统的投影透镜,如果以波长在小于50nm的波长范围的EUV光的曝光功率对投影透镜曝光时,用于向衬底上的像场上投影分划板上的物场。优选地,电阻加热介于0.01W和1W之间。此外,涂层C2连接到电压源VS。电压源优选附着于镜子主体 MB_k ,或者电压源通过导线1008电连接到镜子主体 MB_k 。

[0169] 在结合图12c所述的镜子的另一实施例中,镜子的涂层C2覆盖除反射表面 MS_k 区域之外的镜子主体 MB_k 。此外,有利地,光学元件 M_k 的主体 MB_k 对于IR辐射是半透明的,在主体 MB_k 整个或几乎整个表面上涂布的反射涂层C上涂覆电阻涂层C2。于是,可以实现具有结合图12b所述特征的镜子。因此,优选地,反射涂层C反射主体 MB_k 内部的IR辐射。在镜子的另一优选实施例中,镜子主体 MB_k 包括未涂覆涂层C和C2的表面区域1004,1006,或者它包括具有对IR辐射半透明的涂层的表面区域1004,1006。镜子的这些实施例具有如下优点:可以在这些表面区域1004,1006处将IR辐射耦合到镜子主体 MB_k 中。优选在主体 MB_k 的具有反射表面 MS_k 的一侧布置表面区域1004,1006,并且任选地,表面区域1004,1006围绕反射表面 MS_k 。

[0170] 在结合图12c描述的镜子的另一优选实施例中,表面区域1004,1006包括表面粗糙度以将IR辐射散射到主体中,或者表面区域包括衍射结构,以通过衍射在主体 MB_k 之内分布IR辐射。此外,电阻涂层C2优选包括金属,还优选地,反射和电阻涂层C,C2包括相同的金属。

[0171] 如上所述,本发明还涉及第七投影透镜,以利用结合图12c所述的优点。EUV光刻投影曝光系统的第七投影透镜包括多个反射光学元件 M_i ,反射元件包括主体 MB_i 和反射表面 MS_i ,如果以波长在小于50nm的波长范围中的EUV光的曝光功率对投影透镜曝光,用于向衬底上的像场上投影分划板上的物场。在由EUV光刻投影曝光系统的照射系统照射分划板的同时,从分划板反射EUV光。此外,至少一个反射光学元件 M_k 包括结合图12c本发明镜子的上述实施例的特征。此外,光学元件 M_k 任选地连接到致动器,以实现其平移运动。在另一实施例中,第七投影透镜包括位于至少一个光学元件 M_k 的主体 MB_k 的一侧的冷却器350,其中该侧与其反射表面 MS_k 相反。任选地,冷却器350到至少一个反射光学元件 M_k 的距离是可调节的,用于控制这些元件之间的热传递。

[0172] 根据本发明的第七投影透镜的另一实施例包括压力控制系统,用于控制至少一个反射光学元件 M_k 周围的压力 Δp ,其包括结合图12c的本发明镜子的上述实施例的特征。此外,压力控制系统任选地包括至少一个反射元件 M_k 附近的气体入口和/或气体出口。

[0173] 在第七投影透镜的另一实施例中,如果以EUV光对反射表面 MS_k 曝光,投影透镜会升温而不会加热主体 MB_k 上的电阻涂层C2。EUV光被所照射的分划板反射,并且包括根据照射设定的角度、偏振和强度的空间分布,从而获得主体 MB_k 相对于基准温度 T_{Ref} 的温度分布 $\Delta T_k(x,y,z)=(T_k(x,y,z)-T_{Ref})$ 。温度分布 $\Delta T_k(x,y,z)=(T_k(x,y,z)-T_{Ref})$ 包括平均和最高温度 ΔT_{kav} 和 ΔT_{kmax} 。此外,选择镜子主体 MB_k 的零交叉温度 T_{0k} 高于基准温度 T_{Ref} 和基于空间温度分布的相应的平均或最高温度加上基准温度 $\Delta T_{kav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{kmax}+T_{Ref}$ 中的最大值,表达为 $T_{0k}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{kav}+T_{Ref})$ 或 $T_{0k}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{kmax}+T_{Ref})$ 。此外,在第七投影透镜中,可以考虑零交叉温度的任何制造公差。在第七投影透镜这样的实施例中,由于制造导致制造公差 ΔT_{0k} ,具有零交叉温度 T_{0k} 的材料改变其零交叉温度的实际值,使得实际值在区间 $T_{0k} \pm \Delta T_{0k}$ 之内。在这种情况下,选择零交叉温度 T_{0k} 高于基准温度 T_{Ref} 和基于空间温度分布 $\Delta T_k(x,y,z)$ 的相应的平均或最高温度加上基准温度($\Delta T_{kav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{kmax}+T_{Ref}$)中的最大值。将这个最大值额外增加制造公差 ΔT_{0k} 的绝对值,表达为 $T_{0k}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{kav}+T_{Ref})+|\Delta T_{0k}|$, $T_{0k}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{kmax}+T_{Ref})+|\Delta T_{0k}|$ 。

[0174] 在第七投影透镜(及其各实施例)的优选实施例中,在投影透镜受到EUV光的曝光功率作用之前的时间,通过以电压源的第一电功率加热电阻涂层C2,将光学元件 M_k 的温度 T_k 控制到其值。此外,在使投影透镜受到EUV光的曝光功率作用期间,用于加热电阻涂层C2的电功率优选小于第一电功率。

[0175] 图12d示意性示出了本发明的另一实施例,其中反射光学元件或镜子 M_k , 421至少部分被布置于反射表面 MS_k 附近的多区线栅1050加热。可以利用包括以下基本步骤的过程制造这样的反射元件或镜子:

[0176] 1. 优选地,选择具有高零交叉温度 T_{0k} 的材料作为主体材料 MB_k ,例如本说明书中所述实施例中的至少一个中使用的。作为范例,主体材料的至少一个零交叉温度是30℃或更高。

[0177] 2. 例如,通过电镀过程在主体材料 MB_k 的表面上形成薄的电阻涂层而在主体材料上制造线栅1050。电阻涂层可以是或可以包括殷钢。

[0178] 3. 向电阻涂层中蚀刻各种图案结构1051,形成多区线栅1050的结构。这是通过应用已知的光刻方法完成的。

[0179] 4. 各种图案结构1051电连接以形成可多像素化的集成电路。

[0180] 5. 通过具有低CTE的绝缘层1052,如石英,覆盖形成电路的图案结构1051,使得集成电路被完全覆盖。

[0181] 6. 将绝缘层1052的表面抛光到反射元件或镜子 M_k 需要的面型精度。

[0182] 7. 以多层反射涂层1054覆盖所抛光的绝缘层1052,由此,任选的压实层1053可以在绝缘层1052与形成反射表面 MS_k 的反射涂层1054之间。

[0183] 在反射元件或镜子的优选实施例中,由多区线栅覆盖的区域为反射表面 MS_k 面积的大约50%,甚至高达95%,如图12d中示意性所示。更高的覆盖比例是优选的。这具有以下优点:沿着线栅导线产生的热沉积于主体材料的大区域上。

[0184] 具有线栅的反射光学元件具有如下优点:可以无需任何额外的加热器300来加热它,如上述各实施例中所述。例如,在启动EUV光刻投影曝光系统期间,可以在利用EUV投影束对EUV投影透镜曝光之前,将光学元件加热到其零交叉温度。这实现了如结合以上第二投

影透镜所述的优点。线栅的主要优点是它能够控制非常接近反射表面 MS_k 处的温度。如果EUV投影束在反射表面上具有不均匀的强度分布并因此以不均匀的方式加热这个表面,那么将例如通过控制系统200控制线栅,以利用大的EUV强度或大的EUV吸收减小各位置的加热功率,它将利用低或零EUV吸收增大各位置的加热功率。利用这样的调节,可以实现镜子或反射光学元件整个反射表面上几乎恒定的温度分布图,而几乎不造成热诱发的像差。

[0185] 此外,线栅还可以用于以由栅格结构定义的空间分辨率来测量温度。为了测量温度,测量导线的与温度相关的电阻。

[0186] 此外,可以将具有线栅的光学元件与这里所述的其他加热和回火概念一起使用。例如,可以将具有线栅的光学元件与利用图10所述的加热器和冷却器组合。在这种情况下,线栅可以用于仅控制反射表面 MS_k 附近的非常小的温度变化。此外,可以由线栅电阻值控制或部分控制图10所示实施例的加热器300。

[0187] 这样的组合系统的额外优点是温度控制系统可以更简单,因为不需要前馈控制。这是因为,如果这个加热器仅控制镜子材料的零交叉温度附近的小温度范围,且如果其他加热器或加热概念将镜子加热到接近这个零交叉温度,则可以利用线栅加热器非常快地调节反射表面的表面温度。

[0188] 由于结合具有结合图12d描述的镜子或反射光学元件的投影透镜的实施例描述的优点,本发明还涉及第八投影透镜及其中使用的具有所述线栅1050的镜子。

[0189] 如上所述,本发明涉及具有线栅的镜子,该镜子包括主体 MB_k 和反射表面 MS_k 。此外,主体 MB_k 包括具有与温度相关的热膨胀系数的材料,热膨胀系数在零交叉温度 T_{0k} 为零,其中主体 MB_k 表面的至少一部分包括用于以电阻方式加热主体 MB_k 的线栅1050。此外,镜子优选适于用在EUV光刻投影曝光系统的投影透镜中,如果以波长在小于50nm的波长范围中的EUV光的曝光功率对投影透镜曝光,用于向衬底上的像场投影物场。此外,由具有涂层材料的电阻涂层形成镜子的线栅1050,涂层材料是从金属、半导体材料、包括碳和殷钢的材料的组构成的组选择的。

[0190] 优选地,镜子的线栅1050包括具有至少 $N>1$ 个电路的图案结构1051。优选地,图案结构1051包括至少 $N+1$ 个电连接器,以将 N 个电路连接到电源,以利用电功率作用于 N 个电路。优选地,在其受到的电功率方面,可以彼此独立地控制 N 个电路。此外,线栅1050的加热功率介于0.01W和5W之间,优选介于0.01W和1W之间。具有线栅1050的镜子连接到至少一个电功率源。电功率源可以附着于镜子主体 MB_k 或电功率源例如通过导线电连接镜子主体 MB_k 。此外,电功率源包括至少两个电压和/或电流源。此外,电功率源可以包括多路复用电路。利用多路复用电路,利用来自电源的电功率相继作用于线栅的 N 个电路。此外,根据本发明的具有线栅的镜子包括绝缘层1052,其中线栅1050的图案结构1051被绝缘层1052覆盖。绝缘层1052包括低CTE材料。此外,抛光绝缘层1052,使其具有如镜子反射表面 MS_k 所需的 $\pm 3\text{nm}$ RMS精度内的面型数据。为了改善镜子对EUV光的反射率,具有线栅1050的镜子的反射表面 MS_k 包括多层叠置体1054,其布置于绝缘层1052上方或布置于压紧层1053上方。压紧层1053布置于绝缘层1052上方。优选地,镜子的线栅1050覆盖反射表面 MS_k 的面积的大于50%。

[0191] 此外,可以变型上述具有线栅1050的镜子,使得镜子还包括结合图12b和图12c所述的镜子特征。作为范例,镜子的主体 MB_k 至少部分涂覆电阻涂层C2,除了反射表面 MS_k 的区域之外。电阻涂层C2具有适于通过电阻加热来加热镜子主体 MB_k 的电阻。替代地或此外,光

学元件 M_k 的主体 MB_k 对于IR辐射是半透明的。如果是这样的话,有利地,镜子的主体 MB_k 包括涂布于主体 MB_k 的整个或几乎整个表面上的反射涂层C,其中反射涂层C反射主体 MB_k 内部的IR辐射。在根据本发明的具有线栅的镜子的另一实施例中,电阻涂层C2在反射涂层C上。在这种情况下,由于涂层C2的原因,可以由IR辐射(由于涂层C)和/或由电阻加热来加热镜子,其中利用线栅1051加热接近反射表面 MS_k 的区域。为了以IR辐射加热镜子,镜子有利地包括未涂覆反射涂层C和电阻涂层C2的表面区域1004,1006,或者其包括具有对IR辐射半透明的表面区域1004,1006。有利地,可以将这一表面区域1004,1006用于将IR辐射耦合到主体 MB_k 中,其中IR辐射对镜子的加热有贡献。优选地,具有反射涂层C或电阻涂层C2的镜子包括涂层中的金属。优选地,如果应用了两个涂层,则用于反射和电阻涂层C,C2的金属相同。此外,用于将IR辐射耦合到主体 MB_k 中的表面区域1004,1006布置于主体 MB_k 的具有反射表面 MS_k 的一侧,或围绕反射表面 MS_k 的表面区域1004,1006上。这样的表面区域1004,1006有利地可以包括表面粗糙度,以向主体中散射IR辐射,或者表面区域1004,1006可以包括衍射结构,以通过衍射在主体 MB_k 内分布IR辐射。

[0192] 如上所述,本发明还涉及第八投影透镜,以利用结合图12d所述的优点和上述包括线栅1050的镜子及其各实施例的优点。

[0193] 在EUV光刻投影曝光系统的第八投影透镜的第一实施例中,包括多个反射光学元件 M_i 。每个反射光学元件 M_i 包括主体 MB_i 和反射表面 MS_i ,如果以波长在小于50nm的波长范围内的EUV光的曝光功率对投影透镜曝光,用于向衬底上的像场上投影分划板上的物场。在由EUV光刻投影曝光系统的照射系统照射分划板的同时,从分划板反射EUV光。此外,第八投影透镜包括至少一个反射光学元件 M_k ,其包括根据这种镜子的上述实施例之一的包括线栅1050的镜子的特征。此外,由于具有带线栅1050的镜子的特征的反射光学元件 M_k 是可加热的,所以有利的是将光学元件 M_k 连接到致动器,实现其平移运动。此外,在第八投影透镜的实施例中,透镜包括冷却器350或第一回火元件300,其位于至少一个光学元件 M_k 的主体 MB_k 上与其反射表面 MS_k 相反的一侧。任选地,冷却器350或第一回火元件300到至少一个反射光学元件 M_k 的距离可调节的,用于控制这些元件之间的热传递。在第八投影透镜的另一实施例中,透镜包括压力控制系统,用于控制至少一个反射光学元件 M_k 周围的压力 Δp ,优选地,压力控制系统包括至少一个光学元件 M_k 附近的气体入口和/或气体出口。

[0194] 在另一实施例中,第八投影透镜包括材料选择,使得无需加热主体 MB_k 上的线栅1050,利用EUV光(由被照射的分划板反射并包括根据照射设定的角度、偏振和强度的空间分布)对反射表面 MS_k 曝光导致主体 MB_k 的温度 $T_k(x,y,z)$ 相对于基准温度 T_{Ref} 的温度分布 $\Delta T_k(x,y,z)=(T_k(x,y,z)-T_{Ref})$ 。温度分布 $\Delta T_k(x,y,z)=(T_k(x,y,z)-T_{Ref})$ 包括平均和最高温度 ΔT_{kav} 和 ΔT_{kmax} 。此外,选择主体 MB_k 的零交叉温度 T_{0k} ,使其高于基准温度 T_{Ref} 和基于空间温度分布 $\Delta T_k(x,y,z)$ 的相应的平均或最高温度加上基准温度($\Delta T_{kav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{kmax}+T_{Ref}$)中的最大值,表达为 $T_{0k}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{kav}+T_{Ref})$ 或 $T_{0k}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{kmax}+T_{Ref})$ 。

[0195] 通常,由于制造问题,具有零交叉温度 T_{0k} 的材料会改变其零交叉温度的实际值。因此,第八投影透镜的另一优选实施例考虑到,由于制造导致制造公差 ΔT_{0k} ,具有零交叉温度 T_{0k} 的材料改变其零交叉温度的实际值,使得实际值在区间 $T_{0k} \pm \Delta T_{0k}$ 内。在这一实施例中,选择零交叉温度 T_{0k} 高于基准温度 T_{Ref} 和基于空间温度分布 $\Delta T_k(x,y,z)$ 的相应的平均或最高温度加上基准温度($\Delta T_{kav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{kmax}+T_{Ref}$)中的最大值,该最大值进一步被增加了制

造公差 ΔT_{0k} 的绝对值, 表达为 $T_{0k} > \max(T_{\text{Ref}}, \Delta T_{\text{kav}} + T_{\text{Ref}}) + |\Delta T_{0k}|$, $T_{0k} > \max(T_{\text{Ref}}, \Delta T_{\text{kmax}} + T_{\text{Ref}}) + |\Delta T_{0k}|$ 。

[0196] 在第八投影透镜的另一实施例中, 在投影透镜受到EUV光曝光功率作用之前的时刻, 通过具有电功率源的第一电功率的线栅1050加热, 将光学元件 M_k 的温度 T_k 控制到其值。任选地, 在使投影透镜受到EUV光的曝光功率作用期间, 选择用于加热线栅1050的电功率小于第一电功率。此外, 第八投影透镜可以包括控制器, 用于控制线栅1050受到的电功率, 或用于确定线栅1050的电阻值, 或图案结构1051的电路中的至少一个的电阻值。此外, 任选地, 控制器控制第一回火元件300或冷却器350的温度。此外, 任选地, 控制器控制第一回火元件350或冷却器300到至少一个反射光学元件 M_k 的距离, 或者控制器控制光学元件 M_k 周围的压力 Δp 。通常, 控制基于从如下构成的组中选择的参数: 温度、线栅1050的电阻值或线栅1050的图案结构1051的至少一个电路的电阻值、时间, 直接或间接影响光学元件 M_k 温度的参数、照射设定、EUV光的曝光功率变化、分划板的变化、热或机械诱发的光学元件 M_k 的光学像差数据或来自模型的投影透镜和输出参数。此外, 控制器优选将镜子 M_k 的反射表面 MS_k 或主体 MB_k 的温度控制到零交叉温度 T_{0k} 。在第八投影透镜的另一实施例中, 选择零交叉温度 T_{0k} 低于基准温度 T_{Ref} , 或者选择使其至少比基准温度 T_{Ref} 高6K。

[0197] 图13示意性示出了结合根据本发明的反射元件或镜子 M_k , 421的加热器或回火模块300的另外几个实施例。还是对于这些实施例, 可以根据以上教导, 将反射元件或镜子 M_k , 421的温度控制到工作温度、平均温度或零交叉温度, 尤其用于减小由热效应导致的任何光学像差。下文将要描述的加热器或回火模块300的各实施例可以单独使用或通过任何组合使用, 以控制所述温度或反射光学元件或镜子的像差。

[0198] 将镜子, 例如421(像图4和图5中所示那些)或反射元件 M_k 安装到支撑元件480, 支撑元件480连接到外壳结构481。未示出支持或悬挂镜子或反射光学元件的安装元件和支撑模块。例如, 这些元件可以制成为如图4中以附图标记451, 461, 471所述的。此外, 如图10和图11的实施例中所述的, 可以将冷却器350用作保护支撑元件480和/或外壳结构481(可以是热敏元件)的选项。作为另一选项, 也可以控制镜子421或反射光学元件周围的压力 Δp 以调节气体的热阻, 如图11所述的。如果反射元件或镜子 M_k , 421的主体 MB_k 包括具有与温度相关的CTE(T)的材料, 该材料例如Zerodur®或ULE®包括至少一个零交叉温度 T_0 , 并且如果这种材料对于特定波长的光, 例如IR光, 是透明的, 那么可以利用这样的光加热主体, 如结合图12a和图12b所述那样的。这种加热具有如下优点: 热量不仅沉积于主体 MB_k 的表面上, 而且还沉积于主体内部。

[0199] 可以使用例如发光二极管(LED)1302作为IR光的源。使用LED具有如下优点: 可以容易地在至少一个维度上并排布置它们, 以形成阵列状的布置, 如图10的Peltier元件部分中所述那样。此外, 可以使用适当的光学装置配置从LED发射的IR辐射, 从而可以在各种条件下将其耦合到反射元件或镜子 M_k , 421中。作为范例, 光学装置1304使得来自LED的IR光被收集并大致平行。这具有以下优点, 利用IR光照射主体 MB_k 的表面的限定区域。任选地, 可以根据工作中的LED的数量调节这个表面区域的直径。如果具有这种光学装置的这样的LED形成栅格以通过栅格或矩阵状形式照射主体 MB_k 。栅格状形式具有如下优点: 根据栅格坐标沉积IR能量, 导致作为 x 和 y 的函数的非常明确的空间温度分布 $T(x, y)$ 。作为另一选项, 可以调节IR源的光学装置1306, 例如LED前方的透镜, 以产生焦距和/或改变焦距1307。利用聚焦的

IR光,可以在内部非常局部的点处加热主体。利用这个特征,可以在x、y和z方向调节主体内部的空间温度分布。如果也可以通过绕至少一个轴,优选绕x和y轴倾斜IR射束,调节IR光的方向,那么可以在主体MB_k内的狭窄区域中聚焦几个IR射束的IR光。这可以有利地用于使源于例如特定分划板或照射设定的主体的温度分布 $T(x,y,z)$ 均匀化。在优选实施例中,由光学装置1308调节焦距1309,使其非常接近反射表面MS_k。此外,可以在反射表面下方布置吸收层(未示出),其吸收IR光。在这种情况下,非常接近于反射表面MS_k沉积IR光的能量。

[0200] 作为上述光学装置布置的替代,可以使用光纤1310从源(例如IR LED或IR激光器)向接近主体MB_k的表面传递IR光。利用光纤,也可以通过栅格状方式分布一个IR源的IR光。另一种替代方案是使用光导棒1314从IR源向主体传输IR光。

[0201] 作为另一替代,将IR光源1312(例如IR LED,IR激光器)与镜子1313一起使用,镜子1313将IR光反射到主体MB_k的表面上。优选地,可以绕着至少一个轴,更好地绕两个轴,例如x和y轴倾斜镜子。利用这样的实施例,可以在主体上分布IR光。例如,可以通过扫描或通过光栅过程这样做。

[0202] 此外,反射元件或镜子自身的主体MB_k可以包括凹陷1315,IR光耦合在凹陷1315中。通常,IR光耦合到主体中的表面或表面区域可以是或可以包括具有例如其上界定的表面粗糙度或衍射结构的制备表面区域。此外,凹陷可以包括表面形式,例如球面,以改善IR辐射到主体中的入射。除了凹陷,也可以选择主体材料的突起或凸出,它们全都可以包括表面曲率,以实现主体M_k内IR辐射的确定空间分布。

[0203] 对于图13的实施例,也可以使用镜子主体上的反射涂层增加吸收的IR功率。因此,也可以应用图12b的实施例的特征。此外,可以将根据图13的实施例的加热器300集成到冷却器350中。此外,可以控制IR辐射的波长以控制主体材料定义厚度内的吸收量。对于Zerodur®,波长可以从大约400nm变化到大约800nm。从图12a可以看出,在这个波长范围中,吸收强烈取决于所用的波长。

[0204] 由于IR功率在反射元件或镜子主体内部以空间受控方式瞬间沉积,如结合图13所述,加热器或回火模块300适于控制投影透镜内部的反射元件或镜子的工作温度,使得在透镜的稳态中且在镜子升温时间期间,热诱发的相差最小化。由于IR加热的瞬时加热效应,可以显著减少这个时间。

[0205] 此外,利用IR加热EUV投影透镜的第k个反射光学元件或镜子M_k的主体MB_k,如结合图12b和图13所示,作为范例,能够将这个主体很快加热到其零交叉温度中的至少一个。此外,利用这样的加热,可以在至少两个维度上,优选在全部三个空间维度上,控制主体内以及沿其反射表面MS_k的空间温度分布。这意味着,温度可以作为主体MB_k的x、y和z坐标的函数受到控制。关于控制,现在再次参考图6。对于图6中用630指示的这种加热器,EUV投影透镜20可以包括至少一个反射元件或镜子M_k,如镜子26,其包括主体MB_k,其包括具有与温度相关的CTE(T)的材料,该材料具有至少一个零交叉温度T_{0k}。选择这个零交叉温度T_{0k},如果利用来自分划板M的最大EUV曝光功率对投影透镜20进行曝光,使其高于元件或镜子M_k的预期平均温度 $\Delta T_{avk}+T_{Ref}$ 。甚至选择零交叉温度高于利用EUV曝光功率曝光期间可能出现的所有预期温度分布 $T(x,y,z)$ 中的相应最高温度(例如参见图7)。这些平均和最大温度 ΔT_{avk} , ΔT_{kmax} 还考虑了关于分划板和关于照射设定的潜在变化。此外,还可以考虑由制造,例如制造公差 ΔT_{0k} 导致的零交叉温度的任何变化,从而在选择材料之前将这样的公差增加到这些平

均或最高温度 ΔT_{avk} , ΔT_{kmax} 。然后选择材料,使其零交叉温度甚至高于这个温度,表达为 $T_{0k} > \Delta T_{kmax} + T_{Ref} + |\Delta T_{0k}|$ 或 $T_{0k} > \Delta T_{avk} + T_{Ref} + |\Delta T_{0k}|$ 。应用所述的IR加热器(或本说明书中描述的其他加热器),始终能够将元件或镜子 M_k 加热到实际零交叉温度。控制单元620(图6)控制这个元件 M_k (如镜子26)的温度,优选地,使得在利用从分划板M向晶片W传播的EUV曝光射束对透镜20曝光期间,投影透镜(或元件或镜子 M_k)的热诱发像差或成像误差622变为最小。作为替代,控制单元620控制温度,使得反射元件或镜子 M_k ,26上的空间温度分布621变得均匀,优选这个温度达到零交叉温度 T_{0k} 。

[0206] 此外,如果如上所述地选择零交叉温度,如 $T_{0k} > \Delta T_{kmax} + T_{Ref} + |\Delta T_{0k}|$ 或 $T_{0k} > \Delta T_{avk} + T_{Ref} + |\Delta T_{0k}|$,那么优选地,制造主体 MB_k 和用于EUV光的反射表面 MS_k ,使得表面形状或面型在零交叉温度 T_{0k} 下达到指定的精度。在这种情况下,利用所述IR加热器630或这里已经描述的其他加热器将反射元件或镜子 M_k 加热到零交叉温度。优选地,在投影透镜20受到EUV曝光功率作用之前进行这种加热。在利用EUV光对投影透镜20曝光期间,由吸收的EUV光额外对反射光学元件或镜子 M_k 加热。然后由控制单元620控制加热器630,使得反射元件或镜子 M_k 的空间温度分布在打开EUV光之前几乎保持在相同状况。优选地,这一条件是元件或镜子 M_k ,26的恒定温度。如前所述,不必控制元件 M_k ,26本身的温度分布621,替代地或此外,可以使用像差622作为控制参数,然后控制加热器630,使得像差622最小化。为了测量元件 M_k 或镜子26的温度,尤其是空间温度分布,或表示温度的参数,可以使用红外线相机,因为根据透镜20的镜子21、22、23、24、25、26(例如参见图3)、使用的分划板或掩模、EUV光的功率和照射设定,由于EUV光吸收导致的温差在大约1K直到大约20K的范围中。由于这一较高的温差,IR相机的灵敏度要求不会过高。

[0207] 作为测量光学元件 M_k 或镜子26的温度或温度分布,或其像差622的替代或补充,也可以使用光学元件 M_k 或镜子26(透镜20内的镜子21,22,23,24,25,26)的失真或与失真相关的参数作为控制参数,以控制加热器630,尤其是这里所述的加热器630,300。为了测量变形,作为范例,可以使用干涉仪和/或编码器系统以确定光学元件或镜子的任何失真。

[0208] 在本发明的另一实施例中,从上述测量得到的温度数据(尤其是温度分布数据)和/或失真数据用于计算光学元件或镜子或透镜20的预期像差。然后由至少一个加热器630,300控制透镜20和/或光学元件 M_k 或镜子21,22,23,24,26,从而将减小像差。为了进行这样的计算,应用一种模型,其中通过基于模型的控制使透镜20的像差最小化。用于控制透镜20的模型可以使用除给定预选镜子或光学元件的温度和/或失真数据之外测量的额外输入参数。这样的输入参数例如是所使用的分划板或掩模、EUV光的功率、照射设定、光学元件或镜子附近或透镜20内部的气体压力、透镜20被EUV光曝光的时间或反射光学元件,如透镜20的镜子21,22,23,24,25或26的任何位置变化(例如,z位置)。作为输出参数,该模型可以通过受控方式控制任何加热器630,300、反射光学元件,如镜子21,22,23,24,25或26的任何位置、EUV投影光的功率、照射分划板的照射设定、光学元件或镜子附近的气体压力或透镜20内部的气体压力或使透镜20的镜子21,22,23,24,25或26的反射表面变形,以减少光学像差。通过模型传递函数将输出参数与输入参数相关。此外,可以使用模型的输入参数进行模型校准,以针对其传递函数调节模型,即意味着传递函数自身取决于输入参数和/或输出参数的值。

[0209] 此外,在本发明的实施例中,至少一个光学元件 M_k ,如透镜20的镜子21,22,23,24,

25,26的温度数据随时间累积。这样获得了表示光学元件或镜子的热负载的度量的参数,其甚至可以具有空间分辨率。这样的热负载参数能够用于EUV光刻曝光系统透镜20的维护控制。作为范例,可以估计由于EUV光导致的镜子的任何劣化,如反射多层叠置体的劣化或形成镜子主体的所使用的衬底材料的任何压紧效应。此外,可以选择被照射的掩模或使用的照射设定,使得镜子21,22,23,24,25,26的空间分辨的热负载使投影透镜20具有长寿命,以减少维护成本。

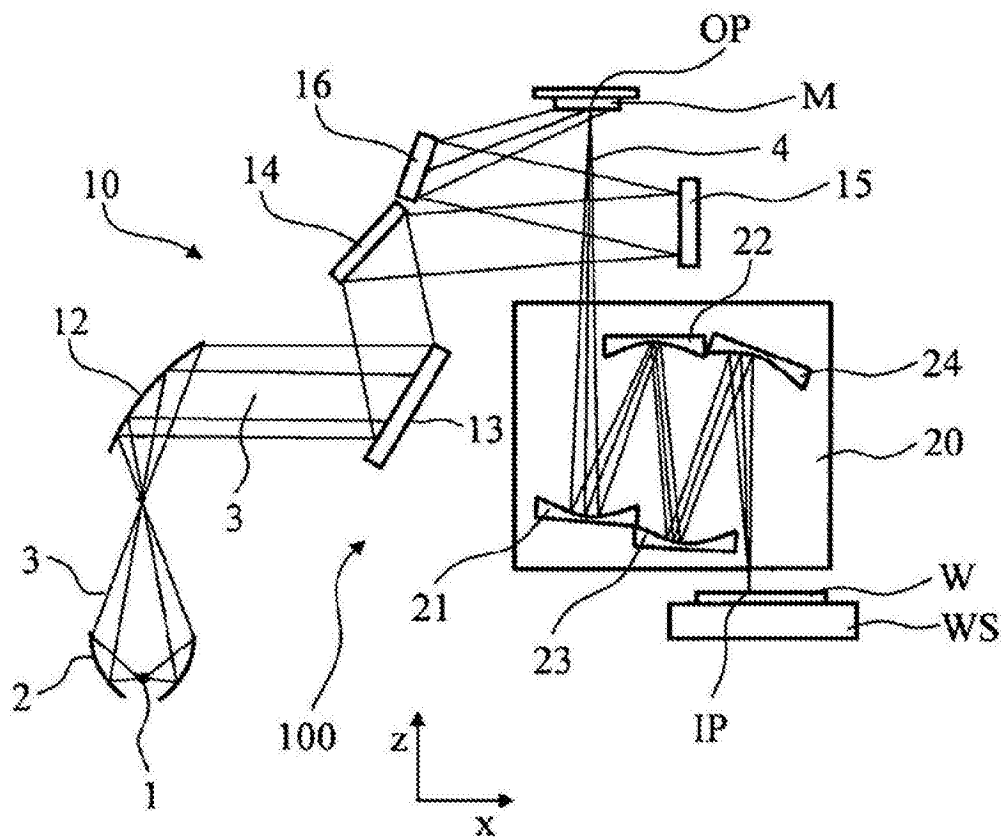


图1

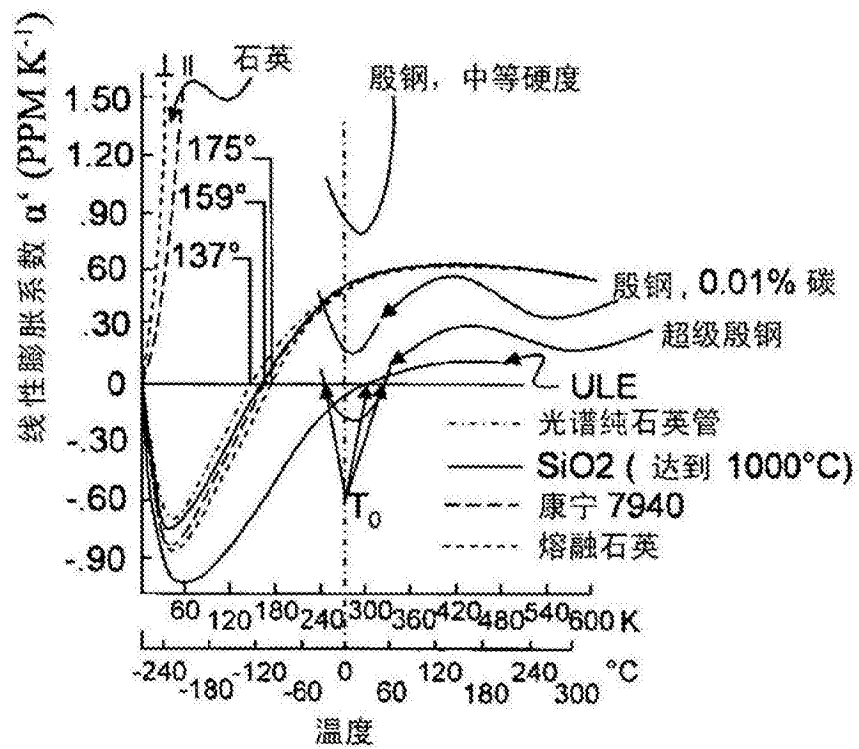


图2a

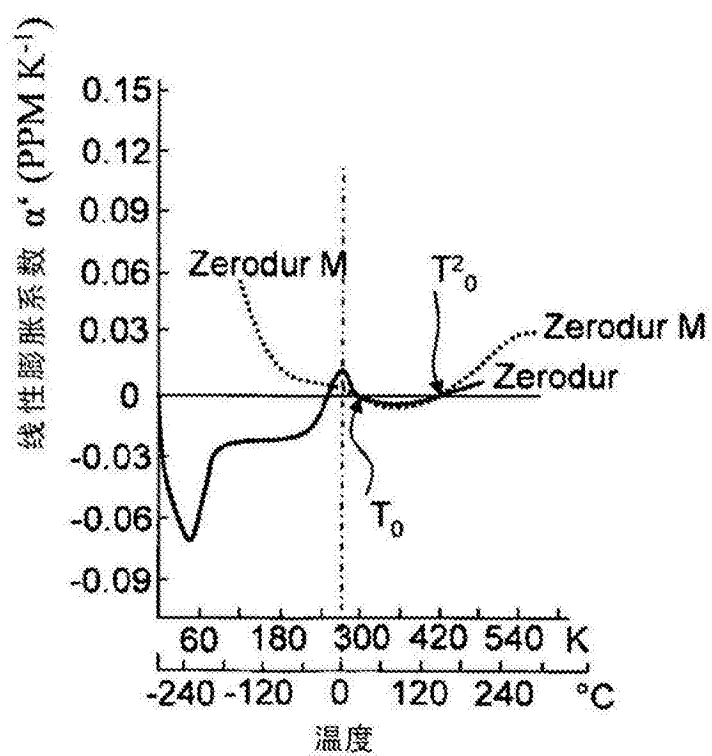
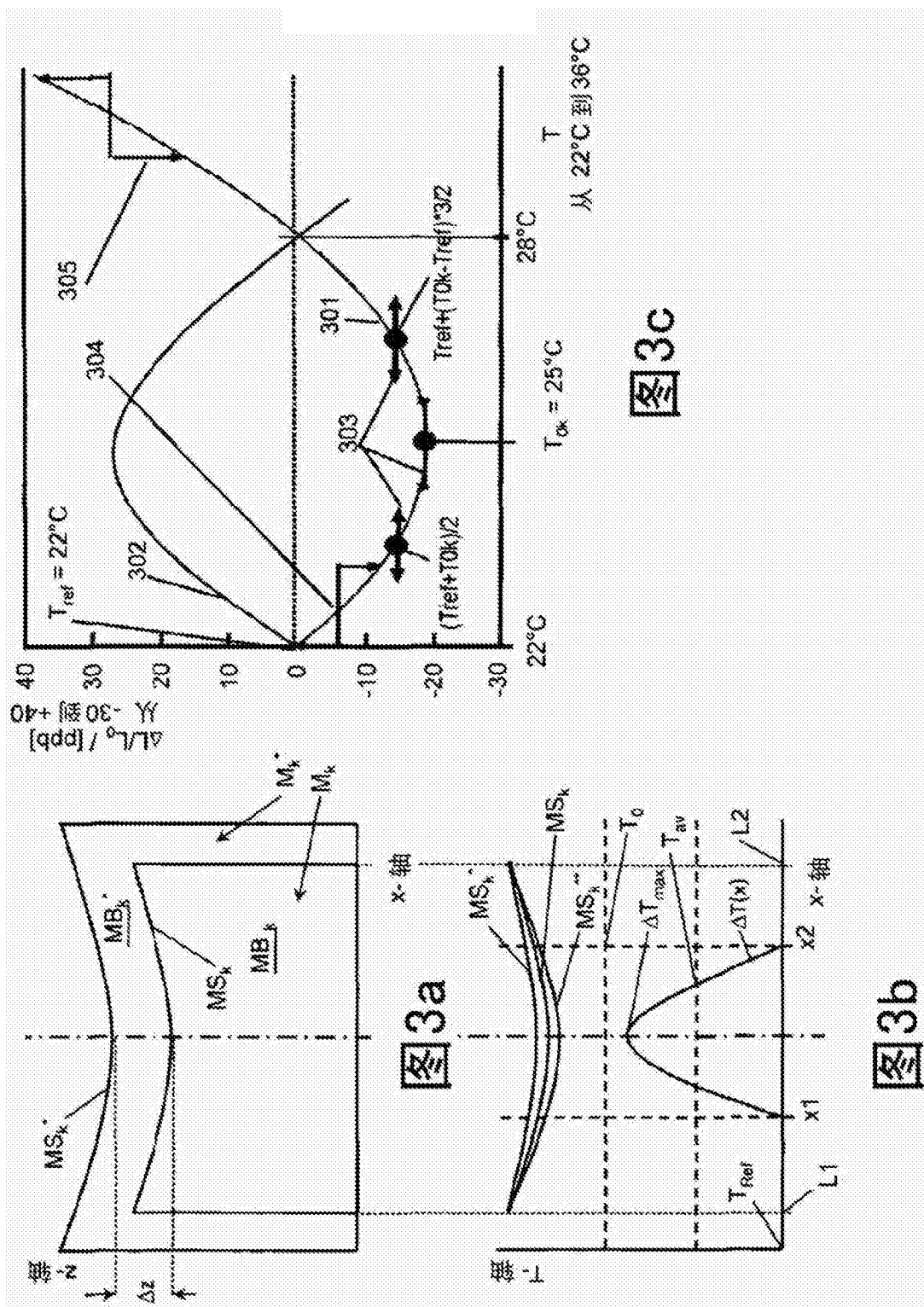


图2b



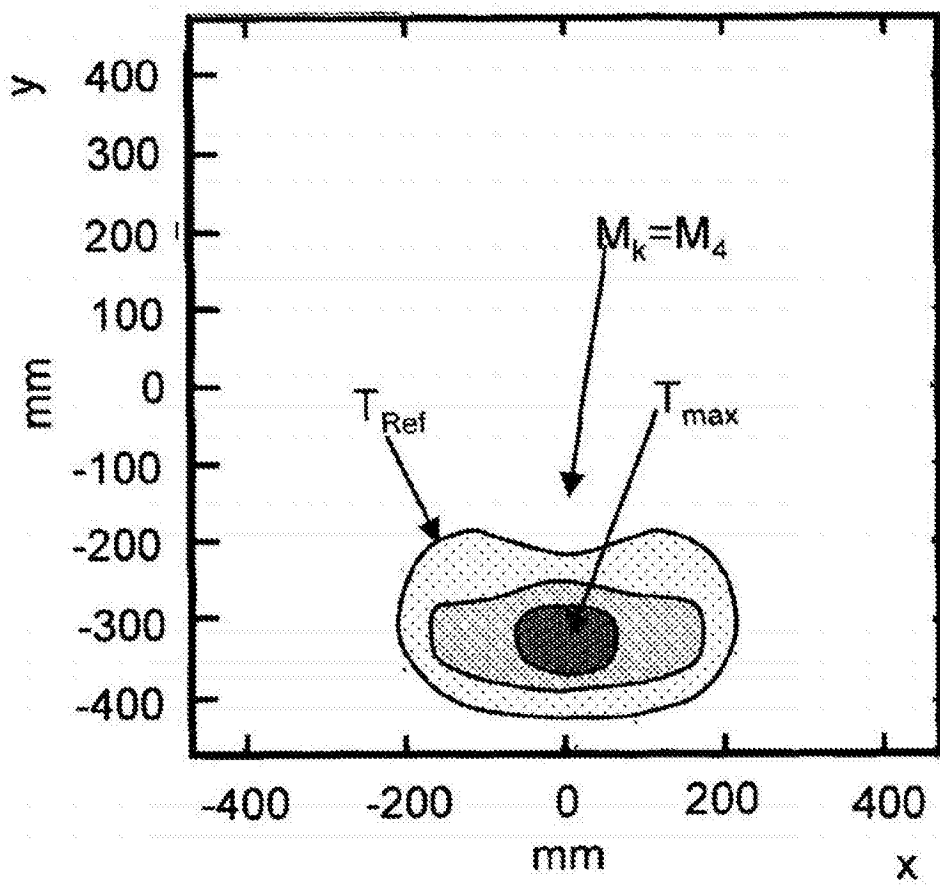


图3d

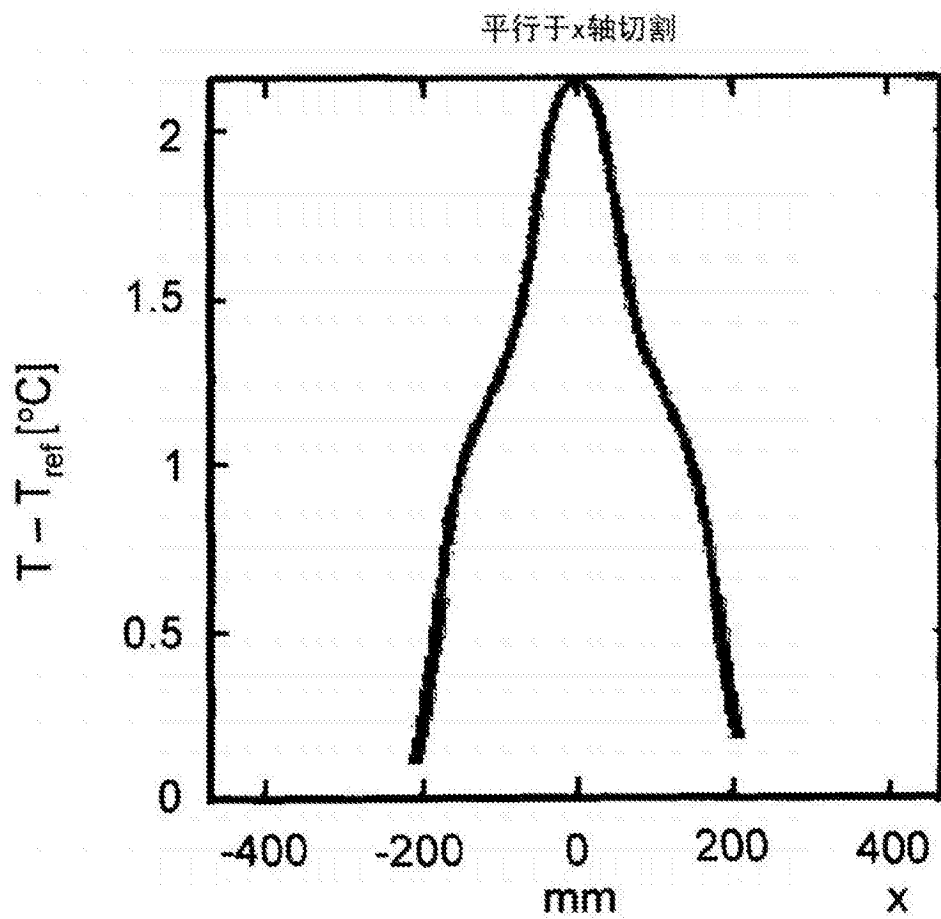


图3e

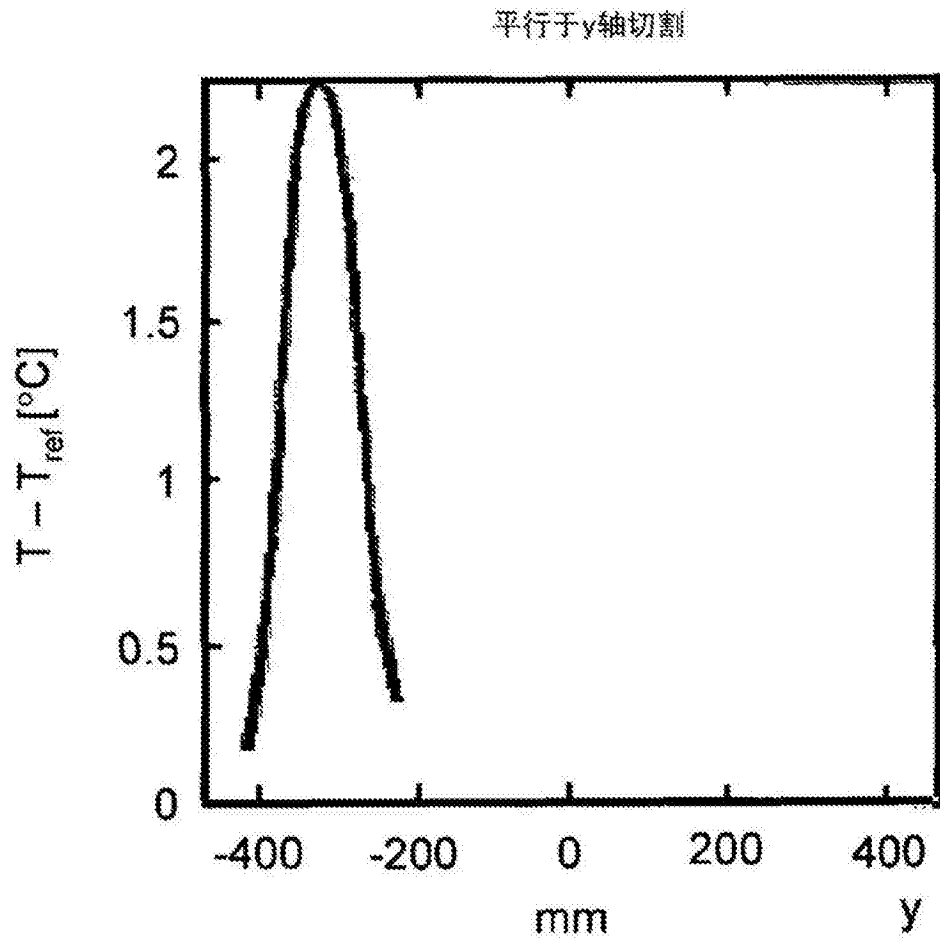


图3f

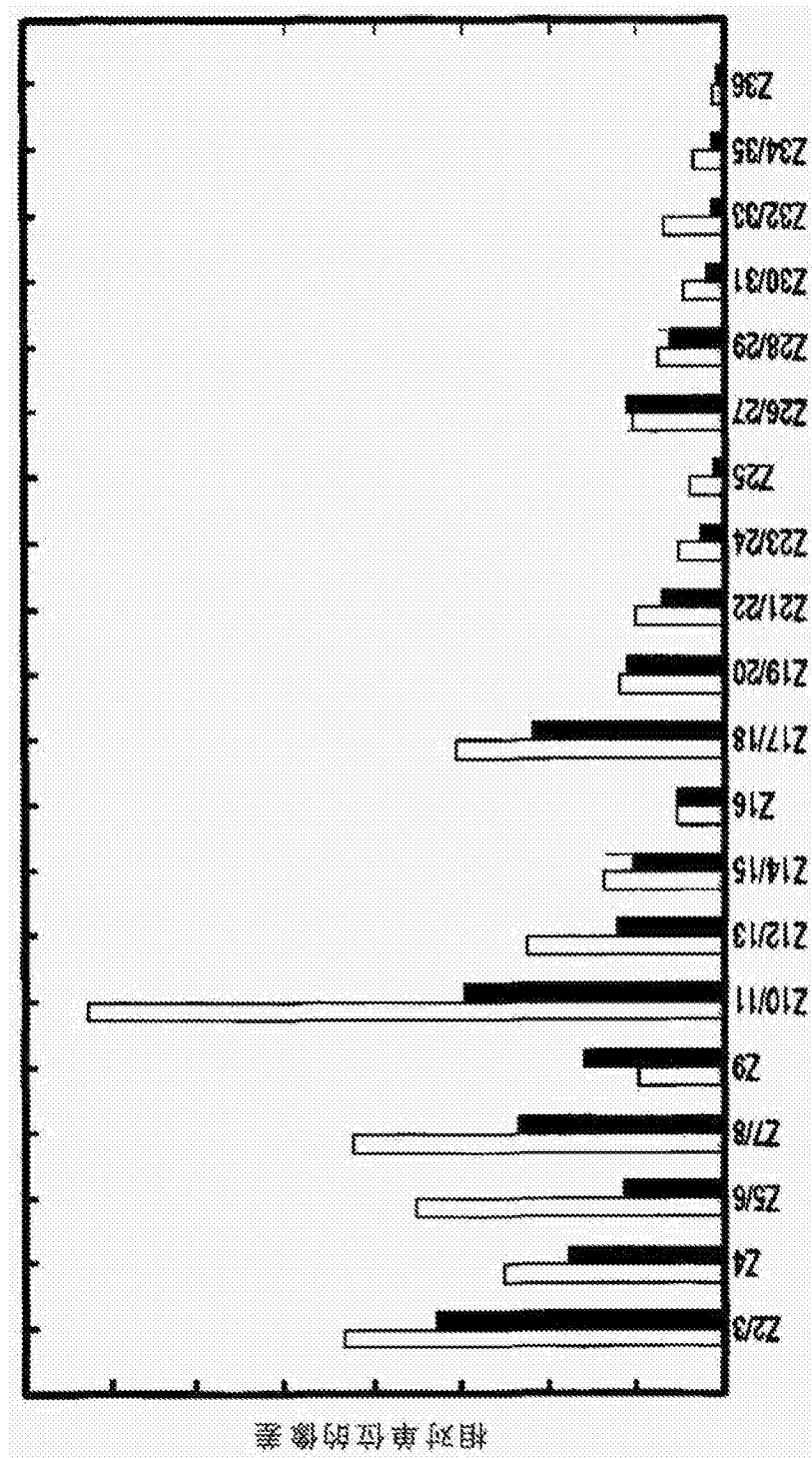


图3g

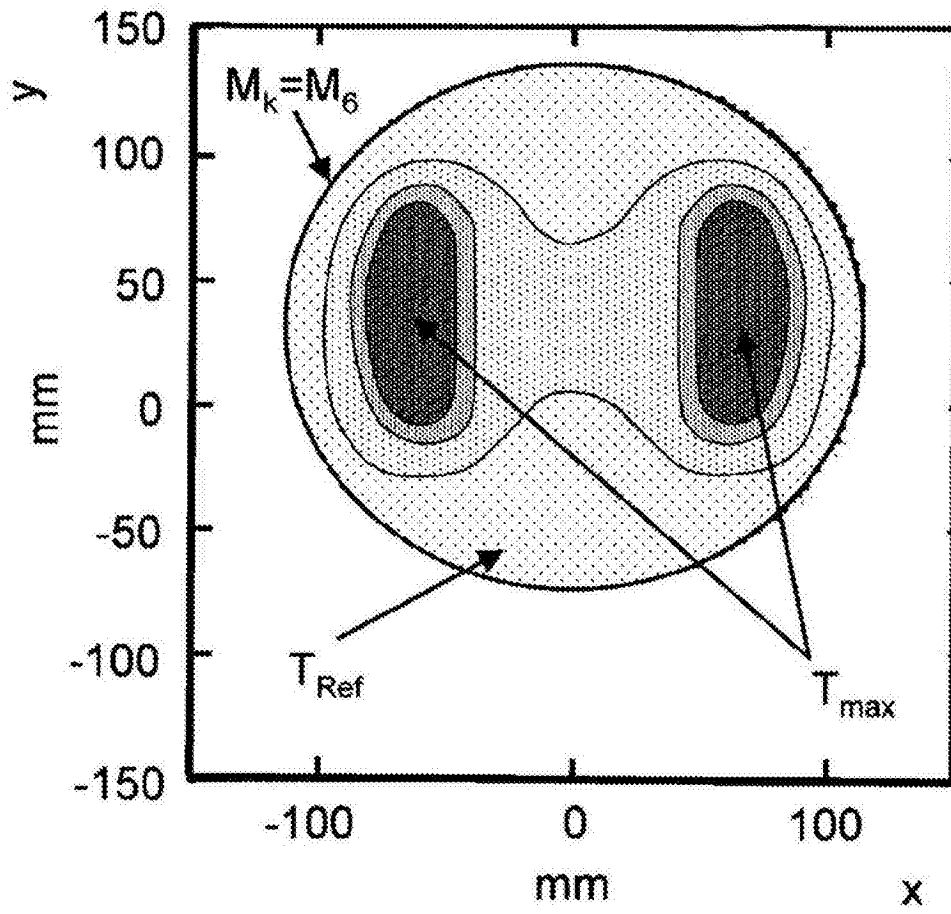


图3h

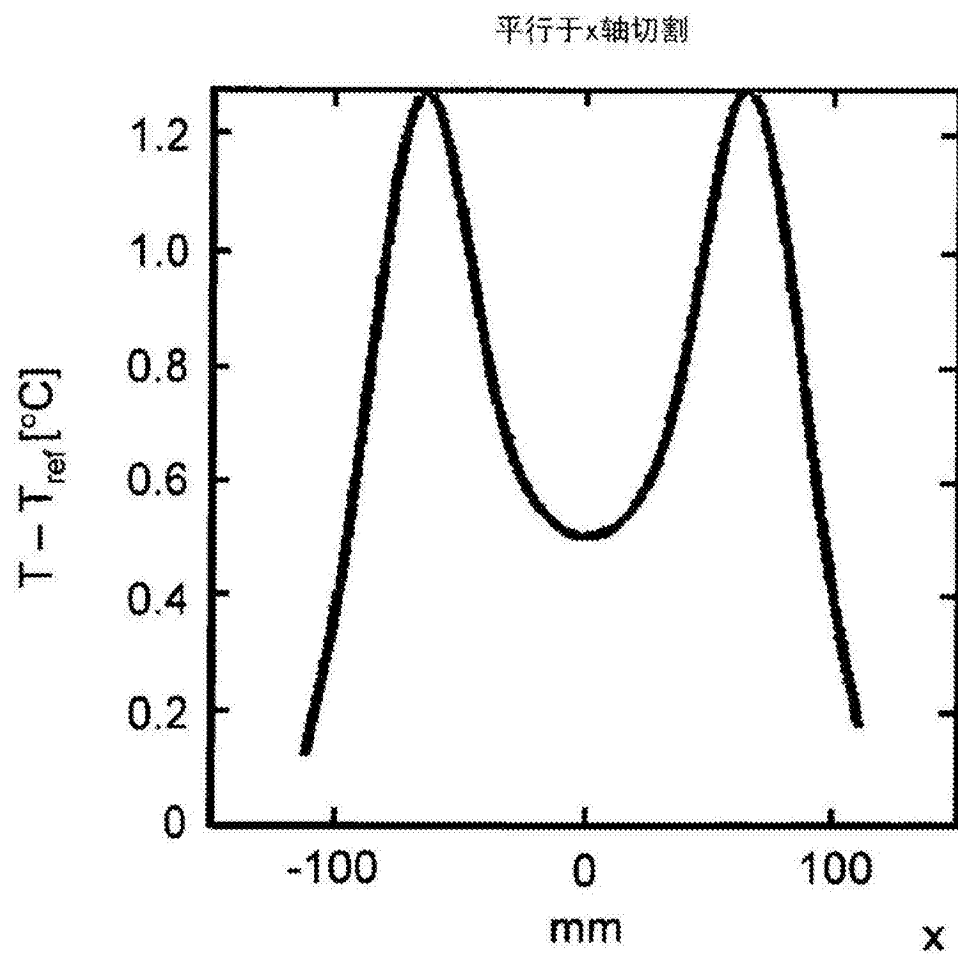


图3i

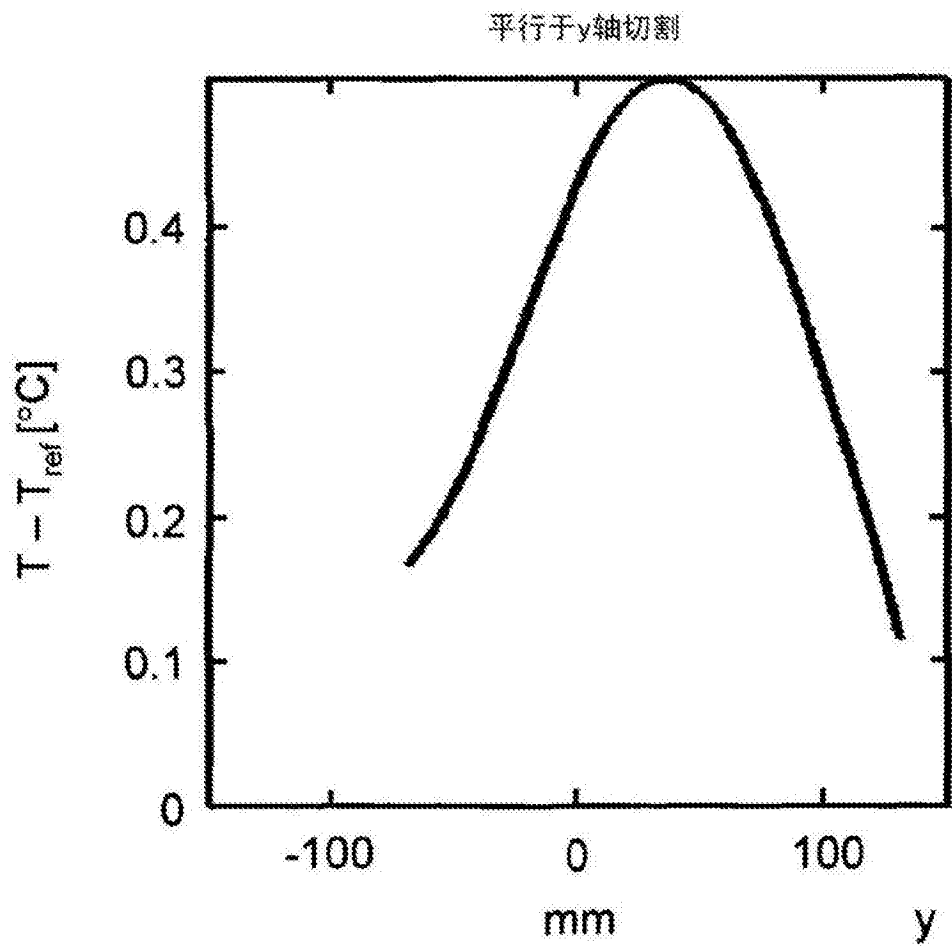


图3k

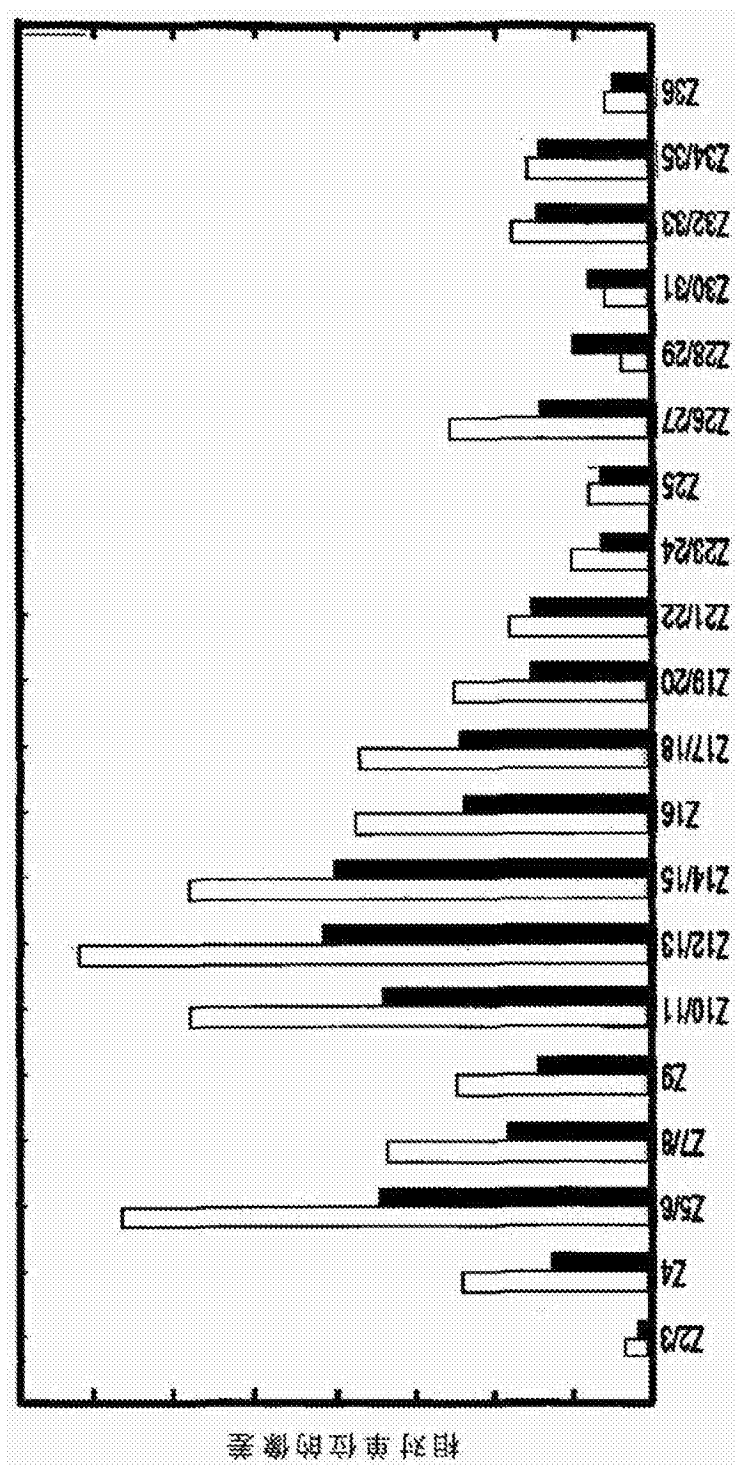


图31

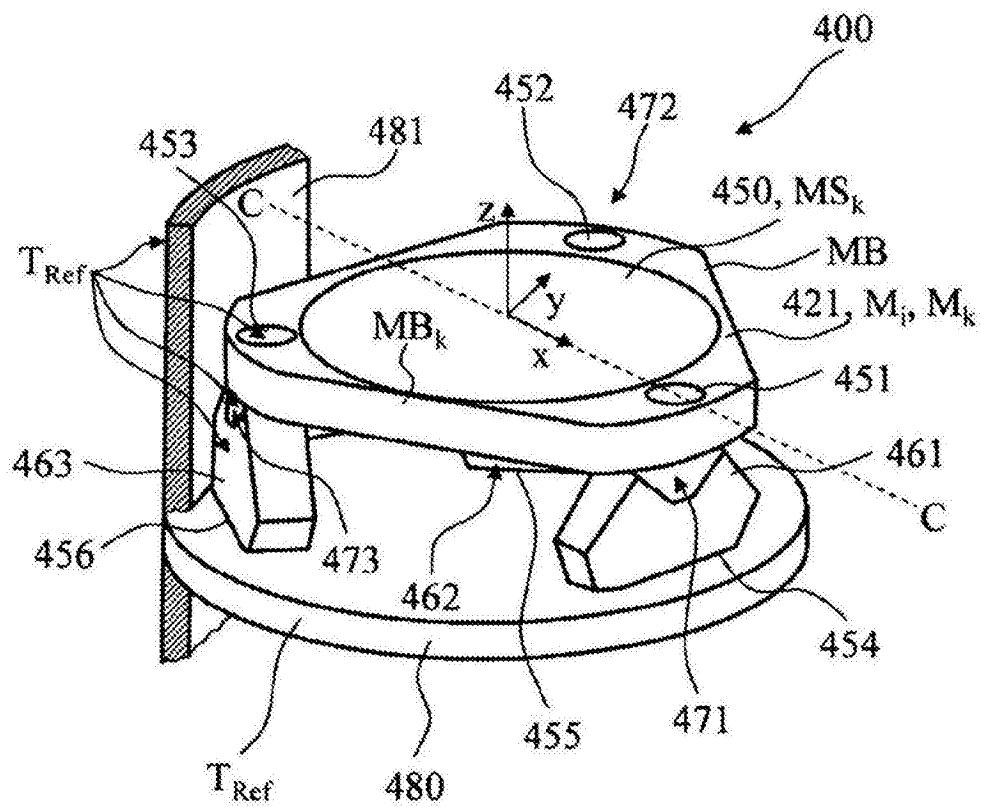


图4

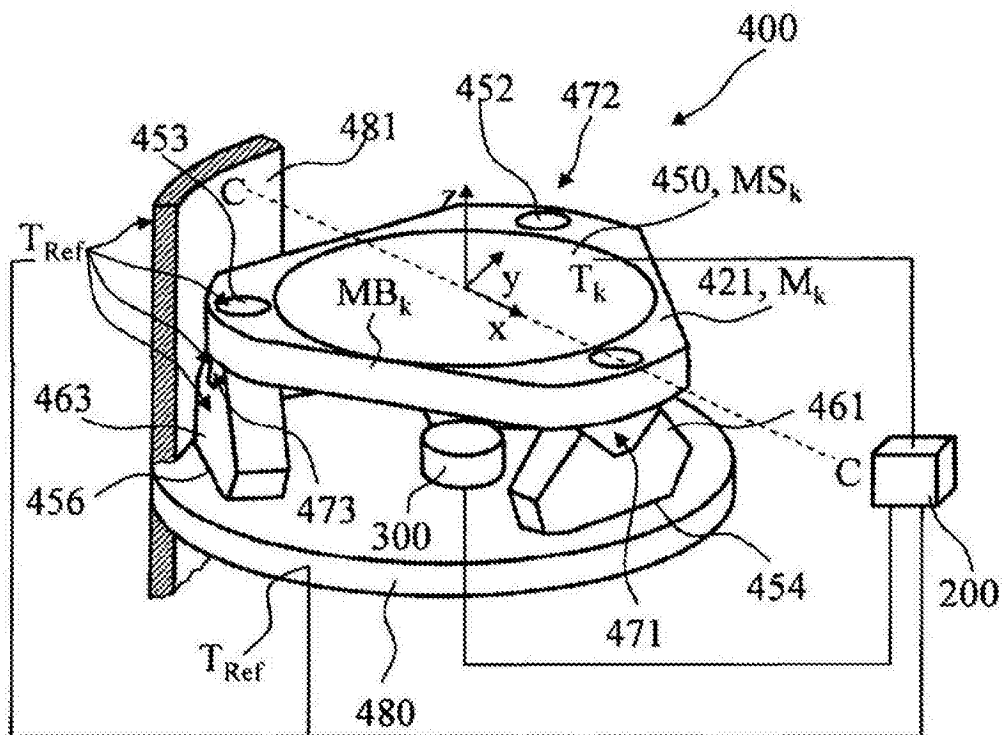


图5

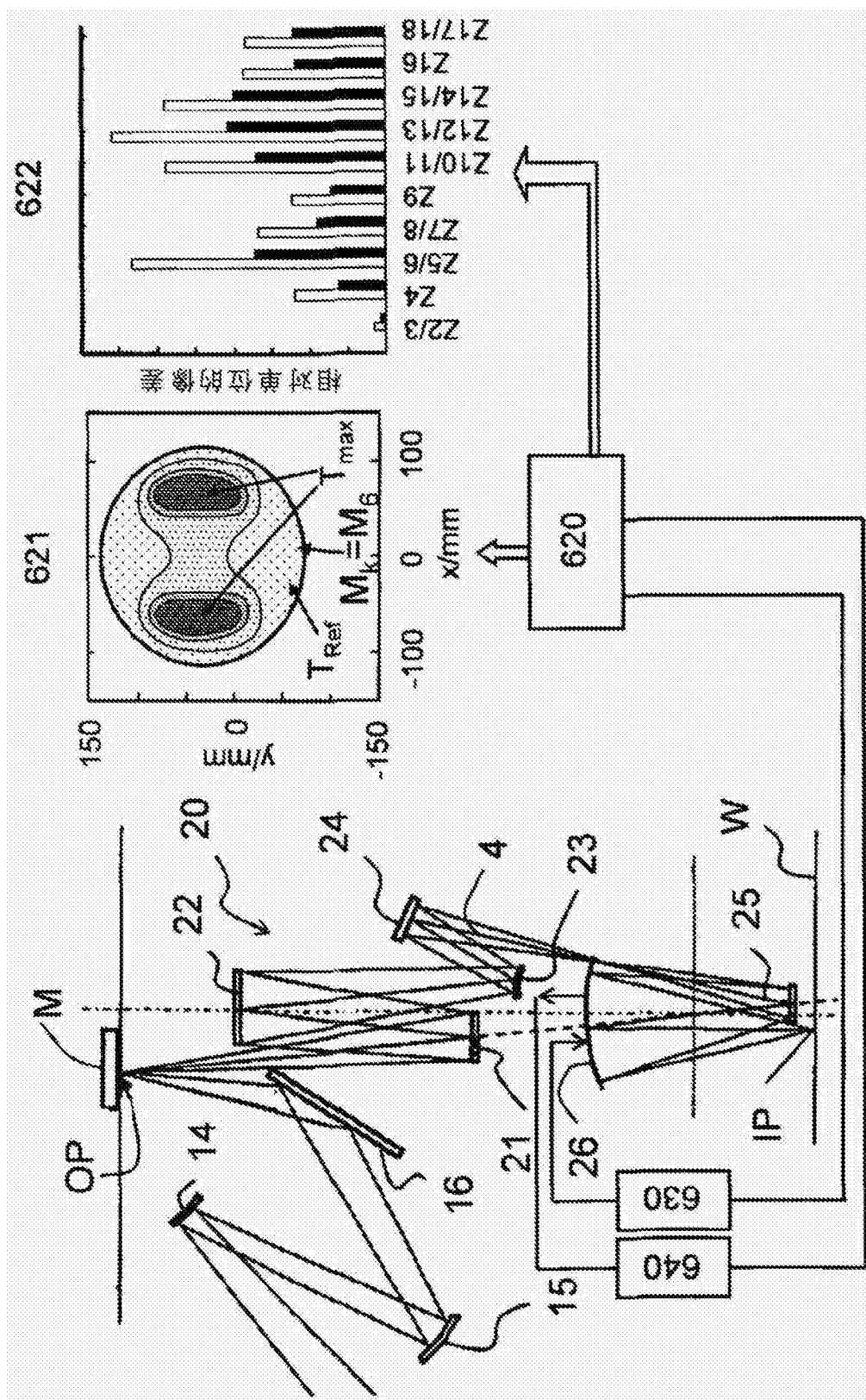


图6

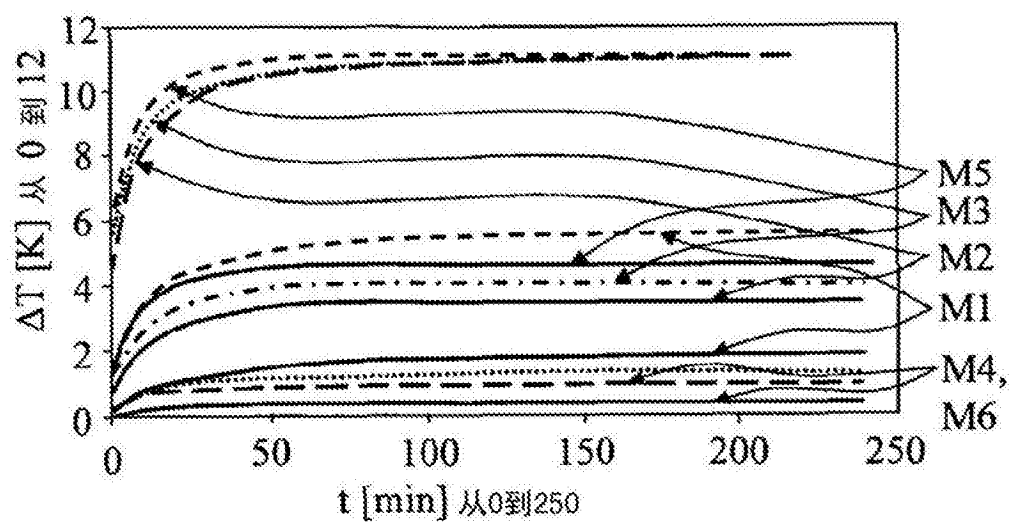


图7

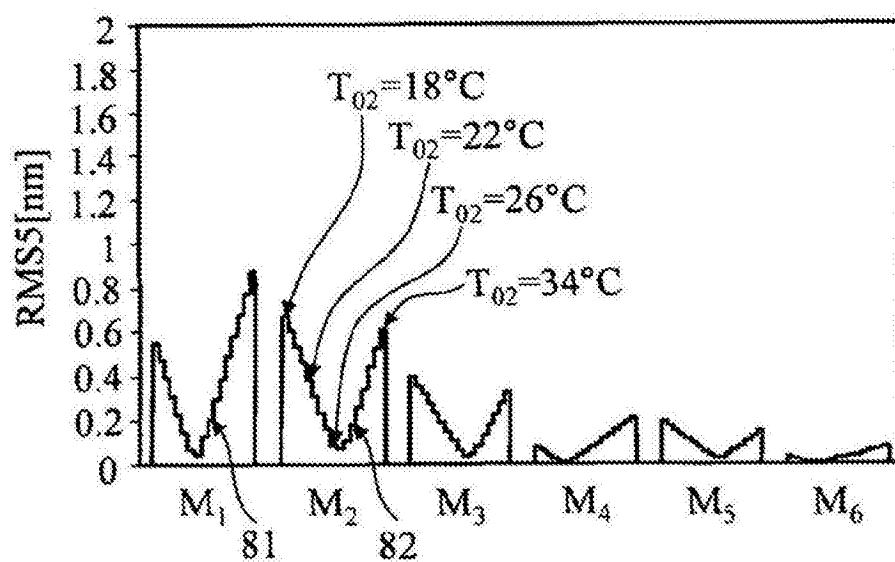


图8

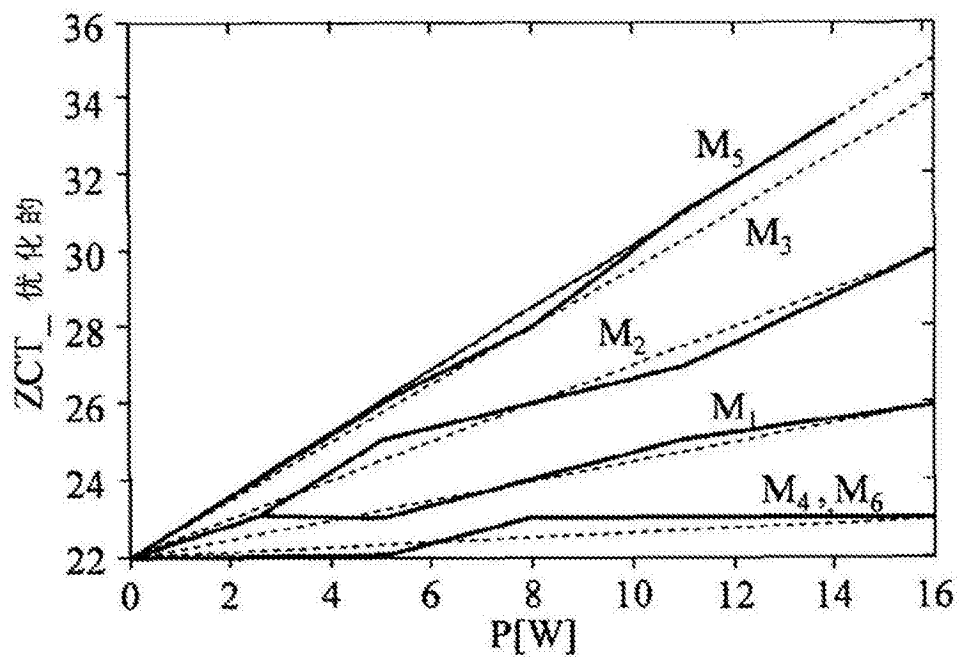


图9

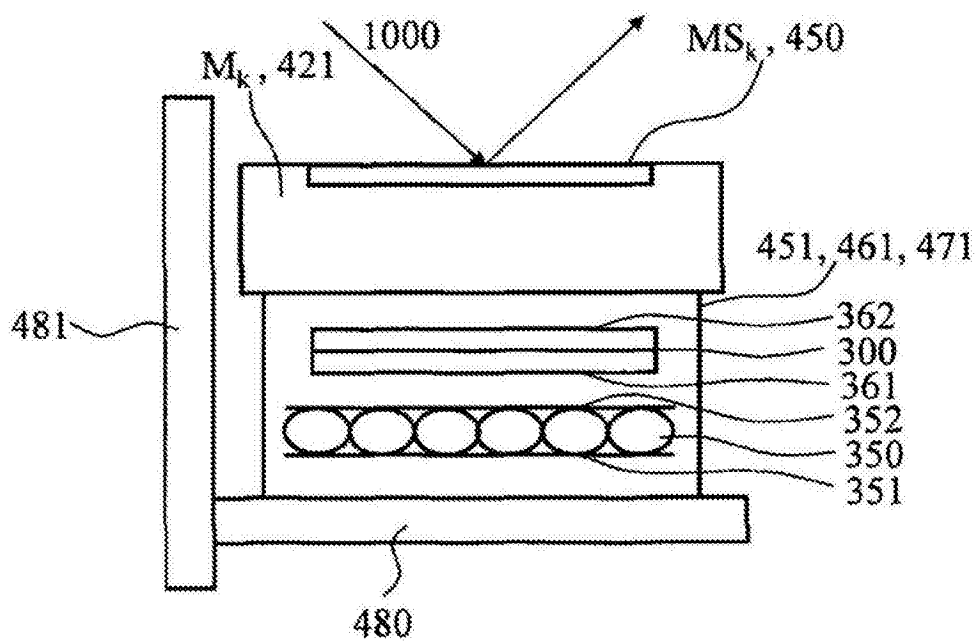


图10

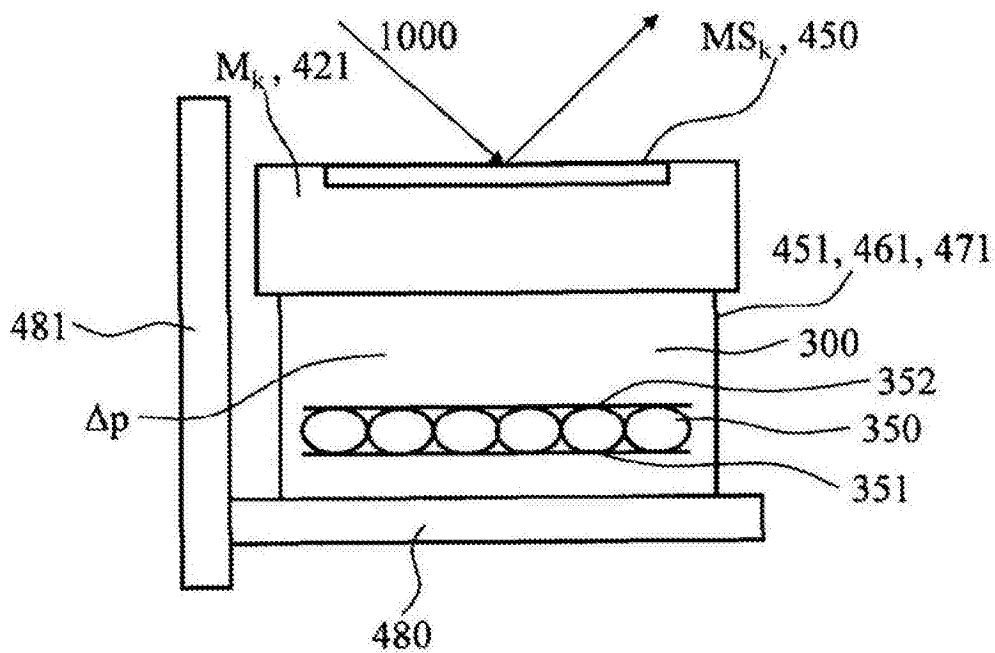


图11

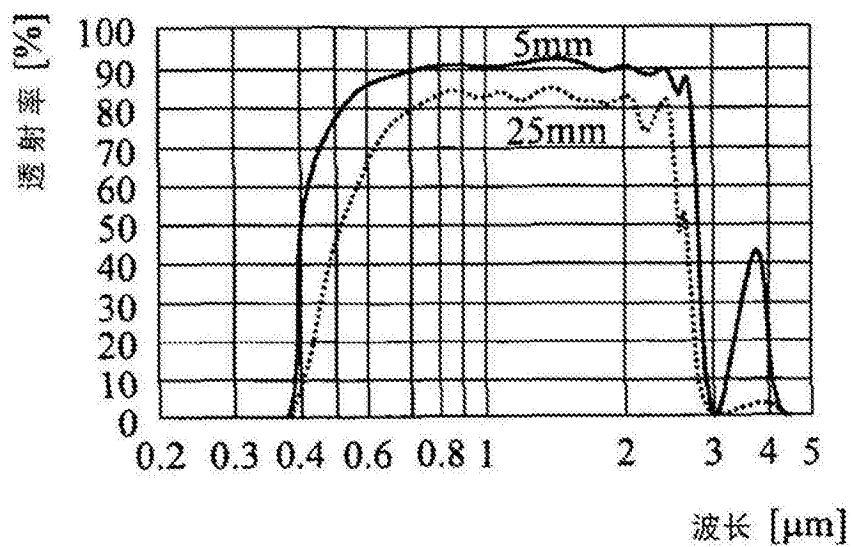


图12a

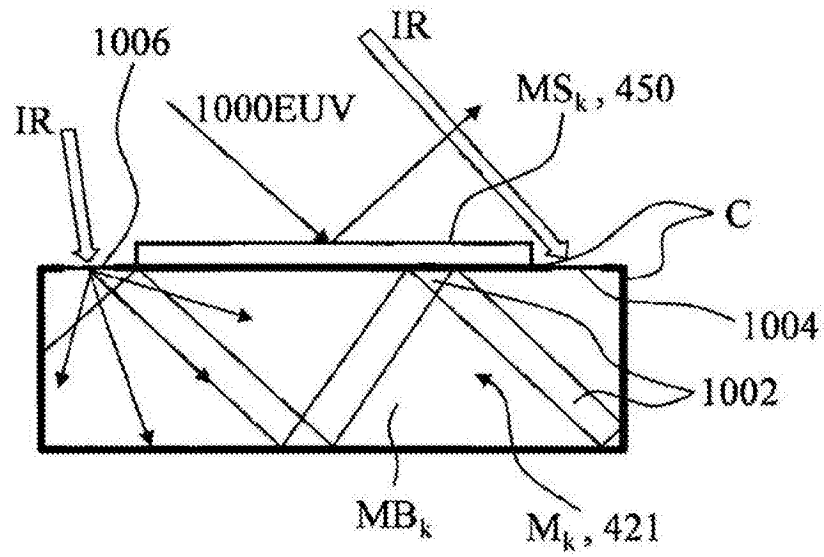


图12b

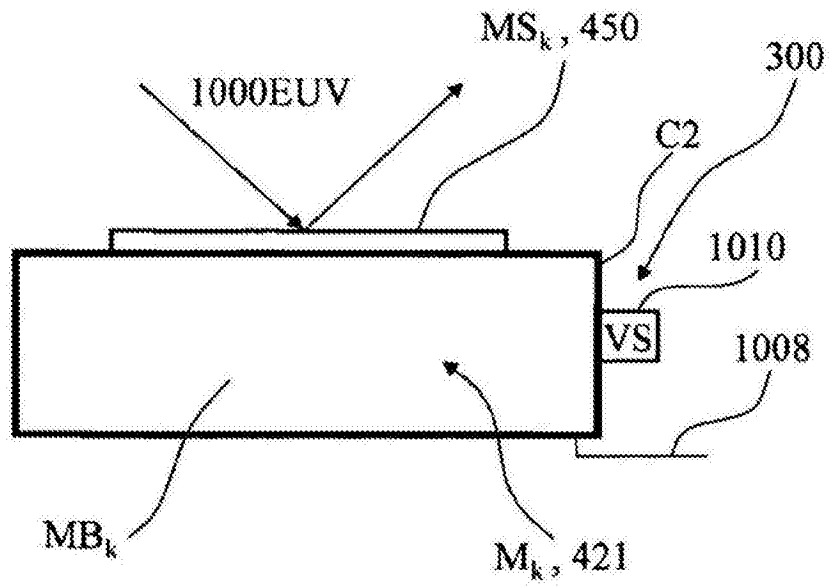


图12c

