



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I805654 B

(45)公告日：中華民國 112 (2023) 年 06 月 21 日

(21)申請案號：107142934

(22)申請日：中華民國 107 (2018) 年 11 月 30 日

(51)Int. Cl. : G01N21/3504(2014.01)

G01N27/12 (2006.01)

G01N33/00 (2006.01)

G01K17/06 (2006.01)

H01L21/66 (2006.01)

(30)優先權：2017/12/01 美國

62/593,721

2018/03/22 美國

62/646,867

(71)申請人：美商MK S 儀器公司 (美國) MKS INSTRUMENTS, INC. (US)

美國

(72)發明人：邱 駿 CHIU, JOHANNES (US)；陳 新 CHEN, XING (US)；戴 璿瑛 TAI, CHIU-

YING (US)；哈瑞斯 麥可 HARRIS, MICHAEL (US)；古柏塔 艾圖 GUPTA,

ATUL (US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

CN 107003220A

JP 2012-088090A

US 2005/0087452A1

US 2017/0276527A1

期刊 Wenjing Yuan and Gaoquan Shi Graphene-based gas sensors

Journal of Materials Chemistry A Vol. 1 Royal Society of Chemistry

2013/06/26 pp. 10078-10091

審查人員：盧贊文

申請專利範圍項數：7 項 圖式數：34 共 124 頁

(54)名稱

用於量測氣流中之自由基之濃度之系統

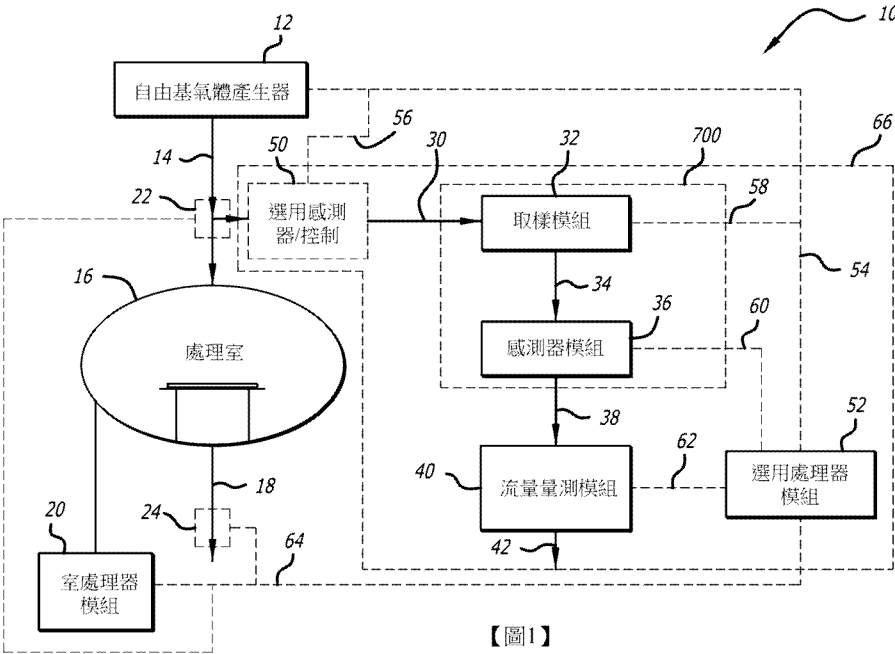
(57)摘要

本申請案係關於一種用於偵測及量測一自由基氣流中之自由基之多感測器氣體取樣偵測系統及方法且包含與至少一氣體源連通之至少一自由基氣體產生器。該自由基氣體產生器可經組態以產生可在一處理室內使用之至少一自由基氣流。因而，該處理室係與該自由基氣體產生器流體連通。與該自由基氣體產生器流體連通之至少一分析電路可用於該偵測及量測系統中。該分析電路可經組態以接收一經定義體積及/或流量之該自由基氣流。在一項實施例中，該分析電路可經組態以使至少一試劑與該經定義體積之該自由基氣流內之自由基反應，藉此形成至少一化物流中之至少一化學物種。該分析電路內之至少一感測器模組可經組態以量測該化物流內之該化學物種之一濃度。一或多個流量量測模組可與該感測器模組流體連通。在使用期間，該流量量測模組可經組態以量測該化物流及該自由基氣流之至少一者之體積。

The present application is directed to a multi-sensor gas sampling detection system and method for detecting and measuring the radicals in a radical gas stream and includes at least one radical gas generator in communication with at least one gas source. The radical gas generator may be configured to generate at least one radical gas stream which may be used within a processing chamber. As such, the processing chamber is in fluid communication with the radical gas generator. At least one analysis circuit in fluid

communication with the radical gas generator may be used in the detection and measurement system. The analysis may be configured to receive a defined volume and/or flow rate of the radical gas stream. In one embodiment, the analysis circuit may be configured to react at least one reagent with radicals within the defined volume of the radical gas stream thereby forming at least one chemical species within at least one compound stream. At least one sensor module within the analysis circuit may be configured to measure a concentration of the chemical species within the compound stream. One or more flow measurement modules may be in fluid communication with the sensor module. During use, the flow measurement module may be configured to measure the volume of at least one of the compound stream and radical gas stream.

指定代表圖：



【圖1】

符號簡單說明：

- 10:氣體取樣偵測系統/處理系統/多感測器氣體取樣偵測系統
- 12:電漿產生器/自由基氣體產生器/反應性氣體產生器
- 14:氣體通路/反應性氣體導管
- 16:處理室
- 18:排放導管
- 20:室處理器模組/室處理模組
- 22:閥裝置/取樣控制閥
- 24:裝置/感測器
- 30:取樣導管
- 32:取樣模組
- 34:分子化合物流導管
- 36:感測器模組/感測模組
- 38:感測器模組輸出導管
- 40:流量量測模組/流量控制模組
- 42:排放導管
- 50:感測器裝置/控制裝置/感測器
- 52:處理器模組/處理器系統
- 54:處理器導管

- 56:感測器導管
- 58:取樣導管
- 60:感測器模組導管
- 62:流量量測導管
- 64:處理導管
- 66:分析系統或電路
- 700:取樣反應模組

**公告本**

I805654

【發明摘要】**【中文發明名稱】**

用於量測氣流中之自由基之濃度之系統

【英文發明名稱】

SYSTEMS FOR MEASURING THE CONCENTRATION OF
RADICALS IN A GAS STREAM

【中文】

本申請案係關於一種用於偵測及量測一自由基氣流中之自由基之多感測器氣體取樣偵測系統及方法且包含與至少一氣體源連通之至少一自由基氣體產生器。該自由基氣體產生器可經組態以產生可在一處理室內使用之至少一自由基氣流。因而，該處理室係與該自由基氣體產生器流體連通。與該自由基氣體產生器流體連通之至少一分析電路可用於該偵測及量測系統中。該分析電路可經組態以接收一經定義體積及/或流量之該自由基氣流。在一項實施例中，該分析電路可經組態以使至少一試劑與該經定義體積之該自由基氣流內之自由基反應，藉此形成至少一化物流中之至少一化學物種。該分析電路內之至少一感測器模組可經組態以量測該化物流內之該化學物種之一濃度。一或多個流量量測模組可與該感測器模組流體連通。在使用期間，該流量量測模組可經組態以量測該化物流及該自由基氣流之至少一者之體積。

【英文】

The present application is directed to a multi-sensor gas sampling

detection system and method for detecting and measuring the radicals in a radical gas stream and includes at least one radical gas generator in communication with at least one gas source. The radical gas generator may be configured to generate at least one radical gas stream which may be used within a processing chamber. As such, the processing chamber is in fluid communication with the radical gas generator. At least one analysis circuit in fluid communication with the radical gas generator may be used in the detection and measurement system. The analysis may be configured to receive a defined volume and/or flow rate of the radical gas stream. In one embodiment, the analysis circuit may be configured to react at least one reagent with radicals within the defined volume of the radical gas stream thereby forming at least one chemical species within at least one compound stream. At least one sensor module within the analysis circuit may be configured to measure a concentration of the chemical species within the compound stream. One or more flow measurement modules may be in fluid communication with the sensor module. During use, the flow measurement module may be configured to measure the volume of at least one of the compound stream and radical gas stream.

【指定代表圖】

圖1

【代表圖之符號簡單說明】

- | | |
|----|----------------------------|
| 10 | 氣體取樣偵測系統/處理系統/多感測器氣體取樣偵測系統 |
| 12 | 電漿產生器/自由基氣體產生器/反應性氣體產生器 |

14	氣體通路/反應性氣體導管
16	處理室
18	排放導管
20	室處理器模組/室處理模組
22	閥裝置/取樣控制閥
24	裝置/感測器
30	取樣導管
32	取樣模組
34	分子化合物物流導管
36	感測器模組/感測模組
38	感測器模組輸出導管
40	流量量測模組/流量控制模組
42	排放導管
50	感測器裝置/控制裝置/感測器
52	處理器模組/處理器系統
54	處理器導管
56	感測器導管
58	取樣導管
60	感測器模組導管
62	流量量測導管
64	處理導管
66	分析系統或電路
700	取樣反應模組

【發明說明書】

【中文發明名稱】

用於量測氣流中之自由基之濃度之系統

【英文發明名稱】

SYSTEMS FOR MEASURING THE CONCENTRATION OF
RADICALS IN A GAS STREAM

【技術領域】

【先前技術】

【0001】 電子裝置及系統正併入至愈來愈多之裝置、系統及應用中。因此，對於複雜性增加及規模縮小之低成本積體電路之市場需求持續增長。已開發各種微製造程序(諸如基於自由基之半導體晶圓程序)來解決按比例調整挑戰。為具成本效益地設計及製造一高效能積體電路，需要謹慎地控制基於自由基之半導體晶圓製程之參數。

【0002】 目前，諸多基於自由基之半導體晶圓處理方法投入使用。程序中所使用之自由基氣體包含原子、激發分子以及通常並不存在於氣體中之許多短壽命分子(諸如H、O、N、F、Cl、Br、NH、NH₂、NF、CH、CH₂、COF等)。雖然目前可用之基於自由基之半導體晶圓程序在過去已證明有點用，但許多缺點已被識別。例如，在晶圓處理期間產生之自由基物種係短壽命的，藉此使準確量測及分析具挑戰性。因此，目前可用之基於自由基之半導體晶圓製造方法論涉及精確配方及虛擬度量來達成所要晶圓架構，而非依靠定量分析。配方及/或控制程序之任何變動可大大

地影響製造良率。另外，在晶圓處理期間產生之高反應性自由基物種傾向於使分析裝置及感測器、光學窗及組件以及定位於自由基流或處理室內之其他系統或裝置迅速降級。

【0003】 因此，鑑於前文，仍需要一種可用於基於自由基之半導體晶圓處理之多感測器氣體取樣偵測系統。

【發明內容】

【0004】 本申請案係關於一種用於偵測及量測一自由基氣流或類似氣流中之原子自由基、分子自由基及/或短壽命分子之多感測器氣體取樣偵測系統及方法。該偵測及量測系統可包含與至少一氣體源連通之至少一自由基氣體產生器。該自由基氣體產生器可經組態以產生可在一處理室內使用之至少一自由基氣流。因而，該處理室係與該自由基氣體產生器流體連通。可與該自由基氣體產生器流體連通之至少一分析電路可用於該偵測及量測系統中。該分析電路可經組態以接收一經定義體積及/或流量之該自由基氣流。在一項實施例中，該分析電路可經組態以使至少一試劑與該經定義體積之該自由基氣流內之該等自由基氣體反應。該反應自該等自由基氣體及該至少一試劑產生至少一化物流(或反應產物)，其可呈化學物種、帶電粒子、光子發射或一熱能釋放之形式，可藉由該分析電路內之至少一感測器模組量測。一或多個流量量測模組可與該感測器模組流體連通。在使用期間，該流量量測模組可經組態以量測該化物流及該自由基氣流之至少一者之體積及/或流量。基於經量測之反應產物之量及該化物流及該自由基氣流之體積及/或流量，可獲得該自由基氣流中之自由基氣體之濃度或量。

【0005】 本申請案進一步揭示一種量測一自由基氣流中之自由基氣

體之方法。更明確言之，用於量測一氣流中之自由基之方法包含提供其中具有自由基之至少一自由基氣流。可藉由將一經定義體積及/或流量之該自由基氣流引導至至少一取樣模組而產生一取樣氣流。可將至少一試劑與該取樣氣流內之自由基組合以形成其中具有至少一化學物種之至少一化合物流。此後，可使用至少一感測器模組量測該化合物流內之化學物種之濃度。此外，可將剩餘體積之該自由基氣流引導至至少一處理室中。可使用與該感測器模組流體連通之至少一流量量測模組量測該自由基氣流及/或該化合物氣流之流量。最後，可藉由比較每定義體積之形成該取樣氣流之自由基氣流之在該化合物流內之化學物種之濃度與該自由基氣流之剩餘體積之一比率而計算該處理室內之自由基之濃度。

【0006】 在另一實施例中，本申請案揭示一種量測一自由基氣流中之自由基之方法。該方法包含提供其中具有自由基之至少一自由基氣流。可藉由將一經定義體積之自由基氣流引導至至少一上游取樣模組而形成至少一上游氣流，同時將剩餘體積之自由基氣流引導至至少一處理室中。可藉由將一經定義體積之自由基氣流自該處理室引導至至少一室取樣模組而形成至少一室取樣氣流，同時自該處理室排放該處理室內之剩餘體積之自由基氣流，藉此形成至少一排放氣流。可藉由將一經定義體積及/或流量之排放氣流引導至至少一排放取樣模組而形成至少一排放取樣氣流。此後，可使至少一試劑與該上游取樣模組、該室取樣模組及該排放取樣模組之至少一者內之該等自由基氣流中之該等自由基反應以形成一上游化合物流、一室化合物流及一排放化合物流之至少一者，該至少一者在其中具有至少一化學物種。可量測該上游化合物流、該室化合物流及該排放化合物流之至少一者內之化學物種之數量且可藉由比較每定義體積之形成該上游

取樣氣流、該室取樣氣流及該排放取樣氣流之該自由基氣流之在該上游化合物物流、該室化合物物流及該排放化合物物流之至少一者內之化學物種之濃度與該自由基氣流之剩餘體積之一比率而計算該處理室內之自由基之濃度。

【0007】 另外，本申請案揭示一種用於一晶圓處理系統中之多感測器氣體偵測系統。該晶圓處理系統包含與自自由基氣體源之至少一源發出一之自由基氣流流體連通之一上游取樣模組。該上游取樣模組可經組態以自該自由基氣體源接收一受控體積及/或流量之該自由基氣流。使至少一試劑與該受控體積及/或流量之該自由基氣流反應以產生一上游化合物物流。此外，至少一室取樣模組可與存在於至少一處理室內之至少一自由基氣流流體連通。該室取樣模組可經組態以接收一受控體積及/或流量之該自由基氣流且使該受控體積及/或流量之該自由基氣流與至少一試劑反應以產生一室化合物物流。另外，至少一排放取樣模組可與自該處理室排放之自由基氣流流體連通。該排放取樣模組可經組態以接收一受控體積及/或流量之該自由基氣流且使其與至少一試劑反應以產生一排放化合物物流。至少一感測器模組可與該上游取樣模組、該室取樣模組及該排放取樣模組之至少一者連通。該感測器模組可經組態以量測該上游化合物物流、該室化合物物流及該排放化合物物流之至少一者之濃度。至少一流量模組可與該上游取樣模組、該室取樣模組、該排放取樣模組及該感測器模組之至少一者連通。該流量模組可經組態以控制該上游化合物物流、該室化合物物流及該排放化合物物流之至少一者之流量。

【0008】 本申請案亦揭示一種用於一反應性氣體處理系統中之取樣反應模組。該取樣反應模組可包含具有一分析配件本體之至少一分析配件。該分析配件本體在其中界定至少一流體通道。至少一流體入口埠及流

體出口埠可形成於該分析配件本體中。該入口埠及該出口埠可與形成於該分析配件本體中之該流體通道流體連通。至少一耦合本體自該分析配件本體延伸。在一項實施例中，該耦合本體包含形成於其中之至少一耦合通路。穿過該分析配件本體之至少一取樣管可定位於該耦合本體之耦合通路內。此外，在其中界定至少一真空通路之經組態以在其上接納至少一分析配件本體之至少一模組本體可包含於該取樣反應模組中。該模組本體可具有形成於其中之至少一取樣管接納件使得該取樣管接納件可與該真空通路流體連通。

【0009】 最後，本申請案進一步揭示一種量熱法系統。更明確言之，該量熱法系統包含在其中界定至少一氣體通路之至少一反應性氣體導管。在使用期間，該氣體通路經組態以具有流動通過其之至少一反應性氣體。此外，至少一第一感測器本體可定位於該反應性氣體導管之氣體通路內。在一項實施例中，該感測器本體經組態以量測流動通過該氣體通路之反應性氣體之一溫度。另外，至少一感測器裝置可與該感測器本體連通。在使用期間，該至少一感測器裝置可經組態以自該感測器本體接收與該反應性氣體流有關之溫度資料。至少一處理器可與第一感測器裝置連通且可經組態以計算流動通過該反應性氣體導管之反應性氣體之一樣本功率。

【0010】 將自以下詳細描述之一考量更加明白如本文中所描述之用於偵測及量測一自由基氣流中之自由基之多感測器氣體取樣偵測系統及方法之其他特徵及優點。

【圖式簡單說明】

【0011】 藉由檢視以下圖將更加明白如本文中所揭示之用於偵測及量測一自由基氣流中之自由基之多感測器氣體取樣偵測系統及方法之新穎

態樣，其中：

【0012】 圖1展示一多感測器氣體取樣偵測系統之一實施例之一示意圖；

【0013】 圖2展示一多感測器氣體取樣偵測系統之另一實施例之一示意圖，其中自在一處理室之上游及來自該處理室內之一自由基氣流獲取氣體樣本；

【0014】 圖3展示一多感測器氣體取樣偵測系統之另一實施例之一示意圖，其中自在一處理室之上游、來自該處理室內及在該處理器之下游之一自由基氣流獲取氣體樣本；

【0015】 圖4展示一多感測器氣體取樣偵測系統之一替代實施例之一示意圖；

【0016】 圖5展示具有耦合至其之一試劑源之一多感測器氣體取樣偵測系統之一替代實施例之一示意圖；

【0017】 圖6展示一多感測器氣體取樣偵測系統之另一替代實施例之一示意圖；

【0018】 圖7展示一多感測器氣體取樣偵測系統之另一替代實施例之一示意圖；

【0019】 圖8展示用於一多感測器氣體取樣偵測系統中之一取樣反應模組之一實施例之一俯瞰透視圖；

【0020】 圖9展示用於圖1中所展示之一多感測器氣體取樣偵測系統中之取樣反應模組之一實施例之一替代俯瞰透視圖；

【0021】 圖10展示與圖1中所展示之取樣反應模組一起使用之一分析配件之一實施例之一俯瞰前透視圖；

【0022】 圖11展示與圖1中所展示之取樣反應模組一起使用之一分析配件之實施例之一俯瞰前分解視圖；

【0023】 圖12展示與圖1中所展示之取樣反應模組一起使用之一分析配件之一實施例之一俯瞰後透視圖；

【0024】 圖13展示與圖1中所展示之取樣反應模組一起使用之一分析配件之實施例之一俯瞰後分解視圖；

【0025】 圖14展示一取樣反應模組本體之一實施例之一俯瞰透視圖；

【0026】 圖15展示圖14中所展示之沿著線15-15觀看之取樣反應模組本體之一實施例之一俯瞰橫截面透視圖；

【0027】 圖16展示描述使用圖1至圖7中所描述之多感測器氣體取樣偵測系統之一方法之一流程圖；

【0028】 圖17展示描述使用圖1至圖7中所描述之多感測器氣體取樣偵測系統之一方法之一流程圖；

【0029】 圖18展示描述使用圖1至圖7中所描述之多感測器氣體取樣偵測系統之一替代方法之一流程圖；

【0030】 圖19展示描述使用圖1至圖7中所描述之多感測器氣體取樣偵測系統之另一方法之一流程圖；

【0031】 圖20用圖形展示使用圖19中所描述之多感測器氣體取樣偵測系統建立上界限及下界限之方法；

【0032】 圖21展示描述校準圖1至圖7中所描述之多感測器氣體取樣偵測系統之一方法之一流程圖；

【0033】 圖22用圖形展示在圖21中所描述之校準多感測器氣體取樣

偵測系統時計算之經外推功率量測；

【0034】 圖23用圖形展示使用一基於光學之量測系統與本申請案中
所描述之多感測器氣體取樣偵測系統量測之氧自由基之經量測濃度；

【0035】 圖24展示描述使用圖1至圖7中所描述之多感測器氣體取樣
偵測系統之一基於光學之方法之一流程圖；

【0036】 圖25展示描述使用圖1至圖7中所描述之多感測器氣體取樣
偵測系統之一基於半導體之方法之一流程圖；

【0037】 圖26用圖形展示在使用圖25中所展示之基於電阻之取樣架
構時隨著啟動及撤銷啟動自由基輸出流之電阻變化之結果；

【0038】 圖27展示一多感測器氣體取樣偵測系統之另一替代實施例
之一示意圖；

【0039】 圖28展示用於圖27中所展示之氣體取樣偵測系統之實施例
中之具有至少一感測器本體定位於其內之一反應性氣體導管之一實施例之
一俯瞰透視圖；

【0040】 圖29展示用於圖27中所展示之氣體取樣偵測系統之實施例
中之具有至少一感測器本體定位於其內之一反應性氣體導管之另一實施例
之一俯瞰透視圖；

【0041】 圖30展示用於圖27中所展示之氣體取樣偵測系統之實施例
中之具有至少一感測器本體定位於其內之一反應性氣體導管之另一實施例
之一俯瞰透視圖；

【0042】 圖31展示描述使用圖27、圖29及圖30中所描述之多感測器
氣體取樣偵測系統之一方法之一流程圖；

【0043】 圖32展示描述使用圖27、圖29及圖30中所描述之多感測器

氣體取樣偵測系統之另一方法之一流程圖；

【0044】 圖33用圖形展示定位於圖27至圖30中所描述之多感測器氣體取樣偵測系統之反應性氣體導管內之感測器本體之溫度差量(delta)；

【0045】 圖34A用圖形展示用於圖27及圖30中所描述之感測器氣體取樣偵測系統之實施例中之一第一自由基氣體產生器之效能；及

【0046】 圖34B用圖形展示用於圖27及圖30中所描述之感測器氣體取樣偵測系統之實施例中之一第二自由基氣體產生器之效能。

【實施方式】

相關申請案之交叉參考

【0047】 本申請案主張於2017年12月1日申請之標題為「Multi-Sensor Gas Sampling Detection System for Radical Gases and Short-lived Molecules and Method of Use」之美國專利申請案第62/593,721號及於2018年3月22日申請之標題為「Multi-Sensor Gas Sampling Detection System for Radical Gases and Short-lived Molecules and Method of Use」之美國專利申請案第62/646,867號之優先權，該兩案之全部內容以引用的方式併入本文中。

【0048】 本申請案係關於一種用於原子自由基、分子自由基及短壽命分子(在下文中為自由基)之多感測器氣體取樣偵測系統及使用方法。更明確言之，本申請案揭示一種經組態以允許使用者容易及準確地量測一氣流中之自由基之濃度之氣體取樣偵測系統。在一項實施例中，本文中所揭示之氣體取樣偵測系統可經組態以在將一氣流引入至一處理室或類似器皿中之前量測該氣流內之自由基之濃度。在另一實施例中，本文中所揭示之

氣體取樣偵測系統可經組態以量測該處理室或器皿內之一氣流內之自由基之濃度。視需要，本文中所揭示之氣體取樣偵測系統可用於量測一排放流內之自由基之濃度，該排放流自處理室或器皿排放。更明確言之，本文中所揭示之方法容許藉由使一氣體樣本內之自由基與選定元素及化合物反應以產生可使用各種量測技術容易及準確地偵測及量測之化學物種而量測此前難以量測之自由基之濃度。在一些實施例中，該量測程序可原位進行。視需要，量測程序可在一遠端位置處進行。

【0049】圖1示意性地展示可用於偵測一氣流內之自由基之濃度之一氣體取樣偵測系統之一實施例。如所展示，氣體取樣偵測系統10包含經由至少一氣體通路14與至少一處理室16流體連通之至少一電漿產生器及/或自由基氣體產生器12。在一項實施例中，自由基氣體產生器12可包含至少一樣本氣體源及至少一電漿源或可與其等連通。在使用期間，自由基氣體產生器12可經組態以供能給樣本氣體及使樣本氣體解離且產生至少一反應性氣流。在一特定實施例中，自由基氣體產生器12包括一RF環形電漿源，但熟習此項技術者將瞭解，各種各樣之電漿源或自由基氣體源可與本發明系統一起使用。在一項實施例中，自由基氣體產生器12使用氫(H₂)電漿產生原子氫。在另一實施例中，自由基氣體產生器12利用氧(O₂)電漿產生原子氧。視需要，自由基氣體產生器12可利用三氟化氮(NF₃)、氟(F₂)、氯(Cl₂)或各種各樣之其他材料來產生含有氣流內之一或多個自由基之一反應性電漿。替代性地，自由基氣體可藉由其他氣體激發方法(包含電子束激發、雷射激發或熱燈絲激發)產生。此外，以上描述揭示基於RF之電漿產生系統之各項實施例；但熟習此項技術者將瞭解，各種各樣之替代自由基氣體產生系統可與本發明系統一起使用。例示性替代自由基氣體

產生系統包含(但不限於)輝光放電電漿系統、電容耦合電漿系統、級聯技術電漿系統、電感耦合電漿系統、波加熱電漿系統、弧光放電電漿系統、電暈放電電漿系統、介電障壁放電系統、電容性放電系統、壓電直接放電電漿系統及類似者。

【0050】 再次參考圖1，至少一處理室16可經由至少一反應性氣體導管14與自由基氣體產生器12流體連通。在一些應用中，反應性氣體導管14係由一化學惰性材料或具有低化學反應性之一材料製成。例示性材料包含(但不限於)石英、藍寶石、不鏽鋼、強化鋼、鋁、陶瓷材料、玻璃、黃銅、鎳、 Y_2O_3 、 $YAlO_x$ 、各種合金及經塗佈金屬(諸如陽極氧化鋁)。在一項實施例中，單個反應性氣體導管14與單個自由基氣體產生器12流體連通。在另一實施例中，多個反應性氣體導管14與單個反應性氣體產生器12流體連通。在又另一實施例中，單個反應性氣體導管14與多個自由基氣體產生器12連通。因而，任何數目個反應性氣體導管14可與任何數目個自由基氣體產生器12連通。視需要，反應性氣體導管14可包含耦合至其或與其連通之一或多個閥裝置或系統、感測器或類似裝置22。例如，一或多個閥裝置22可耦合至反應性氣體導管14，藉此允許一使用者選擇性地允許及/或限制至少一反應性氣流流動通過反應性氣體導管14。

【0051】 如圖1中所展示，處理室16可經由反應性氣體導管14耦合至自由基氣體產生器12或與自由基氣體產生器12連通。在一項實施例中，處理室16包括經組態以具有定位於其中之一或多個基板、半導體晶圓或類似材料之一或多個真空室或器皿。例如，處理室16可用於半導體基板或晶圓之原子層處理。視需要，處理室16可用於使用各種各樣之處理方法及/或系統來處理各種各樣之基板或材料。例示性處理方法包含(但不限於)

物理氣相沈積(PVD)、化學氣相沈積(CVD)、快速熱化學氣相沈積(RTCVD)、原子層沈積(ALD)、原子層蝕刻(ALE)及類似者。熟習此項技術者將瞭解，處理室16由各種各樣之材料製成，包含(但不限於)不鏽鋼、鋁、軟鋼、黃銅、高密度陶瓷、玻璃、丙烯酸及類似者。例如，處理室16之至少一內表面可包含意欲選擇性地改變反應性、耐久性及/或填充處理室16之該等內表面上之微孔之至少一塗層、陽極氧化材料、犧牲材料、實體特徵或元件及類似者。至少一排放導管18可耦合至處理室16且經組態以自處理室16抽出一或多種氣體或材料。視需要，一或多個控制感測器、閥、滌氣器或類似裝置24可耦合至排放導管18或定位成靠近排放導管18，藉此允許使用者自處理室16選擇性地抽出一或多種氣體或其他材料。

【0052】 再次參考圖1，至少一室處理器模組20可耦合至處理室16及/或處理系統之各種組件或以其他方式與其等連通。室處理模組20可經組態以提供形成處理系統10之各種組件之局部控制。在所繪示之實施例中，室處理模組20經由一導管與處理室16連通，但熟習此項技術者將瞭解，室處理模組20可經由導管、用無線方式或兩者與形成處理系統10之組件之任一者連通。

【0053】 如圖1中所展示，至少一取樣模組32可經由至少一取樣導管30與自由基氣體產生器12流體連通。熟習此項技術者將瞭解，取樣導管30可由各種各樣之材料製成，包含(但不限於)不鏽鋼、合金、鋁、黃銅、陶瓷材料、玻璃、聚合物、塑膠、碳纖維、基於碳之材料、石墨、矽、二氧化矽、碳化矽及類似者。因而，在一些實施例中，取樣導管30可經組態以與流動於其中之自由基氣流內所含有之高反應性原子自由基、分

子自由基及短壽命分子化學反應。在又另一實施例中，取樣導管30可由一催化材料組成以促進將原子氣體物種重組成其分子氣體物種，使得原子氣體之重組能量經釋放及量測。在其他實施例中，取樣導管30可經組態為化學惰性的。視需要，取樣導管30在其上可包含各種各樣之感測器、閥、加熱元件、冷卻元件及類似者。在一項實施例中，取樣導管30係直接耦合至自由基氣體產生器12及與自由基氣體產生器12流體連通。在所繪示之實施例中，取樣導管30經由反應性氣體導管14與自由基氣體產生器12流體連通。視需要，取樣導管30可與定位於反應性氣體導管14上之取樣控制閥22流體連通。例如，取樣控制閥22可經組態以經由取樣導管30將穿過反應性氣體導管14之一指定體積之反應性氣體選擇性地引導至取樣模組32。在另一實施例中，取樣控制閥22可經組態以經由取樣導管30將穿過反應性氣體導管14之一指定流量之反應性氣體選擇性地引導至取樣模組32。此外，任何數目個額外組件、閥、感測器及類似者可沿著取樣導管30定位於任何地方。例如，在所繪示之實施例中，至少一感測器及/或控制裝置50可沿著取樣導管30定位。例示性感測器裝置包含(但不限於)熱電偶、溫度感測器、光學感測器、UV、光學或紅外光譜儀、電荷粒子偵測器、真空計、質譜儀及類似者。例如，在一項實施例中，感測器裝置50包括至少一熱敏電阻器。在另一實施例中，感測器裝置50包括至少一量熱法系統或裝置。在本申請案之圖8至圖15中詳細論述及展示一新穎量熱法系統之一實施例。視需要，感測器裝置50可包括一或多個滴定系統或裝置。熟習此項技術者將瞭解，感測器裝置50可包括任何數目個原位量測裝置或系統、流量閥、流量計、流量驗證器及類似者。

【0054】 再次參考圖1，在所繪示之實施例中，取樣模組32耦合至

至少一分子化物流導管34。如同取樣導管30，分子化物流導管34可由各種各樣之材料製成，包含(但不限於)石墨、矽石、碳纖維、二氧化矽、矽石及碳化物、基於碳之材料、基於矽石之材料、不鏽鋼、合金、鋁、黃銅、陶瓷材料、玻璃、聚合物、塑膠及類似者。在一項實施例中，取樣導管30及/或分子化物流導管34之至少一者之至少一部分可經組態以與流動於其中之自由基氣流反應。例如，在一項實施例中，取樣導管30及/或分子化物流導管34之至少一部分可經組態以與氣體流內之自由基反應以形成相較於自由基氣流內之自由基更穩定且能夠準確量測之化學物種。

【0055】如圖1中所展示，至少一感測器模組36經由分子化物流導管34與取樣模組32流體連通。在一項實施例中，感測器模組36可經組態以偵測及量測至少一氣體流中之自由基之濃度。各種各樣之裝置或系統可在感測器模組36內使用或形成感測器模組36。例如，在一項實施例中，感測器模組36包括經組態以量測自由基氣流內之自由基通量之至少一偵測器。在另一實施例中，感測器模組36經組態以量測一氣體流內之至少一化學物種之濃度。例如，感測器模組36可經組態以量測一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO₂)、碳氫分子(次甲基自由基)、亞甲基(CH₂)、甲基化合物(CH₃)、甲烷(CH₄)、四氟化矽及類似化合物之濃度。在一項特定實施例中，感測器模組36包含至少一光學氣體成像相機或裝置，諸如傅立葉變換紅外光譜法系統(在下文中為FTIR系統)、可調濾波器光譜法系統(在下文中為TFS系統)、質譜分析法、光學吸收光譜法及類似者。視需要，感測模組36可進一步包含至少一滴定系統或裝置。在一項實施例中，感測模組36可經組態以減少或消除將氣流內之自由基重組成其分子物種。在另一

實施例中，感測器模組36可經組態以允許將一氣流內之自由基重組為其分子物種。

【0056】 再次參考圖1，至少一感測器模組輸出導管38與感測器模組36及流量量測及/或流量控制模組40流體連通。在一些實施例中，流量量測模組40經組態以準確地量測流動通過其之氣流之一部分。例如，可使用一質量流量驗證器(MFV)量測氣流之流量。在另一實施例中，可使用一質量流量計(MFM)量測氣流之流量。視需要，可藉由量測多感測器氣體取樣偵測系統10內之已知尺寸之一孔口與流體傳導之間的壓力差而判定流量。熟習此項技術者將瞭解，各種各樣之流量量測裝置或系統可與本文中所揭示之氣體取樣偵測系統10一起使用。如圖1中所展示，至少一排放導管42可耦合至流量量測模組40或與流量量測模組40連通且經組態以自氣體取樣偵測系統10排放自由基氣流。視需要，排放導管42可與至少一真空源(未展示)流體連通。

【0057】 如圖1中所展示，處理系統10可包含可與處理系統10之至少一組件連通之至少一選用處理器模組52。例如，在所繪示之實施例中，一選用處理器模組52經由至少一處理器導管54與自由基氣體產生器12連通。此外，選用處理器系統52可經由處理器導管54及至少一選用感測器導管56與選用感測器50連通，經由處理器導管54及至少一取樣導管58與取樣模組32連通，經由至少一感測器模組導管60與感測器模組36連通，及經由至少一流流量量測導管62與流量量測模組40連通。在一項實施例中，選用處理器模組52可經組態以自自由基氣體產生器12、選用感測器50、取樣模組32、感測器模組36及流量量測模組40之至少一者提供及接收資料。因而，選用處理器模組52可經組態以量測處理系統10內之流量

狀況且選擇性地改變處理系統10之操作條件以最佳化系統效能。更明確言之，選用處理器模組52可經組態以量測氣流內之自由基之濃度且改變自由基氣體產生器12之操作特性以增加或減小自由基氣流內之自由基之濃度。此外，選用處理器模組52可經由至少一選用處理導管64與選用閥裝置22、感測器24及室處理器模組20之至少一者連通且自選用閥裝置22、感測器24及室處理器模組20之至少一者提供/接收資料。視需要，選用處理器模組52可用無線方式與處理系統10之各種組件連通。此外，選用處理器模組52可經組態以儲存效能資料、處理配方及時間、批號及類似者。另外，選用處理器模組52可經組態以經由至少一電腦網路與一或多個外部處理器通信。

【0058】 視需要，如圖1中所展示，至少一分析系統或電路66可形成於處理系統10內。如所展示，分析系統66可包含取樣模組32、感測器模組36、流量量測模組40、選用感測器50、選用處理器模組52及類似者之至少一者。此外，分析系統66可進一步包含閥裝置22或處理系統10內之其他裝置及組件。

【0059】 圖2示意性地展示可用於偵測一氣流內之自由基之濃度之一氣體取樣偵測系統之另一實施例。圖2中所展示之處理系統110之各種組件的性能與圖1中所展示之類似命名之組件相當。如同先前實施例，氣體取樣偵測系統110可包含經組態以提供在其中具有自由基之一反應性氣流之至少一自由基氣體產生器及/或反應性氣體產生器112。自由基氣體產生器112可經由至少一氣體通路114與至少一處理室116流體連通。如同先前實施例，自由基氣體產生器112與至少一樣本氣體源及至少一電漿源連通，經組態以供能給樣本氣體及使樣本氣體解離且據此回應而產生至少一

反應性氣流。

【0060】 再次參考圖2，視需要，反應性氣體導管114可包含耦合至其或與其連通之一或多個閥裝置或系統、感測器或類似裝置122。例如，一或多個閥裝置122可耦合至反應性氣體導管114或以其他方式與反應性氣體導管114連通，藉此允許一使用者選擇性地允許及/或限制至少一反應性氣流流動通過反應性氣體導管114。在一項實施例中，閥裝置122可經由至少一處理器導管154與至少一選用處理模組152連通。視需要，處理模組152可經組態以用無線方式與處理系統110之各種組件連通。在使用期間，處理器模組152可經組態以選擇性地打開及/或關閉閥裝置122，藉此允許或限制藉由自由基氣體產生器112產生之自由基氣流流動至取樣模組132中。

【0061】 如圖2中所展示，至少一處理室116可經由反應性氣體導管114耦合至自由基氣體產生器112或與自由基氣體產生器112連通。至少一排放導管118可耦合至處理室116且經組態以自處理室116抽出一或多種氣體或材料。視需要，一或多個控制感測器、閥、滌氣器或類似裝置124可耦合至排放導管118或定位成靠近排放導管118，藉此允許使用者自處理室116選擇性地抽出一或多種氣體或其他材料。

【0062】 再次參考圖2，如同先前實施例，至少一室處理器模組120可耦合至處理室116及/或處理系統之各種組件或以其他方式與其等連通。室處理模組120可經組態以提供形成處理系統110之各種組件之局部控制。在所繪示之實施例中，室處理模組120經由一導管與處理室116連通，但熟習此項技術者將瞭解，室處理模組120可經由一導管、用無線方式或兩者與形成處理系統110之組件之任一者連通。

【0063】如圖2中所展示，至少一取樣模組132可經由至少一取樣導管130與自由基氣體產生器112流體連通。熟習此項技術者將瞭解，取樣導管130可由各種各樣之材料製成，包含(但不限於)不鏽鋼、合金、鋁、黃銅、陶瓷材料、玻璃、聚合物、塑膠、碳纖維、基於碳之材料、石墨、矽、二氧化矽、碳化矽及類似者。因而，取樣導管130可經組態以與流動於其中之自由基氣流內所含有之高反應性自由基化學反應。在另一實施例中，取樣導管130可經組態為化學惰性的。在一項實施例中，取樣導管130係直接耦合至自由基氣體產生器112且與自由基氣體產生器112流體連通。在所繪示之實施例中，取樣導管130經由反應性氣體導管114與自由基氣體產生器112流體連通。視需要，取樣導管130可與定位於反應性氣體導管114上之取樣控制閥122流體連通。例如，取樣控制閥122可經組態以經由取樣導管130將穿過反應性氣體導管114之一指定體積之反應性氣體選擇性地引導至取樣模組132。視需要，取樣控制閥122可經組態以經由取樣導管130將穿過反應性氣體導管114之一指定流量之反應性氣體選擇性地引導至取樣模組132。此外，任何數目個額外組件、閥、感測器及類似者可沿著取樣導管130定位於任何地方。例如，在所繪示之實施例中，至少一感測器及/或控制裝置150可沿著取樣導管130定位。例示性感測器裝置包含(但不限於)熱電偶、溫度感測器、真空計及類似者。例如，在一項實施例中，感測器裝置150包括至少一熱敏電阻器。在另一實施例中，感測器裝置150包括至少一量熱法系統或裝置。視需要，感測器裝置150可包括一或多個滴定系統或裝置。熟習此項技術者將瞭解，感測器裝置150可包括任何數目個原位量測裝置或系統、流量閥、流量計、流量驗證器及類似者。

【0064】 再次參考圖2，取樣模組132亦可經由至少一室樣本氣體導管144與處理室116流體連通。因而，取樣模組132可經組態以分析在處理室116之上游及在處理室116內之自由基氣流。此分析可循序地或同時發生。如同取樣導管130，室樣本氣體導管144在其上可包含一或多個閥、感測器及類似者。因而，可選擇性地改變自處理室116至取樣模組132之樣本氣體之流量。

【0065】 參考圖2，取樣模組132可耦合至至少一分子化物流導管134。如同取樣導管130，分子化物流導管134可由各種各樣之材料製成，包含(但不限於)石墨、矽石、碳纖維、二氧化矽、矽石及碳化物、基於碳之材料、基於矽石之材料、不鏽鋼、合金、鋁、黃銅、陶瓷材料、玻璃、聚合物、塑膠及類似者。在一項實施例中，取樣導管130及/或分子化物流導管134之至少一者之至少一部分可經組態以與流動於其中之自由基氣流反應。例如，在一項實施例中，取樣導管130及/或分子化物流導管134之至少一部分可經組態以與氣體流內之自由基反應以形成相較於自由基氣流內所含有之自由基更穩定且能夠準確量測之化學物種。

【0066】 如圖2中所展示，如同先前實施例，至少一感測器模組136可經由分子化物流導管134與取樣模組132流體連通。視需要，感測器模組136可經組態以偵測及量測至少一氣體流中之自由基之濃度。各種各樣之裝置或系統可在感測器模組136內使用或形成感測器模組136。例如，在一項實施例中，感測器模組136包括經組態以量測自由基氣流內之自由基通量之至少一偵測器。在另一實施例中，感測器模組136經組態以量測一氣體流內之至少一化學物種之濃度。例如，感測器模組136可經組態以量測一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO₂)、碳氫分子(次甲基自由基)、亞

甲基(CH₂)、甲基化合物(CH₃)、甲烷(CH₄)、四氟化矽及類似化合物之濃度。在一項特定實施例中，感測器模組136包含至少一光學氣體成像相機或裝置，諸如傅立葉變換紅外光譜法系統(在下文中為FTIR系統)、可調濾波器光譜法系統(在下文中為TFS系統)、質譜分析法、光學吸收光譜法及類似者。視需要，感測模組136可進一步包含至少一滴定系統或裝置。在一項實施例中，感測模組136可經組態以減少或消除將氣流內之自由基重組成其分子物種。在另一實施例中，感測器模組136可經組態以允許將一氣流內之自由基重組為其分子物種。

【0067】 再次參考圖2，至少一感測器模組輸出導管138與流量量測及/或流量控制模組140之感測器模組136流體連通，流量量測及/或流量控制模組140可經組態以準確地量測流動通過其之氣流之一部分。如同先前實施例，可使用一質量流量驗證器(MFV)量測氣流之流量。在另一實施例中，可使用一質量流量計(MFM)量測氣流之流量。視需要，可藉由量測多感測器氣體取樣偵測系統110內之已知尺寸之一孔口與流體傳導之間的壓力差而判定流量體積或流量。熟習此項技術者將瞭解，各種各樣之流量量測裝置或系統可與本文中所揭示之氣體取樣偵測系統110一起使用。如圖2中所展示，至少一排放導管142可耦合至流量量測模組140或與流量量測模組140連通且經組態以自氣體取樣偵測系統110排放自由基氣流。視需要，排放導管142可與至少一真空源(未展示)流體連通。

【0068】 如上文所陳述，處理系統110可包含與處理系統110之至少一組件連通之至少一選用處理器模組152。例如，選用處理器模組152可經由至少一處理器導管154與自由基氣體產生器112連通。此外，選用處理器系統152可經由處理器導管154及至少一選用感測器導管156與選用感

測器150連通，經由處理器導管154及至少一取樣導管158與取樣模組132連通，經由至少一感測器模組導管160與感測器模組136連通，及經由至少一流量量測導管162與流量量測模組140連通。在一項實施例中，選用處理器模組152可經組態以自自由基氣體產生器112、選用感測器150、取樣模組132、感測器模組136及流量量測模組140之至少一者提供及接收資料。因而，選用處理器模組152可經組態以量測處理系統110內之流量狀況且選擇性地改變處理系統110之操作條件以最佳化系統效能。更明確言之，選用處理器模組152可經組態以量測氣流內之自由基之濃度及自由基氣體產生器112之操作特性以增加或減小自由基氣流內之自由基之濃度。此外，選用處理器模組152可經由至少一選用處理導管164與選用閥裝置122、感測器124及室處理器模組120之至少一者連通且自選用閥裝置122、感測器124及室處理器模組120之至少一者提供/接收資料。視需要，處理器模組152可與一外部網路連通。

【0069】 視需要，如圖2中所展示，如同先前實施例，至少一分析系統或電路166可形成於處理系統110內。如所展示，分析系統166可包含取樣模組132、感測器模組136、流量量測模組140、選用感測器150、選用處理器模組152及類似者之至少一者。此外，分析系統166可進一步包含閥裝置122或處理系統110內之其他裝置及組件。

【0070】 圖3示意性地展示可用於偵測一氣流內之自由基之濃度之一氣體取樣偵測系統之又另一實施例。如同圖2，圖3中所展示之處理系統210之各種組件的性能與圖1及圖2中所展示之類似命名之組件相當。如同先前實施例，氣體取樣偵測系統210可包含經組態以提供在其中具有自由基之一反應性氣流之至少一自由基氣體產生器及/或反應性氣體產生器

212。自由基氣體產生器212可經由至少一氣體通路214與至少一處理室216流體連通。如同先前實施例，自由基氣體產生器212與至少一樣本氣體源及至少一電漿源連通，經組態以供能給樣本氣體及使樣本氣體解離且據此回應而產生至少一反應性氣流。

【0071】 再次參考圖3，視需要，反應性氣體導管214可包含耦合至其或與其連通之一或多個閥裝置或系統、感測器或類似裝置222。例如，一或多個閥裝置222可定位於反應性氣體導管214內或耦合至反應性氣體導管214，藉此允許一使用者選擇性地允許及/或限制至少一反應性氣流流動通過反應性氣體導管214。

【0072】 如圖3中所展示，至少一處理室216可經由反應性氣體導管214耦合至自由基氣體產生器212或與自由基氣體產生器212連通。至少一排放導管218可耦合至處理室216且經組態以自處理室216抽出一或多種氣體或材料。視需要，一或多個控制感測器、閥、滌氣器或類似裝置224可耦合至排放導管218或定位成靠近排放導管218，藉此允許使用者自處理室216選擇性地抽出一或多種氣體或其他材料。

【0073】 再次參考圖3，如同先前實施例，至少一室處理器模組220可耦合至處理室216及/或處理系統之各種組件或以其他方式與其等連通。室處理模組220可經組態以提供形成處理系統210之各種組件之局部控制。在所繪示之實施例中，室處理模組220經由一導管與處理室216連通，但熟習此項技術者將瞭解，室處理模組220可經由一導管、用無線方式或兩者與形成處理系統210之組件之任一者連通。

【0074】 如圖3中所展示，至少一取樣模組232可經由至少一取樣導管230與自由基氣體產生器212流體連通。熟習此項技術者將瞭解，取樣

導管230可由各種各樣之材料製成，包含(但不限於)不鏽鋼、合金、鋁、黃銅、陶瓷材料、玻璃、聚合物、塑膠、碳纖維、基於碳之材料、石墨、矽、二氧化矽、碳化矽及類似者。因而，取樣導管230可經組態以與流動於其中之自由基氣流內所含有之高反應性自由基化學反應。在另一實施例中，取樣導管230可經組態為化學惰性的。在一項實施例中，取樣導管230係直接耦合至自由基氣體產生器212且與自由基氣體產生器212流體連通。在所繪示之實施例中，取樣導管230係經由反應性氣體導管214與自由基氣體產生器212流體連通。視需要，取樣導管230可與定位於反應性氣體導管214上之取樣控制閥222流體連通。例如，取樣控制閥222可經組態以經由取樣導管230將穿過反應性氣體導管214之一指定體積之反應性氣體選擇性地引導至取樣模組232。視需要，取樣控制閥222可經組態以經由取樣導管230將穿過反應性氣體導管214之一指定流量之反應性氣體選擇性地引導至取樣模組232。此外，任何數目個額外組件、閥、感測器及類似者可沿著取樣導管230定位於任何地方。例如，在所繪示之實施例中，至少一感測器及/或控制裝置250可沿著取樣導管230定位。例示性感測器裝置包含(但不限於)熱電偶、溫度感測器、真空計及類似者。例如，在一項實施例中，感測器裝置250包括至少一熱敏電阻器。在另一實施例中，感測器裝置250包括至少一量熱法系統或裝置。視需要，感測器裝置250可包括一或多個滴定系統或裝置。熟習此項技術者將瞭解，感測器裝置250可包括任何數目個原位量測裝置或系統、流量閥、流量計、流量驗證器及類似者。

【0075】 再次參考圖3，取樣模組232亦可經由至少一室樣本氣體導管244及/或樣本排放導管246之至少一者與處理室216及排放導管218流體

連通。因而，取樣模組232可經組態以分析在處理室216之上游之自由基氣流、在處理室216內之自由基氣流及經由排放導管218自處理室發出之自由基氣流。此分析可循序地或同時發生。如同取樣導管230，室樣本氣體導管244及/或排放導管218在其上可包含一或多個閥、感測器及類似者。因而，可選擇性地改變自處理室216至取樣模組232之樣本氣體之流量，及/或自排放導管218至取樣模組232之樣本氣體之流量或兩者。

【0076】 參考圖3，取樣模組232可耦合至至少一分子化物流導管234。如同取樣導管230，分子化物流導管234可由各種各樣之材料製成，包含(但不限於)石墨、矽石、碳纖維、二氧化矽、矽石及碳化物、基於碳之材料、基於矽石之材料、不鏽鋼、合金、鋁、黃銅、陶瓷材料、玻璃、聚合物、塑膠及類似者。在一項實施例中，取樣導管230及/或分子化物流導管234之至少一者之至少一部分可經組態以與流動於其中之自由基氣流反應。例如，在一項實施例中，取樣導管230及/或分子化物流導管234之至少一部分可經組態以與氣體流內之自由基反應以形成相較於自由基氣流內所含有之自由基更穩定且能夠準確量測之化學物種。

【0077】 如圖3中所展示，如同先前實施例，至少一感測器模組236可經由分子化物流導管234與取樣模組232流體連通。視需要，感測器模組236可經組態以偵測及量測至少一氣體流中之自由基之濃度。各種各樣之裝置或系統可在感測器模組236內使用或形成感測器模組236。例如，在一項實施例中，感測器模組236包括經組態以量測自由基氣流內之自由基通量之至少一偵測器。在另一實施例中，感測器模組236經組態以量測一氣體流內之至少一化學物種之濃度。例如，感測器模組236可經組態以量測一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO₂)、碳氫分子(次甲基自由基)、亞

甲基(CH₂)、甲基化合物(CH₃)、甲烷(CH₄)、四氟化矽及類似化合物之濃度。在一項特定實施例中，感測器模組236包含至少一光學氣體成像相機或裝置，諸如傅立葉變換紅外光譜法系統(在下文中為FTIR系統)、可調濾波器光譜法系統(在下文中為TFS系統)、質譜分析法、光學吸收光譜法及類似者。視需要，感測器模組236可進一步包含至少一滴定系統或裝置。在一項實施例中，感測器模組236可經組態以減少或消除將氣流內之自由基重組成其分子物種。在另一實施例中，感測器模組236可經組態以允許將一氣流內之自由基重組為其分子物種。

【0078】 再次參考圖3，至少一感測器模組輸出導管238與感測器模組236及流量量測及/或流量控制模組240流體連通，流量量測及/或流量控制模組240可經組態以準確地量測流動通過其之氣流之一部分。如同先前實施例，可使用一質量流量驗證器(MFV)量測氣流之流量。在另一實施例中，可使用一質量流量計(MFM)量測氣流之流量。視需要，可藉由量測多感測器氣體取樣偵測系統210內之已知尺寸之一孔口與流體傳導之間的壓力差而判定流量。熟習此項技術者將瞭解，各種各樣之流量量測裝置或系統可與本文中所揭示之氣體取樣偵測系統210一起使用。如圖3中所展示，至少一排放導管242可耦合至流量量測模組240或與流量量測模組240連通且經組態以自氣體取樣偵測系統210排放自由基氣流。視需要，排放導管242可與至少一真空源(未展示)流體連通。

【0079】 如上文所陳述，處理系統210可包含與處理系統210之至少一組件連通之至少一選用處理器模組252。例如，選用處理器模組252可經由至少一處理器導管254與自由基氣體產生器212連通。此外，選用處理器系統252可經由處理器導管254及至少一選用感測器導管256與選用感

測器250連通，經由處理器導管254及至少一取樣導管258與取樣模組232連通，經由至少一感測器模組導管260與感測器模組236連通，及經由至少一流量量測導管262與流量量測模組240連通。在一項實施例中，選用處理器模組252可經組態以自自由基氣體產生器212、選用感測器250、取樣模組232、感測器模組236及流量量測模組240之至少一者提供及接收資料。因而，選用處理器模組252可經組態以量測處理系統210內之流量狀況且選擇性地改變處理系統210之操作條件以最佳化系統效能。更明確言之，選用處理器模組252可經組態以量測氣流內之自由基之濃度及自由基氣體產生器212之操作特性以增加或減小自由基氣流內之自由基之濃度。此外，選用處理器模組252可經由至少一選用處理導管264與選用閥裝置222、感測器224及室處理器模組220之至少一者連通且自選用閥裝置222、感測器224及室處理器模組220之至少一者提供/接收資料。此外，處理器模組252可與一外部網路連通。

【0080】 視需要，如圖3中所展示，如同先前實施例，至少一分析系統或電路266可形成於處理系統210內。如所展示，分析系統266可包含取樣模組232、感測器模組236、流量量測模組240、選用感測器250、選用處理器模組252及類似者之至少一者。此外，分析系統266可進一步包含閥裝置222或處理系統210內之其他裝置及組件。

【0081】 圖4示意性地展示可用於偵測一氣流內之自由基之濃度之一氣體取樣偵測系統之另一實施例。不同於先前實施例，本實施例包含提供資料至一或多個感測器模組之多個取樣模組。如同先前實施例，圖4中所展示之處理系統310之各種組件的性能與圖1至圖3中所展示之類似命名之組件相當。如同先前實施例，氣體取樣偵測系統310可包含經組態以提

供在其中具有自由基之一反應性氣流之至少一自由基氣體產生器及/或反應性氣體產生器312。自由基氣體產生器312可經由至少一氣體通路314與至少一處理室316流體連通。視需要，反應性氣體導管314可包含耦合至其或與其連通之一或多個閥裝置或系統、感測器或類似裝置322。例如，一或多個閥裝置322可定位或耦合至反應性氣體導管314，藉此允許一使用者選擇性地允許及/或限制至少一反應性氣流流動通過反應性氣體導管314。

【0082】 如圖4中所展示，至少一處理室316可經由反應性氣體導管314耦合至自由基氣體產生器312或與自由基氣體產生器312連通。至少一排放導管318可耦合至處理室316且經組態以自處理室316抽出一或多種氣體或材料。視需要，一或多個控制感測器、閥、滌氣器或類似裝置324可耦合至排放導管318或定位成靠近排放導管318，藉此允許使用者自處理室316選擇性地抽出一或多種氣體或其他材料。

【0083】 再次參考圖4，如同先前實施例，至少一室處理器模組320可耦合至處理室316及/或處理系統之各種組件或以其他方式與其等連通。室處理模組320可經組態以提供對形成處理系統310之各種組件之局部控制。在所繪示之實施例中，室處理模組320經由一導管與處理室316連通，但熟習此項技術者將瞭解，室處理模組320可經由一導管、用無線方式或兩者與形成處理系統310之組件之任一者連通。

【0084】 如圖4中所展示，至少一上游取樣模組332可經由至少一取樣導管330與自由基氣體產生器312流體連通。熟習此項技術者將瞭解，取樣導管330可由各種各樣之材料製成，包含(但不限於)不鏽鋼、合金、鋁、黃銅、陶瓷材料、玻璃、聚合物、塑膠、碳纖維、基於碳之材料、石

墨、矽、二氧化矽、碳化矽及類似者。因而，取樣導管330可經組態以與流動於其中之自由基氣流內所含有之高反應性自由基化學反應。在另一實施例中，取樣導管330可經組態為化學惰性的。在一項實施例中，取樣導管330係直接耦合至自由基氣體產生器312且與自由基氣體產生器312流體連通。在所繪示之實施例中，取樣導管330係經由反應性氣體導管314與自由基氣體產生器312流體連通。視需要，取樣導管330可與定位於反應性氣體導管314上之取樣控制閥322流體連通。例如，取樣控制閥322可經組態以經由取樣導管330將穿過反應性氣體導管314之一指定體積之反應性氣體選擇性地引導至上游取樣模組332。視需要，取樣控制閥322可經組態以經由取樣導管330將穿過反應性氣體導管314之一指定流量之反應性氣體選擇性地引導至上游取樣模組332。此外，任何數目個額外組件、閥、感測器及類似者可沿著取樣導管330定位於任何地方。例如，在所繪示之實施例中，至少一感測器及/或控制裝置380可沿著取樣導管330定位。例示性感測器裝置包含(但不限於)熱電偶、溫度感測器、真空計及類似者。例如，在一項實施例中，感測器裝置380包括至少一熱敏電阻器。在另一實施例中，感測器裝置380包括至少一量熱法系統或裝置。視需要，感測器裝置380可包括一或多個滴定系統或裝置。熟習此項技術者將瞭解，感測器裝置380可包括任何數目個原位量測裝置或系統、流量閥、流量計、流量驗證器及類似者。

【0085】 再次參考圖4，至少一室取樣模組342亦可經由至少一室樣本氣體導管340與處理室316流體連通。因而，室取樣模組342可經組態以分析在處理室316內之自由基氣流。如同上游取樣導管330，室樣本氣體導管340在其上可包含一或多個閥、感測器及類似者。因而，可選擇性地

改變自處理室316至室取樣模組342之樣本氣體之流量。

【0086】 如圖4中所展示，視需要，至少一排放取樣模組352可經由至少一排放樣本氣體導管350與處理室316流體連通。因而，排放取樣模組352可經組態以分析經由排放導管318自處理室316發出之自由基氣流。視需要，排放樣本氣體導管350在其上可包含一或多個閥、感測器及類似者。因而，可選擇性地改變經由排放導管318自處理室316發出之樣本氣體之流量。

【0087】 參考圖4，上游取樣模組332、室取樣模組342及排放取樣模組352之至少一者可耦合至至少一分子化合物流導管334。如同取樣導管330，分子化合物流導管334可由各種各樣之材料製成，包含(但不限於)石墨、矽石、碳纖維、二氧化矽、矽石及碳化物、基於碳之材料、基於矽石之材料、不鏽鋼、合金、鋁、黃銅、陶瓷材料、玻璃、聚合物、塑膠及類似者。在一項實施例中，上游取樣導管330、室樣本氣體導管340、排放樣本氣體導管350及/或分子化合物流導管334之至少一者之至少一部分可經組態以與流動於其中之自由基氣流反應。例如，在一項實施例中，取樣導管330及/或分子化合物流導管334之至少一部分可經組態以與氣體流內之自由基反應以形成相較於自由基氣流內所含有之自由基更穩定且能夠準確量測之化學物種。

【0088】 如圖4中所展示，如同先前實施例，至少一感測器模組336經由分子化合物流導管334與上游取樣模組332、室取樣模組342及排放取樣模組352之至少一者流體連通。感測器模組336可經組態以偵測及量測至少一氣體流中之自由基之濃度。各種各樣之裝置或系統可在感測器模組336內使用或形成感測器模組336。例如，在一項實施例中，感測器模組

336包括經組態以量測自由基氣流內之自由基通量之至少一偵測器。在另一實施例中，感測器模組336經組態以量測一氣體流內之至少一化學物種之濃度。例如，感測器模組336可經組態以量測一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO₂)、碳氫分子(次甲基自由基)、亞甲基(CH₂)、甲基化合物(CH₃)、甲烷(CH₄)、四氟化矽及類似化合物之濃度。在一項特定實施例中，感測器模組336包含至少一光學氣體成像相機或裝置，諸如傅立葉變換紅外光譜法系統(在下文中為FTIR系統)、可調濾波器光譜法系統(在下文中為TFS系統)、質譜分析法、光學吸收光譜法及類似者。視需要，感測模組336可進一步包含至少一滴定系統或裝置。在一項實施例中，感測模組336可經組態以減少或消除將氣流內之自由基重組成其分子物種。在另一實施例中，感測器模組336可經組態以允許將一氣流內之自由基重組為其分子物種。

【0089】 再次參考圖4，至少一感測器模組輸出導管362係與感測器模組336及流量量測及/或流量控制模組370流體連通，流量量測及/或流量控制模組370可經組態以準確地量測流動通過其之氣流之一部分。如同先前實施例，可使用一質量流量驗證器(在下文中為MFV)量測氣流之流量。在另一實施例中，可使用一質量流量計(在下文中為MFM)量測氣流之流量。視需要，可藉由量測多感測器氣體取樣偵測系統310內之已知尺寸之一孔口與流體傳導之間的壓力差而判定流量。熟習此項技術者將瞭解，各種各樣之流量量測裝置或系統可與本文中所揭示之氣體取樣偵測系統310一起使用。如圖4中所展示，至少一排放導管372可耦合至流量量測模組370或與流量量測模組370連通且經組態以自氣體取樣偵測系統310排放自由基氣流。視需要，排放導管372可與至少一真空源(未展示)流體連通。

【0090】處理系統310可包含與處理系統310之至少一組件連通之至少一選用處理器模組382。例如，選用處理器模組382可經由至少一處理器導管384與自由基氣體產生器312連通。此外，選用處理器系統382可經由處理器導管384及至少一選用感測器導管356與選用感測器380及上游取樣模組332之至少一者連通，經由至少一感測器模組導管386與感測器模組336連通，或兩者。因而，選用處理器模組382可經組態以量測處理系統310內之流量狀況且選擇性地改變處理系統310之操作條件以最佳化系統效能。更明確言之，選用處理器模組382可經組態以量測及/或計算氣流內之自由基之濃度且改變自由基氣體產生器312之操作特性以增加或減小自由基氣流內之自由基之濃度。此外，選用處理器模組382可經由至少一選用處理導管364與選用閥裝置322、感測器324及室處理器模組320之至少一者連通且自選用閥裝置322、感測器324及室處理器模組320之至少一者提供/接收資料。

【0091】圖5示意性地展示可用於偵測一氣流內之自由基之濃度之一氣體取樣偵測系統之一實施例。如所展示，氣體取樣偵測系統410包含經由至少一氣體通路414與至少一處理室416流體連通之至少一電漿產生器及/或自由基氣體產生器412。在一項實施例中，自由基氣體產生器412與至少一樣本氣體源及至少一電漿源連通，經組態以供能給樣本氣體及使樣本氣體解離且產生至少一反應性氣流。在一項特定實施例中，自由基氣體產生器412包括一RF環形電漿源；但熟習此項技術者將瞭解，各種各樣之電漿源或自由基氣體源可與本發明系統一起使用。在一項實施例中，自由基氣體產生器412使用氫(H_2)電漿產生原子氫。在另一實施例中，自由基氣體產生器412利用氧(O_2)電漿產生原子氧。視需要，自由基氣體產生

器412可利用三氟化氮(NF₃)、氟(F₂)、氯(Cl₂)或各種各樣之其他材料來產生含有氣流內之一或多個自由基之一反應性電漿。替代性地，自由基氣體可藉由其他氣體激發方法(包含電子束激發、雷射激發或熱燈絲激發)產生。此外，以上描述揭示基於RF之電漿產生系統之各項實施例；但熟習此項技術者將瞭解，各種各樣之替代自由基氣體產生系統可與本發明系統一起使用。例示性替代自由基氣體產生系統包含(但不限於)輝光放電電漿系統、電容耦合電漿系統、級聯技術電漿系統、電感耦合電漿系統、波加熱電漿系統、弧光放電電漿系統、電暈放電電漿系統、介電障壁放電系統、電容性放電系統、壓電直接放電電漿系統及類似者。

【0092】 再次參考圖5，至少一處理室416可經由至少一反應性氣體導管414與自由基氣體產生器412流體連通。在一些應用中，反應性氣體導管414係由一化學惰性材料或具有低化學反應性之一材料製成。例示性材料包含(但不限於)石英、藍寶石、不鏽鋼、強化鋼、鋁、陶瓷材料、玻璃、黃銅、鎳、Y₂O₃、YAlO_x、各種合金及經塗佈金屬(諸如陽極氧化鋁)。在一項實施例中，單個反應性氣體導管414與單個自由基氣體產生器412流體連通。在另一實施例中，多個反應性氣體導管414與單個反應性氣體產生器412流體連通。在又另一實施例中，單個反應性氣體導管414與多個自由基氣體產生器412連通。因而，任何數目個反應性氣體導管414可與任何數目個自由基氣體產生器412連通。視需要，反應性氣體導管414可包含耦合至其或與其連通之一或多個閥裝置或系統、感測器或類似裝置422。例如，一或多個閥裝置422可耦合至反應性氣體導管414，藉此允許一使用者選擇性地允許及/或限制至少一反應性氣流流動通過反應性氣體導管414。

【0093】處理室416可經由反應性氣體導管414耦合至自由基氣體產生器412或與自由基氣體產生器412連通。在一項實施例中，處理室416包括經組態以具有定位於其中之一或多個基板、半導體晶圓或類似材料之一或多個真空室或器皿。視需要，處理室416可用於半導體基板或晶圓之原子層處理。視需要，處理室416可用於使用各種各樣之處理方法或系統來處理各種各樣之基板或材料。例示性處理方法包含(但不限於)物理氣相沈積(PVD)、化學氣相沈積(CVD)、快速熱化學氣相沈積(RTCVD)、原子層沈積(ALD)、原子層蝕刻(ALE)及類似者。熟習此項技術者將瞭解，處理室416由各種各樣之材料製成，包含(但不限於)不鏽鋼、鋁、軟鋼、黃銅、高密度陶瓷、玻璃、丙烯酸及類似者。在一項實施例中，處理室416之至少一內表面可包含意欲選擇性地改變反應性、耐久性及/或填充處理室416之該等內表面上之微孔之至少一塗層、陽極氧化材料、犧牲材料、實體特徵或元件及類似者。至少一排放導管418可耦合至處理室416且經組態以自處理室416抽出一或多種氣體或材料。視需要，一或多個控制感測器、閥、滌氣器或類似裝置424可耦合至排放導管418或定位成靠近排放導管418，藉此允許使用者自處理室416選擇性地抽出一或多種氣體或其他材料。

【0094】再次參考圖5，至少一室處理器模組420可耦合至處理室416及/或處理系統之各種組件或以其他方式與其等連通。室處理模組420可經組態以提供形成處理系統410之各種組件之局部控制。在所繪示之實施例中，室處理模組420係經由一導管與處理室416連通，但熟習此項技術者將瞭解，室處理模組420可經由導管、用無線方式或兩者與形成處理系統410之組件之任一者連通。

【0095】如圖5中所展示，至少一取樣模組432可經由至少一取樣導管430與自由基氣體產生器412流體連通。熟習此項技術者將瞭解，取樣導管430可由各種各樣之材料製成，包含(但不限於)不鏽鋼、合金、鋁、黃銅、陶瓷材料、玻璃、聚合物、塑膠、碳纖維、基於碳之材料、石墨、矽、二氧化矽、碳化矽及類似者。因而，在一些實施例中，取樣導管430可經組態以與流動於其中之自由基氣流內所含有之高反應性自由基化學反應。在又另一實施例中，取樣導管430可由一催化材料組成以促進將原子氣體物種重組成其分子氣體物種，使得原子氣體之重組能量經釋放及量測。在其他實施例中，取樣導管430可經組態為化學惰性的。

【0096】再次參考圖5，至少一反應氣體進料器或來源472可經組態以提供至少一反應機構或反應流474至取樣模組432。替代性地，反應源472可透過至少一流導管475與自由基氣體產生器412連通。經組態以提供各種各樣之反應性氣體之各種各樣之反應源472可用於本發明系統中。例如，在一項實施例中，反應源472包括一反應性氣體之至少一來源且經組態以與取樣模組432內之原子自由基、分子自由基及短壽命分子反應。例示性反應性氣體包含(但不限於)氣體(諸如氮氣、氧氣、氫氣)、化合物(諸如NH₃ NO₂)或運用一單獨電漿源產生之各種各樣之原子自由基。在另一實施例中，反應源472包括經組態以提供激發能量至取樣模組432內之原子自由基、分子自由基及短壽命分子之至少一激發源。例如，在一項實施例中，反應源472包括經組態以提供激發能量至取樣模組432之光學輻射之至少一來源。

【0097】如圖5中所展示，取樣導管430在其上可包含各種各樣之感測器、閥、加熱元件、冷卻元件及類似者。在一項實施例中，取樣導管

430係直接耦合至自由基氣體產生器412且與自由基氣體產生器412流體連通。在所繪示之實施例中，取樣導管430係經由反應性氣體導管414與自由基氣體產生器412流體連通。視需要，取樣導管430可與定位於反應性氣體導管414上之取樣控制閥422流體連通。例如，取樣控制閥422可經組態以經由取樣導管430將穿過反應性氣體導管414之一指定體積之反應性氣體選擇性地引導至取樣模組432。在另一實施例中，取樣控制閥422可經組態以經由取樣導管430將穿過反應性氣體導管414之一指定流量之反應性氣體選擇性地引導至取樣模組432。此外，任何數目個額外組件、閥、感測器及類似者可沿著取樣導管430定位於任何地方。例如，在所繪示之實施例中，至少一感測器及/或控制裝置450可沿著取樣導管430定位。例示性感測器裝置包含(但不限於)熱電偶、溫度感測器、光學感測器、UV、光學或紅外光譜儀、電荷粒子偵測器、真空計、質譜儀及類似者。例如，在一項實施例中，感測器裝置450包括至少一熱敏電阻器。在另一實施例中，感測器裝置450包括至少一量熱法系統或裝置。在另一實施例中，在本申請案之圖8至圖15中詳細論述及展示一新穎量熱法系統。視需要，感測器裝置450可包括一或多個滴定系統或裝置。熟習此項技術者將瞭解，感測器裝置450可包括任何數目個原位量測裝置或系統、流量閥、流量計、流量驗證器及類似者。

【0098】 再次參考圖5，在所繪示之實施例中，取樣模組432耦合至至少一分子化物流導管434。如同取樣導管430，分子化物流導管434可由各種各樣之材料製成，包含(但不限於)石墨、矽石、碳纖維、二氧化矽、矽石及碳化物、基於碳之材料、基於矽石之材料、不鏽鋼、合金、鋁、黃銅、陶瓷材料、玻璃、聚合物、塑膠及類似者。在一項實施例中，

取樣導管430及/或分子化物流導管434之至少一者之至少一部分可經組態以與流動於其中之自由基氣流反應。例如，在一項實施例中，取樣導管430及/或分子化物流導管434之至少一部分可經組態以與氣體流內之自由基反應以形成相較於自由基更穩定且能夠準確量測之化學物種。

【0099】 如圖5中所展示，至少一感測器模組436經由至少一分子化物流導管434與取樣模組432流體連通。在一項實施例中，感測器模組436可經組態以偵測及量測至少一氣體流中之自由基之濃度。各種各樣之裝置或系統可在感測器模組436內使用或形成感測器模組436。例如，在一項實施例中，感測器模組436包括經組態以量測自由基氣流內之自由基通量之至少一偵測器。在另一實施例中，感測器模組436經組態以量測一氣體流內之至少一化學物種之濃度。例如，感測器模組436可經組態以量測一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO₂)、碳氫分子(次甲基自由基)、亞甲基(CH₂)、甲基化合物(CH₃)、甲烷(CH₄)、四氟化矽及類似化合物之濃度。在一項特定實施例中，感測器模組包含至少一光學氣體成像相機或裝置，諸如傅立葉變換紅外光譜法系統(在下文中為FTIR系統)、可調濾波器光譜法系統(在下文中為TFS系統)、質譜分析法、光學吸收光譜法及類似者。視需要，感測模組436可進一步包含至少一滴定系統或裝置。在一項實施例中，感測模組436可經組態以減少或消除將氣流內之自由基重組成其分子物種。在另一實施例中，感測器模組436可經組態以允許將一氣流內之自由基重組為其分子物種。

【0100】 再次參考圖5，至少一感測器模組輸出導管438與感測器模組436及流量量測及/或流量控制模組440流體連通。在一些實施例中，流量量測模組440經組態以準確地量測流動通過其之氣流之一部分。例如，

可使用一質量流量驗證器(MFV)量測氣流之流量。在另一實施例中，可使用一質量流量計(MFM)量測氣流之流量。視需要，可藉由量測多感測器氣體取樣偵測系統410內之已知尺寸之一孔口與流體傳導之間的壓力差而判定流量。熟習此項技術者將瞭解，各種各樣之流量量測裝置或系統可與本文中所揭示之氣體取樣偵測系統410一起使用。如圖5中所展示，至少一排放導管442可耦合至流量量測模組440或與流量量測模組440連通且經組態以自氣體取樣偵測系統410排放自由基氣流。視需要，排放導管442可與至少一真空源(未展示)流體連通。

【0101】如圖5中所展示，處理系統410可包含與處理系統410之至少一組件連通之至少一選用處理器模組452。例如，在所繪示之實施例中，一選用處理器模組452係經由至少一處理器導管454與自由基氣體產生器412連通。此外，選用處理器系統452可經由處理器導管454及至少一選用感測器導管456與選用感測器450連通，經由處理器導管454及至少一取樣導管458與取樣模組432連通，經由至少一感測器模組導管460與感測器模組436連通，及經由至少一流流量量測導管462與流量量測模組440連通。此外，反應源472可經由處理器導管454與選用處理器系統452連通。在一項實施例中，選用處理器模組452可經組態以自自由基氣體產生器412、選用感測器450、取樣模組432、感測器模組436及流量量測模組440之至少一者提供及接收資料。因而，選用處理器模組452可經組態以量測處理系統410內之流量狀況且選擇性地改變處理系統410之操作條件以最佳化系統效能。更明確言之，選用處理器模組452可經組態以量測氣流內之自由基之濃度及自由基氣體產生器412之操作特性以增加或減小自由基氣流內之自由基之濃度。此外，選用處理器模組452可經由至少一選用處

理導管464與選用閥裝置422、感測器424及室處理器模組420之至少一者連通且自選用閥裝置422、感測器424及室處理器模組420之至少一者提供/接收資料。視需要，處理器452可用無線方式與處理系統410之各種組件連通。此外，處理器452可經組態以儲存效能資料、處理配方及時間、批號及類似者。另外，處理器452可經組態以經由至少一電腦網路與一或多個外部處理器通信。

【0102】 視需要，如圖5中所展示，至少一分析系統或電路466可形成於處理系統410內。如所展示，分析系統466可包含取樣模組432、感測器模組436、流量量測模組440、選用感測器450、選用處理器模組452及類似者之至少一者。此外，分析系統466可進一步包含閥裝置422或處理系統410內之其他裝置及組件。

【0103】 圖6示意性地展示可用於偵測一氣流內之自由基之濃度之一氣體取樣偵測系統之一實施例。如所展示，氣體取樣偵測系統510包含經由至少一氣體通路514與至少一處理室516流體連通之至少一電漿產生器及/或自由基氣體產生器512。在一項實施例中，自由基氣體產生器512與至少一樣本氣體源及至少一電漿源連通，經組態以供能給樣本氣體及使樣本氣體解離且產生至少一反應性氣流。在一項特定實施例中，自由基氣體產生器512包括一RF環形電漿源；但熟習此項技術者將瞭解，各種各樣之電漿源或自由基氣體源可與本發明系統一起使用。在一項實施例中，自由基氣體產生器512使用氫(H₂)電漿產生原子氫。在另一實施例中，自由基氣體產生器512利用氧(O₂)電漿產生原子氧。視需要，自由基氣體產生器512可利用三氟化氮(NF₃)、氟(F₂)、氯(Cl₂)或各種各樣之其他材料來產生含有氣流內之一或多個自由基之一反應性電漿。替代性地，自由基氣體

可藉由其他氣體激發方法(包含電子束激發、雷射激發或熱燈絲激發)產生。此外，以上描述揭示基於RF之電漿產生系統之各項實施例；但熟習此項技術者將瞭解，各種各樣之替代自由基氣體產生系統可與本發明系統一起使用。例示性替代自由基氣體產生系統包含(但不限於)輝光放電電漿系統、電容耦合電漿系統、級聯技術電漿系統、電感耦合電漿系統、波加熱電漿系統、弧光放電電漿系統、電暈放電電漿系統、介電障壁放電系統、電容性放電系統、壓電直接放電電漿系統及類似者。

【0104】 再次參考圖6，至少一處理室516可經由至少一反應性氣體導管514與自由基氣體產生器512流體連通。在一些應用中，反應性氣體導管514係由一化學惰性材料或具有低化學反應性之一材料製成。例示性材料包含(但不限於)石英、藍寶石、不鏽鋼、強化鋼、鋁、陶瓷材料、玻璃、黃銅、鎳、 Y_2O_3 、 $YAlO_x$ 、各種合金及經塗佈金屬(諸如陽極氧化鋁)。在一項實施例中，單個反應性氣體導管514與單個自由基氣體產生器512流體連通。在另一實施例中，多個反應性氣體導管514與單個反應性氣體產生器512流體連通。在又另一實施例中，單個反應性氣體導管514與多個自由基氣體產生器512連通。因而，任何數目個反應性氣體導管514可與任何數目個自由基氣體產生器512連通。視需要，反應性氣體導管514可包含耦合至其或與其連通之一或多個閥裝置或系統、感測器或類似裝置522。例如，一或多個閥裝置522可耦合至反應性氣體導管514，藉此允許一使用者選擇性地允許及/或限制至少一反應性氣流流動通過反應性氣體導管514。

【0105】 如圖6中所展示，處理室516可經由反應性氣體導管514耦合至自由基氣體產生器512或與自由基氣體產生器512連通。在一項實施

例中，處理室516包括經組態以具有定位於其中之一或多個基板、半導體晶圓或類似材料之一或多個真空室或器皿。例如，處理室516可用於半導體基板或晶圓之原子層處理。視需要，處理室516可用於使用各種各樣之處理方法或系統來處理各種各樣之基板或材料。例示性處理方法包含(但不限於)物理氣相沈積(PVD)、化學氣相沈積(CVD)、快速熱化學氣相沈積(RTCVD)、原子層沈積(ALD)、原子層蝕刻(ALE)及類似者。熟習此項技術者將瞭解，處理室516可由各種各樣之材料製成，包含(但不限於)不鏽鋼、鋁、軟鋼、黃銅、高密度陶瓷、玻璃、丙烯酸及類似者。例如，處理室516之至少一內表面可包含意欲選擇性地改變反應性、耐久性及/或填充處理室516之該等內表面上之微孔之至少一塗層、陽極氧化材料、犧牲材料、實體特徵或元件及類似者。至少一排放導管518可耦合至處理室516且經組態以自處理室516抽出一或多種氣體或材料。視需要，一或多個控制感測器、閥、滌氣器或類似裝置524可耦合至排放導管518或定位成靠近排放導管518，藉此允許使用者自處理室516選擇性地抽出一或多種氣體或其他材料。

【0106】 再次參考圖6，至少一室處理器模組520可耦合至處理室516及/或處理系統之各種組件或以其他方式與其等連通。室處理模組520可經組態以提供形成處理系統510之各種組件之局部控制。在所繪示之實施例中，室處理模組520係經由一導管與處理室516連通，但熟習此項技術者將瞭解，室處理模組520可經由導管、用無線方式或兩者與形成處理系統510之組件之任一者連通。

【0107】 如圖6中所展示，至少一取樣模組532可經由至少一取樣導管530與自由基氣體產生器512流體連通。熟習此項技術者將瞭解，取樣

導管530可由各種各樣之材料製成，包含(但不限於)不鏽鋼、合金、鋁、黃銅、陶瓷材料、玻璃、聚合物、塑膠、碳纖維、基於碳之材料、石墨、矽、二氧化矽、碳化矽及類似者。因而，在一些實施例中，取樣導管530可經組態以與流動於其中之自由基氣流內所含有之高反應性原子自由基、分子自由基及短壽命分子化學反應。在又另一實施例中，取樣導管530可由一催化材料組成以促進將原子氣體物種重組成其分子氣體物種，使得原子氣體之重組能量經釋放及量測。在其他實施例中，取樣導管530可經組態為化學惰性的。在又另一實施例中，取樣導管530可由經組態以促進將自由基物種重組成其分子氣體物種之一催化材料組成。視需要，取樣導管530在其上可包含各種各樣之感測器、閥、加熱元件、冷卻元件及類似者。在一項實施例中，取樣導管530係直接耦合至自由基氣體產生器512及與自由基氣體產生器512流體連通。在所繪示之實施例中，取樣導管530係經由反應性氣體導管514與自由基氣體產生器512流體連通。視需要，取樣導管530可與定位於反應性氣體導管514上之取樣控制閥522流體連通。例如，取樣控制閥522可經組態以經由取樣導管530將穿過反應性氣體導管514之一指定體積之反應性氣體選擇性地引導至取樣模組532。在另一實施例中，取樣控制閥522可經組態以經由取樣導管530將穿過反應性氣體導管514之一指定流量之反應性氣體選擇性地引導至取樣模組532。此外，任何數目個額外組件、閥、感測器及類似者可沿著取樣導管530定位於任何地方。例如，在所繪示之實施例中，至少一感測器及/或控制裝置550可沿著取樣導管530定位。例示性感測器裝置包含(但不限於)熱電偶、溫度感測器、光學感測器、UV、光學或紅外光譜儀、電荷粒子偵測器、真空計、質譜儀及類似者。例如，在一項實施例中，感測器裝置

550包括至少一熱敏電阻器。在另一實施例中，感測器裝置550包括至少一量熱法系統或裝置。在本申請案之圖8至圖15中詳細論述及展示一新穎量熱法系統之一實施例。視需要，感測器裝置550可包括一或多個滴定系統或裝置。熟習此項技術者將瞭解，感測器裝置550可包括任何數目個原位量測裝置或系統、流量閥、流量計、流量驗證器及類似者。

【0108】 再次參考圖6，在所繪示之實施例中，取樣模組532耦合至至少一分子化合物流導管534。如同取樣導管530，分子化合物流導管534可由各種各樣之材料製成，包含(但不限於)石墨、矽石、碳纖維、二氧化矽、矽石及碳化物、基於碳之材料、基於矽石之材料、不鏽鋼、合金、鋁、黃銅、陶瓷材料、玻璃、聚合物、塑膠及類似者。在一項實施例中，取樣導管530及/或分子化合物流導管534之至少一者之至少一部分可經組態以與流動於其中之自由基氣流反應。例如，在一項實施例中，取樣導管530及/或分子化合物流導管534之至少一部分可經組態以與氣體流內之自由基反應以形成相較於自由基更穩定且能夠準確量測之化學物種。

【0109】 如圖6中所展示，至少一感測器模組536經由至少一分子化合物流導管534與取樣模組532流體連通。在一項實施例中，感測器模組536可經組態以偵測及量測至少一氣體流中之自由基之濃度。各種各樣之裝置或系統可在感測器模組536內使用或形成感測器模組536。例如，在一項實施例中，感測器模組536包括經組態以量測自由基氣流內之自由基通量之至少一偵測器。在另一實施例中，感測器模組536經組態以量測一氣體流內之至少一化學物種之濃度。例如，感測器模組536可經組態以量測一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO₂)、碳氫分子(次甲基自由基)、亞甲基(CH₂)、甲基化合物(CH₃)、甲烷(CH₄)、四氟化矽及類似化合物之濃度。

在一項特定實施例中，感測器模組包含至少一光學氣體成像相機或裝置，諸如傅立葉變換紅外光譜法系統(在下文中為FTIR系統)、可調濾波器光譜法系統(在下文中為TFS系統)、質譜分析法、光學吸收光譜法及類似者。視需要，感測模組536可進一步包含至少一滴定系統或裝置。在一項實施例中，感測模組536可經組態以減少或消除將氣流內之自由基重組成其分子物種。在另一實施例中，感測器模組536可經組態以允許將一氣流內之自由基重組為其分子物種。至少一感測器模組回流導管535可與感測器模組536及處理室516流體連通。在使用期間，可將自感測器模組536輸出之自由基氣體或類似材料選擇性地引導至處理室516。

【0110】如圖6中所展示，處理系統510可包含與處理系統510之至少一組件連通之至少一選用處理器模組552。例如，在所繪示之實施例中，一選用處理器模組552經由至少一處理器導管554與自由基氣體產生器512連通。此外，選用處理器系統552可經由處理器導管554及至少一選用感測器導管556與選用感測器550連通，經由處理器導管554及至少一取樣導管558與取樣模組532連通，及經由至少一感測器模組導管560與感測器模組536連通。在一項實施例中，選用處理器模組552可經組態以自自由基氣體產生器512、選用感測器550、取樣模組532及感測器模組536之至少一者提供及接收資料。因而，選用處理器模組552可經組態以量測處理系統510內之流量狀況且選擇性地改變處理系統510之操作條件以最佳化系統效能。更明確言之，選用處理器模組552可經組態以量測自由基流內之自由基及/或短壽命分子之濃度且改變自由基氣體產生器512之操作特性以增加或減小自由基氣流內之自由基之濃度。此外，選用處理器模組552可經由至少一選用處理導管564與選用閥裝置522、感測器524及室處

理器模組520之至少一者連通且自選用閥裝置522、感測器524及室處理器模組520之至少一者提供/接收資料。視需要，處理器552可用無線方式與處理系統510之各種組件連通。此外，處理器552可經組態以儲存效能資料、處理配方及時間、批號及類似者。另外，處理器552可經組態以經由至少一電腦網路與一或多個外部處理器連通。

【0111】 視需要，如圖6中所展示，至少一分析系統或電路566可形成於處理系統510內。如所展示，分析系統566可包含取樣模組532、感測器模組536、選用感測器550、選用處理器模組552及類似者之至少一者。此外，分析系統566可進一步包含閥裝置522或處理系統510內之其他裝置及組件。

【0112】 如同先前實施例，圖7示意性地展示可用於偵測一氣流內之自由基之濃度之一氣體取樣偵測系統之一實施例。如所展示，氣體取樣偵測系統610包含與至少一氣體通路614流體連通之至少一電漿產生器及/或自由基氣體產生器612。在一項實施例中，自由基氣體產生器612與至少一樣本氣體源及至少一電漿源連通，經組態以供能給樣本氣體及使樣本氣體解離且產生至少一反應性氣流。在一項特定實施例中，自由基氣體產生器612包括一RF環形電漿源；但熟習此項技術者將瞭解，各種各樣之電漿源或自由基氣體源可與本發明系統一起使用。在一項實施例中，自由基氣體產生器612使用氫(H₂)電漿產生原子氫。在另一實施例中，自由基氣體產生器612利用氧(O₂)電漿產生原子氧。視需要，自由基氣體產生器612可利用三氟化氮(NF₃)、氟(F₂)、氯(Cl₂)或各種各樣之其他材料來產生含有氣流內之一或多個自由基之一反應性電漿。替代性地，自由基氣體可藉由其他氣體激發方法(包含電子束激發、雷射激發或熱燈絲激發)產生。此

外，以上描述揭示基於RF之電漿產生系統之各項實施例；但熟習此項技術者將瞭解，各種各樣之替代自由基氣體產生系統可與本發明系統一起使用。例示性替代自由基氣體產生系統包含(但不限於)輝光放電電漿系統、電容耦合電漿系統、級聯技術電漿系統、電感耦合電漿系統、波加熱電漿系統、弧光放電電漿系統、電暈放電電漿系統、介電障壁放電系統、電容性放電系統、壓電直接放電電漿系統及類似者。

【0113】 再次參考圖7，至少一反應性氣體導管614與自由基氣體產生器612流體連通。在一些應用中，反應性氣體導管614係由一化學惰性材料或具有低化學反應性之一材料製成。例示性材料包含(但不限於)石英、藍寶石、不鏽鋼、強化鋼、鋁、陶瓷材料、玻璃、黃銅、鎳、 Y_2O_3 、 $YAlO_x$ 、各種合金及經塗佈金屬(諸如陽極氧化鋁)。在一項實施例中，單個反應性氣體導管614與單個自由基氣體產生器612流體連通。如同先前實施例，任何數目個反應性氣體導管614可與任何數目個自由基氣體產生器612連通。此外，視需要，反應性氣體導管614可包含耦合至其或與其連通之一或多個閥裝置或系統、感測器或類似裝置622。例如，一或多個閥裝置622可耦合至反應性氣體導管614，藉此允許一使用者選擇性地允許及/或限制至少一反應性氣流流動通過反應性氣體導管614。反應性氣體導管614可耦合至各種各樣測試系統、器皿、容器、處理配件及/或系統及類似者或以其他方式與其等連通。

【0114】 如圖7中所展示，至少一取樣模組632可經由至少一取樣導管630與自由基氣體產生器612流體連通。熟習此項技術者將瞭解，取樣導管630可由各種各樣之材料製成，包含(但不限於)不鏽鋼、合金、鋁、黃銅、陶瓷材料、玻璃、聚合物、塑膠、碳纖維、基於碳之材料、石墨、

矽、二氧化矽、碳化矽及類似者。因而，在一些實施例中，取樣導管630可經組態以與流動於其中之自由基氣流內所含有之高反應性原子自由基、分子自由基及短壽命分子化學反應。在又另一實施例中，取樣導管630可由一催化材料組成以促進將原子氣體物種重組成其分子氣體物種，使得原子氣體之重組能量經釋放及量測。在其他實施例中，取樣導管630可經組態為化學惰性的。在又另一實施例中，取樣導管630可由經組態以促進將自由基物種重組成其分子氣體物種之一催化材料組成。視需要，取樣導管630在其上可包含各種各樣之感測器、閥、加熱元件、冷卻元件及類似者。在一項實施例中，取樣導管630係直接耦合至自由基氣體產生器612且與自由基氣體產生器612流體連通。在所繪示之實施例中，取樣導管630係經由反應性氣體導管614與自由基氣體產生器612流體連通。視需要，取樣導管630可與定位於反應性氣體導管614上之取樣控制閥622流體連通。例如，取樣控制閥622可經組態以經由取樣導管630將穿過反應性氣體導管614之一指定體積之反應性氣體選擇性地引導至取樣模組632。在另一實施例中，取樣控制閥622可經組態以經由取樣導管630將穿過反應性氣體導管614之一指定流量之反應性氣體選擇性地引導至取樣模組632。此外，任何數目個額外組件、閥、感測器及類似者可沿著取樣導管630定位於任何地方。例如，在所繪示之實施例中，至少一感測器及/或控制裝置650可沿著取樣導管630定位。例示性感測器裝置包含(但不限於)熱電偶、溫度感測器、光學感測器、UV、光學或紅外光譜儀、電荷粒子偵測器、真空計、質譜儀及類似者。例如，在一項實施例中，感測器裝置650包括至少一熱敏電阻器。在另一實施例中，感測器裝置650包括至少一量熱法系統或裝置。在本申請案之圖8至圖15中詳細論述及展示新穎量熱法系統

之一實施例。視需要，感測器裝置650可包括一或多個滴定系統或裝置。熟習此項技術者將瞭解，感測器裝置650可包括任何數目個原位量測裝置或系統、流量閥、流量計、流量驗證器及類似者。

【0115】 再次參考圖7，在所繪示之實施例中，取樣模組632耦合至至少一分子化合物流導管634。如同取樣導管630，分子化合物流導管634可由各種各樣之材料製成，包含(但不限於)石墨、矽石、碳纖維、二氧化矽、矽石及碳化物、基於碳之材料、基於矽石之材料、不鏽鋼、合金、鋁、黃銅、陶瓷材料、玻璃、聚合物、塑膠及類似者。在一項實施例中，取樣導管630及/或分子化合物流導管634之至少一者之至少一部分可經組態以與流動於其中之自由基氣流反應。例如，在一項實施例中，取樣導管630及/或分子化合物流導管634之至少一部分可經組態以與氣體流內之自由基反應以形成相較於自由基更穩定且能夠準確量測之化學物種。

【0116】 如圖7中所展示，至少一感測器模組636經由分子化合物流導管634與取樣模組632流體連通。在一項實施例中，感測器模組636可經組態以偵測及量測至少一氣體流中之自由基之濃度。各種各樣之裝置或系統可在感測器模組636內使用或形成感測器模組636。例如，在一項實施例中，感測器模組636包括經組態以量測自由基氣流內之自由基通量之至少一偵測器。在另一實施例中，感測器模組636經組態以量測一氣體流內之至少一化學物種之濃度。例如，感測器模組636可經組態以量測一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO₂)、碳氫分子(次甲基自由基)、亞甲基(CH₂)、甲基化合物(CH₃)、甲烷(CH₄)、四氟化矽及類似化合物之濃度。在一項特定實施例中，感測器模組包含至少一光學氣體成像相機或裝置，諸如傅立葉變換紅外光譜法系統(在下文中為FTIR系統)、可調濾波器光譜法系統(在下

文中為TFS系統)、質譜分析法、光學吸收光譜法及類似者。視需要，感測模組636可進一步包含至少一滴定系統或裝置。在一項實施例中，感測模組636可經組態以減少或消除將氣流內之自由基重組成其分子物種。在另一實施例中，感測器模組636可經組態以允許將一氣流內之自由基重組為其分子物種。

【0117】 再次參考圖7，至少一感測器模組輸出導管638與感測器模組636及流量量測及/或流量控制模組640流體連通。在一些實施例中，流量量測模組640經組態以準確地量測流動通過其之氣流之一部分。例如，可使用一質量流量驗證器(MFV)量測氣流之流量。在另一實施例中，可使用一質量流量計(MFM)量測氣流之流量。視需要，可藉由量測多感測器氣體取樣偵測系統610內之已知尺寸之一孔口與流體傳導之間的壓力差而判定流量。熟習此項技術者將瞭解，各種各樣之流量量測裝置或系統可與本文中所揭示之氣體取樣偵測系統610一起使用。如圖7中所展示，至少一排放導管642可耦合至流量量測模組640或與流量量測模組640連通且經組態以自氣體取樣偵測系統610排放自由基氣流。視需要，排放導管642可與至少一真空源(未展示)流體連通。

【0118】 如圖7中所展示，處理系統610可包含可與處理系統610之至少一組件連通之至少一選用處理器模組652。例如，在所繪示之實施例中，一選用處理器模組652係經由至少一處理器導管654與自由基氣體產生器612連通。此外，選用處理器系統652可經由處理器導管654及至少一選用感測器導管656與選用感測器650連通，經由處理器導管654及至少一取樣導管658與取樣模組632連通，經由至少一感測器模組導管660與感測器模組636連通，及經由至少一流流量量測導管662與流量量測模組640連

通。在一項實施例中，選用處理器模組652可經組態以自自由基氣體產生器612、選用感測器650、取樣模組632、感測器模組636及流量量測模組640之至少一者提供及接收資料。因而，選用處理器模組652可經組態以量測處理系統610內之流量狀況且選擇性地改變處理系統610之操作條件以最佳化系統效能。更明確言之，選用處理器模組652可經組態以量測氣流內之自由基之濃度及自由基氣體產生器612之操作特性以增加或減小自由基氣流內之自由基之濃度。此外，選用處理器模組652可與選用閥裝置622及感測器624之至少一者連通且自選用閥裝置622及感測器624之至少一者提供/接收資料。視需要，處理器652可用無線方式與處理系統610之各種組件連通。此外，處理器652可經組態以儲存效能資料、處理配方及時間、批號及類似者。另外，處理器652可經組態以經由至少一電腦網路與一或多個外部處理器連通。

【0119】 視需要，如圖7中所展示，至少一分析系統或電路666可形成於處理系統610內。如所展示，分析系統666可包含取樣模組632、感測器模組636、流量量測模組640、選用感測器650、選用處理器模組652及類似者之至少一者。此外，分析系統666可進一步包含閥裝置622或處理系統610內之其他裝置及組件。

【0120】 如上文所陳述，圖1至圖7中所揭示之處理系統之各項實施例包含至少一取樣模組及至少一感測器模組。視需要，如圖1至圖7中所展示，該取樣模組及該感測器模組之部分可組合於一單個單元或裝置中。例如，如圖1中所展示，取樣模組32及感測器模組36可組合於至少一取樣反應模組700中。圖1至圖7展示其中具有至少一取樣反應模組700之處理系統之各項實施例。在所繪示之實施例中，取樣模組及感測器模組係包含於

取樣反應模組700內。視需要，取樣模組之部分及感測器模組之部分可包含於取樣反應模組700內。圖8及圖9展示經組態以與本文中所揭示之處理系統一起使用之一取樣反應模組700之一實施例之各種視圖，而圖10至圖15展示形成取樣反應模組700之組件之各種視圖。此外，熟習此項技術者將瞭解，取樣反應模組700可用於各種各樣之系統中。視需要，本文中所揭示之處理系統可在不包含取樣反應模組700之情況下操作。

【0121】如圖8及圖9中所展示，取樣反應模組700包含具有自其延伸之至少一耦合本體704之至少一模組本體702。至少一耦合本體凸緣706可定位於耦合本體704上。模組本體702進一步包含其上形成有至少一耦合凸緣710之至少一耦合表面708。至少一真空通路712可靠近耦合凸緣710形成於耦合表面708中。一或多個耦合裝置714可定位於模組本體702上之任何地方。在一項實施例中，模組本體702係由不鏽鋼製成。在另一實施例中，模組本體702係由黃銅製成。在又另一實施例中，模組本體702係由銅製成。視需要，模組本體702可由各種各樣之材料製成，包含(但不限於)鋁合金、銅合金、鎢合金、鎢、金屬合金、陶瓷及類似材料。

【0122】再次參考圖8及圖9，至少一分析配件720可定位於模組本體702上或以其他方式耦合至模組本體702。界定至少一耦合通路742之至少一耦合本體740可自模組本體702延伸。在所繪示之實施例中，至少一流體入口埠760及至少一流體出口埠762可定位於分析配件720上或以其他方式與分析配件720連通。一或多個熱控制模組750、752可靠近模組本體702定位於分析配件720中。模組本體702及分析配件720之各種特徵及組件將在以下段落中更詳細描述。

【0123】圖10至圖13展示形成分析配件720之元件之各種視圖。如

所展示，分析配件720包含具有定位於其上之至少一分析配件蓋板724之至少一分析配件本體722。在所繪示之實施例中，分析配件蓋板724可自分析配件本體722選擇性地卸離；但熟習此項技術者將瞭解，分析配件蓋板724不需要可與分析配件本體722分離。具有包含於其中之至少一耦合通路742之耦合本體740亦可包含自至少一通路安裝板746延伸之至少一耦合通路支撐件744。一或多個緊固件748可穿過通路安裝板746且經組態以將分析配件720之至少一部分耦合至模組本體702 (參見圖5至圖6)。

【0124】 如圖10至圖13中所展示，一或多個熱控制模組750、752可定位成靠近分析配件720。在一項實施例中，熱控制模組750、752包括經組態以調節分析配件720內之取樣管780之溫度之熱電模組。在另一實施例中，熱控制模組750、752可包括至少一熱敏電阻器或類似裝置。因而，熱控制模組750、752可包含各種加熱及冷卻裝置。視需要，各種各樣之溫度調節裝置、配件、組件或裝置可與分析配件720一起使用。在所繪示之實施例中，熱控制模組750、752係用於調節分析配件720之各種組件之溫度，此繼而可調節分析中之自由基氣流之溫度。在一項實施例中，熱控制模組750、752可與用於處理系統中之至少一選用處理器模組(參見圖1至圖7，元件符號分別為52、152、252、382、452、552及652)連通。

【0125】 再次參考圖10至圖13，至少一連接器隙槽(relief)754可形成於分析配件本體722及分析配件蓋板724之至少一者中。如所展示，至少一取樣管780可定位於耦合本體740內。此外，取樣管780可定位成靠近熱控制模組750、752。在一項實施例中，取樣管780係由至少一化學反應性材料製成。例如，在一項實施例中，取樣管780之至少一部分係由碳、石墨、矽石、碳纖維、二氧化矽、矽石及碳化物、基於碳之材料、基於矽

石之材料及類似者製成。因而，取樣管780之至少一部分可經組態以與流動通過形成於取樣管780內之取樣管通路782之自由基氣流內所含有之自由基反應，藉此形成可更容易偵測且其濃度可容易量測之化學物種，諸如一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO₂)、碳氫分子(次甲基自由基)、亞甲基(CH₂)、甲基化合物(CH₃)、甲烷(CH₄)、四氟化矽及類似化合物。視需要，取樣管780可由各種各樣之化學惰性材料製成，諸如不鏽鋼、陶瓷、鋁、各種合金及類似者。類似地，耦合本體740可由各種各樣之材料製成。在所繪示之實施例中，耦合本體740係由一實質上化學惰性材料(諸如不鏽鋼)製成，而取樣管780係由一化學反應性材料(諸如碳化矽)製成。因而，耦合本體740可由化學惰性材料或化學反應性材料製成。

【0126】 在一項實施例中，取樣管780與周圍環境熱隔離。例如，取樣管780可定位於耦合本體740內。可在連接管740與取樣管780之間的空隙內維持真空，藉此使取樣管780與環境熱隔離。視需要，取樣管780可依各種各樣之直徑、長度及/或橫向尺寸製造。

【0127】 如圖10至圖13中所展示，一或多個密封裝置或部件可定位於取樣通路780上或定位成靠近取樣通路780。在所繪示之實施例中，至少一密封裝置784定位於取樣管780上且經組態以使取樣管780與耦合本體740隔離。在一項實施例中，密封裝置784經組態以最小化連接本體740與取樣管780之間的熱傳導。此外，至少一密封部件786靠近至少一板部件790定位於取樣管780上或附近。在一項實施例中，密封部件786包括至少一壓擠密封件，但熟習此項技術者將瞭解，可使用各種各樣之密封部件。

【0128】 再次參考圖10至圖13，流體入口埠760及流體出口埠762可與形成於分析配件本體722中之一或多個流體埠接納件764連通。一或多

個流體通道772可經由流體埠接納件764與流體入口埠760及流體出口埠762流體連通。在使用期間，一或多個流體可經引導通過流體入口埠760、流體通道772及流體出口埠762。因而，各種流體可經引導通過分析配件本體722以選擇性地控制在靠近其流動之自由基氣流中之分析配件720之溫度。此外，視需要，至少一密封部件770可定位成靠近流體通道772。

【0129】 如圖10至圖13中所展示，板部件790可定位成靠近熱控制模組750、752。在一項實施例中，板部件790經組態以將熱控制模組750、752定位成靠近取樣管780及分析配件本體722。在一項實施例中，至少一密封本體800及/或至少一介面密封本體802可定位於板部件790上或定位成靠近板部件790。如所展示，板部件790可包含經組態以使取樣管780之至少一部分穿過其之至少一取樣管孔口804。

【0130】 圖14及圖15展示與其等取樣反應模組700一起使用之模組本體702之各種視圖。如所展示，模組本體702包含至少一模組本體面718。視需要，至少一緊固件接納件可形成於至少一模組本體面718上。在一項實施例中，模組本體面718可經組態以在其上接納至少一冷卻元件、本體及/或特徵(未展示)或接納其中之至少一冷卻元件、本體及/或特徵(未展示)。例如，在一項實施例中，經組態以增加模組本體702之表面積之冷卻元件或鰭片可形成於至少一模組本體面718之面上。此外，模組本體面718可包含經組態以在其中接納取樣管780之至少一部分之至少一取樣管接納件716 (參見圖10至圖13)。如圖12中所展示，取樣管接納件716之至少一部分與形成於模組本體702中之真空通路712之至少一部分流體連通。在使用期間，真空通路712耦合至一真空源(未展示)或以其他方

式與該真空源流體連通。因而，取樣管接納件716與形成於真空通路712內之真空流體連通。

【0131】 本申請案亦揭示量測一自由基氣流中之自由基之濃度之各種方法。圖16展示在與圖1中所展示之處理系統10一起使用時之量測程序之一般流程圖，但熟習此項技術者將瞭解，本文中所揭示之程序可易於經調適以與圖2至圖7中所展示之處理系統之各項實施例一起使用。如所展示，產生一自由基氣流，此藉由圖16中之元件符號2000表示。通常，藉由圖1中所展示之自由基氣體產生器12產生自由基氣流。此後，將一已知體積及/或流量之自由基氣流引導至至少一分析電路66，此藉由圖16中之元件符號2006表示，同時將自由基氣流之剩餘部分引導至處理室16 (此藉由元件符號2002表示)，且用於處理至少一基板或以其他方式用於處理室內(此藉由元件符號2004表示)。使分析電路66內之該已知體積及/或流量之自由基氣體與一試劑反應(此藉由圖16中之元件符號2008表示)以產生一新的、更容易偵測/量測之化學物種或分子或在替代例中重組回至其分子物種。例示性試劑係在下文展示且包含(但不限於)：Ni、Al、W、Cu、Co、Zn、C、石英、氧化鋁、含有機碳水化合物之材料及各種相關聯氧化物、氮化物及類似者。

【0132】 視需要，一或多個反應源472可用於提供一或多個試劑、反應性材料及/或激發能量至取樣模組432以使自由基氣流反應以產生一新的、更容易偵測/量測之化學物種或分子(參見圖5)。通常，試劑係與取樣模組32附近之自由基氣流反應以產生化物流。此後，可將該化物流引導至感測器模組36中，感測器模組36量測化物流內之新化學物種或分子之濃度(此藉由圖16中之元件符號2010表示)。此後，可藉由比較每定義

體積之形成該取樣氣流之該自由基氣流之在化物流內之化學物種之濃度與至少一自由基氣流之剩餘體積之比率而計算處理室內之自由基之濃度(此藉由圖16中之元件符號2012表示)。視需要，選用處理器模組52可經組態以自感測器模組36接收資料且選擇性地調整自由基氣體產生器以最佳化一自由基氣流內之自由基之濃度(此藉由圖16中之元件符號2014表示)。視需要，如圖6中所展示，可將來自感測器模組536之自由基氣流535引導至處理室516。在另一實施例中，熟習此項技術者將瞭解，本文中所揭示之量測系統及方法可用於在各種各樣之應用中量測原子自由基、分子自由基及其他短壽命分子之濃度。因而，本文中所描述之量測系統不需要包含或耦合至一處理室16 (參見圖1)。例如，圖7展示一量測系統610之一實施例，其中已消除處理室。因而，本文中所描述之量測系統可用於各種各樣之應用中，其中需要原子自由基、分子自由基及/或其他短壽命分子之原位量測。

【0133】 如上文所陳述，圖1至圖15中所展示之取樣反應模組700可用於原位判定原子自由基、分子自由基、短壽命分子及其他難以量測分子或化合物之濃度。在一項實施例中，本文中所揭示之多感測器氣體取樣偵測系統可經組態以使用量熱法來判定一氣流內之分子或其他化合物之濃度，其中使用取樣反應模組700量測重組反應。圖17展示利用圖1及圖8至圖15中所展示之取樣反應模組700之一基於量熱法之方法之一流程圖。在此實施例中，在多感測器氣體取樣偵測系統10內依據一經定義流量(X sccm)建立一自由基氣流之流，如藉由元件符號2016所表示。此後，將經定義流量(Y sccm)或體積之自由基氣流引導至取樣反應模組700 (參見圖17中之元件符號2018)。自由基氣流流動通過取樣反應模組700導致取樣

管780之溫度相對於板部件790之溫度(在下文中為dT)增大(或在一些情況中降低)，此經記錄(參見元件符號2020)。此外，註記取樣管780與板部件790之間的溫度變動之比率(dT_m/dt) (參見元件符號2022)。此後，如表示為圖17中之元件符號2024，可如下計算經計算之樣本功率：

取樣功率= $C_p * m * dT_m/dt + P_{loss} (dT)$

其中： C_p =特定熱容量

m =取樣管之質量

P_{loss} =功率損耗

【0134】 如圖17中所展示，元件符號2026，可如下計算總功率：

總功率=取樣功率* Y_{sccm}/X_{sccm}

【0135】 在另一實施例中，本文中所揭示之多感測器氣體取樣偵測系統可經組態以使用一替代量熱法來判定一氣流內之分子或其他化合物之濃度。圖18展示利用一預校準曲線判定圖1及圖8至圖15中所展示之取樣反應模組700之組件之函數 P_{loss} 之一替代基於量熱法之方法之一流程圖。如同先前實施例，如藉由元件符號2028所表示建立一自由基氣流流量。將一經定義體積、流量或部分之該自由基氣流引導至至少一感測單元或裝置(參見元件符號2030)。啟動熱控制模組750且觀察取樣管780達到一穩定溫度之時間(參見元件符號2032)。因而，在固定取樣管溫度(U)度數下量測重組反應。另外，為計算取樣功率，取樣管780之質量不再藉由取樣管之整個質量判定，而是僅藉由取樣管780之質量之一分率(表示為有效質量 m_{eff})判定。因此，取樣反應模組700之回應時間現在歸因於一較小熱質量而較快。總功率可基於樣本功率計算。

【0136】 在使用期間，將取樣管780加熱至一較高溫度(U) (元件符

號2032)且接著容許取樣管780冷卻至其穩定狀態溫度(參見元件符號2034)。此後，可基於取樣反應模組700之所觀察熱特性來建立一預校準曲線。一旦建立該預校準曲線，便可建立一經定義流量(X_{sccm})之一自由基氣體。將一經定義流量(Y_{sccm})或體積之自由基氣體引導至取樣反應模組700中。將取樣反應模組700之熱控制模組750設定至一指定溫度。此後，撤銷啟動熱控制模組750且記錄至一穩定溫度(dT)之溫度變化及取樣管780與板部件790之間的溫度變化(dt_m)之速率(元件符號2034)。

【0137】 此後，可如下計算經計算之樣本功率(元件符號2036)：

$$\text{取樣功率} = C_p * m_{\text{eff}} * dT_m/dt + P_{\text{loss}} (dT)$$

其中： C_p = 特定熱容量

m_{eff} = 取樣管之有效質量

P_{loss} = 功率損耗

【0138】 可如下計算總功率(元件符號2038)：

$$\text{總功率} = \text{取樣功率} * Y_{\text{sccm}} / X_{\text{sccm}}$$

【0139】 圖19展示利用圖1及圖8至圖15中所展示之取樣反應模組700之另一方法之一流程圖，其中在固定取樣管溫度下量測重組反應。在此實施例中，在多感測器氣體取樣偵測系統10內依據一經定義流量(X_{sccm})建立一自由基氣流之流量(元件符號2040)。此後，將一經定義流量(Y_{sccm})或體積之該自由基氣流引導至取樣反應模組700 (元件符號2042)。此後，使用取樣反應模組700之熱控制模組750選擇性地增大取樣管780之溫度(元件符號2044)。一旦取樣管780達到一指定高溫度(dT_H)，便撤銷啟動熱控制模組750，藉此允許取樣管780返回至一平衡溫度(元件符號2046)。此後，使用取樣反應模組700之熱控制模組750選擇性地降低

取樣管780之溫度(元件符號2048)。一旦取樣管780達到一指定低溫(dT_L)，便撤銷啟動熱控制模組750，藉此允許取樣管780返回至一平衡溫度(元件符號2050)。

【0140】 此後，可如下計算經計算之樣本上限功率及下限功率(元件符號2052)：

取樣功率上限 = $P_{loss}(dT_H)$

取樣功率下限 = $P_{loss}(dT_L)$

其中： P_{loss} = 功率損耗

可如下計算反應之上界及下界(元件符號2054)：

總功率上界 = 取樣功率上限 * Y_{sccm}/X_{sccm}

總功率下界 = 取樣功率下限 * Y_{sccm}/X_{sccm}

上界及下界判定實際反應之誤差限制。

【0141】 圖20用圖形展示上文圖19中所描述之程序流程之一實例。如所展示，熱控制模組750 (在圖20中被稱為TEC)經啟動以獲得程序之上界且經撤銷啟動以獲得程序之下界。

【0142】 在一些例項中，取樣功率之判定可需要進一步校準，因為在由自由基重組所產生之熱量與由電漿源之熱氣體所產生之熱量之間進行區分係困難的。因而，圖21展示經組態以在由自由基重組所產生之熱量與由電漿源之熱氣體所產生之熱量之間進行區分之一校準程序。如所展示，建立一經定義流量(X_{sccm})之一自由基氣體(元件符號2056)。此後，將一經定義流量(Y_{sccm})或體積之該自由基氣流引導至取樣反應模組700 (元件符號2058)。自由基氣流流動通過取樣反應模組700導致取樣管780之溫度相對於板部件790之溫度(在下文中為 dT)增大(或在一些情況中降低)。

記錄取樣板780及板部件790之溫度之變化(元件符號2060)。此外，註記取樣管780與板部件790之間的溫度變動之速率(dT_m/dt) (元件符號2062)。可如下計算經計算之樣本功率(元件符號2064)：

$$\text{取樣功率} = C_p * m * dT_m/dt + P_{\text{loss}} (dT)$$

其中： C_p = 特定熱容量

m = 取樣管之質量

P_{loss} = 功率損耗

【0143】 可如下計算總功率(元件符號2066)：

$$\text{總功率} = \text{取樣功率} * Y \text{ sccm} / X \text{ sccm}$$

【0144】 此後，可選擇性地調整引導至取樣反應模組700之自由基氣流之流量(Y' sccm)或體積(元件符號2068)。例如，可調整至少一閥裝置22 (參見圖1)以改變進入取樣反應模組700中之自由基氣體之流量。如圖22中所展示，在依若干不同取樣流量收集取樣功率之後，可繪製結果且將其用於在0流量下(閥關閉)外推一讀數。外推線之斜率則為量測對取樣流量之敏感性，其將對自由基重組具有一較大相依性，且對來自熱氣體之熱量具有較小相依性。

【0145】 視需要，多感測器氣體偵測取樣系統10可包含至少一光學反應性材料及至少一偵測器(諸如一FTIR或TFS)，藉此使用取樣功率之基於光學之判定。因而，使用者可希望首先將自由基物種重組成一分子氣體物種，接著將分子氣體物種運送至現可較遠定位之光學感測裝置，而非在曝露至自由基元素材料之處原位執行診斷法。例如，在一項特定實例中，可在多感測器氣體偵測取樣系統10內使用碳材料。在使用期間，一原子物種(諸如氧)與碳反應且產生CO或CO₂。接著可將CO或CO₂氣體轉移至一

遠端光學感測器以偵測存在之CO或CO₂之量。此後，如圖23中所展示，可光學地判定CO、CO₂之濃度，藉此提供氣流內之O自由基之濃度。可選擇試劑材料使得其僅與原子物種反應且不與其分子物種反應。例示性試劑材料包含：

待感測/反應之自由基	用於反應之材料	無法感測之氣體	待偵測之物種
H	碳(石墨、C纖維、a-C)、Si、SiO ₂	H ₂	CH _x
O	碳(石墨、C纖維、a-C)	O ₂ 、H ₂ O	CO、CO ₂
F、Cl	矽、SiO ₂ 、SiC	NF ₃ 、F ₂ 、Cl ₂	SiF ₄

【0146】 圖24展示一例示性基於光學之量測程序之一流程圖。如所展示，將取樣反應模組700之熱控制模組750設定為一穩定所要溫度(U)(元件符號2070)。此後，建立經定義流量(X sccm)之自由基氣體(元件符號2072)。此外，將經定義流量(Y sccm)或體積之自由基氣流引導至取樣反應模組700 (元件符號2074)。可記錄來自熱控制模組750內之光學感測器或偵測器(FTIP/TFS)之一光譜(元件符號2076)。此後，可如下計算自由基輸出(元件符號2078)：

自由基輸出= f(光譜峰值) * X sccm/Y sccm

【0147】 可選擇性地調整引導至取樣反應模組700之自由基氣流之流量(Y' sccm)或體積(元件符號2080)。例如，可調整至少一閥裝置22 (參見圖1)以改變進入取樣反應模組700中之自由基氣體之流量。因此，所量測之結果指示一給定自由基流之相對振幅(其可用於程序監測)。又，可將取樣管780設定於一固定溫度以改良反應之選擇性。例如，可選擇一溫度使得反應材料將優先與原子自由基物種而非分子氣體物種反應。

【0148】 在另一實施例中，取樣反應模組700可包含一基於半導體之取樣架構，其中至少一半導體材料定位於取樣反應模組700內。更明確言之，如圖25中所展示，將取樣反應模組700之熱控制模組750設定為一穩定所要溫度(U) (元件符號2082)。此後，建立一經定義流量(X sccm)之自由基氣體(元件符號2084)。此外，將一經定義流量(Y sccm)或體積之自由基氣流引導至取樣反應模組700 (元件符號2086)。可記錄來自定位於取樣反應模組700內之至少一半導體感測器之一電阻(元件符號2088)。此後，可如下計算自由基輸出(元件符號2090)：

自由基輸出=電阻變化之%

【0149】 圖26用圖形展示在使用上文所描述且圖25中所展示之基於電阻之取樣架構時啟動及撤銷啟動自由基輸出流時之電阻變化之結果。

【0150】 上文所描述之圖6示意性地展示可用於偵測一氣流內之自由基之濃度之一氣體取樣偵測系統之實施例。與圖6中所描述之系統相比，圖27展示包含定位於自由基氣體產生器或遠端電漿源之下游之一新穎量熱法架構之一氣體取樣偵測系統910的一實施例。如圖27中所展示，氣體取樣偵測系統910包含經由至少一反應性氣體導管914與至少一處理室916流體連通之至少一電漿產生器及/或自由基氣體產生器912。在一項實施例中，自由基氣體產生器912與至少一樣本氣體源及至少一電漿源連通，經組態以供能給樣本氣體及使樣本氣體解離且產生至少一反應性氣流。在一項特定實施例中，自由基氣體產生器912包括一RF環形電漿源；但熟習此項技術者將瞭解，各種各樣之電漿源或自由基氣體源可與本發明系統一起使用。在一項實施例中，自由基氣體產生器912使用氫(H₂)電漿產生原子氫。在另一實施例中，自由基氣體產生器912利用氧(O₂)電漿產

生原子氧。視需要，自由基氣體產生器912可利用三氟化氮(NF₃)、氟(F₂)、氯(Cl₂)、氨(NH₃)或各種各樣之其他材料來產生含有氣流內之一或多個自由基之一反應性電漿。替代性地，自由基氣體可藉由其他氣體激發方法(包含電子束激發、雷射激發或熱燈絲激發)產生。此外，以上描述揭示基於RF之電漿產生系統之各項實施例；但熟習此項技術者將瞭解，各種各樣之替代自由基氣體產生系統可與本發明系統一起使用。例示性替代自由基氣體產生系統包含(但不限於)輝光放電電漿系統、電容耦合電漿系統、級聯技術電漿系統、電感耦合電漿系統、波加熱電漿系統、弧光放電電漿系統、電暈放電電漿系統、介電障壁放電系統、電容性放電系統、壓電直接放電電漿系統及類似者。

【0151】 再次參考圖27，至少一處理室916可經由至少一反應性氣體導管914與自由基氣體產生器912流體連通。在一些應用中，反應性氣體導管914係由一化學惰性材料或具有低化學反應性之一材料製成。例示性材料包含(但不限於)石英、藍寶石、不鏽鋼、強化鋼、鋁、陶瓷材料、玻璃、黃銅、鎳、Y₂O₃、YAlO_x、各種合金及經塗佈金屬(諸如陽極氧化鋁)。在一項實施例中，單個反應性氣體導管914與單個自由基氣體產生器912流體連通。在另一實施例中，多個反應性氣體導管914與單個自由基氣體產生器912流體連通。在又另一實施例中，單個反應性氣體導管914係與多個自由基氣體產生器912連通。視需要，反應性氣體導管914可包括執行類似於上文所描述且圖11至圖13中所展示之取樣管780之一功能之一取樣導管或管。因而，任何數目個反應性氣體導管914可與任何數目個自由基氣體產生器912連通。此外，至少一閥裝置或感測器裝置922可包含於自由基氣體產生器912與處理室916之間之反應性氣體導管914上。例

如，在一項實施例中，閥裝置922可經組態以選擇性地允許或限制至少一流體流動通過反應性氣體導管914以產生自由基氣體產生器912與處理室916之間的一所要壓力差。在一項實施例中，閥裝置922可包括一可變閥或在替代例中一固定尺寸孔口。在一項實施例中，閥裝置922可定位於感測器裝置950之下游，如圖27中所展示。替代性地，閥裝置922可定位於感測器裝置950之上游。

【0152】 如圖27中所展示，處理室916可經由反應性氣體導管914耦合至自由基氣體產生器912或與自由基氣體產生器912連通。在一項實施例中，處理室916包括經組態以具有定位於其中之一或多個基板、半導體晶圓或類似材料之一或多個真空室或器皿。例如，處理室916可用於半導體基板或晶圓之原子層處理。視需要，處理室916可用於使用各種各樣之處理方法或系統來處理各種各樣之基板或材料。例示性處理方法包含(但不限於)物理氣相沈積(PVD)、化學氣相沈積(CVD)、快速熱化學氣相沈積(RTCVD)、原子層沈積(ALD)、原子層蝕刻(ALE)及類似者。熟習此項技術者將瞭解，處理室916由各種各樣之材料製成，包含(但不限於)不鏽鋼、鋁、軟鋼、黃銅、高密度陶瓷、玻璃、丙烯酸及類似者。例如，處理室916之至少一內表面可包含意欲選擇性地改變反應性、耐久性及/或填充處理室916之該等內表面上之微孔之至少一塗層、陽極氧化材料、犧牲材料、實體特徵或元件及類似者。至少一排放導管918可耦合至處理室916且經組態以自處理室916抽出一或多種氣體或材料。視需要，一或多個控制感測器、閥、滌氣器或類似裝置924可耦合至排放導管918或定位成靠近排放導管918，藉此允許使用者自處理室916選擇性地抽出一或多種氣體或其他材料。

【0153】 再次參考圖27，至少一室處理器模組920可耦合至處理室916及/或處理系統之各種組件或以其他方式與其等連通。室處理模組920可經組態以提供形成處理系統910之各種組件之局部控制。在所繪示之實施例中，室處理模組920係經由至少一導管與處理室916連通，但熟習此項技術者將瞭解，室處理模組920可經由導管、用無線方式或兩者與形成處理系統910之組件之任一者連通。

【0154】 如圖27中所展示，反應性氣體導管914可包含耦合至其或與其連通之一或多個感測器系統及/或類似裝置950。例如，在所繪示之實施例中，至少一量熱法感測器裝置950可定位於反應性氣體導管914內及/或耦合至反應性氣體導管914，但熟習此項技術者將瞭解，各種各樣之感測器裝置或系統可用於本發明系統中。不同於圖6中所展示且上文所描述之實施例，圖27中所展示之氣體取樣偵測系統910之實施例不需要包含圖6中所展示之氣體取樣偵測系統510中所包含之樣本反應模組700之實施例。

【0155】 如圖27中所展示，處理系統910可包含與處理系統910之至少一組件連通之至少一選用處理器模組952。例如，在所繪示之實施例中，一選用處理器模組952經由至少一處理器導管954與自由基氣體產生器912及電源供應器926連通。此外，選用處理器系統952可經由處理器導管954及感測器導管958與感測器950連通。在一項實施例中，選用處理器模組952可經組態以自自由基氣體產生器912、電源供應器926及感測器裝置950之至少一者提供及接收資料。因而，選用處理器模組952可經組態以經由感測器裝置950量測處理系統910內之流量狀況且選擇性地改變處理系統910或電源供應器926之操作條件以最佳化系統效能。更明確言

之，選用處理器模組952可經組態以量測自由基氣流內之自由基及/或短壽命分子之濃度且改變自由基氣體產生器912之操作特性以增加或減小自由基氣流內之自由基之濃度。如上文所陳述，感測器裝置950可包括一量熱法感測器裝置950。此外，選用處理器模組952可與選用閥裝置922 (經由導管958)及室處理器模組920 (經由導管964)之至少一者連通且自選用閥裝置922及室處理器模組920之至少一者提供/接收資料。選用處理器模組952亦可經組態以將電漿功率或輸入功率提供至電源供應器926及接收電漿功率或輸入功率。視需要，處理器952可用無線方式與處理系統910之各種組件連通。此外，處理器952可經組態以儲存效能資料、處理配方及時間、批號及類似者。另外，處理器952可經組態以經由至少一電腦網路與一或多個外部處理器連通。

【0156】 圖28及圖29展示可用於形成感測器裝置950之一感測器架構或裝置之各項實施例。如圖28中所展示，在一項實施例中，感測器裝置950可經由至少一導管974耦合至反應性氣體導管914或以其他方式與反應性氣體導管914連通。此外，至少一感測器本體970可定位於形成於反應性氣體導管914內之至少一氣體通路915內且經由導管974與感測器裝置950連通。在所繪示之實施例中，一單個感測器本體970定位於反應性氣體導管914內，但熟習此項技術者將瞭解，任何數目個感測器本體可定位於反應性氣體導管914內且耦合至感測器裝置950。此外，在一項實施例中，感測器本體970使用至少一隔離裝置972與反應性氣體導管914熱隔離。在替代例中，熟習此項技術者將瞭解，感測器本體970不需要與反應性氣體導管914熱隔離。感測器本體970可由各種各樣之材料製成，包含(但不限於)碳、石墨、矽石、碳纖維、二氧化矽、矽石及碳化物、基於碳

之材料、基於矽石之材料及類似者。因而，感測器本體970之至少一部分可經組態以與流動通過反應性氣體導管914之自由基氣流內所含有之自由基反應，藉此形成可更容易偵測之化學物種，諸如一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO₂)、碳氫分子(次甲基自由基)、亞甲基(CH₂)、甲基化合物(CH₃)、甲烷(CH₄)、四氟化矽及類似化合物。視需要，感測器本體970可由各種各樣之化學惰性材料製成，諸如不鏽鋼、陶瓷、鎳、鎢、鋁、各種合金及類似者。視需要，感測器本體970亦可由可與自由基氣流中之一或多個元素或化學化合物反應以提供自由基氣體中之特定氣體之化學組合物及/或濃度之催化材料(諸如鉑、鈀、鎳)製成。

【0157】 在使用期間，藉由電漿產生器產生之一反應性氣體913經引導通過反應性氣體導管914。定位於形成於反應性氣體導管914中之氣體通路915內之感測器本體970係定位於自由基氣體913之流內。藉由感測器裝置950量測熱隔離之感測器本體970之溫度。此後，感測器裝置950將藉由感測器本體970量測之量熱資料提供至選用處理器模組952及/或電漿產生器912之至少一者。因而，可基於藉由感測器裝置950執行之量熱量測而調整自由基氣體產生器912之操作參數。

【0158】 圖29展示具有與其連通之一感測器裝置950之一反應性氣體導管914之另一實施例。更明確言之，感測器裝置950包含一第一感測器本體976及定位於至少一熱本體980上或以其他方式耦合至至少一熱本體980之一第二感測器本體978。如所繪示實施例中所展示，第一感測器本體976可定位於形成於反應性氣體導管914中之至少一氣體通路915內(及在自由基氣流913內)，而第二感測器本體978定位成遠離反應器氣體導管914。在一替代實施例中，第一感測器本體976及第二感測器本體978皆

定位於反應性氣體導管914附近。此外，熱本體980可包含至少一流體入口982及至少一流體出口984。在一項實施例中，熱本體980可經組態以使反應性氣體導管914之至少一部分維持於一所要溫度。如同先前實施例，第一感測器本體976及/或第二感測器本體978之至少一者經由至少一導管974與感測器裝置950連通。在使用期間，在一反應性氣體913流動通過反應性氣體導管914時，藉由感測器裝置950量測定位於形成於自由基氣流內之氣體通路915內之第一感測器本體976之溫度。另外，藉由感測器裝置950類似地量測第二感測器本體978之溫度。此後，可藉由感測器裝置950及選用處理器模組952之至少一者計算第一感測器本體976與第二感測器本體978之間的溫度梯度。此後，可調整自由基氣體產生器912之效能特性以最佳化效能。視需要，可比較經由流體入口982流動至熱本體980中之流體之溫度與經由流體出口984流出熱本體980之流體之溫度，藉此允許一使用者計算熱本體980內之熱傳遞。在一項實施例中，反應性氣體導管914可經組態以允許流動於反應性氣體導管914內之氣流內之自由基重組。因而，熟習此項技術者將瞭解，可藉由感測器裝置950及選用處理器模組952之至少一者計算氣流之重組功率(輸出量熱法)。

【0159】 圖30展示一自由基氣體導管1014之一替代實施例，其中反應性氣體導管1014之至少一表面形成一熱感測器裝置。更明確言之，反應性氣體導管1014包含具有至少一內表面1018及至少一外表面1019之一導管本體1016。因而，反應性氣體導管1014之內表面1018界定至少一氣體通路1015。此外，至少一熱本體1020可耦合至反應性氣體導管1014之至少一部分或以其他方式與反應性氣體導管1014之至少一部分連通。如所展示，熱本體1020可包含至少一入口1022及至少一出口1024。入口

1022及出口1024可與穿過熱本體1020或定位成靠近熱本體1020之至少一導管1026連通。在一項實施例中，至少一流體可經由入口1022、出口1024及導管1026流動通過熱本體1020。在所繪示之實施例中，熱本體1020係定位成靠近反應性氣體導管1014之一區段。視需要，熱本體1020可沿著反應性氣體導管1014之整個長度定位。

【0160】 再次參考圖30，至少一感測器裝置1028可定位於反應性氣體導管1014之導管本體1016內。例如，在所繪示之實施例中，感測器裝置1028係定位於導管本體1016之內表面1018上或定位成靠近導管本體1016之內表面1018。在一項實施例中，感測器裝置1028在其中包含至少一感測器。在所繪示之實施例中，感測器裝置1028包含一第一感測器區域1030及至少一第二感測器區域或裝置1032。在所繪示之實施例中，第一感測器1030可定位於導管本體1016之內表面1018內或定位成靠近導管本體1016之內表面1018。視需要，整個內表面1018可經組態以形成第一感測器區域1030。因而，第一感測器區域1030可經組態以量測反應性氣體導管1014內之自由基流之重組溫度/能量。第二感測器區域1032可定位於導管本體1016之外部。例如，在一項實施例中，第二感測器區域1032可定位成靠近導管本體1016之外表面1019。在一項實施例中，第二感測器區域1032經組態以量測導管本體1016外部之溫度。在使用期間，使用者可計算定位於導管本體1016內之內表面1018上或定位成靠近導管本體1016內之內表面1018之第一感測器區域1030與定位成靠近導管本體1016外部之外表面1019之第二感測器區域1032之間的一溫度梯度。視需要，額外感測器區域1029可定位於氣體導管1014上。例如，在所繪示之實施例中，一額外感測器1029係定位成靠近熱本體1020。第一感測器區域

1030及第二感測器區域1032可藉由與熱本體1020連通之至少一熱區域1034分離。視需要，熱區域1034可包含經組態以具有一或多個流體流動通過其之一或多個導管(未展示)。因而，熱區域1034可與形成於熱本體1020上之入口1022及出口1024連通。在另一實施例中，導管本體1016之內表面1018可經組態以充當一感測器。如同先前實施例，感測器裝置1028可經由至少一感測器導管1042與至少一感測器控制器1040連通。

【0161】 在使用期間，藉由感測器裝置1028針對感測器區域1030且藉由額外感測器區域1029針對感測器區域1032量測流動通過反應性氣體導管1014之反應性氣體流之重組熱量之溫度，感測器區域1028及感測器區域1029皆與感測器裝置1040連通。此後，可調整自由基氣體產生器912之效能特性以最佳化效能(參見圖27)。視需要，可比較經由流體入口1022流動至熱本體1020中之流體之溫度與經由流體出口1024流出熱本體1020之流體之溫度，藉此允許一使用者計算熱本體1020內之熱傳遞。在一項實施例中，反應性氣體導管1014可經組態以允許流動於反應性氣體導管1014內之氣流內之自由基重組。因而，熟習此項技術者將瞭解，可藉由感測器裝置1040及選用處理器模組952 (參見圖27)之至少一者計算氣流之重組功率(總輸出量熱法)。

【0162】 圖31展示利用圖27、圖29及圖30中所展示之多感測器氣體取樣偵測系統910之另一方法之一流程圖。在此實施例中，在多感測器氣體取樣偵測系統910內依據一經定義流量(X sccm)建立一流動自由基氣流(元件符號2092)。此後，記錄第一感測器本體976與第二感測器本體978之溫度之變化(元件符號2094)。此外，亦記錄反應性氣體導管914之溫度變化之速率(dT_m/dt) (元件符號2096)。此後，可如下計算樣本功率(元件符

號2098)：

$$\text{取樣功率} = C_p * m_{\text{eff}} * dT_m/dt + P_{\text{loss}} (dT)$$

其中： C_p = 特定熱容量

m_{eff} = 取樣管之有效質量

P_{loss} = 功率損耗

【0163】圖32展示利用圖27、圖29及圖30中所展示之多感測器氣體取樣偵測系統910之一替代方法之另一流程圖。在此實施例中，在多感測器氣體取樣偵測系統910內依據一經定義流量(X sccm)建立一流動自由基氣流(元件符號2100)。此後，可記錄2102輸送至反應性氣體流之功率。另外，可在定位成靠近反應性氣體導管914之至少兩個感測器之間量測溫度上升(dT)及溫度上升之速率(dT_m/dT) (參見圖27、圖29及圖30、圖31元件符號2104)。視需要，可在形成於圖31中所展示之感測器裝置1028中之至少兩個感測器位置之間量測(元件符號2106)溫度上升(dT)及溫度上升之速率(dT_m/dT)。此後，可如下計算樣本功率(元件符號2108)：

$$\text{取樣功率} = C_p * m * dT_m/dt + P_{\text{loss}} (dT)$$

其中： C_p = 特定熱容量

m = 取樣管之質量

P_{loss} = 功率損耗

【0164】此後，可比較(元件符號2110)樣本功率與反應性氣體之氣體流量及功率，藉此容許準確地計算反應性氣體產生器之效率。此外，可藉由選用處理器模組952、電源供應器926或兩者評估(元件符號2112)及選擇性地調整(元件符號2114)自由基氣體產生器912之輸出。

【0165】圖33用圖形展示在自由基氣體產生器912在開啟與關閉之間重複地循環時至自由基氣體產生器912之下游之一反應性氣體導管914

之流體之溫度變化(dT)。如所展示，當最初啟動自由基氣體產生器912時，流體之溫度上升且隨後在關閉循環期間下降至一較低值。如圖33中所展示，在溫度變化(dT)在各循環期間遠未達到穩定狀態之情況下，溫度上升之斜率與藉由反應性氣體導管914自藉由自由基氣體產生器912產生之自由基氣流吸收之功率成比例。

【0166】 圖34A及圖34B用圖形展示兩個不同自由基氣體產生器可具有不同自由基輸出。更明確言之，圖34A中所展示之自由基氣體產生器單元#1之資料相較於圖34B中所展示之自由基產生器單元#2具有較低溫度上升斜率(dT/dt)。另一方面，輸入至自由基產生器單元#1之功率高於自由基氣體產生器#2之功率。

【0167】 如圖34A中所展示，自由基氣體產生器單元#1之輸入功率在300個操作循環期間自約7.5 kW增加至約10 kW。在相同時間期間，自由基氣體輸出之功率降低。在藉由程序化學中之電漿-表面相互作用改變自由基氣體產生器之表面時，在初始幾個循環期間存在一快速下降。隨後，在輸入電漿功率增加時，在自由基氣體輸出流中存在一緩慢功率下降。此行為完全不同於圖34B中所展示之自由基氣體產生器單元#2之行為。不僅輸出自由基氣流中之功率較高達多至30%至40%，而且自由基氣體產生器#2之輸入功率在整個測試期間較低。經展示，自由基氣體產生器單元#2比單元#1更有效。較高輸入功率及輸出自由基氣流中之較低功率展示在自由基氣體產生器#1中存在較高自由基氣體損耗，此與兩個自由基氣體產生器之表面組合物之差異有關。因此，圖32之方法不僅可用於控制或調整一自由基氣體產生器之操作，而且亦可用於判定及特性化一自由基氣體產生器之效能狀態。使一較差或劣化之自由基氣體產生器與正常自由

基氣體產生器分離之能力在工業製造環境中確保產品之一致性方面尤其有用。

【0168】 本文中所揭示之實施例係闡釋本發明之原理。可採用在本發明之範疇內之其他修改。因此，本申請案中所揭示之裝置並不限於如本文中精確展示及描述之裝置。

【符號說明】

【0169】

- 10 氣體取樣偵測系統/處理系統/多感測器氣體取樣偵測系統
- 12 電漿產生器/自由基氣體產生器/反應性氣體產生器
- 14 氣體通路/反應性氣體導管
- 16 處理室
- 18 排放導管
- 20 室處理器模組/室處理模組
- 22 裝置/閥裝置/取樣控制閥
- 24 裝置/感測器
- 30 取樣導管
- 32 取樣模組
- 34 分子化合物物流導管
- 36 感測器模組/感測模組
- 38 感測器模組輸出導管
- 40 流量量測模組/流量控制模組
- 42 排放導管
- 50 感測器裝置/控制裝置/感測器

52	處理器模組/處理器系統
54	處理器導管
56	感測器導管
58	取樣導管
60	感測器模組導管
62	流量量測導管
64	處理導管
66	分析系統或電路
110	處理系統/氣體取樣偵測系統/多感測器氣體取樣偵測系統
112	自由基氣體產生器/反應性氣體產生器
114	氣體通路/反應性氣體導管
116	處理室
118	排放導管
120	室處理器模組/室處理模組
122	裝置/閥裝置/取樣控制閥
124	裝置/感測器
130	取樣導管
132	取樣模組
134	分子化合物流導管
136	感測器模組/感測模組
138	感測器模組輸出導管
140	流量量測模組/流量控制模組
142	排放導管

144	室樣本氣體導管
150	感測器裝置/控制裝置/感測器
152	處理模組/處理器模組/處理器系統
154	處理器導管
156	感測器導管
158	取樣導管
160	感測器模組導管
162	流量量測導管
164	處理導管
166	分析系統或電路
210	處理系統/氣體取樣偵測系統/多感測器氣體取樣偵測系統
212	自由基氣體產生器/反應性氣體產生器
214	氣體通路/反應性氣體導管
216	處理室
218	排放導管
220	室處理器模組/室處理模組
222	裝置/閥裝置/取樣控制閥
224	裝置/感測器
230	取樣導管
232	取樣模組
234	分子化合物物流導管
236	感測器模組
238	感測器模組輸出導管

240	流量量測模組/流量控制模組
242	排放導管
244	室樣本氣體導管
246	樣本排放導管
250	感測器裝置/控制裝置/感測器
252	處理器模組/處理器系統
254	處理器導管
256	感測器導管
258	取樣導管
260	感測器模組導管
262	流量量測導管
264	處理導管
266	分析系統或電路
310	處理系統/氣體取樣偵測系統/多感測器氣體取樣偵測系統
312	自由基氣體產生器/反應性氣體產生器
314	氣體通路/反應性氣體導管
316	處理室
318	排放導管
320	室處理器模組/室處理模組
322	裝置/閥裝置/取樣控制閥
324	裝置/感測器
330	取樣導管/上游取樣導管
332	上游取樣模組

334	分子化物流導管
336	感測器模組/感測模組
340	室樣本氣體導管
342	室取樣模組
350	排放樣本氣體導管
352	排放取樣模組
356	感測器導管
362	感測器模組輸出導管
364	處理導管
370	流量量測模組/流量控制模組
372	排放導管
380	感測器裝置/控制裝置/感測器
382	處理器模組
384	處理器導管
386	感測器模組導管
410	氣體取樣偵測系統/處理系統/多感測器氣體取樣偵測系統
412	電漿產生器/自由基氣體產生器/反應性氣體產生器
414	氣體通路/反應性氣體導管
416	處理室
418	排放導管
420	室處理器模組/室處理模組
422	裝置/閥裝置/取樣控制閥
424	裝置/感測器

430	取樣導管
432	取樣模組/樣本模組
434	分子化合物物流導管
436	感測器模組/感測模組
438	感測器模組輸出導管
440	流量量測模組/流量控制模組
442	排放導管
450	感測器裝置/控制裝置/感測器
452	處理器模組/處理器系統/處理器
454	處理器導管
456	感測器導管
458	取樣導管
460	感測器模組導管
462	流量量測導管
464	處理導管
466	分析系統或電路
472	反應氣體進料器或來源/反應源
474	反應機構或反應流
475	流導管
510	氣體取樣偵測系統/處理系統
512	電漿產生器/自由基氣體產生器/反應性氣體產生器
514	氣體通路/反應性氣體導管
516	處理室

518	排放導管
520	室處理器模組/室處理模組
522	裝置/閥裝置/取樣控制閥
524	裝置/感測器
530	取樣導管
532	取樣模組
534	分子化合物物流導管
535	感測器模組回流導管/自由基氣流
536	感測器模組/感測模組
550	感測器裝置/控制裝置/感測器
552	處理器模組/處理器
554	處理器導管
556	感測器導管
558	取樣導管
560	感測器模組導管
564	處理導管
566	分析系統或電路
610	氣體取樣偵測系統/處理系統/量測系統
612	電漿產生器/自由基氣體產生器
614	氣體通路/反應性氣體導管
622	裝置/閥裝置/取樣控制閥
630	取樣導管
632	取樣模組

634	分子化合物流導管
636	感測器模組/感測模組
638	感測器模組輸出導管
640	流量量測模組/流量控制模組
642	排放導管
650	感測器裝置/控制裝置/感測器
652	處理器模組/處理器
654	處理器導管
656	感測器導管
658	取樣導管
660	感測器模組導管
662	流量量測導管
666	分析系統或電路
700	取樣反應模組
702	模組本體
704	耦合本體
706	耦合本體凸緣
708	耦合表面
710	耦合凸緣
712	真空通路
714	耦合裝置
716	取樣管接納件
718	模組本體面

720	分析配件
722	分析配件本體
724	分析配件蓋板
740	耦合本體/連接管/連接本體
742	耦合通路
744	耦合通路支撐件
746	通路安裝板
748	緊固件
750	熱控制模組
752	熱控制模組
754	連接器隙槽
760	流體入口埠
762	流體出口埠
764	流體埠接納件
770	密封部件
772	流體通道
780	取樣管/取樣通路
782	取樣管通路
784	密封裝置
786	密封部件
790	板部件
800	密封本體
802	介面密封本體

804	取樣管孔口
910	氣體取樣偵測系統/處理系統
912	自由基氣體產生器/電漿產生器
913	反應性氣體/自由基氣體/自由基氣流
914	反應性氣體導管
915	氣體通路
916	處理室
918	排放導管
920	室處理器模組/室處理模組
922	閥裝置/感測器裝置
924	裝置
926	電源供應器
950	感測器裝置/裝置/量熱法感測器裝置/感測器
952	處理器模組/處理器系統/處理器
954	處理器導管
958	感測器導管/導管
964	導管
970	感測器本體
972	隔離裝置
974	導管
976	第一感測器本體
978	第二感測器本體
980	熱本體

982	流體入口
984	流體出口
1014	自由基氣體導管/反應性氣體導管/氣體導管
1015	氣體通路
1016	導管本體
1018	內表面
1019	外表面
1020	熱本體
1022	入口/流體入口
1024	出口/流體出口
1026	導管
1028	感測器裝置
1029	感測器區域/感測器
1030	第一感測器區域
1032	第二感測器區域
1034	熱區域
1040	感測器控制器
1042	感測器導管
2000	步驟
2002	步驟
2004	步驟
2006	步驟
2008	步驟

2010	步驟
2012	步驟
2014	步驟
2016	步驟
2018	步驟
2020	步驟
2022	步驟
2024	步驟
2026	步驟
2028	步驟
2030	步驟
2032	步驟
2034	步驟
2036	步驟
2038	步驟
2040	步驟
2042	步驟
2044	步驟
2046	步驟
2048	步驟
2050	步驟
2052	步驟
2054	步驟

2056	步驟
2058	步驟
2060	步驟
2062	步驟
2064	步驟
2066	步驟
2068	步驟
2070	步驟
2072	步驟
2074	步驟
2076	步驟
2078	步驟
2080	步驟
2082	步驟
2084	步驟
2086	步驟
2088	步驟
2090	步驟
2092	步驟
2094	步驟
2096	步驟
2098	步驟
2100	步驟

- 2102 步驟
- 2104 步驟
- 2106 步驟
- 2108 步驟
- 2110 步驟
- 2112 步驟
- 2114 步驟

【發明申請專利範圍】

【第1項】

一種用於量測一氣流(gas stream)中之自由基(radicals)之濃度之系統，其包括：

至少一自由基氣體產生器，其與至少一氣體源連通，該自由基氣體產生器經組態以產生至少一自由基氣流；

至少一處理室，其與該至少一自由基氣體產生器流體連通，該至少一處理室經組態以接收該至少一自由基氣流之一部分；

至少一取樣反應模組(sampling reaction module)，其與該至少一自由基氣體產生器流體連通，該取樣反應模組具有至少一熱控制模組，其與至少一取樣管熱連通，該至少一取樣管經組態以自該至少一自由基氣體產生器其中接收該自由基氣流之一部分且使至少一試劑(reagent)與一經定義體積之該至少一自由基氣流內之至少一自由基氣體反應，藉此形成至少一化物流內之至少一化學物種；

至少一感測器模組，其定位於該至少一取樣反應模組內且經組態以量測該至少一取樣管之一溫度改變，其歸因於該至少一化物流內之該至少一化學物種與該至少一取樣管之相互作用，及基於該至少一取樣管之該溫度改變來計算在該至少一取樣管內流動之該至少一化物流內之該至少一化學物種之一濃度；及

至少一流量量測模組，其與該至少一取樣反應模組流體連通，該至少一流量量測模組經組態以量測該至少一自由基氣流及該至少一化物流之該至少一者之一體積；及

至少一排放導管，其經組態以自該流量量測模組排放該至少一自由

基氣流。

【第2項】

如請求項1之系統，其中該至少一試劑包括基於碳之材料。

【第3項】

如請求項1之系統，其中該至少一試劑包括選自由石墨、矽石、碳纖維、二氧化矽及碳化矽組成之群組之至少一材料。

【第4項】

如請求項1之系統，其中該至少一取樣模組包含至少一量熱法量測系統。

【第5項】

如請求項1之系統，其中該至少一感測器模組包括至少一傅立葉變換紅外光譜法系統。

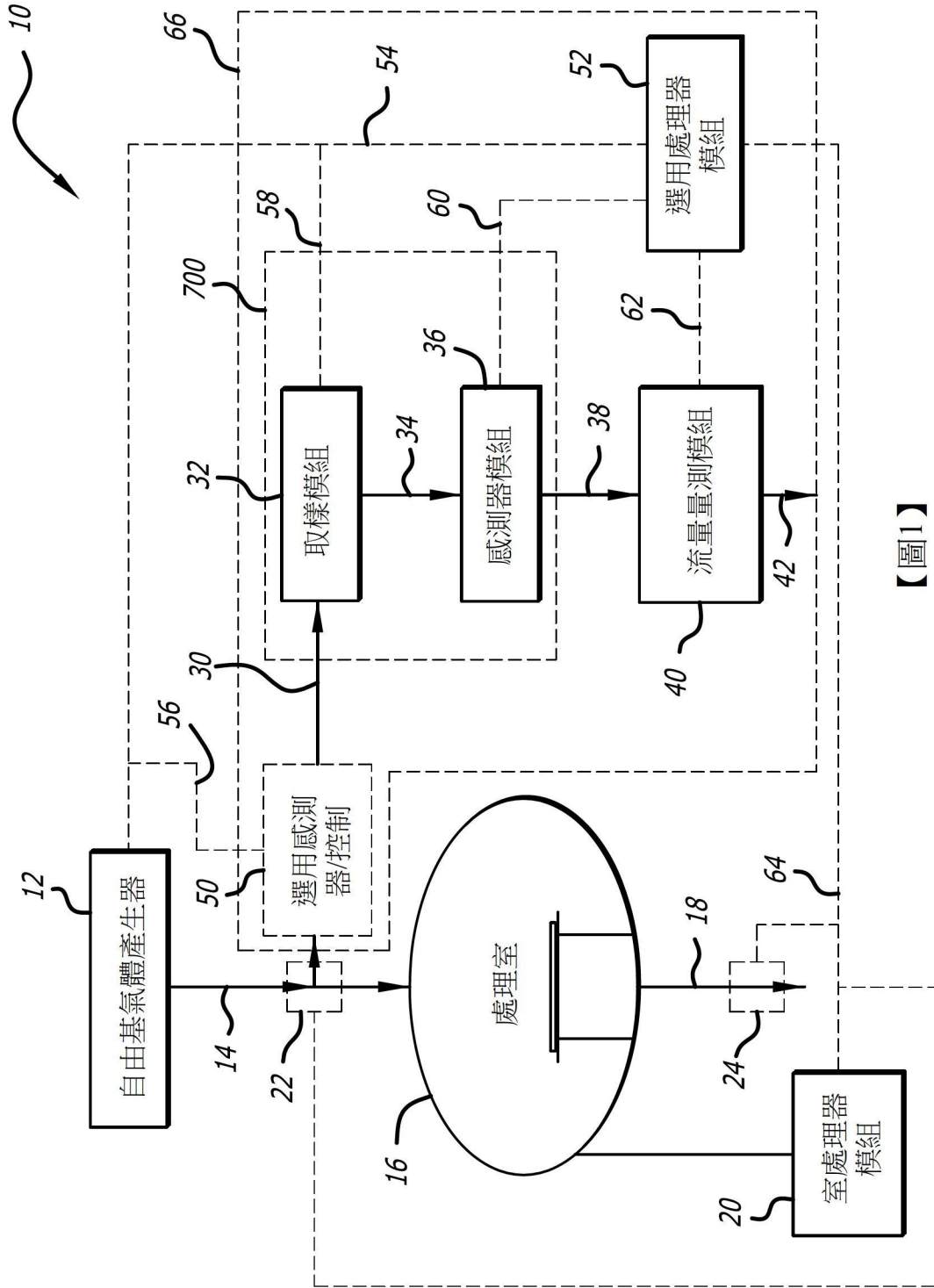
【第6項】

如請求項1之系統，其中至少一流流量量測模組包含至少一質量流量驗證器。

【第7項】

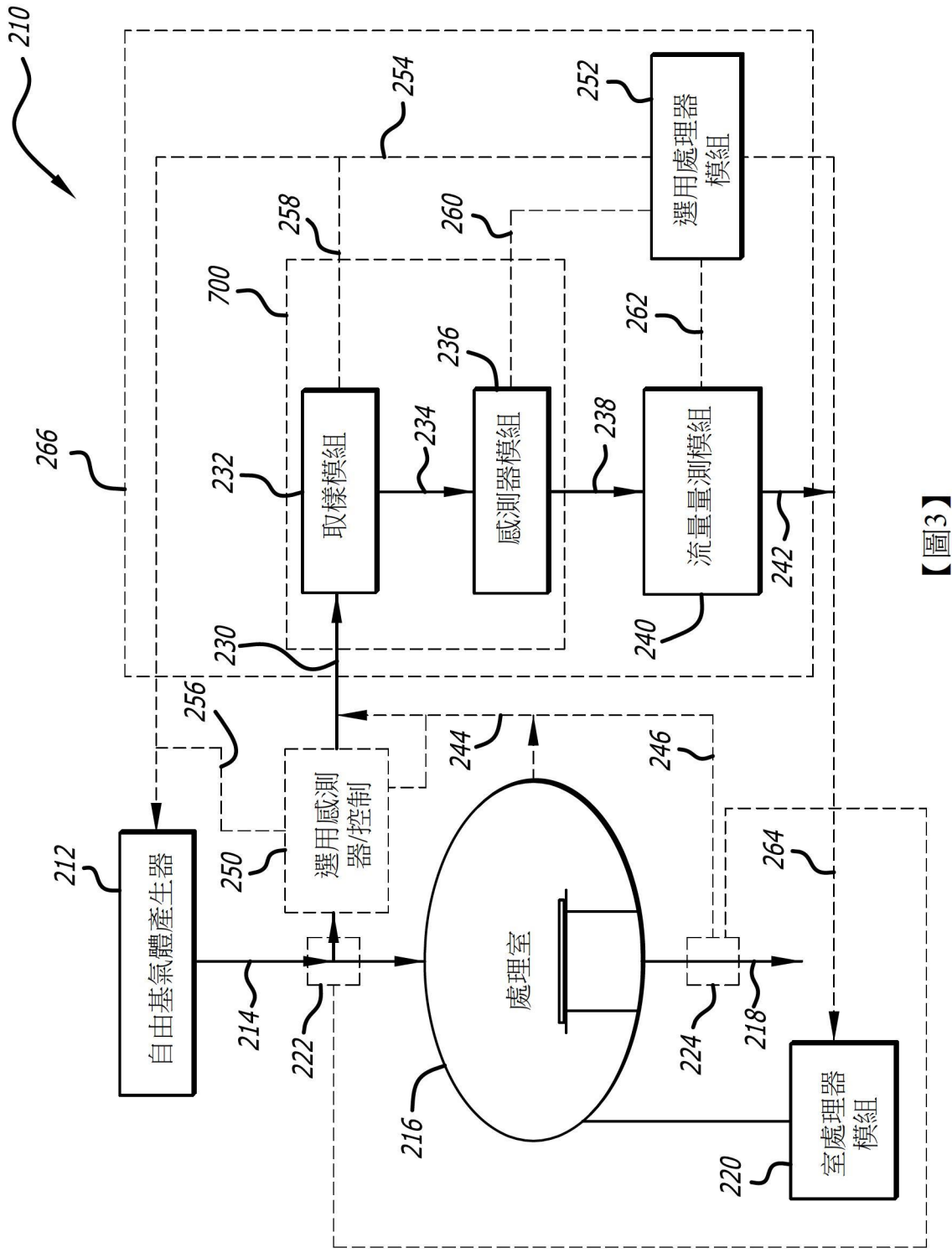
如請求項1之系統，其進一步包括與該至少一自由基氣體產生器、該至少一取樣模組、該至少一感測器模組及該至少一流流量量測模組之至少一者連通之至少一處理器，該至少一處理器經組態以基於自該至少一分析電路、該至少一取樣模組、該至少一感測器模組及該至少一流流量量測模組之至少一者接收之資料對自該至少一自由基氣體產生器發出之至少一自由基氣流之產生可控制地調整。

【發明圖式】



【圖1】

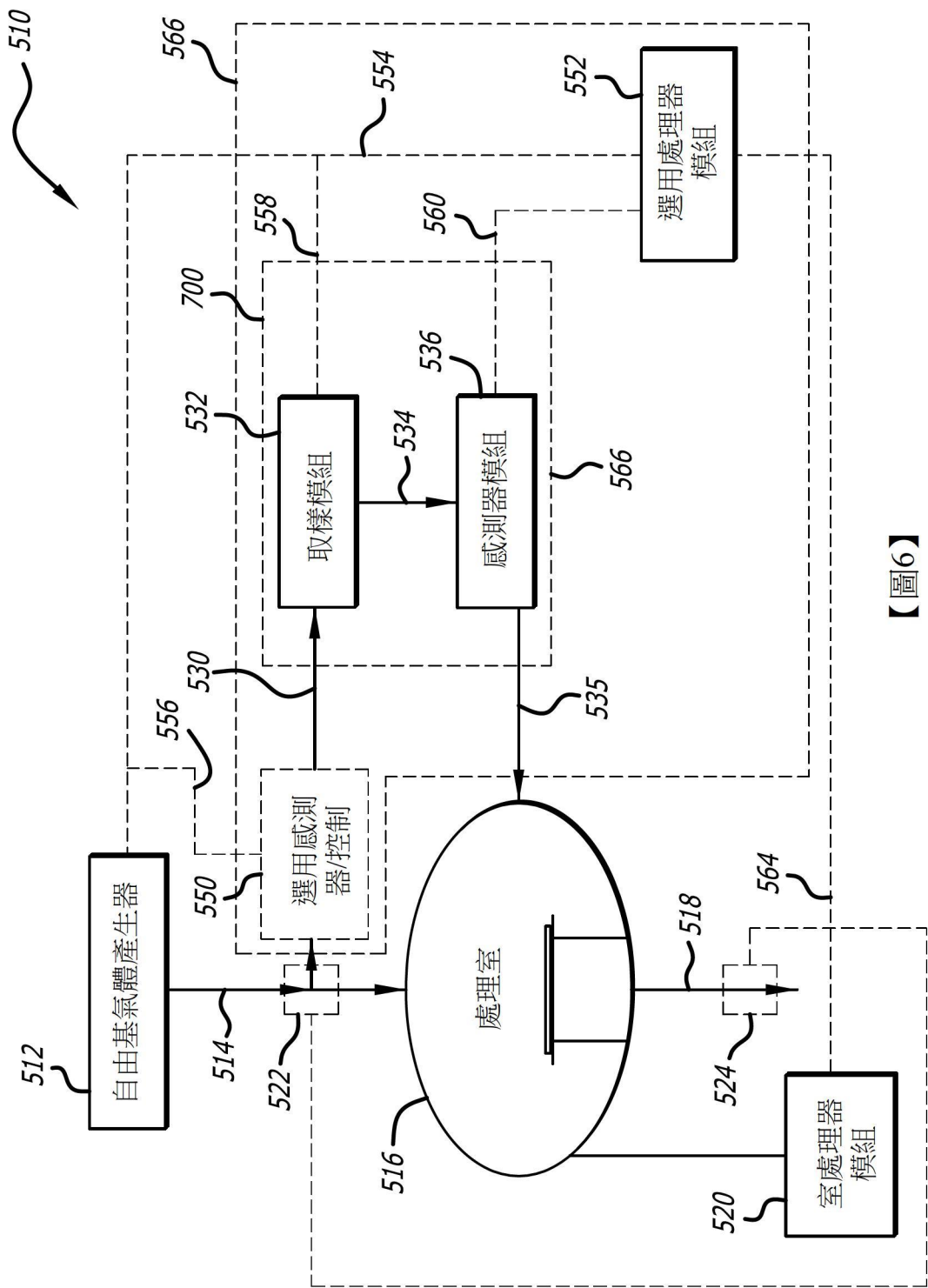


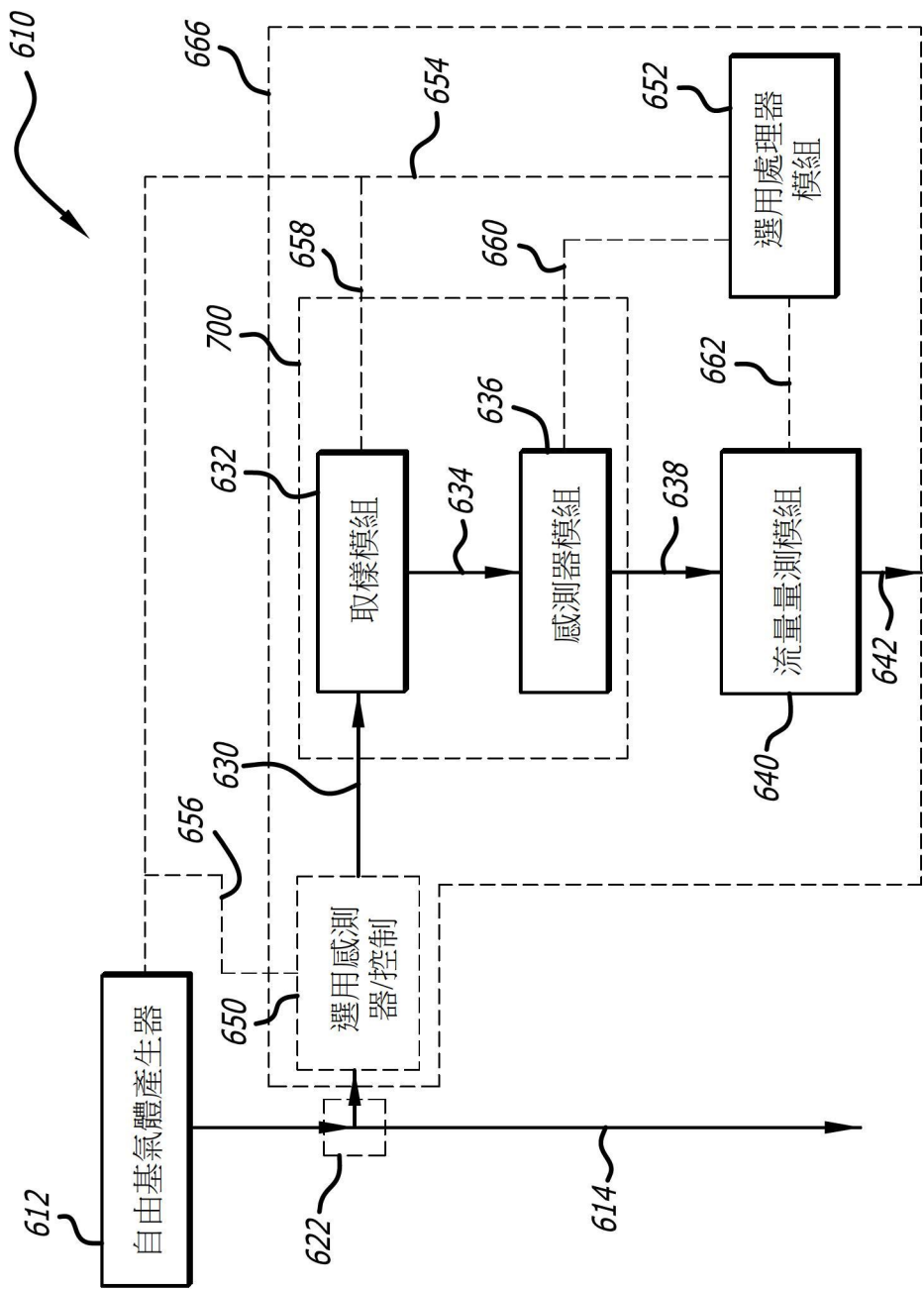


【圖3】

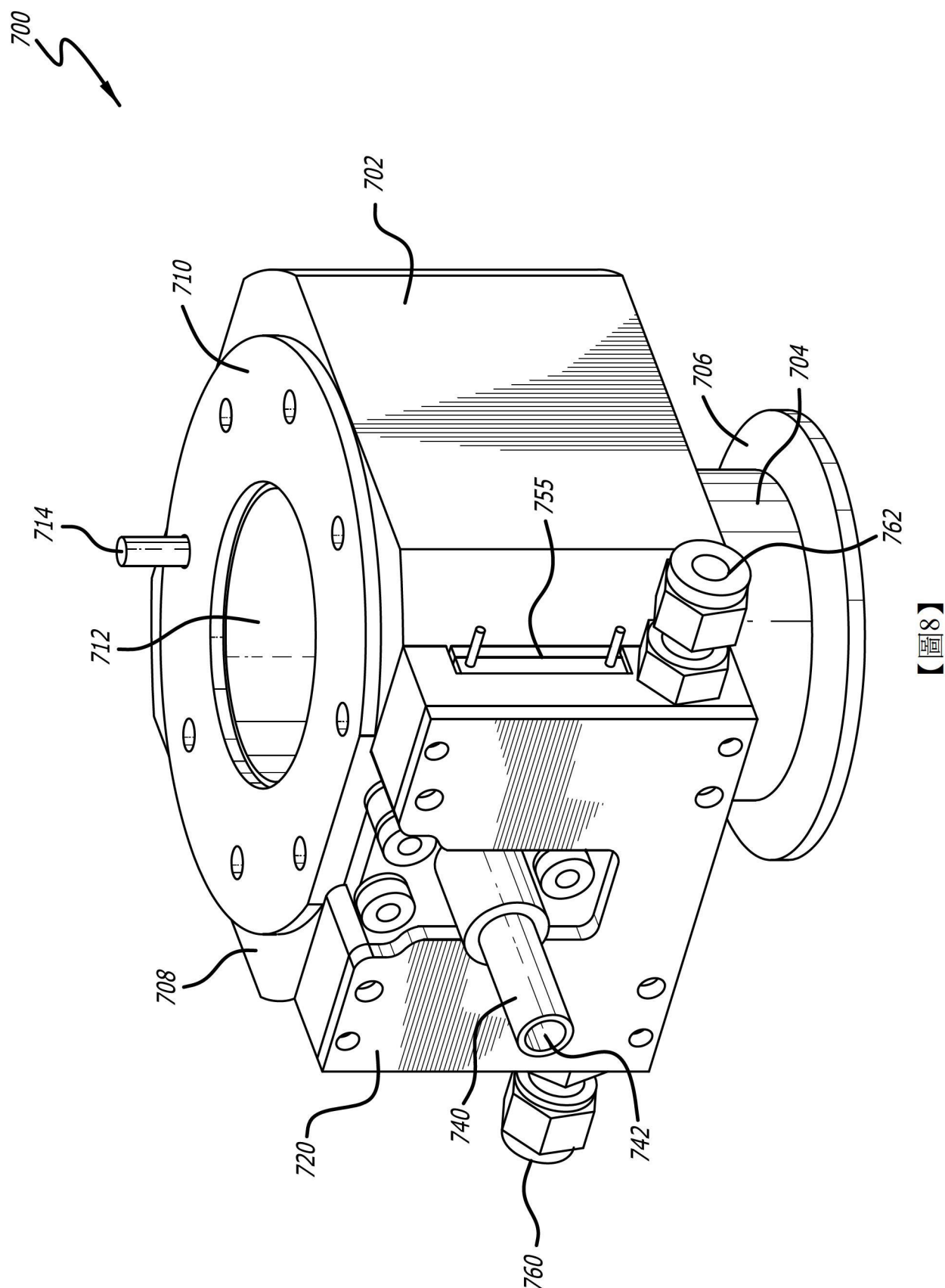




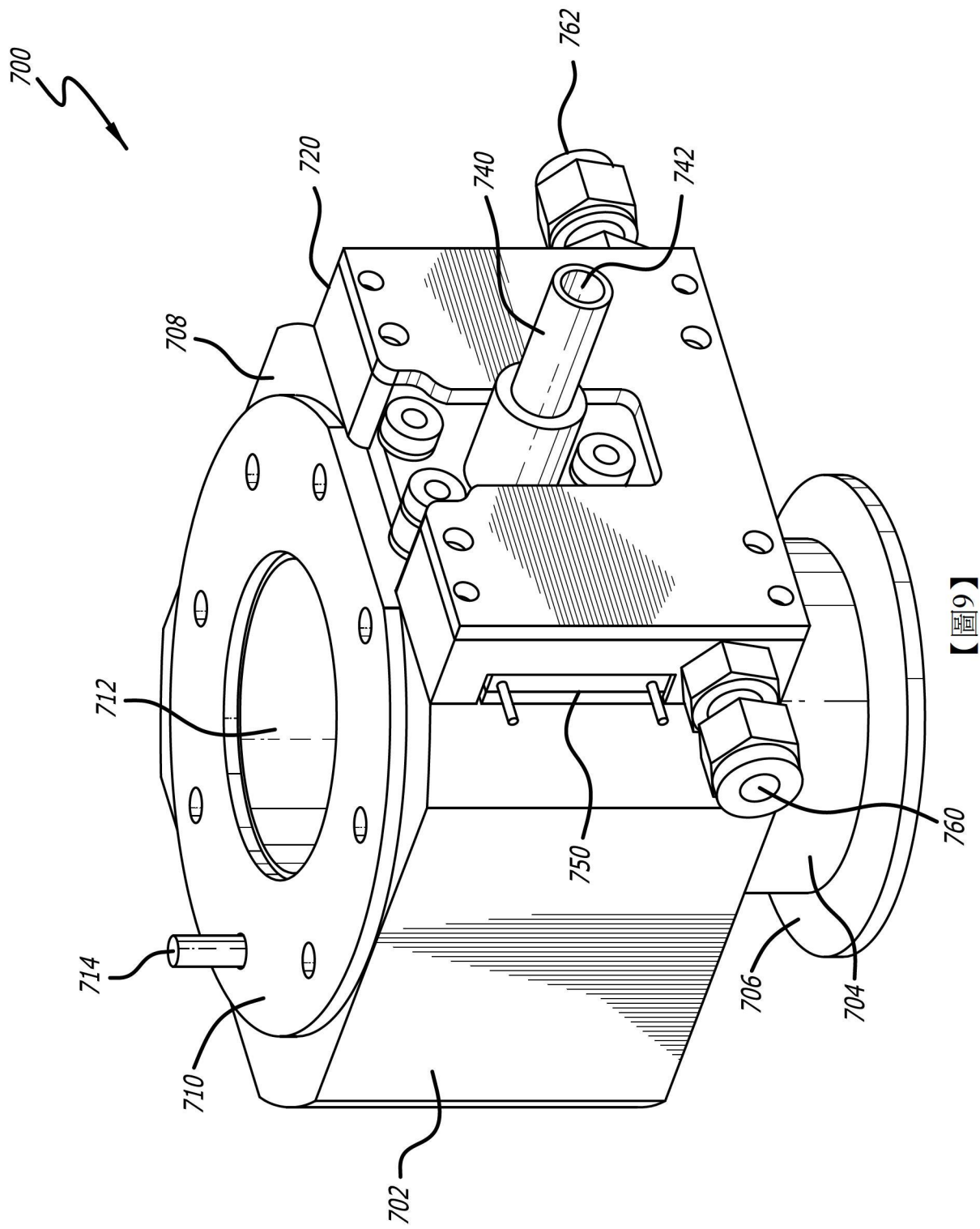


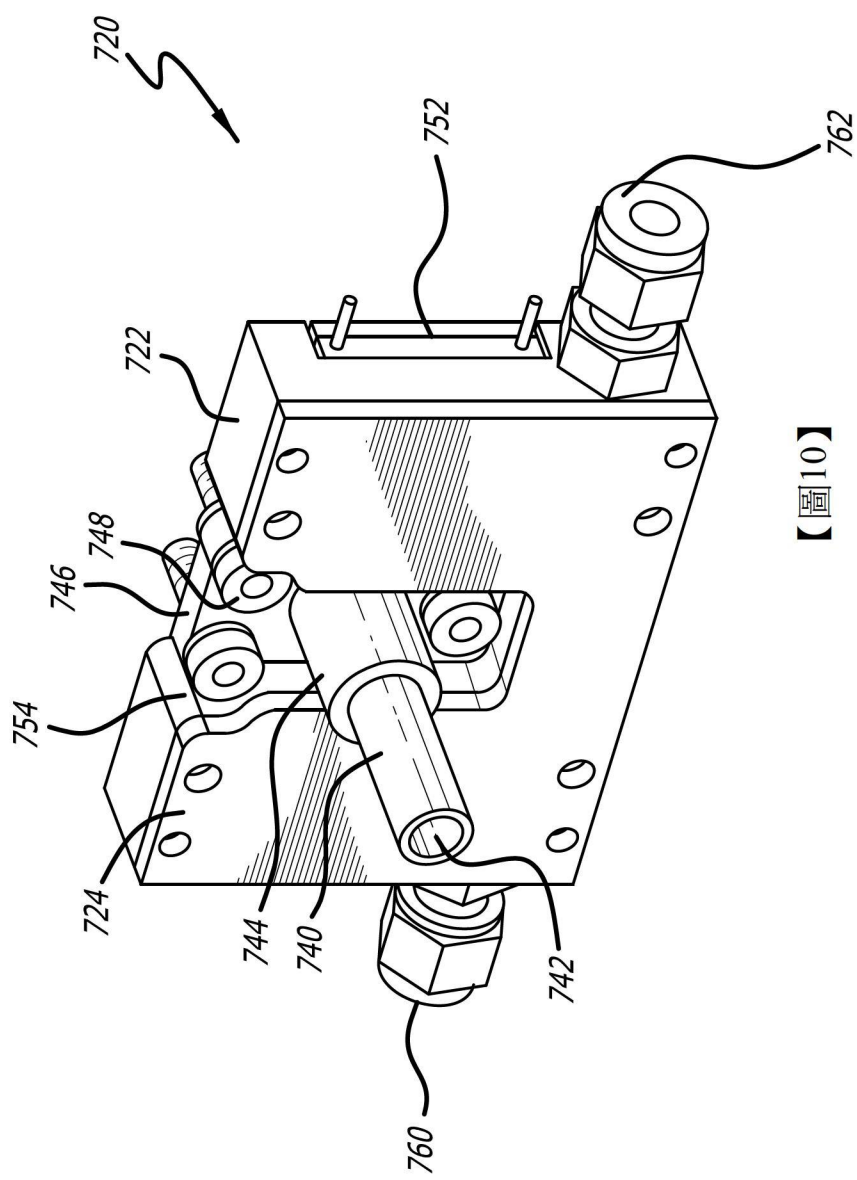


【圖7】



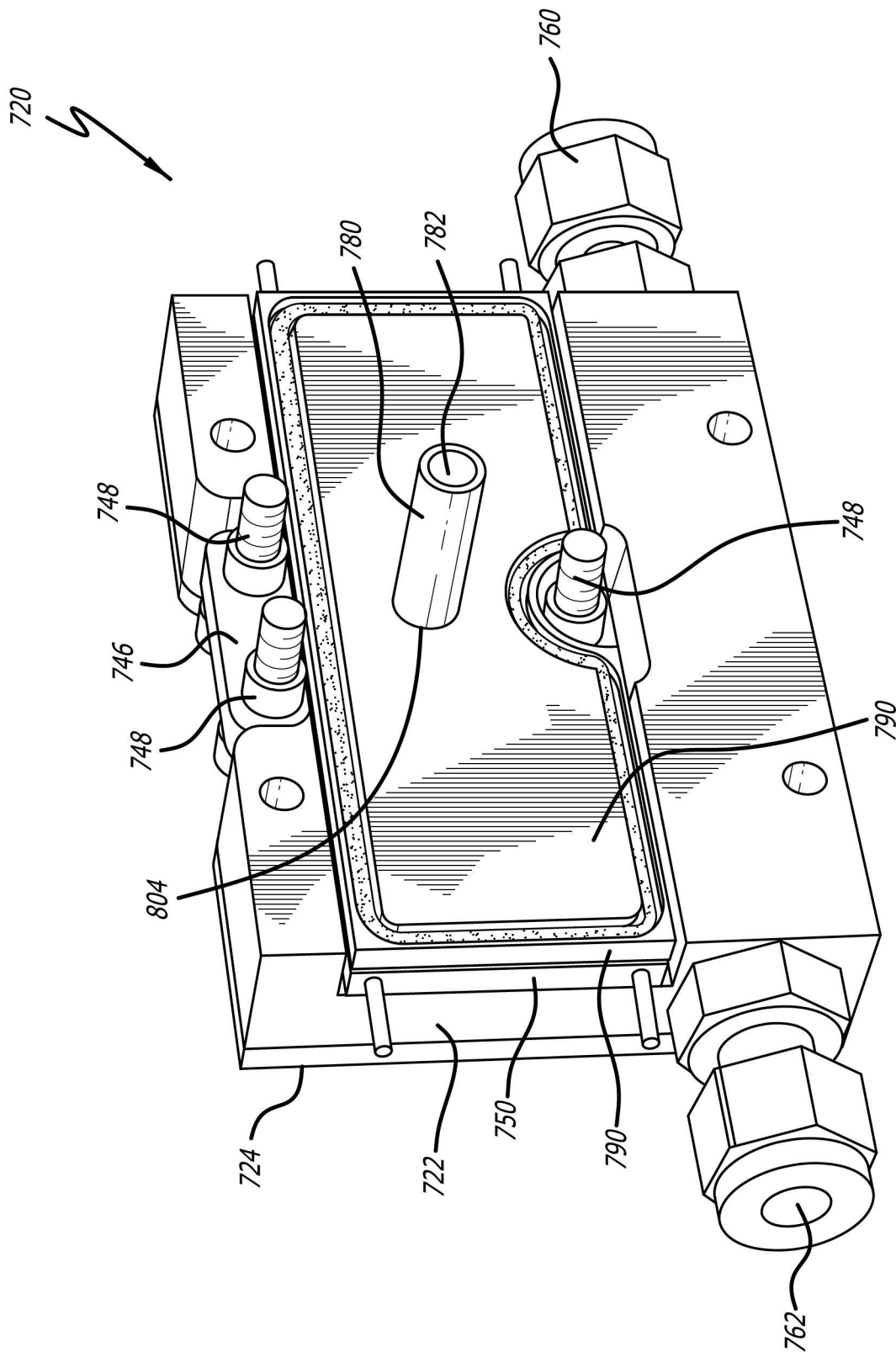
【8回】



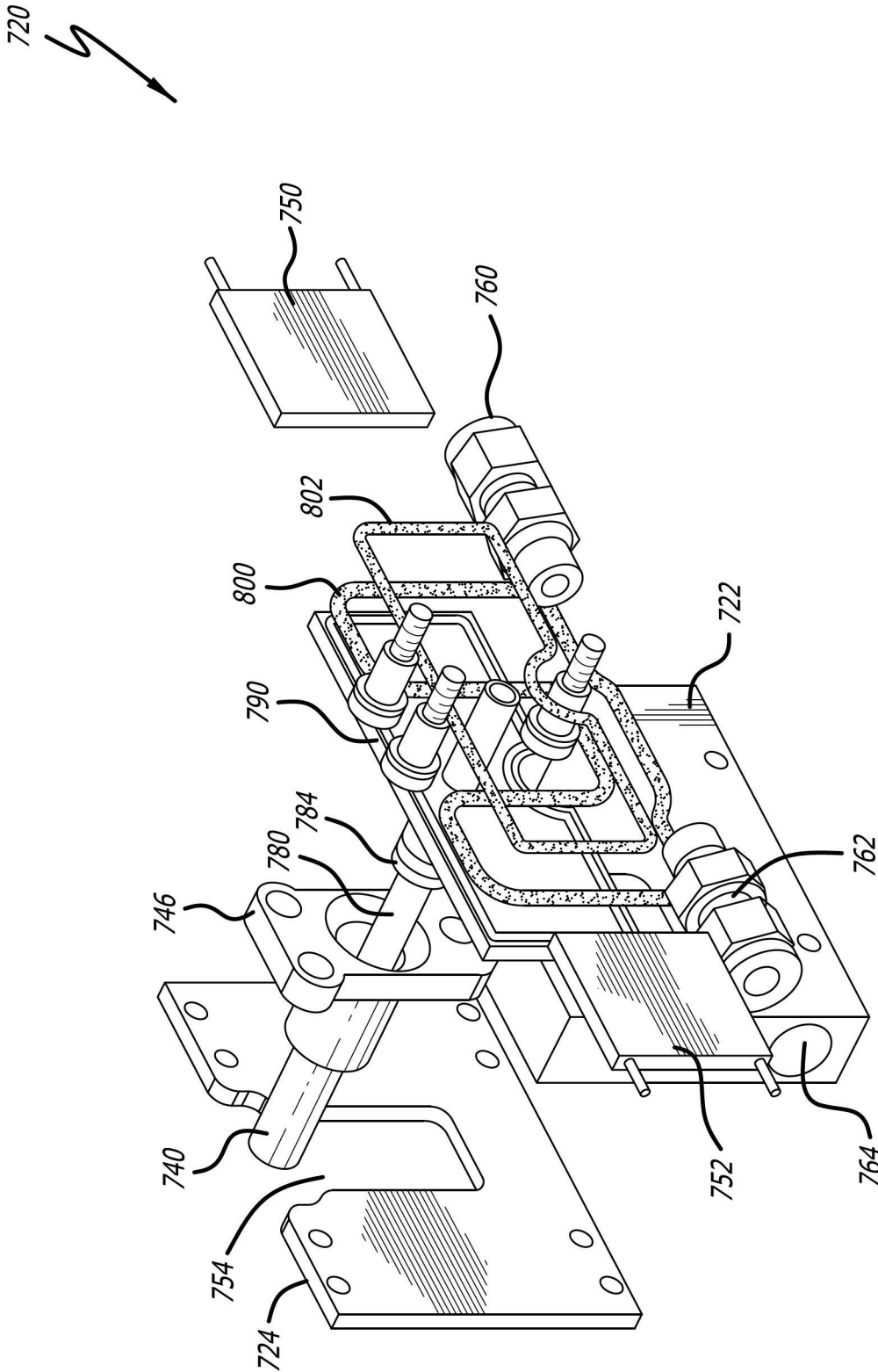


【圖10】

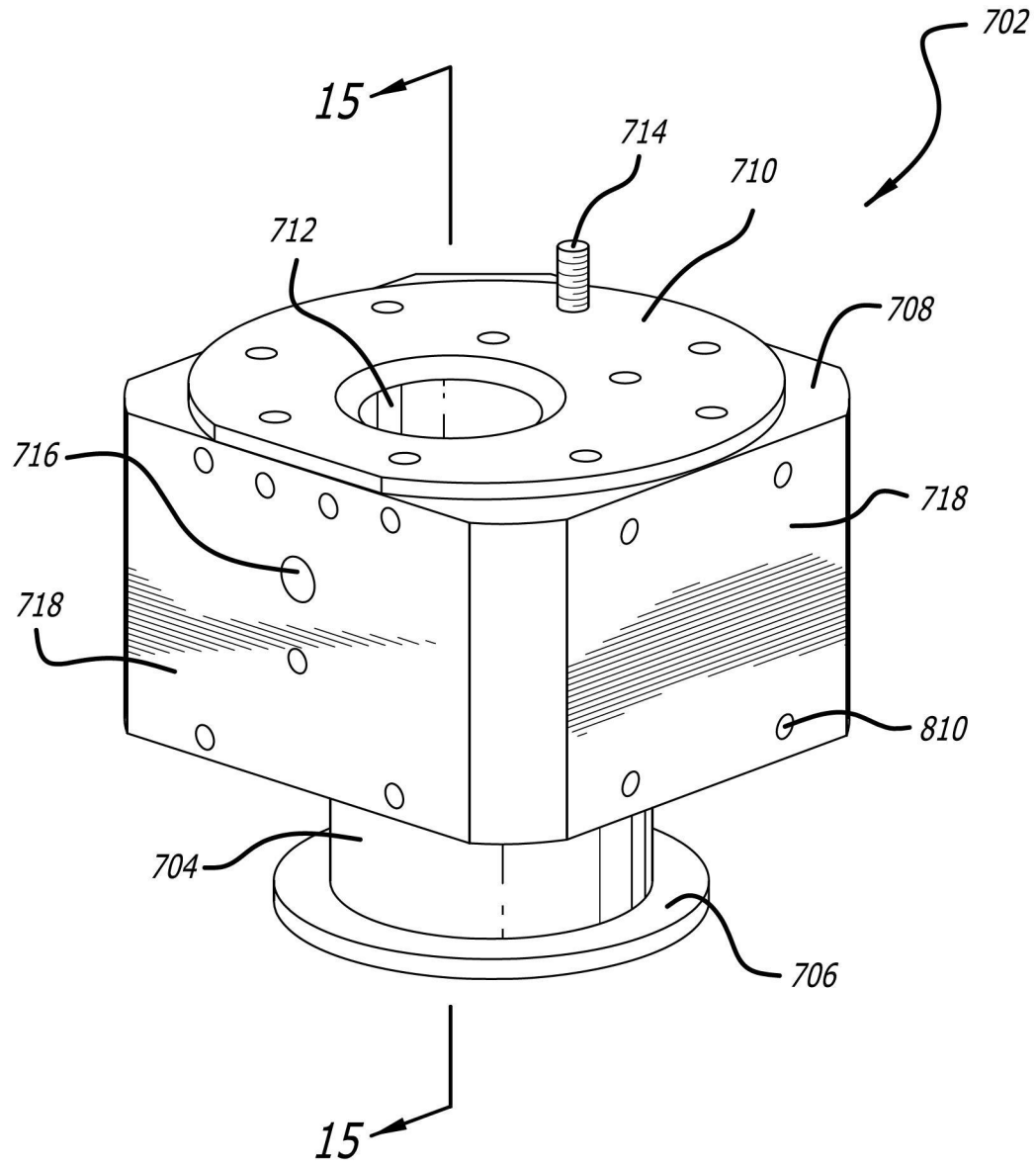




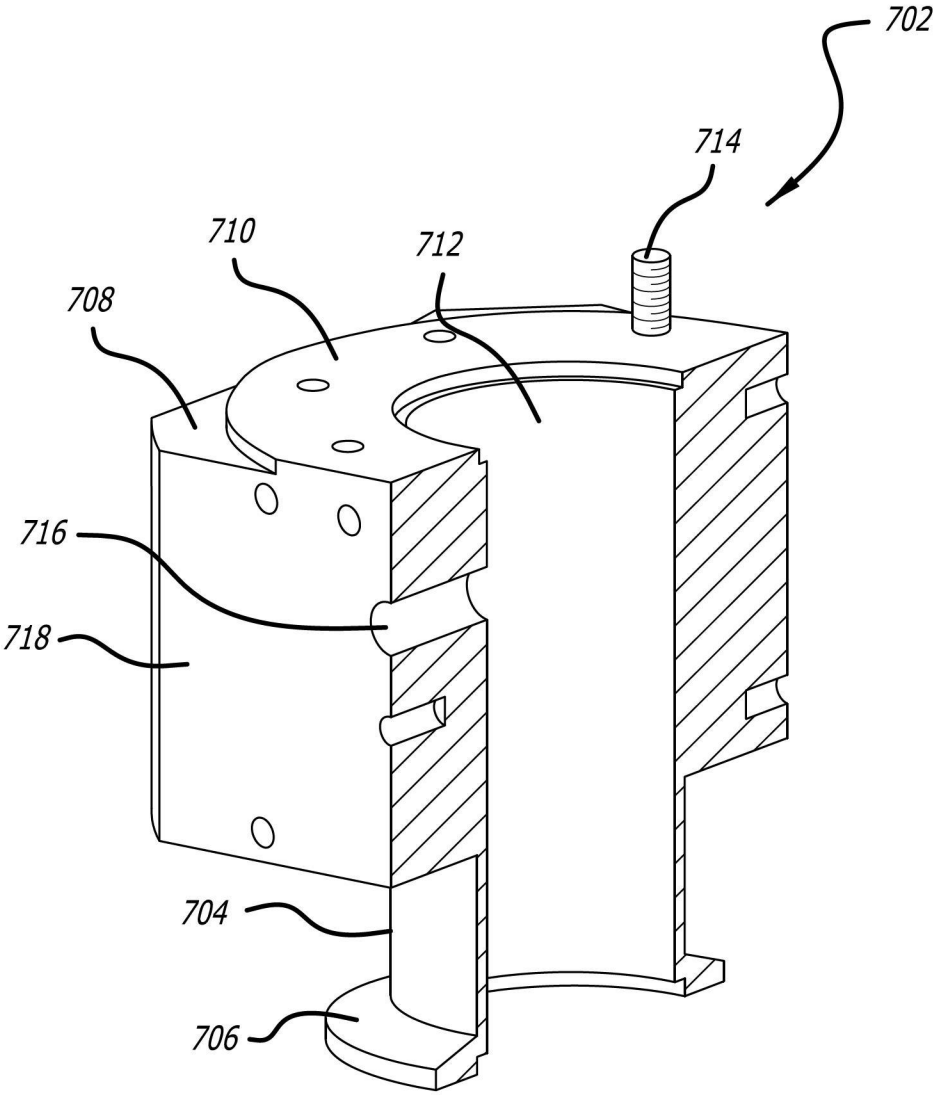
【圖12】



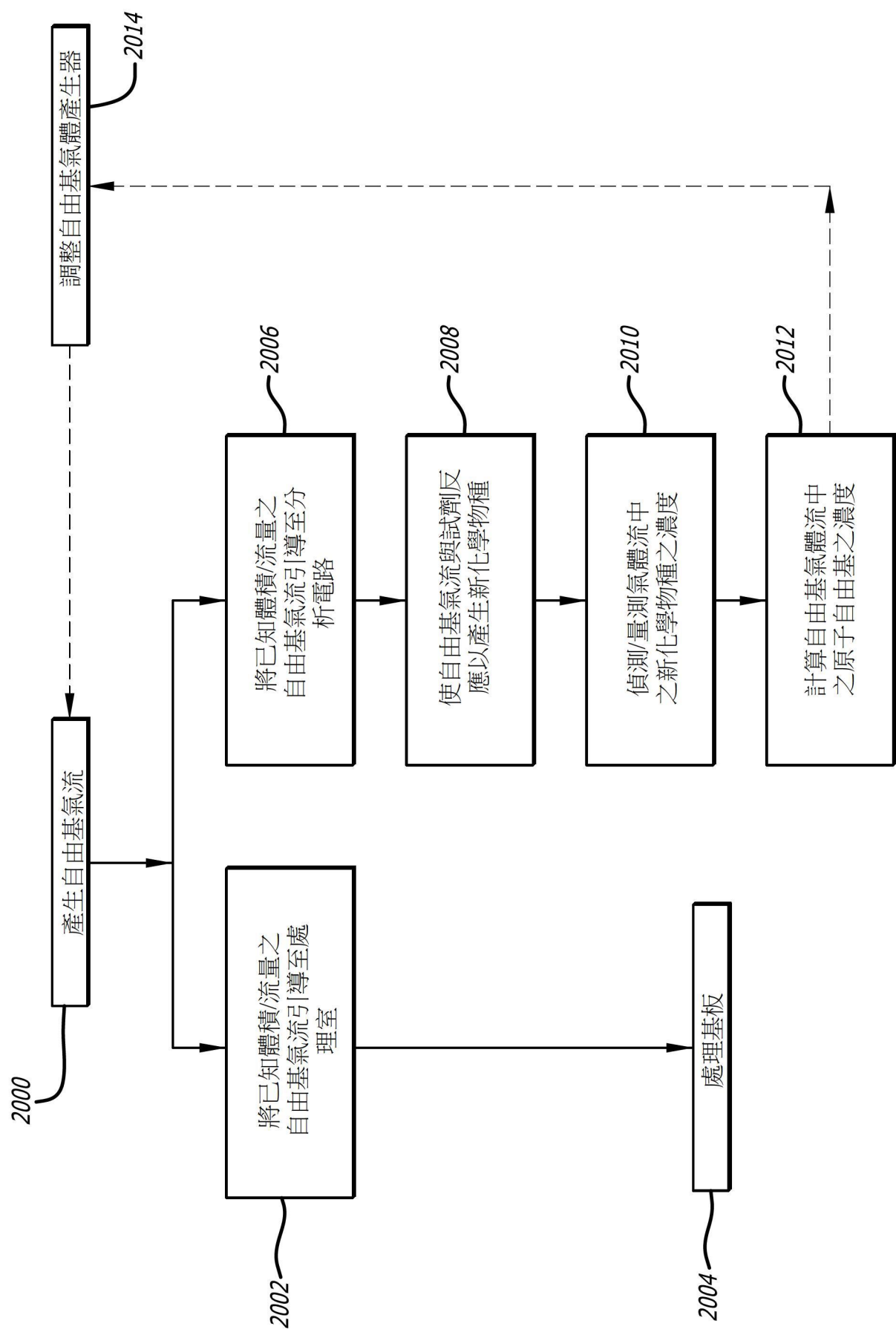
【圖13】



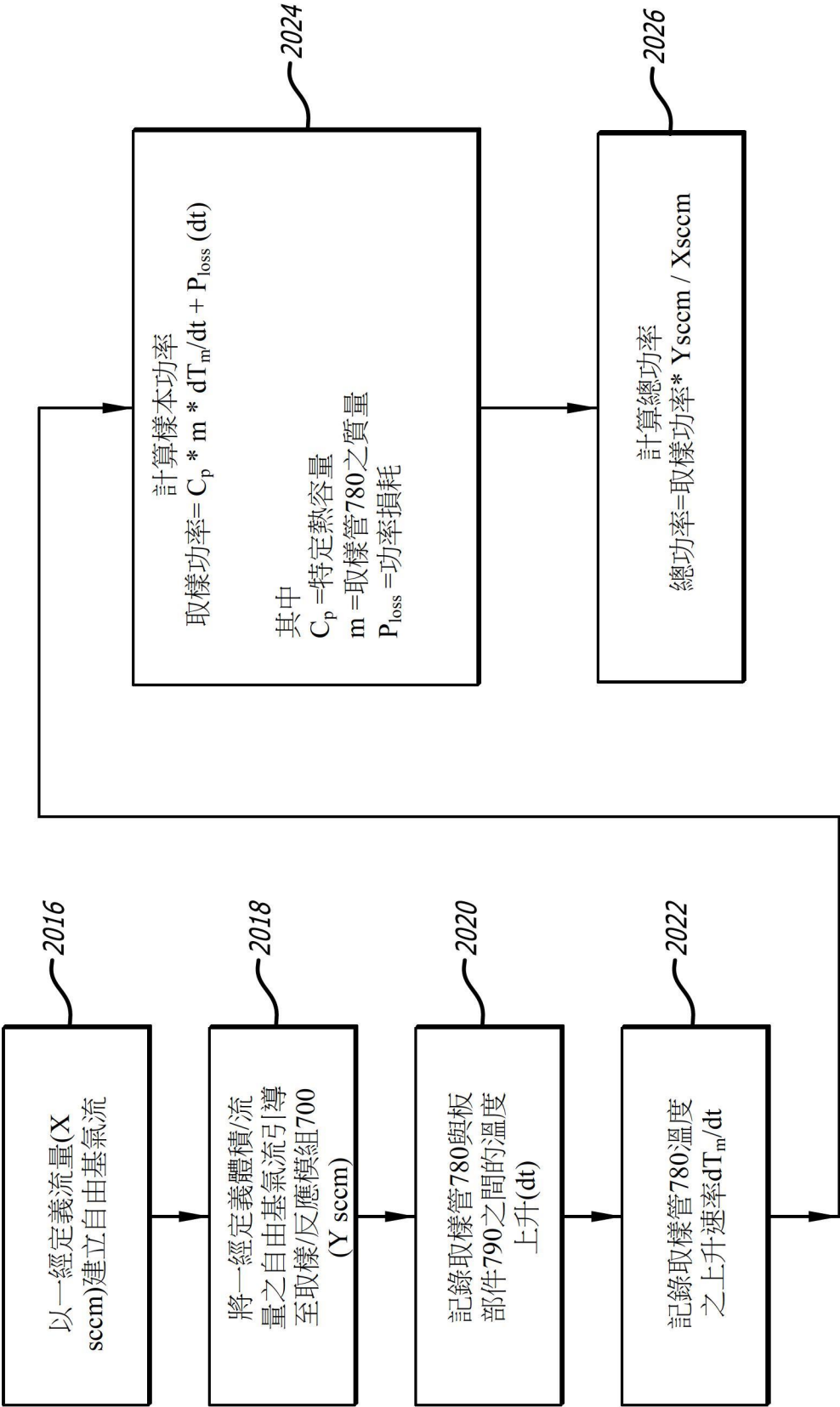
【圖14】



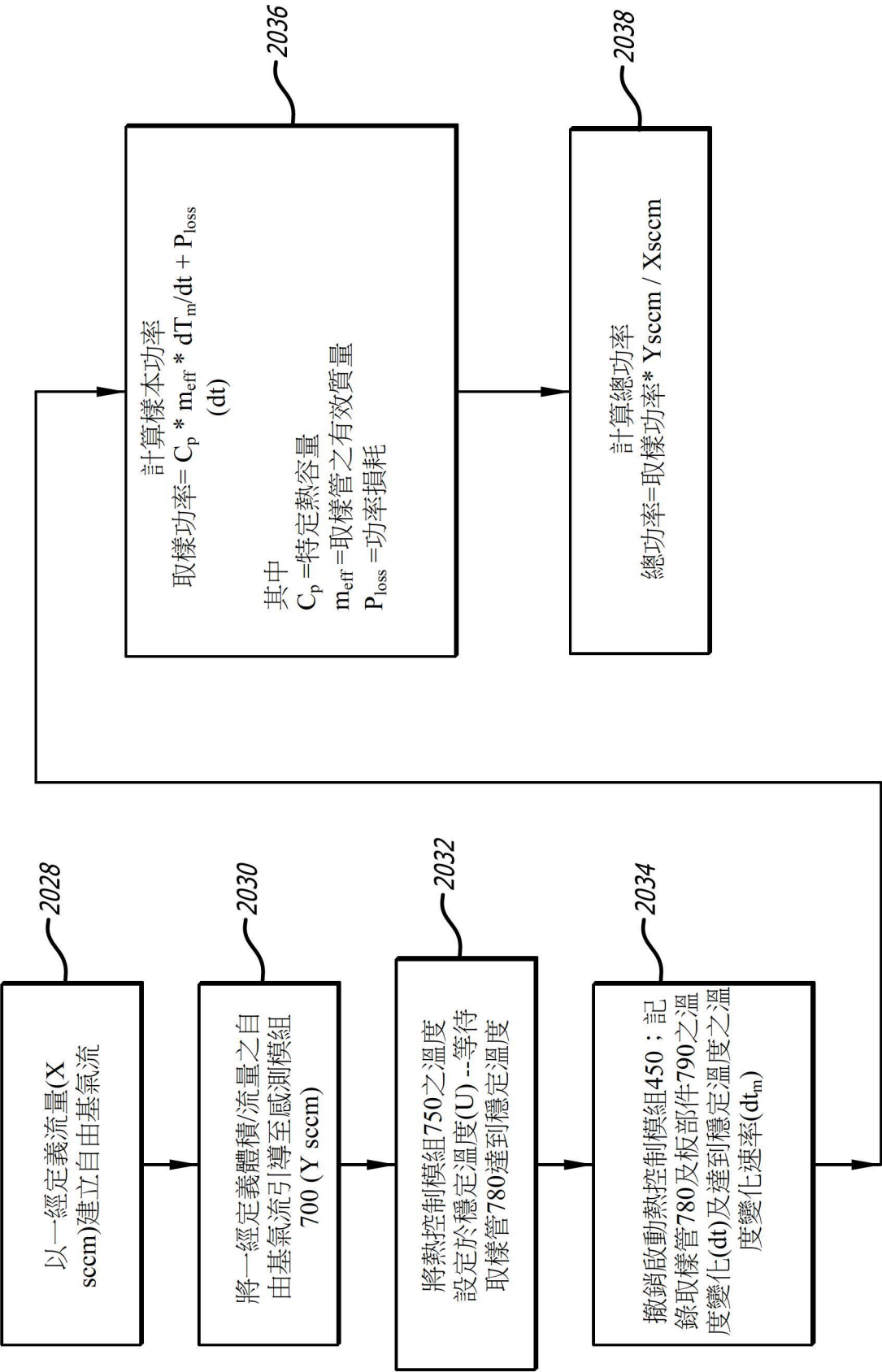
【圖15】



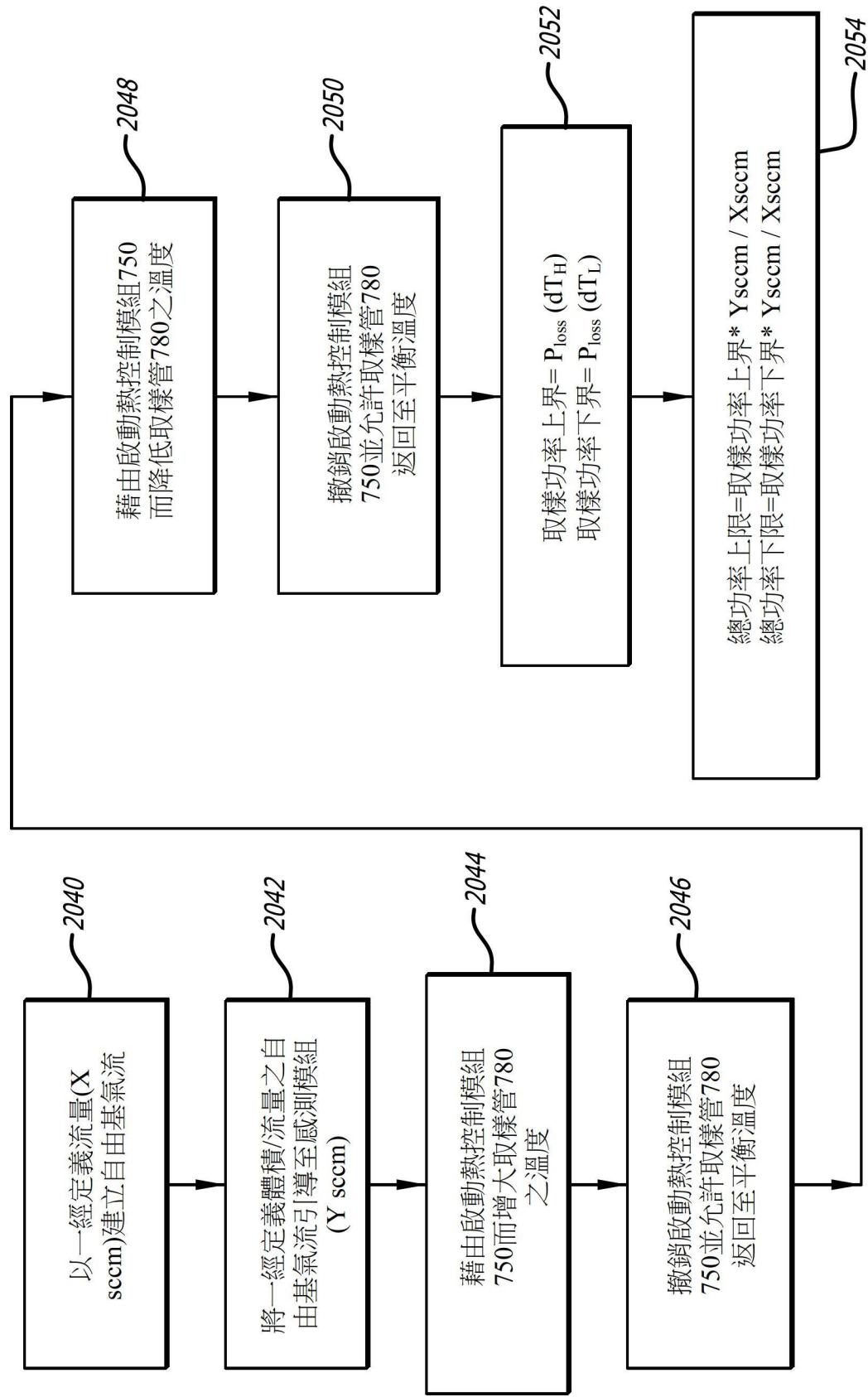
【圖16】



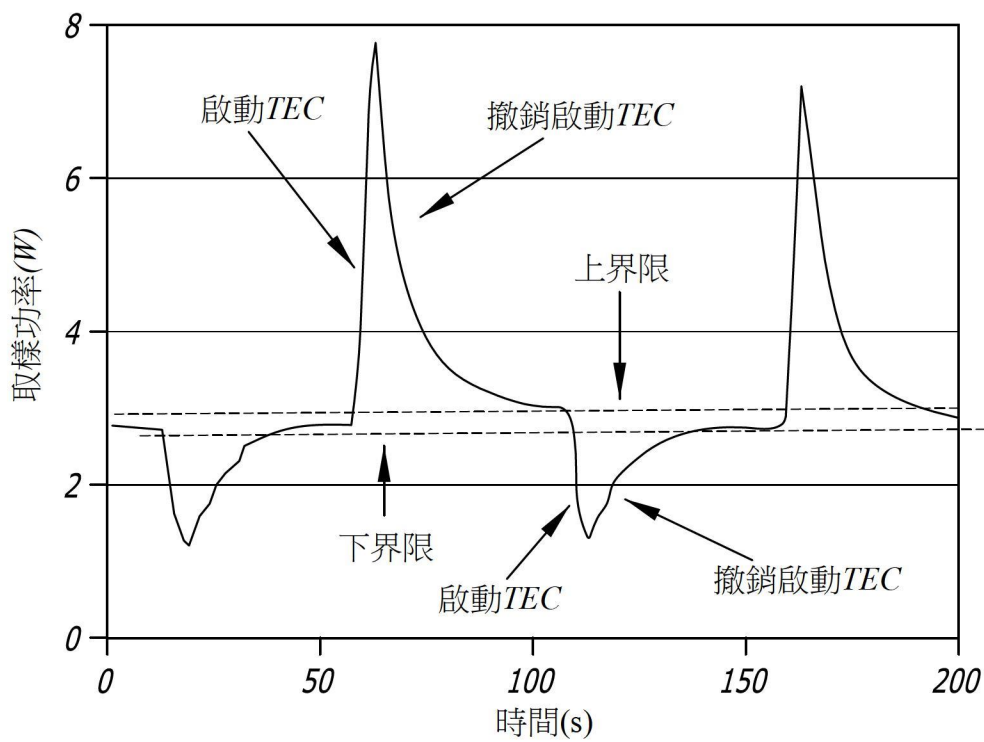
【圖17】



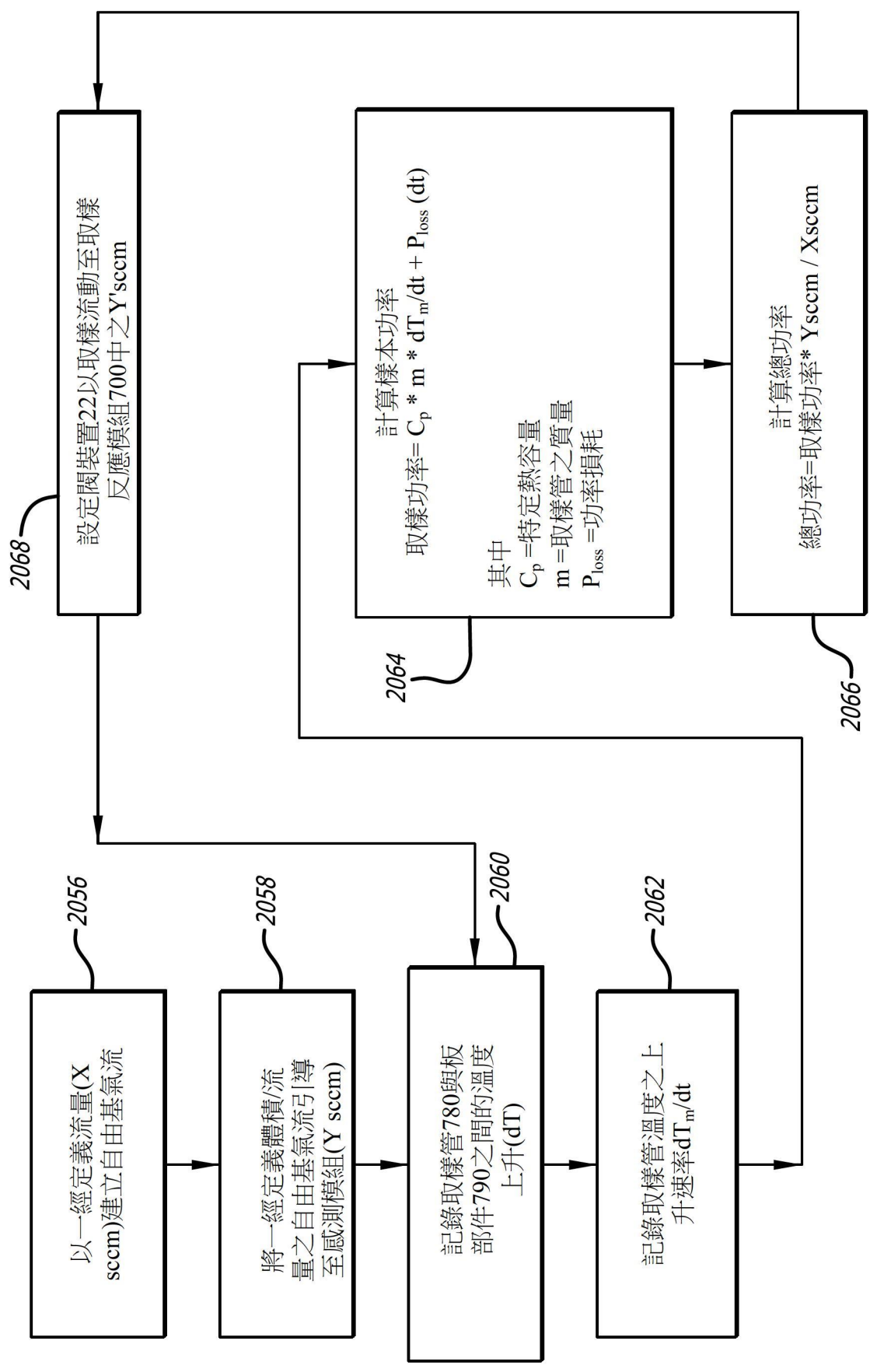
【圖18】



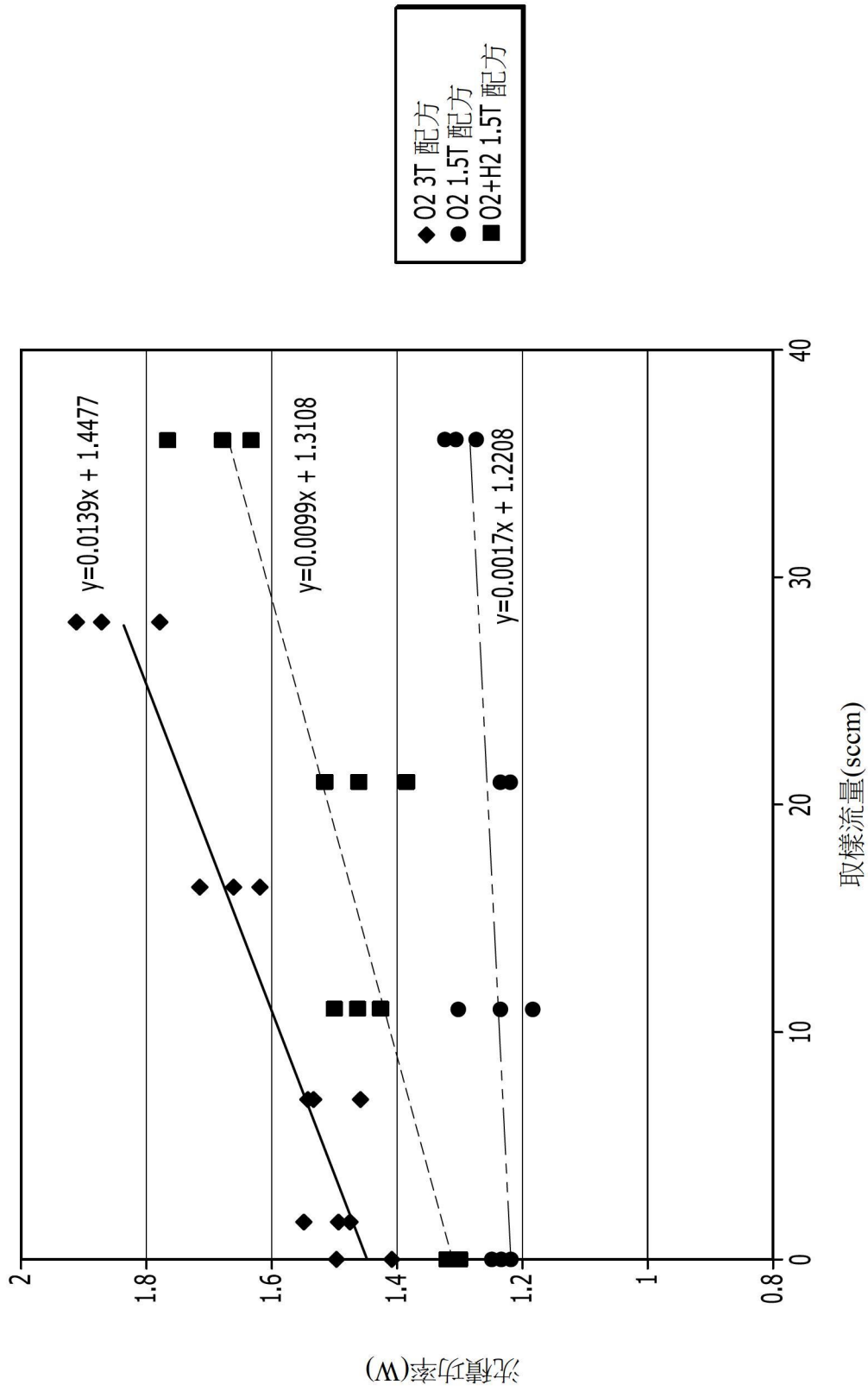
【圖19】



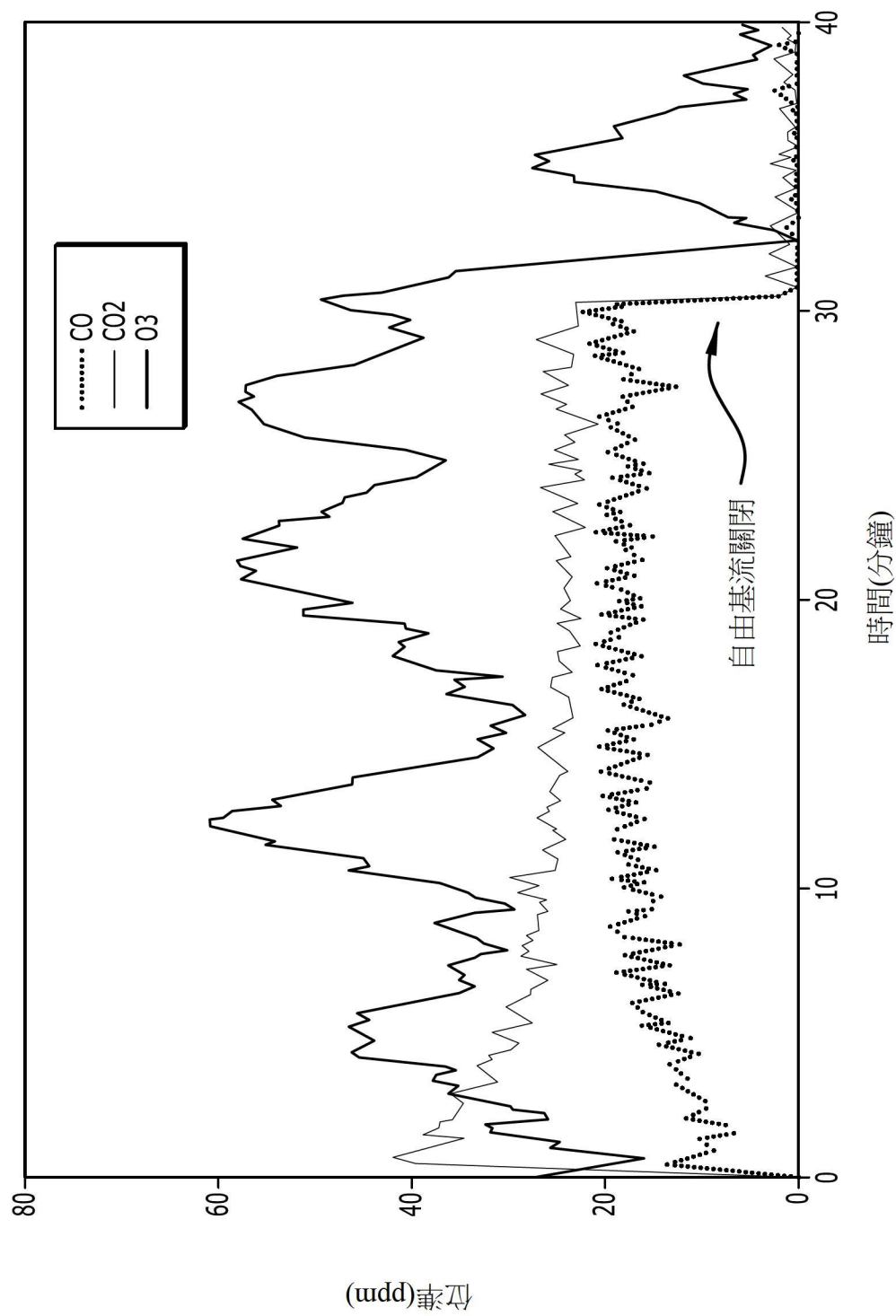
【圖20】



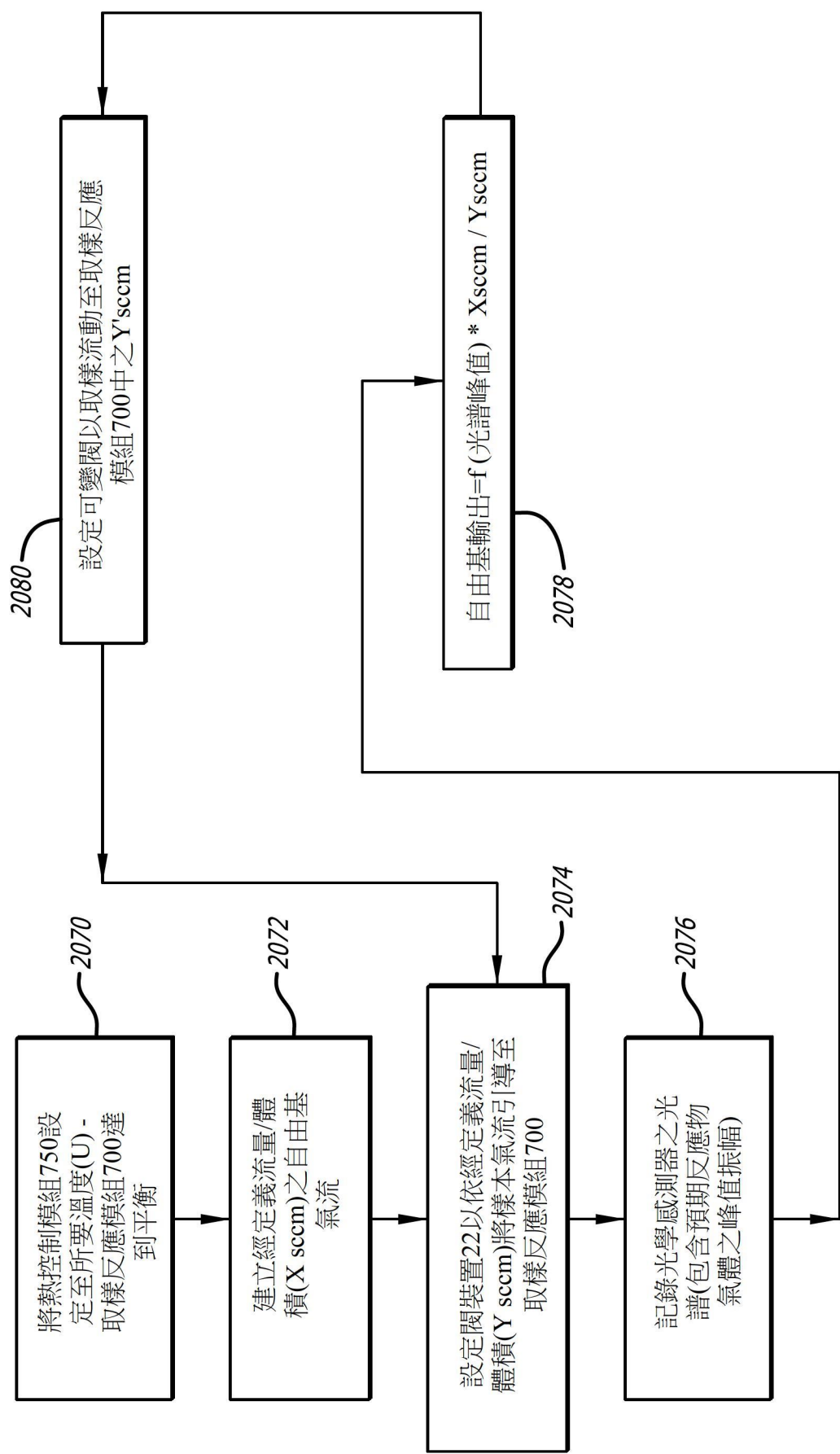
【圖21】



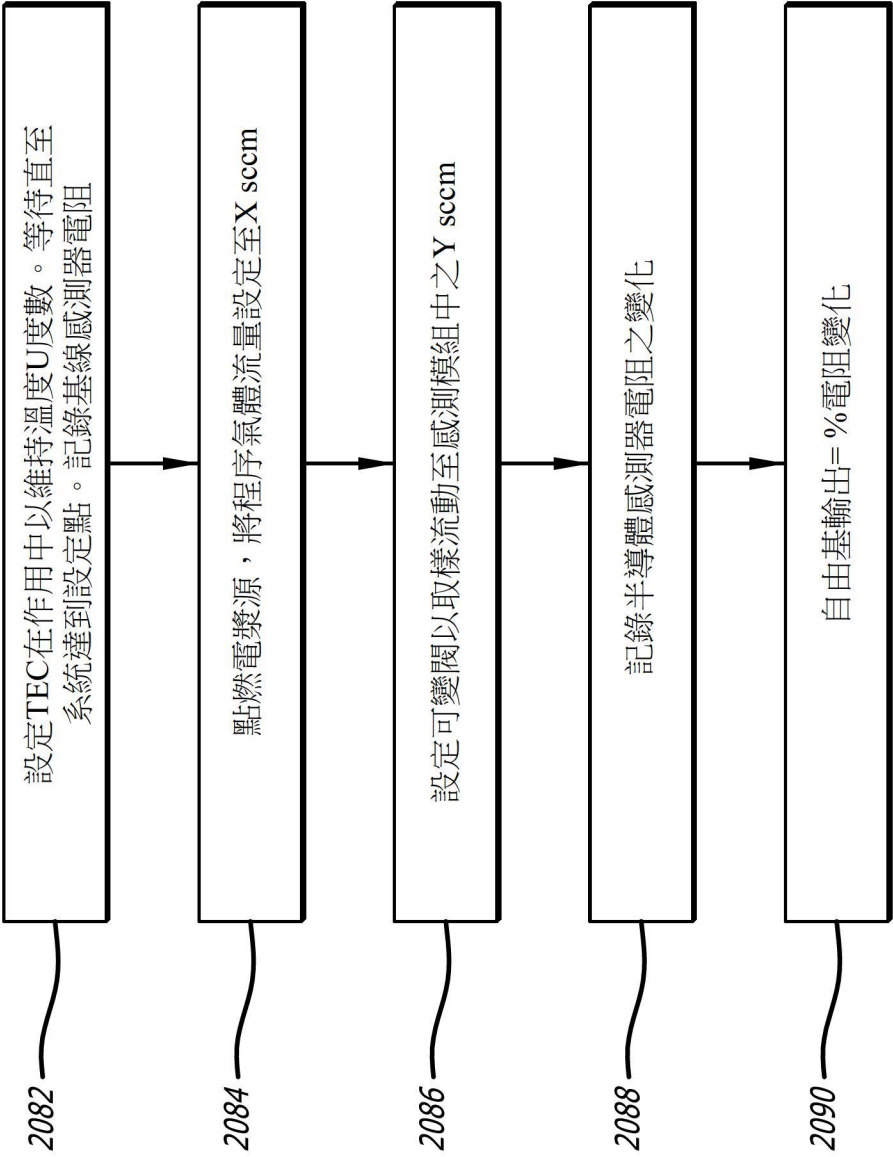
【圖22】



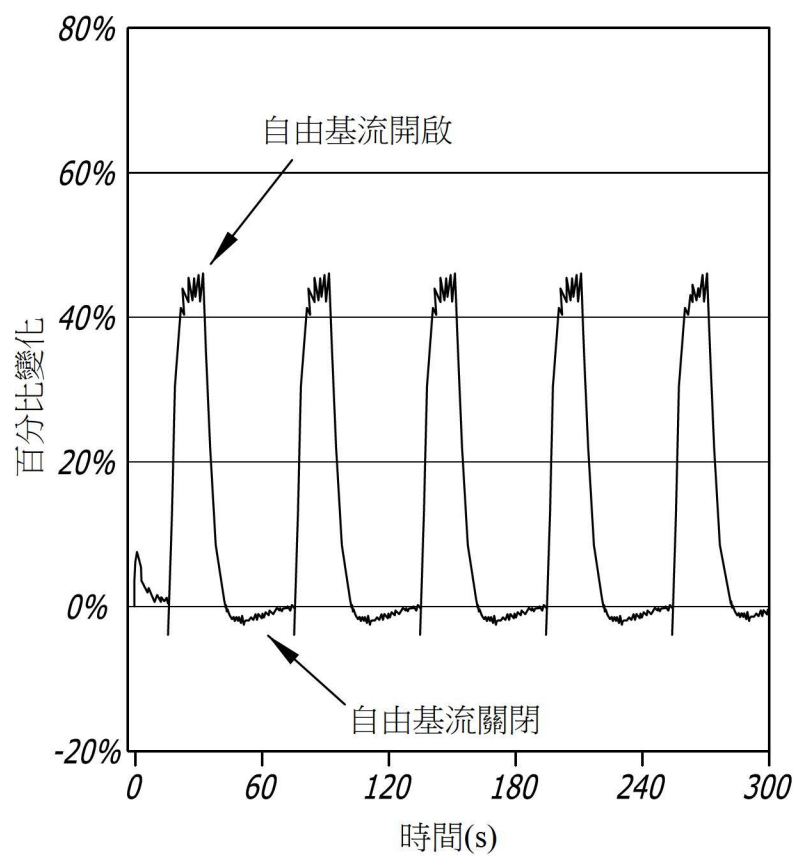
【圖23】



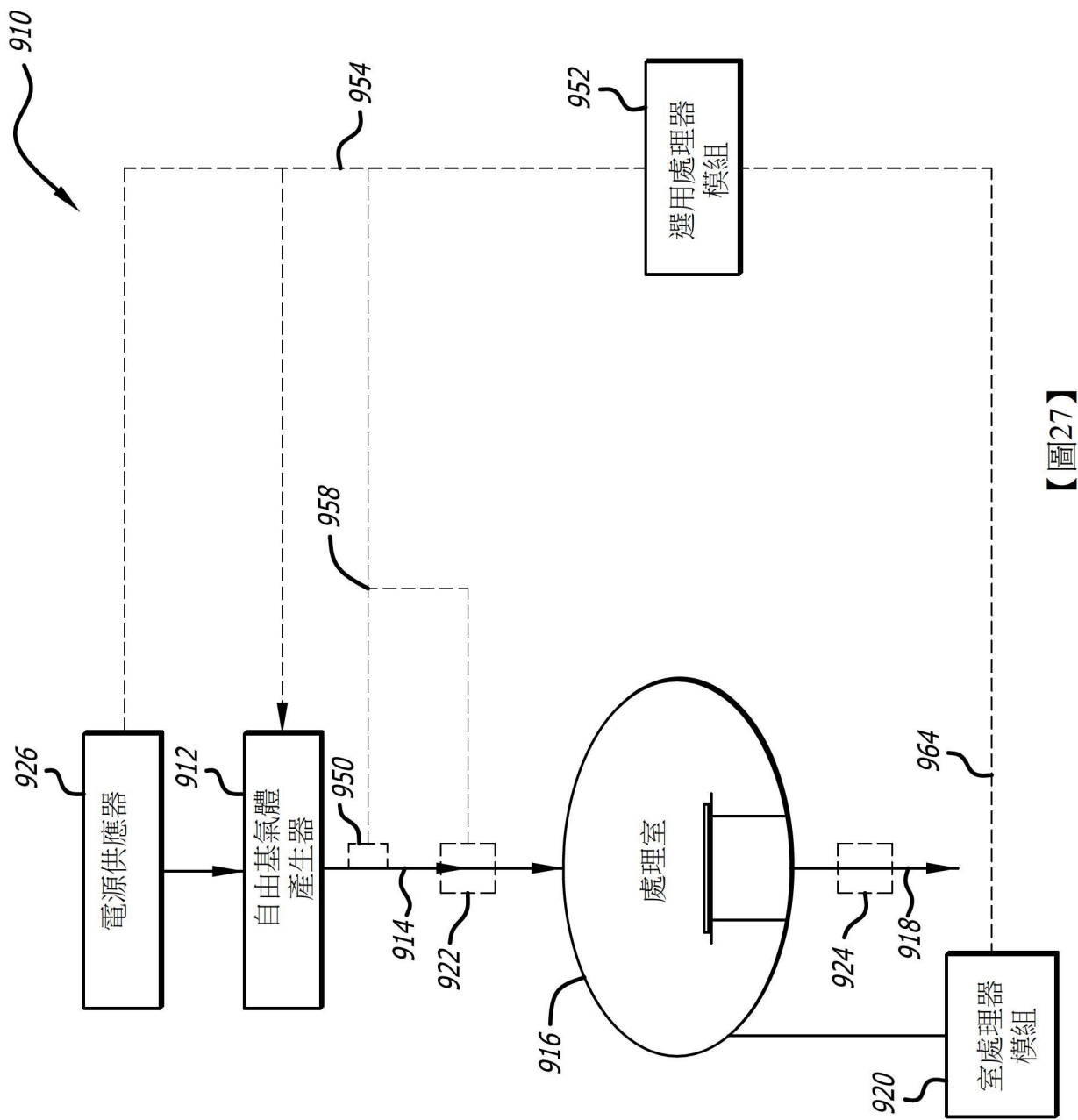
【圖24】



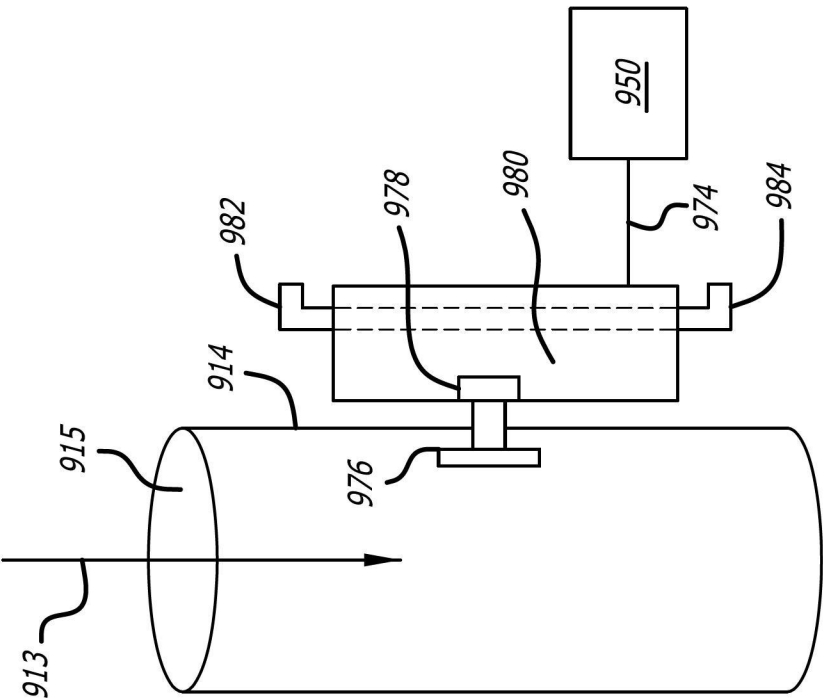
【圖25】



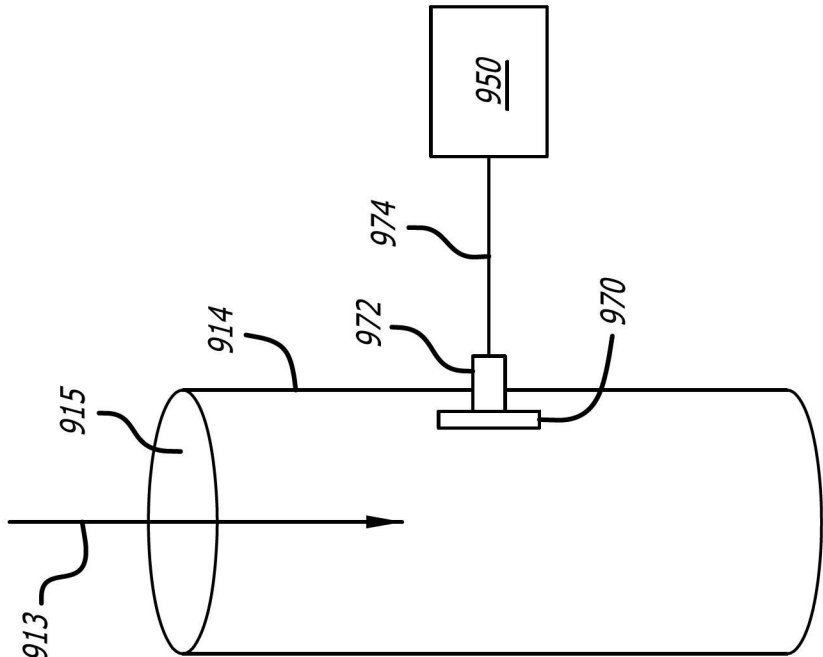
【圖26】



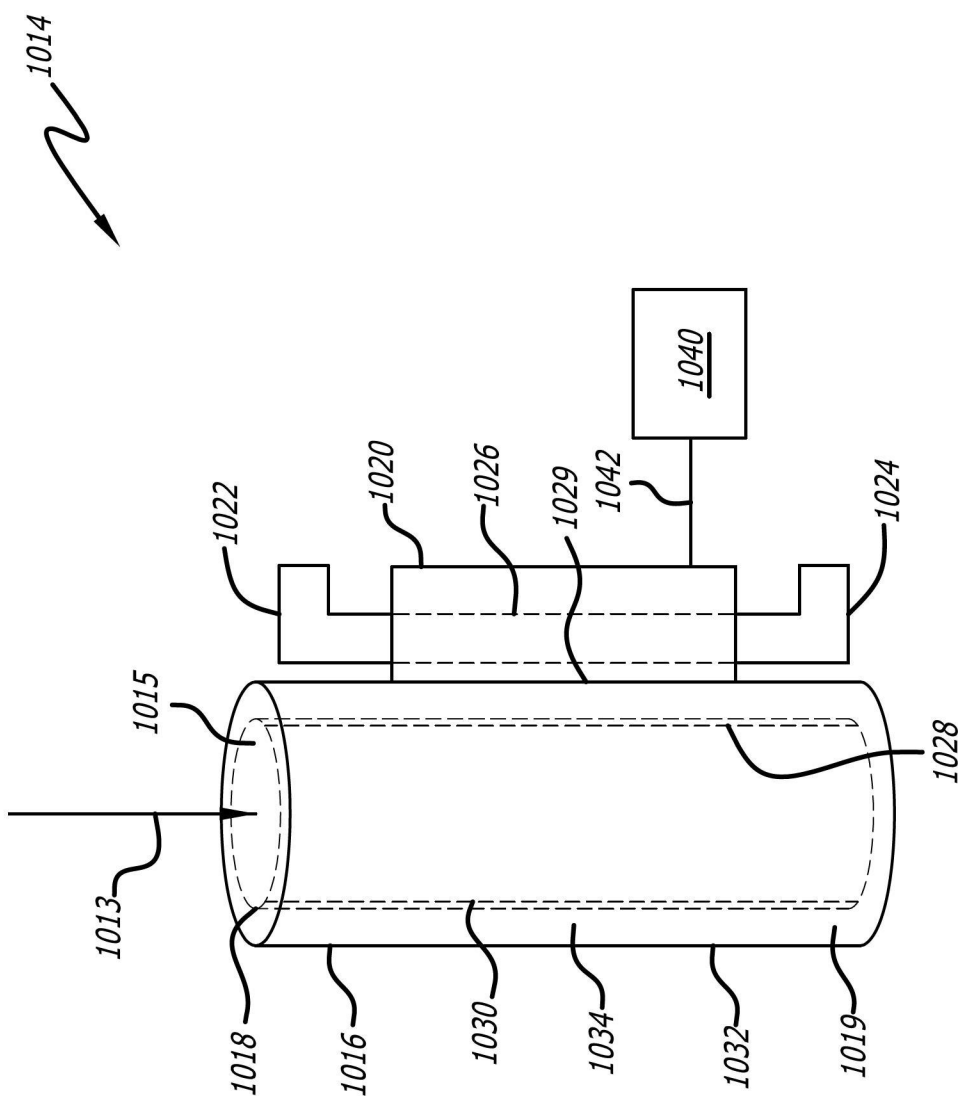
【圖27】



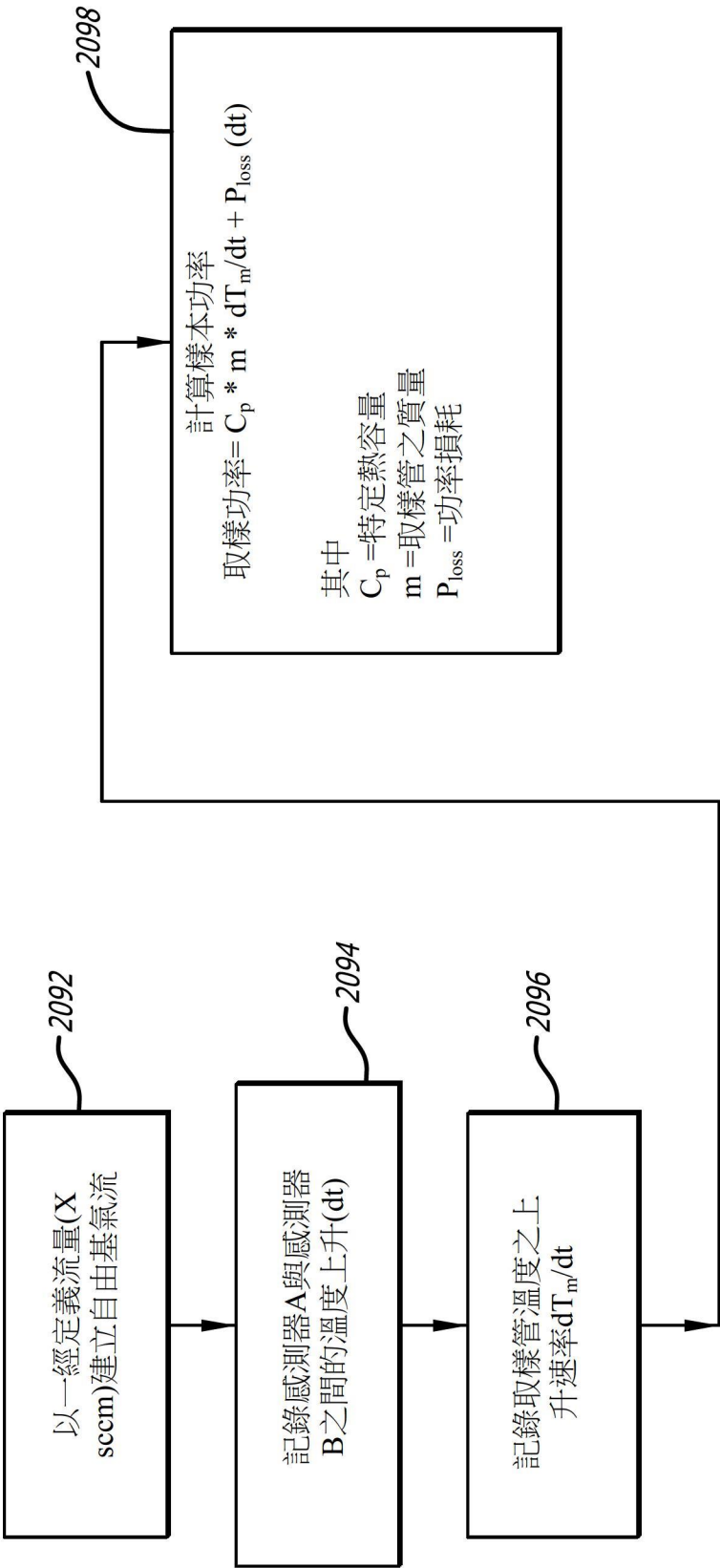
【圖29】



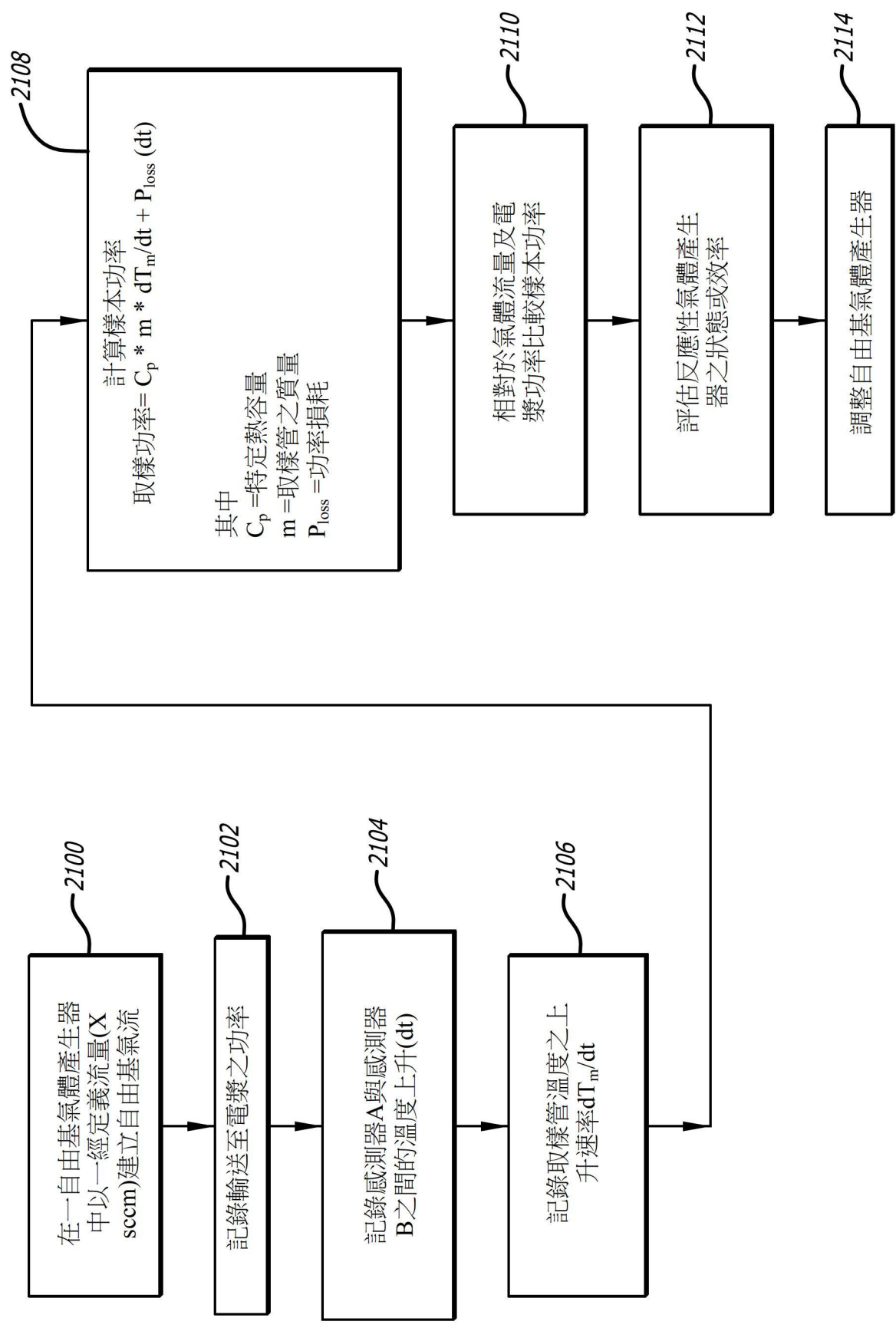
【圖28】



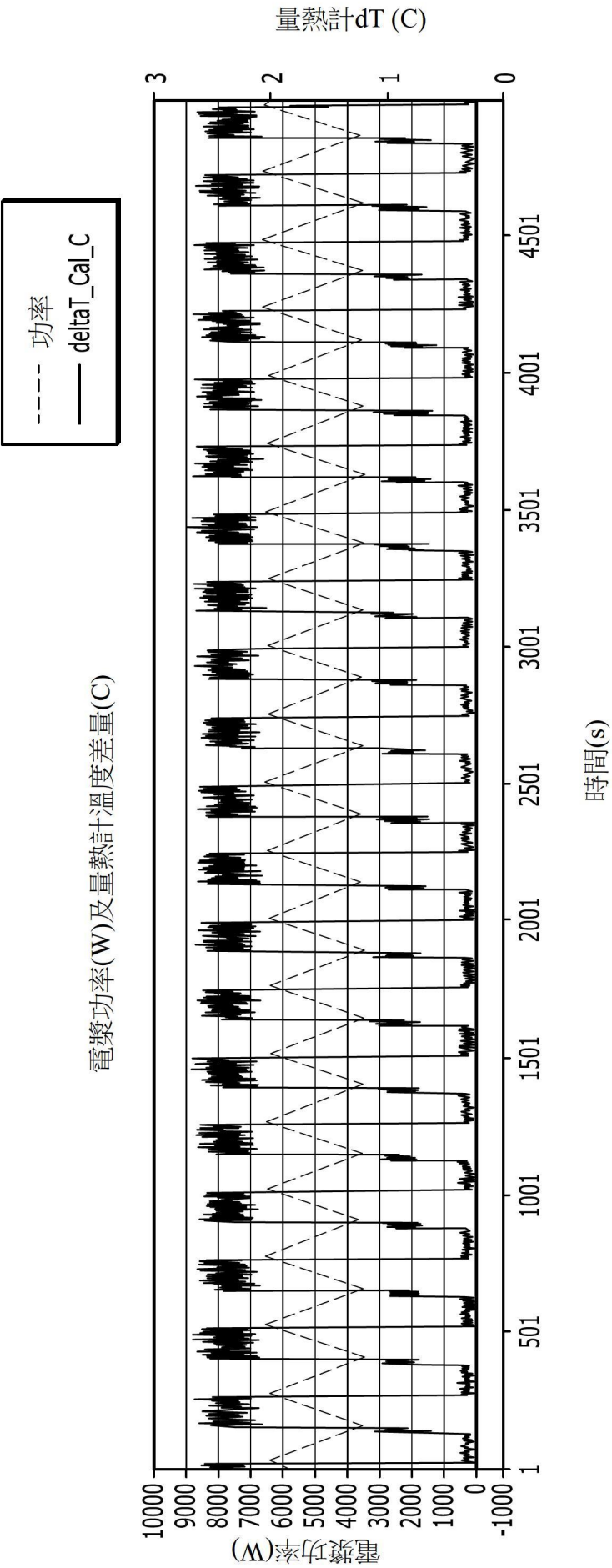
【圖30】



【圖31】

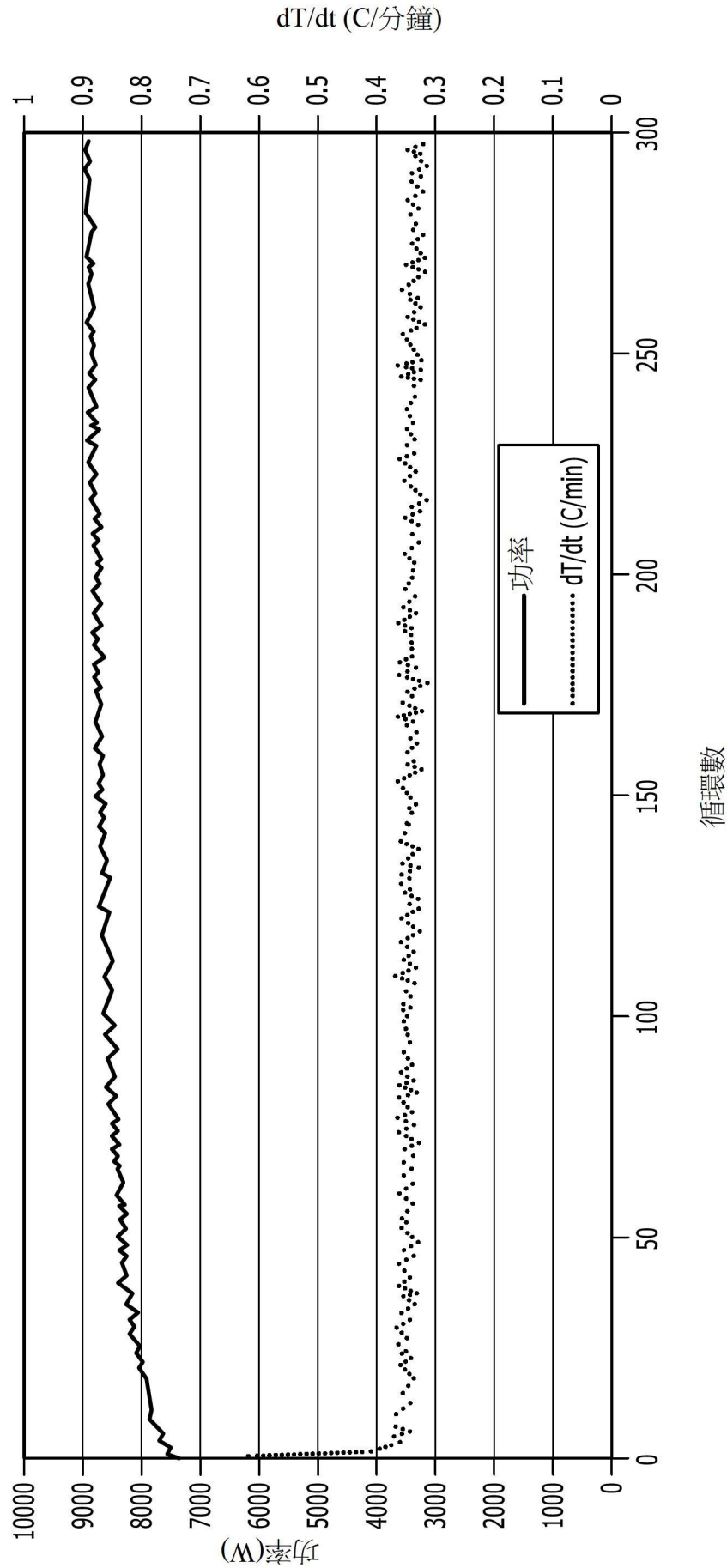


【圖32】



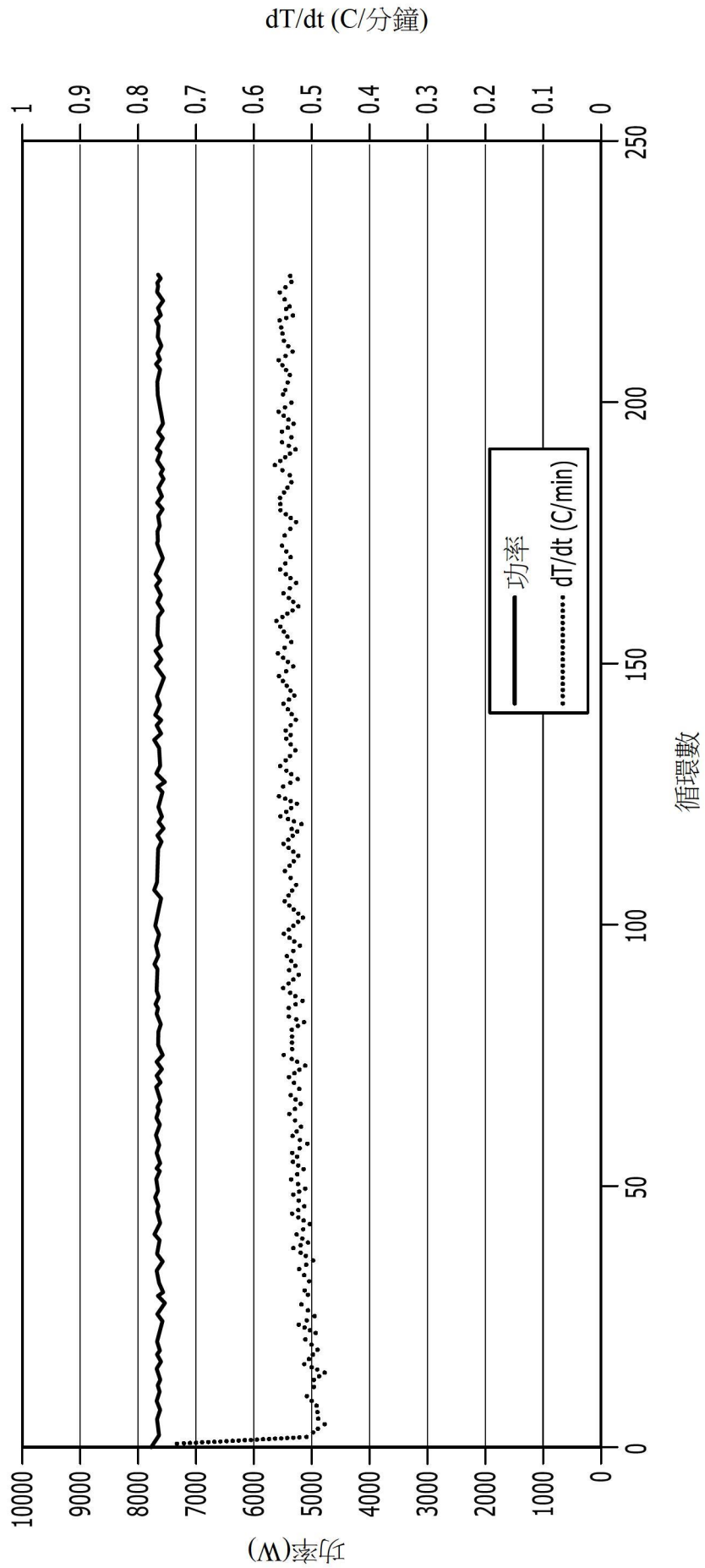
【圖33】

單元1之資料



【圖34A】

單元2之資料



【圖34B】