



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102395424 A

(43) 申请公布日 2012.03.28

(21) 申请号	201080016544.7	<i>B25J 7/00</i> (2006.01)
(22) 申请日	2010.02.19	<i>B81B 5/00</i> (2006.01)
(30) 优先权数据		<i>G01N 1/00</i> (2006.01)
	2009-038446 2009.02.20 JP	<i>G01N 35/08</i> (2006.01)
		<i>G01N 35/10</i> (2006.01)

(85) PCT申请进入国家阶段日  
2011.10.13

(86) PCT申请的申请数据  
PCT/JP2010/052566 2010.02.19

(87) PCT申请的公布数据  
W02010/095724 JA 2010.08.26

(71) 申请人 独立行政法人科学技术振兴机构  
地址 日本埼玉县

(72) 发明人 吉川研一 泷之上正浩 厚见悠

(74) 专利代理机构 北京派特恩知识产权代理事  
务所(普通合伙) 11270  
代理人 蒋雅洁 孟桂超

(51) Int. Cl.  
*B01J 19/00*(2006.01)

权利要求书 3 页 说明书 30 页 附图 11 页

(54) 发明名称  
通过恒定电场传输微米级物体以及获得机械功

(57) 摘要  
本发明的目的在于提供能够一种不产生电流而使纳米级物体运动并随意传输该物体,以及获得机械功的技术。经过努力,本发明人发现通过在绝缘流体比如油内安装用于为微米级等的电介质体产生电场的两个电极,使该两个电极的中心轴不在同一直线上而施加电场,比如恒定电场,可随意三维传输该电介质体,并且可由此获得机械功,从而达到上述目的。

1. 一种传输电介质体或获得机械功的方法,其特征在于,该方法包括下列步骤:
  - A) 设置用于产生电场的两个电极,使得该两个电极的中心轴不在同一直线上,并且在绝缘流体内向该电介质体施加电场。
2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述电介质体为微米级,并且该微米级的范围为几纳米到 1000 微米。
3. 根据权利要求 2 所述的方法,其特征在于,所述微米级的范围为 1 微米到 100 微米。
4. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述电介质体为施加静电场时发生电介质极化但不产生电流的物质,并且是具有静电极化率的物质。
5. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述电介质体选自水滴、聚合物物质以及玻璃珠构成的组。
6. 根据权利要求 5 所述的方法,其特征在于,所述水滴使用表面活性剂生成。
7. 根据权利要求 5 所述的方法,其特征在于,所述表面活性剂使用二油酰磷脂酰胆碱(DOPC)、二油酰磷脂酰乙醇胺(DOPE)、二油酰磷脂酰丝氨酸(DOPS)、磷脂酸甘油酯、十八烷基三甲基氯化铵(STAC)、十八烷基三甲基溴化铵(STAB)、十二烷基硫酸钠(SDS)、十二烷基三甲基氯化铵以及戊乙二醇十二烷基醚生成。
8. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述绝缘流体是非挥发性、不具有导电性以及常温常压下流动的物质,并且其相对于所述微米级电介质体的比重为  $\pm 50\%$  以内。
9. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述绝缘流体选自矿物油、液体石蜡、链烷和硅酮油构成的组。
10. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述电场为恒定电场。
11. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述电场的范围为 1V 到 1000V。
12. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,将用于产生所述电场的阳极和阴极设置为它们的中心轴彼此不平行。
13. 根据权利要求 12 所述的方法,其特征在于,所述电极为具有锋利尖端的棱锥型或圆锥形,或者为棱柱或圆柱形,并且该电极的材料具有导电性。
14. 根据权利要求 12 所述的方法,其特征在于,所述电极为选自钨、碳化钨、金、铂、银、铜、铁和铝构成的组的导电物质。
15. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述电场通过具有阳极和阴极至少两个电极的电极组产生,并且该具有至少两个电极的电极组的方向为至少两个电极彼此处于不同的方向,该方法进一步包括通过控制该电场以及用于产生该电场的电极的空间设置来改变运动的路线或模式的步骤。
16. 根据权利要求 15 所述的方法,其特征在于,所述控制的实现是通过使用能够对三维的每个坐标在 1 微米单位上进行操作的微操作器来操作每个该坐标,或者通过手或镊子操作,将所述电极转换到需要的位置。
17. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,该方法进一步包括通过空间控制所述电极以及控制施加电压的强度来间接控制所述电介质体以传输该电介质体的步骤。
18. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,在所述电介质体可运动的空间内设置微型涡轮机,该微型涡轮机随电介质体运动而运动从而获得功,该微型涡轮机具有旋转轴和刀片部分,该刀片绕该旋转轴旋转。

19. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在於,所述电介质体为两个以上,使两个以上的该电介质体集体运动而起到电机的作用。

20. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在於,该方法用于聚合物的机械控制、药物或化学药品的液滴传输、化学反应、药物或化学药品的制备、生物样品的非接触传输、或者微通道。

21. 一种传输电介质体的装置,其特征在於,该装置包括以下设备:

A) 用于接收该电介质体的绝缘流体;以及

B) 存在于该绝缘流体中、用于施加电场的包括两个电极的设备,该两个电极设置为它们的中心轴不在同一直线上。

22. 一种用于获得机械功的装置,其特征在於,包括:

A) 绝缘流体;

B) 设置在该绝缘流体内的电介质体;

C) 存在于该绝缘流体中、用于施加电场的包括两个电极的设备,该两个电极设置为它们的中心轴不在同一直线上;以及

D) 用于从该电介质体中获得机械功的设备。

23. 根据权利要求 21 或 22 所述的装置,其特征在於,所述电介质体为微米级,并且该微米级的范围为几纳米到 1000 微米。

24. 根据权利要求 23 所述的装置,其特征在於,所述微米级的范围为 1 微米到 100 微米。

25. 根据权利要求 21 或 22 所述的装置,其特征在於,所述电介质体为施加静电场时发生电介质极化但不产生电流的物质,并且是具有静电极化率的物质。

26. 根据权利要求 21 或 22 所述的装置,其特征在於,所述电介质体选自水滴、聚合物物质以及玻璃珠构成的组。

27. 根据权利要求 26 所述的装置,其特征在於,所述水滴使用表面活性剂生成。

28. 根据权利要求 26 所述的装置,其特征在於,所述表面活性剂使用二油酰磷脂酰胆碱(DOPC)、二油酰磷脂酰乙醇胺(DOPE)、二油酰磷脂酰丝氨酸(DOPS)、磷脂酸甘油酯、十八烷基三甲基氯化铵(STAC)、十八烷基三甲基溴化铵(STAB)、十二烷基硫酸钠(SDS)、十二烷基三甲基氯化铵以及戊乙二醇十二烷基醚生成。

29. 根据权利要求 21 或 22 所述的装置,其特征在於,所述绝缘流体是非挥发性、不具有导电性以及在常温常压下流动的物质,并且其相对于所述微米级电介质体的比重为 $\pm 50\%$ 以内。

30. 根据权利要求 21 或 22 所述的装置,其特征在於,所述绝缘流体选自矿物油、液体石蜡、链烷和硅酮油构成的组。

31. 根据权利要求 21 或 22 所述的装置,其特征在於,所述电场为恒定电场。

32. 根据权利要求 21 或 22 所述的装置,其特征在於,所述电场的范围为 1V 到 1000V。

33. 根据权利要求 21 或 22 所述的装置,其特征在於,用于产生所述电场的阳极和阴极设置为它们的中心轴彼此不平行。

34. 根据权利要求 33 所述的装置,其特征在於,所述电极为具有锋利尖端的棱锥型或圆锥形,或者为棱柱或圆柱形,并且该电极的材料具有导电性。

35. 根据权利要求 32 所述的装置,其特征在于,所述电极为选自钨、碳化钨、金、铂、银、铜、铁和铝构成的组的导电物质。

36. 根据权利要求 21 或 22 所述的装置,其特征在于,用于施加所述电场的所述设备为具有阳极和阴极至少两个电极的电极组,并且该具有至少两个电极的电极组的方向为至少两个电极彼此处于不同的方向。

37. 根据权利要求 36 所述的装置,其特征在于,该装置进一步包括能够对三维的每个坐标在 1 微米单位上进行操作的微操作器,该微操作器操作每个该坐标以将所述电极转换到需要的位置,或者进一步包括镊子。

38. 根据权利要求 21 或 22 所述的装置,其特征在于,该装置进一步包括通过空间控制所述电极以及控制施加电压的强度来间接控制所述电介质体以传输该电介质体的设备。

39. 根据权利要求 22 所述的装置,其特征在于,该装置进一步包括微型涡轮机。

40. 根据权利要求 22 所述的装置,其特征在于,该所述电介质体为两个以上,并且使两个以上的该电介质体集体运动而起到电机的作用。

41. 根据权利要求 21 或 22 所述的装置,其特征在于,该装置用于聚合物的机械控制、药物或化学药品的液滴传输、化学反应、药物或化学药品的制备、生物样品的非接触传输、或者微通道。

## 通过恒定电场传输微米级物体以及获得机械功

### 技术领域

[0001] 本发明涉及通过恒定电场传输微米级物体以及获得机械功。

### 背景技术

[0002] 通常,交流电场用于震荡运动和周期运动。在这种情况下,通过电流的产生而导致运动。

[0003] 在微米级中,由于表示流动的惯性力与粘性力之间的大小之比的雷诺数很低,因此被认为很难从机械运动中获取功。

[0004] 非专利文件 1 描述了在油中恒定电场对直径为几十微米的水滴的作用。

[0005] 微米级范畴通常也认为是低雷诺数范畴,该微米级范畴为本发明的主题。在这个规模的范畴里,众所周知,仅仅在不具有方向性的直线上做周期运动不能获得功。因此,如非专利文件 1 所描述的,仅仅通过直线往复运动不可能获得功。

[0006] 有鉴于此,需要提供一种技术,该技术在微米级上,在恒定的电场内也能够随意使物体运动,传输物体并且获得机械功。

[0007] 同样,已知非专利文件 2 到 5。这些文件描述了使微小物体做线性运动,但在这些文件中,不能做对于获得功最重要的二维运动并且也没有关于这种想法的描述。

[0008] 在纳米级到微米级,雷诺数非常小,物体的惯性力不起重要的作用,并且环境的粘性力快速地减弱物体的运动。因此,应当提供某些驱动能量用以连续地推动该物体。如上所描述的,微小物体的运动提出了非线性系统和非平衡系统的关键问题。此外,推动和控制包含生物聚合物和细胞等微小物体的能力在应用物理学和生物物理学的工作中、以及微电子机械系统 (Micro-Electro-Mechanical System, MEMS) 和微全分析 (Micro Total Analysis System,  $\mu$  TAS) 技术中很重要,现已积极开发出大量适宜技术,然而,离实际使用还很远。

[0009] 现有技术文件

[0010] 非专利文件

[0011] 非专利文件 1 :Masahiko Hase, Shun N. Watanabe 和 Kenichi Yoshikawa, PHYSICAL REVIEW E 74, 046301 2006。

[0012] 非专利文件 2 :T. Mochizuki, Y. Mori 和 N. Kaji, AIChE Journal 36, 1039 (1990)。

[0013] 非专利文件 3 :J. Eow, M. Ghadiri 和 A. Sharif, Colloids Surf. A 225, 193 (2003)。

[0014] 非专利文件 4 :Y. Jung, H. Oh 和 I. Kang, J. Colloid Interface Sci. 322, 617 (2008)。

[0015] 非专利文件 5 :W. D. Ristenpart, J. C. Bird, A. Belmonte, F. Dollar 和 H. A. Stone, Nature 461, 377 (2009)。

### 发明内容

[0016] 本发明要解决的问题

[0017] 本发明的目的在于提供一种技术,该技术即使在恒定的电场中不产生电流也能随

意使物体微米级运动并传输该物体,并获得机械功。

[0018] 解决问题的手段

[0019] 经过努力,本发明人发现通过在绝缘流体比如油内安装用于为微米级(在本说明书中,通常指几纳米到 1000 微米的范围)等的电介质体产生电场的两个电极,使这两个电极的中心轴不在同一直线上而施加电场(比如恒定电场),可随意三维地传输该电介质体,从而可获得机械功(图 1)。在本发明中,电介质体为任意的电介质物体,比如水滴、聚苯乙烯珠、玻璃珠等等,并且已揭示只要是电介质体,该微米级物体就不依赖于是什么物质。也揭示出周围介质可为任何绝缘流体,而限于油。本发明还解决了在非专利文件 1 到 5 中没有认识到的问题。因此,可以说本发明已经取得了很大的进步,在实施旋转运动上取得了世界首次的成功,该旋转运动是对于获得功最重要的二维运动之一。此外,由于前面所提到的非专利文件 1 到 5 完全缺乏获得功的观点,因而从这些文件中不容易想到本发明。换言之,这些文件仅仅在“运动”这一点上进行了描述,但对作为本发明的特征的“获得功”这一点甚至都没暗示,也没有关于在恒定电场内进行高维循环运动的报道。为了从微米级运动中获得功和能量,需要至少二维的循环运动。本发明报道的作为电介质体的微小物体的旋转运动在开发简单有用的用于控制微小物体的策略上可能有用。

[0020] 即,本发明的重要性在于除了简单地使得液滴运动外,成功实现了非常重要的循环运动,并且也证明了利用本发明中的循环运动可获得功。

[0021] 本发明涉及一种稳定直流电场内油相的微小水滴的旋转运动。在正电极和负电极适当几何排列下,液滴进行旋转运动。在本发明中,超过特定的临界电位时发生旋转运动,其频率随着电位的增加而增加。本发明提供了描述发生旋转运动的简单理论模型,以及用于实现微旋转电机的本发明的系统应用实例。

[0022] 因此,本发明提供下述:

[0023] (1) 一种传输电介质体或获得机械功的方法,包括下列步骤:

[0024] A) 设置用于产生电场的两个电极,使得所述两个电极的中心轴不在同一直线上,并且在绝缘流体内给所述电介质体施加电场。

[0025] (2) 如上面所描述的方法,其中所述电介质体为微米级,并且微米级的范围为几纳米到 1000 微米。

[0026] (3) 如上面所描述的方法,其中所述微米级的范围为 1 微米到 100 微米。

[0027] (4) 如上面所描述的方法,其中所述电介质体指施加静电场时发生电介质极化但不生成电流的物质,并且是具有静电极化率的物质。

[0028] (5) 如上面所描述的方法,其中所述电介质体选自水滴,聚合物物质比如聚苯乙烯珠、聚二甲基硅氧烷 (Polydimethylsiloxane, PDMS) 或者聚丙烯酰胺凝胶,以及玻璃珠构成的组。

[0029] (6) 如上面所描述的方法,其中所述水滴使用表面活性剂生成。

[0030] (7) 如上面所描述的方法,其中所述表面活性剂使用二油酰磷脂酰胆碱 (Dioleoyl Phosphatidylcholine, DOPC)、二油酰磷脂酰乙醇胺 (Dioleoyl Phosphatidylethanolamine, DOPE)、二油酰磷脂酰丝氨酸 (Dioleoyl Phosphatidylserine, DOPS)、磷脂酸甘油酯 (Egg PC)、十八烷基三甲基氯化铵 (Stearyl Trimethyl Ammonium Chloride, STAC)、十八烷基三甲基溴化铵 (Stearyl Trimethyl

Ammonium Bromide, STAB)、十二烷基硫酸钠 (Sodium Dodecyl Sulfate, SDS)、十二烷基三甲基氯化铵、戊乙二醇十二烷基醚等等生成。这里,表面活性剂是一个分子中具有亲水基和疏水基的物质,并且能够在疏水的油液中形成水滴,该物质存在于油与水之间的界面处。

[0031] (8) 如上面所描述的方法,其中所述绝缘流体是非挥发性、不具有导电性以及常在常温常压下流动的物质,并且其相对于所述微米级电介质体的比重在  $\pm 50\%$  以内。

[0032] (9) 如上面所描述的方法,其中所述绝缘流体选自矿物油、液体石蜡、链烷和硅酮油构成的组。

[0033] (10) 如上面所描述的方法,其中所述电场为恒定电场。

[0034] (11) 如上面所描述的方法,其中所述电场的范围为 1V 到 1000V。

[0035] (12) 如上面所描述的方法,其中用于产生所述电场的阳极和阴极设置为它们的中心轴彼此不平行。由于电极的中心轴处于同一直线上的方式不能获得循环运动,因此不对称设置很重要。进一步地,不平行设置比平行设置更可获得循环运动。

[0036] (13) 如上面所描述的方法,其中所述电极为具有锋利尖端的棱锥形或圆锥形,或者为棱柱或圆柱形,并且其材料具有导电性。

[0037] (14) 如上面所描述的方法,其中所述电极为导电物质,比如钨、碳化钨、金、铂、银、铜、铁或铝等。

[0038] (15) 如上面所描述的方法,其中通过具有阳极和阴极至少两个电极的电极组产生所述电场,并且该具有至少两个电极的电极组的方向为至少两个电极彼此处于不同的方向,该方法进一步包括通过控制所述电场以及用于产生所述电场的电极的空间设置来改变运动的路线或模式的步骤。

[0039] (16) 如上面所描述的方法,其中所述控制的实现是通过使用能够对三维的每个坐标在 1 微米单位上进行操作的微操作器来操作每个坐标,通过手或镊子操作,将电极转换到需要的位置以实现所述控制。

[0040] (17) 如上面所描述的方法,进一步包括通过空间控制所述电极以及控制施加电压的强度来间接控制所述电介质体以传输所述电介质体的步骤。

[0041] (18) 如上面所描述的方法,其中在所述电介质体可运动的空间内进一步设置微型涡轮机,微型涡轮机随电介质体运动而运动从而获得功,该微型涡轮机具有旋转轴和刀片部分,该刀片绕该旋转轴旋转。这里,该微型涡轮机可通过微制作技术制造,例如,该微型涡轮机为尺寸在 1 微米到 100 微米的物体,包括旋转轴和刀片部分,该刀片可围绕该旋转轴旋转。比如,包括具有加工成微米级二氧化硅层的水轮(比如用于 Y. Hiratsuka, M. Miyata, T. Tada, T. Q. Uyeda, Proc. Natl Acad. Sci. USA 103, 13618-13623 (2006) 等等上的那些)。

[0042] (19) 如上面所描述的方法,其中所述电介质体为两个以上,并且使所述两个以上的电介质体集体运动而起到电机的作用。

[0043] (20) 对于聚合物的机械控制、药物的液滴传输、化学反应、药物的制备、生物样品的非接触传输以及微通道,给出了下列描述。

[0044] 聚合物的机械控制:建立了使 DNA 等聚合物的两端分别与分离的聚合物小珠结合的技术。由于使用本研究的成果可随意控制附着在聚合物两端的聚合物小珠,因此可机械地控制该聚合物。

[0045] 药物的液滴传输:由于可如上所述生成水滴,通过将药物放入水滴可容易地进行

传输。

[0046] 化学反应 :通过使传输中的液滴彼此碰撞而使其融合,在液滴中开始化学反应。

[0047] 药物的制备 :类似于化学反应,通过使传输中的液滴彼此碰撞而使其融合,进行混合等等。那些不希望混合的液滴可在开始反应前在单独液滴中制备,并且这些液滴可在希望混合的地方混合。此外,这可以在很小的微米级空间实现。

[0048] 生物样品的非接触传输 :本技术也可应用于作为一种电介质体的细胞或生物聚合物上。

[0049] 微通道的结合 :类似于前面提到的微型涡轮机。其为微技术的一部分。

[0050] 与半导体技术的结合意味着使用半导体装置和电路基板来控制电场,而非直接控制运动。

[0051] 本发明也提供了关于装置的下列发明。

[0052] (21) 一种传输电介质体的装置,包括 :

[0053] A) 用于接收电介质体的绝缘流体 ;以及

[0054] B) 存在于绝缘流体中、用于施加包括两个电极的电场的设备,这两个电极设置为它们的中心轴不在同一直线上。

[0055] 这里,用于施加电场的设备可为在绝缘流体中的配置有电极并可施加电压的任何装置。

[0056] (22) 一种用于获得机械功的装置,包括 :

[0057] A) 绝缘流体 ;

[0058] B) 设置在绝缘流体内的电介质体 ;

[0059] C) 存在于绝缘流体中、用于施加包括两个电极的电场的设备,这两个电极设置为它们的中心轴不在同一直线上 ;以及

[0060] D) 用于从电介质体中获得机械功的设备。

[0061] 作为用于从电介质体中获得机械功的设备或者用于将电介质体的运动转化为功的设备,可使尺寸大约为 1 微米到几千微米的螺旋桨状的物质如水轮般转动从而作为涡轮机获得功,或使磁化物质粘附到电介质体上以间接控制电场,通过在相邻位置设置涡轮机可获得功。

[0062] 在进一步的实施例中,本发明也提供了关于装置的下列发明。

[0063] (23) 如上面所描述的装置,其中所述电介质体为微米级,并且微米级的范围为几纳米到 1000 微米。

[0064] (24) 如上面所描述的装置,其中所述微米级的范围为 1 微米到 100 微米。

[0065] (25) 如上面所描述的装置,其中所述电介质体指施加静电场时发生电介质极化但不生成电流的物质,并且是具有静电极化率的物质。

[0066] (26) 如上面所描述的装置,其中所述电介质体为水滴,聚合物物质比如聚苯乙烯珠、聚二甲基硅氧烷 (Polydimethylsiloxane, PDMS) 或者聚丙烯酰胺凝胶,以及玻璃珠等。

[0067] (27) 如上面所描述的装置,其中所述水滴使用表面活性剂生成。

[0068] (28) 如上面所描述的方法,其中所述表面活性剂使用二油酰磷脂酰胆碱 (DOPC)、二油酰磷脂酰乙醇胺 (DOPE)、二油酰磷脂酰丝氨酸 (DOPS)、磷脂酸甘油酯 (Egg PC)、十八烷基三甲基氯化铵 (STAC)、十八烷基三甲基溴化铵 (STAB)、十二烷基硫酸钠 (SDS)、十二烷



基三甲氯化铵、戊乙二醇十二烷基醚等等生成。

[0069] (29) 如上面所描述的装置,其中所述绝缘流体是非挥发性、不具有导电性以及常温常压下为流动的物质,并且其相对于所述微米级电介质体的比重为  $\pm 50\%$  以内。

[0070] (30) 如上面所描述的装置,其中所述绝缘流体选自矿物油、液体石蜡、链烷和硅酮油构成的组。

[0071] (31) 如上面所描述的装置,其中所述电场为恒定电场。

[0072] (32) 如上面所描述的装置,其中所述电场的范围为 1V 到 1000V。

[0073] (33) 如上面所描述的装置,其中用于产生所述电场的阳极和阴极不对称地设置为它们的中心轴彼此不平行。

[0074] (34) 如上面所描述的装置,其中所述电极为具有锋利尖端的棱锥形或圆锥形,或者为棱柱或圆柱形,并且其材料具有导电性。

[0075] (35) 如上面所描述的装置,其中所述电极为选自钨、碳化钨、金、铂、银、铜、铁和铝构成的组的导电物质。

[0076] (36) 如上面所描述的装置,其中用于施加电场的所述设备为具有阳极和阴极至少两个电极的电极组,并且该具有至少两个电极的电极组的方向为至少两个电极彼此处于不同的方向。

[0077] (37) 如上面所描述的装置,进一步包括能够对三维的每个坐标在 1 微米单位上进行操作的微操作器,该微操作器操作每个坐标以将电极转换到需要的位置,或者进一步包括镊子。

[0078] (38) 如上面所描述的装置,进一步包括通过空间控制所述电极以及控制施加电压的强度来间接控制电介质体以传输所述电介质体的设备。

[0079] (39) 如上面所描述的装置,进一步包括微型涡轮机。这种微型涡轮机包括具有加工成微米级二氧化硅层的水轮(比如用于 Y. Hiratsuka, M. Miyata, T. Tada, T. Q. Uyeda, Proc. Natl Acad. Sci. USA 103, 13618-13623 (2006) 等等上的那些)。

[0080] (40) 如上面所描述的装置,其中所述电介质体为两个以上,并且使两个以上的该电介质体集体运动而起到电机的作用。

[0081] (41) 如上面所描述的装置,用于聚合物的机械控制、药物的液滴传输、化学反应、药物的制备、生物样品的非接触传输、或者微通道。

[0082] 对上面所描述的每个方面,可以理解的是本说明书描述的每个实施例只要可以应用,就可用于其他方面。

[0083] 发明效果

[0084] 综上所述,通过施加恒定的电场,本发明成功使得微米级电介质体产生机械运动。因此,本发明提供了旋转电机似的运动,并且获得了产生振荡性和周期性运动的能力,这在交流电场中是不可能的。同样,本发明实现了通过电场强度和电极的空间设置可随意改变运动路线和运动模式,而非通过电流运动,因为没有电流。此外,不需要在恒定电场接触就可以获得电机似的运动,这一点非常重要,并且已揭示出以非接触的方式可传输物体。

[0085] 尤其是,如图 3 所示,当电极设置在同一直线上时只可获得简单的周期运动(非专利文件 1),然而,如图 3 的中心图和右边图所示,当电极设置为不在同一直线上时,实现在作用于电介质体的力中,利用作用在带电体上的力(见图 4(i))和电介质力之间的电介质

力（见图 4(ii)）的状态，因此能够获得循环运动。传统技术不能预见这种状态是否可以实现，这种状态在教科书中也不明显，因此可以说是新的技术。

[0086] 从非专利文件 1 等等中描述的方案本身，不容易想到这一点，可以说本发明的一个重要的作用在于，本发明通过使两个电极的中心轴设置为不在同一直线上，首先实现了作为不可预见现象的循环运动。

[0087] 最后，虽然通常很难从雷诺数很低的微米级的机械运动中获得功，本发明在使其成为可能上发挥了重要的作用。

## 附图说明

[0088] 出现在多个图中的同样的附图标记表示同样的元件。

[0089] 【图 1】为微米级物体传输的概念图；

[0090] 【图 1A】为阴极和阳极实质设置为不在同一直线上的示意图，示出了本发明中的用于产生电场的阴极和阳极设置为不在同一直线上是有利的；

[0091] 【图 1B】为说明中心轴不平行的情况的图，显示出比在平行的情况下更能获得循环运动；

[0092] 【图 1C】为实验设置的侧视图。包含水滴的矿物油设置在载玻片上，并且矿物油中插入电极。通过使用显微镜，从上面观察实验。V 是施加在电极之间的恒定电压。X-Z 坐标是垂直平面。O（原点）是负电极的顶点。图 1C(b) 是基于实验设置的图（显微镜图像）。X-Y 坐标是水平平面。这里，在图 1C(a) 和图 1C(b) 中，100 表示水滴，102 表示矿物油，104 表示负电极，106 表示载玻片，108 表示恒定电压，110 表示正电极，以及 112 表示显微镜的物镜。

[0093] 【数学公式 1】

[0094]  $x = (x, y)$

[0095] 是水滴的中心，(l, d) 是正电极的顶点；

[0096] 【图 2】显示了实验设置（左边）和循环运动的水滴的连续快照进行重叠的合成照片（右边）。电极：由钨做成；表面活性剂：磷脂 DOPC；

[0097] 【图 2A】到图 2A(d) 显示了油包水 (w/o) 微液滴的旋转运动。满足  $l = d = 100$  微米。液滴的尺寸为  $r = 17.1$  微米。左边的图显示了叠置的液滴快照。中心的图列显示了液滴随时间的变化，由 x（实线）和 Y（虚线）表示。右边的图显示了傅里叶变换的频谱，由 x（实线）和 y（虚线）表示。在图 2A(a) 中， $V = 20V$ ，显示了每 2 秒的快照。在图 2A(b) 中， $V = 60V$ ，显示了每 0.4 秒的快照。在图 2A(c) 中， $V = 120V$ ，显示了每 0.2 秒的快照。在图 2A(d) 中， $V = 160V$ ，显示了每 0.2 秒的快照。图 2A(e) 显示了数值模拟。左边的图显示了液滴的轨迹。中间的图显示了随时间变化的数据。右边的图显示了傅里叶变换的频谱。这里，在图 2A(a) 到 (e) 中，221 表示起始点。210 表示微滴，212 和 215 表示电极。用于图 2A(e) 模拟中的恒定电场和数字参数在实例中描述；

[0098] 【图 3】显示了重叠的快照（另一个实验实例）。在该图中，编号 (a) 到 (c) 显示了电极的各种设置。这里，(a) 电极设置（左边）：在平行方向上距离中心轴 120 微米；在垂直方向为 0 微米；(b) 电极设置（中间）：在平行方向上距离中心轴 120 微米；在垂直方向为 40 微米；(c) 电极设置（右边）：在平行方向上距离中心轴 120 微米；在垂直方向为 120 微

米。在该实验 (c) 中,电极的设置不同。电极由碳化钨做成,并且表面活性剂为磷脂 DOPC ;  
【0099】 【图 4】显示了物理模块和模拟的结果。左边描述了解释本发明的运动方程,右边显示了其计算结果。即,图 4 左边 (I) 指粘性很强时的运动方程(过阻尼系统)。至于运动方程的右边,(i) 右边的第一项表示作用在带电体上的力,其中,显示了带电电介质体与电极吸引或排斥;以及(ii) 右边的第二项表示作用在电介质体上的力,其中显示了将电介质体吸引到电力线密度较高的一边。图 4 左边 (II) 指关于电荷充电和放电的方程,表示了电极接触的情况以及电极彼此不接触的情况。电极彼此接触时,电荷充电,而当电极彼此不接触时,则放电。图 4 中右上方的图显示了模拟的结果。由于图 4 左边 (I) 显示的 (i) 和 (ii) 的力方向彼此不同,因此力的平衡决定运动方向。即,根据该平衡而发生旋转运动;

【0100】 【图 5】是具体解释模拟结果的示意图。该图中,编号 (1) 到 (5) 分别显示了,(1) 从正电极向电介质体充电荷;(2) 阳极和带正电的电介质体通过静电排斥力彼此排斥,并且正电荷逐渐泄漏;(3) 静电吸引力作用,吸引到电极的阴极并接触;(4) 从阴极向电介质体充电荷;(5) 在负电极和负电荷电介质体之间产生静电排斥力,并且电荷逐渐泄漏;

【0101】 【图 5A】在图 5A,图 5A(a) 到图 5A(f) 是表示旋转运动的频率对施加的电压的依赖性。在图 5A(a) 中, $r = 14.0$  微米( $r$  表示微滴的直径),在图 5A(b) 中, $r = 17.1$  微米,在图 5A(c) 中, $r = 18.8$  微米,在图 5A(d) 中, $r = 19.5$  微米,在图 5A(e) 中, $r = 31.8$  微米,以及在图 5A(f) 中, $r = 34.6$  微米。区域 (I) 到 (III) 对应图 5A(g) 中的相位图的运动模式。5A(g) 显示了依赖于施加电压的液滴运动。这里,在 5A(g) 中,G1 表示(模式 I) 非旋转运动,G2 表示(模式 II) 旋转运动,以及 G3 表示(模式 III) 伴随有电极束缚的旋转运动;

【0102】 【图 6】为显示随意传输和获取功的示意图。在该图中,编号 (a) 和 (b) 分别显示 (a) 随意传输;和 (b) 获取功。至于各附图标记,600 表示微米级电介质体,610 表示微型涡轮机,602、604、606、608、612 和 614 表示电极;

【0103】 【图 7】为通过微米级电介质体集体运动对电机和聚合物进行机械控制的示意图。在该图中,编号 (a) 和 (b) 分别显示 (a) 通过微米级电介质体集体运动对电机;和 (b) 聚合物进行机械控制。至于各附图标记,700 表示微米级电介质体,710 表示聚合物,702、704、712、714、716 和 718 表示电极;

【0104】 【图 8】为药物或化学药品等的液滴传输、液滴融合后的化学反应、药物或化学药品的制备、生物样品比如细胞的非接触传输的示意图。在该图中,编号 (a) 到 (c) 分别显示 (a) 药物或化学药品等的液滴传输、液滴融合后的化学反应、药物或化学药品的制备;和 (b) 生物样品比如细胞的非接触传输。由于细胞因接触受到破坏,因此“非接触”这一点非常重要。避免了液体浪费,实现了低成本,实现了也具有微全分析系统(Micro Total Analysis System,  $\mu$  TAS) 性质的传输。至于各附图标记,800 表示液滴,810 表示生物样品,802、804、806、808、812、814、816 和 818 表示电极;以及

【0105】 【图 9】为微通道示意图。电介质体引入到圆形通道。通过与微通道结合获得更大的旋转运动。至于各附图标记,900 表示圆形通道,902 和 904 表示电极。

## 具体实施方式

【0106】 下面描述本发明。在整个说明书中,应当理解,除非另外标注,否则单数形式的表

达包括了复数形式的概念。因此,应当理解,除非另外标注,否则用于单数形式的冠词(比如英语中的“a”,“an”,“the”等等)包含复数形式的概念。进一步地,应当理解,除非另外标注,否则用于本说明书的术语表示通常使用于该技术领域内的意义。因此,除非另外标注,否则本说明书中所有的技术术语和科技术语具有相同与本发明所属的技术领域的技术人员通常理解的一样。在矛盾的情况下,以本说明书(包括定义)优先。

[0107] (术语定义)

[0108] 在本说明书中,“电介质体”指不具有在电导中起作用的自由电子,并在施加电场时发生电极化的物质。通常,电介质体指在应用静电场时发生电介质极化但不生成电流的物质,该电介质体具有静电极化率。该电介质体包括,比如水滴、聚合物物质(比如聚苯乙烯珠、聚二甲基硅氧烷(Polydimethylsiloxane,PDMS)或者聚丙烯酰胺凝胶)以及玻璃珠。

[0109] 在本说明书中,“传输”的意思与本技术领域通常使用的意思一样,指使目标物体运动。

[0110] 在本说明书中,“机械功”也称为“功”,是指当在物体运动方向上具有分量的力施加于该物体上并且该物体运动时发生的能量转移,相当于在运动的整个过程中力的一次积分。

[0111] 在本说明书中,“绝缘流体”指不导电的流动物质。优选地,是不挥发、不导电、在常温常压下流动的液体和气体,并且其相对于微米级电介质体的比重最好为大概 $\pm 50\%$ 以内。比如,作为绝缘流体,可使用矿物油、液体石蜡、链烷和硅酮油。优选地,绝缘流体提供在容器内。该绝缘流体可为非电解质。

[0112] 在传统技术中,与微米级物体的情况一样,很难在高粘度下实现电机。本发明成功地实现了电机。本发明的特征在于即使在高粘度下也能获得电机。当然,应当理解,本发明在低粘度的情况下也可以实践。

[0113] 在本说明书中,“电场”具有本技术领域通常使用的意义,也指导致电体吸引或排斥其他带电体的自然界的基本场,也称为场。通常,电场由两个以上电极(阴极和阳极)产生。

[0114] 在本说明书中,“恒定电场”指具有恒定值的电场。比如,可为范围在1V到1000V的电场,但不限于此。本发明提供的优于传统技术的优势在于,即使在恒定的电场也可获得机械运动,比如周期运动或旋转运动。

[0115] 在本说明书中,通常由阳极和阴极组成的组产生电场。电极优选地为具有锋利尖端的棱锥型或圆锥形,或者棱柱或圆柱形,并且由导电性的材料实现。电极包括导电物质,比如钨、碳化钨、金、铂、银、铜、铁和铝。比如通过具有阳极和阴极至少两个电极的电极组产生电场,并且该具有至少两个电极的电极组的方向为至少两个电极彼此处于不同的方向,通过控制电场以及用于产生电场的电极的空间设置可改变运动的路线或模式。

[0116] 这里,通过使用能够对三维的每个坐标在1微米单位上进行操作的微操作器,并通过操作必要的设备,比如手指夹具,操作每个坐标将电极转换到需要的位置,比如通过手或镊子操作,以实现该控制。

[0117] 在本说明书中,“微米级”范围通常在几纳米到大约1000微米,并且在某种情况下,范围在亚微米(0.1微米)到1000微米,其中,尤其优选1微米到100微米,在该范围内可有效使用本技术,但是范围不限于此。这里,术语几纳米意思是至少1纳米,应当理解大约

亚纳米到 1 纳米的分子组合的尺寸是几纳米,并且通常大概为 2 到 3 纳米或者更大,但不限于此。由大概亚纳米到 1 纳米的分子组合形成的几纳米的电介质体可作为实现的下限。另一方面,不希望受缚于理论,使用至少 1000 微米作为上限,因为本领域的技术人员意识到本发明的原理至少可应用在微米的范围内,即高达 1000 微米的范围内。在更大的毫米范围内,支配这种现象的方程(原理)可不同,然而,不排除应用本发明,应当理解只要本发明的原理适用,即使是大于 1000 微米的尺寸,也可实践本发明。

[0118] 在该说明书中,“表面活性剂”是分子中具有亲水基和疏水基的物质,该物质能够在疏水油液体中形成水滴。在这种情况下,该表面活性剂通常存在于油与水之间的界面。表面活性剂的实例包括,但不限于,烷基硫酸盐(比如十二烷基硫酸钠(Sodium Dodecyl Sulfate, SDS))、烷基三甲基胺盐(比如十八烷基三甲基氯化铵(Stearyl Trimethyl Ammonium Chloride, STAC))、十二烷基三甲基氯化铵、十八烷基三甲基溴化铵(Stearyl Trimethyl Ammonium Bromide, STAB))、聚氧乙烯烷基醚(比如戊乙二醇十二烷基醚)、酰基磷脂酰胆碱(比如二油酰磷脂酰胆碱(Dioleoyl Phosphatidylcholine, DOPC))、二棕榈酰磷脂酰胆碱(Dipalmitoyl Phosphatidylcholine, DPPC)、酰基磷脂酰乙醇胺(比如二油酰磷脂酰乙醇胺(Dioleoyl Phosphatidylethanolamine, DOPE))、二棕榈酰磷脂酰乙醇胺(Dipalmitoyl Phosphatidyl Ethanolamine, DPPE))、酰基磷脂酰丝氨酸(比如二油酰磷脂酰丝氨酸(Dioleoyl phosphatidylserine, DOPS))、二棕榈酰磷脂酰丝氨酸(Dipalmitoyl phosphatidylserine, DPPS))、酰基磷脂酰甘油(比如二油酰磷脂酰甘油(Dioleoyl phosphatidylglycerol, DOPG))、二棕榈酰磷脂酰甘油(Dipalmitoyl Phosphatidyl Glycerol, DPPG))以及磷脂酸甘油酯(Egg PG)。比如,可使用其他的物质,比如,对于酰基,通常使用具有四个后缀 PC/PE/PS/PG 的酰基,然而,这种物质包括大量具有前缀 DO/DP/DS/... 等等的物质,这些物质也可用于本发明中。

[0119] 在本说明书中,“微型涡轮机”是,比如可由微制造技术制造的尺寸为例如 1 微米到 100 微米的物体,包括旋转轴和刀片部分,该刀片可围绕旋转轴旋转。比如,这包括具有加工成微米级的二氧化硅层的水轮(比如用于 Y. Hiratsuka, M. Miyata, T. Tada, T. Q. Uyeda, Proc. Natl Acad. Sci. USA 103, 13618-13623 (2006) 等等上的那些)。使用该微型涡轮机,所述电介质体可设置在其能够运动的空间,并且从随着电介质体运动而运动的微型涡轮机中可获得功。这里,该微型涡轮机具有旋转轴和刀片部分,该刀片优选地可旋转。

[0120] 在本发明的一个实施例中,电介质体为两个以上,并且通过使两个以上电介质体集体运动,可起到电机的作用。

[0121] (描述优选实施例)

[0122] 下面将描述本发明的优选实施例,应当理解本发明不限于这些优选实施例,并且本领域的技术人员在该说明书整个描述的基础上可适当地修改本发明。

[0123] (产生循环运动的方法及其应用)

[0124] 一方面,本发明提供传输电介质体或获得机械功的方法,包括步骤 A) 安装两个用于产生电场的电极,使得所述两个电极的中心轴不在同一直线上,并且在绝缘流体内给所述电介质体施加电场。

[0125] 本发明的意义在于实现很重要的循环运动而并非只是简单使液滴运动,并且其突出之处在于以两个电极的中心轴不设置在同一直线上为特征可实现循环运动,这在传统技

术（比如非专利文件 1）所描述的技术中不能轻易地看到。本发明还证明了利用本发明中的循环运动可获得功。

[0126] 因此，由于在电极中心轴在同一直线上的高对称情形下不能获得循环运动，因此最好设置电极使得其中心轴不在同一直线上并优选地设置为彼此不平行。

[0127] 在本说明书中，“两个电极的中心轴不在同一直线上”的表述涉及到产生电场的两个电极的设置，并且意味着这些电极的中心轴不设置在一条直线上。这里，“电极的中心轴”使用本技术领域通常使用的意思，指如上所述的以锋锐电极形状在最大长度方向平行的中心线。优选地，最好将中心轴设置为彼此不平行。

[0128] 现已发现仅仅通过给微米级电介质体施加恒定的电场就可随意地以三维的方式传输电介质体，从而可获得机械功（图 1）。在本发明中，揭示了电介质体是任意的电介质物体，比如水滴、聚苯乙烯珠和玻璃珠，但如果微米级物体是电介质体，就不依赖于物质或形状。本发明还揭示了周围介质可为任何绝缘流体，而限于油。最后，虽然通常很难从雷诺数很低的微米级机械运动中获得功，本发明明显能使其成为可能。通过施加恒定的电场，本发明成功地使微米级电介质体产生了机械运动。

[0129] 因此，本发明提供了旋转电机型运动，并实现了在非交流电场产生振动性和周期性运动。同样，本发明中由于没有产生电流，因此不存在通过电流发生的运动，而通过电场强度和电极的空间设置，可随意改变运动路线和运动模式。此外，重要的是，其优势在于可在没有接触点以及在恒定电场的情况下获得电机型运动，从而以非接触方式传输物体以及对微型电机的应用，这在通常是不可可能的。

[0130] 在传统技术中，如图 3 所示，当电极设置为在同一直线上时，只可获得简单的周期运动（非专利文件 1）。然而，如本发明所公开的，如图 3 中的中间图和右边图所示当电极设置为不在同一直线上时，实现在作用于电介质体的力中，利用作用在带电体上的力（见图 4(i)）和作用在电介质体上的力（见图 4(ii)）的状态，因而能够获得循环运动。传统技术不能预见这种状态是否可以实现，这种状态在教科书中也不明显，因此可以说是新的技术。进一步地，本发明的关键在于通过“电极设置为不在同一直线上”这一手段来实现在空间关系上与非专利文件 1 中的一维运动完全不同的二维或者多维运动。

[0131] 另一方面，应理解的是，本发明不限于实例中所指的实施例。即，本发明的现象在物理法则的范畴内，可由最基本的通用支配原理比如运动方程结合电磁原理来自自然地解释。即，基于本说明书的描述，对于其他实施例，使用本领域的知识，比如物理原理，可预见本发明中说明的现象，并且该设计可变化。即，可不进行实验而由计算决定必须改变什么条件以及如何改变该条件来生成需要的运动。

[0132] 因此，理论解释的成功意味着用于研发模拟器的基础的建立。

[0133] 本发明中公开的技术提供了应用该技术非常有用的方法。特定现象的理论框架的建立不证明该现象是普遍的。理论框架的建立是在前应用的手段。

[0134] 从普通的物理理论教科书中不能预见本发明。这是因为在普通的教科书中，“作用在带电体上的力”通常不应用在电介质体上。即，该力通常处理成只有作为“作用在电介质体上的力”的力才作用在电介质体上。此外，在众所周知的称为介电泳的技术中，通过，作用在电介质体上的力用于“水或者油等液体”中施加“周期电子场（非恒定电场）”中而应用。因此，可以说在本发明中，在普通的物理理论教科书和其他论文上不容易预见“作用在带电

体上的力和作用在电介质体上的力的融合”以及“在恒定电场获得循环运动”。

[0135] 本发明自身提出的理论是一个新发现,并且本发明的突出之处在于发现了循环运动现象,并实现了传输和获得功,并且成功地基于物理基本法则解释了本发明中发现的运动是可能的。即,本发明值得注意的是,不仅在作为示范示出的实施例中,而且基于本发明显示的理论而设计的任意实施例均可以实践本发明。换言之,要注意的是,不容易从现有的教科书所描述的内容中推导出本发明的理论,并且本发明的过程也没有简单到利用现有的教科书所描述的内容进行实验就能得到期望的结果。

[0136] 用于本发明的绝缘流体可为任何不导电的流动物质,优选不挥发、不导电、常温常压下流动的液体和气体,并且其相对于微米级电介质体的比重最好为  $\pm 50\%$  以内。比如,作为绝缘流体,可使用矿物油、液体石蜡、链烷和硅酮油。优选地,绝缘流体提供在容器内。只要适用于绝缘流体,任何容器均可使用。

[0137] 在传统技术中,与微米级物体的情况一样,很难在高粘度下实现电机。本发明成功地实现了电机。本发明技术的特征还在于即使在高粘度下也能获得电机。当然,应当理解,本发明在低粘度的情况下也可以实践。如图 4 中显示的物理模式和模拟结果描述所指示的那样,可理解的是,粘度的强度是不相关的。

[0138] 在本发明中,提供的优于传统技术的优势在于即使在恒定的电场也可获得机械运动,比如周期运动或旋转运动。

[0139] 在一个实施例中,用于本发明的电介质体优选地为微米级。作为电介质体的尺寸,长度、宽度和高度中的任意一种通常均可测量,并且可使用最适合该模拟的那部分的尺寸。通常,微米级指微米领域和小于微米的范围,通常范围在几纳米到大概 1000 微米,在某种情况下,范围在亚微米 (0.1 微米) 到 1000 微米,其中,在 1 微米到 100 微米范围内,使用本技术尤其有效,但是范围不限于此。在一个实施例中,范围在 1 微米到 100 微米,在另一个实施例中,范围在 5 微米到 50 微米,10 微米到 100 微米,1 微米到 10 微米等等,但不限于此。其中,可以为 1 微米到 100 微米,在该范围内可特别有效地使用本技术,但是范围不限于此。这里,术语几纳米意思是至少 1 纳米,应当理解可应用大约亚纳米到 1 纳米的分子组合的尺寸,并且通常大概为 2 到 3 纳米或者更大,但不限于此。由大概亚纳米到 1 纳米的分子组合形成的几纳米的电介质体可作为实现的下限。另一方面,不希望受缚于理论,使用至少 1000 微米作为上限,因为本领域的技术人员意识到本发明的原理至少可应用在微米的范围内,即高达 1000 微米的范围内。在更大的毫米范围内,支配这种现象的方程(原理)可不同,然而,不排除应用本发明,应当理解只要本发明的原理适用,即使是大于 1000 微米的尺寸,也可实践本发明。

[0140] 在另一个实施例中,用于本发明的电介质体指在施加静电场时发生电介质极化但不生成电流的物质,以及可具有静电极化率的物质,任何这样的物质均可使用。用于本发明的电介质体包括,比如水滴、聚合物物质(比如聚苯乙烯珠、聚二甲基硅氧烷 (Polydimethylsiloxane, PDMS)、聚丙烯酰胺凝胶、其他塑料等等)以及玻璃珠。

[0141] 使用作为一个实施例的水滴时,优选地,该水滴使用表面活性剂生成。作为表面活性剂,可使用任何在分子中具有亲水基和疏水基并且能够在疏水油液体中形成水滴的可用于此目的的物质。在这种情况下,该表面活性剂通常存在于油与水之间的界面处。作为可用于本发明的表面活性剂,包括烷基硫酸盐(比如十二烷基硫酸钠 (SDS))、烷基三甲基

胺盐（比如十八烷基三甲基氯化铵（STAC）、十二烷基三甲基氯化铵、十八烷基三甲基溴化铵（STAB））、聚氧乙烯烷基醚（比如戊乙二醇十二烷基醚）、酰基磷脂酰胆碱（比如二油酰磷脂酰胆碱（DOPC）、二棕榈酰磷脂酰胆碱（DPPC））、酰基磷脂酰乙醇胺（比如二油酰磷脂酰乙醇胺（DOPE）、二棕榈酰磷脂酰乙醇胺（DPPE））、酰基磷脂酰丝氨酸（比如二油酰磷脂酰丝氨酸（DOPS）、二棕榈酰磷脂酰丝氨酸（DPPS））、酰基磷脂酰甘油（比如二油酰磷脂酰甘油（DOPG）、二棕榈酰磷脂酰甘油（DPPG））以及磷脂酸甘油酯（Egg PG）。

[0142] 在优选的实施例中，用于本发明的绝缘流体为非挥发性、非导电性以及流动的物质。该绝缘流体优选为不挥发的原因在于适用于电介质体的长期传输和运动，并且不会由于液体蒸发的对流而阻碍电介质体的传输和运动。优选地，这种非挥发性的程度最好为常温常压下每天低于 0.1% 甚至更少的挥发量。本发明的绝缘流体优选为不导电的原因在于可确保作用在电介质体上的电场的强度，并且提高了电介质体的电荷带电效率。

[0143] 进一步地，本发明的绝缘流体相对于本发明中使用的电介质体的比重优选为  $\pm 50\%$  以内。原因在于，如果电介质体传输和运动过程中的比重差距过大，就不可能顺利地传输和运动。

[0144] 可用于本发明的绝缘流体包括矿物油、液体石蜡、链烷和硅酮油等等。

[0145] 优选地，用于本发明的电场为恒定的电场。本发明的突出之处在于即使是恒定的电场也能同样地利用，实现能够传输和获取功的动态运动，比如周期运动和旋转运动。

[0146] 在优选的实施例中，用于本发明的电场的范围在 1V 到 1000V，优选地为 5V 到 50V，50V 到 500V 或者 10V 到 100V，然而，可理解的是，适宜的使用范围取决于正在使用的电介质体和电极设置。

[0147] 在一个实施例中，产生本发明中使用的电场的阳极和阴极最好设置为它们的中心轴不在同一直线上。参照图 1A 描述这一点。即，比如，作为参考标准，当电极中心轴之间的偏移 (D) 等于或大于电极直径 (R) 并为电极顶端之间的宽度 (L) 的 5 倍范围之内时，可更有效地获得循环运动。即，在图 1A 中满足要求  $R < D < 5L$ ，可实现有效获取。进一步地，如图 1B 所示，当中心轴彼此不平行时，相当容易获得循环运动，并且下限的要求可放松到  $0 < D < 5L$ 。在任何情况下，不限于这些要求，可根据电极的形状、施加的电压等等扩展该范围。

[0148] 在另一个实施例中，用于本发明的电极为具有锋利尖端的棱锥型或圆锥形，或者棱柱或圆柱形，并且由导电性的材料形成。在为棱锥型或圆锥形的情况下，尖端的角度最好为 45 度或者更小，在为棱柱或圆柱形的情况下，尖端的直径最好为 100 微米或更小。

[0149] 在一个实施例中，用于本发明的电极由导电物质形成，比如钨、碳化钨、金、铂、银、铜、铁、铝或者不锈钢。

[0150] 在一个优选的实施例中，通过具有阳极和阴极至少两个电极的电极组产生本发明的电场，并且该具有至少两个电极的电极组定向成该至少两个电极彼此处于不同的方向（比如，通过设置在两个不同方向的电极组来控制运动），通过控制电场以及用于产生电场的电极的空间设置，可改变运动的路线或模式。为了改变路线或模式，可应用下面的理论。

[0151] 【数学公式 2】



[0152] 
$$k \frac{d\bar{x}}{dt} = q\bar{E} + \frac{1}{2} \alpha \bar{\nabla} E^2$$

[0153] 此公式中，

[0154] 【数学公式 3】

[0155]  $\bar{x}$

[0156] 表示电介质体的位置矢量，为

[0157] 【数学公式 4】

[0158] 
$$\bar{x} = (x_1, x_2, x_3)$$

[0159] 表示，( $x_1$ ,  $x_2$  和  $x_3$  是各个坐标的值)。

[0160]  $q$  表示在电介质体上所带的电荷量，

[0161] 【数学公式 5】

[0162]  $\bar{E}$

[0163] 表示电场矢量，

[0164]  $\alpha$  表示电极化率，指电场中电介质体的极化度。

[0165] 【数学公式 6】

[0166]  $\bar{\nabla}$

[0167] 表示按位置进行偏微分的运算符，该运算符由

[0168] 【数学公式 7】

[0169] 
$$\bar{\nabla} = \left( \frac{\partial}{\partial x_1}, \frac{\partial}{\partial x_2}, \frac{\partial}{\partial x_3} \right)$$

[0170] 表示。该公式中，

[0171] 【数学公式 8】

[0172] 
$$\frac{\partial}{\partial x_i} \quad (i=1, 2, 3)$$

[0173] 表示对

[0174] 【数学公式 9】

[0175]  $x_i$

[0176] 进行偏微分。

[0177]  $E$  表示电场值，并且与电场矢量

[0178] 【数学公式 10】

[0179]  $\bar{E}$

[0180] 的绝对值同义。

[0181]  $t$  表示时间。

[0182]  $k$  表示电介质体受到液体的粘滞阻力。

[0183] 这里,作用在带电体上的力和带电电介质体吸引或排斥电极的力由右边的第一项 (i)

[0184] 【数学公式 11】

$$[0185] \quad q\vec{E}$$

[0186] 表示。

[0187] 由此,作用在电介质体上的力从电力线密度低的一边指向电力线密度高的一边,因此,电介质体朝着电力线密度高的方向被吸引过去,这由右边第二项 (ii)

[0188] 【数学公式 12】

$$[0189] \quad \frac{1}{2} \alpha \nabla E^2$$

[0190] 表示。当电极和电介质体彼此接触时,电介质体充电荷。电介质体一离开电极,电介质体就带电,使得电介质体受到作用在带电体上的力,并且上面的数学公式 11 的项成为主导。然而,电介质体离开电极后,电荷逐渐泄漏而所带的电荷量减少时,电介质体受到作用在带电体上的力的可能性变小,这样由上面的数学公式 12 的项表示的力的影响成为主导。

[0191] 由于力 (i) 和 (ii) 的方向彼此不同,运动的方向可由其平衡决定。即,通过根据平衡可生成旋转运动。

[0192] 下面显示通过确定参数而计算出的具体结果。如下所示,可理解的是,通过使用上面的运动方程可模拟本发明。

[0193] 运动方程和关于电荷充电和放电的方程分别由下面表示:

[0194] 【数学公式 13】

$$[0195] \quad \frac{d\vec{x}}{dt} = q\vec{E} + \frac{1}{2} \alpha \nabla E^2$$

$$[0196] \quad \frac{dq}{dt} = \begin{cases} -\gamma q \\ +\beta \delta(\vec{x} - \vec{x}_0) \\ -\beta \delta(\vec{x} - \vec{x}_0) \end{cases}$$

[0197] 为了易于处理,根据下面的定义进行标准化:

[0198] 【数学公式 14】

$$[0199] \quad \vec{u} = \vec{x} / L = (u_1, u_2, u_3)$$

$$[0200] \quad \tau = t/T$$

$$[0201] \quad \vec{e} = \frac{4\pi\epsilon_0 L}{\lambda} \vec{E}$$

$$[0202] \quad z = q/Q$$

$$[0203] \quad \bar{\nabla}_n = L \bar{\nabla} = \left( \frac{\partial}{\partial u_1}, \frac{\partial}{\partial u_2}, \frac{\partial}{\partial u_3} \right)$$

$$[0204] \quad a_1 = \frac{\lambda Q T}{4\pi\epsilon_0 L^2 k}$$

$$[0205] \quad a_2 = \left( \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 L^2} \right)^2 \frac{\alpha T}{k}$$

$$[0206] \quad b_1 = \gamma T$$

$$[0207] \quad b_2 = \beta T/Q$$

[0208]

[0209] 并且运动方程和关于电荷充电和放电的方程如下概括：

[0210] **【数学公式 15】**

$$[0211] \quad \frac{d\bar{u}}{d\tau} = a_1 z \bar{e} + \frac{1}{2} a_2 \bar{\nabla}_n e^2$$

$$[0212] \quad \frac{dz}{d\tau} = \begin{cases} -b_1 z \\ +b_2 \delta(\bar{x} - \bar{x}_0) \\ -b_2 \delta(\bar{x} - \bar{x}_0) \end{cases}$$

[0213] 该公式中,考虑到

[0214] **【数学公式 16】**

$$[0215] \quad a_1 = 0.03, a_2 = 0.0053, b_1 = 8.5, b_2 = 50$$

[0216] 并且在电极中心轴的平行方向上的标准偏移 1, 在垂直方向上的偏移 d, 以及液滴的半径  $r_0$  的标准化的值为

[0217] **【数学公式 17】**

$$[0218] \quad 1 = 1.2, d = 0.5, r_0 = 0.08$$

[0219] 时,使用龙格-库塔 (Runge-Kutta) 法用 C 语言设计程序,该龙格-库塔法为微分方程的数值积分法,并且可显示图 5 所示的模拟结果。

[0220] 这里, (1) 该电介质体从电极的阳极充正电荷, (2) 该带正电的电介质体通过静电排斥力排斥阳极, 并与电极分离, 而且正电荷逐渐泄漏, (3) 然后通过电介质吸引力的作用, 吸引该电介质体与电极的阴极接触, (4) 该电介质体从电极的阴极充负电荷, 并且 (5) 在阴极与带负电的电介质体之间产生静电排斥力, 该电介质体与电极分离, 并且负电荷逐渐泄漏。用这种方法, 当电极不在同一直线上时, 电介质体进行旋转运动。

[0221] 在一个实施例中, 实现了本发明中的运动控制, 比如, 通过使用能够对三维的每个坐标在 1 微米单位上进行操作的微操作器, 并通过操作必要的设备, 比如手指夹具, 操作每个坐标将电极转换到需要的位置, 比如通过手或镊子操作, 以实现本发明的该控制。这可自

动或手动实现。这里所用的操作器不限于上述的尺寸。

[0222] 在一个实施例中,由上述的对电极的空间控制和对所施加电压的强度的控制来间接控制用于本发明的电介质体可传输该电介质体,以下列方式具体地执行。阳极和阴极在平行于中心轴的方向设置为彼此间分隔 50 微米到 100 微米,在垂直于中心轴的方向设置为彼此间分隔 50 微米到 100 微米,并且电介质体设置在电极之间。在这种情况下,施加大约 100V 的电压,然后电介质体自然开始循环运动。

[0223] 在一个具体的实施例中,在本发明中可使用微观涡轮机。这里,微观涡轮机是由微制造技术制作的微米级(通常是几纳米到 1000 微米)的物体,比如,尺寸为 1 微米到 100 微米的物体,并且包括旋转轴和刀片部分,该刀片可绕该旋转轴旋转。比如,包括具有加工成微米级的二氧化硅层的水轮(比如用于 Y. Hiratsuka, M. Miyata, T. Tada, T. Q. Uyeda, Proc. Natl Acad. Sci. USA 103, 13618-13623 (2006) 等等上的那些)。在优选的实施例中,在本发明中,微观涡轮机可设置在电介质体可移动的空间,并且可从随电介质体的运动而运动的微观涡轮机获得功。

[0224] 在一个实施例中,用于本发明的电介质体有两个以上,并且通过使两个以上电介质体集体运动,来实现电机的作用。这种实例包括但不限于图 7。

[0225] 在这种情况下,与只用了一个电介质体的情况相比,可获得更多的功。比如,通过将前述的微观涡轮机设置在两个以上电介质体的集体循环运动的中心,能够获得该功。

[0226] 在各种实施例中,本发明可用于其他应用中,包括用于聚合物的机械控制、药物或化学药品的液滴传输、化学反应、药物或化学药品的制备、生物样品的非接触传输、微通道等等。这里,对于尺寸来讲,通常可使用微米级(比如,几纳米到 1000 微米)。

[0227] 比如,本发明可用于聚合物的机械控制(图 7)。由于建立了使 DNA 等聚合物的两端分别与分离的聚合物小珠结合的技术,使用这种技术可应用本发明。由于使用本发明的成果可随意控制附着在两端的聚合物小珠,因而可机械地控制该聚合物。

[0228] 在一个实施例中,本发明可用于药物或者化学药品的液滴传输(图 8)。如本发明中所揭示的,水滴可用于本发明,并且由于这种水滴的产生在该领域是广泛了解的,可以理解的是,通过将药物或者化学药品放入该水滴中,可容易地实现传输。本发明用作电机、开关元件或者可变的驱动装置,并且可合并到能在各种技术领域比如药理学、化学和生物技术中应用的超小型分电器、泵、阀等等中。当与在本发明一样进行特别明显的小型化时,能够将启动电机所需要的时间缩短至微秒范围内。

[0229] 在一个实施例中,本发明可应用于化学反应(图 8)。如本发明中的实例所揭示的,由于可传输液滴并且可控制液滴的传输,可以理解的是,通过使传输中的液滴相互碰撞以融合,可在液滴中开始化学反应。

[0230] 在一个实施例中,本发明可应用于药物或者化学药品的制备(图 8)。由于如本发明中的实例所揭示的,药物或者化学药品的制备基本上类似于化学反应,通过使传输中的液滴相互碰撞以融合,可进行混合等等。比如,那些不希望混合的液滴可在开始反应前在单独液滴中制备,使这些液滴在希望混合的地方混合。本发明的突出之处在于这种自定义的制备可以在微米级的微小空间实现。

[0231] 在一个实施例中,本发明可应用于生物样品的非接触传输,比如细胞、组织、DNA、蛋白质、脂质及这些物质的复合体(图 8)。由于细胞和生物聚合物是一种电介质体,可以理

解的是,可如本发明中所揭示的那样应用本发明的技术。

[0232] 在又一个实施例中,本发明可用于与微通道结合。可以类似于微型涡轮机的方式设计该微通道(图9)。因此,可以理解的是,该微通道可为任何的微米级。这样,能够获得更大的旋转运动。使用上面所述的运动方程,也可达到这种设计。因此,这种微通道可以说是微技术的一部分。

[0233] 当本发明用于与半导体技术结合时,可通过使用半导体装置和电路基板对电场进行控制。但是在直接而非间接地控制运动的意义上,这种情况有用。

[0234] (传输装置和功获得装置)

[0235] 在另一个方面,本发明提供一种用于传输电介质的装置,包括A)用于接收所述电介质的绝缘流体;B)存在于绝缘流体中、用于施加包括两个电极的电场的设备,这两个电极设置为它们的中心轴不在同一直线上。

[0236] 施加用于本发明中的电场的设备,只要具有设置在绝缘流体中的电极并施加电压,该设备便可为任何装置,比如,使用市场上可以买到的恒压电源,可将大概100V的电压施加在钨探测针之间或者金细丝之间。

[0237] 在其他方面,本发明提供一种用于获得机械功的装置,包括A)绝缘流体;B)设置在绝缘流体内的电介质体;C)存在于绝缘流体中、用于施加包括两个电极的电场的设备,这两个电极设置为它们的中心轴不在同一直线上;以及D)用于从电介质体中获得机械功的设备。

[0238] 作为用于从电介质体获得机械功的设备或者用于将电介质的运动转化为功的设备,使尺寸在大约1微米到几千微米的推进器似的物质像水轮一样旋转,作为涡轮机去获得功,或者可将磁化物质粘贴到电介质体以间接控制电场,以及通过在附近设置涡轮机,而可获得功。

[0239] 本发明的重要性在于不只实现了简单地使水滴移动,还实现了非常重要的循环运动,并且可以说本发明的突出之处在于以设置两个电极使得其中心轴不在同一直线上为特征而可获得循环运动,这在传统技术描述的技术中不可简单地预见到(比如,非专利文件1)。也证明了使用本发明中的循环运动可获得功。这里,关于使用循环运动获得功的这一点,可使用本领域中众所周知的知识,比如, Y. Hiratsuka, M. Miyata, T. Tada, T. Q. Uyeda, Proc. Natl Acad. Sci. USA 103, 13618-13623 (2006), 造成大肠杆菌循环运动,并且微型涡轮机设置在其中,以获得该功。与此相类似,可从本技术的循环运动中获得功。

[0240] 在各个实施例中,在本发明的装置中,关于“两个电极的中心轴不在同一直线上”、“电介质体”、“绝缘流体”、“电极”等等,可参照在“生成循环运动的方法和其应用”中描述的内容进行应用。

[0241] 在一个实施例中,在本发明的装置中,所述电介质体优选地为微米级,关于微米级(即,范围大概在几纳米到1000微米),可参照在“生成循环运动的方法和其应用”中描述的内容进行应用。优选地,绝缘流体提供在容器内。该容器可使用任何可容纳绝缘流体的容器。因此,使用容器时,该容器也构成了该装置的一部分。使用容器时,该容器不仅可容纳电介质体,也可容纳电极或用于产生电场的设备。

[0242] 在另一个实施例中,用于本发明的设备中的电介质体指施加电场时发生电介质极化但不生成电流的物质,并具有静电极化率,并且在这方面,可参照在“生成循环运动的方

法和其应用”中描述的内容进行应用。

[0243] 在本发明优选的实施例中,使用表面活性剂生成所使用的水滴。关于表面活性剂等,可参照在“生成循环运动的方法和其应用”中描述的内容进行应用。

[0244] 在优选的实施例中,用于本发明装置的绝缘流体为非挥发性、非导电的以及常温常压下流动的物质。该绝缘流体优选为不挥发的原因在于适用于电介质体的长期传输和运动,并且不会由于液体蒸发的对流而阻止电介质体的传输和运动。优选地,该非挥发性的程度最好为常温常压下每天低于 0.1% 甚至更少的挥发量。本发明的绝缘流体优选为导电性低的原因在于可确保作用在电介质体上的电场的强度,并且提高了电介质体的电荷带电效率。进一步地,本发明的绝缘流体相对于本发明中使用的电介质体的比重优选地为  $\pm 50\%$  以内。在这些方面,对于可使用的绝缘流体,可参照在“生成循环运动的方法和其应用”中描述的内容进行应用。

[0245] 优选地,用于本发明的电场为恒定的电场。本发明的突出之处即使是恒定的电场也能同样地利用,实现能够传输和获得功的动态运动,比如周期运动和旋转运动。

[0246] 用于本发明的能够产生恒定电场的设备包括比如,使用市场上可以买到的恒压电源,在钨探测针之间或者金细丝之间可施加大概 100V 的电压的方法。在这方面,可参照在“生成循环运动的方法和其应用”中描述的内容进行应用。

[0247] 用于本发明的装置的电场的范围在 1V 到 1000V,优选地为 5V 到 50V,50V 到 500V 或者 10V 到 100V,并且可理解的是,合适的使用范围取决于所使用的电介质体和电极的设置。在这方面,可参照在“生成循环运动的方法和其应用”中描述的内容进行应用。

[0248] 优选地,本发明中使用的产生电场的阳极和阴极设置为它们的中心轴不在同一直线上的不对称设置。在这方面,可参照在“生成循环运动的方法和其应用”中描述的内容进行应用。

[0249] 在优选的实施例中,用于本发明的电极为具有锋利尖端的棱锥型或圆锥形,或者为棱柱或圆柱形,并且是具有导电性的材料。在这方面并且对于具体的材料等,可参照在“生成循环运动的方法和其应用”中描述的内容进行应用。

[0250] 在一个实施例中,本发明的装置中用于施加电场的设备为具有阳极和阴极至少两个电极的电极组,并且该具有至少两个电极的电极组设置为至少两个电极彼此处于不同的方向。在这方面并且对于具体的材料等,可参照在“生成循环运动的方法和其应用”中描述的内容进行应用。

[0251] 在一个实施例中,本发明的装置中进一步一种设备,通过将目标电介质体设置在阳极和阴极之间,该阳极和阴极在平行于中心轴的方向设置为彼此间分隔 50 微米到 100 微米,在垂直于中心轴的方向设置为彼此间分隔 50 微米到 100 微米,在这种情况下,施加大约 100V 的电压,然后通过控制电极之间的距离和所施加的电压传输该电介质体。在这方面并且对于具体的材料等,可参照在“生成循环运动的方法和其应用”中描述的内容进行应用。

[0252] 在另一个实施例中,本发明的装置进一步包括能够对三维的每个坐标在 1 微米单位上进行操作的微操作器,该微操作器操作每个坐标以将电极转换到需要的位置,或者进一步包括镊子。这里,可通过手指夹具实现坐标的操作。在这方面并且对于具体的材料等,可参照在“生成循环运动的方法和其应用”中描述的内容进行应用。

[0253] 在一个优选的实施例中,本发明的装置进一步地包括微型涡轮机。加工成微米级

的二氧化硅层的水轮的实例包括用于 Y. Hiratsuka, M. Miyata, T. Tada, T. Q. Uyeda, Proc. Natl Acad. Sci. USA 103, 13618-13623 (2006) 等等上的那些。在这方面并且对于具体的材料等,可参照在“生成循环运动的方法和其应用”中描述的内容进行应用。

[0254] 在另一个实施例中,在本发明的装置中,电介质体为两个以上,并且通过使两个以上电介质体集体运动,可起到电机的作用。在这方面并且对于具体的材料等,可参照在“生成循环运动的方法和其应用”中描述的内容进行应用。

[0255] 在各个实施例中,本发明的装置可具有下列应用:聚合物的机械控制、药物或化学药品的液滴传输、化学反应、药物或化学药品的制备、生物样品的非接触传输和微通道。在这方面并且对于具体的材料等,可参照在“生成循环运动的方法和其应用”中描述的内容进行应用。

[0256] 本说明书中引用的参考文件,比如科学文学、专利、专利申请等等在具体描述的程序上以引用的方式整体并入本文中。

[0257] 上文对本发明进行了描述,为更好地理解,还指明了优选实施例。下文将基于实例描述本发明,要注意的是,上文中的描述和下文中的实例专用于例示目的,而不限本发明。因此,本发明的范围仅受限于权利要求,而不限于本说明书中具体描述的实施例和实例。

[0258] 实例

[0259] 下文中,通过实例更具体地描述本发明,本发明的技术范围不限于实例等。除非另外指明,否则下文中使用的试剂是市场上可以买到的试剂。

[0260] (实验大纲)

[0261] 图 1C 显示了实验设置的示意图。使水滴悬浮在载玻片上的矿物油中并通过使用圆锥形钨电极,给液滴施加恒定的电压(图 1C(a))。这些电极设置在相同的高度(图 1C(a))但不同轴设置(图 1C(b))。使用光学显微镜(VH-Z75, KEYENCE, 日本)观测液滴的运动。

[0262] (实例 1)

[0263] 在该实例中,使用阳极和阴极、用作绝缘流体的油以及用作电介质体的水滴,证明了是否发生旋转运动。材料及方法如下:

[0264] (材料与amp;方法)

[0265] (关于图 2)

[0266] 阳极:由钨做成(由 NPS co., LTD. 生产)

[0267] 阴极:由钨做成(由 NPS co., LTD. 生产)

[0268] 油:矿物油(由 Nacalai Tesque 生产)

[0269] 水滴:由磷脂 DOPC 制备(由 Wako Pure Chemical Industries, Ltd. 生产)

[0270] 电极设置:在平行于中心轴的方向和垂直于中心轴的方向,阳极和阴极设置为彼此间隔 50 微米远。

[0271] 施加电压的方式:100V 恒定电压

[0272] (关于图 3)

[0273] 阳极:由碳化钨做成(由 NPS co., LTD. 生产)

[0274] 阴极:由碳化钨做成(由 NPS co., LTD. 生产)

- [0275] 油:矿物油(由 Nacalai Tesque 生产)
- [0276] 水滴:由磷脂 DOPC 制备(由 Wako Pure Chemical Industries, Ltd. 生产)
- [0277] 电极设置(左边):在平行方向上距离中心轴 120 微米,在垂直方向为 0 微米。
- [0278] 电极设置(中间):在平行方向上距离中心轴 120 微米,在垂直方向为 40 微米。
- [0279] 电极设置(右边):在平行方向上距离中心轴 120 微米,在垂直方向为 120 微米。
- [0280] 施加电压的方式:左边、中间和右边各为 120V。
- [0281] (实验)
- [0282] (制备水滴(图 2 和图 3 共有))
- [0283] 使用涡旋混合器(Vortex Mixer),生成油包水(w/o)微液滴。准备包含表面活性剂的矿物油。然后,10 微米的表面活性剂(二油酰磷脂酰胆碱 DOPC)(由日本 Wako Pure Chemical Industries, Ltd. 生产)在声波下在矿物油(由 Nacalai Tesque 生产)中溶解 90 分钟,同时温度保持在 50 摄氏度。然后在 200 微升制备好的矿物油中加入 2 微升的超纯水(由日本 Millipore 生产),然后用涡旋混合器混合大约 3 秒钟。更具体地说,使用下面的工序。
- [0284] 准备容量为 1.5 毫升或者更多的德拉姆氏管(Durham Tube)(由 Maruemu Corporation 生产)或者微管(由 ASSIST 生产)。
- [0285] 制备 1 毫摩表面活性剂 DOPC 的溶液,其中以 2:1(体积比)混合氯仿(由 Nacalai Tesque 生产)和甲醇(由 Nacalai Tesque 生产)的有机溶剂作为溶剂。并且将 10 微升该溶液注入到上述的容器中。
- [0286] 氮气吹入注射的溶液中,干燥该溶液直到有机溶剂完全消失,在容器的底部留下一层 DOPC 薄膜。
- [0287] 对其注入 1000 微升的矿物油(由 Nacalai Tesque 生产)。
- [0288] 使用具有超声波发生器的恒温槽(超声破碎器)(型号 US-1KS,由 SND Co., Ltd. 生产),通过给溶液施加超声波(90 分钟),同时保持该溶液在 50 摄氏度,DOPC 很好地溶于矿物油中。
- [0289] 这样制备的溶液可以理想地在 12 小时内使用。
- [0290] 然后,取 200 微升这样的溶液,移入另一个容器中,并加入 1.75 微升的超纯(MilliQ)水。
- [0291] 使用涡旋器搅拌该溶液,在该溶液中形成混有直径在 1 微米到 100 微米不等的球形液滴。
- [0292] 当使用 DOPC 之外的表面活性剂时,操作是类似的,但是浓度可取决于物质而变化。
- [0293] (通过恒定电场传输液滴)
- [0294] 将大概 202 微升形成有液滴的上述溶液移到载玻片上。此时,使用涂覆了硅胶的载玻片便于实验;然而,其不限于此。
- [0295] 载玻片放置在显微镜上。
- [0296] 准备尖端半径为 5 微米的碳化钨电极两个。作为尖端半径,可广泛使用 1 微米到 100 微米。这些电极可由任何具有导电性的材料制成(金、铂、银、铜、铁、铝、钨、碳化钨等等)。



[0297] 两个电极和恒压电源装置都连接在电路中,使得一个电极为阳极,另一个电极为阴极。

[0298] 两个电极浸入制备的液体中。此时,这两个电极与液体的底面和液体与空气之间的界面处均保持 30 微米或者更长的距离。

[0299] 电极设置为电极的中心轴平行,使得电极的尖端彼此对置。设置为尖端在平行于轴的方向彼此隔开 100 到 120 微米,并且在垂直于轴的方向彼此隔开 50 到 100 微米。

[0300] 调整该显微镜的可移动台使得 10 到 20 微米的液滴接近这两个尖端之间。

[0301] 打开恒压电源装置并在电极之间施加恒定电压。作为电压,100V 到 120V 范围内的任何电压均可应用。

[0302] (结果)

[0303] 如图 2、图 2A 和图 3 所示,显示了在恒定电场下微小物体的传输和空间周期运动。在该实例中,在油中微米级的水滴中发生循环运动。

[0304] 图 2 左边的图显示了电极和水滴处于油液的状态。通过表面活性剂乳化水滴,并且水滴悬浮在油内。在这种状态中施加恒定电压时,如图 2 右边的图所示,水滴开始循环运动。在这个实例中,施加 100V 的直流电压作为恒电压。当电压太低,不能出现在电极之间往返的运动模式,而会出现了在电极中的任何一个附近波动的运动模式。当电压很强时,出现了在电极之间线性往返的线性运动模式而非循环运动。

[0305] 在图 2 中,左边的图描述了实验的设置场景,右边的图显示了进行循环运动的水滴的连续快照进行重叠的合成照片。若通过动画显示可更好地理解该运动(电极:钨做成;表面活性剂:磷脂 DOPC)。

[0306] 水滴运动显示在图 2A(a) 到图 2A(d) 左边的快照图像中。当施加的电压很低( $V = 20V$ ,图 2A(a))时,液滴波动,并从电介质的吸引力中脱离(模式 I)。施加的电压超过临界电压时,液滴开始循环运动(图 2A(b) 到图 2A(d))。首先,液滴吸引到任一个电极的顶点上,然后受到一个电极的排斥并朝着相反的电极运动。该运动持续。液滴的运动是单方向的圆形轨迹,与液滴起始位置无关。即,旋转运动的轨道是一种极限循环。观察该循环运动不仅用于一个水滴,也用于两个或更多的液滴。从两个水滴的旋转运动的数据可认识实际的运动。

[0307] 在实验中,观察两种旋转运动,即,简单旋转运动(模式 II)和伴随有电极束缚(模式 III)的旋转运动。这两种行为可依赖于所施加的电压而发生转换。在 60V 和 120V(图 2A(b) 和图 2A(c))时,液滴在电极之间进行简单旋转运动(模式 II)。如图 2A(b) 和图 2A(c) 中间的随时间变化的图和右边的傅里叶变换的频谱所示,旋转运动的速度随着施加的电压增加而增加。当施加的电压为 160V 时,液滴进行快速旋转运动(图 2A(d))。在这种情况下,如随时间变化的数据中的波动所示,液滴与任一个电极接触时,液滴持续弹起几次(模式 III)。

[0308] 图 3 是另一个实验实例中的重叠快照。在该实验中,电极的设置不同,左边图显示了电极在平行于中心轴方向设置为间隔 120 微米并且在同一直线上(即,在垂直于中心轴的方向 0 微米)的情况,中间和右边图显示了电极分别在平行于中心轴的方向设置为间隔 120 微米并且在垂直方向设置为间隔 40 微米,以及在平行于中心轴的方向设置为间隔 120 微米并且在垂直方向设置为间隔 120 微米(电极:碳化钨制成;表面活性剂:磷脂 DOPC)。

[0309] 如图 3 的左边的图所示,电极在同一直线上时(类似于非专利文件 1 的情况)只可获得简单的周期运动,然而,如图 3 的中间图所示或者如图 3 的右边图所示当电极设置为不在同一直线上时,由于可实现作用在电介质体的力中,利用作用在带电体的力(见图 4(i))和作用在电介质体上的力(见图 4(ii))的状态,因而可能获得循环运动。这种状态是否能够实现在教科书上不明显,因此可以说是一个新的技术问题。

[0310] (实例 2:电介质体的材料)

[0311] 在本实例中,显示出检测了各种条件,结果揭露出下面的特征。基本实验技术根据实例 1 实施。

[0312] (电介质体的材料)

[0313] 在本实例中,确认电介质体可为任何材料,并且确认除了微小水滴,可移动的聚乙烯珠、玻璃珠等等也做类似的运动。

[0314] (实例 3:电极的材料)

[0315] 在本实例中,显示出检测了各种条件,结果揭露出下面的特征。基本实验技术根据实例 1 实施。

[0316] 在本实例中,确认电极的材料不相关(只要求导电性)。即,通过钨、碳化钨和金确认。图 3 是钨的实例,图 4 是碳化钨的实例,金也被确认有类似的效应。

[0317] (实例 4:生成水滴的表面活性剂)

[0318] 在本实例中,显示出检测了各种条件,结果揭露出下面的特征。基本实验技术根据实例 1 实施。

[0319] 在本实例中,确认任何表面活性剂可用于生成水滴:DOPC、DOPE、DOPS 等等可起作用。也确认在聚乙烯珠、玻璃珠等等的不要求表面活性剂。

[0320] (实例 5:工作电压的范围)

[0321] 在本实例中,显示出检测了各种条件,结果揭露出下面的特征。基本实验技术根据实例 1 实施。

[0322] 在本实例中,证明了工作电压的范围很广。这在几伏特到几百伏特的范围内得到了证明。

[0323] (实例 6:模拟)

[0324] 在本实例中,为了检测一般物理理论是否能解释本发明的理论,显示了物理模式(运动方程)和模拟的结果(图 4 和图 5)。

[0325] 在该系统中,作用在微米级物体中的两个力起了重要的作用,这两个力是:(i)作用在带电体上的力和(ii)作用在电介质体上的力。通过与电极接触,微米级电介质体充电荷(带电)。通过与正电极接触来充正电荷,通过与负电极接触来充负电荷。

[0326] 结果,电介质体作为带电体产生动作,并且受到静电吸引力和排斥力的影响(图 4 中的力(i),电泳)。电介质体离开电极时,电荷自然地逐渐放电,并且与带电体的行为相比,电介质体的行为占主导。通常,电介质体具有被吸引到电力线密度高的方向的性质(图 4 中的力(ii),电泳)。由于这两个力的方向不平行,由这两个方向的平衡决定运动方向。

[0327] 使用下面的模型计算该模拟结果。

[0328] 运动方程和关于电荷充电和放电的方程分别表示如下:

[0329] 【数学公式 18】

$$[0330] \quad \frac{d\bar{x}}{dt} = q\bar{E} + \frac{1}{2}\alpha\bar{\nabla}E^2$$

$$[0331] \quad \frac{dq}{dt} = \begin{cases} -\gamma q \\ +\beta\delta(\bar{x} - \bar{x}_0) \\ -\beta\delta(\bar{x} - \bar{x}_0) \end{cases}$$

[0332] 为了易于处理,根据下面的定义进行标准化:

[0333] **【数学公式 19】**

$$[0334] \quad \bar{u} = \bar{x} / L = (u_1, u_2, u_3)$$

$$[0335] \quad \tau = t/T$$

$$[0336] \quad \bar{e} = \frac{4\pi\epsilon_0 L}{\lambda} \bar{E}$$

$$[0337] \quad z = q/Q$$

$$[0338] \quad \bar{\nabla}_u = L\bar{\nabla} = \left( \frac{\partial}{\partial u_1}, \frac{\partial}{\partial u_2}, \frac{\partial}{\partial u_3} \right)$$

$$[0339] \quad a_1 = \frac{\lambda Q T}{4\pi\epsilon_0 L^2 k}$$

$$[0340] \quad a_2 = \left( \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 L^2} \right)^2 \frac{\alpha T}{k}$$

$$[0341] \quad b_1 = \gamma T$$

$$[0342] \quad b_2 = \beta T/Q$$

[0343] ,

[0344] 并且运动方程和关于电荷充电和放电的方程如下概括:

[0345] **【数学公式 20】**

$$[0346] \quad \frac{d\bar{u}}{d\tau} = a_1 z \bar{e} + \frac{1}{2} a_2 \bar{\nabla}_u e^2$$

$$[0347] \quad \frac{dz}{d\tau} = \begin{cases} -b_1 z \\ +b_2 \delta(\bar{x} - \bar{x}_0) \\ -b_2 \delta(\bar{x} - \bar{x}_0) \end{cases}$$

[0348] 该公式中,考虑到

[0349] **【数学公式 21】**

[0350]  $a_1 = 0.03, a_2 = 0.0053, b_1 = 8.5, b_2 = 50$

[0351] 并且在电极中心轴的平行方向上的标准偏移  $l$ , 垂直方向的偏移  $d$ , 以及液滴的半径  $r_0$  的标准化的值为

[0352] 【数学公式 22】

[0353]  $l = 1.2, d = 0.5, r_0 = 0.08$

[0354]

[0355] 使用龙格 - 库塔 (Runge-Kutta) 法用 C 语言设计设计程序, 该龙格 - 库塔法为微分方程的数值积分法; 并且可显示图 5 所示的模拟结果。

[0356] 这里, (1) 该电介质体从电极的阳极充正电荷, (2) 该带正电的电介质体通过静电排斥力排斥阳极, 并与电极分离, 而且正电荷逐渐泄漏, (3) 然后通过电介质吸引力的作用, 吸引该电介质体与电极的阴极接触, (4) 该电介质体从电极的阴极充负电荷, 并且 (5) 在阴极与带负电的电介质体之间产生静电排斥力, 该电介质体与电极分离, 并且负电荷逐渐泄漏。用这种方法, 当电极不在同一直线上时, 该电介质体进行旋转运动。

[0357] (实例 7: 旋转运动对施加电压的依赖性)

[0358] 在本实例中, 证明了旋转运动对施加电压的依赖性 (图 5A(a) 到 5A(f))。

[0359] 如图 1C 和图 2A 所示, 液滴设置在电极间, 施加电压, 观测液滴的旋转运动, 制作如图 2A 所示的图, 并且测量旋转频率。图 5A 显示了记录的在 0V 到 160V 的范围内以 20V 为幅度变化的每个电压的频率。图 5A(a) 到图 5A(f) 显示的实例中, 液滴的直径分别为 (a) 14.0 微米, (b) 17.1 微米, (c) 18.8 微米, (d) 19.5 微米, (e) 31.8 微米, 以及 (f) 34.6 微米。

[0360] 随着施加电压的变化 (大约 40V 到 160V), 频率从大约 0.1Hz 增加到大约 0.8Hz。当电压超过大约 80V 时, 液滴进行伴随有电极束缚的旋转运动 (模式 III)。在大概 40 到 80V 时, 液滴进行简单的旋转运动 (模式 II)。然而, 在更低的电压下 (大约 20 到 40V), 液滴不能进行旋转运动 (模式 I)。这时被标注为 0Hz。依赖于电压的液滴的行为示意性地以相位图显示 (图 5A(g))。

[0361] 提出了描述油包水 (w/o) 液滴的旋转运动的模型。在纳米到微米级范围内的运动方程中, 与惯性力项相比, 粘性力项占主导。这是因为雷诺数  $Re$  非常小。即,

[0362] 【数学公式 23】

[0363]  $Re = \rho v r / \eta \sim 10^{-3} \ll 1$ 。

[0364] 该公式中,  $\rho$  (小于  $10^3 \text{kg/m}^3$ ) 和  $\eta$  (小于  $10^3 \text{Pa} \cdot \text{s}$ ) 分别表示矿物油的密度和粘度, 并且  $v$  (小于  $10^{-4} \text{m/s}$ ) 和  $r$  (小于  $10^{-5} \text{m}$ ) 分别表示水滴的速度和直径。因此, 在恒定电场

[0365] 【数学公式 24】

[0366]  $E$

[0367] 中, 通过

[0368] 【数学公式 25】

[0369]  $k\dot{x} = qE + \frac{1}{2}\alpha\nabla|E|^2$  (1)

[0370] 给出了过阻尼运动的方程。

[0371] 该公式中,  $k (= 6\pi\eta r \sim 10^{-7} \text{kg/s})$  是粘滞阻力系数, 并且

[0372] 【数学公式 26】

[0373]  $kx$

[0374] 表示以直径  $r$  和速率

[0375] 【数学公式 27】

[0376]  $\dot{x}$

[0377] 移动液滴的粘滞阻力。

[0378] 【数学公式 28】

[0379]  $qE$

[0380] 以及

[0381] 【数学公式 29】

[0382]  $(1/2)\alpha\nabla|E|^2$

[0383] 表示以电荷  $q$  和极化率  $\alpha$  (小于  $10^{-30}\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{V}$ ) 作用在液滴上的电力和电介质力。

[0384] 图 5A(a) 到图 5A(f) 显示了旋转运动的频率对施加电压的依赖性。在图 5A(a) 中,  $r = 14.0$  微米, 在图 5A(b) 中,  $r = 17.1$  微米, 在图 5A(c) 中,  $r = 18.8$  微米, 在图 5A(d) 中,  $r = 19.5$  微米, 在图 5A(e) 中,  $r = 31.8$  微米, 以及在图 5A(f) 中,  $r = 34.6$  微米。区域 (I) 到 (III) 对应图 5A(g) 的相位图中的运动模式。图 5A(g) 显示了依赖于施加电压的液滴的运动。这里, 在图 5A(g) 中, G1 表示 (模式 I) 非旋转运动, G2 表示 (模式 II) 旋转运动, 以及 G3 表示 (模式 III) 伴随电极束缚的旋转运动。

[0385] 为了显示极限循环的轨迹, 要求能量耗散。在液滴旋转运动的情况下, 液滴充电和放电的过程被认为在能量耗散中起了一定的作用。为了简化, 假设对依赖于时间的电荷率  $q$  进行如下描述:

[0386] 【数学公式 30】

$$[0387] \quad \dot{q} = \begin{cases} +\alpha & (\text{on positive electrode}) \\ -\alpha & (\text{on negative electrode}), \\ -bq & (\text{in other regions}) \end{cases} \quad (2)$$

[0388] 这意味着液滴在正 / 负电极附近以  $+/-\alpha$  的速度充电, 并且在没有电极时, 以  $-bq$  的速度放电。

[0389] 图 2A(e) 显示了使用公式 (1) 和 (2) 计算得到的数值模拟的结果。如下描述用于图 2A(e) 中模拟的恒定电场和数值参数。

[0390] 该公式中, 假设这里使用的恒定电场可表达成:

[0391] 【数学公式 30A】

[0392]  $E = (E_x, E_y)$

[0393] 并且假定该恒定电场由微滴的下列函数表达:

[0394] 【数学公式 30B】

[0395]  $x = (x, y)$ 。

[0396] 那么, 可如下进行计算:

[0397] 【数学公式 30C】

$$[0398] \quad E_x = -\frac{V}{\lambda} \left[ \frac{1}{\sqrt{(x/\lambda)^2 + (y/\lambda)^2}} + \frac{1}{\sqrt{((x-l)/\lambda)^2 + ((y-d)/\lambda)^2}} \right] \quad (1)$$

$$[0399] \quad E_y = -\frac{V}{\lambda} \left[ \frac{y/\lambda}{\sqrt{(x/\lambda)^2 + (y/\lambda)^2} \left( \sqrt{(x/\lambda)^2 + (y/\lambda)^2} + x/\lambda \right)} \right. \quad (2)$$

$$[0400] \quad \left. + \frac{(y-d)/\lambda}{\sqrt{((x-l)/\lambda)^2 + ((y-d)/\lambda)^2} \left( \sqrt{((x-l)/\lambda)^2 + ((y-d)/\lambda)^2} - (x-l)/\lambda \right)} \right] \quad (3)$$

[0401] 该公式中，

[0402] **【数学公式 30D】**

[0403]  $\lambda$  ( $= l = d$ )

[0404] 表示长度单位的标准化系数，

[0405] **【数学公式 30E】**

[0406]  $V$

[0407] 表示施加的电压。这里，假设液滴在比

[0408] **【数学公式 30F】**

[0409]  $r_1$

[0410] 这个距离更近处无法接近该电极，并且假设当液滴在

[0411] **【数学公式 30G】**

[0412]  $r_2$

[0413] 这个距离内接近该电极时，液滴带电。

[0414] 使用如下参数：

[0415] **【数学公式 30H】**

[0416]  $V = 200V$ ,  $\lambda = l = d = 100 \times 10^{-6}m$ ,  $r_1 = 0.075 \lambda$

[0417] 并且

[0418] **【数学公式 30I】**

[0419]  $r_2 = 0.2 \lambda$ 。

[0420] 公式 (2) 的参数如下：

[0421] **【数学公式 30J】**

[0422]  $a = 1 \times 10^{-16}C/s$

[0423] 并且

[0424] **【数学公式 30K】**

[0425]  $b = 2.5s^{-1}$ 。

[0426] **【数学公式 30L】**

[0427]  $x = (x, y)$

[0428] 和

[0429] **【数学公式 30M】**

[0430]  $q$

[0431] 的初始条件如下：

[0432] 【数学公式 30N】

[0433]  $x_0 = 0.2l, y_0 = 0.5d$

[0434] 并且

[0435] 【数学公式 30O】

[0436]  $q_0 = 0$ 。

[0437] 该模拟中的液滴的轨迹为单方向旋转运动,这与实验结果相同。该频率也对应实验的趋势。

[0438] 使用该模式可解释旋转运动对施加的电压的依赖性。

[0439] 【数学公式 31】

[0440]  $|E|_{xV}$  以及  $f \sim |\dot{x}|/L$ 。

[0441] 该公式中,  $f$  表示旋转运动的频率,  $L$  表示周长。因此,从公式 (1) 中,得出如下  $f$  对  $V$  的依赖性:

[0442] 【数学公式 32】

[0443]  $f \sim c_1 V + c_2 V^2$ , (3)。

[0444] 该公式中,  $c_1$  和  $c_2$  为比例系数。公式 (3) 中,如图 3(a) 到图 3(f) 中所观察到的,频率随着施加的电压增加而增加。

[0445] (讨论)

[0446] 总之,所观察到的旋转运动的机制可如下解释。首先,液滴通过电介质力被吸引到任一个电极的顶点。液滴在电极附近充电后,该电极通过静电排斥力排斥液滴,并且该液滴通过电力朝着相反方向的电极运动。在朝着相反方向的电极运动的过程中,液滴基本上给纯 (bulk) 油相放电。由于电介质电位的作用,液滴再次吸引到相反方向的电极上。电荷耗散造成的在电力和电介质力之间的切换导致单方向的旋转运动。这是因为电力和静电力的方向通常不同。因此,这两个电极的设置对于生成旋转运动很重要。比如,如本发明人进行的先前的工作【非专利文件 1】所示,若线性设置,液滴不能进行旋转运动。此外,旋转运动并不仅仅在油包水 (w/o) 微液滴中产生。如本实例所证明的模式所示,理论上,任何电介质体在本系统中均可进行旋转运动。

[0447] 基本上,在纳米到微米级的范围内,很难生成单向机械运动。这是因为雷诺数很低,并且与惯性力相比,环境粘性力占主导。因此,对缩小普通旋转电机的尺寸有一个限制。即,由于电机的旋转轴通常在旋转的中心,环境粘性力造成的磨擦力抑制电机的旋转运动。随着旋转电机的尺寸减小,磨擦造成的抑制作用会明显增大。在本发明中观察到的旋转运动对于发展能够获得纳米到微米级范围的功和能量【E. M. Purcell, Am. J. Phys. 45, 3(1977).】以及【Y. Hiratsuka, M. Miyata, T. Tada 和 T. Q. P. Uyeda, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 103, 13618(2006)】的非接触旋转电机的发展很重要。预期本发明实例的结果能促进新策略下微机械系统的发展。

[0448] (实例 8:具体应用实例)

[0449] 作为微米级物体的传输技术,考虑了激光镊方法或微通道技术,然而,与这些技术相比较,基于恒定电场的方法更简单,并且通过与半导体电路技术相结合,具有很大的发展。而且通过与现有的微技术相结合,可进一步地发展。下文中,在图 6 到图 9 中显示了应用实例。

- [0450] (随意传输的实例;图6)
- [0451] 电极可由任何材料做成,比如钨、碳化钨、金、铂、铁等等。可设置为间隔大约为10到100微米。
- [0452] (使用微型涡轮机获得功;图6)
- [0453] 作为微型涡轮机,可使用通常用在微处理技术中的PDMS或者微抗蚀剂薄膜SAL601(Shipley Microelectronics(希普利微电子))。
- [0454] (因微米级电介质体集体运动形成的电机;图7)
- [0455] 作为微米级电介质体,水滴、聚合物物质(比如聚苯乙烯珠、PDMS或者聚丙烯酰胺凝胶)、玻璃珠等可以类似于实例的方式设置在由钨、碳化钨等等制成的电极设置之间,并且可施加电压。
- [0456] (聚合物的机械控制;图7)
- [0457] DNA、蛋白质等等聚合物的两端都束缚在聚苯乙烯珠等等上,并且以类似于实例的方式设置在由钨、碳化钨等等制成的电极设置之间,并且可施加电压,以此进行实施。
- [0458] (液滴比如药物或化学药品的传输;图8)
- [0459] 以类似于上述实例的方式,任意药物或化学药品可放入使用表面活性剂的液滴中,并且可设置在由钨、碳化钨等等制成的电极设置之间,并且可施加电压。
- [0460] 利用这些构造,能够避免浪费液体、实现低成本并也兼具微化学系统的特征。
- [0461] (通过融合液滴而进行的化学反应;图8)
- [0462] 作为实例,
- [0463] 药物/化学药品A:醋酸水溶液
- [0464] 药物/化学药品B:氢氧化钠水溶液
- [0465] 化学反应:使用A和B可进行中和反应。
- [0466] 通过用上述的水滴制备方法制备化学药品A和B,将化学药品A和B设置在由钨、碳化钨等等制成的电极之间,并且施加电压,以此进行实施。
- [0467] 利用这些构造,能够避免浪费液体、实现低成本并也兼具微化学系统的特征。
- [0468] (通过融合液滴制备药物或化学药品;图8)
- [0469] 通过在液滴中加入大量的抗生素、镇痛药等等,并使得这些抗生素和镇痛药融合在一起,可制备药物或者化学药品。利用这些构造,能够避免浪费液体、实现低成本并也兼具微化学系统的特征。
- [0470] (生物样品的非接触传输;图8)
- [0471] 作为生物样品,细菌比如大肠杆菌、细胞、组织切片等等,可设置在由钨、碳化钨等等制成的电极之间,并且可施加电压。即,细胞、细菌等等包在液滴内,并且使用根据本发明实现的运动,可实施输送,或取决于包含在其内的细胞的特征进行分离(分类)。至于分类,比如,可通过与激光镊等技术结合来实现。通过与微电子机械系统(Micro-Electro-Mechanical System, MEMS)、微通道等等结合,也能够使液滴到达的目标不同。
- [0472] 利用这些构造,细胞等生物材料在接触的情况下会受到破坏,但由于采取了非接触移动,因而可以使用前所未有的实验系统来实现。用这种方法,能够实现大肠杆菌等细菌、细胞、组织切片等的单独传输和分离。



[0473] (通过结合微通道获得更大的旋转运动;图9)

[0474] 作为微通道,可设置在通过微制造技术制备的圆形通道内的由钨、碳化钨等等制成的电极之间,任意的电介质体可引入该通道,并且可施加电压。

[0475] (在微化学反应系统中的液体传送和搅拌)

[0476] 使用本发明,在微化学反应系统中,反应溶液、测试物种、试剂等等可放入液滴中,并且通过使用发明的运动,可传送液体或搅拌。

[0477] (在微临床实验系统中的液体传送和搅拌)

[0478] 使用本发明,在微临床实验系统中,反应溶液、测试物种、试剂等等可放入液滴中,并且通过使用发明的运动,可传送液体或搅拌。

[0479] <应用的实例>

[0480] 可参照下列实例应用本发明。比如,这包括光镊【D. G. Grier, Nature 424, 810(2003)】,电泳和介电泳【J. Voldman, Annu. Rev. Biomed. Eng. 8, 425(2006); P. Tabeling, Introduction to Microfluidics(Oxford University Press,2006); T. B. Jones,Electromechanics of Particles(Cambridge University Press,1995)】,微流体装置【P. Tabeling, Introduction to Microfluidics(Oxford University Press,2006); D. R. Link, E. Grasland-Mongrain, A. Duri, F. Sarrazin, Z. Cheng, G. Cristobal, M. Marquez 和 D. A. Weitz, Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 45, 2556(2006); S. Teh, R. Lin, L. Hung 和 A. Lee, Lab Chip 8, 198(2008)】,细菌驱动电机【Y. Hiratsuka, M. Miyata, T. Tada 和 T. Q. P. Uyeda, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 103, 13618(2006); B. Behkam 和 M. Sitti, Appl. Phys. Lett. 90, 023902(2007)】,动力蛋白【S. Hiyama, R. Gojo, T. Shima, S. Takeuchi 和 K. Sutoh, Nano Lett. 9, 2407(2009); M. G. L. vanden Heuvel 和 C. Dekker, Science 317, 333(2007)】等等。

[0481] 综上所述,通过本发明优选实施例例证了本发明,但本发明不应限于这些实施例进行理解。应当理解,本发明的范围仅由权利要求来解释。本领域的技术人员应当理解,通过本发明具体优选实施例的描述,基于本发明的描述和技术常识,能够实践于等效的范围。应当理解,通过引用,本说明书引用的专利、专利申请和文件通过引用合并到本说明书中,相当于在本说明书中具体描述其内容。

[0482] 本申请要求2009年2月20日递交的日本专利申请号2009-038446的优先权,并且应当理解,该日本专利申请号2009-038446的内容通过引用合并到本说明书中,相当于在本说明书中具体描述其内容。

[0483] 工业实用性

[0484] 综上所述,通过应用恒定电场,本发明成功地使微米级电介质体生成机械运动。因此,本发明提供了旋转电机似的运动,获得了在不存在交流电场的情况下生成振动性和周期性运动的能力。同样,因为没有产生电流所以不存在通过电流发生的运动,本发明还实现了通过电场的强度和电极的空间设置,可随意改变运动的路线和运动的模式。此外,在没有接触点以及在恒定电场的情况下就可获得电机似的运动,这一点很重要,从而可以以非接触的方式传输物体。因此,本发明可用于各种领域,包括聚合物的机械控制、药物或化学药品的液滴传输、化学反应、药物或化学药品的制备、生物样品的非接触传输、微通道等等。

[0485] 附图标记说明

[0486] 100 水滴

---

[0487]	102	矿物油
[0488]	104	负电极
[0489]	106	载玻片
[0490]	108	恒定电压
[0491]	110	电极
[0492]	112	显微镜的物镜
[0493]	210	小滴
[0494]	212	电极
[0495]	215	电极
[0496]	221	起始点
[0497]	600	微米级电介质体
[0498]	602,604,606,608,612,614	电极
[0499]	610	微型涡轮机
[0500]	700	微米级电介质体
[0501]	710	聚合物
[0502]	702,704,712,714,716,718	电极
[0503]	800	液滴
[0504]	802,804,806,808,812,814,816,818	电极
[0505]	810	生物样品
[0506]	900	圆形通道
[0507]	902,904	电极

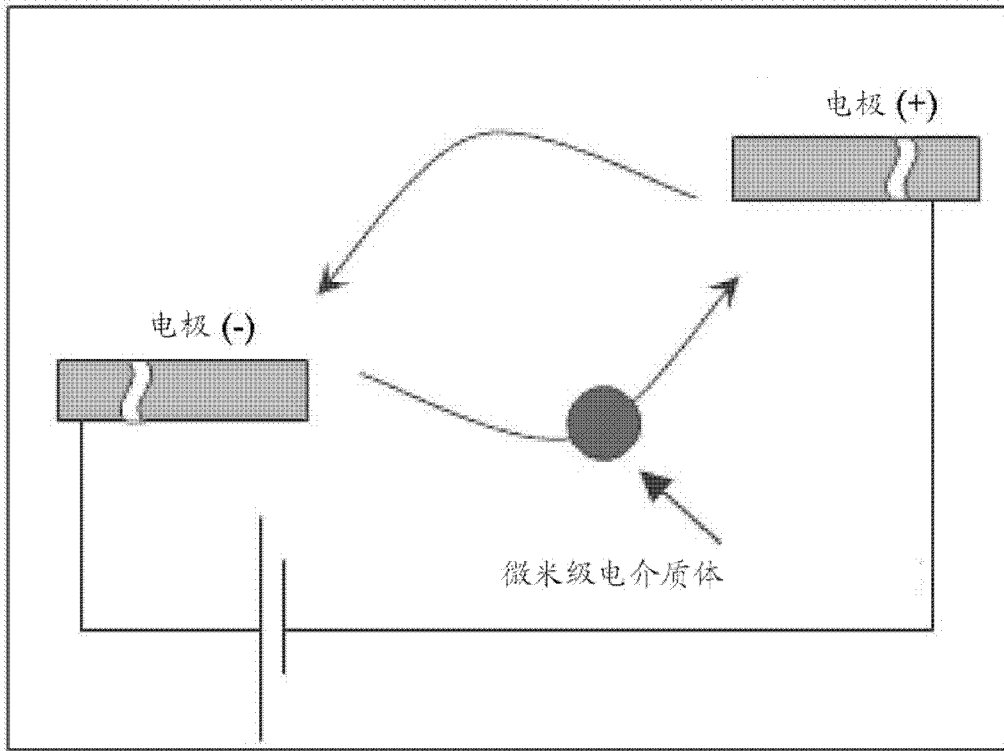


图 1

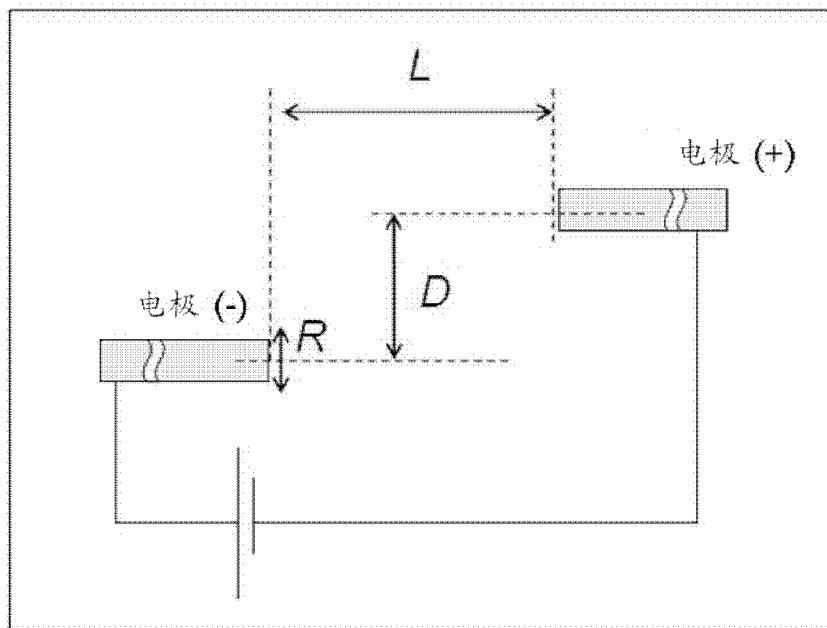


图 1A

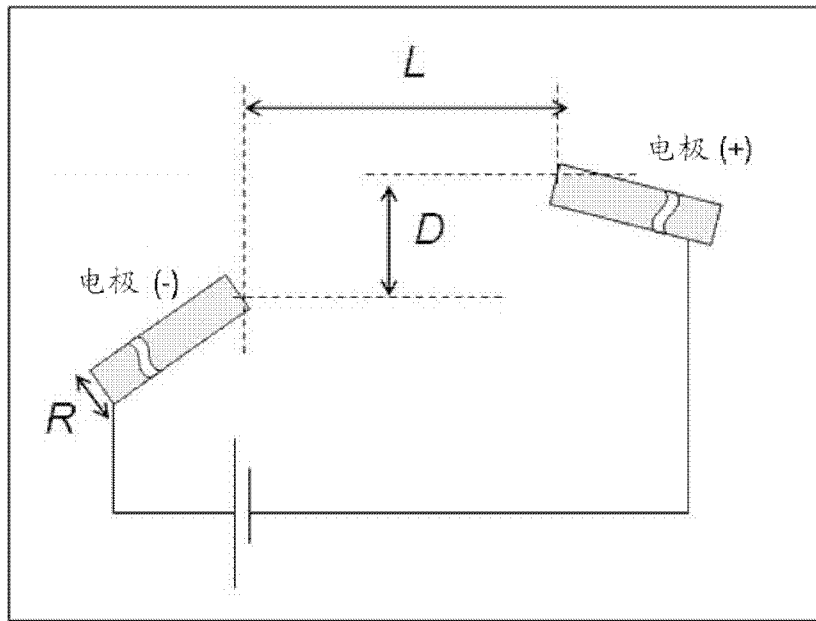


图 1B

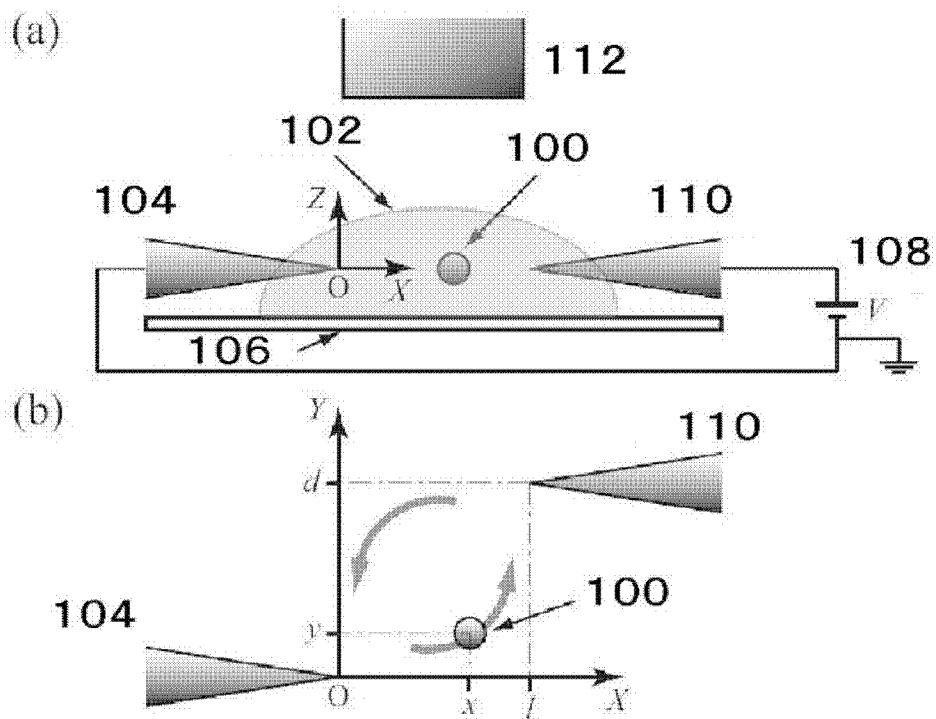


图 1C

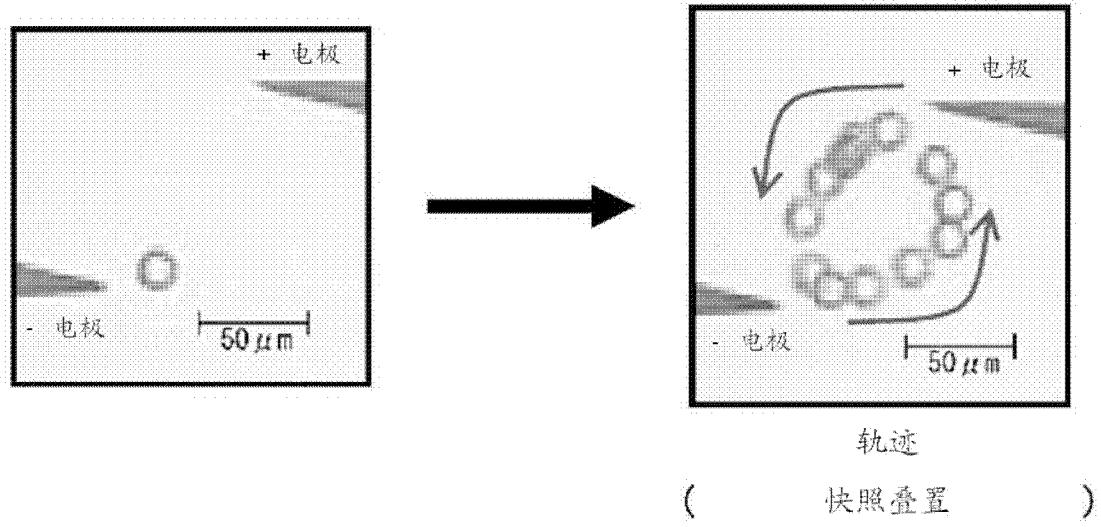


图 2

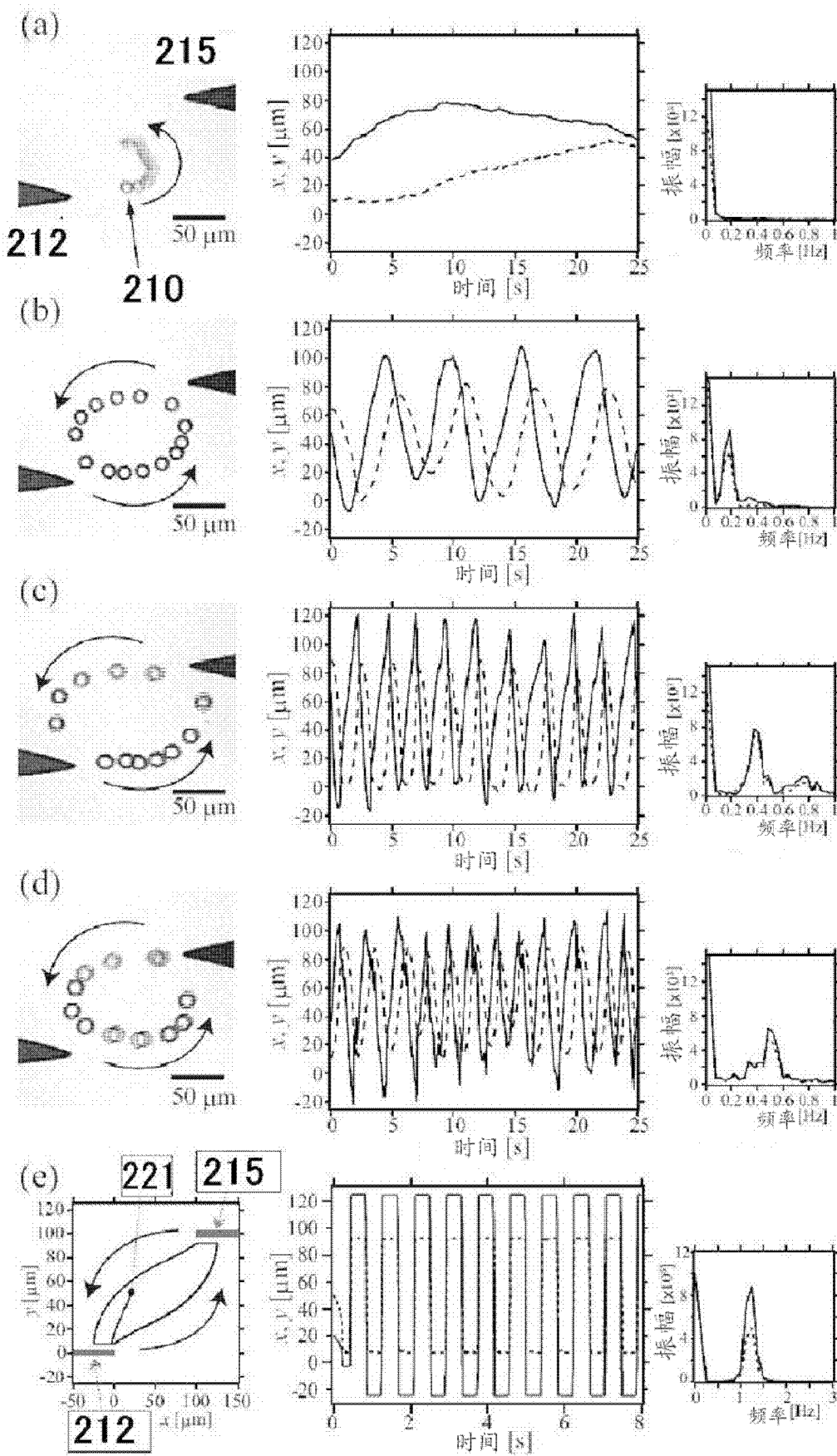


图 2A