

(21)申請案號：113101325

(22)申請日：中華民國 113 (2024) 年 01 月 12 日

(51)Int. Cl. : G06N20/00 (2019.01)

H01L21/67 (2006.01)

(30)優先權：2023/01/26 日本

2023-010470

(71)申請人：日商東京威力科創股份有限公司 (日本) TOKYO ELECTRON LIMITED (JP)
日本

(72)發明人：小林累輝 KOBAYASHI, RUIKI (JP)；狐塚正樹 KITSUNEZUKA, MASAKI (JP)

(74)代理人：陳長文

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：12 項 圖式數：11 共 41 頁

(54)名稱

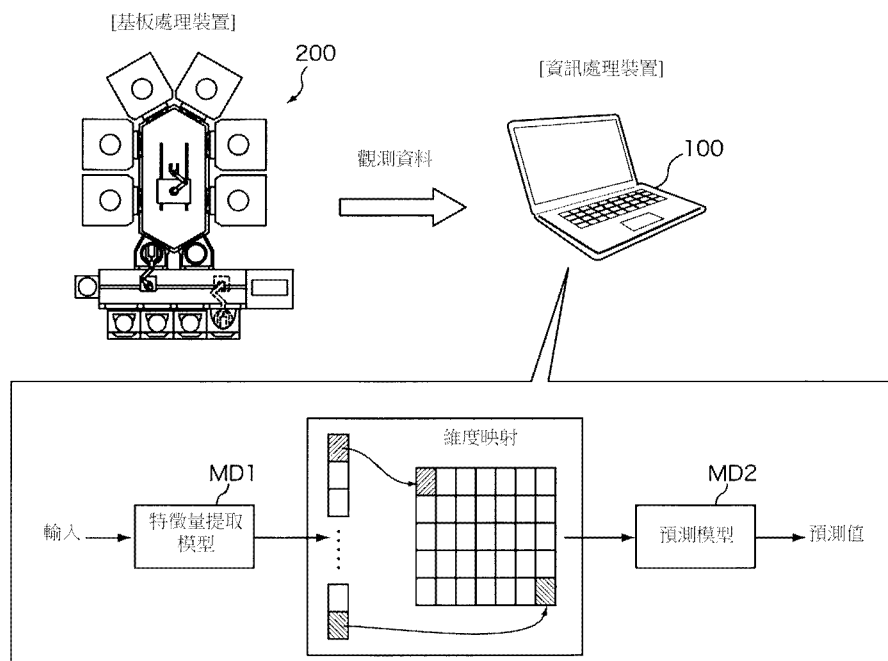
電腦程式、資訊處理方法及資訊處理裝置

(57)摘要

本發明之課題在於提供一種電腦程式、資訊處理方法、及資訊處理裝置。

本發明之電腦程式使電腦執行如下處理：獲取關於基板處理之資料；使用以根據資料之輸入而輸出資料之特徵量之方式進行了學習之第 1 學習模型，提取所獲取之資料之特徵量；將所提取之特徵量轉換成所設定之對象維度之特徵量；以及將維度轉換後之特徵量輸入至以根據具有對象維度之特徵量之輸入而輸出關於基板處理之預測值之方式進行了學習之第 2 學習模型，而求出預測值。

指定代表圖：



符號簡單說明：

100:資訊處理裝置

200:基板處理裝置

MD1:特徵量提取模型

MD2:預測模型

【圖1】

【發明摘要】

【中文發明名稱】

電腦程式、資訊處理方法及資訊處理裝置

【中文】

本發明之課題在於提供一種電腦程式、資訊處理方法、及資訊處理裝置。

本發明之電腦程式使電腦執行如下處理：獲取關於基板處理之資料；使用以根據資料之輸入而輸出資料之特徵量之方式進行了學習之第1學習模型，提取所獲取之資料之特徵量；將所提取之特徵量轉換成所設定之對象維度之特徵量；以及將維度轉換後之特徵量輸入至以根據具有對象維度之特徵量之輸入而輸出關於基板處理之預測值之方式進行了學習之第2學習模型，而求出預測值。

【指定代表圖】

圖1

【代表圖之符號簡單說明】

100:資訊處理裝置

200:基板處理裝置

MD1:特徵量提取模型

MD2:預測模型

【發明說明書】

【中文發明名稱】

電腦程式、資訊處理方法及資訊處理裝置

【技術領域】

【0001】

本發明係關於一種電腦程式、資訊處理方法、及資訊處理裝置。

【先前技術】

【0002】

先前，虛擬測量技術已充分用於基板處理之領域。於虛擬測量技術中，例如對基板等對象物之處理中獲得之測量資料進行解析，藉由運算而求出針對結果物之預測值。

[先前技術文獻]

[專利文獻]

【0003】

[專利文獻1]日本專利特表2019-537240號公報

【發明內容】

[發明所欲解決之問題]

【0004】

本發明提供一種能夠藉由學習模型進行考慮到空間相關性之解析之電腦程式、資訊處理方法、及資訊處理裝置。

[解決問題之技術手段]

【0005】

本發明之一形態之電腦程式係一種電腦程式，其用以使電腦執行如

下處理：獲取關於基板處理之資料；使用以根據上述資料之輸入而輸出上述資料之特徵量之方式進行了學習之第1學習模型，提取所獲取之資料之特徵量；將所提取之特徵量轉換成所設定之對象維度之特徵量；以及將維度轉換後之特徵量輸入至以根據具有上述對象維度之特徵量之輸入而輸出關於基板處理之預測值之方式進行了學習之第2學習模型，而求出預測值。

[發明之效果]

【0006】

根據本發明，可藉由學習模型進行考慮到空間相關性之解析。

【圖式簡單說明】

【0007】

圖1係說明實施方式之資訊處理系統之構成之說明圖。

圖2係說明實施方式1之預測方法之說明圖。

圖3係表示資訊處理裝置之內部構成之方塊圖。

圖4係表示預測模型之生成順序之流程圖。

圖5係表示使用預測模型之預測順序之流程圖。

圖6A～6C係用以說明預測模型之性能評價之說明圖。

圖7A～7C係表示每一觀測資料之重要度之空間分佈之圖。

圖8係表示實施方式2之資訊處理裝置所執行之處理之順序之流程圖。

圖9係說明實施方式3中之預測方法之說明圖。

圖10係表示實施方式4之資訊處理裝置所執行之處理之順序之流程圖。

圖11係表示實施方式5之資訊處理裝置所執行之處理之順序之流程圖。

【實施方式】

【0008】

以下，參照圖式對一實施方式進行說明。於說明中，對相同要素或具有相同功能之要素標註相同符號，省略重複之說明。

【0009】

(實施方式1)

圖1係說明實施方式之資訊處理系統之構成之說明圖。實施方式之資訊處理系統具備可通訊地連接之資訊處理裝置100及基板處理裝置200。

【0010】

基板處理裝置200例如為包含至少一個曝光裝置、蝕刻裝置、成膜裝置、離子注入裝置、灰化裝置、濺鍍裝置等之半導體製造裝置。作為替代，基板處理裝置200亦可為製造液晶顯示面板、有機EL(Electro-Luminescence，電致發光)面板等FDP(Flat Display Panel，平面顯示面板)之顯示器製造裝置。

【0011】

於在基板處理裝置200中製程開始時，設定基板之溫度、腔室內之壓力或氣體流量、由高頻電源施加之電壓等各種設定值。設定值例如由製程配方給出。又，於基板處理裝置200中設置有測量基板之溫度、腔室內之壓力或氣體流量、施加至上部電極或下部電極之電壓、電漿發光強度等之各種感測器或機器，在製程之執行中測量各種測量值。又，基板處理裝置200不僅隨時收集上述測量值，亦隨時收集製程前後之基板(晶圓)之圖像

(RGB(red-green-blue，三原色)資料)或製程日誌等適宜之時間序列資料。基板處理裝置200將製程之執行中獲得之測量值、圖像、時間序列資料等作為觀測資料，輸出至資訊處理裝置100。

【0012】

資訊處理裝置100自基板處理裝置200獲取觀測資料作為關於基板處理之資料。資訊處理裝置100基於所獲取之觀測資料，求出關於基板處理之預測值。

【0013】

先前，進行使用觀測資料之虛擬測量。例如，先前，藉由將感測器測量值、圖像資料、時間序列資料等某些輸入信號輸入至適合輸入信號之機械學習模型，並執行利用機械學習模型之運算，而求出必須使用之預測值。

【0014】

然而，先前之機械學習模型並未考慮到空間相關性之設計，因此在精度或可解釋性方面存在問題。例如，若不考慮空間相關性，則將針對每一位置進行獨立預測，因此即便是彼此相鄰之位置，預測值亦可能會產生較大差異，結果為預測結果可能會在空間上失真。又，若不考慮空間相關性，則難以掌握何種數據於何處位置容易發揮效果。

【0015】

因此，於本實施方式中，作為考慮到空間相關性之預測模型MD2，提出導入有維度映射之模型。維度映射係指根據欲計算為預測值之物理維度(對象維度)，對自觀測資料提取之特徵量(作為預測之線索之變量)之維度進行轉換。特徵量之提取例如使用機械學習之學習模型(以下稱為特徵

量提取模型MD1)。實施方式1中，藉由將維度映射導入至單峰之網路結構，從而明確地考慮空間相關性，實現精度及可解釋性之提高。

【0016】

圖2係說明實施方式1中之預測方法之說明圖。資訊處理裝置100自基板處理裝置200獲取關於基板處理之資料。資訊處理裝置100所獲取之資料為任意資料，係包含由基板處理裝置200之感測器等輸出之測量資料、拍攝作為處理對象之基板所獲得之圖像資料、製程日誌等時間序列資料等之觀測資料。

【0017】

資訊處理裝置100使用以將觀測資料作為輸入而輸出該觀測資料之特徵量之方式進行了學習之特徵量提取模型MD1(第1學習模型)，提取自基板處理裝置200獲取之觀測資料之特徵量。應當提取之特徵量較佳為成為預測之線索之變量。

【0018】

作為特徵量提取模型MD1，可使用包括深層學習之機械學習之學習模型。例如可使用基於CNN(Convolutional Neural Network，卷積神經網路)、Transformer(變換器)、RNN(Recurrent Neural Networks，循環神經網路)、LSTM(Long Short Term Memory，長短期記憶)、MLP(Multi-Layer Perceptrons，多層感知器)等之學習模型。作為替代，亦可使用自回歸模型、移動平均模型、自回歸移動平均模型等除深層學習以外之學習模型。用於特徵量提取模型MD1之學習模型根據所輸入之觀測資料或應當提取之特徵量來適當設定。

【0019】

特徵量提取模型MD1例如具備輸入層、一層或複數層中間層、及輸出層，以根據觀測資料向輸入層之輸入，自輸出層輸出特徵量之方式進行學習。作為替代，亦可使用自中間層中之任一層輸出之值作為特徵量。特徵量提取模型MD1亦可為不具備中間層而僅具備輸入層及輸出層之構成。於本實施方式中，將自特徵量提取模型MD1輸出之特徵量之維度設為一維來進行說明，但特徵量之維度亦可為二維以上。

【0020】

繼而，資訊處理裝置100根據對象維度(欲計算為預測值之物理維度)，對所提取之特徵量之維度進行轉換(維度映射)。於欲計算基板面內之各位置處之蝕刻速率、蝕刻形狀(開口寬度或開口深度)、膜厚等作為預測值之情形時，只要將所提取之特徵量之維度轉換成二維即可。於圖2之例中，示出自一維特徵量向二維特徵量之維度映射。轉換前後可為任意維度，其根據所使用之觀測資料或欲計算之預測值來適當設定。對象維度有時會擴大或縮小，有時亦會等於轉換前之特徵量之維度。於自特徵量提取模型MD1輸出之特徵量為包含N個($N = N_x \times N_y$)要素之一維特徵量之情形時，可藉由將各要素重新配置(映射)為 $N_x \times N_y$ 之矩陣，而將一維特徵量轉換成二維特徵量。

【0021】

資訊處理裝置100使用以將經維度映射之特徵量作為輸入而輸出關於基板處理之預測值之方式進行了學習之預測模型MD2(第2學習模型)，求出關於基板處理之預測值。

【0022】

作為預測模型MD2，可使用包括深層學習之機械學習之學習模型。

例如，可使用基於CNN、Transformer、RNN、LSTM、MLP等之學習模型。作為替代，亦可使用自回歸模型、移動平均模型、自回歸移動平均模型等除深層學習以外之學習模型。用於預測模型MD2之學習模型根據所輸入之特徵量之對象維度或應當計算之預測值來適當設定。

【0023】

於本實施方式中，為了便於說明，將維度映射記載為獨立之處理，但其亦可為於預測模型MD2之內部執行之處理。因此，亦將預測模型MD2稱為維度映射模型。

【0024】

又，於本實施方式中，為了方便，將特徵量提取模型MD1及預測模型MD2記載為獨立之學習模型，但亦可將其等構建成一個學習模型。於此情形時，於一個學習模型內，執行特徵量之提取、維度映射、及預測值之運算。

【0025】

圖3係表示資訊處理裝置100之內部構成之方塊圖。資訊處理裝置100例如係具備控制部101、記憶部102、通訊部103、操作部104、及顯示部105之專用或通用之電腦。

【0026】

控制部101具備CPU(Central Processing Unit，中央處理單元)、ROM(Read Only Memory，唯讀記憶體)、RAM(Random Access Memory，隨機存取記憶體)等。於控制部101所具備之ROM中，記憶對資訊處理裝置100所具備之硬體各部之動作進行控制之控制程式等。控制部101內之CPU讀入並執行記憶於ROM中之控制程式或記憶於記憶部102中

之下述電腦程式，控制硬體各部之動作，藉此，使裝置整體作為本發明之資訊處理裝置而發揮功能。於控制部101所具備之RAM中暫時記憶運算之執行中所利用之資料。

【0027】

於實施方式中，構成為控制部101具備CPU、ROM、及RAM，但控制部101之構成並不限定於上述構成。控制部101例如亦可為具備GPU(Graphics Processing Unit，圖形處理單元)、FPGA(Field Programmable Gate Array，場可程式化閘陣列)、DSP(Digital Signal Processor，數位信號處理器)、量子處理器、揮發性或非揮發性記憶體等之一個或複數個控制電路或運算電路。又，控制部101亦可具備輸出日期時間資訊之時鐘、測量自給出測量開始指示起至給出測量結束指示為止之經過時間之計時器、對數量進行計數之計數器等功能。

【0028】

記憶部102具備HDD(Hard Disk Drive，硬式磁碟機)、SSD(Solid State Drive，固態硬碟)、EEPROM(Electronically Erasable Programmable Read Only Memory，電子可擦可程式化唯讀記憶體)等記憶裝置。於記憶部102中記憶由控制部101執行之各種電腦程式或由控制部101利用之各種資料。

【0029】

記憶於記憶部102中之電腦程式(程式製品)包含預測處理程式PG1，該預測處理程式PG1用以使電腦執行由基板處理裝置200之觀測資料求出關於基板處理之預測值之處理。預測處理程式PG1可為單一之電腦程式，亦可為由複數個電腦程式構成之程式群。預測處理程式PG1亦可由複數台

電腦協作執行。又，預測處理程式PG1亦可為部分地使用既有之庫者。

【0030】

包含預測處理程式PG1之電腦程式由可讀取地記錄有該電腦程式之非暫時性記錄媒體RM來提供。記錄媒體RM為CD-ROM(Compact Disc Read Only Memory，唯讀光碟)、USB(Universal Serial Bus，通用串列匯流排)記憶體、SD(Secure Digital，安全數位)卡、微型SD卡、小型快閃(註冊商標)等可攜型記憶體。控制部101使用未示於圖中之讀取裝置，自記錄媒體RM讀取各種電腦程式，將所讀取之各種電腦程式記憶於記憶部102中。又，記憶於記憶部102中之電腦程式亦可由通訊來提供。於此情形時，控制部101藉由經由通訊部103之通訊而獲取電腦程式，將所獲取之電腦程式記憶於記憶部102中。

【0031】

又，記憶部102中記憶用於自觀測資料提取特徵量之處理之特徵量提取模型MD1、及用於由轉換成對象維度後之特徵量求出關於基板處理之預測值之處理之預測模型MD2。作為替代，該等特徵量提取模型MD1及預測模型MD2亦可收納於外部裝置。於此情形時，資訊處理裝置100之控制部101可經由通訊網路訪問外部裝置，將自基板處理裝置200獲取之觀測資料發送至外部裝置，並經由通訊網路獲取作為藉由外部裝置得出之運算結果而獲得之預測值。

【0032】

通訊部103具備用以在與外部裝置之間收發各種資料之通訊介面。作為通訊部103之通訊介面，可使用依據LAN(Local Area Network，區域網路)等通訊標準之通訊介面。外部裝置為上述基板處理裝置200或用戶終端

(未圖示)等。通訊部103於自控制部101輸入應當發送之資料之情形時，向作為接收方之外部裝置發送資料，於接收到自外部裝置發送之資料之情形時，向控制部101輸出所接收之資料。

【0033】

操作部104具備觸控面板、鍵盤、開關等操作裝置，受理用戶等所進行之各種操作及設定。控制部101基於由操作部104給出之各種操作資訊而進行適宜之控制，視需要將設定資訊記憶於記憶部102中。

【0034】

顯示部105具備液晶監視器或有機EL(Electro-Luminescence，電致發光)等顯示裝置，根據來自控制部101之指示來顯示應當報知給用戶等之資訊。

【0035】

本實施方式之資訊處理裝置100可為單一之電腦，亦可為由複數台電腦或周邊裝置等所構成之電腦系統。又，資訊處理裝置100亦可為實體被虛擬化之虛擬機器，亦可為雲。進而，於本實施方式中，將資訊處理裝置100與基板處理裝置200作為獨立個體來記載，但資訊處理裝置100亦可設置於基板處理裝置200之內部。

【0036】

以下，對資訊處理裝置100之動作進行說明。

本實施方式之資訊處理裝置100在基板處理裝置200中之實際運用開始之前之學習階段中，生成預測模型MD2。

【0037】

圖4係表示預測模型MD2之生成順序之流程圖。在生成預測模型

MD2之前，先收集學習所需之訓練資料。例如，於基於電漿發光強度求出基板面內之在各位置之蝕刻形狀作為預測值之情形時，收集藉由OES(Optical Emission Spectrometer，光放射光譜儀)測量之電漿發光強度之測量資料、及使用光學觀測裝置或超音波顯微鏡等而測量之各位置之蝕刻形狀之測量資料作為訓練資料。訓練資料不限於電漿發光強度及蝕刻形狀之測量資料，還收集用於預測之值之觀測資料、及欲預測之值之實際測量值作為訓練資料。所收集之訓練資料記憶於資訊處理裝置100之記憶部102中。特徵量提取模型MD1係使用公知之演算法預先生成之模型。

【0038】

控制部101讀出記憶於記憶部102中之訓練資料(步驟S101)，自讀出之訓練資料選擇一組訓練資料(步驟S102)。控制部101將所選擇之訓練資料中所含之觀測資料(用於預測之值)輸入至特徵量提取模型MD1，執行藉由特徵量提取模型MD1之運算，藉此提取觀測資料之特徵量(步驟S103)。

【0039】

控制部101將自觀測資料提取之特徵量之維度轉換成對象維度(步驟S104)。即，控制部101根據欲計算為預測值之物理維度，對所提取之特徵量之維度進行維度映射。

【0040】

控制部101藉由將轉換成對象維度之特徵量輸入至預測模型MD2，執行藉由預測模型MD2之運算，從而針對每一位置求出預測值(步驟S105)。於開始學習之前之階段，對於預測模型MD2之模型參數設定初始值。又，於本流程圖中，將維度映射之處理、及藉由預測模型MD2之運算處理記載為各自獨立之處理，但維度映射亦可於預測模型MD2之處理中執

行。

【0041】

控制部101對步驟S105中計算出之預測值進行評價(步驟S106)，判斷學習是否完成(步驟S107)。預測值之評價使用公知之損失函數進行。於在優化(最小化)損失函數之過程中，損失函數之值未達閾值之情形時，控制部101可判斷為預測模型MD2之學習已完成。

【0042】

於判斷為學習未完成之情形時(S107：否(NO))，控制部101更新預測模型MD2中之模型參數(節點間之加權因數或偏差)(步驟S108)，並使處理返回至步驟S102。

【0043】

於判斷為學習已完成之情形時(S107：是(YES))，獲得完成學習之模型，因此，控制部101將該模型作為完成學習之預測模型MD2記憶於記憶部102中(步驟S109)。

【0044】

資訊處理裝置100於生成預測模型MD2之後之運用階段，進行使用預測模型MD2之預測。圖5係表示使用預測模型MD2之預測順序之流程圖。資訊處理裝置100之控制部101例如藉由通訊部103，自基板處理裝置200獲取用於預測之觀測資料(步驟S121)。

【0045】

控制部101藉由將所獲取之觀測資料輸入至特徵量提取模型MD1，執行藉由特徵量提取模型MD1之運算，從而提取觀測資料之特徵量(步驟S122)。

【0046】

控制部101將自觀測資料提取之特徵量之維度轉換成對象維度(步驟S123)。即，控制部101根據欲計算為預測值之物理維度，對所提取之特徵量之維度進行維度映射。

【0047】

控制部101將轉換成對象維度之特徵量輸入至預測模型MD2，執行藉由預測模型MD2之運算，藉此針對每一位置求出預測值(步驟S124)。

【0048】

控制部101輸出由預測模型MD2得出之預測結果(步驟S125)。控制部101可將預測結果顯示於顯示部105，亦可藉由通訊部103通知到用戶終端等。

【0049】

圖6係用以說明預測模型MD2之性能評價之說明圖。圖6所示之各圖表示對蝕刻形狀(開口寬度)進行虛擬測量或實際測量時之面內分佈。各圖之橫軸對應於基板面內之第1方向，橫軸對應於與第1方向正交之基板之第2方向。各圖所示之濃淡對應於開口寬度之寬窄，濃度越淺之區域表示開口寬度越寬，濃度越深之區域表示開口寬度越窄。圖6A表示藉由先前之方法得出之預測結果(虛擬測量)，圖6B表示藉由本發明之方法得出之預測結果(虛擬測量)，圖6C表示藉由實際測量得出之實際測量值。

【0050】

於實際測量中，藉由蝕刻於基板表面形成大量開口，使用光學觀測裝置或超音波顯微鏡等測量裝置，對各開口之開口寬度進行實際測量。於虛擬測量中，用攝影機對形成有相同開口之基板表面進行拍攝，使用所獲

得之拍攝圖像作為觀測資料，對開口寬度進行預測。拍攝圖像使用藉由晶圓光學檢查系統拍攝之RGB三色之彩色圖像。

【0051】

開口寬度之設計值無論形成開口之位置為何，均設置為固定，但當實際上對形成於基板之開口之開口寬度進行實際測量時，如圖6C所示，確認了開口寬度在基板表面之中心附近最寬，且開口寬度隨著朝向周緣而變窄之面內分佈。

【0052】

另一方面，當藉由先前之方法(該例中為線性回歸)預測開口寬度時，如圖6A所示，雖然發現開口寬度在基板表面之中心附近最寬、且開口寬度向周緣逐漸變窄之趨勢，但開口寬度相同之區域在圖之橫向上擴展，使得預測結果為失真之狀態。

【0053】

相對於此，當藉由本發明之方法(預測模型MD2)預測開口寬度時，如圖6B所示，預測結果於特定之方向上沒有失真，且獲得了與實際測量接近之在圓周方向上均勻之分佈。藉由先前之方法得出之預測值與實際測量值之間之均方根誤差約為0.8，相對於此，藉由本發明之方法得出之預測值與實際測量值之間之均方根誤差約為0.6，從而可知預測精度顯著改善。

【0054】

於圖6中示出使用拍攝圖像作為觀測資料所得之預測結果，可知作為使用電漿發光強度或製程日誌作為觀測資料來預測開口寬度之結果，本發明之方法之預測精度與先前之方法相比有所改善。

【0055】

如上所述，實施方式1中揭示如下方法，即，利用維度映射將空間相關性導入至機械學習之學習模型中，使用該學習模型(預測模型MD2)進行虛擬測量。藉由使用空間相關性，容易解釋模型，可於預測中反映出實際之空間分佈。又，可知預測精度與未考慮空間相關性之先前之方法相比，有顯著改善。

【0056】

(實施方式2)

於實施方式2中，對針對每一位置計算特徵量之重要度(亦稱為貢獻度)，輸出計算出之重要度之空間分佈之構成進行說明。

【0057】

實施方式2之資訊處理裝置100使用預測模型MD2，針對每一位置計算特徵量之重要度(貢獻度)。重要度之計算使用Lime(Local Interpretable Model-Agnostic Explanations，與模型無關之局部可解析性解釋)、SHAP(SHapley Additive exPlanations，沙普利加和解釋)、CAM(Class Activation Mapping，類激活映射)等公知之方法進行。Lime或SHAP係特定出減少輸入時輸出會變化多少，並判斷為輸出變化越大則重要度越高之方法。CAM係利用學習時之誤差反向傳播來計算重要度之方法。

【0058】

圖7係表示針對每一觀測資料之重要度之空間分佈之圖。圖7A表示使用電漿發光強度(OES)作為觀測資料之情形時之重要度之空間分佈，圖7B表示使用拍攝圖像(晶圓光學檢查系統)作為觀測資料之情形時之重要度之空間分佈，圖7C表示使用製程日誌(P-logs)作為觀測資料之情形時之重要

度之空間分佈。各圖之橫軸對應於基板面內之第1方向，橫軸對應於與第1方向正交之基板之第2方向。各圖所示之濃淡對應於重要度之高低，圖上之濃度越高之區域表示重要度越高之位置，濃度越低之區域表示重要度越低之位置。

【0059】

於使用電漿發光強度作為觀測資料來預測開口寬度之情形時，基於電漿發光強度之特徵量之重要度為隨著朝向基板之中心附近而變低，隨著朝向基板之周緣而變高之空間分佈(圖7A)。根據該圖，可知於使用電漿發光強度作為觀測資料之情形時，可於基板之周緣良好地預測開口寬度。於使用製程日誌作為觀測資料之情形時亦獲得同樣之結果(圖7C)。

【0060】

另一方面，於使用藉由晶圓光學檢查系統得出之拍攝圖像作為觀測資料來預測開口寬度之情形時，基於拍攝圖像之特徵量之重要度成為於基板周緣之一部分區域(對應於圖之右上角及左下角之區域)較低，於除此以外之區域較高之空間分佈(圖7B)。根據該圖，可知於使用拍攝圖像之情形時，可於除基板周緣之一部分以外之區域良好地預測開口寬度。

【0061】

如此，根據觀測資料之種類(特徵量)不同，重要度之空間分佈不同，因此於生成預測模型MD2時，可使用針對每一位置調整了權重之損失函數進行學習。例如，於使用電漿發光強度或製程日誌作為觀測資料之情形時，可藉由使用增大了周緣部之權重之損失函數進行學習，從而生成專門針對周緣部之預測模型MD2。又，於使用藉由晶圓光學檢查系統得出之拍攝圖像作為觀測資料之情形時，可藉由使用增大了中心部之權重之損失

函數進行學習，從而生成專門針對中心部之預測模型MD2。

【0062】

又，於本實施方式中，可針對每一位置確認特徵量之貢獻度，因此例如可掌握製程日誌中存在之感測器輸出值有助於基板之哪一部分，以使感測器輸出值發生變化之方式調整製程，藉此可改善製程。又，於實際之基板處理中，若出現由於周緣部之製程狀態不佳而導致良率較差等情況，則亦可藉由上述方法製作專門針對周緣部之預測模型MD2，加上藉由預測模型MD2得出之預測結果來改善製程。

【0063】

圖8係表示實施方式2之資訊處理裝置100所執行之處理之順序之流程圖。資訊處理裝置100之控制部101例如藉由通訊部103，自基板處理裝置200獲取用於預測之觀測資料(步驟S201)。

【0064】

控制部101基於所獲取之觀測資料計算每一位置之預測值(步驟S202)。預測值之計算方法與實施方式1相同。即，控制部101將所獲取之觀測資料輸入至特徵量提取模型MD1而提取特徵量，並將所提取之特徵量之維度維度映射成對象維度(欲計算為預測值之物理維度)。繼而，控制部101將經維度映射之特徵量輸入至預測模型MD2進行運算，藉此計算每一位置之預測值。

【0065】

控制部101針對每一位置計算觀測資料對所算出之預測值之貢獻度(步驟S203)。貢獻度例如係可使用預測模型MD2進行計算之SHAP值。SHAP值係相當於將複數種觀測資料輸入至預測模型MD2所算出之預測值

與於該複數種觀測資料中之一種觀測資料缺失之情形時由預測模型MD2所算出之預測值之差量之值。貢獻度不限於SHAP值，還可使用Lime或CAM等既有之方法進行計算。

【0066】

控制部101輸出貢獻度之空間分佈(步驟S204)。控制部101基於步驟S203中計算出之每一位置之貢獻度，例如製作如圖7A～圖7C所示之圖(彩色等高線圖)，並將其顯示於顯示部105。又，控制部101亦可將製作之圖發送至用戶終端。

【0067】

控制部101執行根據每一位置之貢獻度而定之控制(步驟S205)。控制部101根據每一位置之貢獻度調整關於控制對象之參數，根據調整後之參數對製程進行控制。例如，可進行如下等製程控制：於知曉特定頻率之電漿發光強度在周緣部附近有較佳貢獻之情形時，以提高其發光強度之方式調整氣體流量，而提高面內均一性。針對貢獻度之參數之調整量例如根據規則庫確定。

【0068】

再者，圖8之流程圖為於步驟S204中輸出貢獻度之空間分佈之後，於步驟S205中執行根據貢獻度而定之控制之順序，該等順序可先後執行，亦可僅執行任一順序。

【0069】

如上所述，於實施方式2中，針對每一位置計算特徵量之重要度(貢獻度)，輸出計算出之重要度之空間分佈，因此能夠掌握何種數據於何處位置容易發揮效果，從而可實現製程之改善或控制。

【0070】

(實施方式3)

於實施方式3中，對由複數種觀測資料計算預測值之構成進行說明。

【0071】

通常，一塊晶圓存在數個測定點。藉由根據測定點之物理維度提取特徵或計算預測值，而非獨立地計算該測定點，可實現高精度且解釋性較高之模型。

【0072】

圖9係說明實施方式3中之預測方法之說明圖。於實施方式3中，對考慮到空間相關性之多峰虛擬測量進行說明。資訊處理裝置100獲取複數種觀測資料。於圖9中，輸入1～輸入3分別係輸入至特徵量提取模型MD11、MD12、MD13之觀測資料。例如，輸入1係藉由OES得出之電漿發光強度，輸入2係藉由晶圓光學檢查系統得出之拍攝圖像，輸入3係製程日誌。用於預測之觀測資料不限於三種，亦可為兩種或四種以上。

【0073】

特徵量提取模型MD11係對應於實施方式1中所說明之特徵量提取模型MD1之模型，其以於將輸入1之觀測資料輸入之情形時，輸出該觀測資料之特徵量之方式進行學習。特徵量提取模型MD12、MD13亦同樣，以於分別將輸入1、輸入2之觀測資料輸入之情形時，輸出各特徵量之方式進行學習。資訊處理裝置100之記憶部102中記憶完成學習之特徵量提取模型MD11、MD12、MD13。

【0074】

資訊處理裝置100使用特徵量提取模型MD11～MD13，分別提取輸

入1~輸入3之特徵量，將所提取之各特徵量之維度轉換成對象維度之特徵量。特徵量之維度轉換使用實施方式1中所說明之維度映射。於將自特徵量提取模型MD11提取之特徵量轉換成例如 $N_x \times N_y$ 之二維特徵量之情形時，亦將自特徵量提取模型MD12、MD12提取之特徵量 $N_x \times N_y$ 轉換成二維特徵量。

【0075】

資訊處理裝置100藉由連結層CL將維度轉換後之特徵量連結。當針對各特徵量，獲得 $N_x \times N_y$ 之二維特徵量之情形時，只要追加通道，如 $N_x \times N_y \times C$ 般地於通道方向上連結特徵量即可。此處，C係輸入之數量(觀測資料之種類之數量)，於圖9之情形時， $C = 3$ 。

【0076】

資訊處理裝置100將藉由連結層CL連結之特徵量輸入至預測模型MD20，求出預測值。預測模型MD20係對應於實施方式1中所說明之預測模型MD2之模型，其以根據特徵量之輸入而輸出關於基板處理之預測值之方式進行學習。能夠用於預測模型MD20之模型之種類或模型之學習方法等與實施方式1相同。資訊處理裝置100之記憶部102中記憶完成學習之預測模型MD20。資訊處理裝置100使用記憶於記憶部102中之預測模型MD20，計算基板之各位置處之預測值。

【0077】

如上所述，實施方式3中揭示使用導入有導入空間相關性之學習模型(預測模型MD20)進行多峰虛擬測量之方法。藉由將實施方式2中揭示之方法應用於預測模型MD20，可針對每一峰及每一位置計算特徵量之貢獻度。藉此，可理解每一峰首選之維度內之位置，提高解釋性。

【0078】

又，可明確地使用每一峰首選之維度內之位置。例如，使用藉由OES得出之電漿發光強度或製程日誌進行基板周緣部之預測，使用藉由晶圓光學檢查系統得出之拍攝圖像進行除基板周緣部以外之區域之預測，藉此可提高預測精度。進而，可分析何種峰會對何處位置產生影響，從而改善模型或製程。

【0079】

(實施方式4)

於實施方式4中，對根據預測值輸出警報之構成進行說明。

【0080】

圖10係表示實施方式4之資訊處理裝置100所執行之處理之順序之流程圖。資訊處理裝置100之控制部101例如藉由通訊部103，自基板處理裝置200獲取用於預測之觀測資料(步驟S401)。

【0081】

控制部101基於所獲取之觀測資料計算每一位置之預測值(步驟S402)。預測值之計算方法與實施方式1相同。即，控制部101將所獲取之觀測資料輸入至特徵量提取模型MD1而提取特徵量，並將所提取之特徵量之維度維度映射成對象維度。繼而，控制部101藉由將經維度映射之特徵量輸入至預測模型MD2進行運算，來計算每一位置之預測值。於獲得複數種觀測資料作為用於預測之觀測資料之情形時，控制部101可使用實施方式3中揭示之方法，藉由預測模型MD20計算預測值。

【0082】

控制部101根據計算出之預測值判斷是否需要輸出警報(步驟S403)。

例如，控制部101將計算出之預測值與預先設定之閾值進行比較，於預測值超過閾值之情形(或未達閾值之情形)時，判斷為需要輸出警報。作為替代，控制部101亦可判斷預測值是否落入預先設定之正常範圍內，於預測值超出正常範圍之情形時判斷為需要輸出警報。再者，閾值或正常範圍可針對預測對象之每一位置進行設定。

【0083】

於判斷為不需要輸出警報之情形時(S403：否)，控制部101不輸出警報，結束本流程圖之處理。

【0084】

於判斷為需要輸出警報之情形時(S403：是)，控制部101輸出警報(步驟S404)。例如，控制部101藉由在顯示部105上顯示意旨基板處理不正常之資訊來輸出警報。作為替代，控制部101亦可藉由通訊部103，將意旨基板處理不正常之資訊通知到用戶終端等。

【0085】

於本實施方式中，使用考慮到空間相關性之預測模型(預測模型MD2、MD20)進行預測，因此可獲得精度更高之預測值。於本實施方式中，將此種精度較高之預測值與閾值或正常範圍進行比較，因此可更準確地判斷是否需要輸出警報。

【0086】

(實施方式5)

於實施方式5中，對基於預測值執行關於基板處理之控制之構成進行說明。

【0087】

圖11係表示實施方式5之資訊處理裝置100所執行之處理之順序之流程圖。資訊處理裝置100之控制部101例如藉由通訊部103，自基板處理裝置200獲取用於預測之觀測資料(步驟S501)。

【0088】

控制部101基於所獲取之觀測資料計算每一位置之預測值(步驟S502)。預測值之計算方法與實施方式1相同。即，控制部101將所獲取之觀測資料輸入至特徵量提取模型MD1而提取特徵量，並將所提取之特徵量之維度而維度映射成對象維度。繼而，控制部101藉由將經維度映射之特徵量輸入至預測模型MD2進行運算，來計算每一位置之預測值。於獲得複數種觀測資料作為用於預測之觀測資料之情形時，控制部101可使用實施方式3中揭示之方法，藉由預測模型MD20計算出預測值。

【0089】

控制部101基於計算出之預測值，執行基板處理裝置200中之關於基板處理之控制(步驟S503)。例如，控制部101將計算出之預測值與預先設定之基準值進行比較，基於預測值與基準值之間之偏差求出對基板處理裝置200之控制值(例如使預測值接近基準值之控制值)。基準值亦可針對預測對象之每一位置進行設定。控制部101藉由將包含求出之控制值之控制命令輸出至基板處理裝置200，而進行關於基板處理之控制。

【0090】

於本實施方式中，由於使用考慮到空間相關性之預測模型(預測模型MD2、MD20)進行預測，因此可獲得精度更高之預測值。於本實施方式中，基於此種精度較高之預測值進行關於基板處理之控制，因此可改善製程。

【0091】

應當認為本次揭示之實施方式於所有方面均為例示且並非限制性者。本發明之範圍並不由上述含義所示，而是由發明申請專利範圍所示，意圖包含與發明申請專利範圍均等之含義及範圍內之所有變更。

【0092】

各實施方式中記載之事項能夠相互組合。又，發明申請專利範圍中記載之獨立請求項及附屬請求項無論引用形式為何，於所有組合中，均能夠相互組合。進而，發明申請專利範圍中使用了記載引用其他兩個以上請求項之請求項之形式(多項附屬項形式)，但並不限於此。亦可使用記載引用至少一個多項附屬項之多項附屬項(多項引多項)之形式來記載。

【符號說明】**【0093】**

100:資訊處理裝置

101:控制部

102:記憶部

103:通訊部

104:操作部

105:顯示部

200:基板處理裝置

CL:連結層

MD1:特徵量提取模型

MD2:預測模型

MD11:特徵量提取模型

MD12:特徵量提取模型

MD13:特徵量提取模型

MD20:預測模型

PG1:預測處理程式

RM:記錄媒體

S101:步驟

S102:步驟

S103:步驟

S104:步驟

S105:步驟

S106:步驟

S107:步驟

S108:步驟

S109:步驟

S121:步驟

S122:步驟

S123:步驟

S124:步驟

S125:步驟

S201:步驟

S202:步驟

S203:步驟

S204:步驟

S205:步驟

S401:步驟

S402:步驟

S403:步驟

S404:步驟

S501:步驟

S502:步驟

S503:步驟

【發明申請專利範圍】

【請求項1】

一種電腦程式，其用以使電腦執行如下處理：

獲取關於基板處理之資料；

使用以根據上述資料之輸入而輸出上述資料之特徵量之方式進行了學習之第1學習模型，提取所獲取之資料之特徵量；

將所提取之特徵量轉換成所設定之對象維度之特徵量；以及

將維度轉換後之特徵量輸入至以根據具有上述對象維度之特徵量之輸入而輸出關於基板處理之預測值之方式進行了學習之第2學習模型，而求出預測值。

【請求項2】

如請求項1之電腦程式，其用以使上述電腦執行如下處理：

輸出示出維度轉換後之特徵量之空間分佈之資料。

【請求項3】

如請求項1之電腦程式，其中

上述第2學習模型使用針對上述特徵量之空間分佈設定了權重之損失函數進行學習。

【請求項4】

如請求項1之電腦程式，其用以使上述電腦執行如下處理：

獲取關於上述基板處理之複數種資料；

對於所獲取之複數種資料之各者，使用上述第1學習模型提取特徵量；

將自上述複數種資料之各者提取之特徵量之各者轉換成上述對象維

度之特徵量；以及

將維度轉換後之特徵量之各者輸入至上述第2學習模型，而求出預測值。

【請求項5】

如請求項1之電腦程式，其用以使上述電腦執行如下處理：
計算基板之每一位置之特徵量對上述預測值之貢獻度；以及
輸出計算結果。

【請求項6】

如請求項1之電腦程式，其用以使上述電腦執行如下處理：
計算上述資料之於基板之各位置之貢獻度；以及
根據計算結果，執行關於上述基板處理之控制。

【請求項7】

如請求項1之電腦程式，其用以使上述電腦執行如下處理：
根據使用上述第2學習模型求出之預測值輸出警報。

【請求項8】

如請求項1之電腦程式，其用以使上述電腦執行如下處理：
基於使用上述第2學習模型求出之預測值，執行上述基板處理中之控制。

【請求項9】

如請求項1之電腦程式，其中
使用針對上述特徵量之空間分佈設定了權重之損失函數，使上述第2學習模型進行學習。

【請求項10】

一種電腦程式，其用以使電腦執行如下處理：

獲取關於基板處理之資料；

使用以根據上述資料之輸入而輸出上述資料之特徵量之方式進行了學習之第1學習模型，提取所獲取之資料之特徵量；

將所提取之特徵量轉換成所設定之對象維度之特徵量；

針對維度轉換後之特徵量之空間分佈設定損失函數中之權重；以及

使用設定了權重之損失函數，生成根據上述特徵量之輸入而輸出關於上述基板處理之預測值之第2學習模型。

【請求項11】

一種資訊處理方法，其藉由電腦執行如下處理：

獲取關於基板處理之資料；

使用以根據上述資料之輸入而輸出上述資料之特徵量之方式進行了學習之第1學習模型，提取所獲取之資料之特徵量；

將所提取之特徵量轉換成所設定之對象維度之特徵量；以及

將維度轉換後之特徵量輸入至以根據具有上述對象維度之特徵量之輸入而輸出關於基板處理之預測值之方式進行了學習之第2學習模型，而求出預測值。

【請求項12】

一種資訊處理裝置，其具備：

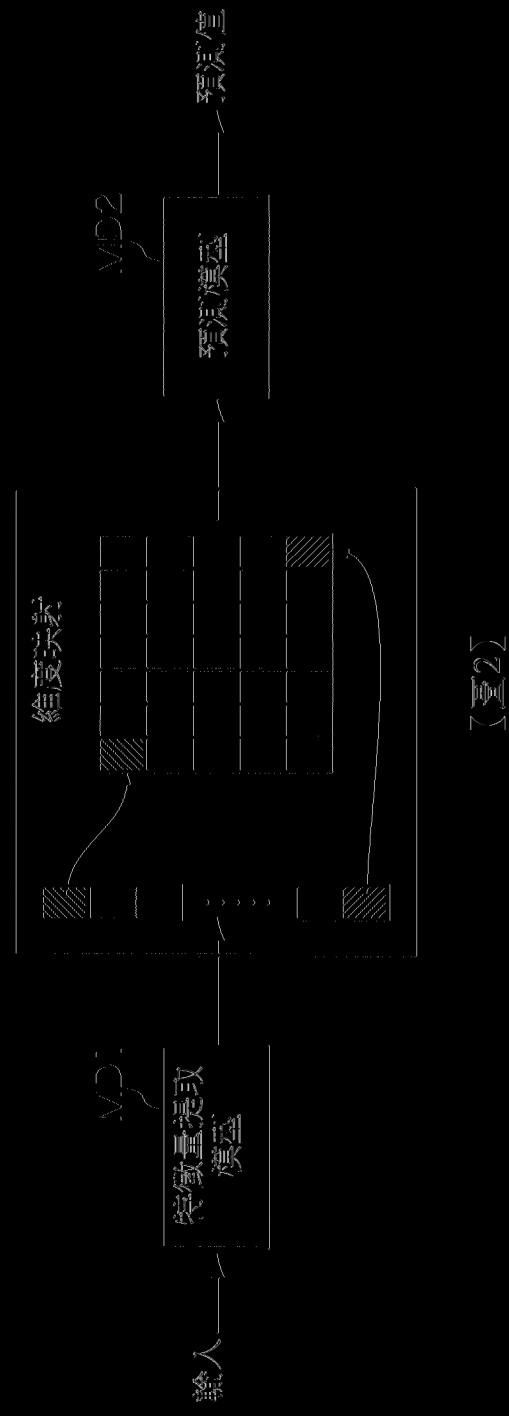
獲取部，其獲取關於基板處理之資料；

提取部，其使用以根據上述資料之輸入而輸出上述資料之特徵量之方式進行了學習之第1學習模型，提取所獲取之資料之特徵量；

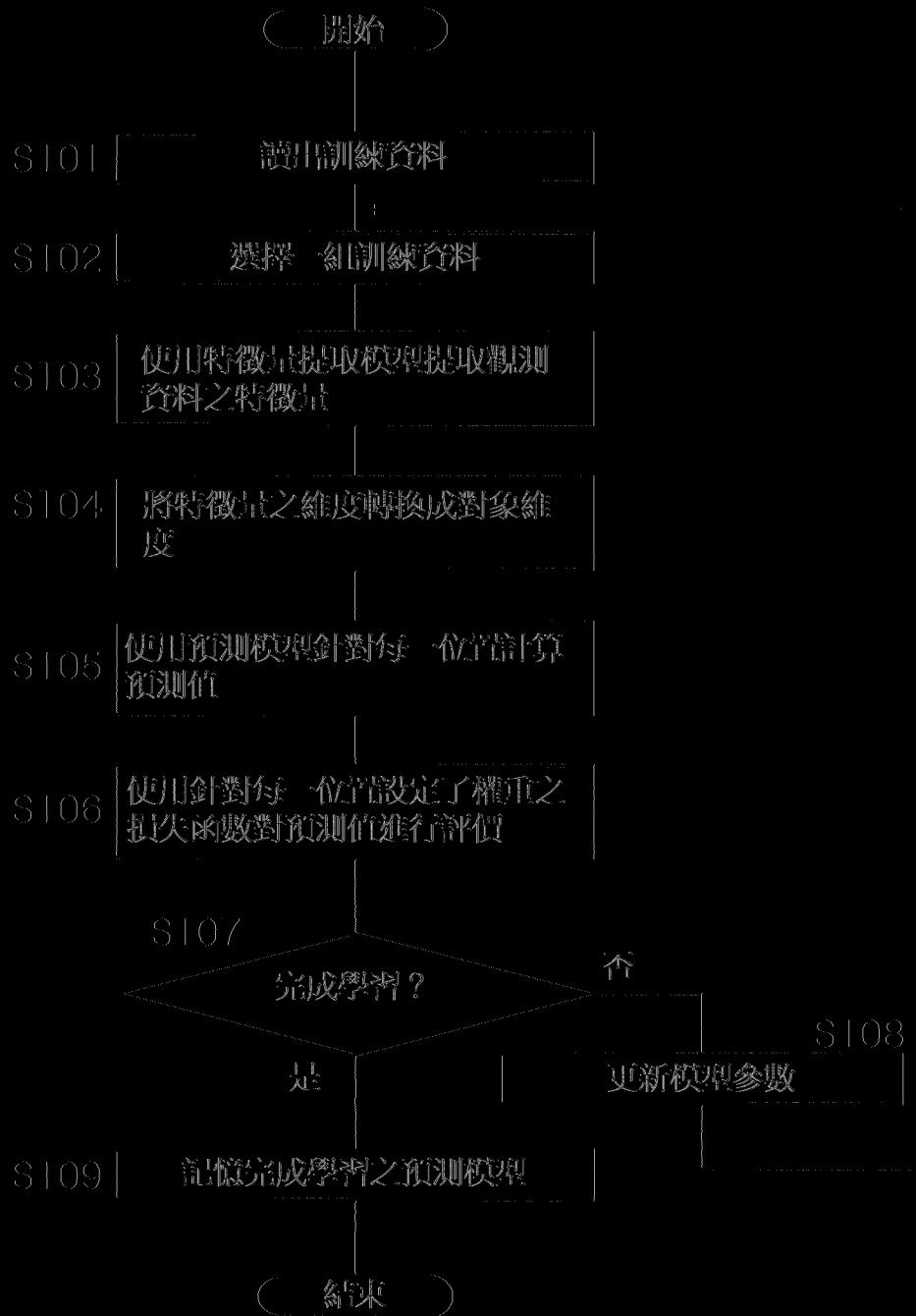
轉換部，其將所提取之特徵量轉換成所設定之對象維度之特徵量；

及

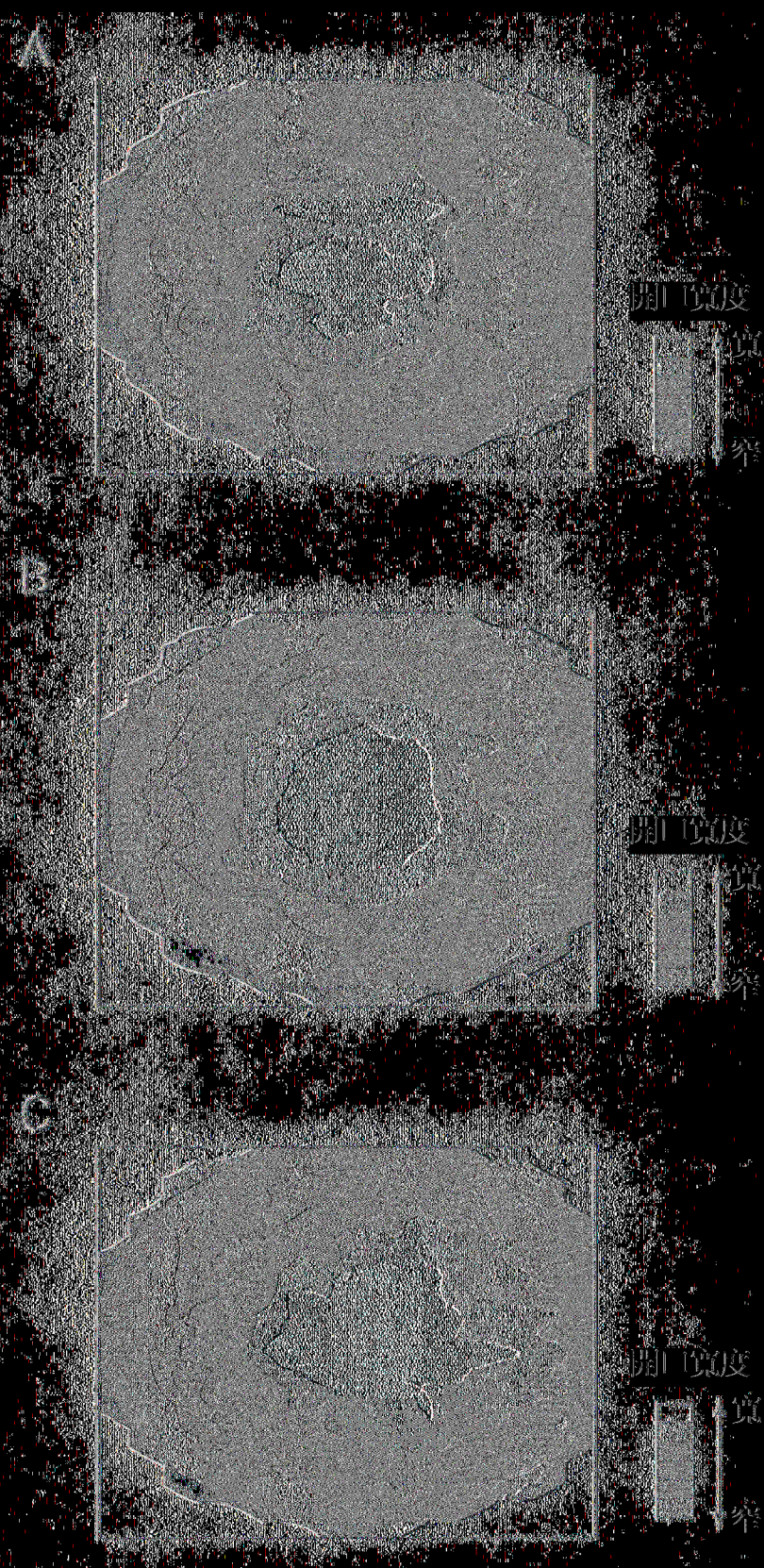
預測值計算部，其將維度轉換後之特徵量輸入至以根據具有上述對象維度之特徵量之輸入而輸出關於基板處理之預測值之方式進行了學習之第2學習模型，而求出預測值。



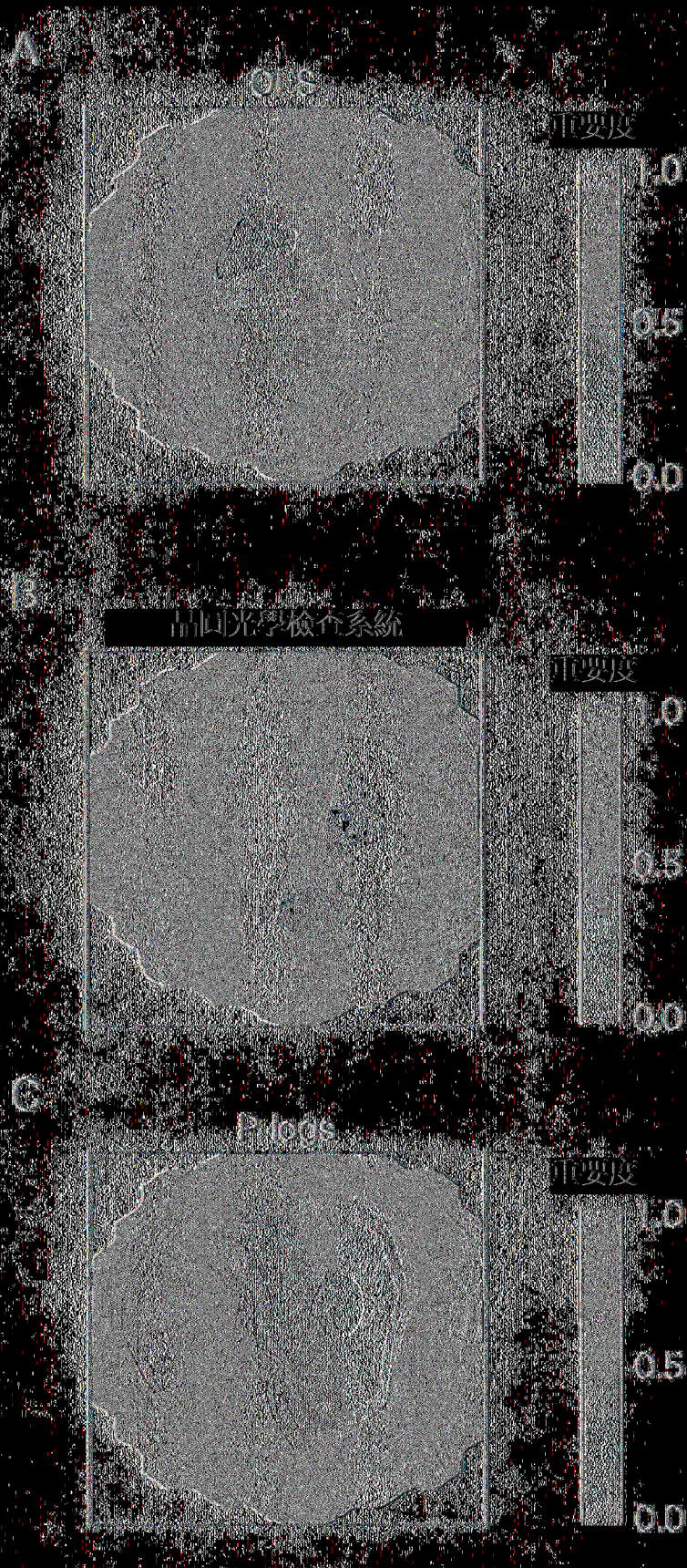
【圖2】



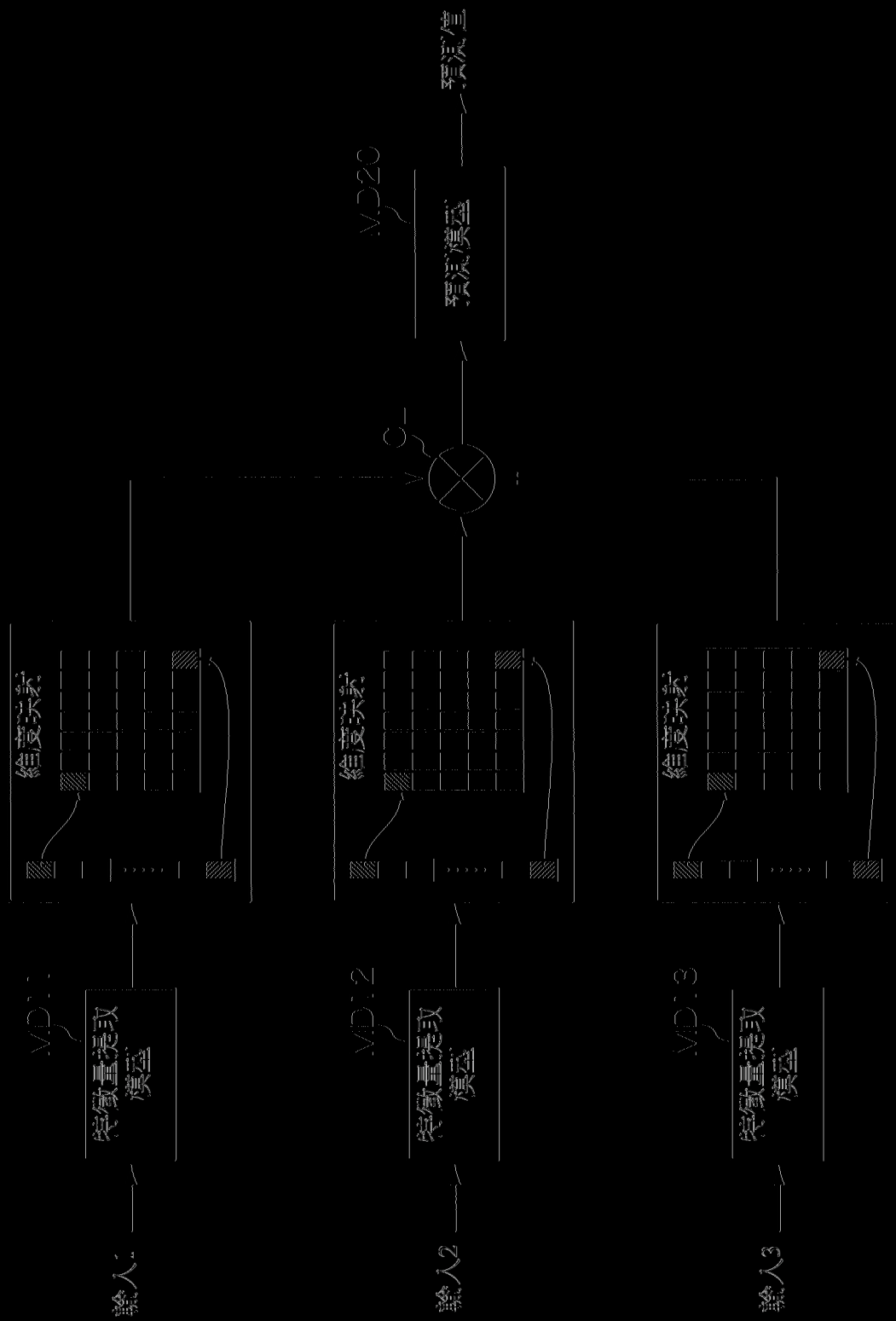
(圖4)



(圖6)



(圖7)



[圖9]

