



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103926677 B

(45) 授权公告日 2016.06.08

(21) 申请号 201410129663.3

(22) 申请日 2014.04.01

(73) 专利权人 中国科学院上海光学精密机械研究所

地址 201800 上海市嘉定区 800-211 邮政信箱

(72) 发明人 蔡燕民 王向朝 唐锋

(74) 专利代理机构 上海新天专利代理有限公司 31213

代理人 张泽纯

(51) Int. Cl.

G02B 13/00(2006.01)

G02B 1/00(2006.01)

G03F 7/20(2006.01)

(56) 对比文件

CN 1673793 A, 2005.09.28, 说明书第 18 页

第 29 行至第 20 页第 15 行, 图 15.

CN 204028439 U, 2014.12.17, 权利要求 1-3.

CN 103309017 A, 2013.09.18, 说明书第 1、41-70 段, 图 1-2.

CN 103364927 A, 2013.10.23, 全文.

US 5943172 A, 1999.08.24, 全文.

审查员 高迎春

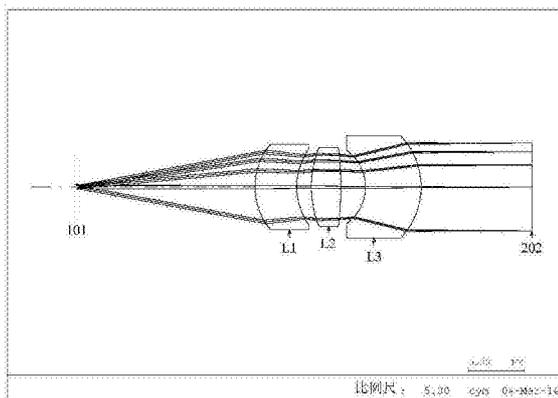
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

用于光刻照明系统光瞳测量的傅里叶变换物镜

(57) 摘要

一种用于光刻照明系统光瞳测量的傅里叶变换物镜, 沿其光轴方向依次包括孔径光阑、第一透镜、第二透镜、第三透镜、后焦面, 孔径光阑中心位于所述的傅里叶变换物镜的前焦点位置而形成像方远心光路, 像传感器光敏面位于所述的傅里叶变换物镜的后焦面, 即傅里叶变换频谱面, 所述的第一透镜、第二透镜具有正光焦度, 第三透镜具有负光焦度, 所述的第一透镜为凸面朝向孔径光阑面的弯月透镜, 第二透镜为双凸透镜, 第三透镜为凸面朝向后焦面的弯月透镜。本发明既能满足像传感器尺寸和大视场角的要求, 又满足后工作距较长的要求, 结构紧凑, 满足正弦条件要求, 并且球差、彗散、场曲、波像差都得到很好的校正, 能够用于半导体光刻设备照明系统的光瞳测量。



CN 103926677 B

1.一种用于光刻照明系统光瞳测量的傅里叶变换物镜,沿其光轴方向依次包括孔径光阑、第一透镜、第二透镜、第三透镜、后焦面,其特征在于,孔径光阑中心位于所述的傅里叶变换物镜的前焦点位置而形成像方远心光路,像传感器光敏面位于所述的傅里叶变换物镜的后焦面,即傅里叶变换频谱面,所述的第一透镜、第二透镜具有正光焦度,第三透镜具有负光焦度,所述的第一透镜为凸面朝向孔径光阑面的弯月透镜,第二透镜为双凸透镜,第三透镜为凸面朝向后焦面的弯月透镜,所述傅里叶变换物镜的设计参数为:

表面	半径 mm	厚度/间距 mm	光学材料	半孔径 mm	所属对象
Object	1.00E+18	1.00E+18			物面
Stop	1.00E+18	16.1052		0.1500	孔径光阑
2	6.1665	3.7739	康宁公司 7980 牌号的熔石英 材料	3.3490	第一透镜
3	6.0160	1.3145		2.9311	
4	9.8091	2.6436	康宁公司 7980 牌号的熔石英 材料	3.0666	第二透镜
5	-29.5430	2.2484		2.9921	
6	-4.1548	5.0197	康宁公司 7980 牌号的熔石英 材料	2.8437	第三透镜
7	-6.8164	10.0000		4.0343	
Image	1.00E+18	0.0000		4.0694	后焦面

所述的第一透镜、第二透镜、第三透镜的光学表面均为球面。

用于光刻照明系统光瞳测量的傅里叶变换物镜

技术领域

[0001] 本发明涉及一种傅里叶变换物镜,特别涉及一种用于光刻照明系统光瞳测量的傅里叶变换物镜。

背景技术

[0002] 在半导体光刻技术领域,采用氟化氩(ArF)准分子激光和浸液光刻技术、偏振照明技术,并配合双图形曝光技术,目前已经实现32nm节点技术的量产,实现该技术的典型设备是荷兰ASML公司基于第5代浸液光刻技术的型号为TWINSCANXT:1950i的光刻机。ASML公司早在PAS系列光刻机的NA=0.75时代就开始研究浸液技术、偏振照明技术等等若干关键技术以延续ArF光刻技术的生命。例如,PAS5500/1150C光刻机实现90nm节点光刻技术是采用传统技术,对于TWINSCANXT:1450H光刻机(NA=0.93)采用传统技术可以实现65nm节点技术,而采用偏振照明技术就可以将分辨率提高到57nm。在ASML公司投影物镜数值孔径NA为1.20型号为1750i光刻机,以及更早期的,比如1150C等光刻机中,都需要采用一个针孔相机来测量照明系统中照明光瞳的分布。照明光瞳的形状、位置、能量分布等参数对实现各种不同图形的精确曝光至关重要,没有照明光瞳的测量与控制,就没有合格的曝光图形。

[0003] 一般的,针孔相机主要由针孔掩模版、傅里叶变换物镜、像传感器等组成,如图1所示。针孔掩模版位于光刻机掩模面位置,该位置就是投影物镜的物面位置,利用针孔对不同照明视场位置进行采样。傅里叶变换物镜的功能是将通过针孔照明光束的角度分布转换为空间分布,即在傅里叶变换物镜的像面获得照明光束的光瞳,可以用下面公式<1>表示:

$$[0004] \quad h=f*\sin\theta \quad <1>$$

[0005] 其中,h表示在像面上的高度,f表示物镜的焦距, θ 表示光束的视场角度(这是物位于无穷远时的正弦条件)。像传感器一般位于傅里叶变换物镜的像面位置,典型的,一般采用CMOS相机或CCD相机作为像传感器。

[0006] 在现有技术中,根据经典参考文献(应用光学,张以谟,机械工业出版社,第497~500页),傅里叶变换物镜结构形式很多,典型结构有2种。一种是单组形式,由正负2片透镜组成,它能使球差和正弦差得到很好的校正,但是轴外像差不能校正,因此能负担的视场和孔径都很小。另一种是由2组远距透镜组成,构成双远距对称结构(8片透镜),可以校正场曲,其它像差也可以得到很好的校正。但是这种物镜利用透镜间隔来校正场曲,因此结构不紧凑,轴向长度较大。

[0007] 申请日为2008年12月10日的3篇中国专利(申请人为上海微电子装备有限公司),申请号分别为:200810204353.8、200810204354.2、200810204356.1,公开了3种傅里叶透镜系统。

[0008] 作为傅里叶变换物镜,最重要的是实现公式<1>表示的关系,即满足正弦条件,专利申请(200810204353.8)表2中视场1、2、7、8的“与正弦条件的误差”计算明显错误,而且视场6、7、8的“与正弦条件的绝对偏离”分别为80 μ m、147 μ m、208.6 μ m,偏差较大。

[0009] 申请号为200810204354.2专利,表2中视场1、4的“与正弦条件的误差”计算明显错

误,而且视场6、7、8的“与正弦条件的绝对偏离”分别为 $50.02\mu\text{m}$ 、 $74.12\mu\text{m}$ 、 $90.45\mu\text{m}$,偏差较大。

[0010] 申请号为200810204356.1专利,表2中视场1、5、8的“与正弦条件的误差”计算明显错误,而且视场6、7、8的“与正弦条件的绝对偏离”分别为 $144.04\mu\text{m}$ 、 $245.2\mu\text{m}$ 、 $346.96\mu\text{m}$,偏差较大。

[0011] 根据上面的分析,这3篇涉及傅里叶变换物镜的专利,对于满足傅里叶变换的最基本约束条件(即正弦条件)存在较大偏离,另外声称的数值孔径0.31也与较佳实施例中数据完全不符。

发明内容

[0012] 本发明的目的在于公开一种用于光刻照明系统的光瞳测量的傅里叶变换物镜,该傅里叶变换物镜能,它不仅能有效地满足正弦条件的要求、严格校正像差,而且满足针孔掩模版尺寸、像传感器尺寸的要求,以期达到实际半导体光刻设备应用的要求。

[0013] 本发明的目的是这样实现的:

[0014] 一种用于光刻照明系统的光瞳测量的傅里叶变换物镜,所述的傅里叶变换物镜沿其光轴方向依次包括:孔径光阑、第一透镜、第二透镜、第三透镜、后焦面,其特点在于,孔径光阑中心位于所述的傅里叶变换物镜的前焦点位置而形成像方远心光路,像传感器光敏面位于所述的傅里叶变换物镜的后焦面,即傅里叶变换频谱面,所述的第一透镜、第二透镜具有正光焦度,第三透镜具有负光焦度,所述的第一透镜为凸面朝向孔径光阑面的弯月透镜,第二透镜为双凸透镜,第三透镜为凸面朝向后焦面的弯月透镜。

[0015] 所有三块透镜均采用高透过率的熔石英材料制成。

[0016] 所有三块透镜全部采用高透过率的熔石英材料,可选康宁公司7980牌号的熔石英材料,也可以选肖特公司的Lithosil™ Q0/1-E193熔石英材料。

[0017] 本发明与现有技术相比,具有以下优点和积极效果:

[0018] 1、本发明的傅里叶变换物镜,可以有效地既满足像传感器尺寸和大视场角的要求,又满足后工作距较长的要求,并且结构紧凑;

[0019] 2、本发明的傅里叶变换物镜,采用正负光焦度平衡匹配,正光焦度较大,可以有效地满足正弦条件要求,并且球差、象散、场曲、波像差都得到很好的校正;

[0020] 3、本发明的傅里叶变换物镜,仅采用表面类型为球面的透镜,没有引入非球面透镜,从而降低了透镜的加工、检测和装校的难度。

附图说明

[0021] 图1为本发明的傅里叶变换物镜所应用的针孔相机示意图;

[0022] 图2为本发明的傅里叶变换物镜的结构及光路图;

[0023] 图3为本发明的傅里叶变换物镜实际成像高度与正弦条件的偏离图;

[0024] 图4为本发明的傅里叶变换物镜的调制传递函数MTF图;

[0025] 图5为本发明的傅里叶变换物镜的RMS波像差分布图;

[0026] 图6为本发明的傅里叶变换物镜的球差、象散、场曲、畸变分布图。

具体实施方式

[0027] 以下将对本发明的傅里叶变换物镜做进一步的详细描述。

[0028] 由本发明的傅里叶变换物镜构成的针孔相机,测量对象是投影物镜数值孔径NA为0.75,放大倍率为-0.25的光刻机照明系统,相干因子为0.89,采用氟化氩(ArF)准分子激光,波长为193.368nm,因此所有透镜全部采用高透过率的熔石英材料,可选康宁公司7980牌号的熔石英材料,也可以选肖特公司的Lithosil™ Q0/1-E193熔石英材料。

[0029] 本发明的傅里叶变换物镜物方视场半角度要求为(预留10%余量):

[0030] $U = \arcsin(0.75/4 * 0.89 * 1.1) = 10.6^\circ$

[0031] 本发明的傅里叶变换物镜像面尺寸要求为:

[0032] 像传感器的像素尺寸为 $16\mu\text{m} \times 16\mu\text{m}$,像素数量为 512×512 ,边缘各留12个像素的余量,像面尺寸为 $8\text{mm} \times 8\text{mm}$,像面半高度为4mm。

[0033] 本发明的傅里叶变换物镜焦距要求为:

[0034] $f = \frac{h}{\sin U} = \frac{4.0}{\sin 10.6} = 21.7449\text{mm}$

[0035] 该针孔相机要求的针孔掩模版上针孔直径为0.3mm,从针孔面到像面距离小于45mm,像方工作距大于10mm。

[0036] 傅里叶变换物镜完善成像,一般要求波像差的RMS值小于1/14波长,即小于13.8nm。

[0037] 本发明的傅里叶变换物镜的约束参数如表1所示。

[0038] 表1半导体光刻设备光瞳测量用傅里叶变换物镜的设计约束参数

[0039]

约束项目	参数
工作波长	193.368nm
物方视场半角	10.6°
针孔直径	0.3mm
像面半高度	4.0mm
像素尺寸	$16\mu\text{m} \times 16\mu\text{m}$
焦距	21.7449mm
像方工作距	>10mm
从针孔面到像面距离	<45mm
透镜组长度	<15mm
波像差RMS值	<13.8nm
实际像高与正弦条件偏差	小于 $16\mu\text{m}$ (单像素尺寸)

[0040] 本发明傅里叶变换物镜一个实施例如图2所示,本发明的傅里叶变换物镜,用于将针孔掩模版图形面内的针孔变换到像传感器光敏面内,所述的傅里叶变换物镜沿其光轴方向依次包括:孔径光阑(即针孔掩模版图形面内的针孔)101、第一透镜L1、第二透镜L2、第三透镜L3、后焦面202,所述的傅里叶变换物镜,孔径光阑中心位于所述的傅里叶变换物镜的前焦点位置而形成像方远心光路,像传感器光敏面位于所述的傅里叶变换物镜的后焦面,

即傅里叶变换频谱面,所述的第一透镜L1、第二透镜L2具有正光焦度,第三透镜L3具有负光焦度,所述的第一透镜L1为凸面朝向孔径光阑面的弯月透镜,第二透镜L2为双凸透镜,第三透镜L3为凸面朝向后焦面的弯月透镜。

[0041] 所述的傅里叶变换物镜,所有三块透镜全部采用高透过率的熔石英材料,可选康宁公司7980牌号的熔石英材料,也可以选肖特公司的Lithosil™ Q0/1-E193熔石英材料。

[0042] 根据前面表1中半导体光刻设备光瞳测量用傅里叶变换物镜约束参数,本发明公开的傅里叶变换物镜的设计数据如表2所示。为了光学加工、光学检测的方便以及降低成本,本发明所有元件的光学表面均为球面,没有任何非球面元件。

[0043] 表2给出了本实施例的傅里叶变换物镜的每一片透镜的具体设计参数值,其中,“表面”一栏指示了从物面(Object)到像面(Image)之间每个光学表面的编号,其中STOP表示孔径光阑。“半径”一栏给出了每一表面所对应的球面半径。“厚度/间隔”一栏给出了相邻两表面之间的轴向距离,如果该两表面属于同一透镜,则“厚度/间隔”的数值表示该透镜的厚度,否则表示物/像面到透镜的距离或者相邻透镜的间距。“光学材料”一栏即指明所对应透镜的材料。“半孔径”一栏指明了所对应表面的1/2孔径值,即半高度。“所属对象”一栏指示了从物面到像面之间每一表面所对应的透镜。除了L1~L3这三块透镜之外,透镜L1前面还设置有孔径光阑STOP,其孔径尺寸的改变将影响该傅里叶变换物镜的成像效果。

[0044] 表2本发明的傅里叶变换物镜的设计参数

[0045]

表面	半径 mm	厚度/间隔 mm	光学材料	半孔径 mm	所属对象
Object	1.00E+18	1.00E+18			物面
Stop	1.00E+18	16.1052		0.1500	孔径光阑
2	6.1665	3.7739	corning7980	3.3490	L1
3	6.0160	1.3145		2.9311	
4	9.8091	2.6436	corning7980	3.0666	L2
5	-29.5430	2.2484		2.9921	
6	-4.1548	5.0197	corning7980	2.8437	L3
7	-6.8164	10.0000		4.0343	

[0046]

表面	半径 mm	厚度/间隔 mm	光学材料	半孔径 mm	所属对象
Image	1.00E+18	0.0000		4.0694	像面

[0047] 根据本发明较佳实施例所公开的数据,采用CODE_V软件进行实际光线追迹得到不同视场角的实际像高,并与满足正弦条件的像高进行比较,如下表3所示,可以看出,各视场位置实际像高与正弦条件的绝对偏差都小于16 μ m(如图3所示),即小于像传感器上1个像素的尺寸。

[0048] 表3实际像高与满足正弦条件像高的比较

[0049]

半视场角 [°]	正弦条件位置 mm	实际光线追迹 mm	相对偏差	绝对偏差 μm
0.00	0.00000	0.00000	--	0.00
1.06	0.40227	0.40685	1.14%	4.58
2.12	0.80440	0.81318	1.09%	8.78
3.18	1.20625	1.21847	1.01%	12.22
4.24	1.60770	1.62225	0.91%	14.55
5.30	2.00859	2.02405	0.77%	15.46
6.36	2.40879	2.42344	0.61%	14.65
7.42	2.80817	2.82002	0.42%	11.85
8.48	3.20659	3.21332	0.21%	6.73
9.54	3.60391	3.60281	-0.03%	-1.10
10.60	4.00000	3.98803	-0.30%	-11.97

[0050] 当在表1中工作波长、视场等参数条件下,根据专业光学设计软件CODE_V的分析计算可知,其像差校正程度如下。

[0051] 图4显示了本实施例的傅里叶变换物镜的调制传递函数MTF,接近衍射极限;图5是本实施例的傅里叶变换物镜的RMS波像差的分布,最差RMS波像差为0.11nm,这反映了本发明的傅里叶变换物镜的成像质量接近完善成像。图6是本实施例的傅里叶变换物镜的球差、象散、场曲、畸变图,畸变最大值为-2.0%,这是为了满足正弦条件而预留的负畸变。

[0052] 从表2中数据可得,从针孔面到像面距离为41.105mm,满足<45mm的要求,表2中第7面的数据为10.0000,也满足像方工作距要求。

[0053] 采用本发明的傅里叶变换物镜,完全满足用于测量照明光瞳分布的针孔相机的技术要求,成像质量优良,并且达到实际光刻照明光瞳测量的应用要求。

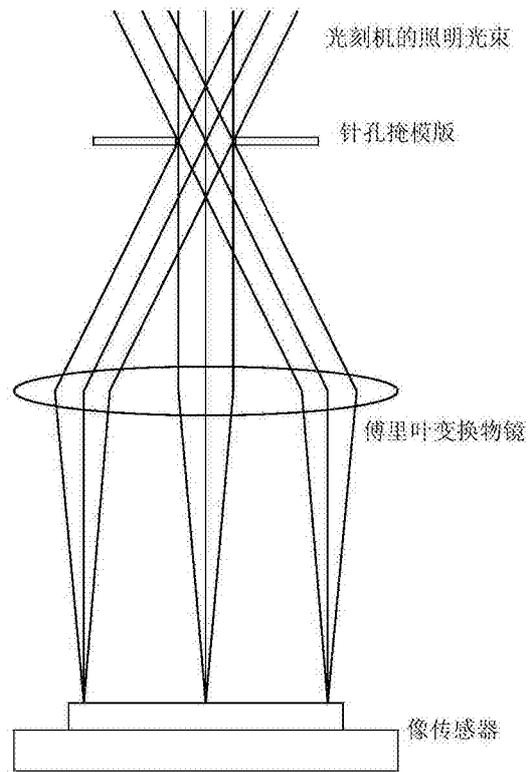


图1

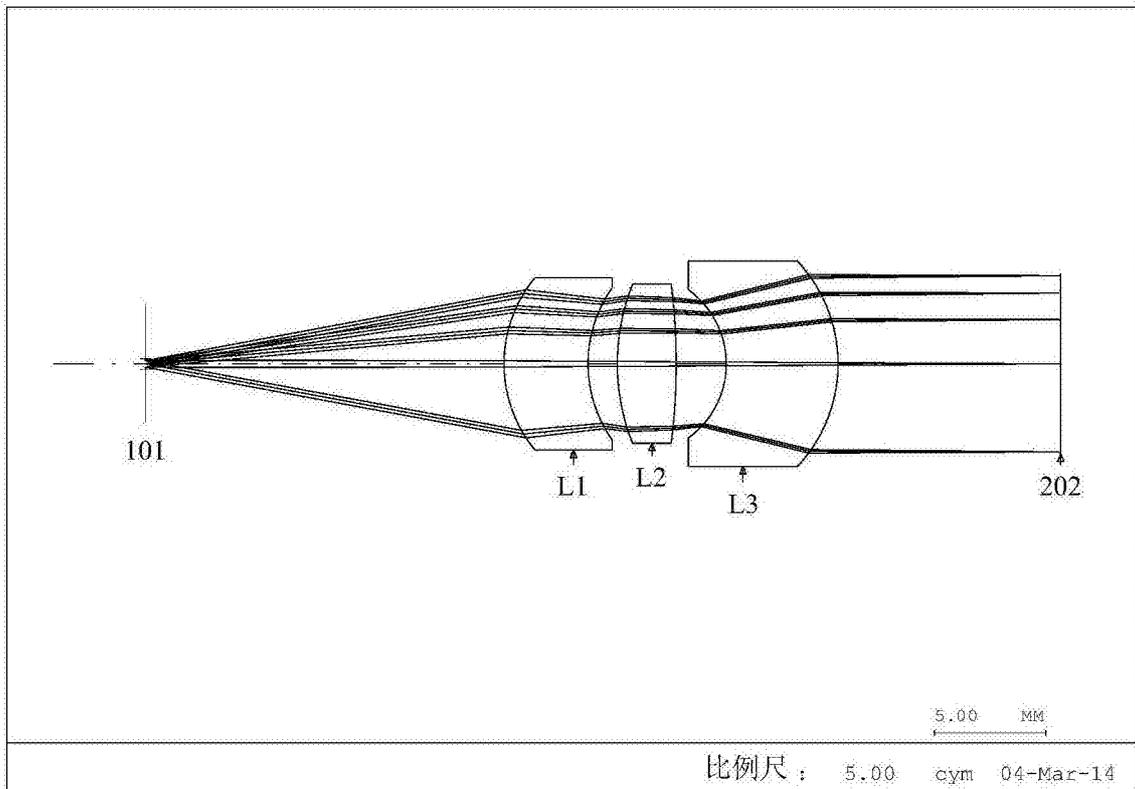


图2

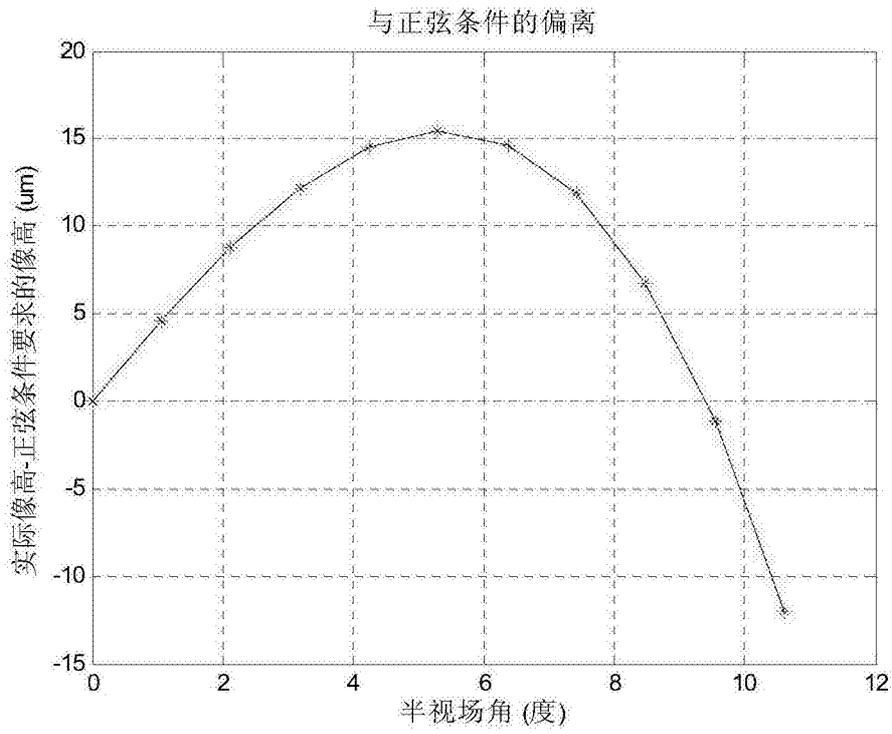


图3

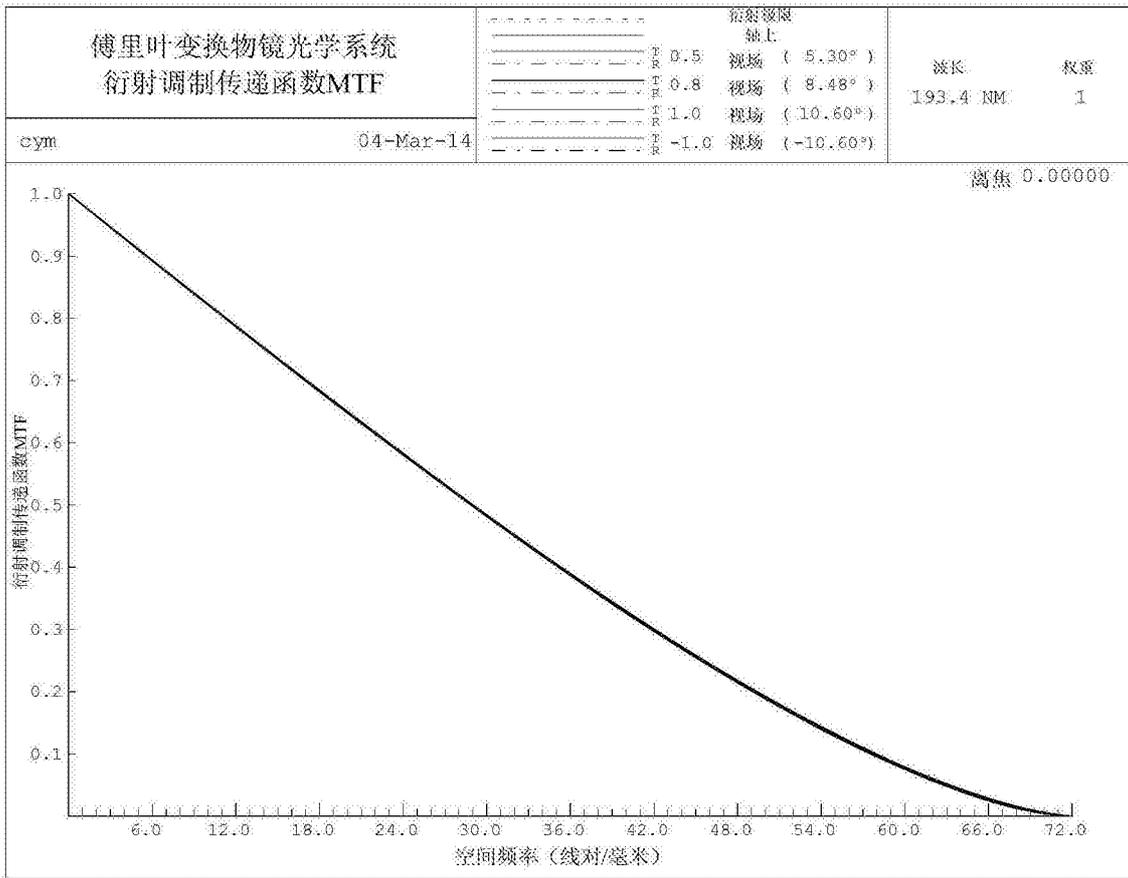


图4

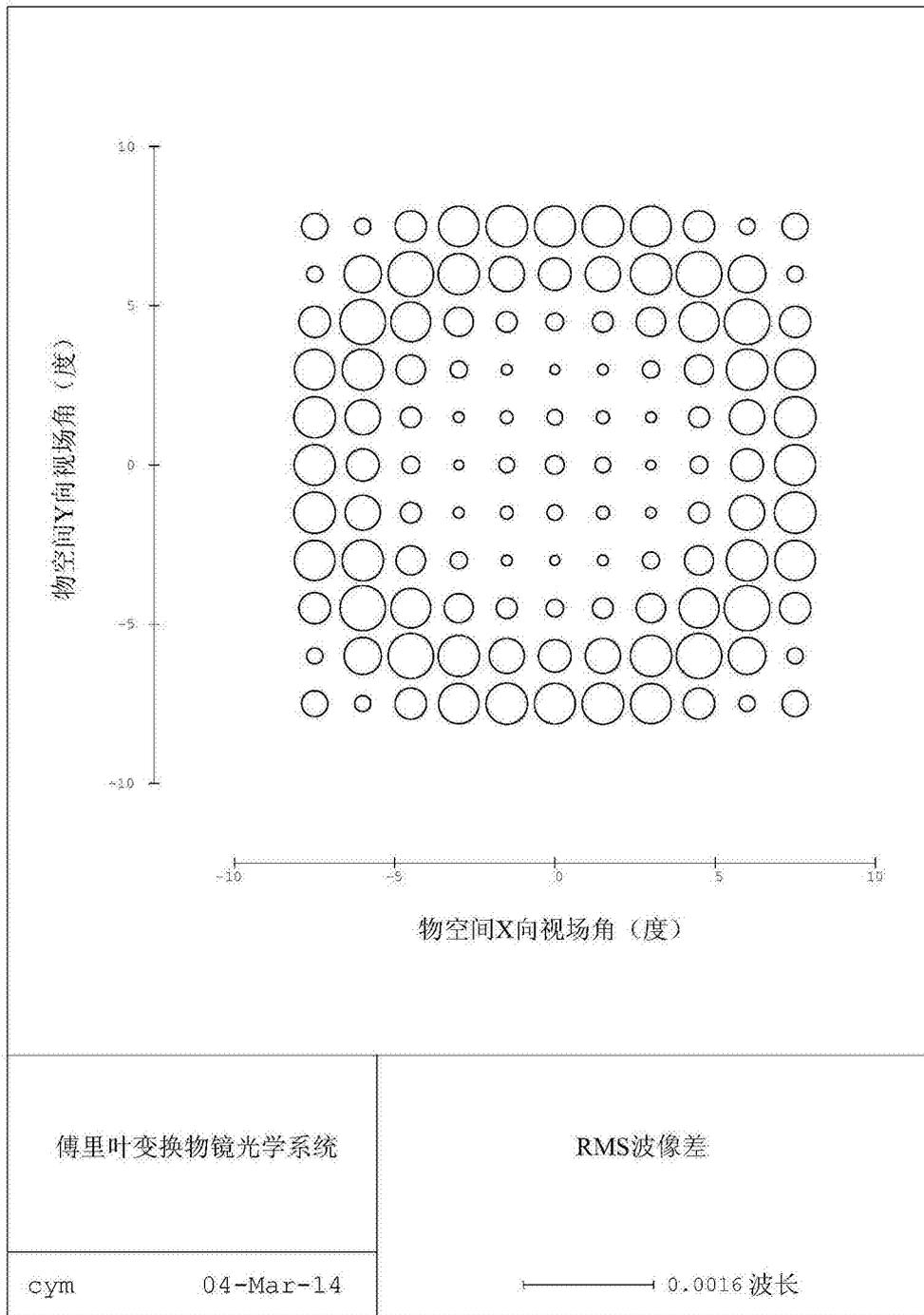


图5

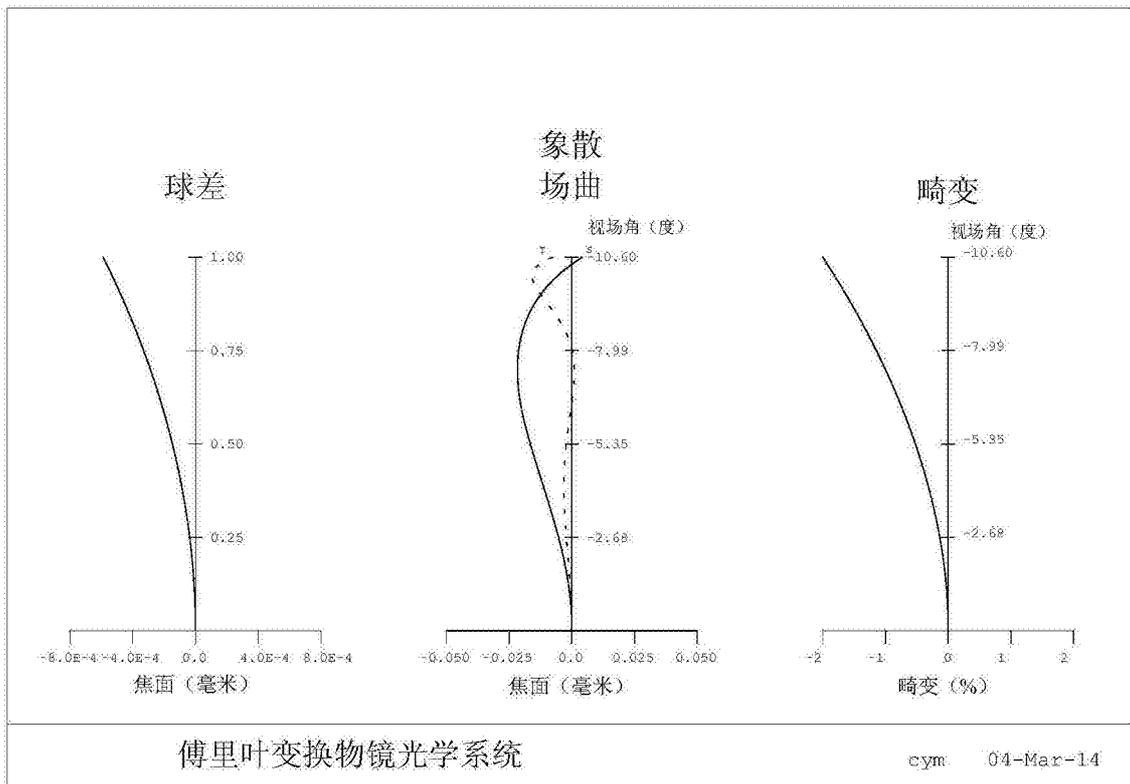


图6