



(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 I856474 B

(45)公告日：中華民國 113 (2024) 年 09 月 21 日

(21)申請案號：112100187

(22)申請日：中華民國 108 (2019) 年 03 月 12 日

(51)Int. Cl. : G01K17/06 (2006.01)

G01F1/69 (2006.01)

(30)優先權：2018/04/17 美國

15/955,266

(71)申請人：美商MK S 儀器股份有限公司 (美國) MKS INSTRUMENTS, INC. (US)
美國(72)發明人：布魯克 傑爾多 BRUCKER, GERARDO A. (US) ; 史維尼 提姆西 SWINNEY,
TIMOTHY C. (US)

(74)代理人：林志剛

(56)參考文獻：

TW 200813682A

CN 1326544A

CN 105814414A

US 4755669A

US 2016/0178420A1

審查人員：曾錦豐

申請專利範圍項數：22 項 圖式數：13 共 56 頁

(54)名稱

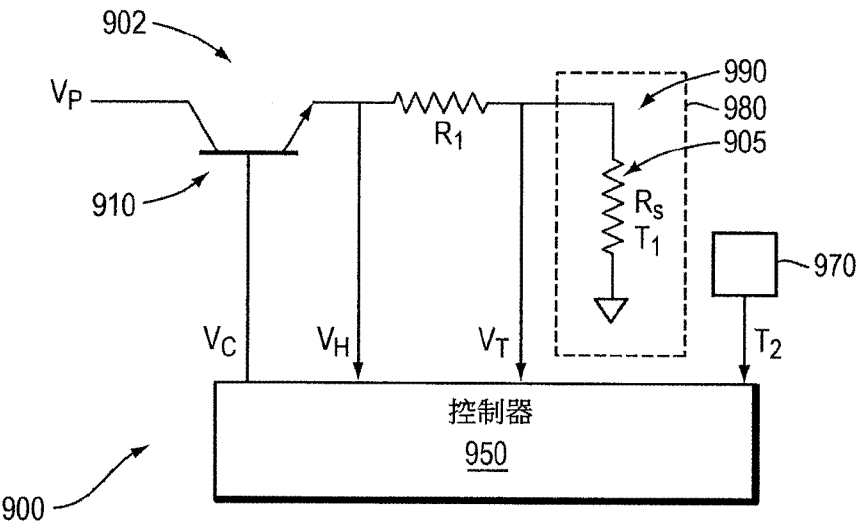
用於測量氣體壓力的熱傳導量計和用於測量氣體壓力的方法

(57)摘要

一種用於測量腔室內的氣體壓力的熱傳導量計。感應器線和電阻器形成耦合在電源輸入和接地之間的電路，其中感應器線延伸進入該腔室且經由端子連接到電阻器。控制器調節電源輸入，作為在端子的電壓和在電源輸入的電壓的函數，使感應器線達到目標溫度。基於調整後的電源輸入，控制器可確定腔室內的氣體壓力的測量值。

A thermal conductivity gauge measures gas pressure within a chamber. A sensor wire and a resistor form a circuit coupled between a power input and ground, where the sensor wire extends into the chamber and connects to the resistor via a terminal. A controller adjusts the power input, as a function of a voltage at the terminal and a voltage at the power input, to bring the sensor wire to a target temperature. Based on the adjusted power input, the controller can determine a measure of the gas pressure within the chamber.

指定代表圖：



符號簡單說明：

900:熱傳導量計

902:電路

905:感應器線

910:電晶體

950:控制器

970:熱感應器

980:外殼

990:腔室

R₁:電阻器

R_S:感應器線/感應器電阻器

V_C:控制電壓

V_P:電壓源

V_H:電壓

V_T:電壓

T₁:溫度

T₂:溫度

【圖 9A】



【發明摘要】

【中文發明名稱】

用於測量氣體壓力的熱傳導量計和用於測量氣體壓力的方法

【英文發明名稱】

THERMAL CONDUCTIVITY GAUGE FOR MEASURING GAS
PRESSURE AND METHOD OF MEASURING GAS PRESSURE

【中文】

一種用於測量腔室內的氣體壓力的熱傳導量計。感應器線和電阻器形成耦合在電源輸入和接地之間的電路，其中感應器線延伸進入該腔室且經由端子連接到電阻器。控制器調節電源輸入，作為在端子的電壓和在電源輸入的電壓的函數，使感應器線達到目標溫度。基於調整後的電源輸入，控制器可確定腔室內的氣體壓力的測量值。

【英文】

A thermal conductivity gauge measures gas pressure within a chamber. A sensor wire and a resistor form a circuit coupled between a power input and ground, where the sensor wire extends into the chamber and connects to the resistor via a terminal. A controller adjusts the power input, as a function of a voltage at the terminal and a voltage at the power input, to bring the sensor wire to a target temperature. Based on the adjusted power input, the controller can determine a measure of the gas pressure within the chamber.

第 112100187 號

民國 113 年 3 月 12 日修正

【指定代表圖】圖 9A

【代表圖之符號簡單說明】

900：熱傳導量計

902：電路

905：感應器線

910：電晶體

950：控制器

970：熱感應器

980：外殼

990：腔室

 R_1 ：電阻器 R_s ：感應器線/感應器電阻器 V_c ：控制電壓 V_p ：電壓源 V_H ：電壓 V_T ：電壓 T_1 ：溫度 T_2 ：溫度

【特徵化學式】無

【發明說明書】

【中文發明名稱】

用於測量氣體壓力的熱傳導量計和用於測量氣體壓力的方法

【英文發明名稱】

THERMAL CONDUCTIVITY GAUGE FOR MEASURING GAS
PRESSURE AND METHOD OF MEASURING GAS PRESSURE

【技術領域】

【0001】本發明係關於一種熱傳導量計。

【先前技術】

【0002】因為通過氣體的熱傳遞速率是氣體壓力的函數，所以在某些條件下，通過適當的校準，可以使用從加熱的感應元件到氣體的傳熱速率的測量來確定氣體壓力。此原理用於眾所周知的派藍尼(Pirani)量計，其中使用惠斯同電橋網路測量熱損失，該網路用於加熱感應元件並測量其電阻。在派藍尼量計中，溫度敏感電阻作為惠斯同電橋的一個臂連接。將溫度敏感電阻暴露於欲測量的壓力的真空環境中。

【0003】傳統的派藍尼量計針對數個已知壓力進行校準，以確定氣體壓力與氣體功率損失或橋電壓之間的關係。然後，假設端部損失和輻射損失保持不變，則氣體的

未知壓力可以直接由氣體損失的功率確定或者與電橋平衡時的橋電壓相關。

【發明內容】

【0004】示例實施例包括用於測量氣體壓力的熱傳導量計。量計可包括感應器線、電阻器和控制器。感應器線可定位在腔室內並連接到端子和接地。電阻器可以耦合在端子和電源輸入之間。控制器可以配置以施加該電源輸入到該電阻器，並調節電源輸入，作為在端子的電壓和在電源輸入的電壓的函數，使該感應器線達到目標溫度。控制器還可以基於調整後的電源輸入，以確定腔室內的氣體壓力的測量值。

【0005】在另一個實施例中，該電阻器和該感應器線可以在該目標溫度下具有等效電阻。該感應器線可以耦合到包圍該腔室的容積的接地外殼。該感應器線還可以經由延伸穿過該腔室的該容積的護罩耦合到該外殼。該控制器還可以：1)基於該腔室外部的的外殼溫度，確定補償因子和2)確定該氣體壓力的測量值作為該補償因子的函數。該電阻器可以是第一電阻器，並且第二電阻器和開關與該第一電阻器並聯連接，其中該控制器選擇性地啟用該開關。

【0006】在又一個實施例中，量計可以與腔室內的離子量計(例如，熱陰極量計或冷陰極量計)結合實施。該量計和該離子量計的饋通部延伸穿過共同饋通凸緣。該量計佔據該饋通凸緣的單個饋通部，其中該端子是該單個饋通

部。該控制器可響應於檢測到來自該熱傳導量計的該氣體壓力的測量值低於目標臨限值，而選擇性地啟用該離子量計。該控制器還可以配置以基於由該離子量計產生的熱量，確定補償因子，該控制器確定該氣體壓力的測量值作為該補償因子的函數。該控制器可以響應於檢測到來自該熱傳導量計的該氣體壓力的測量值高於目標臨限值，而選擇性地停用該離子量計。

【0007】在又一個實施例中，該感應器線被支撐在可移除的殼體內，該殼體在該端子和該接地之間延伸。

【0008】另一個實施例中可包括用於測量氣體壓力的方法。可以施加電源輸入通過串聯連接的電阻器和感應器線，其中該感應器線在腔室內耦合到端子和接地，並且該電阻器耦合在該端子和電源輸入之間。可調節該電源輸入，作為在該端子的電壓和在該電源輸入的電壓的函數，以使該感應器線達到目標溫度。然後，可以基於該調整後的電源輸入，確定該腔室內的氣體壓力的測量值。

【0009】又一個實施例可包括用於測量氣體壓力的熱傳導量計，包括電路和控制器。該電路包括串聯耦合的感應器線和電阻器，感應器線設置於腔室內。控制器可以配置以 1) 施加該電源輸入到該電路；2) 調節該電源輸入，作為跨越該感應器線和該電阻器的一者的電壓的函數，使該感應器線達到目標溫度；3) 基於該調整後的電源輸入，確定該腔室內的氣體壓力的測量值。

【圖式簡單說明】

【0010】 從以下對示例性實施例的更具體的描述中將清楚前述內容，如所附圖式中所示，其中相同的參考符號在不同的視圖中指代相同的部分。圖式不一定按比例繪製，而是將重點放在說明實施例上。

【0011】 [圖 1A]是先前技術派藍尼量計的電路圖。

【0012】 [圖 1B]是示出圖 1A的派藍尼量計的響應的曲線圖。

【0013】 [圖 2A至 B]示出了包括補償線的先前技術派藍尼量計。

【0014】 [圖 3]示出了在腔室內實施的圖 2A至 B的先前技術派藍尼量計。

【0015】 [圖 4]示出了示例性實施例中的熱傳導量計的感應器。

【0016】 [圖 5A]更詳細地示出了圖 4的感應器。

【0017】 [圖 5B]是示出圖 4的感應器的響應的曲線圖。

【0018】 [圖 6]是示例性實施例中的熱傳導量計的圖。

【0019】 [圖 7A至 C]是示出熱傳導量計在不同外殼溫度下的響應的曲線圖。

【0020】 [圖 8A至 D]是示出實施溫度補償的量計的響應的曲線圖。

【0021】 [圖 9A]是另一實施例中的熱傳導量計的圖。

【0022】[圖 9B]是又一實施例中的熱傳導量計的圖。

【0023】[圖 10A至 B]示出了具有和不具有基線校正的熱傳導量計的響應。

【0024】[圖 11]示出了包括熱傳導量計的組件，該熱傳導量計與熱陰極離子量計結合實施。

【0025】[圖 12]是示出由圖 11的組件實現的饋通部的圖。

【0026】[圖 13A至 C]示出了支撐用於熱傳導量計的感應器線的殼體。

【實施方式】

【0027】以下是對示例實施例的描述。

【0028】具有恆定感應器線溫度的派藍尼感應器已被用於執行 $1\text{E}-4$ 到 1000 Torr 之間的壓力測量。在操作期間，提供恆定感應器線溫度的典型派藍尼量計仰賴與感應器線連接的惠斯同電橋。將溫度保持在恆定溫度所需的電功率用於提供壓力測量。保持感應器線處的恆定溫度是合乎需要的，因為它允許對壓力步驟的更快響應，由於不需要等待溫度變化發生。而且，具有恆定的線溫度提供了與壓力無關的信號基線偏移，其可以從實際信號中減去，以提供信號本身的純壓力相關部分。

【0029】在典型的恆定線溫度派藍尼量計中，透過運行與壓力相關的電加熱功率，線的溫度保持在恆定溫度。由於將線保持在恆定溫度所需的電功率量取決於壓力，因

此使用簡單的功率測量來提供壓力測量。這種設計仰賴惠斯同電橋，透過在運行期間保持其溫度相依電阻來調節線溫度。

【0030】圖 1A 是先前技術的派藍尼量計 100 的電路圖。壓力感應器包括連接做為惠斯同電橋 110 的一個臂的溫度敏感電阻 R_s 。 R_3 通常是溫度敏感電阻，設計為因為電流 i_3 而具有可忽略的溫度上升。 R_2 和 R_1 通常是固定電阻。感應器線 R_s 和典型的 R_3 暴露於將測量壓力的環境中。環境包圍在外殼內，感應器線 R_s 透過該外殼穿過一對饋通部而延伸。或者， R_3 也可以透過另外的一或多個饋通部包括在外殼內。

【0031】選擇電阻器 R_1 、 R_2 和 R_3 的電阻值，使得當壓力相關電壓 V_{Bridge} 施加到電橋的頂部時， $V_{\text{left}} = V_{\text{right}}$ ，感應器線 R_s 的電阻值固定且等同於 $(R_1 * R_3) / R_2$ 。電壓 V_{Bridge} 由運算放大器自動控制，以將 V_{left} 和 V_{right} 之間的電壓差維持在零伏特。當從 V_{left} 到 V_{right} 的電位降為零時，認為電橋是平衡的。在電橋平衡時，存在以下條件：

【0032】

$$i_s = i_3, \quad (1)$$

【0033】

$$i_1 = i_2 \quad (2)$$

【0034】

$$i_s R_s = i_1 R_1, \quad (3)$$

【0035】

$$i_2 R_2 = i_3 R_3 \quad (4)$$

【 0036 】

由 Eq. 4 劃分 Eq. 3 並使用 Eq. 1 和 Eq. 2 給出

【 0037 】

$$R_s = \beta R_3 \quad (5) \text{ 其中 } \beta = R_1 R_2 \quad (6)$$

【 0038 】 因此，在電橋平衡時， R_s 是 R_3 的常數分量 β 倍。

【 0039 】 為了在任何給定壓力下獲得 R_s 中的穩態條件，必須滿足 Eq. 7：

【 0040 】

輸入至 R_s 的電功率 = R_s 輻射的功率 + R_s 的端部損失的功率 + R_s 由氣體損失的功率 (7)

【 0041 】 因為將感應器電阻器 R_s 保持在恆定溫度和恆定電阻所需的電功率量隨壓力增加而增加，所以電壓 V_{bridge} 也取決於壓力。此關係在圖 1B 中示出，圖 1B 是在由 R_s 佔據的腔室內的壓力範圍內的電壓 V_{bridge} 的示例圖。如圖所示，電壓 V_{bridge} 在壓力範圍內呈現 S 曲線。習知的派藍尼量計針對幾個已知壓力進行校準，以確定未知壓力 P_x 與氣體功率損失之間的關係，或者更方便地確定橋電壓。然後，假設端部損失和輻射損失保持恆定，則氣體 P_x 的未知壓力可以直接由氣體損失的功率確定或者與電橋平衡處的橋電壓相關。

【 0042 】 派藍尼量計 100 提供用於測量壓力的簡單配置，並且允許以簡單的方式調節感應器線電阻。可以使用

簡單的運算放大器電路使電橋為零位 ($V_{\text{left}}=V_{\text{right}}$)，從而允許以低成本構建電路。然而，為了對腔室外的不同環境溫度提供補償，必須在校準期間將高度特定值的電阻添加到量計頭，以提供所需的信號響應 (即 V_{bridge} 對壓力) 和適當的溫度相依性。

【 0043 】圖 2A 至 B 示出了先前技術的派藍尼量計 200，其包括補償線 R_C 。量計 200 與上述派藍尼量計 100 相當，但添加補償線 R_C 允許量計 200 補償壓力讀數以抵抗環境溫度波動。這種環境溫度波動改變了感應器線 R_S 和包圍欲測量壓力的腔室的外殼壁 (未示出) 之間的溫度差。如圖 2B 所示，補償線電阻器 R_C 纏繞在腔室內的較小外殼周圍，並允許具有於室溫達到熱平衡的溫度 T_2 。然後調整電橋 (R_3 和 R_4) 和補償線 R_C 中的電阻值，使得隨著 T_2 改變，並且在惠斯同電橋保持平衡時，溫度差 T_1-T_2 (其中 T_1 是感應器 R_S 的線溫度) 保持不變。由於感應器線 R_S 消耗的功率取決於此溫度差，因此該功率耗散的測量表示與環境溫度無關的壓力測量。

【 0044 】在實現中，補償線 R_C 表現出不同量計之間的可變性。因此，必須藉由在測試和校準期間調節電阻值來個別調節量計 200 的每個實施方式，以提供隨著環境溫度變化而保持恆定的溫度差 (T_1-T_2)。此外，補償線 R_C 的纏繞可能是昂貴的並且難以完成。為了提供快速響應，補償線 R_C 也可以在薄壁外殼內部纏繞到量計上並暴露於氣體環境中。

【0045】圖3以進一步的視圖示出了如上所述的先前技術的派藍尼量計200，其在腔室290內實施(未按比例示出)。量計200的一部分，包括感應器線 R_s 和補償線 R_c ，經由饋通凸緣220延伸到腔室290中，而惠斯同電橋的其餘部分保持在腔室290外部。補償線 R_c 被安裝在壓力感應器容積內部上的薄壁罐240，其有利於補償線 R_c 在室內溫度變化時的穩定化。量計200需要最少四個饋通部210穿過饋通凸緣：二個饋通部連接感應器線 R_s ，且另外二個饋通部連接補償線 R_c 。

【0046】派藍尼量計200具有幾個缺點。明確而言，量計200的組裝和校準都是困難和費力的。為了組裝和操作量計200，補償線 R_c 必須被纏繞，並在饋通凸緣220處附接至電連接器。一旦組裝好，量計200必須經過校準以進行適當的溫度補償，包括選擇合適的電阻值，並確保無論室溫如何，值 T_1-T_2 都保持恆定。惠斯同電橋需要微調溫度補償。如果正確執行校準程序，則可以保持值 T_1-T_2 ，但不允許使用標稱電阻值。相反，必須手動調整電子量計，並配置高精度部件的特定電阻器。

【0047】此外，量計200的感應器(包括感應器線 R_s 和罐240)是大而笨重的。為了在高壓力下實現對流，罐240必須具有大的容積以允許在壓力超過大約100 Torr時進入對流。這個要求的原因是，感應器線 R_s 為未纏繞或盤繞，且罐240具有大的內徑。

【0048】派藍尼量計可用作控制離子量計的啟用和停

用的感應器(未示出)。然而，由於其尺寸和多個饋通部的使用，量計200可能不適合與離子量計組合使用。離子量計佔據了幾個饋通部，並且與饋通凸緣相鄰，具有相當大的容積，為派藍尼量計留下了最小的空間和饋通部。此外，通常需要溫度補償以在離子量計的外殼內運行派藍尼量計。當離子量計啟動時，離子量計外殼的壁升溫，因此隨著 T_2 的增加， T_1 和 T_2 之間的差異發生變化，故需要增加溫度補償。使用內部補償線需要饋通部，而添加外部補償線會增加設計的複雜性。

【0049】由於基於惠斯同電橋的溫度控制的剛性實施，量計200不允許在操作期間改變感應器線操作溫度(或電阻)，而是提供單一操作溫度。

【0050】即使壓力與將感應器線 R_s 保持在恆定溫度所需的功率之間存在線性關係，量計200也基於橋電壓 V_{bridge} 的測量值表示壓力，如圖1A所示，與壓力沒有線性關係。大的基線偏移(例如由於輻射和端部損失)與 V_{bridge} 在壓力下的非線性響應的組合導致S形曲線，這使得在內插測量結果時校準困難且不太準確。

【0051】圖4示出了示例性實施例中的熱傳導量計400，其中著重了量計的感應器部分。量計400包括透過線安裝部406固定在腔室490內的感應器線 R_s 405(也稱為燈絲)。線405經由端子412連接到量計電路450(下面進一步詳細描述)，端子412通過單個饋通部410延伸到腔室490中。線405的相對節點可以連接到接地，例如包圍腔室490

的外殼 480。溫度感應器 470(例如，熱敏電阻)可以定位在外殼 480 處或附近，以測量外殼 480 的溫度和 / 或腔室 490 外部的環境溫度。

【0052】與上面參照圖 2 至 3 描述的量計 200 相反，量計 400 提供具有更簡單配置的感應器。量計 400 僅需要進入腔室 490 的單個饋通部 410。此外，可以從量計 400 省略補償線，因為可以使用溫度感應器 470 結合量計電路 450 來提供溫度補償。因此，量計 200 使得感應器能夠具有更簡單、更緊密的結構，這需要更少的勞力來組裝。

【0053】量計電路 450 提供了超越量計 200 的其他優點。量計電路 450 工作的原理將在下面參考圖 5 至 6 描述。

【0054】圖 5A 更詳細地示出了量計 400 的一部分。這裡，感應器配置有可選的護罩 415。感應器線 405 可以連接在端子 412(體現為饋通部針腳)和護罩 415 之間。護罩 415 提供到接地的導電路徑，並且至少包圍感應器線 405 的一部分，保護感應器線 405 免受來自處理環境的污染物的物理損壞和對感應器線 405 提供熱邊界條件。當護罩 415 與熱陰極量計結合使用時，護罩 415 還可用於屏蔽感應器線免受來自熱燈絲的輻射。在這種沒有護罩 415 的配置中，感應器線可能經歷基線輻射偏移的巨大變化。絕緣體 411 可以在饋通部 410 處圍繞端子 412，以確保腔室 490 內的密封。端子 412 還連接到量計電路 450。

【0055】感應器線 405 可以是小直徑(例如，0.001 英寸或 0.002 英寸)的燈絲並且扭曲成線圈(例如，直徑為 0.010

英寸的線圈)。感應器線 405 的操作溫度 T_1 可以被選擇為具有 20°C 或更高於室溫的目標，以針對壓力變化提供足夠的靈敏度。感應器線 405 的溫度可以在操作過程中的保持恆定值，從而可提高響應於壓力變化的速度。此恆定溫度 T_1 可以透過在端子 412 處施加受控的電源輸入(命名為 P_w 以與壓力 P 區隔)以使感應器線 405 朝向目標電阻值來實現。可以基於相同線類型的先前測量來針對感應器線 405 確定電阻和溫度之間的關係。此關係可用於校準量計 400。如圖 5B 所示，所需的電源輸入 P_w 也根據腔室 490 的壓力而變化。此函數具有線性區域，在該區域中可以最精確地測量壓力。

【0056】圖 6 是關注量計電路 405 的量計 400 的圖。鑑於感應器線 405 的溫度和電阻之間的關係，量計電路 450 可以在操作期間使感應器線 405 保持在溫度 T_1 。為了對選定的操作線溫度 T_1 這樣做，可以基於線類型的已知校準曲線以計算相應的線電阻。因此，感應器線 405 在所選溫度下的電阻為 $R_s(T_1)$ 。

【0057】為了在不同壓力下控制感應器線 405 的電阻，量計電路 450 可包括與感應器線 405 串聯連接的電阻器 R_1 。為了簡化分析，可以選擇 R_1 的電阻等於在選定溫度 T_1 下 R_s 的電阻：

【0058】

$$R_1 = R_s(T_1) \quad (8)$$

【0059】可變電壓源 V_h 可以連接到相對終端 412 的電

阻器 R_1 ，並且可以比較在終端 V_t 和電壓源 V_h 的電壓以確定電壓源 V_h 的調整。在一個實施例中，量計電路 450 可以利用放大器 452、比較器 460 和電壓控制器 465 提供此種比較和調整。比較器 460 比較 $2*V_t$ (由放大器 452 提供) 和 V_h 的值，並將比較結果輸出到電壓控制器 465。然後電壓控制器 465 調節 V_h 直到 $2*V_t$ 等於 V_h ：

【 0060 】

$$V_h = 2*V_t \quad (9)$$

【 0061 】 當滿足上述條件時，感應器線 405 的電阻與 R_1 的電阻相匹配，並且線處於溫度 T_1 。然後，將感應器線加熱到溫度 T_1 所需的電功率 P_w 是 V_h 和 R_1 的函數，如下：

【 0062 】

$$P_w = V_h^2/R_1 \text{ or } P_w = 4V_t^2/R_2 \quad (10)$$

【 0063 】 在此狀態下的值 P_w 可以用於基於觀察到的壓力和加熱功率之間的關係來計算壓力。在示例性實施例中，此關係在延伸至大約 1 Torr 的壓力範圍內可以是線性的，如之後的圖 7A 至 7B 所示。因此，利用電阻器 R_1 和具有根據等式 (8) 選擇的電阻值的感應器線 405 R_s ，量計電路 450 可以將電壓輸入 V_h 施加到電阻器 R_1 ，並且將電源輸入 P_w 調節為電阻器 R_1 兩端的電壓 (即 V_h 和 V_t) 的函數而滿足等式 (9)。在這樣做時，感應器線 405 達到目標線溫度 T_1 。在此狀態下的電源輸入 P_w 的測量值可以由等式 (10) 確定。將調節的電源輸入 P_w 與已知的功率/壓力關係進行比較，因此可以確定腔室 490 內的氣體壓力的測量值。

【0064】量計電路450提供一種用於將線的溫度調節到 T_1 的解決方案，其無論暴露於線的氣體壓力如何，都確保感應器線405的電阻與電阻器 R_1 的電阻匹配。比較器460和電壓控制器465提供反饋迴路以測量 V_h 和 $2*V_t$ 之間的差值並調節 V_h 直到差值為零和 $R_1-R_s(T_1)$ 。比較器460、放大器452和電壓控制器465或提供可比較操作的其他電路可以用類比和/或數位電路實現。

【0065】圖7A示出了在諸如量計400的熱傳導量計中實現的示例直徑0.001英寸的感應器線的響應。對數-對數(log-log)圖顯示了腔室內壓力的功率響應的變化，作為容納腔室的外殼的溫度的函數。該圖包括四條曲線，其中每條曲線對應於相同的線溫度(100°C)但是不同的外殼溫度。如圖所示，四條曲線共享一個共同的壓力範圍(大約 $1\text{E-}3\text{ Torr}$ 至 1 Torr)，其中電源輸入和壓力之間的關係基本上是線性的。

【0066】圖7B更詳細地示出了直徑0.001英寸的感應器線的響應。這裡，最低和最高外殼溫度(22°C 和 54°C)的線性範圍是單獨顯示的。此圖顯示了曲線的線性範圍如何受外殼溫度的影響，其中較高的外殼溫度對應於給定壓力下的較低電源輸入。如圖所示，兩個圖可以與線性趨勢估計緊密匹配。因此，將感應器線405加熱到溫度 T_1 所需的電源輸入 P_w 是溫度差 T_1-T_2 的函數。

【0067】圖7C示出了直徑0.002英寸的感應器線的響應。與上述直徑0.001英寸的線相比，直徑為0.002英寸的

線表現出更高的功率耗散，因此需要更高的電源輸入。然而，較粗的線還提供可用於確定壓力的響應，並且由於其較高的耐用性而可在安裝和操作期間賦予優勢。基於量計的應用和工作環境，感應器線可以由一種或多種不同的材料組成。例如，由鎳製成的感應器線可以有利地用於反應環境，鎢感應器線可以具有更高的耐久性，並且當需要更低的發射率時鉑感應器線可以是合適的。

【0068】結果如圖 7A 至 C 所示，其可用於提供熱傳導量計中壓力測量的外殼溫度補償。例如，參考圖 4，感應器線 405 表現出與圖 7A 至 7C 中所示的響應相當的響應。可以基於測量感應器線本身來確定響應，或者可以根據線類型來確定響應。可以收集對應於該響應的資料集合並將其編譯成交叉參考電源輸入、壓力和外殼溫度的查找表。當量計 400 如上所述操作時，得到的電源輸入 P_w 以及由熱感應器 470 檢測到的外殼溫度的測量值可以應用於查找表，以確定腔室 490 的壓力。或者，線響應可以用於確定與電源輸入、壓力和外殼溫度相關的等式，例如圖 7B 中所示的線性趨勢估計的表示式。因此，透過在不同的外殼溫度上應用電源輸入與壓力的資料，例如圖 7A 至 C 中所示的資料，在量計處的電源輸入的測量值可用於以補償外殼的不同溫度的方式確定腔室壓力。與上述需要控制環境溫度和感應器溫度之間的溫差的量計 200 相反，量計 400 獨立地測量環境溫度或外殼溫度 T_2 (例如，透過熱感應器 470)，並使用此溫度資料來解釋確定壓力時的功率測量值。

【0069】圖 8A 示出了具有和不具有溫度補償的熱傳導量計的響應。類似於圖 7A 至 B 的圖，示出了給定感應器線在兩個不同的外殼溫度 (25°C 和 54°C) 下的功率響應。另外，示出了功率響應的溫度補償版本，其表現出幾乎相同的曲線。因此，作為溫度補償的結果，施加到感應器線的電源輸入可用於在一系列不同的外殼溫度上精確地確定壓力。

【0070】計算溫度補償功率值的方法如下：

【0071】未補償的電源輸入和壓力圖如圖 8B 所示 (例如，基於直接感應器信號響應)，可以分為三個部分：1) 高真空基線 (左側)，2) 線性響應 (Log, Log) (中間)，和 3) 對流響應 (至 10 Torr 到 ATM) (右側)。基線響應由兩個在整個壓力範圍內恆定的損失機制組成：1) R_L ，輻射損失，和 2) C_L ，對流端部損失。因此，總基線損失可表示為：

【0072】總基線損失 = $R_L + C_L$ ，其中

a) 輻射損失 $R_L = \epsilon \sigma (T_{\text{wire}}^4 - T_{\text{case}}^4)$ ，其中 ϵ = 發射率， σ = 波茲曼常數

b) 對流損失 $C_L = G \pi r^2 (T_{\text{wire}} - T_{\text{case}}) / L$ ，其中 G = 線的導熱率， r = 線的半徑， L = 線的長度

【0073】在線性響應區域中， $L_R = KP$ ，($\text{Log } L_R = \log K + P$)，其幾乎與溫度無關 ($T / \sqrt{T}$)。

【0074】在對流區域，熱氣體護套抑制了熱傳遞，並且響應趨於平坦。然而，響應也具有 ΔT 和類似 ΔT^4 相依性並可以被建模。基線損失區域的溫度係數可以使用具有

delta T和delta T的四次方的等式來校正：

Delta T 功率基線 $= (c + d\Delta T + e\Delta T^4)$ ；其中 c，d和e可以從熱循環和適配種群確定。

【0075】整個S形響應函數可以建模為對數型S形函數，從而使裝置能夠利用區域的已知物理特性進行溫度補償：

a) 對數S形函數 $= 1/(1 + e^{-x})$ ，用裝置的物理性代替 e^{-x} 項。

b) 線性區域 $= KP$ ，K=常數，P=壓力

c) 邊界條件：

i. a=大氣功率位準

ii. b=基線偏移功率位準

d) 計算功率 $= \frac{a}{1 + \frac{1}{KP}} - b$

【0076】將大氣和基線功率位準表示為溫度的函數提供以下內容：

a) $a(T) = a(T_{\text{nominal}}) + (c + d\Delta T + e\Delta T^4)$

b) $b(T) = b(T_{\text{nominal}}) + (f + g\Delta T + h\Delta T^4)$

c) 溫度補償計算功率 $= \frac{a(T)}{1 + \frac{1}{KP}} - b(T)$ ；

【0077】基於上述等式，從測量功率計算壓力的等式可表示如下：

壓力(T) $= (a(T)/K) / (1/(power - b(T)) - 1)$

【0078】為了校準量計以在上面的等式中提供準確的參數，可以在大氣壓力和基線處在標稱壓力下測量功率。

利用上述等式的示例溫度補償功率曲線圖示於圖 8A 中。這裡，對於相同溫度 (25°C 和 54°C)，將一對溫度補償功率曲線與一對未補償功率曲線進行比較。圖 8C 示出了在高壓對流區域內的單個功率曲線 (溫度補償的和未補償的) 之間的比較。類似地，圖 8D 示出了在高真空基線區域內的單個功率曲線 (溫度補償的和未補償的) 之間的比較。

【0079】圖 9A 是另一實施例中的熱傳導量計 900 的圖。量計 900 可以包含上述量計 400 的一或多個特徵。電路 902 包括電晶體 910、電阻器 R_1 和串聯連接在電壓源 V_P 和接地之間的感應器線 905 (R_S)。電路 902 部分地延伸到腔室 990 中，其中感應器線 905 可以如上參考圖 4 所述地配置。熱感應器 970 (例如，熱敏電阻) 檢測包圍腔室 990 的外殼 980 的溫度 T_2 。

【0080】控制器 950 可以被配置為接收與電阻器 R_1 相對的電壓 V_H 和 V_T 的測量值，以及來自熱感應器 970 的溫度 T_2 的指示，並輸出控制信號 V_C 以控制通過電晶體 910 的電流。控制器 950 可以結合上述量計電路 450 的特徵，並且可以以類比和/或數位電路實現。例如，控制器 950 可以包括用於將 V_H 、 V_T 和 T_2 轉換為數位值的類比至數位轉換器 (ADC)；用於根據數位值確定控制電壓 V_C 的比例-積分-微分控制器 (PID) 控制器；和用於產生對電晶體 910 的控制電壓 V_C 的數位至類比轉換器 (DAC)。

【0081】在操作之前，量計 900 可以與上述量計 400 相比地配置。此外，可以基於感應器線 905 的室溫電阻來選

擇電阻器 R_1 的電阻值，其中室溫電阻可以用於計算將感應器線維持操作溫度 T_1 所需的 R_1 的電阻，其中“tempco”是指示電阻隨溫度變化的溫度係數：

【0082】

$$R_1 = R_s(\text{室溫}) + T_1 * \text{tempco} * R_s(\text{室溫}) \quad (\text{或 } R_1 = R_s(\text{室溫}) * (1 + T_1 * \text{tempco})) \quad (11)$$

【0083】在操作中，控制器 950 可以透過調節控制電壓 V_c 將感應器線 905 保持在溫度 T_1 ，從而控制電阻器 R_1 處的電源輸入。控制器 950 可以透過與上面參考圖 6 描述的用於確定電壓 V_h 的過程相比的過程來確定對控制電壓 V_c 的調節。明確而言，可以比較電壓 V_T 和 V_H 以確定對電晶體 910 提供的電壓源的調節。控制器 950 調整 V_c 直到 $2 * V_T$ 等於 V_H 。當滿足該條件時，感應器線 905 的電阻與 R_1 的電阻匹配，並且線處於溫度 T_1 。然後，將感應器線加熱到溫度 T_1 所需的電功率 P_w 是 V_H 和 R_1 的函數，如上在等式(10)中所述。在此狀態下的電源輸入 P_w 可以用於基於觀察到的壓力和加熱功率之間的關係來計算壓力，如圖 7A 至 B 和 8 所示。因此，利用根據等式(8)選擇的電阻值的電阻器 R_1 和感應器線 905 R_s ，控制器 950 可以將電源輸入 P_w 施加到電阻器 R_1 ，並且將電源輸入 P_w 調節為電阻器 R_1 兩端的電壓(即 V_h 和 V_t)的函數以滿足等式(9)。在這樣做時，感應器線 405 達到目標線溫度 T_1 。在此狀態下的電源輸入 P_w 的測量可以由等式(10)確定。將調節的電源輸入 P_w 與已知的功率/壓力關係進行比較，因此可以確定腔室 990 內的氣體壓力

的測量值。控制器 950 可以輸出 P_w 的指示以啟用該確定，或者可以配置為通過查找表或進一步計算確定壓力，從而輸出壓力值。在這樣做時，控制器 950 還可以使用外殼溫度 T_2 來確定如上所述的溫度補償壓力值。

【0084】控制器 950 提供數位控制迴路，其使得量計 900 能夠配置成在可能的溫度範圍內以期望的線溫度操作。透過改變 V_t 和 V_h 之間的倍增係數，可以選擇目標線溫度如下：

【0085】 $V_h = x V_t$ ，其中 x 是倍增因子

【0086】導出 x ：

【0087】在 $T_{nominal}$ (室溫) 下， $R_1 = R_s$ (R_1 與感應器線 R_s 串聯連接)。在任何其他溫度下，線的溫度係數可用於計算 $R_s(T)$ ：

【0088】 $R_s(T) = (1 + \alpha * (T_{set} - T_{nominal})) R_s$ ，(其中 α 是要使用的線類型的溫度係數)

【0089】 V_h 和 V_t 之間的關係可以表示為簡單的電阻分壓器等式：

【0090】

$$V_t = [R_1 / (R_1 + R_s(T))] V_h$$

【0091】插入 $R_s(T)$ ：

【0092】

$$V_t = [R_1 / (R_1 + (1 + \alpha * (T_{set} - T_{nominal})) R_s)] V_h \quad (\text{使用 } R_1 = R_s)$$

【0093】

$$V_t = [R_1 / (R_1 + (1 + \alpha * (T_{set} - T_{nominal})) R_1)] V_h$$

【 0094 】

$$V_t = [R_1 / (R_1 * (1 + (1 + \alpha * (T_{set} - T_{nominal})))]) V_h$$

【 0095 】

$$V_t = [1 / ((1 + (1 + \alpha * (T_{set} - T_{nominal})))]) V_h$$

【 0096 】

$$V_t = [1 / (2 + \alpha * (T_{set} - T_{nominal}))] V_h$$

【 0097 】

$$V_h = (2 + \alpha * (T_{set} - T_{nominal})) * V_t$$

【 0098 】

$$V_h = x * V_t$$

【 0099 】

$$x = (2 + \alpha * (T_{set} - T_{nominal}))$$

【 0100 】 $(2 + \alpha * (T_{set} - T_{nominal}))$ 是數位迴路中的倍增因子(x)，可用於根據客戶的要求和過程改變線的溫度。

【 0101 】 可以在上面的計算中實現的示例值如下：

【 0102 】

$$\alpha = .0048 \text{ (鎢的TC)}$$

【 0103 】

$$T_{set} = 100, T_{nominal} = 75$$

【 0104 】

$$V_h = 2.36 * V_t; x = 2.36$$

【 0105 】

$$T_{set} = 125, T_{nominal} = 25$$

【 0106 】

$$V_h = 2.48 * V_t; x = 2.48$$

【0107】因此，使用計算的倍增因子 x ，可以針對量計 900 的給定應用來配置線溫度而不改變電阻器 R_1 或 R_s 的值。

【0108】圖 9B 是另一實施例中的熱傳導量計 901 的圖。量計 901 可以包括圖 9A 的量計 900 的特徵，增加了電阻器 R_2 ，其可以透過開關 934 選擇性地與電阻器 R_1 並聯連接。開關可以由控制器 950 控制，或者可以手動配置。在替代實施例中，一或多個附加電阻器可以選擇性地與電阻器 R_1 串聯或並聯連接。電阻器 R_1 也可以用可變電阻器代替。

【0109】此外，可以透過使用可變倍增因子來調節線的溫度。例如， $R_1 = R_s$ 可以設定在環境溫度。當線是在所需的溫度 ($V_h = 2 * V_t$) 時，倍增因子 x 可被用來調整溫度使得 $V_h = x * V_t$ ，其中 $x = (2 + \text{tempco} * (T_{\text{target}} - T_{\text{ambient}}))$ 。在這種實施方式中，只有感應器的環境電阻 (R_s) 必須與 R_1 匹配。

【0110】在一些應用中，由量計 901 提供的可調節電阻可能是有利的。例如，量計 901 可以用在需要感應器線 905 的不同操作溫度的多個設置中。圖 10A 示出了一種這樣的應用，其中針對感應器線 905 的兩個不同的操作溫度 T_1 (100°C 和 120°C) 示出了感應器線 905 在壓力下的功率響應。感應器線 905 在 100°C 時的功率響應低於在 120°C 時的功率響應。為了校正這種差異，如圖 10B 中所示的示例，可以選擇電阻器 R_1 和 R_2 的值，使得 (1) 當 T_1 處於第一操作溫

度(例如， 100°C)時，沒有 R_2 的電阻器 R_1 表現出來自感應器線905的目標響應；(2)當 T_1 處於第二操作溫度(例如， 120°C)時，並聯連接的 R_1 和 R_2 的總電阻表現出與感應器線905相當的響應。結果，量計901可以提供不同 T_1 值的操作，同時實現用於確定壓力的可比較的響應。

【0111】圖11示出了組件1100，其包括與離子量計1130組合實施的熱傳導量計1120。離子量計1130包括電子源1105、陽極1120和離子收集器電極1110。電子源1105(例如，熱陰極)位於電離空間或陽極容積之外。陽極結構包括圍繞柱112和114的圓柱形線柵120，其界定電離空間，電子1125在其中撞擊氣體分子和原子。離子收集器電極1110設置在陽極容積內。電子從電子源1105行進到並通過陽極，來回循環通過陽極1120，並因此保持在陽極1120內或附近。進一步的實施例可以使用具有冷陰極電子源的離子量計。

【0112】在它們的行進中，電子1125與構成希望測量其壓力的大氣的分子和氣體原子碰撞。電子和氣體之間的這種接觸產生離子。離子被吸引到離子收集器電極1110，離子收集器電極1110連接到電流表1135以檢測來自電極1110的電流。基於電流表1135的測量，可以透過公式 $P=(1/S)(I_{\text{ion}}/I_{\text{electron}})$ 從離子和電子電流計算大氣中氣體的壓力，其中 S 是具有單位為 $1/\text{Torr}$ 的係數，且具有特定量計幾何形狀、電氣參數和壓力範圍的特徵。

【0113】可以如上參照圖4至10所述配置量計1120。

由於典型離子量計操作的低壓，組件 1100 受益於熱傳導量計 1120，其可以測量比離子量計 1130 更高的壓力。此外，熱傳導量計 1120 經由控制器 1150 可以控制離子量計 1130 的開關，當測量的壓力低於給定臨限值時啟用離子量計 1130 (例如，在電源 1113 和 1114 處)，並且在測量壓力升高到給定臨限值以上時停用量計 1130。結果，可以防止離子量計 1130 在可能對其造成損壞的壓力下操作。相反地，控制器 1150 可以接收來自離子量計 1130 的輸入 (例如，來自電流計 1135)，當壓力上升到臨限值以上時啟用量計 1120，並且當壓力下降到臨限值以下時停用量計 1120。

【0114】響應於在操作期間由離子量計 1130 產生的熱量，熱傳導量計 1120 可以進一步配置以補償由該熱量引起的溫度波動。例如，在離子量計 1120 升高外殼溫度的程度上，熱傳導量計 1120 可以補償此溫度變化，如上面參照圖 7A 至 C 和 8 所述。該方法還可以應用於在相對於離子量計 1130 的其他點處測量的溫度變化。例如，可以在離子量計 1130 處實施熱感應器以測量溫度，並且該測量的溫度可以與熱傳導量計 1120 的功率響應相關聯，以基於由離子量計產生的熱量確定補償因子，從而使量計 1120 能夠確定作為補償因子的函數的氣體壓力測量值。

【0115】當組合實施時，熱傳導量計 1120 和離子量計 1130 可以組裝成使得每個規格的饋通部延伸穿過共同的饋通凸緣 1145。示例饋通凸緣 1145 在圖 12 中以俯視圖示出。離子量計 1130 使用凸緣 1145 的多個饋通部。相反地，如上

所述配置的熱傳導量計 1120 僅需要單個饋通部 1160。該單個饋通部 1160 容納饋通接腳，並且感應器線 R_s 連接在饋通接腳和接地(例如，外殼或柱)之間。因為量計 1120 僅需要凸緣 1145 的單個饋通部，並且離子量計可以在現有組件中留下至少一個未使用的饋通部，所以量計 1120 可以提供進一步的優點，因為它可以被改裝到這樣的現有組件中且對組件最小改動。

【0116】圖 13A 至 C 示出了支撐感應器線 1305 的殼體 1300，感應器線 1305 用於熱傳導量計，例如上述的量計 400 和 900。圖 13A 示出了殼體 1300 的側剖視圖，圖 13B 是殼體 1300 的透視圖。殼體 1300 可以包括傳導端蓋 1320，其中感應器線 1305 可以連接到傳導端蓋 1320。感應器線可以通過在端蓋和管 1350 之間被壓縮而保持在每個端部處，從而形成電連接。管 1350 可以是一個非導電材料(例如，玻璃或陶瓷)的，並連接在端蓋 1320。取決於感應器線 1305 和腔室之間的期望熱傳遞位準，管 1350 可以是閉合的或開槽的。

【0117】圖 13C 示出了位於腔室內的殼體 1300 的俯視圖。殼體 1300 提供了許多優點。例如，管 1350 的剛性結構保護線在安裝和操作期間免受損壞。此外，端蓋 1320 可以容納腔室內的支架或柱，允許殼體 1300 快速且容易地安裝、移除和更換。

【0118】雖然已經具體示出和描述了示例實施例，但是本領域技術人員將理解，在不脫離所附申請專利範圍所

涵蓋的實施例的範疇的情況下，可以在形式和細節上進行各種改變。

【符號說明】

【0119】

100：派藍尼量計

R_1, R_2, R_3 ：電阻器

R_s ：感應器線/感應器電阻器

R_c ：補償線/補償線電阻器

200：派藍尼量計

210：饋通部

220：饋通凸緣

240：薄壁罐

290：腔室

400：熱傳導量計

405：感應器線

406：線安裝部

410：饋通部

412：端子

450：量計電路

470：溫度感應器

480：外殼

490：腔室

415：護罩

第 112100187 號

民國 113 年 3 月 12 日修正

411：絕緣體

452：放大器

460：比較器

465：電壓控制器

900：熱傳導量計

902：電路

905：感應器線

910：電晶體

950：控制器

970：熱感應器

980：外殼

990：腔室

901：熱傳導量計

934：開關

1100：組件

1120：熱傳導量計/陽極

1130：離子量計

1105：電子源

1110：離子收集器電極

112, 114：柱

120：圓柱形線柵

1125：電子

1135：電流表

1150：控制器

第 112100187 號

民國 113 年 3 月 12 日修正

- 1113, 1114：電 源
- 1145：饋 通 凸 緣
- 1160：饋 通 部
- 1300：殼 體
- 1305：感 應 器 線
- 1320：傳 導 端 蓋
- 1350：管

【發明申請專利範圍】

【請求項1】一種用於測量氣體壓力的熱傳導量計，包括：

在腔室內耦合到端子的第一電阻器；

與該第一電阻器串聯且在該腔室外部的第二電阻器；

類比至數位轉換器(ADC)，配置以確定跨越該第一電阻器和該第二電阻器中的一者的電壓；和

數位電路，配置以基於跨越該第一電阻器和該第二電阻器中的一者的該電壓來確定該腔室內的氣體壓力的測量值；

其中該第一電阻器直接耦合到包圍該腔室的容積的接地外殼。

【請求項2】根據請求項1所述的量計，其中跨越該第一電阻器和該第二電阻器中的一者的該電壓是跨越該第二電阻器的電壓。

【請求項3】根據請求項1所述的量計，其中該第二電阻器耦合在該端子與接收電源輸入的電氣輸入之間。

【請求項4】根據請求項1所述的量計，其中該第一電阻器和該第二電阻器在目標溫度下具有等效電阻。

【請求項5】根據請求項1所述的量計，其中該第一電阻器經由延伸穿過該腔室的該容積的護罩耦合到該外殼。

【請求項6】根據請求項1所述的量計，其中該第一電阻器被支撐在可移除的殼體內，該殼體在該端子和接地之間延伸。

【請求項7】一種用於測量氣體壓力的熱傳導量計，包括：

在腔室內耦合到端子的第一電阻器；

與該第一電阻器串聯且在該腔室外部的第二電阻器；

類比至數位轉換器(ADC)，配置以確定跨越該第一電阻器和該第二電阻器中的一者的電壓；

數位電路，配置以基於跨越該第一電阻器和該第二電阻器中的一者的該電壓來確定該腔室內的氣體壓力的測量值；和

控制器，配置以1)基於該腔室外部的外殼溫度，確定補償因子，和2)確定該氣體壓力的測量值作為該補償因子的函數。

【請求項8】根據請求項7所述的量計，還包括在該腔室內的離子量計。

【請求項9】根據請求項8所述的量計，其中該量計和該離子量計的饋通部延伸穿過耦合該腔室的共同饋通凸緣。

【請求項10】根據請求項9所述的量計，其中該量計包括該饋通凸緣的單個饋通部，該端子是該單個饋通部。

【請求項11】根據請求項10所述的量計，其中該控制器配置以響應於檢測到該氣體壓力的測量值低於目標臨限值，而選擇性地啟用該離子量計。

【請求項12】根據請求項10所述的量計，其中該控制器還配置以基於由該離子量計產生的熱量，確定補償因

子，該控制器配置以確定該氣體壓力的測量值作為該補償因子的函數。

【請求項 13】根據請求項 10 所述的量計，其中該控制器配置以響應於檢測到該氣體壓力的測量值高於目標臨限值，而選擇性地停用該離子量計。

【請求項 14】一種用於測量氣體壓力的方法，包括：
透過串聯連接的第一電阻器和第二電阻器施加電源輸入，該第一電阻器在腔室內耦合到端子，該第二電阻器在該腔室外部；

透過類比至數位轉換器(ADC)以確定跨越該第一電阻器和該第二電阻器中的一者的電壓；和

透過數位電路以基於跨越該第一電阻器和該第二電阻器中的一者的該電壓來確定該腔室內的氣體壓力的測量值；

其中該第一電阻器直接耦合到包圍該腔室的容積的接地外殼。

【請求項 15】根據請求項 14 所述的方法，其中跨越該第一電阻器和該第二電阻器中的一者的該電壓是跨越該第二電阻器的電壓。

【請求項 16】根據請求項 14 所述的方法，其中該第一電阻器和該第二電阻器在目標溫度下具有等效電阻。

【請求項 17】根據請求項 14 所述的方法，其中該第一電阻器經由延伸穿過該腔室的該容積的護罩耦合到該外殼。

【請求項18】根據請求項14所述的方法，還包括響應於檢測到該氣體壓力的測量值低於目標臨限值，而選擇性地啟用離子量計。

【請求項19】根據請求項14所述的方法，還包括基於由離子量計產生的熱量，確定補償因子，該氣體壓力的測量值被確定作為該補償因子的函數。

【請求項20】根據請求項14所述的方法，其中該第一電阻器被支撐在可移除的殼體內，該殼體在該端子和接地之間延伸。

【請求項21】一種用於測量氣體壓力的方法，包括：
透過串聯連接的第一電阻器和第二電阻器施加電源輸入，該第一電阻器在腔室內耦合到端子，該第二電阻器在該腔室外部；

透過類比至數位轉換器(ADC)以確定跨越該第一電阻器和該第二電阻器中的一者的電壓；

透過數位電路以基於跨越該第一電阻器和該第二電阻器中的一者的該電壓來確定該腔室內的氣體壓力的測量值；和

基於該腔室外部的的外殼溫度，確定補償因子，和確定該氣體壓力的測量值作為該補償因子的函數。

【請求項22】一種用於測量氣體壓力的熱傳導量計，包括：

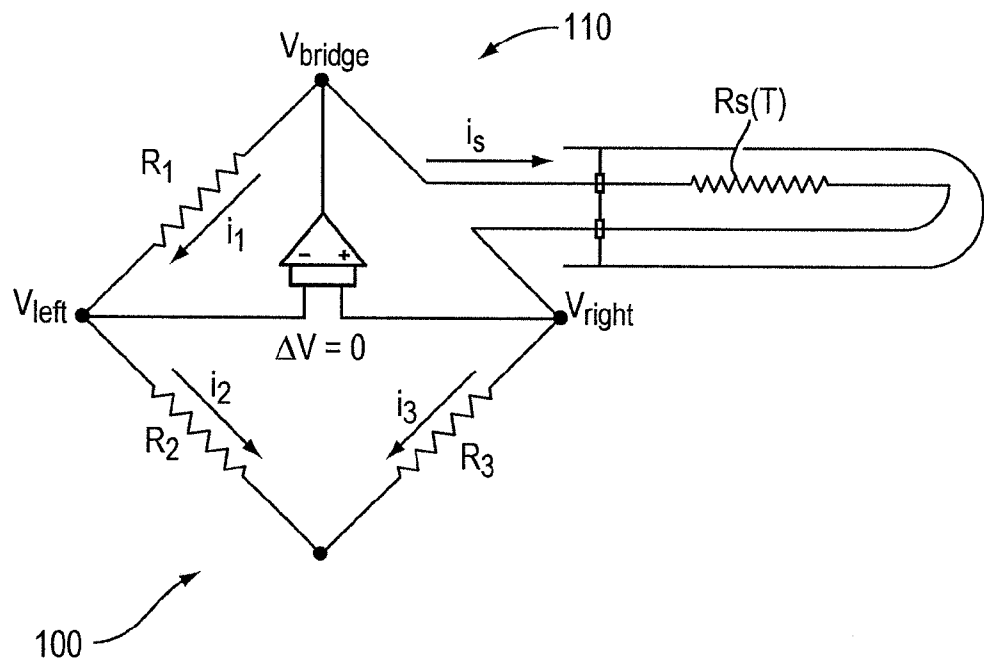
包括串聯耦合的第一電阻器和第二電阻器的電路，該第一電阻器位於腔室內，該第二電阻器在該腔室外部；

類比至數位轉換器(ADC)，配置以確定跨越該第一電阻器和該第二電阻器中的一者的電壓；和

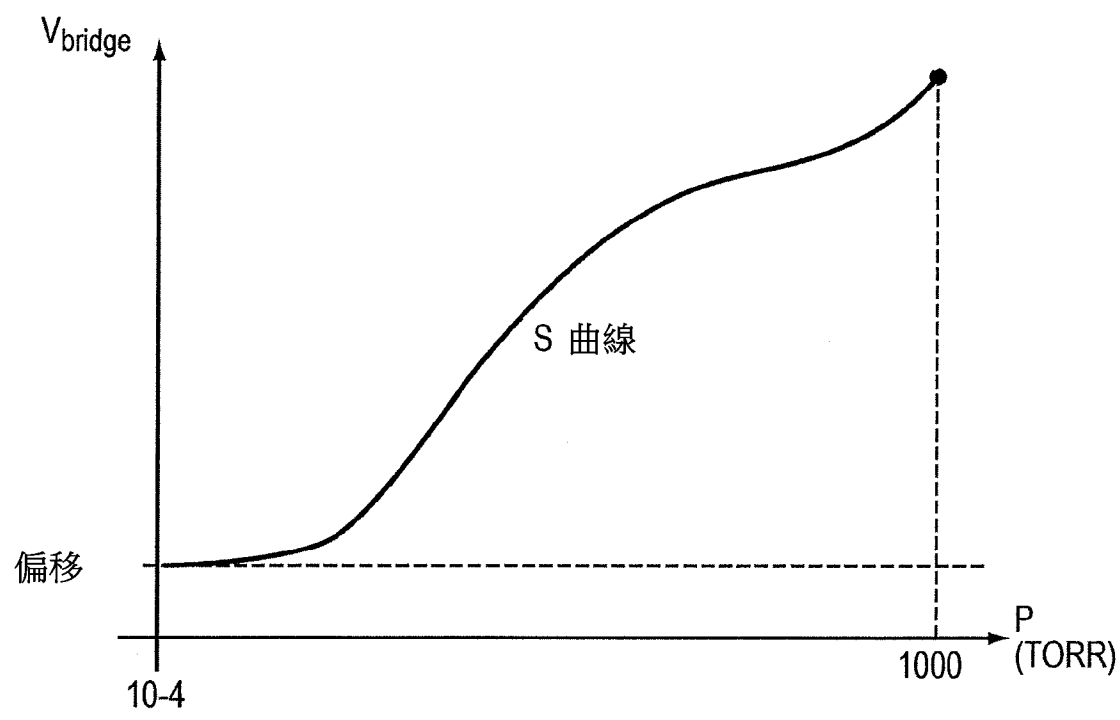
數位電路，配置以基於跨越該第一電阻器和該第二電阻器中的一者的該電壓來確定該腔室內的氣體壓力的測量值；

其中該第一電阻器直接耦合到包圍該腔室的容積的接地外殼。

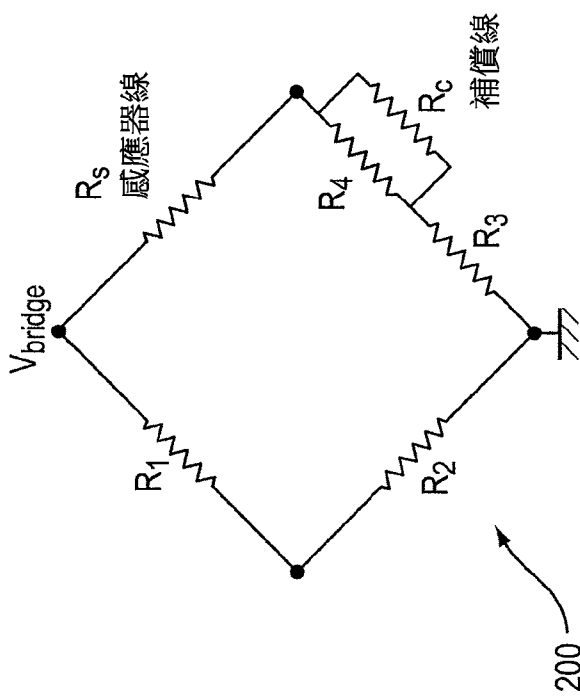
【發明圖式】



【圖 1A】
(先前技術)

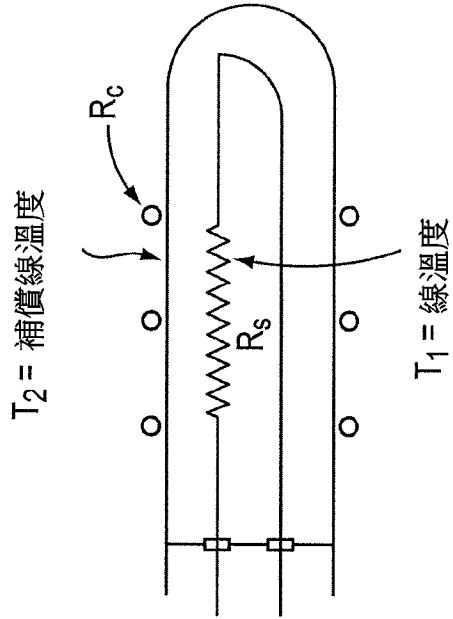


【圖 1B】
(先前技術)



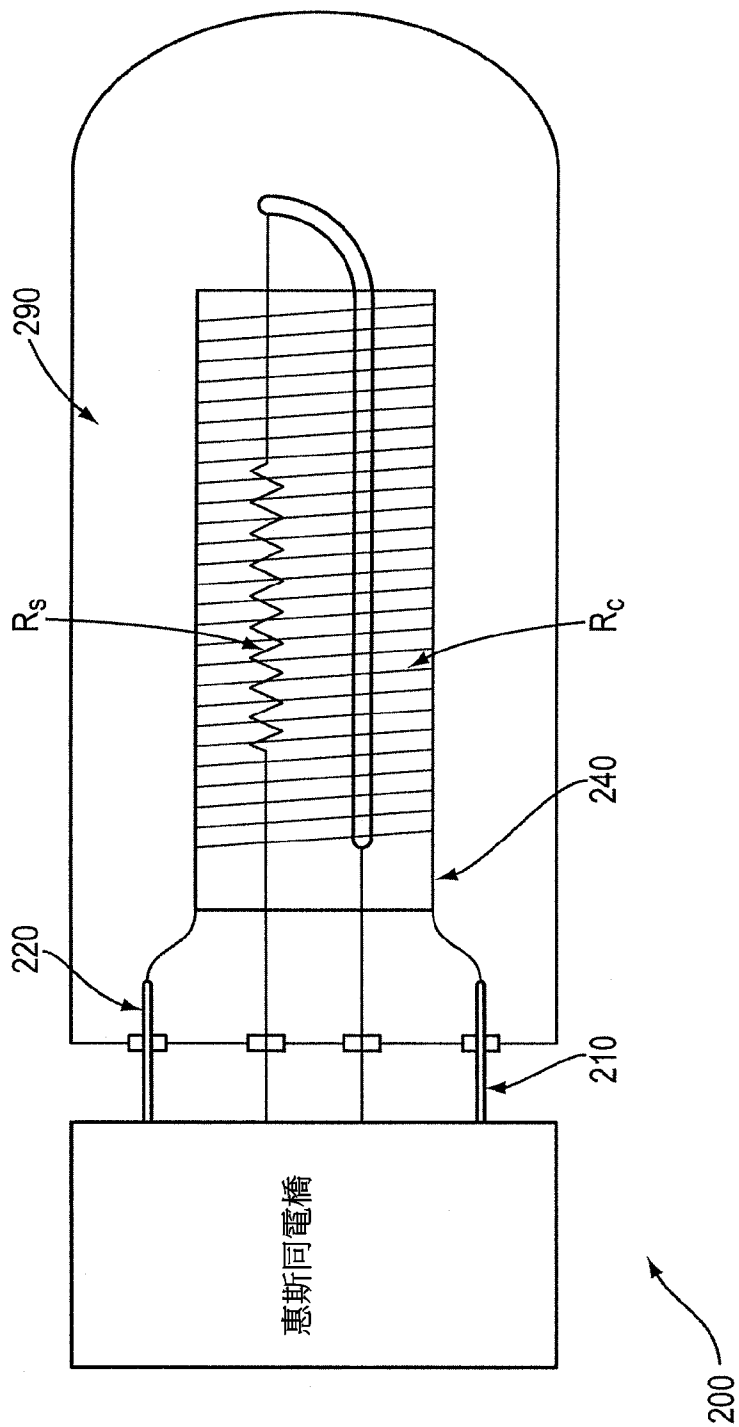
【圖 2A】

(先前技術)

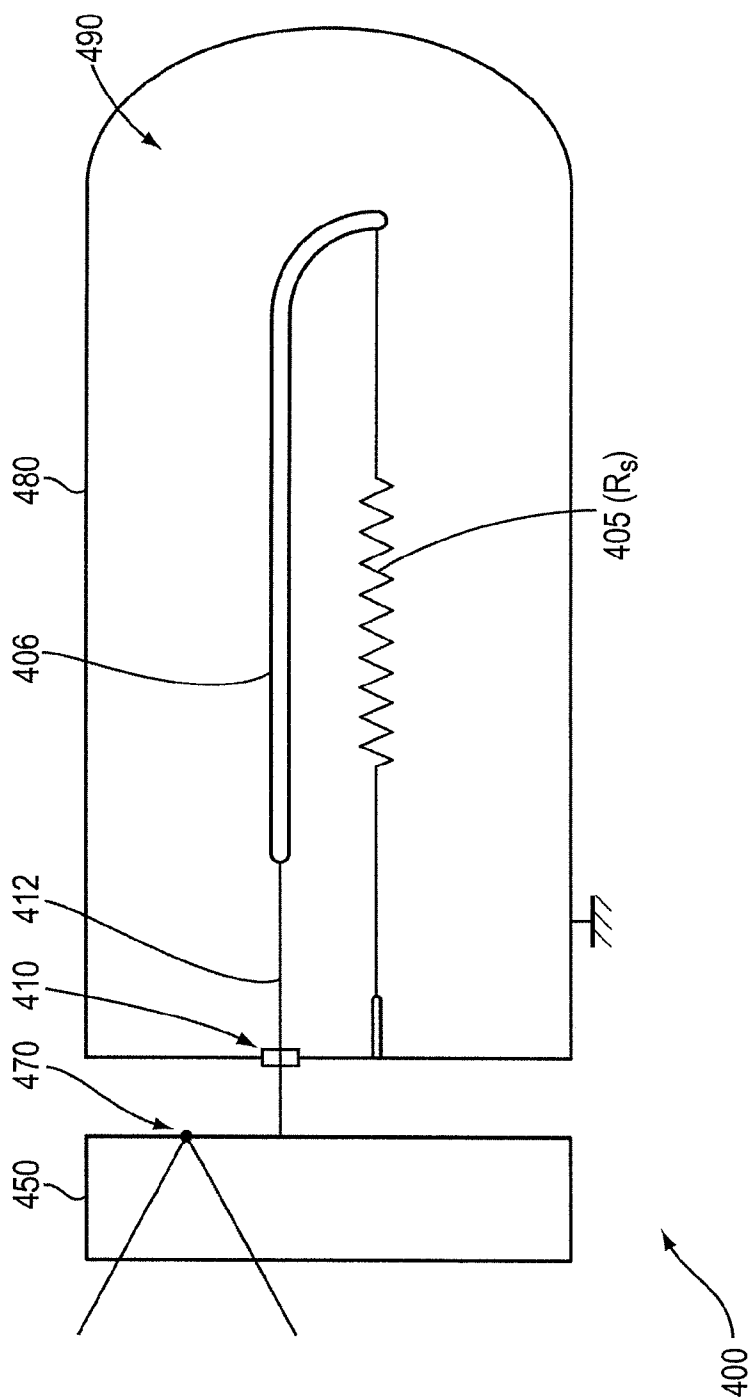


【圖 2B】

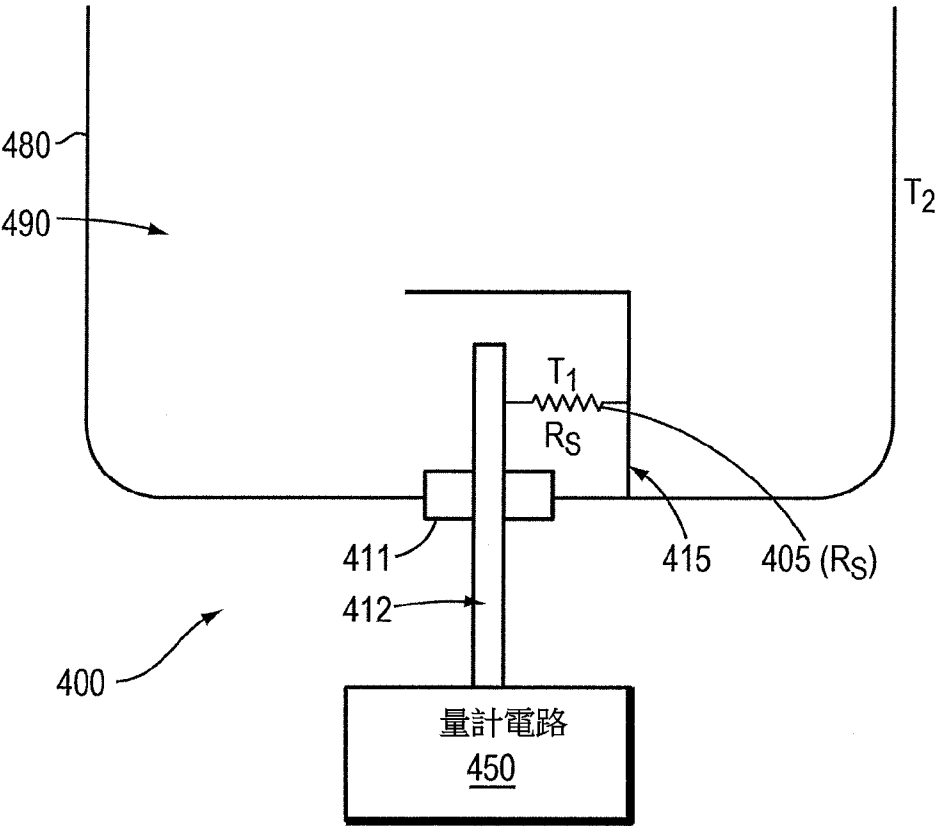
(先前技術)



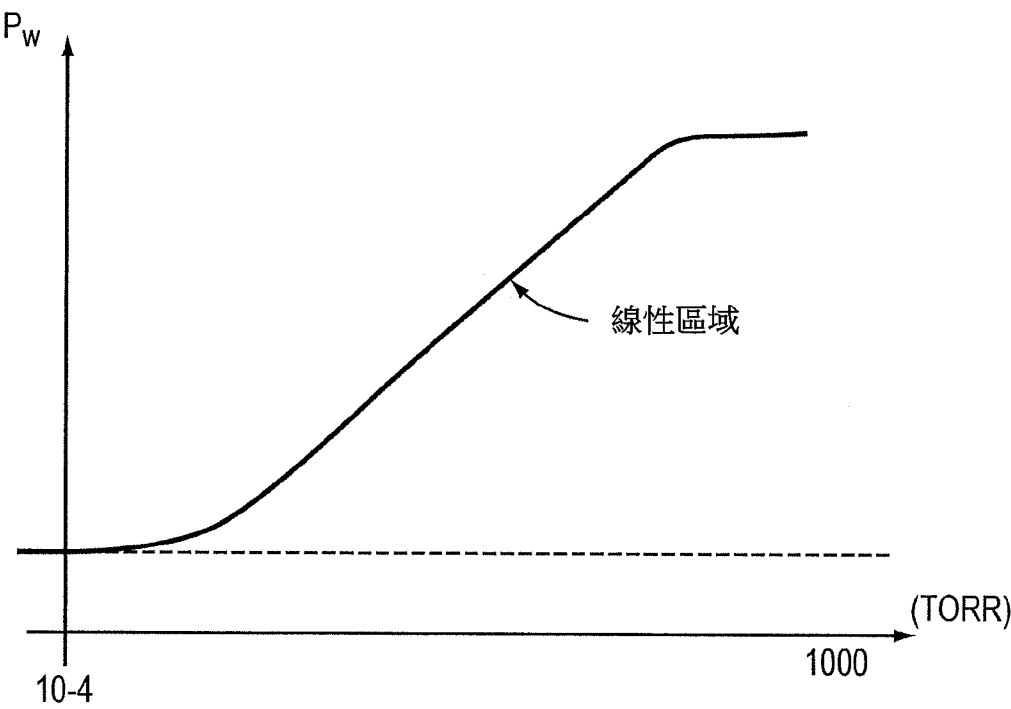
【圖 3】
(先前技術)



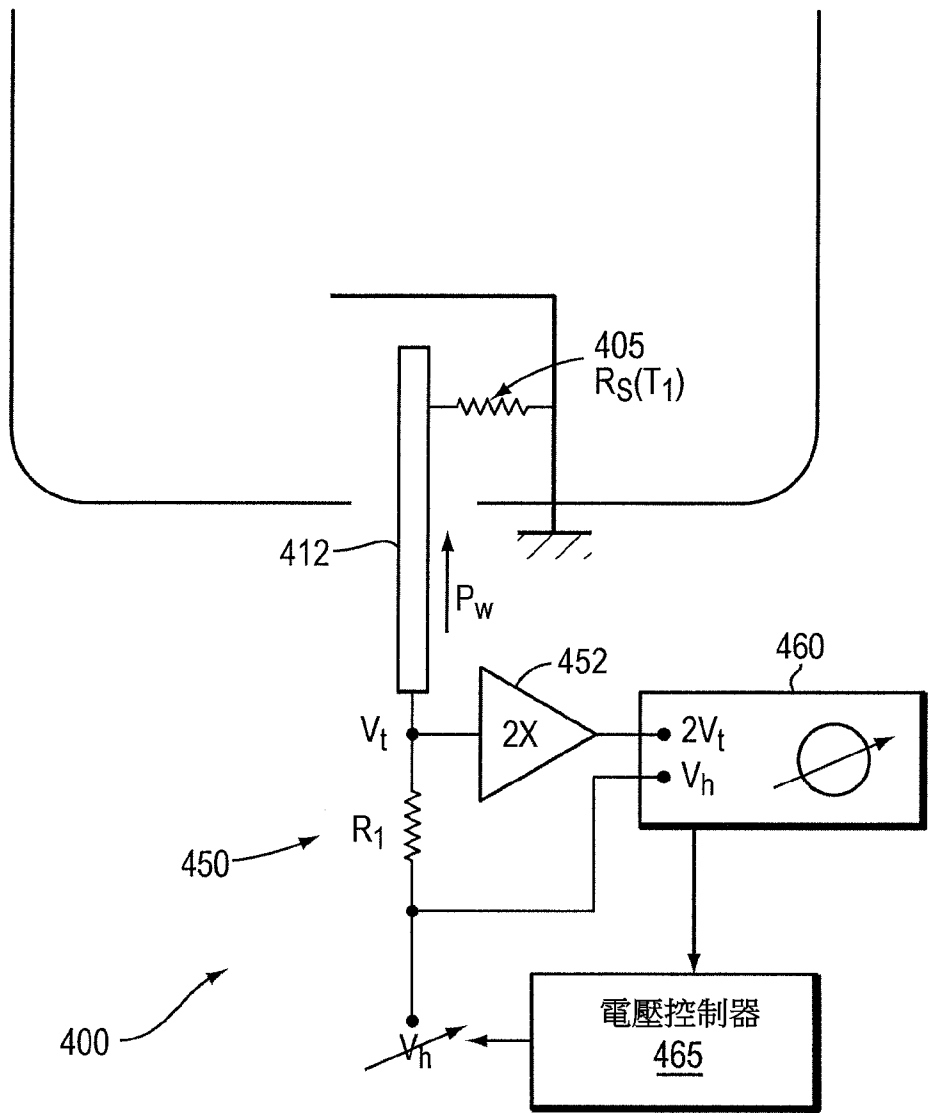
【圖 4】



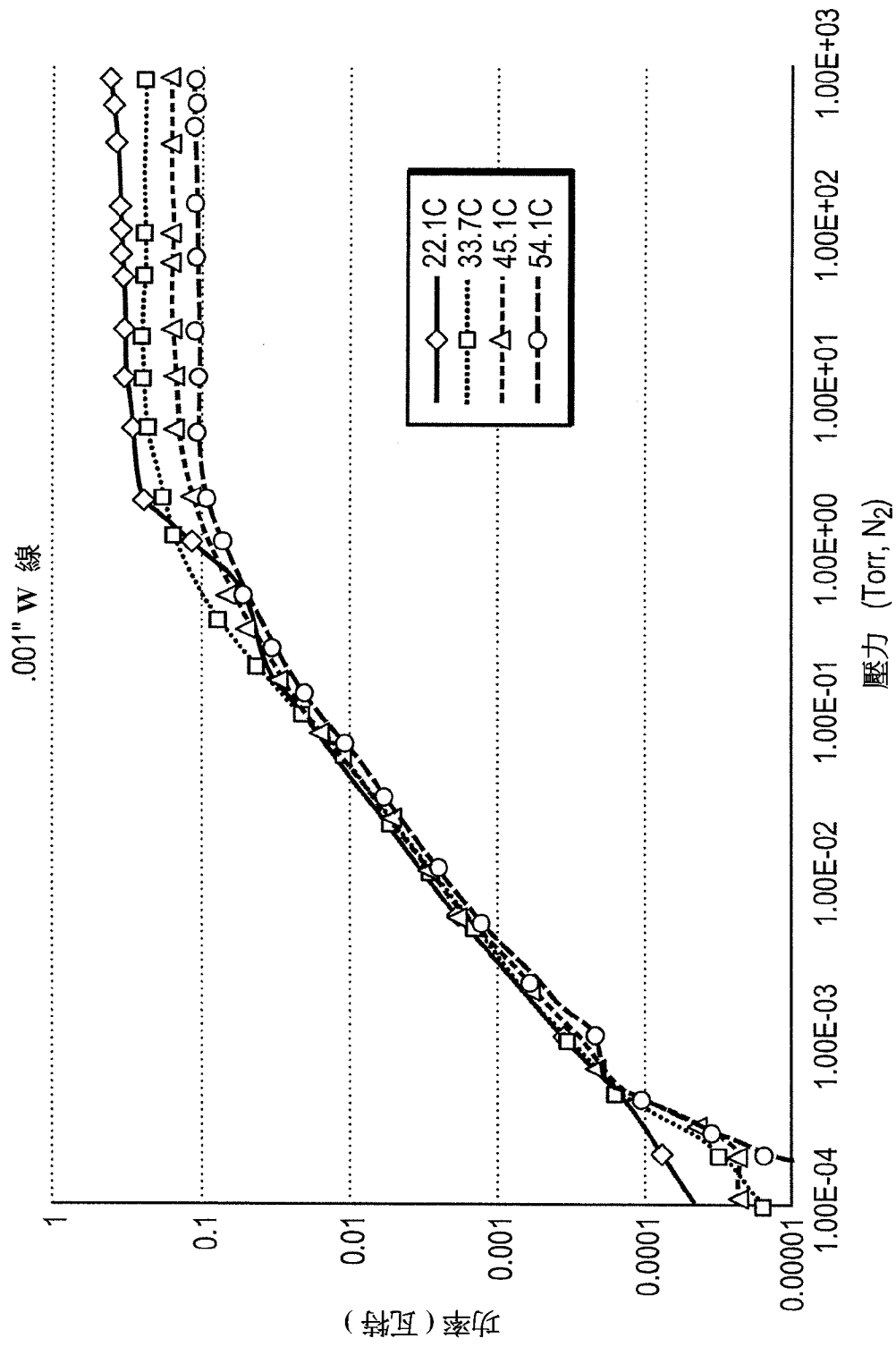
【圖 5A】



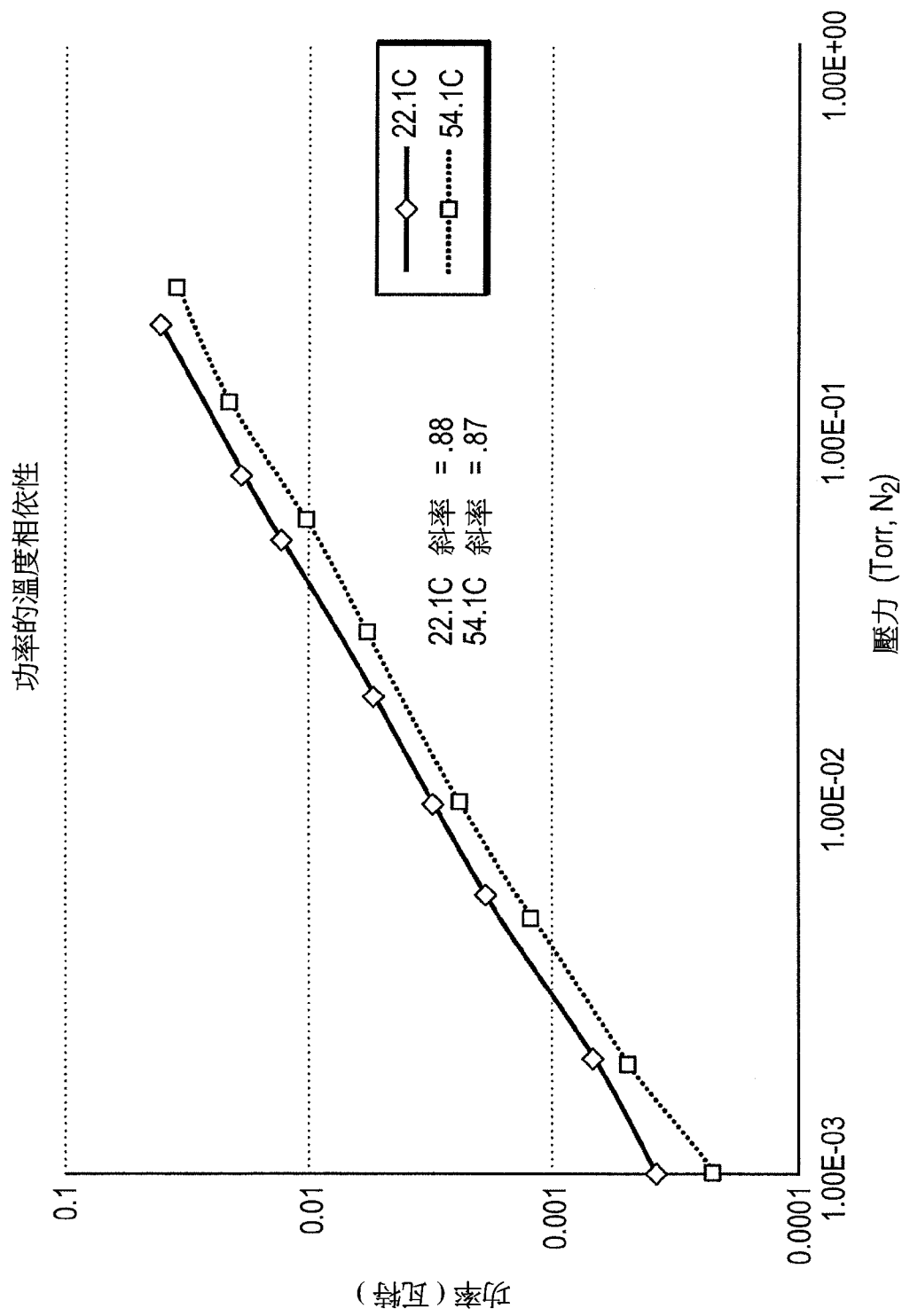
【圖 5B】



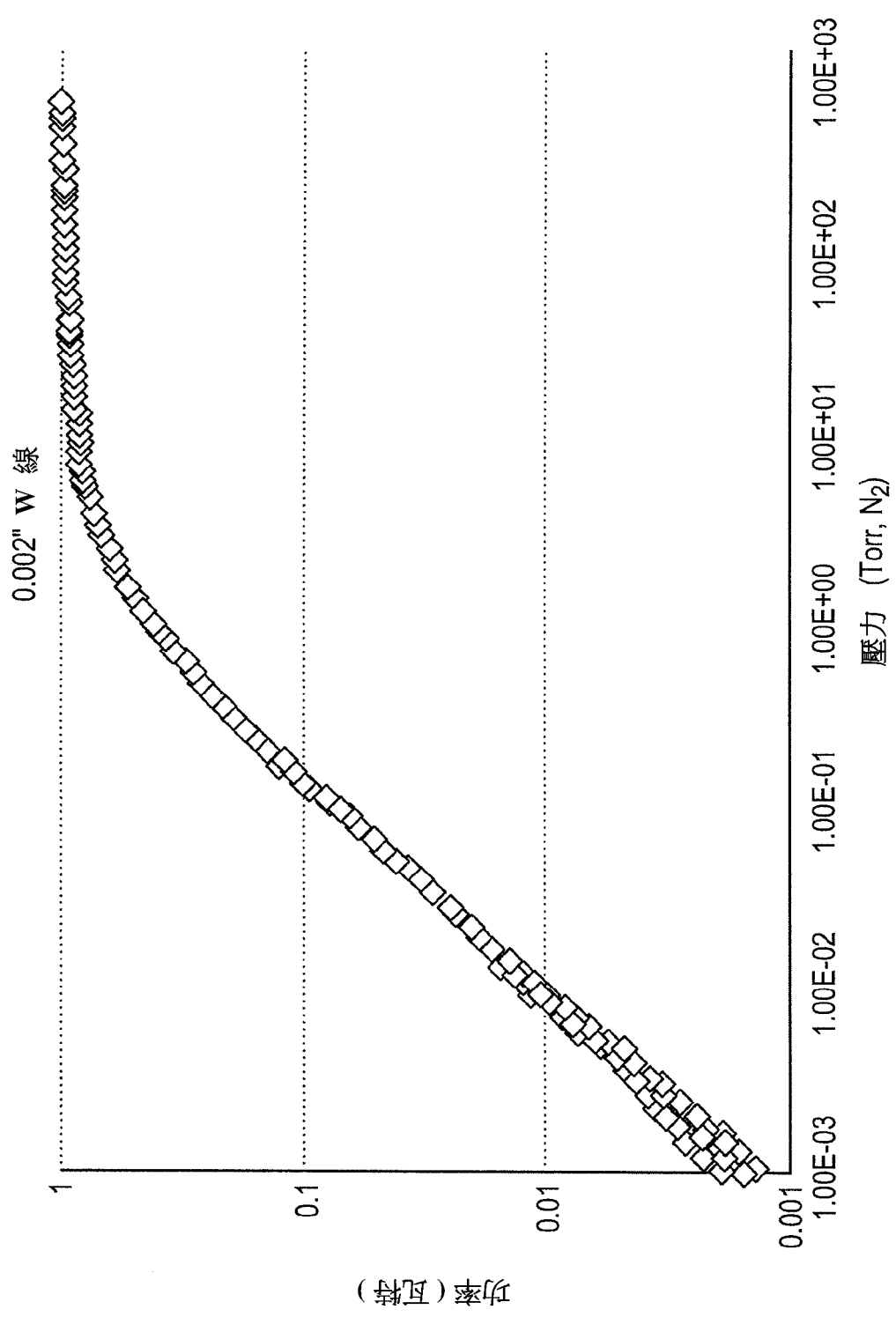
【圖 6】



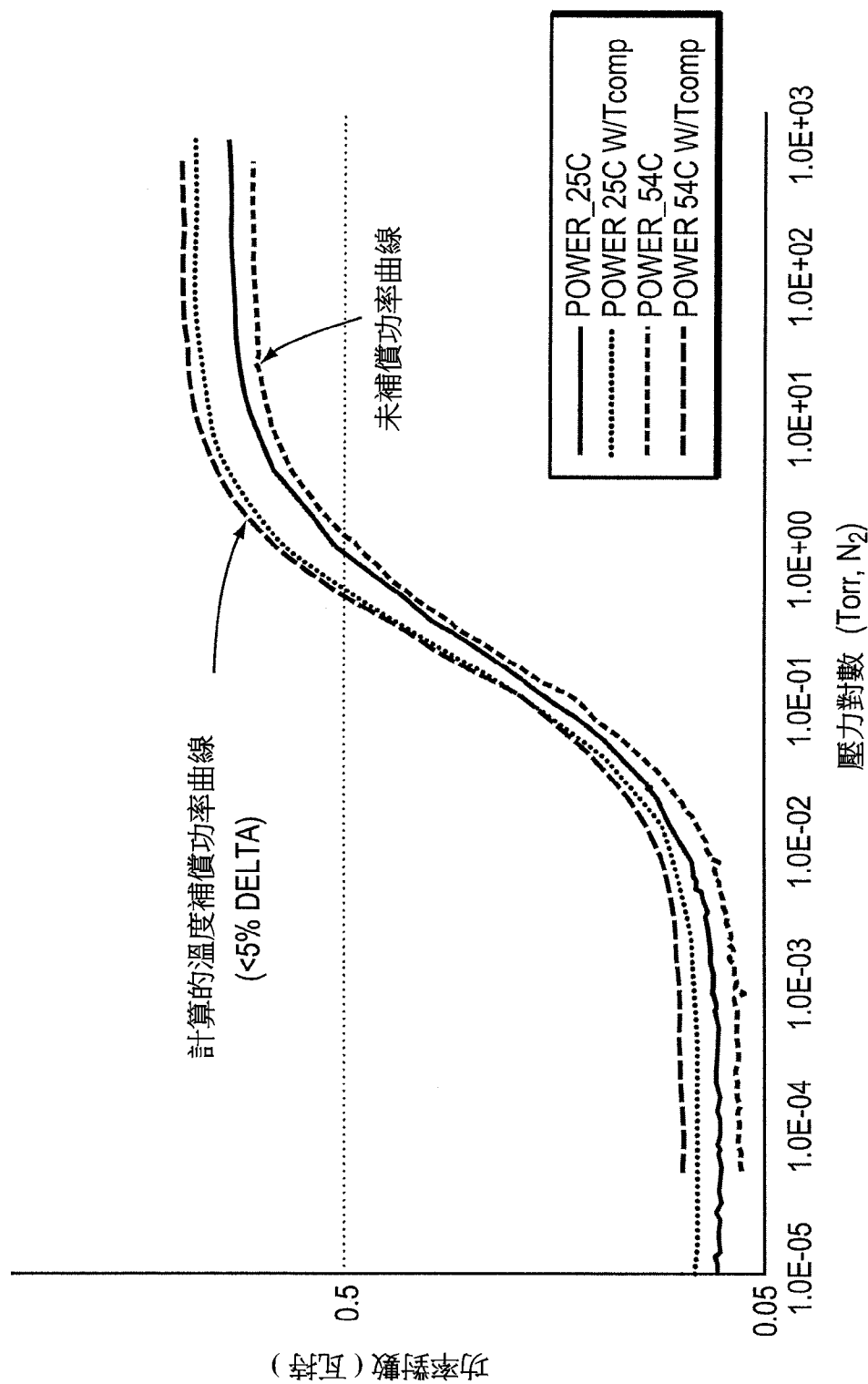
【圖 7A】



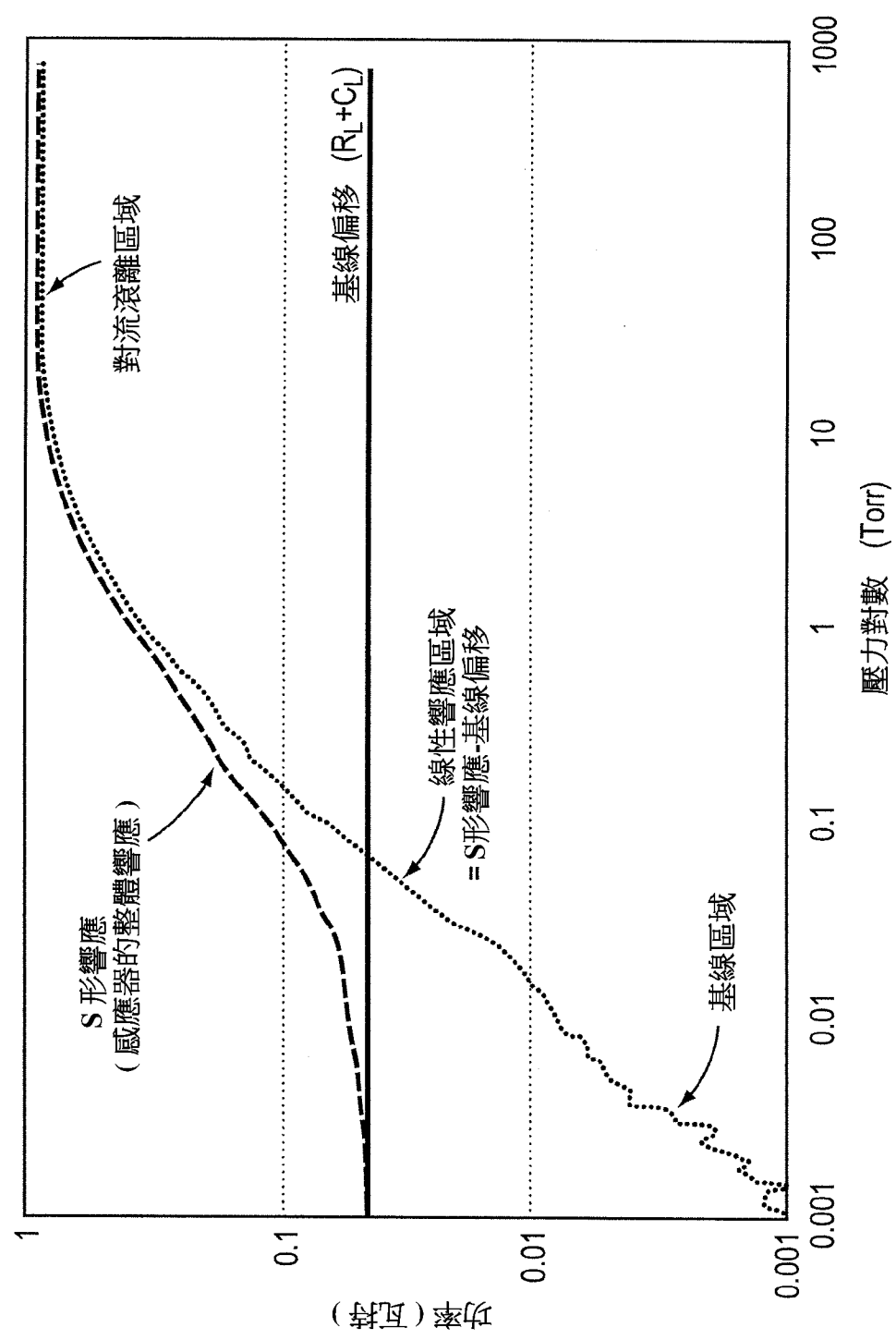
【圖 7B】



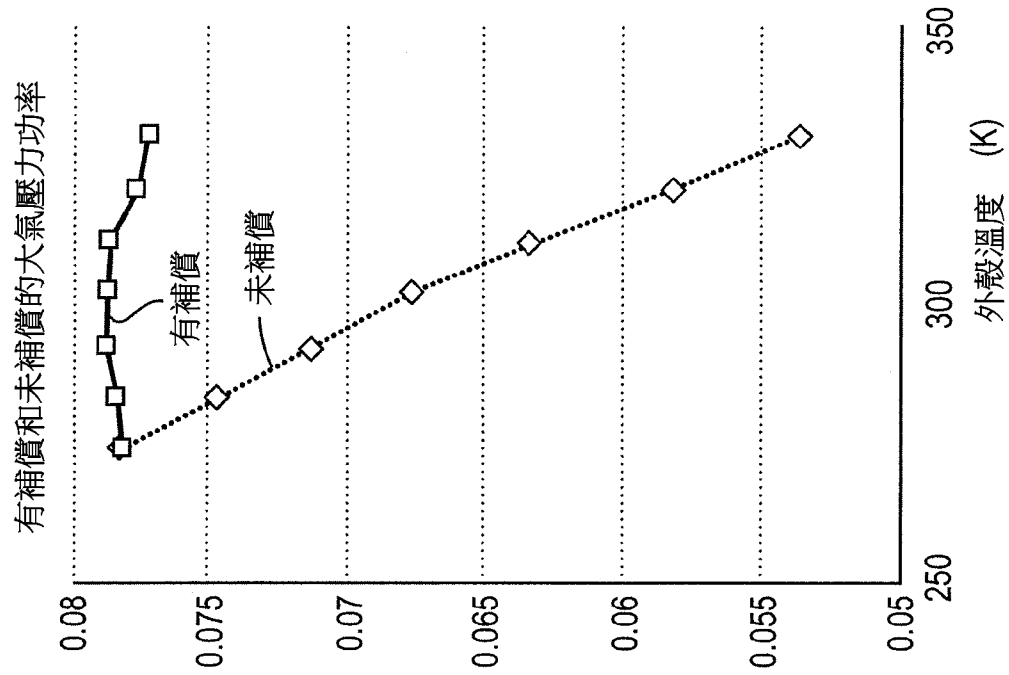
【圖 7C】



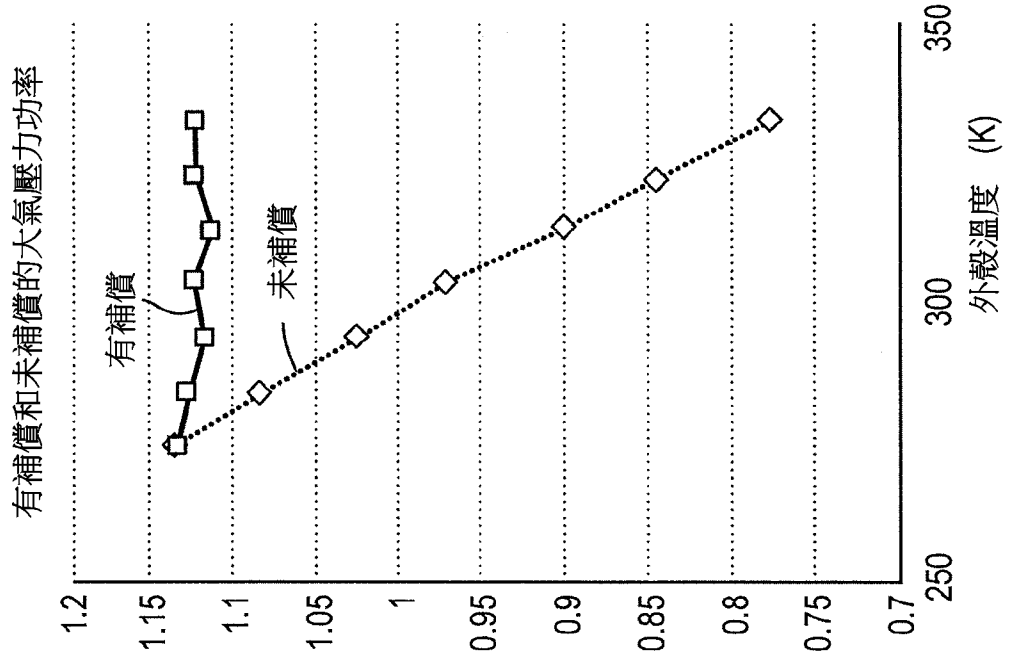
【圖 8A】



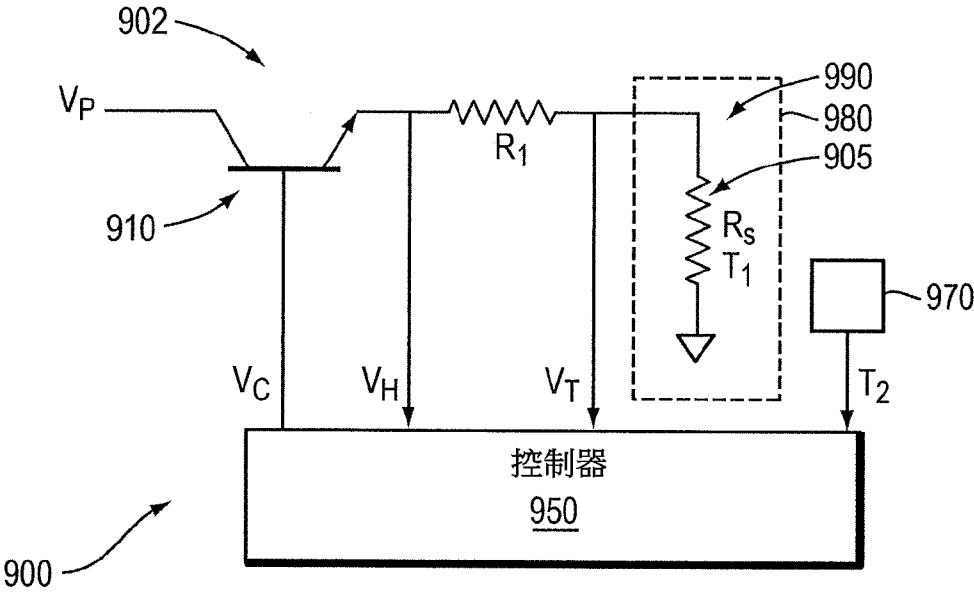
【圖 8B】



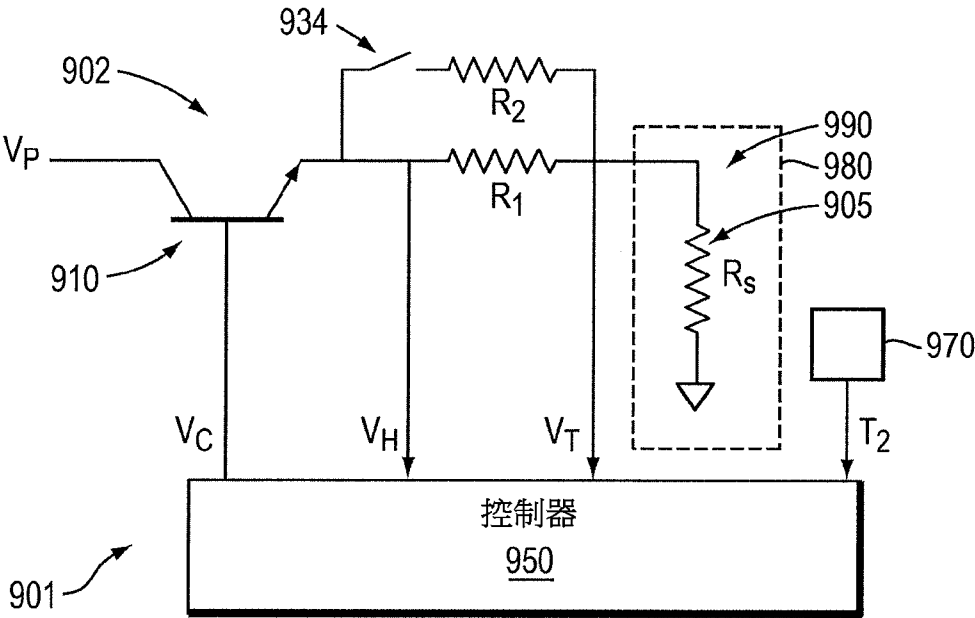
【圖 8D】



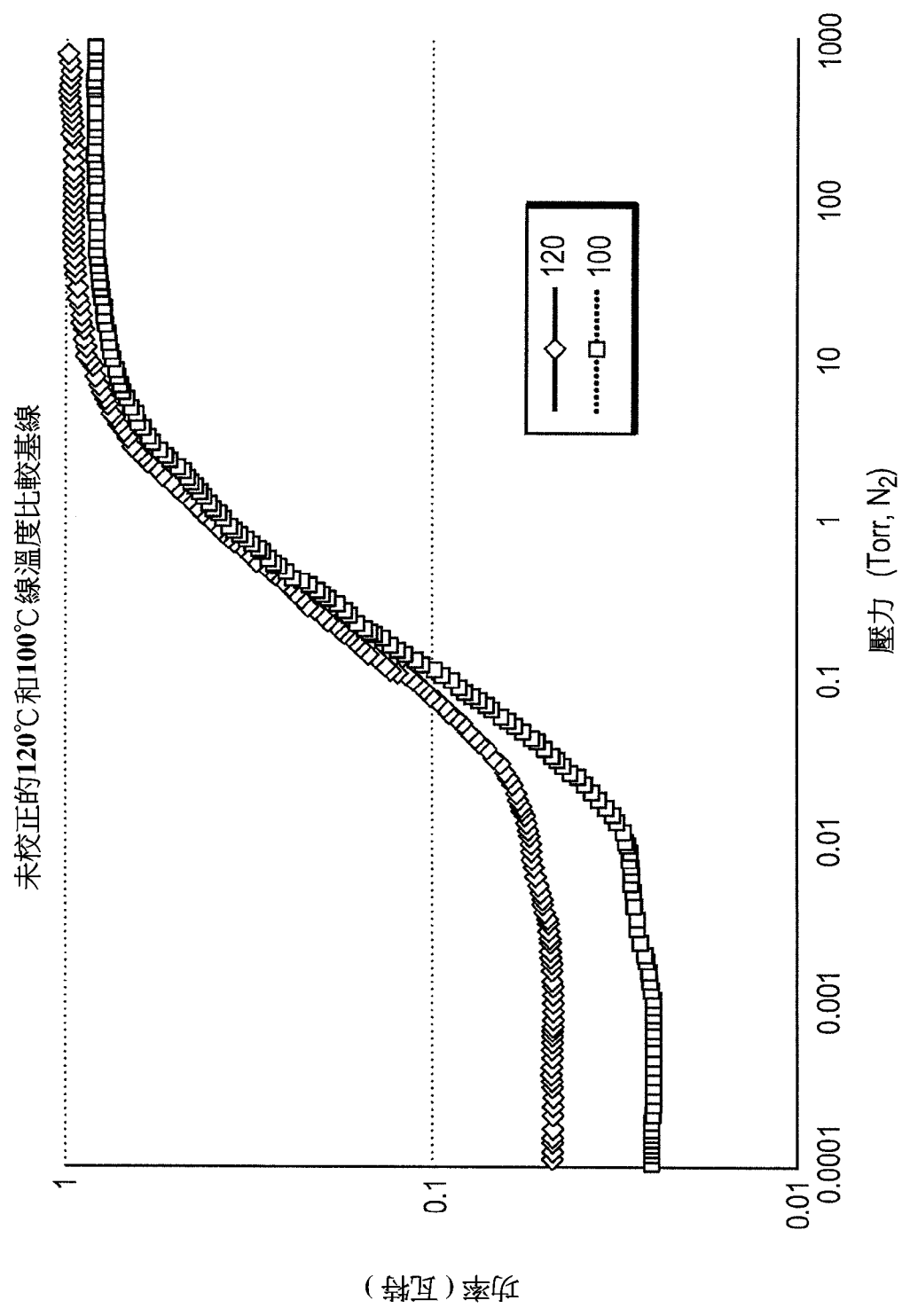
【圖 8C】



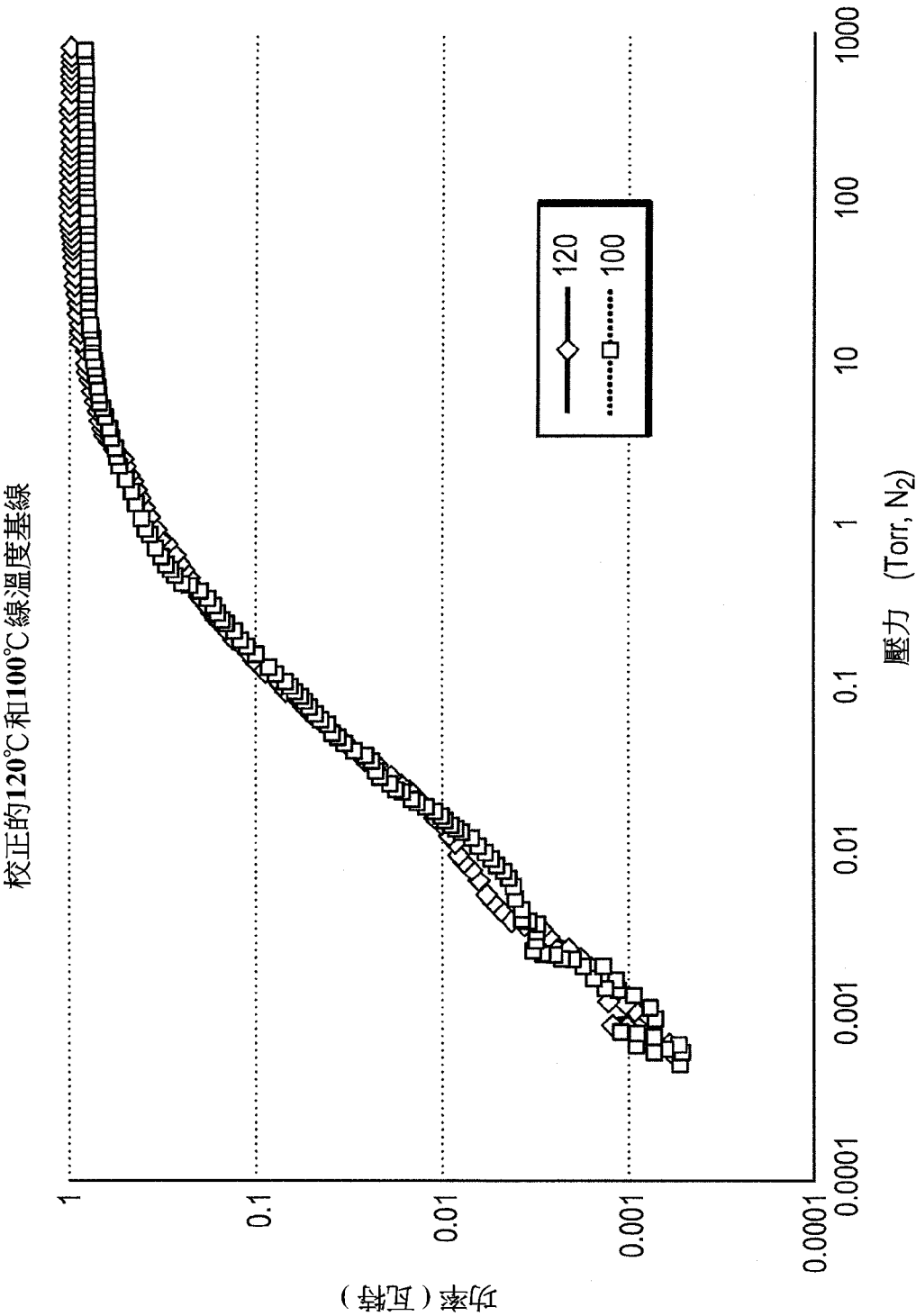
【圖 9A】



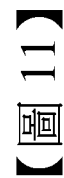
【圖 9B】

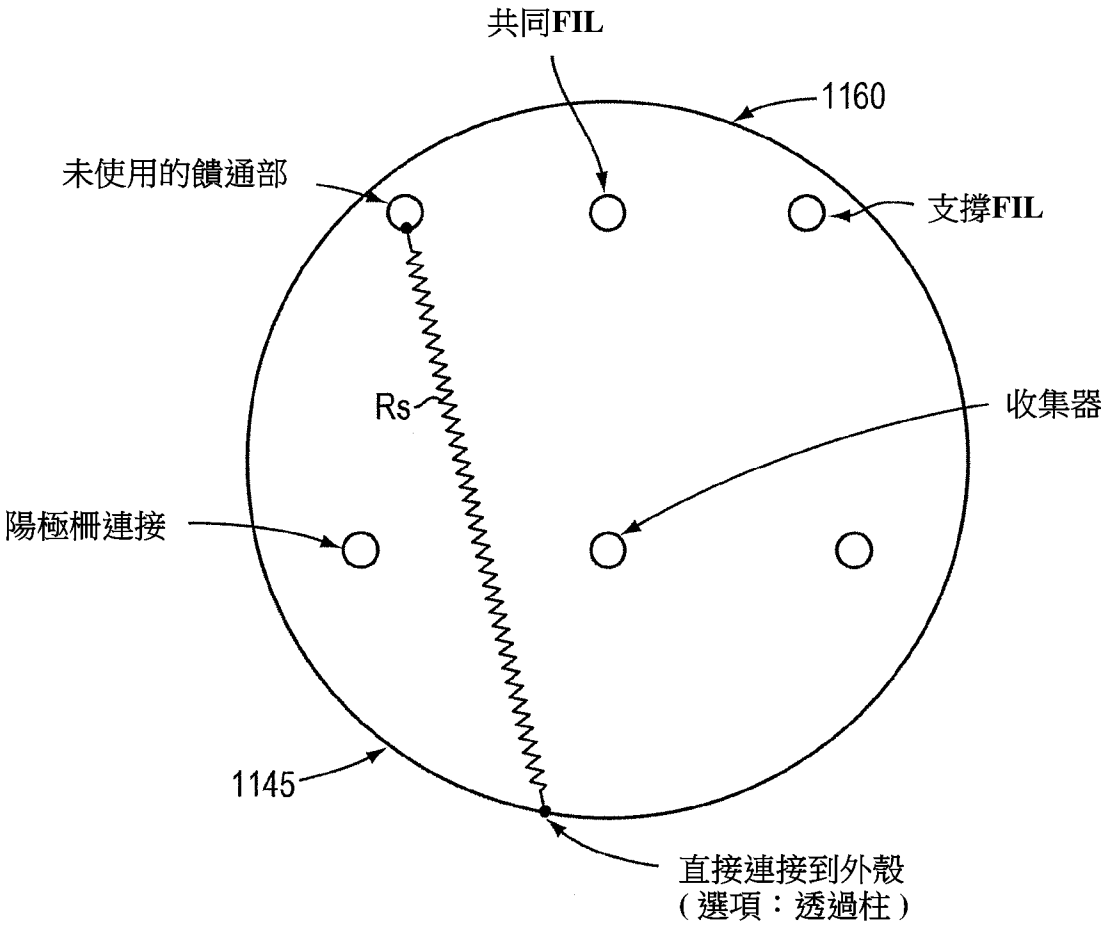


【圖 10A】

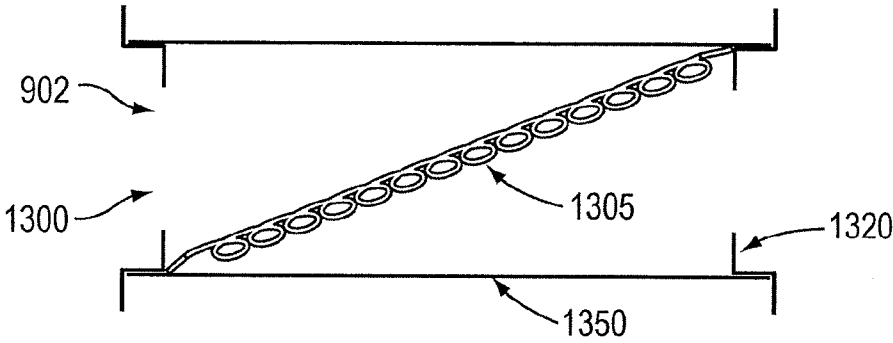


【圖 10B】

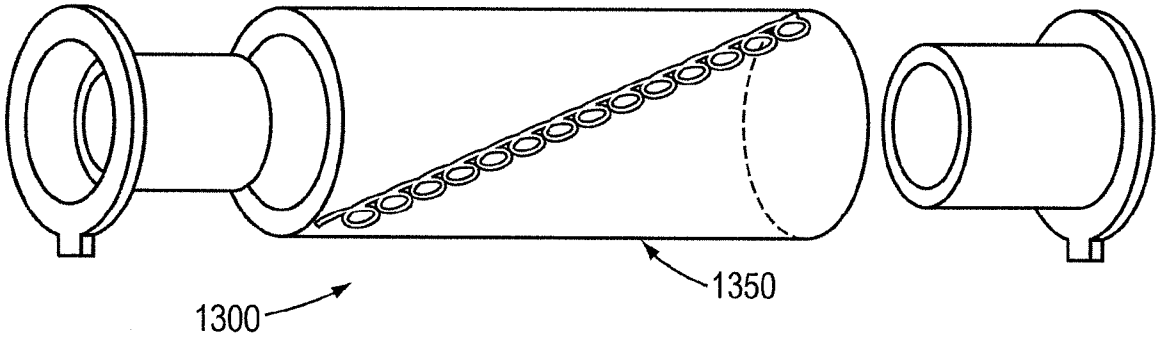




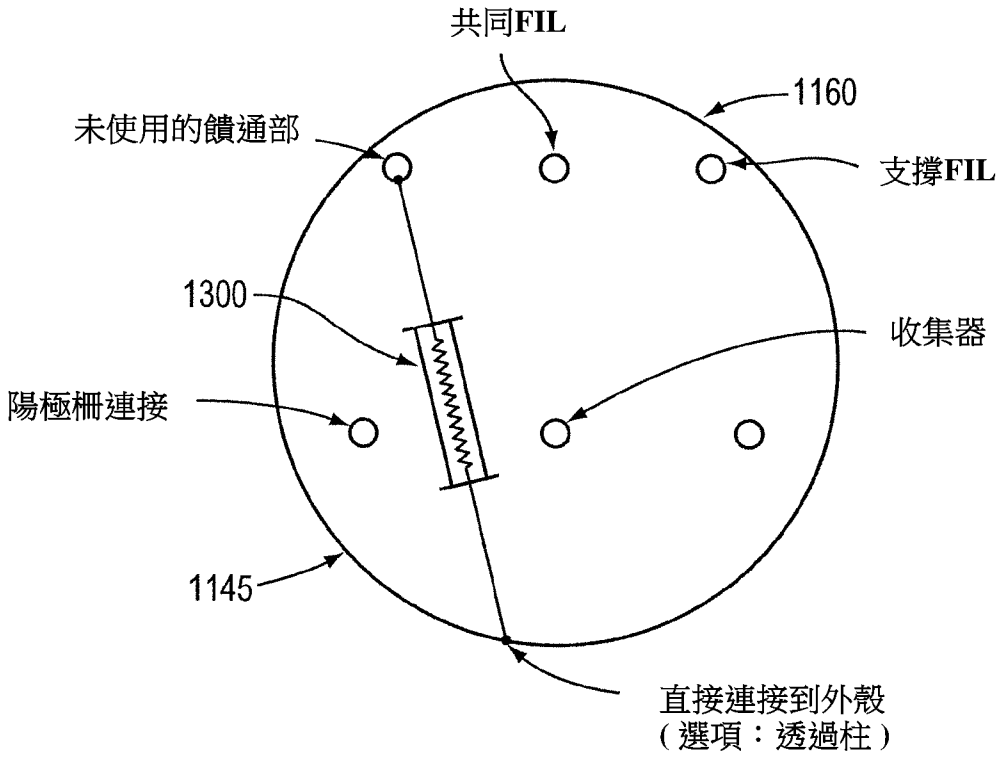
【圖 12】



【圖 13A】



【圖 13B】



【圖 13C】