



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107072779 B

(45)授权公告日 2020.01.14

(21)申请号 201580060912.0

康斯坦丝·伊丽莎白·费伊

(22)申请日 2015.09.08

(74)专利代理机构 北京品源专利代理有限公司  
11332

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107072779 A

代理人 王小衡 王天鹏

(43)申请公布日 2017.08.18

(51)Int.Cl.

A61F 2/16(2006.01)

(30)优先权数据

62/048,135 2014.09.09 US

62/048,705 2014.09.10 US

62/149,481 2015.04.17 US

(56)对比文件

US 2010/0087921 A1,2010.04.08,说明书  
第5-25段、第41-93段及图1A-图7B.

US 2010/0087921 A1,2010.04.08,说明书  
第5-25段、第41-93段及图1A-图7B.

CN 101490600 A,2009.07.22,说明书第2页  
第7行至第9页第3行.

CN 101437468 A,2009.05.20,全文.

CN 101796451 A,2010.08.04,全文.

US 2003/0014107 A1,2003.01.16,全文.

CN 101199437 A,2008.06.18,全文.

CN 1575146 A,2005.02.02,全文.

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2017.05.09

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2015/048961 2015.09.08

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02016/040331 EN 2016.03.17

(73)专利权人 斯塔尔外科有限公司  
地址 美国加利福尼亚州

审查员 纪徐源

(72)发明人 坎迪多·迪奥尼西奥·平托

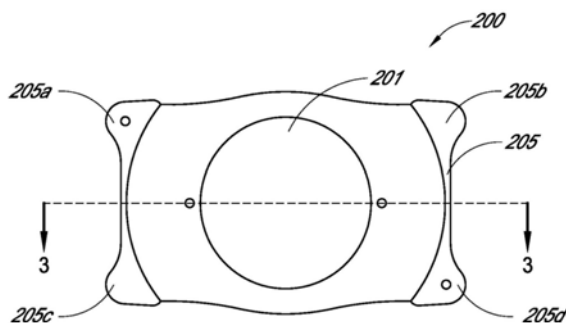
权利要求书2页 说明书20页 附图8页

(54)发明名称

具有扩展的景深和增强的远距视力的眼科  
植入物

(57)摘要

一种被配置用于植入人的眼睛中的透镜可以包括包含了透明材料的镜片。该镜片可以具有前表面和后表面。前表面可以是凸的,并且后表面可以是凹的,使得镜片是弯月形的。凸前表面和凹后表面中的每个都可以具有表面顶点。镜片可以具有穿过表面顶点的光轴以及沿着光轴在约100-700微米之间的厚度。透镜还可以包括围绕镜片被布置的触觉部分,以在被植入眼睛中将镜片附着在其中。前表面和后表面可以包括非球面表面。



1. 一种被配置用于植入人的眼睛中的透镜,所述透镜包括:

镜片,其包括透明材料,所述镜片具有前表面、后表面和出瞳,所述前表面是凸的,并且所述后表面是凹的,使得所述镜片是弯月形的,所述凸前表面和所述凹后表面中的每个具有表面顶点,所述镜片具有穿过所述表面顶点的光轴以及沿着所述光轴在100-700微米之间的厚度,

触觉部分,其围绕所述镜片被布置,以在被植入所述眼睛中时将所述镜片附着在其中,其中所述前表面和后表面包括非球面表面,并且

前表面和后表面可以被成形为提供径向焦度分布,其被表征为针对0至2.5屈光度(D)的物体聚散度的在镜片的出瞳处的波前的 $\Phi(r) = a + br^2 + cr^4 + dr^6 + er^8$ ,其中r是距所述光轴的径向距离,并且a、b、c、d和e是常数。

2. 根据权利要求1所述的透镜,其中所述前表面是旋转对称的。

3. 根据权利要求1所述的透镜,其中所述前表面具有包括圆锥项的形状。

4. 根据权利要求3所述的透镜,其中所述前表面具有包括圆锥项和非球面高阶扰动项的形状。

5. 根据权利要求2所述的透镜,其中所述后表面具有包括圆锥项的形状。

6. 根据权利要求5所述的透镜,其中所述圆锥项具有大于零的圆锥常数。

7. 根据权利要求6所述的透镜,其中所述圆锥项具有大于等于一的圆锥常数。

8. 根据权利要求7所述的透镜,其中所述圆锥项具有大于等于十的圆锥常数。

9. 根据权利要求1所述的透镜,其中所述后表面是旋转非对称的并且沿着穿过所述镜片的所述光轴的不同方向具有不同曲率。

10. 根据权利要求9所述的透镜,其中所述后表面沿着穿过所述镜片的所述光轴的正交方向具有不同曲率。

11. 根据权利要求1所述的透镜,其中所述后表面是旋转非对称的并且具有包括双锥项的形状。

12. 根据权利要求11所述的透镜,其中所述后表面的所述双锥项具有大于零的圆锥常数。

13. 根据权利要求12所述的透镜,其中所述后表面的所述双锥项具有大于等于一的圆锥常数。

14. 根据权利要求13所述的透镜,其中所述后表面的所述双锥项具有大于等于十的圆锥常数。

15. 根据权利要求1所述的透镜,其中所述触觉部分被配置为将镜片稳定在眼睛中使得镜片的光轴沿眼睛的中心光轴布置。

16. 一种被配置用于植入人的眼睛中的透镜,所述透镜包括:

镜片,其包括透明材料,所述镜片具有前表面和后表面,所述前表面是凸的,并且所述后表面是凹的,使得所述镜片是弯月形的,凸的前表面和凹的后表面中的每个具有表面顶点,所述镜片具有穿过所述表面顶点的光轴,

至少一个触觉件,其相对于所述镜片被布置,以在植入所述眼睛中时在将所述镜片附着在其中,

其中所述前表面和后表面包括非球面表面,并且所述前表面具有非球面形状,所述非

球面形状包括由扰动而偏移的圆锥或双锥,所述扰动包括距所述光轴的径向距离的非球面高阶函数,并且其中所述前表面和后表面被成形为不产生光沿着光轴聚焦的离散的间隔开的焦点。

17. 根据权利要求16所述的透镜,其中所述非球面高阶函数包括二阶项, $a_2r^2$ ,其中 $a_2$ 是系数,并且 $r$ 是距所述光轴的径向距离。

18. 根据权利要求16所述的透镜,其中所述非球面高阶函数包括四阶项, $a_4r^4$ ,其中 $a_4$ 是系数,并且 $r$ 是距所述光轴的径向距离。

19. 根据权利要求16所述的透镜,其中所述非球面高阶函数包括六阶项, $a_6r^6$ ,其中 $a_6$ 是系数,并且 $r$ 是距所述光轴的径向距离。

20. 根据权利要求16所述的透镜,其中所述非球面高阶函数包括八阶项, $a_8r^8$ ,其中 $a_8$ 是系数,并且 $r$ 是距所述光轴的径向距离。

21. 根据权利要求16所述的透镜,其中所述非球面高阶函数包括至少一个偶数阶项, $a_{2n}r^{2n}$ ,其中 $n$ 是整数,并且 $a_{2n}$ 是系数,并且 $r$ 是距所述光轴的径向距离。

22. 根据权利要求16所述的透镜,包括多个触觉件。

23. 根据权利要求16所述的透镜,其中所述镜片具有沿着所述光轴在100-700微米之间的厚度。

24. 根据权利要求16所述的透镜,其中所述前表面具有非球面形状,其包括由所述扰动而偏移的双锥。

25. 根据权利要求16所述的透镜,其中所述至少一个触觉件被配置为将镜片稳定在眼睛中使得镜片的光轴沿眼睛的中心光轴布置。

26. 根据权利要求16所述的透镜,其中前表面和后表面可以被成形为提供径向焦度分布,其被表征为针对0至2.5屈光度(D)的物体聚散度的在镜片的出瞳处的波前的 $\Phi(r) = a + br^2 + cr^4 + dr^6 + er^8$ ,其中 $r$ 是距所述光轴的径向距离,并且 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 和 $e$ 是常数。

## 具有扩展的景深和增强的远距视力的眼科植入物

[0001] 通过参考对任何优先权申请的并入

[0002] 本申请要求分别于2014年9月9日、2014年9月10日以及2015年4月17日提交的美国临时申请号62/048135、美国临时申请号62/048705和美国临时申请号62/149481的优先权的权益。每个现有申请的全部公开内容通过引用明确地并入本文。

### 技术领域

[0003] 本公开涉及眼科植入物，例如涉及具有扩展的景深的眼科植入物。

### 背景技术

[0004] 图1是人眼的示意图。如图1中示出的，人眼100包括角膜110、虹膜115、天然晶状体120和视网膜130。光通过角膜110并朝向瞳孔进入眼睛100，该瞳孔是在虹膜115中心的开口。虹膜115和瞳孔有助于调节进入眼睛100的光的量。在明亮的照明条件下，虹膜115关闭瞳孔以让更多的光进入，而在黑暗的照明条件下，虹膜115打开瞳孔以让更多的光进入。虹膜115后面是天然晶状体120。角膜110和晶状体120将光朝向视网膜130折射和聚焦。在具有20/20的视力的眼睛100中，晶状体120将光聚焦到眼睛后部到视网膜130上。视网膜130感测光并产生电脉冲，其通过视神经140被发送到脑。当眼睛未正确聚焦光时，已经使用了矫正和/或人造透镜。

### 发明内容

[0005] 本文描述的某些实施例包括被配置用于植入人的眼睛中的透镜。透镜可以包括包含了透明材料的镜片。透镜还可以包括围绕镜片被布置的触觉部分，以在被植入眼睛中时将镜片附着在其中。镜片可以包括前表面和后表面。前表面可以是凸的，并且后表面可以是凹的，使得镜片是弯月形的。凸前表面和凹后表面中的每个都可以具有表面顶点。镜片可以具有穿过表面顶点的光轴。在各种实施例中，沿着光轴的厚度可以在约100–700微米之间（或由该范围内的任何值形成的任何范围）。另外，前表面和后表面可以包括非球面表面。

[0006] 本文描述的某些实施例包括被配置用于植入人的眼睛中的透镜。该透镜可以包括包含了透明材料的镜片。透镜还可以包括相对于镜片被布置的至少一个触觉件，以在被植入眼睛中时将镜片附着在其中。镜片可以具有前表面和后表面。前表面可以是凸的，并且后表面可以是凹的，使得镜片是弯月形的。凸前表面和凹后表面中的每个都可以具有表面顶点。镜片可以具有穿过表面顶点的光轴。在各种实施例中，前表面和后表面可以包括非球面表面。前表面可以具有非球面形状，其包括由包括了距光轴的径向距离的非球面高阶函数的扰动而偏移的圆锥或双锥。

[0007] 在一些这样的实施例中，非球面高阶函数可以包括至少一个偶数阶项， $a_{2n}r^{2n}$ ，其中 $n$ 是整数，并且 $a_{2n}$ 是系数，并且 $r$ 是距光轴的径向距离。例如，非球面高阶函数可以包括二阶项， $a_2r^2$ ，其中 $a_2$ 是系数，并且 $r$ 是距光轴的径向距离。作为另一示例，非球面高阶函数可以包括四阶项， $a_4r^4$ ，其中 $a_4$ 是系数，并且 $r$ 是距光轴的径向距离。非球面高阶函数还可以包括

六阶项,  $a_6r^6$ , 其中  $a_6$  是系数, 并且  $r$  是距光轴的径向距离。此外, 非球面高阶函数可以包括八阶项,  $a_8r^8$ , 其中  $a_8$  是系数, 并且  $r$  是距光轴的径向距离。在透镜的一些实施例中, 镜片可以具有沿着光轴在约100-700微米之间(或由该范围内的任何值形成的任何范围)的厚度。在各种实施例中, 前表面具有非球面形状, 其包括由扰动而偏移的双锥。

[0008] 本文描述的某些实施例包括被配置用于植入人的眼睛中的透镜。该透镜可以包括包含了透明材料的镜片。当被植入其中时, 透镜还可以包括相对于眼睛中的镜片被布置的至少一个触觉件。镜片可以具有前表面和后表面。前表面可以是凸的, 并且后表面可以是凹的, 使得镜片是弯月形的。凸前表面和凹后表面中的每个都可以具有表面顶点。镜片可以具有穿过表面顶点的光轴。在各种实施例中, 前表面和后表面可以包括非球面表面。后表面可以具有非球面形状, 其包括由包括了距光轴的径向距离的非球面高阶函数的扰动而偏移的圆锥或双锥。在各种实施例中, 后表面具有非球面形状, 其包括由扰动而偏移的双锥。

[0009] 本文描述的某些实施例包括被配置用于植入人的眼睛中的透镜。该透镜可以包括包含了透明材料的镜片。镜片可以具有前表面和后表面。前表面可以包括非球面表面。当镜片被插入具有2至6毫米、3至6毫米或4至6毫米(例如, 孔径尺寸可以是2mm、3mm、4mm、6mm、这些范围内的任何值、或由这些值形成的任何范围)的孔径尺寸的人眼中时, 前表面和后表面还可以被成形为提供平均调制传递函数(MTF)值, 针对在0至2.5屈光度(D)的范围内的至少90%的物体聚散度, 该平均MTF值在100线每毫米处为0.1至0.4之间。平均MTF值可以包括由用于轴上物体的明视光度函数加权的在约400至700nm之间的波长上积分的100线每毫米处的MTF值。

[0010] 在各种实施例中, 人眼包括晶状体, 并且当镜片被插入晶状体前部时提供平均调制传递函数值。在各种其他实施例中, 人眼不包括晶状体, 并且当插入镜片代替晶状体时提供调制传递函数值。透镜还可以包括触觉部分。另外, 镜片可以具有光轴以及通过该光轴在约100-700微米之间的厚度(或由该范围内的任何值形成的任何范围)。

[0011] 本文描述的某些实施例包括被配置用于植入人的眼睛中的透镜。该透镜可以包括包含了透明材料的镜片。镜片可以具有前表面和后表面。前表面可以包括非球面表面。当镜片被插入具有2至6毫米、3至6毫米或4至6毫米(例如, 孔径尺寸可以是2mm、3mm、4mm、6mm、这些范围内的任何值、或由这些值形成的任何范围)的孔径尺寸的眼中时, 前表面和后表面还可以被成形为提供平均调制传递函数(MTF)值, 针对在0至2.5屈光度(D)的范围内的至少90%的物体聚散度, 该平均MTF值在100线每毫米处为0.1至0.4之间。平均MTF值可以包括由用于轴上物体的明视光度函数加权的在约400至700nm之间的波长上积分的100线每毫米处的MTF值。

[0012] 模型眼可以包括Liou-Brennan模型眼。可替代地, 模型眼可以包括Badal模型眼。此外, 模型眼可以包括Arizona模型眼或Indiana模型眼。可以使用其他标准化或等效的模型眼。

[0013] 在一些实施例中, 当镜片以有晶状体眼构造被插入模型眼中时, 可以提供调制传递函数值。在一些其它实施例中, 当镜片以无晶状体眼构造被插入模型眼中时, 可以提供调制传递函数值。透镜还可以包括触觉部分。此外, 镜片可以具有光轴以及通过光轴在约100-700微米之间(或由该范围内的任何值形成的任何范围)的厚度。

[0014] 本文描述的某些实施例包括被配置用于植入人的眼睛中的透镜。该透镜可以包括

包含了透明材料的镜片。镜片可以具有前表面和后表面以及出瞳。前表面可以包括非球面表面。前表面和后表面可以成形为提供径向焦度分布,其表征为针对0至2.5屈光度(D)的物体聚散度的在镜片的出瞳处的波前的 $\Phi(r) = a + br^2 + cr^4 + dr^6 + er^8$ ,其中r是距离延伸穿过前表面和后表面上的表面顶点的光轴的径向距离,并且a、b、c、d和e是系数。

[0015] 本文描述的某些实施例包括被配置用于植入人的眼睛中的透镜。该透镜可以包括包含了透明材料的镜片。透镜还可以包括相对于镜片被布置的至少一个触觉件,以在被植入眼睛中时将镜片附着在其中。镜片可以包括前表面和后表面。前表面和后表面中的每个可以具有表面顶点。镜片可以具有穿过表面顶点的光轴。沿着光轴的厚度可以在约100-400微米之间(或由该范围内的任何值形成的任何范围)。另外,前表面和后表面中的至少一个可以包括非球面表面。在一些实施例中,前表面可以是凸的。另外,后表面可以是凹的。

[0016] 本文描述的某些实施例包括被配置用于植入人的眼睛中的透镜。该透镜可以包括包含了透明材料的镜片。透镜还可以包括相对于镜片被布置的至少一个触觉件,以在被植入眼睛中时将镜片附着在其中。镜片可以包括前表面和后表面。前表面和后表面中的每个可以具有表面顶点。镜片可以具有穿过表面顶点的光轴。前表面和后表面中的至少一个可以包括非球面表面,其包括包含了距光轴的径向距离的非球面高阶函数的扰动,并且至少一个表面可以具有包括双锥的非球面形状。在一些实施例中,前表面可以是凸的。另外,后表面可以是凹的。

[0017] 本文描述的某些实施例包括被配置用于植入人的眼睛中的透镜。该透镜可以包括包含了透明材料的镜片。透镜还可以包括围绕镜片被布置的触觉部分,以在被植入眼睛中时将镜片附着在其中。镜片可以包括前表面和后表面。前表面和后表面中的每个可以具有表面顶点。镜片可以具有穿过表面顶点的光轴。沿着光轴的厚度可以在约100-700微米之间(或由该范围内的任何值形成的任何范围)。另外,前表面和后表面可以包括非球面表面。

[0018] 本文描述的某些实施例包括被配置用于植入人的眼睛中的透镜。该透镜可以包括包含了透明材料的镜片。透镜还可以包括相对于镜片被布置的至少一个触觉件,以在被植入眼睛中时将镜片附着在其中。镜片可以包括前表面和后表面。前表面和后表面中的每个可以具有表面顶点。镜片可以具有穿过表面顶点的光轴。前表面和后表面中的至少一个可以包括非球面表面,其包括由包括了距光轴的径向距离的非球面高阶函数的扰动而偏移的圆锥或双锥。

[0019] 在本文描述的包含透明材料的透镜的各种实施例中,透明材料可以包括胶原聚合物。透明材料可以包括硅胶、丙烯酸或水凝胶。透明材料可以包括疏水或亲水材料。

[0020] 在本文描述的透镜的各种实施例中,前表面可以是旋转对称的。前表面可以具有包括圆锥或双锥项的形状。前表面可以具有包括圆锥或双锥项和非球面高阶扰动项的形状。在透镜的一些实施例中,后表面可以具有包括圆锥或双锥项的形状。圆锥或双锥项可以拥有具有大于零的大小的圆锥常数。例如,圆锥或双锥项可以具有至少一的大小的圆锥常数。作为另一个示例,圆锥或双锥项可以具有至少十的大小的圆锥常数。

[0021] 在本文描述的透镜的各种实施例中,后表面可以是旋转非对称的。后表面可以沿着穿过镜片的光轴的不同方向具有不同曲率。例如,后表面可以沿着穿过镜片的光轴的正交方向具有不同曲率。后表面的形状可以包括双锥项。双锥项可以拥有具有大于零的大小的圆锥常数。例如,双锥项可以拥有具有至少一的大小的圆锥常数。作为另一个示例,圆锥

或双锥项可以拥有具有至少十的大小的圆锥常数。在本文描述的透镜的各种实施例中,镜片可以具有沿着光轴在100-400微米之间的厚度。例如,沿着光轴的厚度可以在100-300微米之间、在100-200微米之间、在200-300微米之间、在300-400微米之间、或由这些范围中的任何值形成的任何范围之间。

[0022] 在本文描述的透镜的各种实施例中,当镜片被插入具有2至6毫米、3至6毫米或4至6毫米(例如,孔径尺寸可以是2mm、3mm、4mm、6mm、这些范围内的任何值、或由这些值形成的任何范围)的孔径尺寸的模型眼中时,透镜的前表面和后表面可以被成形为提供平均调制传递函数(MTF)值,针对在0至2.5屈光度(D)的范围内的至少90%的物体聚散度,该平均MTF值在100线每毫米处为0.1至0.4之间。平均MTF值可以包括由用于轴上物体的明视光度函数加权的在约400至700nm之间的波长上积分的100线每毫米处的MTF值。模型眼可以包括Liou-Brennan模型眼、Badal模型眼、Arizona模型眼、Indiana模型眼、或任何标准化或等效的模型眼。

[0023] 在一些这样的实施例中,透镜的前表面和后表面被成形为提供平均调制传递函数(MTF)值,针对在0至2.5屈光度(D)的范围内的至少95%或98%的物体聚散度,平均MTF值在100线每毫米处为0.1至0.4之间。

[0024] 在本文描述的透镜的各种实施例中,当镜片被插入模型眼中时,前表面和后表面可以被成形为针对0至2.5的屈光度(D)的范围内的至少90%的物体聚散度在没有相位反转的情况下提供调制传递函数(MTF)。在一些这样的实施例中,当镜片被插入模型眼中时,前表面和后表面可以被成形为针对0至2.5的屈光度(D)的范围内的至少95%、98%、99%或100%的物体聚散度在没有相位反转的情况下提供调制传递函数(MTF)。

[0025] 在本文描述的透镜的各种实施例中,前表面可以具有在0至1mm之间、 $1 \times 10^{-6}$ 至 $1 \times 10^{-3}$ mm之间或 $5 \times 10^{-6}$ 至 $5 \times 10^{-4}$ mm的曲率半径。前表面可以具有在 $-1 \times 10^6$ 至-100之间或 $-3 \times 10^5$ 至 $-2 \times 10^5$ 之间的圆锥常数。后表面可以具有0至20mm之间的曲率半径 $R_y$ 。后表面可以具有0至20mm之间的曲率半径 $R_x$ 。后表面可以具有-20至20mm之间的圆锥常数 $k_y$ 。后表面可以具有在-25至0mm之间的圆锥常数 $k_x$ 。

[0026] 在本文描述的透镜的一些实施例中,透镜可被配置为被布置在眼睛的天然晶状体的前部。在透镜的一些其它实施例中,透镜可被配置为被布置在囊袋中。

[0027] 本文描述的某些实施例包括植入透镜的任何实施例的透镜的方法。该方法可以包括在眼睛的组织中形成开口并将透镜插入眼睛的天然晶状体的晶状体前部。本文描述的某些实施例还包括一种方法,包括在眼睛的组织中形成开口并将透镜插入囊袋中。

[0028] 在本文描述的透镜的各种实施例中,镜片可以具有沿着光轴在约700微米-4毫米之间的厚度。例如,沿着光轴的厚度可以在约700微米-3毫米之间、约700微米-2毫米之间、约700微米-1毫米之间、或由这些范围内的任何值形成的任何范围之间。

[0029] 本文描述的某些实施例包括被配置用于植入人的一对左眼和右眼的透镜对。透镜对包括第一透镜。第一透镜可以包括包含了透明材料的镜片。第一透镜的镜片可以具有前表面和后表面。前表面可以包括非球面表面。当第一透镜的镜片被插入具有2至6毫米、3至6毫米或4至6毫米的孔径尺寸(例如,孔径尺寸可以为2mm、3mm、4mm、6mm、在这些范围内的任何值、或由这些值形成的任何范围)的模型眼中时,第一透镜的前表面和后表面可以被成形为提供平均调制传递函数(MTF)值,针对在0至2.0屈光度或0至2.5屈光度(D)的范围内的至

少90%的物体聚散度,该平均MTF值在100线每毫米处为0.1至0.4之间。第一透镜的平均MTF值可以包括由用于轴上物体的明视光度函数加权的在约400至700nm之间的波长上积分的100线每毫米处的MTF值。

[0030] 透镜对还包括第二透镜。第二透镜可以包括包含了透明材料的镜片。第二透镜的镜片可以具有前表面和后表面。前表面可以包括非球面表面。当第二透镜的镜片被插入具有2至6毫米、3至6毫米或4至6毫米的孔径尺寸(例如,孔径尺寸可以为2mm、3mm、4mm、6mm、在这些范围内的任何值、或由这些值形成的任何范围)的模型眼中时,第二透镜的前表面和后表面被成形为提供平均调制传递函数(MTF)值,针对在-2.0至0屈光度或-2.5至0屈光度(D)的范围内的至少90%的物体聚散度,该平均MTF值在100线每毫米处为0.1和0.4之间。第二透镜的平均MTF值包括由用于轴上物体的明视光度函数加权的在约400到700nm之间的波长上积分的100线每毫米处的MTF值。

[0031] 模型眼可以包括Liou-Brennan模型眼。可替代地,模型眼可以包括Badal模型眼。此外,模型眼可以包括Arizona模型眼或Indiana模型眼。可以使用其他标准化或等效的模型眼。

[0032] 在透镜对的各种实施例中,当第一透镜或第二透镜的镜片以有晶状体眼构造被插入模型眼中时,可以提供第一透镜或第二透镜的调制传递函数值。在各种其他实施例中,当第一透镜或第二透镜的镜片以无晶状体眼构造被插入模型眼中时,可以提供第一透镜或第二透镜的调制传递函数值。

[0033] 在透镜对的各种实施例中,第一透镜或第二透镜可以进一步包括触觉部分。第一透镜或第二透镜的镜片可以具有光轴以及通过光轴在约100-700微米之间的厚度。在其他实施例中,第一透镜或第二透镜的镜片可以具有光轴以及通过光轴在约700微米-4毫米之间的厚度。在一些这样的实施例中,沿着光轴的厚度可以在约700微米-3毫米之间、约700微米-2毫米之间、约700微米-1毫米之间、或由这些范围内的任何值形成的任何范围之间。

[0034] 在透镜对的各种实施例中,第一透镜的前表面和后表面可以被成形为提供平均调制传递函数(MTF)值,针对在0至2.5屈光度(D)的范围内的至少95%或98%的物体聚散度,该平均MTF值在100线每毫米处为0.1至0.4之间。

[0035] 在透镜对的各种实施例中,第二透镜的前表面和后表面可以成形为提供平均调制传递函数(MTF)值,针对在-2.5至0屈光度(D)的范围内的至少95%或98%的物体聚散度,该平均MTF值在100线每毫米处为0.1至0.4之间。

[0036] 在透镜对的各种实施例中,当镜片插入模型眼中时,第一透镜的前表面和后表面可以被成形为针对0至2.5的屈光度(D)的范围内的至少90%、95%、98%、99%或100%的物体聚散度在没有相位反转的情况下提供调制传递函数(MTF)。

[0037] 在透镜对的各种实施例中,当镜片插入模型眼中时,第二透镜的前表面和后表面可以被成形为针对-2.5至0的屈光度(D)的范围内的至少90%、95%、98%、99%或100%的物体聚散度在没有相位反转的情况下提供调制传递函数(MTF)。

[0038] 本文描述的某些实施例包括被配置用于植入人的眼睛中的透镜。该透镜可以包括包含了透明材料的镜片。镜片可以具有前表面和后表面。前表面和后表面中的每个可以具有表面顶点。镜片可以具有穿过表面顶点的光轴。前表面和后表面中的至少一个可以包括具有第一部分和第二部分的表面。第一部分可以围绕光轴而中心地布置。第二部分可以围

绕第一部分并且可以具有与第一部分不同的表面轮廓。第一部分可以被配置为提供扩展的景深。第二部分可以被配置为与第一部分相比提供在距离上的增强的视觉质量度量。

[0039] 在一些这样的实施例中,距离可以包括在无穷远到2米之间的物体,或者距离可以包括0D聚散度。在透镜的各种实施例中,透镜还可包括围绕第二部分的第三部分。第三部分可以具有与第二部分不同的表面轮廓。在一些实施例中,第三部分可以具有与第一分类似的表面轮廓。第二部分可以被配置为与第三部分相比提供在距离上的增强的视觉质量度量。例如,增强的视觉质量度量可以是调制传递函数、对比敏感度、其导出或其组合。在一些实施例中,第一部分的形状可以包括圆锥、双锥或双非球面包络,其由包括距光轴的径向距离的非球面高阶函数的包络的扰动而偏移。

[0040] 本文描述的某些实施例包括被配置用于植入人的眼睛中的透镜。该透镜可以包括包含了透明材料的镜片。镜片可以具有前表面和后表面。前表面和后表面中的每个可以具有表面顶点。镜片可以具有穿过表面顶点的光轴。前表面和后表面中的至少一个可以包括具有第一部分和第二部分的表面。第一部分的形状可以包括圆锥、双锥或双非球面包络,其由包括距光轴的径向距离的非球面高阶函数的关于包络的扰动而偏移。第二部分的形状可以包括圆锥、双锥或双非球面包络,其未由包括距光轴的径向距离的非球面高阶函数的包络的扰动而偏移。

[0041] 在透镜的各种实施例中,第一部分可以围绕光轴而中心地布置。第二部分可围绕第一部分。在一些实施例中,透镜可以包括围绕第二部分的第三部分。第三部分的形状可以包括圆锥、双锥或双非球面包络,其由包括距光轴的径向距离的非球面高阶函数的关于包络的扰动而偏移。在一些这样的实施例中,第三部分可以具有与第一部分基本上相同的圆锥、双锥或双非球面的包络,其由包括距光轴的径向距离的非球面高阶函数的关于包络的扰动而偏移。

[0042] 本文描述的某些实施例包括被配置用于植入人的眼睛中的透镜。该透镜可以包括包含了透明材料的镜片。镜片可以具有前表面和后表面。前表面和后表面中的每个可以具有表面顶点。镜片可以具有穿过表面顶点的光轴。前表面和后表面中的至少一个可以包括具有第一部分和第二部分的表面。第一部分可以围绕光轴而中心地布置。第二部分可以围绕第一部分。第一部分可以具有更高的球面像差控制,其提供相比第二部分而言扩展的景深。

[0043] 在各种实施例中,透镜可以包括围绕第二部分的第三部分。第三部分可以具有更高的球面像差控制,其提供相比第二部分而言扩展的景深。第三部分可以具有与第一部分基本相同的球面像差控制。第一部分的形状可以包括圆锥、双锥或双非球面的包络,其包括距光轴的径向距离的非球面高阶函数的来自包络的扰动而偏移。

[0044] 在具有第三部分的透镜的各种实施例中,第三部分的形状可以包括圆锥、双锥或双非球面包络,其由来自包络的扰动而偏移。

[0045] 在具有包括由包括了距光轴的径向距离的非球面高阶函数的来自包络的扰动而偏移的圆锥、双锥或双非球面包络的形状的透镜的各种实施例中,非球面高阶函数可以包括至少一个偶数阶项 $a_{2n}r^{2n}$ ,其中n是整数,并且 $a_{2n}$ 是系数,并且r是距光轴的径向距离。例如,非球面高阶函数可以包括二阶项, $a_2r^2$ ,其中 $a_2$ 是系数,并且r是距光轴的径向距离。作为另一示例,非球面高阶函数可以包括四阶项, $a_4r^4$ ,其中 $a_4$ 是系数,并且r是距光轴的径向距

离。非球面高阶函数还可以包括六阶项,  $a_6r^6$ , 其中  $a_6$  是系数, 并且  $r$  是距光轴的径向距离。此外, 非球面高阶函数可以包括八阶项,  $a_8r^8$ , 其中  $a_8$  是系数, 并且  $r$  是距光轴的径向距离。

[0046] 在具有第一部分和第二部分的透镜的各种实施例中, 透镜还可以包括提供第一部分和第二部分之间没有不连续的平滑过渡的过渡部分。过渡部分可以具有在约0.1-1mm范围内的内半径与外半径之间的距离。第一部分可以具有在约2.5-4.5mm范围内的最大横截面直径。例如, 第一部分可以具有约3.75mm的最大横截面直径。第二部分可以具有在约1-3.5mm范围内的内半径与外半径之间的距离。在一些实施例中, 第二部分可以具有在约0.25-1.5mm范围内的内半径与外半径之间的距离。

[0047] 在透镜的各种实施例中, 镜片可以具有沿着光轴在约100-700微米的范围内 (或由该范围内的任何值形成的任何范围) 的厚度。可替代地, 镜片可以具有沿着光轴在约700微米至4毫米的范围内 (或由该范围内的任何值形成的任何范围) 的厚度。在各种实施例中, 透镜还可以包括相对于镜片被布置的至少一个触觉件, 以在被植入眼睛中时将镜片附着在其中。在一些实施例中, 前表面可以包括具有第一部分和第二部分的表面。后表面可以包括具有双锥包络的形状。

[0048] 本文描述的某些实施例包括被配置用于植入人的眼睛中的透镜。该透镜可以包括包含了透明材料的镜片。镜片可以具有前表面和后表面。前表面和后表面中的每个可以具有表面顶点。镜片可以具有穿过表面顶点的光轴。前表面和后表面中的至少一个可以包括具有第一部分和第二部分的表面。第一部分可以围绕光轴而中心地布置。第二部分可以围绕第一部分。第一部分可以被配置为提供扩展的景深。第二部分可以被配置为提供单焦点距离聚焦。

[0049] 在一些这样的实施例中, 透镜还可以包括围绕第二部分的第三部分。第三部分可以被配置为提供扩展的景深。第一部分的形状可以包括圆锥、双锥或双非球面包络, 其由包括距光轴的径向距离的非球面高阶函数的关于包络的扰动而偏移。另外, 第三部分的形状可以包括圆锥、双锥或双非球面包络, 其由包括距光轴的径向距离的非球面高阶函数的关于包络的扰动而偏移。

[0050] 在具有第一部分和第二部分的透镜的各种实施例中, 第一部分和第二部分中的每个可以具有焦散面。第二部分可以具有圆锥常数, 使得第二部分的焦散面与第一部分的焦散面平滑地混合。在一些示例中, 相比如果第二部分包括球面表面而言, 第二部分的焦散面与第一部分的焦散面更平滑地混合。在具有第三部分的透镜的各种实施例中, 第二部分和第三部分可以具有焦散面。第二部分可以具有圆锥常数, 使得第二部分的焦散面与第三部分的焦散面平滑地混合。在一些示例中, 相比如果第二部分包括球面表面而言, 第二部分的焦散面与第三部分的焦散面更平滑地混合。

[0051] 在具有第一部分和第二部分的透镜的某些实施例中, 前表面可以是凸的。后表面可以是凹的。例如, 前表面可以是凸的, 并且后表面可以是凹的, 使得镜片是弯月形的。在各种其他实施例中, 后表面可以是凸的。在一些实施例中, 前表面可以是凹的。此外, 在具有第一部分和第二部分的透镜的各种实施例中, 第二部分的形状可以包括圆锥、双锥或双非球面包络, 其未由包括距光轴的径向距离的非球面高阶函数的包络的扰动而偏移。

## 附图说明

- [0052] 图1是人眼的示意图。
- [0053] 图2是根据本文描述的某些实施例的示例性透镜。
- [0054] 图3A是根据本文描述的被植入眼睛中的某些实施例的示例性透镜200的超声波。图3B是图2中示出的示例性透镜的横截面侧视图。
- [0055] 图4是图2中示出的透镜的镜片的横截面侧视图的示意图。
- [0056] 图5A是示例性正弯月面(meniscus)镜片的示意图。
- [0057] 图5B是示例性负弯月面镜片的示意图。
- [0058] 图6A示意性地示出了对象空间中的景深和图像空间中的焦深。
- [0059] 图6B示意性地示出了图像焦散面和弥散圆。
- [0060] 图6C示意性地示出了标准球面透镜和理想化的超焦距眼的散焦曲线。
- [0061] 图6D示意性地示出了根据本文描述的某些实施例的用于评估和设计透镜的示例模型。
- [0062] 图7A-7B是具有被配置为提供扩展的景深的第一部分以及被配置为提供增强的远近视力的第二部分的镜片的示例性前表面和/或后表面的示意图。
- [0063] 图8A-8B是具有被配置为提供扩展的景深的第一部分以及被配置为提供增强的远近视力的第二部分的镜片的另一示例性前表面和/或后表面的示意图。

## 具体实施方式

- [0064] 使用眼镜和隐形眼镜校正了视力问题,诸如近视(近视眼)、远视(远视眼)和散光。手术技术(例如激光辅助原位角膜磨镶术(LASIK))已经变得更加常见,以帮助解决眼镜和隐形眼镜的不便。在LASIK中,激光被用于切割角膜中的瓣以进入下面的组织,并改变角膜的形状。另外,人工晶状体(IOL)已经被用于通过使用被配置为被固定在囊袋内的人工晶状体替换天然晶状体来帮助治疗近视和白内障(眼睛的天然晶状体的混浊)。
- [0065] 治疗视力缺陷的另一种解决方案是使用有晶状体眼IOL(phakic IOL)。有晶状体眼IOL是在不移除天然晶状体的情况下被植入眼中的透明透镜。因此,有晶状体眼IOL与角膜和晶状体一起提供用于将物体成像到视网膜上的光焦度(相比之下,人工晶状体IOL是被植入眼睛中的透镜,以替代天然晶状体,例如在如上描述的移除混浊的天然晶状体以治疗白内障之后)。可以采用有晶状体眼IOL的植入来矫正近视、远视、以及散光,使患者免受眼镜和隐形眼镜的不便。也可以移除有晶状体眼IOL,使眼睛的镜片回到自然状态,或者被替代以解决改变视力矫正或眼睛的增强需求。
- [0066] 随着年龄的增长,人们形成老花眼(不能聚焦于近处物体上),这已经使用老花镜来解决,以便在适应近处物体不再可实现时提供额外的屈光力丧失。也已经使用了为近视和远视提供离散焦点的多焦点隐形眼镜和IOL,但是在对比敏感度中的损失和患者视场中同轴重影图像的存在使得这种解决方案的接受受到限制。
- [0067] 本文描述的某些实施例可以有利地提供具有扩展的景深和增强的视力的用于视力矫正的眼科植入物,包括但不限于近视、远视、散光、白内障和/或老花眼。在各种实施例中,眼科植入物包括被配置用于植入患者眼睛(例如人)中的透镜。这种透镜对于治疗中年人群的老花眼和老花眼发病特别有用。

[0068] 某些实施例可以包括有晶状体眼透镜植入物,其中透镜可被植入天然晶状体120的前面,诸如在角膜110和虹膜115之间。其它实施例被配置为被放置在虹膜115和天然晶状体120之间。一些示例性实施例包括用于治疗近视、远视、散光和/或老花眼的透镜。

[0069] 一些其它实施例可以包括在移除晶状体120之后被植入在眼睛内(例如在囊袋中)的人工晶状体。如上面讨论的,人工晶状体可以被用于治疗白内障以及用于提供屈光矫正。

[0070] 图2是根据本文描述的各种实施例的示例性透镜200。透镜200可以包括光学区域或镜片201。镜片201透射和聚焦,例如折射由透镜200接收到的光。如本文将更详细描述,镜片201可以包括被设计成折射和聚焦光并增加景深和视力的镜片201的一个或多个表面的表面形状。例如,在一些实施例中,镜片201的表面的表面形状可以被设计成使得镜片201能够连续聚焦光以用于高视力,例如20/20视力,用于到视网膜上的宽范围的物体聚散度(例如,在至少约0至约2.5屈光度的范围内的聚散度,在一些实施方式中从至少约0屈光度至至少约1.8、1.9、2.0、2.1、2.2、2.3、2.4、2.5、2.6、2.7、2.8、2.9或3.0屈光度或可能从至少约0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6或0.7屈光度至至少约2.5、2.6、2.7、2.8、2.9或3.0屈光度)以增加景深。此外,在一些实施例中,镜片201的表面的表面形状可以被设计成使得图像基本上是同轴的并且具有基本相似的大小以减少重影图像的存在。

[0071] 如图2中示出的,示例性透镜200还可以包括触觉件205。在一些实施例中,触觉件205可以包括一个或多个触觉件或触觉部分205a、205b、205c和205d,以将透镜稳定在眼睛中并将透镜200附接到眼睛。例如,在图2中,触觉部分205a、205b、205c和205d围绕镜片201被布置,以在植入眼睛时将镜片201附着在其中。在各种实施例中,透镜并且特别是触觉件被配置为被植入囊袋外,例如,推进了天然晶状体如用于有晶状体眼IOL设计。如上面讨论的,有晶状体眼IOL植入物可被配置用于在虹膜和天然晶状体之间进行植入。因此,在某些实施例中,触觉件205是拱顶的,使得镜片201沿着眼睛的中心光轴在触觉部分205a-205d之间的接触点的位置前部的位置处被布置。该构造增强了镜片201和在有晶状体眼中的天然晶状体之间的间隙,该天然晶状体在眼睛容纳时会弯曲。在一些情况下,触觉件205被配置为在被植入时为天然晶状体提供最小间隙,其减少、最小化或防止天然晶状体的前表面与镜片201的后表面之间的接触。利用某些材料,允许镜片201与天然晶状体的前表面之间的接触。在一些实施例中,透镜200可以跨瞳孔或虹膜115的开口被植入,并且在适当位置时,触觉部分205a、205b、205c和205d可被放置在虹膜115下方。虽然在图2中示出的触觉件205包括延伸的拐角部分形状中的四个触觉部分205a、205b、205c和205d,但是触觉件或触觉部分的形状、尺寸和数量没有特别被限制。

[0072] 在各种实施方式中,例如,透镜被配置用于在移除天然晶状体之后植入囊袋内。这种人工晶状体可以具有适于在植入后在囊袋内提供牢固的放置和方向的形状、尺寸和/或数量的触觉件。图3A是根据本文描述的被植入眼睛中的某些实施例的示例性透镜200的超声波。

[0073] 镜片201可以包括透明材料。例如,透明材料可以包括胶原共聚物材料、水凝胶、硅胶和/或丙烯酸。在一些实施例中,透明材料可以包括疏水材料。在其它实施例中,透明材料可以包括亲水材料。已知或尚待开发的其它材料可以被用于镜片201。

[0074] 镜片201的某些实施例可以有利地包括胶原共聚物材料,例如类似于加利福尼亚州蒙罗维亚的 **STAAR® Surgical**公司在 **Collamer®** IOL中使用的材料。示例性胶原共聚

物材料是甲基丙烯酸羟乙酯 (HEMA) / 基于猪胶原的生物相容性聚合物材料。由于胶原共聚物材料可以具有与人类晶状体相似的特征, 因此本文描述的透镜的某些实施例可以与天然晶状体类似地光学地执行。例如, 在一些实施例中, 由于抗反射性质和水含量约为40%, 所以利用胶原共聚物材料制成的透镜200可以与天然人类晶状体类似的透射光。与其他透镜材料制成的透镜相比, 较少的光线可以被反射在眼睛内, 导致更清晰、更清楚的视力, 并且更少出现眩光、光晕或夜间视力不佳。

[0075] 在利用胶原共聚物材料制成的透镜200的一些实施例中, 透镜200可以是柔性的, 允许容易地植入眼睛内。另外, 由于胶原共聚物材料由胶原蛋白制成, 所以透镜200的各种实施例与眼睛生物相容。在一些实施例中, 透镜200可以吸引纤连蛋白, 其是在眼睛中天然发现的物质。可以在透镜200周围形成纤连蛋白层, 抑制白细胞与透镜200的粘附。纤连蛋白的涂层可以有助于防止透镜200被识别为异物。另外, 与其包含的胶原蛋白一样, 透镜200的各种实施例可以携带轻微的负电荷。由于眼睛中的蛋白质也携带负电荷, 因为这两个负力沿着透镜200的边界相遇, 所以电荷排斥可以帮助将蛋白质从透镜200推开。像这样, 透镜200可以自然地保持自身清洁和清楚。

[0076] 此外, 在一些实施例中, 透镜200可以包括紫外线 (UV) 阻滞剂。这种阻滞剂可以帮助防止有害的UVA和UVB射线进入眼睛。因此, 某些实施例可以帮助防止UV相关的眼睛疾病的发展。

[0077] 在一些实施例中, 触觉件205 (或者触觉部分205a、205b、205c和205d中的一个或多个) 也可以由与镜片201相同的材料制成。例如, 触觉件205可以由胶原共聚物、水凝胶、硅胶和/或丙烯酸制成。在一些实施例中, 触觉件205可以包括疏水材料。在其他实施例中, 触觉件205可以包括亲水材料。已知或尚待开发的其它材料也可以被用于触觉件205。

[0078] 透镜200可以通过金刚石车削、模制或本领域已知的或尚待开发的其它技术来制造。在利用胶原共聚物材料制造的透镜200的一些实施例中, 透镜200可以在干燥状态下被加工, 随后水合以使透镜200稳定。对于其它材料也可采用类似的方法。

[0079] 图3B是图2中示出的示例性透镜200的横截面侧视图; 并且图4是透镜200的镜片201的横截面侧视图的示意图。镜片201具有前表面201a和后表面201b。镜片201还具有透镜的光轴穿过的中心以及沿着光轴的中心的厚度 $T_c$ 。光轴穿过前表面201a和后表面201b的表面顶点。镜片201的精确尺寸可以取决于患者的瞳孔尺寸、透镜200的材料和患者的处方。在一些实施例中, 例如, 对于有晶状体眼透镜, 可以使镜片201的中心 $T_c$ 处的厚度相对较薄。例如, 镜片201的中心 $T_c$ 处的厚度可以为约100至约700微米、约100至约600微米、约100至约500微米、约100至约400微米、约100至约300微米、或约100至约200微米, 使得透镜200对于患者和其他可能相对不明显。较薄的透镜还简化透镜通过眼睛组织 (例如角膜) 的插入过程。例如, 镜片可具有沿着光轴约110、115、120、130、140或150至约200、300或400微米、任何这些厚度之间的任何值或由任何这些厚度形成的任何范围的厚度。因此, 镜片201的中心 $T_c$ 处的厚度可以是上述值之间的任何厚度, 例如在以下任何之间的范围内的厚度: 100微米、110微米、115微米、120微米、130微米、140微米、150微米、200微米、250微米、300微米、350微米、400微米、450微米、500微米、550微米、600微米、650微米或700微米。

[0080] 在一些其他实施例中, 例如, 对于其中透镜201替代天然晶状体的人工晶状体, 镜片201的中心 $T_c$ 处的厚度可以比有晶状体眼透镜的厚度更厚, 例如约700微米至约4mm、约

700微米至约3mm、约700微米至约2mm、约700微米至约1mm、在这些范围之间的任何值、或由这些范围中的任何值形成的任何范围。例如，镜片201的中心 $T_c$ 处的厚度可以是约700微米、约800微米、约900微米、约1毫米、约1.5毫米、约2毫米、约2.5毫米、约3毫米、约3.5毫米、或约4毫米或其间的范围。然而，即使对于人工晶状体，透镜也可以采用较小的厚度 $T_c$ ，例如，在约300微米至700微米之间的厚度，例如300微米、400微米、500微米、600微米或700微米，或其间的任何范围，诸如300至400微米、400至500微米、500至600微米。

[0081] 根据本文描述的某些实施例，前表面201a是凸的，并且后表面201b是凹的，使得镜片201是弯月形的。图5A和图5B是弯月形的镜片201的示例性横截面侧视图。当例如在有晶状体眼透镜中被使用时，弯月形镜片201可以是非常有利的。例如，当被植入在虹膜的后面（或后部）并且在天然晶状体前面（或前部）时，镜片201的凸前表面201a可以帮助防止与该表面201a相邻的虹膜的磨损，并且镜片201a的凹后表面201b可以帮助防止对与表面201b相邻的天然晶状体的损伤，这可能导致例如白内障。

[0082] 弯月形的镜片可以被描述为正的或负的。如图5A中示出的，正弯月面镜片301具有比凹表面301b更陡的弯曲凸表面301a，并且在中心 $T_c$ （光轴经过的）处具有比在边缘 $T_e$ 处更厚的厚度。相反，如图5B中示出的，负弯月面镜片401具有比凸表面401a更陡的弯曲凹表面401b，并且在边缘 $T_e$ 处具有比在中心 $T_c$ 处更厚的厚度。在某些实施例中，可以使用正弯月面镜片来治疗远视，而在其他实施例中，可以使用负弯月面镜片来治疗近视。

[0083] 在各种实施例中，镜片201不是弯月形的。例如，在一些实施例中，前表面201a基本上是平的，并且后表面201b是凹的，使得镜片201是平凹的。在其它实施例中，前表面201a和后表面201b都是凹的，使得镜片201是双凹的。在进一步的实施例中，前表面201a是凸的，并且后表面201b基本上是平的，使得镜片201是平凸的。在又进一步的实施例中，前表面201a和后表面201b都是凸的，使得镜片201是双凸的。

[0084] 在某些实施例中，镜片201的前表面201a和/或后表面201b可包括非球面表面。例如，镜片201的前表面201a和/或后表面201b可以包括不是球面的一部分的表面形状。在各种实施例中，前表面201a和/或后表面201b可以是旋转对称的。例如，非球面形状的表面轮廓或凹陷可以包括至少一个圆锥项。圆锥项可以被描述为：

$$[0085] \quad z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}}, \quad (1)$$

[0086] 其中 $c$ 是表面的曲率（或半径的倒数）， $k$ 是圆锥常数，并且 $r$ 是距表面顶点的径向距离。

[0087] 在一些实施例中，非球面形状可以包括由包括了例如距表面顶点的径向距离的高阶函数的扰动而偏移的圆锥。因此，非球面形状的凹陷可以包括圆锥项和距表面顶点的径向距离的高阶函数。高阶函数可以描述来自圆锥项的非球面扰动。在一些实施例中，高阶函数可以包括至少一个偶数阶项 $a_{2n}r^{2n}$ ，其中 $n$ 是整数， $a_{2n}$ 是系数，并且 $r$ 是距表面顶点的径向距离。例如，可以使用圆锥项和偶次幂多项式项来描述非球面形状（例如，描述均匀的非球面）：

$$[0088] \quad z(r) = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + a_2r^2 + a_4r^4 + a_6r^6 + a_8r^8 + \dots \quad (2)$$

[0089] 如在示例等式(2)中可以看出，高阶函数可以包括至少二阶项( $a_2r^2$ )、四阶项

( $a_4r^4$ )、六阶项( $a_6r^6$ )和/或八阶项( $a_8r^8$ )。在一些实施例中,高阶函数可以包括一个或多个奇数阶项。例如,高阶函数可以仅包括奇数阶项,或者偶数阶项和奇数阶项的组合。

[0090] 如等式(2)中还示出的,表面形状可以取决于圆锥常数 $k$ 。如果圆锥常数 $k=0$ ,则表面为球面。因此,在一些实施例中, $k$ 具有至少为零的大小,使得 $|k| \geq 0$ 。在一些实施例中, $k$ 具有大于零的大小,使得 $|k| > 0$ 。在各种实施例中, $k$ 具有至少一的大小,使得 $|k| \geq 1$ 。在一些实施例中, $|k| \geq 2$ 、 $|k| \geq 3$ 、 $|k| \geq 5$ 、 $|k| \geq 7$ 或 $|k| \geq 10$ 。例如 $k \leq -1$ 、 $k \leq -2$ 、 $k \leq -3$ 、 $k \leq -5$ 、 $k \leq -7$ 、 $k \leq -10$ 。因此,在各种实施例中,表面具有双曲线的形状。然而,在某些实施例中,圆锥常数的大小可以小于一,例如 $0 \leq |k| \leq 1$ 。

[0091] 在各种实施例中,前表面201a和/或后表面201b可以是旋转非对称的,并且沿着通过镜片201的中心和/或光轴的不同方向具有不同的曲率。例如,前表面201a和/或后表面201b可以沿着通过镜片201的中心的正交方向具有不同的曲率。某些这样的实施例对于治疗散光可以是有利的,其中可以期望沿着不同方向(子午线)的校正。

[0092] 在一些实施例中,旋转非对称表面的凹陷可以包括至少双锥项。双锥表面可以类似于环形表面,其中圆锥常数 $k$ 和半径在 $x$ 和 $y$ 方向上不同。双锥项可以被描述为:

$$[0093] \quad z = \frac{c_x x^2 + c_y y^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k_x)c_x^2 x^2 - (1+k_y)c_y^2 y^2}}, \quad (3)$$

[0094] 其中 $c_x$ 是 $x$ 方向上的表面的曲率(或 $x$ 方向上的半径的倒数),并且 $c_y$ 是 $y$ 方向上的表面的曲率(或 $y$ 方向上的半径的倒数),而 $k_x$ 是 $x$ 方向的圆锥常数,并且 $k_y$ 是 $y$ 方向的圆锥常数。

[0095] 在一些实施例中,非球面形状可以包括由包括了距表面顶点的径向距离的高阶函数的扰动而偏移的双锥。因此,类似于等式(2),非球面形状的凹陷可以包括双锥项和高阶函数。高阶函数可以包括至少一个偶数阶项,例如至少二阶项( $a_2r^2$ )、四阶项( $a_4r^4$ )、六阶项( $a_6r^6$ )和/或八阶项( $a_8r^8$ )。例如,类似于等式(2),高阶函数可以是 $a_2r^2 + a_4r^4 + a_6r^6 + a_8r^8 + \dots$ 。

[0096] 在一些实施例中,高阶函数可以包括一个或多个奇数阶项。例如,高阶函数可以仅包括奇数阶项,或偶数阶项和奇数阶项的组合。

[0097] 因此,如本文描述的,镜片201的前表面201a和/或后表面201b可以具有包括圆锥项(具有或不具有高阶函数)或双锥项(具有或不具有高阶函数)的形状。

[0098] 用于老花眼和/或散光的视力矫正的一个示例包括两者都具有非球面表面的前表面201a和后表面201b。前表面201a的非球面表面具有包括由包括了二阶项、四阶项、六阶项和八阶项的扰动而偏移的圆锥项的形状;并且后表面201b的非球面表面具有包括双锥项的形状。示例性非球面前表面201a的凹陷可以被给出为:

$$[0099] \quad z(r) = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2 r^2}} + a_2 r^2 + a_4 r^4 + a_6 r^6 + a_8 r^8. \quad (4)$$

[0100] 此外,示例性后表面201b的凹陷可以是双锥的,可以被给出为:

$$[0101] \quad z = \frac{c_x x^2 + c_y y^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k_x)c_x^2 x^2 - (1+k_y)c_y^2 y^2}}, \quad (5)$$

[0102] 这与等式(3)类似。这种透镜的某些实施例可以是但不限于弯月形透镜。

[0103] 其他示例是可能的。在某些实施例中,镜片201的特定形状(例如,前表面的曲率、

后表面的曲率、圆锥常数、高阶函数的系数等)可以取决于患者的处方。

[0104] 作为一些示例,对于具有在约-18D至约6D球面(具有0至约2D柱面、具有0至约3D柱面或具有0至约4D柱面)之间的标称屈光度的透镜,在某些实施例中可以使用以下非限制性示例性设计参数。前表面的半径 $R$ (例如,曲率的倒数)可以在约-100mm至约100mm、约-50mm至约50mm、约-10mm至约10mm、或约-5mm至约5mm之间。在一些示例中,前表面的 $R$ 可以在约-1mm至约1mm或0至约1mm之间。例如,前表面的半径可以在0至约 $1 \times 10^{-2}$ mm之间、在约 $1 \times 10^{-7}$ mm至约 $5 \times 10^{-3}$ mm之间、约 $1 \times 10^{-6}$ mm至约 $1 \times 10^{-3}$ mm之间、或约 $5 \times 10^{-6}$ mm至约 $5 \times 10^{-4}$ mm之间。

[0105] 如本文描述的,在各种实施例中,前表面的 $k$ 可以具有大于零的大小,使得 $|k| > 0$ 。在一些实施例中, $k$ 具有至少一的大小,使得 $|k| \geq 1$ 。在一些实施例, $|k| \geq 2$ 、 $|k| \geq 3$ 、 $|k| \geq 5$ 、 $|k| \geq 7$ 或 $|k| \geq 10$ 。例如, $k \leq -1$ 、 $k \leq -2$ 、 $k \leq -3$ 、 $k \leq -5$ 、 $k \leq -7$ 、 $k \leq -10$ 。在一些实施例中, $k < -10$ 。例如,在一些实施例中, $k$ 可以在约 $-1 \times 10^6$ 至-100之间、约 $-5 \times 10^5$ 至约 $-5 \times 10^4$ 之间、或约 $-3 \times 10^5$ 至约 $-2 \times 10^5$ 之间。

[0106] 因此,在各种实施例中,前表面的圆锥常数与前表面的曲率半径的比率的大小可以在 $10^4$ 和 $10^{14}$ 之间、在 $10^6$ 和 $10^{12}$ 之间、在 $10^8$ 和 $10^{11}$ 之间、在 $10^9$ 和 $10^{11}$ 之间、在 $10^8$ 和 $10^{10}$ 之间、在 $10^9$ 和 $10^{10}$ 之间,在各种实施例中。

[0107] 在各种实施例中,用于前表面的二阶项的系数 $a_2$ 可以在0至约1之间。例如, $a_2$ 可以在0至约0.5之间、在约0.001至约0.3之间或在约0.005至约0.2之间。

[0108] 在各种实施例中,用于前表面的四阶项的系数 $a_4$ 可以在约-1至0之间。例如, $a_4$ 可以在约-0.1至0之间、在约-0.05至约 $-1 \times 10^{-4}$ 之间、或在约-0.01至约 $-1 \times 10^{-3}$ 之间。

[0109] 在各种实施例中,用于前表面的六阶项的系数 $a_6$ 可以在0至约1之间。例如, $a_6$ 可以在0至约0.1之间、在0至约0.01之间或在约0.0001至约0.001之间。

[0110] 另外,在各种实施例中,用于前表面的八阶项的系数 $a_8$ 可以在约-1至0之间。例如, $a_8$ 可以在约-0.001至0之间、约-0.0005至0之间或约-0.0001至0之间。

[0111] 此外,对于具有约-18D至约6D球面(具有0至约2D柱面、具有0至约3D柱面或具有0至约4D柱面)之间的标称屈光度的透镜,在用于后表面的某些实施例中可以使用以下非限制性示例性设计参数。在 $y$ 方向上的后表面的半径 $R_y$ (例如, $y$ 方向上的曲率的倒数)可以在0至约20mm之间。例如,后表面的半径 $R_y$ 可以在0至约15mm之间、约2mm至约13mm之间、或约3mm至约14mm之间、或约4mm至约10mm之间。

[0112] 在各种实施例中,后表面的 $k_y$ 可以在约-20至约20之间、约-18至约15之间或约-15至约5之间。在一些这样的实施例中,后表面的 $k_y$ 不一定具有至少一的大小。例如, $k_y$ 可以在约-1至约1之间。在各种实施例中, $|k_y|$ 大于零。

[0113] 后表面在 $x$ 方向上的半径 $R_x$ (例如, $x$ 方向上的曲率的倒数)可以在0至约20mm之间。例如,后表面的半径可以在0至约15mm之间、0至约12mm之间、或0至约10mm之间。

[0114] 在各种实施例中,后表面的 $k_x$ 可以在约-25至0之间、约-20至0之间、约-18至0之间、约-17.5至0或约-15.5至0之间。在各种实施例中, $|k_x|$ 大于零。

[0115] 虽然针对前表面给出了具有上述给定的标称屈光度的透镜的 $R$ 、 $k$ 、 $a_2$ 、 $a_4$ 、 $a_6$ 和 $a_8$ 的示例性设计参数,并且针对后表面给出了 $R_y$ 、 $k_y$ 、 $R_x$ 和 $k_x$ 的示例性设计参数,但是针对 $R$ 、 $k$ 、 $a_2$ 、 $a_4$ 、 $a_6$ 和 $a_8$ 的值的范围可以被用于后表面,并且针对 $R_y$ 、 $k_y$ 、 $R_x$ 和 $k_x$ 的值的范围可以被用于前表面。另外,虽然前表面包括高阶非球面扰动项(例如, $a_2$ 、 $a_4$ 、 $a_6$ 和 $a_8$ ),但是高阶非球面扰动

项(例如,  $a_2$ 、 $a_4$ 、 $a_6$ 和 $a_8$ )可以被用于后表面以取代前表面或者前表面和后表面。这些范围中的任何一个或多个值可以被用于这些设计的任何一个中。

[0116] 此外,如本文描述的,各种实施例的特定形状可被设计成增加景深并增加视力。如图6A中示出的,景深可以被描述为看起来处于聚焦的对象空间中的主体之前和之外的距离。焦深可以被描述为在图像空间中在透镜后面存在多少距离的测量结果,其中图像将保持聚焦。为了增加景深,镜片201的前表面201a的表面形状和/或后表面201b的表面形状可以使得对于宽范围的物体聚散度,光线被聚焦到视网膜上或足够靠近视网膜。为了增加视力并减少重影,镜片201的前部201a的表面形状和/或后表面201b的表面形状也可以使得轴上物体的图像基本上是在轴上的,并且具有彼此相似的大小。

[0117] 在某些这样的实施例中,图像焦散面可以对于约0至约2.5屈光度或更高的聚散度范围进行塑造,尽管该范围可以更大或更小。如图6B中示出的,在一些实施例中,图像焦散面可以被描述为由光线网格产生的包络,并且散光圈可以被描述为由来自透镜的光线的圆锥引起的光点在对点源成像时没有成为完美的焦点。因此,可以塑造图像焦散面,使得散光圈基本上是稳定的,在沿着光轴的纵向位置的范围内具有相似的尺寸并且相对较小。该设计可以在沿着光轴的某些纵向位置处牺牲散光圈的尺寸,以允许对于其他纵向位置散光圈更大,其中最终结果是在纵向位置的范围内沿着光轴提供具有相似尺寸的散光圈。

[0118] 在某些实施例中,可以确定前表面201a的表面形状和/或后表面201b的表面形状,使得图像焦散面围绕眼睛的超焦距平面被塑造。在一些实施例中,超焦距距离可被描述为将最大允许的散光圈置于无穷远处的焦距、或产生最大景深的聚焦距离。因此,在某些实施例中,为了增加景深,镜片200的前表面201a的表面形状和/或后表面201b的表面形状可以使得光线被重新聚焦到超焦距距离。

[0119] 在各种实施例中,可以使用透镜的散焦曲线来评估和设计镜片201的前表面201a的表面形状和/或后表面201b的表面形状。散焦曲线可以描绘视网膜图像质量参数(诸如对比度)的响应作为不同聚散度的函数。无穷远处的物体具有0屈光度的聚散度。图6C示出了标准球面透镜和理想化的超焦距眼的散焦曲线。如图中示出的,虽然对比度可以降低(由于保留曲线下方的区域),但是理想化的超焦距眼对于聚散度的范围具有稳定的或基本稳定的(例如相似或基本上恒定的)对比度。

[0120] 在某些实施例中,诸如在最佳校正远距视力(BCDVA)条件下,镜片201的前表面201a的表面形状和/或后表面201b的表面形状可以使用Liou-Brennan模型眼来评估和/或设计。图6D示出了根据本文描述的利用Liou-Brennan模型眼来建模的示例性有晶状体眼透镜的示意图。如图6D中示出的,透镜200可以被定位在虹膜515与模型中的“天然”晶状体520的前面之间。如图6D中还示出的,该模型可以模拟通过角膜510、透镜200和“天然”晶状体520并且朝向视网膜530进入眼睛500的光线。该模型可以被用于约400纳米至约700纳米的范围之间的多色波长。该模型还可以与双梯度折射率透镜轮廓(例如,对散光进行建模)一起使用。根据本文描述的某些实施例的人工晶状体也可以利用Liou-Brennan模型眼进行建模,其中代替“天然”晶状体520而定位该透镜。

[0121] 也可以使用本领域已知的或尚待开发的其它模型。例如,镜片201的前表面201a的表面形状和/或后表面201b的表面形状也可以使用Badal模型眼、Arizona模型眼(Arizona大学模型)、Indiana模型眼(Indiana大学模型)、ISO模型眼、或任何标准化或等效的模型眼

来进行评估和/或设计。另外,可以使用本领域已知的或尚待开发的光线跟踪和/或设计软件来执行模拟。作为一个示例软件,华盛顿州雷德蒙德的Zemax有限责任公司的Zemax设计软件可以被用于一些实施例。环境的物理限制(例如将IOL放置在天然晶状体之前)对于有晶状体眼透镜设计执行模拟是有用的。这种模拟可以同时评估针对多个聚散度的性能(例如,跨整个瞳孔的RMS波前误差),其包括来自优化的优点函数中不同聚散度的贡献。因此,一致地评估多个波前以达到平衡设计,其通过沿着光轴的位置范围提供基本相似的尺寸的散光圈。也可以采用针对不同聚散度改变瞳孔尺寸。

[0122] 在某些实施例中,镜片201的前表面201a的表面形状和/或后表面201b的表面形状可以被有利地评估和设计,使得对于可见波长,来自轴上物体的光基本上在轴上聚焦,具有基本相似的大小,并且基本上在视网膜上在至少约0屈光度至约2.5屈光度的范围内。通过控制球面像差的不同阶数(例如,其可以与等式(2)中的高阶非球面项相关),以实现视网膜附近沿光轴的不同纵向位置的焦散面的基本上相似的尺寸横截面,并且当需要治疗散光患者时包括复曲面平衡和校正(例如,等式(3)中的双锥项),透镜200的径向焦度分布可以被描述为:

$$[0123] \quad \Phi(r) = a + br^2 + cr^4 + dr^6 + er^8, \quad (6)$$

[0124] 其中a、b、c、d和e是实数。另外,在各种实施例中,可以对镜片201的前表面201a的表面形状和/或后表面201b的表面形状进行评估和设计,以解释Stiles-Crawford效应。此外,表面形状也可以被设计成考虑随着照明和/或物体聚散度而变化的瞳孔尺寸。

[0125] 为了描述透镜200的性能,在一些实施例中可以使用调制传递函数(MTF)。例如,MTF可以描述透镜200以特定分辨率将对比度从对象传送到图像的能力。在透镜200的各种实施例中,当镜片201被插入眼睛中时,前表面201a和后表面201b可以被成形为提供在约400纳米至约700纳米(通过明视、暗视和/或间视分布加权的)的范围之间的波长的MTF值,其在至少约0屈光度至约2.0、2.1、2.2、2.3、2.4或2.5(或约2.6、2.7、2.8、2.9、3.0)的屈光度范围内针对至少约90%、至少约95%、至少约97%、至少约98%或至少约99%的物体聚散度在约100线对每毫米(例如,20/20视力)的空间频率下为约0.1至约0.4之间。例如,眼睛可以是具有至少约2毫米、至少约3毫米、至少约4毫米、例如2至6毫米、3至6毫米或4至6毫米的孔径直径的人眼。因此,MTF值可以为0.1、0.2、0.3或0.4或其间的任何范围。另外,在各种实施方式中,当所述镜片被插入具有2至6毫米、3至6毫米或4至6毫米的孔径尺寸的模型眼中时,针对0D至2.5D(或者替代地至2.0、2.1、2.2、2.3、2.4、2.6、2.7、2.8、2.9或3.0屈光度)的范围内至少90%、95%或97%、高达98%、99%或100%的物体聚散度的没有相位反转的情况下,前表面和后表面被成形为提供调制传递函数。在一些实施例中,当人眼包括晶状体时,可以在将晶状体201被插入晶状体前部时提供这样的MTF值。在其他实施例中,当人眼不包括晶状体时,可以在插入镜片201代替晶状体时提供这样的MTF值。MTF值可以包括平均MTF值,并且可以通过在由任何明视、暗视、间视分布或其组合加权的波长范围上积分来计算。

[0126] 作为其他示例,相对于人眼本身,眼睛可以是模仿人眼的模型眼(例如,Liou-Brennan、Badal、Arizona、Indiana、ISO模型眼、或任何标准化或等效的模型眼)。例如,在一些实施例中的模型眼还可以包括Liou-Brennan模型眼。在一些实施例中,当镜片201以有晶状体眼构造被插入模型眼中时,可以提供这样的MTF值。在其他实施例中,当镜片201以人工

晶状体构造被插入时,可以提供这样的MTF值。

[0127] 本文描述的各种实施方式包括可以被植入眼睛中(例如角膜的后部)的单折射透镜。在某些实施方式中,折射透镜被配置为被植入在虹膜和天然晶状体之间。在其他实施方式中,折射透镜被配置为在移除天然晶状体后被植入囊袋中。在各种实施方式中,折射透镜不是衍射透镜,并且在其表面上没有衍射光栅。在各种实施方式中,折射透镜不具有离散的间隔开的焦点。例如,前表面和后表面被成形为不产生其中光沿着透镜的光轴聚焦在的离散焦点,其由其中如在常规多焦点透镜中提供的光基本上较少聚焦的区域彼此间隔开。具有离散焦点的这种多焦点设计在光轴上的不同位置处具有聚焦能量或能量密度的多个峰值。

[0128] 本文描述的各种实施方式可以在不需要激光手术或老花镜的情况下提供对老花眼的早期发作和进展的治疗。实施方式可以提供约2.0D的接近和中间观看。可以提供针对5.0mm的孔径的超过2D的范围的景深。

[0129] 可以采用各种实施例来提供改进的单眼视力解决方案。例如,可以配置第一透镜,其具有超过0至2.0D或超过0至2.5D的物体聚散度的扩展的焦深,并且可以配置第二透镜,其具有超过-2.0至0D或超过-2.5至0D的物体聚散度的扩展的焦深。这些相应的透镜可以分别被植入患者的显性性状和非显性性状中。然后可以为患者提供与左眼和右眼中的每个的不同的扩展的景深。然而,总景深大于由第一透镜或第二透镜之一提供的景深。这种透镜的设计细节可能与上面讨论的那些相似。

[0130] 如本文描述的,各种实施例包括具有扩展景深的透镜。例如,参考本文描述的透镜200(例如,如图2-图4中示出的),透镜200可以包括具有前表面201a和/或后表面201b的镜片201,其具有被设计成增加的景深的形状。在某些实施例中,镜片的前表面和/或后表面还可以包括被设计成改善远距视觉的部分(例如增强远距视力),但仍然提供扩展的景深。

[0131] 图7A-图7B是这种镜片的示例性前表面和/或后表面的示意图。前表面和后表面可以具有表面顶点。镜片可以具有通过表面顶点的光轴。示例性镜片700的前表面和/或后表面可以包括具有第一部分701和第二部分702的表面。第一部分701可以被配置为提供扩展的景深,并且第二部分702可以被配置为提供单焦点距离校正和聚焦。参考图6C中示出的散焦曲线,第一部分701可以具有与“理想”超焦距散焦曲线形状类似的散焦曲线,并且第二部分702可以具有与标准球面(单焦点)透镜形状类似的散焦曲线。因此,第一部分701可以被配置为提供扩展的景深,并且第二部分702可以被配置为提供增强的远距视觉或远距视力。例如,被配置为提供扩展景深的第一部分701可以贯穿聚焦范围(例如,远或距离、中间、近)供应接近等于的视力,或至少大于第二部分702,而与第一部分701相比,第二部分702可以提供针对距离的增强的视觉质量度量。增强的视觉质量度量可以是在距离处(例如,在0.0D处或接近0.0D)的对象的品质因数。无穷远到2米(例如,无穷远到2米、无穷远到3米、无穷远到4米、无穷远到5米、无穷远到6米、无穷远到7米、无穷远到8米、无穷远到9米、无穷远至10米、或任何这些范围之间的任何范围)之间的物体被认为是距离。品质因数可以是调制传递函数(MTF)、对比敏感度(CS)、对比度、其推导或其组合。其他度量也可以被用于表征距离焦点(对应于透镜的基本焦度或标签焦度)处或针对远处对象的图像质量。在一些情况下,针对第二部分702,增强的视觉质量度量可以是比针对第一部分701更高的值。

[0132] 图7B示出了穿过第二部分702的光线如何聚焦在远距视觉焦点上(被标记为0)。

(如上面参考的,该远距视觉焦点对应于透镜的基本焦度、标签焦度或距离焦度。)相比之下,相对于在距离(0)、中间(1)或近(2)平面处的单个清晰焦点,穿过第一部分701的光线通过远(0)、中间(1)和近(2)焦点形成近似恒定直径的焦散面,从而提供扩展的景深。

[0133] 如图7A-图7B中示出的,第一部分701可以被中心地布置在镜片700内。在一些情况下,第一部分围绕光轴被中心地布置。第一部分701可以具有在约2.5-4.5mm的范围内(例如,2.5mm、2.75mm、3.0mm、3.25mm、3.5mm、3.75mm、4.0mm、4.25mm、4.5mm、或任何这些尺寸之间的任何范围)的最大横截面直径。更大或更小的尺寸也是可能的。第一部分701可以具有如本文相对于镜片201描述的表面轮廓,以提供扩展的景深。例如,第一部分701可以引入球面像差以提供扩展的景深。在一些这样的示例中,如本文描述的,第一部分701的形状可以包括圆锥或双锥包络,其由包括距光轴的径向距离的非球面高阶函数的来自包络的扰动而偏移。等式(2)描述了使用圆锥项和偶次幂多项式项的示例形状。其他示例和组合是可能的。例如,第一部分701可以具有包括双非球面包络的形状。双非球面包络可以包括两个正交方向上的两个非球面横截面。在一些情况下,双非球面包络可以由包括距光轴的径向距离的非球面高阶函数的扰动来偏移。

[0134] 第二部分702可以围绕第一部分701。第二部分702可从第一部分701延伸到镜片700的端部。因此,在一些示例中,第二部分702的宽度可以是第一部分701的外围与镜片700的边缘之间的距离。例如,第二部分702可具有在约1.0-3.5mm的范围(例如,1.0mm、1.25mm、1.5mm、1.75mm、2.0mm、2.25mm、2.5mm、2.75mm、3.0mm、3.25mm、3.5mm、或任何这些尺寸之间的任何范围)内的宽度(例如,内、外半径之间的距离)。这些范围之外的尺寸也是可能的。

[0135] 第二部分702可以具有与第一部分701不同的表面轮廓。第一部分701可以具有较高的球面像差控制,其提供相比第二部分702而言扩展的景深。在一些情况下,第二部分702可以基本上没有球面像差控制或者至少没有提供扩展的焦深的像差控制。例如,第二部分702的形状可以包括圆锥、双锥或双非球面的包络,其未由包括距光轴径向距离的非球面高阶函数的扰动而偏移。在一些情况下,第二部分可以具有球面的形状。

[0136] 第二部分702可以允许对系统的边缘光线的更大的控制,使得传播通过该部分的较高百分比的光线被聚焦在视网膜上,如由与第一部分(例如,约+6至-18D的距离焦度或标签焦度)相比处于诸如无限远的距离处的对象的其他度量测量的潜在地提供增强的对比度或改善的视觉质量。这允许针对距离的多个限定的聚焦(可能在距离物体的距离平面处的较小的光斑),但仍然提供了由第一部分701提供的扩展的景深。因此,第二部分702可以增加响应远距视觉质量,在远处对焦对象方面有所改进。这种改进的远距视觉可以由患者感知为脑受益的“正”度量的增加,例如对比敏感度(CS)。

[0137] 另外,由于第一部分701被配置为提供扩展的景深,所以它可以贯穿焦点范围(或者对于物体距离的范围内)供应近似相等的视力或视觉,或者至少大于第二部分702。光斑尺寸、透镜的波前以及远处、中间和近点处的质量(例如,由诸如MTF或CS的品质因数测量出的)基本相似。然而,该属性可能会在使用标准计量学来评估透镜的焦度方面造成困难。使用经典Gaussian计量学方法对患者进行手术后临床评估也是具有挑战性的。任何数量的焦点都可以被标记并被发现是有效的的基本焦度(例如,距离或标签焦度)。在某些实施例中,将边缘光线环引导至距离聚焦位置的第二部分702可以提供更接近对应于距离焦度的可重复测量结果。类似地,第二部分702可以在确定植入或未植入的透镜的经典基本焦度方面提供

益处,并且可以帮助使用工业标准计量方法精确地测量透镜的焦度的能力。因此,本文描述的某些实施例可以允许具有扩展景深的透镜的标准化测量,包括但不限于负焦度、正焦度、复曲面或其中的任何组合。

[0138] 在本文描述的各种实施例中,第一部分701可以允许使用球面像差和圆锥、双锥或双非球面基准曲线的不同阶数,以便在植入眼睛的出射瞳孔附近的其每个点处平衡整个波前,并且第二部分702可以允许增强的远距视觉和/或单焦点距离聚焦和使用标准计量。

[0139] 在各种实施例中,镜片700的前表面和/或后表面可以包括其它部分。例如,镜片700的前表面和/或后表面还可以包括在第一部分701和第二部分702之间提供没有不连续的平滑过渡的过渡部分(未示出)。过渡部分还可以允许额外的波前优化。在一些实施例中,过渡部分可以具有在约0至1mm范围内(例如,0mm、0.1mm、0.2mm、0.3mm、0.4mm、0.5mm、0.6mm、0.7mm、0.8mm、0.9mm、1.0mm、或任何这些尺寸之间的任何范围)的宽度(例如,内半径与外半径之间的距离)。这些范围之外的值也是可能的。在一些情况下,第一部分701和第二部分702的曲率之间的过渡可以是足够光滑的,以至于不需要过渡区域。

[0140] 图8A-图8B是另一示例性的镜片的前表面和/或后表面的示意图,其具有被配置为提供扩展的景深的第一部分,以及被配置为提供增强的远距视觉的第二部分。在该示例中,镜片700的前表面和/或后表面可以包括如图7A-图7B中示出的第一部分701和第二部分702。如图8A-图8B中示出的,镜片700的前表面和/或后表面还可以包括围绕第二部分702的第三部分703。在一些这样的实施例中,第一部分701可以在约2.5-4.5mm的范围内具有最大横截面直径(例如,2.5mm、2.75mm、3.0mm、3.25mm、3.5mm、3.75mm、4.0mm、4.25mm、4.5mm或任何这些尺寸之间的任何范围内)。第二部分702可以被描述为具有在约0.25-1.5mm(例如,0.25mm、0.5mm、0.75mm、1.0mm、1.25mm、1.5mm或这些尺寸的任一个之间的任何范围)的内半径和外半径之间的宽度的环。此外,第三部分703可以从第二部分702延伸到镜片700的端部。因此,在一些示例中,第三部分703的宽度可以是第二部分702的外围与镜片700的边缘之间的距离。例如,第三部分703可以具有在约0.5-3.5mm的范围内(例如,0.5mm、0.75mm、1.0mm、1.25mm、1.5mm、1.75mm、2.0mm、2.25mm、2.5mm、2.75mm、3.0mm、3.5mm、或任何这些尺寸之间的任何范围)的宽度(例如,内半径与外半径之间的距离)。这些范围之外的值也是可能的。

[0141] 图8B示出了穿过第二部分702的光线如何聚焦在远距视觉焦点(被标记为0)上。相比之下,穿过第一部分701和第三部分703的光线连续地通过远(0)、中间(1)和近(2)焦点,从而提供了扩展的景深。如上面讨论的,穿过第一部分701和第三部分703的光线在远(0)、中间(1)和近(2)平面处形成具有近似恒定的横截面或光束直径的焦散面。然而,该光束直径可能潜在地大于由仅传播通过第二部分702的光线形成的远图像平面(0)处的焦点的尺寸。

[0142] 第三部分703可以具有与第二轮廓702不同的表面轮廓。例如,第三部分703可以具有更高的球面像差控制,其提供相比第二部分702而言扩展的景深。在一些示例中,第三部分703的形状可以包括圆锥、双锥或双非球面包络,其由包括距光轴的径向距离的非球面高阶函数的扰动而偏移。

[0143] 在一些实施例中,第三部分703可以具有与第一部分701类似的表面轮廓和/或基本上相同的球面像差控制。例如,第三部分703可以具有与第一部分基本上相同的圆锥、双

锥或双非球面包络,其由包括距光轴的径向距离的非球面高阶函数的关于包络的扰动而偏移。

[0144] 如本文描述的,第一部分701和/或第三部分703的形状可以包括圆锥、双锥、双非球面包络,其由包括距光轴的径向距离的非球面高阶函数的扰动而偏移。在各种实施例中,非球面高阶函数可以包括至少一个偶阶项, $a_{2n}r^{2n}$ ,其中n是整数,并且 $a_{2n}$ 是系数,并且r是距光轴的径向距离。例如,非球面高阶函数可以包括二阶项, $a_2r^2$ ,其中 $a_2$ 是系数,并且r是距光轴的径向距离。非球面高阶函数可以包括四阶项, $a_4r^4$ ,其中 $a_4$ 是系数,并且r是距光轴的径向距离。非球面高阶函数还可以包括六阶项, $a_6r^6$ ,其中 $a_6$ 是系数,并且r是距光轴的径向距离。非球面高阶函数还可以包括八阶项, $a_8r^8$ ,其中 $a_8$ 是系数,并且r是距光轴的径向距离。非球面高阶函数可以包括这些高阶项的任何组合和可能更多的项。

[0145] 在各种实施例中,镜片700的前表面和/或后表面还可以包括在第二部分702和第三部分703之间提供没有不连续的平滑过渡的过渡部分(未示出)。过渡部分还可以允许额外的波前优化。在一些实施例中,过渡部分可以具有在约0至1mm的范围(例如,0mm、0.1mm、0.2mm、0.3mm、0.4mm、0.5mm、0.6mm、0.7mm、0.8mm、0.9mm、1.0mm、或任何这些尺寸之间的任何范围)内的宽度(例如,内半径与外半径之间的距离)。这些范围之外的大小也是可能的。在一些情况下,第二部分702和第三部分703的曲率之间的过渡可以是足够光滑的,以至于不需要过渡区域。

[0146] 在一些实施例中,第二部分702的焦散面可以被塑造以与第一部分701的焦散面和/或第三部分703的焦散面平滑地混合(或提供更平滑的过渡)。例如,如图8B中示出的,第二部分702的下部焦散面包络可能不与第三部分703的下部焦散面包络平滑地混合(例如,参见焦散面的交点附近的不连续部分)。因此,在一些实施例中,为了提供更平滑的焦散面过渡,第二部分702的圆锥、双锥或双非球面包络的圆锥常数可以与第一部分701的焦散面和/或第三部分703的焦散面混合更平滑(例如,以更紧密地适应第一部分701的射线包络和/或更紧密地适应第三部分703的射线包络)。例如,在一些实施例中,第二部分702可以具有圆锥常数,使得第二部分702的焦散面与第一部分701的焦散面平滑地混合,例如相比如果第二部分包含球面表面而言更平滑。此外,在一些实施例中,第二部分702可以具有圆锥常数,使得第二部分702的焦散面与第三部分703的焦散面平滑地混合,例如相比如果第二部分包含球面表面而言更平滑。通过具有更平滑的焦散面过渡,植入物的手术放置中的轻微的未对准可能被期望以对患者的视觉产生不太显著的影响。此外,通过更平滑的焦散面过渡,叠加的重影可能潜在地减少。

[0147] 关于本文描述的镜片201的各种公开内容也可以应用于图7A-图8B的各种实施例。例如,图7A-图8B的某些实施例可以被用于如本文描述的有晶状体眼或人工晶状体植入物。在被用于有晶状体眼透镜植入物的实施例中,镜片700可以具有沿着光轴在约100-700微米、约100至约600微米、约100至约500微米、约100至约400微米、约100至约300微米、或约100至约200微米(例如,100微米、200微米、300微米、400微米、500微米、600微米、700微米、在这些范围之间的任何值、或由这些值形成的任何范围)的厚度。在用于人工晶状体植入物的实施例中,沿着光轴的厚度可以为约700微米至约4mm、约700微米至约3mm、约700微米至约2mm、约700微米至约1mm、在这些范围之间的任何值、或由这些范围内的任何值形成的任何范围。作为另一示例,图7A-图8B的各种实施例可以被用于包括相对于镜片700被布置的

至少一个触觉件的透镜中,以在被植入眼睛时将镜片700附着在其中。此外,在一些情况下,第一部分701可以在镜片的前表面上,并且第二部分702可以在镜片的后表面上。同样地,在一些情况下,第一部分701可以在镜片的后表面上,并且第二部分702可以在镜片的前表面上。

[0148] 如本文使用的术语“约”和“基本上”表示等于或接近所述量的量(例如,仍然执行期望功能或达到期望结果的量)。例如,除非另有说明,否则术语“约”和“基本上”可以指在所述量的10%之内(例如,高于或低于)、5%之内(例如,高于或低于)、1%之内(例如,高于或低于)、0.1%之内(例如,高于或低于)或0.01%之内(例如,高于或低于)。

[0149] 本文已经描述了本发明的各种实施例。虽然已经参考这些具体实施例描述了本发明,但是本说明书旨在说明本发明,而不是限制性的。在不脱离本发明的真实精神和范围的情况下,本领域技术人员可以想到各种修改和应用。

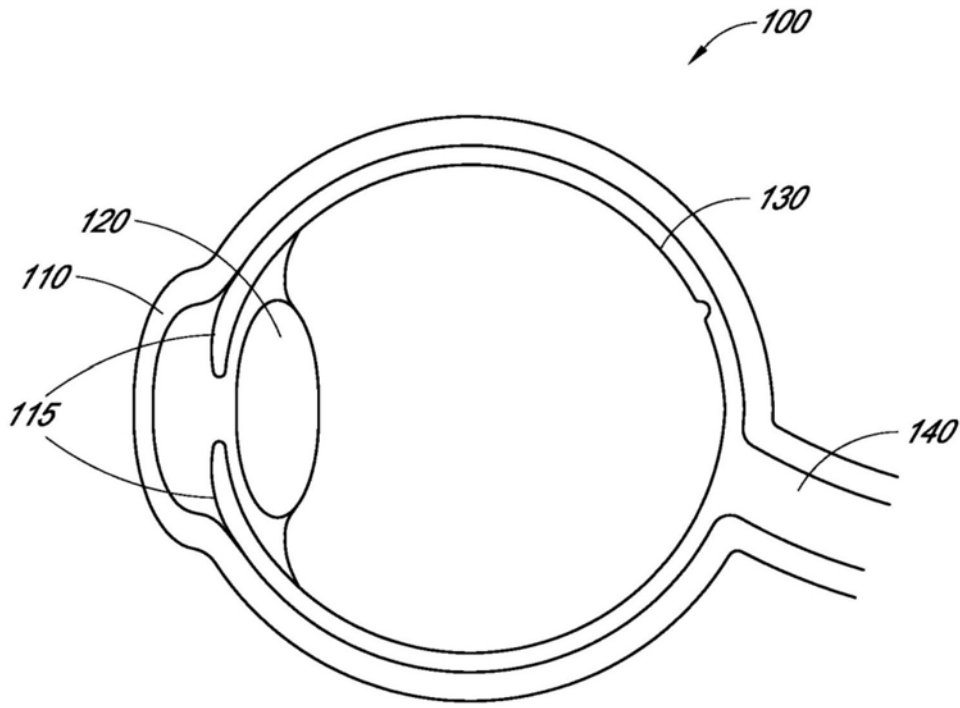


图1

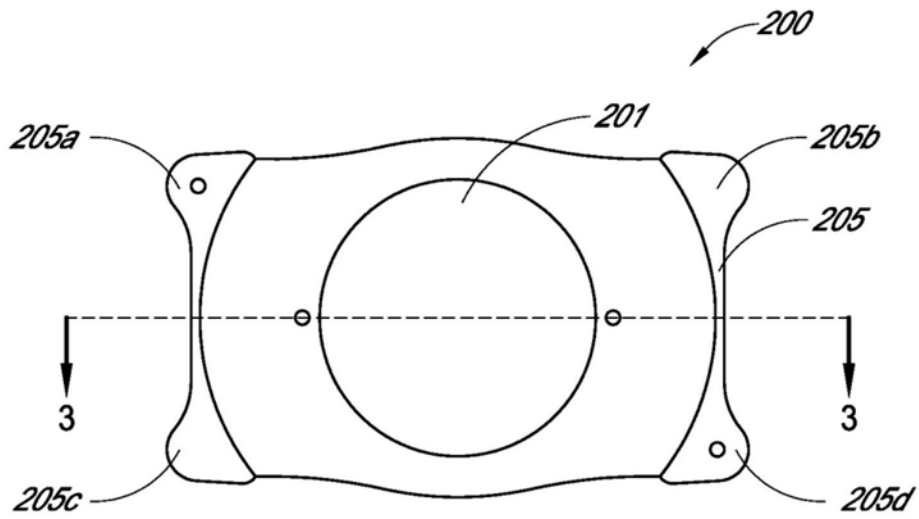


图2

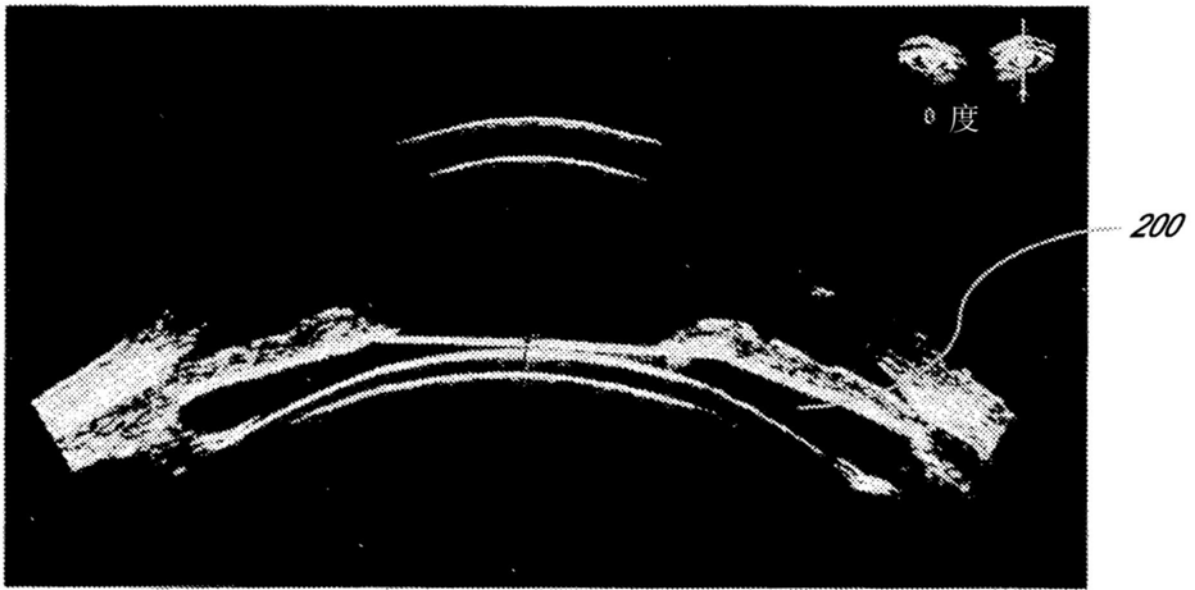


图3A

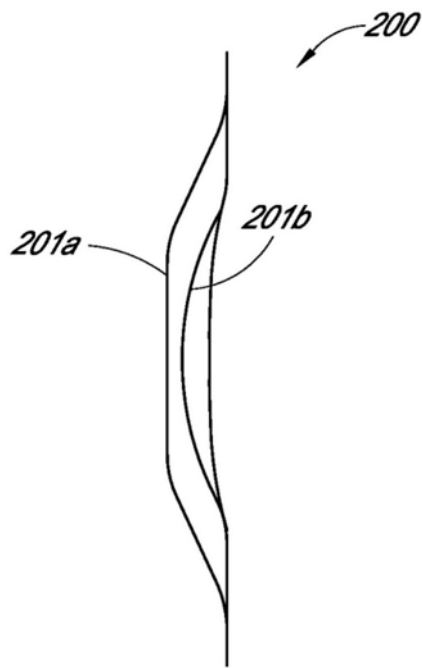


图3B

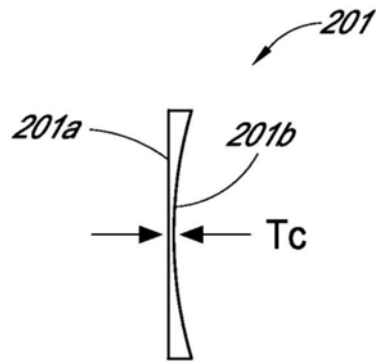


图4

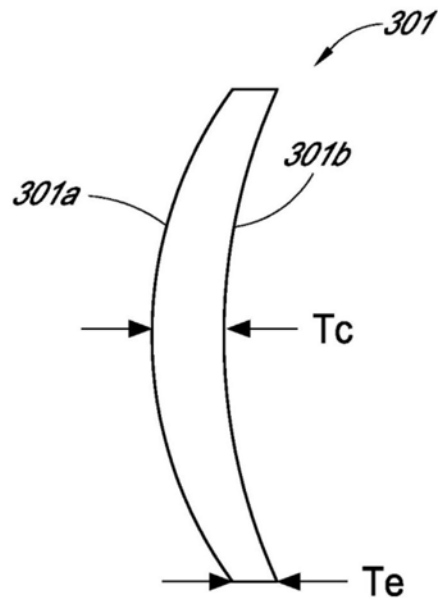


图5A

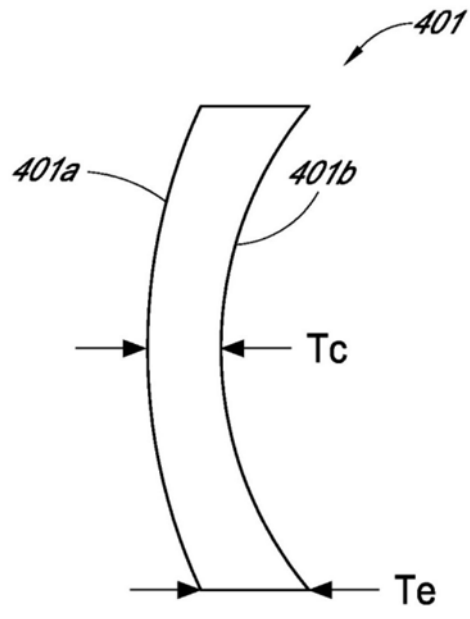


图5B

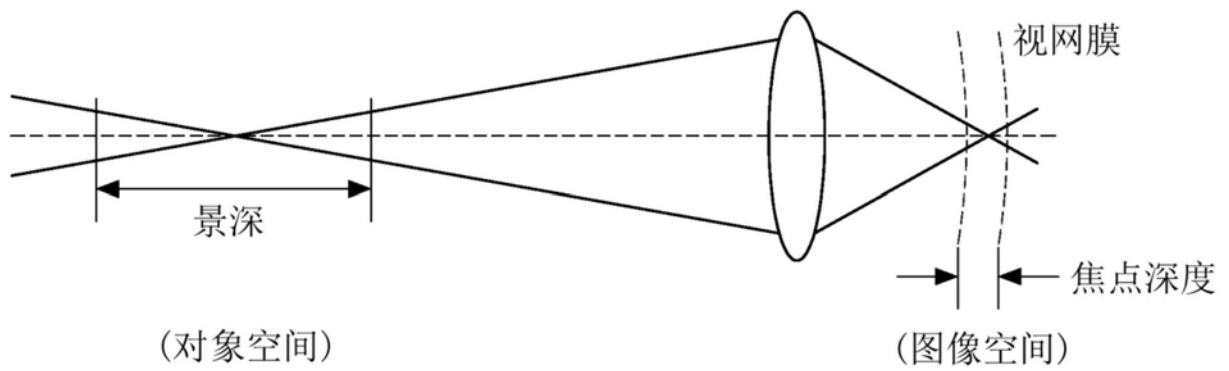


图6A

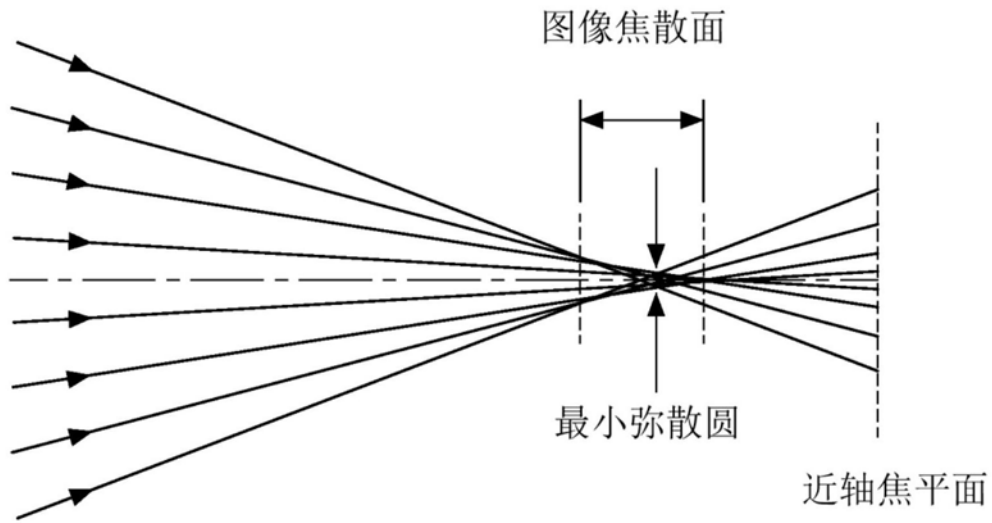


图6B

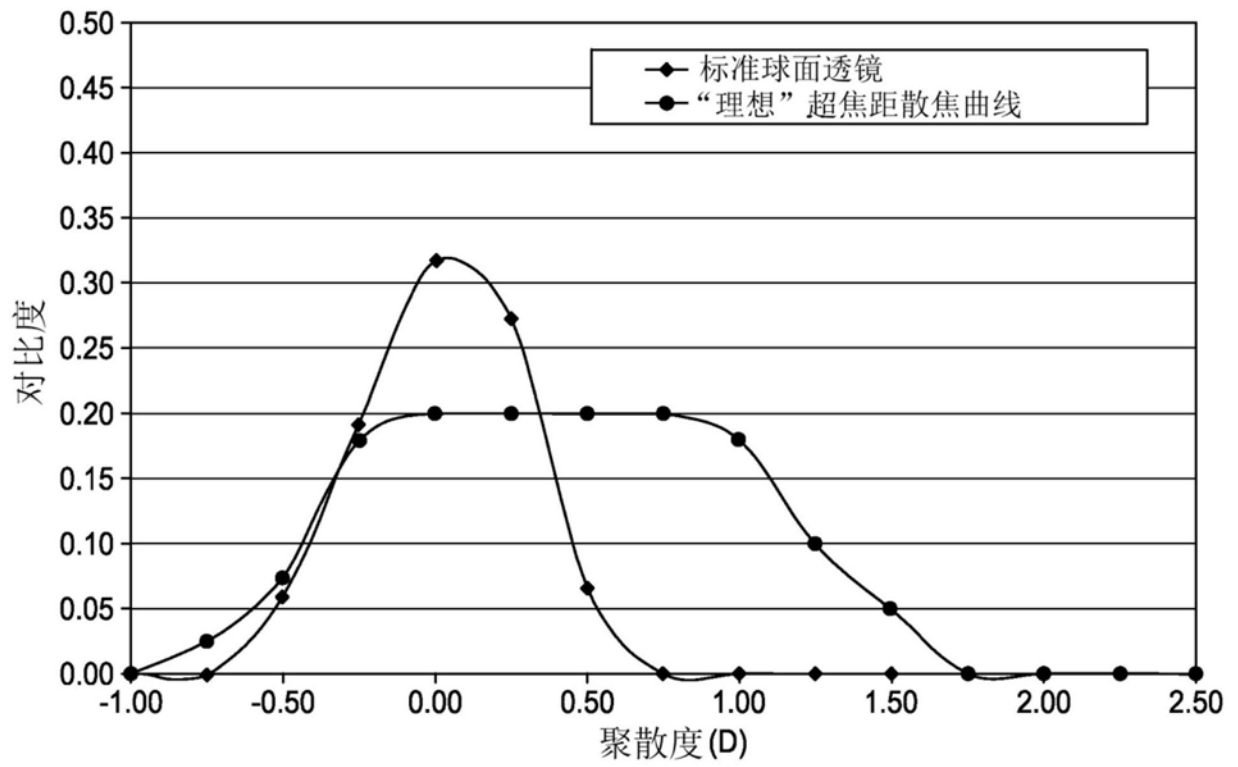


图6C

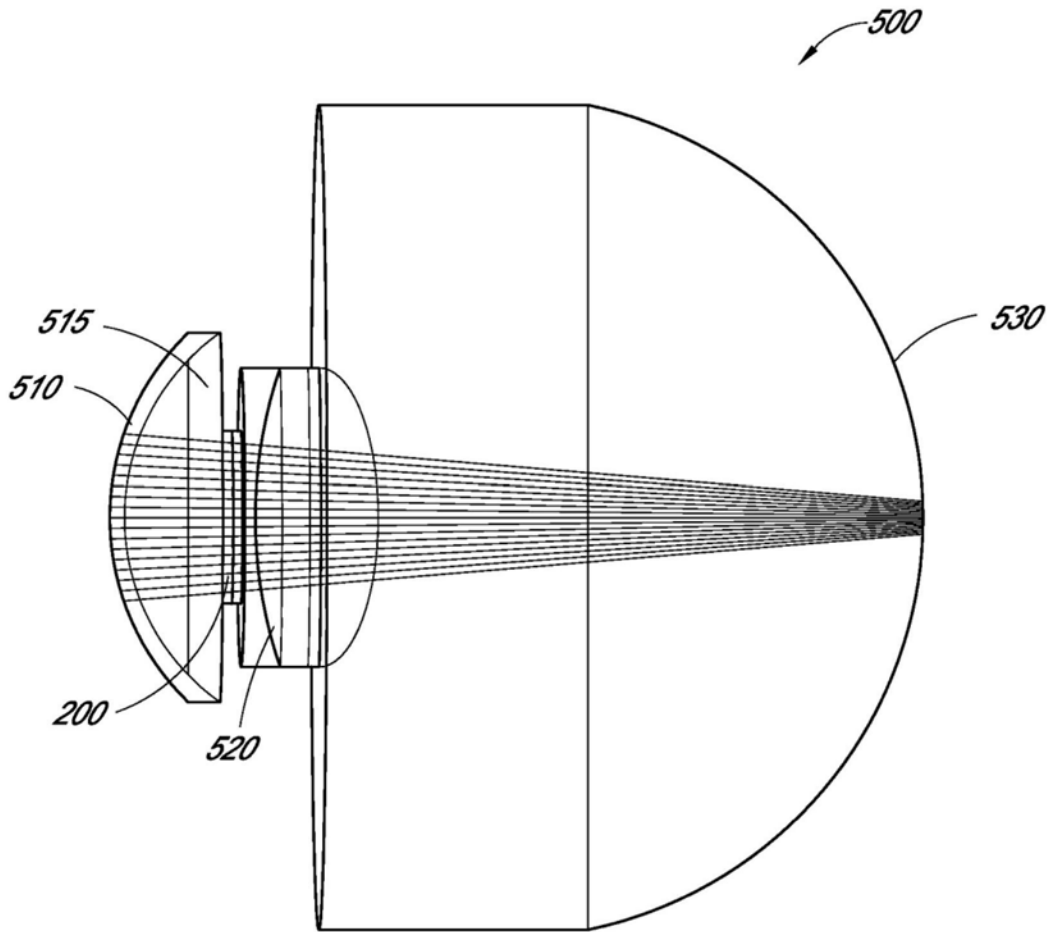


图6D

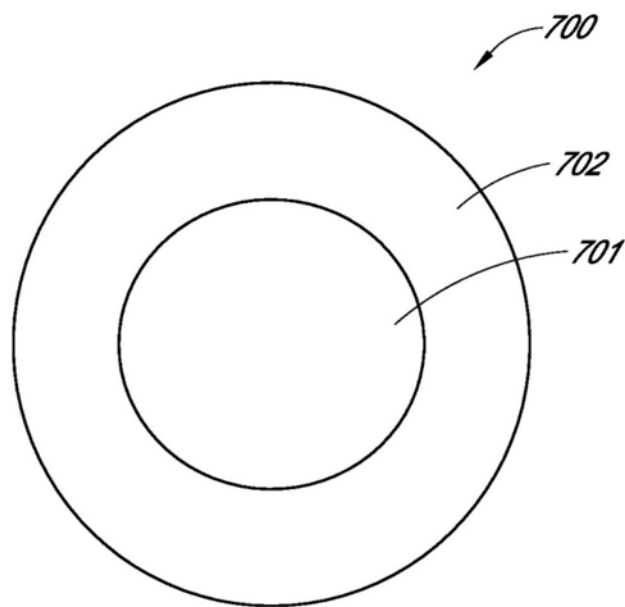


图7A

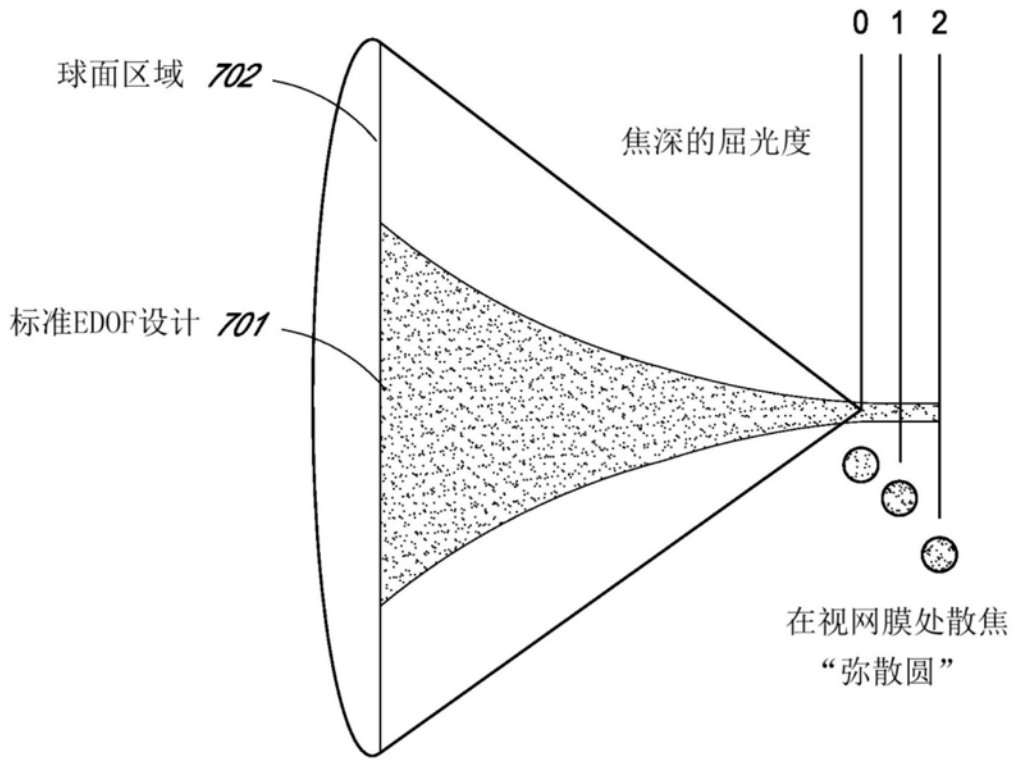


图7B

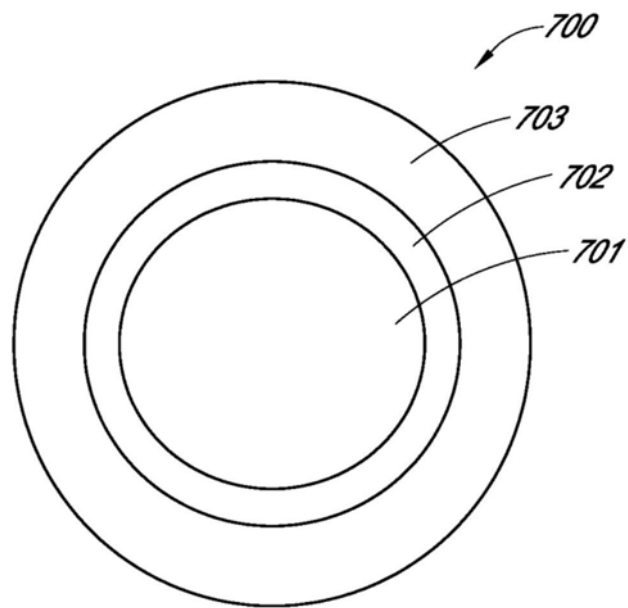


图8A

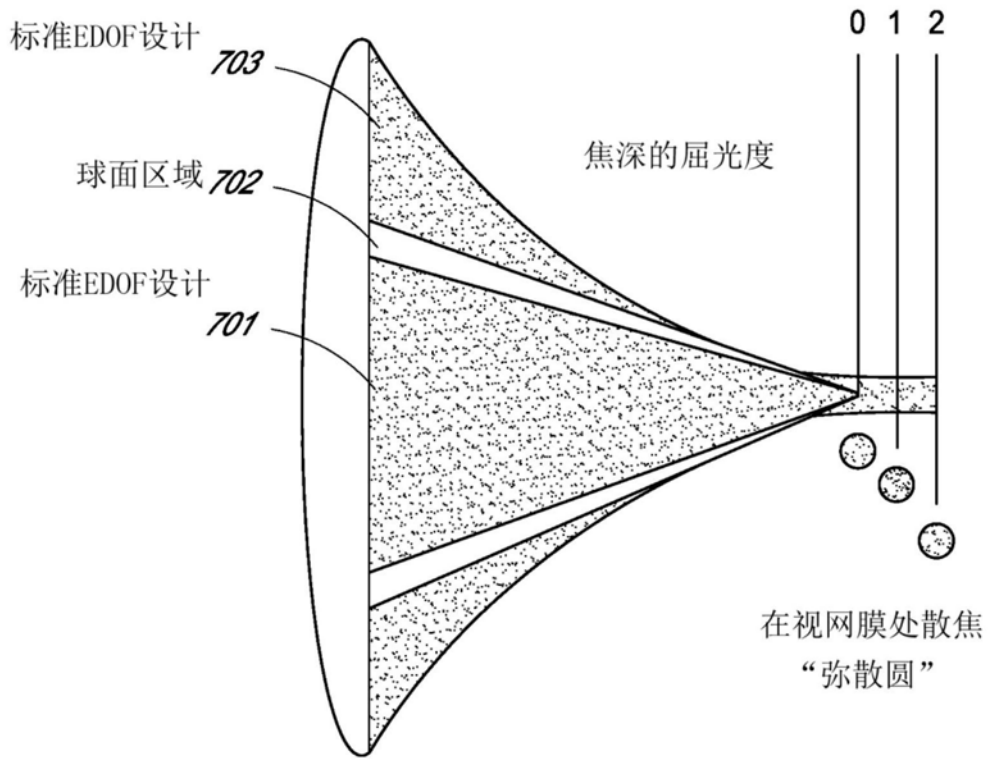


图8B