



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102066903 B

(45) 授权公告日 2013. 05. 22

(21) 申请号 200980120574. X

(22) 申请日 2009. 04. 05

(30) 优先权数据

61/042, 127 2008. 04. 03 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 12. 03

(86) PCT申请的申请数据

PCT/IL2009/000374 2009. 04. 05

(87) PCT申请的公布数据

W02009/122417 EN 2009. 10. 08

(73) 专利权人 卡尔蔡司 SMS 有限公司

地址 以色列卡米埃尔市

(72) 发明人 谢尔盖·澳斯姆柯夫

列夫·德沃尔金

弗拉基米尔·德米特里耶夫

(74) 专利代理机构 广州华进联合专利商标代理

有限公司 44224

代理人 曾旻辉 何冲

(51) Int. Cl.

G01N 21/01 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 2003/0183152 A1, 2003. 10. 02, 说明书第

31、35 段。

US 2004/0040379 A1, 2004. 03. 04, 说明书第 60、61、73、74、77、79 段。

US 6546272 B1, 2003. 04. 08, 第 9 栏第 39-45 行。

US 2003/0139041 A1, 2003. 07. 24, 全文。

US 4627726 A, 1986. 12. 09, 全文。

US 2004/0054357 A1, 2004. 03. 18, 全文。

CN 1279595 A, 2001. 01. 10, 全文。

Jing Yong Ye et al.. Trapping cavitation bubbles with a self-focused laser beam. 《OPTICS LETTERS》. 2004, 第 29 卷 (第 18 期), 2136-2138.

审查员 姚正阳

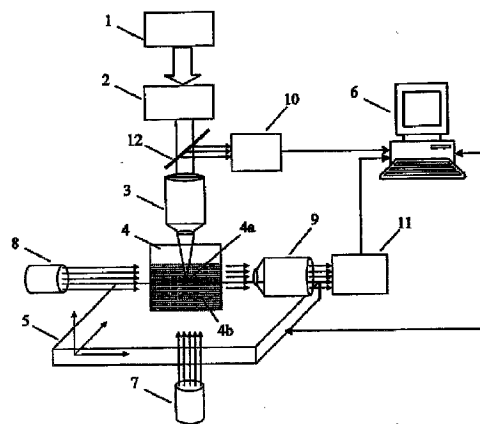
权利要求书1页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

制造、俘获和控制液体中气泡的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种制造、俘获和控制液体中气体微泡的方法。该方法包括提供用于产生激光脉冲辐射的脉冲激光源和聚焦光学装置；用超过聚焦带处液体中的光学击穿阈值的能量、将脉冲激光辐射聚焦至所述液体中的聚焦带。同时建议使用聚焦光学装置将激光光束聚焦到其深度与所述聚焦光学装置的球差补偿深度接近的焦点。



CN 102066903 B

1. 一种制造、俘获和控制液体中的微气泡的方法,其特征在于,所述方法包括:提供用于产生激光脉冲辐射的脉冲激光源和聚焦光学装置;用超过聚焦带处液体中的光学击穿阈值的能量、将脉冲激光辐射聚焦至所述液体中的聚焦带,以在所述聚焦带处产生气体微泡,并在所述聚焦带处俘获所述气体微泡;以及

使所述聚焦带在所述液体中移动,以通过将所述微泡移至另一处来控制所述微泡。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述将脉冲激光聚焦的步骤包括:用于聚焦光学物镜将所述脉冲激光聚焦至所述液体中的一点,从而使所述液体中的焦点的深度位于物镜的球差补偿深度的附近。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于:所述光学聚焦装置的数值孔径范围为0.3-1.65。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于:所述将脉冲激光聚焦的步骤包括用浸没聚焦光学装置将所述脉冲激光聚焦。

5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于还包括:提供用于将激光光束引导至远端位置的波导。

6. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于:所述脉冲激光源是适于产生宽度为10 fs - 10 ps、波长为350 nm - 1500 nm的激光脉冲的激光源。

7. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于:所述脉冲激光源是产生重复频率为10 kHz-100 MHz的脉冲激光的激光源。

8. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,使所述聚焦带在所述液体中移动的步骤包括:提供装有液体的容器和用于改变所述容器的位置的变位系统;改变所述容器相对于脉冲激光光束的位置。

9. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于:使所述聚焦带在所述液体中移动的步骤包括:相对于所述聚焦光学装置改变脉冲激光光束的入射角。

10. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于还包括:用控制器来控制聚焦带在液体中的移动。

11. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于还包括:调节脉冲激光光束的能量。

制造、俘获和控制液体中气泡的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光学俘获,尤其涉及一种制造、俘获和控制液体中气泡的方法。

背景技术

[0002] 俘获和控制微粒在纳米技术和显微技术以及在医学和生物学应用中具有十分重要的意义。俘获和控制微粒通常包括使用光阱(光学或激光镊子),对液体中的微粒施加光压。尽管光镊的力很小,但在某些情况下,对非接触式俘获和控制细胞及其他微粒是足够的。

[0003] 参考文献 [Acceleration and trapping of particles by radiation pressure", Phys. Rev. Lett. 24(4), 156-159 (1970)] 中提供了使用光镊非破坏性的俘获和移动微粒可行性的例证。从此之后,光镊的设计不断被改进。很多光镊的改进被发展,且很多应用被提出并研究。

[0004] 例如,专利号为 4,893,886、名称为“生物粒子的非破坏性俘获陷阱及其使用方法”、专利权人为 Ashkin 等(1990 年 1 月 16 日)的美国专利描述了用红外激光器进行单束光梯度力生物微粒俘获的方法和设备。并提到几种俘获模式。

[0005] 另外一篇专利号为 5,512,745、名称为“光阱系统及其方法”、专利权人为 Finer 等的美国专利(1996 年 4 月 30 日)公开了一种激光镊子的改进设计。上述系统包括校正脱靶位置的反馈循环,用来检测微粒位置的基于散射光检测的象限光电二极管探测器,以及用来改变俘获光束位置的声光调制器或振镜。

[0006] 另外一篇专利号为 5,689,109、名称为“控制、处理及观察小颗粒、尤其是生物颗粒的方法和设备”、专利权人为 Sütze(1997 年 11 月 18 日)的美国专利公开了由两种不同波长的激光组成的激光镊子的改进。所述第一激光的聚焦辐射形成光阱,第二激光的聚焦辐射用于控制微粒。

[0007] 专利号为 5,953,166、名称为“激光俘获器”、专利权人为 Shikano(1999 年 9 月 14 日)的美国专利公开了一种激光俘获器,用于选择俘获如悬浮在介质中的微生物的微粒组中的微粒。

[0008] 有多项专利涉及到光镊的应用。

[0009] 专利号为 6,943,062 B2,名称为“使用光镊去除污染物粒子”,专利权人为 Chen 等(2005 年 9 月 13 日)的美国专利公开了一种在不损伤表面的前提下,基于对粒子的光学俘获和移动去除表面污染物粒子的方法。

[0010] 专利号为 5,445,011、名称为“使用光阱的扫描力显微镜”、专利权人为 Ghislain 等(1995 年 8 月 29 日)的美国专利描述了一种由光学透明筒进行探测的扫描力显微镜,所述光学透明筒在其轴上具有至少一个尖端,并通过光阱来定位与导向。

[0011] 专利号为 7,315,374,名称为“实时监控光俘获碳纳米管”,专利权人为 Tan 等(2008 年 1 月 1 日)的美国专利以及专利号为 7,316,982,名称为“使用光阱控制碳纳米管”,专利权人为 Chang(2008 年 1 月 8 日)的美国专利描述了使用光镊控制液体中的碳纳米管

的方法和改进。

[0012] 已知光镊的一些限制包括：

[0013] 相对较低的俘获力——激光平均功率为 10mW 时的俘获力通常是皮牛顿级别 (pN), 这在某些情况下不够的；

[0014] 通过光镊的激光辐射穿透俘获的微粒, 可能会对其造成损害；

[0015] 光镊俘获高于周围液体的折射率的微粒, 所以可能不能俘获低折射率及不透明的微粒。

[0016] 因此, 需要研发新型陷阱, 以便消除基于辐射压的光镊的缺陷, 尤其是实现对低折射率和不透明微粒的俘获。例如, 俘获和控制液体中的气泡在微技术、生物学和医学上有着许多非常重要的应用。

[0017] 参考文献 [Laser-induced hybrid trap for micro-bubbles", Appl. Phys. B 71, 801-805, 2000] 报道了观察使用连续波 (CW) 氩激光束稳定俘获乙醇液体中微气泡。使用垂直穿过介质的高斯光束俘获浮在液体表面的微气泡。对该俘获效应的解释包括光压力的存在和液体介质对流引起的流体力。

[0018] 现有技术中已知的另一种光俘获方法是基于在液体中进行光学击穿。

[0019] 众所周知, 由于非线性吸收和击穿等离子体的形成, 激光脉冲在液体中的聚焦使在焦点区域的气泡产生和排出。这些气泡通常是不稳定的、具有多次振荡的空化气泡。空化气泡的崩溃时间 t_c (气泡最大和最小时的时间间隔) 可通过罗利公式来计算：

$$[0020] \quad t_c \approx 0.92 \sqrt{\frac{\rho}{p - p_v}} R_{\max}$$

[0021] 其中 R_{\max} 是空化气泡的最大半径, ρ 是液体密度, p 是环境压力, p_v 是蒸汽压。

[0022] 例如, 根据罗利公式, 最大半径为 10 μ m 的气泡崩溃时间约为 0.9 μ s, 且与 R_{\max} 成比例降低。

[0023] 气泡的空化产生可用于俘获与控制微粒的液体微流。参考文献 [Y. Jiang, Y. Matsumoto, Y. Hosokawa, et al., " Trapping and manipulation of a single micro-object insolution with femtosecond laser-induced mechanical force", Appl Phys. Lett., 90, p. 061107, 2007] 揭示了利用扫描飞秒激光脉冲环绕待俘获的微粒进而俘获和控制微对象, 这归因于冲击波、空化气泡以及喷射流。然而该方法不允许俘获液体中的气泡。

[0024] 参考文献 [Jing Yong Ye, Guoqing Chang, Theodore B. Norris, et al. " Trapping cavitationbubbles with a self-focused laser beam", Optics Letters, 29, No. 18, p. 2136-2138, 2004] 中描述了俘获激光诱导的空化气泡的方法。该方法使用输出脉冲宽度为 100fs, 波长为 793nm 的自制 250-kHz 的再生放大钛:蓝宝石激光器。该激光束不精确的聚焦到 (通过相当于数值孔径 0.03 的光圈数为 15 的透镜) 一个装有分光级纯净水的石英玻璃管中。在此聚焦条件下, 观察白光连续谱以及在平均激光功率高于 210mW 时产生的气泡, 这与激光光束的自聚焦相关。同时观察气泡的俘获。应该指出的是, 下降的激光束不能俘获气泡。然而不可能使用该方法通过自聚焦激光光束将稳定俘获的气泡局限在液体中的预定点上, 这可能是因为自聚焦过程是不可控的。俘获气泡的尺寸是不可控的而且不能改变。高于 210mW 的高平均激光功率的使用以及白光的产生可对周围目标造成损伤, 这将大

大限制其应用,例如,在医药和生物学领域。

发明内容

[0025] 本发明的实施例提供一种在液体中制造、俘获和控制液体中的气体微泡的方法。该方法包括提供用于产生激光脉冲辐射的脉冲激光源和聚焦光学装置;用超过聚焦带处液体中的光学击穿阈值的能量、将脉冲激光辐射聚焦至所述液体中的聚焦带。

[0026] 进一步的,根据本发明的一些实施例,激光脉冲聚焦步骤包括用干聚焦光学装置将所述脉冲激光聚焦至所述液体中的一点,从而使所述液体中的焦点的深度位于物镜的球差补偿深度的附近。

[0027] 进一步的,根据本发明的一些实施例,所述光学聚焦装置的数值孔径范围为 0.3-1.65。

[0028] 进一步的,根据本发明的一些实施例,所述将脉冲激光聚焦的步骤包括用浸没聚焦光学装置将所述脉冲激光聚焦。

[0029] 进一步的,根据本发明的一些实施例,该方法包括提供用于将激光光束引导至远端位置的波导。

[0030] 进一步的,根据本发明的一些实施例,所述脉冲激光源包括适于产生宽度为 10fs-10ps、波长为 350nm-1500nm 的激光脉冲的激光源。

[0031] 进一步的,根据本发明的一些实施例,所述脉冲激光源包括产生重复频率为 10kHz-100MHz 的的脉冲激光的激光源。

[0032] 进一步的,根据本发明的一些实施例,该方法包括在液体内移动聚焦带。

[0033] 进一步的,根据本发明的一些实施例,在液体内移动聚焦带的步骤包括:

[0034] 提供装有液体的容器和用于改变所述容器的位置的变位系统;

[0035] 改变所述容器相对于脉冲激光光束的位置。

[0036] 进一步的,根据本发明的一些实施例,移动液体内聚焦带的步骤包括改变与聚焦光学装置相关的激光脉冲光束的入射角。

[0037] 进一步的,根据本发明的一些实施例,该方法包括使用控制器,以控制移动液体内的聚焦带。

[0038] 进一步的,根据本发明的一些实施例,该方法包括调解激光脉冲光束的能量。

附图说明

[0039] 为了更好地理解本发明,理解其实际应用,提供下图以供参考。应当指出,这些附图仅为示例,并没有限制本发明的范围。相似的组分采用相似的参考数字进行标记。

[0040] 图 1 为本发明具体实施例中的用于制造、俘获和控制液体中的气泡的装置;

[0041] 图 2 为点出了具有不同球差补偿深度的三个物镜的微泡陷阱存在区域的深度-脉冲能量图;

[0042] 图 3 为本发明的另一个具体实施例中的用于制造、俘获和控制液体中气泡的装置,其使用导丝引导激光束定位到远端聚焦位置。

具体实施例

[0043] 根据本发明的一个具体实施例,利用高重复率超高激光脉冲在液体内部聚焦,制造、俘获和控制气泡的尺寸,从而生成可控尺寸的稳定气体微泡。在激光束焦点的位置,俘获气泡,且可通过移动液体中的焦点控制气泡。

[0044] 根据本发明的另一个具体实施例,通过将激光束聚焦到由外部来源产生的气泡的内部,来俘获气泡是可能的,所述外部来源为,例如另一个激光脉冲(不一定是超短激光脉冲),放电或超生波发生器。

[0045] 根据本发明的另一个具体实施例,可使用与引导激光束的光波导相连的聚焦光学装置。

[0046] 根据本发明的具体实施例,认为稳定俘获气泡的产生,在预定参数窗口是可能的,例如,激光脉冲宽度范围为 10fs-10ps,波长范围为 350nm-1500nm,脉冲能量范围为 1nJ-10 μ J,脉冲重复率范围为 10kHz-100mHz,聚焦物镜的数值孔径范围(NA)为 0.3-1.65。为达到稳定俘获,干物镜的焦点优选置于液体中,其深度接近球差补偿深度。如果通过一片透明材料(干聚焦光学装置)将激光光束聚焦到液体中,该全部光束透过透明材料及液体,应使其在液体中的焦点位于物镜的球差补偿深度附近的范围内,该范围取决于脉冲能量和激光脉冲的重复率。

[0047] 可使用浸没物镜在液体中任何焦点深度处产生稳定的陷阱。

[0048] 据证实,俘获气泡的直径取决于激光脉冲的能量,因此通过改变激光脉冲的能量即可控制气泡的尺寸。同时还表明通过移动激光束的焦点,可在液体中移动俘获的微泡,因此使气体微泡以及与气泡相粘接的低折射率、不透明微粒的三维控制更加便利。还发现新产生的气体微泡的温度大于周围液体的,因此可将其用作液体中可控热沉积的微源。

[0049] 根据本发明的具体实施例,可实现对液体中可控尺寸的气体微泡的制造、俘获和控制。

[0050] 图 1 为本发明具体实施例中的用于制造、俘获和控制液体中的气体微泡的装置。

[0051] 激光脉冲光源(1)产生可穿过可变衰减器(2)的激光脉冲光束。然后利用聚焦光学装置,如物镜(3),将光束聚焦到容器(4)中的透明液体中,以诱导气体微泡的产生。为获得聚焦光束与装有液体的容器之间的相对运动,设有变位系统(5,如 X-Y-Z 移动模式)。该系统可控制诱导气体微泡的产生。作为替换,激光光束的焦点可通过其他装置移动(例如光学装置,如扫描仪或者机械装置,如电动机械手)。

[0052] 控制器,例如电脑(6),如利用控制和驱动变位系统(5)来控制光束焦点的操作。

[0053] 使用沿着和垂直于激光光束方向的两个视觉系统。每一个视觉系统均包括照明光源(7,8)、聚焦光学装置(3,9)和图像传感器,例如 CCD 相机(10,11)。

[0054] 当用分光镜(12)启动击穿激光辐射时,优选透过相同的物镜,沿着激光光束的方向观察;所述分光镜(12)将从焦点反射回来的光束分为两束。

[0055] 为得到俘获气泡,使用超过该特别液体的光学击穿阈值的脉冲能量,将高重复率超高速激光脉冲聚焦在液体中。其它实验参数,如脉冲宽度、聚焦物镜的数值孔径、物镜的球差补偿深度以及液体中焦点的深度应该在上述提到的参数窗口中。

[0056] 激光脉冲击穿液体的结果是产生空化气泡。在空化完成之后,在空化产生的液流作用下,其余的气泡从焦点体积(focal volume)内移动而来。由于从脉冲到脉冲的空化流纷乱的方向,当下一个激光脉冲到达时一个剩余的气泡出现在焦点体积内,并且气泡开

始长大,这是由于在物镜焦点体积内的激光辐射的非线性吸收产生的热会使得气泡内的气体膨胀。局部热源通过压力及热波的传播以及与气泡表面的相互作用稳定液体中气泡的位置,允许下一个激光脉冲向气泡体积中加入更多的能量,进一步增大气泡的半径。最后,当由于热导率而流出气泡的热量与由于非线性吸收而进入气泡的热量相等时,气泡停止生长。

[0057] 因此,俘获机理可包括压力与热波的相互作用,热波是由于气泡壁对激光辐射的非线性吸收使气泡内部的气体产生局部热量引起的。

[0058] 本发明的发明人已进行的实验,在下面实施例中给出数据结果:

[0059] 实施例 1

[0060] 将宽度为 200fs、波长为 800nm 的激光脉冲 (1,如图 1) 直接通过可变衰减器 (2),通过数值孔径为 0.55 的干物镜聚焦到蒸馏水中。通过计算机 (6) 控制,利用三轴开放框架的变位系统 (5) 将装有水 (4b) 的玻璃管 (4) 相对于物镜的焦点 (4a) 移动。该设备具有两个视觉系统,分别在沿着和垂直于激光光束的方向上。每个视觉系统具有照明光源 (7,8),物镜 (3,9) 和 CCD 相机 (10,11)。当使用分光镜 (12) 启动击穿激光辐射时,通过相同的物镜 (NA = 0.55,补偿深度为 6.3mm) 沿着激光束进行观察。垂直于激光束的视觉系统,使用的物镜 (9) 的数值孔径为 0.3。

[0061] 如上面所提到的,在用高重复率脉冲典型的激发在水中的击穿之后,会从击穿区以不同的角度和速度出现剩余的气泡,这与激光脉冲序列引起的空化气泡产生的杂乱的累积微射流相关联。因此,典型的,使用高重复脉冲在水中的激光击穿包括不稳定的空化气泡的生成以及击穿区不规则的残余气泡的排出。

[0062] 据发现,将重复率为 100kHz,脉冲能量为 250nJ 的 200-fs (现有条件下的光学击穿阈值为 90nJ) 的激光脉冲通过 50x0.55NA 的物镜在蒸馏水中聚焦,能够获得气泡并且当把物镜的焦点置于接近其球差补偿深度 (6.3mm),即水中深度范围为 5.9-6.7mm 时,能够在物镜的聚焦带俘获气泡。俘获的气泡能够在稳定的位置维持很长时间,几乎是无限的时间。应该注意到尽管脉冲能量超过水中击穿阈值,但是在俘获气泡的过程中并没有观察到击穿。可通过改变聚焦物镜上激光光束的入射角或者沿着光束轴在横向方向上相对水容器移动焦点,进而在水中移动俘获的气泡。

[0063] 实施例 2

[0064] 将脉冲能量为 150nJ,重复率为 100kHz 的 Ti-蓝宝石激光器的 200fs 激光脉冲通过 0.75NA 的浸没物镜聚焦到水中。在这种情况下,在水中物镜焦点的任意深度可观测到稳定俘获的气泡。可通过改变聚焦物镜上的激光光束的入射角或者沿着光束轴在横向方向上相对水容器移动焦点,进而在水中移动俘获的气泡。

[0065] 实施例 3

[0066] 将脉冲能量为 100nJ,重复率为 5MHz 的 Ti-蓝宝石振荡器的 50fs 激光脉冲通过 0.75NA 的浸没物镜聚焦到水中。在这种情况下,在水中在物镜焦点的任意深度可观测到稳定俘获的气泡。可通过改变聚焦物镜上的激光光束的入射角或者沿着光束轴在横向方向上相对水容器移动焦点,进而在水中移动俘获的气泡。

[0067] 实验表明俘获气泡的直径在连续的激光脉冲间隔内 (10 μ s) 几乎不变,例如该俘获气泡不会经历空化震荡。

[0068] 实验表明,仅当物镜的焦点移动到水中某一最佳位置时,才会产生气泡俘获模式,为此所使用物镜球差是最小的。图 2 说明了这一点,显示了以深度 - 激光脉冲能量为坐标的分别使用三个具有不同球差补偿深度的物镜的陷阱存在区域的图解。第一个物镜(区域标记为 21)(50X, NA 0.5) 被补偿了 0.17mm,用于抵消探针玻璃厚度的球面像差(球差),对于第二个物镜(区域标记为 22)(50X, NA 0.6),玻璃中球差的补偿深度为 1.5mm,而第三个物镜(区域标记为 23)(50X, NA 0.55) 为 6.3mm。如图 2 所示,当从把聚焦带从所有物镜的最优深度移开时,能够俘获气泡的脉冲能量显著增长,这表明无像差光束聚焦对于俘获模式的重要性。

[0069] 图 2 同时表明,对于第一个物镜,在其焦点区域的小深度,陷阱的形成是受限制的。当激光光束聚焦带接近水气边界时,这与从气泡俘获模式到液体气泡喷射模式的突然转变有关。使用 NA 0.5 的物镜实现两个模式。在气泡俘获模式转变到液体气泡喷射模式的同时发生从没有激光脉冲引起的击穿状态到有激光脉冲引起的击穿状态的转变。在液体气泡喷射时,观察到击穿等离子体发射,而在气泡俘获模式中没有这样的发射。

[0070] 可通过改变聚焦物镜上的光束的入射角或者沿着光束轴在横向方向上相对水容器移动物镜焦点,进而在水中移动俘获的气泡。也可观察到俘获的气泡壁上粘附有直径为 3-10 μm 的微颗粒以及二者进一步的共同移动,这使得在水中控制微目标成为可能。

[0071] 结果进一步表明,俘获气泡的温度要高于环境温度。这样,当俘获气泡接近稳定气泡,固定在水中玻璃探针的表面,可观察到由于周围水环境加热,固定气泡的膨胀。因此,俘获气泡可用作局部内部体积水加热的热源。

[0072] 俘获力的值可按照两种方式估计。对依赖于脉冲能量的俘获气泡的直径进行调查,结果发现在该实验条件下,稳定俘获气泡的最大直径可达 35 μm 。能量的进一步增加和相应气泡直径的增加会使气泡分离并在浮力的方向上离开物镜的聚焦带。

[0073] 在分离时(忽略水的对流流动),俘获力 F_{tr} 与浮力相等:

$$[0074] \quad F_{tr} = \rho \cdot g \cdot V,$$

[0075] 其中: ρ 为水的密度, V 为气泡的体积, g 为重力因子。例如半径 17.5 μm 的气泡,算得的俘获力为 220pN。

[0076] 另一方面,在将俘获气泡移动到垂直于激光光束的平面上的实验中对俘获力进行测定。

[0077] 以变化的速度相对于物镜焦点移动装有水的玻璃管。当达到某一速度时,气泡会分离,此时俘获力 F_{tr} 与在水中的粘性阻力相等,可根据斯托克斯公式进行计算:

$$[0078] \quad F_{tr} = 6\pi \cdot \eta \cdot R_b \cdot v,$$

[0079] 其中: η 为水的粘度, R_b 为气泡的半径, v 为气泡的速度。在激光平均功率为 20mW 时,直径 20 μm 俘获气泡在通常蒸馏水中的最大速度为 1.2mm/s,相应于 200pN 的俘获力,且与垂直俘获力的值一致。应该注意到,因为实验用平均激光功率为 20mW,所以俘获力的具体值为 10pN/mW,超过了相应传统光镊值的两个数量级。

[0080] 建议的气泡陷阱可用于在水中俘获并控制微 - 目标,并作为局部加热水及微技术中的微目标的热源。

[0081] 图 3 为本发明的另一个具体实施例中的用于制造、俘获和控制液体中气泡的装置,其使用导丝引导激光光束定位到远端聚焦位置。

[0082] 本发明具体实施例的方法可用于制造、俘获和控制液体中远端位置的气泡。为此目的,使用波导引导激光光束至既定目标位置,例如光纤(31)。聚焦光学装置(例如,透镜32)设置在光纤末端,有利于将出现的激光光束聚焦到液体中远端位置所需的焦点。该技术可用于在体腔或腔内,例如血管、膀胱或其他身体器官中制造、俘获和控制气泡。

[0083] 照明波导(33)直接用于焦点区域的照明,并可通过波导(31)同时进行检查工作。

[0084] 还应该清楚的是,前面对本发明的附图及具体实施例的说明只是为更好的理解本发明,而不是限制其范围。

[0085] 还应该清楚的是,本领域普通技术人员,在看文本说明书后能够对附图及描述的实施例做修改,这些仍落在本发明的保护范围之内。

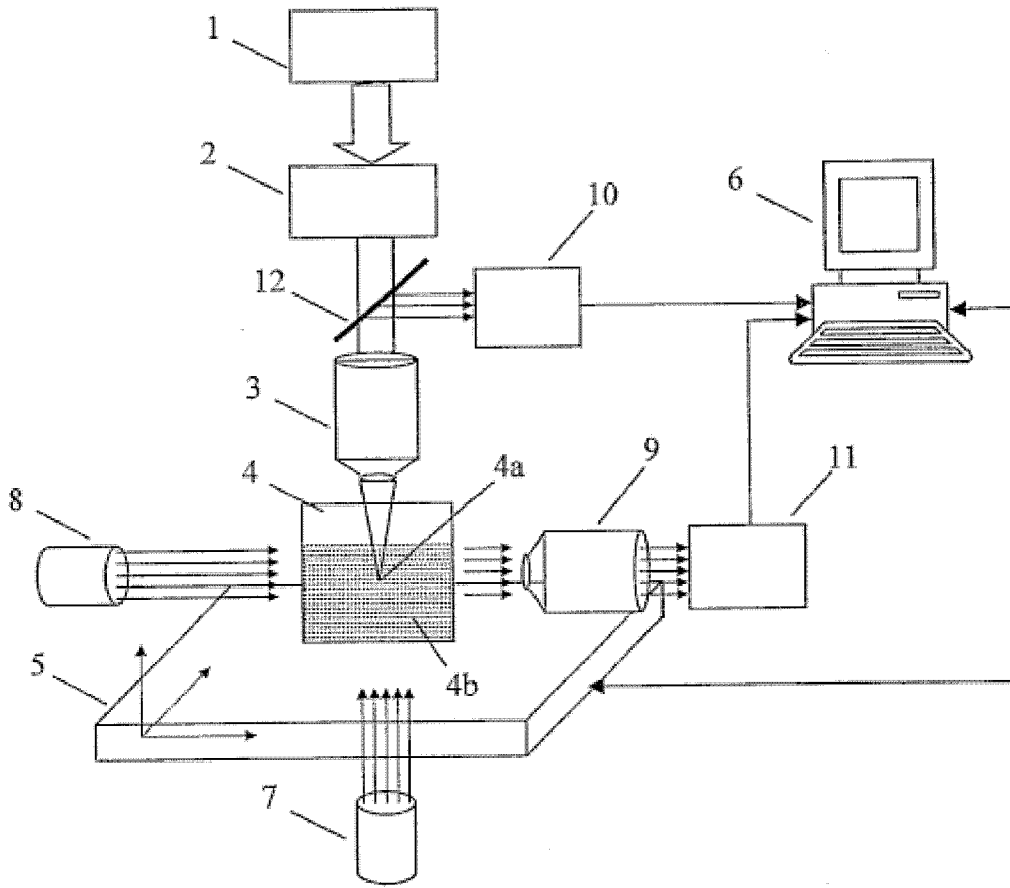


图 1

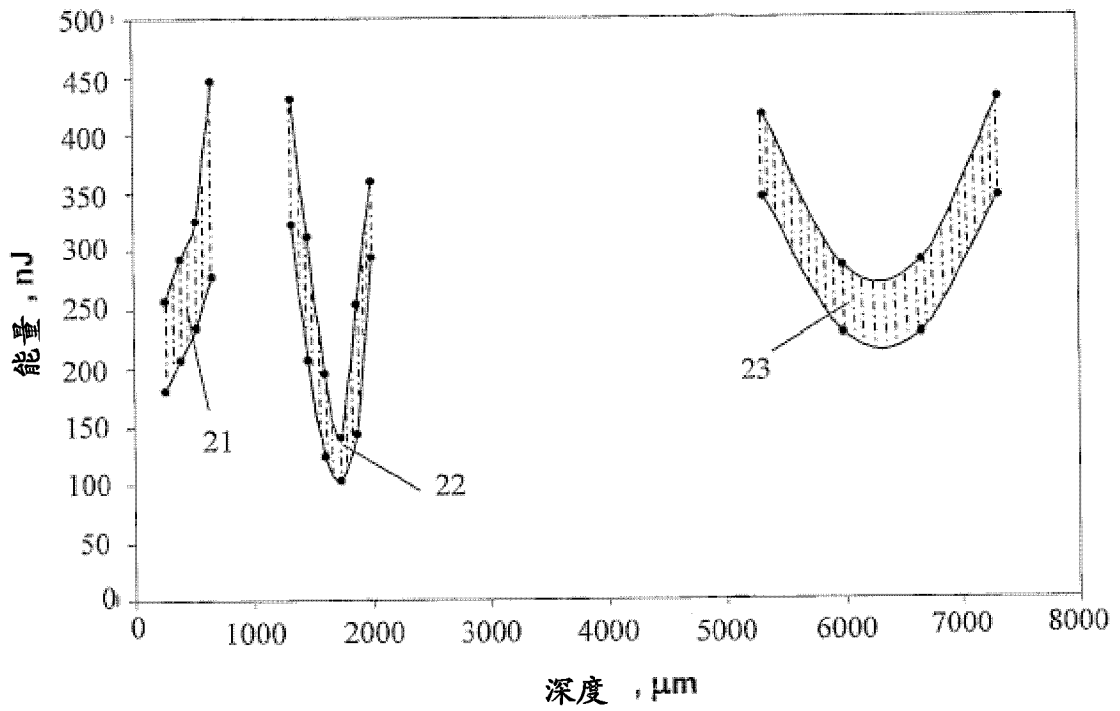


图 2

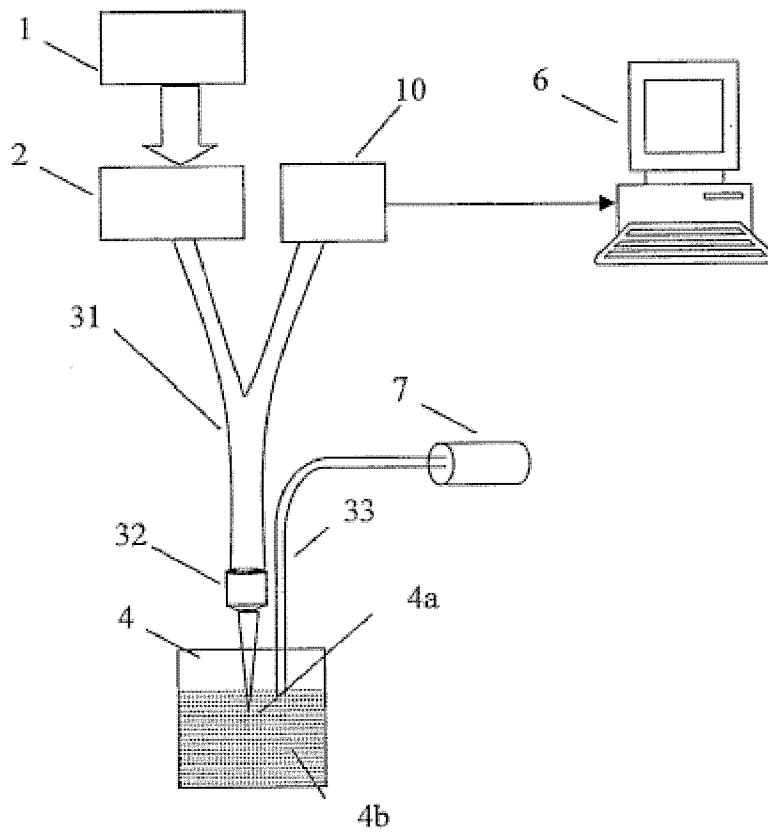


图 3