

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2018 年 2 月 8 日 (08.02.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/023862 A1

(51) 国际专利分类号:
G21B 1/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2016/099923

(22) 国际申请日: 2016 年 9 月 23 日 (23.09.2016)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201610633567.1 2016 年 8 月 4 日 (04.08.2016) CN

(71) 申请人: 清华大学(TSINGHUA UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。北京清风云起投资管理有限公司(BEIJING QING FENG YUN QI INVESTMENT MANAGEMENT CO., LTD.) [CN/CN]; 中国北京市西城区文津街 1 号北海公园快雪堂内, Beijing 100034 (CN)。

(72) 发明人: 陈大融(CHEN, Darong); 中国北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。蒋亮(JIANG, Liang); 中国北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。王宝(WANG, Bao); 中国北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。李山(LI,

Shan); 中国北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。许译心(XU, Yixin); 中国北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。

(74) 代理人: 北京清亦华知识产权代理事务所(普通合伙)(TSINGYIHUA INTELLECTUAL PROPERTY LLC); 中国北京市海淀区清华园清华大学照澜院商业楼 301 室, Beijing 100084 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR ACHIEVING DEUTERIUM-DEUTERIUM THERMONUCLEAR FUSION BY ULTRASONIC CAVITATION

(54) 发明名称: 超声空化实现氘氘热核聚变的装置和方法

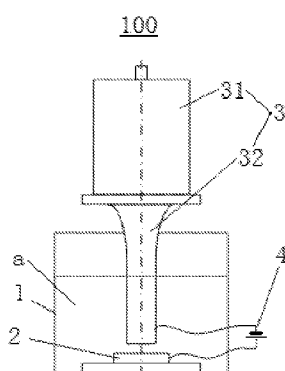


图 1

(57) Abstract: A device (100) and method for achieving deuterium-deuterium thermonuclear fusion by means of ultrasonic cavitation. The device (100) comprises: a liquid storage container (1), a sample (2), an ultrasonic transducer (3) and a double-layer electric field. The sample (2) is provided in a deuterium-containing fluid medium (a). The ultrasonic transducer (3) comprises a transducer body (31) and a horn (32). The horn (32) extends into the deuterium-containing fluid medium (a) and is separate from the sample (2). The horn (32), driven by the transducer body (31), vibrates ultrasonically to cause the deuterium-containing fluid medium (a) to undergo ultrasonic cavitation to form cavity bubbles, and to drive the cavity bubbles to move towards the sample (2). The double-layer electric field, provided between the ultrasonic transducer (3) and the sample (2), accelerates the cavity bubbles so as to cause gravity collapse of the cavity bubbles, achieving deuterium-deuterium thermonuclear fusion.

(57) 摘要: 一种超声空化实现氘氘热核聚变的装置(100)和方法, 所述装置(100)包括: 储液容器(1)、试件(2)、超声波换能器(3)和双电层电场, 试件(2)设在含氘流体介质(a)中; 超声波换能器(3)包括换能器本体(31)和变幅杆(32), 变幅杆(32)伸入含氘流体介质(a)中且与试件(2)间隔开, 变幅杆(32)在换能器本体(31)的带动下超声振动以使含氘流体介质(a)超声空化形成空泡并驱动空泡朝向试件(2)运动; 双电层电场设在超声波换能器(3)与试件(2)之间以对空泡进行加速, 使空泡发生引力坍塌, 实现氘氘热核聚变。



CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

超声空化实现氘氘热核聚变的装置和方法

技术领域

本发明涉及摩擦学和核物理技术领域，更具体地，涉及一种超声空化实现氘氘热核聚变的装置和方法。

背景技术

由于化石能源日趋枯竭，以及能源大量消耗引发的环境问题日益突出，近几十年来，作为终结解决人类能源问题的核聚变研究，一直是发达国家科学研究的重中之重。相对廉价的核聚变材料氘可以通过提炼海水获得，海水中蕴藏的氘足够人类使用数千亿年。实现可控热核聚变的难点在于如何产生并维持一个极高温/极高压的环境，为解决这一问题，科学家已经奋斗了半个多世纪，在全世界建设了数以百计的大型实验装置，但至今尚未获得成功。

核聚变的理论依据是，两个轻核在一定条件下聚合生成一个较重核，同时伴有质量亏损，根据爱因斯坦的质能方程，聚变过程将会释放出巨大能量。反应条件是将一定密度的等离子体加热到足够高的温度，并且保持足够长的时间，使聚变反应得以进行。由于核聚变等离子体温度极高(达上亿度)，任何实物容器都无法承受如此高的温度，因此必须采用特殊的方法来约束高温等离子体。

在太阳及其他恒星上是靠巨大的引力来约束 1000 万-1500 万摄氏度的等离子体来维持聚变反应，而作为行星的地球却根本没有如此大的引力，只能通过将低密度的等离子体加热到更高的温度(1 亿度以上)，来实现聚变反应。通过人工方法约束等离子体目前主要有两条途径，即惯性约束和磁约束。

其实应当有多种途径可以实现可控热核聚变，控制微空泡的动力学过程与液汽界面的演变过程，能够在空泡内部产生并维持极高温/极高压的微区环境，通过液汽界面效应可以实现对空泡内温度与压力增长过程的控制，即对空泡内等离子体行为的约束，直至热核聚变发生。

已经有不少学者对空泡内能量聚集的现象进行了仔细的研究，确定空泡在压缩时能够产生极高温与极高压。目前还无法对压缩过程中空泡内温度实现精确测量，对空泡在压缩时可以达到的温度极限的计算值也众说纷纭，跨度为 10^3 - 10^8 k。

其中，Wu CC 的计算表明，空化气泡在急速崩塌时，内部压强可达 10^{12} 大气压，温度可达 10^8 k，同时空泡内物质的密度也将达到 800kgcm^{-3} ，其他的数值模拟温度均远低于 Wu CC 的计算值，但却都高于数个电子伏特。较为典型的是 Suslick 与 Barber 的研究，他们的研

究表明，空泡溃灭瞬间存在热区（hot spot），溃灭时温度 $> 1.0 \times 10^6 \text{K}$ ，同时 Stringham 的计算表明，空泡溃灭时，内部形成了等离子体。表明空泡坍塌瞬间产生了极高温。

在超声空化聚变实验方面，美国橡树岭国家实验室的学者 Taleyarkhan 于 2002 年在 Science 发表论文，宣布通过声空化发生了 DD 反应，获得了大约数百个中子，在国际学术界引起巨大震动。但是，这个实验没有能重复，也没有被学术界认可。Suslick 2007 年在 PRL 发表论文，称经 2300 次扫描获得 9 个 2.45MeV 中子计数，但是该数据难以和背底的 5 个中子计数相区分。到目前为止，以通过超声驱动控制泡壁动力学过程为基础的聚变研究，还没有真正称得上成功的报道。

发明内容

发明人发现，超声空化聚变实验之所以未能获得成功的原因在于空泡内物质并没有能够进入足以引起中子发射的极高温等离子体状态，除了空泡内的物质密度不足外，没有利用界面效应来提供一个逐渐增强的压力环境应当是最重要的原因。

为此，本发明提出了一种超声空化实现氘氘热核聚变的装置，所述超声空化实现氘氘热核聚变的装置，可以通过超声振动产生空泡并且可以通过液汽界面约束等离子体，构造持续增强的压力环境，导致空泡坍塌，实现氘氘热核聚变。

根据本发明实施例的超声空化实现氘氘热核聚变的装置，包括：储液容器、试件、超声波换能器和双电层电场，所述储液容器内限定有适于盛放含氘流体介质的储液腔；所述试件设在所述储液容器的含氘流体介质中；所述超声波换能器包括相连的换能器本体和变幅杆，所述变幅杆适于伸入所述储液腔的含氘流体介质中且与所述试件间隔开，所述变幅杆在所述换能器本体的带动下超声振动以使含氘流体介质超声空化形成空泡并驱动所述空泡朝向所述试件运动；所述双电层电场设在所述超声波换能器与所述试件之间且用于对所述空泡进行加速，以使所述空泡发生引力坍塌，实现氘氘热核聚变。

根据本发明实施例的超声空化实现氘氘热核聚变的装置，可以通过超声振动产生空泡并且可以通过液汽界面约束等离子体，构造持续增强的压力环境，导致空泡坍塌，实现氘氘热核聚变。

另外，根据本发明上述实施例的超声空化实现氘氘热核聚变的装置还可以具有如下附加的技术特征：

根据本发明的一些实施例，所述超声振动的频率为 15kHz-20kHz。

根据本发明的一些实施例，所述超声振动的幅度为 $10 \mu\text{m}$ - $30 \mu\text{m}$ 。

根据本发明的一些实施例，所述变幅杆与所述试件之间所间隔的距离为 $25 \mu\text{m}$ - $100 \mu\text{m}$ 。

根据本发明的一些实施例，所述变幅杆和所述试件分别与直流电源相连且所述变幅杆

和所述试件上分别施加有正负电压以形成所述双电层电场。

可选地，所述直流电源的电压为 8V-30V。

根据本发明的一些实施例，所述试件采用采用 V 族材料制成。

可选地，所述试件采用钽或铌制成。

根据本发明的一些实施例，所述含氙流体介质中含有表面活性剂，所述表面活性剂为阴离子型表面活性剂或非离子型表面活性剂。

可选地，所述表面活性剂为十二烷基硫酸钠、十二烷基磺酸钠或 Tween20。

可选地，所述表面活性剂的添加量为 1mmol/L-5mmol/L。

另外，本发明还提出了一种超声空化实现氙氙热核聚变的方法。

根据本发明实施例的超声空化实现氙氙热核聚变的方法，包括以下步骤：采用超声振动处理含氙介质，以使含氙流体介质超声空化形成空泡；采用超声振动驱动所述空泡朝向试件运动；采用双电层电场对所述空泡进行加速，以使所述空泡发生引力坍塌，实现氙氙热核聚变。

根据本发明实施例的超声空化实现氙氙热核聚变的方法，首先采用超声振动处理含氙介质，使含氙流体介质超声空化形成空泡，然后采用超声振动驱动空泡朝向试件运动，接着采用双电层电场对空泡进行加速，使空泡发生引力坍塌，可以通过液汽界面约束等离子体，构造持续增强的压力环境，导致空泡坍塌，实现氙氙热核聚变。

根据本发明的一些实施例，还包括在含氙流体介质中添加阴离子型表面活性剂或非离子型表面活性剂。

根据本发明的一些实施例，所述超声振动的频率为 15kHz-20kHz。

根据本发明的一些实施例，所述超声振动的幅度为 10 μ m-30 μ m。

根据本发明的一些实施例，所述试件采用钽或铌制成。

根据本发明的一些实施例，所述双电层电场的电场强度等级为 10^8 V/m。

本发明的附加方面和优点将在下面的描述中部分给出，部分将从下面的描述中变得明显，或通过本发明的实践了解到。

附图说明

图 1 是根据本发明实施例的超声空化实现氙氙热核聚变的装置结构示意图；

图 2 是根据本发明实施例的超声空化实现氙氙热核聚变的方法的流程图。

附图标记：

100：超声空化实现氙氙热核聚变的装置；a：含氙流体介质；

1：储液容器；2：试件；3：超声波换能器；4：直流电源；

31：换能器本体；32：变幅杆。

具体实施方式

下面详细描述本发明的实施例，所述实施例的示例在附图中示出。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的，旨在用于解释本发明，而不能理解为对本发明的限制，本领域的普通技术人员在本发明的范围内可以对上述实施例进行变化、修改、替换和变型。

在本发明的描述中，需要理解的是，术语“上”、“下”、“竖直”、“水平”、“内”、“外”指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制。

下面结合图1详细描述根据本发明实施例的超声空化实现氘氘热核聚变的装置100。

如图1所示，根据本发明实施例的超声空化实现氘氘热核聚变的装置100可以包括储液容器1、试件2、超声波换能器3和双电层电场。

具体而言，储液容器1内可以限定有适于盛放含氘流体介质a的储液腔，含氘流体介质a例如重水可以置于储液容器1内，试件2可以设在储液容器1的含氘流体介质a中。

如图1所示，超声波换能器3可以包括相连的换能器本体31和变幅杆32，变幅杆32适于伸入储液腔的含氘流体介质a中。也就是说，含氘流体介质a的液面高于变幅杆32的下端面，并且变幅杆32与试件2间隔开，变幅杆32可以在换能器本体31的带动下超声振动以使含氘流体介质a超声空化形成空泡并驱动空泡朝向试件2运动，即含氘流体介质a可以在变幅杆32的作用下空化并产生向试件2流动的微空泡流，并且微空泡流在变幅杆32的驱动下作趋近试件2壁面的运动。

由于挤压模效应，空泡将被压缩，空泡内部物质会进入等离子体状态，通过液汽界面约束等离子体，可以实现对泡壁动力学过程的控制，利用界面效应来提供一个逐渐增强的压力环境。

双层电场可以设在超声波换能器3与试件2之间，并且双层电场用于对空泡进行加速，以使空泡发生引力坍缩，实现热核聚变。可选地，如图1所示，变幅杆32与试件2上分别施加正负电压，构成双电层电场，空泡进入双电层电场后，在电场力的作用下可以获得趋近试件2壁面的加速度，使空泡再次被压缩，空泡内物质进入高温等离子状态。

其中，物质密度较大的空泡能进入引力坍缩状态，空泡中心将形成极高温与极高压，当满足氘氘聚变量子隧穿条件，会发射中子与 γ 粒子，实现氘氘热核聚变。

根据本发明实施例的超声空化实现氘氘热核聚变的装置100，通过超声空化产生空泡，利用换能器本体31带动变幅杆32推动空泡作趋近试件2壁面运动，使空泡在与试件2壁

面共同形成的高压场中被压缩，并进入双电层电场控制范围，空泡在电场力的作用下获得趋近壁面的高加速度，使空泡再次被压缩，直至进入坍塌状态，空泡中心形成极高温与极高压，满足氘氘聚变量子隧穿条件，实现氘氘热核聚变。

简言之，本发明的装置，可以通过超声振动产生空泡并且可以通过液汽界面约束等离子体，构造持续增强的压力环境，导致空泡坍塌，实现氘氘热核聚变。

根据本发明的一些实施例，超声振动的频率可为 15kHz-20kHz，过高的超声频率产生的空泡直径过小，很难提高空泡内的物质密度；过低的超声频率产生的空泡直径过大，很难保持空泡的几何对称形状，导致空泡提前溃灭，无法进入等离子体状态，将超声振动的频率确定为 15kHz-20kHz 之间，既可以利于提高空泡内的物质密度，也利于保持空泡的几何对称形状，将空泡的直径控制在微米量级，利于空泡进入等离子体状态。

可选地，超声振动的幅度可以为 $10\ \mu\text{m}$ - $30\ \mu\text{m}$ 。由此，可以将空泡送入双电层电场控制范围，驱动性好，使空泡易于朝试件 2 运动。例如，在本发明的一些实施例中，超声振动的幅度为 $20\ \mu\text{m}$ ，具有该参数的超声空化实现氘氘热核聚变的装置 100 中的空泡较易于朝试件 2 运动。

根据本发明的一些实施例，变幅杆 32 与试件 2 之间所间隔的距离可以为 $25\ \mu\text{m}$ - $100\ \mu\text{m}$ ，从而可以兼顾流场特性、变幅杆 32 技术特性、换能器本体 31 的工作效率等不同要求。例如，在本发明的一些具体示例中，变幅杆 32 与试件 2 之间所间隔的距离可以为 $50\ \mu\text{m}$ 、 $75\ \mu\text{m}$ 等。

如图 1 所示，变幅杆 32 和试件 2 可分别与直流电源 4 相连，并且变幅杆 32 和试件 2 上分别施加上正负电压以形成双电层电场，使空泡获得趋近试件 2 壁面的加速度，再次被压缩，使空泡内物质进入高温等离子体状态。

可选地，直流电源 4 的电压为 8V-30V。由此，可以在含氘流体介质 a 不发生电解的前提下，提高双电层电场的强度，可以将双电层电场强度提高到 10^8V/m 。

根据本发明的一些实施例，试件 2 可以采用 V 族材料制成。V 族材料表面具有较高的电化学窗口宽度，利用 V 族材料的该物理特性，在重水中形成双电层电场，为空泡趋近试件 2 壁面提供电场力。

可选地，试件 2 可以采用钽或铌制成。钽的介电常数为 27，铌的介电常数为 41，这两种材料形成的氧化膜具有半导体特性，可以通过施加直流电压的方法来拓宽电化学窗口。

在一些实施例中，含氘流体介质 a 中可以含有表面活性剂，表面活性剂可为阴离子型表面活性剂或非离子型表面活性剂，表面活性剂的活性分子的非极性端位于气相，极性端位于液相。由此，可以利用表面活性剂降低空泡与空泡之间以及空泡与试件 2 壁面之间的干涉，防止空泡在坍塌前溃灭。可选地，表面活性剂可为十二烷基硫酸钠、十二烷基磺酸

钠或 Tween20。

有利地，表面活性剂的添加量为 1mmol/L-5mmol/L。表面活性剂添加不足会有大量空泡溃灭，添加过量会降低空泡的 Zeta 电位以及工件的电极电位，导致空泡不能受到提供足够加速度的双电层静电力的影响，即过低的添加量会降低空泡抗干涉能力，过高的添加量会使表面活性剂形成胶束，同样会降低空泡抗干涉能力。通过添加 1mmol/L-5mmol/L 的表面活性剂，可以使空泡具有较优的抗干涉能力。

本发明还公开了一种超声空化实现氘氘热核聚变的方法。

如图 2 所示，根据本发明实施例的超声空化实现氘氘热核聚变的方法可以包括以下步骤：采用超声振动处理含氘介质，以使含氘流体介质超声空化形成空泡；采用超声振动驱动空泡朝向试件运动；采用双电层电场对空泡进行加速，以使空泡发生引力坍缩，实现氘氘热核聚变。

具体而言，首先通过超声振动在含氘流体介质内产生低压环境，当压力低于含氘流体介质的饱和蒸汽压时，含氘流体介质内会产生大量微空泡，形成微空泡流。

然后采用超声振动驱动空泡朝向试件运动，依据挤压膜效应，空泡在与壁面共同形成的压力场中被压缩，通过液汽界面约束等离子体，实现对泡壁动力学过程的控制，促使空泡内物质之间的力学关系由分子间的短程力平衡的低温等离子体状态过渡到由库仑力、粒子运动形成的辐射压力、泡壁形成的综合压力构成平衡关系，空泡内物质进入低温等离子体状态。

最后采用双层电场对空泡进行加速，最终在界面鞘层的约束下进入电子简并态，产生极高温与极高压，空泡中心产生极高温后将有粒子发射，破坏了电子简并压与引力之间的关系，进入引力坍缩状态，当空泡中心温度达到氘氘聚变量子隧穿条件时将有中子发射，空泡进入热核聚变状态，实现氘氘热核聚变。

因此，根据本发明实施例的超声空化实现氘氘热核聚变的方法，基于超声空化产生空泡，通过液汽界面约束等离子体，实现了对泡壁动力学过程的控制，促使空泡内物质之间的力学关系由分子间的短程力平衡的低温等离子体状态过渡到由库仑力、粒子运动形成的辐射压力、泡壁形成的综合压力构成平衡关系，进入高温等离子体状态，最终在界面鞘层的约束下进入电子简并态，产生极高温与极高压，空泡发生引力坍缩，空泡中心能够持续发射高能中子，实现氘氘热核聚变。

根据本发明的一些实施例，超声空化实现氘氘热核聚变的方法还可以包括在含氘流体介质中添加阴离子型表面活性剂或非离子型表面活性剂，其中，活性剂分子的非极性端位于气相，极性端位于液相，从而可以利用表面活性剂降低空泡与空泡之间以及空泡与试件壁面之间的干涉，防止空泡在坍缩前溃灭。

根据本发明的一些实施例，超声振动的频率可为 15kHz-20kHz，过高的超声频率产生的空泡直径过小，很难提高空泡内的物质密度；过低的超声频率产生的空泡直径过大，很难保持空泡的几何对称形状，导致空泡提前溃灭，无法进入等离子体状态，将超声振动的频率确定为 15kHz-20kHz 之间，既可以利于提高空泡内的物质密度，也利于保持空泡的集合对称形状，将空泡的直径控制在微米量级，利于空泡进入等离子体状态。

在一些实施例中，超声振动的幅度可以为 10 μm -30 μm 。由此，可以将空泡送入双电层电场控制范围。

可选地，双层电场的电场强度等级可以是 10^8V/m ，直流电源的电压为 8V-30V。由此，可以在含氙流体介质不发生电解的前提条件下，提高双电层电场的强度。

根据本发明的一些实施例，试件采用 V 族材料制成。V 族材料表面具有较高的电化学窗口宽度，利用 V 族材料的该物理特性，在重水中形成双电层电场，为空泡趋近试件壁面提供电场力。

可选地，试件可以采用钽或铌制成。钽的介电常数为 27，铌的介电常数为 41，这两种材料形成的氧化膜具有半导体特性，可以通过施加直流电压的方法来拓宽电化学窗口。

可以理解的是，根据本发明实施例的超声空化实现氙氙热核聚变的方法可以通过上述实施例的超声空化实现氙氙热核聚变的装置 100 实现。当然，该方法还可以通过其他装置实现，对此，本发明不做具体限定。

在本说明书的描述中，参考术语“实施例”、“具体实施例”、“示例”或“具体示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中，对上述术语的示意性表述不必须针对的是相同的实施例或示例。而且，描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外，在不相互矛盾的情况下，本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

权利要求书

- 1、一种超声空化实现氘氘热核聚变的装置，其特征在于，包括：
储液容器，所述储液容器内限定有适于盛放含氘流体介质的储液腔；
试件，所述试件设在所述储液容器的含氘流体介质中；
超声波换能器，所述超声波换能器包括相连的换能器本体和变幅杆，所述变幅杆适于伸入所述储液腔的含氘流体介质中且与所述试件间隔开，所述变幅杆在所述换能器本体的带动下超声振动以使含氘流体介质超声空化形成空泡并驱动所述空泡朝向所述试件运动；
双电层电场，所述双电层电场设在所述超声波换能器与所述试件之间且用于对所述空泡进行加速，以使所述空泡发生引力坍塌，实现氘氘热核聚变。
- 2、根据权利要求1所述的超声空化实现氘氘热核聚变的装置，其特征在于，所述超声振动的频率为15kHz-20kHz。
- 3、根据权利要求1或2所述的超声空化实现氘氘热核聚变的装置，其特征在于，所述超声振动的幅度为10 μm-30 μm。
- 4、根据权利要求1-3中任一项所述的超声空化实现氘氘热核聚变的装置，其特征在于，所述变幅杆与所述试件之间所间隔的距离为25 μm-100 μm。
- 5、根据权利要求1-4中任一项所述的超声空化实现氘氘热核聚变的装置，其特征在于，所述变幅杆和所述试件分别与直流电源相连且所述变幅杆和所述试件上分别施加有正负电压以形成所述双电层电场。
- 6、根据权利要求5所述的超声空化实现氘氘热核聚变的装置，其特征在于，所述直流电源的电压为8V-30V。
- 7、根据权利要求1-6中任一项所述的超声空化实现氘氘热核聚变的装置，其特征在于，所述试件采用V族材料制成。
- 8、根据权利要求1-7中任一项所述的超声空化实现氘氘热核聚变的装置，其特征在于，所述试件采用钽或铌制成。
- 9、根据权利要求1-8中任一项所述的超声空化实现氘氘热核聚变的装置，其特征在于，所述含氘流体介质中含有表面活性剂，所述表面活性剂为阴离子型表面活性剂或非离子型表面活性剂。
- 10、根据权利要求9所述的超声空化实现氘氘热核聚变的装置，其特征在于，所述表面活性剂为十二烷基硫酸钠、十二烷基磺酸钠或Tween20。
- 11、根据权利要求9或10所述的超声空化实现氘氘热核聚变的装置，其特征在于，所述表面活性剂的添加量为1mmol/L-5mmol/L。

12、一种超声空化实现氘氘热核聚变的方法，其特征在于，包括以下步骤：
采用超声振动处理含氘流体介质，以使含氘流体介质超声空化形成空泡；
采用超声振动驱动所述空泡朝向试件运动；
采用双电层电场对所述空泡进行加速，以使所述空泡发生引力坍塌，实现氘氘热核聚变。

13、根据权利要求 12 所述的超声空化实现氘氘热核聚变的方法，其特征在于，还包括在含氘流体介质中添加阴离子型表面活性剂或非离子型表面活性剂。

14、根据权利要求 12 或 13 所述的超声空化实现氘氘热核聚变的方法，其特征在于，所述超声振动的频率为 15kHz-20kHz。

15、根据权利要求 12-14 中任一项所述的超声空化实现氘氘热核聚变的方法，其特征在于，所述超声振动的幅度为 $10\ \mu\text{m}$ - $30\ \mu\text{m}$ 。

16、根据权利要求 12-15 中任一项所述的超声空化实现氘氘热核聚变的方法，其特征在于，所述试件采用钽或铌制成。

17、根据权利要求 12-16 中任一项所述的超声空化实现氘氘热核聚变的方法，其特征在于，所述双电层电场的电场强度等级为 10^8V/m 。

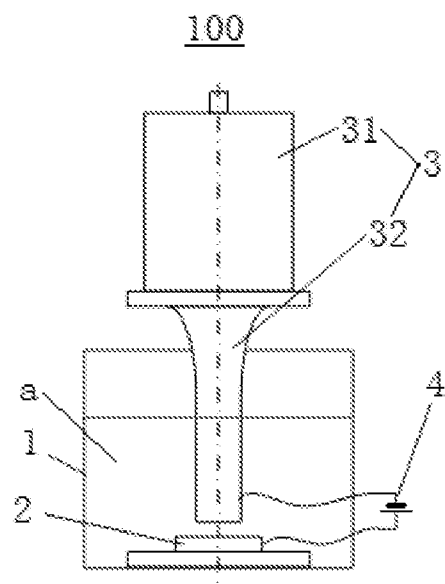


图 1

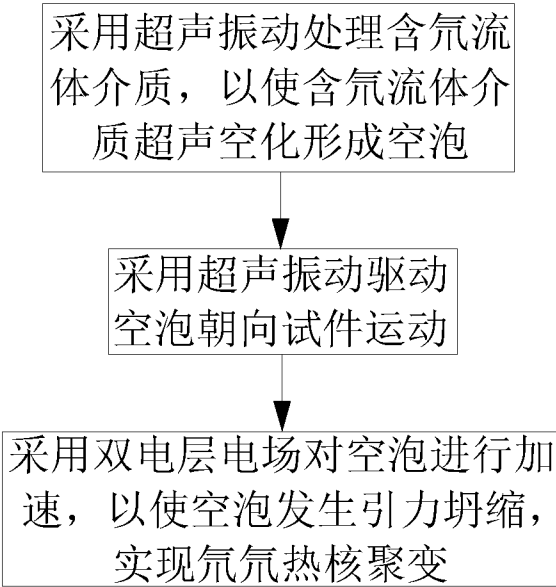


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2016/099923

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G21B 1/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G21B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNTXT, CNKI, VEN, Web of Knowledge: 超声, 空化, 空泡, 气泡, 坍塌, 坍塌, 聚变, 变幅杆, 液体, 流体, ultrasonic, cavitation, hollow, bubble, droplet, fusion, liquid, fluid

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 104200849 A (TSINGHUA UNIVERSITY), 10 December 2014 (10.12.2014), description, paragraphs 18-33, and figures 1-3	1-17
Y	CN 101419108 A (TAIYUAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 29 April 2009 (29.04.2009), description, page 1, paragraphs 2 and 3, page 1, penultimate paragraph to page 2, paragraph 5 and page 4, paragraphs 4 and 5, and figure 1	1-17
E	CN 106158051 A (TSINGHUA UNIVERSITY et al.), 23 November 2016 (23.11.2016), claims 1-17	1-17
A	CN 101364450 A (SHANGHAI UNIVERSITY), 11 February 2009 (11.02.2009), entire document	1-17
A	CN 101350231 A (FITZGERALD, F.B.), 21 January 2009 (21.01.2009), entire document	1-17
A	CN 104900289 A (TSINGHUA UNIVERSITY), 09 September 2015 (09.09.2015), entire document	1-17
A	JP 2008261868 A (ARATA, Y.), 30 October 2008 (30.10.2008), entire document	1-17

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 11 April 2017	Date of mailing of the international search report 02 May 2017
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer WANG, Lei Telephone No.: (86-10) 62084134

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2016/099923

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2005135532 A1 (TALEYARKHAN, R.P. et al.), 23 June 2005 (23.06.2005), entire document	1-17
A	US 2009147905 A1 (KIMBERLY-CLARK WORLDWIDE INC.), 11 June 2009 (11.06.2009), entire document	1-17
A	JP H02281185 A (SUGANO, Y.), 16 November 1990 (16.11.1990), entire document	1-17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2016/099923

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 104200849 A	10 December 2014	WO 2016026368 A1	25 February 2016
CN 101419108 A	29 April 2009	None	
CN 106158051 A	23 November 2016	None	
CN 101364450 A	11 February 2009	CN 101364450 B	27 June 2012
CN 101350231 A	21 January 2009	US 2009022256 A1	22 January 2009
		CA 2618375 A1	29 July 2008
CN 104900289 A	09 September 2015	WO 2016161820 A1	13 October 2016
JP 2008261868 A	30 October 2008	None	
US 2005135532 A1	23 June 2005	None	
US 2009147905 A1	11 June 2009	WO 2009072063 A1	11 June 2009
		US 2010206742 A1	19 August 2010
JP H02281185 A	16 November 1990	None	

A. 主题的分类 G21B 1/00 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类																										
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) G21B 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNABS, CNTXT, CNKI, VEN, Web of Knowledge: 超声, 空化, 空泡, 气泡, 坍塌, 坍塌, 聚变, 变幅杆, 液体, 流体, ultrasonic, cavitation, hollow, bubble, droplet, fusion, liquid, fluid																										
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>CN 104200849 A (清华大学) 2014年 12月 10日 (2014 - 12 - 10) 说明书第18-33段, 图1-3</td> <td>1-17</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 101419108 A (太原理工大学) 2009年 4月 29日 (2009 - 04 - 29) 说明书第1页第2-3段、第1页倒数第2段至第2页第5段、第4页第4-5段, 图1</td> <td>1-17</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>CN 106158051 A (清华大学 等) 2016年 11月 23日 (2016 - 11 - 23) 权利要求1-17</td> <td>1-17</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101364450 A (上海大学) 2009年 2月 11日 (2009 - 02 - 11) 全文</td> <td>1-17</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101350231 A (弗兰克 博林 菲茨杰拉德) 2009年 1月 21日 (2009 - 01 - 21) 全文</td> <td>1-17</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104900289 A (清华大学) 2015年 9月 9日 (2015 - 09 - 09) 全文</td> <td>1-17</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2008261868 A (ARATA Y) 2008年 10月 30日 (2008 - 10 - 30) 全文</td> <td>1-17</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	Y	CN 104200849 A (清华大学) 2014年 12月 10日 (2014 - 12 - 10) 说明书第18-33段, 图1-3	1-17	Y	CN 101419108 A (太原理工大学) 2009年 4月 29日 (2009 - 04 - 29) 说明书第1页第2-3段、第1页倒数第2段至第2页第5段、第4页第4-5段, 图1	1-17	E	CN 106158051 A (清华大学 等) 2016年 11月 23日 (2016 - 11 - 23) 权利要求1-17	1-17	A	CN 101364450 A (上海大学) 2009年 2月 11日 (2009 - 02 - 11) 全文	1-17	A	CN 101350231 A (弗兰克 博林 菲茨杰拉德) 2009年 1月 21日 (2009 - 01 - 21) 全文	1-17	A	CN 104900289 A (清华大学) 2015年 9月 9日 (2015 - 09 - 09) 全文	1-17	A	JP 2008261868 A (ARATA Y) 2008年 10月 30日 (2008 - 10 - 30) 全文	1-17
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
Y	CN 104200849 A (清华大学) 2014年 12月 10日 (2014 - 12 - 10) 说明书第18-33段, 图1-3	1-17																								
Y	CN 101419108 A (太原理工大学) 2009年 4月 29日 (2009 - 04 - 29) 说明书第1页第2-3段、第1页倒数第2段至第2页第5段、第4页第4-5段, 图1	1-17																								
E	CN 106158051 A (清华大学 等) 2016年 11月 23日 (2016 - 11 - 23) 权利要求1-17	1-17																								
A	CN 101364450 A (上海大学) 2009年 2月 11日 (2009 - 02 - 11) 全文	1-17																								
A	CN 101350231 A (弗兰克 博林 菲茨杰拉德) 2009年 1月 21日 (2009 - 01 - 21) 全文	1-17																								
A	CN 104900289 A (清华大学) 2015年 9月 9日 (2015 - 09 - 09) 全文	1-17																								
A	JP 2008261868 A (ARATA Y) 2008年 10月 30日 (2008 - 10 - 30) 全文	1-17																								
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																										
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 </td> <td> “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件 </td> </tr> </table>			* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																						
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																									
国际检索实际完成的日期 2017年 4月 11日		国际检索报告邮寄日期 2017年 5月 2日																								
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10) 62019451		受权官员 汪磊 电话号码 (86-10) 62084134																								

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	US 2005135532 A1 (TALEYARKHAN R P ET AL.) 2005年 6月 23日 (2005 - 06 - 23) 全文	1-17
A	US 2009147905 A1 (KIMBERLY-CLARK WORLDWIDE INC) 2009年 6月 11日 (2009 - 06 - 11) 全文	1-17
A	JP H02281185 A (SUGANO Y) 1990年 11月 16日 (1990 - 11 - 16) 全文	1-17

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2016/099923

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	104200849	A	2014年 12月 10日	WO	2016026368	A1	2016年 2月 25日
CN	101419108	A	2009年 4月 29日	无			
CN	106158051	A	2016年 11月 23日	无			
CN	101364450	A	2009年 2月 11日	CN	101364450	B	2012年 6月 27日
CN	101350231	A	2009年 1月 21日	US	2009022256	A1	2009年 1月 22日
				CA	2618375	A1	2008年 7月 29日
CN	104900289	A	2015年 9月 9日	WO	2016161820	A1	2016年 10月 13日
JP	2008261868	A	2008年 10月 30日	无			
US	2005135532	A1	2005年 6月 23日	无			
US	2009147905	A1	2009年 6月 11日	WO	2009072063	A1	2009年 6月 11日
				US	2010206742	A1	2010年 8月 19日
JP	H02281185	A	1990年 11月 16日	无			

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)