



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公開本

(11) 公開編號：TW 201640727 A

(43) 公開日：中華民國 105 (2016) 年 11 月 16 日

(21) 申請案號：105103585 (22) 申請日：中華民國 105 (2016) 年 02 月 03 日  
 (51) Int. Cl. : *H01M8/12 (2016.01)* *B01D53/32 (2006.01)*  
 (30) 優先權：2015/02/04 美國 62/111,875  
 (71) 申請人：博隆能源股份有限公司 (美國) BLOOM ENERGY CORPORATION (US)  
 美國  
 美國俄亥俄州創新基金會 (美國) OHIO STATE INNOVATION FOUNDATION  
 (US)  
 美國  
 (72) 發明人：賈斯達 麥可 GASDA, MICHAEL (US)；波勒汀 艾恩 BALLANTINE, ARNE  
 (US)；卡盧波亞 奇卡林格 KARUPPAIAH, CHOCKKALINGAM (US)；何 文  
 壽 HO, W. S. WINSTON (US)  
 (74) 代理人：陳長文  
 申請實體審查：無 申請專利範圍項數：31 項 圖式數：11 共 45 頁

## (54) 名稱

二氧化碳分離器，包含其之燃料電池系統及燃料電池系統之操作方法

CARBON DIOXIDE SEPARATOR, FUEL CELL SYSTEM INCLUDING SAME, AND METHOD OF OPERATING THE FUEL CELL SYSTEM

## (57) 摘要

本發明揭示一種其中將高溫燃料電池堆疊排放流往回收至高溫燃料電池堆疊之燃料入口流中之系統及方法。該所回收流可被運送至將二氧化碳自該燃料排放流分離之二氧化碳分離器。該二氧化碳分離器可包含二氧化碳分離膜、氧氣阻隔膜及水阻隔膜。

A system and method in which a high temperature fuel cell stack exhaust stream is recycled back into the fuel inlet stream of the high temperature fuel cell stack. The recycled stream may be sent to a carbon dioxide separator that separates carbon dioxide from the fuel exhaust stream. The carbon dioxide separator may include a carbon dioxide separation membrane, an oxygen blocking membrane, and a water blocking membrane.

指定代表圖：

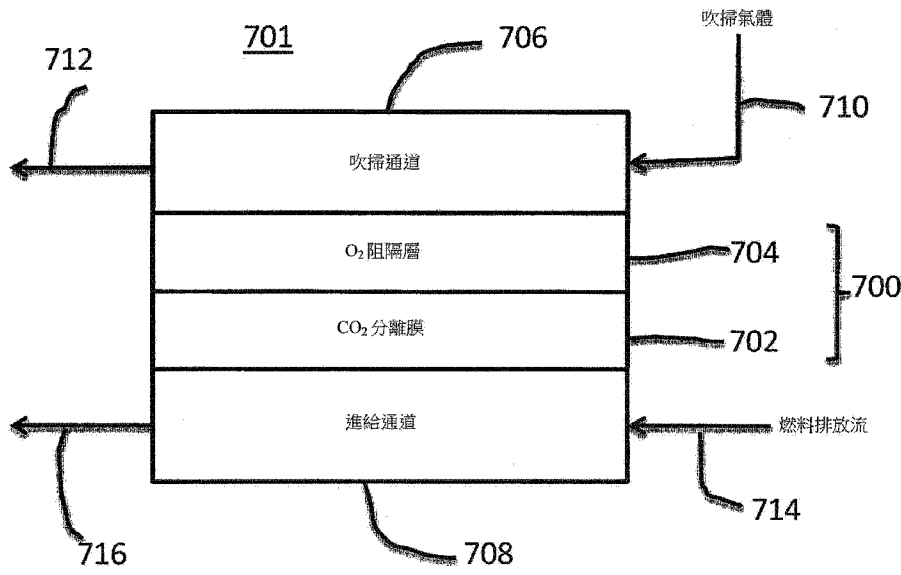


圖 7

符號簡單說明：

- 700 . . . 雙層膜結構/膜結構
- 701 . . . 二氧化碳分離器
- 702 . . . 二氧化碳分離膜/膜
- 704 . . . 氧氣阻隔層
- 706 . . . 吹掃通道
- 708 . . . 進給通道
- 710 . . . 吹掃氣體供應導管
- 712 . . . 吹掃氣體排放導管
- 714 . . . 第一回收導管
- 716 . . . 第二回收導管

## 發明摘要

※ 申請案號： 105103585

※ 申請日： 105.2.3

※IPC 分類： H01M8/12 (2016.01)  
B01D 53/32 (2006.01)

## 【發明名稱】

二氧化碳分離器，包含其之燃料電池系統及燃料電池系統之操作方法

CARBON DIOXIDE SEPARATOR, FUEL CELL SYSTEM  
INCLUDING SAME, AND METHOD OF OPERATING THE FUEL  
CELL SYSTEM

## 【中文】

本發明揭示一種其中將高溫燃料電池堆疊排放流往回回收至高溫燃料電池堆疊之燃料入口流中之系統及方法。該所回收流可被運送至將二氧化碳自該燃料排放流分離之二氧化碳分離器。該二氧化碳分離器可包含二氧化碳分離膜、氧氣阻隔膜及水阻隔膜。

## 【英文】

A system and method in which a high temperature fuel cell stack exhaust stream is recycled back into the fuel inlet stream of the high temperature fuel cell stack. The recycled stream may be sent to a carbon dioxide separator that separates carbon dioxide from the fuel exhaust stream. The carbon dioxide separator may include a carbon dioxide separation membrane, an oxygen blocking membrane, and a water blocking membrane.

**【代表圖】**

**【本案指定代表圖】**：第（7）圖。

**【本代表圖之符號簡單說明】**：

- 700 雙層膜結構/膜結構
- 701 二氧化碳分離器
- 702 二氧化碳分離膜/膜
- 704 氧氣阻隔層
- 706 吹掃通道
- 708 進給通道
- 710 吹掃氣體供應導管
- 712 吹掃氣體排放導管
- 714 第一回收導管
- 716 第二回收導管

**【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】**：

無

# 發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

## 【發明名稱】

二氧化碳分離器，包含其之燃料電池系統及燃料電池系統之操作方法

CARBON DIOXIDE SEPARATOR, FUEL CELL SYSTEM  
INCLUDING SAME, AND METHOD OF OPERATING THE FUEL  
CELL SYSTEM

## 【先前技術】

本發明之態樣一般而言係關於二氧化碳分離器，包含其之燃料電池系統及燃料電池系統之操作方法。

燃料電池係可將燃料中所儲存之能量轉化為電能效率之電化學裝置。高溫燃料電池包含固態氧化物燃料電池(SOFC)及熔融碳酸鹽燃料電池。此等燃料電池可使用氫燃料及/或烴燃料來操作。存在若干種類之燃料電池，諸如固態氧化物再生燃料電池，該等固態氧化物再生燃料電池亦允許反向操作，使得可使用電能作為輸入而將經氧化燃料往回還原為未經氧化燃料。

使用二氧化碳分離器自SOFC系統之陽極排放流移除CO<sub>2</sub>可改良效率。亦應精確控制水自該系統之移除以產生適當「水平衡」。另外，諸多二氧化碳分離器包含對氧氣及水損失敏感之膜。

## 【發明內容】

根據各種實施例，一種用於燃料電池系統之二氧化碳分離器包括：吹掃通道，其經組態以接收吹掃氣體；進給通道，其經組態以接收該燃料電池系統之燃料排放流；二氧化碳分離膜，其安置於該吹掃通道與該進給通道之間，該二氧化碳分離膜對二氧化碳及水具有比對

氫氣、一氧化碳及氮氣高之滲透率；及第一阻隔層，其安置於該二氧化碳分離膜之第一側上。該第一阻隔層包括以下各項中之至少一者：第一氧氣阻隔層，其安置於該二氧化碳分離膜與該吹掃通道之間，該氧氣阻隔層對水及二氧化碳具有比對氧氣及氮氣高之滲透率；及第一疏水性水阻隔層。

根據各種實施例，一種燃料電池系統包括：燃料電池堆疊；上文所闡述之二氧化碳分離器，該二氧化碳分離器經組態以自燃料排放流移除二氧化碳且形成經純化所回收燃料排放流；第一回收導管，其將該燃料電池堆疊之燃料排放出口流體連接至進給通道且經組態以藉由使由該燃料電池堆疊輸出之燃料排放流之至少一部分轉向而將該所回收燃料排放流提供至該二氧化碳分離器；及第二回收導管，其將該二氧化碳分離器之進給通道出口流體連接至燃料入口導管，該燃料入口導管連接至該燃料電池堆疊，該第二回收導管經調適以將該經純化所回收燃料排放流提供至該燃料入口導管。

根據各種實施例，一種操作燃料電池系統之方法包括：將燃料入口流提供至燃料電池堆疊；操作該燃料電池堆疊以產生燃料排放流；將該燃料排放流之至少一部分提供至二氧化碳分離器之進給通道，該二氧化碳分離器經組態以自該燃料排放流之該部分分離二氧化碳且藉此產生經純化燃料排放流；將吹掃氣體提供至該二氧化碳分離器之吹掃通道，以自該二氧化碳分離器吹掃該經分離二氧化碳；及將該經純化燃料排放流回收至該燃料入口流。該二氧化碳分離器包括：二氧化碳分離膜，其安置於該吹掃通道與該進給通道之間，該二氧化碳分離膜對二氧化碳及水具有比對氫氣、一氧化碳及氮氣高之滲透率；及阻隔層，其安置於該二氧化碳分離膜之第一側上。該阻隔層包括以下各項中之至少一者：第一氧氣阻隔層，其對水及二氧化碳具有比對氧氣及氮氣高之滲透率；及第一疏水性水阻隔層。

**【圖式簡單說明】**

圖1至圖6係根據本發明之各種實施例之燃料電池系統之示意圖。

圖7至圖10係能夠與本發明之各種實施例一起使用之二氧化碳分離器之示意圖。

圖11係二氧化碳分離器之氧氣滲透率與水滲透率之間的關係之示意圖。

**【實施方式】**

本發明之例示性實施例提供一種其中將高溫燃料電池堆疊排放流往回收至高溫燃料電池堆疊之燃料入口流中之系統及方法。所回收流可被運送至將二氧化碳自燃料排放流分離之二氧化碳分離器。二氧化碳自所回收陽極排放之移除增加高溫燃料電池堆疊之效率。二氧化碳分離器可包含二氧化碳分離膜。在本發明之一項態樣中，二氧化碳分離器包含用以防止二氧化碳分離膜之氧化之氧氣阻隔層，及/或用以控制水滲透穿過二氧化碳分離膜及/或冷凝於該二氧化碳分離膜上之水阻隔層。

本發明之例示性實施例圖解說明二氧化碳分離裝置可如何與燃料電池系統(諸如固態氧化物燃料電池系統)一起使用。額外實施例圖解說明水分離裝置可如何與燃料電池系統(諸如固態氧化物燃料電池系統)一起使用。額外實施例圖解說明二氧化碳分離裝置及水分離裝置可如何與燃料電池系統(諸如固態氧化物燃料電池系統)一起使用。應注意，亦可使用其他燃料電池系統(諸如熔融碳酸鹽系統)。

圖1圖解說明根據本發明之一項實施例之燃料電池系統100。較佳地，系統100係高溫燃料電池堆疊系統(諸如固態氧化物燃料電池(SOFC)系統)。系統100可為再生系統(諸如固態氧化物再生燃料電池(SORFC)系統)，該再生系統以燃料電池(亦即，放電或發電)及電解

(亦即，充電)模式兩者操作，或系統100可為僅以燃料電池模式操作之非再生系統。

系統100含有高溫燃料電池堆疊106。該堆疊可含有複數個SOFC或SORFC。高溫燃料電池堆疊106經示意性地圖解說明以展示該堆疊之一個固態氧化物燃料電池，該固態氧化物燃料電池含有陶瓷電解質(諸如氧化釷或氧化鈦穩定氧化鋯)、陽極電極(諸如鎳穩定氧化鋯金屬陶瓷)及陰極電極(諸如錳酸鋇)。每一燃料電池含有電解質、在電解質之一側上之陽極電極及在電解質之另一側上之陰極電極。該堆疊亦含有其他組件，諸如互連件(例如，分離器板/電觸點)、密封件等。在以燃料電池模式操作之SOFC中，在燃料(諸如氫燃料或烴燃料)進入陽極室(例如，陽極電極與毗鄰互連件之肋狀件(rib)之間的空間)之同時，氧化劑(諸如空氣或氧氣)進入陰極室(例如，陰極電極與毗鄰互連件之肋狀件之間的空間)。可使用任何適合燃料電池設計及組件材料。系統100進一步含有陽極尾氣氧化劑(ATO)反應器116、再循環鼓風機122、二氧化碳分離器326及選用膜加濕器328。

系統100如下操作。燃料入口流透過燃料入口導管102提供至燃料電池堆疊106中。燃料可包括任何適合燃料，諸如氫燃料或烴燃料(包含但不限於甲烷、含有甲烷與氫氣及其他氣體之天然氣、丙烷或其他生物氣體)，或者碳燃料(諸如一氧化碳、含充氧碳氣體(諸如甲醇)或其他含碳氣體)與含氫氣體(諸如水蒸汽、氫氣)之混合物，或者其他混合物。舉例而言，混合物可包括衍生自煤或天然氣重組之合成氣體。燃料入口導管102將燃料入口流提供至燃料電池堆疊106之陽極側。

空氣或另一含氧氣體透過空氣入口導管104提供至堆疊106中。空氣入口導管104將空氣提供至燃料電池堆疊106之陰極側。

一旦燃料及氧化劑提供至燃料電池堆疊106中，堆疊106便經操

作以產生電及燃料排放流。燃料排放流可含有氫、水蒸汽、一氧化碳、二氧化碳、某些未經反應烴氣(諸如甲烷)及其他反應副產物以及雜質。

經由燃料排放導管110而自堆疊106提供燃料排放流(亦即，堆疊陽極排放流)。經由空氣排放導管112而自堆疊空氣排放出口提供空氣排放流(亦即，堆疊陰極排放流)。燃料排放導管110經組態以經由ATO輸入導管114而將燃料排放流之一部分提供至ATO反應器116且經由回收導管120而回收燃料排放流之一部分。燃料排放之提供至ATO反應器116及經由回收導管120回收之部分可在10%與90%之間變化。舉例而言，燃料排放之10%可提供至ATO反應器116且90%回收。另一選擇係，燃料排放之50%可提供至ATO反應器116，而50%回收。另外，燃料排放之90%或更多可提供至ATO反應器，而10%或更少回收。提供至導管120中之所回收燃料之量由再循環鼓風機122功率或鼓風速度控制。提供至導管114及120中之燃料排放流可含有相同組合物或相同氫、一氧化碳、水及二氧化碳含量。空氣排放導管112經組態以將空氣排放流提供至ATO反應器116。

ATO反應器116分別經由ATO輸入導管114及導管112接收燃料排放流及空氣排放流。ATO反應器使用經組合燃料排放流與空氣排放流來使陽極尾氣氧化且將加熱之經氧化燃料(亦即，反應器排放)輸出至ATO排放導管118。

再循環鼓風機122耦合至回收導管120以經由回收導管124而將來自回收導管120之所回收燃料排放流提供至CO<sub>2</sub>分離器326。再循環鼓風機122可為電腦或操作者控制的且可使被提供至CO<sub>2</sub>分離器326之所回收燃料排放流之量及/或速率以及亦被往回提供至堆疊106之不含二氧化碳或二氧化碳耗盡之所回收燃料排放流之量及/或速率變化。如此，再循環鼓風機122可用於增加或降低系統100中之總體回收速率。

根據某些實施例，二氧化碳分離器326可為二氧化碳膜分離器。系統100可利用ATO排放或SOFC陰極排放來吹掃二氧化碳分離器326之收集側以移除二氧化碳。系統100可利用水而偏向二氧化碳分離器326收集側氣體。

回收導管124可耦合至二氧化碳分離器326。所回收燃料排放流經由回收導管124而輸入至二氧化碳分離器326，且二氧化碳自所回收燃料排放流移除以產生經純化(例如，二氧化碳耗盡之)所回收燃料排放流。離開二氧化碳分離器326之經純化所回收燃料排放流含有比經由回收導管124進入二氧化碳分離器326之所回收燃料排放流少的二氧化碳。按照總體組合物之百分比，經純化所回收燃料排放流含有比經由回收導管124進入二氧化碳分離器326之所回收燃料排放流大的百分比之氫。較佳地，二氧化碳分離器326自所回收燃料排放流移除實質上全部二氧化碳。二氧化碳分離器326可自所回收燃料排放流移除少於50%或多於50% (諸如50%至60%、60%至70%、70%至80%、80%至90%或90%至100% (諸如約98%、約99%或約99.5%))之二氧化碳。

二氧化碳分離器326耦合至回收導管334。具有減少量之二氧化碳之經純化所回收燃料排放流藉由回收導管334而往回提供至燃料入口流。二氧化碳減少之燃料排放回收至燃料入口中增加燃料電池堆疊106之效能。

二氧化碳分離器326在選擇二氧化碳時之效率藉由偏向二氧化碳分離器326之收集側(藉由將水添加至二氧化碳分離器326之收集側(例如，吹掃側))而增加。

在一項實施例中，來自ATO反應器116之熱排放經由熱排放導管118而傳遞至陰極回流換熱器熱交換器336，其中ATO排放與透過空氣入口導管104提供之空氣入口流交換熱。該熱交換器幫助升高空氣入

口導管104中之空氣之溫度且減小導管118中之ATO排放之溫度，使得該ATO排放不損壞膜加濕器328。

在替代實施例中，SOFC陰極排放之全部或一部分可直接傳遞至陰極回流換熱器熱交換器336。閥349可將來自導管112之陰極排放引導至導管350。另一選擇係，閥349可為經組態以將陰極排放之一部分引導至導管350且將陰極排放之一部分引導至ATO反應器之分流器(未展示)。閥351可經組態以將自導管350接收之陰極排放朝向陰極回流換熱器熱交換器336引導且防止陰極排放流動至ATO反應器116。另外，閥351可耦合至導管352以將ATO排放及/或SOFC陰極排放作為排放而引導出系統100。對閥349及351以及導管350之利用可允許SOFC陰極排放或ATO排放、ATO排放及SOFC陰極排放兩者之混合物傳遞至陰極回流換熱器熱交換器336，或者ATO排放及SOFC陰極排放兩者皆不允許傳遞至陰極回流換熱器熱交換器336。

自熱交換器336，ATO排放導管118可耦合至選用膜加濕器328。空氣經由導管118而輸入至膜加濕器328。視情況，空氣亦可如經由耦合至膜加濕器328之空氣導管340而輸入至膜加濕器。空氣導管340可輸入由鼓風機、風扇或壓縮機(未展示)供應之空氣。

在操作中，膜加濕器328將用於輸入至二氧化碳分離器326中之空氣或經氧化燃料流加濕。膜加濕器328可包括聚合物膜加濕器。

水可視需要經由水導管342而輸入至膜加濕器328。水亦可由膜加濕器328自耦合於二氧化碳分離器326與膜加濕器328之間的二氧化碳導管332收集。水跨越膜而自膜加濕器328之產物側328B滲透至收集側328A。來自導管342之水在膜加濕器328中與來自導管118之ATO排放混合且現在濕空氣傳遞至濕空氣導管330。

濕空氣導管330耦合至二氧化碳分離器326且濕空氣或ATO排放用於偏向藉由二氧化碳分離器326之二氧化碳之分離。在傳統二氧化碳

分離器在反應中自然選擇水之情況下，二氧化碳分離器之吹掃側上之水之存在減少對水之選擇且增加二氧化碳分離器選擇二氧化碳之效率。以此方式，進入二氧化碳分離器326之收集側之空氣中之增加量的水使二氧化碳分離器326偏向於自所回收燃料排放流選擇二氧化碳。較佳地，濕空氣或ATO排放含有與所回收燃料排放流實質上相等量之水。濕空氣或ATO排放可含有所回收燃料排放流中所含有之水之約90%、80%、70%、60%、50%、40%、30%、20%或10%。術語「約」提供基於給定程序變量之變化(諸如10%或更少、較佳地5%或更少之變化)。濕空氣或ATO排放亦可含有所回收燃料排放流中所含有之水之多於100% (諸如約110%、120%、130%、140%、150%、160%、170%、180%、190%或200%)。

因此，導管330將濕混合物輸入至收集側326A中且導管332自二氧化碳分離器326之收集側326A輸出二氧化碳及濕混合物。導管124將所回收燃料排放輸入至產物側326B (例如，進給側)中且導管334自二氧化碳分離器326之產物側326B輸出二氧化碳耗盡之排放。

因此，導管340及/或118將氧化劑提供至收集側328A且導管330自膜加濕器328之收集側328A輸出經加濕氧化劑。導管332將二氧化碳及濕混合物輸入至產物側328B中且導管338自產物側328B輸出二氧化碳。

濕空氣或ATO排放與二氧化碳混合物經由二氧化碳導管332而自二氧化碳分離器之收集側行進至膜加濕器328。膜加濕器328自濕空氣混合物移除水之一部分，且經由輸出導管338輸出二氧化碳及空氣。如上文所論述，藉由膜加濕器328而自二氧化碳導管332移除之水可用於將進入膜加濕器328之空氣或ATO排放加濕。因此，系統100使用ATO排放或SOFC陰極排放來吹掃二氧化碳分離器收集側及/或利用水而偏向收集氣體。

圖2圖解說明根據本發明之實施例之系統200。系統200類似於圖1中所圖解說明之系統100且含有若干個共有組件。系統100及200兩者共有之彼等組件在圖1及圖2中以相同數字來編號，且將不進行詳細闡述。

系統100與系統200之間的一個差異係系統200可利用不同二氧化碳膜分離器426。二氧化碳膜分離器426可為構造有經裁適膜結構429之二氧化碳膜分離器，該經裁適膜結構用以阻隔自二氧化碳膜分離器之產物側426B（亦即，輸入側或進給側）至收集側（亦即，吹掃側）426A之水輸送。經裁適膜結構（亦即，產物側水阻隔件）429可由允許二氧化碳通過但將不允許水通過之材料構造。已發現對於產物側水阻隔件構造有效之一種此材料係聚四氟乙烯（Teflon®）。產物側水阻隔件經由積聚或阻隔而阻礙水輸送至二氧化碳膜分離器之沖洗空氣中。二氧化碳膜分離器426可以類似於電化學二氧化碳分離器之方式構造，但不需要輸入電流來操作。

回收導管124可耦合至二氧化碳膜分離器426。所回收燃料排放流經由回收導管124而進入二氧化碳膜分離器426之產物側426B。二氧化碳膜分離器自所回收燃料排放流移除二氧化碳。如先前所論述，二氧化碳膜分離器之產物側水阻隔件429阻礙水之輸送，因此僅二氧化碳由二氧化碳膜分離器426於收集側426A上收集。較佳地，二氧化碳膜分離器426自所回收燃料排放流移除實質上全部二氧化碳。二氧化碳膜分離器426可自所回收燃料排放流移除少於50%或多於50%（諸如50%至60%、60%至70%、70%至80%、80%至90%或90%至100%（諸如約98%、約99%或約99.5%））之二氧化碳。

離開二氧化碳膜分離器426之產物側426B之經純化所回收燃料排放流含有比經由回收導管124進入二氧化碳分離器426之產物側426B之所回收燃料排放流少的二氧化碳。按照總體組合物之百分比，經純

化所回收燃料排放流含有比經由回收導管124進入二氧化碳分離器426之所回收燃料排放流大的百分比之氫。

二氧化碳膜分離器426之產物側426B耦合至回收導管434。具有減少量之二氧化碳之經純化所回收燃料排放流藉由回收導管434而往回提供至燃料入口流。二氧化碳減少之燃料排放回收至燃料入口中增加燃料電池堆疊106之效能。

沖洗空氣經由空氣導管430而提供至二氧化碳膜分離器426之收集側426A，該空氣導管操作地耦合至二氧化碳膜分離器426之收集側426A。沖洗空氣自二氧化碳膜分離器426之收集側426A移除二氧化碳。二氧化碳膜分離器426操作地耦合至輸出導管432且空氣與二氧化碳混合物自二氧化碳膜分離器426之收集側426A流動至輸出導管432。

圖3展示根據本發明之實施例之系統300。系統300類似於圖1中所圖解說明之系統100且含有若干個共有組件。系統100及300兩者共有之彼等組件在圖1及圖3中以相同數字來編號且將不進行進一步闡述。

系統300與系統100之間的一個差異係系統300利用組合二氧化碳與水分離器826而非僅二氧化碳分離器326。組合二氧化碳與水分離器826操作以產生含有用以回收至燃料電池堆疊106之較少二氧化碳及較少水之經純化所回收燃料排放流，其中二氧化碳及水同時移除。組合二氧化碳與水分離器826不斷地自所回收燃料排放流移除二氧化碳及水。

組合二氧化碳與水分離器826經由回收導管124接收所回收燃料排放流。組合二氧化碳與水分離器826自所回收燃料排放流移除二氧化碳及水以產生經純化所回收燃料排放流。經純化所回收燃料排放流自組合二氧化碳與水分離器826傳遞至回收導管834。

離開組合二氧化碳與水分離器826之經純化所回收燃料排放流含有比經由回收導管124進入組合二氧化碳與水分離器826之所回收燃料排放流少的水。與最初經由燃料排放導管110離開燃料電池堆疊106之燃料排放流相比，經由回收導管834離開組合二氧化碳與水分離器826之經純化所回收燃料排放流總體上含有較少水及較少二氧化碳。二氧化碳及水之移除導致與最初經由燃料排放導管110離開燃料電池堆疊106之燃料排放流相比，按照體積百分比，回收導管834中之經純化所回收燃料排放流具有增加比例之氫及一氧化碳兩者。

經純化所回收燃料排放流經由回收導管834而離開組合二氧化碳與水分離器826且經純化所回收燃料排放流藉由回收導管834而往回提供至燃料入口流。二氧化碳減少之燃料排放回收至燃料入口中增加燃料電池堆疊106之效能，且水之減少使蒸汽對碳之比率最佳化並增加電池效能。

自組合二氧化碳與水分離器826移除之水及二氧化碳與自濕空氣導管330接收之沖洗空氣混合且經由二氧化碳導管832離開組合二氧化碳與水分離器826。膜加濕器328自經由二氧化碳導管832接收之二氧化碳、水與空氣混合物移除水。由膜加濕器328移除之水可用於將至膜加濕器328之輸入空氣加濕。以此方式，可消除對系統100中所存在之水導管342之需要。

圖4展示根據本發明之實施例之系統400。系統400類似於圖1中所圖解說明之系統100且含有若干個共有組件。系統100及400兩者共有之彼等組件在圖1及圖4中以相同數字來編號且將不進行進一步闡述。

系統100與系統400之間的一個差異係系統400利用噴霧加濕器1028而非系統300之膜加濕器328來藉由將水添加至二氧化碳分離器326之收集側326A而使二氧化碳分離器326偏向。另外，在系統400

中，空氣導管118無需連接至噴霧加濕器1028。

噴霧加濕器1028用於將水添加至將輸入至二氧化碳分離器326之收集側326A之空氣。

空氣經由空氣導管1038而輸入至噴霧加濕器1028。水可經由水導管1042而輸入至噴霧加濕器1028。水亦可經由水導管1033而輸入至噴霧加濕器。水噴霧至輸入至噴霧加濕器1028中之空氣中且與該空氣混合以產生濕空氣。現在濕空氣傳遞至濕空氣導管330。

濕空氣導管330耦合至二氧化碳分離器326之收集側326A且濕空氣用於偏向藉由二氧化碳分離器326之二氧化碳之分離。在傳統二氧化碳分離器在反應中自然選擇水之情況下，二氧化碳分離器之收集側上之水之存在減少對水之選擇且增加二氧化碳分離器選擇二氧化碳之效率。以此方式，進入二氧化碳分離器326之空氣中之增加量之水使二氧化碳分離器326之收集側326A偏向於自所回收燃料排放流選擇二氧化碳。

濕空氣與二氧化碳混合物經由二氧化碳導管1032而自二氧化碳分離器行進至冷凝器1031。冷凝器1031自濕空氣與二氧化碳混合物移除水之一部分，且經由輸出導管1036而輸出二氧化碳及空氣。冷凝器1031中所收集之水可提供至水導管1033且輸入至噴霧加濕器1028。

圖5展示根據本發明之實施例之系統500。系統500類似於圖3中所圖解說明之系統300且含有若干個共有組件。系統500及300兩者共有之彼等組件在圖3及圖5中以相同數字來編號且將不進行進一步闡述。

系統300與系統500之間的一個差異係系統500利用噴霧加濕器1028而非利用系統300之膜加濕器328來藉由將水添加至組合二氧化碳與水分離器826之收集側而使組合二氧化碳與水分離器826偏向。另外，在系統500中，空氣導管118無需連接至噴霧加濕器1028。系統

500係系統300與系統400之組合，在於系統500含有組合二氧化碳與水分離器826及噴霧加濕器1028。

噴霧加濕器1028用於將水添加至將輸入至二氧化碳分離器826之收集側之空氣。

自組合二氧化碳與水分離器826移除之水及二氧化碳與自濕空氣導管330接收之沖洗空氣混合且經由二氧化碳導管1232而離開組合二氧化碳與水分離器826。

空氣經由空氣導管1038而輸入至噴霧加濕器1028。水可經由水導管1233而輸入至噴霧加濕器1028。水噴霧至輸入至噴霧加濕器1028中之空氣中且與該空氣混合以產生濕空氣。現在濕空氣傳遞至濕空氣導管330以提供至二氧化碳與水分離器826之收集側。

濕空氣與二氧化碳混合物經由二氧化碳導管1232而自組合二氧化碳與水分離器826行進至水分離器(諸如冷凝器1231)。冷凝器1231自濕空氣與二氧化碳混合物移除水之一部分，且經由輸出導管1236而輸出二氧化碳及空氣。冷凝器1231中所收集之水可提供至水導管1233且輸入至噴霧加濕器1028。

圖6圖解說明根據本發明之例示性實施例之系統600。系統600類似於圖2中所圖解說明之系統200且含有若干個共有組件。系統200及600兩者共有之彼等組件在圖2及圖6中以相同數字來編號且將不進行進一步闡述。

系統200與系統600之間的一個差異係系統600利用真空泵1504而非沖洗空氣而自二氧化碳膜分離器426之收集側426A移除經分離二氧化碳。對真空泵1504之利用可比沖洗空氣有效，且真空泵1504之寄生電力汲取可並不如此大以至於克服使用真空泵1504之益處。輸出導管1502可操作地連接至二氧化碳膜分離器426之收集側426A。輸出導管1502可操作地連接至真空泵1504。輸出導管1506可耦合至真空泵

1504。在操作中，真空泵1504可經由輸出導管1502而自二氧化碳膜分離器426之收集側426A抽出二氧化碳。

在替代實施例(未展示)中，可使用氫氣、蒸汽或氫氣而非空氣作為用於二氧化碳分離器之沖洗氣體。可藉由將少量廢燃料(不含碳且包含 $H_2$ ，諸如混合氣體或 $H_2$ 氣體)注入至吹掃空氣流中且將其燃燒而移除氧氣，從而移除實質上全部氧氣。然而，取決於所選擇之燃料源及系統設計，此策略可並非總是有益的，此乃因可能消耗比所回收利用多的燃料。亦可利用具有氧化物離子電解質及耐氧化電極(諸如Pt)之電化學電池(「氧泵(oxygen pumping)」)來移除氧氣。亦可使用替代廢流，諸如來自燃料電池之陰極排放之氧氣耗盡之空氣。

然而，可認為周圍空氣係最方便的，此乃因周圍空氣可自由獲得，需要極少額外能量輸入且實質上不含 $CO_2$  (<0.1%)。然而，周圍空氣可實質上不含水蒸汽，從而形成穿過膜之有利於水蒸汽移除之分壓梯度。諸多適合 $CO_2$ 移除膜亦對水蒸汽為自由地可滲透。因此，除 $CO_2$ 之外，亦自系統移除顯著量之水。水係燃料電池反應之副產物，且因此某些水移除可為需要的。然而，再循環流中之某些產物水係有用的，此乃因該產物水在燃料電池中之水煤氣轉化反應中與CO反應以形成較高熱值 $H_2$ 燃料，從而產生較高效率。太少水將導致不可逆地損壞或破壞燃料電池之碳沈積(「焦化」)。太多水充當稀釋劑，從而減小燃料反應物之分壓且減小燃料電池之總體效率。

所要水與燃料平衡通常表達為O:C (氧碳比率)，其中氧係( $H_2O + CO + 2*CO_2$ )之濃度之總和且碳係( $CH_4 + CO + CO_2 + n*C_nH_x$ )之總和，其中 $C_nH_x$ 係高碳烴(諸如乙烷、丙烷、丁烷等)。進入燃料電池之O:C比率可為約1.9至2.0。因此，藉由膜移除之水之量可使得在水已與新鮮燃料混合之後，「滯留物流」(其保留在 $CO_2$ 膜之進給側之排放中)具有1.9至2.0之O:C。

此水移除速率取決於膜溫度、進給及吹掃氣體水含量及流動速率以及反應器設計(同向流動對逆向流動)。通常係 $105^{\circ}\text{C}$ 至 $140^{\circ}\text{C}$ 之膜操作溫度受諸多因素約束：該溫度應不下降至低於 $100^{\circ}\text{C}$ 以防止水之冷凝，且陽極再循環流應儘可能少地冷卻，此乃因陽極再循環流將必須在其重新引入回至燃料電池之前被重新加熱。一般而言，膜輸送效能隨溫度而增加。然而，滲透可由於在高溫下之自膜之經增加水損失而降低，且聚合物膜無法在不具有物理降級之情況下耐受太高溫度。一般而言，進給氣體水含量由系統操作條件來確定。因此，水移除速率應藉由降低水滲透率或抑制跨越膜之水輸送(藉由降低分壓梯度)而控制。

若將吹掃氣體加濕，則分壓梯度降低，且水滲透降低。根據某些實施例，吹掃氣體之露點可介於自 $50^{\circ}\text{C}$ 至 $85^{\circ}\text{C}$ 之範圍內，且在某些設計中，可使用 $70^{\circ}\text{C}$ 露點。吹掃氣體可利用外部水源或藉由使用系統內部之水源(諸如經冷凝產物水)而加濕。可利用使用水可滲透材料(諸如全氟磺酸(Nafion))之膜加濕器328，可使用噴霧加濕器1028、蒸汽產生器或一系列交替之吸水床(諸如沸石)來加濕吹掃氣體流。舉例而言，可使用雙床系統，其中第一床用於加濕吹掃氣體流，而第二床經加濕直至第一床之濕氣含量減少為止，且然後使用第二床以用於加濕吹掃氣體流來使程序反向。

逆向流動設計具有經增加 $\text{CO}_2$ 交換之優點，但具有經增加不合意水交換之缺點。取決於膜面積量及需要之 $\text{CO}_2$ 移除量，可使用同向流動設計。此將藉由抑制跨越膜之平均分壓梯度而降低 $\text{CO}_2$ 及 $\text{H}_2\text{O}$ 滲透。建模表明，僅自陽極氣體回收迴路移除 $\text{CO}_2$ 之一半導致多於移除全部 $\text{CO}_2$ 之效率增益之75%，具有取得理想水平衡之優點。

根據某些實施例，偵測水移除速率且在控制系統中使用此資料來做出調整以取得理想水平衡係有利的。偵測之方法包含：進給/吹

掃入口或排放上之濕度感測器；排放溫度量測(在CO<sub>2</sub>膜低於100°C之情況下一一假定氣體在彼溫度下完全飽和)。

用以控制水移除速率之方法包含：調整吹掃氣體流動速率(較多流動=較多水移除)；調整CO<sub>2</sub>膜溫度(較高溫度=較多水移除)；調整陽極回收流動速率；及利用外部加濕器調整吹掃入口加濕(例如，改變膜加濕器中之水浴之溫度)。如圖1中所展示，燃料電池系統100可包含控制器121及經組態以偵測CO<sub>2</sub>膜之溫度、吹掃氣體之濕度/露點及/或流動速率、燃料排放流之濕度/露點及/或流動速率及諸如此類之感測器123。控制器121可經組態以基於感測器123之輸出、藉由控制燃料電池系統100之各種其他組件而控制水移除速率。

在潮濕或冷凝環境中啟動及關閉可為有利的。此環境確保膜不脫水，脫水可負面影響滲透效能。若環境可為冷凝的，則亦可採用疏水性障壁層來保護膜免受液態水影響。可藉由在系統處於待用中時簡單地在進給及吹掃側之入口及排放處使用閥來隔離膜而達成適當潮濕環境。亦可在隔離膜之前利用外部加濕器來注入水。

關於上述二氧化碳膜分離器，適合膜展現出高二氧化碳滲透(每單位面積、每單位分壓梯度之二氧化碳流動之通量)以及高選擇性(包含CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>及N<sub>2</sub>之其他物種之低擴散)。此等膜包含含有胺(諸如AIBA(2-異丁胺酸)-鉀鹽(「AIBA-K」)、碳酸鉀-碳酸氫鉀、甘胺酸-鉀鹽(「甘胺酸-K」)及/或固定聚(烯丙胺)載體)之交聯聚乙稀醇(PVA)膜。其他膜包含支撐液膜(SLM)(諸如固定化水性碳酸氫鹽-碳酸鹽膜或固定化鹼性液膜)、支撐熔融鹽膜，或離子交換膜(諸如在氟化基質中含有胺、磺化苯乙烯-二乙烯苯之全氟磺酸膜，具有二胺載體之丙烯酸膜)及諸多其他膜。參見：J. Zou, W.S.W. Ho，膜科學雜誌(*Journal of Membrane Science*) 286 (2006)，310頁至321頁，其出於闡述膜之目的而以引用之方式併入。

如上所述，周圍空氣可用作吹掃氣體，此乃因周圍空氣可自由獲得，需要極少額外能量輸入且實質上不含二氧化碳(<0.1%)。然而，空氣中之氧氣可對膜效能具有不合意效應。舉例而言，諸多基於胺之化學品(諸如AIBA-K或甘胺酸-K)在膜操作溫度下於周圍空氣中氧化。通常係105°C至140°C之膜操作溫度受諸多因素約束：該溫度應不下降至低於100°C以防止水之冷凝，且陽極再循環流應儘可能少地冷卻，此乃因陽極再循環流將必須在其重新引入至燃料電池之前被重新加熱。一般而言，膜輸送效能隨溫度而增加。然而，滲透可由於在高溫下之自膜之經增加水損失而降低，且聚合物膜無法在不具有物理降級之情況下耐受太高溫度。

在不希望受特定理論約束之情況下，據信二氧化碳分離器膜降級係由於膜之活性胺部位與氧氣不可逆地反應、從而導致自由二氧化碳載體降低而發生。溫度越高且氧氣濃度越高，降級越迅速。因此，來自吹掃空氣(沖洗氣體)之氧氣將降低膜之滲透率，從而使效能降級且導致膜中之較少二氧化碳滲透及較低效率。

圖7圖解說明根據本發明之例示性實施例之二氧化碳分離器701。二氧化碳分離器701包含吹掃通道706、進給通道708及安置於其之間的雙層膜結構700。吹掃氣體透過吹掃氣體供應導管710供應至吹掃通道706。吹掃氣體供應導管亦可稱為空氣導管。吹掃氣體透過吹掃氣體排放導管712自吹掃通道706排放。吹掃氣體排放導管亦可稱為二氧化碳導管。

燃料排放流透過第一回收導管714自燃料電池堆疊供應至進給通道708。燃料排放流透過第二回收導管716自進給通道708排放。第二回收導管716可連接至燃料入口導管(其連接至燃料電池堆疊)，如上文所闡述。

二氧化碳分離器701可為上述二氧化碳膜分離器中之一者(諸如圖

1中所展示之二氧化碳分離器326)。參考圖7，膜結構700包含具有如上文所闡述之結構之二氧化碳分離膜702。舉例而言，二氧化碳分離膜702可為AIBA-K或甘胺酸-K膜。二氧化碳分離膜702應對CO<sub>2</sub>及H<sub>2</sub>O為可滲透，且對H<sub>2</sub>、CO及N<sub>2</sub>為不可滲透或實質上不可滲透。換言之，二氧化碳分離膜702可具有對CO<sub>2</sub>及H<sub>2</sub>O之相對高滲透率，以及對H<sub>2</sub>、CO及N<sub>2</sub>之相對低滲透率。

然而，由於AIBA-K或甘胺酸-K膜藉由空氣中之氧氣而降級，因此雙層膜結構700亦包含安置於雙層膜結構700之吹掃(空氣)側上之氧氣阻隔層704。氧氣阻隔層704可對CO<sub>2</sub>及H<sub>2</sub>O為可滲透，對氧氣實質上不可滲透，同時係耐受氧氣的。氧氣阻隔層704可由聚氧化乙烯(PEO)或不藉由氧氣而降級之任何其他適合耐氧聚合物形成。氧氣阻隔層704不必具有對CO及H<sub>2</sub>之低滲透率，此乃因二氧化碳分離膜702已濾除此等組分。氧氣阻隔層704可操作為防止氧氣遇到二氧化碳分離膜702之障壁層，此維持二氧化碳分離膜702之高CO<sub>2</sub>滲透率。儘管展示同向流動設計，但亦可使用逆向流動設計。

此外，進給側上之某些耐氧性亦可係有益的。週期性地，燃料電池系統可在緊急情況中或在用於維修之受控關閉中關閉。在關閉期間，膜之進給側(產物側)可遭受周圍空氣。取決於關閉之條件，在氧氣遇到膜時，膜之溫度可足夠高以使滲透效能降級。因此，防止膜在陽極進給側上被氧化亦係有益的。

圖8圖解說明類似於圖7之二氧化碳分離器之二氧化碳分離器802。如此，用類似參考編號來指定類似元件，且將僅詳細闡述二氧化碳分離器802與圖7之二氧化碳分離器之間的差異。參考圖8，根據各種實施例，二氧化碳分離器802包含三層膜結構800。膜結構800另外包含安置於二氧化碳分離膜702與吹掃通道706之間的氧氣阻隔層705。氧氣阻隔層705可由PEO形成及/或具有與氧氣阻隔層704類似之性質/結

構。氧氣阻隔層705可在關閉期間或在氧氣遇到膜結構800之另外不受保護之進給通道側之其他例項期間防止氧化。

針對諸多CO<sub>2</sub>可滲透膜(諸如具有AIBA-K或甘胺酸-K化學品之膜)之耐氧性，較低溫度係有益的。上述膜可在低至60°C之溫度下操作，以便防止藉由吹掃空氣之氧化。舉例而言，在某些實施例中，上述膜可在介於自60°C至70°C之範圍內之溫度下操作。在利用低於100°C之溫度之情況下，應特別注意防止進給氣體中之水冷凝。

特定而言，若液態水自進給或吹掃流冷凝，則諸多CO<sub>2</sub>可滲透膜可被該液態水不可逆地損壞。此可係由於沖走充當載體之鹽、溶解聚合物主鏈或其他原因。可使用諸如ePTFE(具有孔隙之鐵氟隆(Teflon))之微多孔或奈米多孔(例如，具有小於10 μm或小於1 μm之平均孔隙大小)疏水性層作為進給側、吹掃側或進給側及吹掃側兩者上之支撐或保護性障壁層。此疏水性層擺脫任何冷凝液態水且保護膜免受損壞。

圖9A圖解說明類似於圖8之二氧化碳分離器802之二氧化碳分離器901。如此，用類似參考編號來指定類似元件，且將僅詳細闡述二氧化碳分離器901與二氧化碳分離器802之間的差異。參考圖9A，根據本發明之例示性實施例，二氧化碳分離器901包含經組態以防止水冷凝之膜結構903。膜結構903包含如上文所闡述之二氧化碳分離膜702。另外，膜結構903包含在吹掃側上之氧氣阻隔層704及在進給側上之經組態以抑制跨越二氧化碳分離膜702之水滲透之水阻隔層904。水阻隔層904可為微多孔、奈米多孔及/或疏水性的。水阻隔層904可由(舉例而言)多孔鐵氟隆(PTFE)、聚矽或其他適合材料形成。

圖9B圖解說明類似於圖9A之二氧化碳分離器901之二氧化碳分離器902。如此，用類似參考編號來指定類似元件，且將僅詳細闡述二氧化碳分離器902與二氧化碳分離器901之間的差異。參考圖9B，根

據本發明之例示性實施例，二氧化碳分離器902包含經組態以防止水冷凝之膜結構900。膜結構900包含如上文所闡述之二氧化碳分離膜702。另外，膜結構900包含在膜702之相對側上之經組態以抑制跨越二氧化碳分離膜702之水滲透的兩個水阻隔層905及904。水阻隔層905及904可為微多孔、奈米多孔及/或疏水性的。水阻隔層905及904可由(舉例而言)多孔鐵氟隆(PTFE)、聚矽或其他適合材料形成。根據某些實施例，可省略水阻隔層905及904中之一者。

在不希望受理論約束之情況下，認為大約40 nm至1微米之小孔隙形成用於疏水性層905及/或904中之水及CO<sub>2</sub>滲透之曲折路徑。若水滲透速率比CO<sub>2</sub>滲透速率大得多，則厚層可有效地抑制水滲透多於抑制CO<sub>2</sub>滲透。厚的或多層的微多孔或奈米多孔基板可降低水滲透速率。另外，可使用較小孔隙大小來進一步降低水滲透速率。

圖10圖解說明類似於圖9B之二氧化碳分離器902之二氧化碳分離器1002。如此，用類似參考編號來指定類似元件，且將僅詳細闡述二氧化碳分離器1002與二氧化碳分離器902之間的差異。參考圖10，根據本發明之各種實施例，二氧化碳分離器1002包含膜結構1000。膜結構1000包含圖7至圖9B中所闡述之元件之組合。特定而言，膜結構1000包含二氧化碳分離膜702，及分別安置於膜結構之吹掃通道側及/或進給通道側上之一個或兩個氧氣阻隔層704及/或706。氧氣阻隔層704及/或706可對CO<sub>2</sub>及H<sub>2</sub>O為可滲透，對氧氣為不可滲透或實質上不可滲透，且係耐受氧氣的。

另外，膜結構1000包含經組態以抑制跨越膜702之水滲透之一個或兩個水阻隔層905及/或904。根據某些實施例，可省略上述層中之一或多者，及/或可改變層之次序(例如，在二氧化碳分離膜702之同一側上，水阻隔層可經安置而與氧氣阻隔層704及706相比較接近於膜702)。

圖11圖解說明二氧化碳分離器之 $O_2$ 滲透率與 $H_2O$ 滲透率之間的比較。參考圖11，陰影區係其中二氧化碳分離器提供供在燃料電池系統中使用之適合 $O_2$ 滲透率及 $H_2O$ 滲透率之區域。特定而言，二氧化碳分離器可具有介於自約0%至約40%之範圍內之 $H_2O$ 滲透率，及介於自約0%至約45%之範圍內之 $O_2$ 滲透率。陰影區域之交叉影線部分表示其中二氧化碳分離器提供供在燃料電池系統中使用之經改良 $O_2$ 滲透率及 $H_2O$ 滲透率之區域。舉例而言，二氧化碳分離器可具有介於自約20%至約40%之範圍內之 $H_2O$ 滲透率，及介於自約0%至約25%之範圍內之 $O_2$ 滲透率。

因此，本發明提供具有經改良耐氧性之膜。如此，本發明膜可與空氣吹掃氣體一起操作，係 $CO_2$ 可滲透膜子系統之實質上簡化。此外，本發明提供可經組態以在約 $120^\circ C$ 之溫度下操作之高滲透率/選擇性膜。另外，本發明提供具有經改良穩健性及壽命之膜。

本文中闡述之燃料電池系統可視需要具有其他實施例及組態。可視需要添加自燃料排放分離氫且提供氫以用於外部使用之其他組件(諸如燃料側排放流冷凝器、熱交換器、熱驅動泵、渦輪機、額外氣體分離裝置、氫分離器)、燃料處理子系統、燃料重組器及或水煤氣轉化反應器。此外，應理解，任何實施例中所闡述及/或任何圖中所圖解說明之任何系統元件或方法步驟亦可用於上文所闡述之其他適合實施例之系統及/或方法中，即使未明確闡述此使用。

已出於圖解說明及闡述目的而呈現對本發明之前述闡述。其並非意欲為窮盡性或將本發明限制於所揭示之精確形式，且可鑒於上述教示做出修改及變化或可獲取本發明之實踐。該闡述經選擇以便解釋本發明之原理及其實際應用。本發明之範疇意欲由隨附申請專利範圍及其等效形式來界定。

## 【符號說明】

- 100 燃料電池系統/系統
- 102 燃料入口導管
- 104 空氣入口導管
- 106 高溫燃料電池堆疊/燃料電池堆疊/堆疊
- 110 燃料排放導管
- 112 空氣排放導管/導管
- 114 陽極尾氣氧化劑輸入導管/導管
- 116 陽極尾氣氧化劑反應器
- 118 陽極尾氣氧化劑排放導管/熱排放導管/導管/空氣導管
- 120 回收導管/導管
- 121 控制器
- 122 再循環鼓風機
- 123 感測器
- 124 回收導管/導管
- 200 系統
- 300 系統
- 326 二氧化碳分離器/CO<sub>2</sub>分離器
- 326A 收集側
- 326B 產物側
- 328 選用膜加濕器/膜加濕器
- 328A 收集側
- 328B 產物側
- 330 濕空氣導管/導管
- 332 二氧化碳導管/導管
- 334 回收導管/導管
- 336 陰極回流換熱器熱交換器/熱交換器

- 338 導管/輸出導管
- 340 空氣導管/導管
- 342 水導管/導管
- 349 閥
- 350 導管
- 351 閥
- 352 導管
- 400 系統
- 426 二氧化碳膜分離器/二氧化碳分離器
- 426A 收集側/吹掃側
- 426B 產物側
- 429 經裁適膜結構/產物側水阻隔件
- 430 空氣導管
- 432 輸出導管
- 434 回收導管
- 500 系統
- 600 系統
- 700 雙層膜結構/膜結構
- 701 二氧化碳分離器
- 702 二氧化碳分離膜/膜
- 704 氧氣阻隔層
- 705 氧氣阻隔層
- 706 吹掃通道
- 708 進給通道
- 710 吹掃氣體供應導管
- 712 吹掃氣體排放導管

- 714 第一回收導管
- 716 第二回收導管
- 800 三層膜結構/膜結構
- 802 二氧化碳分離器
- 826 組合二氧化碳與水分離器/二氧化碳分離器/二氧化碳與水分離器
- 832 二氧化碳導管
- 834 回收導管
- 900 膜結構
- 901 二氧化碳分離器
- 902 二氧化碳分離器
- 903 膜結構
- 904 水阻隔層/疏水性層
- 905 水阻隔層/疏水性層
- 1000 膜結構
- 1002 二氧化碳分離器
- 1028 噴霧加濕器
- 1031 冷凝器
- 1032 二氧化碳導管
- 1033 水導管
- 1036 輸出導管
- 1038 空氣導管
- 1042 水導管
- 1231 冷凝器
- 1232 二氧化碳導管
- 1233 水導管

- 1236 輸出導管
- 1502 輸出導管
- 1504 真空泵
- 1506 輸出導管

## 申請專利範圍

1. 一種用於燃料電池系統之二氧化碳分離器，該二氧化碳分離器包括：
  - 吹掃通道，其經組態以接收吹掃氣體；
  - 進給通道，其經組態以接收該燃料電池系統之燃料排放流；
  - 二氧化碳分離膜，其安置於該吹掃通道與該進給通道之間，該二氧化碳分離膜對二氧化碳及水具有比對氫氣、一氧化碳及氮氣高之滲透率；及
  - 第一阻隔層，其安置於該二氧化碳分離膜之第一側上，該第一阻隔層包括以下各項中之至少一者：
    - 第一氧氣阻隔層，其安置於該二氧化碳分離膜與該吹掃通道之間，該氧氣阻隔層對水及二氧化碳具有比對氧氣及氮氣高之滲透率；及
    - 第一水阻隔層，其係疏水性的。
2. 如請求項1之二氧化碳分離器，其中該第一阻隔層包括該氧氣阻隔層。
3. 如請求項1之二氧化碳分離器，其中該第一阻隔層包括該第一水阻隔層，該第一水阻隔層對二氧化碳具有比對水高之滲透率。
4. 如請求項1之二氧化碳分離器，其中該第一阻隔層包括該第一氧氣阻隔層及該第一水阻隔層。
5. 如請求項4之二氧化碳分離器，其中：
  - 該第一氧氣阻隔層包括聚氧化乙烯(PEO)；且
  - 該第一水阻隔層包括多孔鐵氟隆(PTFE)或多孔聚矽。
6. 如請求項1之二氧化碳分離器，其中該二氧化碳分離器具有介於自約0%至約25%之範圍內之氧氣滲透率，及介於自約20%至約

40%之範圍內之水滲透率。

7. 如請求項1之二氧化碳分離器，其中該二氧化碳分離膜包括(2-異丁胺酸)-鉀鹽(AIBA-K)或甘胺酸-鉀鹽(甘胺酸-K)。
8. 如請求項1之二氧化碳分離器，其進一步包括第二阻隔層，該第二阻隔層安置於該二氧化碳分離膜之相對第二側上且包括以下各項中之至少一者：
  - 第二氧氣阻隔層，其對水及二氧化碳具有比對氧氣及氮氣高之滲透率；及
  - 第二水阻隔層，其係疏水性的。
9. 如請求項8之二氧化碳分離器，其中：
  - 該第一阻隔層包括該第一氧氣阻隔層；且
  - 該第二阻隔層包括該第二水阻隔層。
10. 如請求項9之二氧化碳分離器，其中該二氧化碳分離膜之該第一側面向該吹掃通道，且該二氧化碳分離膜之該第二側面向該進給通道。
11. 如請求項8之二氧化碳分離器，其中：
  - 該第一阻隔層包括該第一氧氣阻隔層及該第一水阻隔層；且
  - 該第二阻隔層包括該第二氧氣阻隔層及該第二水阻隔層。
12. 如請求項11之二氧化碳分離器，其中：
  - 該第一氧氣阻隔層安置於該二氧化碳分離膜與該第一水阻隔層之間；且
  - 該第二氧氣阻隔層安置於該二氧化碳分離膜與該第二水阻隔層之間。
13. 一種燃料電池系統，其包括：
  - 燃料電池堆疊；
  - 如請求項1之二氧化碳分離器，該二氧化碳分離器經組態以從

自該燃料電池堆疊輸出之燃料排放流移除二氧化碳且藉由將該燃料排放流純化而形成經純化所回收燃料排放流；

第一回收導管，其將該燃料電池堆疊之燃料排放出口流體連接至進給通道，且經組態以藉由使由該燃料電池堆疊輸出之燃料排放流之至少一部分轉向而將該所回收燃料排放流提供至該二氧化碳分離器；及

第二回收導管，其將該二氧化碳分離器之進給通道出口流體連接至燃料入口導管，該燃料入口導管連接至該燃料電池堆疊，該第二回收導管經調適以將該經純化所回收燃料排放流提供至該燃料入口導管。

14. 如請求項13之燃料電池系統，其中吹掃通道之入口及該進給通道之入口安置於該二氧化碳分離器之同一側上，使得吹掃氣體及該燃料排放流經組態以在同一方向上流動穿過該二氧化碳分離器。
15. 如請求項13之燃料電池系統，其進一步包括流體連接至該吹掃氣體通道之吹掃氣體加濕器。
16. 如請求項15之燃料電池系統，其進一步包括：
  - 濕度或露點偵測器，其經組態以偵測該吹掃氣體之濕度或露點；及
  - 控制單元，其經組態以根據該所偵測濕度或露點來控制該吹掃氣體加濕器。
17. 一種操作燃料電池系統之方法，其包括：
  - 將燃料入口流提供至燃料電池堆疊；
  - 操作該燃料電池堆疊以產生燃料排放流；
  - 將該燃料排放流之至少一部分提供至二氧化碳分離器之進給通道，且在該二氧化碳分離器中自該燃料排放流之該部分分離

二氧化碳以產生經純化燃料排放流；

將吹掃氣體提供至該二氧化碳分離器之吹掃通道，以自該二氧化碳分離器吹掃該經分離二氧化碳；及

將該經純化燃料排放流回收至該燃料入口流，

其中該二氧化碳分離器包括：

二氧化碳分離膜，其安置於該吹掃通道與該進給通道之間，該二氧化碳分離膜對二氧化碳及水具有比對氫氣、一氧化碳及氮氣高之滲透率；及

阻隔層，其安置於該二氧化碳分離膜之第一側上且包括以下各項中之至少一者：

第一氧氣阻隔層，其對水及二氧化碳具有比對氧氣及氮氣高之滲透率；及

第一水阻隔層，其係疏水性的。

18. 如請求項17之方法，其進一步包括：

偵測該吹掃氣體之濕度或露點；

根據該所偵測濕度或露點來調整該二氧化碳分離器之水移除速率。

19. 如請求項18之方法，其中控制該水移除速率包括基於該所偵測濕度或露點而調整以下各項中之至少一者：

該吹掃氣體之流動速率；

該吹掃氣體之濕度；

該二氧化碳分離膜之溫度；

該燃料排放流之該部分之流動速率；及

該燃料排放流之該部分之濕度。

20. 如請求項17之方法，其中該二氧化碳分離器經組態以自該燃料排放流之該部分移除至少50%之該二氧化碳。

21. 如請求項17之方法，其中該二氧化碳分離器具有介於自約0%至約25%之範圍內之氧氣滲透率，及介於自約60%至約80%之範圍內之水滲透率。
22. 如請求項17之方法，其進一步包括控制穿過該二氧化碳分離膜之水滲透，使得由該燃料電池堆疊接收之該燃料入口流之氧碳比率介於自約1.9至2之範圍內。
23. 如請求項17之方法，其中吹掃氣體流之露點介於自約50°C至約85°C之範圍內。
24. 如請求項17之方法，其中該吹掃氣體及該燃料排放流之該部分在同一方向上流動穿過該二氧化碳分離器。
25. 如請求項17之方法，其中：
  - 該二氧化碳分離膜之該第一側面向該吹掃通道；且
  - 該吹掃流係周圍空氣。
26. 如請求項17之方法，其中在產生該經純化燃料排放流時，將二氧化碳分離膜維持於介於自約60°C至約70°C之範圍內之溫度下。
27. 如請求項17之方法，其中該二氧化碳分離器包括該第一氧氣阻隔層且進一步包括安置於該二氧化碳分離膜之面向該進給通道之相對第二側上之第二氧氣阻隔層。
28. 如請求項25之方法，其中該二氧化碳分離器進一步包括第二阻隔層，該第二阻隔層安置於該二氧化碳分離膜之相對第二側上且包括以下各項中之至少一者：
  - 第二氧氣阻隔層，其對水及二氧化碳具有比對氧氣及氮氣高之滲透率；及
  - 第二水阻隔層，其係疏水性的。
29. 如請求項17之方法，其進一步包括以下各項中之至少一者：在

潮濕環境中啟動該燃料電池系統及在潮濕環境中關閉該燃料電池系統。

30. 如請求項17之方法，其進一步包括在將該吹掃氣體提供至該二氧化碳分離器之該吹掃通道之前，自該吹掃氣體移除氧氣。
31. 如請求項17之方法，其進一步包括藉由以下各項中之至少一者而在該燃料電池系統之關閉期間防止空氣氧化該二氧化碳分離膜：

閉合該進給通道之入口及出口；

將惰性氣體或還原氣體供應至該進給通道；及

主動冷卻該二氧化碳分離膜。

圖式

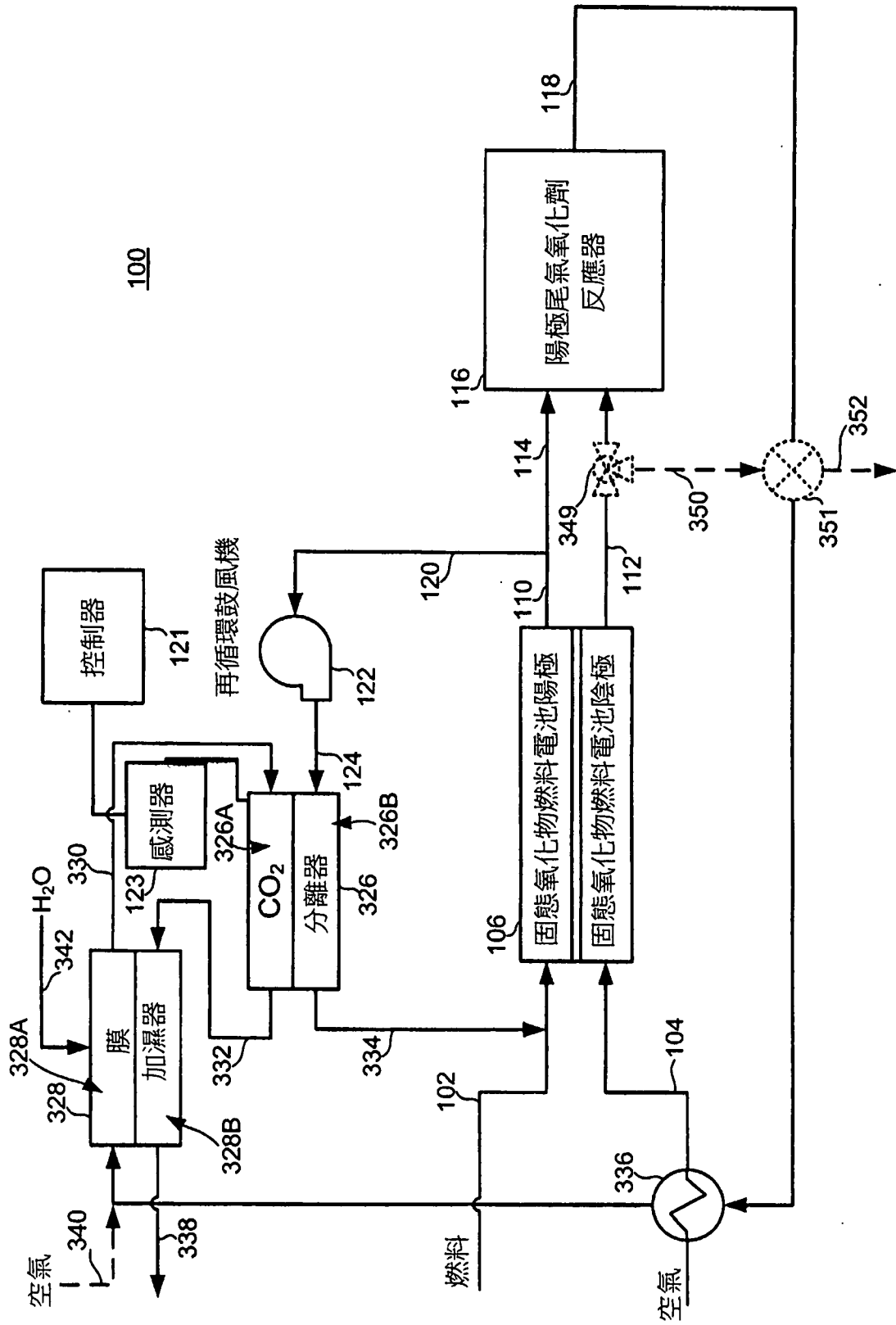


圖 1

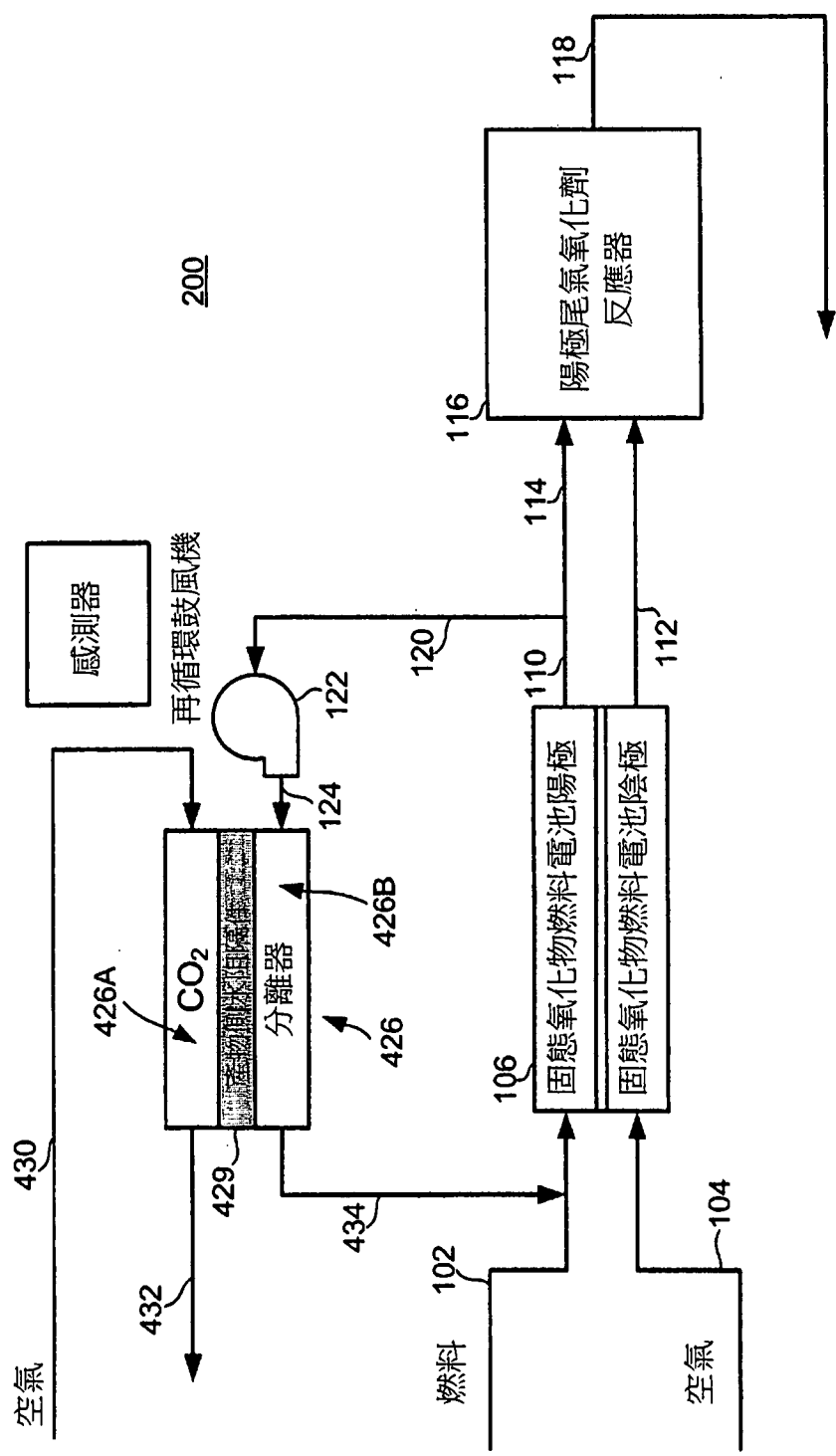


圖 2



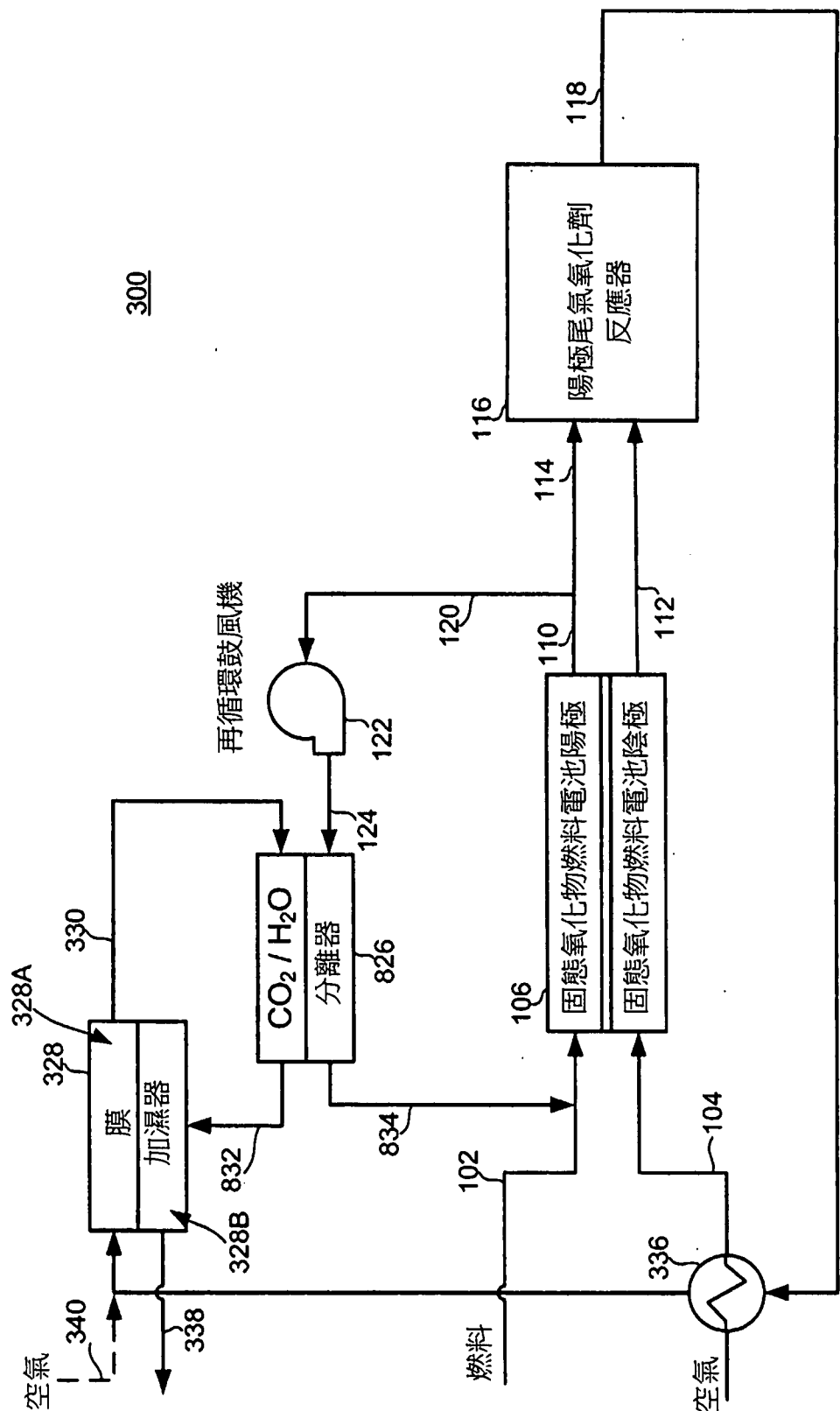


圖 3



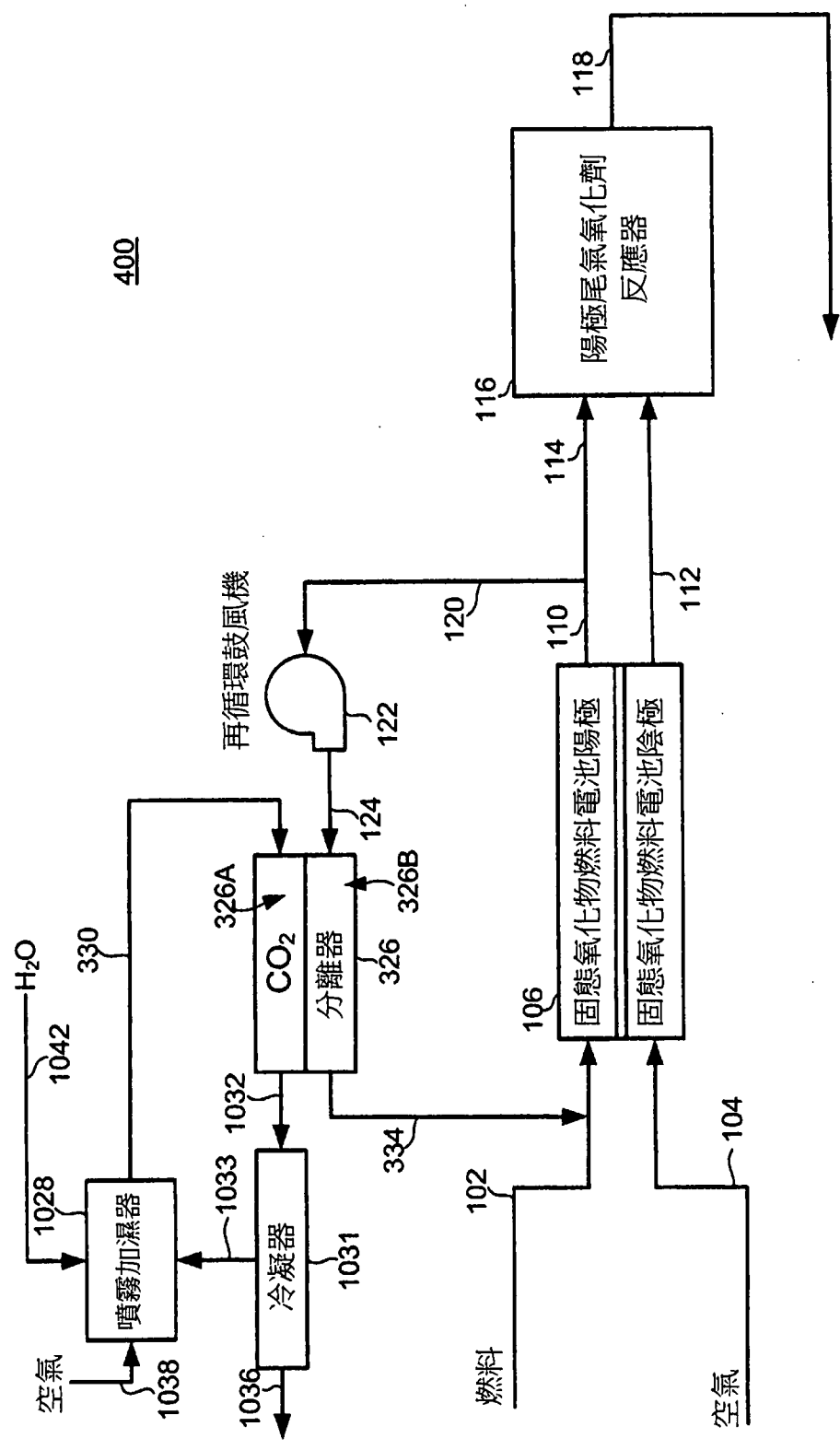
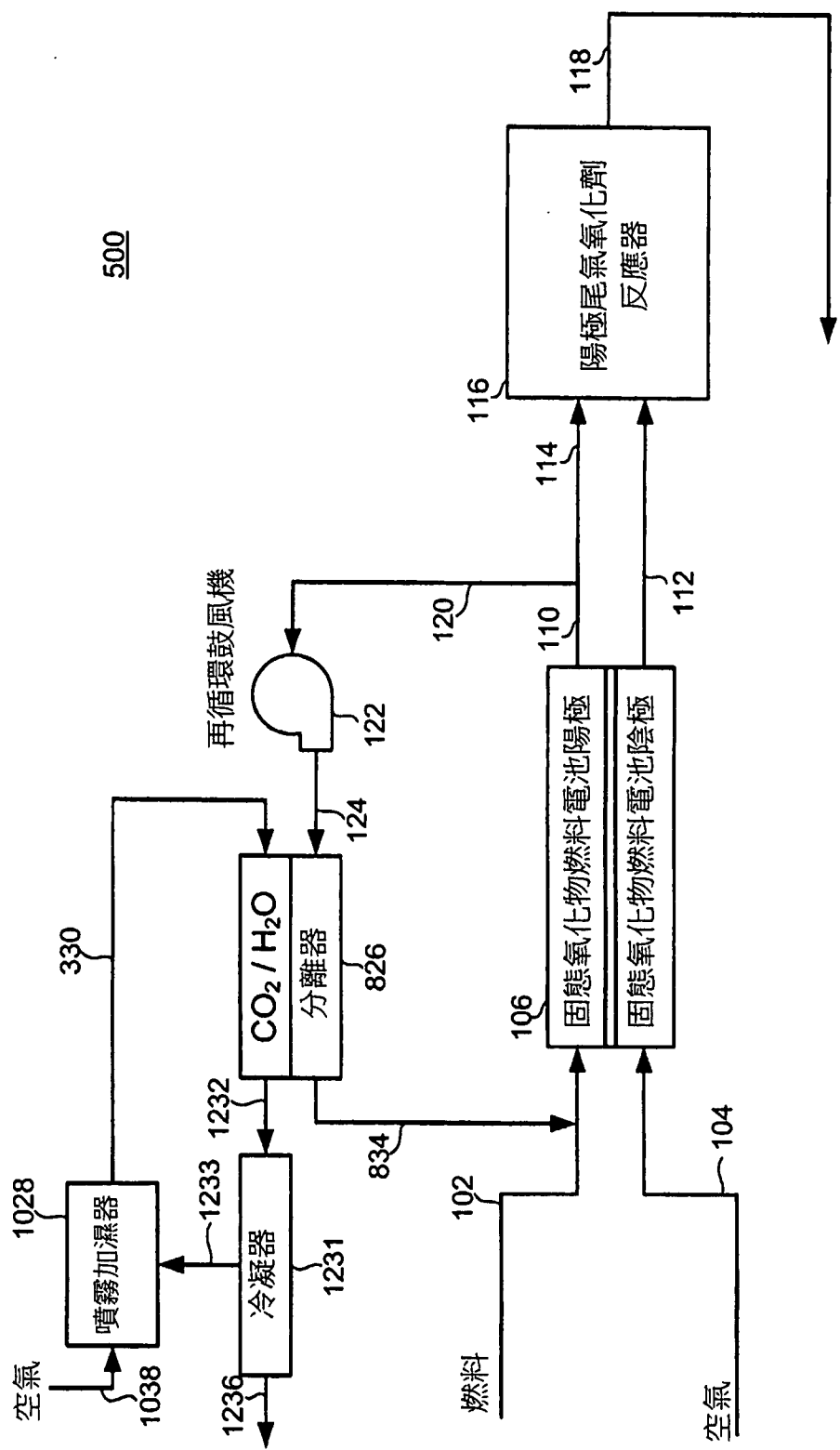


圖 4





500

圖 5

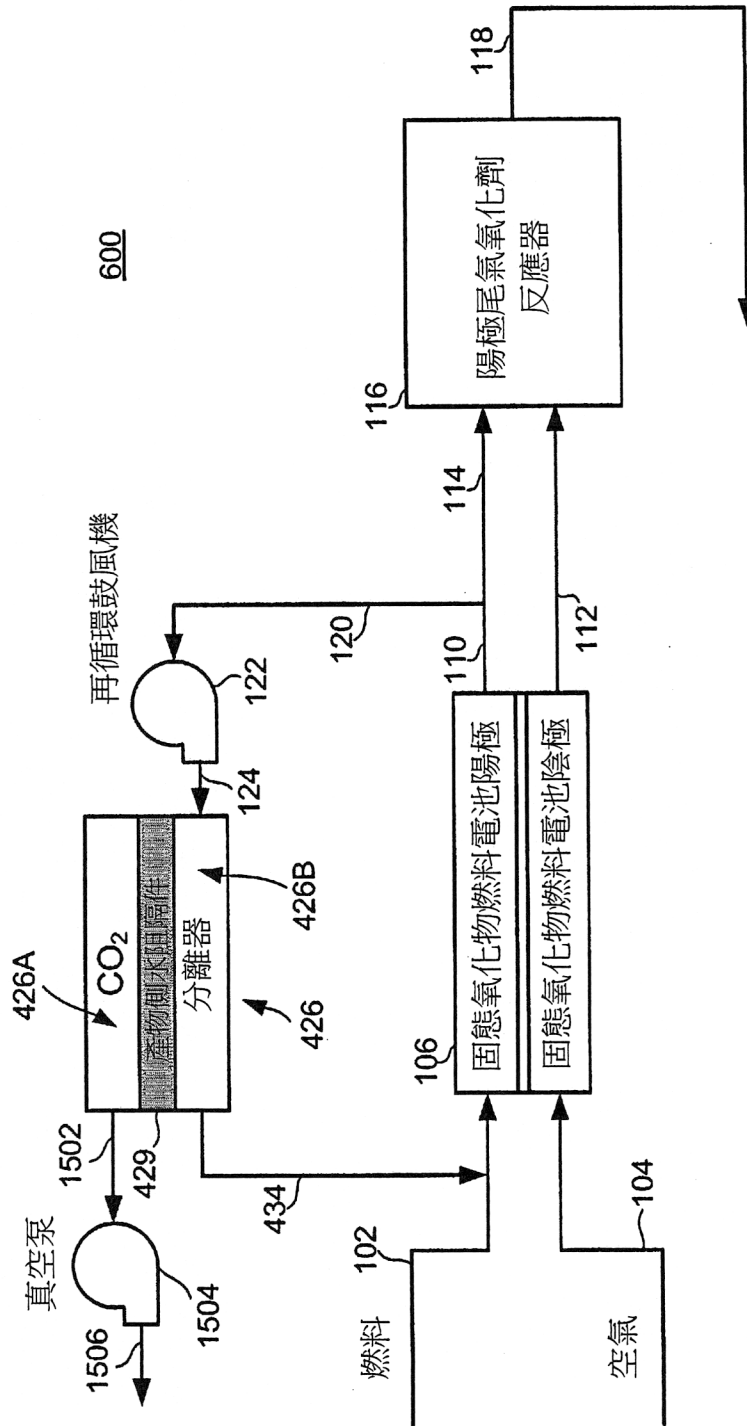


圖 6

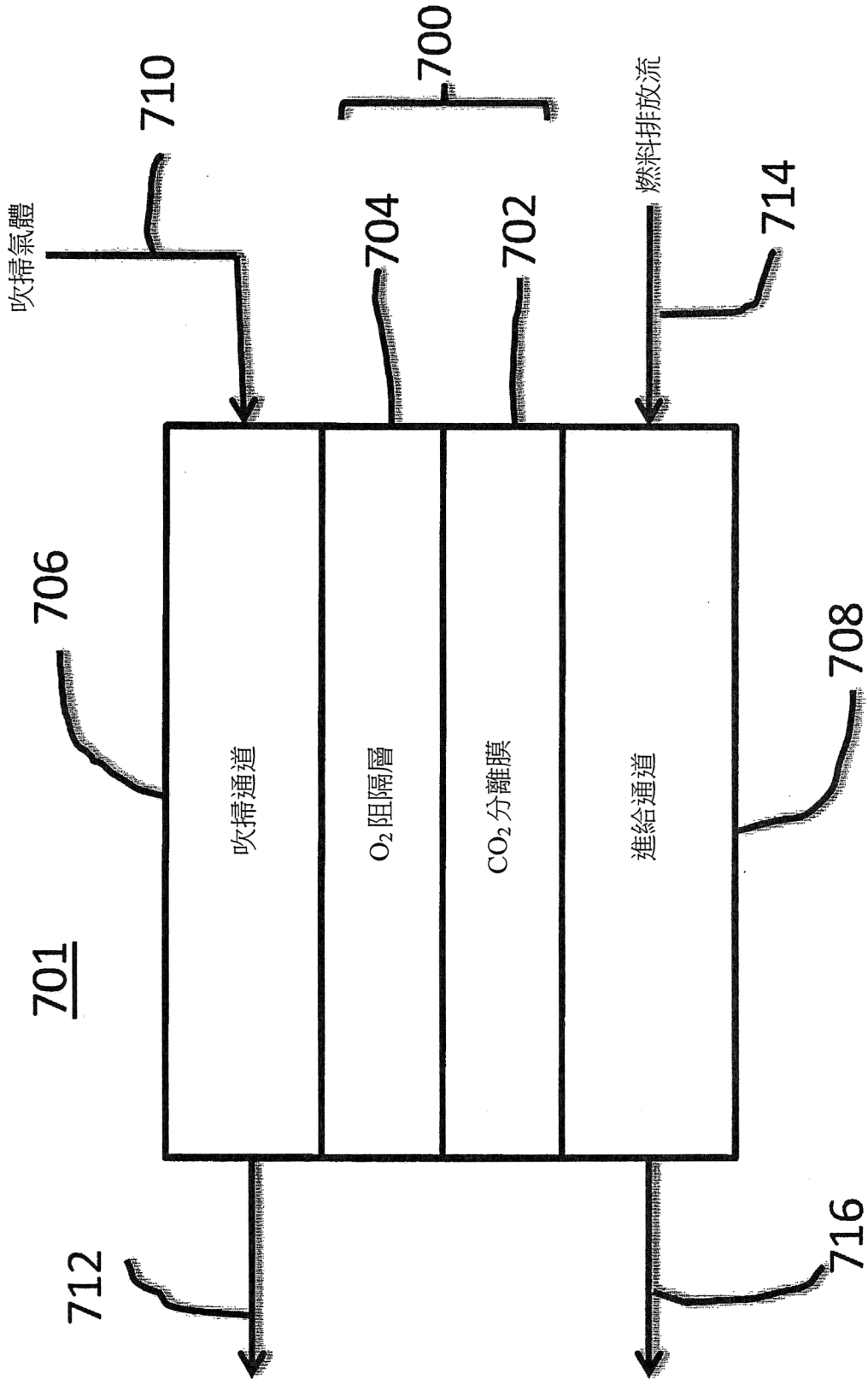


圖 7

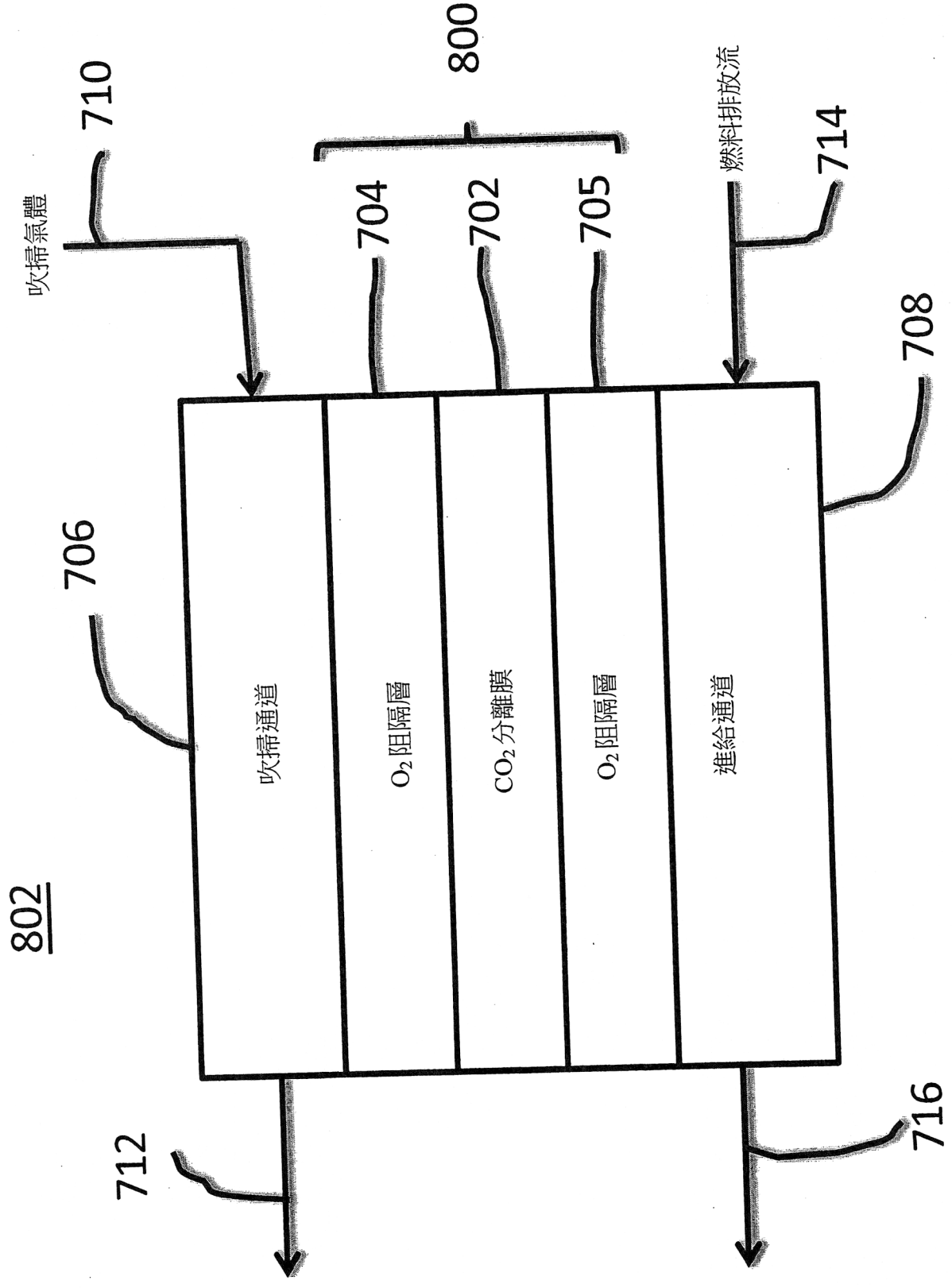


圖 8

901

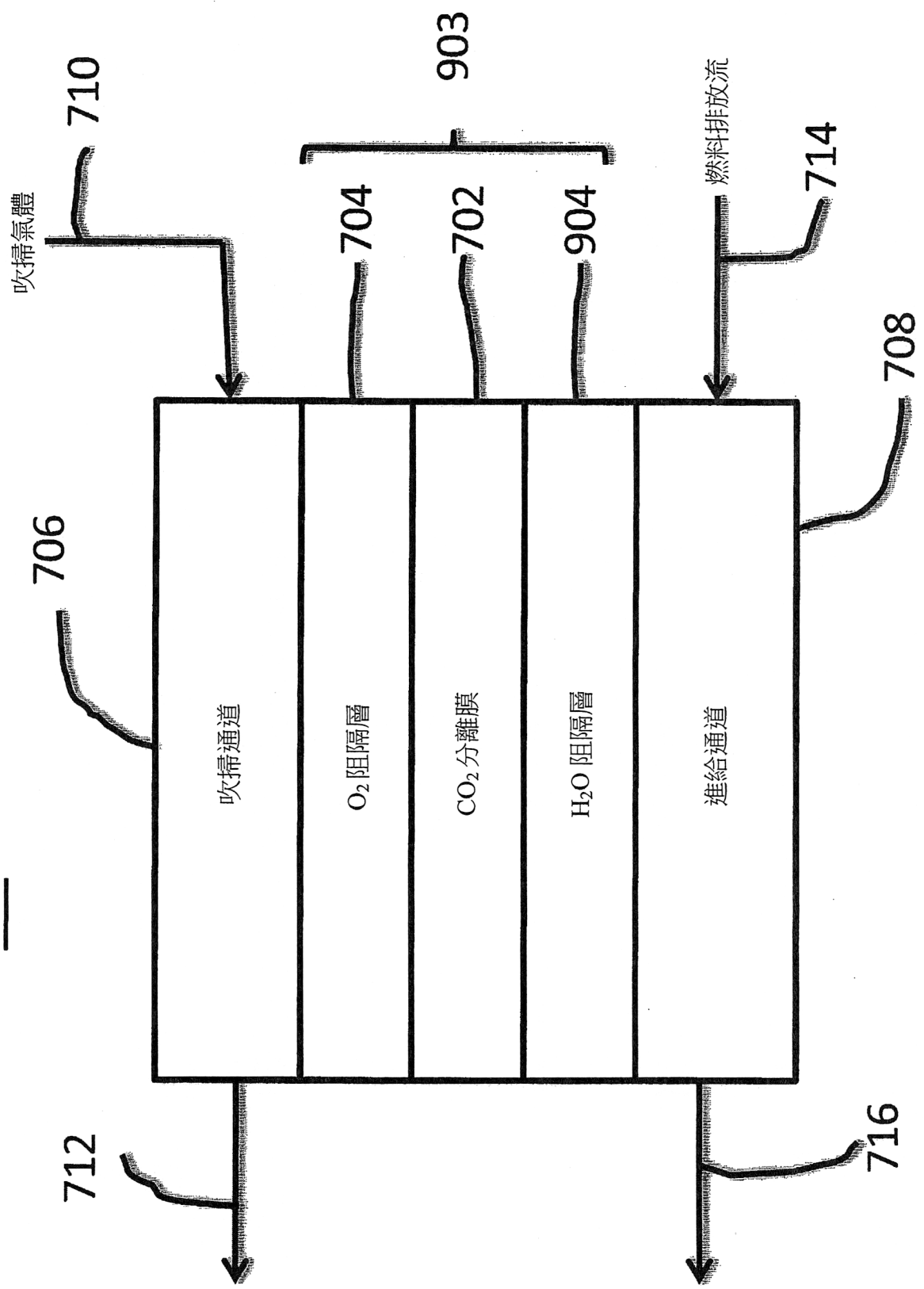


圖 9A

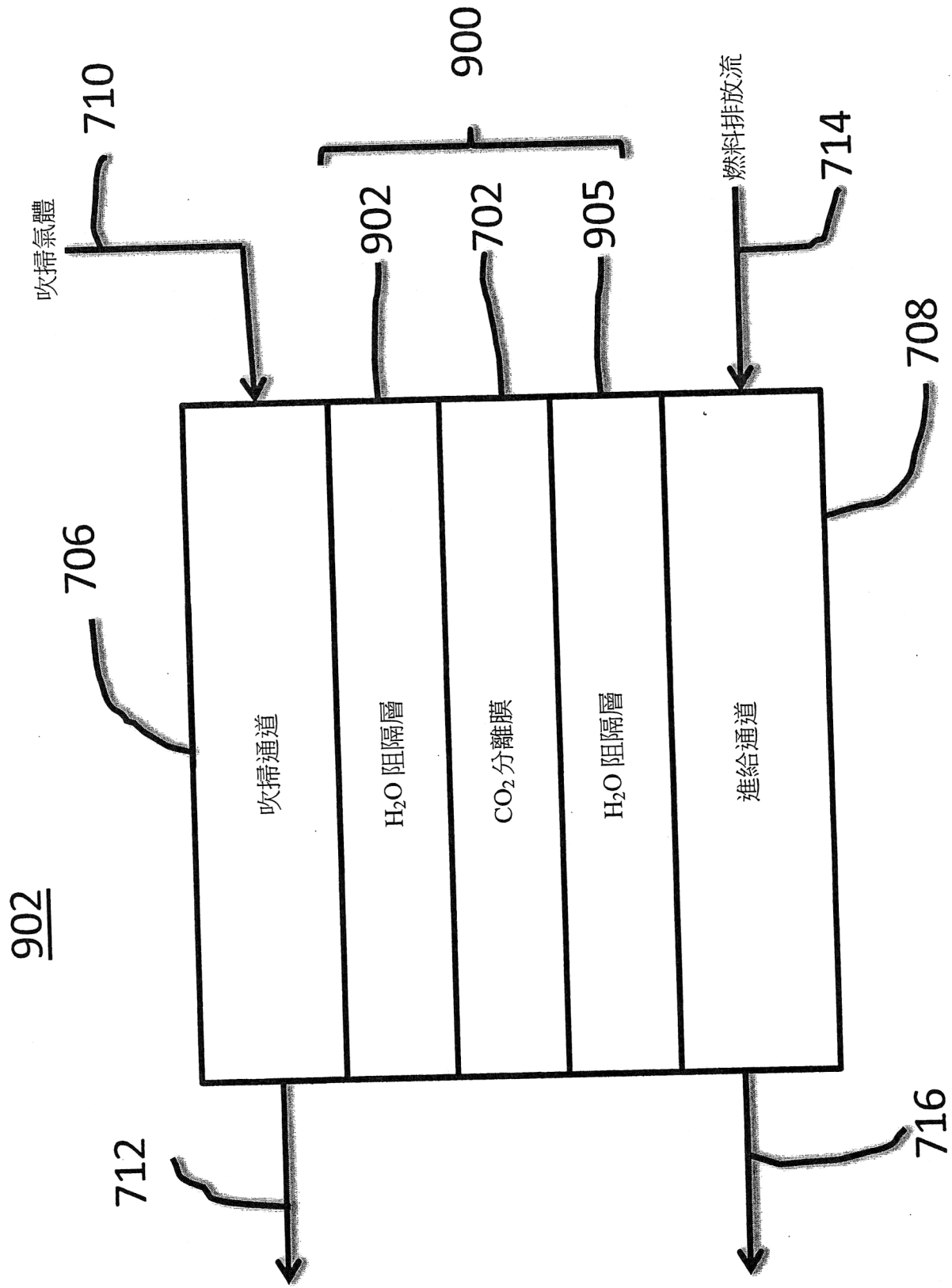


圖 9B

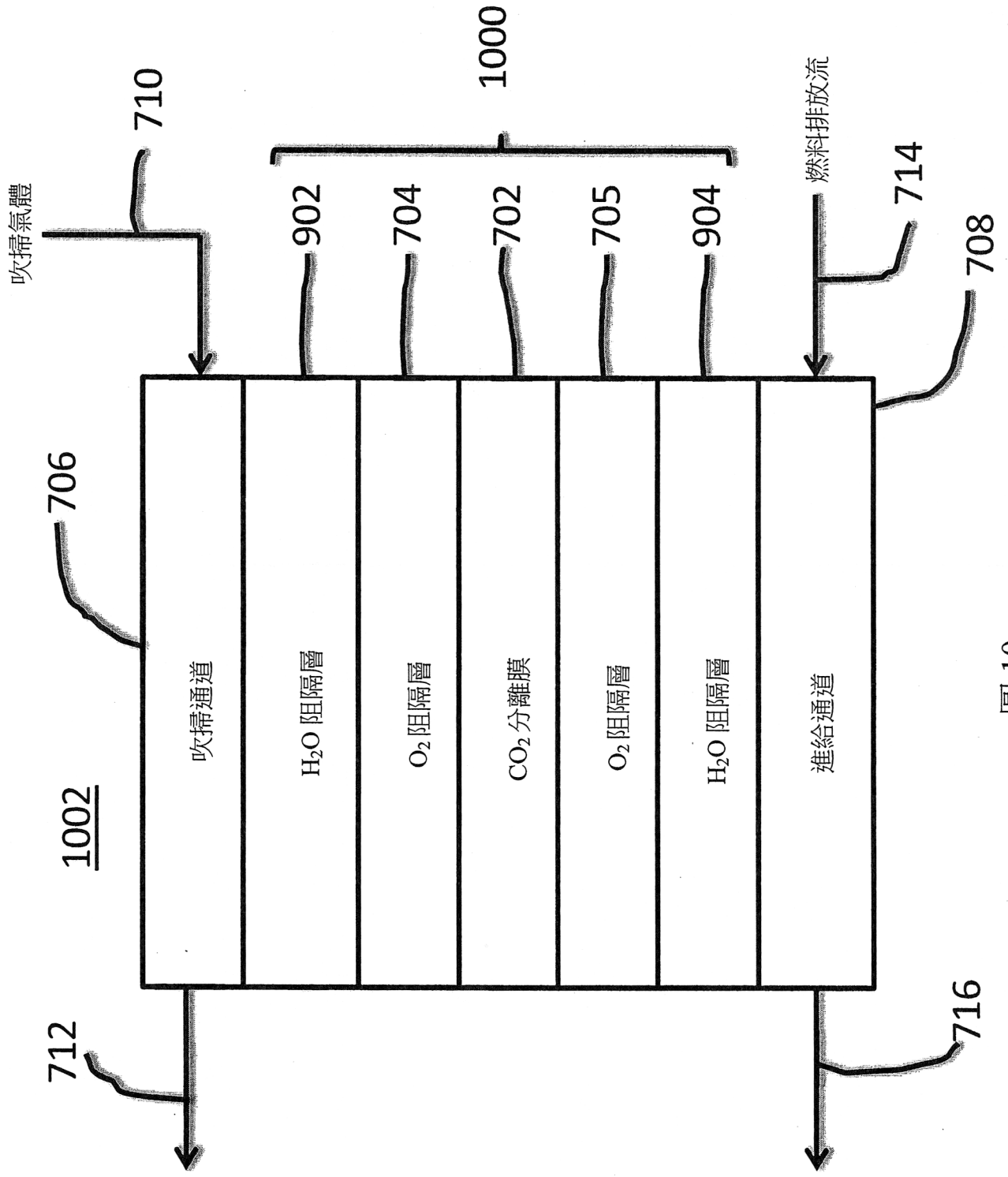


圖 10

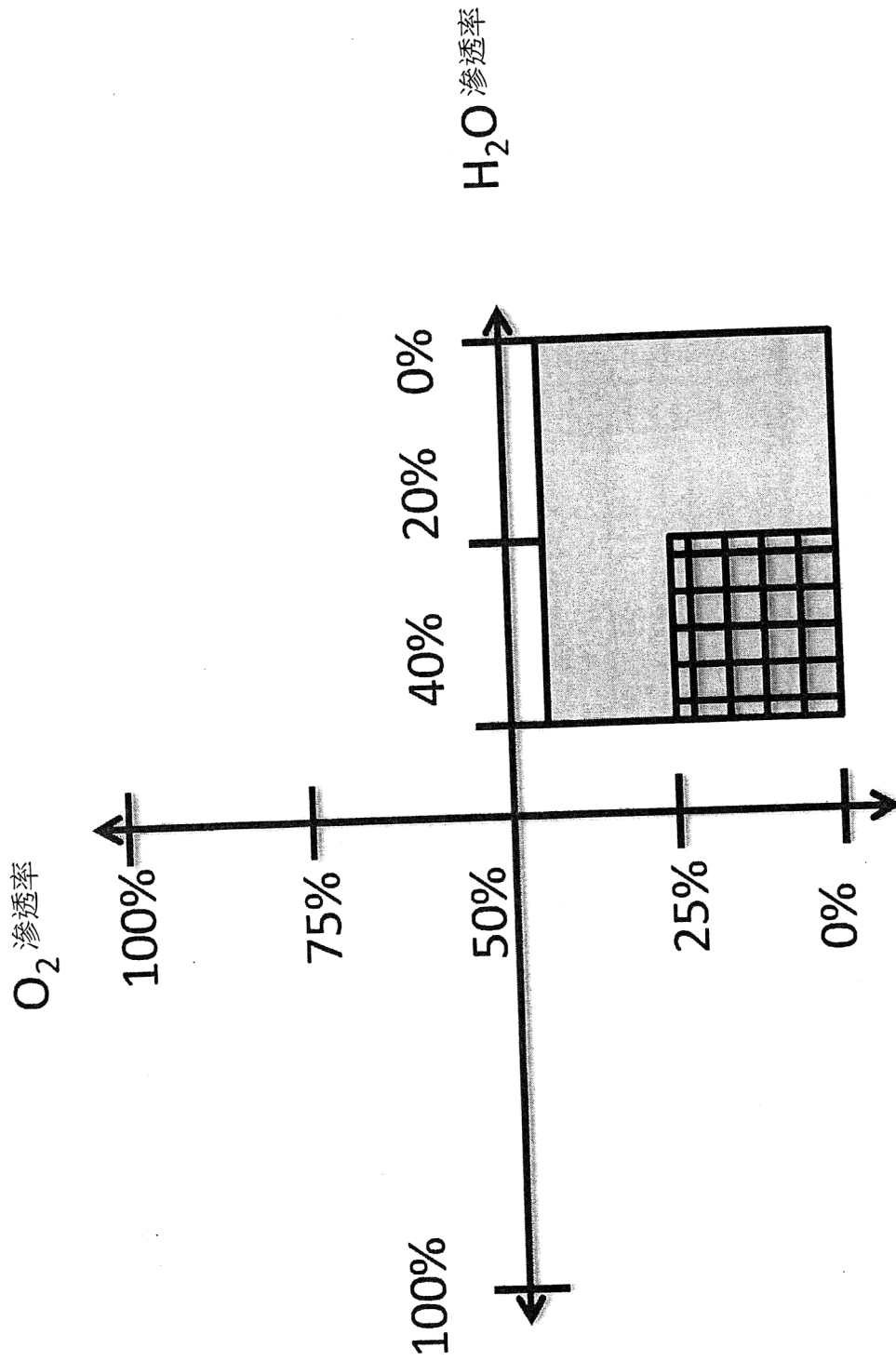


圖 11