



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108369299 B

(45) 授权公告日 2020.11.10

(21) 申请号 201680070686.9

(22) 申请日 2016.11.16

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108369299 A

(43) 申请公布日 2018.08.03

(30) 优先权数据
102015223983.7 2015.12.02 DE

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2018.06.01

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2016/077866 2016.11.16

(87) PCT国际申请的公布数据
W02017/093020 DE 2017.06.08

(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 J.霍夫曼 R.菲克特尔
F-J.斯蒂克尔 M.马特纳
M.赛特纳

(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.
G02B 5/08 (2006.01)
B24B 13/00 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 1946543 A, 2007.04.11
US 7118449 B1, 2006.10.10

审查员 邱宝玮

权利要求书1页 说明书9页 附图3页

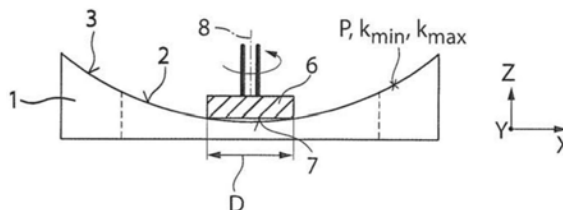
(54) 发明名称

抛光光学表面的方法和光学元件

(57) 摘要

本发明涉及光学元件(10),包括:具有实施为自由形式表面的光学表面(2)和在侧边处邻接光学表面(2)的区域(3)的基板(1),其中该在侧边处邻接光学表面(2)的区域(3)在每个点(P)处不超过形式为局部像散的抛光标准的阈值,其中该阈值由 $\Delta z_s = (k_{max} - k_{min}) / 8D^2$ 给定,其中在区域(3)的相应的点(P)处, k_{min} 表示最小局部曲率, k_{max} 表示最大局部曲率,并且其中适用 $D^2 = 2500\text{mm}^2$ 、优选地 $D^2 = 900\text{mm}^2$ 、特别地 $D^2 = 100\text{mm}^2$ 。本发明还涉及通过抛光工具抛光光学表面(2)的方法,该方法包含:通过在光学表面(2)之上和在侧边处邻接光学表面(2)的区域(3)之上移动抛光工具的抛光面来抛光实施为自由形式表面的光学表面(2),其中使区域(3)的几何形状与抛光工具匹配,特别地与抛光工具的抛光面的几何形状匹配,使得在区域(3)的每个点(P)处不超过抛光标准(Δz)的阈值,其中抛光标准(Δz)构成通过在邻接光学表面(2)的区域(3)之上移动抛光

工具来产生的光学表面(2)处的抛光误差的度量。



CN 108369299 B

1. 一种通过抛光工具 (6) 抛光光学表面 (2) 的方法, 包括:

通过在所述光学表面 (2) 之上和横向地邻接所述光学表面 (2) 的区域 (3) 之上移动所述抛光工具 (6) 的抛光面 (7) 来抛光所述光学表面 (2), 所述光学表面 (2) 实施为自由形式表面, 其中使所述区域 (3) 的几何形状与所述抛光工具 (6) 匹配, 特别地与所述抛光工具 (6) 的抛光面 (7) 的几何形状匹配, 使得在所述区域 (3) 的每个位置 (P) 处不超过抛光标准 (Δz) 的阈值 (Δz_s), 其中所述抛光标准 (Δz) 表示通过在邻接所述光学表面 (2) 的区域 (3) 之上移动所述抛光工具 (6) 而产生的所述光学表面 (2) 处的抛光误差的度量。

2. 根据权利要求1所述的方法, 其中在所述光学表面 (2) 之上和所述区域 (3) 之上移动期间, 所述抛光工具 (6) 的抛光面 (7) 关于旋转轴 (8) 进行旋转运动。

3. 根据权利要求1或2所述的方法, 其中将在所述区域 (3) 的相应位置 (P) 处的局部像散 (Δz) 选择作为抛光标准。

4. 根据权利要求3所述的方法, 其中由以下确定在所述区域 (3) 的相应位置 (P) 处的局部像散 Δz :

$$\Delta z = (k_{\max} - k_{\min}) / 8D^2,$$

其中D表示所述抛光工具 (6) 的抛光面 (7) 的直径, 并且其中在所述区域 (3) 的相应位置 (P) 处, k_{\min} 表示最小局部曲率以及 k_{\max} 表示最大局部曲率。

5. 根据权利要求1或2所述的方法, 其中所述抛光工具 (6) 的抛光面 (7) 形成平面面。

6. 根据权利要求1或2所述的方法, 其中基于所述光学表面 (2) 和所述横向相邻区域 (3) 二者的面的解析描述 ($z(x, y)$) 来确定所述光学表面 (2) 的几何形状和所述横向邻近区域 (3) 的几何形状。

7. 根据权利要求6所述的方法, 其中当确定所述光学表面 (2) 的几何形状时, 考虑所述横向相邻区域 (3) 的抛光标准 (Δz) 的阈值 (Δz_s)。

8. 根据权利要求1或2所述的方法, 其中在没有所述区域 (3) 的面的解析描述的情况下, 确定所述区域 (3) 的几何形状。

9. 根据权利要求1或2所述的方法, 在所述抛光之前的步骤中还包含:

基板 (1) 的机械处理, 以制造将要抛光的光学表面 (2) 和所述横向邻接区域 (3)。

10. 根据权利要求9所述的方法, 其中在所述基板 (1) 的机械处理和抛光期间, 制造具有代用几何形状的光学表面 (2), 所述代用几何形状偏离所述光学表面 (2) 的目标几何形状, 其中在所述抛光之后的校正过程中, 从所述代用几何形状来制造所述光学表面 (2) 的目标几何形状。

11. 根据权利要求1或2所述的方法, 其中选择所述抛光标准 (Δz) 的阈值 (Δz_s), 使得所述光学表面 (2) 处的抛光误差在至少一个随后校正过程中是可校正的。

12. 根据权利要求11所述的方法, 其中所述随后校正过程选自包括以下的组: 离子束处理和磁流变抛光。

抛光光学表面的方法和光学元件

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本专利申请要求于2015年12月2日提交的德国专利申请DE 10 2015 223983.7的优先权,其全部公开内容通过引用并入本申请。

技术领域

[0003] 本发明涉及通过抛光工具抛光光学表面的方法,并且涉及光学元件。

背景技术

[0004] US 7118449B1已经披露了制造具有光学表面的光学元件,该光学表面延伸到基板的边缘附近。为了制造光学元件,首先提供基板,所述基板具有超出光学表面的边缘延伸的主表面。基板在主表面超过光学表面延伸的区域中也被抛光。在抛光后,将含有超过光学表面延伸的表面的部分的基板材料移除。

[0005] 总体上,它通常不仅是光学表面自身,即使用的区域,而且是所谓的超限区域,即邻接光学表面的区域,出于制造高精度光学表面的目的,当抛光光学表面时,至少部分地将该邻接光学表面的区域抛光。该进程的原因,出于抛光边缘区域中的光学表面的目的,通常需要至少部分地移动抛光工具到超限区域,同样为了还能够由于所采用的的抛光工具的大小来以期望的精度抛光光学表面的边缘区域。

[0006] 即使所采用的的抛光工具已经相当大地位于光学表面的外面,抛光工具的部分典型地延伸到光学表面中并且因此也有助于光学表面的烧蚀。因此,超限区域的几何形状具有对光学表面的抛光的的质量的影响。如果超限区域在几何上不适合于抛光,则当抛光光学表面时出现抛光误差或表面误差。这样的抛光或表面误差,在下面还称为抛光标记,通常导致光学表面处的显著增加的校正效应。如果抛光误差在随后校正过程的范围内不是可校正的,则不可以根据规范制造光学表面,意味着光学表面对于所期望的应用是无法使用的。

发明内容

[0007] 发明目的

[0008] 本发明的目的是提供抛光光学表面的方法和具有减少的抛光误差的光学元件。

[0009] 本发明的主题

[0010] 该目的通过抛光工具抛光光学表面的方法来实现,该方法包括:通过在光学表面之上和横向地邻接光学表面的区域(通常同样实施为自由形式表面)之上移动抛光工具的抛光面来抛光光学表面,该光学表面实施为自由形式表面,其中使区域的几何形状与抛光工具匹配,特别地与抛光工具的抛光面的几何形状(或直径)匹配,使得在区域的每个位置处不超过抛光标准的阈值,其中抛光标准表示对通过在邻接光学表面的区域之上移动抛光工具而产生的光学表面处的抛光误差的度量。

[0011] 本发明提出了设计邻接光学表面的区域的几何形状或者将所述区域适配于用于抛光的抛光工具,使得通过在邻接区域之上移动抛光工具所产生的光学表面处的抛光误差

尽可能地小或小于阈值,使得可以制造光学表面,其符合与关于形状和粗糙度的表面质量相关的规范。这是可以确保的,如果在邻接光学表面的区域的各个位置处满足抛光标准的话,即如果抛光标准(其通常根据位置而改变)在每个位置处不超过阈值的话,因为在这种情况下可以在随后校正过程中校正抛光误差,所以这使得符合期望的规范的光学表面是可制造的。

[0012] 光学表面和区域二者通常是自由形式表面,即与球面和平坦表面形式偏离的面。作为示例,自由形式表面不仅可以是所谓的非球面表面,而且可以是自由形式表面,该非球面表面具有关于中心轴的径向对称性,该自由形式表面的几何形状不具有任何(径向)对称性,即其不是旋转对称的。自由形式表面可以具有圆形的圆周边缘,然而,自由形式表面具有与圆形形状偏离的圆周边缘也是可能的。

[0013] 通常,自由形式表面在各种情况下在至少两个位置处(通常多个位置处)具有最小曲率,所述最小曲率与相应位置处的最大曲率偏离。通常,自由形式表面的最大曲率和最小曲率在至少两个位置处彼此不同。

[0014] 在方法的一种变型中,在光学表面之上和区域之上移动期间,抛光工具的抛光面关于旋转轴进行旋转运动。在各个位置处,旋转轴通常基本上垂直于光学表面和/或区域对准。在(来回)移动期间,将抛光工具按压在光学表面之上并且抵靠光学表面。这同样适用于如果将抛光工具至少部分地移动到邻接区域中的情况。旋转运动的速度可以根据光学表面处或邻接区域处的位置而变化,或者在整个抛光过程可应用期间可以是常数。

[0015] 当使用抛光工具进行抛光时,抛光面的几何形状具备决定性的重要性。抛光面是抛光工具的面,其与光学表面和/或邻接区域接触。即使在抛光工具的旋转期间,抛光面必须能够适配于将要抛光的表面几何形状。从抛光工具来看,将要抛光的表面与通常是平坦的抛光面偏离,下面这称为(局部)形变或作为(局部)偏离。该局部形变或偏离导致在抛光工具下局部不同的烧蚀行为。这不仅导致抛光面内的不同烧蚀行为,而且导致在将要抛光的整个表面上的不同的烧蚀行为。

[0016] 由于光学表面与抛光面的局部形变/偏离,在光学表面(使用的区域)处进行恒定材料烧蚀是不可能的,正如通常在磨削之后的情况,以自始至终地移除深度损坏并且抛光光学表面。当在将要抛光的表面处尝试恒定材料烧蚀时的结果是抛光误差,其也称为抛光标记,其基本上取决于将要抛光的面的几何形状。该抛光标记可以具有陡峭梯度或高频成分,其构成随后校正过程的问题,随后校正过程应使得以精确给定规范制造表面是可能的。

[0017] 因此,为了在其抛光性方面评估将要抛光的表面的几何形状,提出引入基于几何学的抛光标准:为此,例如在将要抛光的表面的任何位置上,确定上文所述的将要抛光的表面与抛光工具的平面抛光面的形变或偏离。将在每个位置处抛光工具的抛光面和光学表面之间的偏离或形变分解为正交多项式系统,例如Zernike多项式,通常只有分解式的最低系数用作抛光性的度量。将Zernike系数各自分配到偏离的不同成分或者分配到不同波前像差,因此例如Zernike系数Z4表示偏离的聚焦成分,同时Zernike系数Z5/Z6表示偏离的局部像散或像散成分。

[0018] 在方法的有利变型中,选择在表面区域的相应位置处的局部像散作为抛光标准。发现了仅使用偏离的像散成分作为表面的抛光性的度量是有利的。尽管聚焦成分Z4同样指定抛光面必须如何强烈地弯曲,但是抛光面或抛光工具不需要在旋转期间进行适配。因此

聚焦成分Z4的形变或偏离应当认为是静态的形变。相比之下,形变的像散成分Z5/6指定了在旋转期间抛光工具如何必须动态地适配。像散成分Z5/6称为“局部像散”。如果旋转期间抛光工具或抛光面不再能够动态地适配,则显著的局部抛光误差是待预期的。

[0019] 如上进一步所述,抛光标准甚至使用更高项或Zernike系数是可能的,然而发现了像散成分通常表示在典型面(例如像用于光学元件的自由形式表面)的抛光性方面评估表面的充分标准。

[0020] 如上进一步所述,选择邻接光学表面的区域的几何形状,使得在区域中没有一个位置处局部像散超过表示局部像散的最大值的阈值。必须不会超过的阈值的规定取决于多个参数,例如抛光工具的旋转速度、抛光工具的抛光面的面积、在抛光期间将要获得的抛光烧蚀和在抛光之后的校正过程的校正能力。需要对过程综合性理解来基于这些参数设定阈值,在实际上该理解通常不是直接可以达到的。因此,形式为局部像散的抛光标准的阈值通常由与已经产生的、或已经抛光的光学表面的抛光误差的比较来设定。

[0021] 通常,可以理解的是,不仅在邻接光学表面的区域中而且在光学表面处必须不超过抛光标准的阈值。光学表面自身通常足够平,即其不具有陡峭增加或降低(梯度),并且还通常满足抛光标准。

[0022] 在发展中,区域的相应位置处的局部像散 Δz 被确定为或近似为:

$$[0023] \quad \Delta z = (k_{\max} - k_{\min}) / 8D^2, (1)$$

[0024] 其中D表示抛光工具的抛光面的直径,并且其中在区域的相应位置处, k_{\min} 表示最小局部曲率以及 k_{\max} 表示最大局部曲率。如从微分几何已知,两个主要曲率 k_{\min} 、 k_{\max} 可以分配给面的各个位置或点,所述主要曲率表示相应位置处的最小曲率半径和最大曲率半径,即以下适用: $k_{\min} = 1/R_{\max}$, $k_{\max} = 1/R_{\min}$ 。这个关系在数学上对于将两个主要曲率 k_{\min} 、 k_{\max} 假设为负数值的情况下也是正确的。根据上面的定义,局部像散具有长度单位,并且取决于抛光工具的典型旋转对称抛光面的直径。

[0025] 因为以如上进一步所述的方式(即在区域的每个位置处使用Zernike多项式的分解)计算局部像散是相对复杂的,所以在本发展中根据等式(1)近似地计算局部像散。上面还考虑的表面与抛光面的形变或偏离由以下构成:在相应位置处与对应于聚焦成分Z4的表面的平均曲率($1/2(k_{\min} + k_{\max})$)和近似地与局部像散Z5/6对应的曲率差($k_{\max} - k_{\min}$)的良好近似。因为从表面的(已知的)参数化的导数计算曲率 k_{\min} 、 k_{\max} ,所以在邻接光学表面的区域的当前情况下,在必须仅考虑抛光面的直径的情形下,从表面的几何形状来直接计算表面的局部像散是可能的。

[0026] 在一个发展中,抛光工具的抛光面形成平面面。通常,其抛光面具有平面设计的抛光工具用于抛光。如果抛光面关于轴旋转,则抛光面通常具有圆形几何形状,以在旋转运动期间不制造不平衡。如果抛光面具有平坦设计,则这另外简化了对将要抛光的表面与抛光面的形变和偏离的计算。

[0027] 存在各种选项来实现满足抛光标准的区域。

[0028] 在一种变型中,基于光学表面和横向相邻区域二者的面的解析描述来确定光学表面的几何形状和横向邻近区域的几何形状。

[0029] 因为光学表面用于反射或透射辐射,其几何形状通常由光学设计的解析描述(例如形式为多项式等式或多项式线/多项式面)来描述。在最简单的情况下,光学表面的面的

解析描述可以用于确定区域的几何形状,即光学表面的解析描述延伸至邻接区域的坐标。如果光学表面的几何形状的多项式描述延伸至邻接光学表面的区域,通常在该区域中由于多项式等式的数学性质而出现陡峭的增加或降低,所以光学表面的几何形状的多项式描述通常不能延伸至邻接区域,而在该区域中不违反抛光标准。如果当将光学表面的面的解析描述延伸到邻近区域时不满足抛光标准,则需要为该区域选择不同解。

[0030] 在一种发展中,当确定光学表面的(目标)几何形状时,考虑横向邻接区域的抛光标准的阈值。在这种情况下,在设计的布局或光学表面的(目标)几何形状的布局中,采用在区域中满足抛光标准作为附加的边界条件。因为当设定光学表面的目标几何形状时附加的边界条件限制自由度的数量,通常需要在这种情况下提供附加自由度,从而不降低光学表面的光学性能。通过使用面的解析描述的较高阶多项式来表示一种引入附加自由度的选项。使用这样的多项式可以使得可能抑制邻接光学表面的区域中陡峭的梯度,从而符合抛光标准,而没有光学表面的性质的恶化。

[0031] 在其他变型中,在没有区域的面的解析描述的情况下确定区域的几何形状。原则上,邻接光学表面的区域可以自由设计。作为示例,预先确定区域的外边缘并且使用填充算法填充区域是可能的。这使得可抑制不利的梯度和如在抛光标准方面所期望的区域的理想设计。由于缺少面的解析描述而不得求助于点群或面的相似描述在该方法中趋于为不利的。

[0032] 在其他变型中,方法附加地包含在抛光之前的步骤:基板的机械处理,用于制造将要抛光的光学表面和横向邻近区域。在抛光之前,由机械预先处理(例如碾磨或磨削,优选地使用松散磨料颗粒)来处理或形成光学表面,即应该发现光学用途的基板的区域。这同样适用于邻接光学表面的区域,所述区域同样地进行机械预先处理。机械处理制造邻接光学表面的区域处的几何形状,在抛光工具的抛光面的给定尺寸或给定直径的情况下,所述几何形状不超过抛光标准的阈值。

[0033] 在方法的发展中,在基板的机械处理期间和抛光期间,制造具有代用几何形状的光学表面,所述代用几何形状与光学表面的目标几何形状偏离,其中在抛光之后的校正过程中从代用几何形状来制造光学表面的目标几何形状。该发展描述了对于邻接光学表面的区域发现没有满足抛光标准的几何形状的情况,在由光学设计给定的光学表面的目标几何形状的情况下,所述区域例如由解析函数或多项式来描述。在这种情况下,寻找代用几何形状是可能的。该代用几何形状应该在邻接光学表面的区域满足抛光标准,但是根据其他标准,该代用几何形状还与由光学设计在光学表面处设定的目标几何形状偏离。在通过机械处理来制造光学表面和区域期间,即在成形期间,通过磨削和上面所述的抛光首先制造出在光学表面与由光学设计给定的目标几何形状偏离的代用几何形状。在抛光之后的一个或多个校正过程中,光学表面的代用几何形状(即机械处理和随后抛光期间制造的几何形状)的偏离适配于(除其他之外)光学表面的目标几何形状,使得最终在光学表面处出现目标几何形状。

[0034] 在其他发展中,以以下方式选择抛光标准的阈值:光学表面处的抛光误差在至少一个随后校正过程中是可校正的。如上面所进一步描述的,阈值的规定不仅取决于关于抛光剂或抛光工具的参数,而且取决于抛光之后校正过程的校正能力。抛光标准的阈值应该以以下的方式来选择:可以通过一个或可选的多个随后校正过程以期望的规范来制造光学

表面。

[0035] 在一种发展中,随后校正过程选自包括以下的组:离子束处理和磁流变抛光。离子束处理表示一校正方法,其中光学表面由离子或离子束局部地轰击以在光学表面处产生材料烧蚀。替代地或附加地,可以进行形式为所谓的磁流变抛光的校正过程。磁流变液体在该校正过程中充当工具。作为示例,将液体施加到旋转轮并且凝固在磁场中,使得一旦与将要处理的表面接触就产生材料烧蚀。得到理解的是,其他校正过程在小空间波长促进校正并且因此在中空间波长和长空间波长范围中通常不具有或是仅具有较小的表面质量的恶化,该其他校正过程还可以在除了两个上述的校正过程以外用于抛光之后。通常通过抛光和通过光学表面的机械预先处理来产生中空间波长和长空间波长范围中的表面质量。

[0036] 本发明的其他方面涉及光学元件,其包括:具有光学表面和区域的基板,该光学表面实施为自由形式表面,并且该区域横向地邻接光学表面,其中该横向地邻接光学表面的区域在每个位置处不超过形式为局部像散的抛光标准的阈值 Δz_s ,所述阈值由以下给定:

$$[0037] \quad \Delta z_s = (k_{\max} - k_{\min}) / 8D^2, (1')$$

[0038] 其中在区域的相应位置处, k_{\min} 表示最小局部曲率,并且 k_{\max} 表示最大局部曲率,并且其中适用 $D^2 = 2500\text{mm}^2$ 、优选地 $D^2 = 900\text{mm}^2$ 、特别地 $D^2 = 100\text{mm}^2$ 。

[0039] 如上进一步所述,除了区域的相应位置的主要曲率以外,由等式(1)近似的局部像散仅仅取决于采用的抛光工具的抛光面的直径。然而,抛光工具的抛光面不能选择为任意大的,所以数值D受限于最大数值,并且因此局部像散的阈值 Δz_s 还受限于与抛光工具的直径无关的最大数值。

[0040] 在一个实施例中,光学表面连续地合并到邻接光学表面的区域中。如果区域连续地邻接光学表面的边缘(即没有纽结),则有利于抛光光学表面。

[0041] 在其他实施例中,光学表面在1mm和光学表面的最大范围之间在空间波长范围中具有小于1nm rms的粗糙度。在该应用的意义内,将表面的最大范围理解为意味着连接沿着光学表面的边缘的两点的直线的最大长度。在具有圆形边缘的光学表面的情况下,最大范围表示光学表面的直径;在具有形式为椭圆的边缘或边缘轮廓的光学表面的情况下,最大范围表示主轴的长度,即椭圆的最大直径,等等。作为机械的预先处理、抛光并且可选地发生的随后校正过程的结果,在小、中和长空间波长的情况下可以在光学表面处产生期望质量或表面粗糙度。

[0042] 在一个实施例中,区域从光学表面以不超过50mm的距离延伸到外面。从光学表面,在基板处必须满足抛光标准的区域通常不会比采用的抛光工具的抛光面的直径更远地延伸到外面。在与光学表面距更远距离的情况下,抛光工具不再以其抛光面突出进光学表面中,所以甚至更远地位于外面的区域的几何形状的陡峭梯度通常不再对抛光误差具有影响。

[0043] 在其它实施例中,光学元件至少在光学表面处具有反射涂层,特别是对EUV辐射反射的涂层。在这种情况下,光学元件通常是反射镜,特别是EUV反射镜。通常,仅光学表面而不是邻接区域设置有反射涂层。然而,基板还可以可选地全部或是部分地具有邻接区域中的反射涂层。光学表面是基板的表面的部分,该部分布置在光学布置的束路径中,并且在该部分处,光学布置的使用的辐射被以定向方式反射。光学布置可以是例如光刻设备,特别是EUV光刻设备,然而光学元件还可以有利地用在其他光学布置中。

[0044] 参考示出本发明重要细节的附图,从本发明的示例性实施例的以下描述以及从权利要求得出本发明的其他特征和优点。单独特征可以在各种情况下在本发明的变型中由它们自身单独地实现,或者作为任何期望的组合中的多个来实现。

附图说明

[0045] 在示意性附图中说明示例性实施例,并且在以下描述中进行解释。附图中:

[0046] 图1a示出了光学表面和邻接该光学表面的区域的俯视图的示意图;

[0047] 图1b、c示出了抛光期间在光学表面和邻接该光学表面的区域之上移动的抛光工具的示意图;

[0048] 图1d示出了抛光之后形式为光学表面的离子束处理的校正过程的示意图;

[0049] 图2示出形式为EUV反射镜的光学元件的示意图;以及

[0050] 图3a、b示出了基板表面与平面面的局部偏离的示意图以及沿着穿过根据图1a-d的基板的截面的局部像散的示意图。

具体实施方式

[0051] 在附图的以下描述中,相同的附图标记用于相同或功能相同的部件。

[0052] 图1a-d示意性示出了形成基板1、在该基板1的表面上的光学表面2(即使用的区域)和横向地邻接光学表面2的区域3(超限区域)。光学表面2具有由相邻区域3以环形形状方式围绕的椭圆形边缘4。邻接光学表面2的区域3延伸直到外部,也就是基板1的椭圆形边缘5。在所示出的实施例中,基板1是所谓的零膨胀材料,例如Zerodur®或ULE®,即可以用于EUV反射镜的基板1。形式为其他材料(例如形式为石英玻璃)的基板1的使用同样是可能的。

[0053] 光学表面2(即基板1的光学上使用的区域)和邻接区域3二者分别地形成自由形式表面,即不会以径向对称的形式延伸且在所示出的示例中也不会关于xyz坐标系统的轴线之一镜像对称地延伸的面。用以下方式选择光学表面2的几何形状:在抛光之后且进一步校正过程之后,所述表面符合光学规范,即仅在预定的公差范围内偏离由光学布置的光学设计所给定的目标几何形状,在该光学布置的束路径中布置光学表面2。区域3也实现为自由形式表面,该区域3邻接光学表面2并且以连续的方式(即没有形式为纽结的过渡)接合光学表面2的边缘4。用以下方式选择区域3的几何形状:在区域的每一个位置P处遵照抛光标准,在下面更详细地描述该抛光标准。

[0054] 图1b和图1c中示出了通过抛光工具6对光学表面2的抛光过程。该抛光工具6具有圆形平面抛光面7,在该抛光面7处,将抛光工具6压靠至基板1的表面。当抛光时,使抛光工具6处于绕与抛光面7中心接触的旋转轴8的旋转运动中,并且使该抛光工具6(更明确地说是抛光面7)在光学表面2(参见图1b)之上以通常为来回运动的运动进行移动。

[0055] 如图1c中所示出的,为了还能够在其边缘处抛光光学表面2,需要同样将抛光工具6至少部分地移动到邻接区域3中。通常,需要将抛光工具6移动到区域3直到抛光面7仍然仅压靠区域3,而不再压靠光学表面2。如可以在图1c中所识别的,当将抛光工具6移动到邻接光学表面2的区域3中时,部分的平面抛光面7还压靠光学表面2。邻接光学表面2的区域3的几何形状因而影响了在抛光期间在光学表面2处将基板1的材料烧蚀多少。因此,可以由邻

接光学表面2的区域3的不利地选择的几何形状以不利的形式影响抛光工具6的烧蚀能力,所以所述区域的几何形状必须以适当的形式来选择,以最小化光学表面2处的表面误差或抛光误差,所述误差通过将抛光工具6移动到邻接光学表面2的区域3中引起。

[0056] 出于该目的,使区域3的几何形状与抛光工具6的几何形状匹配,更明确地说与抛光面7的直径D匹配,使得在区域3的每个位置P处不超过抛光标准 Δz 的阈值 Δz_s 。抛光标准 Δz 是在相应位置P处由抛光工具6在区域3之上的移动而在光学表面2处引起的抛光误差的度量。在光学表面2处或总体上在表面处的抛光误差来自于表面与抛光面7的几何形状的偏离,在所示出的示例中该抛光面7是平面,其中在相应位置P处的偏离取决于抛光面7的直径D。

[0057] 图3a示出了沿着图1a中由虚直线示出并且在y方向上延伸的切口穿过基板1的截面。在图3a中,可以在中间看到光学表面2的区域,在其右边和左边可以看到相邻区域3。如下面所描述的,图3b绘制局部像散的关联数值。如果将相应位置P处的抛光面7与光学面2的偏离A分解为Zernike多项式形式的正交多项式系统,并且如果只考虑低阶项(即聚焦项Z4和像散Z5/6),则当抛光面7关于旋转轴8旋转时可以识别出聚焦项Z4仅表示偏离A的静态成分,所述静态成分对于发生抛光误差是不重要的或具有次级重要性。这在(局部)像散Z5/6的情况下是不同的,因为该(局部)像散Z5/6表示偏离A的动态成分,其指定在旋转的情况下抛光面7或抛光工具6如何强烈地必须在相应位置P处动态适配于将要抛光的光学表面2或适配于相邻区域3。

[0058] 因此,局部散光Z5/6表示合适的抛光标准,即当抛光工具6位于邻接光学表面2的区域3的相应位置P时在光学表面2处引起的抛光误差的度量。图3b示出了取决于位置P(在光学表面2处且在相邻区域3中)的局部像散 Δz 。图3b同样地示出了不应该被超出的局部像散 Δz 的阈值 Δz_s ,以确保可以用期望的规范制造光学表面2。

[0059] 如可以在图3b中识别的,在区域3的截面中超出阈值 Δz_s ,区域3的截面在所示出的示例中在Y方向上穿过光学表面2的截面的左手侧上,然而光学表面2自身在每个位置P处具有位于阈值 Δz_s 以下的局部像散 Δz 。因此,在图3b中所示出的示例中,区域3不适配于抛光工具6,更明确地说不适配于抛光面7的直径D,使得光学表面2处产生足够小的抛光误差。因此需要以适当方式修改区域3的几何形状,使得后者满足抛光标准。

[0060] 如上文进一步所描述的,为代替使用分解为正交多项式系统来计算局部像散 Δz ,在相应位置P处的局部像散 Δz 可以由以下公式近似计算:

$$[0061] \quad \Delta z = (k_{\max} - k_{\min}) / 8D^2,$$

[0062] 其中D表示抛光工具6的抛光面7的直径,并且其中在区域3的相应位置P处 k_{\min} 表示最小局部曲率且 k_{\max} 表示最大局部曲率。在此,最小和最大曲率 k_{\min} 、 k_{\max} 分别地构成相应位置P处的最大和最小的曲率半径的倒数,即以下适用 $k_{\min} = 1/R_{\max}$, $k_{\max} = 1/R_{\min}$ 。

[0063] 存在制造区域3的多个可选项,不同于图3b中所示出的,该区域3满足抛光标准:作为示例,光学表面2的面的解析描述 $z(x, y)$ (例如形式为多项式或多项式等式) 可以延伸至邻接光学表面2的区域3:在最简单的情况下,光学表面2的面的解析描述 $z(x, y)$ 还用于相邻区域3。然而,这假设光学表面2的几何形状的面的解析描述 $z(x, y)$ 在邻接光学表面2的区域3中不具有太陡峭的增长或降低。通常,通过优化光学表面2的面的描述 $z(x, y)$,这趋向于具有对光学表面2的抛光外部相当不利的条件,并且所以必须在特定环境下选择不同的解以

满足区域3的抛光标准。

[0064] 作为示例,当确定光学表面2的几何形状时(其根据光学设计进行),可以考虑横向相邻区域3的抛光标准 Δz 的阈值 Δz_s 作为附加条件。因为附加条件表示可用的自由度的限制,所以可能需要对光学表面2的和相邻区域3的面的解析描述 $z(x,y)$ 使用较高阶多项式,从而首先能够在区域3中维持抛光标准,并且其次通过引入附加条件而不会使光学表面2的光学性能恶化。

[0065] 替代地,可以在没有面的解析描述的情况下确定区域3的几何形状,例如借助于光学表面2的外边缘4和基板1的外边缘5之间的由填充算法填充的区域3,以抑制不利的增长或梯度以及以满足抛光标准的理想方式设计如所期望的区域,使得在区域3中的没有一点处超过形式为局部像散的抛光标准 Δz 的阈值 Δz_s 。

[0066] 观察区域3中的抛光标准的其他可选项由使用光学表面2的代用几何形状构成。特别是在通过面的解析描述 $z(x,y)$ 在区域3中不能满足抛光标准的情况下,这是有利的。在该情况下,从其中不满足抛光标准的区域3的面的解析描述 $z(x,y)$ 出发,可以搜索光学表面2和相邻区域3的代用几何形状,该代用几何形状在区域3中满足抛光标准,但是根据例如最大给定梯度的某一标准,与由光学设计所给定的光学表面2的目标几何形状偏离。

[0067] 在这种情况下,在抛光(例如,通过磨削)之前和在抛光期间通过机械处理处理基板1,使得光学表面2制造有与光学表面的目标几何形状偏离的代用几何形状。在基板1的机械处理期间或成形期间和抛光期间,邻接光学表面2的区域3还制造有这样的几何形状:所述区域满足抛光标准,即,区域3在没有一个位置P处超过形式为局部像散 Δz 的抛光标准的阈值 Δz_s 。

[0068] 为了制造具有给定目标几何形状的光学表面2,如图1d中以示例性方式所示出的,在校正过程中,于抛光之后,后处理具有代用几何形状的光学表面2。在所示出的示例中,校正过程是离子束处理过程,其中可移动控制的离子束枪9将离子束对准到光学表面2上,以局部地(即在光学表面2的每个位置P处)产生材料烧蚀,从而将光学表面2的代用几何形状适配于由光学设计所给定的目标几何形状。

[0069] 得到理解的是,当光学表面2在磨削和抛光期间不是以形式为代用几何形状来制造,而是如果在抛光期间直接尝试制造光学表面2的目标几何形状时,典型地还进行图1d中所示出的校正过程或其他校正或的后处理过程,例如所谓的磁流变抛光。通常,需要这样的校正过程,因为通过抛光,光学表面2仅在中空间波长和长空间波长接近期望的目标几何形状,而在随后例如离子束处理的校正过程期间,光学表面2还可以在短空间波长适配于目标几何形状,从而因此制造在所有空间波长范围中符合规范的光学表面2。

[0070] 选择抛光标准 Δz 的阈值 Δz_s ,使得光学表面2处的抛光误差可以在随后的校正过程中至少被校正到这样的程度:光学表面2以期望的精度或公差接近目标几何形状。适当的阈值 Δz_s 可以由与已经制造的、已经抛光的光学表面的抛光误差的比较来设定。

[0071] 作为示例,在图1d中所示出的离子束处理之后,光学表面2在1mm和光学表面2的最大范围L之间在空间波长范围中可以具有小于1nm rms的粗糙度R,其中,如图1a中所示出的,最大范围L表示主轴的(即光学表面2的椭圆形成形的边缘4的最大直径的)长度L。

[0072] 如图2中所示出的,出于制造EUV反射镜10的目的,可以将反射涂层11施加到这样的光学表面2,其满足目标几何形状或对于形状和粗糙度R的规范。在所示出的示例中,涂层

11设计为反射近似5nm和近似30nm之间的EUV波长范围内的EUV辐射13,并且为此,所述涂层的反射率的最大值在波长13.5nm处,其对应于EUV反射镜10所使用的波长。在所示出的示例中,反射涂层11具有由不同折射率的材料构成的交替层12a、12b。在所示出的示例中,第一层12a由硅(具有较高的折射率)构成并且第二层12b由钼(具有较低的折射率)构成。例如,钼和铍、钨和铍或者镧和B₄C的其他材料组合同样是可能的——取决于在EUV波长范围内的使用的波长。

[0073] 光学元件10中,与其上已经施加反射涂层11的光学表面2邻接的区域3不会在每个位置P处(即在每一个位置P)超过像散 Δz 的阈值 Δz_S ,以下适用: $\Delta z \leq \Delta z_S$,其中:

$$[0074] \quad \Delta z_S = (k_{\max} - k_{\min}) / 8D^2,$$

[0075] 其中如上进一步所述限定 k_{\min} 和 k_{\max} ,其中以下适用于 D^2 : $D^2 = 2500\text{mm}^2$ 、优选地 $D^2 = 900\text{mm}^2$ 、特别地 $D^2 = 100\text{mm}^2$ 。得到理解的是,抛光性随着阈值 Δz_S 降低而增加,然而越是难以找到区域3的在所有位置P处不会超过阈值 Δz_S 的几何形状,选择的阈值 Δz_S 越小。

[0076] 得到理解的是,邻接光学表面2且满足抛光标准的区域3通常不会从光学表面2延伸至外部超过距离d,该距离d对应于抛光工具6的抛光面7的直径D。如果移动抛光工具6进一步远离光学表面2,则抛光面7与光学表面2横向间隔开,并且因此在该区域中抛光不再对光学表面2处的抛光误差具有任何影响。得到理解的是,和图1a-d中所描绘的不同,区域3的外边缘不需要对应于基板1的外边缘5,而是基板1可能还延伸至外面超出区域3的外边缘,其中在还位于外部的区域中不再满足抛光标准。

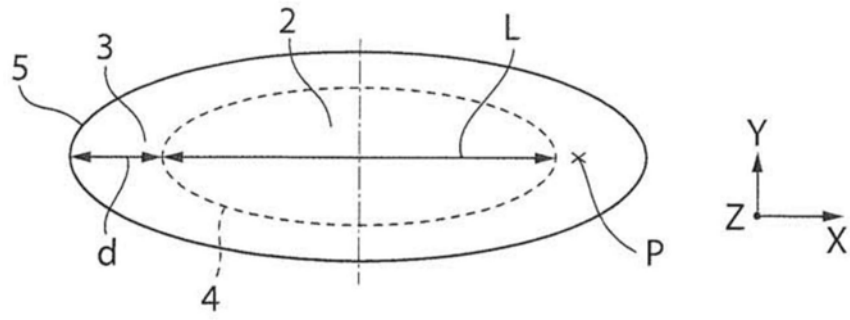


图1a

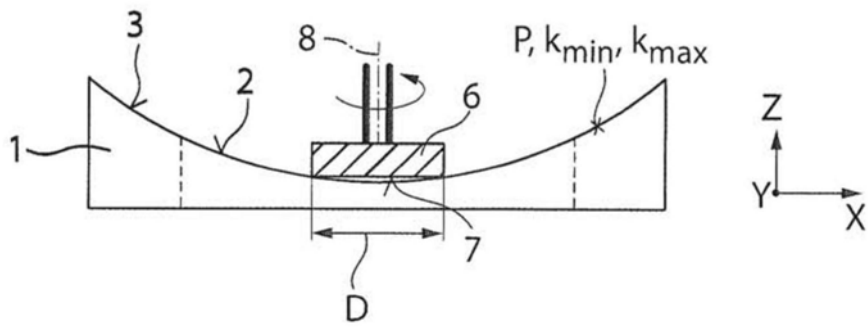


图1b

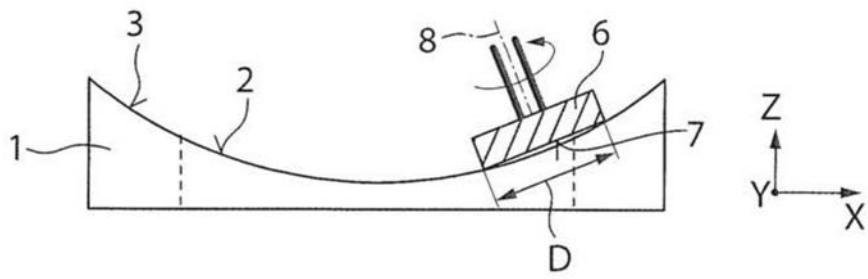


图1c

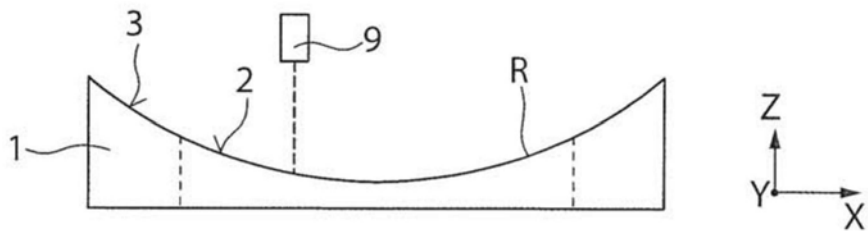


图1d

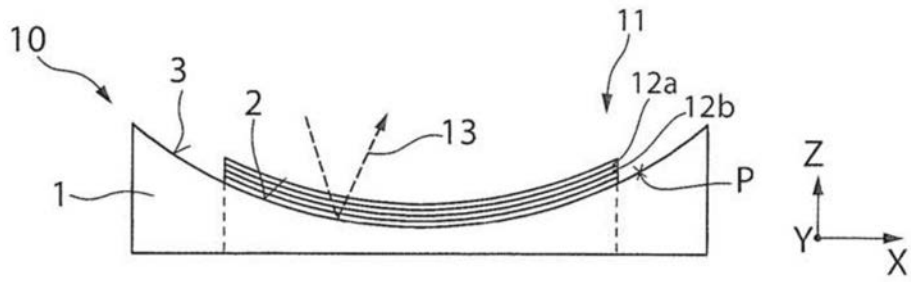


图2

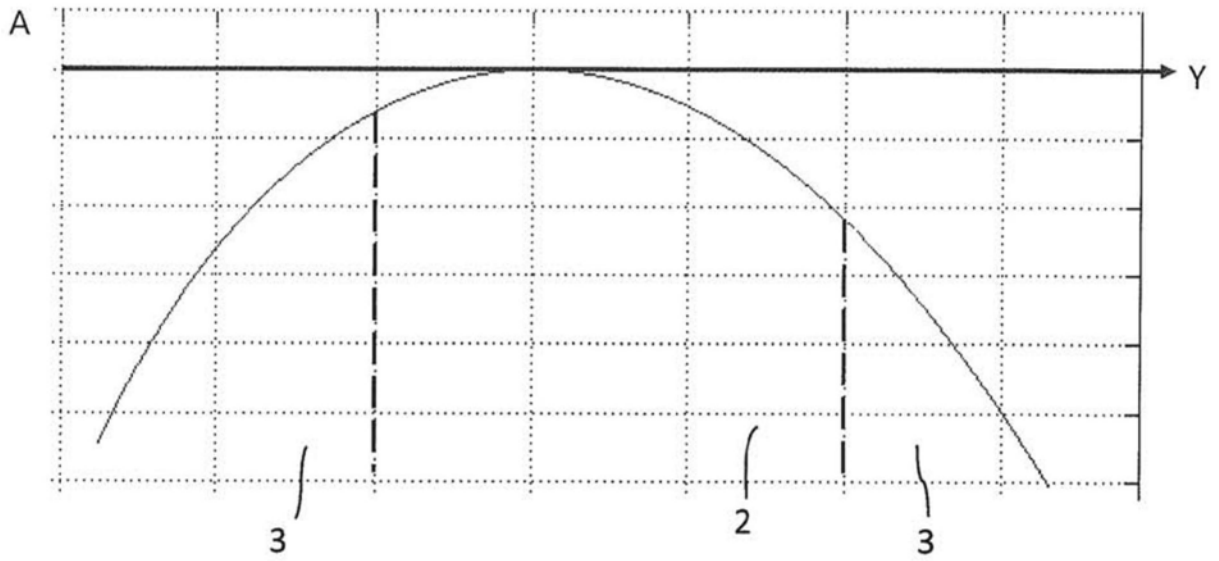


图3a

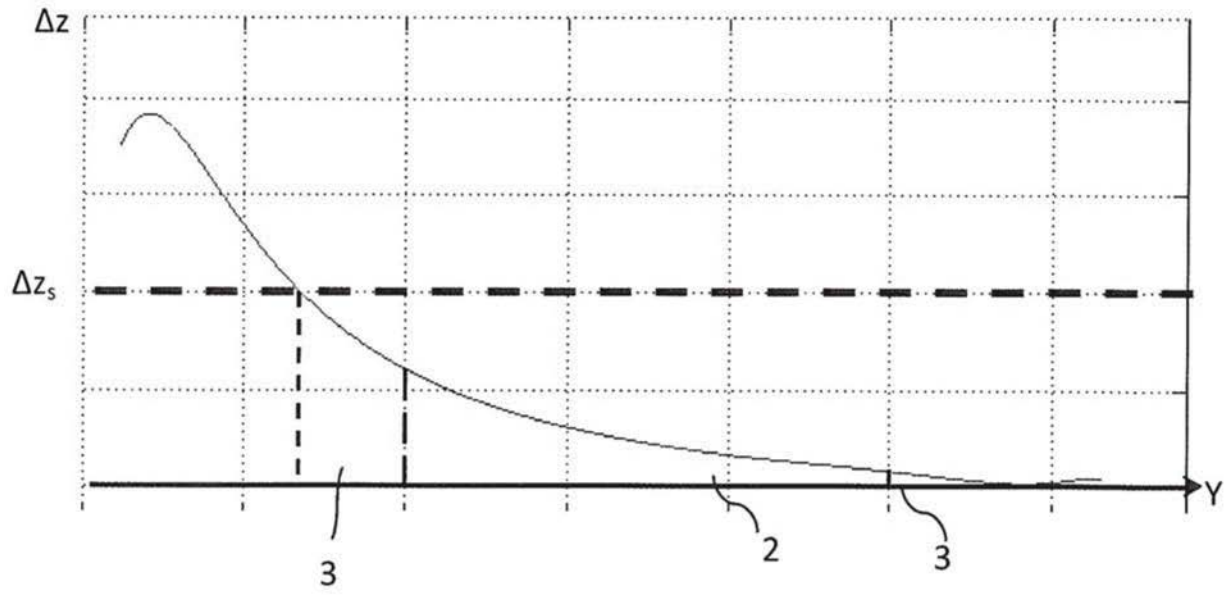


图3b