



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116880036 A

(43) 申请公布日 2023. 10. 13

(21) 申请号 202311140735.X

(22) 申请日 2023.09.06

(71) 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市经济技术开发区东南湖大路3888号

(72) 发明人 郭疆 李奕博 张学军 薛栋林 刘初枫

(74) 专利代理机构 长春中科长光知识产权代理事务所(普通合伙) 22218

专利代理师 张羽

(51) Int. Cl.

G02B 7/188 (2021.01)

G02B 7/182 (2021.01)

G02B 7/198 (2021.01)

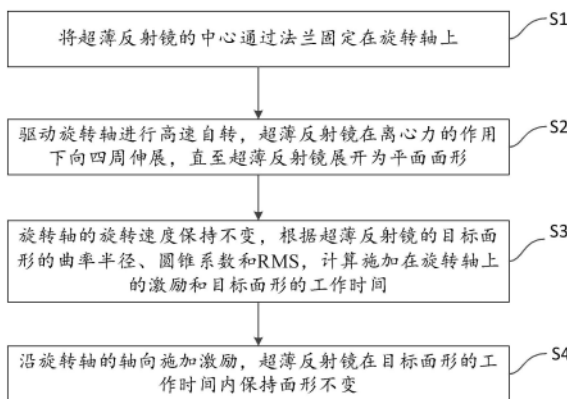
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

## (54) 发明名称

超薄反射镜的面形控制方法

## (57) 摘要

本发明涉及光学薄膜技术领域,尤其涉及一种超薄反射镜的面形控制方法,包括:S1、将超薄反射镜的中心通过法兰固定在旋转轴上;S2、驱动旋转轴进行高速自转,超薄反射镜在离心力的作用下向四周伸展,直至超薄反射镜展开为平面面形;S3、旋转轴的旋转速度保持不变,根据超薄反射镜的目标面形的曲率半径、圆锥系数和RMS,计算施加在旋转轴上的激励和目标面形的工作时间;S4、沿旋转轴的轴向施加激励,超薄反射镜在目标面形的工作时间内保持面形不变。本发明提出的超薄反射镜的面形控制方法的结构简单,能够将超薄反射镜的面形控制为球面或其他二次曲面。



1. 一种超薄反射镜的面形控制方法,其特征在于,具体包括如下步骤:

S1、将超薄反射镜的中心通过法兰固定在旋转轴上;

S2、驱动所述旋转轴进行高速自转,所述超薄反射镜在离心力的作用下向四周伸展,直至所述超薄反射镜展开为平面面形;

S3、所述旋转轴的旋转速度保持不变,根据所述超薄反射镜的目标面形的曲率半径、圆锥系数和RMS,计算施加在所述旋转轴上的激励和所述目标面形的工作时间;

S4、沿所述旋转轴的轴向施加所述激励,所述超薄反射镜在所述目标面形的工作时间内保持面形不变。

2. 根据权利要求1所述的超薄反射镜的面形控制方法,其特征在于,在所述步骤S3中,具体包括如下步骤:

S31、计算所述超薄反射镜的目标面形:

$$Z(x) = \frac{x^2/R}{1 + [1 - (k + 1)(x/R)^2]^{1/2}} \quad (1);$$

其中, $z$ 为目标面形的矢高, $x$ 为目标面形上的一点距目标面形中心的水平距离, $R$ 为目标面形的曲率半径, $k$ 为目标面形的圆锥系数;

S32、根据所述步骤S31的计算结果和所述目标面形的RMS,计算所述目标面形的工作时间:

$$\frac{\int_0^{2\pi} \int_0^r (\sqrt{[Z(x) - z(x, t_a)]^2}) dx d\theta}{\int_0^{2\pi} \int_0^r dx d\theta} < a \quad (2);$$

其中, $a$ 为所述目标面形的RMS, $r$ 为旋转轴的半径, $z(x, t)$ 为所述超薄反射镜在生成过程中的变化面形, $[t_{a1}, t_{a2}]$ 为所述目标面形的工作时间;

S33、计算施加在所述旋转轴上的激励:

$$z(x, t) = \sqrt{\frac{r}{x}} \int_0^t h(t - t_x) dt \quad (3);$$

其中, $h(t)$ 为激励。

3. 根据权利要求1所述的超薄反射镜的面形控制方法,其特征在于,在所述步骤S4中,沿所述旋转轴的轴向施加所述激励后,所述旋转轴沿轴向移动。

## 超薄反射镜的面形控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光学薄膜技术领域,尤其涉及一种超薄反射镜的面形控制方法。

### 背景技术

[0002] 空间薄膜反射镜是一种以柔性聚合物薄膜为基坯、用外力控制面形的反射镜,它具有成本低、收藏体积小、质量轻等优点,能够满足空间反射镜超大超轻量化的需求。该类型反射镜的技术难点在于镜面展开与面形控制。

[0003] 空间薄膜反射镜可用于辅助在轨高光谱成像卫星的成像工作,轨高光谱成像卫星的工作波段基本覆盖了400~2500nm波段,部分载荷还覆盖了8~12 $\mu\text{m}$ 波段,在光线充足的情况下,曝光时间约为2ms。当前所使用的空间薄膜反射镜主要有静电拉伸式和充气式两种。充气式薄膜反射镜通常由两块薄膜组成,在边缘处由拉伸圈固定,利用气压充气使薄膜拉伸产生所需要的弯曲面形,但充气式薄膜在镜面发生变形时无法进行实时调整,且面形rms仅可达到1-3 $\mu\text{m}$ ,因此不适用于高成像质量系统。

[0004] 静电拉伸式薄膜反射镜通过利用静电场中存在的库仑力,对薄膜施加侧向载荷,通过控制电压实现对面形的控制。但是电极数量的增加在提高控制精度的同时,也会引起电极放电、击穿等负面影响,电荷排布与控制对控制算法的影响极大,并且高压电源的增加也会增加反射镜的质量,另外,静电拉伸式薄膜反射镜在加工的过程中还需配合加持机构和边缘矫正器,加持结构力度的偏差会影响反射镜的精度,而边缘矫正器的使用会增加反射镜的质量,且静电拉伸式薄膜反射镜在200mm口径范围内面形rms仅可达到亚波长精度。

### 发明内容

[0005] 本发明为解决薄膜反射镜的面形无法实时调整,且由于在面形控制的过程中需配合夹持机构和边缘矫正器,导致超薄反射镜的精度较低,质量较低,提供一种超薄反射镜的面形控制方法,具有面形控制方法的结构简单的特点,能够将超薄反射镜的面形控制为球面或其他二次曲面。

[0006] 本发明提供超薄反射镜的面形控制方法,具体包括如下步骤:

S1、将超薄反射镜的中心通过法兰固定在旋转轴上。

[0007] S2、驱动旋转轴进行高速自转,超薄反射镜在离心力的作用下向四周伸展,直至超薄反射镜展开为平面面形。

[0008] S3、旋转轴的旋转速度保持不变,根据超薄反射镜的目标面形的曲率半径、圆锥系数和RMS,计算施加在旋转轴上的激励和目标面形的工作时间。

[0009] S4、沿旋转轴的轴向施加激励,超薄反射镜在目标面形的工作时间内保持面形不变。

[0010] 优选地,在步骤S3中,具体包括如下步骤:

S31、计算超薄反射镜的目标面形:

$$Z(x) = \frac{x^2/R}{1 + [1 - (k + 1)(x/R)^2]^{1/2}} \quad (1);$$

[0011] 其中,  $z$  为目标面形的矢高,  $x$  为目标面形上的一点距目标面形中心的水平距离,  $R$  为目标面形的曲率半径,  $k$  为目标面形的圆锥系数。

[0012] S32、根据步骤S31的计算结果和目标面形的RMS, 计算目标面形的工作时间:

$$\frac{\int_0^{2\pi} \int_0^r (\sqrt{[Z(x) - z(x, t_a)]^2}) dx d\theta}{\int_0^{2\pi} \int_0^r dx d\theta} < a \quad (2);$$

[0013] 其中,  $a$  为目标面形的RMS,  $r$  为旋转轴的半径,  $z(x, t)$  为超薄反射镜在生成过程中的变化面形,  $[t_{a1}, t_{a2}]$  为目标面形的工作时间。

[0014] S33、计算施加在旋转轴上的激励:

$$z(x, t) = \sqrt{\frac{r}{x}} \int_0^t h(t - t_x) dt \quad (3);$$

[0015] 其中,  $h(t)$  为激励。

[0016] 优选地, 在步骤S4中, 沿旋转轴的轴向施加激励后, 旋转轴沿轴向移动。

[0017] 与现有技术相比, 本发明能够取得如下有益效果:

本发明提出的超薄反射镜的面形控制方法的结构简单, 能够将超薄反射镜的面形控制为球面或其他二次曲面, 在高速旋转的状态下, 超薄反射镜的镜面受力均匀, 且面形精度较高, 能够避免电极放电、电磁击穿和镜面褶皱等负面影响。

## 附图说明

[0018] 图1是根据本发明实施例提供的超薄反射镜的面形控制方法的流程图;

图2是根据本发明实施例提供的超薄反射镜的面形控制方法的结构示意图;

图3是根据本发明实施例提供的超薄反射镜的面形控制方法的施加激励示意图;

图4是根据本发明实施例提供的超薄反射镜的面形控制方法的激励传播示意图。

[0019] 附图标记包括: 超薄反射镜1, 旋转轴2和法兰3。

## 具体实施方式

[0020] 在下文中, 将参考附图描述本发明的实施例。在下面的描述中, 相同的模块使用相同的附图标记表示。在相同的附图标记的情况下, 它们的名称和功能也相同。因此, 将不重复其详细描述。

[0021] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白, 以下结合附图及具体实施例, 对本发明进行进一步详细说明。应当理解, 此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明, 而不构成对本发明的限制。

[0022] 图1示出了根据本发明实施例提供的超薄反射镜的面形控制方法的流程; 图2示出了根据本发明实施例提供的超薄反射镜的面形控制方法的结构; 图3示出了根据本发明实施例提供的超薄反射镜的面形控制方法的施加激励; 图4示出了根据本发明实施例提供的超薄反射镜的面形控制方法的激励传播。

[0023] 如图1-图4所示, 本发明实施例提供的超薄反射镜的面形控制方法, 具体包括如下

步骤:

S1、将超薄反射镜1的中心通过法兰3固定在旋转轴2上。

[0024] S2、驱动旋转轴2进行高速自转,超薄反射镜1在离心力的作用下向四周伸展,直至超薄反射镜1展开为平面面形。

[0025] S3、旋转轴2的旋转速度保持不变,根据超薄反射镜1的目标面形的曲率半径、圆锥系数和RMS,计算施加在旋转轴2上的激励和目标面形的工作时间。

[0026] 在步骤S3中,具体包括如下步骤:

S31、计算超薄反射镜1的目标面形:

$$Z(x) = \frac{x^2/R}{1 + [1 - (k + 1)(x/R)^2]^{1/2}} \quad (1);$$

[0027] 其中,z为目标面形的矢高,x为目标面形上的一点距目标面形中心的水平距离,R为目标面形的曲率半径,k为目标面形的圆锥系数。

[0028] S32、根据步骤S31的计算结果和目标面形的RMS,计算目标面形的工作时间:

$$\frac{\int_0^{2\pi} \int_0^r (\sqrt{[Z(x) - z(x,t_a)]^2}) dx d\theta}{\int_0^{2\pi} \int_0^r dx d\theta} < a \quad (2);$$

[0029] a为目标面形的RMS,r为旋转轴2的半径,z(x, t)为超薄反射镜1在生成过程中的变化面形,[ $t_{a1}$ ,  $t_{a2}$ ]为目标面形的工作时间。

[0030] S33、计算施加在旋转轴2上的激励:

$$z(x,t) = \sqrt{\frac{r}{x}} \int_0^t h(t-t_x) dt \quad (3);$$

[0031] 其中, h(t)为激励。

[0032] S4、沿旋转轴2的轴向施加激励,超薄反射镜1在目标面形的工作时间内保持面形不变。

[0033] 在步骤S4中,沿旋转轴2的轴向施加激励后,旋转轴2沿轴向移动。

[0034] 旋转轴2的旋转角速度 $\omega$ 影响着超薄反射镜1的刚度,角速度 $\omega$ 越大,超薄反射镜1的刚度越强,激励h(t)在超薄反射镜1中的横向传播速度越快。通过对激励h(t)和旋转角速度 $\omega$ 进行调整可实现对超薄反射镜的面形的实时控制。

[0035] 当形成直径20m、F数为50、激励横向传播速度为1m/s的目标面形时,可在10s内成形,并在一定时间内维持面形精度如下表:

维持时间	面形精度(rms)
4ms	<60nm
20ms	<300nm
50ms	<770nm
100ms	<1.5 $\mu$ m
300ms	<9 $\mu$ m
1s	<30 $\mu$ m
2s	<80 $\mu$ m
5s	<200 $\mu$ m
全工作时段	<500 $\mu$ m

[0036] 完成一次成像工作后,不再施加轴向激励 $h(t)$ ,在绕轴旋转的作用下,超薄反射镜1于10s内重新拉伸为平面状态。

[0037] 应该理解,可以使用上面所示的各种形式的流程,重新排序、增加或删除步骤。例如,本发明公开中记载的各步骤可以并行地执行也可以顺序地执行也可以不同的次序执行,只要能够实现本发明公开的技术方案所期望的结果,本文在此不进行限制。

[0038] 上述具体实施方式,并不构成对本发明保护范围的限制。本领域技术人员应该明白的是,根据设计要求和因素,可以进行各种修改、组合、子组合和替代。任何在本发明的精神和原则之内所作的修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明保护范围之内。

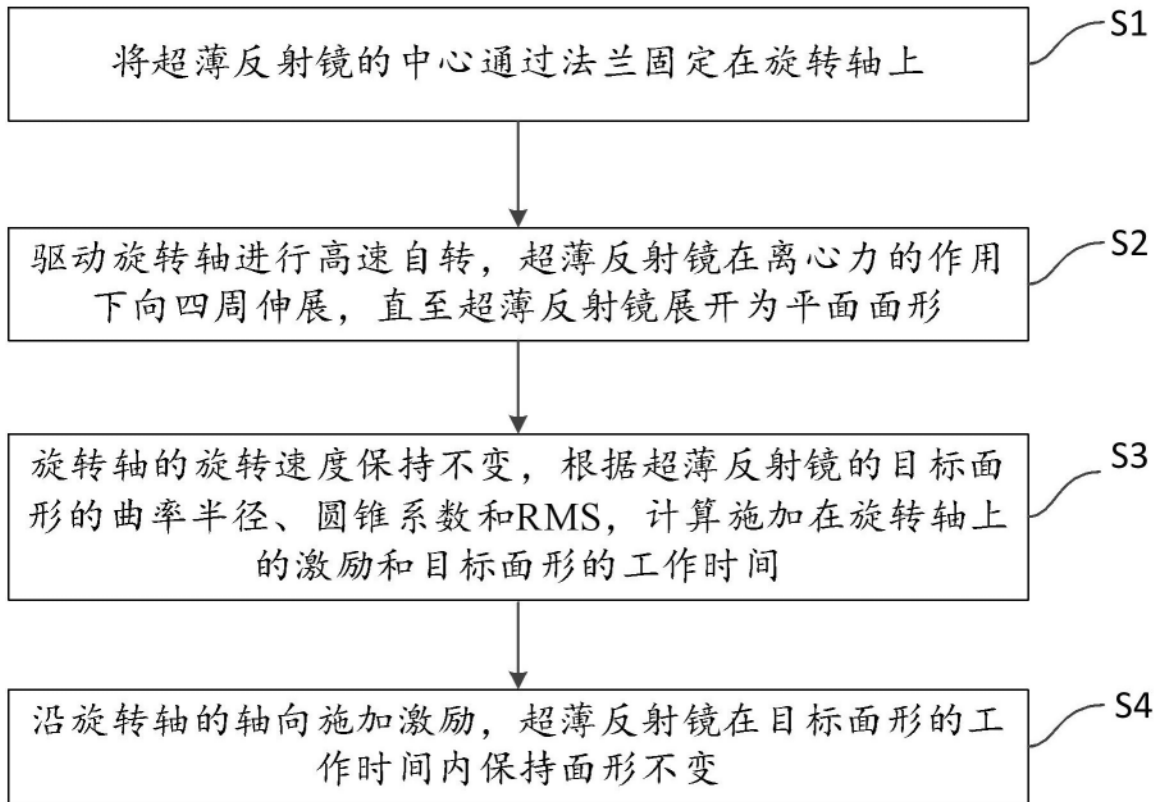


图1

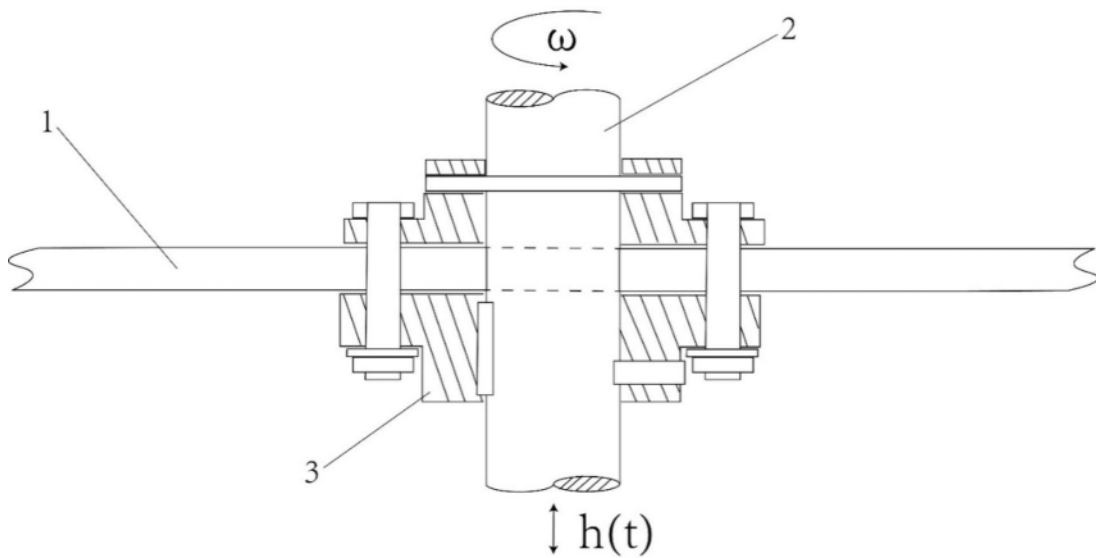


图2

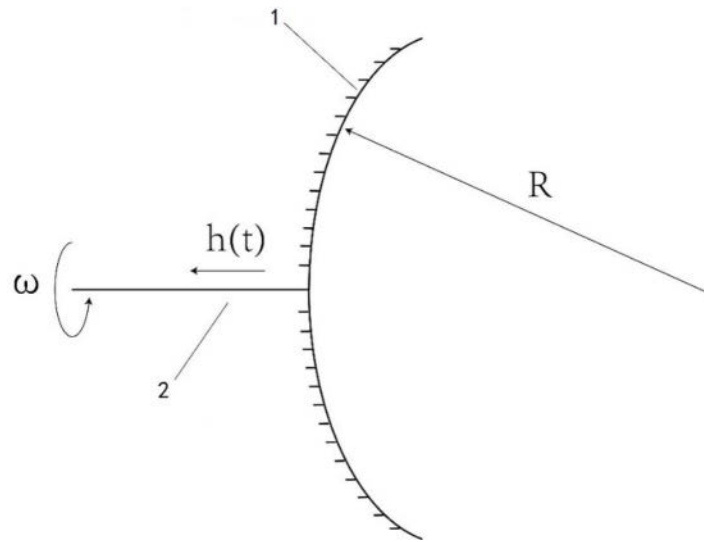


图3

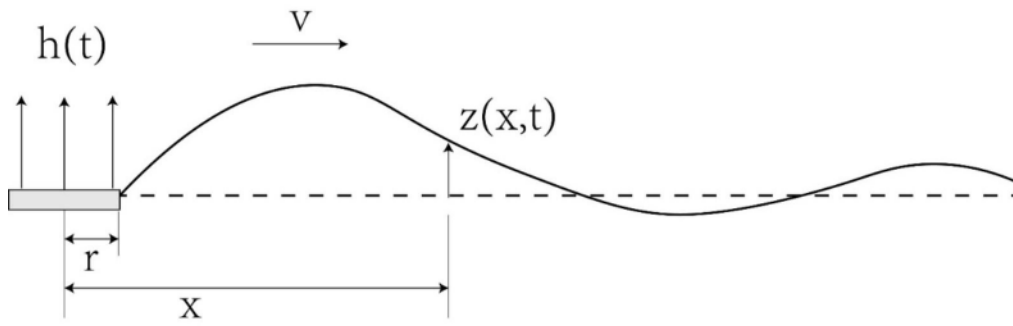


图4