



(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 I883149 B

(45)公告日：中華民國 114 (2025) 年 05 月 11 日

(21)申請案號：110110227

(22)申請日：中華民國 110 (2021) 年 03 月 22 日

(51)Int. Cl. : **B24B37/005 (2012.01)****B24B53/017 (2012.01)****G06F9/455 (2006.01)**

(30)優先權：2020/03/24 日本

2020-052046

(71)申請人：日商荏原製作所股份有限公司 (日本)EBARA CORPORATION (JP)

日本

國立大學法人東海國立大學機構 (日本) NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION
TOKAI NATIONAL HIGHER EDUCATION AND RESEARCH SYSTEM (JP)

日本

國立大學法人金澤大學 (日本) NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION
KANAZAWA UNIVERSITY (JP)

日本

(72)發明人：鈴木教和 SUZUKI, NORIKAZU (JP) ; 安田穗積 YASUDA, HOZUMI (JP) ; 望月宣
宏 MOCHIZUKI, YOSHIHIRO (JP) ; 橋本洋平 HASHIMOTO, YOHEI (JP)

(74)代理人：陳傳岳；郭雨嵐；鍾文岳

(56)參考文獻：

TW 200526358A

TW 201832872A

TW 201946136A

JP 2010-87135A

JP 2013-118404A

WO 2008/072300A1

審查人員：劉添雷

申請專利範圍項數：14 項 圖式數：9 共 45 頁

(54)名稱

工件之化學機械研磨系統、演算系統、及化學機械研磨之模擬模式之作成方法

(57)摘要

本發明係關於依據化學機械研磨之實測資料，將化學機械研磨之模擬模式最佳化的網路實體系統 (Cyber Physical System)。化學機械研磨系統具備：研磨工件 (W) 之研磨裝置 (1)；及演算系統 (47)。演算系統 (47) 具有至少包含輸出包含研磨工件 (W) 之估計研磨率的估計研磨物理量之物理模式的模擬模式。演算系統 (47) 係以將研磨工件 (W) 之研磨條件輸入模擬模式，並從模擬模式輸出研磨工件 (W) 之估計研磨物理量，決定使估計研磨物理量接近研磨工件 (W) 之實測研磨物理量的模擬模式之模式參數的方式構成。

指定代表圖：

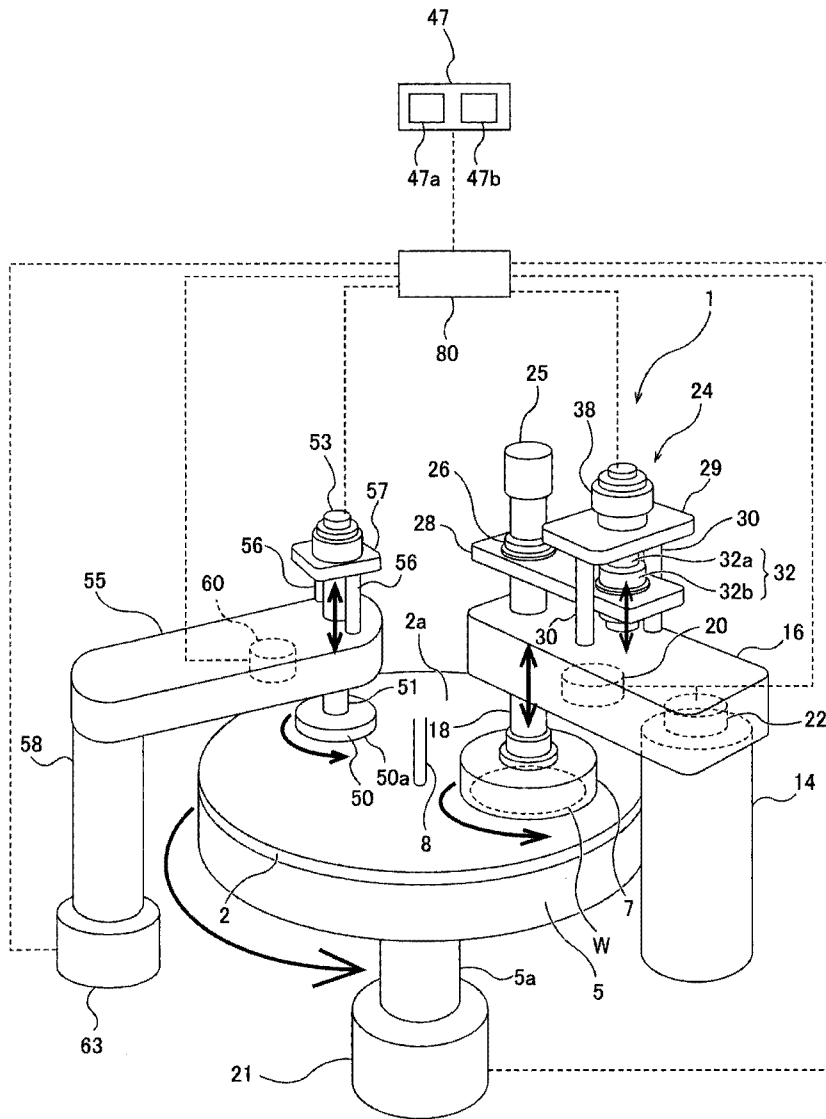


圖 1

符號簡單說明：

- 1:研磨裝置
- 2:研磨墊
- 2a:研磨面
- 5:研磨台
- 5a:台軸
- 7:研磨頭
- 8:漿液供給噴嘴
- 14:支軸
- 16:研磨頭搖動臂
- 18:研磨頭軸桿
- 20:研磨頭旋轉馬達
- 21:台旋轉馬達
- 22:研磨頭搖動馬達
- 24:升降機構
- 25:旋轉接頭
- 26:軸承
- 28:橋接器
- 29:支撐台
- 30:支柱
- 32:滾珠螺桿機構
- 32a:螺旋軸
- 32b:螺帽
- 38:伺服馬達
- 47:演算系統
- 47a:記憶裝置
- 47b:處理裝置
- 50:修整器
- 50a:修整面
- 51:修整器軸桿
- 53:空氣汽缸
- 55:修整器搖動臂
- 56:支柱
- 57:支撐台
- 58:支軸
- 60:修整器旋轉馬達
- 63:修整器搖動馬達

I883149

TW I883149 B

80:動作制御部

W:工件



I883149

【發明摘要】

【中文發明名稱】 工件之化學機械研磨系統、演算系統、及化學機械研磨之模擬模式之作成方法

【中文】

本發明係關於依據化學機械研磨之實測資料，將化學機械研磨之模擬模式最佳化的網路實體系統（Cyber Physical System）。化學機械研磨系統具備：研磨工件（W）之研磨裝置（1）；及演算系統（47）。演算系統（47）具有至少包含輸出包含研磨工件（W）之估計研磨率的估計研磨物理量之物理模式的模擬模式。演算系統（47）係以將研磨工件（W）之研磨條件輸入模擬模式，並從模擬模式輸出研磨工件（W）之估計研磨物理量，決定使估計研磨物理量接近研磨工件（W）之實測研磨物理量的模擬模式之模式參數的方式構成。

【指定代表圖】 圖1

【代表圖之符號簡單說明】

1:研磨裝置	14:支軸
2:研磨墊	16:研磨頭搖動臂
2a:研磨面	18:研磨頭軸桿
5:研磨台	20:研磨頭旋轉馬達
5a:台軸	21:台旋轉馬達
7:研磨頭	22:研磨頭搖動馬達
8:漿液供給噴嘴	24:升降機構

25:旋轉接頭	50:修整器
26:軸承	50a:修整面
28:橋接器	51:修整器軸桿
29:支撐台	53:空氣汽缸
30:支柱	55:修整器搖動臂
32:滾珠螺桿機構	56:支柱
32a:螺旋軸	57:支撐台
32b:螺帽	58:支軸
38:伺服馬達	60:修整器旋轉馬達
47:演算系統	63:修整器搖動馬達
47a:記憶裝置	80:動作控制部
47b:處理裝置	W:工件

【發明說明書】

【中文發明名稱】 工件之化學機械研磨系統、演算系統、及化學機械研磨之模擬模式之作成方法

【技術領域】

【0001】 本發明係關於一種用於研磨晶圓、基板、面板等工件之表面的化學機械研磨系統，特別是關於依據化學機械研磨之實測資料將化學機械研磨之模擬模式最佳化的網路實體系統。

【先前技術】

【0002】 製造半導體元件時，會在晶圓上形成各種膜。在成膜工序之後，為了去除膜上不需要之部分及表面凹凸而研磨晶圓。化學機械研磨（CMP）係晶圓研磨之代表性技術。CMP係藉由一邊在研磨面上供給漿液，一邊使晶圓滑動接觸於研磨面來進行。形成晶圓之表面的膜藉由漿液之化學性作用與漿液中所含之研磨粒的機械性作用的複合而被研磨。

【0003】 將估計晶圓膜厚、及檢測晶圓研磨終點作為目的，而開發出晶圓研磨的模擬技術。研磨模擬之代表性技術有深度學習等的機械學習。例如，藉由機械學習作成由類神經網路而構成之模式，藉由將晶圓之研磨條件輸入模式中，而使研磨結果之估計值從模式輸出。藉由此種機械學習進行之研磨預測期待作為可獲得接近實際研磨之預測結果的技術。

[先前技術文獻]

[專利文獻]

【0004】 [專利文獻1]日本特開2012－74574號公報

【發明內容】

（發明所欲解決之問題）

【0005】 但是，藉由機械學習作成模式之作業中需要大量的訓練資料（即所謂大數據）。特別是為了作成可輸出更正確之研磨結果的模式，需要更大量的資料，結果要花費長時間來作成模式。再者，由於模式本身具有複雜之構成，因此模式在輸出研磨結果時會花費比較長的時間。

【0006】 此外，由類神經網路構成之模式係所謂黑盒子，具有何種構造（具有何種加權參數）不明。因而，當實際的研磨結果與從模式所輸出的研磨結果不同時，無法確定模式應修正的部位。為了修正模式需要增加訓練資料，修正模式需要花費長時間。

【0007】 因此，本發明提供一種可使用物理模式正確且高速預測晶圓等工件之研磨結果的化學機械研磨系統及演算系統。此外，本發明係關於化學機械研磨之模擬模式之作成方法。

（解決問題之手段）

【0008】 一個樣態提供一種化學機械研磨系統，係具備：研磨台，其係用於支撐具有研磨面之研磨墊；研磨頭，其係對前述研磨面按壓工件；漿液供給噴嘴，其係對前述研磨面供給漿液；及演算系統，其係具有記憶有模擬模式之記憶裝置，該模擬模式至少包含輸出估計研磨物理量之物理模式，該估計研磨物理量包含前述工件之估計研磨率；前述演算系統係以將前述工件之研磨條件輸入前述模擬模式，並從前述模擬模式輸出前述工件之估計研磨物理量，決定使前述估

計研磨物理量接近前述工件之實測研磨物理量的前述模擬模式之模式參數的方式構成。

【0009】 一個樣態係前述物理模式包含：研磨率模式，其係核定前述工件之估計研磨率；及研磨轉矩模式，其係核定因前述研磨墊之滑動阻力而產生的轉矩之估計值。

一個樣態係前述研磨轉矩模式包含：頭旋轉轉矩模式，其係核定使在前述研磨墊上之前述研磨頭及前述工件以前述研磨頭之軸心為中心而旋轉的研磨頭旋轉轉矩之估計值；及墊旋轉轉矩模式，其係核定使前述研磨墊以其軸心為中心而旋轉之研磨墊旋轉轉矩的估計值。

一個樣態係前述化學機械研磨系統進一步備有修整器，其係用於修整前述研磨面，前述研磨轉矩模式包含：修整器旋轉轉矩模式，其係核定使前述研磨墊上之前述修整器以其軸心為中心而旋轉的修整器旋轉轉矩之估計值；及修整器搖動轉矩模式，其係核定使前述修整器在前述研磨墊上搖動時需要之在搖動軸心周圍的修整器搖動轉矩之估計值。

一個樣態係前述模擬模式進一步包含數理模式，其係表示前述研磨墊隨著研磨時間經過而老化。

一個樣態係前述演算系統係以在包含前述決定之模式參數的前述模擬模式中輸入前述研磨條件，核定更新後之估計研磨物理量，評估前述更新後的估計研磨物理量與前述實測研磨物理量之差的方式構成。

【0010】 一個樣態提供一種演算系統，係作成化學機械研磨之模擬模式，且具備：記憶裝置，其係記憶有程式及前述模擬模式；及處理裝置，其係按照前述程式中包含之命令執行演算；前述模擬模式至少包含物理模式，該物理模式係

輸出包含化學機械性研磨時之工件的估計研磨率之估計研磨物理量，前述演算系統係以將前述工件之研磨條件輸入前述模擬模式，並從前述模擬模式輸出前述工件之估計研磨物理量，決定使前述估計研磨物理量接近前述工件之實測研磨物理量的前述模擬模式之模式參數的方式構成。

【0011】 一個樣態提供一種作成化學機械研磨之模擬模式的方法，其包含以下工序，即在模擬模式中輸入前述工件之研磨條件，該模擬模式係至少包含輸出包含工件之估計研磨率的估計研磨物理量之物理模式，並從前述模擬模式輸出前述工件之估計研磨物理量，使用研磨裝置研磨前述工件，決定使前述估計研磨物理量接近前述工件之實測研磨物理量的前述模擬模式之模式參數，前述研磨裝置具備：研磨台，其係用於支撐具有研磨面之研磨墊；研磨頭，其係對前述研磨面按壓前述工件；及漿液供給噴嘴，其係對前述研磨面供給漿液。

【0012】 一個樣態係前述物理模式包含：研磨率模式，其係核定前述工件之估計研磨率；及研磨轉矩模式，其係核定因前述研磨墊之滑動阻力而產生的轉矩之估計值。

一個樣態係前述研磨轉矩模式包含：頭旋轉轉矩模式，其係核定使在前述研磨墊上之前述研磨頭及前述工件以前述研磨頭之軸心為中心而旋轉的研磨頭旋轉轉矩之估計值；及墊旋轉轉矩模式，其係核定使前述研磨墊以其軸心為中心而旋轉之墊旋轉轉矩的估計值。

一個樣態係前述研磨裝置進一步備有修整器，其係用於修整前述研磨面，前述研磨轉矩模式包含：修整器旋轉轉矩模式，其係核定使前述研磨墊上之前述修整器以其軸心為中心而旋轉的修整器旋轉轉矩之估計值；及修整器搖動轉矩

模式，其係核定使前述修整器在前述研磨墊上搖動時需要之在搖動軸心周圍的修整器搖動轉矩之估計值。

一個樣態係前述模擬模式進一步包含數理模式，其係表示前述研磨墊隨著研磨時間經過而老化。

一個樣態係前述方法進一步包含以下工序，即在包含前述決定之模式參數的前述模擬模式中輸入前述研磨條件，核定更新後之估計研磨物理量，評估前述更新後的估計研磨物理量與前述實測研磨物理量之差。

【0013】 一個樣態提供一種作成化學機械研磨之模擬模式的方法，其在模擬模式中輸入前述工件之研磨條件，該模擬模式係至少包含輸出包含工件之估計研磨率的估計研磨物理量之物理模式，並從前述模擬模式輸出前述工件之估計研磨物理量，決定使前述估計研磨物理量接近前述工件之實測研磨物理量的前述模擬模式之模式參數。

（發明之效果）

【0014】 模擬模式中包含之物理模式係模仿實際研磨裝置而虛擬的化學機械研磨系統。構成模擬模式之模式參數是依據從實際研磨裝置所獲得之實測研磨物理量（實測研磨率、實測機械轉矩等）、與從模擬模式所獲得之估計研磨物理量（估計研磨率、估計機械轉矩等）之差而辨認出來。更具體而言，係決定用於使估計研磨物理量接近實測研磨物理量之模式參數。因此，模擬模式可正確核定工件之估計研磨率。特別是由於作成物理模式時不需要所謂的大數據，因此與用於機械學習之模式比較，模擬模式可高速算出結果。

【圖式簡單說明】

【0015】 圖1係顯示化學機械研磨系統之一種實施形態的示意圖。

圖2係圖1所示之研磨頭的剖面圖。

圖3係說明辨認模擬模式未知之模式參數的方法之流程圖。

圖4係顯示研磨墊上之研磨頭、工件、及修整器上之速度向量的示意圖。

圖5係說明墊旋轉轉矩模式之示意圖。

圖6係顯示工件之摩擦係數分布的示意圖。

圖7係說明工件上之某個微小區域的位置之圖。

圖8係顯示研磨墊之轉矩與研磨時間的關係曲線圖。

圖9係表示擬合函數之曲線圖。

【實施方式】

【0016】 以下，參照圖式說明本發明之實施形態。圖1係顯示化學機械研磨系統之一種實施形態的示意圖。如圖1所示，化學機械研磨系統具備化學機械性研磨工件W之研磨裝置1。該研磨裝置1具備：支撐具有研磨面2a之研磨墊2的研磨台5；對研磨面2a按壓晶圓、基板、面板等之工件W的研磨頭7；將含有研磨粒之漿液供給至研磨面2a的漿液供給噴嘴8；及控制研磨裝置1之動作的動作控制部80。研磨頭7係以可在其下面保持工件W之方式構成。

【0017】 研磨裝置1進一步具備：支軸14；連結於支軸14之上端，而使研磨頭7搖動之研磨頭搖動臂16；可旋轉地支撐於研磨頭搖動臂16之自由端的研磨頭軸桿18；及使研磨頭7以其軸心為中心而旋轉之研磨頭旋轉馬達20。研磨頭旋轉馬達20配置於研磨頭搖動臂16中，並經由皮帶及滑輪等構成之轉矩傳遞機構（無圖示）而連結於研磨頭軸桿18。研磨頭7連結於研磨頭軸桿18之下端。研磨頭旋

轉馬達20經由上述轉矩傳遞機構使研磨頭軸桿18旋轉，研磨頭7與研磨頭軸桿18一起旋轉。因此，研磨頭7以其軸心為中心，在箭頭指示之方向藉由研磨頭旋轉馬達20而旋轉。

【0018】 研磨裝置1進一步具備使研磨墊2及研磨台5以此等之軸心為中心而旋轉的台旋轉馬達21。台旋轉馬達21配置於研磨台5之下方，研磨台5經由台軸5a而連結於台旋轉馬達21。研磨台5及研磨墊2藉由台旋轉馬達21可在將台軸5a作為中心而箭頭指示的方向旋轉。研磨墊2及研磨台5之軸心與台軸5a的軸心一致。研磨墊2貼合於研磨台5之上面。研磨墊2之上面構成研磨晶圓等之工件W的研磨面2a。

【0019】 研磨頭軸桿18藉由升降機構24可對研磨頭搖動臂16相對地上下運動，藉由該研磨頭軸桿18之上下運動，研磨頭7可對研磨頭搖動臂16相對地上下運動。在研磨頭軸桿18之上端安裝有旋轉接頭25。

【0020】 研磨裝置1進一步具備使研磨頭7在研磨面2a上搖動之研磨頭搖動馬達22。該研磨頭搖動馬達22連結於研磨頭搖動臂16。研磨頭搖動臂16以支軸14為中心可迴旋地構成。研磨頭搖動馬達22藉由使研磨頭搖動臂16以支軸14為中心順時鐘方向及逆時鐘方向迴旋指定角度程度，研磨頭7一邊將工件W按壓於研磨墊2之研磨面2a，一邊在研磨墊2上搖動。

【0021】 本實施形態之研磨頭搖動馬達22係設置於支軸14的上端，並以不使支軸14旋轉，而使研磨頭搖動臂16迴旋之方式配置。一種實施形態亦可研磨頭搖動臂16固定於支軸14，研磨頭搖動馬達22以使支軸14與研磨頭搖動臂16一起旋轉之方式連結於支軸14。

【0022】使研磨頭軸桿18及研磨頭7升降之升降機構24具備：可旋轉地支撐研磨頭軸桿18之軸承26；固定軸承26之橋接器28；安裝於橋接器28之滾珠螺桿機構32；藉由支柱30所支撐之支撐台29；及固定於支撐台29之伺服馬達38。支撐伺服馬達38之支撐台29經由支柱30而連結於研磨頭搖動臂16。

【0023】滾珠螺桿機構32具備：連結於伺服馬達38之螺旋軸32a；及該螺旋軸32a螺合之螺帽32b。螺帽32b固定於橋接器28。研磨頭軸桿18可與橋接器28成為一體而升降（上下運動）。因此，當伺服馬達38驅動滾珠螺桿機構32時，橋接器28上下運動，藉此，研磨頭軸桿18及研磨頭7上下運動。

【0024】工件W之研磨進行如下。一邊使研磨頭7及研磨台5分別旋轉，一邊從設於研磨台5上方之漿液供給噴嘴8供給漿液至研磨墊2的研磨面2a上。研磨墊2以其軸心為中心，與研磨台5一體地旋轉。研磨頭7藉由升降機構24下降至指定之研磨位置。再者，研磨頭7在上述研磨位置將工件W按壓於研磨墊2之研磨面2a。在漿液存在於研磨墊2之研磨面2a的狀態下，工件W滑動接觸於研磨墊2之研磨面2a。工件W之表面藉由漿液的化學性作用、與漿液中所含之研磨粒的機械性作用之組合而被研磨。

【0025】研磨裝置1進一步具備：修整研磨墊2之研磨面2a的修整器50；連結修整器50之修整器軸桿51；設於修整器軸桿51之上端作為修整器按壓致動器之空氣汽缸53；可旋轉地支撐修整器軸桿51之修整器搖動臂55；及固定修整器搖動臂55之支軸58。

【0026】修整器50之下面構成修整面50a，該修整面50a由研磨粒（例如，鑽石粒子）構成。空氣汽缸53配置於藉由支柱56所支撐的支撐台57上，此等支柱56固定於修整器搖動臂55。空氣汽缸53經由修整器軸桿51而連結於修整器50。空

氣汽缸53係以使修整器軸桿51及修整器50一體地上下運動，並以指定之力將修整器50之修整面50a按壓於研磨墊2的研磨面2a之方式構成。亦可取代空氣汽缸53，而將伺服馬達及滾珠螺桿機構之組合用於修整器按壓致動器。

【0027】 研磨裝置1進一步具備使修整器50以其軸心為中心而旋轉之修整器旋轉馬達60。該修整器旋轉馬達60配置於修整器搖動臂55中，並經由皮帶及滑輪等構成之轉矩傳遞機構（無圖示）而連結於修整器軸桿51。修整器50連結於修整器軸桿51之下端。修整器旋轉馬達60經由上述轉矩傳遞機構使修整器軸桿51旋轉，修整器50與修整器軸桿51一起旋轉。因此，修整器50係藉由修整器旋轉馬達60以其軸心為中心而在箭頭指示的方向旋轉。

【0028】 研磨裝置1進一步具備使修整器50在研磨面2a上搖動之修整器搖動馬達63。該修整器搖動馬達63連結於支軸58。修整器搖動臂55係以支軸58為中心，並可與支軸58一起迴旋地構成。修整器搖動馬達63藉由使修整器搖動臂55以支軸58為中心順時鐘方向及逆時鐘方向迴旋指定角度程度，修整器50一邊將其修整面50a按壓於研磨墊2之研磨面2a，一邊在研磨墊2上於研磨墊2之半徑方向搖動。

【0029】 本實施形態之修整器搖動臂55係固定於支軸58，修整器搖動馬達63以使支軸58與修整器搖動臂55一起旋轉之方式連結於支軸58。一種實施形態亦可將修整器搖動馬達63設置於支軸58之上端，並以不使支軸58旋轉，而使修整器搖動臂55迴旋的方式配置。

【0030】 研磨墊2之研磨面2a的修整進行如下。工件W在研磨中，修整器50一邊以修整器軸桿51為中心旋轉，修整器50之修整面50a一邊藉由空氣汽缸53而按壓於研磨面2a。在研磨面2a上存在漿液之狀態下，修整器50滑動接觸於研磨面

2a。當修整器50滑動接觸於研磨面2a時，修整器搖動馬達63使修整器搖動臂55以支軸58為中心順時鐘方向及逆時鐘方向迴旋指定角度程度，而使修整器50在研磨墊2之半徑方向移動。因此，研磨墊2被修整器50削除，而修整（重現）研磨面2a。

【0031】 本實施形態係在工件W研磨中進行研磨面2a的修整，不過，一種實施形態亦可在工件W研磨後進行研磨面2a的修整。此時，修整亦可取代漿液而將純水供給至研磨面2a上。

【0032】 圖2係圖1所示之研磨頭7的剖面圖。研磨頭7具備：固定於研磨頭軸桿18之載體71；及配置於載體71之下方的扣環(retainer ring)72。在載體71之下部保持有抵接於工件W之柔軟的隔膜(Membrane)（彈性膜）74。在隔膜74與載體71之間形成有4個壓力室G1、G2、G3、G4。壓力室G1、G2、G3、G4藉由隔膜74與載體71而形成，中央之壓力室G1係圓形，其他壓力室G2、G3、G4係環狀。此等壓力室G1、G2、G3、G4排列於同心上。一種實施形態亦可設置比4個多之壓力室，或是亦可設置比4個少之壓力室。

【0033】 在壓力室G1、G2、G3、G4中分別經由流體路徑F1、F2、F3、F4，並藉由氣體供給源77供給壓縮空氣等壓縮氣體。工件W藉由隔膜74按壓於研磨墊2之研磨面2a。更具體而言，壓力室G1、G2、G3、G4中之壓縮氣體的壓力經由隔膜74作用於工件W，而將工件W對研磨面2a按壓。壓力室G1、G2、G3、G4之內部壓力可獨立地變化，藉此，可獨立地調整工件W對應之4個區域，亦即對中央部、內側中間部、外側中間部、及周緣部的研磨壓力。壓力室G1、G2、G3、G4經由流體路徑F1、F2、F3、F4而連通於無圖示之真空源。

【0034】在載體71與扣環72之間配置有環狀之翻卷式薄膜（Rolling Diaphragm）76，在該翻卷式薄膜76之內部形成有壓力室G5。壓力室G5經由流體路徑F5而連通於上述氣體供給源77。氣體供給源77將壓縮氣體供給至壓力室G5內，壓力室G5內之壓縮氣體對研磨墊2之研磨面2a推壓扣環72。

【0035】工件W之周端部及隔膜74的下面（亦即工件推壓面）被扣環72包圍。工件W研磨中，扣環72在工件W之外側按壓研磨墊2之研磨面2a，防止研磨中工件W從研磨頭7跳出。

【0036】流體路徑F1、F2、F3、F4、F5從壓力室G1、G2、G3、G4、G5經由旋轉接頭25而延伸至氣體供給源77。流體路徑F1、F2、F3、F4、F5中分別安裝有壓力調整器R1、R2、R3、R4、R5。來自氣體供給源77之壓縮氣體通過壓力調節器R1～R5、旋轉接頭25、及流體路徑F1～F5而供給至壓力室G1～G5中。

【0037】壓力調節器R1、R2、R3、R4、R5係以控制壓力室G1、G2、G3、G4、G5內之壓力的方式構成。壓力調節器R1、R2、R3、R4、R5連接於動作控制部80。動作控制部80連接於演算系統47。流體路徑F1、F2、F3、F4、F5亦連接於大氣開放閥（無圖示），亦可將壓力室G1、G2、G3、G4、G5進行大氣開放。

【0038】動作控制部80係以生成各壓力室G1～G5之目標壓力值的方式構成。動作控制部80將目標壓力值送至上述壓力調節器R1～R5，並以與壓力室G1～G5內之壓力對應的目標壓力值一致之方式使壓力調節器R1～R5工作。由於具有複數個壓力室G1、G2、G3、G4之研磨頭7依據研磨的進度，可獨立地將工件W表面上之各區域推壓於研磨墊2，因此可均勻地研磨工件W之膜。

【0039】工件W研磨中，研磨頭7維持在基準高度，研磨頭7之基準高度係整個研磨頭7對研磨墊2之研磨面2a的相對高度。研磨頭7在基準高度狀態下，在

壓力室G1、G2、G3、G4、G5中供給壓縮氣體。形成壓力室G1、G2、G3、G4之隔膜74將工件W對研磨墊2之研磨面2a按壓，形成壓力室G5之翻卷式薄膜76將扣環72對研磨墊2之研磨面2a按壓。

【0040】 回到圖1，化學機械研磨系統進一步具備用於模擬工件W之研磨，並核定工件W之估計研磨物理量的模擬模式之演算系統47。演算系統47電性連接於研磨裝置1。更具體而言，演算系統47連接於動作控制部80。模擬模式表現模仿包含研磨台5、研磨頭7、修整器50之上述研磨裝置1的虛擬研磨裝置。實際之研磨裝置1，與在虛擬空間上建立之虛擬研磨裝置亦即模擬模式，構成數位雙胞胎（Digital Twin）。將利用此種數位雙胞胎進行模擬的結果反饋到真實世界，進行最佳的控制（例如，以可更平坦地研磨工件之方式進行控制）的系統，稱為網路實體系統。

【0041】 將預設之研磨條件輸入模擬模式時，模擬模式使用虛擬研磨裝置執行工件W之虛擬的化學機械研磨，並輸出工件W之估計研磨率等的估計研磨物理量。研磨條件之例可舉出：研磨台5之旋轉速度[min^{-1} 或 rad/s]、研磨頭7之旋轉速度[min^{-1} 或 rad/s]、從工件W施加於研磨墊2之研磨面2a的壓力[Pa]、從扣環72施加於研磨墊2之研磨面2a的壓力[Pa]、研磨頭7與研磨墊2之相對位置、修整器50之旋轉速度[min^{-1} 或 rad/s]、從修整器50施加於研磨墊2之研磨面2a的壓力[Pa]、修整器50與研磨墊2之相對位置、漿液供給之位置及流量等。研磨率定義為每單位時間所除去之工件W表面材料的量，亦稱為材料除去率。

【0042】 演算系統47具備：儲存有程式及模擬模式之記憶裝置47a；及按照程式中包含之命令執行演算的處理裝置47b。記憶裝置47a具備RAM等主記憶裝置、硬碟機（HDD）、固態硬碟（SSD）等輔助記憶裝置。處理裝置47b之例可

舉出CPU（中央處理裝置）、GPU（圖形處理單元）。不過，演算系統47之具體性構成不限定於此等之例。

【0043】 演算系統47至少由1台電腦構成。前述至少1台電腦亦可係1台伺服器或複數台伺服器。演算系統47亦可係邊緣伺服器，亦可係連接於網際網路或區域網路等通信網路之雲端伺服器，或是，亦可係設置於網路中之霧伺服器。演算系統47亦可係藉由網際網路或區域網路等通信網路而連接之複數個伺服器。例如，演算系統47亦可係邊緣伺服器與雲端伺服器之組合。

【0044】 模擬模式至少由輸出估計研磨物理量之物理模式而構成。模擬模式儲存於記憶裝置47a中。物理模式至少包含研磨率模式與研磨轉矩模式。研磨率模式係用於核定估計研磨物理量之一例的估計研磨率之物理模式。研磨轉矩模式係用於核定因研磨墊2之滑動阻力，研磨裝置1之各機械元件中需要之轉矩的估計值之物理模式。轉矩之估計值亦與估計研磨率同樣地係估計研磨物理量的一例。轉矩之具體例可舉出：使研磨頭7及工件W在以研磨頭7之軸心為中心而旋轉的研磨頭旋轉轉矩；使研磨墊2（或是研磨台5）以其軸心為中心而旋轉之研磨墊旋轉轉矩；使修整器50以其軸心為中心而旋轉之修整器旋轉轉矩；用於使修整器50在研磨墊2上搖動所需之在搖動軸心周圍的修整器搖動轉矩；及用於使研磨頭7在研磨墊2上搖動所需之在搖動軸心周圍的頭搖動轉矩。

【0045】 模擬模式包含複數個模式參數。此等模式參數包含：藉由研磨條件（例如，研磨壓力、研磨頭7之旋轉速度、研磨墊2之旋轉速度）而設定之已知的模式參數；及工件W之摩擦係數等未知的模式參數。要決定未知之模式參數時，藉由將研磨條件輸入模擬模式，可從模擬模式輸出工件W之估計研磨物理量（估計研磨率及各種轉矩的估計值）。

【0046】 包含工件W之實際研磨率、及工件W研磨中需要之各種轉矩的量測值之實測研磨物理量可從實測資料求出。因此，演算系統47係以使用藉由實際研磨所獲得之實測研磨物理量作為辨認參數，而辨認模擬模式之未知模式參數的方式構成。未知模式參數之辨認係使未知之模式參數接近最佳值。

【0047】 儲存於演算系統47之記憶裝置47a中的程式中含有用於辨認未知之模式參數的辨認程式。演算系統47按照辨認程式中包含之命令而動作，來決定用於使工件之估計研磨物理量接近工件的實測研磨物理量之模擬模式的模式參數。工件之實測研磨物理量包含：工件之實測研磨率、及轉矩之量測值。工件之估計研磨物理量包含：工件之估計研磨率、及轉矩之估計值。

【0048】 研磨裝置1在指定之研磨條件下研磨至少1片工件，演算系統47取得從工件之研磨所決定的實測研磨物理量，並將實測研磨物理量記憶於記憶裝置47a中。上述指定之研磨條件例如亦可為工件之實際研磨條件，或是，亦可為預設之測試研磨用的研磨條件。在研磨中亦可使研磨條件動態變化，此時，可利用辨認精度提高及進階之基底函數。實測研磨物理量中包含：工件之實測研磨率、研磨工件時之研磨頭7、研磨墊2（研磨台5）、及修整器50之轉矩的量測值。轉矩之量測值亦可係直接顯示無圖示之轉矩計的量測值等之轉矩的值，或是亦可係供給至研磨頭旋轉馬達20、台旋轉馬達21、及修整器旋轉馬達60之轉矩電流值、或是使用轉矩電流所核定之轉矩估計值等間接顯示轉矩的值。一例係轉矩之量測值亦可係從機械構造之機構模式與馬達電流及加減速物理量的工序中資訊依據模式而間接估計研磨轉矩之值。研磨頭旋轉馬達20、台旋轉馬達21、及修整器旋轉馬達60係以使研磨頭7、研磨台5、及修整器50分別以預定之一定速度而旋

轉的方式來控制。因此，作用於研磨頭7、研磨墊2、及修整器50之滑動阻力變大時，轉矩電流亦變大。

【0049】圖3係說明辨認模擬模式未知之模式參數的方法之流程圖。

步驟1係圖1所示之研磨裝置1在指定之研磨條件下至少研磨1片工件。

步驟2係演算系統47從工件之實際研磨所獲得的實測資料決定實測研磨物理量。更具體而言，演算系統47核定工件之實測研磨率，進一步取得研磨工件時產生之各種轉矩的量測值。實測研磨率可藉由將工件之初期膜厚與研磨後之工件的膜厚之差除以研磨時間來核定。各種轉矩之量測值例如係供給至研磨頭旋轉馬達20、台旋轉馬達21、及修整器旋轉馬達60之轉矩電流。此等實測研磨物理量儲存於記憶裝置47a中。

【0050】步驟3係演算系統47將儲存於記憶裝置47a中之未知的模式參數之初始值輸入模擬模式。

步驟4係演算系統47將工件之研磨條件輸入模擬模式，來決定使前述工件之估計研磨物理量接近步驟2所獲得之實測研磨物理量的模式參數。該步驟4係辨認可使估計研磨物理量接近實測研磨物理量之未知模式參數的工序。

步驟5係演算系統47將模擬模式現在之模式參數替換成在步驟4所決定的模式參數，來更新模擬模式。

步驟6係演算系統47將在步驟4所使用之研磨條件輸入更新後的模擬模式，並藉由從模擬模式輸出估計研磨物理量來更新估計研磨物理量。

【0051】步驟7係演算系統47計算更新後之估計研磨物理量與對應的實測研磨物理量之差。

步驟8係演算系統47評估上述差。從步驟5至步驟8之工序係評估所決定之模式參數的工序。上述差大於或等於指定之臨限值時，演算系統47反覆從步驟4進行至步驟8。上述差比臨限值小時，演算系統47結束模式參數之決定動作。一種實施形態係演算系統47統計反覆從步驟4進行至步驟8之次數，當反覆之次數大於或等於指定值（或是反覆從步驟4進行至步驟8之核定時間大於或等於指定值）時、及／或上述差比臨限值小時，演算系統47結束模式參數之決定動作。

【0052】 演算系統47按照儲存於記憶裝置47a中之辨認程式中包含的最小二乘法、最速下降法、單純形法等運算法，決定用於使估計研磨物理量接近實測研磨物理量之模式參數。將具有按照圖3所示之流程圖最後決定之模式參數的模擬模式儲存於記憶裝置47a中。

【0053】 其次，說明模擬模式。如上述，模擬模式包含：用於核定工件W之估計研磨率的研磨率模式；及用於核定因研磨墊2之滑動阻力而產生之轉矩的估計值之研磨轉矩模式。

【0054】 研磨率模式例如依據普雷斯頓（Preston）定律而表示如下。

$$\text{研磨率}MMR = k_p p |V| = \beta {}^w\mu p |V| \quad \dots (1)$$

其中， k_p 係普雷斯頓係數， p 係工件W對研磨墊2之壓力， V 係工件W與研磨墊2之相對速度， β 係正比常數（轉矩常數）， ${}^w\mu$ 係工件W之摩擦係數。

【0055】 普雷斯頓係數 k_p 係假定與工件W之摩擦係數 ${}^w\mu$ 成正比來設定上述公式（1）。換言之，工件W之研磨率MMR係假設與工件W之摩擦係數 ${}^w\mu$ 相關。

【0056】 上述公式（1）中，正比常數 β 及摩擦係數 ${}^w\mu$ 係未知的模式參數，另外，壓力 p 及相對速度 V 係從研磨條件賦予之已知的模式參數。因此，知道正

比常數 β 及摩擦係數 μ 即可從上述公式(1)求出研磨率之估計值，亦即估計研磨率。

【0057】其次，說明研磨轉矩模式。研磨轉矩模式係用於核定工件W研磨中，研磨裝置需要之機械轉矩的估計值之物理模式。工件W研磨中，在研磨墊2之研磨面2a上有幾種滑動阻力作用。其一係研磨頭7（包含工件W）與研磨墊2之間產生的滑動阻力，另外一個係修整器50與研磨墊2之間產生的滑動阻力。因為此等滑動阻力的關係，為了使研磨裝置1、研磨墊2、及修整器50分別以設定速度旋轉所需的轉矩改變。

【0058】研磨轉矩模式至少包含：核定使研磨墊2上之研磨頭7及工件W以研磨頭7之軸心（與研磨頭軸桿18之軸心一致）為中心而旋轉的研磨頭旋轉轉矩之估計值的頭旋轉轉矩模式；及核定使研磨墊2以其軸心（與台軸5a之軸心一致）為中心而旋轉之研磨墊旋轉轉矩的估計值之墊旋轉轉矩模式。

【0059】工件W研磨中，研磨頭7及工件W一邊旋轉，工件W及扣環72一邊按壓於研磨墊2。頭旋轉轉矩模式係用於核定為了一邊抵抗扣環72與研磨墊2之摩擦、及工件W與研磨墊2之摩擦兩者，一邊使研磨頭7以指定速度並以其軸心為中心而旋轉所需的轉矩之估計值的物理模式。

【0060】本實施形態在研磨墊2之研磨面2a的修整係在工件W研磨中執行。因此，工件W研磨中，研磨頭7之扣環72、工件W、及修整器50與研磨墊2接觸。結果研磨墊旋轉轉矩取決於扣環72、工件W、及修整器50對研磨墊2的摩擦。墊旋轉轉矩模式係用於核定為了一邊抵抗扣環72與研磨墊2之摩擦、工件W與研磨墊2之摩擦、及修整器50與研磨墊2之摩擦，一邊使研磨墊2（亦即研磨台5）以指定之速度旋轉所需的轉矩之估計值的物理模式。

【0061】圖4係顯示研磨墊2上之研磨頭7、工件W、及修整器50上之速度向量的示意圖。圖4所示之各符號定義如下。

工件W或在扣環72上之點A1的研磨墊2之旋轉方向的速度向量： V_{PH}

從研磨墊2之中心C1至點A1的位置向量： r_{PH}

從研磨頭7之中心C2至點A1的位置向量： r_{Hr}

點A1上之研磨頭7的旋轉方向之速度向量： V_{Hr}

點A1上之研磨頭7的搖動方向之速度向量： V_{Ho}

點A1上之研磨頭7的合成速度向量： $V_H = V_{Hr} + V_{Ho}$

研磨頭7之搖動軸心：OH（與支軸14之軸心一致）

從研磨頭7之搖動軸心OH至點A1的位置向量： r_{Ho}

【0062】在修整器50上之點A2上的研磨墊2之旋轉方向的速度向量： V_{PD}

從研磨墊2之中心C1至點A2的位置向量： r_{PD}

從修整器50之中心C3至點A2的位置向量： r_{Dr}

在點A2之修整器50的旋轉方向之速度向量： V_{Dr}

在點A2之修整器50的搖動方向之速度向量： V_{Do}

在點A2之修整器50的合成速度向量： $V_D = V_{Dr} + V_{Do}$

修整器50之搖動軸心：OD（與支軸58之軸心一致）

從修整器50之搖動軸心OD至點A2的位置向量： r_{Do}

【0063】在點A1之研磨頭7對研磨墊2的相對速度向量： $V_{PH-H} = V_H - V_{PH}$

相對速度向量 V_{PH-H} 之單位向量： $uV_{PH-H} = V_{PH-H} / |V_{PH-H}|$

在點A1之研磨墊2對研磨頭7的相對速度向量： $V_{H-PH} = V_{PH} - V_H$

相對速度向量 V_{H-PH} 之單位向量： $uV_{H-PH} = V_{H-PH} / |V_{H-PH}|$

在點A2之修整器50對研磨墊2的相對速度向量： $V_{PD-D} = V_D - V_{PD}$

相對速度向量 V_{PD-D} 之單位向量： $uV_{PD-D} = V_{PD-D} / |V_{PD-D}|$

在點A2之研磨墊2對修整器50的相對速度向量： $V_{D-PD} = V_{PD} - V_D$

相對速度向量 V_{D-PD} 之單位向量： $uV_{D-PD} = V_{D-PD} / |V_{D-PD}|$

【0064】其次，參照圖5說明墊旋轉轉矩模式。

作用於工件W的微小面積 ds_w 與研磨墊2之間的滑動阻力 dF_{pw} （表示向量）如下求出。

$$滑動阻力 dF_{PW} = {}^w\mu {}^w p ds_w uV_{PH-H} \quad \dots (2)$$

其中， ${}^w\mu$ 係工件W之摩擦係數， ${}^w p$ 係工件W對研磨墊2之壓力， ds_w 係工件W之微小面積， uV_{PH-H} 係研磨頭7對研磨墊2之相對速度向量的單位向量。

【0065】作用於扣環72的微小面積 ds_R 與研磨墊2之間的滑動阻力 dF_{PR} （表示向量）如下求出。

$$滑動阻力 DF_{PR} = {}^R\mu {}^R p ds_R uV_{PH-H} \quad \dots (3)$$

其中， ${}^R\mu$ 係扣環72之摩擦係數， ${}^R p$ 係扣環72對研磨墊2之壓力， ds_R 係扣環72之微小面積， uV_{PH-H} 係研磨頭7對研磨墊2之相對速度向量的單位向量。

【0066】作用於修整器50的微小面積 ds_D 與研磨墊2之間的滑動阻力 dF_{PD} （表示向量）如下求出。

$$滑動阻力 DF_{PD} = {}^D\mu {}^D p ds_D uV_{PD-D} \quad \dots (4)$$

其中， ${}^D\mu$ 係修整器50之摩擦係數， ${}^D p$ 係修整器50對研磨墊2之壓力， ds_D 係修整器50之微小面積， uV_{PD-D} 係修整器50對研磨墊2之相對速度向量的單位向量。

【0067】因在工件W之微小面積 ds_W 、扣環72之微小面積 ds_R 、及修整器50之微小面積 ds_D 之滑動阻力而作用於研磨墊2之中心C1的微小轉矩如下。

$$\text{微小轉矩 } dN_{PW} = r_{PH} \times dF_{PW} \quad \dots (5)$$

$$dN_{PR} = r_{PH} \times dF_{PR} \quad \dots (6)$$

$$dN_{PD} = r_{PH} \times dF_{PD} \quad \dots (7)$$

其中，符號 $\times$ 表示向量之外積。

【0068】將工件W之微小面積 ds_W 的位置、扣環72之微小面積 ds_R 的位置、及修整器50之微小面積 ds_D 的位置分別以極座標 (r_i, θ_j) 來表示時，用於核定研磨墊旋轉轉矩之估計值的墊旋轉轉矩模式如下賦予。

$$\text{研磨墊旋轉轉矩 } {}^P N = \sum_i \sum_j dN_{PW} + \sum_i \sum_j dN_{PR} + \sum_i \sum_j dN_{PD} \quad \dots (8)$$

【0069】研磨墊2之研磨面2a的修整並未在工件W研磨中執行時，在上述公式(8)中， $\sum_i \sum_j dN_{PD}$ 之項為0。

【0070】其次，說明核定研磨頭旋轉轉矩之估計值的頭旋轉轉矩模式。

研磨墊2對研磨頭7之相對速度向量係 $V_{H-PH} = V_{PH} - V_H$ ，相對速度向量 V_{H-PH} 之單位向量係 $uV_{H-PH} = V_{H-PH} / |V_{H-PH}|$ 。

假設工件W以與研磨頭7相同旋轉速度 $[\text{min}^{-1}]$ 旋轉時，作用於工件W之微小面積 ds_W 及扣環72之微小面積 ds_R 的滑動阻力表示如下。

$$\text{滑動阻力 } dF_{HW} = {}^W \mu {}^W p ds_W uV_{H-PH} \quad \dots (9)$$

$$dF_{HR} = {}^R \mu {}^R p ds_R uV_{H-PH} \quad \dots (10)$$

【0071】因在工件W之微小面積 ds_W 及扣環72之微小面積 ds_R 的滑動阻力而作用於研磨頭7之中心C2的微小轉矩如下。

$$\text{微小轉矩 } dN_{HrW} = r_{Hr} \times dF_{HW} \quad \dots (11)$$

$$dN_{HrR} = r_{Hr} \times dF_{HR} \quad \dots (12)$$

其中， r_{Hr} 係從研磨頭7之中心C2至工件W之微小面積 ds_w 的位置向量，亦係從研磨頭7之中心C2至扣環72之微小面積 ds_R 的位置向量。

【0072】分別以極座標 (r_i, θ_j) 來表示工件W之微小面積 ds_w 的位置、及扣環72之微小面積 ds_R 的位置時，用於核定研磨頭旋轉轉矩之估計值的頭旋轉轉矩模式賦予如下。

$$\text{研磨頭旋轉轉矩 } {}^H_r N = \sum_i \sum_j dN_{HrW} + \sum_i \sum_j dN_{HrR} \quad \dots (13)$$

【0073】本實施形態係在工件W研磨中執行研磨墊2之研磨面2a的修整。因此，如上述公式(8)所示，墊旋轉轉矩模式包含因修整器50之滑動阻力而產生的轉矩。研磨轉矩模式除了頭旋轉轉矩模式及墊旋轉轉矩模式之外，進一步包含核定使在研磨墊2上之修整器50以其軸心為中心而旋轉之修整器旋轉轉矩的估計值之修整器旋轉轉矩模式。修整器旋轉轉矩模式係用於核定為了一邊使修整器50抵抗修整器50與研磨墊2之摩擦一邊以指定速度旋轉所需的轉矩之估計值的物理模式。

【0074】用於核定修整器旋轉轉矩之估計值的修整器旋轉轉矩模式與頭旋轉轉矩模式同樣地賦予如下。

$$\text{滑動阻力 } dF_D = {}^D\mu \cdot {}^Dp \cdot ds_D \cdot uV_{D-PD} \quad \dots (14)$$

$$\text{微小轉矩 } dN_{rD} = r_{Dr} \times dF_D \quad \dots (15)$$

$$\text{修整器旋轉轉矩 } {}^D_r N = \sum_i \sum_j dN_{rD} \quad \dots (16)$$

其中， ${}^D\mu$ 係修整器50之摩擦係數， Dp 係修整器50對研磨墊2之壓力， uV_{D-PD} 係研磨墊2對修整器50之相對速度向量的單位向量， r_{Dr} 係從修整器50之中心C3至修整器50之微小面積 ds_D 的位置向量。

【0075】 研磨墊2修整中，修整器50在研磨墊2上於其半徑方向搖動。研磨轉矩模式進一步包含核定該修整器50搖動所需之在修整器50之搖動軸心OD周圍修整器搖動轉矩的估計值之修整器搖動轉矩模式。

修整器搖動轉矩模式由以下公式（18）表示。

$$\text{微小轉矩 } dN_{oD} = r_{Do} \times dF_D \quad \dots (17)$$

$$\text{修整器搖動轉矩 } {}^D_oN = \sum_i \sum_j dN_{oD} \quad \dots (18)$$

其中， r_{Do} 係從修整器50之搖動軸心OD（參照圖4）至修整器50之微小面積 ds_D 的位置向量。

【0076】 本實施形態於工件W研磨中，研磨頭7係在研磨墊2上搖動。研磨轉矩模式進一步包含核定該研磨頭7搖動所需之在研磨頭7的搖動軸心OH周圍研磨頭搖動轉矩之估計值的頭搖動轉矩模式。

頭搖動轉矩模式由以下公式（21）表示。

$$\text{微小轉矩 } dN_{HoW} = r_{Ho} \times dF_{HW} \quad \dots (19)$$

$$dN_{HoR} = r_{Ho} \times dF_{HR} \quad \dots (20)$$

$$\text{研磨頭搖動轉矩 } {}^H_oN = \sum_i \sum_j dN_{HoW} + \sum_i \sum_j dN_{HoR} \quad \dots (21)$$

其中， r_{Ho} 係從研磨頭7之搖動軸心OH（參照圖4）至工件W之微小面積 ds_W 的位置向量，及從搖動軸心OH至扣環72之微小面積 ds_R 的位置向量。

【0077】 本實施形態之研磨轉矩模式係包含上述公式（8）、（13）、（16）、（18）、（21）。在研磨墊2之修整未在工件W研磨中執行時，研磨轉矩模式不含公式（16）所示之修整器旋轉轉矩模式、及公式（18）所示之修整器搖動轉矩模式。研磨頭7之搖動未在工件W研磨中執行時，研磨轉矩模式不含上述公式（21）所示之頭搖動轉矩模式。

【0078】構成模擬模式之上述公式(1)、(8)、(13)、(16)、(18)、(21)中包含的摩擦係數 ${}^w\mu$ 、 ${}^R\mu$ 、 ${}^D\mu$ 係未知的模式參數。此等未知的模式參數是藉由後述之辨認工序來辨認出來。

【0079】工件W之摩擦係數 ${}^w\mu$ 取決於供給至研磨墊2上之漿液中所含的研磨粒之分布而變化。圖6係顯示工件W之摩擦係數 ${}^w\mu$ 分布的示意圖。工件W之摩擦係數 ${}^w\mu$ 的分布可藉由計算求出。亦即，定義表示工件W之摩擦係數的基底函數，藉由同時辨認計算轉矩與研磨率，可求出如圖6所示之工件W之摩擦係數 ${}^w\mu$ 的分布。

【0080】以工件W上之作用研磨粒數量來代表的研磨效率假定與工件W之摩擦係數 ${}^w\mu$ 成正比時，工件W之摩擦係數 ${}^w\mu$ 的分布可替換成作用研磨粒的分布。此處，所謂作用研磨粒，係漿液所包含之研磨粒中與工件W接觸而相對運動，有助於去除工件W之材料的研磨粒。如圖6所示，摩擦係數 ${}^w\mu$ 在工件W之周緣部大，而在工件W之中心部小。此因工件W研磨中，包含研磨粒之漿液從漿液供給噴嘴8（參照圖1）供給至研磨墊2上，而從工件W之周緣部流入工件W的被研磨面。此外，如圖6所示，摩擦係數 ${}^w\mu$ 分布之中心O1從工件W之中心稍微偏差。從圖1瞭解，這與漿液供給噴嘴8在研磨墊2之旋轉方向，位於研磨頭7之上游側有關。

【0081】圖7係說明工件W上之某個微小區域的位置之圖。在圖7中， ${}^w\mathbf{a}_i(r, \theta)$ 表示從工件W之中心C2至微小區域的位置向量， ${}^w\mathbf{a}_0$ 表示摩擦係數 ${}^w\mu$ 之分布中心O1的位置向量， ${}^w\mathbf{b}_i$ 表示從摩擦係數 ${}^w\mu$ 之分布中心O1至微小區域的距離。

工件W之摩擦係數 ${}^w\mu$ 的分布由以下公式賦予。

[數1]

$${}^w\mu_i(r, \theta) = \sum_{j=0}^{Nj} \mu_0 {}^w b_i^j = \sum_{j=0}^{Nj} \mu_0 |{}^w a_i(r, \theta) - {}^w a_0|^j \dots \quad (22)$$

第 23 頁，共 29 頁(發明說明書)

其中， $1 \leq r \leq N_r$ ， $1 \leq \theta \leq N_\theta$ ， $1 \leq i \leq N_\theta N_r$ ， $0 \leq j \leq N_j$ 。 N_r 表示半徑方向分割元素數， N_θ 表示圓周方向分割元素數， $N_\theta N_r$ 表示面元（元素）之總數， j 表示多項式之指數值， N_j 表示多項式之最大指數。圖7及公式（22）中， r 與 θ 並非表示半徑及角度之物理量，而係用於特定分布在圖6所示之半徑方向及周方向的分割元素編號（或是位置）的整數。 μ_0 係在工件W中心之摩擦係數。

【0082】 上述公式（22）係表示工件W之摩擦係數 $^w\mu$ 的分布之物理模式。本實施形態之模擬模式除了以上述公式（1）、（8）、（13）、（16）、（18）、（21）顯示的物理模式之外，進一步包含公式（22）顯示的物理模式。公式（22）之 μ_0 、 $^w a_0$ 係未知的模式參數。

【0083】 其次，說明研磨墊2隨著時間經過之老化對摩擦係數的影響。圖8係顯示研磨墊2之轉矩與研磨時間的關係曲線圖。實際研磨工件W中，為了使研磨墊2以一定速度旋轉所需的轉矩，如圖8之虛線所示係逐漸降低。考慮的原因可舉出研磨墊2之表面粗糙度的變化、研磨墊2之黏彈性的變化、研磨墊2之厚度的變化等。

【0084】 另外，藉由上述公式（8）顯示之物理模式而核定的研磨墊2之轉矩，如圖8之一點鏈線所示，不論研磨時間為何皆為一定。因此，為了使研磨墊2之實際轉矩變化反映到模擬模式，模擬模式進一步包含表現隨著研磨時間經過而研磨墊2老化的數理模式。本實施形態之研磨墊2的老化係表現為工件W之摩擦係數降低。

【0085】 表示工件W之摩擦係數降低，亦即研磨墊2老化之數理模式如下。

$$\begin{aligned} \text{工件W之摩擦係數 } ^w\mu &= ^w\mu_i f_p(t) \\ &= ^w\mu_i [(\alpha_0 - \alpha_1)\exp[-(t - t_0)/T] + \alpha_1] \quad \dots (23) \end{aligned}$$

第 24 頁，共 29 頁(發明說明書)

公式(23)中， t 係研磨時間， t_0 係開始研磨時間， T 係時間常數。

【0086】上述數理模式包含為了使工件 W 之摩擦係數隨著研磨時間經過而降低的擬合函數 $f_p(t)$ 。該擬合函數 $f_p(t)$ 係將研磨時間 t 作為變數之指數函數。圖9係表示擬合函數 $f_p(t)$ 之曲線圖。圖9之橫軸表示研磨時間 t ，縱軸表示按照研磨時間 t 而變化的擬合函數 $f_p(t)$ 之值。公式23中， α_0 、 α_1 、 t_0 、 T 係未知之模式參數。

【0087】如上述，本實施形態之模擬模式包含：核定工件 W 之估計研磨率與研磨裝置1之估計轉矩的物理模式；及表示工件 W 之摩擦係數降低的1個數理模式。此種模擬模式如圖8之實線所示，可核定與實際轉矩相同地變化之估計轉矩。

【0088】其次，說明將上述未知之模式參數 $^R\mu$ 、 $^D\mu$ 、 μ_0 、 $^W_r a_0$ 、 β 、 α_0 、 α_1 、 t_0 、 T 辨認(決定)之方法。演算系統47係以使用藉由實際研磨所獲得之實測研磨物理量作為辨認參數，而將模擬模式未知之模式參數辨認的方式構成。演算系統47按照儲存於記憶裝置47a中之辨認程式中包含的命令而動作，並使用最小二乘法、最速下降法、單純形法等運算法，決定使估計研磨物理量接近實測研磨物理量之模式參數。

【0089】如以下說明，本實施形態之演算系統47係以使用最小二乘法決定模式參數 μ_0 、 $^R\mu$ 、 $^D\mu$ ，並使用單純形法決定模式參數 $^W_r a_0$ 、 β 、 α_0 、 α_1 、 t_0 、 T 的方式構成。不過，本發明不限於本實施形態，亦可使用最速下降法等其他運算法來決定上述未知的模式參數。或是，亦可僅使用最小二乘法來決定上述未知的模式參數。

【0090】一種實施形態使用最小二乘法之統合計算模式如下。以下公式中，附註於左上方之文字 P 表示研磨墊2，附註於左上方之文字 H 表示研磨頭7，

附註於左上方之文字D表示修整器50，附註於左下方之文字r表示旋轉，附註於左下方之文字o表示搖動。

[數2]

$$\begin{bmatrix} P N \\ H_r N \\ D_r N \\ H_o N \\ D_o N \\ MRR \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} PW_r C & PR_r C & PD_r C \\ W_r C & R_r C & 0 \\ 0 & 0 & PW_r C \\ W_o C & R_o C & 0 \\ 0 & 0 & D_r C \\ E & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mu 0 \\ R \mu \\ D \mu \end{bmatrix} \quad \dots (24)$$

【0091】 在上述公式（24）之左邊輸入從工件之實際研磨所取得的實測研磨物理量。未知之模式參數使用最小二乘法如下求出。亦即，展開公式（24），抽出欲辨認之參數X的項，作成公式Y=AX。進一步從使用矩陣A之偽逆矩陣A*的公式X=A*Y藉由最小二乘法將參數X辨認。反覆進行上述作業可將全部未知參數辨認。

【0092】 公式（24）左邊係從實際研磨所獲得之實測資料Yexp，右邊係從模擬模式所獲得之估計資料Ysim。右邊Ysim係僅以輸入之研磨條件可計算的左側之矩陣A、與關於右側之摩擦的未知參數之向量X的相乘AX。使用最小二乘法藉由使用已知之矩陣A的偽逆矩陣A*，可求出未知參數X=A*Yexp。

【0093】 在上述公式（24）右邊之係數矩陣中代入以下公式。

[數3]

$$PW C_{kj} = \sum_{i=1}^{N_i} W p_k W ds_i PW B_{ik} A_{ij} \quad \dots (25)$$

$$PR_r C_k = \sum_{\theta=1}^{N_\theta} R p_k R ds_\theta PR_r B_{\theta k} \quad \dots (26)$$

$$PD_r C_k = \sum_{\theta=1}^{N_\theta} RD p_k D ds_\theta PD_r B_{\theta k} \quad \dots (27)$$

$$A = [A_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & |w_r r_1 - w_r r_0|^j & \cdots & |w_r r_1 - w_r r_0|^{N_j} \\ \vdots & \ddots & & & \vdots \\ 1 & & |w_r r_i - w_r r_0|^j & & |w_r r_i - w_r r_0|^{N_j} \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ 1 & \cdots & |w_r r_{N_i} - w_r r_0|^j & \cdots & |w_r r_{N_i} - w_r r_0|^{N_j} \end{bmatrix} \dots \quad (28)$$

$$B_{ik} = r_{ik} \times \frac{v_{ik}}{|v_{ik}|} \dots \quad (29)$$

【0094】 一種實施形態使用單純形法之誤差函數模式如下。

[數4]

$$Error(w_r a_0, \beta, a_1, t_0, T) = \sum_{k=1}^{N_k} \left[\begin{array}{c} \|P_r N_k^{exp} - P_r N_k^{sim}\| \\ \|TR_r N_k^{exp} - TR_r N_k^{sim}\| \\ \|TR_o N_k^{exp} - TR_o N_k^{sim}\| \\ MRR_k^{exp} - MRR_k^{sim} \end{array} \right]^T \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{bmatrix} \dots \quad (30)$$

上述公式(30)中，附有上標exp的數值係表示轉矩及研磨率之實測值，附有上標sim的數值是從模擬模式所獲得之估計值。w₁、w₂、w₃、w₄係對於各物理量的估計誤差進行的加權。

【0095】 演算系統47按照辨認程式運作，將上述未知之模式參數辨認。演算系統47將模擬模式之現在的模式參數替換成決定的模式參數。演算系統47在包含決定之模式參數的模擬模式中輸入工件的研磨條件，來核定估計研磨物理量。

【0096】 再者，演算系統47算出在公式(24)中輸入的實測研磨物理量與估計研磨物理量之差，判定該差是否比指定之臨限值小。差大於或等於臨限值時，演算系統47使用其他工件之實測研磨物理量再度執行上述的辨認。差比臨限值小時，演算系統47使用包含決定之模式參數的模擬模式核定其他工件之估計研磨物理量。亦即，演算系統47係將尚未研磨之工件(例如晶圓)的研磨條件輸入模擬模式，可使用模擬模式正確核定該工件之估計研磨率。

【0097】 演算系統47將估計研磨率傳送至圖1所示之動作控制部80。動作控制部80可依據估計研磨率預測研磨中之工件的研磨終點。再者，動作控制部80亦可在工件研磨中，作成工件上之估計研磨率的分布，並依據估計研磨率之分布控制對研磨中之工件的研磨壓力（從研磨頭7施加於工件之壓力）。

【0098】 上述實施形態係以本發明所屬之技術領域中具有通常知識者可實施本發明為目的而記載者。熟悉本技術之業者當然可形成上述實施形態之各種修改例，本發明之技術性思想亦可適用於其他實施形態。因此，本發明不限定於記載之實施形態，而應在按照藉由申請專利範圍定義之技術性思想的最大範圍內作解釋者。

[產業上之可利用性]

【0099】 本發明係關於用於研磨晶圓、基板、面板等工件之表面的化學機械研磨系統，特別是可利用於依據化學機械研磨之實測資料將化學機械研磨之模擬模式最佳化的網路實體系統。

【符號說明】

【0100】

- | | |
|--------|------------|
| 1:研磨裝置 | 8:漿液供給噴嘴 |
| 2:研磨墊 | 14:支軸 |
| 2a:研磨面 | 16:研磨頭搖動臂 |
| 5:研磨台 | 18:研磨頭軸桿 |
| 5a:台軸 | 20:研磨頭旋轉馬達 |
| 7:研磨頭 | 21:台旋轉馬達 |

22:研磨頭搖動馬達	53:空氣汽缸
24:升降機構	55:修整器搖動臂
25:旋轉接頭	56:支柱
26:軸承	57:支撐台
28:橋接器	58:支軸
29:支撐台	60:修整器旋轉馬達
30:支柱	63:修整器搖動馬達
32:滾珠螺桿機構	71:載體
32a:螺旋軸	72:扣環
32b:螺帽	74:隔膜(彈性膜)
38:伺服馬達	76:翻卷式薄膜
47:演算系統	77:氣體供給源
47a:記憶裝置	80:動作控制部
47b:處理裝置	F1,F2,F3,F4,F5:流體路徑
50:修整器	G1,G2,G3,G4,G5:壓力室
50a:修整面	R1,R2,R3,R4,R5:壓力調節器
51:修整器軸桿	W:工件

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種化學機械研磨系統，係具備：

研磨台，其係用於支撐具有研磨面之研磨墊；

研磨頭，其係對前述研磨面按壓工件；

漿液供給噴嘴，其係對前述研磨面供給漿液；及

演算系統，其係具有記憶有模擬模式之記憶裝置，該模擬模式至少包含輸出估計研磨物理量之物理模式，該估計研磨物理量包含前述工件之估計研磨率；

前述演算系統係以將前述工件之研磨條件輸入前述模擬模式，

並從前述模擬模式輸出前述工件之估計研磨物理量，

決定使前述估計研磨物理量接近前述工件之實測研磨物理量的前述模擬模式之模式參數的方式構成，

前述物理模式包含：研磨率模式，其係核定前述工件之估計研磨率；及研磨轉矩模式，其係核定因前述研磨墊之滑動阻力而產生的轉矩之估計值，

前述研磨轉矩模式包含：頭旋轉轉矩模式，其係核定使在前述研磨墊上之前述研磨頭及前述工件以前述研磨頭之軸心為中心而旋轉的研磨頭旋轉轉矩之估計值；及墊旋轉轉矩模式，其係核定使前述研磨墊以其軸心為中心而旋轉之研磨墊旋轉轉矩的估計值。

【請求項2】 如請求項1之化學機械研磨系統，其中前述化學機械研磨系統進一步備有修整器，其係用於修整前述研磨面，

前述研磨轉矩模式包含：修整器旋轉轉矩模式，其係核定使前述研磨墊上之前述修整器以其軸心為中心而旋轉的修整器旋轉轉矩之估計值；及修整器搖動轉矩模式，其係核定使前述修整器在前述研磨墊上搖動時需要之在搖動軸心周圍的修整器搖動轉矩之估計值。

【請求項3】 如請求項1或2之化學機械研磨系統，其中前述模擬模式進一步包含數理模式，其係表示前述研磨墊隨著研磨時間經過而老化。

【請求項4】 如請求項1或2之化學機械研磨系統，其中前述演算系統係以在包含前述決定之模式參數的前述模擬模式中輸入前述研磨條件，核定更新後之估計研磨物理量，

評估前述更新後的估計研磨物理量與前述實測研磨物理量之差的方式構成。

【請求項5】 如請求項1或2之化學機械研磨系統，其中前述演算系統以核定前述工件之摩擦係數之分布的方式構成。

【請求項6】 如請求項1或2之化學機械研磨系統，其中前述演算系統以使用最小二乘法、最速下降法、單純形法其中至少1個來決定前述模式參數的方式構成。

【請求項7】 如請求項1或2之化學機械研磨系統，其中前述研磨轉矩模式進一步包含頭搖動轉矩模式，其係核定使前述研磨頭在前述研磨墊上搖動所需之在前述研磨頭的搖動軸心周圍之研磨頭搖動轉矩之估計值。

【請求項8】 一種化學機械研磨系統，係具備：
研磨台，其係用於支撐具有研磨面之研磨墊；
研磨頭，其係對前述研磨面按壓工件；

漿液供給噴嘴，其係對前述研磨面供給漿液；及

演算系統，其係具有記憶有模擬模式之記憶裝置，該模擬模式至少包含輸出估計研磨物理量之物理模式，該估計研磨物理量包含前述工件之估計研磨率；

前述演算系統係以將前述工件之研磨條件輸入前述模擬模式，

並從前述模擬模式輸出前述工件之估計研磨物理量，

決定使前述估計研磨物理量接近前述工件之實測研磨物理量的前述模擬模式之模式參數的方式構成，

前述物理模式包含：研磨率模式，其係核定前述工件之估計研磨率；及研磨轉矩模式，其係核定因前述研磨墊之滑動阻力而產生的轉矩之估計值，

前述研磨轉矩模式包含：頭搖動轉矩模式，其係核定使前述研磨頭在前述研磨墊上搖動所需之在前述研磨頭的搖動軸心周圍之研磨頭搖動轉矩之估計值；及墊旋轉轉矩模式，其係核定使前述研磨墊以其軸心為中心而旋轉之研磨墊旋轉轉矩的估計值。

【請求項9】一種作成化學機械研磨之模擬模式的演算系統，

其具備：

記憶裝置，其係記憶有程式及前述模擬模式；及

處理裝置，其係按照前述程式中包含之命令執行演算；

前述模擬模式至少包含物理模式，該物理模式係輸出包含化學機械性研磨時之工件的估計研磨率之估計研磨物理量，

前述演算系統係以將前述工件之研磨條件輸入前述模擬模式，

並從前述模擬模式輸出前述工件之估計研磨物理量，

決定使前述估計研磨物理量接近前述工件之實測研磨物理量的前述模擬模式之模式參數的方式構成，

前述物理模式包含：研磨率模式，其係核定前述工件之估計研磨率；及研磨轉矩模式，其係核定因供前述工件被研磨頭按壓的前述研磨墊之滑動阻力而產生的轉矩之估計值，

前述研磨轉矩模式包含：頭旋轉轉矩模式，其係核定使在前述研磨墊上之前述研磨頭及前述工件以前述研磨頭之軸心為中心而旋轉的研磨頭旋轉轉矩之估計值；及墊旋轉轉矩模式，其係核定使前述研磨墊以其軸心為中心而旋轉之研磨墊旋轉轉矩的估計值。

【請求項10】 一種作成化學機械研磨之模擬模式的方法，

其包含以下工序，即

該模擬模式係至少包含輸出包含工件之估計研磨率的估計研磨物理量之物理模式，在前述模擬模式中輸入前述工件之研磨條件，

並從前述模擬模式輸出前述工件之估計研磨物理量，

使用研磨裝置研磨前述工件，

決定使前述估計研磨物理量接近前述工件之實測研磨物理量的前述模擬模式之模式參數，

前述研磨裝置具備：

研磨台，其係用於支撐具有研磨面之研磨墊；

研磨頭，其係對前述研磨面按壓前述工件；及

漿液供給噴嘴，其係對前述研磨面供給漿液，

前述物理模式包含：研磨率模式，其係核定前述工件之估計研磨率；及研磨轉矩模式，其係核定因前述研磨墊之滑動阻力而產生的轉矩之估計值，

前述研磨轉矩模式包含：頭旋轉轉矩模式，其係核定使在前述研磨墊上之前述研磨頭及前述工件以前述研磨頭之軸心為中心而旋轉的研磨頭旋轉轉矩之估計值；及墊旋轉轉矩模式，其係核定使前述研磨墊以其軸心為中心而旋轉之墊旋轉轉矩的估計值。

【請求項11】 如請求項10之方法，其中前述研磨裝置進一步備有修整器，其係用於修整前述研磨面，

前述研磨轉矩模式包含：修整器旋轉轉矩模式，其係核定使前述研磨墊上之前述修整器以其軸心為中心而旋轉的修整器旋轉轉矩之估計值；及修整器搖動轉矩模式，其係核定使前述修整器在前述研磨墊上搖動時需要之在搖動軸心周圍的修整器搖動轉矩之估計值。

【請求項12】 如請求項10或11之方法，其中前述模擬模式進一步包含數理模式，其係表示前述研磨墊隨著研磨時間經過而老化。

【請求項13】 如請求項10或11之方法，其中進一步包含以下工序，即在包含前述決定之模式參數的前述模擬模式中輸入前述研磨條件，核定更新後之估計研磨物理量，評估前述更新後的估計研磨物理量與前述實測研磨物理量之差。

【請求項14】 一種作成化學機械研磨之模擬模式的方法，

該模擬模式係至少包含輸出包含工件之估計研磨率的估計研磨物理量之物理模式，在前述模擬模式中輸入前述工件之研磨條件，

並從前述模擬模式輸出前述工件之估計研磨物理量，

決定使前述估計研磨物理量接近前述工件之實測研磨物理量的前述模擬模式之模式參數，

前述物理模式包含：研磨率模式，其係核定前述工件之估計研磨率；及研磨轉矩模式，其係核定因供前述工件被研磨頭按壓的前述研磨墊之滑動阻力而產生的轉矩之估計值，

前述研磨轉矩模式包含：頭旋轉轉矩模式，其係核定使在前述研磨墊上之前述研磨頭及前述工件以前述研磨頭之軸心為中心而旋轉的研磨頭旋轉轉矩之估計值；及墊旋轉轉矩模式，其係核定使前述研磨墊以其軸心為中心而旋轉之墊旋轉轉矩的估計值。



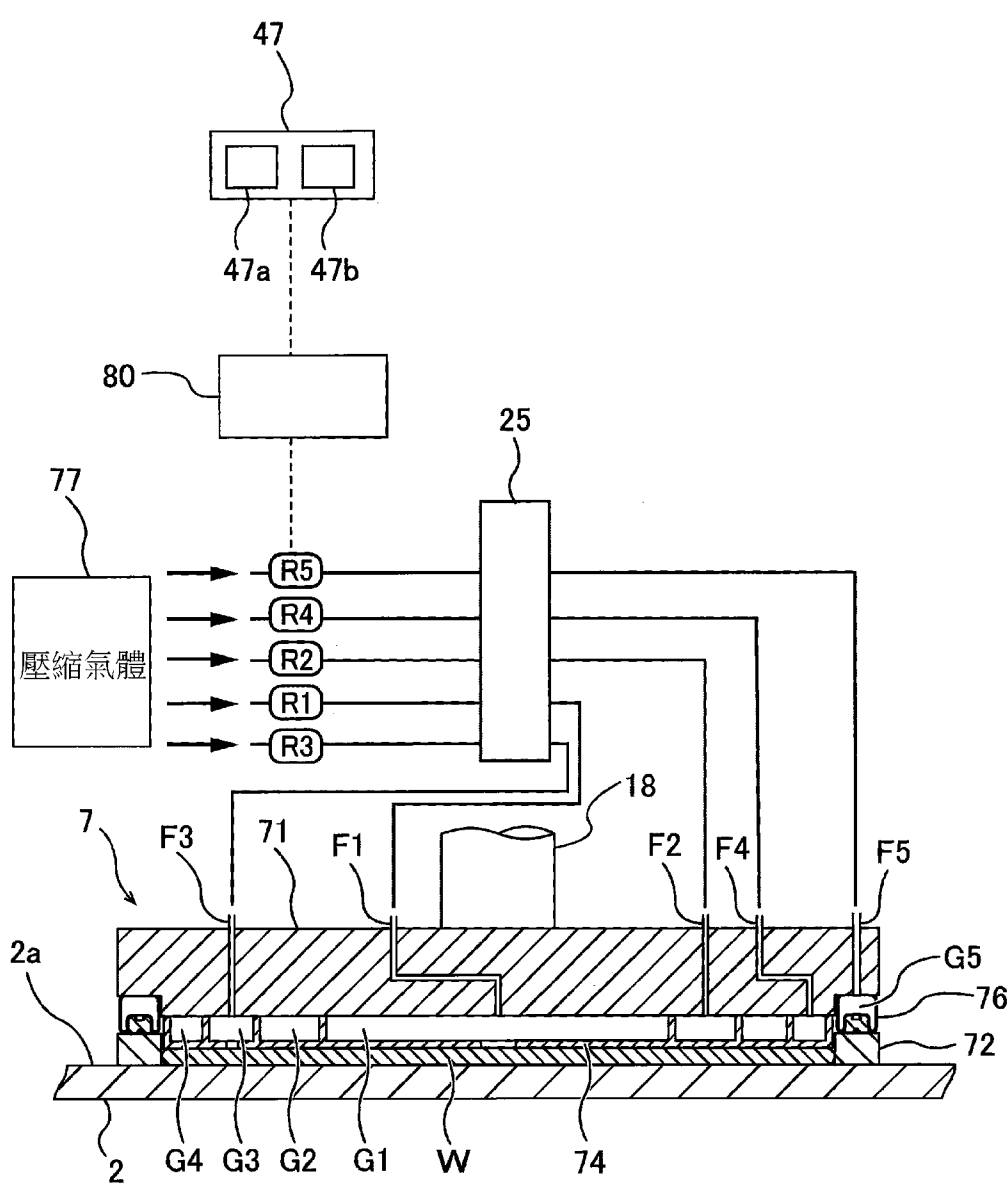


圖2

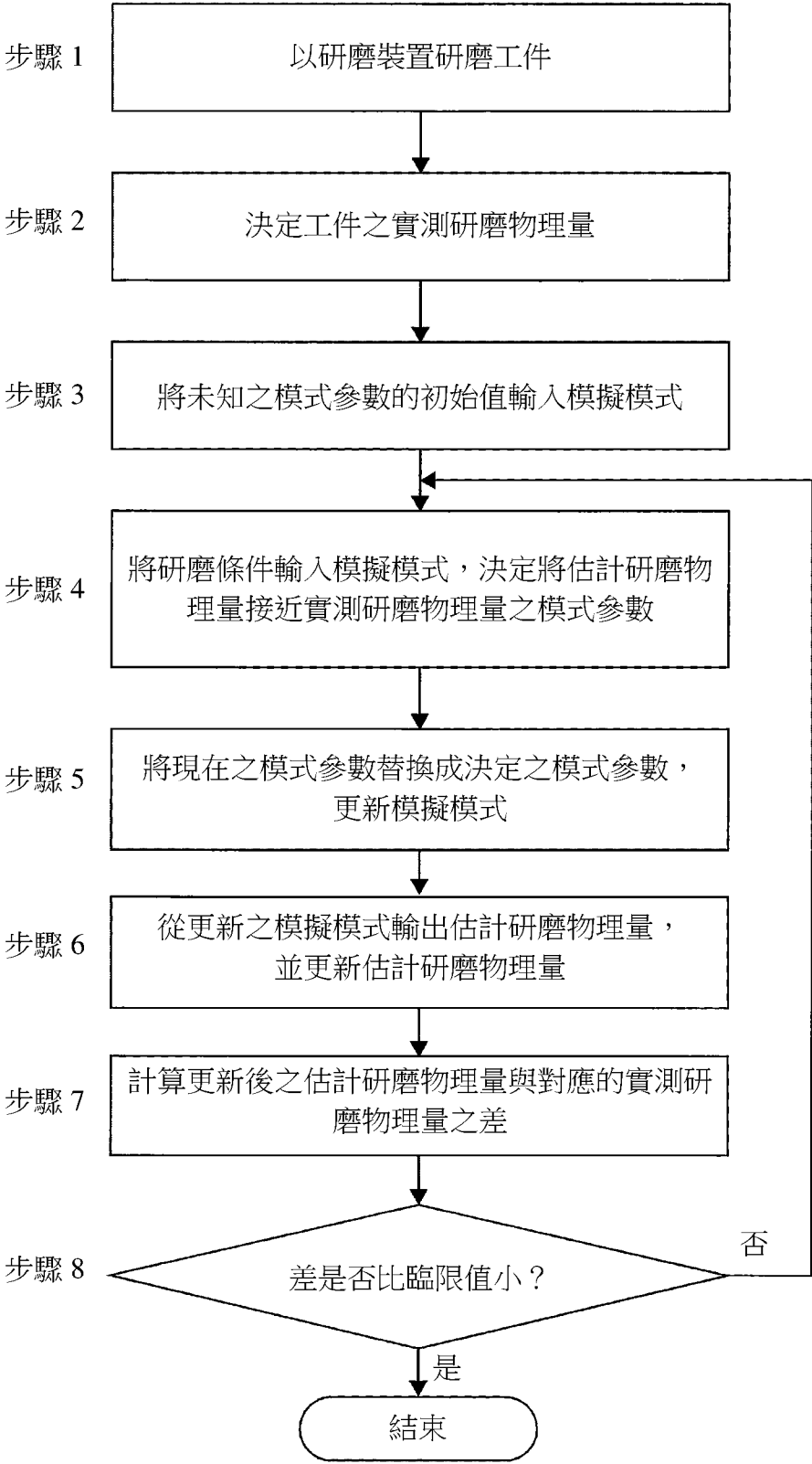


圖3

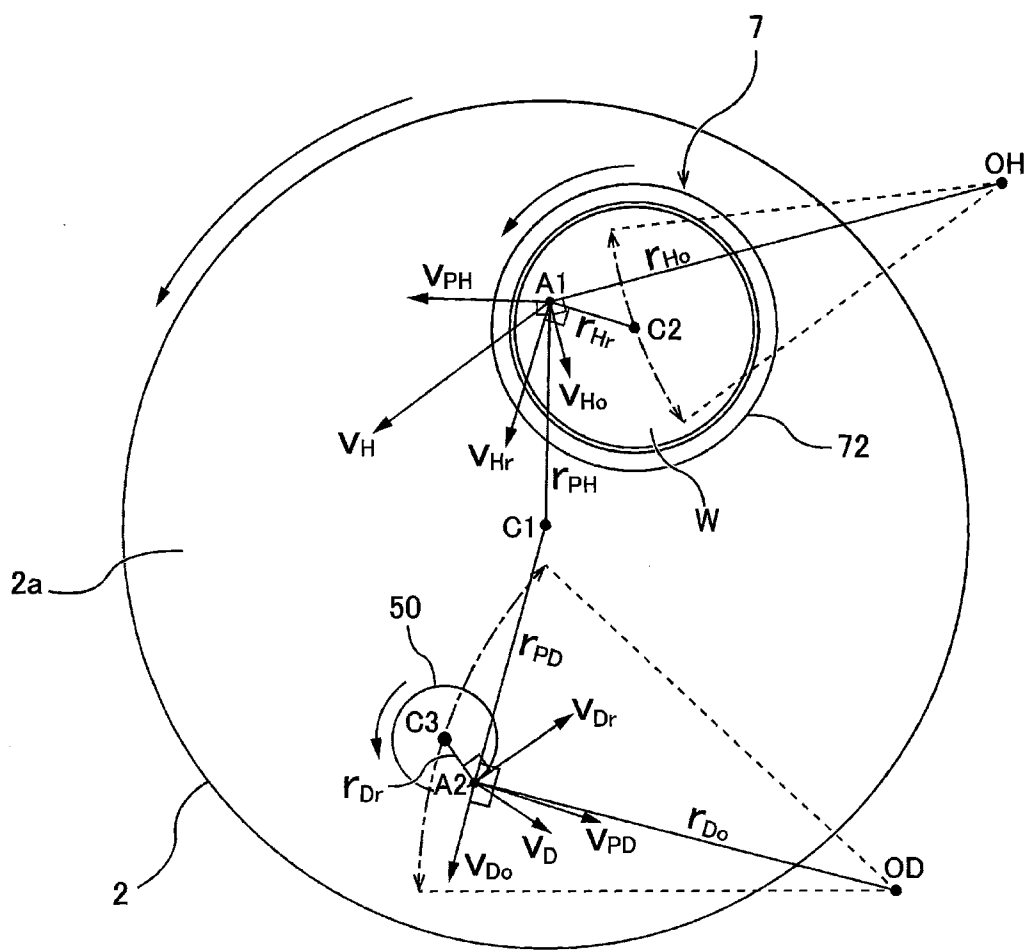


圖4

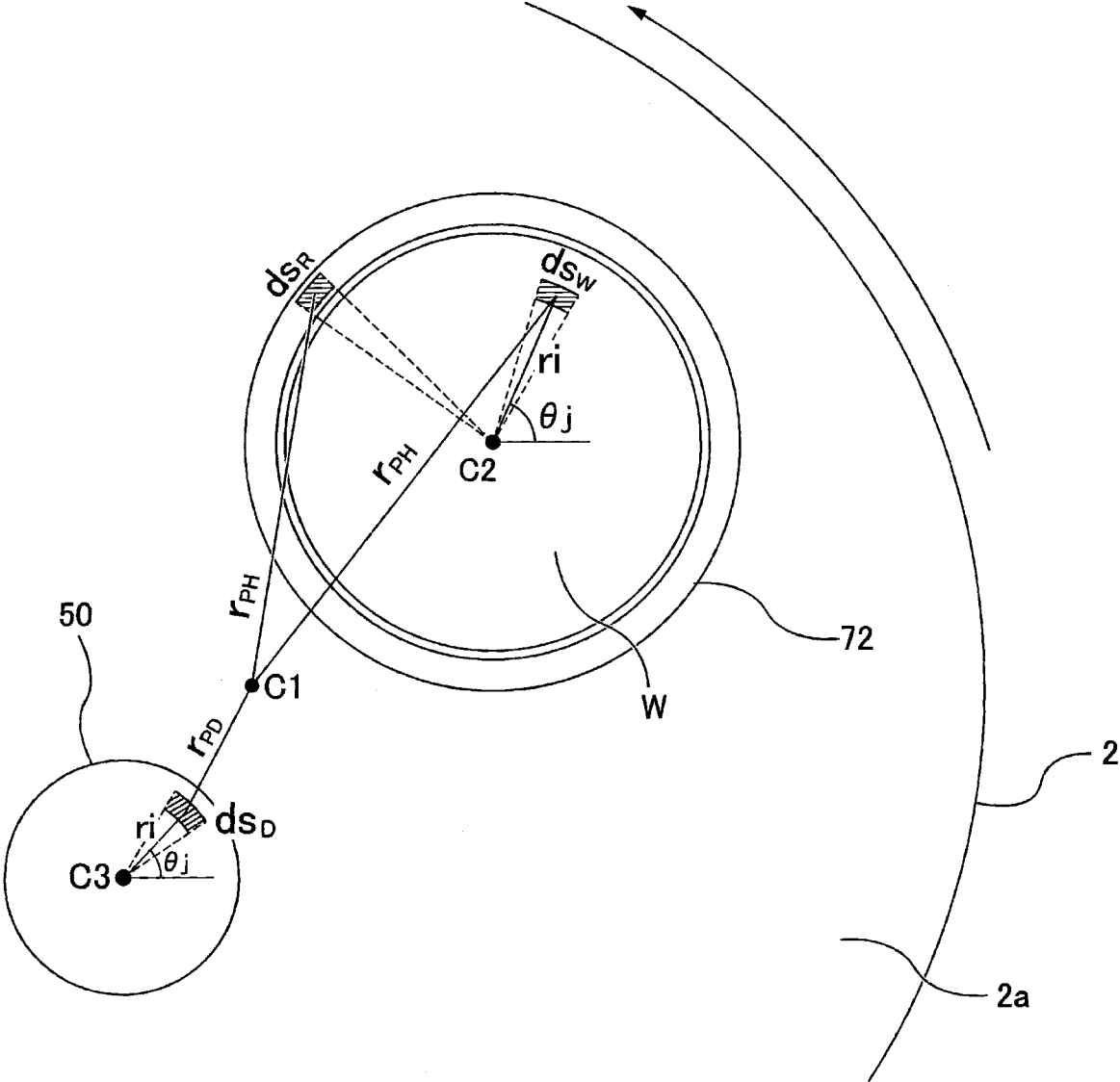


圖5

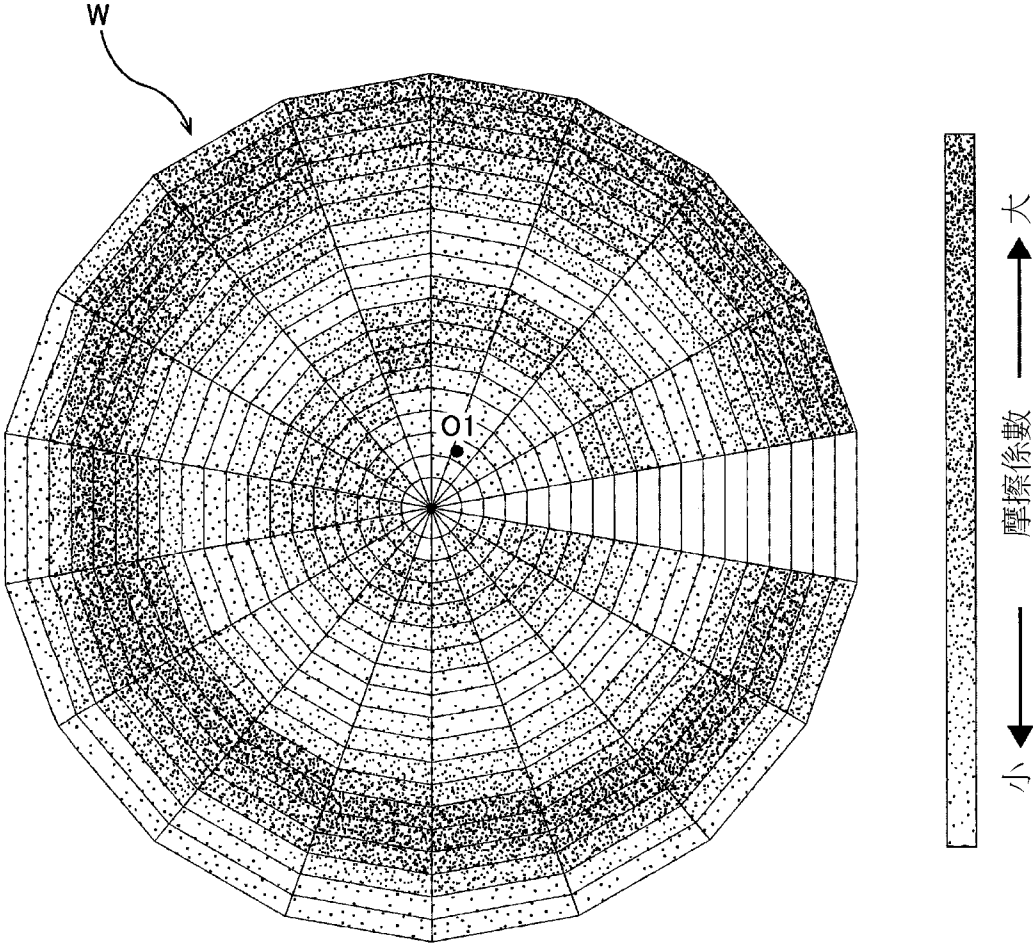


圖6

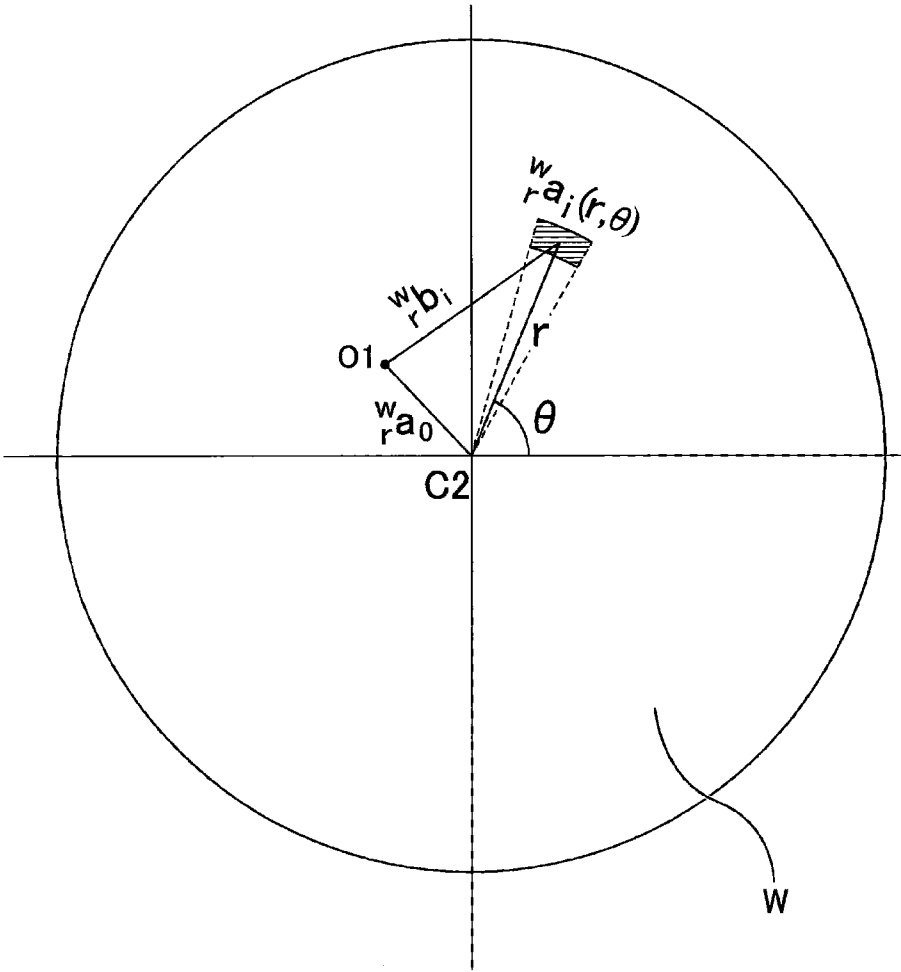


圖7

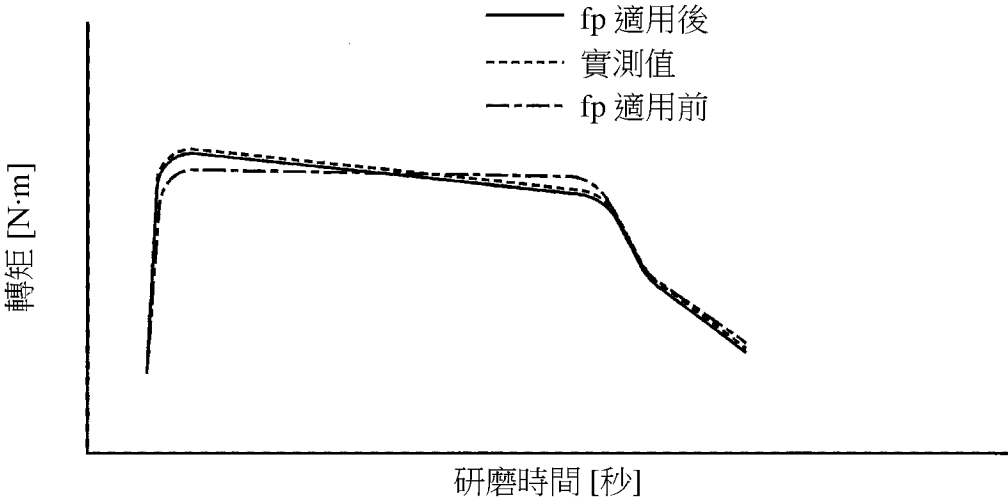


圖8

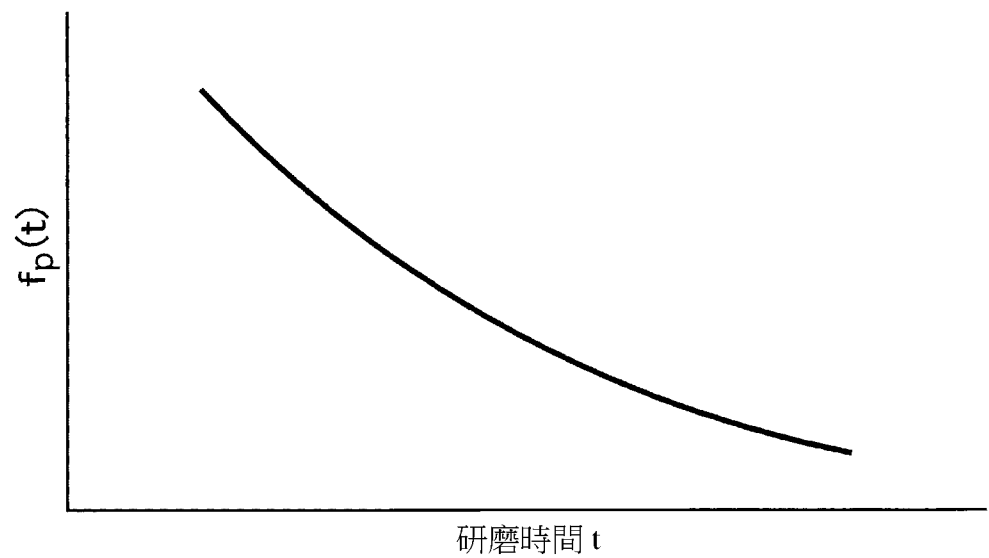


圖9