



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116909002 A

(43) 申请公布日 2023. 10. 20

(21) 申请号 202311145915.7

(22) 申请日 2023.09.06

(71) 申请人 图湃(北京)医疗科技有限公司  
地址 102206 北京市昌平区生命科学园生命园路9号院3号楼-1至6层101-F401

(72) 发明人 李桂萍 汪霄

(74) 专利代理机构 北京品源专利代理有限公司  
11332  
专利代理师 王建楠

(51) Int. Cl.

G02B 13/18 (2006.01)

G02B 13/06 (2006.01)

A61B 3/15 (2006.01)

A61B 3/12 (2006.01)

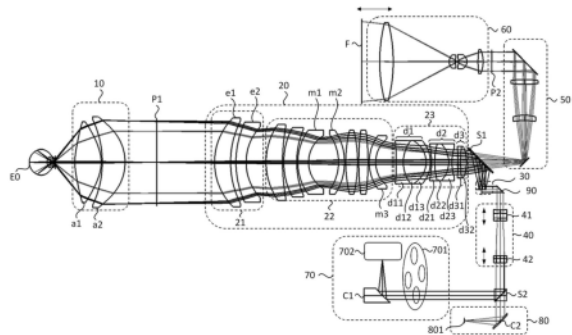
权利要求书3页 说明书14页 附图2页

(54) 发明名称

用于改进眼科成像的光学系统

(57) 摘要

本公开揭示了一种用于改进眼科成像的光学系统,包括接目镜组、扫描镜组和扫描振镜,扫描镜组包括第一三胶合透镜、第二三胶合透镜和第一双胶合透镜,第一三胶合透镜包括第一透镜、第二透镜和第三透镜,第二三胶合透镜包括第四透镜、第五透镜和第六透镜,第一双胶合透镜包括第七透镜和第八透镜。本公开通过对上述各个透镜的折射率和阿贝数进行合理配置,可以克服超广角视场眼科成像伴随场曲矫正需求以及宽光谱覆盖范围眼科成像伴随色差矫正需求在透镜材料选择上的矛盾,实现超广角成像视场和宽光谱成像覆盖范围。



1. 一种用于改进眼科成像的光学系统,包括沿成像光路方向依次设置的接目镜组(10)、扫描镜组(20)和扫描振镜(30),其中:

所述扫描镜组(20)包括沿成像光路方向设置的第三镜组(23),所述第三镜组(23)包括沿成像光路方向设置的第一三胶合透镜(d1)、第二三胶合透镜(d2)和第一双胶合透镜(d3);

所述第一三胶合透镜(d1)包括沿成像光路方向依次设置的第一透镜(d11)、第二透镜(d12)和第三透镜(d13);

所述第二三胶合透镜(d2)包括沿成像光路方向依次设置的第四透镜(d21)、第五透镜(d22)和第六透镜(d23);

所述第一双胶合透镜(d3)包括沿成像光路方向依次设置的第七透镜(d31)和第八透镜(d32);

所述第一透镜(d11)的阿贝数为 $V_{d11}$ ;所述第二透镜(d12)的折射率为 $n_{d12}$ ,阿贝数为 $V_{d12}$ ;所述第三透镜(d13)的折射率为 $n_{d13}$ ,阿贝数为 $V_{d13}$ ;所述第四透镜(d21)的阿贝数为 $V_{d21}$ ;所述第五透镜(d22)的折射率为 $n_{d22}$ ,阿贝数为 $V_{d22}$ ;所述第六透镜(d23)的折射率为 $n_{d23}$ ,阿贝数为 $V_{d23}$ ;所述第七透镜(d31)的折射率为 $n_{d31}$ ,阿贝数为 $V_{d31}$ ;所述第八透镜(d32)的折射率为 $n_{d32}$ ,阿贝数为 $V_{d32}$ ;其中,

$$1 < n_{d13}/n_{d12} < 1.3, 2.3 < v_{d11}/v_{d13} < 3, 1.8 < v_{d12}/v_{d13} < 2.9;$$

$$0.95 < n_{d23}/n_{d22} < 1.15, 0.9 < v_{d21}/v_{d23} < 1.4, 1.2 < v_{d22}/v_{d23} < 1.8;$$

$$0.9 < n_{d31}/n_{d32} < 1.1, 1.1 < v_{d31}/v_{d32} < 1.6。$$

2. 根据权利要求1所述的光学系统,其中,

所述第一三胶合透镜(d1)的焦距为 $f_{d1}$ ,所述第二三胶合透镜(d2)的焦距为 $f_{d2}$ ,所述第一双胶合透镜(d3)的焦距为 $f_{d3}$ ,其中,

$$-3.5 < f_{d1}/f_{d2} < -1.8;$$

$$-2.5 < f_{d3}/f_{d2} < -1.5。$$

3. 根据权利要求2所述的光学系统,其中,

所述第一三胶合透镜(d1)具有正光焦度;

所述第二三胶合透镜(d2)具有负光焦度;

所述第一双胶合透镜(d3)具有正光焦度。

4. 根据权利要求1所述的光学系统,其中,

所述扫描镜组(20)还包括沿成像光路方向依次设置的第一镜组(21)和第二镜组(22),所述第一镜组(21)位于所述接目镜组(10)和所述第二镜组(22)之间的光路中,所述第三镜组(23)位于所述第二镜组(22)和所述扫描振镜(30)之间的光路中,所述第一镜组(21)的焦距为 $f_{G21}$ ,所述第二镜组(22)的焦距为 $f_{G22}$ ,所述第三镜组(23)的焦距为 $f_{G23}$ ,其中,

$$|f_{G21}/f_{G22}| > 2.5;$$

$$|f_{G23}/f_{G22}| > 10。$$

5. 根据权利要求4所述的光学系统,其中,所述第二镜组(22)包括第一弯月透镜(m1)、第二弯月透镜(m2)和第三弯月透镜(m3),其中,

所述第一弯月透镜(m1)的凹面与所述第二弯月透镜(m2)的凹面相对设置,所述第三弯月透镜(m3)设于所述第二镜组(22)靠近所述第三镜组(23)的一端,且所述第三弯月透镜(m3)的凹面面向所述第三镜组(23)设置;

所述第一弯月透镜(m1)和所述第二弯月透镜(m2)中的至少一个具有负光焦度,所述第三弯月透镜(m3)具有负光焦度。

6. 根据权利要求5所述的光学系统,其中,

所述第一弯月透镜(m1)的折射率为 $n_{m1}$ ,阿贝数为 $v_{m1}$ ;所述第二弯月透镜(m2)的折射率为 $n_{m2}$ ,阿贝数为 $v_{m2}$ ;所述第三弯月透镜(m3)的折射率为 $n_{m3}$ ,阿贝数为 $v_{m3}$ ,其中,

$$n_{m1} < 1.7, v_{m1} > 63;$$

$$n_{m2} > 1.65, v_{m2} < 55;$$

$$n_{m3} > 1.6, v_{m3} > 50。$$

7. 根据权利要求4所述的光学系统,其中,

所述第一镜组(21)包括至少一个正透镜和至少一个负透镜。

8. 根据权利要求1所述的光学系统,其中,

所述接目镜组(10)包括沿成像光路方向设置的第九透镜(a1)和第十透镜(a2),所述第九透镜(a1)和所述第十透镜(a2)均具有正光焦度,且所述第九透镜(a1)和所述第十透镜(a2)中的至少一个为非球面透镜;所述第九透镜(a1)的焦距为 $f_{a1}$ ,所述第十透镜(a2)的焦距为 $f_{a2}$ ,其中,

$$2.1 < f_{a2}/f_{a1} < 2.9。$$

9. 根据权利要求1所述的光学系统,还包括:

沿成像光路方向设置的调焦镜组(40),所述调焦镜组(40)包括沿成像光路方向设置的第一胶合透镜(41)和第二胶合透镜(42),所述第一胶合透镜(41)和所述第二胶合透镜(42)中的至少一个为三胶合透镜;所述第一胶合透镜(41)和/或所述第二胶合透镜(42)沿成像光路方向可移动设置。

10. 根据权利要求9所述的光学系统,其中,

所述第一胶合透镜(41)的焦距为 $f_{G41}$ ,所述第二胶合透镜(42)的焦距为 $f_{G42}$ ;其中,  
 $-1.6 < f_{G41}/f_{G42} < -1。$

11. 根据权利要求10所述的光学系统,其中,

所述第一胶合透镜(41)具有负光焦度,所述第二胶合透镜(42)具有正光焦度。

12. 根据权利要求1所述的光学系统,还包括:

沿成像光路方向设置的成像收集模块(70),所述成像收集模块(70)包括沿成像光路方向设置的滤光片切换装置(701)和光电探测模块(702);

所述光电探测模块(702)包括至少一个光电倍增管和/或至少一个雪崩光电二极管。

13. 根据权利要求1所述的光学系统,还包括:第一固视靶标镜组(50)和第二固视靶标镜组(60),所述第一固视靶标镜组(50)的焦距为 $f_{G50}$ ,所述第二固视靶标镜组(60)的焦距为 $f_{G60}$ ,其中, $1 < f_{G50}/f_{G60} < 3.5$ 。

14. 根据权利要求1所述的光学系统,还包括:

所述扫描镜组(20)中靠近所述扫描振镜(30)一端的透镜表面与所述扫描振镜(30)之间的光程长度为 $L0$ ,所述扫描镜组(20)的焦距为 $f_{G20}$ ,其中,

$L0/f_{G20} > 0.2$ 。

## 用于改进眼科成像的光学系统

### 技术领域

[0001] 本公开涉及眼科成像技术领域,尤其涉及一种用于改进眼科成像的光学系统。

### 背景技术

[0002] 眼科成像设备可用于眼前节和/或眼后节(眼底)成像。眼科成像设备一直是眼科疾病诊疗领域的重要科学与临床仪器,是协助眼科医生进行眼底疾病诊疗的重要辅助设备。

[0003] 在实现本公开实施例的过程中,发明人发现设计同时兼具超广角和宽光谱两大特征的眼科成像设备尤其是用于眼底成像的眼科成像设备,存在超广角成像的视场场曲校正需求和宽光谱成像的色差校正需求难以同时兼顾的问题。

### 发明内容

[0004] 本公开提供了一种用于改进眼科成像的光学系统,可以同时兼顾超广角眼科成像对视场场曲校正的需求以及宽光谱眼科成像对色差校正的需求。

[0005] 本公开提供了一种用于改进眼科成像的光学系统,包括沿成像光路方向依次设置的接目镜组、扫描镜组和扫描振镜,其中:

[0006] 所述扫描镜组包括沿成像光路方向设置的第三镜组,所述第三镜组包括沿成像光路方向设置的第一三胶合透镜、第二三胶合透镜和第一双胶合透镜;

[0007] 所述第一三胶合透镜包括沿成像光路方向依次设置的第一透镜、第二透镜和第三透镜;

[0008] 所述第二三胶合透镜包括沿成像光路方向依次设置的第四透镜、第五透镜和第六透镜;

[0009] 所述第一双胶合透镜包括沿成像光路方向依次设置的第七透镜和第八透镜;

[0010] 所述第一透镜的阿贝数为 $V_{d11}$ ;所述第二透镜的折射率为 $n_{d12}$ ,阿贝数为 $V_{d12}$ ;所述第三透镜的折射率为 $n_{d13}$ ,阿贝数为 $V_{d13}$ ;所述第四透镜的阿贝数为 $V_{d21}$ ;所述第五透镜的折射率为 $n_{d22}$ ,阿贝数为 $V_{d22}$ ;所述第六透镜的折射率为 $n_{d23}$ ,阿贝数为 $V_{d23}$ ;所述第七透镜的折射率为 $n_{d31}$ ,阿贝数为 $V_{d31}$ ;所述第八透镜的折射率为 $n_{d32}$ ,阿贝数为 $V_{d32}$ ;其中,

[0011]  $1 < n_{d13}/n_{d12} < 1.3, 2.3 < v_{d11}/v_{d13} < 3, 1.8 < v_{d12}/v_{d13} < 2.9$ ;

[0012]  $0.95 < n_{d23}/n_{d22} < 1.15, 0.9 < v_{d21}/v_{d23} < 1.4, 1.2 < v_{d22}/v_{d23} < 1.8$ ;

[0013]  $0.9 < n_{d31}/n_{d32} < 1.1, 1.1 < v_{d31}/v_{d32} < 1.6$ 。

[0014] 可选的,所述第一三胶合透镜的焦距为 $f_{d1}$ ,所述第二三胶合透镜的焦距为 $f_{d2}$ ,所述第一双胶合透镜的焦距为 $f_{d3}$ ,其中,

[0015]  $-3.5 < f_{d1}/f_{d2} < -1.8$ ;

[0016]  $-2.5 < f_{d3}/f_{d2} < -1.5$ 。

[0017] 可选的,所述第一三胶合透镜具有正光焦度;

[0018] 所述第二三胶合透镜具有负光焦度;

[0019] 所述第一双胶合透镜具有正光焦度。

[0020] 可选的,所述扫描镜组还包括沿成像光路方向依次设置的第一镜组和第二镜组,所述第一镜组位于所述接目镜组和所述第二镜组之间的光路中,所述第三镜组位于所述第二镜组和所述扫描振镜之间的光路中,所述第一镜组的焦距为  $f_{G21}$ ,所述第二镜组的焦距为  $f_{G22}$ ,所述第三镜组的焦距为  $f_{G23}$ ,其中,

[0021]  $|f_{G21}/f_{G22}| > 2.5$ ;

[0022]  $|f_{G23}/f_{G22}| > 10$ 。

[0023] 可选的,所述第二镜组包括第一弯月透镜、第二弯月透镜和第三弯月透镜,其中,

[0024] 所述第一弯月透镜的凹面与所述第二弯月透镜的凹面相对设置,所述第三弯月透镜设于所述第二镜组靠近所述第三镜组的一端,且所述第三弯月透镜的凹面面向所述第三镜组设置;

[0025] 所述第一弯月透镜和所述第二弯月透镜中的至少一个具有负光焦度,所述第三弯月透镜具有负光焦度。

[0026] 可选的,所述第一弯月透镜的折射率为  $n_{m1}$ ,阿贝数为  $v_{m1}$ ;所述第二弯月透镜的折射率为  $n_{m2}$ ,阿贝数为  $v_{m2}$ ;所述第三弯月透镜的折射率为  $n_{m3}$ ,阿贝数为  $v_{m3}$ ,其中,

[0027]  $n_{m1} < 1.7, v_{m1} > 63$ ;

[0028]  $n_{m2} > 1.65, v_{m2} < 55$ ;

[0029]  $n_{m3} > 1.6, v_{m3} > 50$ 。

[0030] 可选的,所述第一镜组包括至少一个正透镜和至少一个负透镜。

[0031] 可选的,所述接目镜组包括沿成像光路方向设置的第九透镜和第十透镜,所述第九透镜和所述第十透镜均具有正光焦度,且所述第九透镜和所述第十透镜中的至少一个为非球面透镜;所述第九透镜的焦距为  $f_{a1}$ ,所述第十透镜的焦距为  $f_{a2}$ ,其中,

[0032]  $2.1 < f_{a2}/f_{a1} < 2.9$ 。

[0033] 可选的,光学系统还包括:

[0034] 沿成像光路方向设置的调焦镜组,所述调焦镜组包括沿成像光路方向设置的第一胶合透镜和第二胶合透镜,所述第一胶合透镜和所述第二胶合透镜中的至少一个为三胶合透镜;所述第一胶合透镜和/或所述第二胶合透镜沿成像光路方向可移动设置。

[0035] 可选的,所述第一胶合透镜的焦距为  $f_{G41}$ ,所述第二胶合透镜的焦距为  $f_{G42}$ ;其中,  $-1.6 < f_{G41}/f_{G42} < -1$ 。

[0036] 可选的,所述第一胶合透镜具有负光焦度,所述第二胶合透镜具有正光焦度。

[0037] 可选的,光学系统还包括:

[0038] 沿成像光路方向设置的成像收集模块,所述成像收集模块包括沿成像光路方向设

置的滤光片切换装置和光电探测模块；

[0039] 所述光电探测模块包括至少一个光电倍增管和/或至少一个雪崩光电二极管。

[0040] 可选的,光学系统还包括:第一固视靶标镜组和第二固视靶标镜组,所述第一固视靶标镜组的焦距为 $f_{G50}$ ,所述第二固视靶标镜组的焦距为 $f_{G60}$ ,其中,

$$1 < f_{G50}/f_{G60} < 3.5。$$

[0041] 可选的,光学系统还包括:

[0042] 所述扫描镜组中靠近所述扫描振镜一端的透镜表面与所述扫描振镜之间的光程长度为 $L0$ ,所述扫描镜组的焦距为 $f_{G20}$ ,其中,

$$L0/f_{G20} > 0.2。$$

[0044] 本公开实施例提供的用于改进眼科成像的光学系统,设置有扫描镜组,在扫描镜组内设置包含第一三胶合透镜、第二三胶合透镜和第一双胶合透镜的第三镜组,同时,对第三镜组中透镜的数量、结构和各透镜的折射率和阿贝数进行配合设计。一方面,通过对上述各透镜的折射率和阿贝数进行配合设置,在透镜材料选择上容易实现的同时,可避免引入过多的色差,满足色差矫正需求,实现了成像工作波段覆盖可见光波段400nm~700nm以及近红外波段700nm~900nm。另一方面,上述透镜的材料选择配合扫描镜组中各个透镜的结构设计,还可以满足初级场曲矫正条件,满足超广角视场对场曲矫正的需求,从而可以平衡宽光谱成像对色差的矫正需求和超广角成像对场曲的矫正需求,提高超广角及宽光谱眼底成像质量。

[0045] 应当理解,本部分所描述的内容并非旨在标识本公开的实施例的关键或重要特征,也不用于限制本公开的范围。本公开的其它特征将通过以下的说明书而变得容易理解。

## 附图说明

[0046] 为了更清楚地说明本公开实施例中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本公开的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0047] 图1示例性示出了本公开实施例提供的用于改进眼科成像的光学系统的结构示意图;

[0048] 图2示例性示出了本公开实施例提供的由两个广角单图进行图像拼接得到超广角图像的示意图;

[0049] 图3示例性示出了本公开实施例提供的由四个广角单图进行图像拼接得到超广角图像的示意图。

## 具体实施方式

[0050] 为了使本技术领域的人员更好地理解本公开方案,下面将结合本公开实施例中的附图,对本公开实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本公开一部分的实施例,而不是全部的实施例。基于本公开中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都应当属于本公开保护的范

围。

[0051] 需要说明的是,本公开的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象,而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的数据在适当情况下可以互换,以便这里描述的本公开的实施例能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。此外,术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形,意图在于覆盖不排他的包含,例如,包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元,而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

[0052] 眼底检查是常见的眼科检查项目之一,其中,多光谱眼底成像是利用多个单色光源分别投射入眼底,采集眼底不同类型和不同深度的组织因光学性质的差异而反射的信号。相对于传统的眼底成像方式,多光谱眼底成像具有宽光谱范围(例如500nm~850nm),可以对视网膜进行逐层、正面成像,实现了对视网膜、脉络膜的非侵入式直接成像。

[0053] 传统宽光谱眼科成像设备的成像范围通常只有45°,只能覆盖整个视网膜的11.5%,如此,往往会漏诊各种周边部眼底病变。而具有超广角特征的宽光谱眼科成像设备,能够大幅度提高眼底成像范围,减少周边部眼底病变的漏诊几率。

[0054] 而现有的超广角光学系统通常光谱范围不宽,或局限于近红外波段,难以满足眼科成像设备的宽光谱要求。

[0055] 因此,本公开实施例致力于提供一种兼具超广角视场和宽光谱覆盖范围两大特征的用于改进眼科成像的光学系统。

[0056] 但是,在实现本公开实施例的过程中,发明人发现设计同时兼具超广角和宽光谱两大特征的眼科成像设备尤其是用于眼底成像的眼科成像设备,存在超广角成像的视场场曲矫正需求和宽光谱成像的色差矫正需求难以同时兼顾的问题。

[0057] 一方面,发明人发现超广角眼底成像设计中阻碍视场增大的主要像差为场曲。光学系统的初级场曲矫正条件可以表示为:

$$[0058] \quad \mathbf{P} = \sum \frac{\Phi_i}{n_i} = 0; \quad \text{公式1}$$

[0059] 其中,在公式1中, $\mathbf{P}$ 表示匹兹伐和, $\Phi_i$ 表示第*i*个透镜的光焦度, $n_i$ 表示第*i*个透镜的折射率。

[0060] 上述公式1表明,若要使光学系统的初级场曲得到很好的矫正,可以通过合理配置光学系统中各透镜的光焦度和折射率,使得光学系统中所有透镜的匹兹伐和 $\mathbf{P}$ 等于0,此时,光学系统在光轴上无匹兹伐场曲。

[0061] 另一方面,发明人还发现宽光谱眼底成像设计中阻碍光谱覆盖范围增大的主要为色差。光学系统的初级色差矫正条件可以表示为:

$$[0062] \quad \sum C_i = h^2 \sum \frac{\Phi_i}{v_i} = 0; \quad \text{公式2}$$

[0063] 其中,在公式2中, $C_i$ 表示第*i*个透镜的初级倍率色差系数, $\sum C_i$ 表示光学系统中所有透镜的初级倍率色差系数之和, $h$ 表示光线入射高度, $\Phi_i$ 表示第*i*个透镜的光焦度, $v_i$



表示第*i*个透镜的阿贝数。

[0064] 上述公式2表明,若要使光学系统的初级色差得到很好的矫正,也可以通过合理配置光学系统中各透镜的光焦度和阿贝数,使得光学系统中所有透镜的初级倍率色差系数之和  $\sum C_i$  等于0,此时,光学系统在光轴上无色差。

[0065] 综上,发明人发现,对于场曲矫正而言,要求透镜具有较大的折射率,而对于色差矫正而言,却要求透镜具有较大的阿贝数。对于普通透镜而言,一般透镜的折射率越高意味着其阿贝数越小,因此场曲矫正和色差矫正存在透镜材料选择上存在矛盾相关性。

[0066] 综上,发明人还发现,匹兹伐和**P**和初级倍率色差系数之和  $\sum C_i$  也与光学系统中各透镜的光焦度分配有关。例如,当光学系统中各透镜的光焦度分配可以满足  $\mathbf{P} = \mathbf{0}$  时,即可以保证光学系统的场曲得到较好的矫正时,光学系统中各透镜的光焦度分配可能就无法同时满足  $\sum C_i = \mathbf{0}$ ,即无法同时满足色差矫正需求。同样的,再例如,当光学系统中各

透镜的光焦度分配可以满足  $\sum C_i = \mathbf{0}$  时,即可以保证光学系统的色差得到较好的矫正时,光学系统中各透镜的光焦度分配可能就无法同时满足  $\mathbf{P} = \mathbf{0}$ ,即无法同时满足场曲矫正需求和色差矫正需求,因此场曲矫正和色差矫正存在透镜光焦度分配上也存在矛盾相关性。

[0067] 此外,科学研究发现,人眼最佳视力区为 $1.5^\circ$ ,清晰区为 $15^\circ$ ,最大视力区可达 $35^\circ$ , $35^\circ$ 之外是余光区或周边视野,考虑到人眼作为非完善的成像光路,只在人眼视场的中心区域内有较好的成像质量,而在人眼视场的边缘区域成像质量会变差,因此人眼视场边缘区域的像差也会在一定程度上增加超广角眼科成像设备对眼底成像的难度。

[0068] 基于上述技术问题,本公开实施例提供了一种用于改进眼科成像的光学系统,包括沿成像光路方向依次设置的接目镜组、扫描镜组和扫描振镜。在拍摄眼底影像时,接目镜组和扫描镜组用于将待测眼睛的眼底反射及散射的光束进行缩束,即,使得待测眼睛的眼底反射及散射的光束直径成比例缩小,以将眼底反射及散射的大角度光束以比较小的角度耦合至扫描振镜上,进而实现对眼底的扫描成像。在实现本公开实施例的过程中,发明人发现,扫描镜组中包含数量较多的透镜结构,多个透镜结构会对待测眼睛的眼底反射及散射的光束的传播光路形成较大的改变,进而会对光学系统的色差和场曲等像差形成较大的影响,因此,扫描镜组中各个透镜结构的参数设计对光学系统的色差和场曲矫正至关重要。

[0069] 在本公开实施例中,设置扫描镜组包括沿成像光路方向设置的第三镜组,第三镜组包括沿成像光路方向设置的第一三胶合透镜、第二三胶合透镜和第一双胶合透镜。第一三胶合透镜包括沿成像光路方向依次设置的第一透镜、第二透镜和第三透镜。第二三胶合透镜包括沿成像光路方向依次设置的第四透镜、第五透镜和第六透镜。第一双胶合透镜包括沿成像光路方向依次设置的第七透镜和第八透镜。

[0070] 第一透镜的阿贝数为 $\mathbf{V}_{d11}$ ;第二透镜的折射率为 $\mathbf{n}_{d12}$ ,阿贝数为 $\mathbf{V}_{d12}$ ;第三透镜的折射率为 $\mathbf{n}_{d13}$ ,阿贝数为 $\mathbf{V}_{d13}$ ;第四透镜的阿贝数为 $\mathbf{V}_{d21}$ ;第五透镜的折射率为 $\mathbf{n}_{d22}$ ,

阿贝数为 $v_{d22}$ ；第六透镜的折射率为 $n_{d23}$ ，阿贝数为 $v_{d23}$ ；第七透镜的折射率为 $n_{d31}$ ，阿贝数为 $v_{d31}$ ；第八透镜的折射率为 $n_{d32}$ ，阿贝数为 $v_{d32}$ ；其中，

$$[0071] \quad 1 < n_{d13}/n_{d12} < 1.3, \quad \text{公式3}$$

$$[0072] \quad 2.3 < v_{d11}/v_{d13} < 3, \quad \text{公式4}$$

$$[0073] \quad 1.8 < v_{d12}/v_{d13} < 2.9; \quad \text{公式5}$$

$$[0074] \quad 0.95 < n_{d23}/n_{d22} < 1.15, \quad \text{公式6}$$

$$[0075] \quad 0.9 < v_{d21}/v_{d23} < 1.4, \quad \text{公式7}$$

$$[0076] \quad 1.2 < v_{d22}/v_{d23} < 1.8; \quad \text{公式8}$$

$$[0077] \quad 0.9 < n_{d31}/n_{d32} < 1.1, \quad \text{公式9}$$

$$[0078] \quad 1.1 < v_{d31}/v_{d32} < 1.6. \quad \text{公式10}$$

[0079] 采用上述技术方案，一方面，按照上述公式3-公式10在透镜材料选上通过对上述各透镜的折射率和阿贝数进行合理配置，可避免引入过多的色差，满足色差矫正需求。以此方式，可以使用于眼科成像的光学系统的成像工作波段覆盖可见光波段400nm~700nm以及近红外波段700nm~900nm，该可见光波段可以用于彩色眼底成像，该近红外波段可以用于眼底图像的实时预览，由此，光学系统的成像工作波段所覆盖的宽光谱范围可以支持多种荧光模式，如自发荧光及视网膜造影(Fluorescein Fundus Angiography, 简称FFA)、脉络膜造影(Indocyanine Green Angiography, 简称ICGA)等。另一方面，上述各透镜的材料选择配合扫描镜组中各个透镜的结构设计，还可以满足超广角视场对场曲矫正的需求，实现单图至少覆盖100°的眼底扫描范围，进而实现多个单图(如2个单图或4个单图)在水平和/或垂直方向上拼接后可以覆盖至少155°的眼底扫描范围，以此方式，可以平衡宽光谱色差矫正和超广角视场场曲矫正之间的矛盾，克服超广角成像视场伴随的场曲矫正需求及宽光谱成像伴随的色差矫正需求难以兼顾的问题，从而使眼科成像设备能够兼具超广角成像视场和宽光谱成像覆盖范围两大特征。此外，由于通过上述各透镜的材料选择配合扫描镜组中各个透镜的结构设计，实现了超广角成像视场范围的色差矫正和场曲矫正，因此人眼视场边缘区域的色差矫正和场曲矫正也会随之解决，由此，可以解决人眼边缘视场的像差容易影响超广角眼底成像的问题，进而可以使眼底成像在人眼视场范围内达到较好的像质均匀性。

[0080] 下面将结合本公开实施例中的附图，对本公开实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述。基于本公开中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下，所获得的所有其他实施例，都属于本公开保护的范围。

[0081] 图1示例性示出了本公开实施例提供的用于改进眼科成像的光学系统的结构示意图，如图1所示，本公开实施例提供的用于改进眼科成像的光学系统包括沿成像光路方向(从物方到像方)依次设置的接目镜组10、扫描镜组20和扫描振镜30，其中，扫描镜组20包括沿成像光路方向设置的第三镜组23，第三镜组23包括沿成像光路方向设置的第一三胶合透镜d1、第二三胶合透镜d2和第一双胶合透镜d3。第一三胶合透镜d1包括沿成像光路方向依次设置的第一透镜d11、第二透镜d12和第三透镜d13。第二三胶合透镜d2包括沿成像光路方向依次设置的第四透镜d21、第五透镜d22和第六透镜d23。第一双胶合透镜d3包括沿成像光

路方向依次设置的第七透镜d31和第八透镜d32。

[0082] 第一透镜d11的阿贝数为 $V_{d11}$ ；第二透镜d12的折射率为 $n_{d12}$ ，阿贝数为 $V_{d12}$ ；第三透镜d13的折射率为 $n_{d13}$ ，阿贝数为 $V_{d13}$ ；第四透镜d21的阿贝数为 $V_{d21}$ ；第五透镜d22的折射率为 $n_{d22}$ ，阿贝数为 $V_{d22}$ ；第六透镜d23的折射率为 $n_{d23}$ ，阿贝数为 $V_{d23}$ ；第七透镜d31的折射率为 $n_{d31}$ ，阿贝数为 $V_{d31}$ ；第八透镜d32的折射率为 $n_{d32}$ ，阿贝数为 $V_{d32}$ ；其中，

$$[0083] \quad 1 < n_{d13}/n_{d12} < 1.3, \quad \text{公式3}$$

$$[0084] \quad 2.3 < v_{d11}/v_{d13} < 3, \quad \text{公式4}$$

$$[0085] \quad 1.8 < v_{d12}/v_{d13} < 2.9; \quad \text{公式5}$$

$$[0086] \quad 0.95 < n_{d23}/n_{d22} < 1.15, \quad \text{公式6}$$

$$[0087] \quad 0.9 < v_{d21}/v_{d23} < 1.4, \quad \text{公式7}$$

$$[0088] \quad 1.2 < v_{d22}/v_{d23} < 1.8; \quad \text{公式8}$$

$$[0089] \quad 0.9 < n_{d31}/n_{d32} < 1.1, \quad \text{公式9}$$

$$[0090] \quad 1.1 < v_{d31}/v_{d32} < 1.6。 \quad \text{公式10}$$

[0091] 示例性的，如图1所示，待测眼睛E0的眼底反射及散射的光束依次经接目镜组10、扫描镜组20和扫描振镜30，形成成像光路。

[0092] 其中，接目镜组10和扫描镜组20用于将待测眼睛E0的眼底反射及散射的光束进行缩束，即，使得待测眼睛E0的眼底反射及散射的光束直径成比例的缩小，以将眼底反射及散射的大角度光束以比较小的角度耦合至扫描振镜30上。

[0093] 继续参考图1，可选的，扫描振镜30与待测眼睛E0之间的光路中与物面共轭的中间像面P1出现在接目镜组10和扫描镜组20之间的位置上，中间像面P1靠近接目镜组10一侧的光路以及中间像面P1靠近扫描镜组20一侧的光路均为远心光路，且远心角度小于 $2^\circ$ 。如此，在调焦的过程中，在接目镜组10和扫描镜组20之间成像光束的口径不会发生较大变化，从而有助于提高眼底成像参数定量化测试的准确性。

[0094] 可选的，扫描振镜30可以是二维扫描振镜，例如它可以包括两个位置彼此靠近的扫描振镜。通过控制二维扫描振镜的旋转角度来实现对光路的控制，从而实现对眼底的扫描成像。示例性的，可以将二维扫描振镜的两个扫描方向设置为呈正交状态，以使二维扫描振镜中的两个扫描振镜能够在两个互相正交的方向上扫描，从而实现面扫描。

[0095] 进一步地，继续参考图1，扫描镜组20中设置有第三镜组23，第三镜组23包括第一三胶合透镜d1、第二三胶合透镜d2和第一双胶合透镜d3，其中，第一三胶合透镜d1靠近接目镜组10设置，第一双胶合透镜d3远离接目镜组10设置，第二三胶合透镜d2位于第一三胶合透镜d1和第一双胶合透镜d3之间，但并不局限于此，在一些实施例中，三个胶合透镜（第一三胶合透镜d1、第二三胶合透镜d2和第一双胶合透镜d3）之间的位置是可以进行调换的。

[0096] 以此方式，胶合透镜的设置有助于矫正色差，通过将第三镜组23设置为包括至少两个三胶合透镜和至少一个双胶合透镜的结构形式，有利于平衡宽波段色差，即有利于平衡宽光谱带来的色差，从而提高宽光谱眼底成像质量。

[0097] 进一步地，折射率是光在真空中的传播速度与光在该介质中的传播速度之比，主

要用来描述材料对光的折射能力,不同的材料的折射率不同,且材料的折射率越高,使入射光发生折射的能力越强。

[0098] 阿贝数是用以表示透明介质色散能力的指数,介质色散越严重,阿贝数越小;反之,介质的色散越轻微,阿贝数越大。

[0099] 如图1所示,在本公开实施例中,第三镜组23中设置有第一透镜d11、第二透镜d12、第三透镜d13、第四透镜d21、第五透镜d22、第六透镜d23、第七透镜d31和第八透镜d32,这些透镜从物方到像方(沿成像方向)依次设置在光轴上。通过对上述各透镜的折射率和阿贝数进行搭配设置,可避免引入过多的色差,满足初级色差矫正条件。以此方式,可以使用于眼科成像的光学系统的成像工作波段可覆盖可见光波段400nm~700nm以及近红外波段700nm~900nm,该可见光波段可用于彩色眼底成像,该近红外波段用于眼底图像的实时预览,由此,光学系统的成像工作波段所覆盖的宽光谱范围可以支持多种荧光模式,如自发荧光及视网膜造影FFA、脉络膜造影ICGA等,但并不局限于此。

[0100] 此外,上述各透镜的材料选择配合扫描镜组20中各个透镜的结构设计,还可以满足初级场曲矫正条件,进而满足超广角视场对场曲矫正的需求。

[0101] 综上,本公开实施例,按照公式3-公式10对第三镜组23中各透镜的折射率和阿贝数进行合理配置,并对第三镜组23中各透镜进行合理的结构设置,可以平衡宽光谱成像对色差的矫正需求和超广角成像对场曲的矫正需求,进而可以提高超广角及宽光谱眼底成像质量。

[0102] 示例性的,图2示例性示出了本公开实施例提供的由两个广角单图进行图像拼接得到超广角图像的示意图,图3示例性示出了本公开实施例提供的由四个广角单图进行图像拼接得到超广角图像的示意图。如图2和图3所示,通过本公开实施例提供的光学系统,眼底成像可以实现单幅视场 $\theta_s$ 至少覆盖 $100^\circ$ 的眼底扫描范围。如图2所示,根据靶标的引导拍摄两幅单图,并将两幅单图在水平方向上拼接,最终可以拼接出水平视场 $\theta_h$ 至少覆盖 $155^\circ$ 、垂直视场至少覆盖 $100^\circ$ 的眼底扫描范围的眼底成像。如图3所示,根据靶标的引导拍摄四幅单图,并将四幅单图和水平方向和竖直方向上拼接,最终可以拼接水平视场 $\theta_h$ 至少覆盖 $155^\circ$ 、垂直视场 $\theta_v$ 至少覆盖 $155^\circ$ 的眼底扫描范围的眼底成像。由于本公开实施例在至少 $100^\circ$ 的眼底扫描范围内均可以满足场曲的矫正需求,因此本公开实施例在人眼视场的边缘区域内场曲自然也可以得到良好的矫正。

[0103] 作为一种可行的实施方式,第一三胶合透镜d1的焦距为 $f_{d1}$ ,第二三胶合透镜d2的焦距为 $f_{d2}$ ,第一双胶合透镜d3的焦距为 $f_{d3}$ ,其中,

$$[0104] \quad -3.5 < f_{d1}/f_{d2} < -1.8; \quad \text{公式11}$$

$$[0105] \quad -2.5 < f_{d3}/f_{d2} < -1.5。 \quad \text{公式12}$$

[0106] 其中,焦距是光学系统中衡量光的聚集或发散的度量方式,指平行光入射时从透镜光心到光聚集之焦点的距离。简单的说,焦距是焦点到面镜的中心点之间的距离。焦距的绝对值越小,对光线的偏折能力越强,焦距的绝对值越大,对光线的偏折能力越弱。焦距为正数时,光线的偏折是汇聚性的;焦距为负数时,光线的偏折是发散性的。光焦度等于像方光束会聚度与物方光束会聚度之差,它表征光学系统偏折光线的的能力。透镜的光焦度与其焦距成反比。

[0107] 在本公开实施例中,通过合理分配第三镜组23中各个透镜的光焦度或焦距,可使眼底成像的色差得到更好的矫正。以此方式,可以更好地平衡宽光谱成像对色差矫正的需求,提高宽光谱眼底成像质量。

[0108] 作为一种可行的实施方式,第一三胶合透镜d1可以具有正光焦度,第二三胶合透镜d2可以具有负光焦度,第一双胶合透镜d3可以具有正光焦度。

[0109] 以此方式,仿真结果和实验数据表征按照上述公式11-公式12并按照“正-负-正”结构合理分配第三镜组23中各胶合透镜的光焦度,可使第三镜组23中的“正-负-正”结构相对于第三镜组23的中心较为对称,不会大幅改变倍率色差,因此有利于色差矫正。

[0110] 作为一种可行的实施方式,继续参考图1,扫描镜组20还包括沿成像光路方向依次设置的第一镜组21和第二镜组22,第一镜组21位于接目镜组10和第二镜组22之间的光路中,第三镜组23位于第二镜组22和扫描振镜30之间的光路中,第一镜组21的焦距为 $f_{G21}$ ,第二镜组22的焦距为 $f_{G22}$ ,第三镜组23的焦距为 $f_{G23}$ ,其中,

$$[0111] \quad |f_{G21}/f_{G22}| > 2.5; \quad \text{公式13}$$

$$[0112] \quad |f_{G23}/f_{G22}| > 10. \quad \text{公式14}$$

[0113] 在本公开实施例中,扫描镜组20包括沿成像光路方向依次设置的第一镜组21、第二镜组22和第三镜组23,即沿成像光路方向,第一镜组21靠近接目镜组10设置,第三镜组23靠近扫描振镜30设置,第二镜组22设于第一镜组21和第三镜组23之间。其中,第一镜组21、第二镜组22和第三镜组23可以设置于同一光轴上,以降低装配难度。

[0114] 以此方式,在按照上述公式3-公式10对扫描镜组20中各透镜的折射率和阿贝数进行合理配置的基础上,按照上述公式13-公式14对第一镜组21、第二镜组22和第三镜组23的光焦度也进行合理配置,可使光学系统更容易满足初级场曲矫正条件和初级色差矫正条件,从而更有利于平衡超广角成像的视场场曲矫正需求和宽光谱成像的色差矫正需求,进而实现兼具超广角视场和宽光谱覆盖范围两大特征的用于改进眼科成像的光学系统。

[0115] 作为一种可行的实施方式,继续参考图1,第二镜组22包括第一弯月透镜m1、第二弯月透镜m2和第三弯月透镜m3,其中,第一弯月透镜m1的凹面与相邻的第二弯月透镜m2的凹面相对设置,第三弯月透镜m3设于第二镜组22靠近第三镜组23的一端,且第三弯月透镜m3的凹面面向第三镜组23设置;第一弯月透镜m1和第二弯月透镜m2中的至少一个具有负光焦度,第三弯月透镜m3具有负光焦度。

[0116] 示例性的,如图1所示,第二镜组22中除了包括上述的三个弯月透镜外,还可以包括其他透镜,本公开实施例对此不做限定。本公开实施例中,第一弯月透镜m1和第二弯月透镜m2相邻设置,且第一弯月透镜m1的凹面与第二弯月透镜m2的凹面相对;第三弯月透镜m3为第二镜组22中与第三镜组23距离最近的透镜,且第三弯月透镜m3的凹面面向第三镜组23。

[0117] 其中,弯月透镜可以看作在一个正的薄透镜和一个负的薄透镜中间加入一个平板透镜,平板透镜的场曲为0,两个薄透镜的正负光焦度被平板透镜分离,可以矫正场曲。因此,通过在第二镜组22内设置三个弯月透镜,并对各弯月透镜的焦距和光焦度进行合理分配,有利于矫正大视场范围内的场曲像差,从而有助于提高超广角眼底成像质量。

[0118] 作为一种可行的实施方式,第一弯月透镜m1的折射率为 $n_{m1}$ ,阿贝数为 $v_{m1}$ ;第二

弯月透镜m2的折射率为 $n_{m2}$ ,阿贝数为 $v_{m2}$ ;第三弯月透镜m3的折射率为 $n_{m3}$ ,阿贝数为 $v_{m3}$ ,其中,

$$[0119] \quad n_{m1} < 1.7, v_{m1} > 63; \quad \text{公式15}$$

$$[0120] \quad n_{m2} > 1.65, v_{m2} < 55; \quad \text{公式16}$$

$$[0121] \quad n_{m3} > 1.6, v_{m3} > 50. \quad \text{公式17}$$

[0122] 在本公开实施例中,按照上述公式15-公式17对第一弯月透镜m1、第二弯月透镜m2和第三弯月透镜m3的折射率和阿贝数进行合理配置,可避免引入过多的色差,从而有助于提高宽光谱眼底成像质量。

[0123] 作为一种可行的实施方式,继续参考图1,第一镜组21包括至少一个正透镜和至少一个负透镜。

[0124] 示例性的,如图1所示,第一镜组21可包括一个正透镜e1和一个负透镜e2,正透镜e1靠近接目镜组10设置,负透镜e2靠近第二镜组22设置。

[0125] 在本公开实施例中,设置第一镜组21包括至少一个正透镜e1和至少一个负透镜e2,其中,正透镜e1和负透镜e2分离设置,可以矫正场曲,同时保证物方远心,有利于实现良好的场曲矫正和远心控制,从而有助于提高超广角眼底成像质量。

[0126] 作为一种可行的实施方式,继续参考图1,接目镜组10包括沿成像光路方向设置的第九透镜a1和第十透镜a2,第九透镜a1和第十透镜a2均具有正光焦度,且第九透镜a1和第十透镜a2中的至少一个为非球面透镜;第九透镜a1的焦距为 $f_{a1}$ ,第十透镜a2的焦距为 $f_{a2}$ ,其中,

$$[0127] \quad 2.1 < f_{a2}/f_{a1} < 2.9. \quad \text{公式18}$$

[0128] 示例性的,如图1所示,接目镜组10包括具有正光焦度的第九透镜a1和具有正光焦度的第十透镜a2,第九透镜a1可远离扫描镜组20设置,第十透镜a2可靠近扫描镜组20设置。

[0129] 以此方式,通过设置接目镜组10包括具有正光焦度的第九透镜a1和第十透镜a2,并按照上述公式18对第九透镜a1和第十透镜a2的焦距进行合理分配,可使更多的大角度光线耦合至扫描振镜30,从而在像差较小的条件下,实现更大视场的眼底成像,进一步满足超广角眼底成像需求。

[0130] 并且,通过设置第九透镜a1和第十透镜a2中的至少一个为非球面透镜,可以更好的矫正像差,提高成像质量。

[0131] 作为一种可行的实施方式,继续参考图1,该光学系统还包括:沿成像光路方向设置的调焦镜组40,调焦镜组40包括沿成像光路方向设置的第一胶合透镜41和第二胶合透镜42,第一胶合透镜41和第二胶合透镜42中的至少一个为三胶合透镜;第一胶合透镜41和/或第二胶合透镜42沿成像光路方向可移动设置。

[0132] 示例性的,如图1所示,扫描振镜30反射的光束经调焦镜组40透射,调焦镜组40中靠近扫描振镜30的一侧设置有第一胶合透镜41,远离扫描振镜30的一侧设置有第二胶合透镜42,但并不局限于此。在一些实施例中,第一胶合透镜41和第二胶合透镜42的位置可以对调。

[0133] 其中,第一胶合透镜41和第二胶合透镜42可以设置在同一光轴上,且第一胶合透

镜41和第二胶合透镜42中的一者或两者可沿光轴方向移动,通过第一胶合透镜41和第二胶合透镜42中任意一者的移动,可以实现调焦功能,从而可以补偿眼视度误差(如近视或远视等)带来的眼底成像质量下降。

[0134] 继续参考图1,可设置第一胶合透镜41为三胶合透镜,但并不局限于此。在一些实施例中,也可设置第二胶合透镜42为三胶合透镜。以此方式,通过在调焦镜组40中设置胶合透镜,且至少一个胶合透镜为三胶合透镜,可以避免调焦过程中的色差平衡发生变化,从而满足色差矫正需求,保证宽光谱眼底成像质量。

[0135] 作为一种可行的实施方式,第一胶合透镜41的焦距为 $f_{G41}$ ,第二胶合透镜42的焦距为 $f_{G42}$ ;其中,

$$[0136] \quad -1.6 < f_{G41}/f_{G42} < -1。 \quad \text{公式19}$$

[0137] 以此方式,按照上述公式19对调焦镜组40中第一胶合透镜41和第二胶合透镜42的光焦度和焦距进行合理配置,可使调焦镜组40的长度、第一胶合透镜41或第二胶合透镜42的可移动间距,以及调焦的灵敏度锁定在一个合适的范围内。由此,可以避免第一胶合透镜41和/或第二胶合透镜42进行较小范围的移动时,光学系统的焦距就会发生剧烈的变化。由此,也可以避免第一胶合透镜41和/或第二胶合透镜42进行较大范围的移动时,光学系统的焦距反而不会发生明显的变化。即,按照上述公式19对调焦镜组40中第一胶合透镜41和第二胶合透镜42的光焦度和焦距进行合理配置,可以使得第一胶合透镜41和/或第二胶合透镜42的移动范围和焦距的变化幅度之间保持在合理的关系范围内,从而提高调焦的性能。

[0138] 作为一种可行的实施方式,第一胶合透镜41具有负光焦度,第二胶合透镜42具有正光焦度。

[0139] 以此方式,通过合理分配调焦镜组40中第一胶合透镜41和第二胶合透镜42的光焦度,可使第一胶合透镜41和第二胶合透镜42的部分光焦度相互抵消,从而避免调焦镜组40在不移动时还能对眼底成像功能造成影响。

[0140] 作为一种可行的实施方式,继续参考图1,光学系统还包括:沿成像光路方向设置的成像收集模块70,成像收集模块70包括沿成像光路方向设置的滤光片切换装置701和光电探测模块702,光电探测模块702包括至少一个光电倍增管和/或至少一个雪崩光电二极管。

[0141] 示例性的,如图1所示,待测眼睛E0的眼底反射及散射的光束依次经接目镜组10和扫描镜组20透射后,经扫描振镜30反射,扫描振镜30反射的光束经调焦镜组40透射并传输至成像收集模块70,形成成像光路。

[0142] 其中,成像收集模块70R用于将接收到的光信号转换为电信号,电信号经计算机或者其他形式的处理器进行处理,可实现最终的眼底成像。

[0143] 进一步地,如图1所示,滤光片切换装置701设置在光电探测模块702前,滤光片切换装置701包括多个滤光片,通过滤光片切换装置701切换不同的滤光片可以满足不同的成像模式,如彩色成像、单色成像、自发荧光成像、荧光造影成像等,在不同的成像模式下,成像光束可经被滤光片切换装置701切换到成像光路中的滤光片透射后到达光电探测模块702,从而实现宽光谱眼底成像的应用。

[0144] 其中,滤光片切换装置701中滤光片的数量和类型可根据实际成像模式需求进行

选择,本公开实施例对此不做具体限定。

[0145] 同时,光电探测模块702中的光电探测器可采用至少一个光电倍增管和/或至少一个雪崩光电二极管,光电倍增管和雪崩光电二极管相比于相机,在近红外波段的响应度更高,从而在保证可见光波段成像效果的同时,在近红外波段成像或者脉络膜造影ICGA方面也能达到较好的图像亮度效果。

[0146] 其中,光电探测模块702中光电探测器的类型和数量可根据实际成像模式需求进行选择,例如,光电探测模块702中包含但不限于3个光电倍增管;或者,光电探测模块702中包含但不限于3个雪崩光电二极管;又或者,光电探测模块702包含光电倍增管和雪崩光电二极管的组合,本公开实施例对此不做具体限定。

[0147] 继续参考图1,成像收集模块70还可以包括第一准直镜C1,第一准直镜C1设于光电探测模块702和滤光片切换装置701之间的光路中,滤光片切换装置701过滤后的成像光束经第一准直镜C1准直后进行成像收集,有助于将成像光束耦合进光电探测模块702中。

[0148] 作为一种可行的实施方式,继续参考图1,光学系统还包括:第一固视靶标镜组50和第二固视靶标镜组60,第一固视靶标镜组50的焦距为  $f_{G50}$ ,第二固视靶标镜组60的焦距为  $f_{G60}$ ,其中,

[0149]  $1 < f_{G50}/f_{G60} < 3.5$ 。 公式20

[0150] 示例性的,如图1所示,光学系统还包括固视靶标F,第一固视靶标镜组50和第二固视靶标镜组60,第一固视靶标镜组50和第二固视靶标镜组60依次设置于从第三镜组23到固视靶标F之间的光路中。

[0151] 其中,固视靶标F用于发出光标光束,光标光束依次经第二固视靶标镜组60和第一固视靶标镜组50透射,以使待测眼睛E0可以观测到固视靶标F上的光标,并保持注视固视靶标F上的光标的状态,避免待测眼睛E0的眼球晃动,从而保证成像光路在扫描测试过程中待测眼睛E0的稳定性。

[0152] 进一步地,第二固视靶标镜组60和固视靶标F可设置在同一光轴上,且第二固视靶标镜组60和固视靶标F沿光轴方向可整体进行移动,以补偿眼视度误差(如近视或远视等)带来的固视误差。

[0153] 其中,如图1所示,第一固视靶标镜组50和第二固视靶标镜组60之间可以形成与物面共轭的中间像面P2,中间像面P2靠近第一固视靶标镜组50一侧的光路和中间像面P2靠近第二固视靶标镜组60一侧的光路均为远心光路,且远心角度小于 $2^\circ$ 。如此,在第二固视靶标镜组60和固视靶标F沿光轴方向整体移动的过程中,光标光束在第一固视靶标镜组50和第二固视靶标镜组60之间的口径不会发生较大变化,从而使得待测眼睛E0观测到的光标大小不会发生太大变化,有助于提高在扫描测试过程中待测眼睛E0的稳定性。

[0154] 进一步地,第一固视靶标镜组50的焦距  $f_{G50}$  和第二固视靶标镜组60的焦距  $f_{G60}$  满足  $1 < f_{G50}/f_{G60} < 3.5$ 。其中,通过上述公式20合理分配第一固视靶标镜组50和第二固视靶标镜组60的光焦度和焦距,可使固视靶标F上的光标在待测眼睛E0的眼底呈缩小的像,减少固视靶标F上的光标在眼底成像的颗粒感,使待测眼睛E0观测到的光标图案更加细腻清晰,有利于提高扫描测试过程中待测眼睛E0的稳定性。



[0155] 作为一种可行的实施方式,继续参考图1,光学系统还包括第一分光元件S1,第一分光元件S1位于扫描镜组20和扫描振镜30之间的光路中,第一固视靶标镜组50和第二固视靶标镜组60位于第一分光元件S1的透射光路上,扫描振镜30和成像收集模块70位于第一分光元件S1的反射光路上。或者,在其他实施例中,也可以是第一固视靶标镜组50和第二固视靶标镜组60位于第一分光元件S1的反射光路上,扫描振镜30和成像收集模块70位于第一分光元件S1的透射光路上。

[0156] 其中,如图1所示,第一固视靶标镜组50和第二固视靶标镜组60依次设置于从第一分光元件S1到固视靶标F之间的光路中,第一分光元件S1用于分割固视靶标光路与成像光路。

[0157] 示例性的,如图1所示,第一固视靶标镜组50和第二固视靶标镜组60可以位于第一分光元件S1的透射光路上,扫描振镜30和成像收集模块70可以位于第一分光元件S1的反射光路上。此时,固视靶标F发出的光标光束依次经第二固视靶标镜组60、第一固视靶标镜组50、第一分光元件S1、扫描镜组20和接目镜组10透射到达待测眼睛E0,从而形成固视靶标光路。待测眼睛E0的眼底反射及散射的光束依次经接目镜组10和扫描镜组20透射、第一分光元件S1反射、扫描振镜30反射、调焦镜组40透射到达成像收集模块70,形成成像光路。

[0158] 在其他实施例中,也可设置第一固视靶标镜组50和第二固视靶标镜组60位于第一分光元件S1的反射光路上,扫描振镜30和成像收集模块70可以位于第一分光元件S1的透射光路上。此时,固视靶标F发出的光标光束依次经第二固视靶标镜组60和第一固视靶标镜组50透射、第一分光元件S1反射、扫描镜组20和接目镜组10透射到达待测眼睛E0,从而形成固视靶标光路。待测眼睛E0的眼底反射及散射的光束依次经接目镜组10、扫描镜组20和第一分光元件S1透射、扫描振镜30反射、调焦镜组40透射到达成像收集模块70,形成成像光路。

[0159] 需要说明的是,第一分光元件S1可以选用二向色镜等二向色分光元件,但并不局限于此。其中,第一分光元件S1采用二向色分光元件有助于降低固视靶标光路和成像光路之间的相互干扰,但并不局限于此。

[0160] 作为一种可行的实施方式,扫描镜组20中靠近扫描振镜30一端的透镜表面与所述扫描振镜30之间的光程长度为 $L_0$ ,扫描镜组20的焦距为 $f_{G20}$ ,其中,

$$[0161] \quad L_0/f_{G20} > 0.2。 \quad \text{公式21}$$

[0162] 其中,光程长度 $L_0$ 具体是指扫描镜组20中最靠近扫描振镜30的透镜表面和扫描振镜30中最靠近扫描镜组20的二维扫描振镜的反射面之间的光程长度。

[0163] 在本公开实施例中,通过设置光程长度 $L_0$ 与扫描镜组20的焦距 $f_{G20}$ 之间满足 $L_0/f_{G20} > 0.2$ ,可以为第一分光元件S1提供足够的放置空间,从而实现固视靶标光路与成像光路的分割。

[0164] 作为一种可行的实施方式,继续参考图1,眼底成像装置还包括第二分光元件S2和照明模块80,第二分光元件S2位于扫描振镜30和成像收集模块70之间的光路中。照明模块80位于第二分光元件S2的透射光路上,成像收集模块70位于第二分光元件S2的反射光路上;或者,照明模块80位于第二分光元件S2的反射光路上,成像收集模块70位于第二分光元件S2的透射光路上。

[0165] 其中,照明模块80用于发出照明光束,以对待测眼睛E0进行照明,有利于提高眼底

成像图像的亮度效果。

[0166] 继续参考图1,第二分光元件S2位于调焦镜组40和成像收集模块70之间的光路中,第二分光元件S2用于分割照明光路与成像光路。

[0167] 示例性的,如图1所示,照明模块80可以位于第二分光元件S2的透射光路上,成像收集模块70可以位于第二分光元件S2的反射光路上。此时,照明模块80发出的照明光束依次经第二分光元件S2和调焦镜组40透射、扫描振镜30和第一分光元件S1反射、扫描镜组20和接目镜组10透射到达待测眼睛E0,从而形成照明光路;待测眼睛E0的眼底反射及散射的光束依次经接目镜组10和扫描镜组20透射、第一分光元件S1和扫描振镜30反射、调焦镜组40透射、第二分光元件S2反射,到达成像收集模块70,形成成像光路。

[0168] 在其他实施例中,也可设置照明模块80位于第二分光元件S2的反射光路上,成像收集模块70位于第二分光元件S2的透射光路上。此时,照明模块80发出的照明光束依次经第二分光元件S2反射、调焦镜组40透射、扫描振镜30和第一分光元件S1反射、扫描镜组20和接目镜组10透射到达待测眼睛E0,从而形成照明光路;待测眼睛E0的眼底反射及散射的光束依次经接目镜组10和扫描镜组20透射、第一分光元件S1和扫描振镜30反射、调焦镜组40透射和第二分光元件S2透射,到达成像收集模块70,形成成像光路。

[0169] 其中,第二分光元件S2可以选用分束立方体或分束片,但并不局限于此。

[0170] 进一步地,照明模块80可以包括第二准直镜C2及多色光源输入端801。

[0171] 多色光源输入端801用于发出多种颜色的照明光束,从而可以满足不同的成像模式,如彩色成像、单色成像、自发荧光成像、荧光造影成像等,以实现宽光谱眼底成像的应用。

[0172] 多色光源输入端801发出的照明光束经第二准直镜C2准直后形成平行光束,以对待测眼睛E0起到更为均匀的照明效果。

[0173] 其中,第二准直镜C2可以采用反射式准直镜,反射式准直镜可覆盖的光谱范围更广,从而有利于满足宽光谱眼底成像需求,但并不局限于此。

[0174] 继续参考图1,眼底成像装置还可包括折转反射镜90,折转反射镜90位于扫描振镜30和调焦镜组40之间的光路中,折转反射镜90用于对成像光路进行折转,以压缩眼底成像装置的体积。

[0175] 在其他实施例中,本领域技术人员也可在其他位置上设置折转反射镜,以对光路方向进行调整,压缩眼底成像装置的体积,本公开实施例对此不做具体限定。

[0176] 上述具体实施方式,并不构成对本公开保护范围的限制。本领域技术人员应该明白的是,根据设计要求和因素,可以进行各种修改、组合、子组合和替代。任何在本公开的精神和原则之内所作的修改、等同替换和改进等,均应包含在本公开保护范围之内。

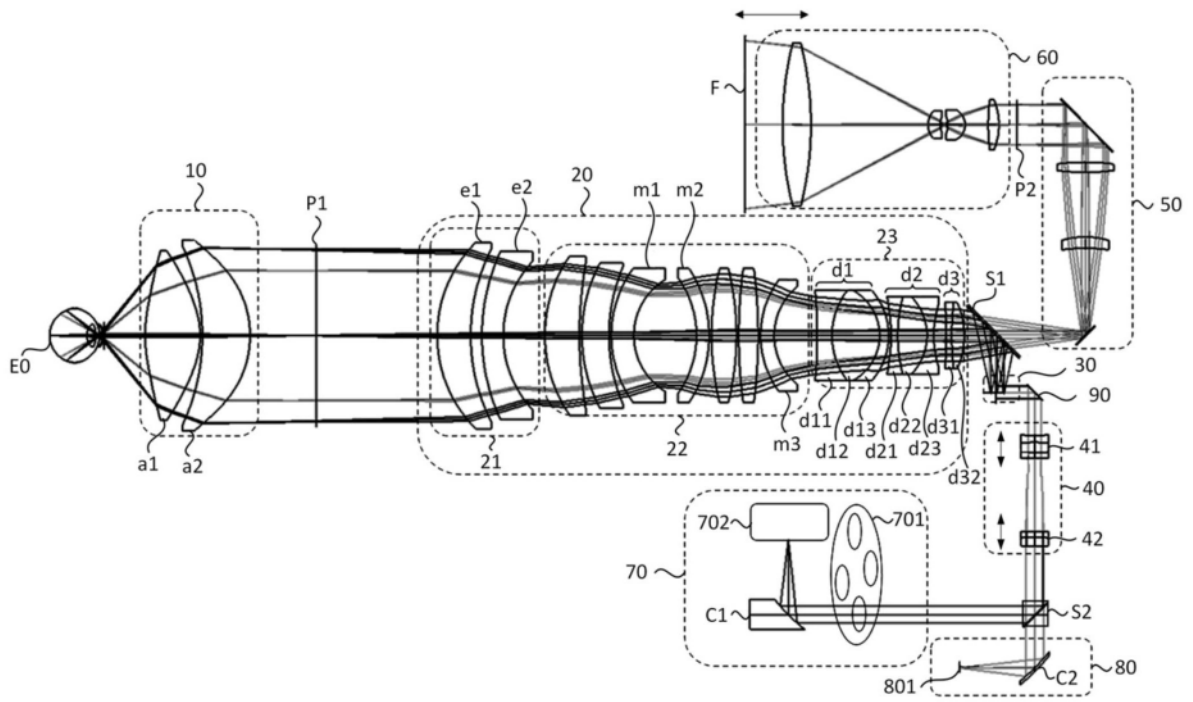


图1

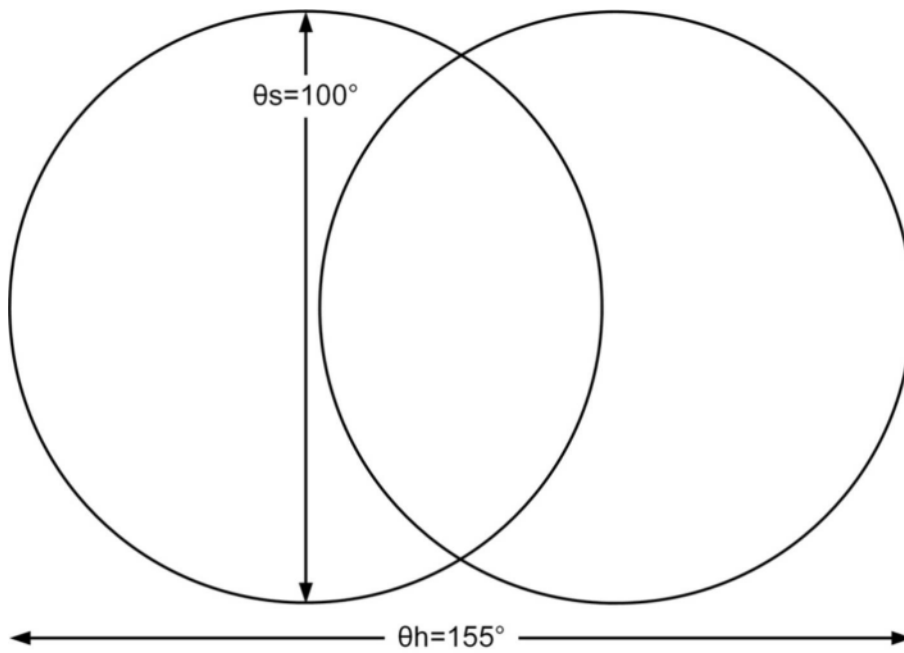


图2

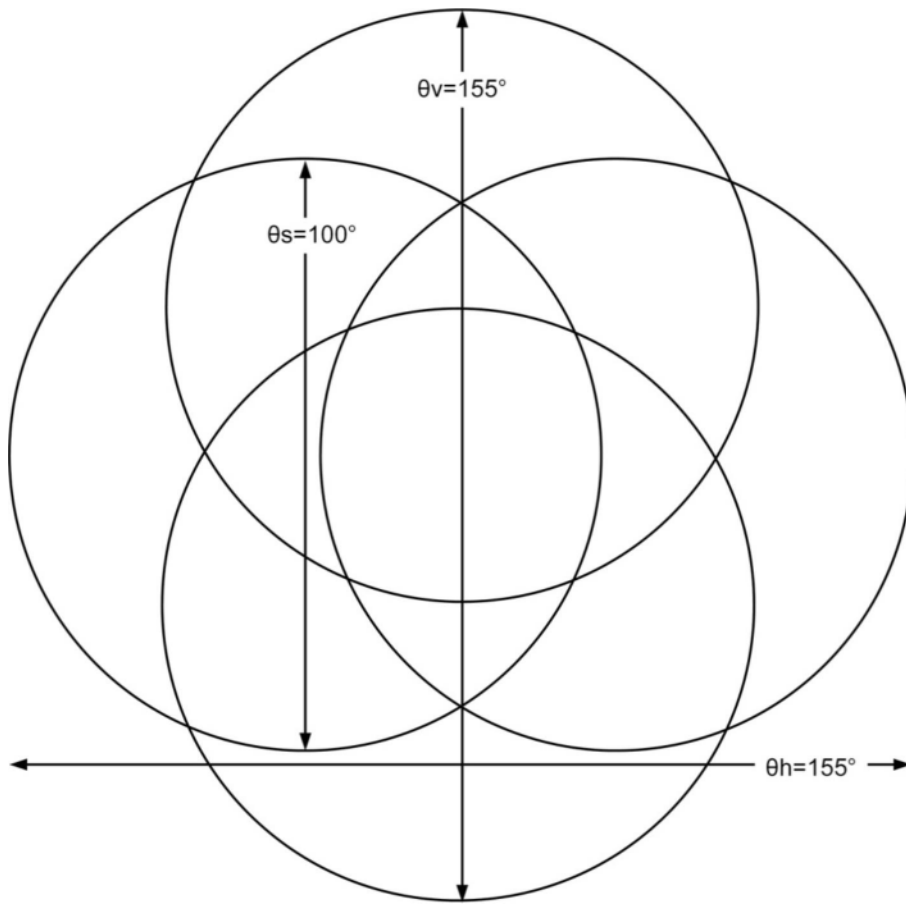


图3