



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102879895 B

(45) 授权公告日 2015. 01. 14

(21) 申请号 201210341737. 0

US 2007127041 A1, 2007. 06. 07,

(22) 申请日 2012. 09. 14

赵廷玉等. 应用费希尔信息量评价函数的波前编码系统设计. 《光学学报》. 2007, 第 27 卷 (第 6 期),

(73) 专利权人 浙江理工大学

地址 310018 浙江省杭州市下沙高教园区 2 号大街 5 号

审查员 李卓

(72) 发明人 赵廷玉 刘爱萍 刘钦晓 余飞鸿

(74) 专利代理机构 杭州天勤知识产权代理有限公司 33224

代理人 胡红娟

(51) Int. Cl.

G02B 21/36 (2006. 01)

G02B 27/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102455509 A, 2012. 05. 16,

CN 101046547 A, 2007. 10. 03,

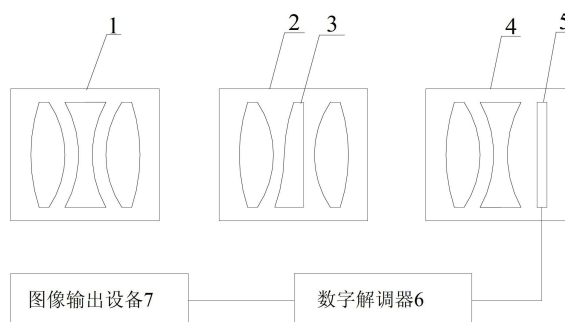
权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种大景深数码显微系统

(57) 摘要

本发明公开了一种大景深数码显微系统, 涉及光学技术领域, 其包括显微物镜、带光电转换器件的电子目镜、与光电转换器件连接的数字解调器以及与数字解调器连接的图像输出设备, 其特征在于, 所述显微物镜与电子目镜之间设有景深延拓器, 所述景深延拓器具有相位掩膜片, 该相位掩膜片的一面满足式①方程: $z(x, y) = ax^3 + by^3 + cx^4 + dy^4 + ex^2y^2 + fxy^3 + gx^3y$ ①, 式①中, a, b, c, d, e, f, g 分别为系数, $x, y, z(x, y)$ 分别为相位掩膜片满足式①方程的面上任一点在三维笛卡儿坐标系中 X, Y, Z 轴坐标, 所述三维笛卡儿坐标系以相位掩膜片中心为坐标原点, 以光轴为 Z 轴。本发明大景深数码显微系统在不破坏传统数码显微系统的主要部件结构的前提下, 通过外加景深延拓器来实现大景深的功能, 具有成本低廉、兼容性强等优点。



1. 一种大景深数码显微系统,包括显微物镜、带光电转换器件的电子目镜、与光电转换器件连接的数字解调器以及与数字解调器连接的图像输出设备,其特征在于,所述显微物镜与电子目镜之间设有景深延拓器,所述景深延拓器具有相位掩膜片,该相位掩膜片的一面满足式①方程:

$$z(x, y) = ax^3 + by^3 + cx^4 + dy^4 + ex^2y^2 + fxy^3 + gx^3y \quad \text{①},$$

式①中, a, b, c, d, e, f, g 分别为系数, $x, y, z(x, y)$ 分别为相位掩膜片满足式①方程的面上任一点在三维笛卡儿坐标系中 X, Y, Z 轴坐标,所述三维笛卡儿坐标系以相位掩膜片中心为坐标原点,以光轴为 Z 轴;

x, y 取值范围均为 $[-r, r]$, 其中, r 为通光孔径的半径;

所述景深延拓器包括依次布置在显微物镜和电子目镜之间的前透镜、相位掩膜片和后透镜,相位掩膜片朝向前透镜的一面满足式①方程,朝向后透镜的一面为平面;或者,所述景深延拓器包括依次布置在显微物镜和电子目镜之间的前透镜和相位掩膜片,所述相位掩膜片朝向前透镜一面满足式①方程,另一面为曲面;

所述显微物镜的像面和景深延拓器的物面重合;所述景深延拓器的像面与电子目镜的物面相重合;

式①方程中, $a = (4 \sim 6) \times 10^{-3}$, $b = (4 \sim 6) \times 10^{-3}$, $c = -(0.9 \sim 1.3) \times 10^{-6}$, $d = -(0.9 \sim 1.3) \times 10^{-6}$, $e = (2.5 \sim 3.5) \times 10^{-7}$, $f = -(0.8 \sim 1.2) \times 10^{-7}$, $g = -(0.8 \sim 1.2) \times 10^{-7}$ 。

2. 根据权利要求1所述的大景深数码显微系统,其特征在于,式①方程中, $a = 5 \times 10^{-3}$, $b = 5 \times 10^{-3}$, $c = -1.1 \times 10^{-6}$, $d = -1.1 \times 10^{-6}$, $e = 3 \times 10^{-7}$, $f = -1 \times 10^{-7}$, $g = -1 \times 10^{-7}$ 。

一种大景深数码显微系统

技术领域

[0001] 本发明涉及光学技术领域，具体涉及一种大景深数码显微系统。

背景技术

[0002] 光学显微镜自 16 世纪末在欧洲发明后，将人类的视野拓展到一个全新的世界中。显微镜技术在生物、医学、工业等诸多方面有着广泛的应用。经过 400 余年的发展，显微镜的成像质量日益提高。尤其是上个世纪末，光电转换器件的广泛应用和数字处理技术的不断更新，给这个古老的学科注入新的生命力。

[0003] 现有的数码显微系统包括显微物镜、带光电转换器件的电子目镜、与光电转换器件连接的数字解调器以及与数字解调器连接的图像输出设备，小景深一直是传统数码显微系统中的重要问题，在中高倍的数码显微系统中尤为严重。

[0004] 数码显微系统中显微物镜的景深 d 可以表示为波动光学景深和几何光学景深之和 $d = \frac{\lambda_0 n}{NA^2} + \frac{ne}{M \cdot NA}$ ，其中， λ_0 为波长； n 表示物方折射率； M 表示放大倍数； NA 表示显微物镜的数值孔径； e 表示显微物镜在像面上能分辨的最小距离。考虑到显微物镜的像面实际上就是电子目镜的物面，因此， e 实际是由电子目镜决定。以普通的生物显微物镜为例，取 λ_0 为 550nm。若采用的是放大倍率为 1/3，像元尺寸为 7 μ m 的光电转换器件，则显微物镜在像面上能分辨的最小距离 e 为 21 μ m。以常用的数值孔径 (NA)0.65，放大倍率 (M)40 倍的中倍显微物镜和数值孔径 (NA)1.1，放大倍率 (M)100 倍的高倍显微物镜为例，将相应的参数代入上式中，可得显微物镜的景深，中高倍显微物镜的主要参数见表 1。

[0005] 表 1

[0006]

	数值孔径 NA	放大倍率 M	物方折射率 n	景深 d (μ m)
中倍显微物镜	0.65	40	1	2.1

[0007]

高倍显微物镜	1.1	100	1.5	0.78
--------	-----	-----	-----	------

[0008] 由表 1 可见，显微物镜的倍率越高，则景深就越小；显微物镜的数值孔径越大，则景深就越小。数码显微系统是通过对整个镜筒的调焦来看清被观察物体的，因此对实现微调的机械结构的精密度要求很高。

[0009] 解决光学系统小景深的问题方法主要有三类。第一类是对光学系统的孔径进行振幅调制，其中以减小相对孔径为代表，但该方法以减小通光量和降低分辨率为代价。第二类是通过共焦成像的方式对每个成像面进行扫描，最后通过数字图像重建的方式来实现，这种方法需要专门的精密电机完成扫描，成本高且耗时长。第三类是通过波前编码技术来拓展景深，它通过在光阑处加上一个 $\phi = \alpha (x^3 + y^3)$ 的相位片，然后对光电转换器件 CCD 或光电转换器件 CMOS 上得到的图像进行数字滤波，以此来达到拓展景深的要求，它需要对整个

显微系统进行重新设计、加工和制作,成本较高。

发明内容

[0010] 本发明的目的是针对现有技术的不足,提供了一种大景深数码显微系统,在不破坏传统数码显微系统的主要部件结构(包括照明部件、载物部件、显微物镜和电子目镜)的前提下,通过外加景深延拓器来实现大景深的功能,具有成本低廉、兼容性强的特点。

[0011] 一种大景深数码显微系统,包括显微物镜、带光电转换器件的电子目镜、与光电转换器件连接的数字解调器以及与数字解调器连接的图像输出设备,所述显微物镜与电子目镜之间设有景深延拓器,所述景深延拓器具有相位掩膜片,该相位掩膜片的一面满足式①方程:

$$z(x, y) = ax^3 + by^3 + cx^4 + dy^4 + ex^2y^2 + fxy^3 + gx^3y \quad (1),$$

[0013] 式①中, a, b, c, d, e, f, g 分别为系数, $x, y, z(x, y)$ 分别为相位掩膜片满足式①方程的面上任一点在三维笛卡儿坐标系中 X, Y, Z 轴坐标,所述三维笛卡儿坐标系以相位掩膜片中心为坐标原点,以光轴为 Z 轴。

[0014] 作为优选, x, y 为落在通光孔径中的笛卡儿坐标, x, y 取值范围均为 $[-r, r]$, 其中 r 为通光孔径的半径,只需将通光孔径范围内相位掩膜片的一面满足式①方程即可,就能够实现景深的延拓。

[0015] 以 X 轴、 Y 轴、 Z 轴建立一个三维笛卡儿坐标系, x, y 分别为 X 轴、 Y 轴对应的坐标, $z(x, y)$ 为不同 x, y 取值下在 Z 轴方向上的坐标, Z 轴即为光轴,将三维笛卡儿坐标系的坐标原点作为相位掩膜片的中心, x, y 均在 $[-r, r]$ 范围内取值,得到不同的 $z(x, y)$, 不同的点 $[x, y, z(x, y)]$ 连续组合在一起,形成满足式①方程的相位掩膜片的一面,相对于该面的另一面可以根据需要设置成曲面或平面。

[0016] 相位掩膜片可以采用一面为平面、另一面满足上述方程的透明板,也可以直接将透镜作为相位掩膜片,在透镜上设置满足上述方程的一个面,另一面为曲面,从而实现大景深的目的。即所述相位掩膜片相对于满足式①方程一面的另一面为平面或者曲面。

[0017] 作为优选,所述景深延拓器包括依次布置在显微物镜和电子目镜之间的前透镜、相位掩膜片和后透镜,相位掩膜片朝向前透镜的一面满足式①方程,朝向后透镜的一面为平面。前透镜和后透镜沿光路方向前后设置,即所述前透镜靠近显微物镜,所述后透镜靠近电子目镜。

[0018] 作为优选,所述景深延拓器包括依次布置在显微物镜和电子目镜之间的前透镜和相位掩膜片,所述相位掩膜片朝向前透镜一面满足式①方程,另一面为曲面。前透镜和相位掩膜片沿光路方向前后设置,即所述前透镜靠近显微物镜,所述相位掩膜片靠近电子目镜。

[0019] 上述的两种具体形式可以根据需要进行设置,均能够实现大景深的目的。

[0020] 本发明大景深数码显微系统的原理如下:

[0021] 大景深数码显微系统中的显微物镜和电子目镜是相对独立的,两者能配合成像的关键在于显微物镜的像面和电子目镜的物面是完全重合的。因此,在本发明中,增加景深延拓器后,本发明大景深数码显微系统要顺利成像,需要满足以下几点要求:

[0022] 第一,显微物镜的像面和景深延拓器的物面重合;第二,景深延拓器的像面与电子目镜的物面相重合;第三,景深延拓器前后的光束结构应保持不变;第四,为了保证原显微

系统的放大倍率,景深延拓器的放大率为 1。在此要求的基础上设计景深延拓器。本发明大景深数码显微系统中的景深延拓器通过相位掩膜对光瞳函数的调制,使得调制传递函数和点扩散函数对物距不敏感。非相干光源产生的光线通过显微物镜后,经景深延拓器进行调制,由电子目镜中的光电转换器件将物方图像转换成数据流,将经数字解调器解调后的高分辨率的图像输出至显示终端或打印终端。

[0023] 作为优选,式①方程中, $a = (4 \sim 6) \times 10^{-3}$, $b = (4 \sim 6) \times 10^{-3}$, $c = -(0.9 \sim 1.3) \times 10^{-6}$, $d = -(0.9 \sim 1.3) \times 10^{-6}$, $e = (2.5 \sim 3.5) \times 10^{-7}$, $f = -(0.8 \sim 1.2) \times 10^{-7}$, $g = -(0.8 \sim 1.2) \times 10^{-7}$, 进一步优选,式①方程中, $a = 5 \times 10^{-3}$, $b = 5 \times 10^{-3}$, $c = -1.1 \times 10^{-6}$, $d = -1.1 \times 10^{-6}$, $e = 3 \times 10^{-7}$, $f = -1 \times 10^{-7}$, $g = -1 \times 10^{-7}$, 该相位掩膜片的一面满足该具体方程,可以明显提高本发明大景深数码显微系统的景深。

[0024] 作为优选,所述的光电转换器件为 CCD 光电传感器、CMOS 光电传感器、光电倍增管。

[0025] 与现有技术相比,本发明具有如下有益效果:

[0026] 一、本发明大景深数码显微系统通过传统数码显微系统中加入一个景深延拓器,就可方便地升级成大景深数码显微系统,不会破坏原有数码显微系统的主要结构及放大率等主要光学参数,具有兼容性好的优点。

[0027] 二、本发明大景深数码显微系统由于景深延拓器使用之后,对多种像差不敏感,因而除了景深延拓器本身,其余的光学部件包括显微物镜和电子目镜,它们的加工容差也很大,成本也能降低,从而可在低端传统数码显微系统基础上增加景深延拓器实现高质量成像。

[0028] 三、本发明大景深数码显微系统通过对光瞳函数的调制来实现景深延拓,因此对光通量没有影响。

[0029] 四、本发明大景深数码显微系统对调焦精度要求较低,调焦系统的加工容差大,成本降低。

[0030] 五、本发明大景深数码显微系统中景深延拓器适用于不同倍率的显微物镜和不同倍率的电子目镜,适用范围广。

附图说明

[0031] 图 1 为本发明大景深数码显微系统的一种结构示意图;

[0032] 图 2 为本发明大景深数码显微系统的另一种结构示意图;

[0033] 图 3 为本发明景深延拓器中的相位掩膜片的结构示意图;

[0034] 图 4 为现有的数码显微系统的结构及光束示意图;

[0035] 图 5 为本发明大景深数码显微系统的结构及光束示意图;

[0036] 图 6 为实施例 1 大景深数码显微系统在显微物镜的数值孔径为 0.65、放大倍数为 40 倍条件下点扩散函数示意图;

[0037] 图 7 为实施例 1 大景深数码显微系统在显微物镜的数值孔径为 1.1、放大倍数为 100 倍条件下点扩散函数示意图;

[0038] 图 8 为实施例 1 大景深数码显微系统在显微物镜的数值孔径为 0.65、放大倍数为 40 倍条件下获得的信息经数字解调后得到的清晰像;

[0039] 图 9 为实施例 1 大景深数码显微系统在显微物镜的数值孔径为 1.1、放大倍数为 100 倍条件下获得的信息经数字解调后得到的清晰像。

具体实施方式

[0040] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明。

[0041] 如图 1 和图 2 所示,为本发明大景深数码显微系统,包括显微物镜 1、带光电转换器件 5 的电子目镜 4、与光电转换器件 5 连接的数字解调器 6 以及与数字解调器 6 连接的图像输出设备 7,显微物镜 1 与电子目镜 4 之间设有景深延拓器 2,景深延拓器 2 具有相位掩膜片 3,该相位掩膜片 3 的一面满足式①方程:

$$[0042] \quad z(x, y) = ax^3 + by^3 + cx^4 + dy^4 + ex^2y^2 + fxy^3 + gx^3y \quad \text{①},$$

[0043] 式①中, a, b, c, d, e, f, g 分别为系数, $x, y, z(x, y)$ 分别为相位掩膜片满足式①方程的面上任一点在三维笛卡儿坐标系中 X, Y, Z 轴坐标,该三维笛卡儿坐标系以相位掩膜片中心为坐标原点,以光轴为 Z 轴。 x, y 为落在通光孔径中的笛卡儿坐标, x, y 取值范围均为 $[-r, r]$,其中 r 为通光孔径的半径。

[0044] 如图 3 所示,本发明景深延拓器中的相位掩膜片 3,首先以 X 轴、 Y 轴、 Z 轴建立一个三维笛卡儿坐标系,将三维笛卡儿坐标系的坐标原点 O 作为相位掩膜片 3 的中心, x, y 分别为 X 轴、 Y 轴对应的坐标, $z(x, y)$ 为不同 x, y 取值下在 Z 轴方向上的坐标, Z 轴即为光轴, x, y 为落在通光孔径中的笛卡儿坐标, x, y 取值范围均为 $[-r, r]$,其中 r 为通光孔径的半径,在 x, y 取值范围内取不同的 x, y ,代入式①方程,得到不同的 Z 轴方向上的对应坐标 $z(x, y)$,若干个不同的点 $[x, y, z(x, y)]$ 连续组合在一起,形成相位掩膜片 3 的一面,该面满足式①方程,相对于该面的另一面可以根据需要设置成曲面或平面。

[0045] 如图 1 所示,景深延拓器 2 包括依次布置在显微物镜 1 和电子目镜 4 之间的前透镜、相位掩膜片 3 和后透镜,前透镜和后透镜沿光路方向前后设置,即前透镜靠近显微物镜 1,后透镜靠近电子目镜 4,相位掩膜片 3 朝向前透镜的一面满足式①方程,相位掩膜片 3 朝向后透镜的一面为平面。

[0046] 如图 2 所示,景深延拓器 2 包括依次布置在显微物镜 1 和电子目镜 4 之间的前透镜和相位掩膜片 3,前透镜和相位掩膜片 3 沿光路方向前后设置,前透镜靠近显微物镜 1,相位掩膜片 3 靠近电子目镜 4,相位掩膜片 3 朝向前透镜一面满足式①方程,另一面为曲面,保证景深延拓器 2 前后的光束结构保持不变。

[0047] 景深延拓器 2 可以是一个或多个光学元件(例如,多个透镜和 / 或多个反射镜),在光学元件之间可以有折射和反射媒介(例如,固体、液体和 / 或气体)。光电转换器件 5 可采用一个或多个光电传感器(例如 CCD 光电传感器、CMOS 光电传感器、光电倍增管)。

[0048] 如图 4 所示,为现有的数码显微系统,包括显微物镜 1、带光电转换器件 5 的电子目镜 4、与光电转换器件 5 连接的数字解调器(未画出)以及与数字解调器连接的图像输出设备(未画出),12 为待观察的样品,13 为显微物镜 1 的像面,同时也为电子目镜 4 的物面。

[0049] 实施例 1

[0050] 如图 5 所示,为本发明大景深数码显微系统图 1 结构的基础上的实施例。本发明大景深数码显微系统包括显微物镜 1、带光电转换器件 5 的电子目镜 4、与光电转换器件 5 连接的数字解调器(图 5 中未画出)以及与数字解调器连接的图像输出设备(图 5 中未画出),

均采用现有技术,12 为待观察的样品,显微物镜 1 与电子目镜 4 之间设有景深延拓器 2,景深延拓器 2 包括前透镜 8、后透镜 9 以及设置在前透镜 8 和后透镜 9 之间的相位掩膜片 3,该景深延拓器 2 由一个光学 4f 系统和相位掩膜片 3 所构成,其中,光学 4f 系统由两块焦距为 f 的前透镜 8 和后透镜 9 所构成,前透镜 8 位于显微物镜 1 的像面 10 后距离为 f 处,后透镜 9 位于前透镜 8 后距离为 $2f$ 处,电子目镜 4 的物面位于后透镜 9 后距离为 f 处,实施例 1 中焦距 f 取 100mm。显微物镜 1 的像面 10 与景深延拓器 2 的物面重合,景深延拓器 2 的像面 11 与电子目镜 4 的物面重合。相位掩膜片 3 朝向前透镜 8 的一面满足式②方程,相位掩膜片 3 朝向后透镜 9 的一面为平面。式②方程为: $z(x, y)=5 \times 10^{-3} x^3+5 \times 10^{-3} y^3-1.1 \times 10^{-6} x^4-1.1 \times 10^{-6} y^4+3 \times 10^{-7} x^2 y^2-1 \times 10^{-7} x y^3-1 \times 10^{-7} x^3 y$, 相位掩膜片 3 距前透镜 8 的距离 L 由远心光瞳的位置所确定,如图 5 所示,假定显微物镜 1 的物距为 Δ ,显微物镜 1 的物像共轭距为 D ,显微物镜 1 的像高为 h ,主光线在前透镜 8 上的最大高度为 H ,远心光阑的孔径角为 θ ,由几何光学易知: $\frac{1}{D+f-\Delta}+\frac{1}{d}=\frac{1}{f}$ 。考虑到实际系统中 $\Delta \ll D, \Delta \ll f$,则上式的近似解为 $d \approx f+f^2/D$ 。我国规定生物显微镜的物像共轭距 D 为 195mm,因此,相位掩膜片 3 距前透镜 8 的距离 L 为 151mm。

[0051] 图 6 为本实施例大景深数码显微系统在显微物镜 1 的数值孔径为 0.65、放大倍数为 40 倍条件下点扩散函数示意图,如图 6 所示,图 6 中 a 部分,b 部分,c 部分分别对应于物距 0.141mm,物距 0.167mm 和物距 0.193mm。可见加了景深延拓器 2 后本发明大景深数码显微系统的点扩散函数在不同物距的情况下,虽然存在一定的弥散,但大小、形状及模糊分布基本一致,完全可以通过反卷积的方法进行数值滤波,最终得到清晰图像。

[0052] 图 7 为本实施例大景深数码显微系统在显微物镜 1 的数值孔径为 1.1、放大倍数为 100 倍条件下点扩散函数示意图,如图 7 所示,图 7 中 a 部分,b 部分,c 部分分别对应于物距 0.193mm,物距 0.198mm 和物距 0.203mm。同样,加了景深延拓器 2 后本发明大景深数码显微系统的点扩散函数在不同物距的情况下,虽然存在一定的弥散,但大小、形状及模糊分布基本一致,完全可以通过反卷积的方法进行数值滤波,最终得到清晰图像。

[0053] 在空间频率域,数字解调器 6 将调制传递函数乘以一函数(衍射受限的调制传递函数和大景深数码显微系统的调制传递函数之比),使解调后的调制传递函数接近于受衍射限制的调制传递函数,以实现高分辨率。本领域的技术人员应该意识到,光学传递函数和点扩散函数分别表示镜头在空间频率域和空间域的传递信息的能力。它们可以通过傅里叶变换和反傅里叶变换互相转化,因此,数字解调器 6 实现包括空间频率域解调和 / 或空间域解调等解调方法。

[0054] 现用分辨率为 512*512 的图像输出设备 7 来待观察的样品。本实施例大景深数码显微系统在显微物镜 1 的数值孔径为 0.65、放大倍数为 40 倍条件下获得的信息经数字解调后得到的清晰像如图 8 所示,图 8 中 a 部分,b 部分,c 部分分别对应于物距 0.141mm,物距 0.167mm 和物距 0.193mm。可见在物距 0.141mm 至物距 0.193mm 之间的 52um 的景深范围内,系统均能清晰成像。

[0055] 本实施例大景深数码显微系统在显微物镜 1 的数值孔径为 1.1、放大倍数为 100 倍条件下获得的信息经数字解调后得到的清晰像如图 9 所示,图 9 中 a 部分,b 部分,c 部分分别对应于物距 0.193mm,物距 0.198mm 和物距 0.203mm。可见在物距 0.193mm 至物距 0.203mm

之间的 10um 的景深范围内,系统均能清晰成像。

[0056] 综上,本实施例大景深数码显微系统在显微物镜 1 的数值孔径为 0.65、放大倍数为 40 倍条件下显微物镜 1 的景深为 52um,在显微物镜 1 的数值孔径为 1.1、放大倍数为 100 倍条件下显微物镜 1 的景深为 10um,分别是原来的 24 倍和 13 倍。

[0057] 由于本发明大景深数码显微系统对物距都不敏感,即对离焦相关像差和不敏感,故系统加工的容差比传统数码显微镜系统会大很多。

[0058] 上述实施例用来解释说明本发明,而不是对本发明进行限制,在本发明的精神和权利要求的保护范围内,对本发明作出的任何修改和改变,都落入本发明的保护范围。

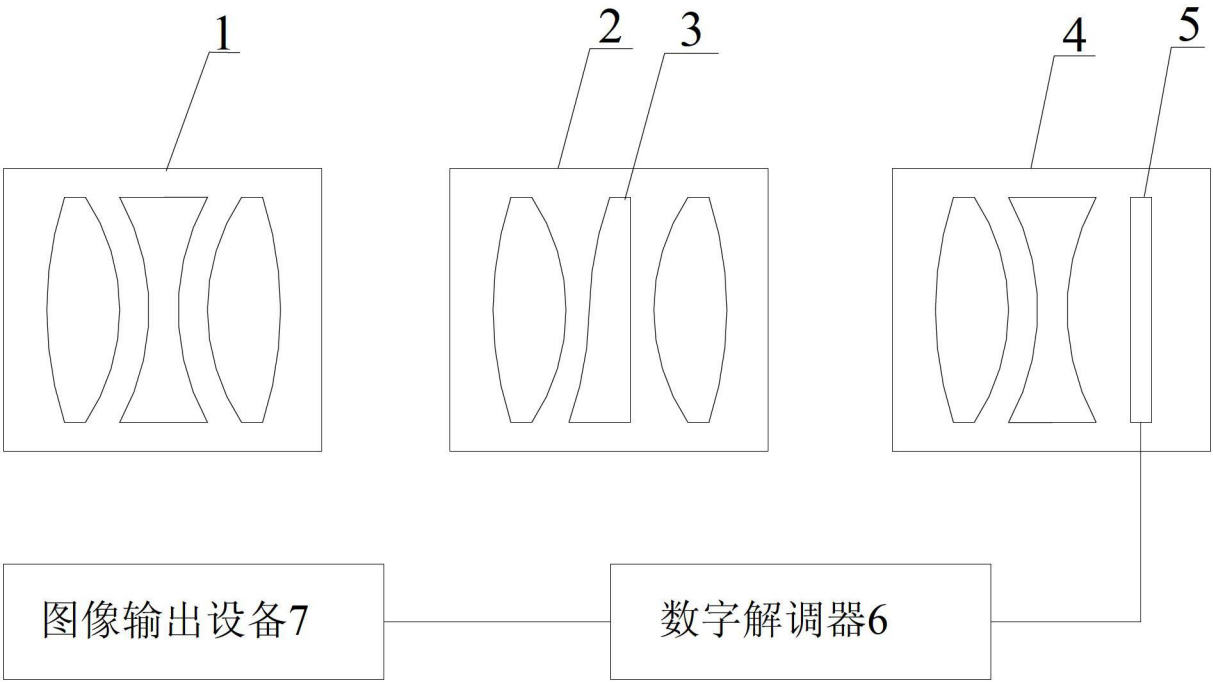


图 1

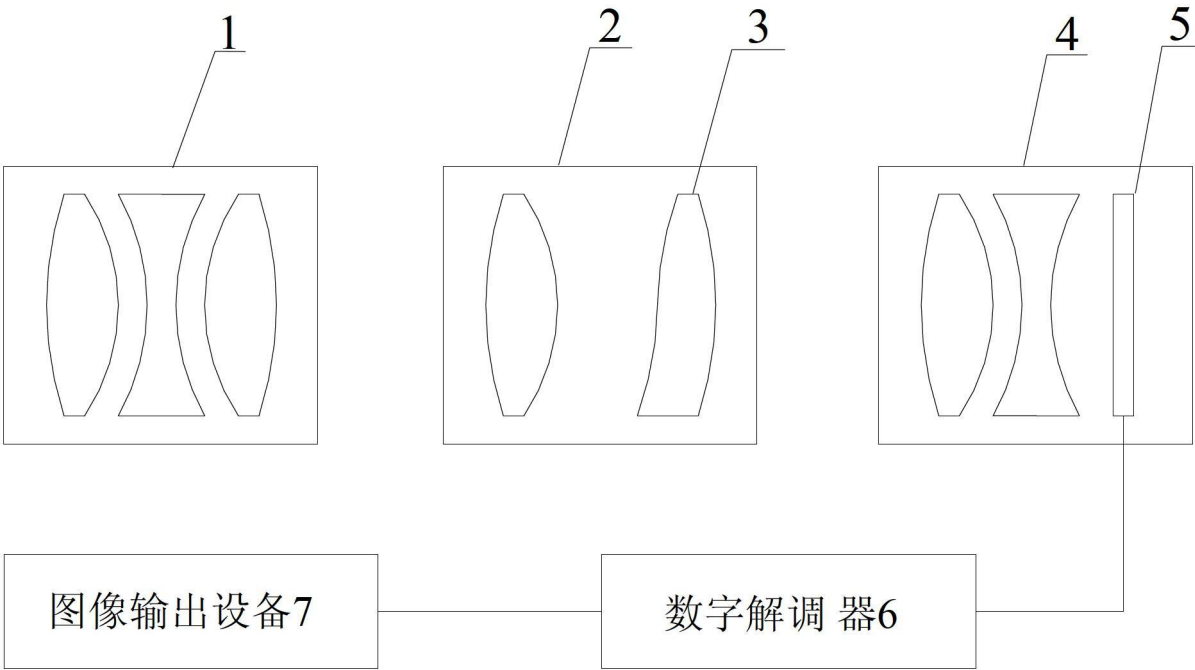


图 2

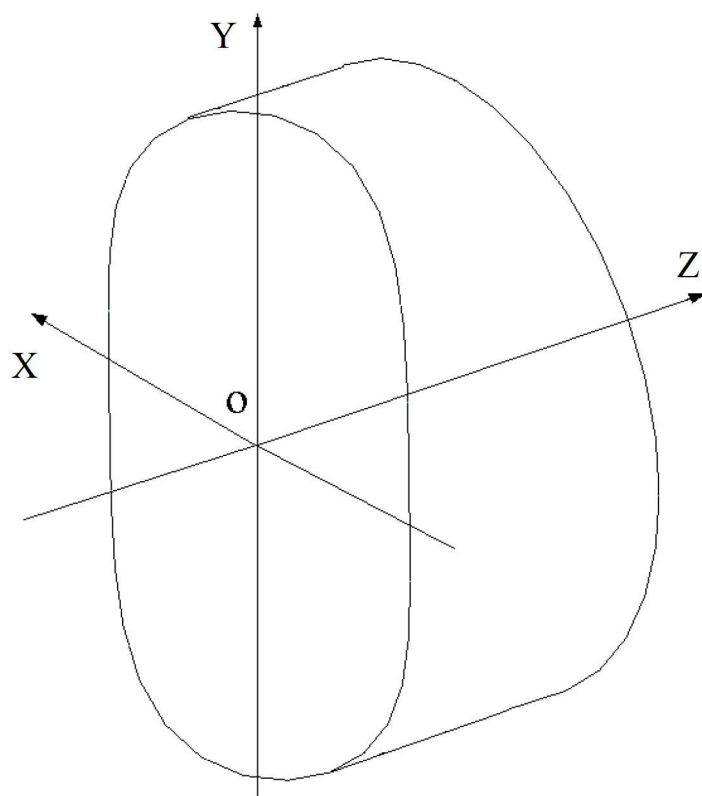


图 3

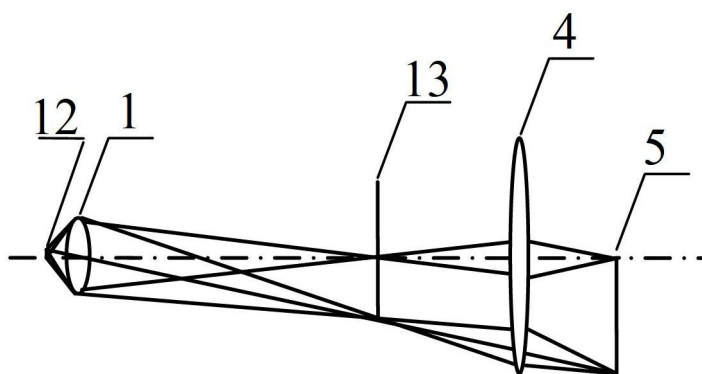


图 4

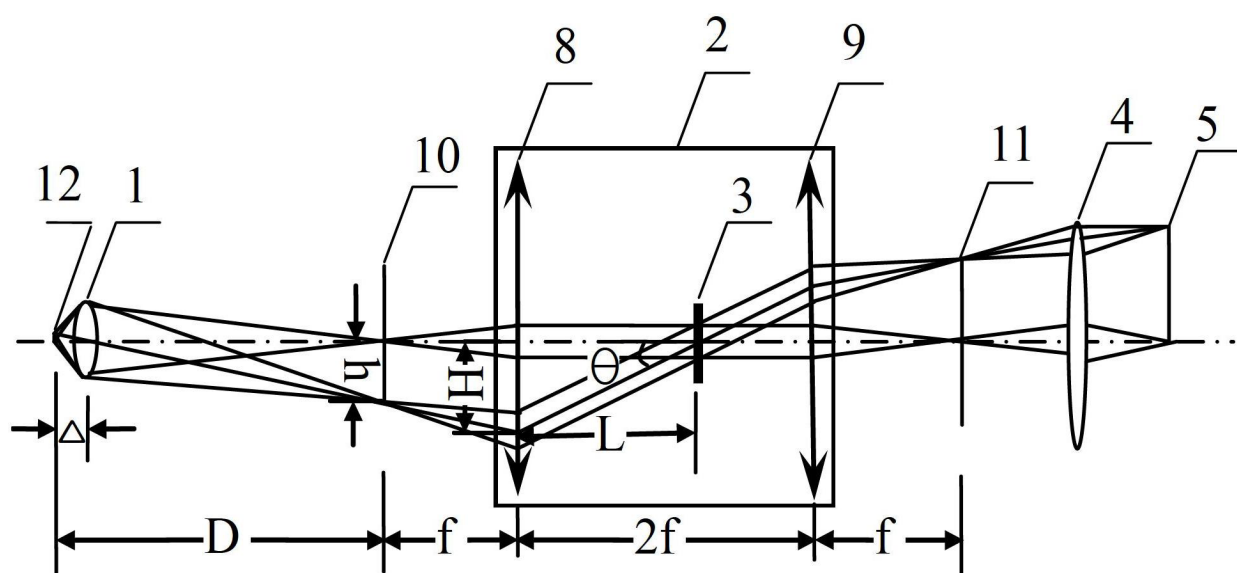
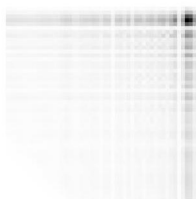


图 5



a



b

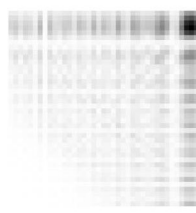


c

图 6



a

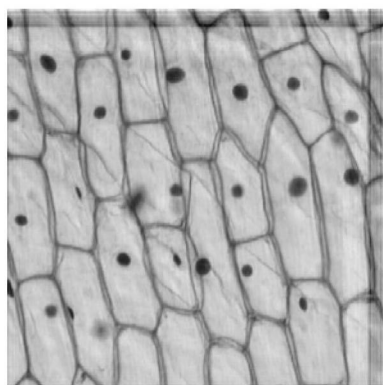


b

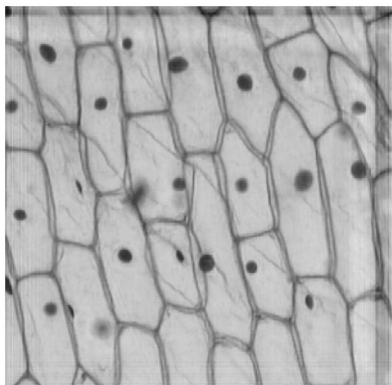


c

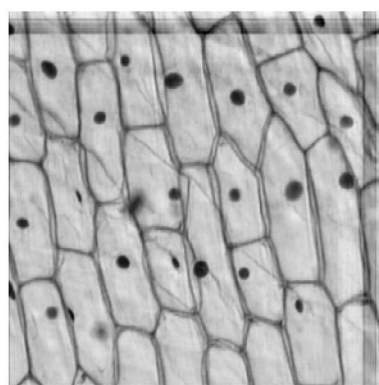
图 7



a

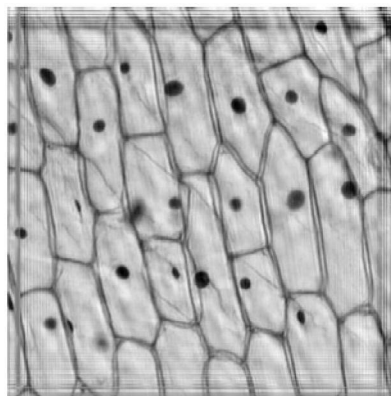


b

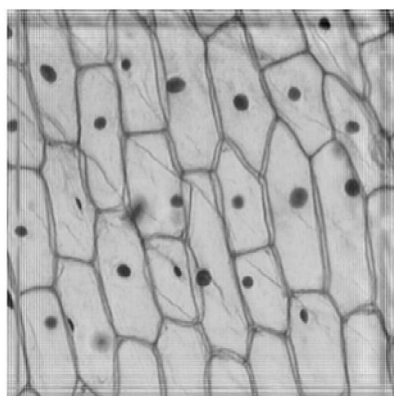


c

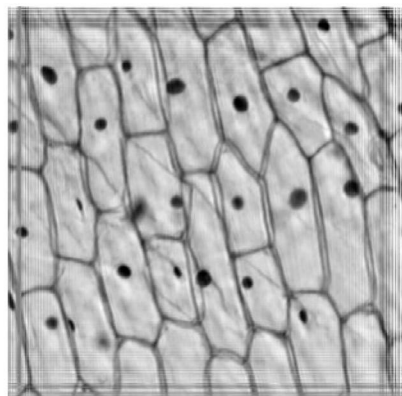
图 8



a



b



c

图 9