



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102368112 A

(43) 申请公布日 2012. 03. 07

(21) 申请号 201110336153. X

G02B 13/18(2006. 01)

(22) 申请日 2011. 10. 31

G02B 1/00(2006. 01)

(71) 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

G02B 1/11(2006. 01)

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路  
3888 号

(72) 发明人 郭帮辉 孙强 王健 杨乐  
张建忠

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 陶尊新

(51) Int. Cl.

G02B 27/18(2006. 01)

G02B 13/14(2006. 01)

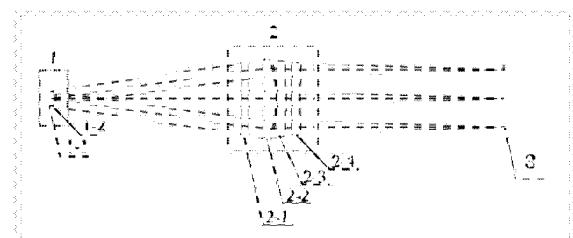
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 1 页

(54) 发明名称

红外宽波段消热差免调焦半实物仿真投影系统

(57) 摘要

红外宽波段消热差免调焦半实物仿真投影系统，涉及一种光学投影系统领域。它解决现有 DMD 的红外半实物仿真系统由两片 DMD 组成，系统结构复杂以及需要调焦才能获得清晰图像的问题，该系统包括 DMD 模块和 3~12 μm 红外宽波段长后工作距光学系统；DMD 模块包括微透镜阵列靶面和 DMD 芯片保护窗口；3~12 μm 红外宽波段长后工作距光学系统包括投影系统光学镜头和光学系统的出瞳；投影系统光学镜头包括四个长波红外光学镜片；所述 DMD 模块将接收的数字图像经 DMD 模块内的微透镜阵列靶面和 DMD 芯片保护窗口后转换为红外图像，然后将红外图像输出至投影系统光学镜头后投影到光学系统的出瞳，本系统适用于红外半实物仿真装置。



1. 红外宽波段消热差免调焦半实物仿真投影系统,该系统包括 DMD 模块 (1) 和 3 ~ 12 μm 红外宽波段长后工作距光学系统;所述 DMD 模块 (1) 包括微透镜阵列靶面 (1-1) 和 DMD 芯片保护窗口 (1-2);所述 3 ~ 12 μm 红外宽波段长后工作距光学系统包括投影系统光学镜头 (2) 和光学系统的出瞳 (3);所述投影系统光学镜头 (2) 包括第一长波红外光学镜片 (2-1)、第二长波红外光学镜片 (2-2)、第三长波红外光学镜片 (2-3) 和第四长波红外光学镜片 (2-4);其特征是,所述 DMD 模块 (1) 将接收的数字图像经 DMD 模块 (1) 内的微透镜阵列靶面 (1-1) 和 DMD 芯片保护窗口 (1-2) 后转换为红外图像,然后将所述红外图像输出至 3 ~ 12 μm 红外宽波段长后工作距光学系统,投影系统光学镜头 (2) 将红外图像投影到光学系统的出瞳 (3);所述第一长波红外光学镜片 (2-1) 的前表面 (2-1-1)、第二长波红外光学镜片 (2-2) 的后表面 (2-2-2)、第三长波红外光学镜片 (2-3) 的后表面 (2-3-2) 和第四长波红外光学镜片 (2-4) 的后表面 (2-4-2) 为六次非球面。

2. 根据权利要求 1 所述的红外宽波段消热差免调焦半实物仿真投影系统,其特征在于,所述 DMD 模块 (1) 中的 DMD 芯片保护窗口 (1-2) 为具有高透过率的红外材料。

3. 根据权利要求 2 所述的红外宽波段消热差免调焦半实物仿真投影系统,其特征在于,所述高透过率的红外材料为 ZnSe、ZnS 或 Ge。

4. 根据权利要求 1 所述的红外宽波段消热差免调焦半实物仿真投影系统,其特征在于,所述第一长波红外光学镜片 (2-1) 和第三长波红外光学镜片 (2-3) 的材料为 ZnS;所述第二长波红外光学镜片 (2-2) 的材料为 ZnSe,第四长波红外光学镜片 (2-4) 的材料为 Ge。

5. 根据权利要求 1 所述的红外宽波段消热差免调焦半实物仿真投影系统,其特征在于,第一长波红外光学镜片 (2-1) 的前表面 (2-1-1) 和后表面 (2-1-2)、第二长波红外光学镜片 (2-2) 的前表面 (2-2-1) 和后表面 (2-2-2)、第三长波红外光学镜片 (2-3) 的前表面 (2-3-1) 和后表面 (2-3-2),以及第四长波红外光学镜片 (2-4) 的前表面 (2-4-1) 和后表面 (2-4-2) 均镀有增透膜。

6. 根据权利要求 1 所述的红外宽波段消热差免调焦半实物仿真投影系统,其特征在于,光学系统的出瞳 (3) 与第四长波红外光学镜片 (2-4) 的距离大于 50mm。

## 红外宽波段消热差免调焦半实物仿真投影系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种光学投影系统,该系统用于红外半实物仿真装置中,更特别地,涉及一种使用数字微镜器件(DMD)的 $3 \sim 12 \mu\text{m}$ 红外宽波段投影系统。

### 背景技术

[0002] 随着红外成像系统在军事侦察、告警、跟踪制导以及工业检测等多个领域的广泛应用,其性能指标也在不断提高,从而对红外成像系统测试设备提出了更高的要求。近年来,基于DMD的红外半实物仿真系统,能够模拟目标和背景的红外辐射,并且产生的红外图像具有高的分辨率和对比度,能用于高性能红外成像系统性能测试和场景仿真试验。

[0003] 基于DMD的红外半实物仿真系统由以下几部分组成:光学照明系统、光学投影系统、DMD驱动控制系统。当确定了光学照明系统和DMD型号时,光学投影系统决定了仿真系统投射出来的目标红外图像的质量。因此,光学投影系统的性能决定了红外半实物仿真系统的性能。

[0004]  $3 \sim 12 \mu\text{m}$ 红外宽波段半实物仿真系统能对中波红外和长波红外成像系统进行仿真测试,比单波段的红外半实物仿真系统有较大的优势。目前,已有的红外双波段或者宽波段半实物仿真系统,也能对中波红外和长波红外成像系统进行仿真测试,但是,其双波段红外图像是由两片DMD形成的红外图像经过半反半透镜合成产生的,整个系统结构复杂,而且两片DMD产生的红外图像很难对准重叠,导致红外半实物仿真系统产生的模拟目标红外图像分辨率和对比度低。另外,已有的红外双波段或者宽波段半实物仿真系统,在 $-40^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$ 温度范围内使用,需要对红外投影系统进行调焦才能得到清晰的红外图像,导致系统结构复杂。

[0005] 为了提高 $3 \sim 12 \mu\text{m}$ 红外宽波段半实物仿真系统的分辨率和对比度,必须突破传统的使用两片DMD来构建投影系统的设计思路。但是,只使用一片DMD来构建投影系统,必须解决 $3 \sim 12 \mu\text{m}$ 红外宽波段消色差和消热差的问题。

### 发明内容

[0006] 本发明为解决现有DMD的红外半实物仿真系统由两片DMD组成,系统结构复杂、产生的模拟目标红外图像分辨率和对比度低,并且在 $-40^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$ 温度范围需要调焦才能获得清晰图像的问题,提供一种红外宽波段消热差免调焦半实物仿真投影系统。

[0007] 红外宽波段消热差免调焦半实物仿真投影系统,该系统包括DMD模块和 $3 \sim 12 \mu\text{m}$ 红外宽波段长后工作距光学系统;所述DMD模块包括微透镜阵列靶面和DMD芯片保护窗口;所述 $3 \sim 12 \mu\text{m}$ 红外宽波段长后工作距光学系统包括投影系统光学镜头和光学系统的出瞳;所述投影系统光学镜头包括第一长波红外光学镜片、第二长波红外光学镜片、第三长波红外光学镜片和第四长波红外光学镜片;其特征是,所述DMD模块将接收的数字图像经DMD模块内的微透镜阵列靶面和DMD芯片保护窗口后转换为红外图像,然后将所述红外图像输出至 $3 \sim 12 \mu\text{m}$ 红外宽波段长后工作距光学系统,投影系统光学镜头将红外图像投影到光

学系统的出瞳；所述第一长波红外光学镜片的前表面、第二长波红外光学镜片的后表面、第三长波红外光学镜片的后表面和第四长波红外光学镜片的后表面为六次非球面。

[0008] 本发明的有益效果：

[0009] 一、本发明所述的红外宽波段消热差免调焦半实物仿真投影系统采用一台红外半实物仿真测试设备就能对中波红外和长波红外成像系统进行仿真测试，可以在 -40℃～+60℃ 温度范围内正常工作，既能在实验室使用，又能在室外使用，便于红外成像系统的户外测试。该系统在 3～12 μm 波长范围内和 -40℃～+60℃ 温度范围内工作时，能实现免调焦功能，既避免了由于调焦而存在运动环节对仿真测试系统精度的影响，又能简化系统结构，从而大大提高仿真测试系统的可靠性，保证其高精度长时间正常工作。

[0010] 二、本发明所述的红外宽波段消热差免调焦半实物仿真投影系统只用一片 DMD 来实现 3～12 μm 宽波段半实物仿真系统，系统结构简单，大大降低了对装调精度的要求，容易集成为便携式的仿真测试系统，非常利于武器装备中的红外成像系统户外仿真测试；另外，由于结构简单，也能降低设备研制成本。采用一片 DMD，解决了消色差和消热差的问题；同时，被测系统由中波红外系统更换为长波红外系统，或者由长波红外系统更换为中波红外系统时，投影系统无需调节像面位置；在 -40℃～+60℃ 温度范围内使用，无需调节像面位置，即实现了免调焦功能。

## 附图说明

[0011] 图 1 为本发明所述的红外宽波段消热差免调焦半实物仿真投影系统的结构示意图；

[0012] 图 2 为本发明所述的红外宽波段消热差免调焦半实物仿真投影系统中微透镜阵列靶面和 DMD 芯片保护窗口的示意图；

[0013] 图 3 为本发明所述的本发明所述的红外宽波段消热差免调焦半实物仿真投影系统的投影系统光学镜头的示意图。

[0014] 图中：1、DMD 模块，2、投影系统光学镜头，3、光学出瞳，1-1、微透镜阵列靶面，1-2、DMD 芯片保护窗口，2-1、第一长波红外光学镜片，2-2、第二长波红外光学镜片，2-3、第三长波红外光学镜片，2-4、第四长波红外光学镜片，1-2-1、DMD 芯片保护窗口的前表面，1-2-2、DMD 芯片保护窗口的后表面，2-1-1、第一长波红外光学镜片的前表面，2-1-2、第一长波红外光学镜片的后表面；2-2-1、第二长波红外光学镜片的前表面，2-2-2、第二长波红外光学镜片的后表面，2-3-1、第三长波红外光学镜片的前表面，2-3-2、第三长波红外光学镜片的后表面，2-4-1、第四长波红外光学镜片的前表面，2-4-2、第四长波红外光学镜片的后表面。

## 具体实施方式

[0015] 具体实施方式一、结合图 1 至图 3 说明本实施方式，红外宽波段消热差免调焦半实物仿真投影系统，该系统包括将数字图像转换为红外图像的 DMD 模块 1 和 3～12 μm 红外宽波段长后工作距光学系统；其中，数字微镜器件 DMD 模块包括：微镜阵列靶面 1-1、DMD 芯片保护窗口 1-2，DMD 芯片保护窗口 1-2 是在 3～12 μm 波长范围内具有高透过率的红外材料。DMD 模块在使用黑体照明时，可以将通过电路输入的数字图像转换为相同场景的红外图像输出。3～12 μm 红外宽波段长后工作距光学系统包括投影系统光学镜头 2：第一长波

红外光学镜片一 2-1、第二长波红外光学镜片 2-2、第三长波红外光学镜片、第四长波红外光学镜片 2-4,  $3 \sim 12 \mu\text{m}$  红外宽波段长后工作距光学系统可以将 DMD 产生的红外图像投影到光学出瞳 3。所述第一长波红外光学镜片的前表面 2-1-1、第二长波红外光学镜片的后表面 2-2-2、第三长波红外光学镜片的后表面 2-3-2 和第四长波红外光学镜片的后表面 2-4-2 为六次非球面。

[0016] 本实施方式所述 DMD 模块 1 中的 DMD 芯片保护窗口 1-2 为具有高透过率的红外材料。所述高透过率的红外材料可以为 ZnSe、ZnS 或 Ge。

[0017] 本实施方式所述的第一长波红外光学镜片 2-1 和第三长波红外光学镜片 2-3 的材料为 ZnS。所述第二长波红外光学镜片 2-2 的材料为 ZnSe, 第四长波红外光学镜片 2-4 的材料为 Ge。

[0018] 本实施方式所述的第一长波红外光学镜片 2-1 的前表面 2-1-1 和第一长波红外光学镜片 2-1 的后表面 2-1-2、第二长波红外光学镜片 2-2 的前表面 2-2-1 和第二长波红外光学镜片 2-2 的后表面 2-2-2、第三长波红外光学镜片 2-3 的前表面 2-3-1 和第三长波红外光学镜片 2-3 的后表面 2-3-2 与第四长波红外光学镜片 2-4 的前表面 2-4-1 和第四长波红外光学镜片 2-4 的后表面 2-4-2 镀有增透膜。

[0019] 本实施方式所述的光学系统的出瞳 3 位于投影系统光学镜头 2 外部, 并且光学系统的出瞳 3 与第四长波红外光学镜片 2-4 的距离大于 50mm。

[0020] 本实施方式所述的  $3 \sim 12 \mu\text{m}$  红外宽波段投影系统的设计过程 : 通过求解初级像差理论中的色差平衡方程组和热差平衡方程组, 确定光学系统的初始结构, 然后利用光学设计软件 Zemax 或 Code V 等, 优化系统的高级像差。在  $3 \sim 12 \mu\text{m}$  波长范围内选取多个波长, 在  $-40^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$  温度范围内, 每间隔  $10^\circ\text{C}$  选择一个温度点, 建立多重结构。为了满足系统在  $3 \sim 12 \mu\text{m}$  波长范围内和  $-40^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$  温度范围内消色差和消热差, 实现免调焦功能, 选择 ZnSe、ZnS 和 Ge 三种红外材料制作透镜, 并将几个透镜的面型设置为高次非球面, 保持每个结构的后工作距值一致, 进行像差优化设计。每个红外透镜的两个表面都镀增透膜, 要求在  $3 \sim 12 \mu\text{m}$  波长范围内的透过率大于 90%。

[0021] 为了保证照明系统的安装空间, 必须将 DMD 保护窗口 1-2 和红外光学镜片一 2-1 之间的距离优化到合适值, 该值根据照明系统的尺寸而定, 确保照明系统和投影系统不相互遮挡。为了方便与被测红外成像系统进行光瞳的对接, 投影系统的光学出瞳 3 必须在第四长波红外光学镜片 2-4 之外的一段距离, 该距离由被测红外成像系统与红外半实物仿真系统的安装对接方式决定, 使投影系统的光学出瞳 3 与被测红外成像系统的入瞳在同一位置即可。

[0022] 最终得到的  $3 \sim 12 \mu\text{m}$  红外宽波段消热差免调焦投影系统, 在  $3 \sim 12 \mu\text{m}$  波长范围内和  $-40^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$  温度范围内, 不调节像面位置, 其均方根弥散斑半径可以控制在艾里斑半径范围内, 确保投影系统具有高成像质量。

[0023] 具体实施方式二、结合图 1 说明本实施方式, 本实施方式为具体实施方式一所述的红外宽波段消热差免调焦半实物仿真投影系统的实施例 : 系统技术指标如下 : 工作波段 :  $3 \sim 12 \mu\text{m}$ ; 焦距 : 250mm; 视场角 :  $4^\circ$ ; 出瞳直径 : 70mm; 出瞳距 : 250mm; 分辨率 : 优于 0.2mrad;

[0024] 根据上述技术指标, 选用的 DMD 分辨率为  $1024 \times 768$ , 每个 DMD 尺寸为  $13.68 \mu\text{m}$ 。

由初级像差理论,通过求解色差平衡方程组和热差平衡方程组,得到投影系统的初始结构。为了消除 $3 \sim 12 \mu\text{m}$ 宽波段色差引起的高级像差,一方面选用三种能透过 $3 \sim 12 \mu\text{m}$ 红外线的镜片材料进行优化设计,能较好地降低光学系统色差,另一方面,将多个镜片面型设置为能加工的高次非球面,增加系统的优化参数,便于优化系统的像差。

[0025] 在光学系统优化过程中,选取 $3 \sim 12 \mu\text{m}$ 内的多个波长,,在 $-40^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$ 温度范围内每隔 $10^\circ\text{C}$ 选择一个温度点,建立多重结构,在不调节像面位置的前提下,对光学镜片参数进行优化,最终得到的投影系统的均方根弥散斑半径达到衍射极限,说明在上述技术指标下,光学投影系统已经达到衍射极限,能够满足高性能红外成像系统性能测试和场景仿真试验的要求。

[0026] 经过以上设计,最终得到的红外宽波段消热差免调焦半实物仿真投影系统的结构参数如表1所示。其中,第一长波红外光学镜片2-1材料为ZnS、第二长波红外光学镜片2-2材料为ZnSe、第三长波红外光学镜片2-3材料为ZnS、第四长波红外光学镜片2-4的材料为Ge,第一长波红外光学镜片的前镜面2-1-1、第二长波红外光学镜片的后表面2-2-2、第三长波红外光学镜片的后表面2-3-2和第四长波红外光学镜片的后表面2-4-2均为六次非球面。每个红外镜片的两个表面都镀增透膜,在 $3 \sim 12 \mu\text{m}$ 波长范围内的透过率大于90%。

[0027] 本实施方式中所述的镜片表面是非球面,至于哪些镜片的表面是非球面,可选择的组合方式很多。具体选择哪些镜面作为非球面,需要满足以下条件:能使红外半实物仿真投影系统在 $3 \sim 12 \mu\text{m}$ 波长范围内和 $-40^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$ 温度范围内,免调焦的条件下,得到高的成像质量。

[0028] 表1

[0029]

元件名称	面序号	曲率半径 (mm)	间隔或厚度 (mm)	材料	孔径 (mm)
微镜阵列靶面	1-1	—	2	—	17.7
DMD 芯片保护 窗口	1-2-1	—	3	ZnSe	17.92
	1-2-2	—	233.03		18.21
第一长波红外光 学镜片 2-1	2-1-1	-873	10	ZnS	86.82
	2-1-2	2754	19.24		88.62
第二长波红外光 学镜片 2-2	2-2-1	760.3	14.8	ZnSe	95.72
	2-2-2	127.64	0.92		96.92
第三长波红外光 学镜片 2-3	2-3-1	161.06	10	ZnS	93.54
	2-3-2	557.2	14		92.65
第四长波红外光 学镜片 2-4	2-4-1	7447	10	Ge	87.34
	2-4-2	-2123	250		86.54
光学出瞳 3	3	—	—	—	70

[0030] 非球面方程为：

$$[0031] Z = \frac{r^2}{R + \sqrt{R^2 - (1+k)r^2}} + Ar^4 + Br^6 \quad (1)$$

[0032] 式(1)中:Z 为 z 轴坐标;r 为径向坐标;R 为曲率半径;k 为圆锥系数;A 为四次项系数;B 为六次项系数;

[0033] 表 2 是第一长波红外光学镜片的前表面 2-1-1、第二长波红外光学镜片的后表面 2-2-2、第三长波红外光学镜片的后表面 2-3-2 和第四长波红外光学镜片的后表面 2-4-2 的非球面参数。

[0034] 表 2

[0035]

镜面	曲率半径	圆锥系数 k	四次项系数 A	六次项系数 B
2-1-1	-873	19.031	$2.254 \times 10^{-7}$	$3.051 \times 10^{-11}$
2-2-2	127.64	17.795	$-1.291 \times 10^{-7}$	$1.313 \times 10^{-11}$
2-3-2	557.2	-4.856	$1.090 \times 10^{-8}$	$-9.507 \times 10^{-12}$
2-4-2	-2123	1.928	$-7.364 \times 10^{-8}$	$6.562 \times 10^{-12}$

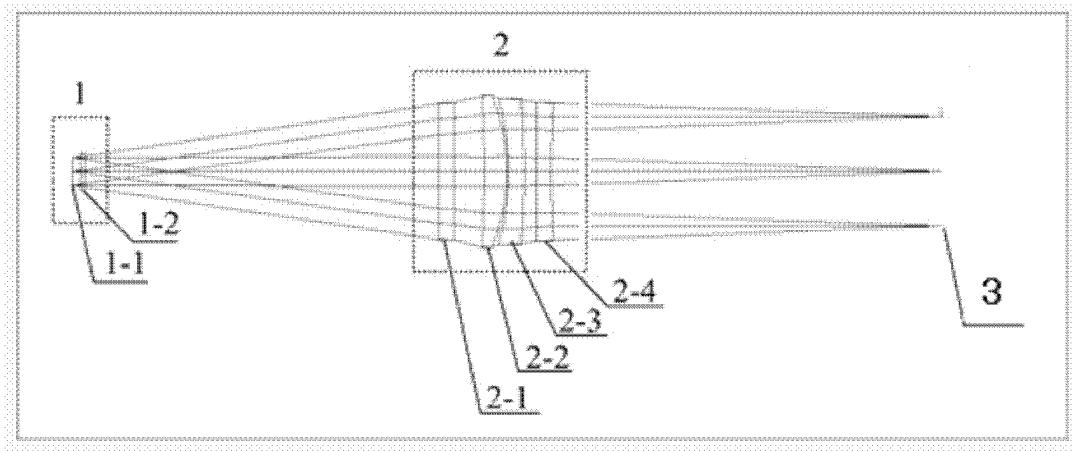


图 1

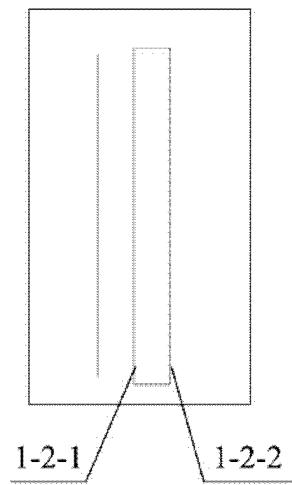


图 2

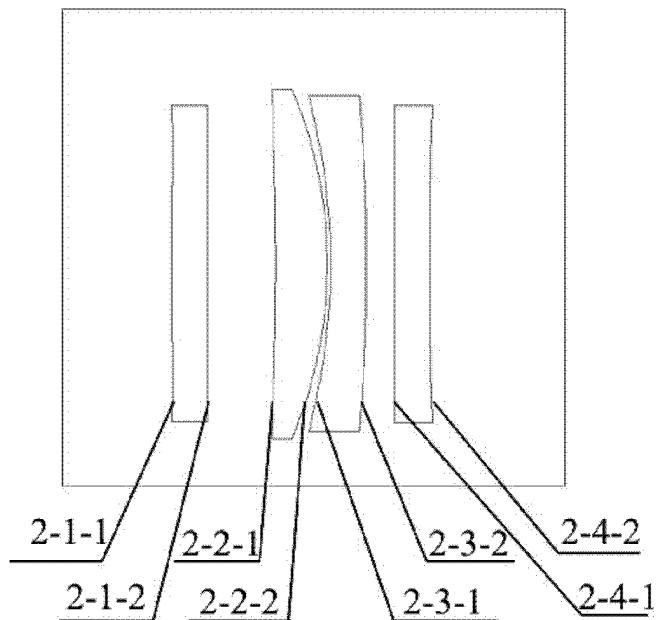


图 3