



(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 I797699 B

(45)公告日：中華民國 112 (2023) 年 04 月 01 日

(21)申請案號：110128496

(22)申請日：中華民國 105 (2016) 年 12 月 19 日

(51)Int. Cl. : G01N3/08 (2006.01)

(30)優先權：2015/12/22 美國 62/271,219

(71)申請人：以色列商應用材料以色列公司(以色列) APPLIED MATERIALS ISRAEL LTD. (IL)
以色列

(72)發明人：卡林斯凱 雷歐尼迪 KARLINSKY, LEONID (IL)；扣漢 寶茲 COHEN, BOAZ (IL)；凱薩門 亞當 KAIZERMAN, IDAN (IL)；羅森曼 艾芙拉特 ROSENMAN, EFRAT (IL)；拜提考夫 亞密特 BATIKOFF, AMIT (IL)；拉維德 丹尼爾 RAVID, DANIEL (IL)；羅森維格 摩許 ROSENWEIG, MOSHE (IL)

(74)代理人：李世章；彭國洋

(56)參考文獻：

TW I502189B

TW I512684B

TW 201531698A

US 6456899B1

審查人員：施孝欣

申請專利範圍項數：18 項 圖式數：9 共 61 頁

(54)名稱

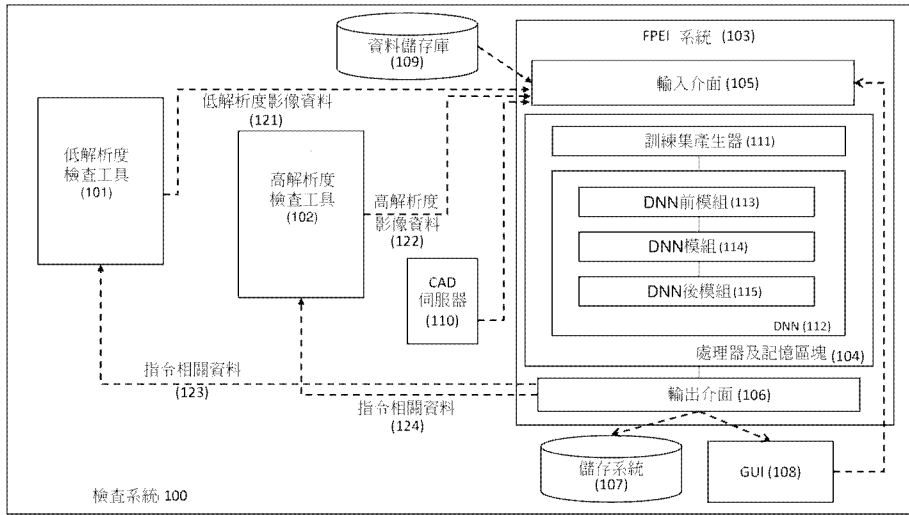
半導體試樣的基於深度學習之檢查的方法及其系統

(57)摘要

本案提供檢查一半導體試樣的系統及方法。該方法包含下列步驟：在獲得針對一半導體製程內之一給定的檢查相關應用所訓練的一深度類神經網路（DNN）後，即利用該所獲得經訓練 DNN 來一起處理一或更多個製程（FP）影像，其中該 DNN 是利用一訓練集所訓練，該訓練集包含特定於該給定的應用的基礎事實資料；及獲得特定於該給定的應用的檢查相關資料，該檢查相關資料說明該經處理一或更多個 FP 影像中至少一者的特徵。該檢查相關應用可能是（例如）：將至少一個 FP 影像所呈現的至少一缺陷分類、將該至少一個 FP 影像分區、偵測該至少一個 FP 影像所呈現之該試樣中的缺陷、在至少兩個 FP 影像之間對位、賦能對應於不同檢查模態來重建該至少一個 FP 影像的迴歸應用、等等。

There are provided system and method of examining a semiconductor specimen. The method comprises: upon obtaining a Deep Neural Network (DNN) trained for a given examination-related application within a semiconductor fabrication process, processing together one or more fabrication process (FP) images using the obtained trained DNN, wherein the DNN is trained using a training set comprising ground truth data specific for the given application; and obtaining examination-related data specific for the given application and characterizing at least one of the processed one or more FP images. The examination-related application can be, for example, classifying at least one defect presented by at least one FP image, segmenting the at least one FP image, detecting defects in the specimen presented by the at least one FP image, registering between at least two FP images, regression application enabling reconstructing the at least one FP image in correspondence with different examination modality, etc.

指定代表圖：



第1圖

符號簡單說明：

- 100:檢查系統
- 101:低解析度檢查工具
- 102:高解析度檢查工具
- 103:FPEI 系統
- 104:處理器及記憶區塊
- 105:輸入介面
- 106:輸出介面
- 107:儲存系統
- 108:GUI
- 109:資料儲存庫
- 110:CAD 伺服器
- 111:訓練集產生器
- 112:DNN
- 113:DNN 前模組
- 114:DNN 模組
- 115:DNN 後模組
- 121:低解析度影像資料
- 122:高解析度影像資料
- 123,124:指令相關資料



I797699

【發明摘要】

公告本

【中文發明名稱】半導體試樣的基於深度學習之檢查的方法及其系統

【英文發明名稱】METHOD OF DEEP LEARNING - BASED EXAMINATION

OF A SEMICONDUCTOR SPECIMEN AND SYSTEM THEREOF

【中文】

本案提供檢查一半導體試樣的系統及方法。該方法包含下列步驟：在獲得針對一半導體製程內之一給定的檢查相關應用所訓練的一深度類神經網路（DNN）後，即利用該所獲得經訓練DNN來一起處理一或更多個製程（FP）影像，其中該DNN是利用一訓練集所訓練，該訓練集包含特定於該給定的應用的基礎事實資料；及獲得特定於該給定的應用的檢查相關資料，該檢查相關資料說明該經處理一或更多個FP影像中至少一者的特徵。該檢查相關應用可能是（例如）：將至少一個FP影像所呈現的至少一缺陷分類、將該至少一個FP影像分區、偵測該至少一個FP影像所呈現之該試樣中的缺陷、在至少兩個FP影像之間對位、賦能對應於不同檢查模態來重建該至少一個FP影像的迴歸應用、等等。

【英文】

There are provided system and method of examining a semiconductor specimen. The method comprises: upon obtaining a Deep Neural Network (DNN) trained for a given examination-related application within a semiconductor fabrication process, processing together one or more fabrication process (FP) images using the obtained trained DNN, wherein the DNN is trained using a training set comprising

ground truth data specific for the given application; and obtaining examination-related data specific for the given application and characterizing at least one of the processed one or more FP images. The examination-related application can be, for example, classifying at least one defect presented by at least one FP image, segmenting the at least one FP image, detecting defects in the specimen presented by the at least one FP image, registering between at least two FP images, regression application enabling reconstructing the at least one FP image in correspondence with different examination modality, etc.

【指定代表圖】第（ 1 ）圖。

【代表圖之符號簡單說明】

1 0 0 : 檢 查 系 統

1 0 1 : 低 解 析 度 檢 查 工 具

1 0 2 : 高 解 析 度 檢 查 工 具

1 0 3 : F P E I 系 統

1 0 4 : 處 理 器 及 記 憶 區 塊

1 0 5 : 輸 入 介 面

1 0 6 : 輸 出 介 面

1 0 7 : 儲 存 系 統

1 0 8 : G U I

1 0 9 : 資 料 儲 存 庫

1 1 0 : C A D 伺 服 器

1 1 1 : 訓 練 集 產 生 器

1 1 2 : D N N

1 1 3 : D N N 前 模 組

1 1 4 : D N N 模 組

1 1 5 : D N N 後 模 組

1 2 1 : 低 解 析 度 影 像 資 料

1 2 2 : 高 解 析 度 影 像 資 料

1 2 3 , 1 2 4 : 指 令 相 關 資 料

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】半導體試樣的基於深度學習之檢查的方法及其系統

【英文發明名稱】METHOD OF DEEP LEARNING - BASED EXAMINATION OF A SEMICONDUCTOR SPECIMEN AND SYSTEM THEREOF

【技術領域】

【0001】 本申請案主張申請於2015年12月22日之第62/271,219號案的優先權，該優先權案在此以引用方式整體併入本案。

【0002】 本案揭示的標的大致關於試樣檢查的領域，且更特定為關於用於自動化試樣檢查的方法及系統。

【先前技術】

【0003】 經製成元件的超大規模整合所連帶的對高強度及高效能的現今需求，要求次微米特徵、增加的電晶體及電路速度，以及改善的可靠度。此種需求要求元件的形成帶有高精準度及一致性，而此因而使製程的費心監控成為必須，包括在元件仍為半導體晶圓之形式時經常且仔細地偵測元件。

【0004】 本說明書中所用的「試樣」一詞應被廣泛解讀為涵蓋被用來製造半導體積體電路、磁頭、平板顯示器、及其他半導體製成產品的任何種類晶圓、遮罩、及其他結構、以上之組合及/或部件。

【0005】 本說明書中所用的「檢查」一詞應被廣泛解讀為涵蓋在製造一試樣期間的任何種類計量學相關操作，及

關於試樣中缺陷的偵測及/或分類的操作。檢查是在所欲檢查之試樣的製造期間或製造後藉由利用非破壞性檢查工具所為。作為非設限性的例子，檢查程序可能包括利用相同或不同的偵測工具，針對該試樣進行執行時期掃描（單次掃描或多次掃描）、取樣、複查（review）、量測、分類及/或其他操作。同樣地，檢查可能在製造所欲檢查之試樣之前進行，且能包括（例如）產生檢查配方及/或其他設定操作。可注意到，除非特別地相反說明，本說明書中所用「檢查」一詞或其衍生詞在解析度或檢查區域的大小方面不受限制。作為非設限性的例子，各式各樣非破壞性檢查工具包括掃描式電子顯微鏡、原子力顯微鏡、光學偵測工具、等等。

【0006】 作為非設限性的例子，執行時期檢查可能採用兩階段手續，例如先偵測試樣再接著複查所取樣的缺陷。在第一階段期間，以高速及較低解析度來偵測試樣的表面。在第一階段中製成一缺陷對映圖，以顯示出該試樣上高機率具有缺陷的可疑位置（suspected locations）。在第二階段期間，以相對高的解析度更詳細地分析該些可疑位置。在某些情況中，兩階段可能都藉由相同偵測工具來實施，而在某些其他情況中此兩階段是藉由不同偵測工具來實施。

【0007】 在半導體製造期間的不同步驟時，利用檢查程序來偵測及分類試樣上的缺陷。藉由將流程自動化，例如

自動化缺陷分類（ADC）、自動化缺陷檢查（ADR）、等等，可能增加檢查的有效性。

【發明內容】

【0008】 按照本案揭示之標的的特定態樣，提供了一種檢查一半導體試樣的方法，該方法包含下列步驟：在由一電腦獲得針對一半導體製程內之一給定的檢查相關應用所訓練的一深度類神經網路（DNN）後，即利用該所獲得經訓練DNN來一起處理一或更多個製程（FP）影像，其中該DNN是利用一訓練集（training set）所訓練，該訓練集包含特定於該給定的應用的基礎事實資料（ground truth data）；及由該電腦獲得特定於該給定的應用的檢查相關資料，該檢查相關資料說明該經處理一或更多個FP影像中至少一者的特徵。

【0009】 該檢查相關應用可能是（例如）將該至少一個FP影像所呈現的至少一個缺陷分類、對至少一個FP影像進行分區、偵測由該至少一個FP影像所呈現的該試樣中的缺陷、在至少二個FP影像之間進行對位（registering）、及賦能相應於不同檢查模態重建該至少一個FP影像的迴歸（regression）應用、等等。

【0010】 按照本案揭示之標的的進一步態樣，該訓練集可能包含複數個第一訓練樣本及複數個擴增訓練樣本，該複數個擴增訓練樣本是藉由擴增至少部分的該等第一訓練樣本所獲得。該訓練集可能進一步包含關聯於該等第一訓練樣本的基礎事實資料及關聯於該等擴增訓練樣本的

擴增基礎事實資料。可選擇性地，擴增訓練樣本的數目可能顯著大於第一訓練樣本的數目。可選擇性地，至少大部分的擴增訓練樣本可能是藉由有利於該給定應用的一或更多擴增技術所獲得的。

【0011】 按照本案揭示之標的的進一步態樣，各第一訓練樣本可能包含藉由一檢查模態獲得的至少一個影像，該檢查模態像是光學偵測；多視角光學偵測、利用電子顯微鏡的低解析度偵測、利用電子顯微鏡的高解析度偵測、基於設計資料的影像生成、藉由變更一經擷取影像的影像生成、等等。

【0012】 該一或更多個FP影像可能構成一FP樣本，其中各第一訓練樣本包含從與該一或更多個FP影像相同之模態獲得的影像。可選擇性地，各第一訓練樣本可能進一步包含藉由一檢查模態獲得的至少一個影像而該檢查模態是不同於用來獲得該一或更多個FP影像的一或更多個檢查模態。

【0013】 按照本案揭示之標的的進一步態樣，該給定的檢查相關應用可能關於一特定生產層（*production layer*）。在此情況中，個別的訓練集包含特定於所述特定生產層的基礎事實資料，且該檢查相關資料特定於所述特定生產層。

【0014】 按照本案揭示之標的的進一步態樣，該給定的檢查相關應用可能關於一特定虛擬層，該特定虛擬層包含具有類似性質的一或更多個生產層。在此種情況中，個別

的訓練集包含特定於所述特定虛擬層的基礎事實資料，且其中該檢查相關資料乃特定於所述特定虛擬層。

【0015】 按照本案揭示之標的的進一步態樣，檢查流程可能包含至少一第一檢查相關應用及一第二檢查相關應用。在此情況中，該方法進一步包含以下步驟：針對該第一應用來利用以包含特定於該第一應用之基礎事實資料的訓練集所訓練的DNN，及針對該第二應用來利用以包含特定於該第二應用之基礎事實資料的訓練集所訓練的DNN。

【0016】 按照本案揭示之標的的進一步態樣，該給定的檢查相關應用可能是對該至少一個FP影像所呈現的至少一個缺陷進行分類。在此情況中，該基礎事實資料可能含有該等第一訓練樣本中呈現之缺陷的類別及/或類別分佈的資訊，而擴增基礎事實資料可能含有該等擴增訓練樣本中呈現之缺陷的類別及/或類別分佈的資訊。擴增至少部分之該等第一訓練樣本的步驟可能藉由（例如）幾何扭曲、在一影像中植入新缺陷、放大在一影像中之一預先存在缺陷的缺陷性、從一影像中移除一預先存在缺陷及掩飾一影像中的一缺陷。

【0017】 按照本案揭示之標的的進一步態樣，該給定的檢查相關應用可能正將該至少一個FP影像（例如該試樣的高解析度影像、該試樣的低解析度影像、或該試樣的基於設計資料之影像）分區。在此情況中，檢查相關資料可

能含有該至少一個FP影像之每像素分區相關數值的資訊。

【0018】 按照本案揭示之標的的進一步態樣，該給定的檢查相關應用可能是偵測該試樣中的缺陷。在此情況中，該檢查相關資料可能含有在該至少一個FP影像中呈現之真實缺陷的資訊。

【0019】 按照本案揭示之標的的進一步態樣，該給定的檢查相關應用可能是在至少二個FP影像之間的對位。在此情況中，訓練集包含複數個訓練樣本，各訓練樣本包含可交互對位的至少一對影像，且該檢查相關資料包含針對所述至少二個FP影像的對位相關資料的資訊。

【0020】 按照本案揭示之標的的進一步態樣，該給定的檢查相關應用可能是一迴歸應用，其賦能對應於不同檢查模態來重建該至少一個FP影像。在此情況中，該訓練集可能包含具有由第一檢查模態所獲得之影像的複數個訓練樣本，各個所述訓練樣本關聯於包含一或更多個相應影像的基礎事實資料，該一或更多個相應影像是藉由一或更多個其他檢查模態所獲得。

【0021】 按照本案揭示之標的的其他態樣，提供了一種包含指令的非暫態電腦可讀取媒體，當該等指令由一電腦執行時，致使該電腦進行如上揭示的檢查半導體試樣的方法。

【0022】 按照本案揭示之標的的其他態樣，提供一種可用來按照以上揭示之態樣檢查半導體試樣的系統。該系統

可能包含一處理及記憶區塊（PMB），該PMB操作連接至一輸入介面及一輸出介面，其中：該輸入介面經配置以接收一或更多個製程（FP）影像；該PMB經配置以獲得針對一半導體製程內之一給定的檢查相關應用所訓練的一深度類神經網路（DNN），並經配置以利用該經訓練DNN來一起處理該一或更多個所接收FP影像，以獲得特定於該給定應用的檢查相關資料，該檢查相關資料說明該經處理一或更多個FP影像中至少一者的特徵，其中該DNN是利用包含特定於該給定的應用之基礎事實資料的一訓練集來訓練的；該輸出介面經配置以輸出所獲得的檢查相關資料。所輸出的檢查相關資料能由相關於試樣檢查的一或更多個檢查工具所使用。

【圖式簡單說明】

【0023】 為了瞭解本發明及知道實務上如何實施，現將參看隨附圖式來描述實施例，僅為當作非設限的例子，圖式包括：

【0024】 第1圖圖示按照本案揭示之標的的特定實施例之一檢查系統的功能性區塊圖；

【0025】 第2圖圖示按照本案揭示之標的的特定實施例，可用之例示深度類神經網路的概括模型；

【0026】 第3圖圖示按照本案揭示之標的的特定實施例，利用製程（FP）影像來自動地決定檢查相關資料的概括流程圖；

【0027】 第4圖圖示按照本案揭示之標的的特定實施例，訓練一深度類神經網路（DNN）的概括流程圖；

【0028】 第5a圖及第5b圖圖示按照本案揭示之標的的特定實施例來將缺陷分類的概括流程圖；

【0029】 第6圖圖示按照本案揭示之標的的特定實施例來將檢查相關影像分區的概括流程圖；

【0030】 第7圖圖示按照本案揭示之標的的特定實施例之缺陷偵測的概括流程圖；

【0031】 第8圖圖示按照本案揭示之標的的特定實施例來將檢查相關影像對位的概括流程圖；及

【0032】 第9圖圖示按照本案揭示之標的的特定實施例的跨模態迴歸之概括流程圖。

【實施方式】

【0033】 在以下的實施方式說明中，闡述了數種特定的細節以提供對本發明的完整了解。然而，本發明所屬技術領域之技藝人士將理解，可在沒有該些特定細節之下實施本案揭示之標的。在其他情況中，沒有詳細描述習知的方法、手續、組件、及電路，以免模糊了本案揭示之標的。

【0034】 如將從以下論述所明顯得知，除非特別地相反指明，將理解在整份說明書中運用像是「處理」、「計算」、「表示」、「比較」、「產生」、「訓練」、「分區」、「對位」或類似用詞的論述，乃指操縱及/或轉換資料成為其他資料的動作及/或電腦程序，所述資料被表示成物理的（像是電子）計量及/或所述資料代表實體物品。「電

腦」一詞應被廣泛解讀為涵蓋任何種類的具有資料處理功能的基於硬體之電子裝置，包括（作為非設限性的例子）本案中揭示的 F P E I 系統及其部件。

【0035】 本說明書所用「非暫態記憶體」及「非暫態儲存媒體」等詞應被廣泛解讀為涵蓋適用於本案揭示之標的的任何揮發性或非揮發性電腦記憶體。

【0036】 本說明書所用「缺陷」一詞應被廣泛解讀為涵蓋形成在試樣上或在試樣內的任何種類異常或非所欲的特徵。

【0037】 本說明書所用「設計資料」一詞應被廣泛解讀為涵蓋任何指示出試樣的階層性實體設計（佈局）的資料。設計資料可能有一個別設計師提供，及/或可能從實體設計推導出來（例如藉由複合模擬、簡單的幾何及布林運算、等等）。設計資料能以不同格式來提供，如（作為非設限的例子）G D S I I 格式、O A S I S 格式、等等。設計資料能呈現為向量格式、灰階強度影像格式、或其他。

【0038】 將理解，除非特別相反指明，以下在獨立實施例之情境中描述的本案揭示之標的之特定特徵，也能以單一實施例中的組合來提供。反過來，以下在單一實施例之情境中描述的本案揭示之標的之不同特徵，也能經獨立提供或者以任何適當次組合（*sub-combination*）提供。在以下的詳細說明中，闡述了數種特定細節以提供對該些方法及設備的完整瞭解。

【0039】 記住此點，現參看第1圖，其描繪按照本案揭示之標的的特定實施例之檢查系統的功能性區塊圖。圖示於第1圖中的檢查系統100可能被用於檢查一試樣（例如晶圓及/或其部件）當作試樣製造的一部分。所圖示的檢查系統100包含基於電腦的系統103，其能夠利用在試樣製造中獲得的影像（以下稱為製程(FP)影像）來自動地決定計量學相關及/或缺陷相關資訊。系統103在以下稱為FPEI（製程檢查資訊）系統。FPEI系統103能被操作連接至一或更多個低解析度檢查工具101及/或一或更多個高解析度檢查工具102。該等檢查工具經配置以捕捉偵測影像及/或複查被捕捉的偵測影像，及/或賦能或提供相關於所捕捉影像的量測結果。FPEI系統經進一步操作連接至CAD伺服器110及資料儲存庫109。

【0040】 FPEI系統103包含一處理器及記憶區塊(PMB)104，PMB104經操作連接至一基於硬體的輸入介面105及一基於硬體的輸出介面106。PMB104經配置以提供對於操作FPEI系統必須的全部處理（將進一步參照第2~9圖詳細說明），並包含一處理器（未個別圖示出）及一記憶體（未個別圖示出）。PMB104的處理器能經配置以按照電腦可讀取的指令執行數個功能性模組，該等指令經實施在PMB中包含的非暫態電腦可讀取記憶體上。此種功能性模組以下稱為被包含在該PMB中。該處理器中包含的功能性模組包括經操作連接的訓練集產生器111及深度類神經網路(DNN)112。DNN112

包含一DNN模組114，該DNN模組經配置以使能夠基於輸入資料，利用深度類神經網路之資料處理來輸出應用特定資料（例如分類、偵測、迴歸、等等）。可選擇地，DNN 112能包含DNN前模組113及/或DNN後模組115，DNN前模組113經配置以在轉送資料給DNN模組前提供預處理（pre-processing），DNN後模組115經配置以對DNN模組產生的資料提供後處理（post-processing）。FPEI系統103、PMB 104及其中的功能性區塊的操作，將參照第2～9圖進一步詳細說明。

【0041】如將參照第2～9圖所進一步詳細說明者，FPEI系統經配置以接收（經由輸入介面105）由該檢查工具所產出的資料（及/或資料的衍生物）及/或儲存在一或更多個資料儲存庫109及/或CAD伺服器110及/或其他相關資料儲存庫中的資料。FPEI系統進一步經配置以處理所接收的資料，並發送（經由輸出介面106）結果（或其部分）給儲存系統107、給檢查工具、給基於電腦的圖形使用者介面（GUI）108以供繪製出該些結果，及/或給外部系統（例如FAB的良率管理系統（Yield Management System，YMS））。GUI 108能進一步經配置以使能有相關於操作FPEI系統103的使用者指定輸入。

【0042】作為非設限性的例子，能藉由一低解析度檢查機器101（例如光學偵測系統、低解析度SEM、等等）

來檢查試樣。所產生的資料（以下稱為低解析度影像資料 1 2 1）含有低解析度影像（及 / 或其衍生物）的資訊，該資料能被直接地（或經由一或更多個中介系統）傳送至 F P E I 系統 1 0 3。替代地或額外地，能藉由一高解析度檢查機器 1 0 2 來檢查該試樣（例如能藉由掃描式電子顯微鏡（S E M）或原子力電子顯微鏡（A F M）來複查被選來複查之可能缺陷位置的子集）。所產生的資料（以下稱為高解析度影像資料 1 2 2）含有高解析度影像（及 / 或其衍生物）的資訊，該資料能被直接地（或經由一或更多個中介系統）傳送至 F P E I 系統 1 0 3。

【 0 0 4 3 】 在處理了所接收的影像資料（選擇性地連同例如設計資料的其他資料）後，F P E I 系統即能發送結果（例如指令相關資料 1 2 3 及 / 或 1 2 4）至任一檢查工具、將結果（例如缺陷分類）儲存在儲存系統 1 0 7 中、經由 G U I 1 0 8 來繪製結果、及 / 或發送至一外部系統（例如至 Y M S）。

【 0 0 4 4 】 本領域之技藝人士將輕易理解到，本案揭示之標的的教示內容不限於第 1 圖中圖示的系統；同樣的功能性及 / 或修改後的功能效能以其他方式被合併或分開，並能實施成軟體、韌體及硬體的任意適當組合。

【 0 0 4 5 】 可注意到，第 1 圖中圖示的系統能經實施再依分散式計算環境中，在該環境中前述的功能性模組（如第 1 圖中顯示）能被分散於數個本地的及 / 或遠端的裝置，且能藉由通訊網路被鏈結。進一步注意到在另一實施例中，檢查工具 1 0 1 及 / 或 1 0 2、資料儲存庫 1 0 9、儲存系統 1 0 7

及 / 或 GUI 108 中至少部分能在檢查系統 100 外部且經由輸入介面 105 及輸出介面 106 與 FPEI 系統 103 進行資料通訊來操作。FPEI 系統 103 能經實施成一單機電腦以連同該等檢查工具一起使用。或者，FPEI 系統的個別功能（至少部分地）與一或更多個檢查工具整合。

【0046】 在不以任何方式限制本揭示案之範疇之下，也應注意該等檢查工具能被實施成各種不同類型的偵測機器，像是光學成像機器、電子束偵測機器及其他。在某些情況中該等檢查工具能經配置以檢查一整個試樣（例如一整個晶圓或至少一整個晶粒）以供偵測可能的缺陷。在其他情況中，至少一個檢查工具可能是一複查（review）工具，其常見具有較高解析度且其被用以確認是否一可能的缺陷確實是缺陷。此類複查工具通常經配置以較高解析度偵測一晶粒的片段（一次一片段）。在一些情況中至少一個檢查工具能具有計量學功能性。

【0047】 第 2 圖中圖示了可用做 DNN 112 的一例示性深度類神經網路的概括模型。所圖示的例示性 DNN 包含 DNN 模組 114，該 DNN 模組具有輸入層 201、輸出層 203 及設置在該輸入層及該輸出層之間的一或更多個隱藏層（標註為 202-1、202-2 及 202-i）。可選地，DNN 包含 DNN 前模組 113 及 DNN 後模組 114。

【0048】 DNN 模組 114 的各層可能包括多個基本運算元素（computational element，CE）204，運算元素在本發明所屬領域中常被稱為維度、神經元、或節點。

被包含在輸入層中的CE在第2圖中是以字母「i」標註，被包含在隱藏層中的CE是以字母「h」標註，而被包含在輸出層中的CE是以字母「o」標註。一給定層的運算元素是以連接線205與後續層的CE連接。前一層的CE與後續層的CE之間各連接線205關聯於一加權值（為簡化而未顯示在第2圖中）。

【0049】一給定的隱藏CE能經由個別的連接線從前一層的CE接收輸入，各給定的連接線關聯於一加權值，該加權值能被套用至該給定的連接線的輸入。該等加權值能決定該等連接線的相對強度及因此決定相應輸入對該給定的CE之輸出的相對影響度。該給定的隱藏CE能經配置以計算一啟動值（例如該等輸入的加權後總和）並進一步藉由對該經計算啟動值套用一啟動函數來得出一輸出。該啟動函數可能是（例如）恆等函數、確定性函數（例如線性、S字形、閾值、或類似者）、隨機函數或其他適當函數。來自該給定的隱藏CE的輸出能經由個別的連接線傳送給一後續層的CE。與以上同樣地，一CE之輸出處的各連接線能關聯於一加權值，該加權值能在該CE的該輸出被接收作為後續層之一CE的輸入之前被套用至該輸出。除加權值之外，尚可能有閾值（包括限制函數）關聯於該等連接線及CE。

【0050】深度類神經網路的加權及/或閾值可能在訓練之前經初始地選擇，並能進一步在訓練期間經疊代地調整或修改，以達到在該經訓練DNN模組中的加權及/或閾值

最佳集合。在各疊代之後，能決定出DNN模組所製造的真實輸出與資料之相應訓練集所關聯的目標輸出之間一差異。該差異能被稱為一誤差值（error value）。當指示出該誤差值的一代價函數（cost function）小於一預定值、或者當疊代之間的效能達成一有限變量，則訓練能被認定為完成。

【0051】 用來調整深度類神經網路的加權/閾值的DNN輸入資料集，在以下稱為訓練集。

【0052】 給DNN 112的輸入在被輸入至DNN模組114之前能由DNN前模組113預先處理，且（或）DNN模組114的輸出能在從DNN 112輸出之前由DNN後模組115作後處理。在此類情況中，DNN 112的訓練進一步包括決定DNN前模組及/或DNN後模組的參數。DNN模組能經訓練以將整個DNN的代價函數最小化，同時DNN前模組及/或DNN後模組的參數能經預定義且（可選地）能在訓練期間被調整。基於訓練之參數的集合能進一步包括相關於DNN前及DNN後處理的參數。

【0053】 可注意到，本案揭示之標的的教示內容不受限於隱藏層的數目及/或DNN架構。作為非設限性的例子，DNN中的層可能是迴旋的（convolutional）、完全連接的、局部連接的、集用（pooling）/局部取樣（subsampling）、反復的、等等。

【0054】 參看第3圖，其圖示有自動地利用製程（FP）影像來決定檢查相關資料的概括流程圖。按照本案揭示之

標的的特定實施例，該方法包含一設定步驟，該步驟包含訓練深度類神經網路（DNN）112，其中DNN經針對一給定的檢查相關應用所訓練，且該DNN特徵在於一組應用特定的基於訓練的參數。將參看第4圖進一步詳細說明如何訓練按照本案揭示之標的的特定實施例的DNN 112。作為非設限性的例子，檢查相關應用可能是下列其中之一者：

利用由DNN產生之屬性的缺陷分類（界定類別可能包括修改及/或更新預先存在的類別定義）；

將製程影像分區，包括將FP影像分割成片段（例如材質類型、邊緣、像素標記（pixel labeling）、感興趣區域、等等）；

缺陷偵測（例如利用FP影像及其標記來識別出一或更多個候選缺陷（若存在）、決定候選缺陷的真值、獲得該等缺陷的形狀資訊、等等）；

在二或更多個影像之間進行對位，包括獲得該等影像之間的幾何扭曲參數（可能是全域的或局部的、簡單如平移或是更複雜的轉換）；

跨模態迴歸（例如從來自不同檢查模態的一或更多個影像來重建一影像，例如從CAD重建SEM或光學影像、從SEM影像重建高度對映圖、從低解析度影像重建高解析度影像）；

上述之組合。

【0055】 一旦獲得(301)在設定步驟期間針對一給定應用所訓練的DNN，則在執行時期期間FPEI系統的PMB就利用該所獲得經訓練DNN一起處理(302)一或更多個FP影像，並獲得(303)應用特定檢查相關資料，該相關資料說明該經處理一或更多個FP影像中至少一者的特徵。當處理一或更多個FP影像時，除了屬於該DNN之特徵的基於訓練之參數以外，PMB也能利用預定義的參數及/或從其他來源接收的參數。

【0056】 將由該經訓練DNN所一起處理的FP影像能得自不同檢查模態(例如來自不同檢查工具；來自相同檢查工具的不同管道，像是例如亮視野及暗視野影像；來自使用不同操作參數的相同檢查工具、可能從設計資料得出、等等)。

【0057】 FP影像可能選自在製程期間捕捉的試樣(例如晶圓或其部件)之影像、由不同預處理階段獲得的所捕捉影像衍生者(例如晶圓之部件的影像、或由SEM或光學偵測系統捕捉之光罩、粗略地集中在要由ADC分類之缺陷周圍的SEM影像、較大區域的SEM影像(在其中該缺陷將由ADR所局部化)、對應於相同遮罩位置之不同檢查模態的經對位影像、經分區影像、高度對映圖影像、等等)及電腦所產生之基於設計資料的影像。

【0058】 作為非設限性的例子，應用特定檢查相關資料可能代表數值的每像素對映圖，該等數值的意義依應用而異(例如用於缺陷偵測的二元對映圖；用於污染族群

(*nuisance family*) 預測的離散對映圖，其指示出族群類型或概略類別；用於缺陷類型分類的離散對映圖；用於跨模態或晶粒對模型 (*die-to-model*, *D2M*) 迴歸的持續數值、等等)。能進一步與每像素對映圖一起獲得每像素機率對映圖，該機率對映圖指示出針對該等像素所獲得數值的機率。

【0059】 替代地或額外地，應用特定檢查相關資料能代表一或更多個數值，該一或更多個數值概述了整個影像內容（非每像素），像是（例如）缺陷定界框候選者及所關聯的針對自動化缺陷檢查應用之缺陷性機率、針對自動化缺陷分類應用的缺陷類別及類別機率、等等。

【0060】 替代地或額外地，所獲得的應用特定缺陷相關資料可能不直接關於缺陷，卻可用作缺陷分析（例如藉由將FP影像分區所獲得的晶圓各層之間邊界可能被用來界定缺陷的層、缺陷環境資料如背景圖案的特徵、等等）。替代地或額外地，檢查相關資料可能被用於計量學之用途。

【0061】 表1中圖示了應用特定FP影像（DNN輸入）及應用特定檢查相關資料（DNN輸出）的非設限例子。

表 1：應用特定 FP 影像及應用特定檢查相關資料

應用	應用特定 FP 影像的非設限例子	應用特定檢查相關資料的非設限例子
----	------------------	------------------

分類	缺陷影像、參考晶粒影像、高度映射、CAD 影像、缺陷遮罩	缺陷分類、屬性（例如被用在其他分類器中）
迴歸	CAD 影像	光學或 SEM 影像
迴歸	SEM 影像（包括視角）	高度對映圖
迴歸	低解析度影像	高解析度影像
迴歸	有雜訊的影像	去雜訊（De-noised）的影像
分區	有或沒有 CAD 的光學或 SEM 影像	分區對映圖（每像素標記）。
缺陷偵測	缺陷影像（例如光學或 SEM、對照影像或影像（可選）、CAD（可選）。	缺陷定界框座標、缺陷遮罩影像（全部缺陷像素為「1」，其他為「0」）、等等
對位	來自相同檢查模態（例如光學或 SEM）的兩影像。	對位參數（用於一參數模組）
對位	來自不同檢查模態（SEM 與光學、光學與 CAD、SEM 與 CAD）的兩影像	光學流程對映圖（針對各像素做 X 及 Y 替換）

【0062】 將參照第5～9圖進一步詳細說明處理FP影像及獲得應用特定檢查相關資料的非設限例子。參照第3至4圖所圖示的技術可套用於遮罩檢查及/或計量學流程及晶圓檢查及/或計量學流程（例如D2D、SD及CAD輔助、ADR/ADC流程等等）、用於像是CAD-2-SEM對位的多模態及單影像流程、用於多視角偵測（ADR）、用於多視角分類（ADC）、等等。

【0063】 將注意，一給定檢查相關應用能進一步包含將被檢查的一特定生產層或一群生產層之特徵。作為非設限性的例子，對於由一或更多個金屬層構成的一「虛擬層」所為的缺陷偵測及/或分類，能利用經針對此虛擬層特別訓練的DNN所產生的屬性。同樣地，另一經特別訓練的DNN能用於在由一或更多個遮罩層構成的一「虛擬層」中的缺陷偵測及/或分類。

【0064】 參看第4圖，圖示有按照本案揭示之標的的特定實施例訓練DNN 112的概括流程圖。當連同獲得應用特定資訊之步驟來被使用時，DNN 112經針對一給定的檢查相關應用來訓練，且特徵在於應用特定基於訓練的參數。

【0065】 當訓練DNN 112時，FPEI系統獲得（401）一組第一訓練樣本，獲得（402）對應於該等第一訓練樣本的第一基礎事實資料並處理該等第一訓練樣本及第一基礎事實資料，以產生（例如藉由該訓練集產生器）（403）一應用特定訓練集。

【0066】能經由輸入介面105從資料儲存庫109、CAD伺服器110或任何其他適當資料儲存庫獲得該組第一訓練樣本及基礎事實資料。替代地或額外地，能經由GUI 108獲得基礎事實資料。

【0067】因應用而異，一訓練樣本可能是單一影像或是由相同或不同檢查模態所獲得的一群影像。可注意到，檢查模態的差異可能在個別影像的來源（例如由掃描式電子顯微鏡（SEM）捕捉的影像、由光學偵測系統捕捉的影像、從所捕捉影像得出的影像、基於CAD所產生的影像、等等）及/或在於套用至被捕捉之影像的推導技術（例如由分區、缺陷輪廓擷取、高度對映圖計算、等等所導出的影像）及/或在於檢查參數（例如藉由特定檢查工具提供的視角及/或解析度、等等）。可進一步注意到，針對一給定訓練程序所使用的全部第一訓練樣本，應由相同檢查模態獲得之相同個數的影像所構成，且與在該等訓練樣本內具有相同的關聯性（例如來自一特定模態的單一影像，或由一影像及一對照影像組成的一對，或由一頂視角影像、4面視角影像、及一基於CAD之影像組成的一組，等等）。

【0068】基礎事實資料的數值包括影像及/或關聯於應用特定訓練樣本的標記。基礎事實資料可能經合成製成（例如基於CAD之影像）、確實製成（例如所捕捉的影像）、藉由機器學習註解所製成（例如基於特徵擷取及分析的標記）；由人工註解所製成、上述之組合，等等。

【0069】 將注意，因應用而異，可能針對一訓練樣本或針對基礎事實資料使用相同影像。作為非設限性的例子，一個基於CAD的影像可能針對分區應用被用作訓練樣本，而針對迴歸應用被用作基礎事實資料。按照本案提出之標的的特定實施例，基礎事實資料可能因應用而異。應用特定基礎事實資料的非設限例子經例示在表2中。

表 2：基礎事實資料的應用特定例子

應用	基礎事實資料的非設限例子
分類	各例子的真正類別
迴歸	應被重建的真正影像
分區	經分區的影像（像素值是分區的索引）
缺陷偵測	定界框或遮罩（若缺陷存在的話）
對位	對位參數（針對參數模組）或針對光學流程於各像素處的真正位移

【0070】 產生（403）影像之訓練集的步驟可能包括擴增（411）至少部分的第一訓練樣本，以及將擴增的訓練樣本包括在所產生之訓練集中，其中一給定的第一訓練樣本能產出一或更多個擴增的訓練樣本。從一第一訓練樣本要得出一個擴增訓練樣本，是藉由擴增該第一訓練樣本中的一或更多個影像。對來自一第一訓練樣本之一影像的擴增能藉由各種影像處理技術來達成，包括加入雜訊、模糊化、幾何轉換（例如旋轉、拉伸、模擬不同角度、裁切、縮放、等等）、色調對映、改變該影像之一或更多個像素

的向量資訊（例如加入及/或修改視角或取得之管道，等等）、等等。替代地或額外地，可能利用合成資料（例如缺陷相關資料、經模擬的連接器或其他物品、來自其他影像的植入、等等）來擴增來自第一訓練樣本的影像。作為非設限的例子，具已知缺陷類型的可用影像（及/或參數）能被用來在一影像中植入一新缺陷、放大該影像中一預先存在缺陷的缺陷性、從該影像移除一缺陷、掩飾該影像中的一缺陷（使它難以被發現）、等等。還有，替代地或額外地，來自一第一訓練樣本的一被捕捉影像可能利用分區、缺陷輪廓擷取、及/或高度對映圖計算而被擴增，及/或可能藉由與對應的基於CAD之影像一起處理而獲得該被捕捉影像。

【0071】 可以獨立於應用的方式來對第一訓練樣本的影像施用擴增技術。替代地，可能以一應用特定方式得出擴增的訓練樣本，其中個別的擴增影像的至少一大部分是藉由優選於特定應用的技術所獲得。應用特定之優選擴增技術的非設限例子經例示於表3中。

表 3：優選之擴增技術的應用特定例子

應用	優選之擴增技術的非設限例子
分類	幾何轉換、色調對映、植入合成缺陷、缺陷色調之修改
迴歸	加入雜訊、模糊化、色調對映
分區	加入雜訊、模糊化、色調對映、合成影像

缺陷偵測	加入雜訊、模糊化、色調對映、植入合成缺陷、缺陷色調之修改
對位	幾何轉換、色調對映

【0072】由於一第一訓練樣本可能產出數個擴增的訓練樣本，在訓練集中訓練樣本的個數可能顯著大於第一樣本的個數。例如，該組第一訓練樣本可能包括在100個到50,000個之間的訓練樣本，同時所產生的訓練集可能包括至少100,000個訓練樣本。可注意到捕捉影像是緩慢（且可能也昂貴）的一個程序。藉由擴增第一訓練樣本中的被捕捉影像來在訓練集中產生足夠數量之訓練樣本，可以減少時間及/或成本。

【0073】產生(403)影像之訓練集的步驟進一步包括獲得(412)針對於擴增訓練樣本的擴增基礎事實資料，以及將擴增的訓練樣本及擴增的基礎事實資料相關聯(413)。所產生的訓練集可能被儲存在PMB 104的記憶體中，且能包含應用特定第一訓練樣本連同應用特定基礎事實資料，可選擇性地還包含擴增的訓練樣本連同擴增的基礎事實資料。

【0074】類似於針對第一基礎事實資料，擴增的基礎事實資料可能由分析該影像的人在有或沒有電腦系統之輔助下提供。替代地或額外地，FPEI系統可能藉由處理第一基礎事實資料來產生擴增的基礎事實資料，該產生步驟相應於當得出擴增的訓練樣本時在個別第一訓練樣本中所提供的影像擴增。

【0075】可注意到，擴增第一訓練樣本的步驟以及將擴增的訓練樣本及擴增的基礎事實資料包括到訓練集中的步驟是可選的。在本發明的特定實施例中，訓練集可能包括僅有連同相應基礎事實資料的第一訓練樣本。

【0076】可進一步注意到，訓練樣本可能包括來自執行時期期間不可用之檢查模態的影像，此種影像被用於調諧DNN的訓練相關參數。作為非設限性的例子，用於缺陷偵測或將應用分類的訓練樣本除了包括對應於在執行時期期間要使用之低解析度FP影像的低解析度影像，還能包括僅於設定步驟可用的相應高解析度SEM影像。同樣地，用於分區或對位應用的訓練樣本可能還包括僅在設定步驟可用的基於CAD之影像。

【0077】在獲得應用特定訓練集之後，FPEI系統即利用DNN 112疊代地處理該訓練集，而去提供(404)應用特定的基於訓練之參數集合，且藉以獲得應用特定之經訓練DNN。所獲得的基於訓練之參數對應於應用特定代價函數。應用特定代價函數的非設限例子經例示在表4中。可選地，利用DNN處理該訓練集的步驟可能包括藉由DNN前模組113的預處理操作(例如選擇輸入管道、調整大小/裁切、等等)以及藉由DNN後模組115的後處理操作(例如執行空間金字塔集用(spatial pyramid pooling)、多規模集用(multi-scale pooling)、費雪向量(Fisher Vectors)、等等)。除了經特定於應用而最佳化的加權之外，基於訓練的參數可能包括經最佳化

的應用特定閾值、應用特定預處理參數、及應用特定後處理參數。

表 4：可用於訓練之代價函數的應用特定例子

應用	可用於訓練之代價函數的非設限例子
分類	分類誤差（最常用者為「softmax 迴歸」）
迴歸	最大絕對誤差、MSE、於一給定百分位處的誤差
分區	分區正確度（正確像素對比錯誤者的度量）
缺陷偵測	偵測正確度 + 針對錯誤偵測及過度偵測的處罰
對位	最大誤差（跨於全部像素）、來自模型參數的相對變異

【0078】 因此，按照本案揭示之標的的特定實施例，DNN 訓練程序連接了應用特定訓練樣本及相應的基礎事實資料，藉以使得能夠無需再在執行時期期間獲得基礎事實資料就進行FP影像的進一步處理，這一般是不可行的。

【0079】 可注意到，所例示的訓練程序可能是循環的，且可能重複數次直到DNN被訓練足夠為止。該程序能從一初始產生之訓練集開始，同時使用者針對由DNN根據該初始訓練集所達到的結果提供反饋。所提供的反饋可能包括（例如）：

手動對一或更多個像素、區域及/或缺陷做重新分類；
對類別排列優先順序；
敏感度改變、基礎事實分區之更新、及/或手動地界定針對分區應用的感興趣區域（ROI）；
重新界定用於缺陷偵測應用的遮罩/定界框；
針對對位應用，重新選擇失敗的案例及/或手動的對位失敗；
重新選擇用於迴歸應用的感興趣特徵，等等。

【0080】PMB可能基於所接收的反饋來調整下一循環的訓練。調整步驟可能包括下列至少一個：更新訓練集（例如更新基礎事實資料及/或擴增演算法、獲得額外的第一訓練樣本及/或擴增的訓練樣本、等等）、更新代價函數、更新DNN前及/或DNN後之演算法、等等。可選地，一些訓練循環可能不是提供給整個DNN 112，卻提供給DNN前模組113、DNN後模組115或給DNN模組114的一或更多個更高層。

【0081】第4圖圖示了直接在相關於所製造試樣的資料上訓練一深度類神經網路。可注意，本案揭示之標的的教示內容乃類似地可套用至在不同資料集合上粗略訓練的DNN，該不同資料集合可能無關於所製造之試樣，並針對特定檢查相關應用而經進一步精細訓練（例如藉由移轉學習技術（transfer learning technique）之協助）。同樣地，能利用其他本領域習知的技術來粗略地訓練（預訓練）DNN。

【0082】 將參照第5～9圖詳細說明利用應用特定之經訓練DNN網路來實施以上詳述之獲得檢查相關資料之技術的非設限例子。參照第5～9圖所例示的程序包含一設定步驟及一執行時期步驟，設定步驟為特定於應用的DNN訓練，執行時期步驟維針對特定應用來利用經訓練的DNN。PMB進一步利用經訓練的DNN來一起處理一或更多個FP影像，並藉以獲得應用特定檢查相關資料。該一或更多個FP影像構成一製程樣本（FP樣本）。依應用而異，一FP樣本可能為單一影像或由相同或不同檢查模態獲得的一群影像。可注意到訓練樣本應對應於將被用於個別應用的FP樣本。對於一給定應用，各第一訓練樣本應包含至少由相同檢查模態獲得的相同個數之影像，且該等影像的關聯性與相應FP樣本中的影像一樣。可選地，訓練樣本能進一步包含由額外檢查模態獲得的額外影像，該額外檢查模態典型在執行時期期間為不可用的。參看第5a及5b圖，圖示有實施以上詳述獲得檢查相關資料的技術的非設限例子，該些檢查相關資料用於將一試樣中的缺陷分類。所圖示的FPEI系統操作方法能被用於（例如）自動化缺陷分類（ADC）。

【0083】 該程序包含一設定步驟510及一執行時期步驟520，該設定步驟為特定於分類的DNN訓練，而該執行時期步驟為針對缺陷分類來利用經訓練的DNN。

【0084】 在設定步驟510期間（其在第5a及5b圖中為共同的），獲得該組第一訓練樣本（501）及個別的基礎

事實資料 (502) , P M B 104 產生 (503) 一分類訓練集並利用所產生分類訓練集去獲得 (504) 經訓練 D N N , 該經訓練 D N N 之特徵在於分類相關訓練參數。產生該分類訓練集之步驟能包括擴增第一訓練樣本及基礎事實資料, 以及將擴增的訓練樣本及擴增的基礎事實資料包括至該訓練集之中。

【0085】 各第一訓練樣本能包含一缺陷的單一先前捕捉的高解析度影像。可選地, 至少部分的此單一影像可能為具有已知缺陷類型的影像; 此種影像可能可得自一或更多個第三方資料庫。可選地, 第一訓練樣本中的單一影像可能是先前自一缺陷影像得出 (例如藉由分區、缺陷輪廓擷取、高度對映圖計算、等等) 並被儲存在一資料儲存庫 (例如資料儲存庫 109) 的一「中間」影像。可選地, 各個第一訓練樣本可能進一步包含來自額外模態的影像, 像是例如對照晶粒影像、基於 C A D 之影像、高度對映圖、缺陷遮罩、獲得自不同視角的影像、等等。

【0086】 能藉由擴增一第一訓練樣本 (例如藉由幾何扭曲、在影像中植入一新缺陷、放大該影像中一預先存在缺陷的缺陷性、自該影像移除一缺陷、掩飾該影像中的一缺陷、等等) 來獲得擴增的訓練樣本。

【0087】 所獲得之關聯於該第一訓練樣本的基礎事實資料含有在該第一訓練樣本中呈現之缺陷的類別 (例如粒子、圖案形變、電橋、等等) 及 / 或類別分佈 (例如屬於

各類別的機率)的資訊。同樣地，擴增的基礎事實資料含有該擴增的訓練樣本中之缺陷的類別/類別分佈的資訊。

【0088】因此，所產生之分類訓練集可能包括具有高解析度經捕捉之缺陷影像的訓練樣本、其相關聯之基礎事實資料(含有經捕捉影像中之缺陷的類別及/或類別分佈的資訊)，可選擇性地還有擴增的訓練樣本及擴增的基礎事實資料(含有擴增的訓練樣本中之缺陷的類別及/或類別分佈的資訊)。

【0089】在產生(503)了該分類訓練集之後，PMB即訓練(504)DNN以擷取分類相關特徵及提供使能有最小分類誤差的分類相關屬性。該訓練程序產出具有分類相關訓練參數的經訓練DNN。

【0090】在執行時期步驟520期間，PMB利用特定於分類的經訓練DNN來處理(505)包含一經捕捉高解析度FP缺陷影像的一FP樣本，以及來獲得(506)自動化分類相關屬性。可選地，FP樣本可能進一步包含對應於訓練樣本的參照晶粒影像、基於CAD之影像、高度對映圖、缺陷遮罩、等等，這些FP影像將由DNN一起連同高解析度FP缺陷影像來處理。PMB能進一步獲得(507)相關於將被分類之缺陷的工程屬性(例如缺陷大小、方向、背景區段、等等)。工程屬性可能由PMB按照儲存在PMB中的預定義指令所產生。

【0091】在第5圖圖示的程序中，FPEI系統匯出(508)由DNN獲得的該等分類相關屬性以及(可選地)

該等工程屬性至一外部分類器，並進一步匯出該等工程屬性至一外部分類系統。獲得分類結果（509）之步驟包括藉由外部分類系統來處理其從外部分類器（可能是選擇性地該外部分類系統的一部件）與該等工程屬性一起接收的結果。

【0092】 在第5b圖中圖示的程序中，FPEI系統利用由DNN獲得的該等分類相關屬性以及（可選地）該等工程屬性（在處理FP影像時可選擇性地獲得），來產生（508-1）中間分類結果。FPEI系統進一步匯出（508-1）該等中間分類結果以及工程屬性至一外部分類系統。該外部分類系統處理（509-1）經接收之資料並產出經分類的缺陷。可選地，可以省略操作508-1，而FPEI能在不涉及外部分類系統之下利用由DNN獲得的分類相關屬性及工程屬性來產出經分類的缺陷。

【0093】 因此，如圖示，該分類應用可能以不同方式來實施。作為非設限性的例子，特定於分類而經訓練的DNN能基於其所獲得之DNN分類相關屬性及工程屬性的組合、抑或僅基於DNN所獲得之分類相關屬性，來將呈現在FP影像中的缺陷分類。替代地，特定於分類的經訓練DNN能藉著提供分類相關屬性（可選地還有工程屬性）至外部分類系統，以致使此類缺陷的分類。

【0094】 參看第6圖，圖示有實施參照第1~4圖所詳細說明用於將FP影像分區之技術的非設限例子。除非特別相反指明，本說明書所用「分區」一詞應被廣泛解讀為涵

蓋任何在提供每像素數值的同時將影像分割為有意義之部分（例如背景及前景、或缺陷及非缺陷，等等）的程序。作為非設限性的例子，其可能用於ADC在建構屬性之時（例如用於界定是否缺陷在主圖案之上、在背景上、或兩者都是）、用於ADR以在各區段上施加特定於分區的偵測閾值、等等。

【0095】 該程序包含一設定步驟610及一執行時期步驟620，該設定步驟特定於分區的訓練DNN，該執行時期步驟利用該經訓練DNN以供影像分區。

【0096】 在設定步驟610期間，在獲得該組第一訓練樣本（601）及基礎事實資料（602）之後，PMB 104即產生（603）分區訓練集並利用所產生的分區訓練集來獲得（604）經訓練DNN，該經訓練DNN特徵在於分區相關訓練參數。可選地，產生分區訓練集之步驟可能包括擴增該等第一訓練樣本並獲得其相關聯的擴增基礎事實資料。

【0097】 該等第一訓練樣本可能包括先前捕捉的低解析度影像及/或高解析度影像，以及（可選的）基於CAD之影像。可選地，該訓練集能進一步包含擴增的訓練樣本（例如藉由加入雜訊、模糊化、色調對映、等等）。所獲得的基礎事實資料含有關聯於個別訓練樣本的分區相關資料之資訊。作為非設限性的例子，關聯於一給定訓練樣本的分區相關資料可能含有以下資訊：每像素分區；每像素標記；CAD多邊形；CAD模型；感興趣區域（ROI），

等等。類似地，擴增的基礎事實資料含有針對個別的擴增訓練樣本的分區相關資訊。

【0098】 在產生（603）分區訓練集之後，PMB訓練（604）該DNN以最小誤差提供所需的像素值（例如在其中每像素之不同色值代表影像上不同分區的灰階影像；將分區表示成（例如）各分區的邊緣或頂點，等等）。該訓練程序產出具有分區相關訓練參數的經訓練DNN。

【0099】 在執行時期步驟620期間，PMB利用經訓練DNN來處理（605）一FP樣本，該FP樣本包含將被分區的被捕捉FP影像（選擇性地還有對應於該等訓練樣本的額外FP影像），以提供（606）該等影像的分區。所獲得的分區相關資料可能含有以下資訊：每像素分區、每像素標記、CAD多邊形、CAD模型、FP影像中的感興趣區域、等等。

【0100】 參看第7圖，其圖示有實施參照第1～4圖所詳述之技術以供獲得相關於缺陷偵測之資訊的非設限例子，所述缺陷偵測例如將影像中的可能缺陷篩選成缺陷或非缺陷，及/或提供所識別出缺陷的位置、大小、定界框、邊界、及/或遮罩，等等。

【0101】 該程序包含一設定步驟710及一執行時期步驟720，該設定步驟是特定於偵測來訓練DNN，該執行時期步驟是利用經訓練DNN來獲得相關於缺陷偵測的資訊。

【0102】 在設定步驟710期間，在獲得該組第一訓練樣本（701）及基礎事實資料（702）之後，PMB 104產生（703）偵測訓練集並利用所產生的偵測訓練集來獲得（704）經訓練DNN，該DNN特徵在於偵測相關訓練參數。產生該偵測訓練集之步驟可能包括擴增該等第一訓練樣本以及獲得擴增的基礎事實資料。

【0103】 訓練樣本可能包括含有可疑位置之資訊的單一影像（例如ROI影像置中在缺陷候選者上的區域影像、低解析度區域影像、等等）或一群影像（例如含有可疑位置之資訊的影像連同一對照影像、以不同視角獲得之相同感興趣區域的影像、等等）。

【0104】 訓練集之各訓練樣本的基礎事實數值可能包括候選缺陷的清單、各候選缺陷的真值（例如缺陷/非缺陷、真/偽）；各真實的缺陷的局部化（例如缺陷定界框或遮罩），等等。在產生（703）該偵測訓練集之後，PMB訓練（704）該DNN以提供具有最小誤差的所需偵測相關資訊。該訓練程序產出具有偵測相關訓練參數的經訓練DNN。

【0105】 在執行時期步驟720期間，PMB利用經訓練DNN來處理（705）包含一所捕捉FP影像（和可選地對應於訓練樣本的額外FP影像）的一FP樣本，以獲得含有以下資訊的資料：真實缺陷（例如決定真實缺陷（若有的話）、標記真實缺陷（例如藉由定界框或藉由提供一二元影像，該二元影像中只有屬於缺陷的像素得到數值「1」

而非缺陷像素得到數值「0」)、獲得形狀相關資訊、等等)。

【0106】參看第8圖，其圖示有實施參照第1~4圖所詳述之技術以供在接收自相同或不同檢查模態之影像之間進行對位的非設限例子。

【0107】該程序包含一設定步驟810及一執行時期步驟820，該設定步驟是特定於對位的DNN訓練，該執行時期步驟是利用所訓練DNN以獲得相關於對位的資訊。

【0108】在設定步驟810期間，在獲得該組第一訓練樣本(801)及基礎事實資料(802)之後，PMB 104即產生(803)對位訓練集並利用所產生的對位訓練集來獲得(804)經訓練DNN，該DNN特徵在於對位相關訓練參數。

【0109】該訓練集包括各包含至少一對影像的訓練樣本，其中各對中的一影像可相對於該對中另一影像來對位。一給定訓練樣本中的影像可能是來自相同或不同檢查模態。

【0110】用於各給定訓練樣本的基礎事實資料可能包括針對於該給定的訓練樣本(例如參數模型表示法)及其參數(例如仿射、旋轉、平移、反射，及其等之組合等等)的對位相關資料。可選地，基礎事實資料可能也包括每像素轉換對映圖(例如將局部地提供的每像素位移)。替代地，在訓練期間，可能由DNN前模組基於可得的基礎事實資料來產生每像素轉換對映圖。

【0111】 產生對位訓練集之步驟可能包括擴增該等第一訓練樣本並獲得針對該擴增的訓練樣本的擴增基礎事實資料。

【0112】 在產生(803)該對位訓練集之後，PMB即訓練(804)該DNN以提供具有最小誤差的所需對位相關資訊。該訓練程序產出具有對位相關訓練參數的經訓練DNN。

【0113】 在執行時期步驟820期間，PMB利用經訓練DNN來處理(805)一FP樣本，該FP樣本包含一對將要交互對位並將要獲得其對位相關參數(例如每像素轉換對映圖及/或其他轉換模型參數)的FP影像(可選地還有對應於訓練樣本的額外影像)。該等經對位影像可能稍後被比較(例如晶粒對晶粒、晶格對晶格、晶粒對CAD)以偵測指示出可能缺陷的歧異、以改善CAD座標中的缺陷局部化、等等。

【0114】 參看第9圖，其圖示有實施參照第1~4圖所詳述之技術的非設限例子，以用於致使能從不同檢查模態的一或更多個試樣影像重建試樣(或其部分)之影像的迴歸應用。作為非設限性的例子，此種應用包括從CAD資料模擬SEM影像、從光學資料模擬SEM影像、等等。

【0115】 該程序包含一設定步驟910及一執行時期步驟920，該設定步驟為特定於迴歸的DNN訓練，該執行時期步驟為利用經訓練DNN來獲得迴歸相關資訊。

【0116】 在設定步驟910期間，在獲得該組第一訓練樣本（901）及基礎事實資料（902）之後，PMB 104即產生（903）特定於迴歸的訓練集並利用所產生特定於迴歸的訓練集來獲得（904）經訓練DNN，該DNN特徵在於特定於迴歸的訓練參數。

【0117】 特定於迴歸的訓練集包括第一訓練樣本，各第一訓練樣本包含先前由第一檢查模態獲得的一或更多個影像。針對各給定的第一訓練樣本，基礎事實資料包括對應試樣（或其部分）之一或更多個影像，該一或更多個由另一檢查模態獲得並關聯於該給定的第一訓練樣本。可注意到由第二檢查模態獲得的基礎事實影像可能是確實由第二檢查模態捕捉的影像，或是對應於該第一訓練樣本中之個別影像的重建影像。

【0118】 產生特定於迴歸的訓練集的步驟可能包括擴增該第一訓練樣本、以及藉由關聯於該等第一訓練樣本之對應擴增基礎事實影像來獲得擴增的基礎事實資料。

【0119】 在產生（903）特定於迴歸的訓練集之後，PMB即訓練（904）該DNN以提供具有最小誤差的所需特定於迴歸的資訊。該訓練程序產出具有特定於迴歸的訓練參數的經訓練DNN。

【0120】 在執行時期步驟920期間，PMB利用經訓練DNN來處理（905）一FP樣本，該FP樣本包含來自一檢查模態的FP影像（可選地還有對應於訓練樣本的額外FP影像），以獲得可用於重建對應於另一檢查模態之FP影

像的資料。重建的影像能進一步與第二檢查模態（例如用於偵測指示出可能缺陷的歧異、對位、改變光學模式、等等）。

【0121】 注意，參照第5～9圖所例示的設定步驟可能是循環的，而個別的訓練可能被重複數次（可選地，以更新的訓練集）直到DNN被訓練足夠為止。

【0122】 注意，檢查流程可能包括參照第5～9圖所例示的二或更多個應用，各應用具有其本身的應用特定經訓練DNN。所獲得的應用特定缺陷相關資訊可能被進一步送入一較大系統（例如ADC分類器或ADR偵測器）中。

【0123】 將理解到本發明的應用不限於本說明書所闡述的細節及圖式中例示者。本發明能有其他實施例且能以各種方式實行及實現。因此，將理解到本說明書中採用的用語及用字僅為說明之目的而不應被認定為做出限制。如此，本發明所屬領域之技術人士將理解本揭示案所依據之概念可能已經被用做設計其他結構、方法、系統之基礎，來實現本案揭示之標的的數個目的。

【0124】 也將理解，按照本發明之系統可能（至少部分）經實施在一經適當程式編寫的電腦上。類似地，本發明設想由一電腦可讀取的電腦程式，以用於執行本發明之方法。本發明進一步設想一種非暫態電腦可讀取的記憶體，其有形地實現指令程式，該等指令可由該電腦執行以執行本發明之方法。

【0125】 本發明所屬領域之技術人士將顯而易見對在此描述之本發明實施例能施用各種修改及改變而無悖離其範疇，本發明之範疇乃定義在隨附申請專利範圍中並由申請專利範圍所界定。

【符號說明】

【0126】

- 100: 檢查系統
- 101: 低解析度檢查工具
- 102: 高解析度檢查工具
- 103: FPEI 系統
- 104: 處理器及記憶區塊
- 105: 輸入介面
- 106: 輸出介面
- 107: 儲存系統
- 108: GUI
- 109: 資料儲存庫
- 110: CAD 伺服器
- 111: 訓練集產生器
- 112: DNN
- 113: DNN 前模組
- 114: DNN 模組
- 115: DNN 後模組
- 121: 低解析度影像資料
- 122: 高解析度影像資料

1 2 3 , 1 2 4 : 指令相關資料

2 0 1 : 輸入層

2 0 2 - 1 , 2 0 2 - 2 , 2 0 2 - i : 隱藏層

2 0 3 : 輸出層

2 0 4 : 運算元素 (C E)

2 0 5 : 連接線

3 0 1 : 獲得利用一應用特定訓練集針對一給定的檢查相關應用所訓練的 D N N

3 0 2 : 利用該經訓練 D N N 來處理一或更多個 F P 影像

3 0 3 : 獲得應用特定檢查相關資訊，該資訊說明該經處理一或更多個 F P 影像中至少一者的特徵

4 0 1 : 獲得一組第一訓練樣本

4 0 2 : 獲得關聯於第一訓練樣本的應用特定第一基礎事實資料

4 0 3 : 處理第一訓練樣本及第一基礎事實資料，以產生一應用特定訓練集

4 0 4 : 藉由 D N N 來處理該應用特定訓練集，以提供應用特定之基於訓練參數集，並藉以獲得應用特定之經訓練 D N N

4 1 1 : 擴增至至少部分的第一訓練樣本，其中一給定的第一訓練樣本產生一或更多個擴增訓練樣本

4 1 2 : 獲得關聯於該些擴增訓練樣本的擴增基礎事實資料

413: 將該等經產生的擴增訓練樣本、擴增基礎事實資料、至少部分的該等第一訓練樣本、及第一基礎事實資料組合進該應用特定訓練集中

501, 601, 701, 801, 901: 獲得一組第一訓練樣本

502: 獲得特定於分類的基礎事實資料

503: 產生分類訓練集

504: 訓練DNN以提供分類相關的訓練參數

505: 利用經特定於分類而訓練的DNN來處理FP樣本

506: 獲得自動化分類相關的屬性

507: 處理FP影像以產生工程屬性

508: 將所獲得的自動化分類相關屬性以及工程屬性（可選擇）匯出到外部分類器

508-1: 產生中間分類結果，並將中間分類結果及工程屬性匯出到外部分類器

509, 509-1: 獲得分類結果

510: 設定步驟

520: 執行時期步驟

602: 獲得特定於分區的基礎事實資料

603: 產生分區訓練集

604: 訓練DNN以提供分區相關的訓練參數

605: 利用經特定於分區而訓練的DNN來處理FP樣本

606: 獲得分區對映圖（例如每像素標記機率、感興趣區域、CAD多邊形等等）

610: 設定步驟

- 6 2 0 : 執行時期步驟
- 7 0 2 : 獲得特定於分區的基礎事實資料
- 7 0 3 : 產生偵測訓練集
- 7 0 4 : 訓練 D N N 以提供偵測相關的訓練參數
- 7 0 5 : 利用經特定於偵測而訓練的 D N N 來處理 F P 樣本
- 7 0 6 : 獲得定界框座標或含有「真實」缺陷之資訊的二元缺陷遮罩影像
- 7 1 0 : 設定步驟
- 7 2 0 : 執行時期步驟
- 8 0 2 : 獲得特定於分區的基礎事實資料
- 8 0 3 : 產生對位訓練集
- 8 0 4 : 訓練 D N N 以提供對位相關的訓練參數
- 8 0 5 : 利用經特定於對位而訓練的 D N N 來處理 F P 樣本
- 8 0 6 : 獲得對位相關參數（例如每像素轉換對映圖）
- 8 1 0 : 設定步驟
- 8 2 0 : 執行時期步驟
- 9 0 2 : 獲得特定於分區的基礎事實資料
- 9 0 3 : 產生迴歸訓練集
- 9 0 4 : 訓練 D N N 以提供迴歸相關的訓練參數
- 9 0 5 : 利用經特定於迴歸而訓練的 D N N 來處理 F P 樣本
- 9 0 6 : 獲得對應於所請求之檢查模態的重建 F P 影像
- 9 1 0 : 設定步驟
- 9 2 0 : 執行時期步驟

【發明申請專利範圍】

- 【請求項1】 一種將在一半導體試樣之製造中所獲得的一製程(FP)影像分區的方法，該方法包含下列步驟：
- 在由一電腦獲得經訓練以提供分區相關資料的一深度類神經網路(DNN)之後，即利用所獲得的經訓練的該DNN來處理一製程(FP)樣本，其中該DNN係利用一分區訓練集(segmentation training set)所訓練的，該分區訓練集包含複數個第一訓練樣本及與該複數個第一訓練樣本相關聯的基礎事實資料(ground truth data)，各個第一訓練樣本包含一訓練影像，且該分區相關資料乃選自包含一灰階影像、各分區的邊緣的一表示、及各分區的頂點的一表示的群組，在該灰階影像中用於各像素的不同灰度等級對應於該訓練影像中的不同分區，及其中該FP樣本包含該FP影像，其中該分區訓練集進一步包含複數個擴增訓練樣本，其中該等擴增訓練樣本的至少一部分是藉由色調對映所獲得的；及
- 做為該處理步驟的結果，由該電腦獲得特徵化該FP影像的分區相關資料，其中所獲得的該分區相關資料可使用於該半導體試樣的自動化檢查。
- 【請求項2】 如請求項1所述之方法，其中所獲得的該分區相關資料包含以下至少一者的資訊：每像素數值、

每像素標記、CAD 多邊形、CAD 模型、該 FP 影像中的感興趣區域、該 FP 影像的背景及該 FP 影像的前景。

【請求項 3】 如請求項 1 所述之方法，其中該 FP 影像乃選自包含以下的群組：產生自不同檢查模態的影像以及該半導體試樣的一基於設計資料的影像。

【請求項 4】 如請求項 1 所述之方法，其中所獲得的該分區相關資料可使用於自動化缺陷分類（ADC）以定義一缺陷相對於一背景的一位置。

【請求項 5】 如請求項 1 所述之方法，其中所獲得的該分區相關資料可使用於自動化缺陷檢查（ADR）以施加特定於分區的偵測閾值。

【請求項 6】 如請求項 1 所述之方法，其中所獲得的該分區相關資料可使用於偵測可能缺陷的位置。

【請求項 7】 如請求項 1 所述之方法，其中所獲得的該分區相關資料可由另一檢查相關應用所使用，該另一檢查相關應用使用另一 DNN，該另一 DNN 係利用包含特定於該另一檢查相關應用的基礎事實資料的一訓練集訓練的。

【請求項 8】 如請求項 1 所述之方法，其中該等第一訓練樣本之各者包含藉由在獲得該 FP 樣本時不可用的一檢查模態所獲得的至少一個訓練影像。

【請求項9】 如請求項 1 所述之方法，其中該等經分區訓練樣本的至少一部分是藉由擴增該等第一訓練樣本之至少一部分和與該等擴增訓練樣本相關聯的擴增基礎事實資料所獲得的。

【請求項10】 如請求項 9 所述之方法，其中該等擴增訓練樣本的至少一部分是由一或更多個擴增技術獲得的，該一或更多個擴增技術選自包含以下的群組：加入雜訊、模糊化、及產生合成影像。

【請求項11】 一種包含指令的非暫態電腦可讀取媒體，當該等指令由一電腦執行時致使該電腦進行將在一半導體試樣之製造中所獲得的一製程（FP）影像分區的一方法，該方法包含下列步驟：

在由一電腦獲得經訓練以提供分區相關資料的一深度類神經網路（DNN）之後，即利用所獲得的經訓練的該 DNN 來處理一製程（FP）樣本，其中該 DNN 係利用一分區訓練集（segmentation training set）所訓練的，該分區訓練集包含複數個第一訓練樣本及與該複數個第一訓練樣本相關聯的基礎事實資料（ground truth data），各個第一訓練樣本包含一訓練影像，且該分區相關資料乃選自包含一灰階影像、各分區的邊緣的一表示、及各分區的頂點的一表示的群組，在該灰階影像中用於各像素的不同灰度等級對

應於該訓練影像中的不同分區，及其中該 FP 樣本包含該 FP 影像，其中該分區訓練集進一步包含複數個擴增訓練樣本，其中該等擴增訓練樣本的至少一部分是藉由色調對映所獲得的；及

做為該處理步驟的結果，由該電腦獲得特徵化該 FP 影像的分區相關資料，其中所獲得的該分區相關資料可使用於該半導體試樣的自動化檢查。

【請求項 12】如請求項 11 所述之非暫態電腦可讀取媒體，其中所獲得的該分區相關資料包含以下至少一者的資訊：每像素數值、每像素標記、CAD 多邊形、CAD 模型、該 FP 影像中的感興趣區域、該 FP 影像的背景及前景。

【請求項 13】如請求項 11 所述之非暫態電腦可讀取媒體，其中該 FP 影像乃選自包含以下的群組：產生自不同檢查模式的影像以及該半導體試樣的一基於設計資料的影像。

【請求項 14】如請求項 11 所述之非暫態電腦可讀取媒體，其中該分區訓練集的至少一部分是藉由擴增該等第一訓練樣本之至少一部分和擴增基礎事實資料所獲得的，該擴增基礎事實資料與該等擴增訓練樣本相關聯且包含與該等擴增訓練樣本相關聯的分區相關資料的資訊。

【請求項15】如請求項14所述之非暫態電腦可讀取媒體，其中該等擴增訓練樣本的至少一部分是由一或更多個擴增技術獲得的，該一或更多個擴增技術選自包含以下的群組：加入雜訊、模糊化、及產生合成影像。

【請求項16】一種可使用於一半導體試樣之檢查的系統，該系統包含一處理及記憶區塊（PMB），該PMB操作連接至一輸入介面及一輸出介面，其中：

該輸入介面經配置以接收一或更多個製程（FP）樣本，各FP樣本包含將要分區的一FP影像；

該PMB經配置以：

獲得經訓練以提供分區相關資料的一深度類神經網路（DNN），以及利用所獲得的經訓練的該DNN來處理一製程（FP）樣本，其中該DNN係利用一分區訓練集（segmentation training set）所訓練的，該分區訓練集包含複數個第一訓練樣本及與該複數個第一訓練樣本相關聯的基礎事實資料（ground truth data），各個第一訓練樣本包含一訓練影像，且該分區相關資料乃選自包含一灰階影像、各分區的邊緣的一表示、及各分區的頂點的一表示的群組，在該灰階影像中用於各像素的不同灰度等級對應於該訓練影像中的不同分區，及其中該FP樣本包含該FP影像，其中該分區訓練集進一

步包含複數個擴增訓練樣本，其中該等擴增訓練樣本的至少一部分是藉由色調對映所獲得的；及

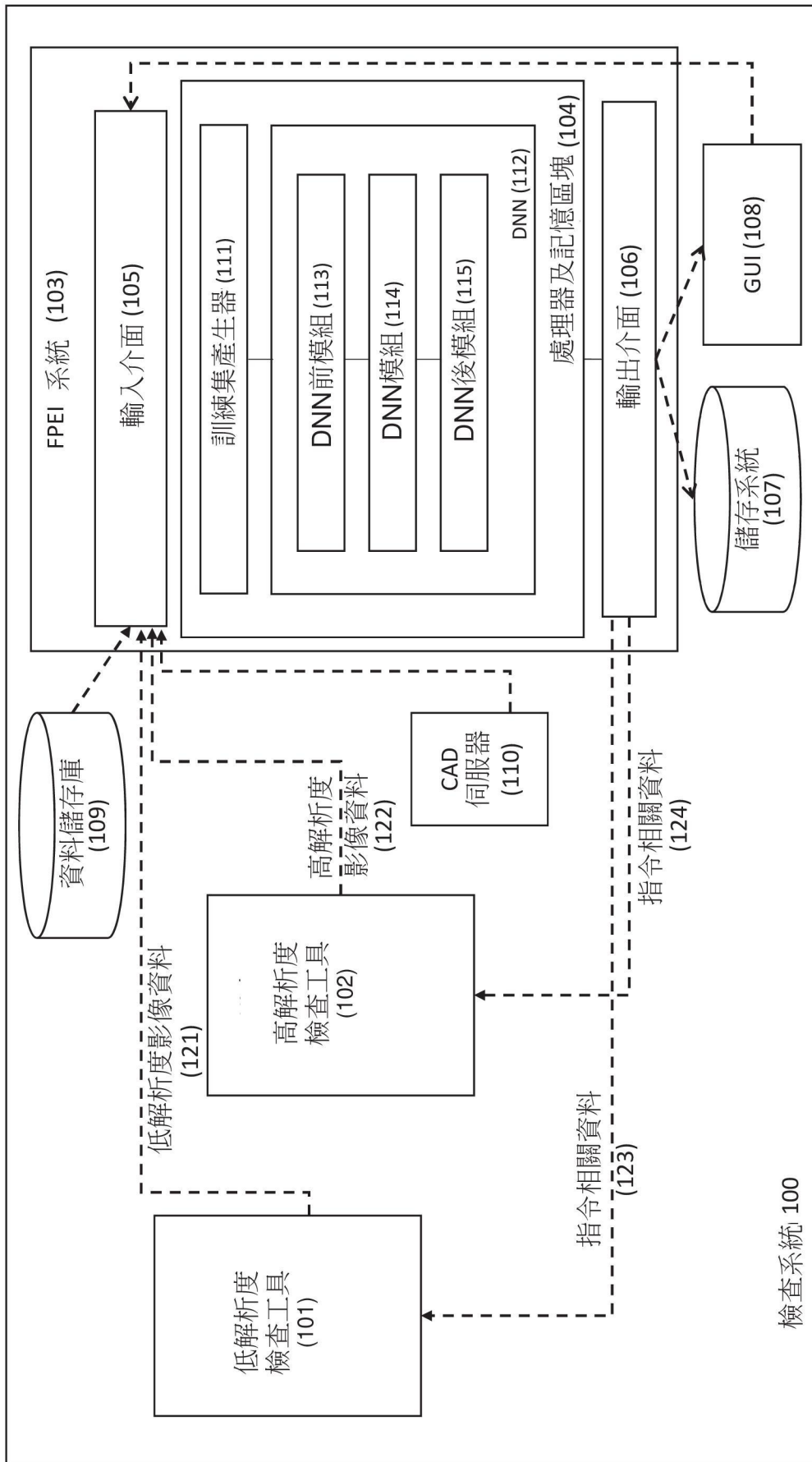
做為該處理步驟的結果，獲得特徵化該 FP 影像的分區相關資料，其中所獲得的該分區相關資料可使用於該半導體試樣的自動化檢查，且

該輸出介面經配置以輸出所獲得的該分區相關資料。

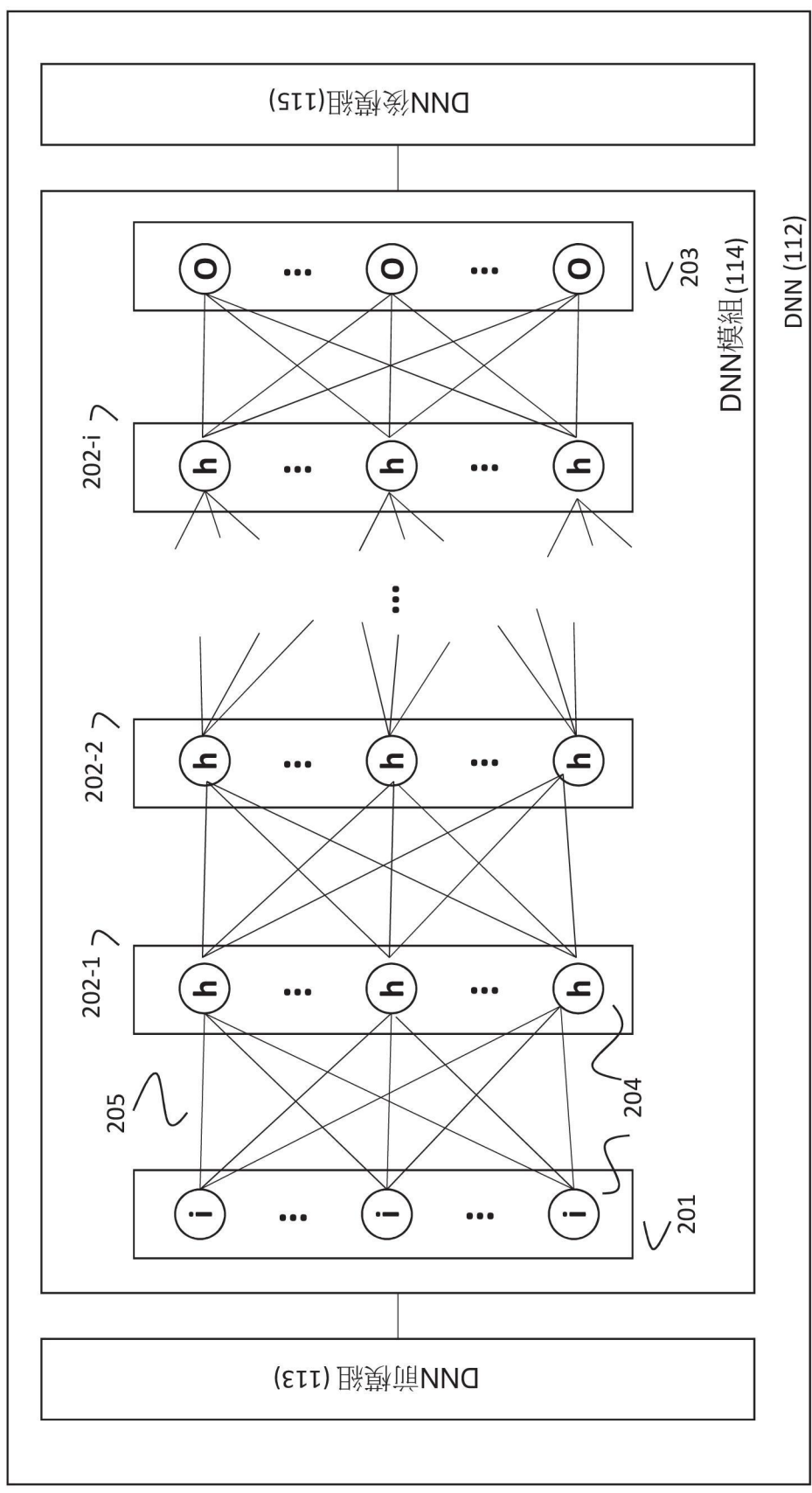
【請求項 17】如請求項 16 所述之系統，其中該分區訓練集的至少一部分是藉由擴增該等第一訓練樣本之至少一部分和擴增基礎事實資料所獲得的，該擴增基礎事實資料與該等擴增訓練樣本相關聯且包含與該等擴增訓練樣本相關聯的分區相關資料的資訊。

【請求項 18】如請求項 17 所述之系統，其中該等擴增訓練樣本的至少一部分是由一或更多個擴增技術獲得的，該一或更多個擴增技術選自包含以下的群組：加入雜訊、模糊化、及產生合成影像。

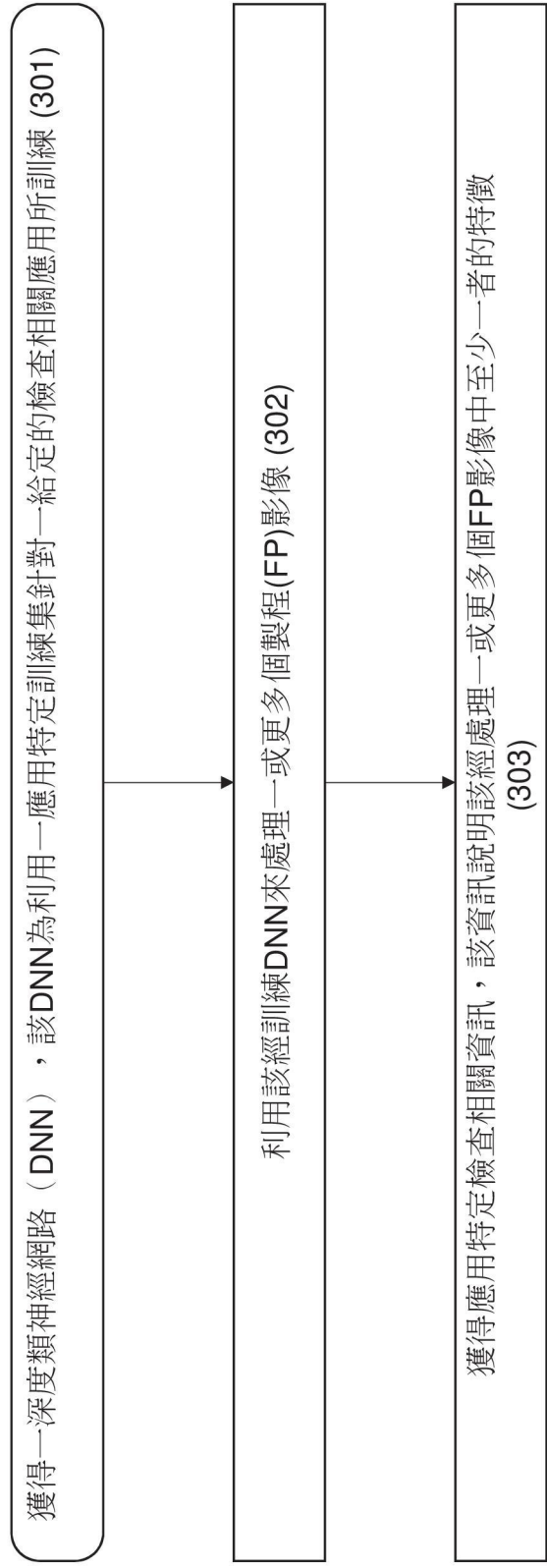
【發明圖式】



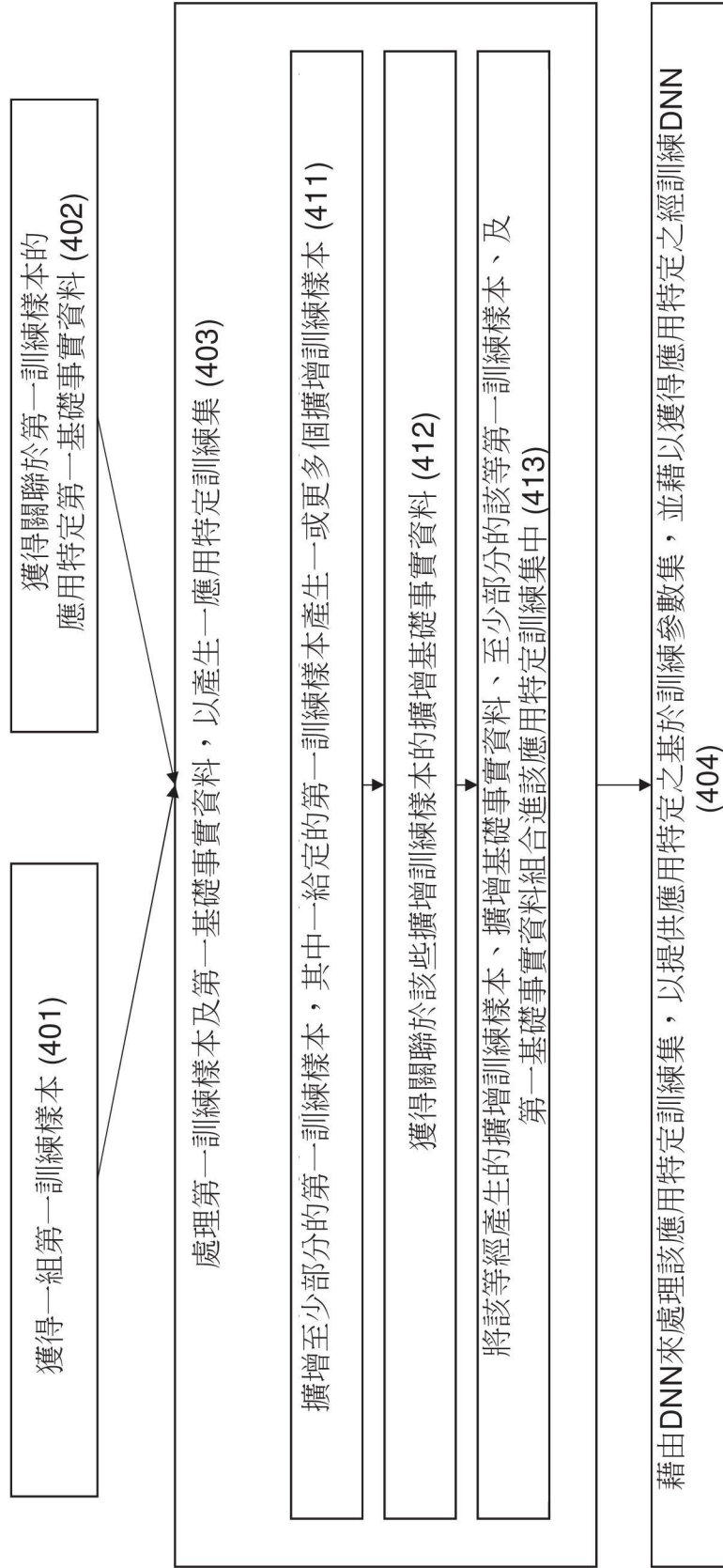
第1圖



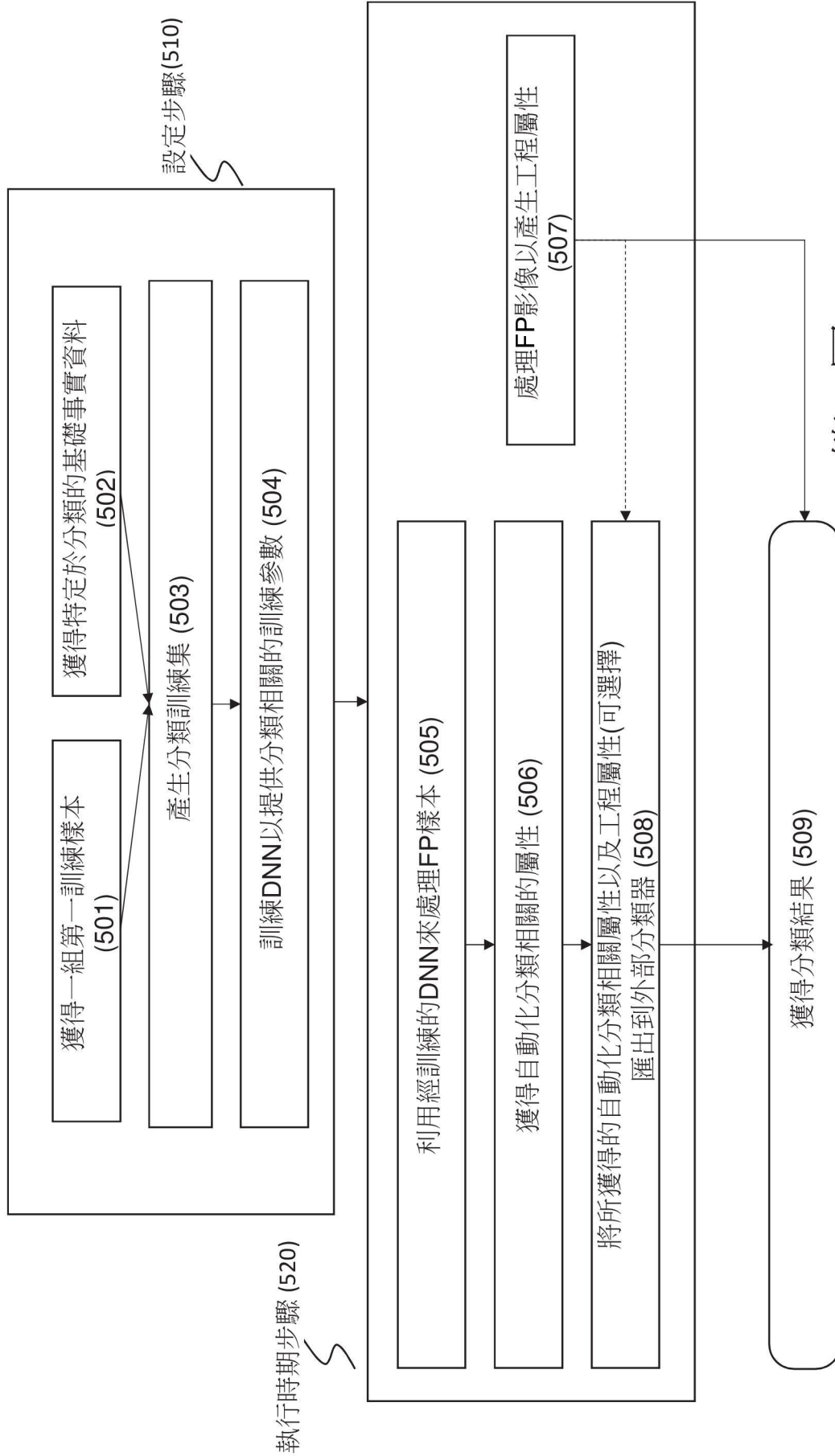
第2圖



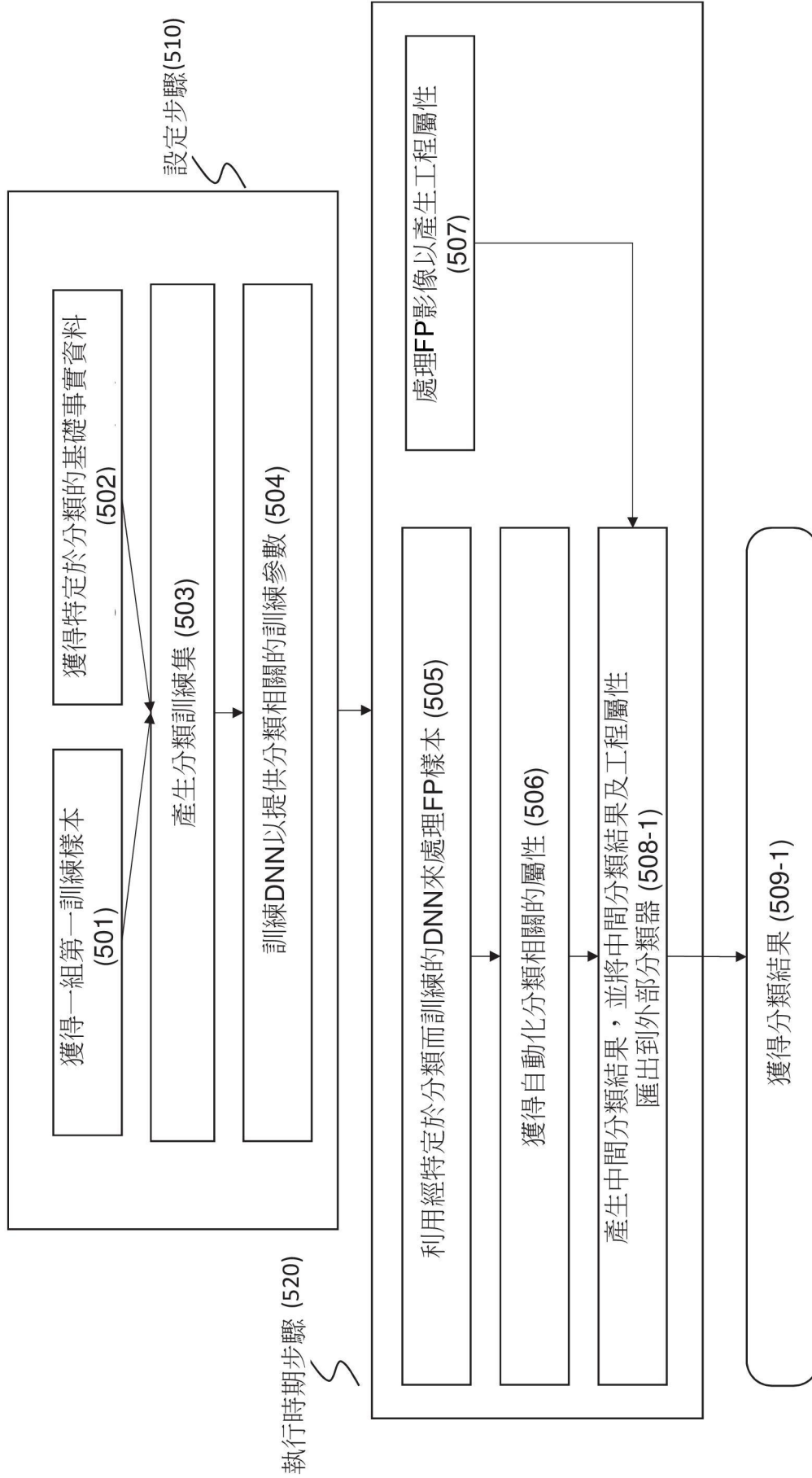
第3圖



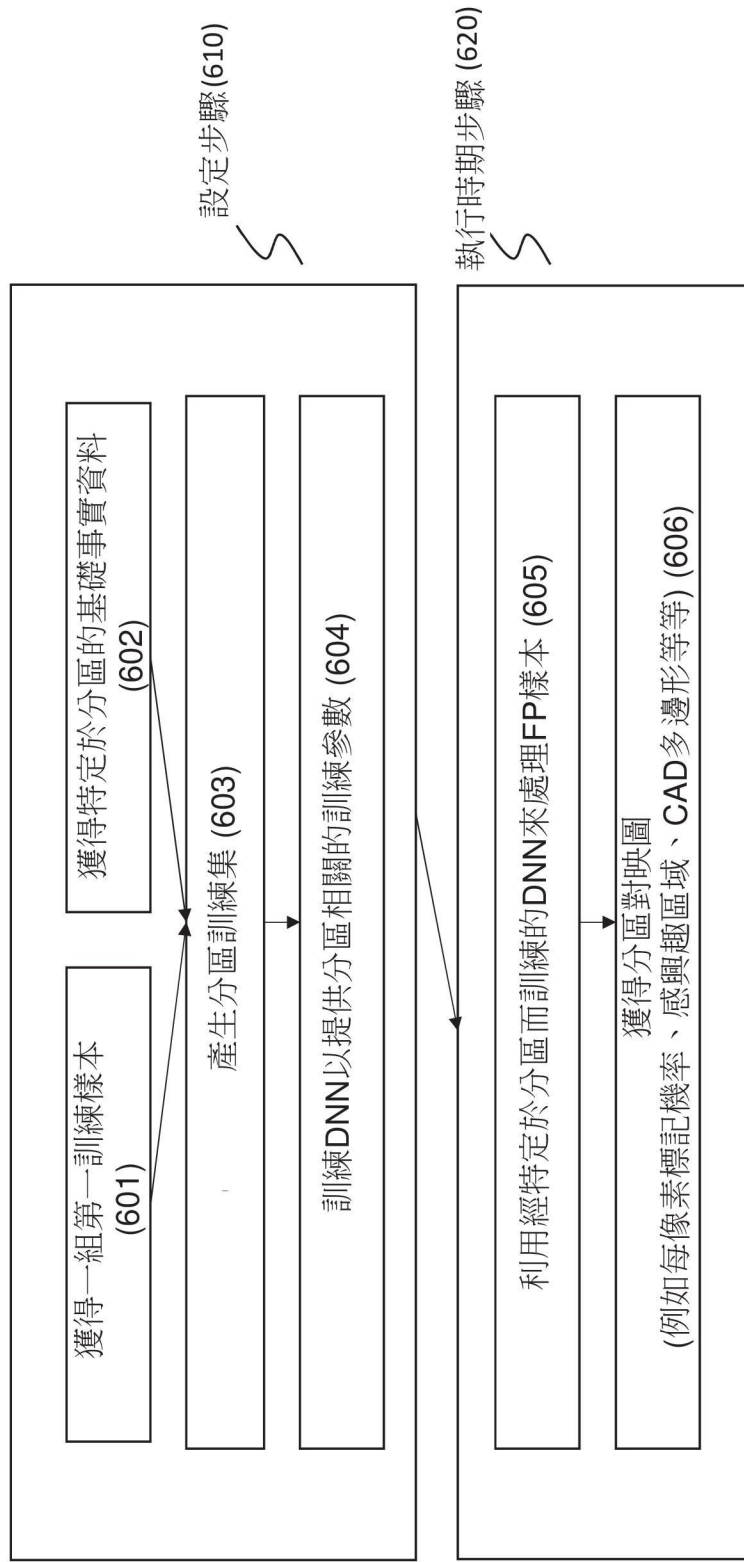
第4圖



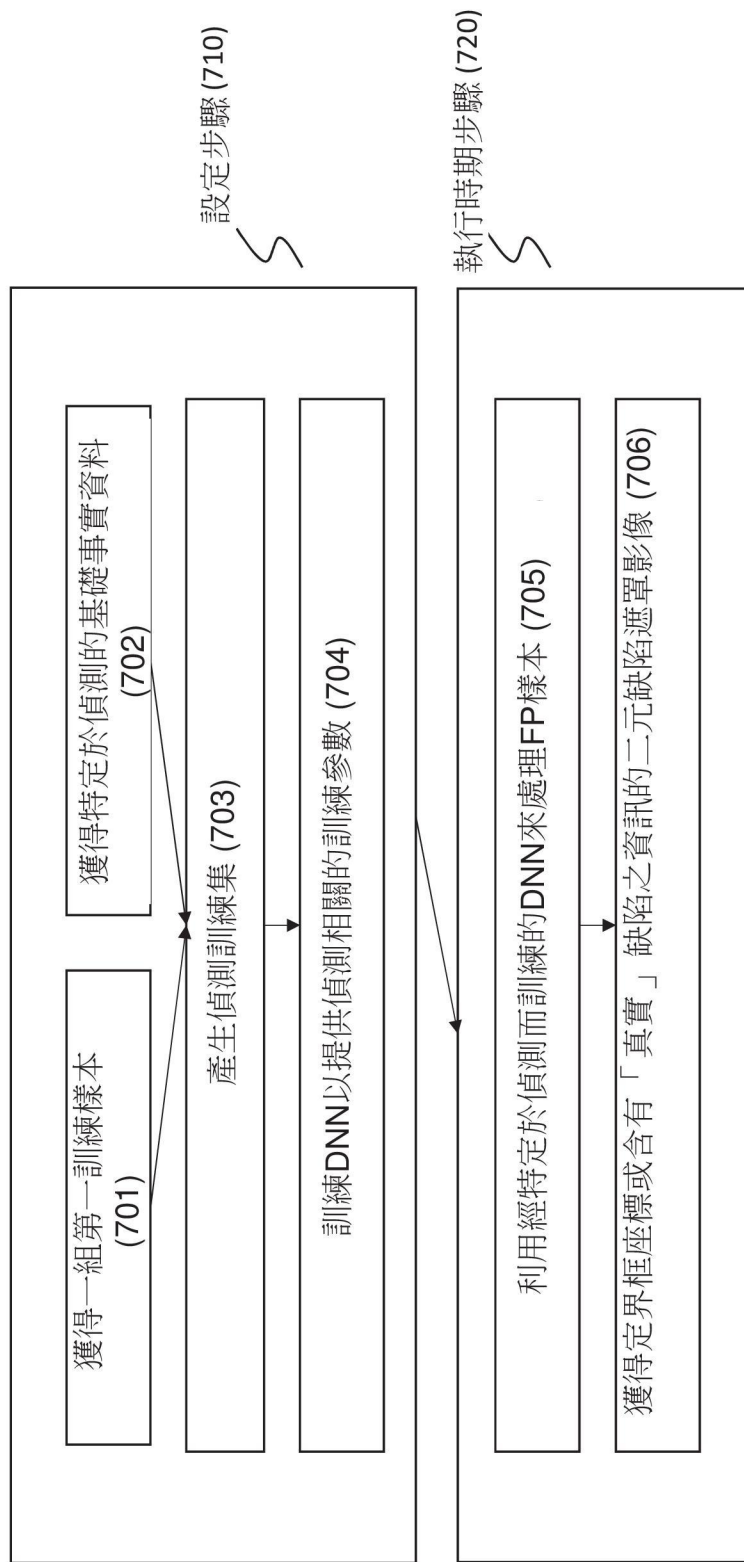
第5a圖



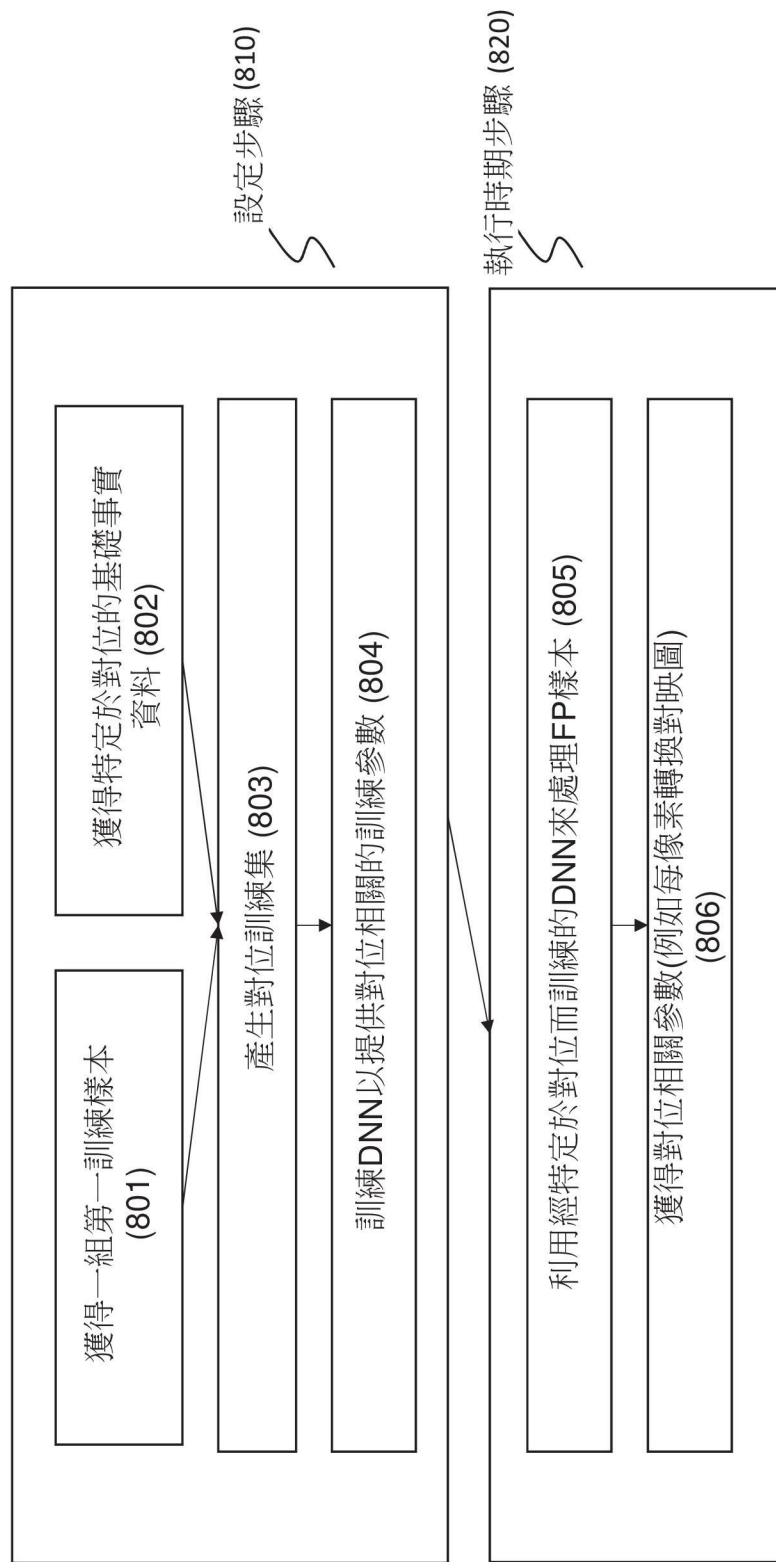
第5b圖



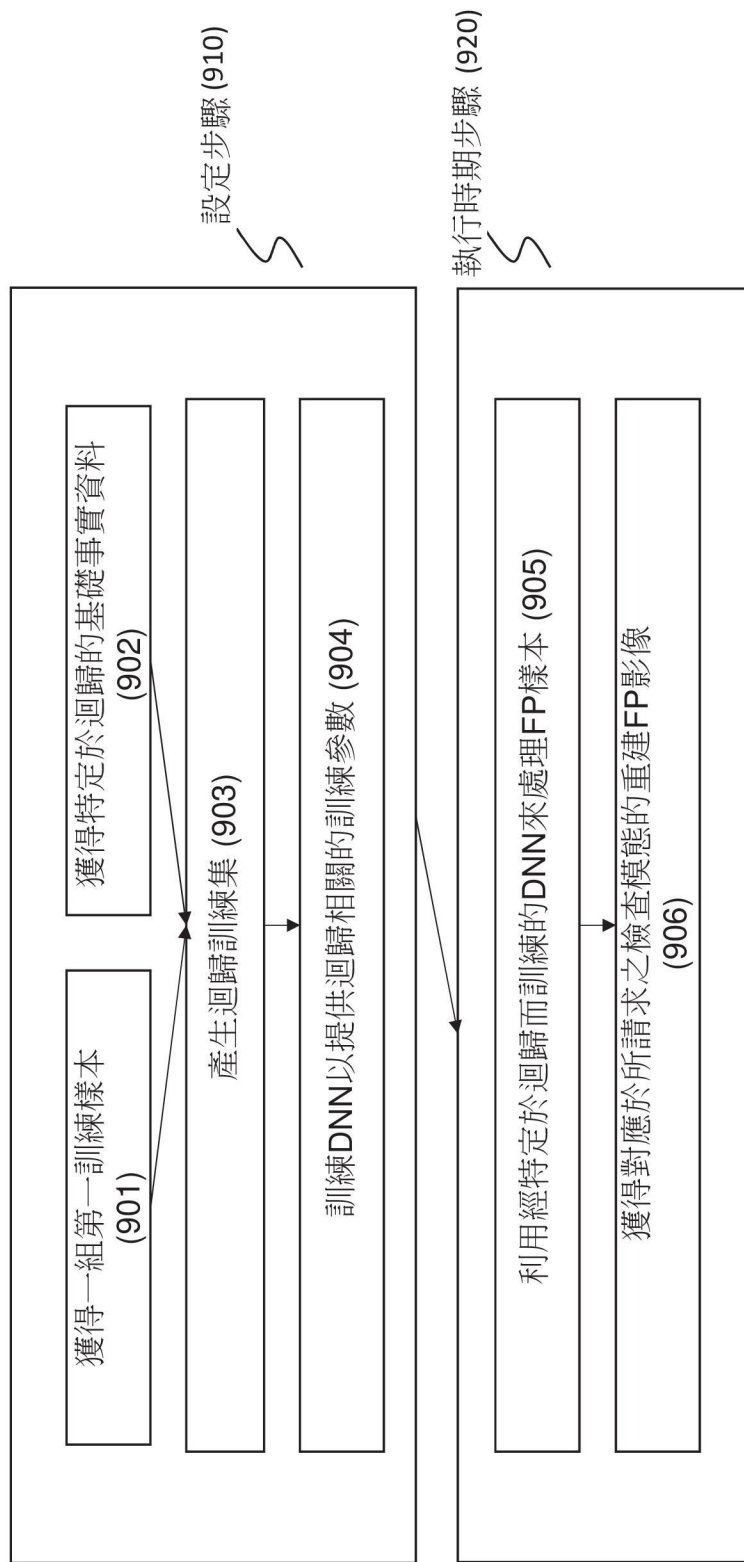
第6圖



第7圖



第8圖



第9圖