



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101881858 A

(43) 申请公布日 2010. 11. 10

(21) 申请号 201010197343. 3

(22) 申请日 2010. 06. 11

(71) 申请人 哈尔滨工程大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区南通大街 145 号哈尔滨工程大学科技处知识产权办公室

(72) 发明人 苑立波 张羽 杨军

(51) Int. Cl.

G02B 6/255(2006. 01)

G02B 6/02(2006. 01)

G21K 1/00(2006. 01)

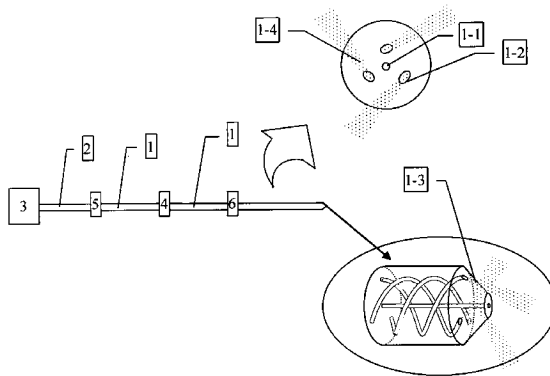
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 3 页

## (54) 发明名称

可实现微小粒子旋转的卫星式螺旋多芯光纤微光手及制法

## (57) 摘要

本发明提供的是一种可实现微小粒子旋转的卫星式螺旋多芯光纤微光手及制法。激光光源与标准单模光纤的一端连接,标准单模光纤的另一端与卫星式螺旋多芯光纤之间热熔融拉椎耦合连接构成第一热熔融拉椎位置,卫星式螺旋多芯光纤附着在光程改变装置上,经过光程改变装置的卫星式螺旋多芯光纤再次经过热熔融拉椎操作构成第二热熔融拉椎位置,卫星式螺旋多芯光纤的另一端经精细研磨的加工方式制成椎体形状。本发明在节约了物理空间的同时,可大幅降低系统输入光功率,以减小对待捕获粒子的伤害;对微粒的捕获更加灵活、准确,具备可调节性;可以在光纤端自然形成涡旋状光学势阱,使微粒实现旋转,实现该操纵粒子的马达功能。



1. 一种可实现微小粒子旋转的卫星式螺旋多芯光纤微光手,包括卫星式螺旋多芯光纤、标准单模光纤、激光光源、光程改变装置,其特征是:激光光源与标准单模光纤的一端连接,标准单模光纤的另一端与卫星式螺旋多芯光纤之间热熔融拉锥耦合连接构成第一热熔融拉锥位置,卫星式螺旋多芯光纤附着在光程改变装置上,经过光程改变装置的卫星式螺旋多芯光纤再次经过热熔融拉锥操作构成第二热熔融拉锥位置,卫星式螺旋多芯光纤的另一端经精细研磨的加工方式制成椎体形状。

2. 根据权利要求1所述的可实现微小粒子旋转的卫星式螺旋多芯光纤微光手,其特征是:所述的卫星式螺旋多芯光纤是三芯、四芯、五芯或六芯微结构光纤。

3. 根据权利要求2所述的可实现微小粒子旋转的卫星式螺旋多芯光纤微光手,其特征是:所述的卫星式螺旋多芯光纤中的多个纤芯分为两类,一类是位于轴心的中心纤芯,另一类是位于偏心位置的绕轴心纤芯螺旋分布的卫星式纤芯。

4. 根据权利要求3所述的可实现微小粒子旋转的卫星式螺旋多芯光纤微光手,其特征是:所述的椎体形状的锥体角度  $\alpha$  满足  $\pi/2 - \arcsin(n_{\text{liquid}}/n_{\text{core}}) < \alpha < \pi/2$  的条件。

5. 一种可实现微小粒子旋转的卫星式螺旋多芯光纤微光手的制法,其特征是:

步骤1,耦合连接:将一段标准单模光纤一端与激光光源常规连接,另一端与卫星式螺旋多芯光纤焊接,然后在焊接位置处进行热熔融拉锥形成第一热熔融拉锥位置,热熔融拉锥过程中进行光功率监测,直到耦合到多芯光纤的光功率达到最大且各纤芯光功率分布均匀时为止;所述多芯光纤是三芯、四芯、五芯或六芯卫星式螺旋光纤;

步骤2,附着光纤:将导入光源的卫星式螺旋多芯光纤固定在光程改变装置上,通过调节顶丝位置改变多个纤芯方向位移以进行传输光束的相位控制;

步骤3,干涉仪制备:将经过光程改变装置的卫星式螺旋多芯光纤在处进行熔融拉锥第二热熔融拉锥位置,热熔融拉锥过程中进行光功率监测,直到耦合到线性阵列芯光纤的光功率达到最大时为止;在第一热熔融拉锥位置与第二热熔融拉锥位置之间构成马赫泽德干涉仪结构,通过调节光程改变装置实现光纤光镊光阱力的控制;

步骤4,锥体制备:将前序操作后的卫星式螺旋多芯光纤的另一端进行精细研磨成圆锥体形状,半锥角  $\alpha$  控制在  $\pi/2 - \arcsin(n_{\text{liquid}}/n_{\text{core}}) < \alpha < \pi/2$  的范围内。

## 可实现微小粒子旋转的卫星式螺旋多芯光纤微光手及制法

### 技术领域

[0001] 本发明属于光纤技术研究领域。涉及一种多芯光纤微光手,特别是一种可实现微小粒子旋转的多芯光纤微光手。

### 背景技术

[0002] 光镊是利用光强度分布的梯度力和散射力俘获和操纵微小粒子的工具。1986年 Askin 在“Observation of a single-beam gradient force optical trap for dielectric particles”一文中提出一种基于单束激光的三维光学势阱,用于实现对粒子的三维空间控制,因为此光束可以实现空间对微小粒子的夹持,因此得名“光镊”,这篇文章发表在 Opt. Lett. 11, 288-290。此后,光镊技术发展迅速,成为重要的研究技术手段,并促进了若干交叉领域的快速发展。例如:在微小粒子的捕获和搬运、皮牛级力的测量、微机械与微器件的组装等领域得到广泛的应用。特别在生命科学领域,光镊技术以其非接触式、无损探测的本质特性显示了其无与伦比的优势,对于推动生命科学的发展和微生命体的操纵发挥了巨大的作用。光镊俘获的粒子尺度可以从几纳米到几十微米,可以为刚性颗粒,也可以是软物质颗粒;可以为无生命的颗粒,也可以是活体细胞或病毒。

[0003] 由传统光镊发展至光纤光镊技术以来,产生多种光纤光镊系统,例如:E. R. Lyons 等人将两根单模光纤的端面研磨成锥体,在锥体尖端形成一个半球面,使得出射光束具有弱聚焦特性,将这两根光纤成一定光轴夹角放置,交叠光场形成的光阱可以实现微粒的捕获和悬浮,这篇文章于 1995 年发表在 Appl. Phys. Lett. 66, 1584-1586;为了进一步对所捕获的微小粒子的姿态进行控制,名为“用来俘获微小粒子的双芯单光纤光镊及其制作方法”,公开号为 CN101149449 的中国发明专利文件中又给出了一种双芯光纤光镊。此后,又陆续出现苑立波等人提出的基于环形多芯光纤的光镊,公开号为 CN101236275;和集成于单根光纤的多光镊,公开号为 CN101251620 等新型光镊,这些新型光镊多能实现对微粒进行捕获、空间定位、使其空间旋转等功能,但从未见可以发射捕获粒子的光镊报道。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种本发明的目的在于提供一种在节约物理空间的同时,可大幅降低系统输入光功率,减小对待捕获粒子的伤害;对微粒的捕获更加灵活、准确,具备可调节性;可以在光纤端自然形成涡旋状光学势阱,使微粒实现旋转的可实现微小粒子旋转的卫星式螺旋多芯光纤微光手。本发明的目的还在于提供一种可实现微小粒子旋转的卫星式螺旋多芯光纤微光手的制法。

[0005] 本发明的目的是这样实现的:

[0006] 包括卫星式螺旋多芯光纤、标准单模光纤、激光光源、光程改变装置,激光光源与标准单模光纤的一端连接,标准单模光纤的另一端与卫星式螺旋多芯光纤之间热熔融拉椎耦合连接构成第一热熔融拉椎位置,卫星式螺旋多芯光纤附着在光程改变装置上,经过光程改变装置的卫星式螺旋多芯光纤再次经过热熔融拉椎操作构成第二热熔融拉椎位置,卫

星式螺旋多芯光纤的另一端经精细研磨的加工方式制成椎体形状。

[0007] 所述的卫星式螺旋多芯光纤是三芯、四芯、五芯或六芯微结构光纤。

[0008] 所述的卫星式螺旋多芯光纤中的多个纤芯分为两类，一类是位于轴心的中心纤芯，另一类是位于偏心位置的绕轴心纤芯螺旋分布的卫星式纤芯。

[0009] 所述的椎体形状的椎体角度  $\alpha$  满足  $\pi/2 - \arcsin(n_{\text{liquid}}/n_{\text{core}}) < \alpha < \pi/2$  的条件。

[0010] 本发明的可实现微小粒子旋转的卫星式螺旋多芯光纤微光手的制法为：

[0011] 步骤 1, 耦合连接：将一段标准单模光纤一端与激光光源常规连接，另一端与卫星式螺旋多芯光纤焊接，然后在焊接位置处进行热熔融拉椎形成第一热熔融拉椎位置，热熔融拉椎过程中进行光功率监测，直到耦合到多芯光纤的光功率达到最大且各纤芯光功率分布均匀时为止；所述多芯光纤是三芯、四芯、五芯或六芯卫星式螺旋光纤；

[0012] 步骤 2, 附着光纤：将导入光源的卫星式螺旋多芯光纤固定在光程改变装置上，通过调节顶丝位置改变多个纤芯方向位移以进行传输光束的相位控制；

[0013] 步骤 3, 干涉仪制备：将经过光程改变装置的卫星式螺旋多芯光纤在处进行熔融拉椎第二热熔融拉椎位置，热熔融拉椎过程中进行光功率监测，直到耦合到线性阵列芯光纤的光功率达到最大时为止；在第一热熔融拉椎位置与第二热熔融拉椎位置之间构成马赫泽德干涉仪结构，通过调节光程改变装置实现光纤光镊光阱力的控制；

[0014] 步骤 4, 锥体制备：将前序操作后的卫星式螺旋多芯光纤的另一端进行精细研磨成圆锥体形状，半锥角  $\alpha$  控制在  $\pi/2 - \arcsin(n_{\text{liquid}}/n_{\text{core}}) < \alpha < \pi/2$  的范围内。

[0015] 本发明的可实现微小粒子旋转的卫星式螺旋多芯光纤微光手，将多个光波导纤芯集成于一根光纤中，在节约了物理空间的同时，可大幅降低系统输入光功率，以减小对待捕获粒子的伤害；同时，多芯光纤微光手对微粒的捕获更加灵活、准确，具备可调节性，大大提高了光纤光镊技术的实用性；更为重要的是该卫星式螺旋多芯光纤微光手可以在光纤端自然形成涡旋状光学势阱，使微粒实现旋转，实现该操纵粒子的马达功能。本发明的优点和特点是：

[0016] 1. 本发明将卫星式螺旋芯光纤引入光纤微光手控制系统，利用集成在一根光纤中的卫星式螺旋分布结构多个光波导纤芯在光纤尖端构成涡旋光场，在节约物理空间的基础上还极大的减小了系统的输入光功率，降低对微粒的伤害；

[0017] 2. 本发明提出的在一根光纤中的卫星式螺旋多芯光纤出射光场形成的涡旋式光学势阱，可用于对微小粒子的旋转操作；

[0018] 3. 本发明将无需另外驱动，利用光纤自身的结构特征，即可获得涡旋光阱力光场，可以简单、有效的实现微小粒子或微小马达的转动。可在生物和微加工领域有广泛的应用。

## 附图说明

[0019] 图 1 卫星式螺旋多芯光纤微光手系统结构示意图。

[0020] 图 2 卫星式螺旋多芯光纤与标准单模光纤热熔融拉椎耦合连接示意图。

[0021] 图 3 卫星式螺旋多芯光纤结构示意图。

[0022] 图 4-1 和图 4-2 光程改变装置结构示意图。

[0023] 图 5 卫星式螺旋多芯光纤热熔融拉椎示意图。

[0024] 图 6 卫星式螺旋芯光纤端加工椎体形状示意图。

### 具体实施方式

[0025] 下面结合附图举例对本发明做更详细地描述：

[0026] 图 1 中,1 为卫星式螺旋多芯光纤,1-1 为该光纤轴心位置纤芯,1-2 为该光纤卫星纤芯,1-3 为该卫星式螺旋多芯光纤端加工制备的椎体结构,半锥角  $\alpha$  控制在  $\pi/2 - \arcsin(n_{\text{liquid}}/n_{\text{core}}) < \alpha < \pi/2$  的范围内,2 为标准单模光纤,3 为激光光源,4 为光程改变装置,5 为标准单模光纤和卫星式螺旋多芯光纤直接耦合连接位置,6 卫星式螺旋多芯光纤热熔融拉椎位置,这样在 5 和 6 之间便构成马赫泽德干涉仪,通过调节光程改变装置 4 改变不同纤芯之间的光程差,实现该卫星式螺旋多芯光纤光镊出射光场光阱力的动力学控制。

[0027] 结合图 2,为了将激光光源中的激光束引入到多个纤芯中,需要将单芯光纤与卫星式螺旋多芯光纤采用热熔融拉椎的方式耦合连接,图 2 中 1 为卫星式螺旋多芯光纤,1-1 为该光纤轴心位置纤芯,1-2 为该光纤卫星纤芯,2 为标准单模光纤,5 为单模光纤与卫星式螺旋多芯光纤连接处。

[0028] 图 3 中,1 为卫星式螺旋多芯光纤,1-1 为该光纤轴心位置纤芯,1-2 为该光纤卫星纤芯。

[0029] 结合图 4-1 和图 4-2,将卫星式螺旋芯光纤 1 附着在光程改变装置上,通过移动顶丝 4-1 的位置,使螺旋芯光纤附着的微弯板发生弯曲,因此,此卫星式螺旋芯光纤中多个纤芯之间的光程差会发生改变,以此实现对该光镊光阱力的动力学控制。图中,1 为卫星式螺旋芯光纤,4 为光程改变装置,4-1 为旋进顶丝,用以改变微弯板弯曲程度,4-2 为光纤 1 附着在光程改变装置上的附着点。

[0030] 结合图 5,为了构建马赫泽德干涉仪,需要在进过光程改变装置的卫星式螺旋多芯光纤再次进行熔融拉椎,图中 1 为卫星式螺旋多芯光纤,1-1 为该光纤轴心位置纤芯,1-2 为该光纤卫星纤芯,2 为标准单模光纤,6 为卫星式螺旋多芯光纤热熔融拉椎中心锥点位置。

[0031] 图 6 中 1 为卫星式螺旋多芯光纤,1-1 为该光纤轴心位置纤芯,1-2 为该光纤卫星纤芯,为了能够产生对微小粒子的捕获力,研磨半锥角  $\alpha$  控制在  $\pi/2 - \arcsin(n_{\text{liquid}}/n_{\text{core}}) < \alpha < \pi/2$  的范围内。

[0032] 本发明的基于卫星式螺旋多芯光纤的微光手,包括卫星式螺旋多芯光纤 1,标准单模光纤 2,激光光源 3,光程改变装置 4。激光光源 3 与标准单模光纤的一端 2 常规连接,标准单模光纤 2 的另一端与卫星式螺旋多芯光纤 1 之间热熔融拉椎耦合连接,之后将该卫星式螺旋多芯光纤 1 附着在光程改变装置 4 上,此后,将经过光程改变装置 4 的卫星式螺旋多芯光纤 1 再次经过热熔融拉椎操作,最后,此卫星式螺旋多芯光纤 1 的另一端经精细研磨的加工方式制备成椎体形状;卫星式螺旋多芯光纤 1 可以是三芯、四芯、五芯甚至六芯微结构光纤;卫星式螺旋多芯光纤 1 的多个纤芯分两类,一类是位于光纤轴心的中心纤芯 1-1,另一类是位于偏心位置的绕轴心纤芯 1-1 螺旋分布的卫星式纤芯 1-2;卫星式螺旋多芯光纤 1 与普通光纤 2 通过熔融拉椎的方式耦合连接,拉椎过程中监测多芯光纤中各个纤芯的光功率分配,直到各个纤芯中耦入的光功率最大且均匀时停止拉椎;卫星式螺旋多芯光纤 1 与普通光纤 2 连接后,附着固定在光程改变装置 4 上;经由光程改变装置 4 的卫星式螺旋

多芯光纤 1 再次进行热熔融拉锥操作 ; 经过前序操作的卫星式螺旋多芯光纤 1 的尾端经精细研磨操作, 制备出椎体形状, 为实现捕获粒子, 此椎体角度  $\alpha$  需满足  $\pi/2 - \arcsin(n_{\text{liquid}}/n_{\text{core}}) < \alpha < \pi/2$  的条件。

[0033] 所述的用于构建螺旋多芯光纤的微光手的卫星式螺旋多芯光纤 1, 经过热熔融拉锥后, 此卫星式螺旋多芯光纤 1 的尾端经精细研磨操作, 制备出椎体形状, 为实现捕获粒子, 此椎体角度  $\alpha$  需满足  $\pi/2 - \arcsin(n_{\text{liquid}}/n_{\text{core}}) < \alpha < \pi/2$  的条件。

[0034] 本实施方式的光纤微光手的制作过程为 :

[0035] 步骤 1, 耦合连接 : 结合图 2 将一段标准单模光纤 2 一端与激光光源 3 常规连接, 另一端与卫星式螺旋多芯光纤 1 焊接, 然后在位置 5 处进行热熔融拉锥, 过程中进行光功率监测, 直到耦合到多芯光纤 1 的光功率达到最大且各纤芯光功率分布均匀时为止。此光纤可以是三芯、四芯、五芯甚至六芯卫星式螺旋光纤, 该螺旋结构如图 3 所示。

[0036] 步骤 2, 附着光纤 : 结合图 4, 为了构建马赫泽德干涉仪对线性阵列形纤芯心中传输的光束进行相位调制, 将导入光源的卫星式螺旋多芯光纤 1 固定在光程改变装置 4 上, 通过调节顶丝位置改变多个纤芯方向位移以进行传输光束的相位控制, 来实现此轴向阵列光镊中多光束的功率分配与调整, 最终达到控制三芯光纤光学微手的光阱力分配的目的 ;

[0037] 步骤 3, 干涉仪制备 : 结合图 5, 为了实现马赫泽德干涉仪结构, 须将经过光程改变装置 4 的卫星式螺旋多芯光纤 1 在位置 6 处进行熔融拉锥, 过程中进行光功率监测, 直到耦合到线性阵列芯光纤的光功率达到最大时为止 ; 这样在位置 5 和 6 之间可构成马赫泽德干涉仪结构, 通过调节光程改变装置 4 实现该光纤光镊光阱力的控制 ;

[0038] 步骤 4, 锥体制备 : 结合图 6, 将前序操作后的卫星式螺旋多芯光纤 1 的另一端进行精细研磨成圆锥体形状 1-4, 为了保证出射光经过圆锥面折射后能够形成相互交叉的组合光束, 半锥角  $\alpha$  控制在  $\pi/2 - \arcsin(n_{\text{liquid}}/n_{\text{core}}) < \alpha < \pi/2$  的范围内。对于纤芯折射率  $n_{\text{core}} = 1.4868$ , 包层折射率  $n_{\text{cladding}} = 1.4571$ , 和光纤微手所处的液体折射率  $n_{\text{water}} = 1.333$  的情况下, 该半锥角的范围应控制在  $26.3^\circ - 90^\circ$  之间。

[0039] 步骤 5, 锥体抛光 : 将上述研磨好的光纤锥体进行抛光, 在显微镜下经过检测合格后, 放在超声清洗槽中清洗、烘干备用 ;

[0040] 步骤 6, 旋转控制 : 按照上述过程连接完毕后, 通过改变光程改变装置 4 的顶丝位置, 调节光纤中各光束的相位差实现出射涡旋光阱力光场, 同时, 当中心芯 1-1 光束产生光阱力占优势时, 可将捕获住的微小粒子喷射释放。

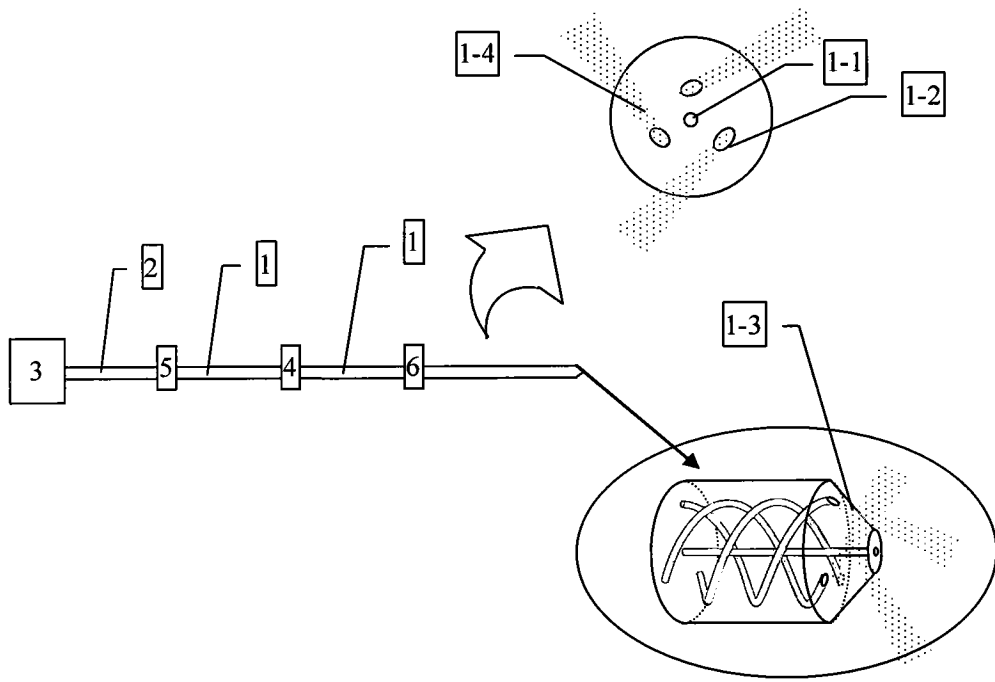


图 1

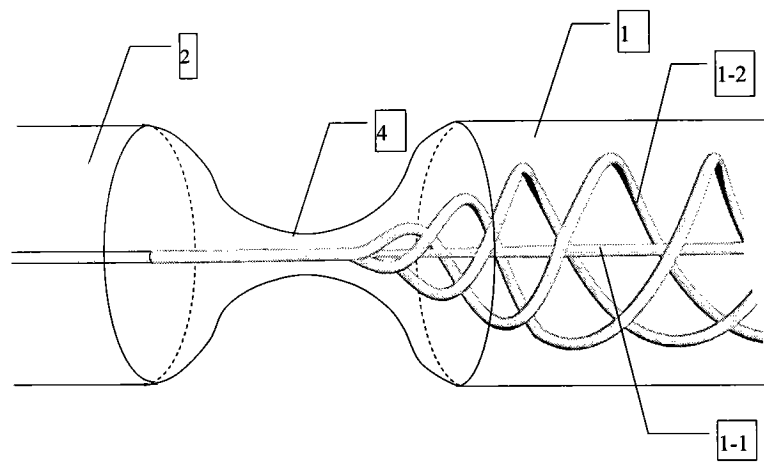


图 2

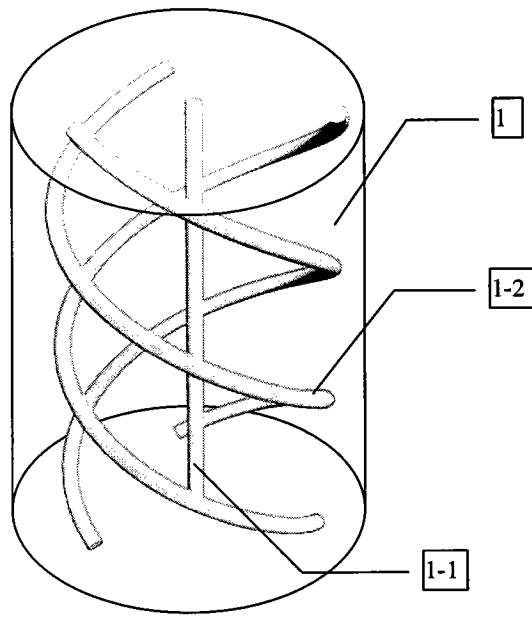


图 3

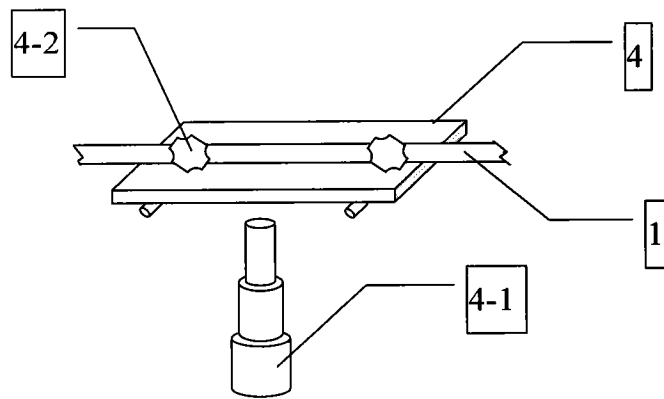


图 4-1

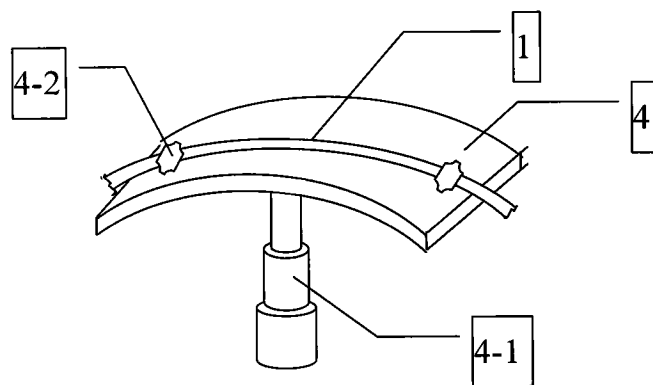


图 4-2



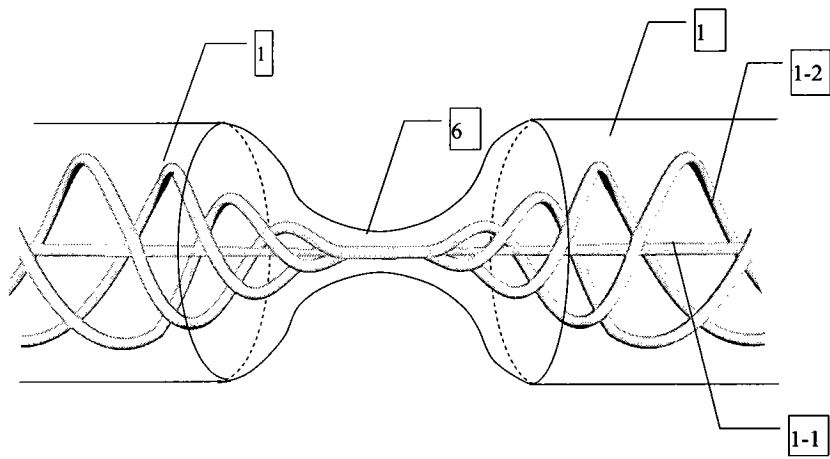


图 5

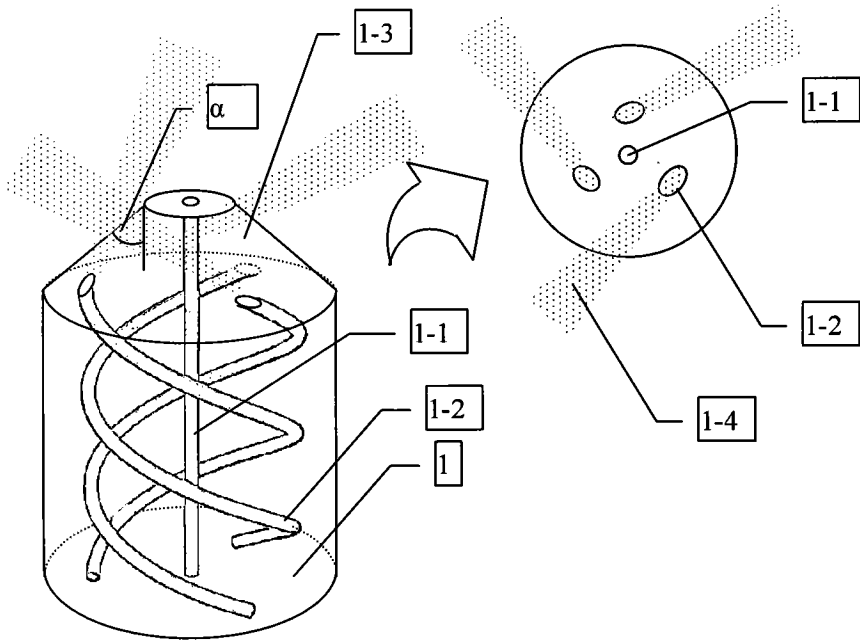


图 6