

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

A61B 3/02 (2006.01)

G02B 1/06 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200580045659.8

[43] 公开日 2007年12月26日

[11] 公开号 CN 101094605A

[22] 申请日 2005.11.17

[21] 申请号 200580045659.8

[30] 优先权

[32] 2004.11.18 [33] US [31] 10/993,409

[86] 国际申请 PCT/US2005/042099 2005.11.17

[87] 国际公布 WO2006/055893 英 2006.5.26

[85] 进入国家阶段日期 2007.7.2

[71] 申请人 维思克斯公司

地址 美国加利福尼亚

[72] 发明人 C·坎贝尔

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商
标事务所

代理人 田元媛

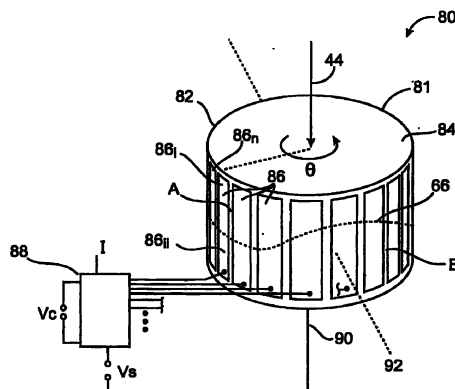
权利要求书6页 说明书18页 附图4页

[54] 发明名称

利用流体聚焦静电可变透镜的球柱面视觉折
射系统

[57] 摘要

一种光学装置、系统和方法可以产生和/或测量一定范围的光焦度和柱面轴的柱面(以及球面)的透镜形状。流体聚焦透镜使用电势通过控制界面和周围的容器壁之间的局部角度来改变两个具有不同折射率的不混溶流体之间的流体/流体界面的形状。球面光焦度、柱面光焦度和柱面通道排列可以在没有移动部分(除了流体之外)情况下改变。



1. 一种光学设备，包括：

限定至少一个开口的至少一个外壳，该至少一个开口具有通过其中的光路；

配置在所述至少一个开口中以便限定一个或多个流体/流体界面的多个流体；和

连接到所述至少一个开口以便提供多个电润湿电势的电势源，该源被构形为响应第一输入改变至少一个电润湿电势以便所述一个或多个流体/流体界面改变所述光路的至少一个柱面定向。

2. 根据权利要求1的设备，其中所述源被构形为响应第二输入来改变所述至少一个电润湿电势以便所述一个或多个流体/流体界面响应第二输入来改变球面光焦度，以及所述一个或多个流体/流体界面响应第三输入来改变柱面光焦度，所述一个或多个流体/流体界面具有沿所述光路的球柱面光焦度。

3. 根据权利要求1的设备，其中：

所述至少一个外壳限定其中具有第一流体/流体界面的第一开口和其中具有第二流体/流体界面的第二开口，所述第一和第二开口每个都包括矩形截面；

改变第一电润湿电势实现第一流体界面的第一可变柱面光焦度的改变，第一可变柱面光焦度具有横跨所述光路横向延伸的第一柱面定向；

改变第二电润湿电势实现第二流体界面的第二可变柱面光焦度的改变，第二可变柱面光焦度具有横跨所述光路横向延伸的第二柱面定向；和

其中第一柱面定向从第二柱面定向关于所述光路有角度偏移。

4. 根据权利要求3的设备，其中：

所述至少一个外壳限定其中具有第三流体/流体界面的第三开口，该第三开口包括矩形截面；

改变第三电润湿电势实现配置在第三开口中的第三流体/流体界面的第三可变柱面光焦度的改变, 该第三可变柱面光焦度具有横跨所述光路横向延伸的第三柱面定向, 该第三柱面定向从第一和第二柱面轴关于光路有角度偏移。

5. 根据权利要求4的设备, 其中第一柱面定向基本上垂直于第二柱面定向, 以及其中第三柱面定向从第一柱面定向有角度偏移大约 45° 。

6. 根据权利要求3的设备, 进一步包括沿第一开口的相对侧配置的第一和第二电极, 以及沿第二开口的相对侧配置的第三和第四电极。

7. 根据权利要求1的设备, 其中外壳包括围绕所述光路配置的壁, 以及进一步包括关于壁周向分布的多个导体。

8. 根据权利要求7的设备, 其中所述导体限定电极阵列, 阵列的每个电极周向配置在阵列的两个相邻电极之间并且与这两个相邻电极电分离。

9. 根据权利要求7的设备, 其中电源关于所述光路施加周向电势系列。

10. 根据权利要求9的设备, 其中该电势系列包括DC电压的基本上正弦图案, 以及其中电源被构形为响应第二输入来改变该正弦图案的振幅以便改变沿所述光路的柱面光焦度。

11. 根据权利要求10的设备, 其中电源被构形为响应第一输入关于所述光路旋转所述正弦电压图案。

12. 根据权利要求11的设备, 其中该电源被构形为响应第三输入来改变图案的平均电压以便改变沿所述光路的球面光焦度。

13. 根据权利要求1的设备, 其中该光学设备通过影响所述至少一个外壳中的流体的移动并且不影响该设备的其他移动来响应第二输入改变柱面光焦度和响应第一输入来改变柱面定向。

14. 根据权利要求13的设备, 其中所述设备可以在从至少 -20.0 屈光度至至少约 $+20.0$ 屈光度的范围内改变柱面光焦度, 其中所述设备可以在约 180° 的范围内改变柱面定向, 以及其中所述设备可以在至

少-6.0至至少+6.0的范围内改变球面光焦度。

15. 根据权利要求13的设备，其中电源包括处理器，该处理器响应第一和第二输入确定多个电润湿电势。

16. 根据权利要求15的设备，其中处理器响应第三输入进一步确定电润湿电势以便改变沿所述光路的球面光焦度。

17. 一种流体柱面透镜设备，包括：

具有棱柱形第一开口的第一外壳，一光路通过该第一开口，该第一开口具有第一表面和第二表面，第二表面从第一表面偏移，所述光路在这两个表面之间；

配置在所述开口中以便限定横过第一和第二表面的第一流体/流体界面的多个流体；

电势源，其连接到第一和第二表面以施加第一可变电势到其上，以便改变流体/流体界面沿所述光路的第一可变柱面光焦度。

18. 根据权利要求17的流体柱面透镜设备，其中第一可变柱面光焦度具有横过第一开口的端面的第一定向，其中电势源施加另一电势到所述端面，所述另一电势不同于第一电势，并且进一步包括：

具有第二开口的第二外壳，该第二开口具有所述光路位于其间的第三表面和第四表面；

配置在第二开口中以便在其间限定第二流体/流体界面的多个流体；

所述电源连接到第三和第四表面以施加第二可变电势到其上，以便改变具有第二定向的第二可变柱面光焦度，该第二定向相对于第一定向关于所述光路有角度偏移；

具有第三开口的第三外壳，该第三开口具有第五和第六表面，所述光路在这两个表面之间；

配置在第三开口中以便在其间限定第三流体/流体界面的多个流体；

所述电势源连接到第五和第六表面以施加第三可变电势到其上，以便改变具有第三定向的第三柱面光焦度，该第三定向从第一和第二

轴有角度偏移，以便允许流体柱面透镜设备改变沿所述光路的球面光焦度、沿所述光路的柱面光焦度和沿所述光路的柱面定向。

19. 一种光学设备，包括：

限定至少一个开口的至少一个外壳，该至少一个开口具有轴向延伸通过其中的光路；

配置在所述至少一个开口中以便限定至少一个流体/流体界面的多个流体；

关于所述光路周向分布的多个电导体；

连接到所述电导体以便同时施加多个不同的电润湿电势到其上的电势源，所述源被构形为改变所述流体/流体界面以便可控地改变沿所述光路的球柱面光焦度。

20. 根据权利要求 19 的设备，其中所述源被构形为改变所述电润湿电势：

响应第一输入以便所述一个或多个流体/流体界面关于所述光路旋转柱面定向；

响应第二输入以便所述一个或多个流体/流体界面改变沿所述光路的球面光焦度；以及

响应第三输入以便所述一个或多个流体/流体界面改变柱面光焦度。

21. 根据权利要求 1 的设备，其中所述至少一个外壳限定其中具有第一流体/流体界面的第一开口和其中具有第二流体/流体界面的第二开口，所述第一和第二开口每个都包括矩形截面。

22. 根据权利要求 21 的设备，其中所述多个电导体包括沿第一开口的相对侧的第一和第二电极，和沿第二开口的相对侧的第三和第四电极。

23. 根据权利要求 19 的设备，其中所述外壳包括围绕所述光路配置的壁，并且进一步包括关于所述壁沿周向分布的多个导体。

24. 根据权利要求 23 的设备，其中所述电源关于所述光路施加 DC 电压的基本上正弦周向图案。

25. 一种综合屈光检查仪或自动折射器, 包括:

限定至少一个开口的至少一个外壳, 该至少一个开口具有通过其中的光路;

配置在所述至少一个开口中以便限定一个或多个流体/流体界面的多个流体;

配置在所述至少一个开口附近的多个电导体; 和

连接到所述电导体以便施加至少一个电润湿电势的电势源, 所述源被构形为改变所述一个或多个流体/流体界面以便可控地改变选自下面的一个或多个特性:

沿所述光路的球面光焦度;

沿所述光路的柱面光焦度; 和

沿所述光路的柱面定向。

26. 一种流体透镜光学方法, 包括:

通过施加至少一个电润湿电势来构形一个或多个流体/流体界面, 以便改变沿一光路的柱面定向。

27. 根据权利要求 26 的光学方法, 进一步包括:

通过改变所述至少一个电势来重新构形所述一个或多个流体/流体界面, 以使增加沿所述光路的球面光焦度。

28. 根据权利要求 27 的光学方法, 进一步包括:

通过改变所述至少一个电势来重新构形所述一个或多个流体/流体界面, 以便柱面光焦度的柱面定向改变。

29. 根据权利要求 28 的光学方法, 其中柱面光焦度、柱面定向和球面光焦度通过响应所述至少一个电势移动流体并且同时没有沿光路的其他移动而可控地改变。

30. 一种流体透镜光学方法, 包括:

通过同时施加多个关于一光路沿周向不同的电润湿电势, 来构形被所述光路横穿的至少一个流体/流体界面, 以便同时提供所述至少一个流体/流体界面的第一曲率和所述至少一个流体/流体界面的不同于第一曲率的第二曲率。

31. 根据权利要求 30 的光学方法, 其中第一和第二曲率沿单个流体/流体界面设置并且关于所述光路的轴线有角度偏移。

32. 根据权利要求 31 的光学方法, 其中第一曲率是平坦的, 流体/流体界面限定柱面透镜。

33. 根据权利要求 31 的光学方法, 其中第一和第二曲率不是平坦的。

34. 根据权利要求 33 的光学方法, 其中流体/流体界面限定球柱面透镜。

35. 根据权利要求 33 的光学方法, 其中流体/流体界面限定非球柱面透镜。

36. 一种光学设备, 包括:

限定至少一个开口的至少一个外壳, 该至少一个开口具有通过其中的光路;

配置在所述至少一个开口中以便限定至少一个流体/流体界面的多个流体; 和

连接到所述至少一个开口的电势源, 其被构形为同时施加多个电润湿电势, 以便所述至少一个流体/流体界面在球面和柱面光焦度方面可控地改变。

利用流体聚焦静电可变透镜的球柱面视觉折射系统

技术领域

本发明总地涉及一种光学装置、系统和方法，并且在一个实施例中提供一种能够在球面光焦度和/或柱面光焦度中调节以便允许例如人眼的折射误差的校正的流体透镜。

背景技术

人眼的折射误差以包括主观和客观方法的多种方式进行测量。人眼的主观测量可以通过在人眼之前放置校正透镜或校正光学系统以及进行所得到的校正视力的可控测试来实现。这些目测法通常用于当主体正在观察适当的目标图像时，识别对主体提供提高视力的球柱面校正。

当进行主观折射测量时，一系列单独的试验透镜可以定位在测试主体的眼睛之前。在许多主观的折射测试中，主体透过综合屈光检查仪，具有一组透镜的仪器观察。综合屈光检查仪的透镜可以顺序定位在眼睛的前面，主体通常在两个或多个可替换透镜布置之间选择以便提供最改进的视敏度。尽管一些现代综合屈光检查仪具有移动或选择透镜的机械化机构，但是大多数保持手动装置。

除了人眼折射误差的主观测量以外，还存在多种打算产生人眼的客观测量的结构。客观测量可以通过例如多种自动折射器来实现。这些仪器通常具有可变的校正光学系统，其可以单独校正球面误差，或可以在调节范围内校正眼睛的球柱面误差。自动折射器利用电动机、齿轮、滑板、轴承、滑轮等改变光学系统的球面（通常也包括柱面）光焦度。这些移动元件倾向于使自动折射器复杂，体积大，易受到磨损和损伤，并且十分昂贵。

根据上述内容，提供一种改进的光学装置、系统和方法是有利的。

如果这些改进允许球面、柱面、环形和其他可能误差的调节，校正和/或测量，特别是对于人眼误差的测量，则是特别有利的。如果这些改进可以不依靠大量的可替换透镜以及不需要电动机、齿轮、滑板、轴承、滑轮和其他已知的眼睛测量系统的移动部件来实现，则是特别有利的。

发明内容

本发明总的提供一种改进的光学装置、系统和方法。本发明的实施例可以产生一定范围的光焦度和柱面轴的球柱面、柱面、球面和其他透镜形状。本发明通常使用流体聚焦透镜，其使用电势来改变流体/流体界面的形状。两个具有不同折射率的不混溶流体之间的流体/流体界面可以通过改变界面相对于周围的容器壁的位置和/或角度来改变。在一些实施例中，容器可以具有矩形棱镜的形式，柱面透镜通过对棱镜的相对侧壁施加电势形成，任选地不同的电势施加到棱镜的端壁。可替换实施例可以使用具有一系列电极的基本上柱面的容器，该电极关于光路周向分布，以便允许球面、柱面和其他光焦度被改变。有利地，甚至当在人眼视力调节的整个范围内提供独立可变的球面光焦度、柱面光焦度和柱面定向时，也可不使用移动部分（除了流体之外）。

在第一方面，本发明提供一种光学设备，包括至少一个限定至少一个开口的外壳，该开口具有通过其中的光路。多个流体配置在所述至少一个开口中以便限定一个或多个流体/流体界面。电势源连接到所述至少一个开口。源被构形为改变至少一个电润湿电势以便响应第一输入改变所述一个或多个流体/流体界面的柱面定向。

所述源可以被构形为改变至少一个电润湿电势以便响应第二输入改变柱面光焦度，和/或改变至少一个电润湿电势以便一个或多个流体/流体界面的球面光焦度响应第三输入改变。优选地，球面光焦度可以在从至少约负 20.0 屈光度至至少约正 20.0 屈光度的范围内改变，以便基本上适应人眼球差的整个范围。类似地，设备将优选具有可以在至少负 6.0 屈光度至至少正 6.0 屈光度的范围内改变的柱面光焦度，柱面

定向在至少约 90° ，任选地至少约 180° 的范围内可变，以便光学设备可以补偿人眼中柱面像差的基本上整个范围。

任选地，至少一个外壳可以限定其中具有第一流体/流体界面的第一开口和其中具有第二流体/流体界面的第二开口。第一和第二开口可以每个包括相对于光路的矩形截面。第一电润湿电势的变化可以实现第一流体/流体界面的第一可变柱面光焦度的改变，第一可变柱面光焦度具有横跨光路横向延伸的第一柱面定向。改变第二电润湿电势可以实现第二流体/流体界面的第二可变柱面光焦度的改变，第二可变柱面光焦度具有横跨光路横向延伸的第二柱面定向。第一柱面定向可以与第二柱面定向关于光路有角度偏移。

所述至少一个外壳可以限定其中具有第三流体/流体界面的第三开口，第三开口包括矩形截面。第三电润湿电势的改变可以实现配置在第三开口中的第三流体/流体界面的第三可变柱面光焦度的改变。第三可变柱面光焦度具有横跨光路横向延伸的第三柱面定向，第三柱面定向与第一和第二柱面轴关于光路有角度偏移。例如，第一柱面定向可以基本上垂直于第二柱面定向，而第三柱面定向与第一柱面定向有角度偏移大约 45° 。

在许多实施例中，第一和第二电极可以沿第一开口的相对侧配置。类似地，第三和第四电极可以沿第二开口的相对侧配置，而第五和第六电极沿第三开口的相对侧配置。沿每个开口的相对侧的电极可以电耦合以便公共的电润湿电势可以容易地施加到每个开口的两侧。沿开口的两侧改变电润湿电势可以可控地改变在矩形开口的侧面和该开口中流体/流体界面之间限定的角度，和/或改变流体/流体界面沿相邻于电势的容器壁的位置。这可以用于可变地控制流体/流体界面的柱面光焦度，特别是在矩形开口的端部（连接相对侧）被构形为保持流体/流体界面和端面之间的 90° 角的地方，例如通过对于每个矩形开口的每个端部在适当的电润湿电势处提供端部电极。

在一些实施例中，外壳可以包括围绕光路配置的壁，以及可以进一步包括多个关于壁周向分布的导体。导体可以限定电极阵列，阵列

的每个电极周向配置在（以及电分离）阵列的两个相邻电极之间。在该周向阵列中通常存在五个或更多的电极，任选地为八个或更多电极，在一些实施例中，为十个或更多电极。电源可以关于光路施加切向系列的电势。该系列电势可以包括 DC 电压的基本上正弦图案。电源可以被构形为响应第二输入改变正弦图案的大小。电源还可以被构形为响应第一输入关于光路旋转正弦电压图案。优选地，电源被构形为响应第三输入改变图案的平均电压以便改变沿光路的球面光焦度。

在许多实施例中，光学设备可以通过影响至少一个外壳中的流体的移动并且不影响设备的其他移动来改变柱面光焦度和柱面定向。电源可以包括处理器，该处理器响应第一和第二输入确定多个电润湿电势。处理器可以响应第三输入进一步确定电润湿电势以便改变沿光路的球面光焦度。至少一个流体/流体界面可以任选地能够作为纯理论的柱面透镜，而没有显著的沿光路的球面光焦度。

在另一方面，本发明提供一种流体柱面透镜设备，包括具有第一棱柱形开口的第一外壳，光路通过该开口。第一开口具有第一表面和第二表面，第二表面与第一表面偏移，两表面间具有光路。多个流体配置在开口中以便限定横过第一和第二表面的第一流体/流体界面。电势源连接到第一和第二表面以施加第一可变电势到其上，以便改变流体/流体界面沿光路的第一可变柱面光焦度。

第一可变柱面光焦度通常具有横过第一开口的端面的第一定向。电势源可以施加另一电势到端面，另一电势不同于第一电势，特别是当第一柱面光焦度不等于零时。流体柱面透镜设备还可以包括具有第二开口的第二外壳，该开口具有其间具有光路的第三表面和第四表面。多个流体可以配置在第二开口中以便限定第二流体/流体界面。电源可以连接到第三和第四表面以便施加改变第二可变柱面光焦度的第二可变电势到其上。第二可变柱面光焦度可以具有第二定向，其相对于第一方向关于光路有角度偏移。第三外壳可以具有第三开口。第三开口可以具有第五和第六表面，其间再次具有光路。再次，多个流体可以配置在第三开口中以便限定第三流体/流体界面。电势源可以连接到第

五和第六表面以施加第三可变电势以便改变具有第三定向的第三柱面光焦度。第三定向可以与第一和第二轴有角度偏移，由此允许设备改变沿光路的球面光焦度、沿光路的柱面光焦度和关于光路的柱面定向。

在又一实施例中，本发明提供一种光学设备，包括至少一个限定至少一个开口的外壳，该开口具有轴向延伸通过其中的光路。多个流体配置在至少一个开口中以便限定至少一个流体/流体界面。多个电导体关于光路周向分布。电势源连接到电导体以便同时施加多个不同的电润湿电势到其上。源被构形为改变至少一个流体/流体界面以便可控地改变至少沿光路的球柱面光焦度。

任选地，外壳可以包括基本上柱面壁，棱柱形或其他形状的环绕光路延伸的壁。电导体可以关于壁周向分布。通常存在四个或更多的电导体，通常为五个或更多的电导体，以及在许多情况下，八个或更多的电导体关于壁切向分布。所述源可以被构形为改变流体/流体界面以便改变沿光路的球面光焦度，以及任选地，柱面光焦度的柱面定向。每个电导体可以沿光路延伸，沿光路的球面光焦度可以通过改变施加到电导体的平均电势而改变。除了提供柱面和球面光焦度以外，这种结构还可以提供其他变形的透镜形状。电势可以在周向上不同，一些实施例可以使用多个开口，每个具有流体/流体界面，以便不是所有的不同电势需要关于相同开口施加。

在又一方面，本发明提供一种包括至少一个限定至少一个开口的外壳的综合屈光检查仪或自动折射器，该开口具有通过其中的光路。多个流体配置在至少一个开口中以便限定一个或多个流体/流体界面。多个电导体配置在至少一个开口附近，电势源连接到电导体以便施加至少一个电润湿电势。源被构形为改变一个或多个流体/流体界面以便可控地改变选自下面的一个或多个特性：沿光路的球面光焦度；沿光路的柱面光焦度；和沿光路的柱面定向。在许多实施例中，电势源被构形为改变两个或多个特性，在许多情况下改变所有的三个特性。

在又一方面，本发明提供一种流体透镜光学方法，包括通过施加至少一个电润湿电势构形一个或多个流体/流体界面，以便改变沿光路

的柱面定向。

在许多实施例中，一个或多个流体/流体界面通过改变至少一个电势重新构形，以便柱面光焦度也可以改变。沿光轴的球面光焦度还可以通过改变至少一个电势来提供。柱面光焦度、柱面定向和球面光焦度可以通过响应至少一个电势移动流体并且没有沿光路的其他移动而可控地改变。

在又一方面，本发明可以提供一种流体透镜光学方法，包括通过同时施加多个关于光路的切向不同的电润湿电势，构形由光路横穿的至少一个流体/流体界面。电势可以被施加以便同时提供至少一个流体/流体界面的第一曲率和至少一个流体/流体界面的第二曲率。这可以任选地利用单个流体/流体界面，或利用多个流体/流体界面提供可变球柱面透镜。

在又一方面，本发明提供一种光学设备，包括至少一个限定至少一个开口的外壳，该开口具有通过其中的光路。多个流体配置在至少一个开口中以便限定至少一个流体/流体界面。连接到至少一个开口的电势源被构形为同时施加多个电润湿电势，以便至少一个流体/流体界面在球面和柱面光焦度方面可控地改变。

附图说明

图 1 示意性说明了一种具有一个或多个流体透镜以便改变沿光路的球面光焦度、柱面光焦度和柱面定向的光学设备，和用于测量人眼像差的设备的方法。

图 2 是说明了关于矩形开口的电极的布置以便可控地改变开口中流体透镜的柱面光焦度的简化示意图。

图 3 示意性说明了在相对于光路的不同方向处具有轴的三个可控可变柱面透镜，以便允许相对于光路的柱面光焦度、球面光焦度和柱面定向或轴的变化。

图 4A 至 4C 是从图 2 的矩形流体透镜得到的截面图，示出了一些内部元件，并且说明了电润湿电势的改变怎样可以改变柱面光焦度。

图 5 示意性说明了具有关于光轴切向分布的基本上柱面电极阵列的可替换流体透镜,以便改变单个流体/流体界面以提供不同条件范围内的球面光焦度、柱面光焦度和柱面定向或轴。

图 6 示意性说明了可以变形以用于图 5 的可变流体透镜设备的步进电机的元件。

图 7A 和 7B 图解说明了施加到图 5 的流体透镜设备的切向电极阵列的变化电势以便改变球面光焦度、柱面光焦度和柱面轴向排列。

具体实施方式

本发明总的提供一种改进的光学装置、系统和方法。本发明通常使用流体透镜,特别是用于改变柱面轴或定向、柱面光焦度、球面光焦度、球柱面特性、和/或流体/流体界面的其他光学属性。在此所述的流体透镜的相对低的成本、小的尺寸、轻的重量和制造的容易性可以允许普通的光学装置(例如双筒望远镜、望远镜、照相机、显微镜、内窥镜、甚至眼镜)通过包括这些流体透镜在其中以补偿用户眼睛的柱面和/或球面误差。虽然本发明的装置和方法特别适合于测量和/或补偿人眼的标准像差,但是它们也可以在光学记录技术、光通信、光学信号处理和远程通信、数字照相机、照相机电话、内窥镜、光和图像投影等中找到应用。

流体透镜可以包括两种不同折射率的不混溶流体。例如,一种流体可以是导电水溶液,而另一种可以包括不导电的油。流体透镜可以包含在一个或多个外壳中,外壳的内表面涂敷有疏水涂层。一般地说,液体的分子彼此吸引。在所有方向相等的吸引力平衡每个液体的体积中分子的相互作用,而液体表面上的分子经受力的不平衡,导致界面处能量的存在。该能量产生界面张力。疏水涂层可以增加至少一种流体的界面张力,例如,改变流体/流体边界和疏水涂层之间的接触角。该界面张力还可以限制疏水涂层和水溶液之间的接触,使得水溶液本身沿容器的一端聚集从而使得流体/流体界面以可控方式弯曲。因此,该弯曲的流体/流体界面可以作为沿着横过界面的光路的透镜。

流体透镜的流体/流体界面的形状可以通过横跨疏水涂层施加一个或多个电场来调节,以便它变得较少疏水。该处理有时称为“电润湿”并且可以电引发流体/流体界面和相邻的容器壁表面之间的静态接触角的改变。通过改变流体/流体界面沿所述壁的边界条件,电势可以驱动界面到不同的边界构形,以及在整个流体/流体界面上实现新的具有所需折射特性的总形状。界面形状的这些改变可以通过改变固体容器壁和流体/流体边界之间的静态接触角来引发,该角度又通过改变相对界面张力来引发。一旦边界条件利用沿容器壁的适当电润湿电势加以设置,那么表面的其他部分可以假定一形状以最小化与界面张力相关的表面能量,或最小化界面的表面区域。

本发明的实施例可以通过局部改变流体/流体界面关于流体/流体界面的周围的边界条件来控制流体透镜的折射特性。边界条件和尤其是流体/流体界面相对容器壁的静态接触角,可以任选地利用电润湿系数 K 来确定,其中 $K = \cos \alpha$ (α 是流体/流体边界和容器壁之间的静态接触角),如下:

$$K = \frac{\sigma_{sfp} - \sigma_{sfn}}{\sigma_{ff}}$$

其中 σ_{ff} 是两种流体之间的界面张力, σ_{sfp} 是两种流体的更多极性和固体容器壁之间的界面张力,以及 σ_{sfn} 是非极性流体和固体容器壁之间的界面张力。具有相对强分子间相互作用(从而高界面张力)的液体(例如水)被称为极性液体,而具有较低表面张力的液体被称为非极性。在此所述的流体透镜中的不混溶液体 A 和 B 通常包括一种相对极性的流体和一种极性小于极性流体的相对非极性的流体。

当容器表面和不混溶流体之间的电场改变时,固体容器壁和极性流体之间的界面张力可以显著改变。电场的相同改变可以引发固体容器壁和非极性流体之间的界面张力的较小改变(或甚至没有改变或沿相反方向的改变)。该差别至少部分可以与表面分子上的力的不平衡有关。当在一侧由类似分子围绕而在另一侧是不同物质时,极性液体界面分子通常引发更大的力。通过改变静电场,可以改变这些表面分子

对极性流体的相对强的吸引，由此改变界面张力的大小。沿容器壁的非极性分子受到电场中的相同改变的影响较小，因此非极性流体的界面张力不改变那么多。在上述等式中可以看出，如果一个界面张力改变而另一个没有改变（或改变较小，或甚至沿相反方向），那么等式的分子（因此电润湿系数）可以经历大小或甚至符号的改变。然而，应当注意，本发明的实施例不需要依赖于操作的具体理论，包括实验方法的可替换方法可以用于确定施加的电势、流体特性和透镜的光学属性之间的关系。

作为电势（因此静态接触角）改变和容器中流体和空间的受限量的结果，水溶液可以（例如）增强润湿所述流体透镜容器的壁，改变流体/流体边界沿容器壁的位置以及流体/流体界面的曲率半径（因此透镜的光焦度）。通过增加施加的电场，流体透镜的流体/流体界面可以可控地从凸、经过完全平坦或平的、向凹改变。当界面曲率从凹向凸改变时，在此所述的流体透镜一般（尽管不是必要地）从正向负光焦度改变。然而，通过添加固定光焦度的偏置球面透镜，折射范围的中心可以任意设置到任何选择的值。

如在 PCT 公开 WO 03/069380 中的更全面描述，该文献的整个内容在此结合作为参考，流体透镜中两种不混溶液体之一可以包括电绝缘液体例如硅酮油或链烷。导电液体可以包括包含盐溶液的水。两种液体优选具有充分相等的密度以便透镜独立于定向作用并且在两种液体之间没有显著的重力作用。绝缘流体的一般折射率可以在约 1.25 和 1.60 之间。导电溶液的一般折射率可以从约 1.33 变化至约 1.48。在许多实施例中，电导体或电极将在流体透镜的容器中与导电液体处于流体接触。

流体透镜通常配置在截面尺寸（相对于光路）小于约 1cm，通常小于约 5mm 的容器中。对于每个容器沿光路的长度也可以小于约 1cm，通常小于约 5mm。

现在参考图 1，病人用眼睛 E 通过光学设备 12 观察测试图像 10。眼睛 E 通常具有至少一些球面误差，例如近视或远视。眼睛 E 还可以

具有显著的规则柱面散光。这种散光可以在从近视至远视的范围内的任何地方，并且该散光的轴向定向可以改变。除了眼睛 E 的这些规则折射误差以外，眼睛还可以具有显著的不规则散光。

设备 12 通常具有提供眼睛 E 和测试图像 10 之间的光学耦合的光路 14。除了目镜光学系统 16，物镜 18 和其他任选的光学元件例如孔径等以外，设备 12 还包括流体透镜组件 20，其提供可变的球面和/或柱面聚焦能力以便补偿眼睛 E 的规则散光像差。眼睛折射器或其他具有这种可变焦球柱面校正系统的装置通常与中继透镜系统一起使用，其中球柱面校正器的动作被传递到主体的眼睛的瞳孔面。

至少一个流体/流体界面的构形通过改变从电势源 22 施加到流体透镜组件 20 的电润湿电势而改变。更具体地，源 22 被构形为提供多个电势，其响应球面光焦度输入 24、柱面光焦度输入 26 和柱面定向输入 28 而改变。响应这些输入，源 22 的处理器 30 配置电润湿电势以便在流体透镜组件 20 和/或设备 12 中产生总的所需球面光焦度、柱面光焦度和柱面定向，以便补偿折射误差。

在一些实施例中，沿设备 12 的光路 14 的唯一可移动元件是流体透镜组件 20 的流体透镜中的流体。在其他实施例中，眼睛 E 的散焦和/或散光的至少一部分可以利用一个或多个可选择透镜、一个或多个透镜的移动等进行补偿。例如，相对简单的球面流体透镜例如由荷兰的 Royal Philips Electronics 研发的 FluidFocus™ 流体透镜可以与 Stokes 交叉柱面透镜组件结合，以便提供完全的可变焦球柱面校正器。虽然依靠流体透镜以提供球面光焦度的可调节性可以提供优于现有的综合屈光检查仪和/或自动折射器的一些优点，但是存在机械 Stokes 交叉柱面透镜组件（或另一机械可调透镜系统）的复杂性、成本和庞大的问题。

流体透镜组件 20 可以具有沿光轴 14 的 2cm 或更小的总长度，在一些情况下具有 1cm 或更小的长度。流体透镜组件的横截面尺寸可以是 2cm 或更小，在许多情况下是 1cm 或更小。流体透镜组件 20 可以提供从 +20.0 D 至 -20.0D 的球面光焦度。球面和柱面光焦度可以以增

量调节(例如以 0.25D 的梯级),或可以可替换地在总光焦度范围的至少一部分内平滑且连续可调。柱面光焦度输入 26 可以允许柱面光焦度在至少从约-6.0D 至+6.0D 的范围内调节,而柱面定向输入 28 允许柱面轴的旋转或在至少约 90°的范围,任选地在至少约 180°的范围内关于光路 14 定向。由流体透镜组件 20 提供的焦距范围可以例如在约 5cm 至无限的范围内延伸,并且可以非常快,流体透镜在小于 100ms 内完成在整个焦距范围的转换,任选地其在小于 10ms 内完成。

有利地,流体透镜电润湿电势可以由 DC 电压源提供,并且可以主要表示为电容负载,因此透镜组件消耗非常少的能量。因此,电功率可以任选地通过电源 22 的电池 32 提供。光学设备 12 从而可以包括便携式结构,其可以在使用期间手动移动和/或手动保持。流体透镜的耐用性也可以非常高,任选地提供超过一百万次聚焦操作而没有光学性能的损耗。流体透镜组件 20 和设备 12 可以抗震并且能够在宽的温度范围下操作,使得它们特别适合于可移动应用。有利地,高体积制造技术可以应用于流体透镜组件 20 和设备 12 的一些或所有元件。

能够产生用于流体透镜组件 20 的可变光焦度柱面透镜的第一流体透镜元件可以参考图 2、3 和 4A-C 理解。首先参考图 2,外壳 40 包括形成开口 42 的壁,示例性开口具有矩形棱镜的形式。光路 44 延伸通过外壳 40 和开口 42,因此限定横过光路的表面 46、48 的材料将允许光通过其中。

容器 42 的第一和第二相对平行表面 50、52 从光路 44 偏移,光路沿着这些表面并在这些表面之间延伸。平行表面 50、52 有时被称为容器 42 的“侧面”。端面 54、56 在侧面 50、52 之间延伸,示例性端部垂直于侧面。虽然侧面通常长于端部,但是端部也可以与侧面的长度相同或长于侧面。

四个电极 58a、58b、58c 和 58d (合起来称为“电极 58”)围绕光路 44,每个电极沿相关的侧面 50、52,或端部 54、56 延伸。每个电极 58 在相关侧面或端部的许多,优选最多的范围内保持基本上均匀的电场,并且与相对于光路 44 的周向相邻电极电绝缘。优选地,侧面电

极 58a、58b 通过导电结构彼此电连接,以便电极基本上处于相同电势。类似地,端部电极 58c、58d 也可以连接以便处于相同电势。表面 46、48 之一可以连接到侧面电极 58a、58b。因此,容器的两个平行侧和容器的“顶部”(其可以是处于任何定向)可以具有电势场,其如所需加以施加和/或改变。在一些实施例中,端部电极 58c、58d 上的场可以保持在不变的强度。

如参考图 2、3 和 4A 可以理解,容器 42 可以包含不导电液体 A 和导电液体 B,其如上所述是不混溶的并且具有不同的折射率。电压 V_1 相对于电极 60 施加到侧面电极 58a、58b,该电极 60 与导电流体 B 流体接触。绝缘层 62 覆盖侧面电极 58a、58b,并又用流体接触层 64 进行涂敷。通过如图 4A 所示施加适当的电压 V_1 ,流体 A 和 B 之间的弯月形或流体/流体界面 66 限定侧面 50、52 处的第一接触角 α_1 。如上所述,角度 α_1 可以又驱动流体/流体界面 66 到适当弯曲的构形,以便沿界面 66 的周围边界,界面表面形状的切线处于角度 α_1 。由于第一流体 A 相对于第二流体 B 的高折射率,由流体/流体界面 66 形成的透镜具有负光焦度,如沿光路传播的发散光线 68 所示。

当经由电极 58a 和 58b 沿侧面 50、52 施加电压 V_1 时,不同的电压 V_2 也施加到端部电极 58c、58d。在 V_2 的影响下,流体/流体界面 66 在端部 54、56 处形成直角,迫使这些表面之间的截面为平面构形,以便流体/流体界面 66 形成可变光焦度的柱面透镜,如从图 3 的透视图和图 4B 的截面图可以看出。当它施加到所有的四个电极 58a、58b、58c 和 58d 时,该第二电压一般是产生零光焦度透镜的电压。

现在参考图 4C,通过施加另一不同电压 V_3 到侧面电极 58a、58b,流体/流体界面 66 可以被驱动到不同构形以便流体/流体界面 66 和容器 42 的侧面之间的角度 α_2 小于 90° ,流体/流体界面形成正透镜。同时,电压 V_2 (或任何适当的电压)仍然可以施加到端部电极 58c、58d,如图 4B 所示,以便流体/流体界面保持柱面透镜构形。由于施加到侧面电极的电压可以连续改变,流体/流体界面的形状(以及流体柱面透镜的光焦度)可以平滑并连续地改变。与凹和凸流体/流体界面形状一起,

流体透镜也可以呈现平的或平坦的构形。

透镜中的流体/流体界面的形状通常通过透镜沿容器的侧面和端部的位置和/或角度来驱动。理想透镜形状的一些变形可能在侧面和端部之间的角落处发生，其中沿容器/流体界面的电场通过侧面和端部电极的一些组合限定。对于端部电极电压的调节也可以根据需要而实现以提供所需的透镜属性。

对于制造容器 42 的材料可以类似于用于球面流体透镜结构的材料。例如，电极 58 和 60 经常包括金属材料，而绝缘层 62 可以包括聚合物例如聚对二甲苯基。流体接触层 64 可以包括碳氟化合物例如 PTFE，其包括由杜邦制造的 Teflon™。被光路穿过的透明表面 46、48 可以包括透明的聚合物、玻璃等。

现在参考图 3，一系列矩形容器 42、42a、42b 沿光路 44 排列以便允许柱面流体透镜产生任何所需的球面或柱面光焦度，柱面光焦度位于任何所需的轴向定向。由其中的流体/流体界面限定的流体透镜中的容器 42 具有横跨光路 44 延伸的柱面轴或定向 70。第二容器 42a 和相关流体柱面透镜具有横跨光路 44 延伸的第二定向 70a，第二定向 70a 从第一定向 70 偏移大约 90°，如图所示。第三容器 42b 具有第三定向 70b，其再次从第一定向 70 偏移并且从第二定向 70a 理想地偏移大约 45°。

为了理解三个可变光焦度柱面透镜怎样可以用于产生任何球柱面光焦度，单个柱面透镜的光焦度将首先根据交叉柱面透镜和球面透镜进行解释。光焦度等于 C 的纯理论柱面透镜具有一个主要的等于 C 的子午线光焦度，其他等于 0。其定向根据其轴表示，该轴为沿 0 光焦度的子午线排列的方向。但是这种透镜也可以根据光焦度 C/2 的纯理论球面透镜和光焦度 C/2 的交叉柱面透镜的组合来描述。交叉柱面限定为两个关于彼此定向、具有相等但相反光焦度 C/2 的纯理论柱面透镜的组合，以便它们的轴处于直角。该交叉柱面的定向限定为构成交叉柱面的纯理论柱面透镜之一的轴的定向。

根据球面和交叉柱面描述纯理论柱面光焦度的该分解方法现在延

伸到任何球柱面组合，其一般根据球面光焦度、柱面光焦度和定向来表示。球面等效物的概念然后可以引入。球面等效物是球柱面组合的球面光焦度加上一半柱面光焦度。球面等效物从而可以代替上面对于纯理论柱面透镜描述的球面元件。交叉柱面元件光焦度再次是一半柱面光焦度。的确，纯理论柱面刚好是与等于零的球面的球柱面组合。

当以该方式表示时，球柱面光焦度形成三维矢量空间，一个轴为球面等效值，另两个轴形成交叉柱面双角度矢量空间。

现在考虑带有以下值的所需球柱面光焦度，其中球面 = S，柱面 = C 和轴或定向 = A，在球柱面光焦度的该类型的表达式中，球面可以采用正或负值，但是柱面总是具有相同的符号。为了容易解释，让我们使用正柱面值。这可以根据三个折射空间分量表示：

$$\text{球面等效物 (SE)} = S/2$$

$$\text{在 } 0\text{-}90^\circ\text{ 处的交叉柱面 (C+)} = C/2 \cos(2A)$$

$$\text{在 } 45\text{-}135^\circ\text{ 处的交叉柱面 (Cx)} = C/2 \sin(2A)$$

在双角度交叉柱面空间中，C+轴与 Cx 轴成直角，因此在该空间中，两个交叉柱面元件形成真矢量。如果交叉柱面元件，不同于柱面值，可以采用正或负值，以及如果元件的符号改变，那么它在双角度交叉柱面空间中翻转 180°。让我们定向该流体聚焦柱面，使一个在 0° 处具有其轴，一个在 90° 处具有其轴，另一个在 45° 处具有其轴。如果相同的光焦度在 0° 处的柱面以及在 90° 处的柱面中产生，那么它们的球面等效分量将相等。它们的交叉柱面分量仅 C+ 变化并且具有相同的大小，但是因为它们彼此以 90° 定向，因此它们具有相反的符号。这意味着当它们在双角度交叉柱面空间中被添加为矢量时，它们将彼此抵消，结果仅为两个球面等效分量的添加，给出球面透镜效果的纯结果。利用两个纯理论柱面产生球面效果的实现示出了该理论怎样给出预期的结果。

其他可变柱面仅可以产生 Cx 分量，即根据可变柱面为正或负光焦度，在 45 或 135° 处定向。这是仅可以产生 Cx 的可变光焦度透镜，它首先被处理。已知来自所需球柱面组合的分解的 Cx 的所需值，可

变柱面的光焦度增加直到它利用交叉柱面光焦度产生。如果将该可变柱面透镜的光焦度指定为 C_{45} ，那么

$$C_{45} = 2 C_x \quad (1)$$

同时，它产生球面等效光焦度 $SE_{cx} = C_{45}/2 = C_x$ 。该值可能具有或不具有正确的符号以部分提供所需的 SE，但是现在被从该值减去以明确需要多少更多的 SE 值。这称为 $SE' = SE - C_x$ 。该值现在除了提供所需的 C_+ 分量以外，应当由另外两个可变柱面透镜提供。

让我们定义具有轴 0 度的可变柱面的柱面光焦度为 C_0 ，具有轴 90 度的可变柱面的柱面光焦度为 C_{90} 。这两个光焦度可以是正或负。 C_0 的球面等效光焦度是 $C_0/2$ ， C_{90} 的球面等效光焦度是 $C_{90}/2$ 。它们的和应当等于 SE' ，因此：

$$SE - C_x = C_0/2 + C_{90}/2$$

同样，由这两个可变焦透镜产生的交叉柱面的和等于值 C_+ 。然而，由 C_{90} 可变光焦度透镜产生的交叉柱面的符号可以由于上述原因而使其符号改变，因此：

$$C_+ = C_0/2 - C_{90}/2$$

这两个等式现在可以通过使它们相加以得到 C_0 ，然后使它们相减以得到 C_{90} 来对于值 C_0 和 C_{90} 求解。该结果表示为：

$$SE - C_x + C_+ = C_0$$

$$SE - C_x - C_+ = C_{90}$$

通过利用电势源独立驱动三个容器 42、42a、42b 的流体/流体界面到适当的正或负构形，这三个流体透镜的组合可以再现任何所需的球面光焦度、柱面光焦度和柱面定向。因此，源 22 的处理器 30（见图 1）可以识别对于三个流体透镜的适当构形，以便产生在输入 24、26、28 处指示的组合光学属性。有利地，这些光学属性可以通过对容器 42、42a 和 42b 适当施加电润湿电势来提供和改变，而没有光学结构的机械移动（除了容器中流体的移动以外）。虽然容器 42、42a 和 42b 通常包括分离的结构，每个由其自己的外壳 40 限定，但是可替换实施例可以使用整体外壳以限定三个分离的容器。允许开口之间的流

体连通也是可能的。多种改进也可以实现，例如提供伸长的开口，开口的端部与光路 44 显著分离，以便角落或端部处的变形具有较小的影响。在一些实施例中，端部可以简单地接地，多种其他变形也可以使用。

上面包括具有棱柱形容器的流体透镜的描述，以及其中施加到容器的相对表面的电润湿电势可以改变以便提供以所述相对表面为边界的流体/流体界面的变化柱面光焦度。更普遍地，通过周向改变围绕流体/流体界面的周边的电润湿电势，所需形状可以在流体/流体界面中产生。从其周边开始的流体/流体界面的形状的控制（以一些方式）类似于控制水泡的形状。

在水泡的情况下，边界的形状可以迫使流体膜实现非常具体的形状。水泡的边界可以描述为具有某个基面上方的仰角。在流体/流体边界的情况下，可以是在边界处设置的一阶导数或表面斜率，而不是仰角。无论如何，一旦边界（仰角或斜率）被设置（例如，通过设置周向局部电润湿电势），整个表面可以被迫使呈现非常明确的形状，特别是一旦界面张力的附加限制被引入。流体/流体界面张力通常使得界面表面改变形状，直到平均曲率各处相等。在这发生以前，界面张力将产生压力梯度，流体将流动。

球面具有曲率在整个表面相等的属性。球柱面或超环表面具有平均曲率在整个表面相等的属性。这可以发生的原因在于散光部分可以考虑为具有零平均曲率，球面等效部分具有各处相同的曲率（通常非零）。因此，球柱面表面具有它们可以在流体/流体界面中保持平衡的有利属性。由于这些形状可以从它们的边界条件确定，因此外围的电润湿电势可以用于设置将形成的具体球柱面。

除了球面、超环面和球柱面以外，在此所述的结构、方法和系统也可以提供其他表面，其可以描述为球面（具有不变的曲率）和具有零平均曲率（换句话说，其中拉普拉斯算子等于零）的任何其他形状的组合。与球面和柱面的组合一起，其他形状例如三叶形或四叶形（quadrafoil）（它们具有零拉普拉斯算子）也可以与球面和/或柱面组

合，或彼此组合。

现在参考图 5，高柔性球面/柱面（或其他形状）流体透镜 80 包括限定容器 81 的外壳，该容器具有围绕光路 44 的基本上柱面壁 82。透明罩 84 包含壁 82 中的第一和第二流体 A、B，周向系列电极 86 配置在壁周围。电源 88 连接到阵列的每个电极 86 以便施加可变电势到该电极。

电势可以横跨阵列变化，以便在阵列的给定电极处的电势可以不同于两种周向相邻电极的电势。电极可以涂敷有绝缘和/或疏水材料，如上所述，因此相对于罩电极 90 施加在阵列的每个电极 86 处的电润湿电势帮助确定流体/流体界面 66 沿该电极的接触角，以及流体/流体界面沿电极的位置（一旦界面已经呈现其稳定的低能量构形）。

现在参考图 5 和 7A，电源 88 可以施加电势的正弦图案到阵列的电极 86。正弦图案限定关于阵列的梯级电压系列，在第一电极 86_i 处开始，具有稍微的变化到下一个电极 86_{ii}，诸如此类到 86_n 处的最后电压。正弦图案可以限定关于容器 82 的圆周 θ 的完整 2π 正弦波。这可以驱动在界面 66 和壁 82 之间形成的接触角以基本上相应于关于容器周边的正弦图案，由此产生沿光路 44 的柱面透镜。注意当透镜是柱面时，根据垂直于柱面壁的效果，离散电极的使用等，接触角不是优选正弦。透镜的柱面光焦度可以通过改变电源 88 的柱面光焦度电压 V_c 来改变，由此改变正弦电压图案的大小。

现在参考图 5、7A 和 7B，球面光焦度成分可以通过改变电压图案而引入到流体/流体界面 66 中，以便图案的平均电压更多正或更多负。换句话说，通过相对于纯粹地柱面电压图案向上移动电压图案，例如通过增加球面电压分量 V_s ，流体/流体界面 66 沿容器 82 的周向壁的平均接触角可以被驱动以产生和/或叠加流体透镜中的球面凸出。

现在参考图 5-7B，柱面定向 92 的移动可以通过例如以正 θ 方向周向移动电压图案一个完整电极而以相对简单的模式实现。利用响应输入 I 发生的图案的开关，这允许一系列分离柱面轴 92 设有相对简单的电源 88。更复杂的柱面定向移动技术可以从对于电步进混合电机 100

的微步进研发的技术加以借鉴，如图 6 所示。微步进控制器 88 施加电流图案到定子 102 的齿上，以便驱动转子 104 到所需位置。在标准步进模式中，电源 88 可以施加电压图案到定子 102，并且可以移动该电流图案离散地从一个齿到下一个齿，以便实现转子 104 的一个完整旋转步骤。在提供了相对大数量的定子齿的地方，例如在标准的 200 步电机中，这提供相对精细的旋转图案。然而，甚至更精细的旋转能力可以通过关于定子的单个齿逐渐移动电流提供，以便电流图案每次旋转移动小于一个完整的齿。这种微步进技术允许市场上可买到的步进电机将单步分离为多至 500 微步，给出转子 104 的每次完整的旋转 100000 或更多步。

连接到步进电机 100 的驱动器 88' 可以变形用于图 5 的柔性流体透镜 80，例如通过连接电阻器到转子驱动器的电流输出以便提供电压图案而不是电流图案。可替换地，为微步进电机研发的技术可以用于研发新的“微步进”流体透镜驱动电路。无论如何，与在切向阵列中存在单独的电极 86 相比，这种微步进图案移动技术的施加可以允许流体透镜 80 的柱面定向 92 被驱动到更多的旋转定向。

虽然示例性实施例已经为了理解的清楚和作为例子详细描述，但是多种修改、改变和变形对于本领域技术人员是显而易见的。例如，虽然对图 1 的光学组件的输入示意性描述为机械按钮，但是输入实际上可以由电或光学传输到源 22 的处理器 30 的数字信号提供。此外，虽然图 1 中设备 12 的流体透镜组件 20 示出用于综合屈光检查仪，但是该结构可以容易适合用于自动折射器等。此外，与柱面和球面透镜一起，本发明的流体透镜可以用于提供其他变形透镜形状，包括在美国专利 US 3,751,138 中描述的形状。因此，本发明的范围仅由所附权利要求进行限定。

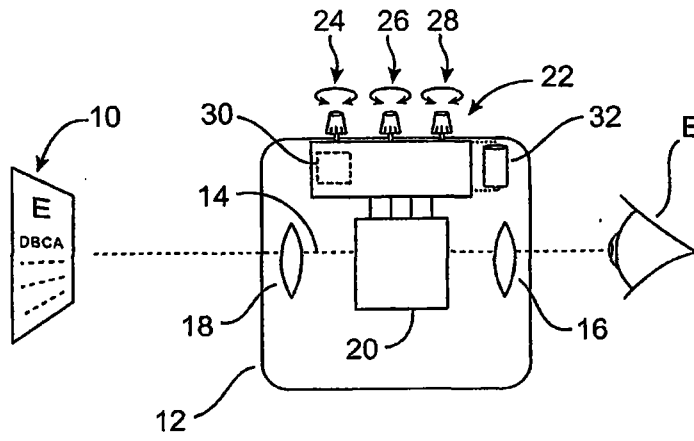


图1

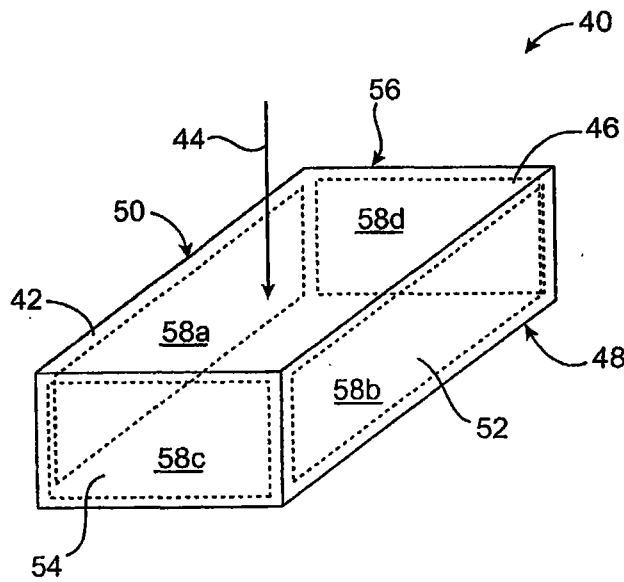


图2

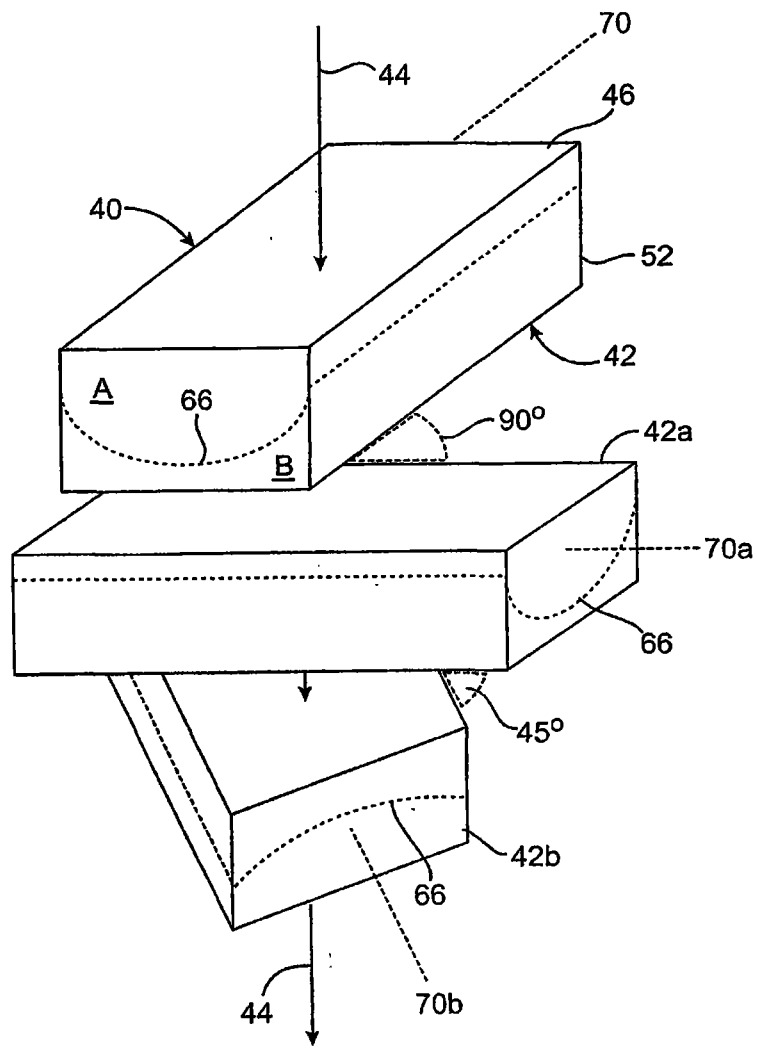


图 3

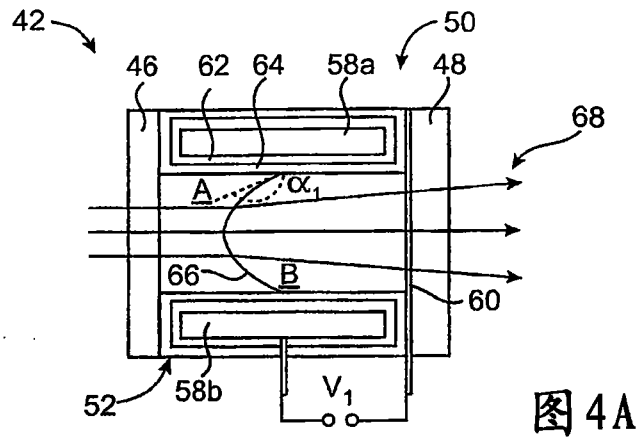


图 4A

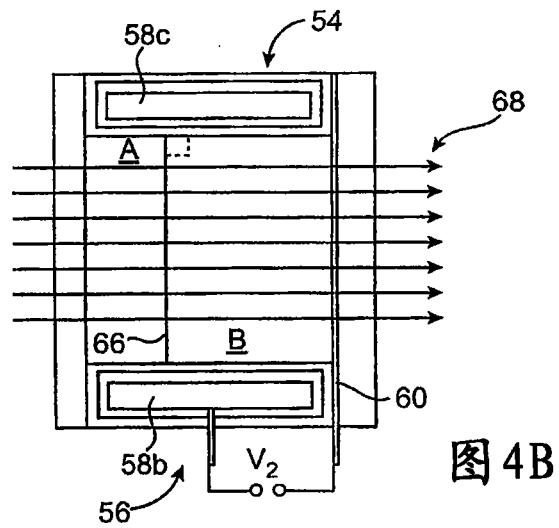


图 4B

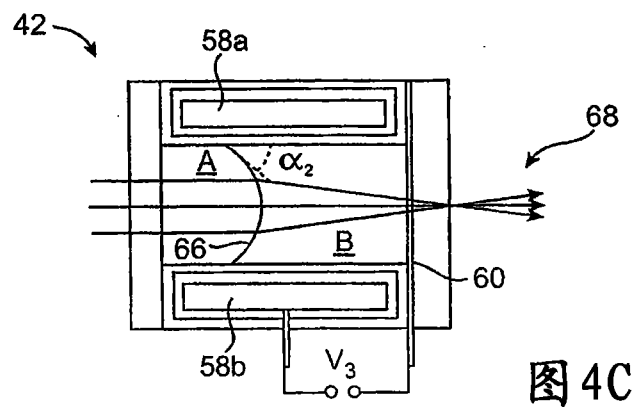


图 4C

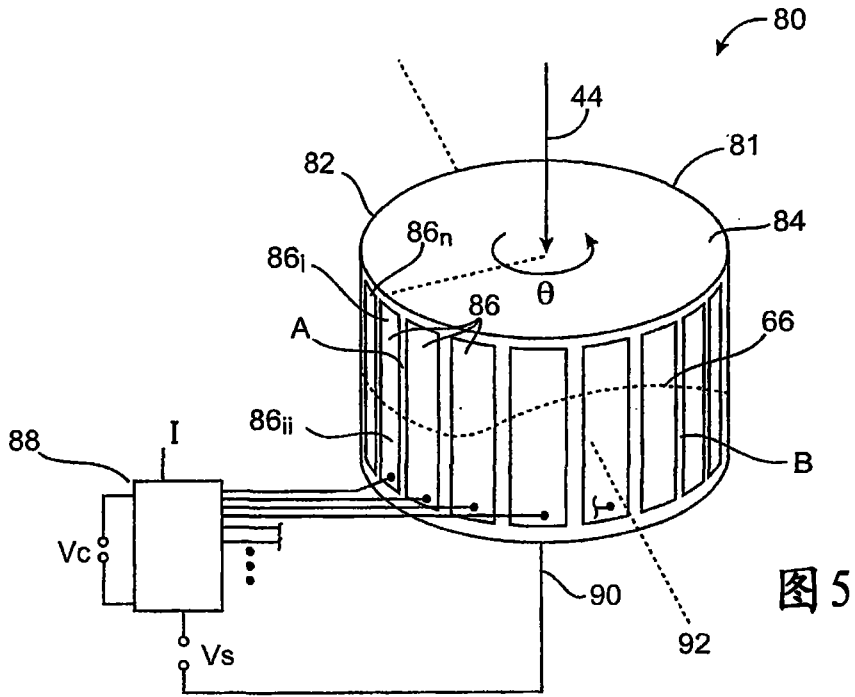


图5

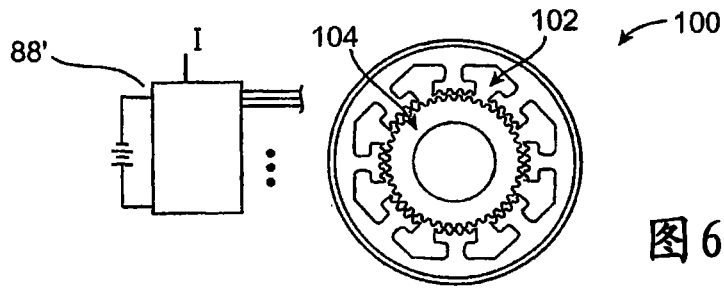


图6

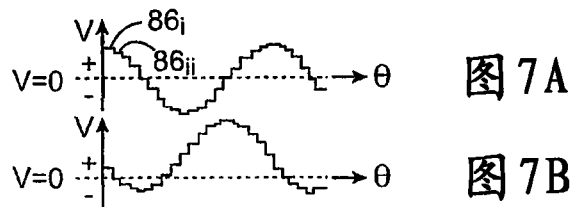


图7A

图7B