



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104991423 B

(45)授权公告日 2017.04.12

(21)申请号 201510437817.X

(22)申请日 2013.09.16

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 104991423 A

(43)申请公布日 2015.10.21

(62)分案原申请数据  
201310422537.2 2013.09.16

(73)专利权人 中国科学院上海光学精密机械研究所  
地址 201800 上海市嘉定区上海市800—211邮政信箱

(72)发明人 蔡燕民 司徒国海 步扬 王向朝 黄惠杰

(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 张宁展

(51)Int.Cl.  
G03F 7/20(2006.01)  
G02B 13/22(2006.01)

(56)对比文件  
JP H0396912 ,1991.04.22,  
CN 102279460 A,2011.12.14,  
JP 2012042766 A,2012.03.01,  
耿康.193nm光刻投影物镜的研究.《光学仪器》.2010,第32卷(第3期),60-63.  
邓亚飞等.新型大面积PCB光刻投影物镜设计.《光电工程》.2013,第40卷(第2期),100-104.

审查员 潘柯丞

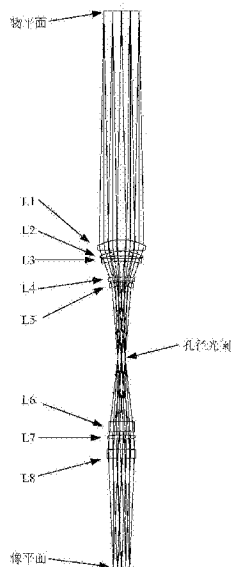
权利要求书1页 说明书10页 附图7页

(54)发明名称

用于印刷电路板光刻领域LDI光刻设备的光刻方法

(57)摘要

一种用于印刷电路板光刻领域LDI光刻设备的光刻方法,包括①计算所述的待曝光HDI基板厚度和所述的共轭距可变的光刻投影物镜的物距变化;②根据步骤①得到物距变化对共轭距可变的光刻投影物镜整体沿着光轴方向调整③对HDI基板曝光。本发明没有对物平面控制和像平面(即HDI基板表面)控制提出可动要求,也没有对调焦调平系统和对准系统提出附加的技术要求,减轻了LDI光刻设备系统设计的压力,可以有效地在共轭距变化范围内很好地校正波像差、畸变等,实现良好的成像质量。



1. 一种用于印刷电路板光刻领域LDI光刻设备的光刻方法,该LDI光刻设备采用一个共轭距可变的光刻投影物镜,其特征在于,该方法包括步骤如下:

①计算待曝光HDI基板厚度和所述的共轭距可变的光刻投影物镜的物距变化:

物距变化 $=-1.273 \times$ 基板厚度 $+1.91$ ;

所述的共轭距可变的光刻投影物镜,沿物平面至像平面的光轴方向顺次包括由第一透镜、第二透镜、第三透镜、第四透镜和第五透镜构成的第一组合透镜组、孔径光阑、由第六透镜、第七透镜和第八透镜构成的第二组合透镜组,其特征在于,所述的第一透镜、第二透镜、第七透镜、第八透镜具有正光焦度,第三透镜、第四透镜、第五透镜、第六透镜具有负光焦度,所述的第一透镜、第七透镜、第八透镜为双凸透镜,第三透镜为双凹透镜,第二透镜、第四透镜、第五透镜、第六透镜为凹面朝向像平面的弯月透镜,所述的第一透镜、第二透镜、第三透镜选用冕牌玻璃,第四透镜、第五透镜、第六透镜选用火石玻璃,第七透镜、第八透镜选用冕牌玻璃,所述的第一组合透镜组的后焦点、孔径光阑的中心和第二组合透镜组的前焦点三者重合构成双远心光路;

②调整:

如果步骤①得到物距变化是正数,则将所述的共轭距可变的光刻投影物镜整体沿着光轴方向远离物平面移动所述的物距变化;

如果步骤①得到物距变化是负数,则将所述的共轭距可变的光刻投影物镜整体沿着光轴方向靠近物平面移动所述的物距变化;

③对HDI基板曝光。

## 用于印刷电路板光刻领域LDI光刻设备的光刻方法

[0001] 本申请是申请号为201310422537.2、申请日为2013年9月16日、发明名称为“共轭距可变的光刻投影物镜、光刻方法”的发明专利申请的分案申请。

### 技术领域

[0002] 本发明涉及光刻投影,特别是一种用于印刷电路板光刻领域LDI光刻设备的光刻方法。

### 背景技术

[0003] 电子产品的功能日趋复杂化,集成电路元件接点距离随之减小,而信号传送速度则相对提高,随之而来的是接线数量的提高、接点间配线的长度缩短,对于印刷电路板(PCB)这些需求就需要采用高密度线路配置及微孔技术来解决。因而电路板就由单层双面走向多层化,又由于信号线不断增加,必须设计更多的电源层与接地层,这样就更加普遍地采用多层电路板。为了配合电子元件封装的小型化及阵列化,印刷电路板就需要不断地提高密度。各种先进封装形式,例如BGA(Ball Grid Array)、CSP(Chip Scale Package)、DCA(Direct Chip Attachment)等的出现,促使印刷电路板推向前所未有的高密度阶段。一般将这种电路板称为高密度互连板,或直接称为HDI板(HDI,High Density Interconnection)。HDI板目前广泛应用于手机、数码相机、数码摄像机、MP3、MP4、笔记本电脑、汽车电子和其它数码产品中,其中以手机的应用最为广泛。HDI板(用于第三代移动通信的3G板、集成电路IC载板)代表着PCB的技术发展方向。在本发明中,HDI板习惯地称为HDI基板。

[0004] 目前,用于加工HDI板的光刻设备领域,采用激光直接成像(LDI)光刻技术的以色列Orbotech公司占有最大的市场份额。在2007年5月的日本展会上,Orbotech公司宣称安装了约250台设备,在2008年1月宣称安装了约350台设备。Orbotech公司的LDI光刻设备的最小线宽由 $50\mu\text{m}$ ,提高到 $25\mu\text{m}$ ,甚至到 $12\mu\text{m}$ 。而其他LDI光刻设备主要是由日本公司提供,如Pentax公司、FUJIFILM公司、Dainippon Screen公司、HITACHI公司等,这些LDI光刻设备最小线宽也达到了 $10\mu\text{m}$ 量级。因此,这些LDI光刻设备对能提供最小线宽为 $10\mu\text{m}$ 光刻投影物镜的需要急剧增加。

[0005] 为了提高产率(Throughput),目前的半导体光刻设备一般采用两个工件台的方法,目前的半导体光刻设备一般仅采用一个投影物镜,而其加工对象(例如8英寸硅片、或12英寸硅片)的名义厚度是不变的,这样投影物镜共轭距的设计是固定不变的,而在各种不同工艺条件、各种不同照明设置、各种不同曝光图形等条件下,投影物镜的最佳焦面是不同的,一般变化范围是比较小的,一种解决方法是测量得到投影物镜最佳焦面的位置,通过驱动工件台来补偿最佳焦面的变化;另一种解决方法是在投影物镜内部设计有可动组元,通过驱动可动组元来补偿最佳焦面的变化,这相当于变倍光学系统,或者称为变焦光学系统,一般可动组元的变化范围是比较小的,为微米量级,可补偿的焦面变化也是比较小的,为微米量级。

[0006] 同样为了提高产率(Throughput),新近开发的LDI光刻设备一般采用多个光刻投影物镜的方法,例如6个、8个等,而仅采用一个工件台。这些多个投影物镜可以设计成共轭距相同,并且安装调节、测量校准为共轭距一致的系统,其焦面变化可以通过工件台的移动来补偿,也可以通过投影物镜自身的调节来补偿,这些可补偿的焦面变化也是比较小的。LDI光刻设备的加工对象,例如HDI板,目前已经从十几层发展到几十层,例如50层、70层等,其厚度的变化范围很大,例如板厚从0.025mm变化到3mm。在一台LDI光刻设备上完成多种厚度HDI板的曝光,沿用前面提到的补偿技术有相当的挑战性,例如,当板厚变化达到3mm时,难以保证这多个投影物镜焦面变化一致,并由工件台的移动同时补偿,另外采用驱动物镜内部可动组元的补偿办法也将使机械结构设计十分复杂并难以实现。

[0007] 这样,用一台LDI光刻设备完成多种不同厚度HDI板的曝光,满足HDI基板厚度变化的需求,应该设计成工件台不需要补偿机构。另外,作为曝光图形产生装置的掩模版,例如DMD(数字微镜阵列),也应该设计成固定不动的。这样,当曝光不同厚度的HDI基板时,基板厚度的变化意味着投影物镜共轭距的变化,这与一般的变焦物镜是不同的,当变焦物镜变焦时一般共轭距是保持不变的。

[0008] 中国专利CN98113037.2(公告日:2003年7月23日)给出了一种像方远心双高斯光学系统,适用于精密光学仪器的成像物镜。该专利给出了物镜设计数据,并给出了成像质量,但是成像质量不能满足印刷电路板(PCB)光刻设备投影光学系统的技术要求,而且还有2个胶合面,也不符合光刻的技术要求。

## 发明内容

[0009] 本发明的目的在于提供一种共轭距可变的光刻投影物镜,所述的共轭距可变的光刻投影物镜用于印刷电路板(PCB)激光直接成像(LDI)光刻设备,提供一种采用所述共轭距可变的光刻投影物镜的光刻方法。它不仅能用一台LDI光刻设备完成多种不同厚度HDI板的曝光,满足基板厚度变化的需求,而且物镜共轭距变化时严格满足成像质量的要求。

[0010] 本发明的目的是这样实现的:

[0011] 一种共轭距可变的光刻投影物镜,沿物平面至像平面的光轴方向顺次包括由第一透镜、第二透镜、第三透镜、第四透镜和第五透镜构成的第一组合透镜组、孔径光阑、由第六透镜、第七透镜和第八透镜构成的第二组合透镜组,其特征在于,所述的第一透镜、第二透镜、第七透镜、第八透镜具有正光焦度,第三透镜、第四透镜、第五透镜、第六透镜具有负光焦度,所述的第一透镜、第七透镜、第八透镜为双凸透镜,第三透镜为双凹透镜,第二透镜、第四透镜、第五透镜、第六透镜为凹面朝向像平面的弯月透镜,所述的第一透镜、第二透镜、第三透镜选用冕牌玻璃,第四透镜、第五透镜、第六透镜选用火石玻璃,第七透镜、第八透镜选用冕牌玻璃,所述的第一组合透镜组的后焦点、孔径光阑的中心和第二组合透镜组的前焦点三者重合构成双远心光路。

[0012] 所述的每一透镜的光学表面均为球面。

[0013] 所述的共轭距可变的光刻投影物镜的物方和像方的远心度都小于0.5mrad。

[0014] 所述的第一透镜、第二透镜、第三透镜采用ZK9光学玻璃,第四透镜、第五透镜、第六透镜采用ZF10光学玻璃,第七透镜、第八透镜采用ZK11光学玻璃。

[0015] 将所述的共轭距可变的光刻投影物镜整体沿着光轴方向远离物平面移动,或者靠

近物平面移动,实现共轭距的变化,实现共轭距的变化等于3mm。

[0016] 一种用于印刷电路板光刻领域的LDI光刻设备,其特点在于,所述的LDI光刻设备采用一个共轭距可变的光刻投影物镜,所述的待曝光的HDI基板厚度变化范围为0.025mm~3mm之间。

[0017] 一种用于印刷电路板光刻领域LDI光刻设备的光刻方法,其特点在于,该方法包括步骤如下:

[0018] ①按下列公式计算所述的待曝光HDI基板厚度和所述的共轭距可变的光刻投影物镜的物距变化:

[0019] **物距变化**= - 1 . 2 **基板厚度**+ 1 . 1 ;

[0020] ②调整:

[0021] 如果步骤①得到物距变化是正数,则将所述的共轭距可变的光刻投影物镜整体沿着光轴方向远离物平面移动所述的物距变化;

[0022] 如果步骤①得到物距变化是负数,则将所述的共轭距可变的光刻投影物镜整体沿着光轴方向靠近物平面移动所述的物距变化;

[0023] ③对HDI基板曝光。

[0024] 本发明具有以下优点和积极效果:

[0025] 1、本发明的共轭距可变的光刻投影物镜采用双远心光路结构,并且远心度小于0.5mrad,可以有效地实现共轭距变化等于3mm;

[0026] 2、本发明的共轭距可变的光刻投影物镜采用正负光焦度平衡匹配,可以有效地在共轭距变化范围内很好的校正波像差、畸变等,实现良好的成像质量;

[0027] 3、本发明的用于印刷电路板光刻领域LDI光刻设备的光刻方法,可以有效地实现待曝光HDI基板厚度变化范围是0.025mm~3mm,在所述基板厚度变化范围内可以很好地校正波像差、畸变等,实现良好的成像质量。

## 附图说明

[0028] 图1为本发明的共轭距可变的光刻投影物镜的结构及光路图;

[0029] 图2为本发明的共轭距可变的光刻投影物镜实施例一调制传递函数MTF图;

[0030] 图3为本发明的共轭距可变的光刻投影物镜实施例二调制传递函数MTF图;

[0031] 图4为本发明的共轭距可变的光刻投影物镜实施例三调制传递函数MTF图;

[0032] 图5为本发明的共轭距可变的光刻投影物镜实施例四调制传递函数MTF图;

[0033] 图6为本发明的共轭距可变的光刻投影物镜实施例五调制传递函数MTF图;

[0034] 图7为采用本发明共轭距可变的光刻投影物镜的HDI基板厚度和物距变化关系拟合图。

## 具体实施方式

[0035] 以下结合实施例和附图对本发明的共轭距可变的光刻投影物镜做进一步的详细描述。

[0036] 本发明共轭距可变的光刻投影物镜所应用的LDI光刻设备,采用高功率半导体激光器,中心波长为405nm,带宽为10nm。该光刻设备的最小线宽为10μm,如果工艺因子k1选择

>1.0 (工艺比较容易实现), 这样根据下面的公知公式选定像方数值孔径NA为0.0432。

$$[0037] \quad NA = k_1 \times \frac{\lambda}{CD}$$

[0038] 该LDI光刻设备要求物方视场直径为26.53mm, 像方视场直径为12.28mm, 放大倍率为1/2.16, 共轭距为425mm, 物方工作距>150mm, 像方工作距>50mm。

[0039] 该LDI光刻设备要求曝光的HDI基板厚度从0.025mm变化到3mm, 确定光刻投影物镜共轭距变化范围为3mm, 并约定1.5mm厚度基板对应于425mm共轭距, 当基板厚度为3mm时, 相当于共轭距减少了1.5mm, 对应于423.5mm共轭距, 同理, 当基板厚度为0时, 相当于共轭距增加了1.5mm, 对应于426.5mm共轭距。

[0040] 根据下面公知公式可以计算该光刻投影物镜的成像焦深为217 $\mu$ m, HDI基板厚度变化范围远大于该焦深。

$$[0041] \quad DOF = k_2 \times \frac{\lambda}{NA^2} = 1 \times \frac{0.405}{0.0432^2} = 217 \mu m$$

[0042] 该LDI光刻设备要求的光刻投影物镜约束参数如表1所示。

[0043] 表1 LDI光刻设备要求的光刻投影物镜参数

[0044]

约束项目	参数	共轭距对应的基板厚度
工作波长	410nm、405nm、400nm	
像方数值孔径	0.0432	
物方视场直径	26.53mm	
放大倍率	1/2.16	
倍率误差的绝对值	< 50ppm	
波像差 (均方根值)	< 71 m $\lambda$	
畸变	< 2 $\mu$ m	
物方和像方远心度绝对值	< 0.5 mrad	
像方工作距 (像距)	> 50mm	
物方工作距 (物距)	> 150mm	
共轭距	425mm	1.5mm
共轭距	423.5mm	3mm

[0045]

约束项目	参数	共轭距对应的基板厚度
共轭距	426.5	0

[0046] 本发明的共轭距可变的光刻投影物镜的实施例一, 如图1所示, 本发明的共轭距可变的光刻投影物镜, 用于将物平面内的图形成像到像平面内, 所述的共轭距可变的光刻投影物镜从物平面一侧沿其光轴方向顺次包括物平面、第一透镜至第五透镜L1~L5、孔径光

阑、第六透镜至第八透镜L6~L8、像平面,第一透镜至第五透镜L1~L5组合镜组的后焦点位于孔径光阑的中心,构成物方远心光路,第六透镜至第八透镜L6~L8组合镜组的前焦点位于孔径光阑的中心,构成像方远心光路,这种双远心光路结构,保证放大倍率不随着物面和像面沿光轴方向的移动而变化。物空间和像空间的成像光锥都是对称于主光线的,即物空间和像空间的主光线平行于光轴,就形成双远心光路结构的投影光学系统。这样,即使物面和像面处于离焦的位置,物和像的高度在垂直于光轴平面上仍然没有改变,即放大倍率没有改变。这一点对投影光刻技术非常重要。

[0047] 本发明的共轭距可变的光刻投影物镜,其中,第一透镜L1、第二透镜L2、第七透镜L7、第八透镜L8具有正光焦度,第三透镜L3、第四透镜L4、第五透镜L5、第六透镜L6具有负光焦度,孔径光阑位于第五透镜L5和第六透镜L6之间。

[0048] 所述的共轭距可变的光刻投影物镜,第一透镜L1、第七透镜L7、第八透镜L8为双凸透镜,第三透镜L3为双凹透镜,第二透镜L2、第四透镜L4、第五透镜L5、第六透镜L6为凹面朝向像平面的弯月透镜,且所述每一透镜的光学表面均为球面。

[0049] 所述的共轭距可变的光刻投影物镜中的每一透镜的任何一个(或任何多个)光学表面也可以采用非球面,以下仅以球面透镜为例来说明本发明,但不应以此来限定本发明的保护范围。

[0050] 所述的共轭距可变的光刻投影物镜,第一透镜L1、第二透镜L2、第三透镜L3选用冕牌玻璃,优选国产成都光明公司的ZK9光学玻璃,第四透镜L4、第五透镜L5、第六透镜L6选用火石玻璃,优选国产成都光明公司的ZF10光学玻璃,第七透镜L7、第八透镜L8选用冕牌玻璃,优选国产成都光明公司的ZK11光学玻璃。

[0051] 根据前面表1中LDI光刻设备所要求的共轭距可变的光刻投影物镜参数,本发明提供的共轭距可变的光刻投影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。

[0052] 表2给出了本实施例的共轭距可变的光刻投影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。

[0053] 以透镜L1和L2为例,L1的前表面1的球面半径为38.1554mm(其正负号表示了表面的弯曲方向),L1的前表面1到物面的间距为174.7806mm,其光学材料为ZK9\_CHINA,L1前表面1的半孔径为16.8788mm;L1的后表面2的球面半径为-287.1378mm,L1的前表面1到L1的后表面2,即透镜L1的中心厚度为8.2134mm,L1的后表面2的半孔径为16.2104mm,即L1是双凸透镜。

[0054] L2的前表面3的球面半径和半孔径分别为36.5676mm和14.8177mm,L2的前表面3到L1的后表面2的间距为0.5290mm,透镜L2的光学材料为ZK9\_CHINA,L2的后表面4的球面半径和半孔径分别为89.6716mm和14.2152mm,透镜L2的厚度为3.5966mm,即L2为凹面朝向像平面一侧的弯月透镜。除了像面(表面Image)的半孔径表示像方视场半高度外,其余各表面的

参数值含义根据L1、L2类推。

[0055] 除了L1~L8这8块透镜之外,透镜L5和L6之间还设置有孔径光阑STOP,其孔径尺寸的改变将影响该共轭距可变的光刻投影物镜的成像效果。

[0056] 表2本发明的共轭距可变的光刻投影物镜的设计参数

[0057]

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	174.7806			物面
1	38.1554	8.2134	ZK9_CHINA	16.8788	L1
2	-287.1378	0.5290		16.2104	
3	36.5676	3.5966	ZK9_CHINA	14.8177	L2
4	89.6716	1.8945		14.2152	
5	-373.7334	2.1089	ZK9_CHINA	13.9456	L3
6	75.1455	12.2065		12.9508	
7	217.1448	2.6490	ZF10_CHINA	8.9106	L4
8	73.1338	1.1967		8.2707	

[0058]

表面	半径 mm	厚度/间距 mm	光学材料	半孔径 mm	所属对象
9	53.1112	2.6054	ZF10_CHINA	7.8794	L5
10	16.9086	55.1992		7.0474	
Stop	1.00E+18	48.5176		2.8000	孔径光阑
12	1298.2227	7.0000	ZF10_CHINA	8.2030	L6
13	50.9313	3.0643		8.6757	
14	60.8348	3.0753	ZK11_CHINA	9.4175	L7
15	-61.8003	7.8291		9.5427	
16	166.4660	7.0000	ZK11_CHINA	9.7837	L8
17	-205.3619	83.5232		9.7385	
Image	1.00E+18	0.0000		6.1412	像面

[0059] 根据本发明较佳实施例一所公开的表2中数据,其中“厚度/间隔”一栏的数据求和,就可以得到共轭距可变的光刻投影物镜的共轭距,即424.9893mm。“表面”一栏“Object”对应的“厚度/间隔”数据是物方工作距,即174.7806mm,在本发明中,物方工作距和物距表示相同的意思。“Image”对应的“厚度/间隔”数据是像方工作距,即83.5232mm,在本发明中,像方工作距和像距表示相同的意思。设定在此共轭距(424.9893mm)下的光刻投影物镜用于曝光1.5mm厚的HDI基板。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,图2表示本实施例一共轭距可变的光刻投影物镜的调制传递函数MTF,成像质量接近衍射极限,其它的像差校正程度如下表3所示。

[0060] 表3本发明的共轭距可变的光刻投影物镜设计成像质量



[0061]

项目	设计结果
倍率	1/2.1599999
倍率误差	0.03ppm
波像差（均方根值）WFE RMS	11.7 mλ
畸变	1.84 μm
物方远心度度	0.24 mrad
像方远心度度	-0.30 mrad

[0062] 本发明的共轭距可变的光刻投影物镜的共轭距变化方法是,将所述的共轭距可变的光刻投影物镜包括第一透镜至第五透镜L1~L5、孔径光阑、第六透镜至第八透镜L6~L8,整体沿着光轴方向远离物平面移动,或者靠近物平面移动,实现共轭距的变化。

[0063] 本发明的共轭距可变的光刻投影物镜的第二个实施例,设定在此实施例下光刻投影物镜用于曝光3.0mm厚的HDI基板,那么此时共轭距将比表2中共轭距减少1.5mm,此时共轭距为423.4893mm,如下表4所示。

[0064] 表4实施例二共轭距的变化情况

[0065]

	基板厚度 (mm)	共轭距 (mm)	物距 (mm)	像距 (mm)
实施例二	3.0	423.4893	172.8709	83.9330
实施例一	1.5	424.9893	174.7806	83.5232
变化	1.5	-1.5	-1.9097	0.4097

[0066] 光刻方法是将所述的共轭距可变的光刻投影物镜包括第一透镜至第五透镜L1~L5、孔径光阑、第六透镜至第八透镜L6~L8,整体沿着光轴方向靠近物平面移动1.9097mm,物方工作距变为172.8709mm,同时,像方工作距变为83.9330mm,在这种情况下下的设计成像质量如下表5所示,成像质量满足要求,图3表示实施例二共轭距可变的光刻投影物镜的调制传递函数MTF,成像质量接近衍射极限。

[0067] 表5本发明的共轭距可变的光刻投影物镜实施例二设计成像质量

[0068]

项目	设计结果
倍率	1/2.160051
倍率误差	-23.6 ppm
波像差（均方根值）WFE RMS	14.20 mλ
畸变	1.87 μm
物方远心度度	0.24 mrad
像方远心度度	-0.30 mrad

[0069] 本发明的共轭距可变的光刻投影物镜的第三个实施例,设定在此实施例下光刻投影物镜用于曝光0.0mm厚的HDI基板,那么此时共轭距将比表2中共轭距增加1.5mm,此时共

轭距为426.4893mm,如下表6所示。

[0070] 表6实施例三共轭距的变化情况

	基板厚度 (mm)	共轭距 (mm)	物距 (mm)	像距 (mm)
[0071] 实施例三	0.0	426.4893	176.6903	83.1135
实施例一	1.5	424.9893	174.7806	83.5232
	基板厚度 (mm)	共轭距 (mm)	物距 (mm)	像距 (mm)
[0072] 变化	-1.5	1.5	1.9097	-0.4097

[0073] 光刻方法是将所述的共轭距可变的光刻投影物镜包括第一透镜至第五透镜L1~L5、孔径光阑、第六透镜至第八透镜L6~L8,整体沿着光轴方向远离物平面移动1.9097mm,物方工作距增加到176.6903mm,同时,像方工作距减少到83.1135mm,在这种情况下下的设计成像质量如下表7所示,成像质量满足要求,图4显示了实施例三共轭距可变的光刻投影物镜的调制传递函数MTF,成像质量接近衍射极限。

[0074] 表7本发明的共轭距可变的光刻投影物镜实施例三设计成像质量

[0075]

项目	设计结果
倍率	1/2.159949
倍率误差	23.6 ppm
波像差(均方根值) WFE RMS	11.34 mλ
畸变	1.80 μm
物方远心度度	0.24 mrad
像方远心度度	-0.30 mrad

[0076] 本发明的共轭距可变的光刻投影物镜的第四个实施例,设定在此实施例下光刻投影物镜用于曝光1.0mm厚的HDI基板,那么此时共轭距将比表2中共轭距增加0.5mm,此时共轭距为425.4893mm,如下表8所示。

[0077] 表8实施例四共轭距的变化情况

[0078]

	基板厚度 (mm)	共轭距 (mm)	物距 (mm)	像距 (mm)
实施例四	1.0	425.4893	175.4172	83.3866
实施例一	1.5	424.9893	174.7806	83.5232
变化	-0.5	0.5	0.6366	-0.1366

[0079] 光刻方法是将所述的共轭距可变的光刻投影物镜包括第一透镜至第五透镜L1~L5、孔径光阑、第六透镜至第八透镜L6~L8,整体沿着光轴方向远离物平面移动0.6366mm,物方工作距增加到175.4172mm,同时,像方工作距减少到83.3866mm,在这种情况下下的设计成像质量如下表9所示,成像质量满足要求,图5显示了实施例四共轭距可变的光刻投影物镜的调制传递函数MTF,成像质量接近衍射极限。

[0080] 表9本发明的共轭距可变的光刻投影物镜实施例四设计成像质量

[0081]

项目	设计结果
倍率	1/2.159983
倍率误差	7.87 ppm
波像差（均方根值）WFE RMS	11.33 mλ
畸变	1.83 μm
物方远心度度	0.24 mrad
像方远心度度	-0.30 mrad

[0082] 本发明的共轭距可变的光刻投影物镜的第五个实施例,设定在此实施例下光刻投影物镜用于曝光2.0mm厚的HDI基板,那么此时对应的共轭距将比表2中共轭距减少0.5mm,此时共轭距为424.4893mm,如下表10所示。

[0083] 表10实施例五共轭距的变化情况

[0084]

	基板厚度 (mm)	共轭距 (mm)	物距 (mm)	像距 (mm)
实施例五	2.0	424.4893	174.1440	83.6598
实施例一	1.5	424.9893	174.7806	83.5232
变化	0.5	-0.5	-0.6366	0.1366

[0085] 光刻方法是将所述的共轭距可变的光刻投影物镜包括第一透镜至第五透镜L1~L5、孔径光阑、第六透镜至第八透镜L6~L8,整体沿着光轴方向靠近物平面移动0.6366mm,物方工作距减少到174.1440mm,同时,像方工作距增加到83.6598mm,在这种情况下的设计成像质量如下表11所示,成像质量满足要求,图6显示了实施例五共轭距可变的光刻投影物镜的调制传递函数MTF,成像质量接近衍射极限。

[0086] 表11本发明的共轭距可变的光刻投影物镜实施例五设计成像质量

[0087]

项目	设计结果
倍率	1/2.160017
倍率误差	-7.8 ppm
波像差（均方根值）WFE RMS	12.3 mλ
畸变	1.85 μm
物方远心度度	0.24 mrad
像方远心度度	-0.30 mrad

[0088] 采用本发明的共轭距可变的光刻投影物镜,完全满足用于印刷电路板(PCB)激光直接成像(LDI)光刻设备的技术要求,成像质量优良,并且满足实际应用于HDI基板厚度变化范围0.025mm~3mm的曝光要求。

[0089] 将所述五个实施例中HDI基板厚度和光刻投影物镜物距变化的关系进行数据拟

合,得到如图7所示的线性关系,以下面方程式<1>表达:

$$[0090] \quad \text{物距变化} = -1.273 \times \text{基板厚度} + 1.91 \quad \langle 1 \rangle$$

[0091] HDI基板厚度和光刻投影物镜共轭距变化的关系,以下面方程式<2>表达:

$$[0092] \quad \text{共轭距变化} = -1 \times \text{基板厚度} + \frac{\text{最大基板厚度}}{2} \quad \langle 2 \rangle$$

[0093] 光刻投影物镜像距变化以下面方程式<3>表达:

$$[0094] \quad \text{像距变化} = \text{共轭距变化} - \text{物距变化} \quad \langle 3 \rangle$$

[0095] 对于待曝光的厚度变化范围为0.025mm~3mm的任意厚度HDI基板,采用本发明的共轭距可变的光刻投影物镜的LDI光刻设备的光刻方法是:

[0096] 步骤一,根据方程式<1>、<2>、<3>计算出物距变化、共轭距变化、像距变化;

[0097] 步骤二,如果步骤一得到物距变化是正数,则将所述的共轭距可变的光刻投影物镜包括第一透镜至第五透镜L1~L5、孔径光阑、第六透镜至第八透镜L6~L8,整体沿着光轴方向远离物平面移动所述的物距变化;如果步骤一得到物距变化是负数,则将所述的共轭距可变的光刻投影物镜包括第一透镜至第五透镜L1~L5、孔径光阑、第六透镜至第八透镜L6~L8,整体沿着光轴方向靠近物平面移动所述的物距变化;

[0098] 步骤三,所述的共轭距可变的光刻投影物镜移动完成后,就可以对HDI基板曝光。

[0099] 采用所述的光刻方法,就可以实现HDI基板厚度变化范围0.025mm~3mm的曝光要求。

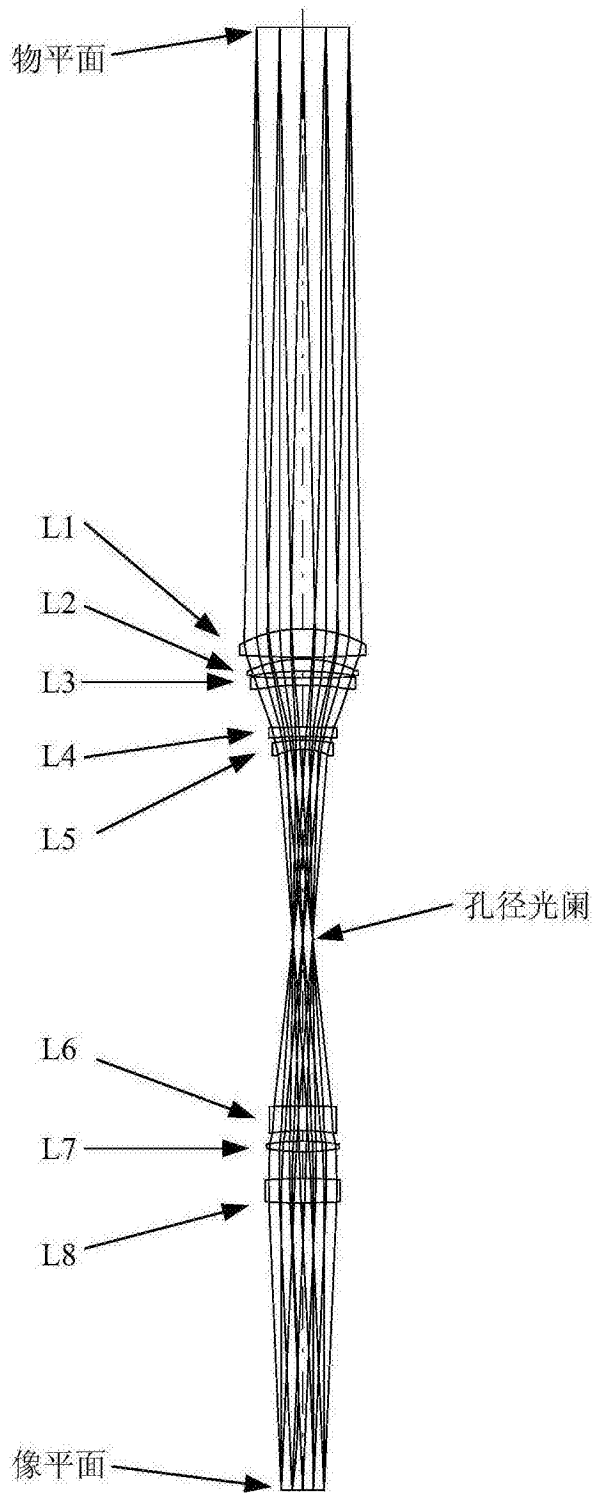


图1

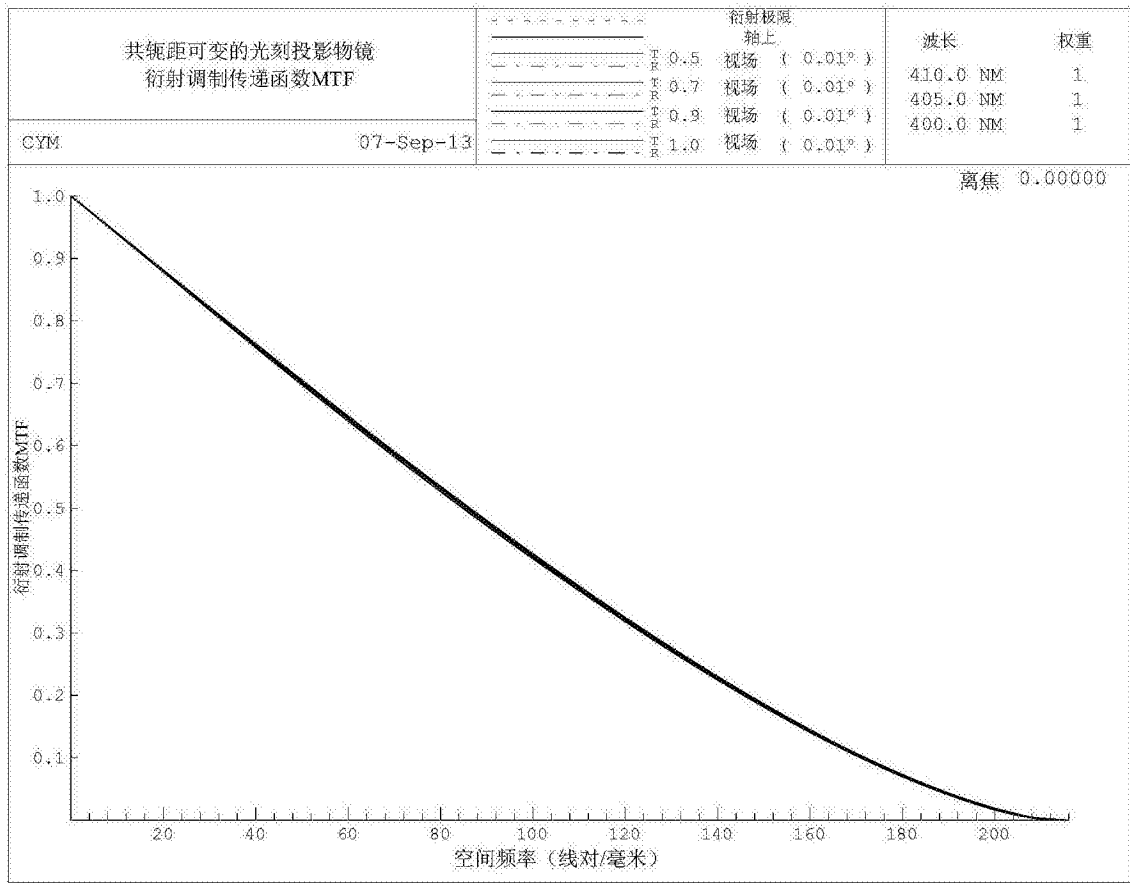


图2

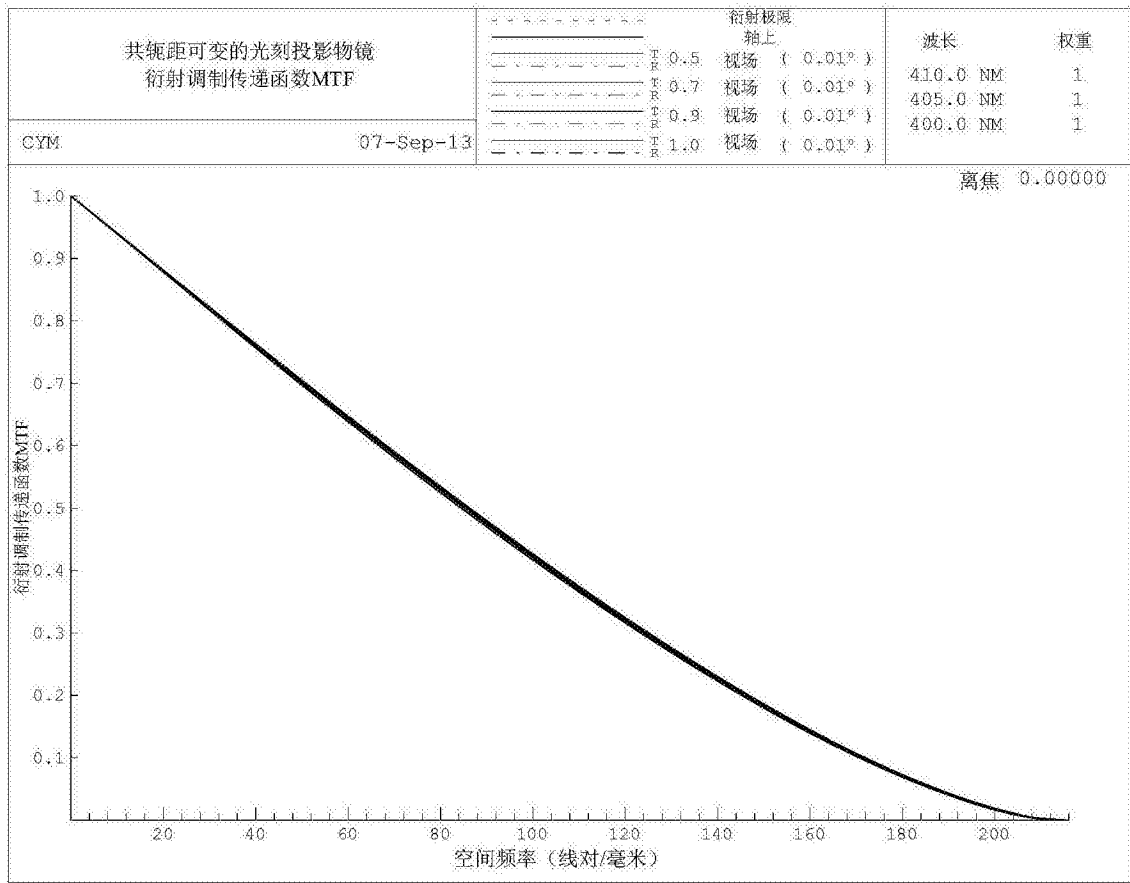


图3

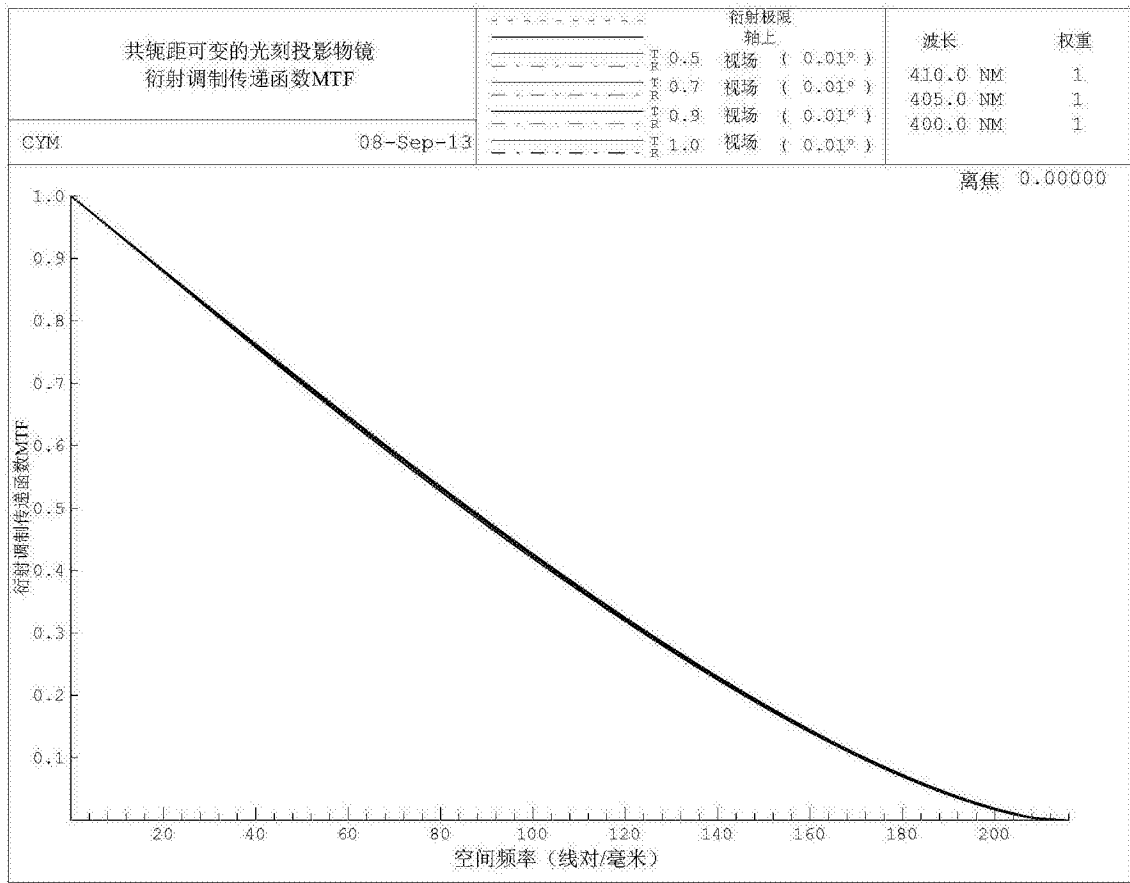


图4



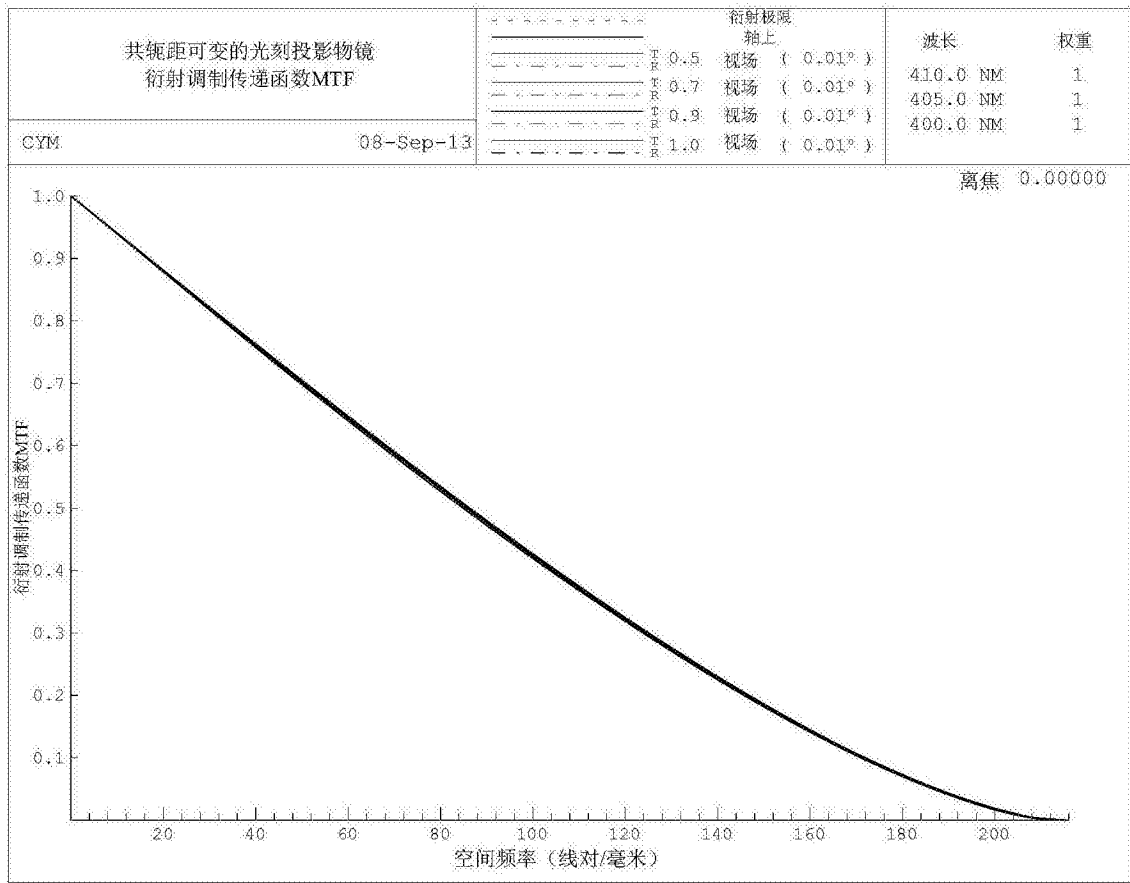


图5

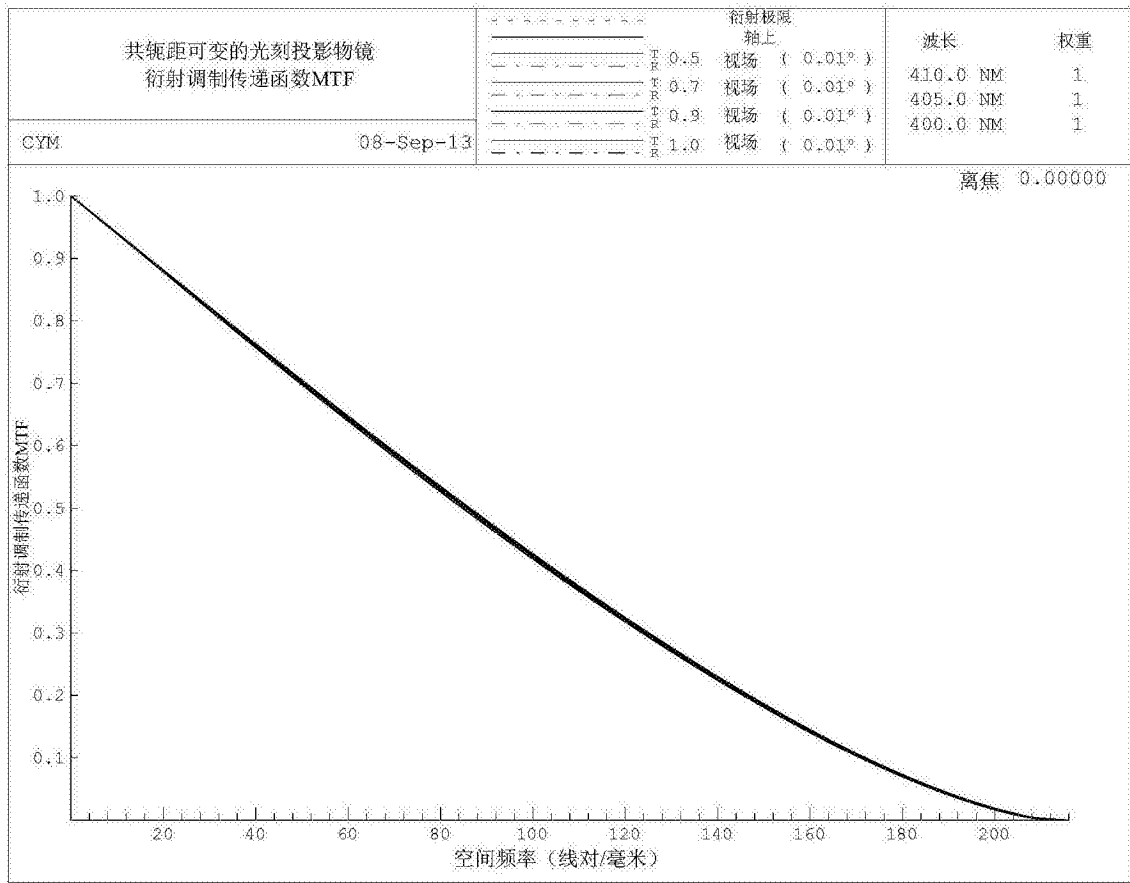


图6

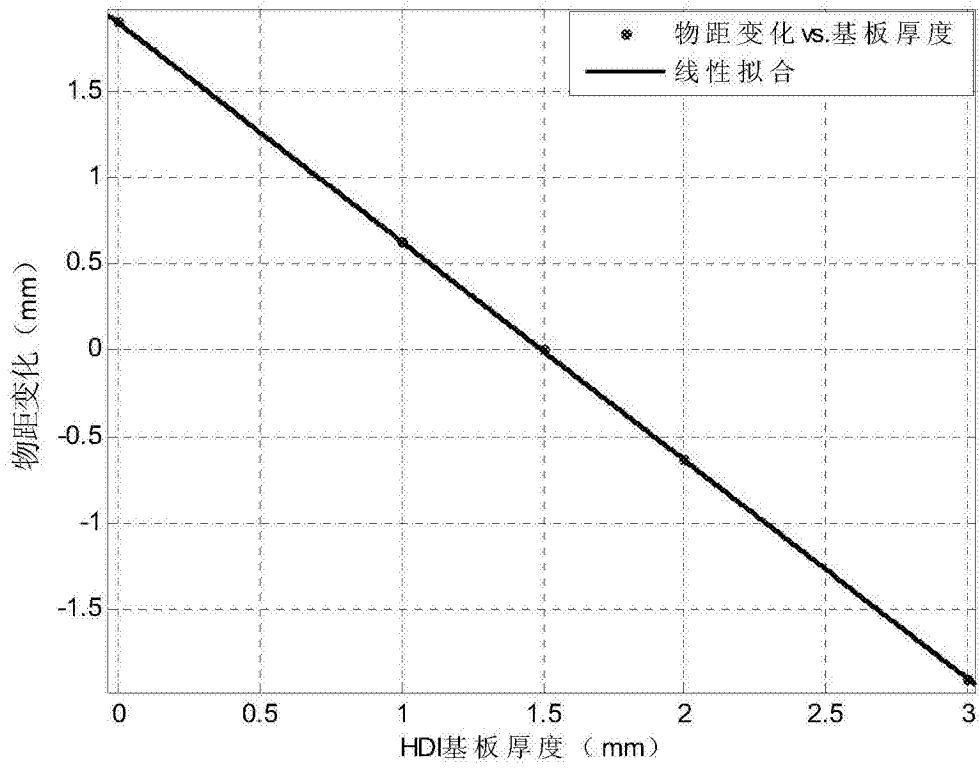


图7