



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102656484 A

(43) 申请公布日 2012. 09. 05

(21) 申请号 201080057029. 3

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2010. 10. 12

G02B 1/06 (2006. 01)

(30) 优先权数据

12/579, 203 2009. 10. 14 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2012. 06. 14

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2010/052367 2010. 10. 12

(87) PCT申请的公布数据

W02011/046959 EN 2011. 04. 21

(71) 申请人 阿德伦丝必康公司

地址 美国新泽西州

(72) 发明人 阿米塔瓦·古普塔 尔本·肖纳勒

卡里姆·哈罗德 汉斯·杰格

(74) 专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理

有限责任公司 11258

代理人 柳春雷

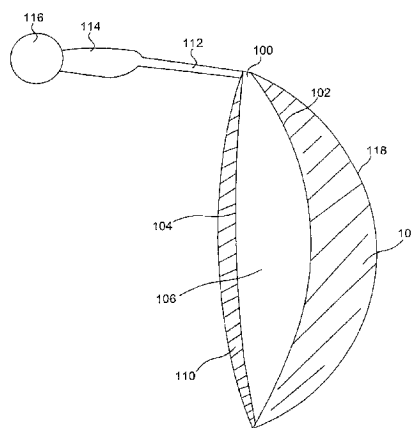
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 7 页

(54) 发明名称

非球面流体填充的透镜光学器件

(57) 摘要

非圆形流体透镜组件包括非圆形刚性透镜以及连接到非圆形刚性透镜的柔性膜, 以使得在非圆形刚性透镜和柔性膜之间形成腔。与腔流体连通的储液器使得流体被传输进出该腔, 以改变流体透镜组件的光焦度。在实施例中, 非圆形刚性透镜的前表面是非球面的。附加地或可替换地, 柔性膜的厚度可以经成形, 以使得当流体在腔和储液器之间传输时柔性膜以球面方式改变形状。



1. 一种流体透镜组件,其包括:  
非圆形刚性透镜,其具有后表面和非球面前表面;  
柔性膜,其连接到所述非圆形刚性透镜的后表面,以使得在所述柔性膜的前表面与所述刚性透镜的后表面之间形成腔;和  
储液器,其与在所述柔性膜的前表面和所述非圆形刚性透镜的后表面之间的所述腔流体连通,以使得流体可在所述储液器与所述腔之间传输以改变所述流体透镜组件的光焦度,  
其中,所述非球面前表面至少部分地减小由位于所述腔内的流体引起的光学误差。
2. 根据权利要求1所述的流体透镜组件,其中,所述非圆形刚性透镜的后表面是球面的。
3. 根据权利要求1所述的流体透镜组件,其中,流体在所述储液器与所述腔之间的传输引起所述柔性膜非球面地改变形状。
4. 根据权利要求3所述的流体透镜组件,其中,所述刚性透镜的非球面前表面基本与所述柔性膜的非球面表面起抵消作用。
5. 根据权利要求1所述的流体透镜组件,其中,所述柔性膜的厚度是均匀的。
6. 根据权利要求1所述的流体透镜组件,其中,所述柔性膜的厚度是非均匀的。
7. 根据权利要求6所述的流体透镜组件,其中,所述柔性膜的厚度经成形,以在流体在所述储液器与所述腔之间传输时使得所述柔性膜球面地改变形状。
8. 根据权利要求1所述的流体透镜组件,其中,由所述非球面前表面引起的散光在观察者的容限水平之内。
9. 根据权利要求1所述的流体透镜组件,其中,所述刚性透镜的前表面是复曲面。
10. 一种流体透镜组件,其包括:  
非圆形刚性透镜,其具有后表面和前表面;  
柔性膜,其连接到所述非圆形刚性透镜的后表面,从而在所述柔性膜的前表面与所述刚性透镜的后表面之间形成腔,其中,所述柔性膜的厚度是非均匀的;和  
储液器,其与在所述柔性膜的前表面和所述非圆形刚性透镜的后表面之间的所述腔流体连通,以使得流体可在所述储液器与所述腔之间传输。
11. 根据权利要求10所述的流体透镜组件,其中,所述柔性膜的厚度经成形,以在流体在所述储液器与所述腔之间传输时使得所述柔性膜球面地改变形状。
12. 根据权利要求11所述的流体透镜组件,其中,所述柔性膜的厚度变化沿着所述柔性膜的子午线。
13. 根据权利要求11所述的流体透镜组件,其中,所述柔性膜包括:  
均匀厚度的第一膜;和  
均匀厚度的第二膜,其中,所述第二膜小于所述第一膜,并且所述第二膜沿着所述第一膜的子午线连接到所述第一膜。
14. 根据权利要求11所述的流体透镜组件,其中,所述柔性膜由单一模制板组成。
15. 根据权利要求11所述的流体透镜组件,其中,所述柔性膜的最小厚度与最大厚度之间的过渡是平滑的。
16. 根据权利要求11所述的流体透镜组件,其中,所述柔性膜的最大厚度是所述柔性

膜的最小厚度的至少两倍。

17. 根据权利要求 16 所述的流体透镜组件,其中,所述柔性膜的最大厚度是最小厚度的至少三倍。

18. 根据权利要求 10 所述的流体透镜组件,其中,所述柔性膜的非均匀性为所述流体透镜组件提供约 2.0 屈光度的调节范围。

19. 根据权利要求 10 所述的流体透镜组件,其中,所述非圆形刚性透镜的前表面是非球面的。

20. 一种流体透镜组件,其包括:

非圆形刚性透镜,其具有后表面和前表面;

柔性膜,其连接到所述非圆形刚性透镜的后表面,从而在所述柔性膜的前表面和所述刚性透镜的后表面之间形成腔,其中,所述柔性膜构造成当流体在储液器和所述腔之间传输时在所述柔性膜的椭圆部分处与处于椭圆部分外部的部分不同地改变形状,所述柔性膜的所述椭圆部分小于整个柔性膜;和

储液器,其与位于所述柔性膜的前表面和所述非圆形刚性透镜的后表面之间的腔体流体连通,以使得流体可在所述储液器和所述腔之间传输。

21. 根据权利要求 20 所述的流体透镜组件,其中,所述柔性膜的椭圆部分的厚度小于所述柔性膜在所述椭圆部分外部的厚度。

22. 根据权利要求 20 所述的流体透镜组件,其中,所述非圆形刚性透镜的前表面是非球面的。

## 非球面流体填充的透镜光学器件

### 技术领域

[0001] 本发明的实施例涉及流体填充的透镜，特别是可变的流体填充透镜。

### 背景技术

[0002] 从约 1958 年开始已经知道基本的流体透镜，如美国专利 2,836,101 中所述的，该专利通过引用整体结合于本说明书中。最近的示例可以在 Tangd 等人发表在 Lab Chip 的 2008 年第 8 卷第 395 页上的“Dynamically Reconfigurable Fluid Core Fluid Cladding Lens in a Microfluidic Channel”、以及在 WIPO 公开文本 W02008/063442 中找到，这两个文献都通过引用整体结合于本说明书中。流体透镜的这些应用涉及光子学、数字电话和摄像技术、以及微电子学。

[0003] 还提出将流体透镜用于眼科应用（例如参见美国专利 7,085,065，该专利通过引用整体结合于本说明书中）。在所有情况下，需要对流体透镜的优点（包括宽动态范围、提供自适应校正的能力、鲁棒性、和低成本）与孔径尺寸限制、泄露倾向以及性能一致性进行权衡。例如，美国专利 7,085,065 公开了涉及在将用于眼科应用的流体透镜中有效容纳流体的多个改进和实施例。通过在透镜腔中注入附加流体、通过电湿润、通过采用超声脉冲、以及通过在将膨胀剂引入到透镜流体（例如水）之后利用交联聚合物中的膨胀力，来影响流体透镜中的光焦度（power）调整。

[0004] 在所有情况下，在现有流体透镜技术中有几个关键限制，需要克服这些限制以使得该技术的商业诉求能够被乐观地对待。例如，流体透镜的厚度通常大于具有相同光焦度和直径的常规透镜。此外，目前不能使用流体透镜技术来提供球面光焦度以及散光沿着透镜光学器件的变化。由于非圆形流体透镜的非均匀膨胀引起的复杂性，目前也不能将流体透镜制成除了圆形之外的任意期望形状。

### 发明内容

[0005] 在本发明的实施例中，非圆形流体透镜组件包括非圆形刚性透镜以及连接到非圆形刚性透镜的柔性膜，以使得在非圆形刚性透镜和柔性膜之间形成腔。与腔流体连通的储液器使得流体被传输进出该腔，以改变流体透镜组件的光焦度。在实施例中，非圆形刚性透镜的前表面是非球面的。附加地或可替换地，柔性膜的厚度可以经成形，以使得当流体在腔和储液器之间传输时柔性膜以球面方式改变形状。

[0006] 附加地或可替换地，柔性膜可以具有“嵌入”部分，“嵌入”部分比柔性膜的其他部分更具柔性，以使得流体在腔和储液器之间的传输引起嵌入部分的形状以球面方式改变，而基本不改变柔性膜除嵌入部分之外的部分。在实施例中，嵌入部分是椭圆形状。嵌入部分可以经成形，以使得当流体在腔和储液器之间传输时嵌入部分以球面方式改变形状。在柔性膜中包括这样的嵌入部分使得可以佩戴非圆形透镜（例如，椭圆形状、矩形形状、或佩戴者喜欢的其他形状的透镜）并同时保持流体填充透镜的优点。

[0007] 下文将参照附图详细描述本发明的其他实施例、特征和优点，以及本发明的各种

实施例的结构和操作。

### 附图说明

[0008] 附图结合于本说明书中并形成说明书的一部分,附图与说明书一起示出本发明,附图还用于说明本发明的原理以及使得本领域技术人员可以制造和使用本发明。

[0009] 图 1 是根据本发明的实施例的示例性流体填充的透镜组件的示图。

[0010] 图 2 示出在没有校正前透镜表面的状态下的流体填充透镜组件中散光随着偏心率的变化。

[0011] 图 3 根据本发明的实施例、示出在具有复曲面前透镜表面校正的流体填充透镜组件中散光随着偏心率的变化。

[0012] 图 4 根据本发明的实施例示出流体透镜中的柔性膜的变形。

[0013] 图 5a、5b 和图 6a、6b 示出根据本发明的实施例的成形柔性膜。

[0014] 图 7a、7b 示出根据本发明的实施例的流体透镜组件中的示例性椭圆嵌入部分。

[0015] 图 8a、8b 示出根据本发明的实施例的流体透镜中的柔性膜的变形。

[0016] 将参照附图描述本发明。通常由相应附图标记中最左侧的数位来表示元件首次出现的附图。

### 具体实施方式

[0017] 虽然讨论特定构造和布置,但是应当理解这样做只是为了进行说明。本领域技术人员将理解,在不脱离本发明精神和范围的情况下可以使用其他构造和布置。对于本领域技术人员来说显而易见的是本发明还可以用于各种其他应用中。

[0018] 应当注意,说明书中的提到的“一个实施例”、“实施例”、“示例性实施例”等表示所述实施例可以包括特定特征、结构或特性,但是并非每个实施例都必需包括该特定特征、结构或特性。此外,这样的用语不一定指相同的实施例。此外,当结合实施例来描述特定特征、结构或特性时,不论是否明确描述,结合其他实施例来实现该特征、结构或特性都处于本领域技术人员的理解范围内。

[0019] 通过构造非球面流体透镜可以消除上文在“背景技术”部分中描述的以前可获得的流体填充透镜技术的限制。因为不存在构造非球面流体透镜的方法,所以以前的流体透镜总是圆形形状。图 1 示出根据本发明的实施例的示例性非球面流体透镜 100。流体透镜 100 包括刚性前表面 102、柔性后表面 104、以及流体,流体填充形成于前表面 102 和后表面 104 之间的腔 106。可以通过例如由玻璃或塑料制成的刚性光学透镜 108 来提供刚性前表面 102。可以通过例如柔性膜 110 来提供柔性后表面 104,柔性膜 110 越过刚性光学透镜 108 的边缘平坦延伸。由此形成的流体透镜经由通道 112 连接到储液器 114,储液器 114 用弹性可变形膜作为衬里、或者利用弹性可变形膜以其他方式形成,弹性可变形膜容纳过量的流体。流体透镜 100 和储液器 114 一起形成密封单元。致动器 116 可操作以挤压或膨胀储液器内部的可变形膜,以经由通道 112 在储液器 114 和流体透镜 100 之间传输流体。举例而言并且非限制性地,致动器 116 可以是球状 (bulb) 致动器、注射器型致动器、或标度盘 (dial) 致动器。在实施例中,刚性光学透镜 108 和柔性膜 110 中的一者或两者可以具有光焦度,或者这两者都不具有光焦度。通道 112 将流体透镜 100 连接到储液器 114,例如,通道

112 可以被容纳在眼镜框的镜片部分 (eye piece) 中或眼镜框的镜腿部分 (temple piece) 中。

[0020] 在本说明书中,术语“流体透镜组件”将用于描述刚性前透镜 108、柔性膜 110、和中间流体传输系统的组合件。术语“流体透镜”将用于表示流体层和两个表面 102 与 104,两个表面 102 和 104 容纳流体并形成流体透镜的表面。

[0021] 在非圆形流体透镜中,流体的压力引起柔性膜沿着其短轴和长轴的不同弯曲,并因此产生膜的非球面弯曲。本发明的实施例的非圆形流体透镜因此校正由该弯曲产生的散光。在一个实施例中,刚性前透镜的前表面校正由流体产生的散光。附加地或可替换地,柔性膜的厚度可以使得成形 (contour) 为响应于流体压力而产生膜的球面弯曲。在实施例中,柔性膜包括比柔性膜的其他部分更具柔性的嵌入部分,以使得流体在腔和储液器之间的传输引起嵌入部分的形状以球面方式改变,而基本不改变柔性膜除嵌入部分之外的部分。

[0022] 前透镜的非球面化

[0023] 通过提供非球面前 (刚性) 透镜,可以使得流体透镜 (例如流体透镜 100) 成为非球面。因为前透镜 108 在其后表面 102 处与流体接触,所以通过与前透镜材料的折射率相对应的流体折射率可以使得对前透镜 108 的后表面 102 增加非球面校正的影响减弱。实际上,经由后表面 102 提供非球面校正所需要的前透镜 108 的厚度改变可以如下表示:

$$[0024] \quad d = d_1 \frac{n_1 - 1}{n_1 - n_2} \quad (\text{方程式 1})$$

[0025] 其中,  $d$  是在该点处提供特定光焦度改变所需要的前透镜厚度的局部改变,  $d_1$  是如果流体是空气则将需要的厚度改变,  $n_1$  是前透镜材料的折射率,  $n_2$  是流体的折射率。例如,如果前透镜 108 由双酚 A 的聚碳酸酯制成并且流体是硅油,则  $n_1$  是 1.59 且  $n_2$  是 1.54,结果  $d$  等于  $11.8d_1$ 。也就是说,如果对前透镜 108 的后表面 102 增加校正,则需要透镜厚度的相对大变化,以提供非球面校正。

[0026] 通过对前透镜 108 的前表面 118 增加非球面校正可以减小透镜厚度,前表面 118 与空气接触。对前表面 118 的非球面校正可以是旋转对称非球面校正形式,使得刚性透镜 108 的表面成为椭球面或双曲面。在这种情况下,可以由方程式 2 来描述表面,其中如果  $p$  为正则该表面是椭球面,如果  $p$  为负则该表面是双曲面:

$$[0027] \quad X = \frac{y^2}{r_0 + \sqrt{(r_0^2 - py^2)}} \quad (\text{方程式 2})$$

[0028] 应用于刚性透镜 108 的前表面 118 的旋转对称非球面校正提供至少两个益处。非球面校正可以经设计,以将流体透镜中存在的球面像差减至最小,球面像差对于高球光焦度 (spherical power) 会特别显著。附加地,在高凝视角下可以减小流体透镜的正光焦度,以符合佩戴者的视觉需求。

[0029] 前透镜的复曲面 (toric) 校正

[0030] 附加地或可替换地,可以对刚性透镜 108 的前表面 118 应用其他非球面校正。例如,可以使得表面 118 成为超环面 (toroidal)。由此对刚性透镜 108 的前表面 118 增加的散光具有至少两个益处。该散光可以用于抵消眼睛的自然散光,约 80% 的需要视觉校正的

人群具有自然散光。该散光还可以用于抵消当流体透镜的形状偏离圆形时在柔性膜 110 的表面 104 上产生的散光。

[0031] 眼睛具有自然散光的人通常佩戴散光校正眼镜,以实现最佳校正视觉。为使得这种校正可适用,透镜的散光轴的方向需要与眼镜佩戴者的眼镜的散光轴正交。如果通过对刚性透镜 108 的前表面 118 增加复曲面弯曲来提供这种散光校正,则期望使得前复曲面刚性透镜 108 相对于刚性透镜 108 的 0-180° 线在所有可能角度下具有复曲面轴。这将构成 180 种不同的构造或款式 (sku)。这是因为由于流体透镜组件包括连接到流体透镜 100 的通道 112,所以流体透镜组件不是旋转对称的。附加地,期望使得增加到刚性透镜 108 的前表面 118 的散光校正的幅度基本与佩戴者所需要的散光校正的幅度相匹配。尽管自然散光的幅度的总范围非常大(约 0 至约 15 屈光度 (diopter) 或更大),但是对于 99% 的需要视觉校正的人群该幅度约为 6 屈光度 (D)。因为眼镜的自然散光与透镜的校正散光之间的匹配需要达到最接近的 0.25D,需要约 25 种不同的前表面构造以覆盖上述范围。此外,将通道 114 连接到刚性透镜 108 引起左透镜和右透镜之间的差别,使得款式总数进一步增加为 2 倍。因此,需要刚性透镜 108 的前表面 118 上的 9,000 种不同构造来提供对 99% 的需要视觉校正的人群的校正。

[0032] 在本发明的实施例中,通过设计旋转对称的透镜毛坯可以大幅度降低前透镜上的款式的数量,该旋转对称透镜毛坯 (blank) 可以高产量地进行模制或机械加工。然后,可以裁剪出期望的透镜形状以对应于流体透镜的期望形状,膜连接到经裁剪出的这种形状的外边缘。可以在经裁剪出的刚性透镜一侧中钻出孔,以提供连接到通道内部的流体路径。小连接器或套筒可以将通道的端部连接到孔。

[0033] 应用对流体透镜组件的刚性透镜 108 的前表面 118 的复曲面校正还能够实现构造非圆形(例如,椭圆或矩形)形状的流体透镜。非圆形流体透镜还未商业化,这是因为流体透镜膨胀以达到更高的正光焦度,所以非圆形流体透镜产生出散光误差。这是因为将流体注入到流体透镜中引起在所有方向上相等的流体静压力增大。这种力使得流体透镜组件的柔性膜(例如膜 110)伸展或向外膨胀。此外,该力使得膜的表面更凸出,并向流体透镜提供更高的正光焦度。对于非圆形流体透镜的情况,膜的子午线 (meridian) 的长度在所有方向上并不相等。因此在不同的子午线中膜的曲率不同,在最短的子午线中曲率最陡,在最长的子午线中曲率最不陡。这产生复曲面形状。在实施例中,通过对刚性透镜的前表面增加散光校正可以抵消在流体透镜中的这种膨胀引起的散光。以此方法,当流体透镜非膨胀时(即,当流体透镜处于其最小正光焦度时),透镜组件具有与增加到刚性透镜的前表面的散光相对应的散光。即,当流体透镜非膨胀时,不通过任意膨胀引起的散光来补偿增加到刚性透镜的前表面的散光。对刚性透镜 108 的前表面 118 增加散光能够在最低正光焦度下的散光和更高正光焦度下的散光之间进行权衡。这种权衡可以经计算并为流体透镜的光焦度的总设计范围进行优化。假如散光在流体透镜的范围或光焦度内的任意点处没有超出人眼的散光容限的阈值,则这种权衡还是佩戴者可接受的。

[0034] 在一个示例性实施例中,根据表 1 中所示的参数来设计流体透镜。在本实施例中流体透镜的前表面没有任何散光校正。

[0035] 表 1 :流体透镜实施例的规格

[0036]

刚性透镜的前表面的曲率半径, $R_a$	500mm
刚性透镜的后表面的曲率半径, $R_b$	500mm
流体透镜的长直径, a	35.0mm
流体透镜的短直径, b	34.0mm
偏心率, a/b	0.972
流体透镜操作的范围	1.25D 至 3.25D
沿着长轴的初始光焦度, $DI_a$	1.25D
沿着短轴的初始光焦度, $DI_b$	1.26D
流体透镜的初始状态的散光	0.01D
沿着流体透镜的长轴的最终光焦度, $DF_a$	3.25D
沿着流体透镜的短轴的最终光焦度, $DF_b$	3.37D
流体透镜的最终状态的散光	0.12D

[0037] 在表 1 所述的流体透镜实施例中, 刚性透镜由双酚 A 的聚碳酸酯制成, 膜是双轴取向的聚对苯二甲酸乙二醇酯 (商品名 MYLAR), 流体是折射率 1.54 的硅油。在这种情况下, 与圆形的偏离程度表示为偏心率, 偏心率更远离 1.0 时, 形状逐渐变成更加非圆形。表 1 中的数据表示略微偏离圆形已经引起在范围内的最高点处 (即, 3.25D) 产生出相对低的散光量 (0.12D)。

[0038] 图 2 示出在本流体透镜实施例中散光的建立随着偏心率的依赖性。纵坐标以屈光度 (D) 显示出散光, 而偏心率 ( $k_v$ ) 绘制于 x 轴上。在图 2 中, 线 202 表示表 1 所述的流体透镜实施例。线 204 示出在范围最低点 (1.25D) 的散光值, 线 206 表示范围的最高点 (3.25D)。

[0039] 很明显, 对于引人注目的 (即, 商业用途) 流体透镜的非圆形几何形状 (例如  $k_v < 0.85$ ), 达到光焦度范围的最低点 (1.25D) 所需要的相对小膨胀产生小幅度散光。该散光通常低于人眼的感知水平 (通常是 0.10-0.12D)。但是, 在光焦度范围的更高端处引起的散光在  $k_v = 0.85$  下达到 0.85D, 远高于人眼在参与近视觉任务时的散光容限的范围, 该范围在直视时通常约 0.50D (即,  $0^\circ$  的凝视角, 在透镜的超过  $15^\circ$  凝视角的任意部分上不超过 0.75D)。图 2 举例说明与非圆形流体透镜相关联的问题的程度。

[0040] 图 3 示出在刚性透镜的前表面上具有增加的 0.125D 散光校正 (即, 复曲面校正) 的表 1 所规定的流体透镜实施例中散光的增大率。根据设计意图, 线 304 表示在范围最低点处散光的值, 线 304 在 1.0 的偏心率下达到 0.125D。线 306 表示在范围的最高点处散光的值, 线 306 在 0.87 的偏心率下达到 0.50D。有趣的是, 流体透镜的散光在 0.94 的偏心率下在光焦度的整个范围内保持恒定为约 0.12D。通过增加刚性透镜的前表面的散光校正, 可



以实现更低偏心率的非圆形形状。最大的这种校正应当不超过 0.18D, 以在流体透镜组件的光焦度范围的下端处符合佩戴者所期望的视觉舒适性和图像质量。这种结果表示出可以按照这种方法来设计适度非圆形形状的流体透镜。

[0041] 柔性膜的修改形式

[0042] 通过使得柔性膜（例如膜 110）膨胀以采取非球面（与球面相对）形状, 可以使得流体透镜（例如流体透镜 100）变成非球面。在实施例中, 非球面流体透镜使用成形厚度的膜以形成流体透镜。用于形成圆形形状的流体透镜组件的均匀厚度膜均匀地膨胀, 从而获得球面形状。通过膜的局部刚性可以主要控制膜的局部弯曲, 通过使得膜变硬或者沿着表面改变膜的厚度可以改变膜的局部弯曲。因此, 成形厚度的膜可以用于形成非球面流体透镜。

[0043] 例如, 如果需要旋转对称非球面形状, 则膜应当膨胀成椭球面或双曲面形状。通过以径向对称的方式改变膜的厚度可以实现这样的膨胀轮廓。如本领域技术人员将理解的, 通过厚度沿着膜的表面的适当形状可以提供任意表面形状。

[0044] 通过延伸与弯曲的叠加得到弹性膜变形。刚度通常与弹性模量成比例。对于变形的延伸部分, 其还与膜厚度成比例; 弯曲部分与厚度的三次幂成比例。调节刚度的一种方法包括沿着特定取向调节膜的厚度。可以通过各种方法（例如, 通过特定取向的伸展处理）可以改变膜的厚度。另一方法是（例如通过等离子体沉积处理）沉积可变厚度的涂层。如图 5a、5b 和图 6a、6b 所示, 另一方法是沿着膜的某一子午线粘结性连接适当厚度的膜的第二带。这些方法较少限制包括流体透镜装置的眼镜的形状, 这是因为通过基于有限元的方法可以分析任意形状, 识别出有效的“长”和“短”轴, 然后沿着这些轴实施厚度变化。可替换地, 可以得到作为膜的  $x, y$  坐标的函数的刚度的解, 并且可以通过沉积相对硬的涂层（例如氧化硅  $\text{SiO}_x$ ）产生刚度的这种矩阵。

[0045] 具有位置相关刚度的柔性膜的设计会需要计算: 椭圆流体透镜中膜的力学响应、由于上述变形或伸展而通过膜获得的表面几何形状、以及包括具有生成形状的膜的流体透镜的光焦度, 上述各项都随着注入到透镜中的流体体积而变化。此外, 可以执行多次迭代计算, 以尽可能接近柔性膜的实际形状、以及由这种光学器件产生的视网膜图像的离焦状态。在一个示例中, 使用示例性软件系统来计算这些复杂计算。示例性软件系统以一种方式结合有多种不同的软件包, 每个软件包具有不同的功能, 以使得软件的每个部分将其结果输入到下一系统。

[0046] 仅作为示例, 下列软件包用于本文的示例性实施例所述的计算中。在由位于马萨诸塞州 Burlington 的 COMSOL, Inc. 所开发的 COMSOL Multiphysics 软件上对流体膜的变形建立模型。COMSOL 模型的输出被传送到由位于马萨诸塞州 Natick 的 MathWorks, Inc. 所生产的 MATLAB 软件中, 以获得为此目的的最佳拟合多项式。使用二阶多项式（二次方程式）, 以计算为此目的的球形和圆柱体拟合的最佳组合。然后将该多项式输出到由位于马萨诸塞州 Bellevue 的 ZEMAX Development Corporation 所生产的 ZEMAX 光学建模软件中。对于偏心率为 0.8 的椭圆流体透镜, 将流体膜的变形计算为 COMSOL 上流体膜的  $x, y$  坐标的函数。长直径为 35mm, 而短直径为 28mm。在一个象限中运行该模型, 从而利用四折对称的优势。图 4 以正面投影示出根据这些参数在 COMSOL 软件包上计算的、液晶透镜中的柔性膜的示例性变形梯度。图 4 中的轮廓表明在整个膜上变形是非均匀的, 对于 2000 帕斯卡的

压力达到 0.7mm(700 微米) 的峰值。图 8a 和 8b 各自表示图 4 中所示的变形的一个维度扫描。图 8a 示出沿着水平轴的变形, 图 8b 示出沿着竖直轴的变形。在三个层中以扫描方式完成网格划分以包括弯曲模式, 总共产生 5439 个单元。该数据被输出至 MATLAB 中, 以用于将输入到 ZEMAX 中的最佳二次多项式拟合。

[0047] 在该计算方案的初始评估过程中, 观察到较粗大的网格尺寸提供适当的精度, 并逼近于由较细网格尺寸产生的表面。此外, 如方程式 3 和 4 所示, 还发现在 MATLAB 上计算的二次多项式最佳拟合中可以省略交叉项, 以使得将表面适当地表示为更简单的具有  $x, y$  二次项的双锥形。方程式 3 是 MATLAB 用于对从 COMSOL 输出的变形数据进行拟合的最近拟合方程式。

[0048] 双锥形泽尼克矢高 (Zernike sag)

$$[0049] \quad z_b Z(x,y) := \left[ \frac{\frac{x^2}{-R_x} + \frac{y^2}{-R_y}}{1 + \sqrt{1 - (1+k_x) \cdot \left(\frac{x}{R_x}\right)^2 - (1+k_y) \cdot \left(\frac{y}{R_y}\right)^2}} + \alpha_x \cdot x + \alpha_y \cdot y \right]$$

[0050] (方程式 3)

[0051] 方程式 4 省略  $x, y$  交叉项之后的方程式 3, 方程式 4 对变形数据提供满意的拟合。该方程式用于将表面变形数据输出到 ZEMAX 中。

[0052] 泽尼克矢高

$$[0053] \quad z_b(x,y) := \frac{\frac{x^2}{-R_x} + \frac{y^2}{-R_y}}{1 + \sqrt{1 - (1+k_x) \cdot \left(\frac{x}{R_x}\right)^2 - (1+k_y) \cdot \left(\frac{y}{R_y}\right)^2}} \quad (\text{方程式 4})$$

[0054] 该计算和建模方法用于评价在光焦度方面在 2.0D 的屈光度范围内可以调节的非圆形流体透镜的不同设计概念。低光焦度假设为 1.25D, 高光焦度采用 3.25D。另一假设是: 在低光焦度下允许有最大 0.18D 的散光, 在高光焦度下允许有最大 0.50D 的散光。

[0055] 在实施例中, 提供柔性膜的非均匀厚度, 以响应于流体注入而调节和改变柔性膜的变形, 并随后提高球光焦度。如上所述, 可以根据多种方式获得可变厚度的柔性膜。在实施例中, 使用带或垫以沿着膜表面的某些部分改变厚度。这种带或垫可以从与用于制造柔性膜的聚合物相同的聚合物裁剪出, 然后连接到柔性膜。例如, 带或垫可以连接到柔性膜的内表面并与流体 (例如, 油) 接触, 以将带或垫的可见性减至最低。可以使用粘结剂来完成将这些带或垫连接到膜。在实施例中, 粘结剂的折射率与流体的折射率近似相等。可替换地, 可以通过激光焊接或超声波焊接、或者本领域技术人员众所周知的其他方法将带或垫连接到柔性膜。为此目的可以使用一个或多个这种带或垫。在实施例中, 没有使用带和垫来增加柔性膜的厚度; 相反, 厚度差整体形成于单一柔性模板。举例而言并且非限制性地, 用于产生改变厚度的柔性膜的技术包括模制、模压成型、热成型和激光消融。

[0056] 图 5a、5b 和图 6a、6b 示出带和垫的示例性设计, 对带和垫建立模型以得出最优形

状和轮廓以便于调节膜的刚度。图 5a 和 5b 示出分别沿着柔性膜 506 的 x 和 y 轴应用的带 502、504。图 6a 和 6b 示出分别沿着柔性膜 606 的 x 和 y 轴应用的垫 602、604。

[0057] 表 2 示出图 5a、5b 和图 6a、6b 中所示的示例性设计的分析结果,对沿着 x 和 y 轴应用带或垫(在表 2 中称作加强件)进行比较。在表 2 所使用的示例性模型中,加强件(例如,带或垫)的厚度与柔性膜自身的厚度相同。即,厚度在应用了加强件的位置处加倍。在 ZEMAX 软件上执行最终分析,ZEMAX 软件用于计算在球光焦度的整个范围内的散光、以及沿着 x 和 y 轴的图像光斑尺寸。在此分析中,偏心率假设为 0.864,光学器件沿着长轴(x 轴)为 35mm 而沿着短轴(y 轴)为 30.25mm。最低光焦度是 1.25D,最高光焦度是 3.25D。刚性透镜的前表面具有复曲面校正,以使得在所有情况下在最低光焦度(1.25D)下的净散光是 0.18D。沿着 x 轴的光斑尺寸是聚焦时的 x 值;沿着 y 轴的光斑尺寸是聚焦时的 y 值。

[0058] 表 2:椭圆流体透镜中柔性膜上的加强件的建模

[0059]

加强件	在 3.25D 下的散光	沿着 x 轴的光斑尺寸, 微米	沿着 y 轴的光斑尺寸, 微米
无	0.73D	10.1	14.2
沿着 x 轴的垫 (图 5a)	0.61D	9.9	13.2
沿着 y 轴的垫 (图 5b)	1.02D	10.6	16.9
沿着 x 轴的带 (图 4a)	0.51D	9.7	12.5
沿着 y 轴的带 (图 4a)	1.04D	10.4	17.0

[0060] 然后,随着偏心率的改变对增加加强件的效果进行检验。表 3 示出在示例性模型中随着加强装置的厚度增加的散光增大率。在本示例性分析中,偏心率假设为 0.864,长直径为 35.0mm。最低和最高球光焦度分别假设为 1.25D 和 3.25D,调节范围是 2.0D。还假设刚性光学器件的前表面沿着适当的轴具有复曲面校正,以使得最低光焦度下的净散光保持在 0.18D。在 ZEMAX 上计算在最高球光焦度下的散光、以及图像的光斑尺寸。假设基底膜为单位厚度,以使得 1X 厚度的加强件将应用该加强件的膜的厚度加倍。期望图像的光斑尺寸与视网膜图像的点扩散函数、对视网膜图像的清晰度和清楚性的关键测量、以及对佩戴者所接收的图像质量的测量相关联。在表 3 所示的示例中,随着流体透镜中加强件厚度增加,图像质量有改进。

[0061] 表 3:散光随着加强件厚度的变化

[0062]

加强件	3.25D 下的最大散光	沿着 x 轴的光斑尺寸, 微米	沿着 y 轴的光斑尺寸, 微米
无	0.73D	10.1	14.2
垫 1X	0.61D	9.5	13.2
垫 2X	0.37D	7.5	9.4
垫 3X	0.14D	7.4	8.0
带 1X	0.51D	9.7	12.5
带 2X	0.35D	9.5	11.4
带 3X	0.17D	9.2	10.2

[0063] 在本示例中发现, 3X 加强件能够使得偏心率达到 0.80 的非圆形光学器件的使用成为可能, 并同时保持在为最低和最高球光焦度 (sph) (例如, 1.25sph 下的 0.18D, 和 3.25D sph 下的 0.50D) 规定的散光界限内。这种水平的偏心率对于大部分透镜设计是足够的, 这是因为其提供 40mm 的长轴直径以及 32mm 的短轴直径。通过进一步增强加强件 (例如, 通过使用 4X-6X 厚度的垫或带) 可以实现进一步偏离圆形 (例如, 0.7 的偏心率)。

[0064] 还应当注意, 上述分析和结果针对假设瞳孔尺寸为 4.0mm 的示例性近轴情形。也就是说, 这可在中等视场角 (小于 10 度) 应用于内光学器件的中心。对于整个光学器件, 可以在不同凝视角下重复这种分析。这样的计算还将优化膜的形状, 因为可以规定对整个光学器件提供最佳校正而不是在光学中心提供最佳校正的加强方案。在执行该全局优化时, 可以认识到在确定整体视觉满意度时远离中心的光学分部并不像光学器件的中心一样重要, 这是因为大部分观察任务需要直视, 对于最舒适的近视觉感受采用补充头部运动的受控眼睛运动。

[0065] 其他形状的光学器件 (例如, 矩形或方形光学器件) 也适合于本方法。例如, 变形膜的形状可以描述为点的集合 (例如, 点云) 或者用于拟合这些点的线条的集合。在这种情况下, 计算传播穿过液体透镜 (包括变形的膜) 的射线的波阵面, 对波阵面应用自适应校正以使得视网膜图像质量最优化。可以通过图像质量的多种常规使用的衡量标准中的一种 (例如斯特列尔比 (Strehl ratio) 或等效离焦) 来测量视网膜图像质量。

[0066] 流体透镜嵌入部分

[0067] 在嵌入型设计实施例中, 流体透镜的非圆形形状包括中心定位在佩戴者的瞳孔位置处的圆形或椭圆部分。在这样的实施例中, 在戴上眼镜后, 瞳孔的中心与嵌入部分的中心对齐。采用圆形嵌入部分, 因为圆形形状的竖直直径必需装入在框架的竖直直径内, 所以根据透镜框架的形状, 作用区可以较小。如果柔性膜的作用区太小, 则由于佩戴者的眼睛移动在左右方向比在上下方向会需要更大的观察范围, 这会不适合于佩戴者。例如, 普通佩戴者需要约 30-35mm 的作用区宽度, 以使得眼睛的左右移动舒适。即使在嵌入部分的竖直尺寸与作用区宽度相比较小的时, 椭圆嵌入部分也允许有这样的作用区宽度。图 7a、7b 示出流体透镜组件 704 中的示例性椭圆嵌入部分 702。嵌入光学器件 702 在这里称作作用光学区域。作用光学区域设计成膨胀以提供期望的光焦度范围。在光焦度范围的低端和高端下的

散光规格只应用于作用区。可以通过使得膜的厚度大致比围绕光学区域薄来形成作用区。例如,如图 7b 的示例性椭圆嵌入部分所示,发现对于 25mm×35mm 的作用区,在 1.50D 的光焦度范围内(从 1.25D 至 2.75D)0.80 的偏心率满足上述规格。可以使用 2X 至 10X 的膜厚度比以提供整体光学区域的这种分割。在实施例中,膜厚度比是 3X 至 7X。厚度比越小,则外部区域经历更大的弯曲。这引起在作用区中的更高水平散光。

[0068] 为使在美观方面可接受这种设计,可以更平滑地弯曲作用光学区域的边界,以避免图像跳动或可感知的图像畸变。发现与该边界相关联的视觉不适的主要原因是:(1) 棱镜非连续性;(2) 放大率非连续性;和(3) 由光焦度不连续性引起的高度局部化的散光。这些也是有助于该边界的可见性的主要原因,并可能引起美观方面的不可接受结果。通过提供过渡区域可以使这些问题最小化。在实施例中,过渡区域的宽度约 1-5mm。在另一实施例中,过渡区域的宽度约 2-3mm。通过过渡区域内光焦度的梯度可以确定该过渡区域的宽度,这是因为例如仅对于 0.50D/mm 或更小的光焦度梯度,该区域的可见性能是可接受的,这在该区域中引起 0.50D 的最大散光值。在这样的示例中,1.50D 的光焦度范围需要 3.0mm 的过渡区域宽度。

#### [0069] 结论

[0070] 尽管上文描述本发明的实施例,但是应当理解这些实施例仅作为示例进行描述,而不是加以限制。对于本领域技术人员来说显而易见的是,在不脱离本发明的精神和范围的情况下可以对形式和细节进行各种改变。因此,本发明的幅度和范围不应由上述示例性实施例来限制,而是只应当根据权利要求书和其等价形式来限定。

[0071] 此外,前文“摘要”的目的是使得美国专利商标局和公众(特别是对专利或法律术语或用语不熟悉的本领域科学家、工程师和从业者)一般性地通过粗略查阅来快速确定本申请的技术公开文本的特性和实质。“摘要”并非要以任意方式限制本发明的范围。

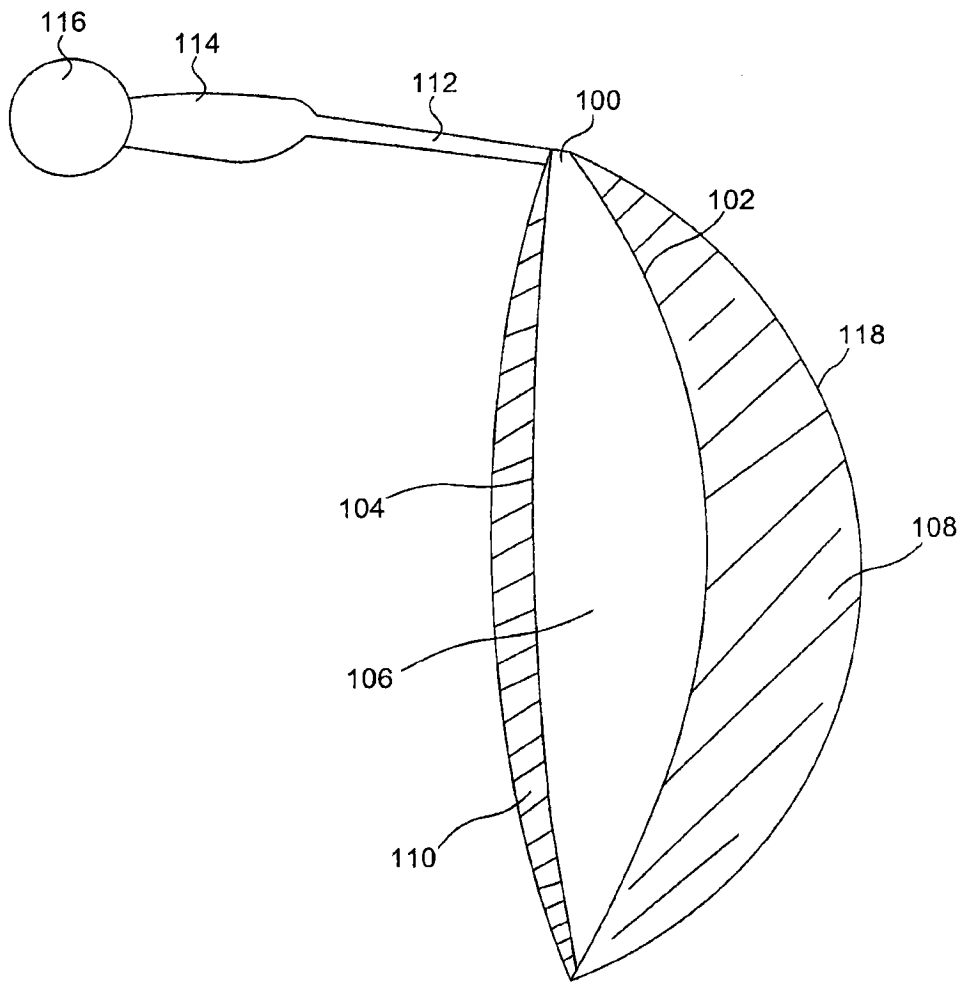


图 1

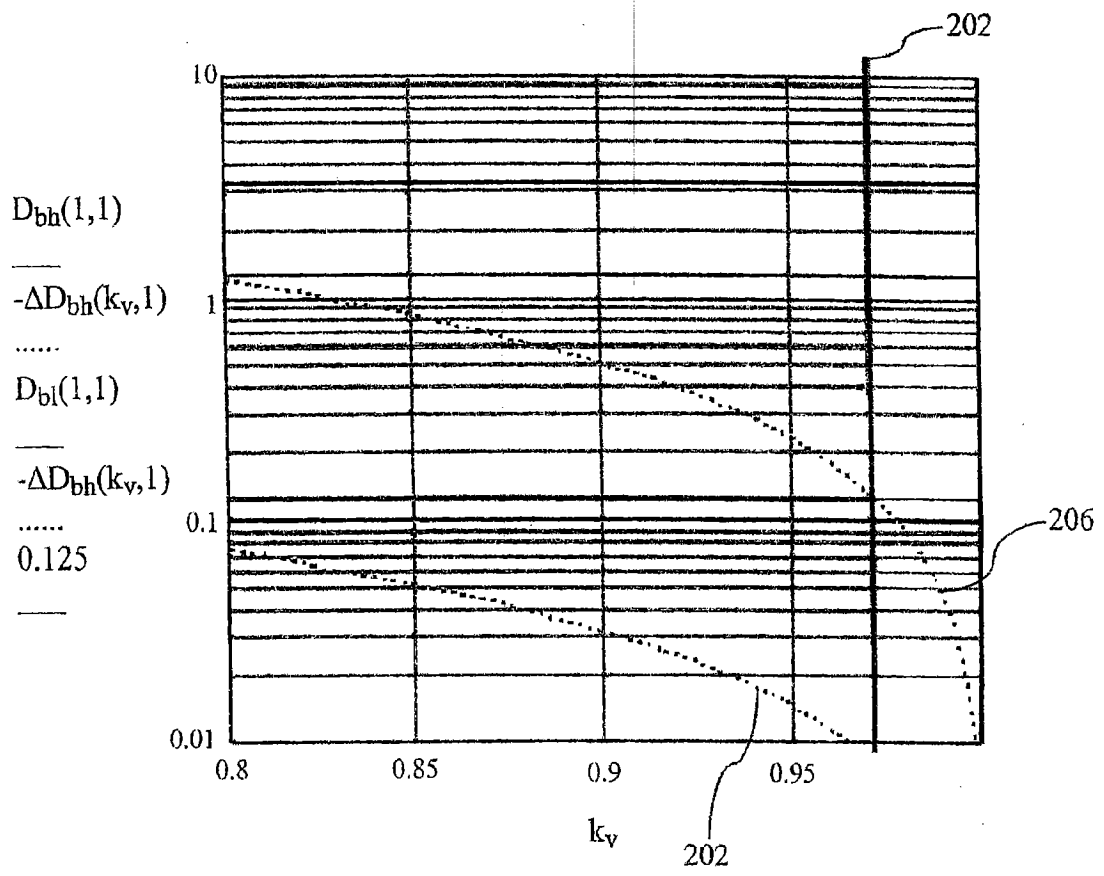


图 2

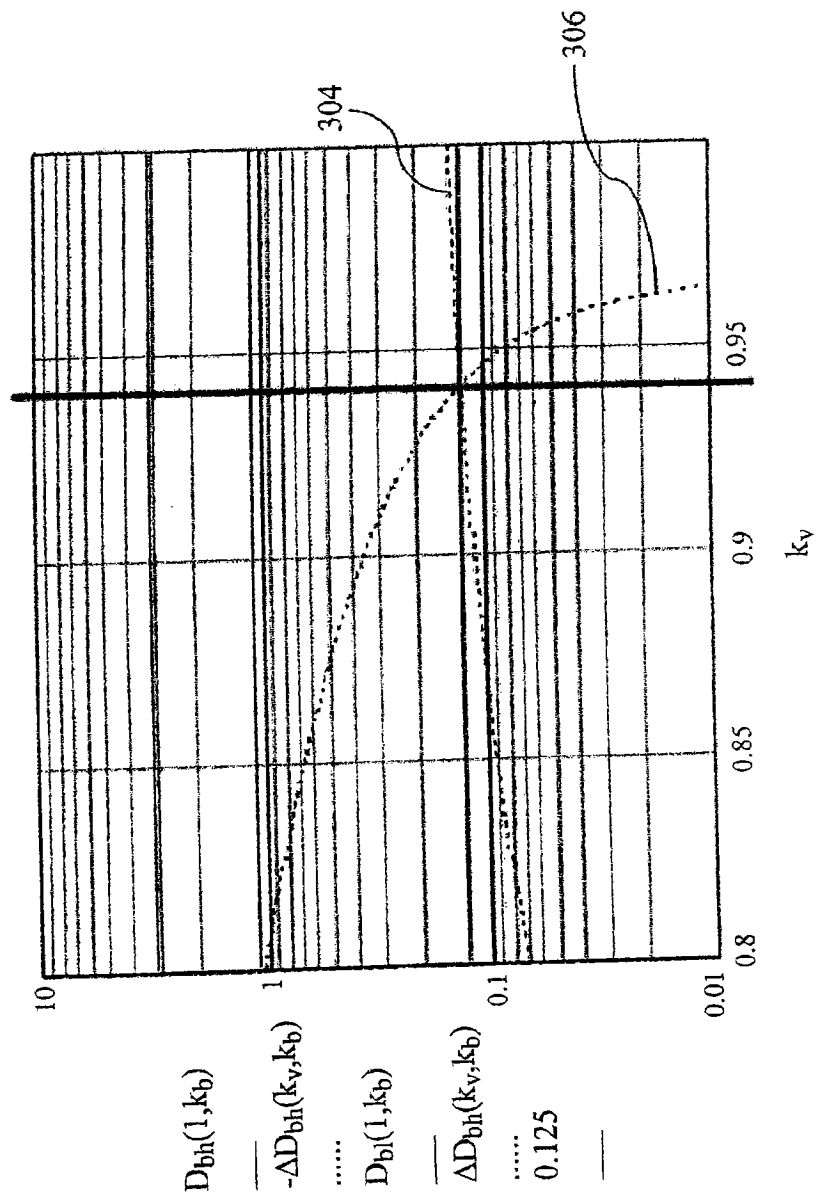


图 3



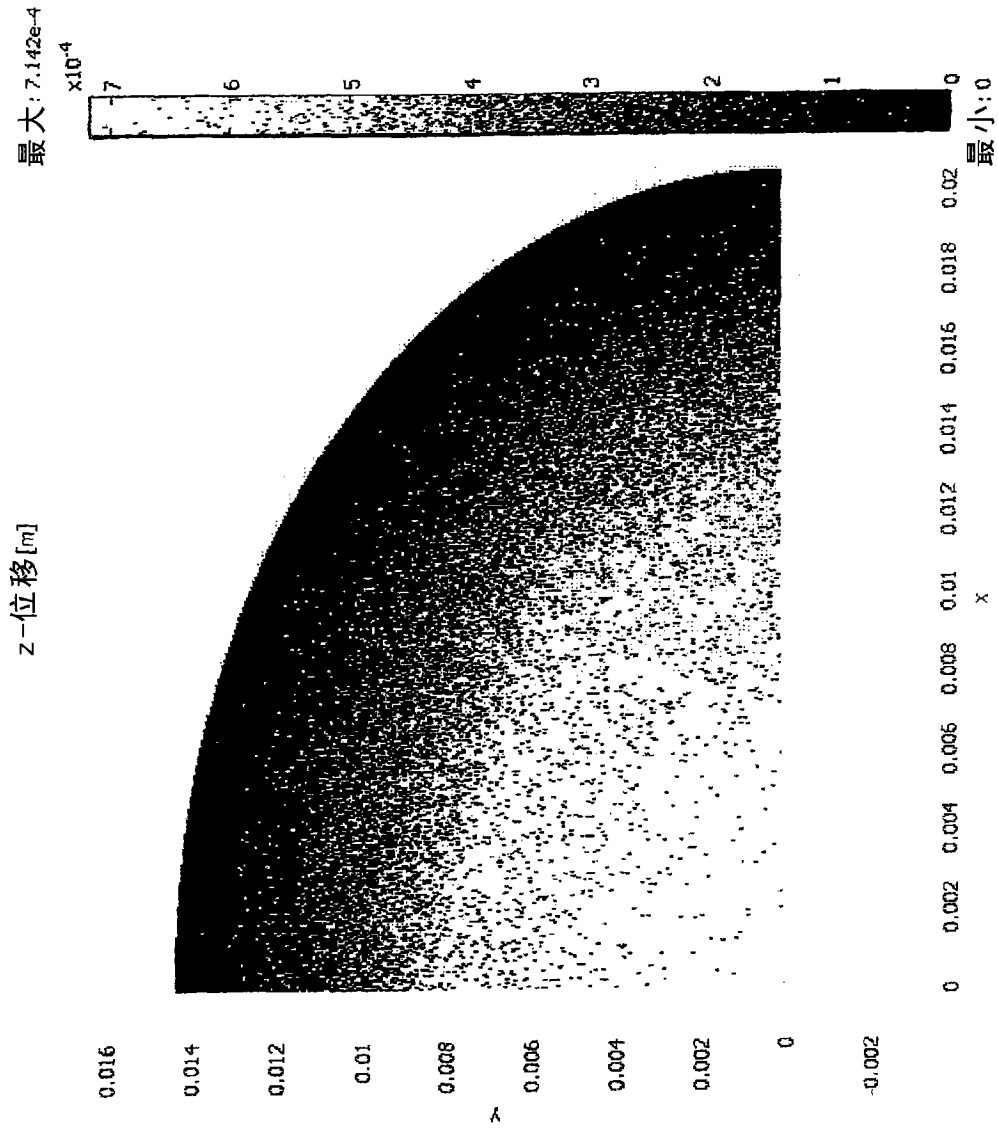


图 4

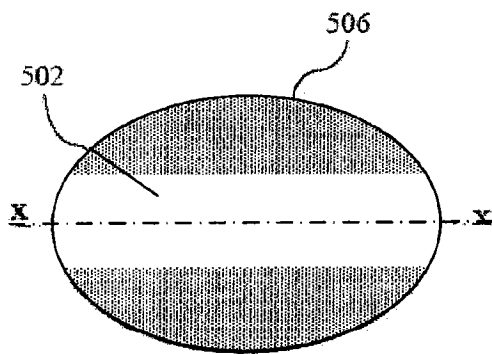


图 5a

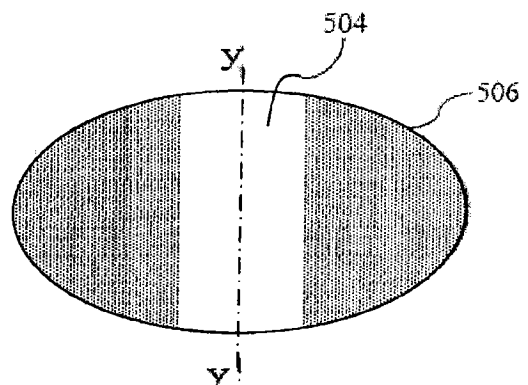


图 5b

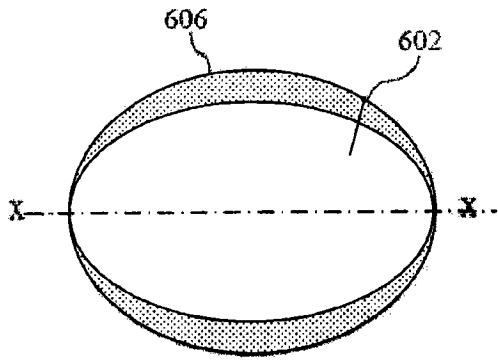


图 6a

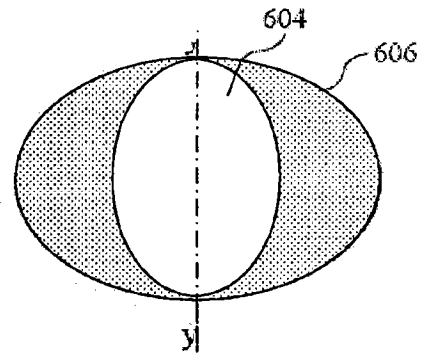


图 6b

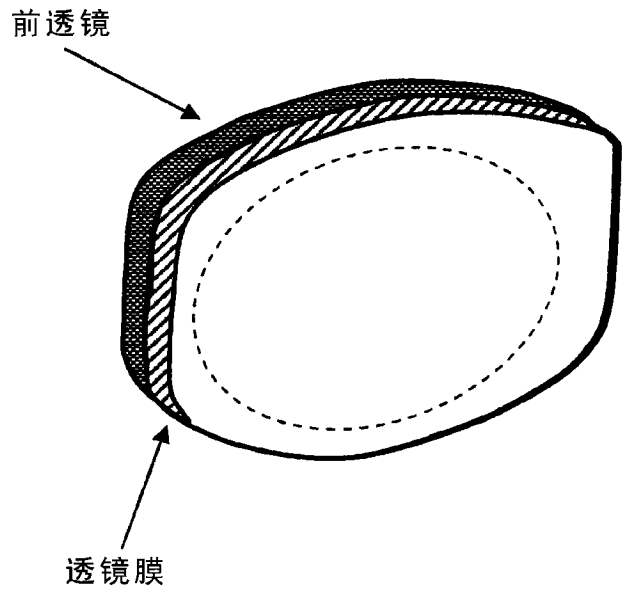


图 7a

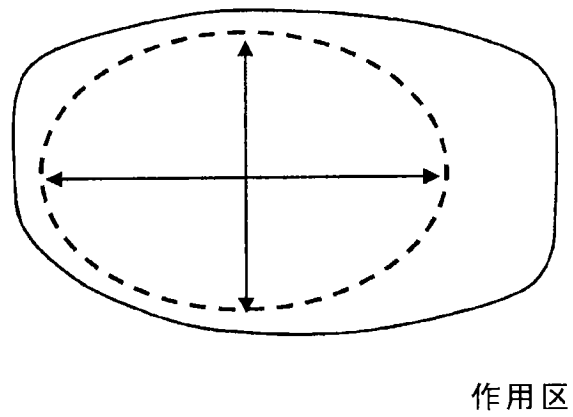


图 7b

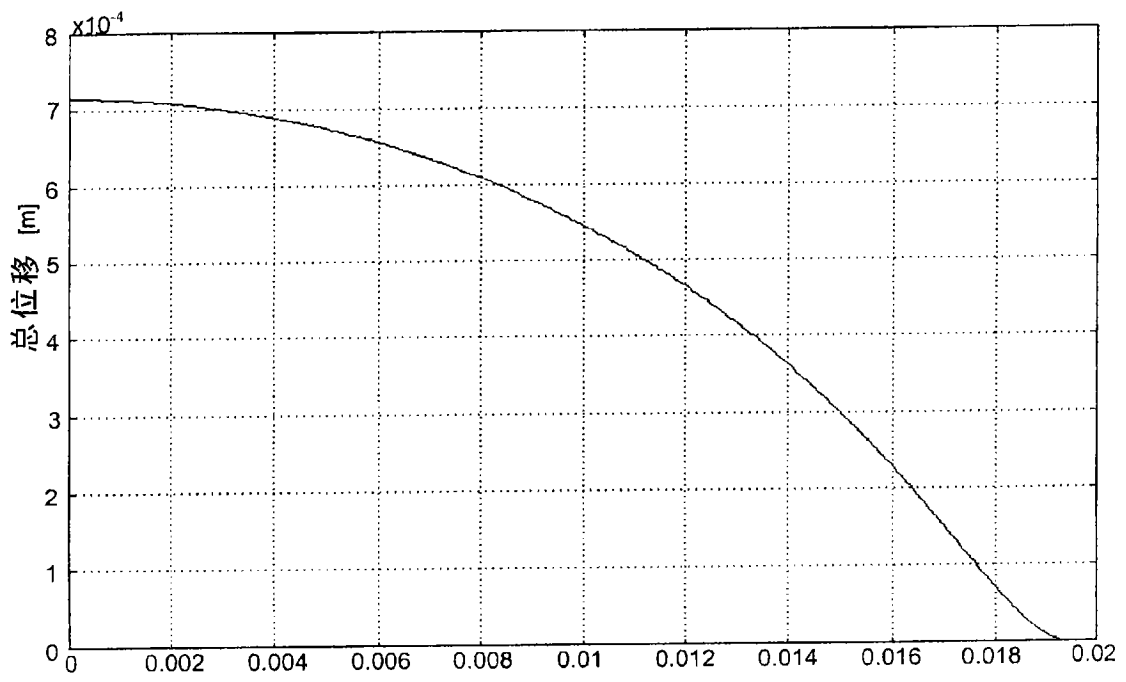


图 8a

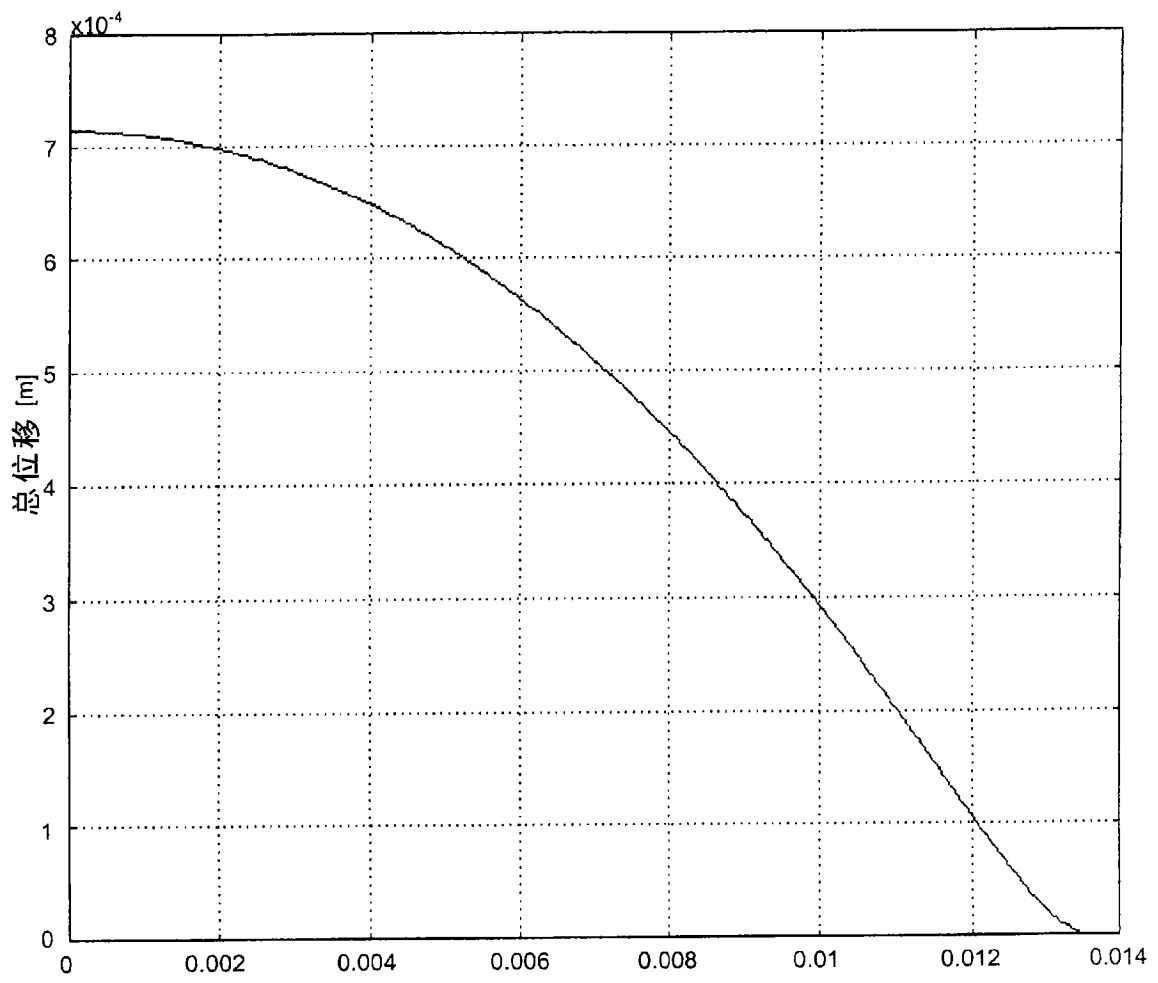


图 8b