



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104661955 B

(45)授权公告日 2019.03.26

(21)申请号 201380050077.3

(22)申请日 2013.10.01

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104661955 A

(43)申请公布日 2015.05.27

(30)优先权数据
2012-220194 2012.10.02 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.04.01

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2013/005850 2013.10.01

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/054277 JA 2014.04.10

(73)专利权人 国立大学法人岐阜大学
地址 日本岐阜县
专利权人 泽藤电机株式会社
阿克特里股份有限公司

(72)发明人 神原信志 三浦友规 增井芽

(74)专利代理机构 青岛清泰联信知识产权代理有限公司 37256

代理人 刘雁君

(51)Int.Cl.
C01B 3/04(2006.01)
B01D 53/22(2006.01)
C01B 3/56(2006.01)
H01M 8/0606(2016.01)
H01M 8/0662(2016.01)

(56)对比文件
JP 2004359508 A,2004.12.24,说明书
[0002]段、第[0022]段、[0024]段、[0025]段、
[0029]段和说明书附图1。
US 2001/0018139 A1,2001.08.30,全文。
JP 2005285626 A,2005.10.13,全文。
CN 101171070 A,2008.04.30,全文。
JP 2011078876 A,2011.04.21,全文。
CN 102574705 A,2012.07.11,全文。
CN 100532249 C,2009.08.26,说明书第1页
技术领域、第6页第1-2段、第6页最后1段附图说
明、第7页具体实施方式和说明书附图1。

审查员 程维高

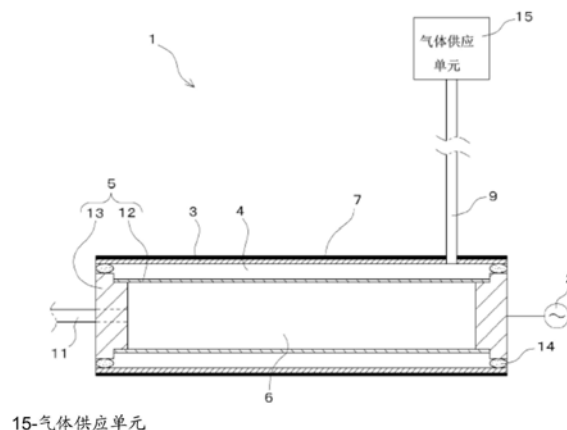
权利要求书1页 说明书7页 附图3页

(54)发明名称

氢生成装置及设置有氢生成装置的燃料电池系统

(57)摘要

为了提供由氨中高效地生成氢的氢生成装置以及使用高效生成的氢来发电的燃料电池系统。[技术方案]氢生成装置(1)提供有等离子反应器(3);高压电极(5);接地电极(7);以及向等离子反应器供应含氨气体的气体供应单元(15)。高压电极(5)其内被构造有一氢分离膜(12)。在室温及大气压的条件下,高压电极(5)的氢分离膜(12)在接地电极(7)以及氢分离膜之间通过由高压脉冲电源(2)提供的电力放电,且通过将供给的氨中所含的氨转化为离子态而生成氢。



15-气体供应单元

CN 104661955 B

1. 一种用于由氨生成氢的氢生成装置,包括:

—等离子反应器;

—放置在等离子反应器内侧的高压电极,该高压电极与一高压脉冲电源连接;

—与高压电极相对,放置在等离子反应器外侧位置上的接地电极;以及

—用于供应含氨气体至等离子反应器的气体供应单元,

其中高压电极包括一氢分离膜,在等离子反应器和氢分离膜之间形成一放电空间,所述氢分离膜用作带电高压电极,

且所述氢分离膜在所述氢分离膜和接地电极之间通过自高压脉冲电源供应的电力放电,导致气体中所含的氨转化为等离子体并从而生成氢。

2. 如权利要求1所述的氢生成装置,其中,等离子反应器具有圆柱形的外形,

高压电极包括与等离子反应器同心放置的圆柱形氢分离膜,

在氢分离膜内侧上形成有一内腔室,

气体供应单元与放电空间连接,从而向放电空间供应含氨气体,

氢分离膜在氢分离膜以及接地电极之间放电,且氢分离膜传送流经的在放电空间内生成的氢并引导氢至内腔室。

3. 一燃料电池系统,包括燃料电池以及氢生成装置,氢生成装置包括:

—等离子反应器,

—高压电极,包括放置在等离子体反应器内侧上,并由此形成内腔室的氢分离膜,且氢分离膜与高压脉冲电源连接;

—与高压电极相对,放置在等离子反应器外侧的位置上的接地电极;

—将含氨气体供应至等离子反应器及高压电极之间的放电空间的气体供应单元;以及

—与高压电极的内腔室连接的氢流通通道,

其中

在等离子反应器和氢分离膜之间形成一放电空间,

所述氢分离膜用作带电高压电极,

所述氢分离膜在所述氢分离膜以及接地电极之间放电,导致在放电空间中由气体供应单元供应的气体中所含的氨转化为等离子体,并由此生成氢,

氢分离膜传送流经的生成的氢并引导氢至内腔室,且

随后引导至内腔室的氢经由氢流通通道供应至燃料电池。

4. 如权利要求3所述的燃料电池系统,进一步包括一废气引导通道,用于将从燃料电池中排出的氢废气导入等离子反应器,其中氢分离膜流经传送被导入等离子反应器中的氢废气中所含的氢从而从氢废气中分离氢,且

由此分离的氢供应至燃料电池。

氢生成装置及设置有氢生成装置的燃料电池系统

技术领域

[0001] 本发明涉及氢生成装置及其中设置有氢生成装置的燃料电池系统,更特别地,涉及在室温常压下在氨中有效地生成氢的装置。

背景技术

[0002] 与矿石燃料不同,氢在燃烧时生成水,其并不是温室气体发射体。因而氢气可视为清洁能源,有利地可在更多不同的应用中使用。另一方面,氢很难液化,且容易与金属反应。且,当氢与氧混合时,氢很容易触发爆炸反应。氢的这些性质与其在储存和运输时的困难相关联。氢的这些缺点导致对这种技术的需求的增加,该类技术在氢被作为能源使用前,有利地允许作为氢载体的,含有高含量氢的基质的储存,以及氢的提取。

[0003] 已知氢载体的例子为氨和碳氢基燃料。专利文件1描述了一种技术,其中在400摄氏度或更高的温度下,使用分解剂以及贵金属催化剂例如Pt、Rh、Pd、或Ru,从氨中生成氢。专利文件2描述了一种技术,其中在800摄氏度至900摄氏度之间,通过使用镍/铝催化剂,由氨气的分解产生氢。专利文件3描述了一种技术,其中在540摄氏度至630摄氏度之间,通过使用含有铝-氧化锆的催化剂,由氨分解生产氢。

[0004] 在被使用的传统方法中,通过使用不同的催化剂,在400摄氏度或更高的温度下,氨反应生成衍生自氨的氢。然而,这些方法需要昂贵的催化剂以及高温热源的使用,需要较高的费用方能产生氢。这些方法的另一问题是氨的残余。由于这些常用方法的问题,已寻找出有利的技术从而以更低的成本,以稳定的方式更高效地生成氢。

[0005] 现有技术文件

[0006] 专利文件

[0007] 专利文件1:日本特开专利申请No.2003-40602A

[0008] 专利文件2:日本特开专利申请No.2005-145748A

[0009] 专利文件3:日本特开专利申请No.2012-71291A

发明内容

[0010] 本发明所解决的技术问题

[0011] 为了解决这些问题,本发明具有提供由氨中高效地生成氢的氢生成装置的目标。本发明的另一目标是提供使用高效生成的氢来发电的燃料电池系统。

[0012] 解决技术问题的方案

[0013] 本发明提供一种用于由氨生成氢的氢生成装置。根据本发明的氢生成装置包括:等离子反应器;放置在等离子反应器内侧的高压电极,该高压电极与高压脉冲电源连接;与高压电极相对,放置在等离子反应器外侧位置上的接地电极;以及一用于供应含氨气体至等离子反应器的气体供应单元。高压电极包括一氢分离膜。根据本发明所示的氢生成装置中,高压电极在其自身和接地电极之间通过来自高压脉冲电源的电力放电,且放电导致由气体供应单元供应的气体中所含的氨转化为等离子体。由此,等离子体中的氢自由基被重

新结合从而生成氢。

[0014] 发明人发现放电可在室温及大气压下使得氨转化为等离子体,由此,发明人获得了本文所述的发明。氨等离子体分解为氢自由基以及氮自由基,且氢自由基重新结合生成氢。另一方面,氢自由基以及氮自由基很可能重新结合生成一定比例的氨。在根据本发明的氢生成装置中,高压电极的氢分离膜可迅速分离生成的氢,从而基本消除氨再生成的机会。因而本装置可有利地有效提取氢。

[0015] 根据本发明的氢生成装置,优选地,等离子反应器具有圆柱形的外形,且高压电极包括一具有圆柱形外形的氢分离膜,且与等离子反应器同心放置。这些构造的结果是,根据本发明的氢生成装置具有一形成在等离子反应器以及氢分离膜之间的放电空间,以及形成在氢分离膜内侧上的内腔室。气体供应单元与等离子反应器以及氢分离膜之间的放电空间连接,从而向放电空间供应含氨气体。通过由高压脉冲电源供应而来的电力,氢分离膜可用作带电高压电极,在氢分离膜以及接地电极之间放电。放电导致在放电空间中的氨转化为等离子体,并由此生成氢。氢分离膜传输流经的生成氢并引导氢至内腔室。

[0016] 本发明进一步提供一配备有燃料电池及氢生成装置的燃料电池系统。根据本发明的燃料电池系统的氢生成装置包括一等离子反应器、高压电极、接地电极、气体供应单元以及一氢流通通道。高压电极包括放置在等离子体反应器内侧的氢分离膜,并由此形成内腔室。氢分离膜与高压脉冲电源连接。接地电极以与氢分离膜相对的方式,放置在等离子反应器外侧的位置上。气体供应单元将含氨气体供应至等离子反应器及氢分离膜之间的放电空间。氢流通通道与由氢分离膜形成的内腔室连接。根据本发明的燃料系统,在高压电极以及接地电极之间的放电导致在放电空间中由气体供应单元供应的气体中所含的氨转化为等离子体,并由此生成氢。氢分离膜传输流经的生成氢并引导氢至内腔室。经由氢流通通道,引导至内腔室的氢被供应至燃料电池。

[0017] 优选地,根据本发明的燃料电池系统包括一废气引导通道,通过该通道,从燃料电池中排出的氢废气被引导入等离子反应器。氢生成装置的氢分离膜仅仅允许导入等离子反应器中的氢废气流经传送,并从而引导氢进入内腔室。根据本发明,氢可被从氢废气中分离,并随后供应至燃料电池。因而,系统有利地使得氢废气重复使用。

[0018] 本发明的效果

[0019] 经如上详细描述,根据本发明的氢生成装置可连续地在室温及常压(大气压)下由氨生成氢。

[0020] 通常需要在400°C-500°C之间的温度通过氢分离膜分离氢。另一方面,根据本发明的等离子反应器,可在等离子体的高电子温度下分离氢。因而,在不从等离子反应器的外侧施加400°C-500°C温度的情况下,氢能够被分离。

[0021] 根据本发明的氢生成装置并不需要任何昂贵的催化剂以生成氢。与现有技术相比,这样的装置的结构可并不昂贵,且相应地可在较低的成本下生产氢。此外,本装置,其中通过放电使得氨转化为等离子体并由此生成氢,可以相较使用催化反应生成氢以更快的速度生成氢。

[0022] 根据本发明的氢生成装置的优点在于,通过优化应用于高压电极的电压以及氨的流速,在源材料氨中所包含的氢可以氢气的形式 100%提取。利用该优点,本装置可非常有效地生产氢,并免除氨残余的额外步骤。

[0023] 根据本发明的燃料电池系统, 相较现有技术, 氢供应地更有效且更廉价, 可以更低成本生成电力。根据本发明的燃料电池系统, 通过使用氢生成装置再处理燃料电池中生成的氢废气, 并随后将由氢废气中分离出的氢供应回至燃料电池。因而, 该系统有利地可使氢废气再循环。

附图说明

[0024] 图1是说明根据本发明的一实施例的氢生成装置1的结构的垂直剖面示意图。

[0025] 图2是由高压脉冲电源施加至高压电极的电压的波形图。

[0026] 图3是说明当氨气流速为0.6L/min时, 具有高压电极的氢分离膜和不具有高压电极的氢分离膜的情况下, 不同氢产率的图。

[0027] 图4是说明当氨气流速为0.8L/min时, 具有高压电极的氢分离膜和不具有高压电极的氢分离膜的情况下, 不同氢产率的图。

[0028] 图5是根据实施例的燃料电池系统20的示意性框图。

具体实施方式

[0029] 以下将描述本发明的一优选实施例。

[0030] 1. 根据这一实施例的等离子反应器为大气压非平衡等离子反应器, 其中在室温及大气压下, 气态的氨可转化为大气压非平衡等离子体。等离子反应器可为圆柱形石英制反应器, 其特征在于, 其墙面作为固体电介质部件(绝缘体), 激发电介质阻挡层放电。

[0031] 2. 根据该实施例的高压电极包括氢分离膜以及支撑氢分离膜的支撑部件。氢分离膜的例子为钪合金膜、锆-镍(Zr-Ni)基合金膜、钒-镍(V-Ni)基合金膜、铌-镍(NbNi)基合金膜, 以及选自由铌(Nb)、镍(Ni)、钴(Co)以及钼(Mo)组成的集合中的至少一种金属, 以及选自由钒(V)、钛(Ti)、锆(Zr)、钽(Ta)以及铪(Hf)组成的集合中的至少一种金属制成的合金膜。钪合金膜是特别优选的根据本发明的氢分离膜的例子。氢分离膜可为选自以上所述一种金属制成的单一膜。氢分离膜可为选自以上所述金属中的两种金属的层压制品。氢分离膜可为选自例如为硅基分离膜、沸石基分离膜、聚酰亚胺分离膜以及聚砜分离膜的非金属氢分离膜, 在这种情况下, 支撑这些分离膜的支撑部件为带有合适地形成于内的孔的金属部件。

[0032] 3. 使用根据本实施例的氢生成装置的氢生成方法, 包括以一控制合适的流速及比例自气体供应单元供应氨气; 基于由气体供应单元供应地氨气的流速及比例, 调整供应至高压电极的, 由高压脉冲电源施加的电压的频率; 通过激发高压电极的氢分离膜以及接地电极间的放电, 在等离子反应器中生成大气压非平衡等离子体; 通过氢分离膜传送由大气压非平衡氨等离子体生成的氢气从而分离氢; 以及从氢生成装置中清除由大气压非平衡氨等离子体生成的氮气。

[0033] 4. 在大气压非平衡氨等离子体中生成通过以下反应式所示的反应:

[0034] $\text{NH}_3 + e \rightarrow \text{N} + \text{H} + \text{H}_2 + e$ (反应式1)

[0035] $\text{H} + \text{H} \rightarrow \text{H}_2$ (反应式2)

[0036] $\text{N} + \text{N} \rightarrow \text{N}_2$ (反应式3)

[0037] $\text{N} + 3\text{H} \rightarrow \text{NH}_3$ (反应式4)

[0038] 反应式1所示是等离子态中分解的氨的状态。反应式2所示是由重新结合的氢自由基(H)生产氢。反应式3所示是由重新结合的氮自由基(N)生成氮。反应式4所示是氨的再生成。在没有氢分离膜的情况下。将不可避免地如反应式4所示生成一定比例的氨。根据本实施例,通过氢分离膜生成的氢被迅速引导至在氢分离膜的内侧上的内腔室。因而,很难发生氨的再生成,且在氨中所含的氢最终以氢气的形式100%提取出。

[0039] 例子

[0040] 以下结合附图描述根据实施例的氢生成装置以及燃料电池系统的特定例子。

[0041] 例子1

[0042] 结合附图1-4,以下描述自氨中生成氢的氢生产装置以及使用氢生成装置的氢生产方法。图1所示为氢生产装置1,包括等离子反应器3、高压电极5、接地电极7,以及气体供应单元15。

[0043] 等离子反应器3是一圆柱形石英制反应器。高压电极5提供在等离子反应器3中。高压电极5包括氢分离膜12以及在其两端支撑氢分离膜12的盘状支撑部件13。高压电极5与高压脉冲电源2连接,且高压施加至高压电极5。根据本例子,氢分离膜12由钽合金形成。在等离子反应器3以及支撑部件13之间装配有O-型圈14,从而氢分离膜12与等离子反应器3的内壁同心放置。这些特征在等离子反应器3的内壁及氢分离膜12之间形成一放电空间4,沿着其整体长度,提供一均匀的间隔。在氢分离膜12的内壁上形成有内腔室6。内腔室6由氢分离膜12以及支撑部件13环绕形成一闭合空间。

[0044] 等离子反应器3的外直径为45mm,其长度为490mm。等离子反应器3的内壁以及氢分离膜12之间的间隔为1.5mm。

[0045] 与等离子反应器3的外侧接触的接地电极7以相对氢分离膜12的方式与氢分离膜12同心放置。氢分离膜12以及接地电极7相对彼此设置,且石英制等离子反应器3介于两者之间。相应地等离子反应器作为电介质部件使用,且施加至氢分离膜12的高压激发电介质阻挡层放电。

[0046] 气体供应通道9将气体供应单元15与放电空间4两者相互连通,从而从气体供应单元15供应含氨气体至放电空间4。气体供应单元15包括其内储存供应至等离子反应器3的气体的气体罐,设有阀门的气体混合单元,阀门例如为机动式阀门,以及在检测气压及供应气体组成的同时控制供应的气体的流速的控制单元。在本例中,来自气体供应单元15的气体为100%氨气。气体供应单元15也可提供100%氨气,以及含有氨以及例如为氮气的惰性气体的混合气体。

[0047] 高压脉冲电源2放置在等离子反应器3的外侧,并向高压电极5施加高压。如图2说明了在本例中通过高压脉冲电源2施加到高压电极5的电压的电压波形。图2的电压波形具有非常短的波形保留时间 T_0 , $10\mu s$,其被表征为高的电子能密度以及低的电力消耗。

[0048] 根据本例使用氢生成装置1的氢生产方法包括第一至第四步。第一步为通过气体供应通道9从气体供应单元15以一预定流速向放电空间4供应氨气的步骤。第二步为基于氨气的流速,调整高压脉冲电源2的电压及频率的步骤。根据本例,脉冲电源2的频率为10KHz。第三步是在接地电极7以及高压电极5的氢分离膜12之间生成电介质阻挡层放电从而在放电空间4中生成大气压非平衡氨等离子体的步骤。第四步为通过氢分离膜12将由大气压非平衡氨等离子体生成的氢气进行传送并引导分离的氢进入内腔室6的步骤。

[0049] 通常需要在400℃-500℃温度间,通过根据本例的由钽合金膜形成的氢分离膜12,分离氢。另一方面,根据本例,在等离子反应器 3中,氢分离在接近10000摄氏度的大气压非平衡等离子体的高电子温度下进行。根据本例,在不从等离子反应器的外侧施加400℃-500℃温度的情况下,氢能够通过氢分离膜12分离。

[0050] 为了在第四步中从放电空间4向内腔室6输送氢气,内腔室6 的内压通过图中未示出的泵被设为负压,泵安装在氢流通通道11中从而与内腔室6相连。

[0051] 图3是说明当自气体供应单元15供应的氨气流速为0.6升每分钟(0.6L/min),且施加电压为3.5KV至15.0KV之间时,氢产率变化的图表。基于以下所示反应式(反应式5),通过数学公式1计算衍生自氨的氢的含量(%)以示出氢产率。

[0052] $2\text{NH}_3 + e \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2 + e$ (反应式5)

[0053] 氢产率% = $(3 \times \text{反应器输出口处氢的摩尔流速: mol/min.}) \div (2 \times \text{反应器输入口处氨的摩尔流速: mol/min.}) \times 100$

[0054] 数学公式1

[0055] 在图3的图表中,带有白色三角标示的线所示为根据本例的氢生成装置1所获得的氢产率。施加的电压更高时,氢产率提高。当施加的电压为9.0kV或更高时,氢产率达到100%。

[0056] 图4是说明当自气体供应单元15供应的氨气流速为0.8升每分钟(0.8L/min),且施加电压为3.5KV至15.0KV之间时,氢产率变化的图表。在图4的图表中,带有白色三角标示的线所示为根据本例的氢生成装置1所获得的氢产率。在氨的流速为0.6升每分钟的情况下,当施加的电压更高时,氢产率提高。当施加的电压为9.0kV或更高时,氢产率达到100%。相较流速为0.8L/min时,当流速为0.6L/min时,低于9.0kV的施加电压所获得的氢产率更高。

[0057] 在图表3、4中进一步给出了对比例,带有矩形标示的线条均显示在高压电极以及内腔室中不具有氢分离膜的情况下,当通过等离子反应器自氨气生成氢时,氢产率-施加电压的关系。在氨气流速为 0.6升每分钟的对比例中,当施加电压为9.0kV时,氢产率为57.2%,且即使当施加电压增高至15.0kV时,氢产率为89.8%。在氨气流速为 0.8升每分钟的对比例中,当施加电压为9.0kV时,氢产率为33.0%,且即使当施加电压增高至15.0kV时,氢产率为62.7%。

[0058] 在对比例和例子1间的比较清楚地说明通过经由提供在高压电极5中的氢分离膜12选择性地引导氢进入内腔室6,可大大提高源自氨气的氢产率。这一卓越的效果是由于经由氢分离膜12分离的氢可迅速被引导至在氢分离膜12的内侧的内腔室,同时再生成氨的机会很难,且可有效地生成氢。在本例中,不考虑氨气流速,只要选择合适的施加电压,氨中所含有的氢最终以氢气的形式100%提取。根据例1,生成氢的能效为73.6mol-H₂/kWh,其相比较使用催化剂作为引起媒介的氢生产方法的结果要高得多。

[0059] 如前所详述,根据本例的氢生产装置1可在室温及常压(大气压)下连续地由氨生成氢。氢生产装置1可在不使用昂贵催化剂的情况下生成氢。与现有技术相比,这样的装置的结构可并不昂贵,且相应地可在较低的成本下生产氢。此外,本装置,其中通过放电使得氨转化为等离子体并由此生成氢,可以相比较使用催化反应生成氢更快的速度生成氢。根据例子1的氢生产装置1进一步的优点在于在源材料,氨,中所包含的氢可最终以氢气的形式100%提取。因而,不需要用于氨残留的额外步骤。

[0060] 例子2

[0061] 如图5中所示为提供有用于由氨生成氢的氢生成装置21的燃料电池系统20以及燃料电池31。燃料电池系统20的氢生成装置21具有高压脉冲电源2、等离子反应器3、放电空间4、高压电极5、内腔室6、接地电极7,以及气体供应单元15。装置的这些设备相较根据例子1的设备在尺寸上要大一些,不过其功能相同。因而,这些设备将不再累述而仅仅给出相同的附图标记。

[0062] 氢流通通道22使形成于高压电极5内侧的内腔室6以及燃料电池31彼此连通。一泵23安装于氢流通通道22中。一旦氢生成装置21 运行,泵23开始工作,从内腔室6的内侧抽气。在放电空间4中由源材料,氨,生产氢,氨通过气体供应单元15供应。生成的氢经由提供在高压电极5中的氢分离膜12传递并流入内腔室6。氢从其内流出进入氢流通通道22并输送至燃料电池31。

[0063] 根据本例,燃料电池系统20包括一废气引导通道24,用于将从燃料电池31释放出的氢废气导入等离子反应器3中的放电空间4。通过废气引导通道24引导进入放电空间4的氢废气中所含有的氢穿过提供在高压电极5中的氢分离膜12并通过内腔室6以及氢流通通道22供应至燃料电池31。将由燃料电池31释放出的氢废气中分离氢并将分离的氢供应至燃料电池31,本例可进一步改进发电的效率以及成本效果。

[0064] 在本例中所述的氢生成装置以及燃料电池可以可选地优化。例如,从气体供应单元15供应而来的气体并不需要限制为纯氨气,而是可选自含有氨气以及惰性气体的混合气。气体可为由液氨或尿素生成的纯氨或由含有氨和惰性气体的混合气中选择一种。在氨流速和 /或高压电极以及接地电极间的距离变化的情况下,合适地改变施加电压从而使氢产率与例子中获得的产率相当。

[0065] 工业实用性

[0066] 根据本发明的氢生成装置可有利地应用于分散式电能量产生设备,紧急供电设备,以及燃料电池汽车。

[0067] 附图标记说明

[0068] 1,21 氢生成装置

[0069] 2 高压脉冲电源

[0070] 3 等离子反应器

[0071] 4 放电空间

[0072] 5 高压电极

[0073] 6 内腔室

[0074] 7 接地电极

[0075] 9 气体供应通道

[0076] 11,22 氢流通通道

[0077] 12 氢分离膜

[0078] 13 支撑部件

[0079] 14 O-型圈

[0080] 15 气体供应单元

[0081] 20 燃料电池系统

- [0082] 23 泵
- [0083] 24 废气引导通道
- [0084] 31 燃料电池

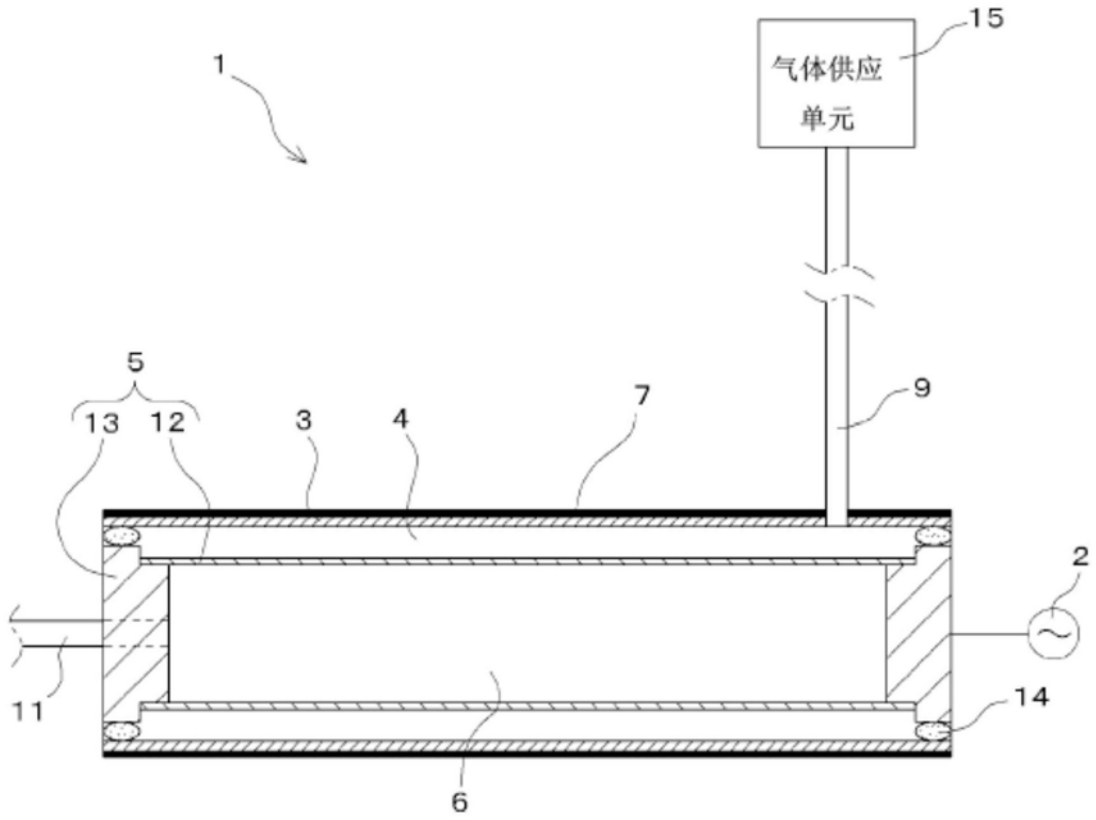


图1

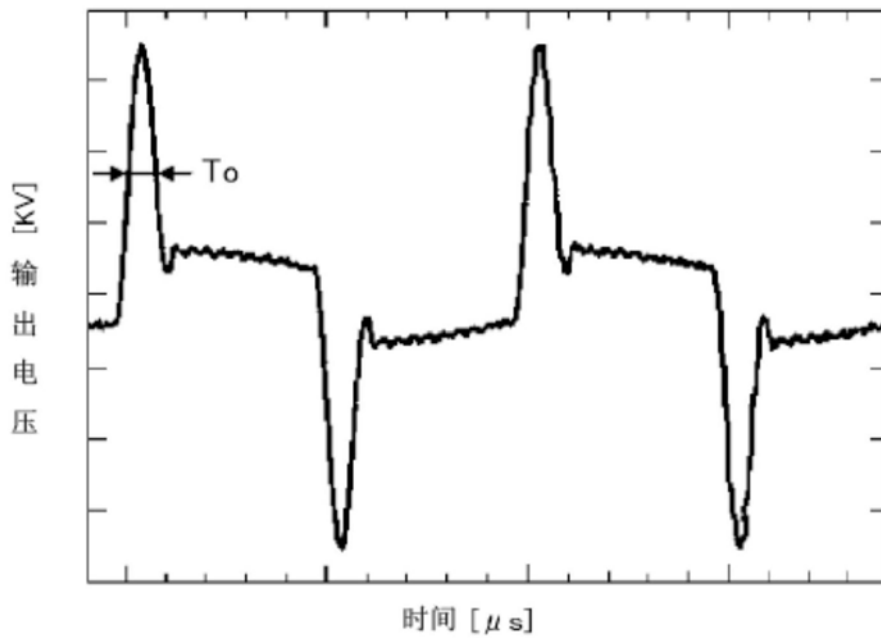


图2

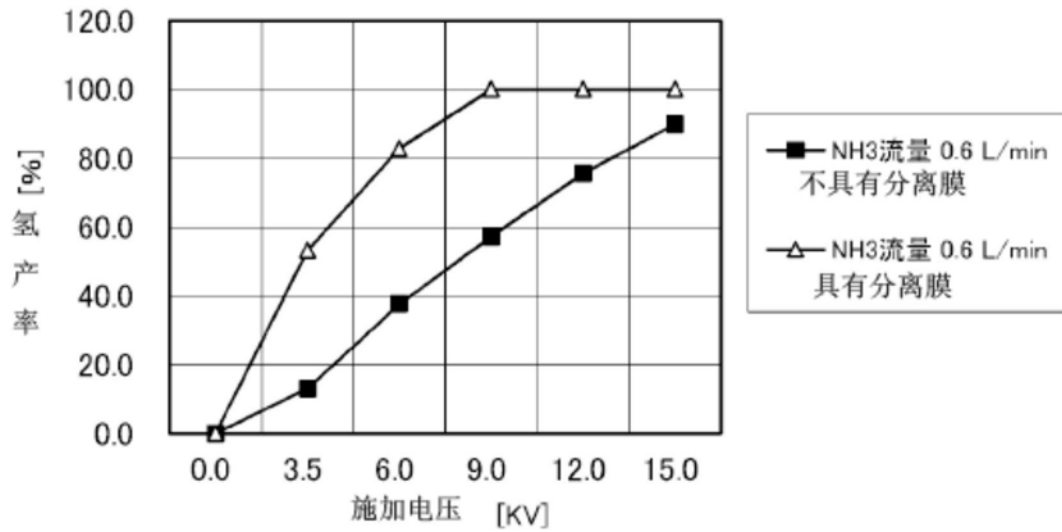


图3

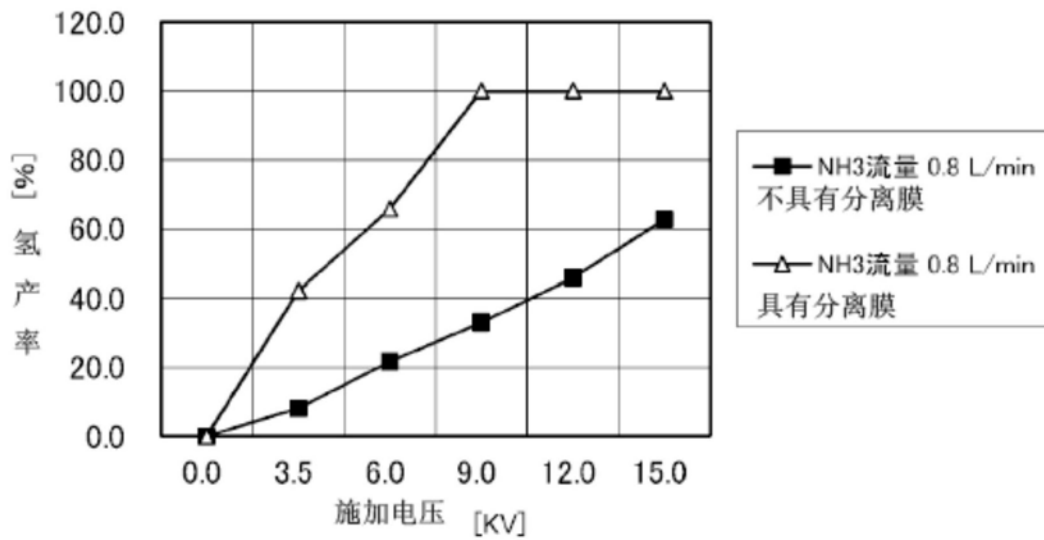


图4

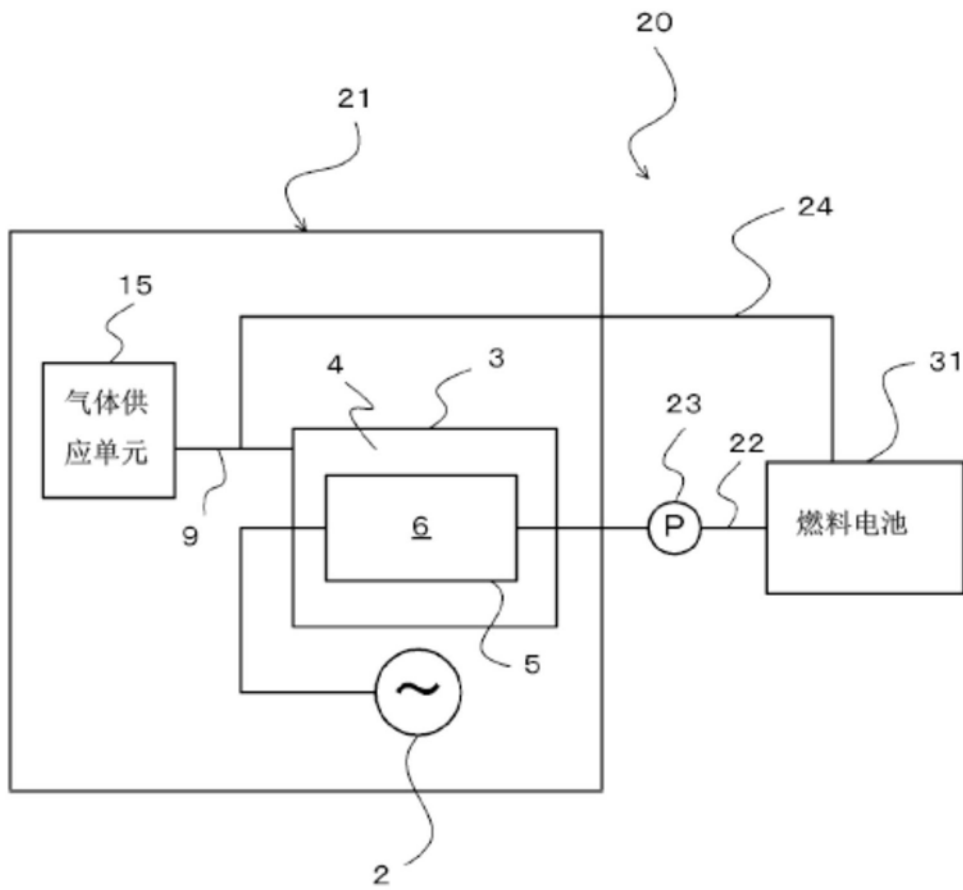


图5