

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200680048112.8

G02B 3/14 (2006.01)  
G02B 21/32 (2006.01)  
G02B 26/02 (2006.01)  
G21K 1/00 (2006.01)

[43] 公开日 2009年1月7日

[11] 公开号 CN 101341425A

[22] 申请日 2006.11.30

[21] 申请号 200680048112.8

[30] 优先权

[32] 2005.12.21 [33] EP [31] 05112577.1

[86] 国际申请 PCT/IB2006/054533 2006.11.30

[87] 国际公布 WO2007/072258 英 2007.6.28

[85] 进入国家阶段日期 2008.6.19

[71] 申请人 皇家飞利浦电子股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

[72] 发明人 B·H·W·亨德里克斯 S·凯珀

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

代理人 蹇 炜

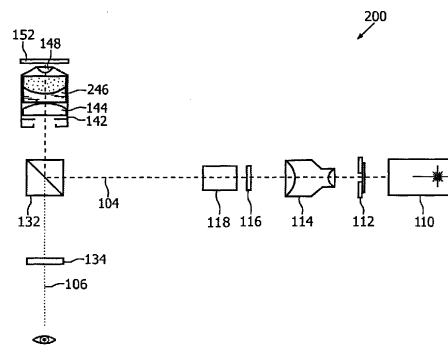
权利要求书 2 页 说明书 12 页 附图 6 页

[54] 发明名称

隔离或囚禁小的微粒物质的流体聚焦透镜

[57] 摘要

一种在光学镊子系统中使用的束操纵部件，该束操纵部件包括至少一个光学元件，其可控制地可变形，以响应于来自该光学镊子系统的信号作用在激光束上。该束操纵部件可以用于改变光学镊子系统的焦距及偏转激光束。



1、一种在光学镊子系统中使用的束操纵部件，该束操纵部件包括至少一个光学元件，其可控制地可变形，以响应于来自该光学镊子系统的信号而作用在激光束上。

2、根据权利要求1所述的束操纵部件，还包括腔室，其包含第一介质、第二介质、所述第一介质和所述第二介质之间的界面、以及界面控制装置，其中，所述第一介质和所述第二介质中的一个用作所述光学元件。

3、根据权利要求2所述的束操纵部件，其中，所述界面由一个或多个边缘段划定界限，并且其中，所述界面控制装置布置为各别地作用在所述边缘段上。

4、根据权利要求3所述的束操纵部件，其中，所述束操纵部件包括电润湿透镜，并且所述界面控制装置包括电极，该电极布置为提供单独的电压给所述边缘段的每一个。

5、根据权利要求3或4的任一项所述的束操纵部件，其中，所述光学元件呈现光轴并且相对于所述光轴是非对称地可变形的，并且其中，所述界面控制装置布置为以随时间变化的方式非对称地作用在所述边缘段上。

6、根据权利要求5所述的束操纵部件，其中，所述界面控制装置布置为以周期时间模式作用在所述界面上。

7、一种光学镊子系统，包括根据权利要求1至6的任一项所述的束操纵部件。

8、一种操纵包括可控制地可变形的光学元件的光学镊子系统的激光束的方法，该方法包括步骤：

接收用于所述激光束的操纵的设置点信号；

-通过映射所述设置点到所述驱动信号的函数来计算用于所述光学元件的至少一个驱动信号；以及

-利用来自该光学镊子系统的所述信号驱动所述光学元件。

9、根据权利要求8所述的方法，其中，

-所述设置点限定所述激光束的焦点的定位，其中，所述函数包括

-映射所述驱动信号到限定所述可控制地可变形的光学元件的变形的至少一个参数，

-映射所述变形到所述光学元件的至少一个光学特性，以及

-映射所述光学特性到所述激光束的至少一个参数。

## 隔离或囚禁小的微粒物质的流体聚焦透镜

本发明涉及光学镊子系统 and 用于操作该系统的方法。尤其是，本发明致力于包括在光学镊子系统 of 具有可变形光学元件的束操纵部件。

在例如生物学、物理学、纳米制造中发现了光学镊子的应用，并且作为用于小型化的机器的光学致动器。

光学镊子的原理是基于利用辐射压力的力。强聚焦的激光束能够捕捉和抓住从 nm 到  $\mu\text{m}$  的大小范围中（介电材料）的粒子。此技术使得研究和操纵如原子、分子（甚至大）和小的介电球的粒子成为可能。光学镊子的基本性质是粒子在光强分布中成为被囚禁的。光以朝向强度达到其最大值的点的梯度强度分布在粒子上施加力。结果，例如，粒子能够被囚禁在光束的焦点中。改变焦点的位置也改变粒子在空间的位置。使用马达或压电致动器用于移置透镜或倾斜反射镜的机械装置是已知的。这些机械装置的缺点是它们复杂并且需要易受磨损影响的机械地活动的部分。此外，每个附加的自由度通常需要专用的致动器并且可能地还需要诸如透镜或反射镜的附加的光学元件。因此，具有三个平移和一个旋转自由度的范例光学镊子系统变得复杂和相当昂贵的。

本发明的目的是提供光学镊子中用于操纵激光束的机械装置的可选例。

根据本发明的一方面，提供了用于在光学镊子系统中使用的束操纵部件，该束操纵部件包括至少一个光学元件，其可控制地可变形，以响应于来自该光学镊子系统的信号而作用在激光束上。

本发明的此方面的束操纵部件提供光学镊子系统中的束控制。其有能力承担光学镊子系统中当前使用的基本上机械的束操纵装置的功能性。同时，本发明的束操纵部件不易受到上述机械装置的缺陷的影响。由于其不同的配置，诸如例如机械公差，其甚至免除了一个或多个缺陷。束例如是

光学镊子系统中使用的用于囚禁粒子、细菌等的激光束。由于光学元件的变形，束操纵可以比先前的布置中更灵活。其也提供了减小束的路径中的光学元件的数量的机会。可以合并至今每个需要区别的光学元件的数个功能。

束操纵应当理解为对束的作用，通过它，当束通过束操纵部件时，一个或多个束的性质能够被改变。尤其是，束的几何性质易于由束操纵部件改变，诸如束方向、其会聚、其横截面的形状，仅举数例。

光学元件描绘直接作用在束上的部件。其可以是折射光学元件或反射光学元件。光学元件还可以呈现衍射效应。光学元件是可变形的，使得能够改变光学元件的内部空间材料分布。诸如折射或反射的光学效应典型地发生在传播介质突然地或逐渐地改变的位置。从而，改变光学元件的材料分布改变光学元件的光学行为。使用的光学元件的优点是其材料分布是可控制的。通过利用合适的信号驱动束操纵部件和包括的光学元件，光学元件发生变形，其依次改变束操纵部件的光学行为。换句话说，束操纵部件实现了驱动信号到光学行为的映射。用于束操纵部件的驱动信号来自光学镊子系统。从而，提供光学镊子系统来控制束操纵动作。在此上下文中，应当注意，生成驱动信号的似乎独立的控制器也应当理解为光学镊子系统的部分。原因是控制例如粒子的位置是光学镊子系统的基本功能。

根据本发明的另一方面，束操纵部件还包括腔室，其包含第一介质、第二介质、所述第一介质和所述第二介质之间的截面、以及界面控制装置，其中所述第一介质和所述第二介质中的一个用作所述光学元件。

腔室典型地具有恒定的体积。第一介质和第二介质的体积也典型地也是恒定的。第一和第二介质例如是具有不同光学性质的两种不相溶的流体。如果两种流体具有几乎相同的密度，则重力对束操纵部件的操作没有实质的影响。在两种介质之间存在界面，其形状依赖于数个因素，诸如表面张力、可湿性、或两种介质的每一种的毛细效应。能够通过界面控制装置影响界面是有利的，导致界面的例如改变的形状、位置、或方向。

根据本发明的另一方面，界面由一个或多个边缘段划定界限，并且界面控制装置布置为各别地作用在所述边缘段上。

在界面由单个边缘段划定界限的情况下，界面以均匀的方式从所有侧

作用。用于具有单个边缘段的该布置的范例是圆形界面或椭圆形界面。当仅存在单个边缘时，能够预期相对于光学元件的重力中心的光学元件的基本对称的变形。在更普遍的多个边缘段的情况下，其中每个段由界面控制装置各别地控制，能够获得界面的更灵活的配置。尤其是，界面的不对称的形状也是可能的。对称的概念可以指旋转对称（例如相对于光学元件闲置时的光轴），或镜面对称，依赖于界面形状。各别地控制边缘段的能力在垂直于光学元件的闲置状态光轴的平面中提供附加的自由度。

根据本发明的另一方面，束操纵部件包括电润湿透镜，并且界面控制装置包括电极，布置为提供单独的电压给所述边缘段的每一个。

一个电润湿透镜利用当暴露于电场时导电流体和不通电流体反应不同的事实。尤其是，由于腔室壁表面的改变的可湿性，与腔室的壁接触的表面往往对施加的电场起反应。所需的电场由是界面控制装置的部分的电极产生。除对应于一个或多个边缘段的一个或多个电极外，提供接地电极作为公共电接地。此接地电极到边缘段电极的每一个可以具有相同的距离。其甚至可以与导电流体接触。在每个具有不同电势的数个电极的情况下，得到的电场在电极之间呈现过渡。典型地，期望在不同的边缘段之间平滑地过渡。通过保持电极小并且在两相邻电极之间提供电力耐久路径能够实现这。依赖于此路径的电阻，电流会从一个电极流动到另一个电极，这沿路径引起电压降。如果为了获得特别的界面形状而不期望平滑的过渡，则电极基本彼此相邻地放置，它们之间仅有小的绝缘以避免漏电流和打火花。

根据本申请的另一方面，光学元件呈现光轴并且相对于光轴是非对称地可变形的，并且界面控制装置布置为以随时间变化的方式非对称地作用在边缘段上。

相对于光轴非对称地可变形的光学元件的优点是，以此方式束可以改变其横截面形状。如果束被聚焦，则光学元件的非对称的变形也导致非对称的焦点。与界面控制装置在边缘段上的随时间变化的作用组合，能够绕束轴旋转非对称的焦点。由于绕束轴的非对称的焦点旋转，在束的焦点处囚禁的粒子经历扭矩。因此，优点是通过激光束，能够引起粒子旋转。为达此目的，可以以圆形模式制动电极段。此效果难以通过全机械（all-mechanical）束操纵装置实现，因为诸如变形透镜（沿两个主轴方向不

同的透镜曲率)的特别的透镜必须通过例如电马达的方式绕光轴旋转。光学元件的光轴规定为光学元件闲置的情形,即没有电极施加电场。实际上,光学元件的真实的光轴是可变化的。此外,光学元件的光轴可以呈现弯曲,表示光轴的传播方向由光学元件改变。

根据本发明的另一方面,界面控制装置布置为以周期时间模式作用在界面上。

提供周期时间模式的优点是,与通过旋转激光束的非对称焦点而施加扭矩于粒子组合,能够以永久方式提供扭矩。这能够用于在多种应用中操作小型化的旋转机器,诸如泵、阀、离心机等。周期时间模式还容许激光束的焦点的振荡运动。在包括数个位置的来回旅程上逮捕诸如粒子、细菌等的样品也是可能的。在每个位置,样品经历特定的测试,例如测量样品对某种物质的反应。光学镊子系统的测量纳牛和  $\mu$  牛范围中的力的能力可以用于测量样品和给定物质之间的吸引力。本发明的束操纵部件可以用于在样品载体的第一位置处采集样品,将它运输到多个测试位置,并且最终将它运输到离开位置。其后,焦点回到第一位置。可以通过短暂地关断和通过激光束来实现样品的抓住和释放。可以设想其它的可选例,诸如移置样品载体下的焦点,使得样品到达样品载体上。

根据本发明的一方面,光学镊子系统包括如上述的束操纵部件。

光学镊子系统从束操纵部件的改变激光束的方向和焦距而无需机械元件的能力受益。束操纵部件可以执行光学镊子系统中所需的所有基本束控制功能。调整焦距和在 x-y 平面中移动焦点在这些基本功能中, x-y 平面是基本垂直于光学镊子系统的物镜的光轴的平面。然而,某些功能仍然由机械元件执行。此外,可以预期使用根据本发明的两个或更多个束操纵部件,每个承担特定的功能。可能的功能分开可以是一个束操纵部件提供焦距调整,第二束操纵部件承担 x-y 平面中的偏转,而第三束操纵部件承担使得焦点不对称并随时间旋转它的功能。提出的光学镊子系统的另一优点是束操纵部件比已知的机械系统较不容易受到磨损。

根据本发明的一方面,一种操纵光学镊子系统的激光束的方法,光学镊子系统包括可控制地可变形的光学元件,该方法包括步骤:

-接收用于所述激光束的操纵的设置点信号;

-通过映射该设置点到该驱动信号的函数来计算用于所述光学元件的至少一个驱动信号；以及

-利用来自该光学镊子系统的该信号驱动该光学元件。

提出的方法的优点是其容许控制可控制地可变形的光学元件。该控制可以提供在开环（即无反馈）或闭环（即有反馈）中。在多数情况下，设置点信号对应于用户希望实现的激光束的参数（例如激光束的方向、激光束的焦距、激光束的对称/不对称）。可变形光学元件是用于将设置点信号转变为对应的效应的部件中的一个。同样，光学元件具有给定的传递函数，映射输入信号到输出效应。在此范例中，设置点信号（或从设置点推得的信号）用作用于可变形光学元件的输入。用于光学元件的输入也可以视作光学元件的驱动信号。光学元件的输出效应可以视作在通过光学元件的激光束上的作用。输入和输出之间的关系经常通过传递函数描述。此传递函数限定例如输出对输入的依赖关系。如果期望某一输出，可以针对输入解传递函数以找出对应的输入。计算的输入然后用作用于光学元件的驱动信号。因为可变形光学元件是耐磨的硬的主体，在光学元件的寿命范围中传递函数保持基本恒定。此外，与可变形光学元件的机械对应物相比，可变形光学元件典型地呈现改善的公差。因为在传递函数和其解中，公差是难以处理的，所以可变形光学元件的传递函数可以比机械地控制的光学元件或布置简单和易于解答。

在本发明的另一方面中，设置点限定激光束的焦点的定位。功能包括映射驱动信号到限定可控制地可变形的光学元件的变形的至少一个参数，映射变形到光学元件的至少一个光学特性，以及映射光学特性到激光束的至少一个参数。

光学元件可以制作为包括多个子系统的系统。第一子系统描述驱动信号如何影响光学元件的变形。此子系统的行为依赖于驱动信号的类型和利用的物理效应。例如，驱动信号可以是输入电压而子系统的输出可以是基于电润湿原理的透镜中的弯月面的曲率半径。第二子系统描述光学元件的变形和光学特性之间的关系。光学元件的光学特性的范例是透镜的焦距。第三子系统描述光学元件的光学特性和激光束的至少一个参数之间的关系。激光束参数的范例例如是展开的束角或其传播方向。



光学镊子系统从作为束操纵组件的部分的可控制地可变形的光学元件受益。能够预期与利用传统的、机械地移置的或定向的元件的相同的结果。能够克服这些传统机械元件的缺点。此外，可变形光学元件提供用于束操纵的较大的灵活性。

## 附图说明

本发明的这些和其它方面将从以下描述的实施例变得明显，并且将参照这些实施例阐述它们。

图 1 根据现有技术的光学镊子系统的图解视图；

图 2 是根据本发明的一个实施例的光学镊子系统的图解视图；

图 3 是闲置状态中的光学元件的纵向截面；

图 4 示出了在对称的激发状态中的图 3 的光学元件；

图 5 示出了在非对称的激发状态中的图 3 的光学元件；

图 6 是装备有如图 3 至 5 的光学元件的显微镜物镜的纵向截面；

图 7 是用于光学镊子系统中的显微镜物镜的前透镜的图解透视图；

图 8 是根据图 7 中的箭头 VIII 的显微镜前透镜的图解顶视图；

图 9 示出了以上的束操纵部件的范例电极部署；

图 10 是图 9 中描写的电极的电极电压随时间的描绘。

## 具体实施方式

图没有按照比例绘制并且不同的图中的相同的参考数字指引对应的元件。

图 1 作为集团图解示出了现有技术的光学镊子。光学镊子用于以高的感应压力操纵粒子。在例如 A.Ashkin 和 JM Dziedzic 的“Optical trapping and manipulation of viruses and bacteria”，Science 1987，2335：1517-20 中描述了潜在的原理。依赖于粒子的直径是小于还是大于所使用的光的波长，使用电偶极子近似或射线光学途径来分析光与粒子的相互作用。当光由对象散射时，存在往往沿光的传播方向推动对象的散射力。这称作作用于对象上的散射力。此外，所谓的梯度力也作用于对象上。此梯度力具有两个主要效果。第一个是对象被拖拉朝向束的中心，在此处，光强高于激光束的

外部区中。当束强聚焦时，出现另外的效果。这导致朝向焦点的强的光强梯度强度。光以朝向强度达到其最大值的点的梯度强度分布在粒子上施加力。结果，对象被囚禁在光束的焦点上。在光学镊子系统中，焦点可以在三维上移动，即沿激光束的传播方向上和在垂直于传播方向的两个方向上。

为达此目的，已知的光学镊子系统包括以下部件。光学镊子系统 100 呈现了激光路径 104 和观察光路 106。激光源 110 产生激光束，激光束通过用于方便地通过和关断激光束的快门 112。扩束器 114 提供预定的束直径。在描写的光学镊子系统中，用于明亮和偏振的激光的可变衰减器包括可旋转半波片 116 和固定的棱镜起偏器 118。束控制器 (beam steerer) 包括两个活动反射镜 122 和 124，都安装在相同的垂直杆上。需要注意，反射镜 122 及回到激光源的光路实际上垂直于垂直轴附近的反射镜 124。为方便，在此将其绘制在相同的平面中。

沿激光束的路径进一步向下，用于操纵和齐焦化激光斑点的简单的 1:1 望远镜布置包括固定的透镜 128 和活动的透镜 126。此两个相同的平面凸面透镜 126 和 128 放置分开的距离为它们的焦距的和，使得进入活动的透镜 126 的平行光将产生从固定的透镜 128 射出的相同束直径的平行光。活动的透镜 126 安装在 x-y-z 平移台架或微操纵器上。此透镜在所有三个方向上的运动近似地产生激光焦点在相同的三维上的对应的运动。对于焦点在轴方向 (z 方向) 上的运动，透镜 126 被推向透镜 128。这使得激光束在离开第二透镜 128 时变得稍微发散。这将焦点从物镜推开并且较深入到样品中。同样，当透镜 126 被从透镜 128 拖拉开时，离开望远镜到透镜 128 的左边的激光束变得有点会聚，将焦点引向物镜。透镜 126 在垂直于光轴的 x-y 平面中的运动在离开透镜 128 的光 (其基本是束的旋转) 中产生偏离。如果透镜 128 被成像到物镜瞳孔的背面，则此旋转发生在到物镜瞳孔的共轭平面中，导致激光斑的平移。透镜 128 通过其在物镜瞳孔后在  $2f$  距离处的位置实现此，其中  $f$  是透镜 126 和 128 的焦距。

分色镜 132 反射合适的激光波长，通常  $\sim 1100\text{nm}$  或  $\sim 850\text{nm}$ 。分色镜 132 透射  $650\text{nm}$  以下的可见光。这导引激光束朝向显微镜物镜 142。因为可见光可以通过分色镜，可以使用标准显微镜部件经由观察路径 106 观察风景。作为附加的安全措施，在分色镜 132 和观察者之间提供红外阻挡滤光

器 134。

标准的显微镜物镜 142 完成聚焦激光束的主要量。物镜典型地为高 NA 物镜，具有在  $40\times$  和  $100\times$  之间的放大率，在 1.25 和 1.40 之间的 NA，并且设计用于油浸或水浸。显微镜物镜包括后焦透镜 144 和前透镜 148。物镜可以包含像差校正装置，为简单没有描写像差校正装置。

要囚禁的对象部署于样品载体 152 上。

在对象要绕激光束旋转的情况下，光学镊子系统 100 需要另外的装置，诸如变形透镜和马达或等同物，以期望的旋转速度旋转变形透镜。变形透镜产生非对称的焦点。旋转该透镜也旋转焦点，并且因此旋转对象。一个替代是使用专门的光栅，所谓的螺旋相轮廓 (helical phase profile)，其转换螺旋模式中的  $TEM_{00}$  激光束 (针对激光束的波传播的基模)。然而，此方法的缺点是旋转速度不易改变。

图 2 示出了根据本发明的一实施例的光学镊子系统。此系统不同于图 1 的光学镊子系统，因为没有使用望远镜布置来控制激光束的焦点。此功能现在由在此实施例中位于显微镜物镜 142 中的束操纵部件 246 承担。更具体地，束操纵部件位于显微镜物镜的后焦透镜 144 和前透镜 148 之间。在不同的实施例中，束操纵部件可以放置在显微镜物镜 142 之前。束操纵部件 246 可以是利用电润湿效应的变焦透镜。在此情况下，其包含具有不同折射率的两种不溶合的流体。可以改变两种流体之间的弯月面，使得可以响应于给予束操纵部件的命令获得透镜的变化的光学行为。在如图 1 中描写的已知的光学镊子系统中，望远镜部分需要大量的空间。如上述，需要具有它们的已知的缺点的机械望远镜，以控制图 1 中所示的活动的透镜 126。

图 3 示出了在电润湿透镜 300 的轴平面中的截面。电润湿透镜 300 示于闲置状态中。在描写的形式中，其具有基本圆柱的形式。电润湿透镜包括密封的容器，具有：容器基座 302、容器盖 304、及容器壁 306。容器优选地由透明材料制成。然而，容器壁不必是透明的。

电润湿透镜还包括基座电极 312 和壁电极 316。基座电极 312 作为具有外轮缘的环形成。其位于容器基座 302 和容器壁 306 之间的过渡处。此外，基座电极 312 通过容器基座 302 和容器壁 306 之间的合适的通道从容器的外部到内部延伸。基座电极 302 的右边描绘连接端子，通过它，电压加于

基座电极上。壁电极 316 围绕容器壁 306，除邻近容器基座 302 的部分外。这里，壁电极 316 描绘为两个同心的圆柱体，它们由环在它们各自的较上边缘连接。虽然，例如能够放弃外部圆柱（如果甚至对快速改变的电压也能够整个电极上获得满意的一致电压分布）。连接端描绘在壁电极 316 的右侧，在用于基座电极 312 的连接端的附近。

绝缘体 322 位于由壁电极 316 的内部圆柱限定的开口内。此外，疏水涂层 324 在容器的内部在腔的顶部和侧面但是不在底部提供衬里。

由容器、电极、绝缘体和疏水涂层形成的腔填充有两种不相溶的流体。第一流体 332 是导电的并且可以是例如盐水。第二流体是绝缘的并且可以是例如某种油。基于水的第一流体典型地具有约 1.33 的折射率，而通过使用合适的油，第二流体的折射率能够选择为高达 1.6。折射率差异越大，得到的电润湿透镜越有效。通过匹配两种流体的密度，透镜能够变得稳定，预防撞击和振动。其还变得与它被使用的方向无关。因为第一流体主要包含水，腔的内顶部和侧壁上的疏水涂层 324 通过排斥第一流体而对它进行作用。结果，第一流体往往最小化它与疏水涂层 324 的接触面积。此行为导致两种流体之间弯曲的界面。该界面也称作弯月面并且用作球面透镜。因为油 334 比水溶液 332 有较高折射率，所以电润湿透镜的光学效果可得上发散透镜，这能够从顶部到底部通过透镜的发散光线看出。

图 4 示出了如图 3 中描写的相同的电润湿透镜，这次，施加不同于零的电压到基座电极 312 和壁电极 316 的端子。在应用此电压时，电荷在壁电极中积累，而在靠近固/液界面处的导电流体中感应出相反的电荷。与施加的电压相关的电荷量导致作用在两种流体之间的弯月面上的附加的力。因为液体量保持相同，此附加的力导致两种流体之间的界面的曲率半径改变。因为现在以相对于第二流体 334 以凸面的方式对界面进行了整形，所以电润湿透镜的表现如同平面凸面透镜。会聚透镜是会聚透镜且其对通过电润湿透镜的光线的作用在图 4 中描绘。

图 5 示出了与图 3 和 4 类似的电润湿透镜。差异是图 5 中示出的电润湿透镜 500 的电极部署不是完全合理地对称的。实际上，壁电极现在包括两个区别的电极 516 和 517。因此，不同的电压能够施加在电润湿透镜的两个相反的侧面上。这导致界面被拖拉向疏水涂 324 到在每个侧面上不同的

高度。依次，这使得界面相对于垂直于电润湿透镜的光轴的平面倾斜。只要弯月面是平的，电润湿透镜的行为就如同棱镜。为达此目的，施加于电极 515 和 517 的平均电压应当在 0 伏和施加于图 4 中所示的电润湿透镜的电压之间某处。弯月面的倾斜能够与如图 3 中的发散行为、或如图 4 中的会聚行为组合。在图 5 中，示出了向左倾斜弯月面和以相对于第二流体 334 以凸面方式整形它的组合。这导致电润湿透镜呈现位于透镜下并且稍微向左的焦点。

在图 5 中，示出了两个壁电极段 516 和 517。明显地，能够以较高的自由度选择任何数量的电极段，以在不同于光轴的方向上导引光通过电润湿透镜。对于更完整的描述，参照国际专利申请公开 WO2004/051323。

图 6 示出了通过装备有电润湿透镜 500 的显微镜物镜 142 的轴平面中的截面。以已知的方式，显微镜物镜包括前透镜 604、弯月面透镜 606、以及例如后焦距透镜 608（也称作后焦透镜）。术语弯月面透镜不应当与电润湿透镜 500 的弯月面混淆。显微镜物镜还包括外壳 602，用于固定透镜并提供保护以免受来自侧面的入射光及灰尘的影响。显微镜物镜 142 应当理解为简化的描绘。可以提供附加的部件，诸如像差和色度校正装置。此外，显微镜物镜 142 没有按比例绘制。电润湿透镜 500 放置在弯月面透镜 606 和后焦距透镜 608 之间。在此位置，电润湿透镜 500 能够以方便的方式履行聚焦和导引光学镊子系统的激光束。物镜的前透镜 604 提供光学镊子系统所需的聚焦焦度的主要部分。通过改变电润湿透镜的焦距，能够改变组合的系统的焦距。这导致焦点上下移动。

应当注意，随着电润湿透镜改变其焦距和偏转方向，观察者的视野也发生改变。熟悉光学镊子系统领域状态的用户可能需要一些时间来熟悉此操作方式。然而，应当理解，焦点总在观察者视野的中心。作为对观察者的方向，从图 1 到 2 的样品载体 152 可以示出格栅和对应的标记。

在可选例中，电润湿透镜能够位于激光束路径 104 和垂直显微镜光路 106（图 2）分开的点。电润湿透镜然后能够位于激光束路径 104 中。

此外，提供两个或更多个电润湿透镜也是可能的。于是一个电润湿透镜能够用于调整光学镊子系统的焦距，而一个或多个其它电润湿透镜提供束偏转。

图 7 是稍微从下面的透视图中的显微镜物镜 142 的前透镜 604 的示意性视图，示例光学镊子系统的一些变量。前透镜 604 由激光束 762 在基本从顶部到底部的方向横过。图 7 示出了特殊情况，其中，激光束位于前透镜的较低表面的平面中的中心。通常，依赖于 F 制光圈 (F-stop) 的设置，不必相对于提到的表面将激光束定为中心。图 7 中，在进入前透镜 604 之前，激光束 762 由例如电润湿透镜偏转。因此，激光束 762 不在平行于前透镜的光轴的方向上撞击前透镜 604 的较上半球。定义坐标系，其原点位于前透镜 604 的较低平面表面的中心。坐标系的 z 轴沿前透镜 604 的光轴在激光束的传播方向上延伸，即图 7 中向下。坐标系的 x-y 平面由前透镜 604 的所述较低平面表面定义。仅示出了 x 轴。在使用光学镊子系统之前，校准显微镜物镜围绕其光轴的角度位置是有利的，以便能够以规定的方式控制期望的束偏转。

激光束 762 呈现激光束轴 766。前透镜的光轴和激光束轴之间的角度由  $\Theta$  (大写字母 THETA) 指定。激光束 762 聚焦到焦点 764。焦点的 z 坐标由得到的光学镊子系统的焦距  $f_f$  给出。如果入射光的方向变化，则透镜的焦点在垂直于光轴的平面中移置。

图 8 示出了在图 7 的方向 VIII 上从前透镜 604 以上的视图。示出了坐标系的 x 轴和 y 轴。内圆描绘激光束 762 在前透镜 604 的较低平面表面处的激光束 762 的外形。激光束轴 766 示出为在到 x 轴的角度  $\Phi$  (大写字母 PHI) 以下。

计算上确定焦点的 x 坐标和 y 坐标的一种方式是在计算激光束轴 766 与焦平面的焦点。因为 z 坐标已知为得到的焦距  $f_f$ ，所以仅需要确定 x 坐标和 y 坐标。在通常环境下，预选择 x、y、和 z 坐标并且由光学镊子系统导引焦点到此位置。因此，必须执行相反的计算，以得到对  $f_f$ 、 $\Phi$  (PHI) 和  $\Theta$  (THETA) 的对应值。于是可以从这些值计算合适的电极信号。使用一个或数个查找表格也是一种选择。

图 9 是从顶部观看的电润湿透镜的示意性描绘。为简明，仅示出了疏水涂层 324 和六个电极 316a-316f。参考数字 902 表示例如第一和第二流体 332、334 之间的弯月面的轮廓线。定义当前弯月面形状的最上和最下 z 位置之间的中间 z 位置的可以是例如轮廓线。如能够看到的，轮廓线 902 具

有椭圆形状。这意指弯月面沿椭圆的两个主轴呈现不同的曲率半径。其中，椭圆是细长的，曲率半径相对地高，并且反之亦然。通过以特定模式驱动电极 316a-316f，随时间旋转椭圆是可能的。图 9 描绘当前为平面凸面的透镜相对于第二较高折射率流体 334 的时刻，在该时刻，与其它电极 316a、316b、316d、及 316e 相比，电极 316c 和 316f 被以较小电压驱动。实际上，沿弯月面产生界面波。作为其结果，焦点变得不对称并且随时间旋转。考虑它的另一途径是将电润湿透镜当作变形透镜。为了产生能够旋转由光学镊子系统抓住的粒子的非对称，利用诸如由电润湿透镜产生的慧差的像差效果是足够的。

图 10 描绘针对图 9 中的六个电极 316a-316f 的信号发展。如果期望弯月面的对称的配置，则成对分组电压  $V_a$  至  $V_f$ 。属于相同对的两个电压，例如  $V_a$  和  $V_d$ ，具有针对弯月面的对称配置相同值。在图 10 中，电压描绘为具有周期  $T$  的正弦函数。这不是必须的，从而电压可以遵从其它函数。电压具有平均值  $V_m$ 。此平均值规定期望的直流电压成分，其是提供某一曲率并且依次某一焦距所需要的。如上述，诸如慧差的像差已经可以足够提供所需的非对称。因此，弱的交变电压成分也已经可以提供期望的效果。

虽然于此描述的系统基于电润湿透镜，但是相同的原理也适用于基于磁润湿的系统，因此适用于包含两种流体的系统，其中一种为铁磁流体，并且其中弯月面的形状由磁场改变。在欧洲专利申请 EP 04102437 号中能够找到详细的讨论。

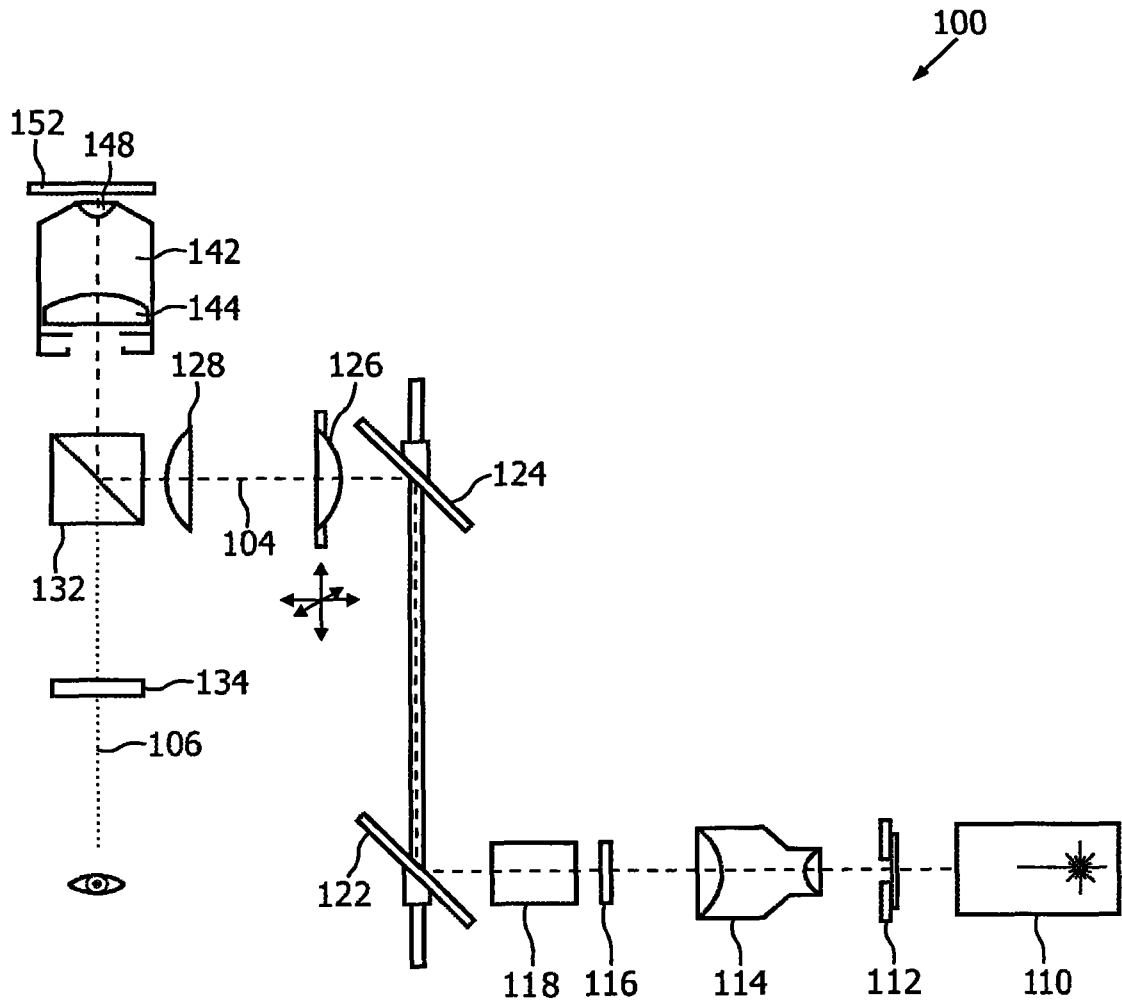


图1  
(现有技术)



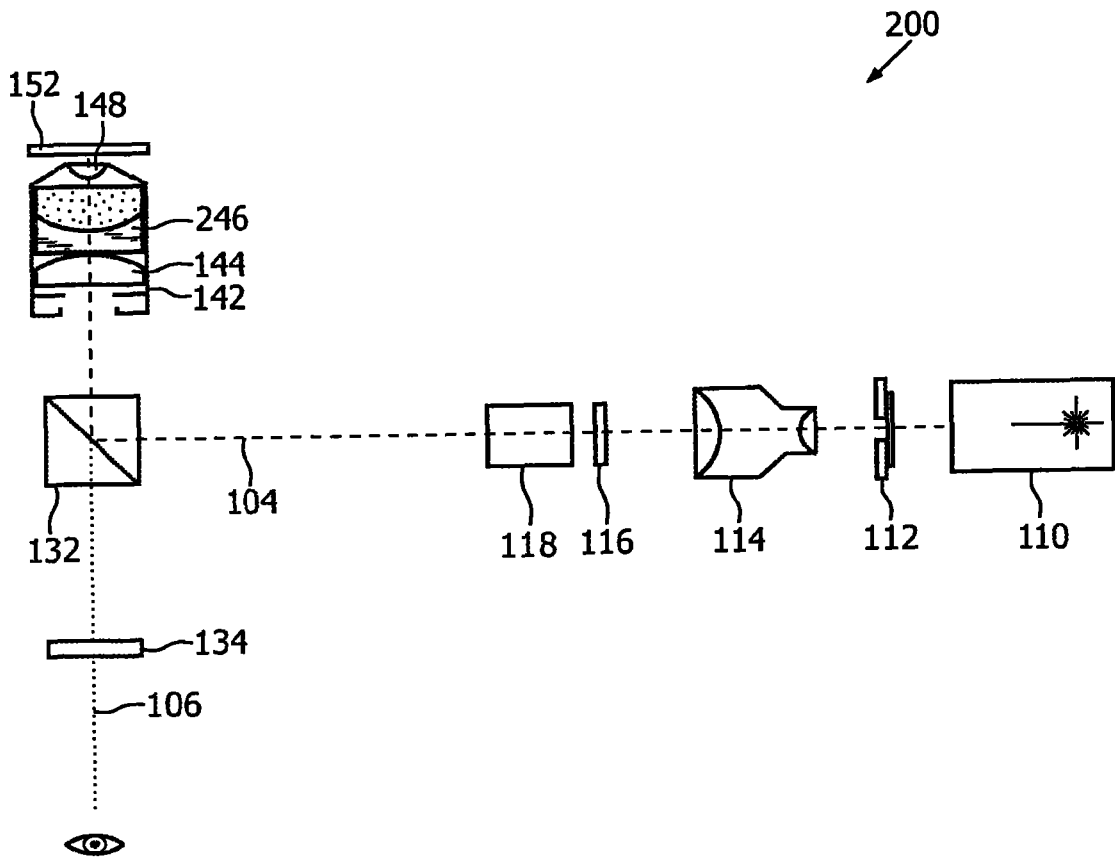


图2

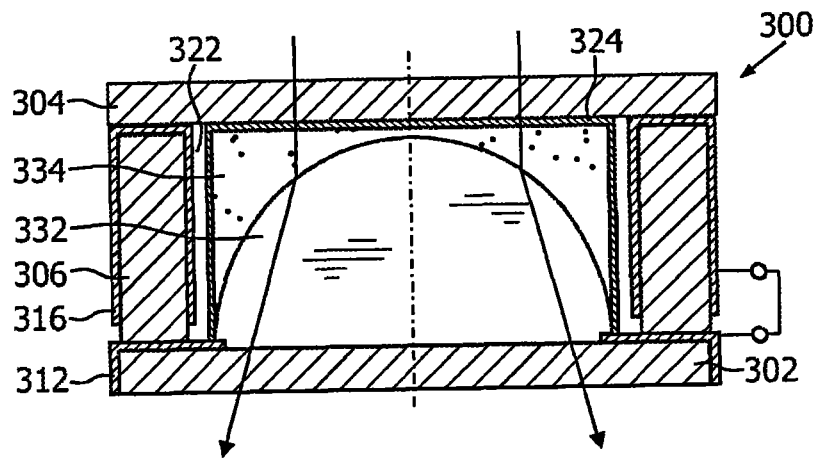
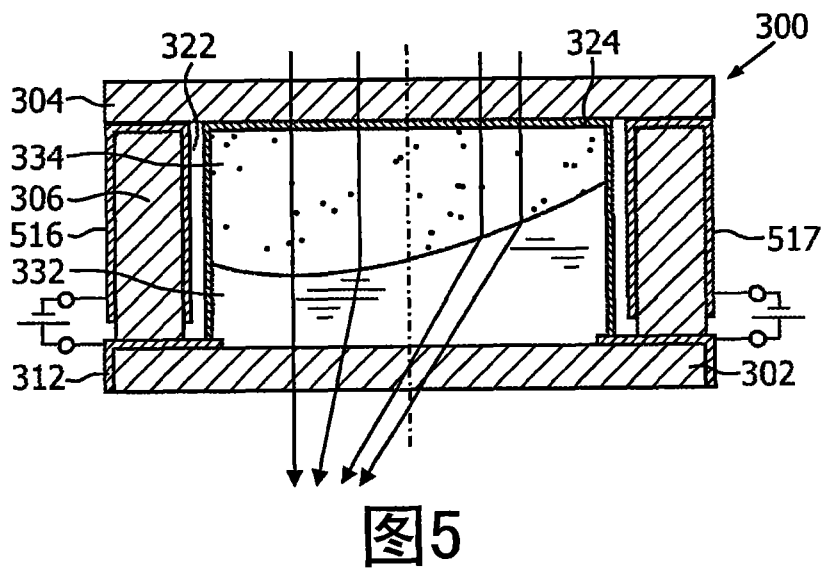
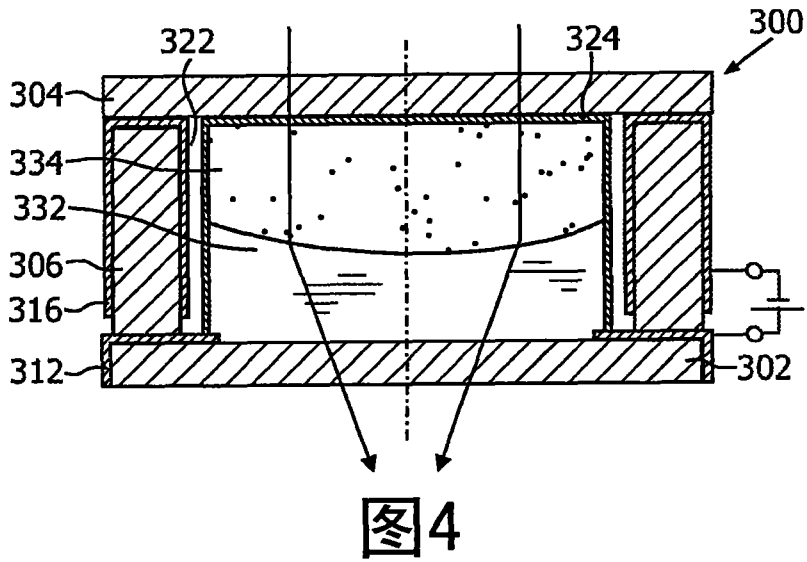


图3



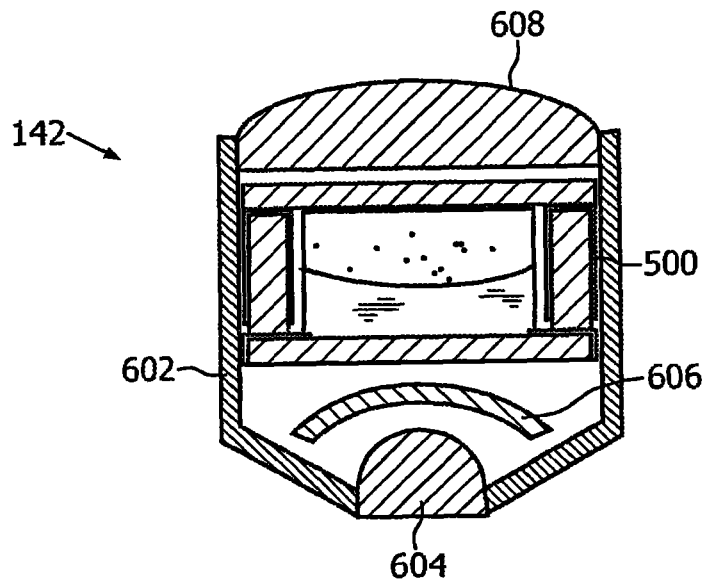


图6

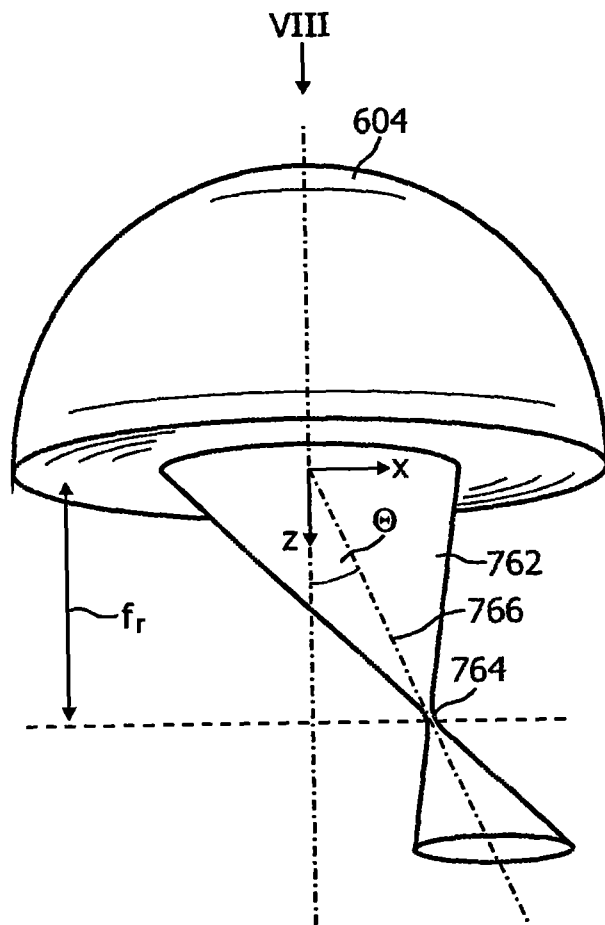


图7

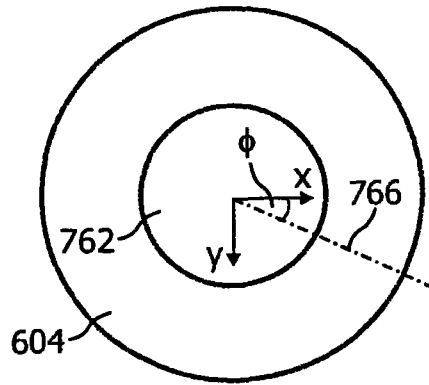


图8

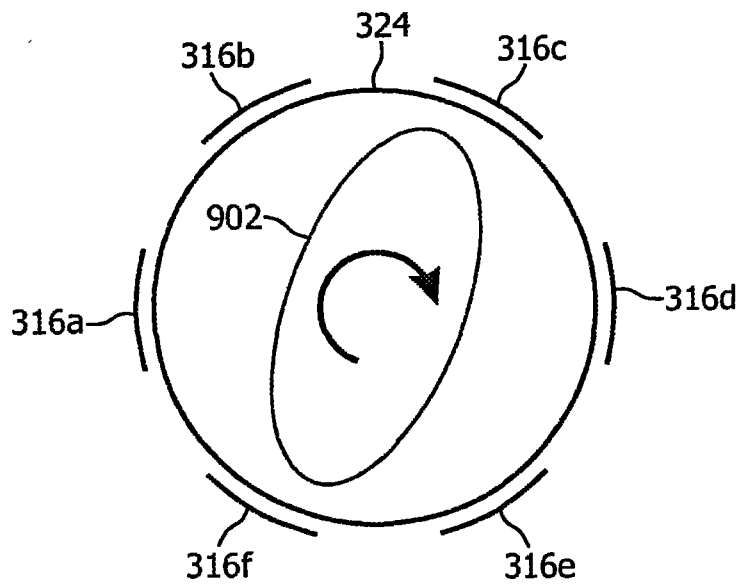


图9

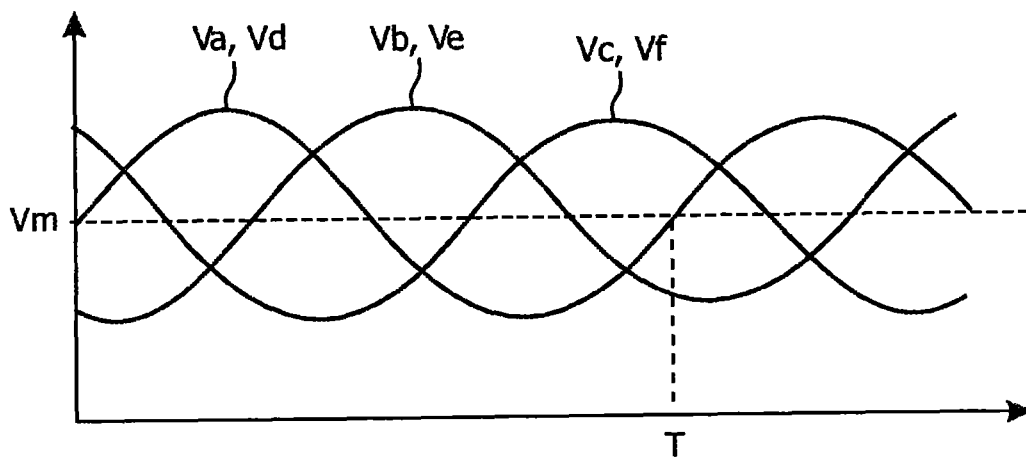


图10