



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 202445712 A

(43)公開日：中華民國 113 (2024) 年 11 月 16 日

(21)申請案號：113103083

(22)申請日：中華民國 113 (2024) 年 01 月 26 日

(51)Int. Cl. : H01L21/66 (2006.01)

H01L21/67 (2006.01)

(30)優先權：2023/01/27 日本

2023-011118

(71)申請人：日商堀場 S T E C 股份有限公司 (日本) HORIBA STEC, CO., LTD. (JP)  
日本

(72)發明人：林大介 HAYASHI, DAISUKE (JP)；瀧尻興太郎 TAKIJIRI, KOTARO (JP)

(74)代理人：許世正

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：10 項 圖式數：9 共 30 頁

(54)名稱

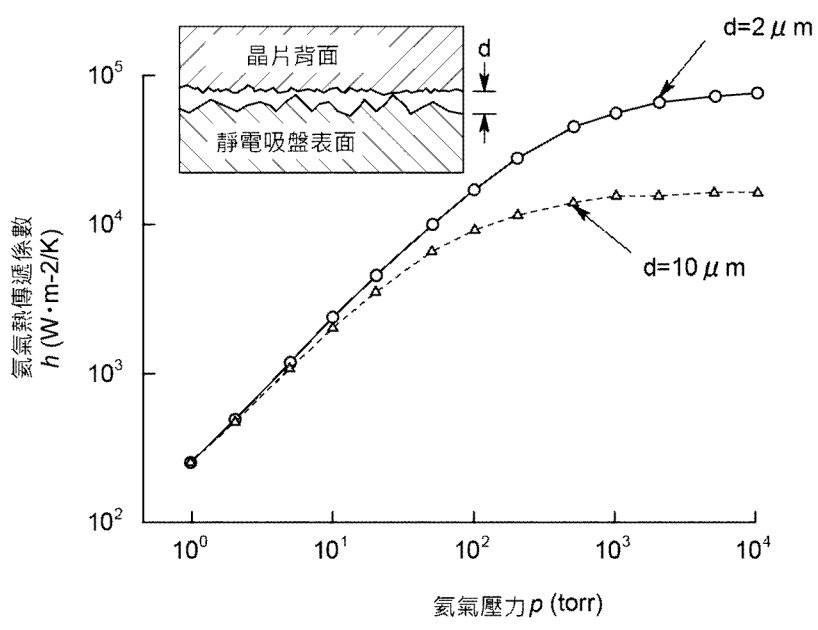
晶片溫度控制裝置、晶片溫度控制方法及存儲介質

(57)摘要

本發明提供晶片溫度控制裝置、晶片溫度控制方法及存儲介質。本發明提供一種晶片溫度控制裝置，通過調整氣體的壓力來控制晶片的溫度，預測將來的晶片溫度，將晶片溫度控制為目標溫度，在被溫度調整後的板載置晶片，向板與晶片之間供給氣體，對晶片的溫度進行控制，具備：壓力調整器，調整氣體的壓力；附近溫度感測器，測定晶片的附近溫度；以及壓力控制部，基於由附近溫度感測器測定的附近溫度和晶片的目標溫度，通過模型預測控制對向壓力調整器輸入的壓力操作量進行控制，壓力控制部使用根據氣體的壓力求出的板與晶片之間的熱傳遞率作為變數的模型，作為模型預測控制的預測模型。

This invention is a wafer temperature control device that controls a temperature of a wafer by adjusting pressure of a gas, that predicts future temperature of the wafer and controls the temperature of the wafer to target temperature, and the wafer is placed on the temperature adjusted plate and the gas is supplied between the plate and the wafer to control the wafer temperature. The wafer temperature control device comprises a pressure regulator that adjusts the pressure of the gas, a vicinity temperature sensor that measures the vicinity temperature of the wafer, and a pressure control unit that controls a pressure operation amount input to the pressure regulator by model predictive control based on the vicinity temperature measured by the vicinity temperature sensor and target temperature of the wafer, and the pressure control unit uses a model, in which a heat transfer coefficient between the plate and the wafer is a variable obtained from the pressure of the gas, as a predictive model for the model predictive control.

指定代表圖：



【圖2】

## 【發明摘要】

【中文發明名稱】 晶片溫度控制裝置、晶片溫度控制方法及存儲介質

【英文發明名稱】 Wafer temperature control device, wafer temperature control method and memory

【中文】

本發明提供晶片溫度控制裝置、晶片溫度控制方法及存儲介質。本發明提供一種晶片溫度控制裝置，通過調整氣體的壓力來控制晶片的溫度，預測將來的晶片溫度，將晶片溫度控制為目標溫度，在被溫度調整後的板載置晶片，向板與晶片之間供給氣體，對晶片的溫度進行控制，具備：壓力調整器，調整氣體的壓力；附近溫度感測器，測定晶片的附近溫度；以及壓力控制部，基於由附近溫度感測器測定的附近溫度和晶片的目標溫度，通過模型預測控制對向壓力調整器輸入的壓力操作量進行控制，壓力控制部使用根據氣體的壓力求出的板與晶片之間的熱傳遞率作為變數的模型，作為模型預測控制的預測模型。

【英文】

This invention is a wafer temperature control device that controls a temperature of a wafer by adjusting pressure of a gas, that predicts future temperature of the wafer and controls the temperature of the wafer to target temperature, and the wafer is placed on the temperature adjusted plate and the gas is supplied

between the plate and the wafer to control the wafer temperature. The wafer temperature control device comprises a pressure regulator that adjusts the pressure of the gas, a vicinity temperature sensor that measures the vicinity temperature of the wafer, and a pressure control unit that controls a pressure operation amount input to the pressure regulator by model predictive control based on the vicinity temperature measured by the vicinity temperature sensor and target temperature of the wafer, and the pressure control unit uses a model, in which a heat transfer coefficient between the plate and the wafer is a variable obtained from the pressure of the gas, as a predictive model for the model predictive control.

【指定代表圖】 圖 2。

【代表圖之符號簡單說明】

無。

【特徵化學式】

無。

【發明說明書】

【中文發明名稱】 晶片溫度控制裝置、晶片溫度控制方法及存儲介質

【英文發明名稱】 Wafer temperature control device, wafer temperature control method and memory

【技術領域】

【0001】 本發明涉及晶片溫度控制裝置、晶片溫度控制方法及存儲介質。

【先前技術】

【0002】 以往，在例如成膜處理等半導體製造工藝中，將作為處理對象的晶片載置在靜電吸盤等板上進行處理。此處，為了將晶片的溫度控制為規定的目標溫度，對靜電吸盤等板進行溫度調整。

【0003】 並且，由於載置有晶片的板配置在真空等低壓環境下，所以如專利文獻 1 所示，為了促進從被溫度調整的板向晶片的熱傳遞，可以考慮向板與晶片之間供給氮氣等熱傳遞氣體。

【0004】 此處，熱傳遞率因向板與晶片之間供給的熱傳遞氣體的壓力而不同，因此需要調整該熱傳遞氣體的壓力。

【0005】 但是，即使調整熱傳遞氣體的壓力，由於各種技術限制，也難以控制載置於板的晶片本身的溫度。

【0006】 專利文獻 1：日本專利公開公報第 4034344 號

【0007】 另一方面，本申請發明人考慮在上述結構中，將從被

溫度調整的板向晶片的熱傳遞模組化，應用模型預測控制（MPC：Model Predictive Control）。此處，對於模型預測控制的狀態方程式，為了簡化模型並且減小計算負荷，考慮在狀態向量的係數矩陣（A 矩陣）及輸入向量的係數矩陣（B 矩陣）中使用根據物性值求出的常數。

【0008】 然而，如上所述，由於熱傳遞率根據向板與晶片之間供給的氣體的壓力而不同，所以在熱傳遞率隨時間變化的模型中，如果在狀態向量的係數矩陣（A 矩陣）中使用常數（固定的熱傳遞率），則難以高精度地將晶片溫度控制為目標溫度。

#### 【發明內容】

【0009】 因此，本發明是為了解決上述問題而完成的，其課題在於，在通過調整氣體的壓力來控制晶片的溫度的裝置中，預測將來的晶片溫度，將晶片溫度控制為目標溫度。

【0010】 即，本發明的晶片溫度控制裝置在被溫度調整後的板載置晶片，向所述板與所述晶片之間供給氣體，對所述晶片的溫度進行控制，其特徵在於，具備：壓力調整器，調整所述氣體的壓力；附近溫度感測器，測定所述晶片的附近溫度；以及壓力控制部，基於由所述附近溫度感測器測定的附近溫度和所述晶片的目標溫度，通過模型預測控制對向所述壓力調整器輸入的壓力操作量進行控制，所述壓力控制部使用將所述板與所述晶片之間的熱傳遞係數作為根據所述氣體的壓力求出的變數的模型，作為

所述模型預測控制的預測模型。

【0011】 如果是這樣的晶片溫度控制裝置，則由於使用將板與晶片之間的熱傳遞係數作為根據氣體的壓力求出的變數的模型作為模型預測控制的預測模型，所以能夠預測將來的晶片溫度，將晶片溫度控制為目標溫度。

【0012】 此處，附近溫度例如是相對於晶片處於規定距離以內的部件或空間的溫度，包括能夠構築在晶片溫度與附近溫度之間表示關係性的溫度模型的溫度。此外，附近溫度包括與晶片直接接觸的部件的溫度、存在與晶片的界面的空間或氣體的溫度、或者相對於晶片 W 隔著幾  $\mu\text{m}$  的間隙存在的部件的溫度。附近溫度也可以包括通過傳導、對流或放射的至少一種而能夠在與晶片之間產生熱的傳導或傳遞的部件的溫度。

【0013】 為了高精度地預測將來的晶片溫度，優選用於所述預測模型的所述熱傳遞係數根據所述氣體的壓力具有非線性或線性的關係。

【0014】 作為壓力控制部的具體實施方式，考慮所述壓力控制部在所述模型預測控制中使用在狀態向量的係數矩陣作為參數包含所述氣體的壓力的狀態方程式控制所述壓力操作量。

【0015】 作為具體的壓力控制部的方式，考慮所述壓力控制部在所述模型預測控制中使用在狀態向量的係數矩陣中包含所述氣體的壓力作為參數的狀態方程式對所述壓力操作量進行控制。

【0016】 具體而言，考慮所述壓力控制部每當計算所述預測軌跡時，使用輸入到所述壓力調整器的壓力操作量或由所述壓力調整器調整後的壓力計算所述係數矩陣。

【0017】 考慮所述壓力控制部在所述模型預測控制中決定所述壓力操作量，以使得評價函數最小化，所述評價函數關於與所述晶片的溫度相關的參照軌跡和與所述晶片的溫度相關的預測軌跡的偏差。此處，考慮所述壓力控制部使用加權最小二乘法作為所述評價函數。這樣，通過使用加權最小二乘法作為評價函數，不需要反復計算，能夠減少計算量。

【0018】 在所述板設定有所述晶片的目標溫度互不相同的多個區域，能夠適當地使用本發明的模型預測控制。

【0019】 此外，本發明的晶片溫度控制方法在被溫度調整後的板載置晶片，向所述板與所述晶片之間供給氣體，對所述晶片的溫度進行控制，其特徵在於，通過壓力調整器調整所述氣體的壓力，通過附近溫度感測器測定所述晶片的附近溫度，基於由所述附近溫度感測器測定的附近溫度和所述晶片的目標溫度，通過模型預測控制對向所述壓力調整器輸入的壓力操作量進行控制，使用將所述板與所述晶片之間的熱傳遞係數作為根據所述氣體的壓力求出的變數的模型，作為所述模型預測控制的預測模型。

【0020】 進而，本發明的晶片溫度控制程式用於晶片溫度控制裝置，其特徵在於，所述晶片溫度控制裝置在被溫度調整後的



板載置晶片，向所述板與所述晶片之間供給氣體，對所述晶片的溫度進行控制，具備：壓力調整器，調整所述氣體的壓力；以及附近溫度感測器，測定所述晶片的附近溫度，所述晶片溫度控制程式使電腦具備作為壓力控制部的功能，所述壓力控制部基於由所述附近溫度感測器測定的附近溫度和所述晶片的目標溫度，通過模型預測控制對向所述壓力調整器輸入的壓力操作量進行控制，所述壓力控制部使用將所述板與所述晶片之間的熱傳遞係數作為根據所述氣體的壓力求出的變數的模型，作為所述模型預測控制的預測模型。

【0021】 另外，晶片溫度控制程式可以是以電子方式分發的程式，也可以是記錄在 CD、DVD 或快閃記憶體等程式記錄介質中的程式。

【0022】 這樣，根據本發明，在通過調整氣體的壓力來控制晶片的溫度的裝置中，能夠預測將來的晶片溫度，並將晶片溫度控制為目標溫度。

#### 【圖式簡單說明】

【0023】 圖 1 是示意地表示本發明的一個實施方式的晶片溫度控制裝置的結構的立體圖。

【0024】 圖 2 是表示向晶片與吸附板之間供給的熱傳遞氣體的壓力和晶片與吸附板之間的熱傳遞係數的關係的圖。

【0025】 圖 3 是表示該實施方式的模型預測控制的機制的圖。

【0026】 圖 4 是表示用於該實施方式的模型預測控制的控制對象模型的圖。

【0027】 圖 5 是表示在該實施方式的模型預測控制中，不區別互不相同的兩個區域地標記的參照軌跡及預測軌跡的圖。

【0028】 圖 6 是表示該實施方式的模型預測控制的狀態方程式及參照軌跡的圖。

【0029】 圖 7 是表示該實施方式的模型預測控制的基於自由回應的預測值、基於階躍回應的預測值及預測軌跡的圖。

【0030】 圖 8 是表示該實施方式的模型預測控制的評價函數的圖。

【0031】 圖 9 是表示使用該實施方式的晶片溫度控制裝置控制晶片的溫度的情況和在模型預測控制中將係數矩陣（ $A$  矩陣）的壓力固定為初始壓力固定而控制晶片的溫度的情況（比較例）的模擬結果的圖。

#### 【實施方式】

【0032】 〈本發明的一個實施方式〉

【0033】 以下，參照附圖對本發明的晶片溫度控制裝置的一個實施方式進行說明。

【0034】 另外，為了便於理解，對於以下所示的任意的圖適當省略或誇張而示意地描繪。對相同的構成要素標注相同的附圖標記並適當省略說明。

【0035】 〈 1.晶片溫度控制裝置的基本結構〉

【0036】 本實施方式的晶片溫度控制裝置 100 例如用於進行成膜處理等半導體製造工藝的半導體製造裝置，例如構成為在真空腔室內靜電卡吸晶片 W 的背面。

【0037】 具體而言，如圖 1 所示，晶片溫度控制裝置 100 具備在上表面載置晶片 W 的吸附板 2 和調整吸附板 2 的溫度的溫度調整器 3。

【0038】 吸附板 2 構成以靜電吸附力保持晶片 W 的所謂的靜電吸盤。本實施方式的吸附板 2 是呈大致圓板狀的陶瓷板，其上表面成為吸附晶片 W 的吸附面 2a。在吸附板 2 的內部設置有用於在吸附板 2 與晶片 W 之間產生靜電力的靜電電極（未圖示）。

【0039】 溫度調整器 3 將吸附板 2 的溫度溫度調整為預先設定的溫度，具有加熱吸附板 2 的加熱器 31 以及冷卻吸附板 2 的冷卻器 32。另外，作為溫度調整器 3，也可以是不具有加熱器 31 的結構。

【0040】 加熱器 31 設置在吸附板 2 的內部，具有用於加熱吸附板 2 的多個加熱電極 31a。多個加熱電極 31a 由控制裝置 CTL 的加熱控制部 11a 控制所供給的電力，根據使用者設定的加熱操作量被分別獨立地控制。

【0041】 冷卻器 32 設置成與吸附板 2 的下表面接觸，具備呈大致圓板狀的底板 32a 以及形成在底板 32a 內的冷卻流路 32b。

【0042】 冷卻流路 32b 在底板 32a 的內部在俯視下形成為螺旋狀。在該冷卻流路 32b 連接有與例如冷卻器等冷卻源（未圖示）相連的導入流路 32c 及導出流路 32d。此外，在與冷卻流路 32b 連接的流路設置有控制製冷劑流量的控制閥 32e，該控制閥 32e 由控制裝置 CTL 的冷卻控制部 11b 控制其閥開度。

【0043】 此外，本實施方式的晶片溫度控制裝置 100 具備氣體供給機構 4，該氣體供給機構 4 向吸附板 2 與晶片 W 之間供給例如氮氣或氬氣等進行熱傳遞的氣體（以下，熱傳遞氣體）。

【0044】 該氣體供給機構 4 向吸附板 2 的吸附面 2a 與被吸附的晶片 W 的背面之間供給規定壓力的熱傳遞氣體。

【0045】 具體而言，氣體供給機構 4 具有形成在吸附板 2 的吸附面 2a 的氣體流通槽 41、向該氣體流通槽 41 供給熱傳遞氣體的氣體供給通道 42 以及調整向氣體流通槽 41 供給的熱傳遞氣體的壓力的壓力調整器 43。向氣體流通槽 41 供給的熱傳遞氣體從該氣體流通槽 41 流入吸附板 2 的吸附面 2a 與被吸附的晶片 W 的背面之間。

【0046】 氣體流通槽 41 例如具有從吸附板 2 的中心軸呈放射狀形成的多個直線槽以及從吸附板 2 的中心軸呈同心圓狀形成的多個圓形槽。此外，氣體供給通道 42 沿著吸附板 2 的中心軸形成，與熱傳遞氣體源（未圖示）連接。

【0047】 此外，壓力調整器 43 通過調整熱傳遞氣體的壓力，

能夠使從吸附板 2 向晶片 W 的熱傳遞率（晶片 W 與吸附板 2 之間的熱傳遞係數）變化。另外，在圖 2 中示出了向晶片 W 與吸附板 2 之間供給的熱傳遞氣體的壓力和晶片 W 與吸附板 2 之間的熱傳遞係數的關係。本實施方式的熱傳遞係數根據熱傳遞氣體的壓力而具有非線性的關係，但是也可以具有線性的關係。

【0048】 具體而言，壓力調整器 43 具有壓力感測器以及壓力控制閥，該壓力控制閥由控制裝置 CTL 的壓力控制部 12 控制其閥開度。

【0049】 此外，晶片溫度控制裝置 100 具備測定晶片 W 的附近溫度的附近溫度感測器 5。該附近溫度感測器 5 設置在底板 32a 的背面側，測定底板 32a 的溫度作為晶片 W 的附近溫度。本實施方式的附近溫度感測器 5 例如是輻射溫度計等紅外線感測器。另外，附近溫度感測器 5 也可以測定吸附板 2 的溫度作為晶片 W 的附近溫度。

## 【0050】 〈2.晶片溫度控制系統〉

【0051】 進而，晶片溫度控制裝置 100 具備至少控制溫度調整器 3 及壓力調整器 43 的動作的控制裝置 CTL。

【0052】 另外，控制裝置 CTL 是具備 CPU、存儲器、A/D 轉換器、D/A 轉換器和各種輸入輸出設備的所謂的電腦。並且，執行存儲在存儲器中的晶片溫度控制程式，通過各種設備協作，發揮作為控制溫度調整器 3 的動作的溫度控制部 11 和控制壓力調

整器 43 的動作的壓力控制部 12 的功能。

【0053】 本實施方式的溫度控制部 11 具有加熱控制部 11a 以及冷卻控制部 11b，進行控制，通過加熱控制部 11a 向加熱器 31 的各加熱電極 31a 供給固定電力，通過冷卻控制部 11b 使冷卻器 32 的控制閥 32e 的閥開度成為一定。即，溫度控制部 11 進行控制，在加熱器 31 及冷卻器 32 的動作中將它們的加熱操作量及冷卻操作量固定，使溫度調整器 3 的每單位時間的溫度調整量成為一定。另外，在加熱控制部 11a 及冷卻控制部 11b 中，加熱操作量及冷卻操作量不成為其他物性值（例如熱傳遞係數等）的變數，不包含在後述的係數矩陣（A 矩陣）中，因此不進行以下所示的由壓力控制部 12 進行的預測模型控制。

【0054】 壓力控制部 12 基於由附近溫度感測器 5 測定的附近溫度和晶片 W 的目標溫度，通過模型預測控制對調整熱傳遞氣體的壓力  $P_{HG}$  的壓力調整器 43 進行控制。

【0055】 此處，如圖 3 所示，模型預測控制是在各時刻一邊預測未來的回應一邊進行最優化的控制方法，通過在壓力控制部 12 的內部具有預測模型（控制對象模型），預測控制對象的從當前時刻起某個有限區間內的未來的舉動。另外，在圖 3 中，目標指令  $r(t)$  是晶片 W 的目標溫度，控制輸入  $u(t)$  是向壓力調整器 43 輸入的壓力操作量，控制輸出  $y(t)$  是由附近溫度感測器 5 測定的附近溫度。將從該控制對象測定的附近溫度值應用於壓力

控制部 12 的內部的預測模型，通過優化器決定新的控制輸入  $u(t)$ ，以使從當前時刻到規定時刻的跟蹤誤差最小化。

【0056】 在圖 4 中示出用於該模型預測控制的控制對象模型。本實施方式的控制對象模型呈同心圓狀設定有兩個加熱區域，具有位於中央部的圓形狀的加熱區域 (Zone1) 和位於外周部的圓環狀的加熱區域 (Zone2)。並且，在該吸附板 2 中，中央部的加熱區域的目標溫度是  $T_{W1\_SET}$ ，外周部的加熱區域的目標溫度是  $T_{W2\_SET}$ 。另外，在圖 5 中示出不區別互不相同的兩個區域地標記的參照軌跡及預測軌跡。

【0057】 在圖 4 所示的控制對象模型中，Zone1 的晶片溫度  $T_{W1}$  的時間變化（在  $T_{W1}$  上加點表示的變數）及 Zone2 的晶片溫度  $T_{W2}$  的時間變化（在  $T_{W2}$  上加點表示的變數）能夠由如下四項表示，即，A 項：向外部的熱輻射；B 項：區段間的熱移動；C 項：層間的熱移動；以及 D 項：熱供給。另外，A 項所示的熱輻射與溫度的四次方成比例，但是 A 項本身是較小的值，此處為了簡化計算，方便起見而設為一次方。

【0058】 具體而言，如上所述，壓力控制部 12 使用將吸附板 2 與晶片 W 之間的熱傳遞係數作為根據熱傳遞氣體的壓力  $P_{HG}$  求出的變數的模型作為模型預測控制的預測模型（控制對象模型）。更詳細來說，壓力控制部 12 基於由附近溫度感測器 5 測定的附近溫度  $T_{P1}$ 、 $T_{P2}$  以及晶片 W 的目標溫度  $T_{W1\_SET}$ 、 $T_{W2\_SET}$ ，通過

模型預測控制對向壓力調整器 43 輸入的壓力操作量進行控制。

【0059】 此處，壓力控制部 12 在模型預測控制中使用在狀態向量的係數矩陣（A 矩陣）中包含熱傳遞氣體的壓力  $P_1$ 、 $P_2$  作為參數的狀態方程式對壓力操作量進行控制。此處，之所以在狀態向量的係數矩陣（A 矩陣）中包含熱傳遞氣體的壓力  $P_1$ 、 $P_2$  是因為晶片與吸附板之間的熱傳遞率  $\alpha_1(P_1)$ 、 $\alpha_2(P_2)$  根據熱傳遞氣體的壓力  $P_1$ 、 $P_2$  而變化。

【0060】 具體而言，壓力控制部 12 使用圖 6 所示的狀態方程式。

【0061】 在該狀態方程式中，與狀態向量相關的係數矩陣（A 矩陣）是表示被分割的每個區段（區域）的熱傳遞率及熱容量的矩陣，包含根據熱傳遞氣體的壓力  $P_1$ 、 $P_2$  求出的晶片 W 與吸附板 2 之間的熱傳遞率  $\alpha_1(P_1)$ 、 $\alpha_2(P_2)$ 。此外，在狀態方程式中，與輸入向量相關的係數矩陣（B 矩陣）是表示將晶片與吸附板間的熱傳遞率  $\alpha_1(P_1)$ 、 $\alpha_2(P_2)$  及來自外部氣體的穩定的熱供給  $q_1$ 、 $q_2$  轉換為溫度變化的係數的矩陣。進而，模型預測控制中的參照軌跡表示從當前時刻的溫度以指數函數接近設定溫度的理想的軌跡，如圖 6 所示。

【0062】 並且，壓力控制部 12 在模型預測控制中，每當計算與晶片 W 的溫度相關的預測軌跡時計算係數矩陣（A 矩陣），使用通過該計算而更新的係數矩陣（A 矩陣）計算下一個預測軌跡。



【0063】 具體而言，如圖 5 至圖 7 所示，壓力控制部 12 計算根據狀態方程式求出的預測軌跡，具體而言，使用基於自由回應的預測值和基於階躍回應的預測值，計算預測軌跡。

【0064】 基於自由回應的預測值表示保持當前（時刻  $k$ ）的輸入  $P_1(k)$ 、 $P_2(k)$  不變的狀態下的今後  $N_p$  步量的軌跡。

【0065】 基於階躍回應的預測值表示將輸入  $P_1(k)$  設為  $P_1(k) + 1$  的情況和將  $P_2(k)$  設為  $P_2(k) + 1$  的情況下的今後的  $N_p$  步量的軌跡以及當前溫度  $T_{w1}(k)$ 、 $T_{w2}(k)$  之差（變化量）。

【0066】 此處，由於輸入  $P_1(k)$ 、 $P_2(k)$  被依次更新，所以需要每小時計算並求出。用於該基於階躍回應的預測值的輸入  $P_1(k)$ 、 $P_2(k)$  是輸入到壓力調整器 43 的壓力操作量或由壓力調整器 43 調整後的壓力。

【0067】 並且，如圖 8 所示，壓力控制部 12 在模型預測控制中決定壓力操作量，以使得使用了和與晶片  $W$  的溫度相關的參照軌跡及與晶片  $W$  的溫度相關的預測軌跡的偏差相關的加權最小二乘法的評價函數最小化。另外，在評價函數中，為了防止發生振盪，追加減小壓力的項  $r_1$ 、 $r_2$ ，儘量減小該項  $r_1$ 、 $r_2$ 。這樣，通過使用加權最小二乘法作為評價函數，不需要反復計算，能夠減少計算量。另外，作為評價函數，在因約束條件的制約等而不能解析地求解的情況下，可以使用打靶法、梯度下降法或牛頓疊代法等探索性地求解的方式。

**【0068】** 〈 3.模擬結果 〉

**【0069】** 接著，在圖 9 中示出使用本實施方式的晶片溫度控制裝置 100 控制晶片 W 的溫度的情況和在模型預測控制中將係數矩陣（A 矩陣）的壓力固定為初始壓力而控制晶片 W 的溫度的情況（比較例）的模擬結果。

**【0070】** 在任意的模擬中都是目標溫度（℃）為（ $T_{W1\_SET}$ 、 $T_{W2\_SET}$ ）=（14.0、12.7）、初始溫度（℃）為（ $T_{W1}$ 、 $T_{W2}$ ）=（15.5、14.0）、初始壓力為（ $P_1$ 、 $P_2$ ）=（3.0、3.0）。此外，採樣週期  $T_s$  為 1 秒，參照軌跡時間常數  $T_{ref}$  為 15 秒，預測地平線（horizon）點數  $N_p$  為 30，一致點數  $N_a$  為 15。

**【0071】** 由圖 9 的（a）可知，在使用本實施方式的晶片溫度控制裝置 100 控制晶片 W 的溫度的情況下，能夠高精度地將晶片 W 的溫度  $T_{W1}$ 、 $T_{W2}$  控制為目標溫度  $T_{W1\_SET}$ 、 $T_{W2\_SET}$ 。另一方面，由圖 9 的（b）可知，在模型預測控制中將係數矩陣（A 矩陣）的壓力固定為初始壓力固定而控制晶片的溫度的情況下，無法高精度地將晶片 W 的溫度  $T_{W1}$ 、 $T_{W2}$  控制為目標溫度  $T_{W1\_SET}$ 、 $T_{W2\_SET}$ 。

**【0072】** 〈 4.本實施方式的效果 〉

**【0073】** 這樣，根據本實施方式的晶片溫度控制裝置 100，由於使用將根據熱傳遞氣體的壓力求出的吸附板 2 與晶片 W 之間的熱傳遞係數作為變數的模型作為模型預測控制的預測模型，所以能夠預測將來的晶片溫度，將晶片溫度控制為目標溫度。具體

而言，由於在模型預測控制中使用在狀態向量的係數矩陣（A 矩陣）中包含熱傳遞氣體的壓力作為參數的狀態方程式來控制壓力操作量，所以能夠高精度地將晶片溫度控制為目標溫度。

【0074】 〈5.其他實施方式〉

【0075】 例如，在所述實施方式的吸附板 2 中，通過使熱傳遞氣體的壓力在吸附板 2 的面內不同來設定晶片 W 的目標溫度互不相同的多個區域，但是也可以不使熱傳遞氣體的壓力在吸附板 2 的面內不同，而在吸附板 2 整體設定一個目標溫度。

【0076】 此外，所述實施方式的加熱器 31 能夠通過多個加熱電極 31a 在吸附板 2 形成溫度分佈。例如，加熱器 31 能夠在吸附板 2 的中央部和外周部使加熱量不同，進而在外周部呈大致 C 形的大區域和剩餘的小區域之間也能夠使加熱量不同。即，在吸附板 2 設定有三個加熱區域，由此，在吸附板 2 形成溫度分佈。此外，冷卻器 32 也可以構成為與吸附板 2 的三個加熱區域對應地在底板 32a 的表面上形成三個冷卻區域。之外，可以考慮將外周部分割成放射狀地來設定多個加熱區域等各種設定方法。

【0077】 關於晶片 W 與吸附板 2 的加熱或冷卻區域，並不限定於劃分為三個區域，可以劃分為更多的區域，也可以劃分為兩個區域。此外，也可以不設定區域而將晶片 W 和吸附板 2 整體設為一個溫度進行處理。

【0078】 此外，關於吸附板 2，可以是沒有吸附功能而僅載置

晶片 W 的板。

【0079】 冷卻器和加熱器的結構並不限定於上述結構。例如冷卻器可以利用珀爾帖元件等構成，加熱器並不限定於加熱電極，可以構成為通過光照射來加熱晶片，也可以構成為通過等離子體來加熱晶片。

【0080】 附近溫度感測器測定的部位並不限定於上述部位，也可以是其他部位。總之，只要將可能與晶片溫度有某種相關或者關係性的溫度作為附近溫度測定即可。此外，附近溫度感測器並不限定於紅外線溫度感測器，例如也可以是設置在板內的熱電偶等。

【0081】 之外，只要不違反本發明的主旨，就可以進行各種實施方式的變形、組合。

【符號說明】

【0082】

100:晶片溫度控制裝置

W:晶片

2:吸附板（板）

3:溫度調整器

43:壓力調整器

5:附近溫度感測器

12:壓力控制部

## 【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種晶片溫度控制裝置，在被溫度調整後的板載置晶片，向所述板與所述晶片之間供給氣體，對所述晶片的溫度進行控制，其特徵在於，具備：

壓力調整器，調整所述氣體的壓力；

附近溫度感測器，測定所述晶片的附近溫度；以及

壓力控制部，基於由所述附近溫度感測器測定的附近溫度和所述晶片的目標溫度，通過模型預測控制對向所述壓力調整器輸入的壓力操作量進行控制，

所述壓力控制部使用將所述板與所述晶片之間的熱傳遞係數作為根據所述氣體的壓力求出的變數的模型，作為所述模型預測控制的預測模型。

【請求項2】 如請求項1所述的晶片溫度控制裝置，其特徵在於，

用於所述預測模型的所述熱傳遞係數根據所述氣體的壓力而具有非線性或線性的關係。

【請求項3】 如請求項1所述的晶片溫度控制裝置，其特徵在於，

所述壓力控制部在所述模型預測控制中使用在狀態向量的係數矩陣中包含所述氣體的壓力作為參數的狀態方程式對所述壓力操作量進行控制。

【請求項4】 如請求項3所述的晶片溫度控制裝置，其特徵在於，

所述壓力控制部在所述模型預測控制中每當計算與所述晶片的溫度相關的預測軌跡時計算所述係數矩陣，使用該計算的所述係數矩陣計算所述預測軌跡。

【請求項5】 如請求項4所述的晶片溫度控制裝置，其特徵在於，

所述壓力控制部每當計算所述預測軌跡時，使用輸入到所述壓力調整器的壓力操作量或由所述壓力調整器調整後的壓力計算所述係數矩陣。

【請求項6】 如請求項1所述的晶片溫度控制裝置，其特徵在於，

所述壓力控制部在所述模型預測控制中決定所述壓力操作量，以使評價函數最小化，所述評價函數關於與所述晶片的溫度相關的參照軌跡和與所述晶片的溫度相關的預測軌跡的偏差。

【請求項7】 如請求項6所述的晶片溫度控制裝置，其特徵在於，

所述壓力控制部使用加權最小二乘法作為所述評價函數。

【請求項8】 如請求項1所述的晶片溫度控制裝置，其特徵在於，

在所述板設定有所述晶片的目標溫度互不相同的多個區域。

【請求項9】 一種晶片溫度控制方法，在被溫度調整後的板載置晶片，向所述板與所述晶片之間供給氣體，對所述晶片的溫度進行控制，其特徵在於，

通過壓力調整器調整所述氣體的壓力，

通過附近溫度感測器測定所述晶片的附近溫度，

基於由所述附近溫度感測器測定的附近溫度和所述晶片的目標溫度，通過模型預測控制對向所述壓力調整器輸入的壓力操作量進行控制，

使用將所述板與所述晶片之間的熱傳遞係數作為根據所述氣體的壓力求出的變數的模型，作為所述模型預測控制的預測模型。

【請求項10】 一種存儲介質，存儲有晶片溫度控制程式，其特徵在於，

所述晶片溫度控制程式用於晶片溫度控制裝置，

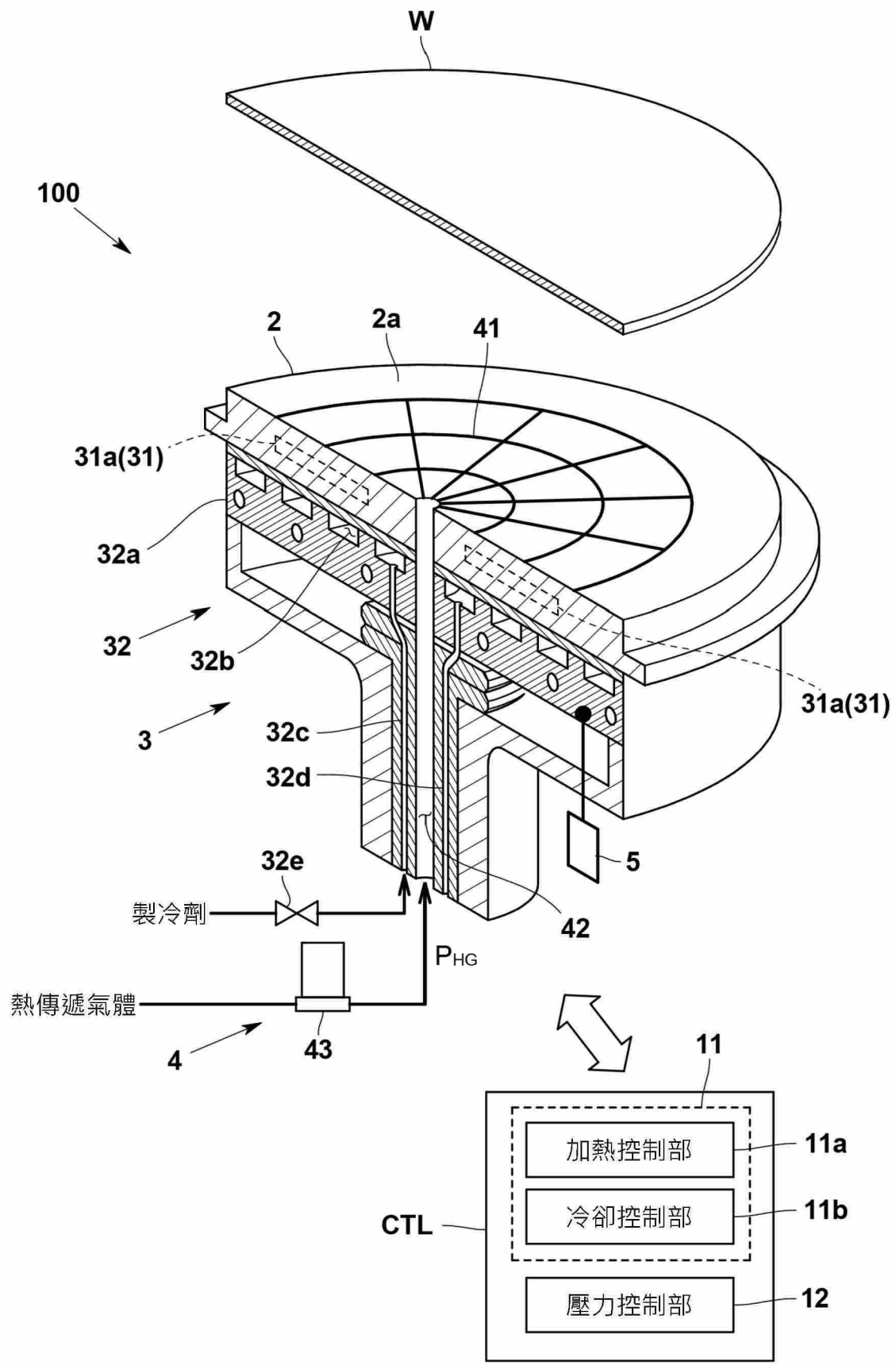
所述晶片溫度控制裝置在被溫度調整後的板載置晶片，向所述板與所述晶片之間供給氣體，對所述晶片的溫度進行控制，具備：壓力調整器，調整所述氣體的壓力；以及附近溫度感測器，測定所述晶片的附近溫度，

所述晶片溫度控制程式使電腦具備作為壓力控制部的功能，所述壓力控制部基於由所述附近溫度感測器測定的附近溫度和所述晶片的目標溫度，通過模型預測控制對向所述壓力調整器輸入的壓力操作量進行控制，

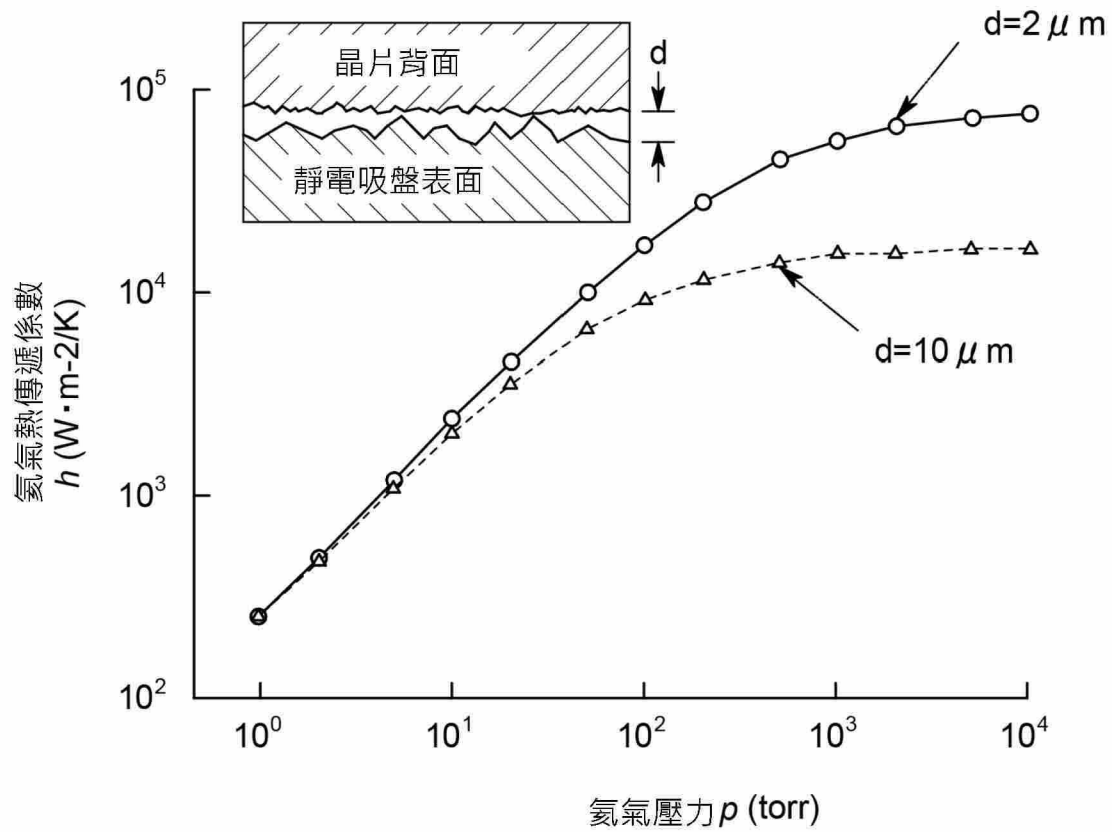
所述壓力控制部使用將所述板與所述晶片之間的熱傳遞係數作為根據所述氣體的壓力求出的變數的模型，作為所述模型預測控制的預測模型。



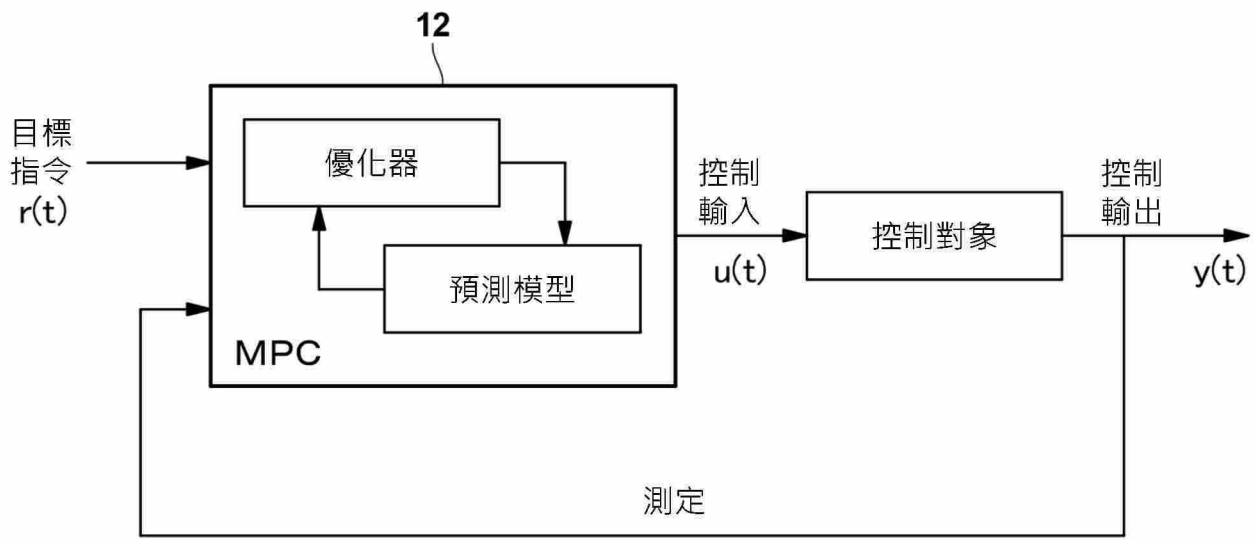
【發明圖式】



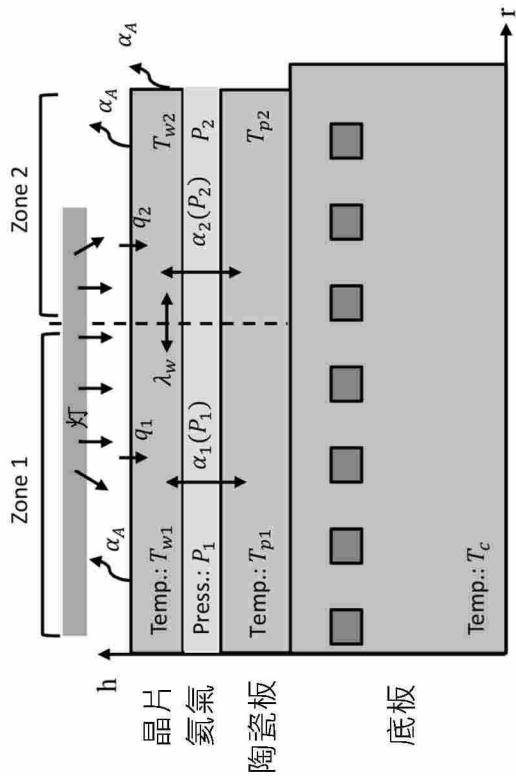
【圖1】



【圖2】



【圖3】



➡ 操作氮氣的壓力來控制晶片溫度 ( $T_{w1}$ 、 $T_{w2}$ )

A: 向外部的熱輻射  
$$\dot{T}_{w1} = -\frac{S_{w1}\alpha_A}{C_{w1}}T_{w1} + \frac{(S_{w2}+S_{ws})\alpha_A}{C_{w2}}T_{w2}$$

B: 區段間的熱移動  
$$\dot{T}_{w1} = \frac{S_{w12}(\frac{\lambda_w}{x_{12}})}{C_{w1}}(T_{w2}-T_{w1}) + \frac{S_{w12}(\frac{\lambda_w}{x_{12}})}{C_{w2}}(T_{w1}-T_{w2})$$

C: 層間的熱移動  
$$\dot{T}_{w1} = \frac{S_{w1}\alpha_1(P_1)}{C_{w1}}(T_{p1}-T_{w1}) + \frac{S_{w2}\alpha_2(P_2)}{C_{w2}}(T_{p2}-T_{w2})$$

D: 熱供給  
$$\dot{T}_{w1} = \frac{q_1}{C_{w1}} + \frac{q_2}{C_{w2}}$$

|                                |                    |                               |
|--------------------------------|--------------------|-------------------------------|
| $S_{w1}, S_{w2}$               | $m^2$              | 晶片和外部空氣的邊界面積                  |
| $S_{ws}$                       | $m^2$              | 晶片側面積                         |
| $S_{w12}$                      | $m^2$              | 晶片的區段間邊界面積                    |
| $C_{w1}, C_{w2}$               | I/K                | 晶片的熱容量                        |
| $\lambda_w$                    | W/mK               | 晶片內的熱傳遞率                      |
| $x_{12}$                       | m                  | 晶片區段間的熱傳遞距離                   |
| $\alpha_A$                     | W/m <sup>2</sup> K | 外部空氣熱傳遞率                      |
| $\alpha_1(P_1), \alpha_2(P_2)$ | W/m <sup>2</sup> K | 晶片與吸附板之間的熱傳遞率                 |
| $q_1, q_2$                     | W                  | 晶片從燈接受的電力<br>(=來自外部空氣的穩定的熱供給) |
| $T_c$                          | °C                 | 冷卻器溫度 (冷凍機溫度)                 |
| $T_{p1}, T_{p2}$               | °C                 | 附近溫度                          |

【圖4】

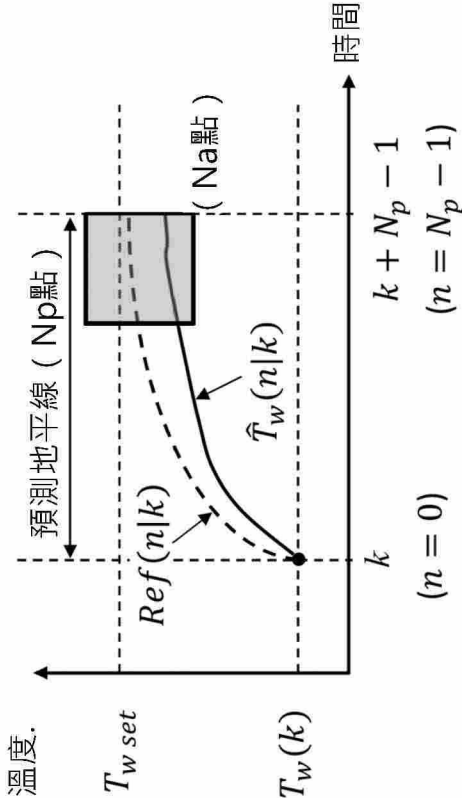
■ 參照軌跡： $Ref(n|k)$

$$Ref(n|k) = T_w(k) e^{-\frac{nT_s}{T_{ref}}} + T_{w\ set}(1 - e^{-\frac{nT_s}{T_{ref}}}) \left[ \begin{matrix} T_s: \text{採樣週期} \\ T_{ref}: \text{參照軌跡時間常數} \end{matrix} \right]$$

■ 預測軌跡： $\hat{T}_w(n|k)$

$$\hat{T}_w(n|k) = \boxed{T_w^{(f)}(n|k)} + \boxed{T_w^{(us)}(n|k)\Delta P(k)}$$

自由回應                      單位階躍回應



【圖5】

■ 狀態方程式

$$\begin{pmatrix} \dot{T}_{w1}(n|k) \\ \dot{T}_{w2}(n|k) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{(S_{w1}\alpha_A + S_{w12}\frac{\lambda_w}{x_{12}}) + S_{w1}\alpha_1(P_1(k))}{\frac{C_{w1}}{S_{w12}\frac{\lambda_w}{x_{12}}}} & \frac{S_{w12}\left(\frac{\lambda_w}{x_{12}}\right)}{C_{w1}} \\ \frac{(S_{w2}+S_{ws})\alpha_A + S_{w12}\left(\frac{\lambda_w}{x_{12}}\right) + S_{w2}\alpha_2(P_2(k))}{C_{w2}} & -\frac{S_{w1}\left(\frac{\lambda_w}{x_{12}}\right)}{C_{w2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T_{w1}(n|k) \\ T_{w2}(n|k) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{S_{w1}T_{p1}}{C_{w1}} & \frac{1}{C_{w1}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{S_{w2}T_{p2}}{C_{w2}} & \frac{1}{C_{w2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_1(P_1(k)) \\ q_1 \\ \alpha_2(P_2(k)) \\ q_2 \end{pmatrix}$$

= A矩陣

= B矩陣

※在A矩陣中包含 $\alpha_1(P_1(k))$ 、 $\alpha_2(P_2(k))$ 。

■ 參照軌跡

比較 $\begin{pmatrix} T_{w1}(n|k) \\ T_{w2}(n|k) \end{pmatrix}$ 和 $\begin{pmatrix} T_{w1\ set} \\ T_{w2\ set} \end{pmatrix}$

➡

$$\begin{pmatrix} Ref_1(n|k) \\ Ref_2(n|k) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_{w1}(k) e^{-\frac{nT_s}{T_{ref}}} + T_{w1\ set}(1 - e^{-\frac{nT_s}{T_{ref}}}) \\ T_{w2}(k) e^{-\frac{nT_s}{T_{ref}}} + T_{w2\ set}(1 - e^{-\frac{nT_s}{T_{ref}}}) \end{pmatrix} \quad (n = 0, \dots, N_p - 1)$$

【圖6】

■自由回應

$$\begin{pmatrix} T_{w1}^{(f)}(n+1|k) \\ T_{w2}^{(f)}(n+1|k) \end{pmatrix}_{(P_1(k), P_2(k))} = \begin{pmatrix} T_{w1}^{(f)}(n|k) \\ T_{w2}^{(f)}(n|k) \end{pmatrix}_{(P_1(k), P_2(k))} + \begin{pmatrix} \dot{T}_{w1}^{(f)}(n|k) \\ \dot{T}_{w2}^{(f)}(n|k) \end{pmatrix}_{(P_1(k), P_2(k))} \cdot T_s \quad (n = 0, \dots, N_p - 1)$$

■階躍回應

$$\begin{aligned} &(P_1(k), P_2(k)) \rightarrow (P_1(k) + 1, P_2(k)) \text{ 時的} \\ &\left\{ \begin{aligned} T_{w1}^{(f)} \text{ 的變化量} : \quad &\frac{\partial T_{w1}(n|k)}{\partial P_1(k)} = J_{11}(i|k) \\ T_{w2}^{(f)} \text{ 的變化量} : \quad &\frac{\partial T_{w2}(n|k)}{\partial P_1(k)} = J_{21}(i|k) \end{aligned} \right. \\ &(P_1(k), P_2(k)) \rightarrow (P_1(k), P_2(k) + 1) \text{ 時的} \\ &\left\{ \begin{aligned} T_{w1}^{(f)} \text{ 的變化量} : \quad &\frac{\partial T_{w1}(n|k)}{\partial P_2(k)} = J_{12}(i|k) \\ T_{w2}^{(f)} \text{ 的變化量} : \quad &\frac{\partial T_{w2}(n|k)}{\partial P_2(k)} = J_{22}(i|k) \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

■預測軌跡

$$\begin{pmatrix} \hat{T}_{w1}(n|k) \\ \hat{T}_{w2}(n|k) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_{w1}^{(f)}(n|k) \\ T_{w2}^{(f)}(n|k) \end{pmatrix}_{(P_1(k), P_2(k))} + \begin{pmatrix} J_{11}(i|k) & J_{12}(i|k) \\ J_{21}(i|k) & J_{22}(i|k) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta P_1(k) \\ \Delta P_2(k) \end{pmatrix}$$

【圖7】

■ 評價函數 ( 加權最小二乘法 )

•  $\epsilon = \sum_{i=1,2} \left[ \left( \sum_{n \in N_a} \left( \text{Ref}_i(n|k) - \hat{T}_{w,i}(n|k) \right)^2 Q_i(n) \right) + (\Delta P_i(k))^2 r_i \right]$

•  $\frac{\partial \epsilon}{\partial (\Delta P_1(k))} = \frac{\partial \epsilon}{\partial (\Delta P_2(k))} = 0$

$$\left( \begin{array}{l} \left( \sum_{n \in N_a} J_{11}^2(n|k) Q_1(n) + J_{21}^2(n|k) Q_2(n) \right) + r_1 \quad \sum_{n \in N_a} J_{11}(n|k) Q_1(n) J_{12}(n|k) + J_{21}(n|k) Q_2(n) J_{22}(n|k) \\ \left( \sum_{n \in N_a} J_{11}(n|k) Q_1(n) J_{12}(n|k) + J_{21}(n|k) Q_2(n) J_{22}(n|k) \right) \quad \left( \sum_{n \in N_a} J_{12}^2(n|k) Q_1(n) + J_{22}^2(n|k) Q_2(n) \right) + r_2 \end{array} \right) \begin{pmatrix} \Delta P_1(k) \\ \Delta P_2(k) \end{pmatrix}$$
$$= \begin{pmatrix} \sum_{n \in N_a} \Delta R_1(n|k) Q_1(n) J_{11}(n|k) + \Delta R_2(n|k) Q_2(n) J_{21}(n|k) \\ \sum_{n \in N_a} \Delta R_1(n|k) Q_1(n) J_{12}(n|k) + \Delta R_2(n|k) Q_2(n) J_{22}(n|k) \end{pmatrix}$$

➡在各時刻求出  $J_{11}(n|k), J_{21}(n|k), J_{12}(n|k), J_{22}(n|k), \Delta R_1(n|k), \Delta R_2(n|k)$  (  $n = 0, \dots, N_p - 1$  ) 之後 .

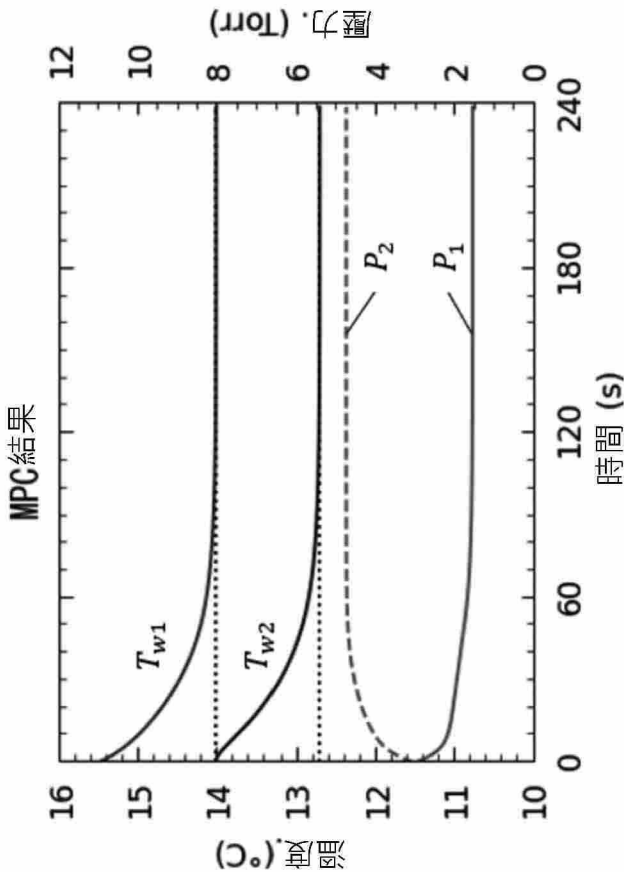
當解上述2×2的聯立方程式時，求出 $(\Delta P_1(k), \Delta P_2(k))$

$$\begin{pmatrix} P_1(k+1) \\ P_2(k+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_1(k) \\ P_2(k) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta P_1(k) \\ \Delta P_2(k) \end{pmatrix}$$

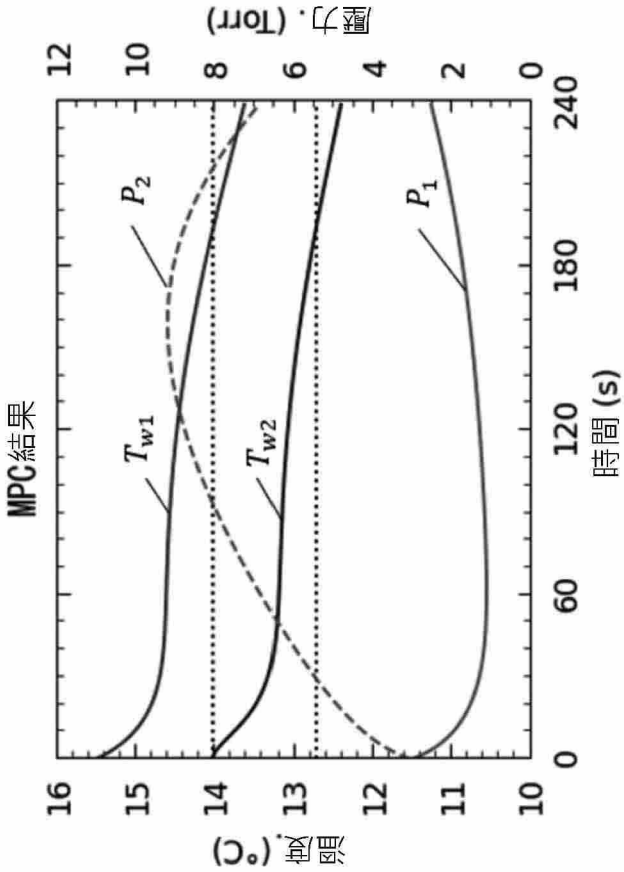
【圖8】



( a ) 本實施方式 ( 依次計算A矩陣 )



( b ) 比較例 ( 將A矩陣的壓力固定為初始壓力 )



【圖9】