



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105002466 B

(45)授权公告日 2017.10.31

(21)申请号 201510346877.0

G02B 1/10(2015.01)

(22)申请日 2015.06.23

G02B 1/00(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105002466 A

(43)申请公布日 2015.10.28

(73)专利权人 中国科学院国家天文台南京天文
光学技术研究所

地址 210042 江苏省南京市板仓街188号

(72)发明人 王晋峰 王烨儒

(74)专利代理机构 江苏致邦律师事务所 32230
代理人 栗仲平

(51)Int.Cl.

G23C 14/30(2006.01)

G23C 14/04(2006.01)

G02B 5/08(2006.01)

(56)对比文件

CN 102732844 A,2012.10.17,说明书第
0005-0037段及图1.

WO 2007/043414 A1,2007.04.19,全文.

CN 1136172 A,1996.11.20,全文.

CN 102817007 A,2012.12.12,全文.

JP 特开平10-317151 A,1998.12.02,全文.

审查员 谢荟

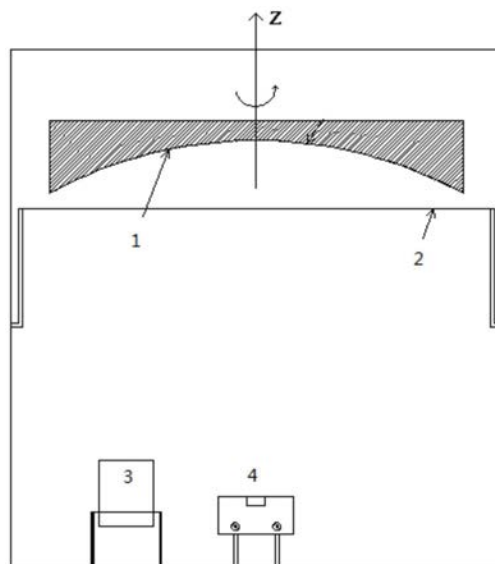
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

碳化硅非球面反射镜加工与改性一体化的
制备方法

(57)摘要

碳化硅非球面反射镜加工与改性一体化的制备方法,其特征在于,步骤如下:(1). 真空蒸镀材料膜厚分布的确定;(2). 蒸镀非球面膜厚分布的推导;(3). 掩模板形状的确定;(4). 在设置好步骤(3)确定的掩模板以后,利用真空蒸发镀膜技术蒸镀改性材料到碳化硅起始球面之上,以实现碳化硅非球面的初步成型;(5). 对致密改性层进行光学精密抛光,最终得到改性后的碳化硅非球面反射镜。本发明可用于大口径非球面的加工,蒸镀材料可以根据光学元件的性质进行选择。由于在碳化硅非球面成型与改性后还要进行光学精密抛光,因此可以获得高精度低粗糙度的碳化硅非球面元件。



1. 一种碳化硅非球面反射镜加工与改性一体化的制备方法,其特征在于,步骤如下:

(1). 真空蒸镀材料膜厚分布的确定;

(2). 蒸镀非球面膜厚分布的推导;

(3). 掩模板形状的确定;

(4). 在设置好步骤(3)确定的掩模板以后,利用真空蒸发镀膜技术蒸镀改性材料到碳化硅起始球面之上,以实现碳化硅非球面的初步成型;

(5). 对致密改性层进行光学精密抛光,最终得到改性后的碳化硅非球面反射镜;

步骤(1)所述的“真空蒸镀材料膜厚分布的确定”,其具体操作方法是:

基板上某一点P的膜厚表示为:

$$t_p = C \frac{\cos^n \phi \cdot \cos \theta}{r^2} \quad (1.1)$$

其中C是常数,r是P点到蒸发源的距离, ϕ 是蒸发源表面法线与P点和蒸发源连线的夹角, $\cos^n \phi$ 用来描述蒸发源的蒸汽发射特性, θ 是P点法线与P点和蒸发源连线的夹角;真空蒸镀材料膜厚分布表示为:

$$\frac{\langle t_p \rangle}{\langle t_0 \rangle} = \frac{\int_0^\pi C \frac{\cos^n \phi \cdot \cos \theta}{r^2} d(\omega t)}{\int_0^\pi C \frac{\cos^n \phi_0 \cdot \cos \theta_0}{r_0^2} d(\omega t)} ;$$

步骤(2)所述的“蒸镀非球面膜厚分布的推导”,是采用以下两种方式之一:

a. 为以顶点曲率中心为球心的球面做为蒸镀起始球面;

b. 为以最接近比较球面为蒸镀起始球面;

其具体操作方法是:

设x表示非球面的旋转对称轴,y表示入射光线在非球面上的高度,则轴对称非球面的子午截面曲线可表示为:

$$y_{\text{非}}^2 = a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3,$$

基础球面可表示为:

$$y_{\text{球}}^2 = 2Rx - x^2,$$

蒸镀非球面膜厚分布:

$$d(y) = x_{\text{非}} - x_{\text{球}};$$

步骤(3)所述的掩模板形状的确定中,使用掩模板时的膜厚 $t_m(y)$,无掩模板时的膜厚 $t_n(y)$,对于给定的y值其关系可表示为:

$$t_m(y) = t_n(y) \left[1 - \frac{M(EF)}{2\pi y} \right];$$

其中 $t_m(y)$ 为球面与所需非球面的厚度差分布; $t_n(y)$ 为未使用掩模板时在基础球面上的蒸镀膜厚分布;可得掩模板形状表示式:

$$M(EF) = 2\pi y \left[1 - \frac{t_n(y)}{t_n(y)} \right]$$

。

碳化硅非球面反射镜加工与改性一体化的制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种天文望远镜镜面的加工技术,具体涉及一种碳化硅非球面反射镜加工与改性一体化的制备方法。该制备方法可以克服现有技术碳化硅非球面加工由于材料的特殊性质导致磨制效率低下和较大的粗糙度等问题。

背景技术

[0002] 碳化硅材料具有刚性高、热稳定性好、热膨胀系数小、热导率大、耐磨损性耐化学腐蚀性高、机械性能各项同性和无毒等优点,是目前公认的应用于空间光学系统的最佳反射镜材料。由于碳化硅材料的特殊结构,磨制碳化硅反射镜非常具有挑战性:接近于金刚石的硬度带来了磨制效率低下的问题;稳定的化学特性无法“柔化”表面以提高抛光过程中镜体的表面粗糙度和表面去除效率;表面的晶粒结构使得研磨、抛光过程中很容易形成晶粒整体剥落,形成表面麻点,而剥落的较大晶粒可能会反过来划伤表面,这些特点使碳化硅很难达到高质量的表面粗糙度。

[0003] 因此,碳化硅反射镜通常需要进行基底表面改性以提高表面粗糙度。所谓碳化硅表面改性就是在碳化硅基底表面镀制一层与基底结合牢固、且抛光性能良好的具有相当厚度的致密膜层,以覆盖基底表面缺陷,然后再对致密改性层进行光学精密抛光,以达到获得较高质量的光学表面的目的。

[0004] 碳化硅基底表面改性方法主要有化学气相沉积和物理气相沉积。在碳化硅非球面镜的加工中,若仅加工碳化硅表面至起始球面,而后通过真空蒸镀技术完成非球面的成型与改性,最后对致密改性层进行光学精密抛光将会大大提高碳化硅非球面镜的加工效率。碳化硅非球面加工与改性过程如图1所示。

[0005] 图1为真空蒸镀碳化硅非球面示意图,图中,碳化硅反射镜1位于蒸镀室上方,掩膜板2的形状由所需非球面与基础球面的厚度差和实际膜厚分布所决定;辅助镀膜用离子源3,电子束蒸发源4。

[0006] 真空蒸发镀膜(简称蒸镀)是在真空条件下,用蒸发器加热物质,使之汽化蒸发,蒸发粒子流直接输运到基片并在基片上沉积形成固态薄膜的一种工艺方法。真空蒸发加热的方式主要有电阻加热蒸发、电子束加热蒸发、高频加热蒸发和激光加热蒸发等方式。近年来,随着离子束辅助镀膜技术的引入,增强了薄膜与基底的结合力,降低了薄膜的内应力,同时能增加膜的堆积密度,提高膜的致密性,消除柱状晶,细化膜结构,因此,成膜质量得到了显著提高,薄膜性质已经接近于同质固体材料。现代真空蒸镀设备性能稳定,膜厚分布重复性好,辅以特殊设计的掩膜板,可实现膜层厚度在被镀元件上的特殊分布。

[0007] 本发明将真空蒸镀技术同时应用于碳化硅非球面的成型与改性阶段。在碳化硅非球面成型阶段通过填充材料取代磨削手段,克服了磨制碳化硅效率低下的问题;同时用于蒸镀成型的膜层即为改性膜层,非球面成型后直接用于光学的光学精密抛光,可获得高精度低粗糙度的碳化硅非球面元件。

[0008] 本发明可用于大口径非球面的加工,蒸镀材料可以根据光学元件的性质进行选

择。由于在碳化硅非球面成型与改性后还要进行光学精密抛光,因此可以获得高精度低粗糙度的碳化硅非球面元件。

发明内容

[0009] 为了克服现有技术中,碳化硅非球面加工时,由于材料的特殊性质导致磨制效率低下和较大的粗糙度等问题。本发明的目的是提供一种碳化硅非球面反射镜加工与改性一体化的制备方法。本方法是一种表面粗糙度低、加工周期短、成本低的碳化硅非球面反射镜加工与改性一体化制备方法;本发明解决了传统碳化硅材料加工效率低下和基底粗糙的问题,适用于大曲率半径、小偏移量和大口径的低粗糙度碳化硅非球面加工。

[0010] 完成上述发明任务的技术方案是,一种碳化硅非球面反射镜加工与改性一体化的制备方法,其特征在于,步骤如下:

[0011] (1).真空蒸镀材料膜厚分布的确定;

[0012] (2).蒸镀非球面膜厚分布的推导;

[0013] (3).掩模板形状的确定(即膜厚分布的控制)

[0014] (4).在设置好步骤(3)确定的掩模板以后,利用真空蒸发镀膜技术蒸镀改性材料到碳化硅起始球面之上,以实现碳化硅非球面的初步成型;

[0015] (5).对致密改性层进行光学精密抛光,最终得到改性后的碳化硅非球面反射镜。

[0016] 本发明在碳化硅非球面镜的加工中结合真空蒸镀技术,蒸镀改性材料到碳化硅起始球面之上以实现碳化硅非球面的初步成型,之后对致密改性层进行光学精密抛光,最终得到改性后的碳化硅非球面反射镜。解决了传统碳化硅材料加工效率低下和基底粗糙的问题,提供了一种表面粗糙度低、加工周期短、成本低的碳化硅非球面反射镜加工与改性一体化制备方法。本发明适用于大曲率半径、小偏移量和大口径的低粗糙度碳化硅非球面加工。

[0017] 本发明的碳化硅非球面加工与改性一体化技术可细分为以下三个关键环节:

[0018] 1、真空蒸镀材料膜厚分布的确定

[0019] 基板上任何一点的薄膜厚度,决定于蒸发源的发射特性以及几何配置,已知蒸发源的发射特性以及几何配置,可以从理论上进行计算,从而得到膜厚分布规律。

[0020] 基于下面三个假定,可以对膜厚分布进行理论计算:

[0021] (1)蒸发分子与蒸发分子、蒸发分子与残余气体分子之间没有碰撞;

[0022] (2)蒸发分子到达基板表面后全部淀积成紧密的薄膜,其密度和大块材料相同;

[0023] (3)蒸发源的蒸汽发射特性不随时间变化。

[0024] 在以上假定条件下,基板上某一点P的膜厚可以表示为:

$$[0025] \quad t_p = C \frac{\cos^n \phi \cdot \cos \theta}{r^2} \quad (1.1)$$

[0026] 如图2,其中C是常数,r是该点到蒸发源的距离, ϕ 是蒸发源表面法线与P和蒸发源连线的夹角, $\cos^n \phi$ 用来描述蒸发源的蒸汽发射特性, θ 是P点法线与P和蒸发源连线的夹角。

[0027] 对于旋转平面基板,将 t_p 对于绕中心轴旋转半圈的范围积分平均,得到平均厚度表达式为:

$$[0028] \quad \langle t_p \rangle = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi C \frac{\cos^n \phi \cdot \cos \theta}{r^2} d(\omega t) \quad (1.2)$$

[0029] ω 为转动角速度, ωt 为转过的角度。膜厚分布用任意点膜厚与中心点膜厚之比表示为:

$$[0030] \quad \frac{\langle t_p \rangle}{\langle t_0 \rangle} = \frac{\int_0^\pi C \frac{\cos^n \phi \cdot \cos \theta}{r^2} d(\omega t)}{\int_0^\pi C \frac{\cos^n \phi_0 \cdot \cos \theta_0}{r_0^2} d(\omega t)} \quad (1.3)$$

[0031] 2、蒸镀非球面膜厚分布的推导:

[0032] 图3-a为以顶点曲率中心为球心的球面作为蒸镀基础球面;图3-b为以最接近比较球面为蒸镀基础球面,阴影部分为所需蒸镀的膜厚。在传统非球面加工方法中,适当基础球面的选取可以减少磨削量,起到事半功倍的效果。在真空蒸镀非球面中基础球面的选取亦可参考经典非球面光学工艺,根据真空蒸镀和被加工非球面的特点,比较多种选择方式中最大非球面度的大小,既可以选择最接近比较球面为基础球面,也可选择以顶点曲率中心为球心的球面作为基础球面。

[0033] 基础球面确定后,结合所需非球面的面形便可确定蒸镀非球面的膜厚分布。

[0034] 具体方法如下:

[0035] 设 x 表示非球面的旋转对称轴, y 表示入射光线在非球面上的高度,则轴对称非球面的子午截面曲线可表示为:

$$[0036] \quad y_{\text{非}}^2 = a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3$$

[0037] 基础球面可表示为:

$$[0038] \quad y_{\text{球}}^2 = 2Rx - x^2$$

[0039] 蒸镀非球面膜厚分布:

$$[0040] \quad d(y) = x(\text{非}) - x(\text{球})。$$

[0041] 3、掩模板形状的确定(即膜厚分布的控制)。

[0042] 镀膜时挡在光学元件前面的掩模板可以改变膜层厚度的分布。如图4,楔形阴影表示位于光学元件之前的掩模板,使用掩模板时的膜厚 $t_m(y)$,无掩模板时的膜厚 $t_n(y)$,对于给定的 y 值其关系可表示为:

$$[0043] \quad t_m(y) = t_n(y) \left[1 - \frac{M(EF)}{2\pi y} \right];$$

[0044] 其中 $t_m(y)$ 为球面与所需非球面的厚度差分布; $t_n(y)$ 为未使用掩模板时在基础球面上的蒸镀膜厚分布。因此,可得掩模板形状表示式:

$$[0045] \quad M(EF) = 2\pi y \left[1 - \frac{t_m(y)}{t_n(y)} \right]。$$

附图说明

- [0046] 图1为真空蒸镀碳化硅非球面示意图；
 [0047] 图2为真空蒸镀数学模型；
 [0048] 图3-a为以顶点曲率中心为球心的球面做为蒸镀起始球面；
 [0049] 图3-b为以最接近比较球面为蒸镀起始球面。阴影部分为所需蒸镀的膜厚分布。
 [0050] 图3-a、图3-b中，5为基本球面；6为非球面抛光；7为非球面镀膜。
 [0051] 图4为掩膜板示意图。

具体实施方式

[0052] 实施例1,碳化硅非球面反射镜加工与改性一体化的制备方法,参照图1:图中,碳化硅反射镜1位于蒸镀室上方,掩膜板2的形状由所需非球面与基础球面的厚度差和实际膜厚分布所决定;辅助镀膜用离子源3,电子束蒸发源4。

[0053] (1).真空蒸镀材料膜厚分布的确定:

[0054] 如图2,其中C是常数,r是该点到蒸发源的距离, ϕ 是蒸发源表面法线与P和蒸发源连线的夹角, $\cos^n \phi$ 用来描述蒸发源的蒸汽发射特性, θ 是P点法线与P和蒸发源连线的夹角。真空蒸镀材料膜厚分布可表示为:

$$[0055] \quad \frac{\langle t_p \rangle}{\langle t_0 \rangle} = \frac{\int_0^\pi C \frac{\cos^n \phi \cdot \cos \theta}{r^2} d(\omega t)}{\int_0^\pi C \frac{\cos^n \phi_0 \cdot \cos \theta_0}{r_0^2} d(\omega t)} ;$$

[0056] (2).蒸镀非球面膜厚分布的推导:

[0057] 设x表示非球面的旋转对称轴,y表示入射光线在非球面上的高度,则轴对称非球面的子午截面曲线可表示为:

$$[0058] \quad y_{\text{非}}^2 = a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3,$$

[0059] 基础球面可表示为:

$$[0060] \quad y_{\text{球}}^2 = 2Rx - x^2,$$

[0061] 蒸镀非球面膜厚分布:

$$[0062] \quad d(y) = x_{\text{(非)}} - x_{\text{(球)}} ;$$

[0063] (3).掩膜板形状的确定:(即膜厚分布的控制):

[0064] 镀膜时挡在光学元件前面的掩膜板可以改变膜层厚度的分布。如图4,楔形阴影表示位于光学元件之前的掩膜板,使用掩膜板时的膜厚 $t_m(y)$,无掩膜板时的膜厚 $t_n(y)$,对于给定的y值其关系可表示为:

$$[0065] \quad t_m(y) = t_n(y) \left[1 - \frac{M(EF)}{2\pi y} \right]$$

[0066] 其中 $t_m(y)$ 为球面与所需非球面的厚度差分布; $t_n(y)$ 为未使用掩膜板时在基础球面上的蒸镀膜厚分布。因此,可得掩膜板形状表示式:

$$[0067] \quad M(EF) = 2\pi y \left[1 - \frac{t_m(y)}{t_n(y)} \right]$$

[0068] (4). 在设置好步骤(3)确定的掩膜板以后,利用真空蒸发镀膜技术蒸镀改性材料到碳化硅起始球面之上,以实现碳化硅非球面的初步成型;

[0069] (5). 对致密改性层进行光学精密抛光,最终得到改性后的碳化硅非球面反射镜。

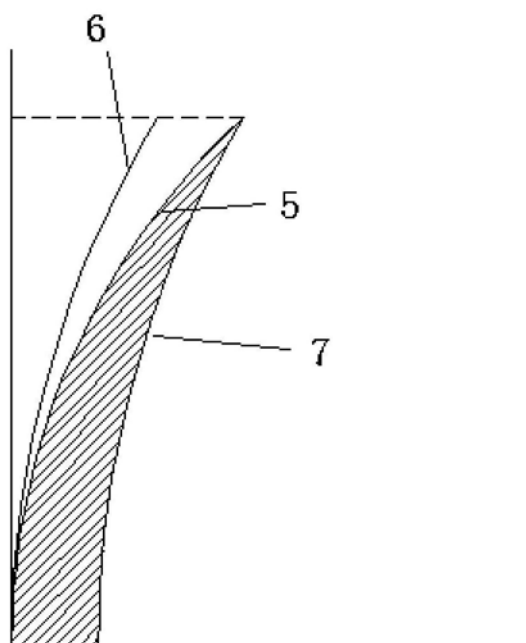


图3-a

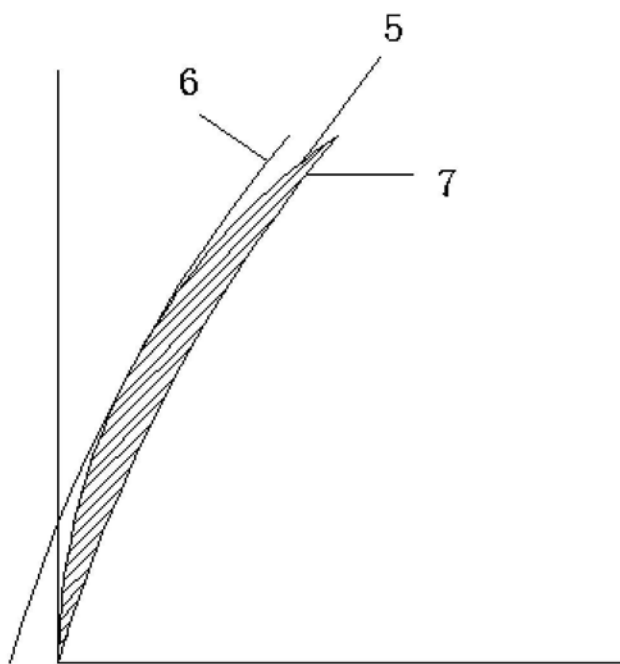


图3-b

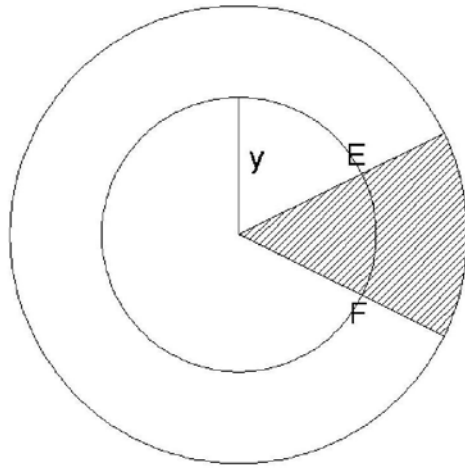


图4