



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116200765 A

(43) 申请公布日 2023. 06. 02

(21) 申请号 202211164511.8

C25B 3/07 (2021.01)

(22) 申请日 2022.09.23

C25B 3/26 (2021.01)

(71) 申请人 中国科学院过程工程研究所

地址 100190 北京市海淀区中关村北二街1号

申请人 惠州市绿色能源与新材料研究院

(72) 发明人 张香平 袁磊 曾少娟 江重阳

李鑫 白璐 董海峰 张锁江

(74) 专利代理机构 北京品源专利代理有限公司

11332

专利代理师 陈小龙

(51) Int. Cl.

C25B 11/032 (2021.01)

C25B 1/23 (2021.01)

C25B 3/03 (2021.01)

权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

计。

一种促进CO₂高效电还原的新型电极杆

(57) 摘要

本发明涉及一种促进CO₂高效电还原的新型电极杆,属于CO₂电化学技术领域。所述新型电极杆包括电极集流体部分、气体扩散通道部分和电极杆主体,其中电极集流体部分包括信号接头、内置导电丝、工作电极集流片、三维多孔工作电极;气体扩散通道部分包括气体进口、气体通道;电极杆主体包括上杆体与工作电极压帽,工作电极压帽与上杆体之间通过橡胶垫圈密封,避免CO₂气体外泄。本发明首次提出将工作电极、CO₂气路和电极杆一体化的思路,采用三维多孔材料作为工作电极和气体扩散层,使得气体须从三维多孔工作电极内部扩散至电解液体系,构建CO₂-电解液-电极气液固三相反应界面,改变CO₂传输路径,提高电极表面CO₂浓度,较传统CO₂溶解扩散方式显著增强了CO₂传质效率,提升还原电流密度,同时克服了传统反应器电解液中CO₂溶解度低造成大部分气体未反应、转化效率低等问题,是一种极具应用潜力的反应器核心元件设

1. 一种促进CO₂高效电还原的新型电极杆,其特征在于:所述新型电极杆包括电极集流体部分、气体扩散通道部分和电极杆主体。在典型流动型或间歇型CO₂电还原反应器中,该电极杆下端放置在电解液中,信号接头、内置导电丝、工作电极集流片、三维多孔工作电极组成新型电极杆的集流体部分,通过信号接头外接工作站;气体扩散通道部分包括气体接口和气体通道,通过外接CO₂气体质量流量计控制气体进入,CO₂气体经气体通道连通至出口处的三维多孔工作电极,CO₂经电极内部扩散并与电解液接触,促进形成CO₂-电解液-电极三相反应界面,通过进一步获得电子被还原成高附加值化学品。

2. 如权利要求1中所述的新型电极杆,其特征在于:所述电极杆主体包括上杆体与工作电极压帽,工作电极压帽与上杆体之间通过橡胶垫圈密封,避免CO₂气体外泄,使得CO₂通过三维多孔工作电极扩散至电解液参与电还原反应。

3. 如权利要求1中所述的新型电极杆,其特征在于:所述电极杆主体安装时,工作电极压帽与上杆体通过压力按压在一起,并将三维多孔工作电极固定在气体通道出口处,同时与工作电极集流片接触形成通路。通过调节按压压力的大小可设置三维多孔工作电极的扩散层厚度范围为0.1~5mm以及电极杆同比例放大的任何厚度。

4. 如权利要求1中所述的新型电极杆,其特征在于:所述典型流动型或间歇型CO₂电还原反应器,离子交换膜将反应器分为阳极和阴极两室,阳极采用质子供体溶液作为电解液,析氧电极作为对电极,阴极采用金属盐水溶液作为电解液,参比电极任选,新型电极杆作为工作电极放置在阴极电解液中,CO₂通过新型电极杆通入并扩散至三维多孔工作电极与电解液界面处发生还原反应。

5. 如权利要求1中所述的新型电极杆,其特征在于:电极杆下端放置在阴极电解液中,使得CO₂电还原过程中工作站—信号接头—内置导电丝—工作电极集流片—三维多孔工作电极—阴极电解液—阳极电解液—对电极—工作站形成闭合回路。

6. 如权利要求1中所述的新型电极杆,其特征在于:所述信号接头一端外接工作站,另一端连接上杆体内部的内置导电丝。

7. 如权利要求1中所述的新型电极杆,其特征在于:所述内置导电丝一端连接信号接头,另一端连接工作电极集流片。

8. 如权利要求1中所述的新型电极杆,其特征在于:所述工作电极集流片形状呈圆环形,宽度为0.1~10mm以及电极杆同比例放大的任何尺寸,圆环一面连接内置导电丝并固定在气体通道出口处,其内径与气体通道直径相同,另一面接触固定的三维多孔工作电极。

9. 如权利要求1中所述的新型电极杆,其特征在于:所述三维多孔工作电极,形状呈圆柱形,直径 ϕ 为5~25mm以及电极杆同比例放大的任何尺寸,厚度设置范围0.1~5mm以及电极杆同比例放大的任何尺寸,被工作电极压帽固定在气体通道出口处,并随新型电极杆下端放置在阴极电解液中,三维多孔工作电极的上表面与工作电极集流片接触,其它部分与阴极电解液接触,气体通道通入的CO₂在三维多孔工作电极内部扩散进行电还原反应。

10. 如权利要求1中所述的新型电极杆,其特征在于:所述三维多孔工作电极,可根据不同产物需求可拆卸更换三维多孔工作电极,如泡沫Ag、Pb@三维多孔钛纤维或泡沫Cu等,CO₂电还原过程为: $\text{CO}_2 + n\text{e}^- + n\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{CO/甲酸盐/草酸盐/醇类/烯烃类} + \text{H}_2\text{O}$ 。

11. 如权利要求1中所述的新型电极杆,其特征在于:所述气体通道一端连接气体接口,另一端连接三维多孔工作电极。

12. 如权利要求1中所述的新型电极杆,其特征在于:所述高附加值化学品如CO、甲酸盐、草酸盐、醇类以及烯烃化合物等。

一种促进CO₂高效电还原的新型电极杆

技术领域

[0001] 本发明属于CO₂电化学技术领域,具体涉及一种将电极集流体、CO₂气路和电极杆集成一体的高效电还原的新型电极杆,该新型电极杆使得CO₂气体从三维多孔工作电极内部扩散至电解液体系,构建新型的气液固(CO₂-电解液-电极)三相反应界面,强化电极表面CO₂浓度,相较于传统的CO₂溶解扩散方式,显著增强了CO₂传质效率,提升CO₂电还原过程体系电流密度。此外,由于所有CO₂气体均需通过三维多孔工作电极内部扩散至电解液,极大提高了CO₂电还原单程转化率,克服了传统反应器电解液中CO₂溶解度低造成大部分CO₂气体未参与反应、转化效率低等问题。

背景技术

[0002] 自工业革命以来,人类过度依赖化石能源造成大量CO₂排放进入大气环境中。2021年12月,大气中CO₂浓度首次超过415ppm,远远超过工业革命前期280ppm的大气CO₂浓度。CO₂浓度变化已造成全球温升接近2℃,给人类生活带来了严重的威胁。然而,CO₂也是一种重要且廉价的C1资源,可通过化学还原方法进一步转化获得CO、酸类、醇类、烯烃类等重要化学品。电化学还原法由于其反应条件相对温和,且随着可再生电能规模的不断扩大,该方法为低成本、大规模、经济性活化转化CO₂提供了可持续发展路径,也使得CO₂电化学还原转化的研究成为全球热点。

[0003] 目前,关于CO₂电还原研究主要集中在实验室规模,常采用H型电解池进行研究。该类型电解池通过离子交换膜将电解池分为阴极室和阳极室,CO₂电还原的过程中气体经过鼓泡进入阴极电解液,而后扩散至电极表面参与反应,这种CO₂溶解扩散的传质方式受溶解度等条件限制,造成反应体系的电流密度较低。如中国发明专利CN110273164A报道了CO₂在H型电解池中进行电还原制草酸盐的研究,由于电解池结构及CO₂传质效率低,反应体系的电流密度均低于10mA cm⁻²;中国发明专利CN113430567A报道了一种碳纳米管负载的金纳米簇催化剂的制备方法并在H型电解池中进行性能测试,由于水溶液中低的CO₂溶解度及传质的限制,在95%最佳CO法拉第效率条件下电流密度仅为2mA cm⁻²。除了较低电流密度外,大部分鼓泡通入阴极室的CO₂气体因未能传质至电极附近参与电还原反应而被直接排出,造成CO₂单程转化率低于20%。综上,H型电解池中较差的CO₂传质效率造成低的反应电流密度和CO₂单程转化率,严重限制了其规模应用。

[0004] 为解决H型电解池中的CO₂传质问题,气体扩散电极(gas diffusion electrode, GDE)被开发并用于强化CO₂传质提升电极表面CO₂浓度。GDE采用碳纸作为基底,将催化剂喷涂在碳纸上作为工作电极,喷涂催化剂的一面接触阴极电解液,另一面则面向CO₂气体室,气体室中CO₂通过碳纸的气体扩散层扩散至催化剂与电解液表面进行电还原反应。GDE的设计显著提升了CO₂传质效率,反应体系的电流密度获得显著的提高。如文献Green Chem. (2021, 23, 5461-5466)中将催化剂喷涂在碳纸上,使用GDE进行CO₂电还原,在234.3mA cm⁻²电流密度条件下实现了98.7%CO产物法拉第效率。尽管该类电极一定程度上解决了传统H型电解池中CO₂传质问题,但由于气体室中气体进口与出口处的压降变化不能保证所有CO₂

气体扩散至催化剂与电解液表面参与反应,其中大部分 CO_2 并未参与反应造成单程转化率仅维持在20~30%。此外,由于GDE两侧气体室与阴极电解液层的压力差,在大电流密度下GDE很快会被阴极电解液“淹没”,阻止 CO_2 气体扩散造成电还原性能下降、稳定性较差等,同样不利于 CO_2 电还原规模化应用。因此,如何解决反应器中 CO_2 传质、单程转化率及工作电极稳定性等问题,是推动该技术规模化应用的关键。

发明内容

[0005] 针对以上 CO_2 电还原技术存在的难题,本发明提出了一种促进 CO_2 高效电还原的新型电极杆,该新型电极杆将传统反应器中的工作电极、 CO_2 气路和电极杆部分集成一体,并采用三维多孔材料作为工作电极和气体扩散层,使得 CO_2 气体从三维多孔工作电极内部扩散至电解液体系,且由于三维多孔工作电极上方的 CO_2 气体压力,不存在电解液“淹没”工作电极造成稳定性下降的问题,同时具有 CO_2 传质效率高,单程转化率显著提升的优点。

[0006] 实现本发明的具体技术方案如下:

[0007] 一种促进 CO_2 高效电还原的新型电极杆,包括电极集流体部分、气体扩散通道部分和电极杆主体。在典型流动型或间歇型 CO_2 电还原反应器中,该电极杆下端放置在阴极电解液中,信号接头、内置导电丝、工作电极集流片、三维多孔工作电极组成集流体部分,通过信号接头外接工作站为 CO_2 电还原供应电子;气体扩散通道部分包括气体接口和气体通道,通过外接 CO_2 气体质量流量计控制气体进入, CO_2 气体经气体通道连通至出口处的三维多孔工作电极, CO_2 经电极内部扩散并与电解液接触,促进形成 CO_2 -电解液-电极三相反应界面,通过进一步获得电子被还原成高附加值化学品。

[0008] 可选地,所述电极杆主体包括上杆体与工作电极压帽,工作电极压帽与上杆体之间通过橡胶垫圈密封,避免 CO_2 气体外泄,使得 CO_2 通过三维多孔工作电极扩散至电解液参与电还原反应。

[0009] 可选地,所述电极杆主体安装时,工作电极压帽与上杆体通过压力按压在一起,并将三维多孔工作电极固定在气体通道出口处,同时与工作电极集流片接触形成通路。通过调节按压压力的大小可设置三维多孔工作电极的扩散层厚度范围为0.1~5mm以及电极杆同比例放大的任何厚度。

[0010] 可选地,所述典型流动型或间歇型 CO_2 电还原反应器,离子交换膜将反应器分为阳极和阴极两室,阳极采用质子供体溶液作为电解液,析氧电极作为对电极,阴极采用金属盐水溶液作为电解液,参比电极任选,新型电极杆作为工作电极放置在阴极电解液中, CO_2 通过新型电极杆通入并扩散至三维多孔工作电极与电解液界面处发生还原反应。

[0011] 可选地,电极杆下端放置在阴极电解液中,使得 CO_2 电还原过程中工作站—信号接头—内置导电丝—工作电极集流片—三维多孔工作电极—阴极电解液—阳极电解液—对电极—工作站形成闭合回路。

[0012] 可选地,所述信号接头一端外接工作站,另一端连接上杆体内部的内置导电丝。

[0013] 可选地,所述内置导电丝一端连接信号接头,另一端连接工作电极集流片。

[0014] 可选地,所述工作电极集流片形状呈圆环形,宽度为0.1~10mm以及电极杆同比例放大的任何尺寸,圆环一面连接内置导电丝并固定在气体通道出口处,其内径与气体通道直径相同,另一面接触固定的三维多孔工作电极。

[0015] 可选地,所述三维多孔工作电极,形状呈圆柱形,直径 Φ 为5~25mm以及电极杆同比例放大的任何尺寸,厚度设置范围0.1~5mm以及电极杆同比例放大的任何尺寸,被工作电极压帽固定在气体通道出口处,并随新型电极杆下端放置在阴极电解液中,三维多孔工作电极的上表面与工作电极集流片接触,其它部分与阴极电解液接触,气体通道通入的 CO_2 在三维多孔工作电极内部扩散进行电还原反应。

[0016] 可选地,所述三维多孔工作电极,可根据不同产物需求可拆卸更换三维多孔工作电极,如泡沫Ag、Pb@三维多孔钛纤维或泡沫Cu等, CO_2 电还原过程为: $\text{CO}_2 + n\text{e}^- + n\text{H}^+ \Rightarrow \text{CO/甲酸盐/草酸盐/醇类/烯烃类} + \text{H}_2\text{O}$ 。

[0017] 可选地,所述气体通道一端连接气体接口,另一端连接三维多孔工作电极。

[0018] 可选地,所述高附加值化学品如CO、甲酸盐、草酸盐、醇类以及烯烃化合物等。

[0019] 本发明的有益效果是:

[0020] (1) 本发明首次提出了将传统反应器中的工作电极、 CO_2 气体管路和电极杆部分集成一体的思路,并采用三维多孔材料作为工作电极和气体扩散层,使得 CO_2 气体从三维多孔工作电极内部扩散至电解液体系,促进构建气液固(CO_2 -电解液-电极)三相反应界面,强化工作电极表面 CO_2 浓度,相较于传统的 CO_2 鼓泡溶解扩散方式,显著增强了 CO_2 传质效率,提升 CO_2 电还原体系电流密度。

[0021] (2) 本发明使 CO_2 气体均需在新式电极杆中通过三维多孔工作电极内部扩散至电解液进行反应,克服了传统反应器电解液中 CO_2 溶解度造成大部分 CO_2 气体未参与反应、转化效率低的难题,能够显著提升 CO_2 电还原过程的单程转化率。

[0022] (3) 本发明采用三维多孔结构材料既作为工作电极同时充当气体扩散层作用,具有低成本的特点,同时由于三维多孔工作电极上方相连的气体通道中 CO_2 的气体压力,不存在传统气体扩散电极中出现电解液“淹没”造成电还原性能下降的问题,在较高的电流密度条件下具有优异的稳定性,表现出巨大的工业应用前景。

附图说明

[0023] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其它的附图。

[0024] 图1为本发明的内部结构示意图;

[0025] 图2为本发明的俯视视角示意图;

[0026] 图3为本发明的底部视角示意图;

[0027] 图4为本发明的整体外观示意图;

[0028] 图5为本发明在反应器中应用的结构示意图;

[0029] 图6为传统反应器作为对比例的结构示意图。

具体实施方式

[0030] 以下通过具体实施例对本发明的技术方案作更为详细的描述,但本发明并不限于以下实施例,在不脱离前后所述的范围内,变化实施都包含在本发明的技术范围内。

[0031] 其中,附图仅用于示例性说明,表示的仅是示意图,而非实物图,不能理解为对本发明的限制;为了更好地说明本发明的实施例,附图某些部件会有省略、放大或缩小,并不代表实际产品的尺寸;对本领域技术人员来说,附图中某些公知结构及其说明可能省略是可以理解的。

[0032] 请参阅图1-图5,附图中的元件标号分别表示为:信号接头1、内置导电丝2、工作电极集流片3、三维多孔工作电极4、气体接口5、气体通道6、上杆体7、工作电极压帽8、橡胶垫圈9。

[0033] 本发明涉及一种促进 CO_2 高效电还原的新型电极杆,包括电极集流体部分(1-4)、气体扩散通道部分(5-6)和电极杆主体(7-8)。在典型流动型或间歇型 CO_2 电还原反应器中,该电极杆下端放置在阴极电解液中,信号接头1、内置导电丝2、工作电极集流片3、三维多孔工作电极4组成集流体部分,通过信号接头1外接辰华CHI660e电化学工作站为 CO_2 电还原供应电子;气体扩散通道部分包括气体接口5和气体通道6,通过外接 CO_2 气体质量流量计控制气体进入, CO_2 气体经气体通道连通至出口处的三维多孔工作电极4, CO_2 经电极内部扩散并与电解液接触,促进构建 CO_2 -电解液-电极气液固三相反应界面,通过进一步获得电子被还原成高附加值化学品。

[0034] 在本实施例中,优选地,所述电极杆主体包括上杆体7与工作电极压帽8,其材质采用聚四氟乙烯(PTFE),工作电极压帽与上杆体之间通过橡胶垫圈密封,避免 CO_2 气体外泄,使得 CO_2 通过三维多孔工作电极4扩散至电解液参与电还原反应。

[0035] 在本实施例中,优选地,所述电极杆主体安装时,工作电极压帽8与上杆体7通过压力按压在一起,并将三维多孔工作电极4固定在气体通道6出口处,同时与工作电极集流片3接触形成通路。所采用的三维多孔工作电极4的扩散层厚度为1mm。

[0036] 在本实施例中,优选地,所述信号接头1材质为纯铜,尺寸为直径 Φ 为2mm铜制信号接头,其中一端外接辰华CHI660e电化学工作站电极夹,另一端连接上杆体7内部的内置导电丝2。

[0037] 在本实施例中,优选地,所述内置导电丝2材质为纯银,尺寸直径 Φ 为1mm内置导电银丝,其中一端连接铜制信号接头1,另一端连接工作电极集流片3。

[0038] 在本实施例中,优选地,所述工作电极集流片3材质为纯银,形状呈圆环形,宽度为2mm,圆环一面连接内置导电银丝2并固定在气体通道6出口处,其内径与气体通道6直径相同,另一面接触固定的三维多孔工作电极4。

[0039] 在本实施例中,优选地,采用H型 CO_2 电还原间歇反应器,Nafion117质子交换膜将反应器分为阳极和阴极两室,阳极采用0.1M H_2SO_4 作为电解液,采用 IrO_2/Ti 网作为对电极,阴极采用0.5M KHCO_3 水溶液作为电解液,采用 Ag/AgCl 作为参比电极,新型电极杆作为工作电极沉浸在0.5M KHCO_3 水溶液电解液中, CO_2 通过气体接口5通入气体通道6并扩散至三维多孔工作电极4与电解液界面处发生还原反应。

[0040] 在本实施例中,优选地,电极杆下端沉浸在0.5M KHCO_3 水溶液电解液中,使得 CO_2 电还原过程中辰华CHI660e电化学工作站—铜制信号接头1—内置导电银丝2—工作电极集流片3—三维多孔工作电极4—0.5M KHCO_3 阴极电解液—0.1M H_2SO_4 阳极电解液— IrO_2/Ti 网对电极—辰华CHI660e电化学工作站形成闭合回路。

[0041] 在本实施例中,优选地,所述三维多孔工作电极4,形状呈圆柱形,直径 Φ 为15mm,

厚度设置范围1mm,被工作电极压帽8固定在气体通道6出口处,并随新型电极杆下端放置在阴极电解液中,三维多孔工作电极4的上表面与工作电极集流片3接触,其它部分与阴极电解液接触,电解液中暴露的有效几何活性面积为 1cm^2 ,直径 Φ 为11.3mm,气体通道6通入的 CO_2 在三维多孔工作电极4内部扩散进行电还原反应。

[0042] 在本实施例中,优选地,所述三维多孔工作电极4,采用三维金属泡沫材料或三维多孔材料基底上电镀催化剂材料,根据不同产物需求可拆卸更换三维多孔工作电极4,本实施例分别采用泡沫Ag、Pb@三维多孔钛纤维或泡沫Cu作为三维多孔工作电极4,并在实施例1-3中进行详细说明。

[0043] 在本实施例中,优选地,所述气体通道6一端连接气体接口5,另一端连接三维多孔工作电极4,其内径采用五五等分的6mm变11.3mm的变径通道,用于调节三维多孔工作电极4出口气流大小。

[0044] 在本实施例中,优选地,所述 CO_2 气体质量流量计控制为 30mL min^{-1} 。

[0045] 在本实施例中,优选地,所述高附加值化学品如CO、甲酸盐和C2烯烃产物,以实施例1-3详细说明。

[0046] 对比例:将实施例中的新型电极杆(附图5)替换为传统的二维片状电极作为工作电极和单通鼓泡式的 CO_2 气体管路(附图6),其它实验与操作条件与实施例中完全一致。在相同的实验操作条件下,在获得相同产物法拉第效率的同时,采用本发明的电极杆能够获得更高的电流密度和 CO_2 单程转化率,且具有较好的电还原稳定性,说明本发明所设计的新电极杆能有效强化 CO_2 的传质,增强电极表面 CO_2 浓度,提高 CO_2 单程转化率的趋势。

[0047] 实施例1

[0048] 在H型 CO_2 电还原间歇反应器中,采用Nafion117质子交换膜将反应器分为阳极室和阴极室,阳极采用0.1M H_2SO_4 水溶液作为电解液,并采用 IrO_2 @Ti网作为对电极,阴极采用0.5M KHCO_3 水溶液作为电解液,工作电极与 CO_2 气路采用本发明设计的新电极杆集成一体, CO_2 质量流量计设置流量为 30mL/min ,采用直径 Φ 为15mm,厚度为1mm的泡沫Ag作为三维多孔工作电极并安装在新型电极杆的4位置处,其中暴露的活性几何面积为 1cm^2 ,体系采用Ag/AgCl作为参比电极,使用辰华CHI660e电化学工作站在-1.5~-2.5V电位条件下测试 CO_2 电还原制CO产物电化学性能,气体产物通过气相色谱在线检测,液体产物通过核磁定标分析。

[0049] 实施例2

[0050] 在H型 CO_2 电还原间歇反应器中,采用Nafion117质子交换膜将反应器分为阳极室和阴极室,阳极采用0.1M H_2SO_4 水溶液作为电解液,并采用 IrO_2 @Ti网作为对电极,阴极采用0.5M KHCO_3 水溶液作为电解液,工作电极与 CO_2 气路采用本发明设计的新电极杆集成一体, CO_2 质量流量计设置流量为 30mL/min ,采用直径 Φ 为15mm,厚度为1mm的Pb@三维多孔钛纤维作为三维多孔工作电极并安装在新型电极杆的4位置处,其中暴露的活性几何面积为 1cm^2 ,体系采用Ag/AgCl作为参比电极,使用辰华CHI660e电化学工作站在-1.5~-2.5V电位条件下测试 CO_2 电还原制甲酸盐产物电化学性能,气体产物通过气相色谱在线检测,液体产物通过核磁定标分析。

[0051] 实施例3

[0052] 在H型 CO_2 电还原间歇反应器中,采用Nafion117质子交换膜将反应器分为阳极室

和阴极室,阳极采用0.1M H_2SO_4 水溶液作为电解液,并采用 IrO_2/Ti 网作为对电极,阴极采用0.5M KHCO_3 水溶液作为电解液,工作电极与 CO_2 气路采用本发明设计的新型电极杆集成一体, CO_2 质量流量计设置流量为30mL/min,采用直径 ϕ 为15mm,厚度为1mm的泡沫Cu作为三维多孔工作电极并安装在新型电极杆的4位置处,其中暴露的活性几何面积为 1cm^2 ,体系采用 Ag/AgCl 作为参比电极,使用辰华CHI660e电化学工作站在-1.5~-2.5V电位条件下测试 CO_2 电还原制C2烯烃产物电化学性能,气体产物通过气相色谱在线检测,液体产物通过核磁定标分析。

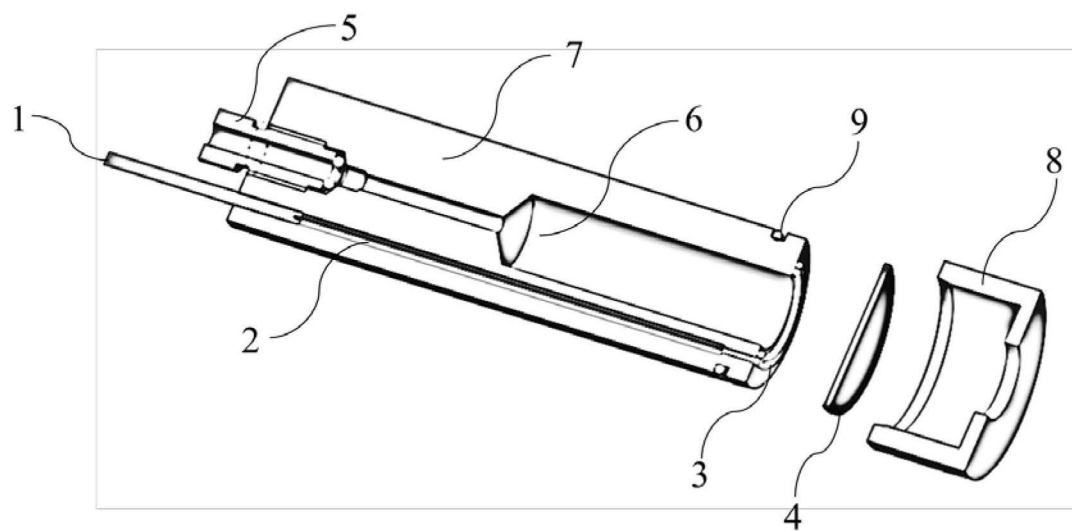


图1

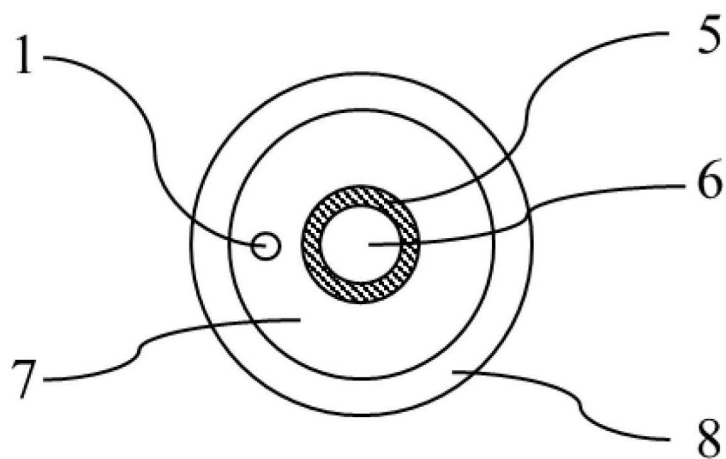


图2

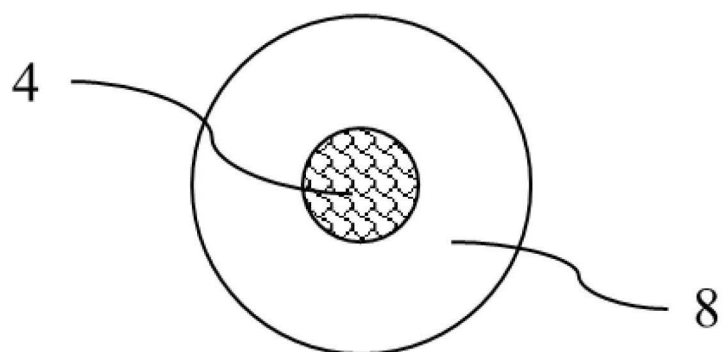


图3



图4

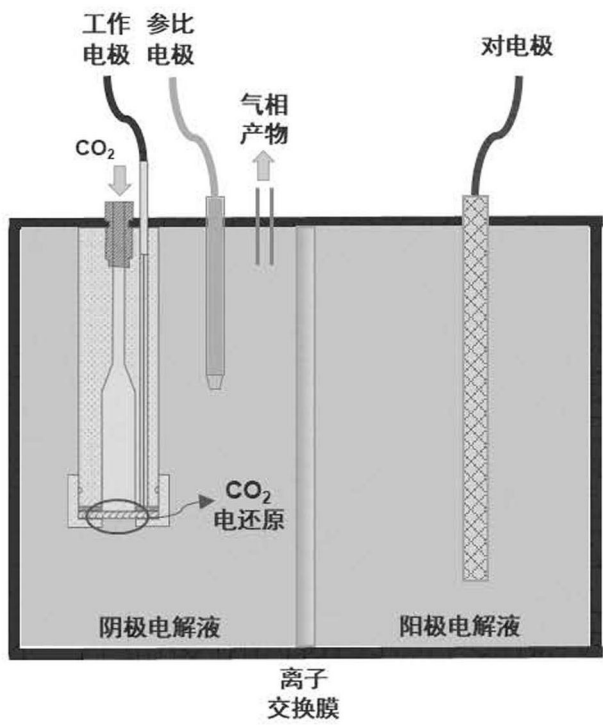


图5

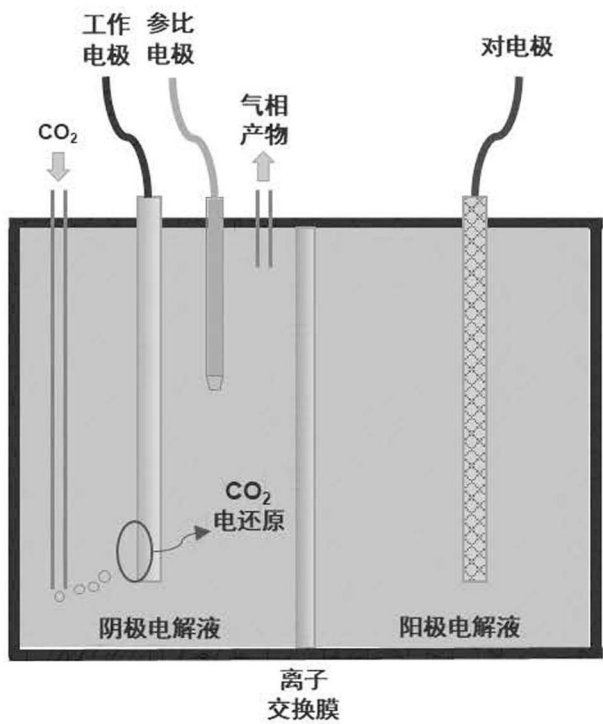


图6