



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104697464 B

(45)授权公告日 2018.04.17

(21)申请号 201510148022.7

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2015.03.31

G01B 11/24(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

审查员 王芳芳

申请公布号 CN 104697464 A

(43)申请公布日 2015.06.10

(73)专利权人 中国人民解放军国防科学技术大学

地址 410073 湖南省长沙市砚瓦池正街47号  
中国人民解放军国防科学技术大学  
机电工程与自动化学院

(72)发明人 陈善勇 戴一帆 石峰 尹自强  
彭小强 薛帅

(74)专利代理机构 湖南兆弘专利事务所(普通合伙) 43008

代理人 赵洪 钟声

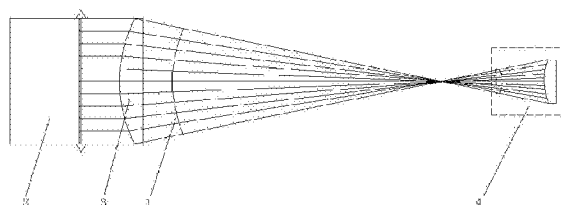
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

基于补偿透镜的大口径凸非球面反射镜的干涉检验方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于补偿透镜的大口径凸非球面反射镜的干涉检验方法,首先利用小口径补偿器检测出非球面补偿透镜的透过波前检测的系统误差,然后利用非球面补偿透镜检测大口径凸非球面反射镜的零位补偿干涉检验,得到的检测结果减去前述的系统误差即可得到大口径凸非球面反射镜的面形误差,本发明具有测量口径大、测量精度高的优点。



1. 一种基于补偿透镜的大口径凸非球面反射镜的干涉检验方法,其特征在于:包括以下步骤:

S1、非球面补偿透镜(3)的透过波前误差检测:沿平面干涉仪(2)的输出光束方向依次放入非球面补偿透镜(3)和小口径补偿器(4),所述平面干涉仪(2)发出的准直光束对准非球面补偿透镜(3)和小口径补偿器(4),对所述非球面补偿透镜(3)的透过波前误差进行零位干涉检验,检验结果存盘为系统误差;

S2、大口径凸非球面反射镜(1)的面形误差的检测:在所述非球面补偿透镜(3)与小口径补偿器(4)之间插入大口径凸非球面反射镜(1),对所述大口径凸非球面反射镜(1)的面形误差进行零位补偿干涉检验,检验结果减去步骤S1所得系统误差,得到所述大口径凸非球面反射镜(1)的面形误差;

其中,所述小口径补偿器(4)包括沿所述平面干涉仪(2)的准直光束方向依次布置的小透镜(42)和大透镜(41),大透镜41包括面向小透镜42的大透镜前凸面411和大透镜后平面412;

所述小口径补偿器(4)的设计参数通过光学设计软件进行优化,以平衡被测的凸非球面凹面(12)的像差为优化目标,优化条件为准直光束从小口径补偿器(4)远离大口径凸非球面反射镜(1)的最后一个表面入射,经过小口径补偿器(4)后变换为与凸非球面凹面(12)匹配的光束垂直入射到凸非球面凹面(12)上,反射后沿原路返回;所述非球面补偿透镜(3)的设计参数通过光学设计软件进行优化,以平衡被测的凸非球面凸面(11)的像差为优化目标,优化条件为大口径准直光束经过非球面补偿透镜(3)后变换为与大口径凸非球面反射镜(1)的凸非球面凸面(11)匹配的光束,垂直入射到凸非球面凸面(11)上,反射后沿原路返回。

2. 根据权利要求1所述的基于补偿透镜的大口径凸非球面反射镜的干涉检验方法,其特征在于:所述平面干涉仪(2)的口径大于或等于非球面补偿透镜(3)的口径,所述非球面补偿透镜(3)的口径大于被测的大口径凸非球面反射镜(1)的口径,所述小口径补偿器(4)的口径小于被测的大口径凸非球面反射镜(1)的口径。

3. 根据权利要求2所述的基于补偿透镜的大口径凸非球面反射镜的干涉检验方法,其特征在于:所述小口径补偿器(4)的口径小于150mm。

4. 根据权利要求1至3任意一项所述的基于补偿透镜的大口径凸非球面反射镜的干涉检验方法,其特征在于:所述非球面补偿透镜(3)为平凸透镜,面向所述平面干涉仪(2)的表面为高次凸非球面,另一面为平面。

## 基于补偿透镜的大口径凸非球面反射镜的干涉检验方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光学检测技术领域,尤其涉及一种基于补偿透镜的大口径凸非球面反射镜的干涉检验方法。

### 背景技术

[0002] 大口径凸非球面(通光口径大于或等于150mm)广泛应用于大型空间、地基和深空探测望远镜系统中,作为其中的次镜,是参与高质量成像的重要组成元件,其口径大小和面形精度是决定成像分辨率和像质的关键因素。

[0003] 凸二次非球面可以利用一对无像差点(例如抛物面的焦点和无穷远点),实现零位测试,如Hindle方法检验凸双曲面反射镜时,干涉仪点光源位于被测双曲面的一个焦点上,辅助的Hindle球面的球心则与另一个焦点重合,将被测面反射的测试光束沿原路返回到干涉仪。但是无像差点法受到测量光路的限制,不易实现,要求1.5~2倍或更大口径的Hindle球面也增加了成本和难度,而且不适用于高次非球面。一种变通的方法是结合Hindle检验与子孔径拼接方法,依次测量被测凸非球面上的一系列相互重叠的子孔径区域,然后拼接得到全口径面形误差,这种方法可以减小Hindle球面的口径,但是对拼接装置和算法要求较高,而且不适用于高次非球面。

[0004] 补偿检验是凸非球面检验的常用方法,在干涉仪与被测凸非球面反射镜之间放置一个补偿透镜,通过补偿透镜补偿被测凸非球面的像差,可适用于二次非球面和高次非球面。干涉仪发出的测试光束经过补偿透镜后变换为与被测凸非球面匹配的测试光束,垂直入射到被测凸非球面上,反射后沿原路返回到干涉仪。补偿透镜起到光束汇聚与像差平衡的作用,通常含有非球面,口径应略大于被测凸非球面的口径,从而带来了大口径非球面补偿透镜本身的材料均匀性、加工、检测与装调等一系列问题,是限制测量精度提高的主要障碍。补偿透镜也可以是基于衍射原理的计算机生成全息图(Computer Generated Hologram,CGH),但是大口径的CGH制作工艺目前还不成熟,同样面临精度偏低的问题。

[0005] 背面透过检验法巧妙地将被测凸非球面当作凹面检测,从而避免了凸面检测的难题。干涉仪发出的测试光束经过补偿器后变换为发散光束,从被测镜的背面透过后垂直入射到被测非球面上;被测非球面此时相当于凹面,使测试光束反射后沿原路返回到干涉仪。该方法可用小口径补偿器(通光口径小于150mm),但是不能从正面对凸非球面反射镜进行检验,要求被测凸非球面反射镜使用均匀性极高的熔石英等透光材料,且不能有背面减重结构,对面形精度控制和整个光学系统的轻量化十分不利。

### 发明内容

[0006] 本发明要解决的技术问题是克服现有技术的不足,提供一种操作简单、检测口径大、精度高且可避免材料不均匀和材料缺陷对检验影响的大口径凸非球面反射镜的干涉检验方法。

[0007] 为解决上述技术问题,本发明采用以下技术方案:

[0008] 一种基于补偿透镜的大口径凸非球面反射镜的干涉检验方法,包括以下步骤:

[0009] S1、非球面补偿透镜的透过波前误差检测:沿平面干涉仪的输出光束方向依次放入非球面补偿透镜和小口径补偿器,所述平面干涉仪发出的准直光束对准非球面补偿透镜和小口径补偿器,对所述非球面补偿透镜的透过波前误差进行零位干涉检验,检验结果存盘为系统误差;

[0010] S2、大口径凸非球面反射镜的面形误差的检测:在所述非球面补偿透镜与小口径补偿器之间插入大口径凸非球面反射镜,对所述大口径凸非球面反射镜的面形误差进行零位补偿干涉检验,检验结果减去步骤S1所得系统误差,得到所述大口径凸非球面反射镜的面形误差。

[0011] 作为上述技术方案的进一步改进:

[0012] 所述平面干涉仪的口径大于或等于非球面补偿透镜的口径,所述非球面补偿透镜的口径大于被测的大口径凸非球面反射镜的口径,所述小口径补偿器的口径小于被测的大口径凸非球面反射镜的口径。

[0013] 所述小口径补偿器的口径小于150mm。

[0014] 所述非球面补偿透镜的设计参数通过光学设计软件进行优化,以平衡被测的凸非球面凸面的像差为优化目标,优化条件为大口径准直光束经过非球面补偿透镜后变换为与大口径凸非球面反射镜的凸非球面凸面匹配的光束,垂直入射到凸非球面凸面上,反射后沿原路返回。

[0015] 所述非球面补偿透镜为平凸透镜,面向所述平面干涉仪的表面为高次凸非球面,另一面为平面。

[0016] 所述小口径补偿器的设计参数通过光学设计软件进行优化,以平衡被测的凸非球面凹面的像差为优化目标,优化条件为准直光束从小口径补偿器远离大口径凸非球面反射镜的最后一个表面入射,经过小口径补偿器后变换为与凸非球面凹面匹配的光束垂直入射到凸非球面凹面上,反射后沿原路返回。

[0017] 所述小口径补偿器包括沿所述平面干涉仪的准直光束方向依次布置的小透镜和大透镜。

[0018] 与现有技术相比,本发明的优点在于:

[0019] 本发明的基于补偿透镜的大口径凸非球面反射镜的干涉检验方法,首先利用小口径补偿器检测出非球面补偿透镜的透过波前检测的系统误差,然后利用非球面补偿透镜检测大口径凸非球面反射镜的零位补偿干涉检验,得到的检测结果减去前述的系统误差即可得到大口径凸非球面反射镜的面形误差,在非球面补偿透镜的透过波前误差检验与被测凸非球面反射镜的面形误差检验中,测试光束经过非球面补偿透镜的路径是完全相同的,从而消除由于大口径补偿透镜材料不均匀、材料缺陷等对反射镜面形检验结果的影响,使得大口径凸非球面反射镜的面形误差的检验精度主要取决于小口径补偿器的加工和装调精度,避免检测时凸非球面反射镜的口径较大而检测不精准,具有测量口径大、精度高的优点;同时,降低了大口径补偿透镜的透过波前误差要求,从而降低了材料和加工成本。

## 附图说明

[0020] 图1是本发明基于补偿透镜的大口径凸非球面反射镜的干涉检验方法的原理图。

[0021] 图2是本发明中非球面补偿透镜的透过波前误差检验原理图。

[0022] 图3是本发明中非球面补偿透镜设计原理图。

[0023] 图4是本发明中非球面补偿透镜设计的剩余像差。

[0024] 图5是本发明中本发明实施例的小口径补偿器设计原理图。

[0025] 图6是本发明中小口径补偿器设计的剩余像差。

[0026] 图中各标号表示：

[0027] 1、大口径凸非球面反射镜；11、凸非球面凸面；12、凸非球面凹面；2、平面干涉仪；21、参考平面；3、非球面补偿透镜；4、小口径补偿器；41、大透镜；411、大透镜前凸面；412、大透镜后平面；42、小透镜；421、小透镜前凹面；422、小透镜后凹面。

### 具体实施方式

[0028] 以下结合说明书附图和具体实施例对本发明作进一步详细说明。

[0029] 图1至图6示出了本发明基于补偿透镜的大口径凸非球面反射镜的干涉检验方法的一种实施例，该干涉检测方法包括如下步骤：

[0030] S1、非球面补偿透镜3的透过波前误差检测：沿平面干涉仪2的输出光束方向依次放入非球面补偿透镜3和小口径补偿器4，平面干涉仪2发出的准直光束对准非球面补偿透镜3和小口径补偿器4，对非球面补偿透镜3的透过波前误差进行零位干涉检验，检验结果存盘为系统误差；

[0031] S2、大口径凸非球面反射镜1的面形误差的检测：在非球面补偿透镜3与小口径补偿器4之间插入大口径凸非球面反射镜1，对大口径凸非球面反射镜1的面形误差进行零位补偿干涉检验，检验结果减去步骤S1所得系统误差，得到大口径凸非球面反射镜1的面形误差。

[0032] 如图2所示，本实施例首先用小口径补偿器4检验非球面补偿透镜3的透过波前误差，然后在非球面补偿透镜3与小口径补偿器4之间插入被测大口径凸非球面反射镜1（如图1所示），对被测大口径凸非球面反射镜1的面形误差进行检验。因此，在非球面补偿透镜3的透过波前误差检验与大口径凸非球面反射镜1的面形误差检验中，测试光束经过非球面补偿透镜3的路径是完全相同的，从而消除由于大口径凸非球面反射镜1材料不均匀、材料缺陷等对反射镜面形检验结果的影响，使得大口径凸非球面反射镜1的检验精度主要取决于小口径补偿器4的加工和装调精度，避免检测时大口径凸非球面反射镜1的口径较大而检测不精准，具有测量口径大、精度高的优点；同时，降低了非球面补偿透镜3的透过波前误差要求，从而降低了材料和加工成本。

[0033] 平面干涉仪2的口径大于或等于非球面补偿透镜3的口径，非球面补偿透镜3的口径大于被测的大口径凸非球面反射镜1的口径，小口径补偿器4的口径小于被测的大口径凸非球面反射镜1的口径。本实施例中，平面干涉仪2的口径等于非球面补偿透镜3的口径，平面干涉仪2的口径等于232mm；被测的大口径凸非球面反射镜1的材料不透光，反射镜面形为凸抛物面，顶点曲率半径为443.735mm，通光口径为196mm。

[0034] 本实施例中，非球面补偿透镜3的设计参数通过光学设计软件进行优化，以平衡被测的凸非球面凸面11的像差为优化目标，优化条件为大口径准直光束经过非球面补偿透镜3后变换为与大口径凸非球面反射镜1的凸非球面凸面11匹配的光束，垂直入射到凸非球面

凸面11上,反射后沿原路返回;非球面补偿透镜3利用Zemax软件进行设计确定。如图3所示,平面干涉仪2发出的准直光束一部分被平面干涉仪2的参考平面21反射为参考光束,另一部分经过非球面补偿透镜3后变换为与大口径凸非球面反射镜1的凸非球面凸面11匹配的光束垂直入射到凸非球面凸面11上,反射后沿原路返回,与参考平面21反射的参考光束发生干涉。

[0035] 本实施例中,非球面补偿透镜3为平凸透镜,面向平面干涉仪2的表面为高次凸非球面,另一面为平面;非球面补偿透镜3的透镜材料为康宁公司的熔石英,口径为232mm,中心厚度59mm;非球面补偿透镜3高次凸非球面的顶点曲率半径为244.2mm,二次常数 $K=0$ ,4次项系数为 $-6.404914e-9$ ,6次项系数为 $-7.268682e-14$ ,8次项系数为 $-6.357677e-19$ ,10次项系数为 $-1.583327e-23$ ,如图4为本实施例的非球面补偿透镜3设计的剩余像差,大小为 $0.0041\lambda PV$ , $0.0007\lambda RMS$ (其中, $\lambda=632.8nm$ )。

[0036] 本实施例中,小口径补偿器4的设计参数通过光学设计软件进行优化,以平衡被测的凸非球面凹面12的像差为优化目标,优化条件为准直光束从小口径补偿器4远离大口径凸非球面反射镜1的最后一个表面入射,经过小口径补偿器4后变换为与凸非球面凹面12匹配的光束垂直入射到凸非球面凹面12上,反射后沿原路返回;小口径补偿器4包括沿平面干涉仪2的准直光束方向依次布置的小透镜42和大透镜41;小口径补偿器4利用Zemax软件进行设计确定,小口径补偿器4包括沿平面干涉仪2的准直光束方向依次布置的小透镜42和大透镜41,其中,小透镜42为球面透镜,大透镜41为平凸透镜;小透镜42包括面向平面干涉仪2的小透镜前凹面421和小透镜后凹面422,大透镜41包括面向小透镜42的大透镜前凸面411和大透镜后平面412,小透镜42和大透镜41材料为康宁公司的熔石英,小透镜前凹面421、小透镜后凹面422、大透镜前凸面411和大透镜后平面412的光学参数如下表1.1所示。图6为本实施例的小口径补偿器4设计的剩余像差,大小为 $0.0120\lambda PV$ , $0.0026\lambda RMS$ (其中, $\lambda=632.8nm$ )。

[0037] 表1:小透镜和大透镜的光学参数表

[0038]

表面	顶点曲率半径 (mm)	中心厚度 (mm)	材料	口径 (mm)
421	-139.7513	10.0081	康宁7980	36
422	72.6233	60.43631	/	36.4
411	91.6174	14.99506	康宁7980	58
412	Infinity	/	MIRROR	58

[0039] 除本实施例以外,小口径补偿器4也可以是CGH或其他类型的光学补偿器。

[0040] 虽然本发明已以较佳实施例揭露如上,然而并非用以限定本发明。任何熟悉本领域的技术人员,在不脱离本发明技术方案范围的情况下,都可利用上述揭示的技术内容对本发明技术方案做出许多可能的变动和修饰,或修改为等同变化的等效实施例。因此,凡是未脱离本发明技术方案的内容,依据本发明技术实质对以上实施例所做的任何简单修改、等同变化及修饰,均应落在本发明技术方案保护的范围内。

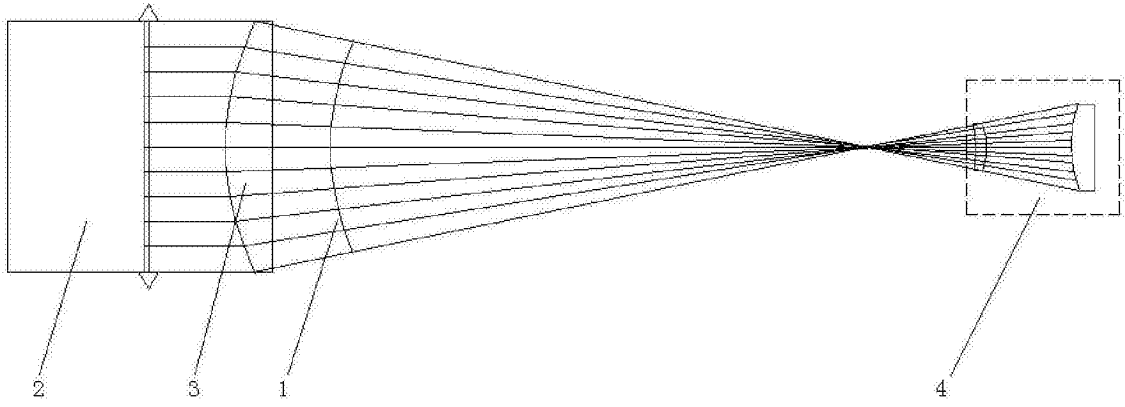


图1

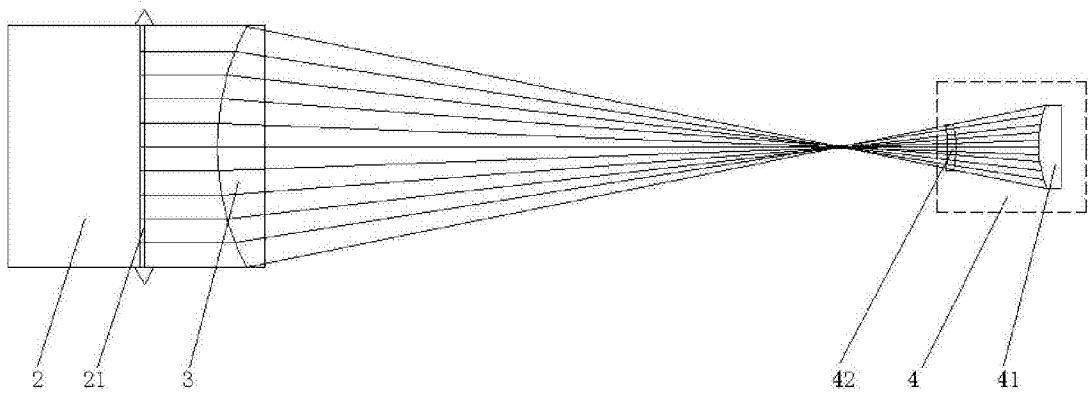


图2

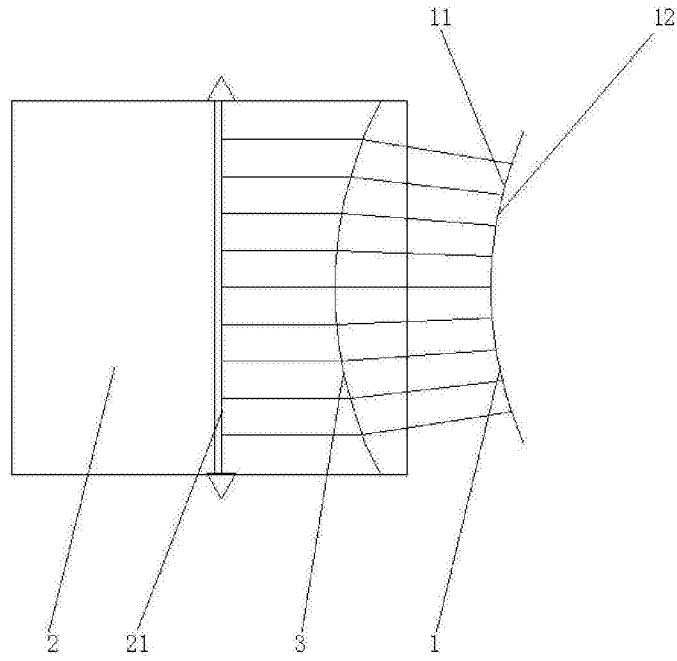


图3

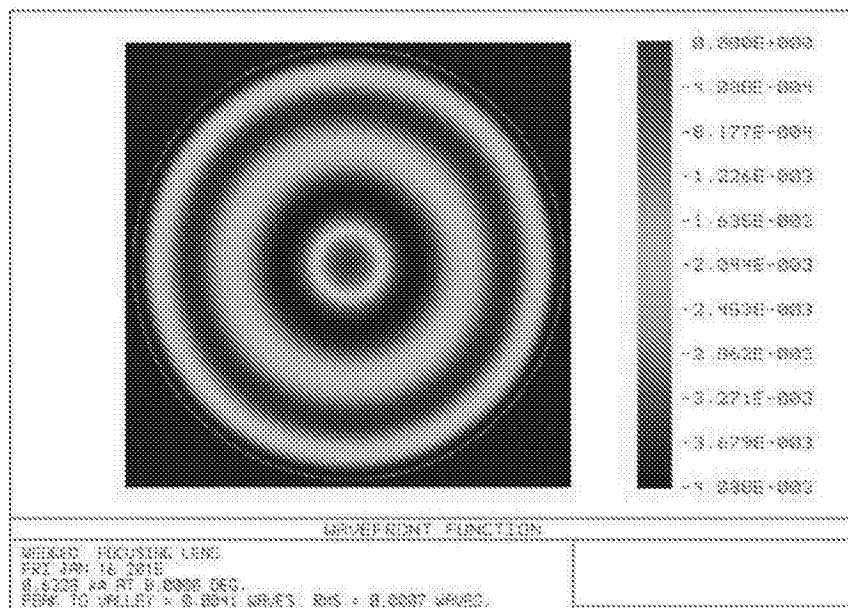


图4



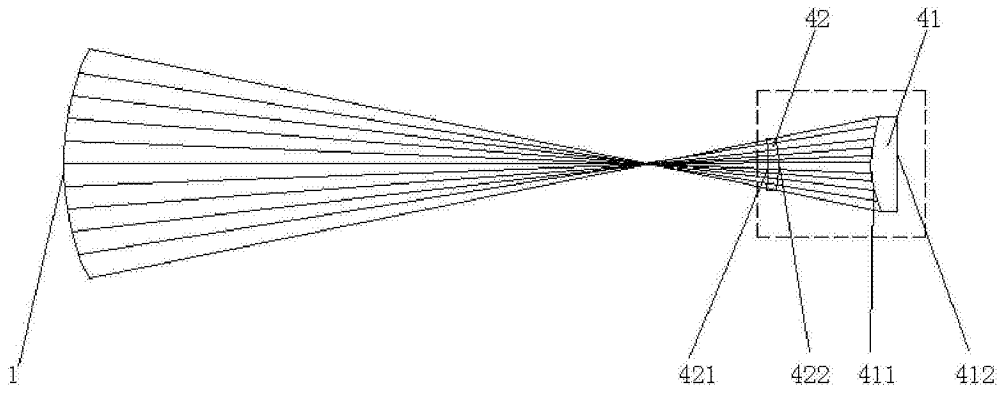


图5

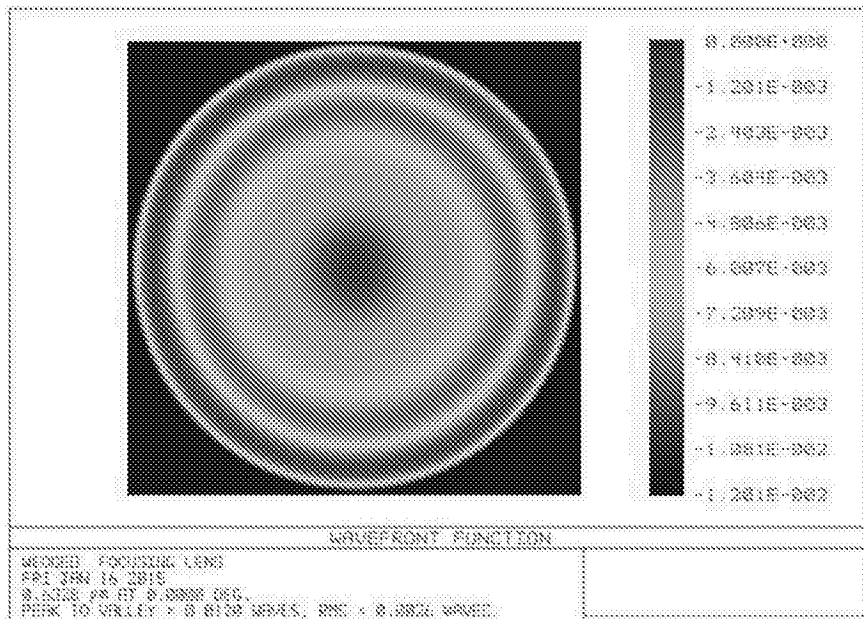


图6