202407638

(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 202407638 A

(43)公開日： 中華民國 113 (2024) 年 02 月 16 日

(21)申請案號：112103644 (22)申請日： 中華民國 112 (2023) 年 02 月 02 日

(51)Int. Cl.： *G06T7/00 (2017.01)* *G01B11/24 (2006.01)*

(30)優先權：2022/03/14 以色列 291350

(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：歐拜肯 弗拉底米爾 OVECHKIN, VLADIMIR (IL)；徐卡林 艾莉兒 SHKALIM, ARIEL (IL)；喬李許納 亞歷山大 CHERESHNYA, ALEXANDER (IL)；歐爾 優納敦 ORR, YONATAN (IL)；班亞可 尚尼 BEN YACOV, SHANI (IL)；麥德蒙 洛能 MADMON, RONEN (IL)

(74)代理人：李世章；彭國洋

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：22 項 圖式數：15 共 70 頁

(54)名稱

半導體樣品製造的遮罩檢查

(57)摘要

提供了一種檢查可用於製造半導體樣品的遮罩的系統和方法。所述方法包括：獲得包括表示候選缺陷的缺陷圖元的原始缺陷圖像以及候選缺陷的位置，以及在複數個聚焦位準處獲取的候選缺陷的缺陷圖像庫和參考圖像庫；在複數個聚焦位準中決定最佳聚焦，並且在最佳聚焦處產生合成缺陷圖像；將原始缺陷圖像與合成缺陷圖像對準，以辨識合成缺陷圖像中與缺陷圖元相對應的目標圖元的區域；並且針對每個聚焦位準，提供指示缺陷圖像組與至少一個參考圖像之間的位移的測量，從而產生對應於所述複數個聚焦位準的複數個測量結果。

There is provided a system and method of inspecting a mask usable for fabricating a semiconductor specimen. The method comprises obtaining an original defect image comprising defective pixels representative of a defect candidate and a location of the defect candidate, and a bank of defect images of the defect candidate and a bank of reference images acquired at a plurality of focus levels; determining an optimal focus among the plurality of focus levels, and generating a composite defect image at the optimal focus; aligning the original defect image with the composite defect image to identify an area of target pixels in the composite defect image corresponding to the defective pixels; and for each focus level, providing a measurement indicative of displacement between the set of defect images and at least one reference image, giving rise to a plurality of measurements corresponding to the plurality of focus levels.

指定代表圖：

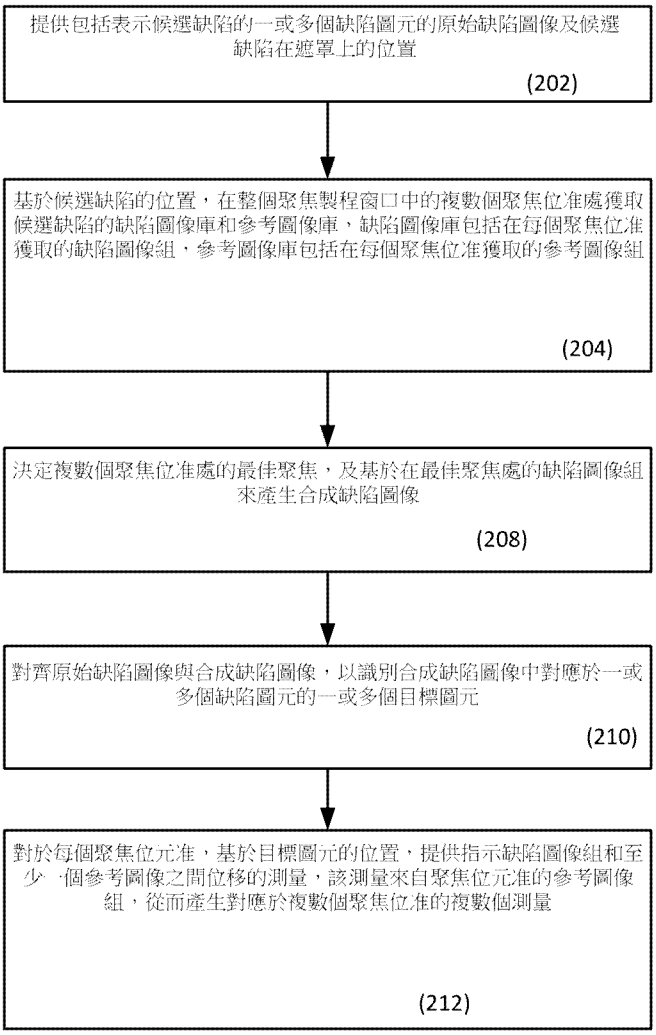

圖2

符號簡單說明：

202:方塊

204:方塊

208:方塊

210:方塊

212:方塊

【發明摘要】

【中文發明名稱】半導體樣品製造的遮罩檢查

【英文發明名稱】MASK INSPECTION FOR SEMICONDUCTOR SPECIMEN FABRICATION

【中文】

提供了一種檢查可用於製造半導體樣品的遮罩的系統和方法。所述方法包括：獲得包括表示候選缺陷的缺陷圖元的原始缺陷圖像以及候選缺陷的位置，以及在複數個聚焦位準處獲取的候選缺陷的缺陷圖像庫和參考圖像庫；在複數個聚焦位準中決定最佳聚焦，並且在最佳聚焦處產生合成缺陷圖像；將原始缺陷圖像與合成缺陷圖像對準，以辨識合成缺陷圖像中與缺陷圖元相對應的目標圖元的區域；並且針對每個聚焦位準，提供指示缺陷圖像組與至少一個參考圖像之間的位移的測量，從而產生對應於所述複數個聚焦位準的複數個測量結果。

【英文】

There is provided a system and method of inspecting a mask usable for fabricating a semiconductor specimen. The method comprises obtaining an original defect image comprising defective pixels representative of a defect candidate and a location of the defect candidate, and a bank of defect images of the defect candidate and a bank of reference images acquired at a plurality of focus levels; determining an optimal focus among the plurality of focus levels, and generating a composite defect image at the optimal focus; aligning the original defect image with the composite defect image to identify an area of target pixels in the composite defect image corresponding to the

defective pixels; and for each focus level, providing a measurement indicative of displacement between the set of defect images and at least one reference image, giving rise to a plurality of measurements corresponding to the plurality of focus levels.

【指定代表圖】第（２）圖。

【代表圖之符號簡單說明】

２０２：方 塊

２０４：方 塊

２０８：方 塊

２１０：方 塊、

２１２：方 塊

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】半導體樣品製造的遮罩檢查

【英文發明名稱】MASK INSPECTION FOR SEMICONDUCTOR SPECIMEN FABRICATION

【技術領域】

【0001】 當前揭露的標的大體係關於遮罩檢查領域，並且更特定言之，係關於關於光遮罩的缺陷偵測和測量。

【先前技術】

【0002】 目前對於與超大規模整合製造的微電子元件相關聯的高密度和高性能的需求，需要亞微米特徵、提高電晶體速度和電路速度、以及提高可靠性。隨著半導體製程的進步，圖案尺寸（諸如加襯寬度）和其他類型的臨界尺寸不斷縮小。這些需求要求形成具有高準確度和高均勻性的元件特徵，這進而需要小心監控製造製程，包括在元件仍處於半導體晶圓形式時對元件進行自動檢查。

【0003】 半導體元件通常在光微影製程中使用光微影遮罩（也稱為光遮罩、遮罩或光罩（reticle））來製造。光微影製程是半導體元件製造中的主要製程之一，並且包括根據待生產的半導體元件的電路設計對晶圓表面進行圖案化。此類電路設計首先在遮罩上形成圖案。因此，為了獲得工作的半導體元件，遮罩必須是無缺陷的。遮罩是藉由複雜的製程製造而成的，並且可能受到各種缺陷和變化的影響。

【0004】 此外，遮罩通常以重複的方式在晶圓上建立許多晶粒。因此，遮罩上的任何缺陷都將在晶圓上重複多次，並將導致多個元件出現缺陷。建立值得生產的製程需要對整個光微影製程進行嚴格控制，尤其是考慮到大規模電路整合和半導體元件尺寸的不斷減小。

【0005】 已經開發及使用各種遮罩檢查方法。根據某些習知的遮罩設計和評估技術，建立遮罩並用於經由遮罩來曝光晶圓，然後執行檢查以決定遮罩的特徵/圖案是否已根據設計轉移到晶圓上。最終印刷特徵與預期設計的任何變化都可能需要修改設計、修復遮罩、建立新遮罩及/或曝光新晶圓。

【0006】 替代地，可以使用各種遮罩檢查工具直接檢查遮罩。檢查過程可以包括複數個檢查步驟。在遮罩的製造製程期間，可以多次執行檢查步驟，例如在某些層的製造或處理之後等。附加地或替代地，每個檢查步驟可以重複多次，例如對於不同的遮罩位置重複多次，或者以不同檢查設置對於相同遮罩位置重複多次。

【0007】 遮罩檢查大體涉及藉由將光或電子引導至遮罩並偵測來自遮罩的光或電子來產生針對遮罩的某些檢查輸出（例如圖像、信號等）。一旦產生了輸出，通常藉由對輸出應用缺陷偵測方法及/或演算法來執行缺陷偵測。通常，檢查的目標在於為遮罩上的缺陷偵測及/或相關測量提供高靈敏度和準確度。

【發明內容】

【0008】 根據當前揭露的標的的某些態樣，提供了一種檢查可用於製造半導體樣品的遮罩的電腦化系統，所述系統包括：檢查工具，所述檢查工具被配置成：提供包括表示候選缺陷的一或多個缺陷圖元的原始缺陷圖像，以及候選缺陷在遮罩上的位置；並且基於所述位置，在整個聚焦製程窗口中的複數個聚焦位準處獲取候選缺陷的缺陷圖像庫和參考圖像庫，缺陷圖像庫包括在每個聚焦位準獲取的缺陷圖像組，並且參考圖像庫包括在每個聚焦位準獲取的參考圖像組；及處理和記憶體電路系統（PMC），所述PMC可操作地連接至檢查工具並且被配置成：在複數個聚焦位準中決定最佳聚焦，並且基於最佳聚焦處的缺陷圖像組來產生合成缺陷圖像；將原始缺陷圖像與合成缺陷圖像對準，以辨識合成缺陷圖像中與一或多個缺陷圖元相對應的一或多個目標圖元的區域；並且針對每個聚焦位準，基於所述區域來提供指示在聚焦位準處缺陷圖像組與從參考圖像組匯出的至少一個參考圖像之間的位移的測量，從而產生對應於複數個聚焦位準的複數個測量結果。

【0009】 除了上述特徵之外，根據當前揭露的標的的這一態樣的系統可以以技術上可能的任何期望的組合或排列包括以下列出的特徵(i)至(xvi)中的一或多個特徵：

(i) 候選缺陷來自候選缺陷列表，所述候選缺陷列表選自指示遮罩或其部分上的候選缺陷分佈的缺陷圖。

(ii) 檢查工具被進一步配置成校準印刷閾值（PT）。提供測量包括在聚焦位準將PT應用於缺陷圖像組和參考圖像組，從而產生二元缺陷圖像組和二元參考圖像組，並且基於二元缺陷圖像組和二元參考圖像組來執行測量。

(iii) 缺陷圖像庫和參考圖像庫是藉由將候選缺陷放置在檢查工具的視場（FOV）中的最佳位置來獲取的，其中選擇最佳位置以至少減少由FOV失真引起的雜訊。

(iv) 複數個聚焦位準是根據準確度和產量要求基於聚焦步長預定義的。

(v) 複數個聚焦位準進一步包括擴展聚焦製程窗口的一或多個聚焦位準。

(vi) 最佳聚焦是藉由在每個聚焦位準對缺陷圖像組中的至少一個缺陷圖像應用聚焦測量來決定的。

(vii) 所述對準進一步包括驗證被包括在合成缺陷圖像中的圖案的可配準性，並且基於所述驗證來決定合成缺陷圖像中的區域。

(viii) 可配準性驗證包括以相應偏移量將圖案朝一組方向偏移，以獲得經偏移圖像組，在合成缺陷圖像與經偏移圖像組之間執行圖像配準，並且基於圖像配準的結果來決定可配準性。

(ix) PMC被進一步配置成針對參考圖像庫決定複數個聚焦位準中的最佳聚焦，並且回應於參考圖像的最佳聚焦與缺陷圖像的最佳聚焦之間的偏移，基於所述偏移來關聯參考圖像和缺陷圖像的對應聚焦位準。

(x)所述至少一個參考圖像是藉由組合參考圖像組產生的合成參考圖像。

(xi)缺陷圖像組由一個缺陷圖像組成，並且合成缺陷圖像是缺陷圖像。

(xii)所述提供測量包括測量在所述區域中匯出缺陷圖像組的每個缺陷圖像與至少一個參考圖像之間的差分圖像的位移，從而產生對應於缺陷圖像組的位移組，並且基於位移組來產生測量結果。

(xiii)遮罩是多晶粒遮罩，缺陷圖像庫是針對位於檢查晶粒中的候選缺陷而擷取的，並且參考圖像庫是從參考晶粒中的對應位置擷取的。

(xiv)遮罩是單晶粒遮罩，並且缺陷圖像庫和參考圖像庫是從共用相似設計圖案的同一晶粒中的不同區域獲取的。

(xv)針對來自從指示遮罩或其部分上的候選缺陷分佈的缺陷圖選擇的候選缺陷列表中的一或多個額外候選缺陷，重複提供原始缺陷圖像、獲取、決定、對準、以及提供測量的步驟。

(xvi)檢查工具是被配置成模擬可用於製造半導體樣品的光微影工具的光學配置的光化檢查工具。

【0010】 根據當前揭露的標的的其他態樣，提供了一種檢查可用於製造半導體樣品的遮罩的方法，所述方法由處理和記憶體電路系統（PMC）執行，並且所述方法包括：從檢查工具中獲取：包括表示候選缺陷的一或多個缺陷圖元的原始缺陷圖像，以及候選缺陷在遮罩上的位置；及基於

所述位置，在整個聚焦製程窗口中的複數個聚焦位準處獲取的候選缺陷的缺陷圖像庫和參考圖像庫，缺陷圖像庫包括在每個聚焦位準獲取的缺陷圖像組，並且參考圖像庫包括在每個聚焦位準獲取的參考圖像組；及在複數個聚焦位準中決定最佳聚焦，並且基於最佳聚焦處的缺陷圖像組來產生合成缺陷圖像；將原始缺陷圖像與合成缺陷圖像對準，以辨識合成缺陷圖像中與一或多個缺陷圖元相對應的一或多個目標圖元的區域；並且針對每個聚焦位準，基於區域來提供指示在聚焦位準處缺陷圖像組與從參考圖像組匯出的至少一個參考圖像之間的位移的測量，從而產生對應於複數個聚焦位準的複數個測量結果。

【0011】　所揭示的標的的這一態樣可以在經過必要的修改後，以技術上可能的任何期望的組合或排列包括以上關於系統列出的特徵（i）至（xvi）中的一或多個特徵。

【0012】　根據當前揭露的標的的其他態樣，提供了一種包括指令的非暫時性電腦可讀取媒體，該等指令在由電腦執行時，使得電腦執行檢查可用於製造半導體樣品的遮罩的方法，所述方法包括：從檢查工具中獲取：包括表示候選缺陷的一或多個缺陷圖元的原始缺陷圖像，以及候選缺陷在遮罩上的位置；及基於所述位置，在整個聚焦製程窗口中的複數個聚焦位準處獲取的候選缺陷的缺陷圖像庫和參考圖像庫，缺陷圖像庫包括在每個聚焦位準獲取的缺陷圖像組，並且參考圖像庫包括在每個聚焦位準獲取的參考圖像組；及在複數個聚焦位準中決定最佳聚焦，並且基於最

佳聚焦處的缺陷圖像組來產生合成缺陷圖像；將原始缺陷圖像與合成缺陷圖像對準，以辨識合成缺陷圖像中與一或多個缺陷圖元相對應的一或多個目標圖元的區域；並且針對每個聚焦位準，基於所述區域來提供指示在聚焦位準處缺陷圖像組與從參考圖像組匯出的至少一個參考圖像之間的位移的測量，從而產生對應於複數個聚焦位準的複數個測量結果。

【0013】 所揭示的標的的這一態樣可以在經過必要的修改後，以技術上可能的任何期望的組合或排列包括以上關於系統列出的特徵（i）至（xvi）中的一或多個特徵。

【圖式簡單說明】

【0014】 為了理解本案內容並且瞭解如何在實踐中執行本案內容，現在將參考附圖，僅以非限制性示例的方式來描述實施例，在附圖中：

【0015】 圖1圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的遮罩檢查系統的功能方塊圖。

【0016】 圖2圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的對可用於製造半導體樣品的遮罩的遮罩檢查的通用流程圖。

【0017】 圖3圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的本遮罩檢查和EPD估計過程之前的初步處理。

【0018】 圖4圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的原始缺陷圖像與合成缺陷圖像之間的對準的通用流程圖。

【0019】 圖5圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的光化檢查工具和光微影工具的示意圖。

【0020】 圖6是根據當前揭露的標的的某些實施例的針對遮罩上給定候選缺陷的示例性缺陷圖像和參考圖像的示意圖。

【0021】 圖7圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的針對遮罩上給定候選缺陷獲取的缺陷圖像庫和參考圖像庫。

【0022】 圖8圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的最佳聚焦處的缺陷圖像組。

【0023】 圖9是根據當前揭露的標的的某些實施例的對示例性圖案的可配準性驗證的示意圖。

【0024】 圖10圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的原始缺陷圖像、缺陷圖像庫中的缺陷圖像以及在缺陷圖像中辨識的目標區域的示例。

【0025】 圖11圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的二元缺陷圖像、二元參考圖像及其差分圖像的示例。

【0026】 圖12是根據當前揭露的標的的某些實施例的基於印刷閾值的通用光微影和圖案轉移製程的示意圖。

【0027】 圖13圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的二元差分圖像上的EPD測量的示例。

【0028】 圖14圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的示例性情況，其中缺陷圖像庫的最佳聚焦1102從參考圖像庫的最佳聚焦1104偏移。

【0029】 圖15圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的與複數個聚焦位準相對應的複數個EPD測量的示例性繪圖表示。

【實施方式】

【0030】 在下面的詳細描述中，闡述了許多具體細節以提供對本案內容的透徹理解。然而，熟習此項技術者將理解，可以在沒有這些具體細節的情況下實踐當前揭露的標的。在其他情況下，未對眾所周知的方法、程序、元件和電路進行詳細描述，以免混淆當前揭露的標的。

【0031】 除非另有具體說明，否則從以下討論可以明顯看出，應當理解，在整個說明書討論中使用的諸如「檢查」、「提供」、「獲取」、「決定」、「對準」、「校準」、「應用」、「執行」、「放置」、「驗證」、「偏移」、「關聯」、「測量」、「重複」、「獲得」、「模擬」等術語，指的是電腦的操縱資料及/或將資料轉化為其他資料的（多個）操作及/或（多個）過程，所述資料表示為物理（諸如電子）量及/或所述資料表示為物理物件。術語「電腦」應被廣義地解釋為涵蓋具有資料處理能力的任何類型的基於硬體的電子設備，作為非限制性示例，包括遮罩檢查系統、檢查工具、EPD估計系統及其在本案中揭露的相應部分。

【0032】 本說明書中使用的術語「遮罩」也被稱為「光微影遮罩」或「光遮罩」或「光罩」。此類術語應被等效地和廣泛地解釋為涵蓋將在光微影製程中在半導體晶圓上圖案化的範本保持電路設計（例如，定義積體電路的特定層的佈局）。例如，遮罩可以實現為熔融石英板，所述熔融石英板覆蓋有不透明、透明和相移區域的圖案，這些區域

在光微影製程中投射到晶圓上。例如，遮罩可以是極紫外（EUV）遮罩或氟化氪（ArF）遮罩。作為另一示例，遮罩可以是記憶體遮罩（可用於製造記憶體元件）或邏輯遮罩（可用於製造邏輯元件）。

【0033】 本說明書中使用的術語「檢查」或「遮罩檢查」應廣泛地解釋為涵蓋用於評估相對於電路設計製造的光遮罩的準確度和完整性及其在晶圓上產生電路設計的準確表示的能力的任何操作。檢查可以包括與各種類型的缺陷偵測、缺陷審查及/或缺陷分類相關的任何種類的操作，及/或在遮罩製造製程期間及/或之後，及/或在遮罩用於半導體樣品製造期間的計量操作。可以在遮罩製造之後使用非破壞性檢查工具來提供檢查。作為非限制性示例，檢查過程可以包括以下操作中的一項或多項：使用檢查工具進行掃瞄（在單次或多次掃瞄中）、成像、採樣、偵測、測量、分類及/或關於遮罩或其部分提供的其他操作。同樣，遮罩檢查還可以被解釋為包括例如在遮罩的實際檢查之前產生（多個）檢查配方及/或其他設置操作。需要注意的是，除非另有具體說明，否則本說明書中使用的術語「檢查」或其同義詞不限於檢查區域的解析度或尺寸。各種非破壞性檢查工具包括，作為非限制性示例，光學檢查工具、掃瞄電子顯微鏡、原子力顯微鏡等。

【0034】 在本說明書中所使用的術語「計量操作」應廣泛地解釋為涵蓋用於提取與半導體樣品（諸如遮罩）上的一或多個結構元件相關的計量資訊的任何計量操作程式。在

一些實施例中，計量操作可以包括測量操作，諸如例如，針對樣品上的某些結構元件執行的臨界尺寸（CD）測量，包括但不限於以下各項：尺寸（例如，線寬、線間距、觸點直徑、元件尺寸、邊緣粗糙度、灰階統計等）、元件形狀、元件內或元件之間的距離、相關角度、與對應於不同設計位準的元件相關聯的覆蓋資訊等。例如，藉由採用影像處理技術來分析諸如測量圖像之類的測量結果。需要注意的是，除非另有具體說明，否則本說明書中使用的術語「計量」或其同義詞不限於測量技術、測量解析度或檢查區域的尺寸。

【0035】 本說明書中所使用的術語「樣品」應廣泛地解釋為涵蓋用於製造半導體積體電路、磁頭、平板顯示器和其他半導體製造製品的任何類型的晶圓、相關結構、組合及/或其部件。

【0036】 本說明書中所使用的術語「缺陷」應廣泛地解釋為涵蓋在樣品上形成的任何類型的異常或不當的特徵/功能。在某些情況下，缺陷可能是感興趣的缺陷（DOI），所述感興趣的缺陷是真實缺陷，當印刷在晶圓上時，對製造的元件的功能有一定影響，因此被偵測符合客戶利益。例如，任何可能導致良率損失的「致命」缺陷都可以表示為DOI。在一些其他情況下，缺陷可能是滋擾性的（也稱為「誤報」缺陷），可以忽略不計，因為所述缺陷對完成的元件功能沒有影響。

【0037】 本說明書中所使用的術語「候選缺陷」應廣泛地解釋為涵蓋遮罩上的可疑缺陷位置，所述位置被偵測為具有相對高的概率是感興趣的缺陷（DOI）。因此，在審查時，候選缺陷可能實際上是DOI，或者在一些其他情況下，候選缺陷可能是由檢查期間的不同變化（例如，製程變化、顏色變化、機械和電氣變化等）引起的滋擾或隨機雜訊。

【0038】 本文所使用的術語「非暫時性記憶體」和「非暫時性儲存媒體」應廣泛地解釋為涵蓋適合於當前揭露的標的的任何揮發性或非揮發性電腦記憶體。這些術語應被視為包括儲存一組或多組指令的單個媒體或多個媒體（例如，集中式或分散式資料庫，及/或關聯的快取記憶體和伺服器）。這些術語還應當被視為包括能夠儲存或編碼指令集以供電腦執行並且使得電腦執行本案內容的方法中的任何一或多個方法的任何媒體。因此，這些術語應被視為包括但不限於唯讀記憶體（「ROM」）、隨機存取記憶體（「RAM」）、磁碟儲存媒體、光學儲存媒體、快閃記憶體設備等。

【0039】 應當理解，除非另有具體說明，否則在分開實施例的上下文中描述的當前揭露的標的的某些特徵也可以在單個實施例中組合提供。相反，在單個實施例的上下文中描述的當前揭露的標的的各種特徵也可以單獨地或以任何合適的子群組合來提供。在下面的詳細描述中，闡述了許多具體細節以提供對方法和裝置的透徹理解。

【0040】 鑒於此，注意力轉到圖1，圖1圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的遮罩檢查系統的功能方塊圖。

【0041】 圖1中所示的檢查系統100可以用於在遮罩製造製程期間或之後，及/或在使用遮罩的半導體樣品製造製程期間檢查遮罩。如前述，本文所指的檢查可以被解釋為涵蓋對於遮罩或其部分的與缺陷檢查/偵測、各種類型的缺陷分類及/或計量操作（諸如例如臨界尺寸（CD）測量）相關的任何類型的操作。根據當前揭露的標的的某些實施例，圖示的檢查系統100包括能夠自動檢查和偵測遮罩上的缺陷的基於電腦的系統101。

【0042】 如前述，本文中待偵測的缺陷可以指相對於原始設計在遮罩上形成的任何類型的異常或不當的特徵/功能。遮罩上待偵測的缺陷可以包括各種缺陷，諸如例如橋、突起、斷線、與臨界尺寸（CD）相關的缺陷、觸點異常（諸如觸點缺失、觸點合併、觸點收縮等），或任何其他類型的缺陷。例如，在一些情況下，待偵測的缺陷可能與邊緣定位位移（EPD）有關，邊緣定位位移指示遮罩上印刷特徵的一或多個邊緣/輪廓的實際位置與其計畫/預期位置之間的偏差（本文中也稱為EPD缺陷）。在一些實施例中，系統101可以被配置為針對偵測到的EPD缺陷執行CD測量，並且提供其EPD估計。在這種情況下，系統101也被稱為EPD估計系統，其是檢查系統100的子系統。

【0043】 系統101可以可操作地連接到遮罩檢查工具120，遮罩檢查工具120被配置成掃瞄遮罩並且擷取遮罩的

一或多個圖像以用於檢查遮罩。本說明書中所使用的術語「遮罩檢查工具」應廣泛地解釋為涵蓋可用於遮罩檢查相關過程的任何類型的檢查工具，作為非限制性示例，包括對遮罩或其部分進行掃瞄（在單次或多次掃瞄中）、成像、採樣、偵測、測量、分類及/或其他過程。

【0044】 在不以任何方式限制本案內容的範圍的情況下，還應注意，遮罩檢查工具120可以實現為各種類型的檢查機器，諸如光學檢查工具、電子束工具等。在一些情況下，遮罩檢查工具120可以是相對低解析度檢查工具（例如，光學檢查工具、低解析度掃瞄電子顯微鏡（SEM）等）。在一些情況下，遮罩檢查工具120可以是相對高解析度的檢查工具（例如，高解析度SEM、原子力顯微鏡（AFM）、透射電子顯微鏡（TEM）等）。在一些情況下，檢查工具可以提供低解析度圖像資料和高解析度圖像資料兩者。在一些實施例中，遮罩檢查工具120具有計量能力並且可以被配置成對擷取的圖像執行計量操作。所產生的圖像資料（低解析度圖像資料及/或高解析度圖像資料）可以直接或經由一或多個中間系統傳輸至系統101。本案內容不限於任何特定類型的遮罩檢查工具及/或由檢查工具產生的圖像資料的解析度。

【0045】 根據某些實施例，遮罩檢查工具可以實現為配置成模擬/模仿可用於製造半導體樣品的光微影工具（例如，掃瞄器或步進機）的光學配置的光化檢查工具，例如，藉

由將形成於遮罩中的圖案投射到晶圓上，如下文關於圖5的進一步詳細描述。

【0046】 現在轉到圖5，其中圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的光化檢查工具和光微影工具的示意圖。

【0047】 與光微影工具520類似，光化檢查工具500可以包括照明源502、照明光學裝置504、遮罩保持器506和投影光學裝置508，照明源502被配置成在曝光波長下產生光（例如，雷射）。照明光學裝置504和投影光學裝置508可以包括一或多個光學元件（諸如例如透鏡、光圈、空間濾波器等）。

【0048】 在光微影工具520中，遮罩被定位在遮罩支架506處並且光學對準以將待複製的電路圖案的圖像投射到放置在晶圓支架512上的晶圓上（例如，藉由採用各種步進、掃瞄及/或成像技術來產生或複製晶圓上的圖案）。與光微影工具520不同，光化檢查工具500不是放置晶圓支架512，而是將偵測器510（諸如例如電荷耦合元件（CCD））放置在晶圓支架的位置，其中偵測器510被配置成偵測經由遮罩投射的光，並且產生遮罩的圖像。

【0049】 可以看出，光化檢查工具500被配置成模擬光微影工具520的光學配置，包括但不限於例如照明/曝光條件，諸如例如波長、曝光光的部分相干性、光瞳形狀、照明孔徑、數值孔徑（NA）等，這些條件在半導體元件製造期間在實際光微影過程中用於曝光光阻劑。因此，由偵測器510獲取的遮罩圖像514預期類似於經由光微影工具使

用遮罩製造的晶圓的圖像516。使用這種光化檢查工具獲取的遮罩圖像也稱為俯瞰圖像（aerial image）。俯瞰圖像被提供給系統101以供進一步處理，如下所述。

【0050】 根據某些實施例，在一些情況下，遮罩檢查工具120可以實現為非光化檢查工具，諸如例如一般光學檢查工具、電子束工具（例如，SEM）等。在這種情況下，檢查工具的偵測器能夠與所使用的特定類型的顯微鏡對接，並且將來自顯微鏡的圖像資訊數位化，從而獲取遮罩的圖像。

【0051】 可以對獲取的圖像執行模擬以模擬光微影工具的光學配置，從而產生俯瞰圖像。在一些情況下，圖像模擬可以由系統101執行（例如，藉由在PMC 102中包括圖像模擬模型，模擬的功能可以整合到系統101的PMC 102中），而在其他一些情況下，圖像模擬可以由遮罩檢查工具120的處理模組執行，或者由可操作地連接至遮罩檢查工具120和系統101的單獨的模擬引擎/單元執行。

【0052】 僅出於說明的目的，以下描述的某些實施例提供用於由光化遮罩檢查工具獲取的圖像。熟習此項技術者將容易理解，當前揭露的標的的教導同樣適用於藉由任何其他合適的技術和檢查工具獲取的圖像，並且使用適當的模擬模型進一步轉換為俯瞰圖像。術語「俯瞰圖像」應廣泛地解釋為涵蓋由光化遮罩檢查工具獲取的圖像以及從由（多個）非光化檢查工具擷取的圖像模擬的俯瞰圖像。

【0053】 系統101包括可操作地連接至基於硬體的I/O介面126的處理器和記憶體電路系統(PMC)102。PMC 102被配置成提供操作系統所需的處理，如參考圖2、圖3和圖4進一步詳細描述的，並且PMC 102包括處理器（未單獨示出）和記憶體（未單獨示出）。PMC 102的處理器可以被配置成根據在被包括在PMC中的非暫時性電腦可讀記憶體上實現的電腦可讀取指令來執行若干功能模組。此類功能模組在下文中被稱為被包括在PMC中。

【0054】 本文所指的處理器可以表示一或多個通用處理設備，諸如微處理器、中央處理單元等。更具體地，處理器可以是複雜指令集計算（CISC）微處理器、精簡指令集計算（RISC）微處理器、超長指令字（VLIW）微處理器、實現其他指令集的處理器或實現指令集組合的處理器。處理器也可以是一或多個專用處理設備，諸如專用積體電路（ASIC）、現場可程式設計閘陣列（FPGA）、數位訊號處理器（DSP）、網路處理器等。處理器被配置成執行用於執行本文討論的操作和步驟的指令。

【0055】 本文所指的記憶體可以包括主記憶體（例如，唯讀記憶體（ROM）、快閃記憶體、動態隨機存取記憶體（DRAM）（諸如同步DRAM（SDRAM）或Rambus DRAM（RDRAM）等）和靜態記憶體（例如快閃記憶體、靜態隨機存取記憶體（SRAM）等）。

【0056】 如前述，在一些實施例中，系統101可以被配置成偵測遮罩上的缺陷，諸如EPD缺陷。EPD缺陷可能由各

種因素引起，諸如遮罩製造製程期間的（多個）物理效應，及/或其他因素，例如氧化（可能在遮罩使用期間逐漸發生）、顆粒、刮傷、晶體生長、靜電放電（ESD）等。此類缺陷如果在晶圓量產前未被偵測到，將在生產晶圓上重複多次，從而可能導致多個半導體元件出現缺陷（例如，影響元件的功能並且無法達到預期的性能），並且對良率產生不利影響，特別是考慮到大規模電路整合和光遮罩先進製程中半導體元件尺寸的減小。

【0057】 為了對由遮罩檢查工具偵測到的EPD缺陷（或候選缺陷）執行CD測量，通常需要將遮罩移動到單獨的計量工具，所述計量工具用於在候選缺陷的位置處擷取遮罩的附加圖像，並對附加圖像執行測量。兩種工具（檢查工具和計量工具）的使用以及其間的切換既費時（從而影響檢查產量）又成本效益低下。此外，由於這兩種工具通常具有不同的座標系，因此很難確保計量工具擷取的附加圖像來自由檢查工具報告的確切位置，更不用說這些工具還可能與相對於給定座標的導航誤差相關聯。因此，在一些情況下，可能會發生計量工具在不知情的情況下在錯誤的位置獲取附加圖像，並且在此類位置獲得的測量結果是無效/無意義的，而在一些情況下甚至會向使用者提供誤導資訊。

【0058】 此外，如前述的光微影工具旨在將遮罩的電路圖案印刷到製程窗口（其可以相對於各種光微影參數來定義）內的半導體樣品上，以便以高良率製造積體電路。例如，對良率的主要影響之一與聚焦製程窗口（也稱為散焦製程

窗口）有關，所述聚焦製程窗口是指應在其中印刷半導體樣品的光微影工具的聚焦範圍，以滿足期望的產量。期望檢查遮罩上的電路圖案可以如何回應製程窗口內各種光微影參數的變化（諸如例如聚焦製程窗口內的不同聚焦位準），例如，藉由估計印刷缺陷/錯誤（諸如與製程窗口內的不同參數相關聯的EPD）。這種估計可以向使用者提供不同參數可以如何影響整個製程窗口中的晶片良率的指示。

【0059】 根據當前揭露的標的的某些實施例，提出了改進的遮罩檢查系統和方法，所述系統和方法被配置成針對偵測到的EPD缺陷執行CD測量，並且以更高的準確度和改進的產量在整個製程窗口中提供一系列EPD估計。

【0060】 根據某些實施例，遮罩檢查系統100包括遮罩檢查工具120和可操作地連接至檢查工具並且被配置成用於如前述的EPD估計的子系統101。遮罩檢查工具120可以被配置成提供包括表示候選缺陷的一或多個缺陷圖元的原始缺陷圖像，以及所述候選缺陷在遮罩上的位置。遮罩檢查工具120可以被進一步配置成基於所述位置，在整個聚焦製程窗口中的複數個聚焦位準處獲取候選缺陷的缺陷圖像庫和參考圖像庫。缺陷圖像庫包括在每個聚焦位準獲取的缺陷圖像組，並且參考圖像庫包括在每個聚焦位準獲取的參考圖像組。

【0061】 系統101的PMC 102中包括的功能模組可以包括影像處理模組104、對準106和測量模組108。影像處理

模組104可以被配置成在複數個聚焦位準中決定最佳聚焦，並且基於最佳聚焦處的缺陷圖像組產生合成缺陷圖像。對準106可以被配置成將原始缺陷圖像與合成缺陷圖像對準，以辨識合成缺陷圖像中與一或多個缺陷圖元相對應的一或多個目標圖元的區域。測量模組108可以被配置成針對每個聚焦位準，基於所述區域提供指示缺陷圖像組與從聚焦位準的參考圖像組匯出的至少一個參考圖像之間的位移的測量（例如，EPD測量），從而產生對應於複數個聚焦位準的複數個測量結果。

【0062】 將參考圖2、圖3和圖4進一步詳細描述系統100、系統101、PMC 102及其中的功能模組的操作。

【0063】 根據某些實施例，系統100可以包括儲存單元122。儲存單元122可以被配置成儲存作業系統100和系統101所需的任何資料，例如與系統100和系統101的輸入和輸出相關的資料，以及由系統101產生的中間處理結果。例如，儲存單元122可以被配置成儲存原始缺陷圖像、由遮罩檢查工具120產生的缺陷圖像庫和參考圖像庫及/或其衍生物（例如，預處理後的圖像）。因此，可以從儲存單元122擷取圖像並且將所述圖像提供給PMC 102以供進一步處理。

【0064】 在一些實施例中，系統100可以可選地包括基於電腦的圖形化使用者介面（GUI）124，GUI 124被配置為實現與系統101相關的使用者指定輸入。例如，可以向使用者呈現遮罩的視覺表示（例如，藉由構成GUI 124的

一部分的顯示器），諸如遮罩或其部分的圖像。可以經由GUI向使用者提供定義某些指令引數的選項，該等指令引數諸如例如製程窗口參數、諸如例如製程窗口的範圍、聚焦步長等、要在給定的聚焦位準獲取的缺陷圖像和參考圖像的數量、印刷閾值等。在一些情況下，使用者還可以在GUI上查看操作結果，諸如獲取的圖像庫、對應於不同聚焦位準的複數個測量結果、及/或進一步檢查結果。

【0065】 如前述，系統101被配置成經由I/O介面126在整個聚焦製程窗口中的複數個聚焦位準處接收候選缺陷的缺陷圖像庫和參考圖像庫。這些圖像可以包括由遮罩檢查工具120擷取的圖像（及/或其衍生物）及/或從藉由各種預處理階段獲得的擷取圖像匯出的預處理圖像等。注意，在一些情況下，圖像可以包括關聯的數值資料（例如，中繼資料、手工製作的屬性等）。還應注意，在一些實施例中，圖像資料涉及待印刷在晶圓上的半導體元件的目標層。

【0066】 系統101被進一步配置成處理所接收的圖像並且經由I/O介面126將操作結果（例如，對應於不同聚焦位準的複數個測量結果等）發送至儲存單元122，及/或用於渲染的GUI 124，及/或遮罩檢查工具120。

【0067】 根據一些實施例，除了系統101之外，遮罩檢查系統100還可以包括一或多個檢查模組，諸如例如（多個）額外的缺陷偵測模組及/或自動缺陷審查模組（ADR）及/或自動缺陷分類模組（ADC）及/或計量相關模組及/或可用於執行對遮罩的額外檢查的其他檢查模組。一或多個檢

查模組可以實現為獨立電腦，或者它們的功能（或至少其中一些功能）可以與遮罩檢查工具120整合。在一些實施例中，從系統101獲得的輸出可以由遮罩檢查工具120及/或一或多個檢查模組（或其部分）用於進一步檢查遮罩。

【0068】 熟習此項技術者將容易理解，當前揭露的標的的教導不受圖1中所示的系統的約束；等效及/或修改的功能可以以另一種方式合併或劃分，並且可以以軟體與韌體及/或硬體的任何適當組合來實現。

【0069】 注意，在一些情況下，圖1所示的遮罩檢查系統可以在分散式運算環境中實現。例如，遮罩檢查工具120和子系統101可以分佈在不同的設備（本地及/或遠端設備）上並且可以藉由通訊網路連結。例如，遮罩檢查工具120可以位於製造廠內，而子系統101可以是遠端連接到檢查工具的處理伺服器。附加地或替代地，被包括在PMC 102中的上述功能模組也可以分佈在若干本地及/或遠端設備上並且藉由通訊網路連結。還應注意，在其他實施例中，遮罩檢查工具120、儲存單元122及/或GUI 124中的一或多個可以在系統100外部，並且經由I/O介面126與系統101進行資料通訊。系統101可以實現為（多個）獨立電腦，以與遮罩檢查工具一起使用。或者，系統101的各個功能可以至少部分地與遮罩檢查工具120整合，從而促進和增強遮罩檢查工具120在檢查相關過程中的功能。

【0070】 儘管不一定如此，系統101和系統100的操作過程可以對應於對於圖2至圖4所描述的方法的部分或所有階

段。同樣，關於圖2至圖4所描述的方法及其可能的實現可以由系統101和系統100實現。因此，應注意，關於圖2至圖4所描述的方法所討論的實施例也可以在經過必要的修改之後作為系統101和系統100的各種實施例來實現，反之亦然。

【0071】 現參考圖2，其中圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的對可用於製造半導體樣品的遮罩的遮罩檢查的通用流程圖。

【0072】 可以（例如，藉由遮罩檢查工具120）提供（202）包括表示候選缺陷的一或多個缺陷圖元的原始缺陷圖像。還獲得候選缺陷在遮罩上的位置（例如，在遮罩座標中）。根據某些實施例，候選缺陷來自從指示遮罩（或遮罩的至少部分）上的候選缺陷分佈的缺陷圖中選擇的候選缺陷列表。

【0073】 根據一些實施例，缺陷圖是來自遮罩的初步檢查的結果（例如，藉由遮罩檢查工具120）。圖3圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的本遮罩檢查和EPD估計過程之前的初步處理。

【0074】 可以（例如，藉由遮罩檢查工具或單獨的缺陷偵測模組）從遮罩的初步檢查所產生的缺陷圖中選擇（302）候選缺陷列表，如下面更詳細地舉例說明的。

【0075】 例如，可以在掃瞄遮罩期間順序地獲得遮罩的複數個檢查圖像，每個檢查圖像表示遮罩的相應部分。可以（例如，藉由遮罩檢查工具的缺陷偵測模組）產生對應於

複數個檢查圖像的複數個缺陷圖。每個缺陷圖可以使用至少一個參考圖像產生並且可以指示相應檢查圖像上的候選缺陷分佈。例如，可以基於檢查圖像的圖元值與至少一個參考圖像的圖元值之間的差異來產生至少一個差分圖像。可以藉由使用偵測閾值基於至少一個差分圖像決定可疑缺陷（即，候選缺陷）的位置來產生缺陷圖。在一些情況下，可以組合複數個缺陷圖以獲得遮罩的缺陷圖。

【0076】 本文中使用的術語缺陷圖可以被解釋為代表與遮罩的一部分相對應的缺陷圖，或者整個遮罩的缺陷圖。在一些實施例中，產生的缺陷圖可以進一步指示候選缺陷的一或多個缺陷特徵，諸如例如候選缺陷的位置、（缺陷信號的）強度和尺寸等。基於由缺陷圖所揭示的候選缺陷的位置，可以將該些候選缺陷定位在對應的檢查圖像中。

【0077】 在一些實施例中，可以基於候選缺陷的強度從缺陷圖中選擇候選缺陷的列表。在一些其他情況下，可以估計各個候選缺陷的初步EPD測量結果，並且可以基於圖中候選缺陷的EPD測量結果的排序和預定義的EPD閾值來選擇候選缺陷的列表。例如，缺陷圖中的候選缺陷可以根據其初步EPD測量結果以升序排列，具有大於預定義的EPD閾值的EPD測量結果的N個（N可以是預定數量）候選缺陷可以被選中以構成候選缺陷列表。

【0078】 對於所選列表之每一者給定候選缺陷，可以從檢查圖像中給定候選缺陷的位置處提取圖像面片（patch）。圖像面片包括表示給定候選缺陷的一或多個缺陷圖元，並

且在下文中被稱為原始缺陷圖像（術語原始是相對於如下文參考方塊204之稍後獲取的缺陷圖像使用的）。

【0079】 可以（例如，在儲存單元122中）儲存原始缺陷圖像以及遮罩上給定候選缺陷的位置（例如，在遮罩座標中）以用於進一步處理。作為初步處理的一部分，可以在應用於稍後獲取的圖像之前校準印刷閾值（304），這將在下面進一步詳細描述。

【0080】 當前揭露的標的的一些實施例提出使用相同的遮罩檢查工具來基於候選缺陷的位置直接擷取新圖像，而不是將候選缺陷的位置發送到單獨的計量工具來擷取新圖像並且對新圖像執行EPD測量。具體而言，遮罩檢查工具用於基於候選缺陷的位置，在整個聚焦製程窗口中的複數個聚焦位準處獲取（204）候選缺陷的缺陷圖像庫和參考圖像庫。缺陷圖像庫包括在每個聚焦位準獲取的缺陷圖像組，參考圖像庫包括在每個聚焦位準獲取的參考圖像組。如前述，缺陷圖像和參考圖像是俯瞰圖像。

【0081】 使用一個工具而不是兩個單獨的工具來擷取原始缺陷圖像和新圖像庫兩者可以避免不同工具中座標系的差異並且最小化與工具相關聯的導航誤差，從而提高稍後獲得的EPD測量結果的準確度。此外，這還可以顯著降低檢查成本並且提高產量。

【0082】 對於每個缺陷圖像，可以獲取一或多個參考圖像並且將所述一或多個參考圖像用作（諸如例如在D2D檢查中）用於比較的參考。例如，在待檢查遮罩為多晶粒遮罩

（其中遮罩域包括具有相同/相似設計圖案的多個晶粒）並且候選缺陷位於遮罩上的偵測晶粒中的情況下，可以從遮罩上（在對應於候選缺陷的位置處）的檢查晶粒的一或多個參考晶粒（例如，檢查晶粒的相鄰晶粒）獲取一或多個參考圖像。

【0083】 作為另一示例，在遮罩為單晶粒遮罩（其中遮罩域僅包括一個晶粒）的情況下，可以從遮罩的同一晶粒中的不同區域獲取缺陷圖像和一或多個參考圖像，其中不同區域共享相同/相似的設計圖案。例如，可以使用任何合適的演算法基於遮罩的設計資料來辨識共享相似設計圖案的區域，這將在下面進一步詳細描述。下面參考圖6和圖7描述了缺陷圖像庫和參考圖像庫的獲取。

【0084】 參考圖6，這是根據當前揭露的標的的某些實施例的針對遮罩上給定候選缺陷的示例性缺陷圖像和參考圖像的示意圖。

【0085】 如圖所示，多晶粒遮罩600具有包括共享相同設計圖案的九個晶粒的遮罩域。初步處理中偵測到的許多候選缺陷在遮罩上例示（用星號表示）。對於遮罩600的檢查晶粒中的給定候選缺陷602，可以藉由遮罩檢查工具獲取候選缺陷602周圍的缺陷圖像604。類似地，可以在檢查晶粒的參考晶粒（例如，相鄰晶粒）的對應位置獲取缺陷圖像604的參考圖像606。

【0086】 遮罩檢查工具一次僅對遮罩的一部/一部分（也稱為工具的視場（FOV））成像。FOV的大小和尺寸可能會

根據某些因素而變化，所述因素諸如不同的工具配置。在一個示例中，與矩形FOV相對應的檢查圖像可以是大約1000圖元長和1000圖元寬。在另一示例中，與矩形FOV相對應的檢查圖像可以大約為800圖元×1600圖元的尺寸。檢查圖像608在圖6中例示。在一些情況下，當擷取包含候選缺陷的檢查圖像時，候選缺陷可以被放置在FOV的中心。然後可以從檢查圖像的中心提取缺陷圖像。

【0087】 在一些實施例中，當擷取包含候選缺陷的檢查圖像時，候選缺陷可以被放置在FOV的最佳位置。如檢查圖像608中所例示，候選缺陷602被放置在靠近FOV的中心的最佳位置。在一些情況下，可以選擇最佳位置以減少各種雜訊，包括但不限於例如由FOV失真引起的雜訊。本文使用的術語FOV失真是指圖像的FOV內不同位置處的圖像強度變化和不均勻性。這可能是由某些光學系統像差引起的，包括但不限於，例如，像散、場中的不均勻照明、由於鏡頭形狀導致的畸變、以及散斑等。例如，可以藉由將提供FOV中潛在有問題的位置資訊的一或多個圖重疊來計算最佳位置（有問題的位置可以表示FOV中的有像差圖元）。這些圖可能來自先前為特定工具集執行的校準過程。校準過程是基於這些工具的硬體行為的統計和理論知識進行的。整個過程最小化與潛在有問題的感測器區域的互動，並且將工具的FOV導航到以最佳位置為中心，以便感興趣區域利用最佳感測器區域。

【0088】 可以以預定尺寸（例如，32*32圖元、64*64圖元、100*100圖元等）從檢查圖像中提取缺陷圖像。缺陷圖像包括表示候選缺陷的一或多個缺陷圖元。一或多個缺陷圖元在本文中也稱為缺陷斑點，其尺寸可為諸如4*4圖元或2*2圖元等。

【0089】 因此，在一些實施例中，如前述，缺陷圖像庫可以各自是藉由將候選缺陷放置在檢查工具的FOV（例如，工具的圖像感測器的FOV）的最佳位置來獲取的，並且參考圖像庫是在參考晶粒中的對應位置獲取的。

【0090】 現在參考圖7，其中圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的針對遮罩上給定候選缺陷獲取的缺陷圖像庫和參考圖像庫。

【0091】 繼續圖6的示例，對於候選缺陷602，在整個聚焦製程窗口700中的複數個聚焦位準處獲取缺陷圖像庫702和參考圖像庫704。缺陷圖像庫702包括在每個聚焦位準獲取的缺陷圖像組（例如，如圖7中舉例說明的四個缺陷圖像）。類似地，參考圖像庫704包括在每個聚焦位準獲取的參考圖像組（例如，對應於四個缺陷圖像的四個參考圖像）。

【0092】 如前述的聚焦製程窗口指的是光微影工具的聚焦範圍，半導體樣品應在此範圍內進行印刷，以滿足期望的良率。在一些情況下，製程窗口的範圍可以由半導體樣品的製造商預定義。如圖7中所示，聚焦製程窗口700包括複數個聚焦位準，這些聚焦位準可以基於聚焦步長706預定

義。可以例如根據製造商製程的準確度和產量要求來決定聚焦步長。例如，製程窗口的聚焦範圍可以是[-500nm，+500nm]，聚焦步長可以是100nm。在這種情況下，總共將有11個聚焦位準（包括聚焦範圍的上邊界（圖中表示為+PW）和下邊界（表示為-PW））。

【0093】 在一些實施例中，可以存在擴展聚焦製程窗口的原始範圍的填充範圍（例示為圖7中的填充範圍708）。填充範圍可以根據製造商製程的準確度要求來定義。在此類情況下，複數個聚焦位準還可以包括填充範圍內的一或多個聚焦位準。例如，總的聚焦位準數（或步數）可以計算為：（製程窗口+填充範圍*2）/聚焦步長。

【0094】 在每個聚焦位準處，可由遮罩檢查工具連續（例如，每兩個圖像之間具有相對較短的時間間隔）獲取一組缺陷圖像（例如，如圖7中示例的四個缺陷圖像），而不更改任何工具配置。然後可以將檢查工具的聚焦位準調整到製程窗口中的複數個聚焦位準中的下一個位準，並且可以類似的方式獲取另一組缺陷圖像。一旦遍歷了複數個聚焦位準，就獲得了多組缺陷圖像，從而構成缺陷圖像庫702。

【0095】 類似地，可以以類似的方式獲得參考圖像庫704，包括針對參考晶粒的對應位置在複數個聚焦位準下獲取的複數組參考圖像。應當注意的是，在本示例中，儘管一個參考位置用於每個候選缺陷，並且在參考位置獲取一個參考圖像庫704，但是在一些其他情況下可以辨識多個參考（例如，來自遮罩中的多個參考晶粒的多個參考位

置），並且多個參考圖像庫可以在多個參考位置獲取並用作缺陷圖像庫的參考，而不是僅僅一個參考圖像庫。

【0096】 還應注意，儘管如圖7所例示，在給定聚焦位準下獲取的圖像組（缺陷圖像或參考圖像）包括多個圖像（例如，四個圖像），但這僅用於說明和例示目的，並且不旨在以任何方式限制本案內容。在一些實施例中，在給定聚焦位準下獲取的圖像組可以包括單個圖像。

【0097】 將多個缺陷/參考圖像放在一組中的選項可以有效地減少由缺陷/參考圖像中出現的隨機雜訊引起的誤報，從而提高偵測靈敏度和測量準確度。例如，在一些情況下，可以對一組中的多個參考圖像進行過濾和組合，從而建立最佳參考圖像，所述最佳參考圖像可用於抑制隨機雜訊並且揭示缺陷圖像與參考圖像之間的真實差異。

【0098】 在一些實施例中，本文提到的用於擷取原始缺陷圖像以及缺陷圖像庫和參考圖像的遮罩檢查工具（諸如例如，遮罩檢查工具120）是光化檢查工具，諸如例如，應用材料公司（Applied Materials Inc.）的Aera遮罩檢查工具。光化檢查工具被配置成模擬可用於根據遮罩製造半導體晶圓的光微影工具（例如，掃瞄器或步進機）的光學配置，如上文參考圖5所述。

【0099】 藉由這種光化檢查工具獲取的圖像（即，俯瞰圖像）預期類似於經由光微影工具使用遮罩製造的晶圓的圖像。換言之，光化遮罩檢查工具被配置成擷取遮罩圖像，

所述遮罩圖像可以模仿遮罩中的設計圖案在製造製程之後將如何實際出現在實體晶圓中。

【0100】 在一些情況下，光化檢查工具可能無法用於檢查遮罩。在這種情況下，可以使用非光化檢查工具（諸如例如一般光學檢查工具、電子束工具等）來獲取遮罩的非俯瞰圖像。可以對獲取的非俯瞰圖像執行模擬以模擬光微影工具的光學配置，從而產生遮罩的俯瞰圖像。因此，在一些實施例中，參考圖2描述的遮罩檢查方法還可以包括以下初步步驟：獲得由非光化檢查工具獲取的圖像庫，以及（例如，藉由PMC 102的影像處理模組104，或藉由遮罩檢查工具120的處理模組等）對圖像執行模擬以模擬光微影工具的光學配置，從而產生缺陷圖像（即，俯瞰圖像）庫。

【0101】 在一些實施例中，可以在進一步處理之前預處理所獲得的缺陷圖像（及/或參考圖像）庫。預處理可以包括以下操作中的一者或多者：內插（例如，在圖像具有相對低解析度的情況下）、雜訊過濾、聚焦校正、像差補償和圖像格式變換等。

【0102】 應當注意，本案內容不限於遮罩檢查工具的特定模態及/或由此獲取的圖像的類型及/或處理圖像所需的預處理操作。

【0103】 繼續圖2的描述，一旦遮罩檢查工具獲取在複數個聚焦位準的候選缺陷的缺陷圖像庫和參考圖像庫，就可以將圖像傳輸到可操作地連接到遮罩檢查工具的系統101，並進行進一步處理。在一些實施例中，可以決定複數個聚

焦位準中的最佳聚焦，並且可以基於在最佳聚焦處的缺陷圖像組（例如，藉由PMC 102中的影像處理模組104）來產生（208）合成缺陷圖像。

【0104】 根據某些實施例，可以藉由在每個聚焦位準對缺陷圖像組中的至少一個缺陷圖像應用聚焦測量來決定最佳聚焦，以辨識產生圖像圖案（即被成像的樣品的圖案）的最高對比的圖像。例如，可以基於每個聚焦位準的至少一個圖像的聚焦測量來計算聚焦分數，並且辨識具有最大分數的圖像。

【0105】 根據某些實施例，可以使用評估圖像的聚焦程度（例如，銳度/對比度）的不同聚焦測量來計算圖像的聚焦分數，並且本案內容不限於特定的聚焦分數計算。例如，基於圖像的一階導數的梯度或近似值的基於梯度的聚焦測量可以用於計算聚焦分數。這種聚焦測量遵循此類假設：聚焦圖像呈現比模糊圖像更銳利的邊緣。因此，可以利用梯度的能量來估計聚焦程度。類似地，也可以使用基於圖像的二階導數的基於拉普拉斯的聚焦測量。作為另一示例，可以使用基於圖像的文字描述符的基於統計的聚焦測量。這種聚焦測量遵循此類假設：散焦圖像可以被解釋為其平滑度隨著散焦位準的增加而增加的紋理。

【0106】 應當注意，如前述的聚焦測量僅出於例示目的而示出，不應被視為以任何方式限制本案內容。其他合適的聚焦測量，諸如例如基於小波的聚焦測量，或基於圖像對比度的聚焦測量，可以作為上述測量的補充或替代使用。

【0107】 一旦決定了複數個聚焦位準中的最佳聚焦，就可以基於最佳聚焦處的缺陷圖像組來產生合成缺陷圖像。參考圖8，其中圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的最佳聚焦處的缺陷圖像組。

【0108】 圖8中圖示包括在複數個聚焦位準上獲得的複數組缺陷圖像的缺陷圖像庫。在本示例中，每組缺陷圖像包括五個圖像。換言之，缺陷圖像庫包括五個圖像包，每個包包括對應於複數個聚焦位準的複數個圖像。基於如上例示的聚焦測量，可以為每組缺陷圖像中的至少一個圖像計算聚焦分數。例如，在一些情況下，可以從每組圖像中選擇一個圖像，並且可以為所選圖像計算聚焦分數。例如，所選圖像可以是一個圖像包中的對應圖像。在一些其他情況下，可以為每組中的所有圖像計算聚焦分數，並且可以藉由組合所有圖像的分數來產生每組的正規化聚焦分數。可以對複數個聚焦分數（或正規化聚焦分數）進行排序，並且可以選擇最佳聚焦分數。將匯出最佳聚焦分數的聚焦位準選擇為最佳聚焦。

【0109】 如圖8所示，假設選擇了最佳聚焦800，並且圖像組802是在最佳聚焦800處獲取的圖像。可以基於缺陷圖像組802產生合成缺陷圖像，例如，藉由對缺陷圖像組進行組合/平均。由於一組中的圖像是在不改變任何工具配置的情況下連續獲取的，因此應認識到，圖像之間可能很少有任何偏移，或者在一些情況下只有微小的偏移（例如，亞圖元偏移）。在一些實施例中，可以在組合/平均之前配準

圖像組。例如，如圖所示，側面的四個圖像可以與中間的圖像配準，例如使用盧卡斯-卡納德（Lucas-Kanade）配準演算法。可以將配準的圖像求和，然後取平均以匯出合成缺陷圖像。

【0110】 本案內容中提到的圖像配準可以包括測量兩個圖像之間的偏移，並且相對於一個圖像移動另一個圖像以便校正偏移。偏移可能由各種因素引起，諸如例如，由工具漂移（例如，掃瞄器及/或載物台漂移）引起的導航誤差等。可以根據本領域已知的任何合適的配準演算法來實現配準。例如，可以使用以下演算法中的一或多個來執行配準：基於區域的演算法、基於特徵的配準或相位關聯配準。基於區域的方法的示例是使用光流的配準，所述光流諸如上述的盧卡斯-卡納德（LK）演算法。基於特徵的方法是基於在兩個圖像中找到不同的資訊點（「特徵」），並且根據特徵的對應關係計算每對之間所需的變換。這允許彈性配準（即非剛性配準），其中分別移動不同的區域。相位關聯配準是使用頻域分析完成的（其中傅立葉域中的相位差被轉換為圖像域中的配準）。

【0111】 吾人認為如前述產生的合成缺陷圖像抑制了隨機雜訊，因此與圖像組的單個缺陷圖像相比具有更高的準確度。在圖像組由單個缺陷圖像組成的情況下，不需要產生合成缺陷圖像，或者換言之，可將所述單個圖像視為合成缺陷圖像。

【0112】 一旦產生了合成缺陷圖像，就可以（例如，藉由PMC 102中的對準模組106）將原始缺陷圖像與合成缺陷圖像對準（210），以辨識合成缺陷圖像中與原始缺陷圖像中的一或多個缺陷圖元相對應的一或多個目標圖元的區域。在一些情況下，為了對準圖像，需要首先檢查合成缺陷圖像/原始缺陷圖像中包含的圖案是否可配準。

【0113】 參考圖4，其中圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的原始缺陷圖像與合成缺陷圖像之間的對準的通用流程圖。

【0114】 在一些實施例中，對準可以包括驗證（400）合成缺陷圖像中包含的圖案的可配準性，並且基於驗證決定（408）合成缺陷圖像中的一或多個目標圖元的區域（在本文中也稱為作為目標區域）。在一些情況下，可以基於圖案相對於圖像尺寸的週期性來決定圖案的可配準性。

【0115】 在一些實施例中，可配準性的驗證可以如下步驟執行：以相應偏移量將圖案朝一組方向偏移（402），以獲得經偏移圖像組，在合成缺陷圖像與經偏移圖像組之間執行(404)圖像配準，並且基於圖像配準的結果決定(406)可配準性。

【0116】 圖9是根據當前揭露的標的的某些實施例的對示例性圖案的可配準性的驗證的示意圖。

【0117】 圖示具有特定線圖案的缺陷圖像902。為了決定圖案的可配準性，將圖案偏移到一組八個不同的方向，從而產生八個經偏移圖像，如圖所示。可以使用圖像配準演

算法（諸如以上例示的演算法中的任何一種）來在未偏移圖像902和八個經偏移圖像中的每一個之間進行配準。如果所有經偏移圖像（或其中大部分）都可以與未偏移圖像正確配準，則表明所述圖案是可配準的。否則，所述圖案被視為不可配準。

【0118】 可以基於驗證的可配準性來決定合成缺陷圖像中的一或多個目標圖元的區域。例如，在圖案被視為可配準的情況下，例如藉由在兩個圖像之間執行圖像配準並且基於配準的偏移找到對應的目標圖元，相對容易地辨識與原始缺陷圖像中的缺陷圖元相對應的目標圖元。在這種情況下，可以將目標區域決定為包括所辨識的目標圖元。在一些情況下，目標區域可以另外包括擴展目標圖元的相對小的圖元膨脹，以容忍較小的配準誤差。

【0119】 在將圖案視為不可配準的情況下，大體很難辨識與原始缺陷圖像中的缺陷圖元相對應的目標圖元，因為不可配準圖案在圖像中通常是重複的，因此不可能將一個重複特徵與另一個重複特徵分開。為了不漏掉目標圖元，目標區域可以是比較大的區域。例如，可以根據具有較大圖元膨脹的原始缺陷圖像中的缺陷圖元的缺陷斑點的尺寸來決定目標區域的尺寸。

【0120】 如此決定的目標區域可以用作缺陷圖像庫中執行EPD測量的位置指示，如下面參考方塊212所述。

【0121】 具體地，對於每個聚焦位準，可以（例如，藉由PMC 102中的測量模組108）基於一或多個目標圖元的區

域提供（212）測量，所述測量指示在聚焦位準處缺陷圖像組與從參考圖像組匯出的至少一個參考圖像之間的位移。一旦針對複數個聚焦位準之每一者聚焦位準獲得了測量結果，就可以提供對應於複數個聚焦位準的複數個測量結果。例如，測量結果是如前述的EPD測量結果。

【0122】 一旦在合成缺陷圖像中辨識出目標區域，如前述，就可以基於合成缺陷圖像中的目標區域的位置來辨識缺陷圖像庫的每個圖像中的對應區域（其中假設圖像庫內的圖像之間可能有很少偏移或沒有偏移）。

【0123】 圖10圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的原始缺陷圖像、來自缺陷圖像庫的缺陷圖像、以及在缺陷圖像中辨識的目標區域的示例。

【0124】 如圖所示，圖像1002是如上參考方塊202之原始缺陷圖像，圖像1004是如上參考方塊204所述獲取的來自缺陷圖像庫的缺陷圖像。如所例示，兩個圖像包括具有重複線和空間的不可配準的圖案。如前述，在這種情況下，很難辨識與原始缺陷圖像1002中的缺陷圖元1001相對應的缺陷圖像1004中的準確目標圖元1006。如前述，可以決定足夠大的目標區域1008，從而認為覆蓋目標圖元。

【0125】 如圖所示，缺陷圖像1004中的目標圖元1006的位置和原始缺陷圖像1002中的缺陷圖元1001的位置是偏移的，即使這兩個圖像是使用相同的檢查工具擷取的。如果直接根據原始缺陷圖像1002中的缺陷圖元1001的位置執行EPD測量，而不執行對準處理並決定目標區域1008，

則將發生無效測量，因為測量是從與偏移的實際缺陷位置不同的錯誤位置進行的。使用所決定的目標區域，可以在目標區域內執行EPD估計，以便不遺漏實際位置處的EPD缺陷，如下面詳細描述的。

【0126】 根據某些實施例，為了在辨識的目標區域的位置處執行測量，印刷閾值（PT）可以應用於給定聚焦位準的缺陷圖像組和參考圖像組，從而產生二元缺陷圖像組和二元參考圖像組，並且可以基於二元缺陷圖像組和二元參考圖像組執行測量。二元圖像提供了可列印在半導體樣品（例如晶圓）上的遮罩的對應部分的結構元素/特徵的資訊。

【0127】 在光微影過程中，晶圓被化學光阻劑覆蓋，所述化學光阻劑回應於吸收能量的總量。如果遮罩被照射高於（或在一些情況下低於）特定強度（從而引起抗蝕劑中的化學變化），則圖案被印刷在晶圓上，此強度位準在下文中被稱為印刷閾值（PT）。

【0128】 現在參考圖12，其中根據當前揭露的標的的某些實施例的基於印刷閾值的通用光微影和圖案轉移製程的示意圖。

【0129】 如圖所示，圖示1200展示了示例性遮罩，所述遮罩包括在照明時透射光的透明區域1202（例如，由石英製成）和阻擋光的不透明區域1204（例如，由鉻製成）。如前述獲得的複數個圖像（俯瞰圖像）指的是藉由收集穿過遮罩的透射光的偵測器擷取的圖像。

【0130】 事實上，製造工具（例如，掃瞄器或步進器）的實際晶圓製造製程包括光微影製程之後的抗蝕劑製程和蝕刻製程。晶圓上塗有光阻劑，所述光阻劑是光敏材料。取決於製程，暴露於光使抗蝕劑的部分硬化或軟化。曝光後，顯影晶圓，根據曝光期間區域接收到的透射光的量（即光強度），使光阻劑溶解在某些區域中。

【0131】 例如，圖示了表示透射光強度的波形1205。如果給定區域的光阻劑在低於特定強度的透射光的情況下曝光，則圖案將被印刷在晶圓上。這些光阻劑區域和無光阻劑區域再現遮罩上的設計圖案。因此，所述特定強度被稱為印刷閾值1205，如圖12所例示。然後將顯影的晶圓暴露於溶劑，溶劑蝕刻掉晶圓不再受光阻劑塗層保護的部分中的矽，從而產生印刷晶圓1208（對於給定層）。

【0132】 因此，在模仿晶圓製造工具的光學配置的光化檢查工具中，波形1205表示將被光化檢查儀器的偵測器擷取以形成第一圖像的透射光。由於在光化檢查工具中，偵測器取代了晶圓，並且沒有實際的抗蝕劑和蝕刻過程，因此為了獲得類似於印刷晶圓的圖像，需要將印刷閾值1205應用於俯瞰圖像以模仿抗蝕劑與蝕刻製程的效果，從而產生與晶圓1208上的印刷圖案類似的二元圖像。具體而言，二元圖像提供了可印刷在晶圓上的遮罩的複數個結構元件的資訊。

【0133】 需要注意的是，儘管在本示例中，低於印刷閾值的圖案被示為可印刷在晶圓上（即，正抗蝕劑），但這並

不一定如此。在其他一些情況下，情況可能相反，即高於印刷閾值的圖案可印刷在晶圓上（即，負抗蝕劑）。本案內容不限於用於呈現可印刷特徵的特定抗蝕劑製程或印刷閾值的特定應用。

【0134】 根據某些實施例，可以在應用於圖像庫之前初步校準印刷閾值（304），如圖3所示。

【0135】 在一些實施例中，可以根據具有已知尺寸的代表性圖案（例如，從「設計意圖」CAD剪輯中選擇的圖案）計算PT。在一些情況下，代表性圖案應足夠長以能夠在其中多個位置上計算和平均PT，從而減少工具雜訊並且提供高準確度的PT計算。

【0136】 例如，在獲得代表性圖案的俯瞰圖像後，遮罩檢查工具可以模擬晶圓抗蝕劑，以便將俯瞰圖像轉換成具有與對應CAD資料中的「設計意圖」相對應的寬度和長度的二元圖像。可以對沿代表性圖案長度的所有圖元計算灰階（GL）閾值，而PT可以被計算為平均（例如，最小、最大、平均、中位數或其他基於統計的）GL閾值。可選地，可以藉由基於曝光條件的進一步校準及/或基於訊框中的位置的校準來提高PT的準確度。

【0137】 現在參考圖11，其中圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的二元缺陷圖像、二元參考圖像及其差分圖像的示例。

【0138】 參考圖10描述的圖像1004是參考方塊204獲取的來自缺陷圖像庫的缺陷圖像。圖像1103是缺陷圖像

1004的參考圖像。例如，如圖7所例示，圖像1004和圖像1103可以是來自相同聚焦位準的缺陷圖像庫702和參考圖像庫704的一對圖像710。

【0139】 圖像1102是藉由在缺陷圖像1004上應用印刷閾值而獲得的二元缺陷圖像。圖像1104是藉由在參考圖像1103上應用印刷閾值而獲得的二元參考圖像。可以在所辨識的目標區域1008處比較兩個二元圖像（例如，藉由從一個減去另一個），從而產生表示目標區域內的差異的二元差分圖像1106。如圖所示，二元差分圖像1106中的差異/偏差指示兩個圖像中線結構的邊緣/輪廓之間的邊緣位置位移（EPD）。

【0140】 在一些情況下，從二元圖像獲得的差異可能相當細微，並且可能與隨機邊緣粗糙度混合在一起。應當注意的是，EPD缺陷與邊緣粗糙度（可能由製造製程中的不同變化引起）至少在以下態樣不同：i）EPD是局部的（存在於輪廓的局部位置），而邊緣粗糙度是一直沿邊緣存在的；及ii）與沿邊緣的細微粗糙度的幅度相比，EPD的幅度相對更顯著（即，更強/更大）。

【0141】 為了驗證所辨識差異的有效性，可以藉由比較缺陷圖像1004和參考圖像1103來匯出GL差分圖像1108。GL差分圖像1108可用於驗證二元差分圖像中指示的差異確實與GL差分圖像中所示的EPD缺陷相關聯。

【0142】 應當注意，在一些實施例中，缺陷圖像和對應的參考圖像應在比較之前被配準（例如，使用如前述的圖像

配準演算法中的任一者）。替代地，在一些實施例中，可以跳過配準。例如，在可以估計缺陷圖像與參考圖像之間可能不存在實質性偏移的情況下，可以省去配準。

【0143】 圖13圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的二元差分圖像上的EPD測量的示例。如圖所示，將二元差分圖像中兩個邊緣/輪廓之間的最大距離1302測量為對邊緣位移的測量。

【0144】 參考圖11和圖13描述的上述測量過程可以對缺陷圖像庫之每一者缺陷圖像重複進行。具體地，對於複數個聚焦位準之每一者聚焦位準，可以測量在缺陷圖像組之每一者缺陷圖像與至少一個參考圖像之間的目標區域中匯出的差分圖像中的位移，從而產生對應於缺陷圖像組的位移組。可以基於位移組產生EPD測量結果（例如，藉由對位移組求平均）。

【0145】 在一些實施例中，在給定的聚焦位準，可以將每個缺陷圖像與對應的參考圖像進行比較，如圖7的圖像對710中所例示的。在一些情況下，可以藉由在給定的聚焦位準組合參考圖像組來產生合成參考圖像，從而減少各種隨機雜訊。合成參考圖像可以用作給定聚焦位準下缺陷圖像組中每個缺陷圖像的參考圖像，從而匯出具有改善的SNR的差分圖像。

【0146】 根據某些實施例，可以以與參考方塊208所描述的類似的方式為複數個聚焦位準中的參考圖像庫決定最佳聚焦。回應於參考圖像的最佳聚焦與缺陷圖像的最佳聚焦

之間的偏移，可以基於所述偏移將參考圖像和缺陷圖像的相應聚焦位準相關聯。圖14圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的示例性情況，其中缺陷圖像庫的最佳聚焦1102從參考圖像庫的最佳聚焦1104偏移。在這種情況下，從最佳聚焦位準開始，可以將來自缺陷圖像庫和參考圖像庫的相應聚焦位準相關聯。針對給定聚焦位準的缺陷圖像，用於比較的參考圖像取自相關聯的聚焦位準。

【0147】 一旦針對每個聚焦位準獲得了EPD測量結果，就可以提供複數個EPD測量結果，對應於聚焦製程窗口中的複數個聚焦位準。圖15圖示根據當前揭露的標的的某些實施例的與複數個聚焦位準相對應的多個EPD測量結果的示例性繪圖表示。如前述，可能期望檢查遮罩上的電路圖案可以如何回應製程窗口內不同聚焦位準的變化。EPD測量結果估計可以為使用者提供關於製程窗口中不同聚焦位準可以如何影響晶圓良率的資訊。在一些情況下，此類繪圖可以呈現在GUI 124上。可選地，在製程窗口中不同聚焦位準的EPD測量結果之間存在相對較大差異（相對於變化閾值）的情況下，EPD缺陷可以被標記為缺陷以供使用者進一步審查。可選地，在不同聚焦位準的EPD測量結果超過相應預定義的EPD閾值的情況下，EPD缺陷可以被標記為缺陷以供使用者進一步審查。

【0148】 EPD測量結果可以被遮罩檢查工具120及/或包含在遮罩檢查系統100中的一或多個檢查模組用於遮罩的進一步檢查，諸如例如額外的缺陷偵測、缺陷審查、缺陷

分類、計量相關操作（例如，CD測量結果）及/或任何其他檢查操作。

【0149】 如上文參考方塊302所述，可針對來自從指示遮罩上的候選缺陷分佈的缺陷圖選擇的候選缺陷列表中的一或多個額外候選缺陷重複參考圖2之過程。在一些實施例中，可以預定義遮罩上待檢查的感興趣區域（ROI），並且可以使用上述過程來檢查ROI中的一或多個候選缺陷。在一些情況下，ROI可以定義為整個遮罩，而在另一些情況下，ROI可以定義為遮罩的一部分。

【0150】 應當注意的是，雖然參考圖2描述的遮罩檢查過程是使用如圖6所示的多晶粒遮罩的示例來例示的，但這決不旨在以任何方式限制本案內容。應當理解，所提出的方法和系統可以類似地應用於前述的單晶粒遮罩。

【0151】 例如，對於位於單個晶粒中的檢查區域中的候選缺陷，可以將來自與檢查區域共享相同設計圖案的同一晶粒的一或多個參考區域用作用於比較的參考。單晶粒遮罩中的參考區域可以藉由多種方式辨識。晶粒（或其（多個）部分）的設計資料可以包括具有特定幾何結構和排列的各種設計圖案。

【0152】 在一些實施例中，可以接收單晶粒遮罩的設計資料，並且可以擷取複數個設計群組，每個設計群組對應於具有相同設計圖案的一或多個晶粒區域。因此，可以辨識晶粒中對應於相同設計圖案的區域。需要注意的是，當設計模式是相同的，或是高度相關的，或是彼此相似的時，

它們可以被認為是「相同」的。可以應用各種相似性測量和演算法來匹配和聚類相似的設計模式，並且本案內容不應被解釋為受限於用於匯出設計群組的任何特定測量。設計群組的聚類（即，從CAD資料到複數個設計群組的劃分）可以預先執行，或者由PMC 102作為當前檢查過程的初步步驟執行。

【0153】 可選地，在一些實施例中，回應於EPD測量結果，可以進一步決定如何回應EPD缺陷，例如，是否接受遮罩、修復遮罩或拒絕遮罩。例如，這可以藉由例如評估EPD缺陷在被印刷後是否會影響使用遮罩製造的半導體樣品的功能來完成。在一些情況下，回應於EPD缺陷存在的可能的處理操作可以包括以下各項中的一項或多項：修復遮罩，將遮罩定義為有缺陷的遮罩，將遮罩定義為功能性的，產生遮罩的修復指示等。例如，如果這些EPD缺陷不可接受，則可以將遮罩發送到遮罩車間進行修復或拒收。

【0154】 可選地，在一些實施例中，可以提供以下輸出/指示中的至少一個或其任何組合：（i）提供對要從遮罩車間出貨的遮罩的合格標準；（ii）為遮罩產生過程提供輸入；（iii）為半導體樣品製造製程提供輸入；（iv）為光微影製程中使用的模擬模型提供輸入；（v）為光微影工具提供校正圖；及（vi）辨識遮罩上以大於預期的CD變化為特徵的區域。

【0155】 應當注意的是，適用於當前揭露的檢查過程的遮罩可以是任何種類的遮罩，包括但不限於記憶體遮罩及/或

邏輯遮罩，及/或ArF遮罩及/或EUV遮罩等。本案內容不限於待檢查的遮罩的特定類型或功能。

【0156】 根據某些實施例，上文參考圖2、圖3和圖4之遮罩檢查過程可以被包括作為可由系統101及/或檢查工具120用於運行時線上遮罩檢查的檢查配方的一部分。因此，當前揭露的標的還包括用於在配方設置階段產生檢查配方的系統和方法，其中所述配方包括參考圖2、圖3和圖4（及其各種實施例）所述的步驟。應當注意的是，術語「檢查配方」應被廣泛地解釋為涵蓋可以被檢查工具用於執行與任何類型的遮罩檢查相關的操作的任何配方，包括如前述的實施例。

【0157】 應當注意的是，本案內容中所示的示例，諸如例如，遮罩檢查工具架構和配置、遮罩類型及/或佈局、示例性圖像庫、製程窗口和聚焦位準以及上述圖像圖案等，都是出於例示目的而示出的，而不應被視為以任何方式限制本案內容。其他適當的示例/實施方式可以用來補充或代替上述內容。

【0158】 本文所述的遮罩檢查過程的某些實施例的優點在於，對於給定的候選缺陷，用於EPD測量的圖像（例如，缺陷圖像庫）由獲取原始缺陷圖像的同一檢查工具獲取，從而避免了不同工具中座標系的差異，並且最小化與工具相關聯的導航誤差，從而提高測量結果的準確度。此外，使用一個檢查工具而不是兩個工具（例如，一個檢查工具

用於擷取原始缺陷圖像，以及一個計量工具用於重新擷取新圖像進行測量）可以顯著降低檢查成本並提高產量。

【0159】 此外，在EPD估計過程中，原始缺陷圖像是可獲得的，並且用於與新擷取的缺陷圖像庫對準，以便辨識與原始缺陷圖元相對應的準確目標區域，這進一步確保了EPD測量的位置的準確度。

【0160】 遮罩檢查過程的某些實施例的額外優點包括在整個製程窗口中跨不同聚焦位準獲取圖像庫，使得能夠估計遮罩上的電路圖案可以如何回應於不同聚焦位準的變化（例如，藉由估計指示與不同聚焦位準相關聯的印刷誤差的EPD測量結果）並且提供關於不同參數可以如何影響整個製程窗口中的晶圓良率的指示。

【0161】 此外，在每個給定聚焦位準處擷取圖像組（特別是缺陷圖像組或參考圖像組中的多個圖像）的選項可以有效地抑制所獲取圖像中的隨機雜訊並且減少所產生的差分圖像中的誤報，從而提高了EPD測量的偵測靈敏度和準確度。

【0162】 此外，決定複數個聚焦位準中的最佳聚焦可以辨識每個圖像庫的實際最佳聚焦（其可以相對於各種因素變化，諸如不同的圖像圖案）從而重新校準製程窗口的範圍。來自最佳聚焦位準的圖像用於與原始缺陷圖像對準，這進一步確保了配準的準確度和執行EPD測量的目標區域的辨識。

【0163】 應當理解，本案內容的應用不限於本文所包括的描述中闡述的或附圖中所示的細節。

【0164】 還應當理解，根據本案內容的系統可以至少部分地在適當程式設計的電腦上實現。同樣，本案內容設想了一種電腦程式，所述電腦程式可由電腦讀取以用於執行本案內容的方法。本案內容還設想了非暫時性電腦可讀記憶體，其有形地體現可以由電腦執行以執行本案內容的方法的指令程式。

【0165】 本案內容能夠具有其他實施例並且能夠以各種方式進行實踐和執行。因此，應當理解，本文所用的表述和術語是為了描述目的而不應被視為限制。因此，熟習此項技術者將理解，本案內容所基於的構思可以容易地用作設計用於執行當前揭露的標的的若干目的的其他結構、方法和系統的基礎。

【0166】 熟習此項技術者將容易理解，在不脫離由所附申請專利範圍限定的本案內容的範圍的情況下，可以將各種修改和改變應用於如前述的本案內容的實施例。

【符號說明】

【0167】

100：檢查系統

101：基於電腦的系統

102：PMC

104：影像處理模組

106：對準

108：測量模組

120：遮罩檢查工具

122：儲存單元

124：圖形化使用者介面（GUI）

126：I/O介面

202：方塊

204：方塊

208：方塊

210：方塊

212：方塊

302：方塊

304：方塊

400：方塊

402：方塊

404：方塊

406：方塊

408：方塊

500：光化檢查工具

502：照明源

504：照明光學裝置

506：遮罩保持器

508：投影光學裝置

510：偵測器

512：晶圓支架

514：遮罩圖像

516：圖像

520：光微影工具

600：多晶粒遮罩

602：給定候選缺陷

604：缺陷圖像

606：參考圖像

608：檢查圖像

700：聚焦製程窗口

702：缺陷圖像庫

704：參考圖像庫

706：聚焦步長

708：填充範圍

710：一對圖像

800：最佳聚焦

802：圖像組

902：缺陷圖像

1001：缺陷圖元

1002：原始缺陷圖像

1004：圖像

1006：準確目標圖元

1008：目標區域

1102：圖像

1103：參考圖像

1104:最佳聚焦

1106:二元差分圖像

1108:GL差分圖像

1200:圖示

1202:透明區域

1204:不透明區域

1208:印刷晶圓

1302:最大距離

【生物材料寄存】

國內寄存資訊(請依寄存機構、日期、號碼順序註記)

無

國外寄存資訊(請依寄存國家、機構、日期、號碼順序註記)

無

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種檢查可用於製造半導體樣品的遮罩的電腦化系統，所述系統包括：

檢查工具，所述檢查工具被配置成：

提供從所述遮罩的初步檢查產生的包括表示候選缺陷的一或多個缺陷圖元的原始缺陷圖像，以及所述候選缺陷在所述遮罩上的位置；並且

基於所述位置，在整個聚焦製程窗口中的複數個聚焦位準處獲取所述候選缺陷的缺陷圖像庫和參考圖像庫，所述缺陷圖像庫包括在每個聚焦位準獲取的缺陷圖像組，並且所述參考圖像庫包括在每個聚焦位準獲取的參考圖像組；及

處理和記憶體電路系統（PMC），所述PMC可操作地連接至所述檢查工具並且被配置成：

在所述複數個聚焦位準中決定最佳聚焦，並且基於所述最佳聚焦處的所述缺陷圖像組來產生合成缺陷圖像；

將所述原始缺陷圖像與所述合成缺陷圖像對準，以辨識所述合成缺陷圖像中與所述一或多個缺陷圖元相對應的一或多個目標圖元的區域；並且

針對每個聚焦位準，基於所辨識的區域來提供指示在所述聚焦位準處所述缺陷圖像組與從所述參考圖像組匯出的至少一個參考圖像之間的位移的測量，從而產生對應於所述複數個聚焦位準的複數個測量結果。

【請求項2】 根據請求項1之電腦化系統，其中所述候選缺陷來自從指示所述遮罩或其部分上的候選缺陷分佈的缺陷圖選擇的候選缺陷列表。

【請求項3】 根據請求項1之電腦化系統，其中所述檢查工具被進一步配置成校準印刷閾值（PT），並且所述提供測量包括在所述聚焦位準將所述 PT 應用於所述缺陷圖像組和所述參考圖像組，從而產生二元缺陷圖像組和二元參考圖像組，並且基於所述二元缺陷圖像組和所述二元參考圖像組來執行所述測量。

【請求項4】 根據請求項1之電腦化系統，其中所述缺陷圖像庫和所述參考圖像庫是藉由將所述候選缺陷放置在所述檢查工具的視場（FOV）中的最佳位置來獲取的，其中選擇所述最佳位置以至少減少由 FOV 失真引起的雜訊。

【請求項5】 根據請求項1之電腦化系統，其中所述複數個聚焦位準進一步包括擴展所述聚焦製程窗口的一或多個聚焦位準。

【請求項6】 根據請求項1之電腦化系統，其中所述對準進一步包括驗證被包括在所述合成缺陷圖像中的圖案的可配準性，並且基於所述驗證來決定所述合成缺陷圖像中的所述區域。

【請求項7】 根據請求項6之電腦化系統，其中所述可配準性驗證包括以相應偏移量將所述圖案朝一組方向偏移，以獲得經偏移圖像組，在所述合成缺陷圖像與所述經偏

移圖像組之間執行圖像配準，並且基於所述圖像配準的結果來決定所述可配準性。

【請求項8】 根據請求項1之電腦化系統，其中所述PMC被進一步配置成針對所述參考圖像庫決定所述複數個聚焦位準中的最佳聚焦，並且回應於所述參考圖像的最佳聚焦與所述缺陷圖像的最佳聚焦之間的偏移，基於所述偏移來關聯所述參考圖像和所述缺陷圖像的相應聚焦位準。

【請求項9】 根據請求項1之電腦化系統，其中所述至少一個參考圖像是藉由組合所述參考圖像組產生的合成參考圖像。

【請求項10】根據請求項1之電腦化系統，其中所述缺陷圖像組由一個缺陷圖像組成，並且所述合成缺陷圖像是所述缺陷圖像。

【請求項11】根據請求項1之電腦化系統，其中所述提供測量包括測量在所述區域中匯出所述缺陷圖像組的每個缺陷圖像與所述至少一個參考圖像之間的差分圖像的位移，從而產生對應於所述缺陷圖像組的位移組，並且基於所述位移組來產生所述測量結果。

【請求項12】根據前述請求項中任一項所述的電腦化系統，其中所述遮罩是多晶粒遮罩，所述缺陷圖像庫是針對位於檢查晶粒中的所述候選缺陷而擷取的，並且所述參考圖像庫是從參考晶粒中的對應位置擷取的。

【請求項13】根據請求項1至11中任一項所述的電腦化

系統，其中所述遮罩是單晶粒遮罩，並且所述缺陷圖像庫和所述參考圖像庫是從共用相似設計圖案的同一晶粒中的不同區域獲取的。

【請求項14】根據請求項1至11中任一項所述的電腦化系統，其中針對來自從指示所述遮罩或其部分上的候選缺陷分佈的缺陷圖選擇的候選缺陷列表中的一或多個額外候選缺陷，重複所述提供原始缺陷圖像、獲取、決定、對準、以及提供測量的步驟。

【請求項15】根據請求項1至11中任一項所述的電腦化系統，其中所述檢查工具是被配置成模擬可用於製造所述半導體樣品的光微影工具的光學配置的光化檢查工具。

【請求項16】一種檢查可用於製造半導體樣品的遮罩的電腦化方法，所述方法由處理和記憶體電路系統（PMC）執行，並且所述方法包括：

從檢查工具中獲取：

從所述遮罩的初步檢查產生的包括表示候選缺陷的一或多個缺陷圖元的原始缺陷圖像，以及所述候選缺陷在所述遮罩上的位置；及

基於所述位置，在整個聚焦製程窗口中的複數個聚焦位準處獲取的所述候選缺陷的缺陷圖像庫和參考圖像庫，所述缺陷圖像庫包括在每個聚焦位準獲取的缺陷圖像組，並且所述參考圖像庫包括在每個聚焦位準獲取的參考圖像組；及

在所述複數個聚焦位準中決定最佳聚焦，並且基於所述最佳聚焦處的所述缺陷圖像組產生合成缺陷圖像；

將所述原始缺陷圖像與所述合成缺陷圖像對準，以辨識所述合成缺陷圖像中與所述一或多個缺陷圖元相對應的一或多個目標圖元的區域；並且

針對每個聚焦位準，基於所辨識的區域來提供指示在所述聚焦位準處所述缺陷圖像組與從所述參考圖像組匯出的至少一個參考圖像之間的位移的測量，從而產生對應於所述複數個聚焦位準的複數個測量結果。

【請求項17】根據請求項16之電腦化方法，進一步包括從所述檢查工具處獲得印刷閾值（PT），並且其中所述提供測量包括在所述聚焦位準將所述PT應用於所述缺陷圖像組和所述參考圖像組，從而產生二元缺陷圖像組和二元參考圖像組，並且基於所述二元缺陷圖像組和所述二元參考圖像組來執行所述測量。

【請求項18】根據請求項16之電腦化方法，其中所述對準進一步包括驗證被包括在所述合成缺陷圖像中的圖案的可配準性，並且基於所述驗證來決定所述合成缺陷圖像中的所述區域。

【請求項19】根據請求項18之電腦化方法，其中所述可配準性驗證包括以相應偏移量將所述圖案朝一組方向偏移，以獲得經偏移圖像組，在所述合成缺陷圖像與所述經偏移圖像組之間執行圖像配準，並且基於所述圖像配準的結果來決定所述可配準性。

【請求項20】根據請求項16至19中任一項所述的電腦化方法，其中所述遮罩是多晶粒遮罩，所述缺陷圖像庫是針對位於檢查晶粒中的所述候選缺陷而擷取的，並且所述參考圖像庫是從參考晶粒中的對應位置擷取的。

【請求項21】根據請求項16至19中任一項所述的電腦化方法，其中所述遮罩是單晶粒遮罩，並且所述缺陷圖像庫和所述參考圖像庫是從共用相似設計圖案的同一晶粒中的不同區域獲取的。

【請求項22】一種有形地體現指令程式的非暫時性電腦可讀取儲存媒體，該等指令程式在由電腦執行時，使得所述電腦執行請求項16至21中任一項所述的方法。

(發明圖式)

00
10
通信介面(120)
儲存單元(122)
CPU(124)
顯示器(126)
輸入裝置(128)
資料庫(130)
資料庫(132)
資料庫(134)
資料庫(136)

圖1

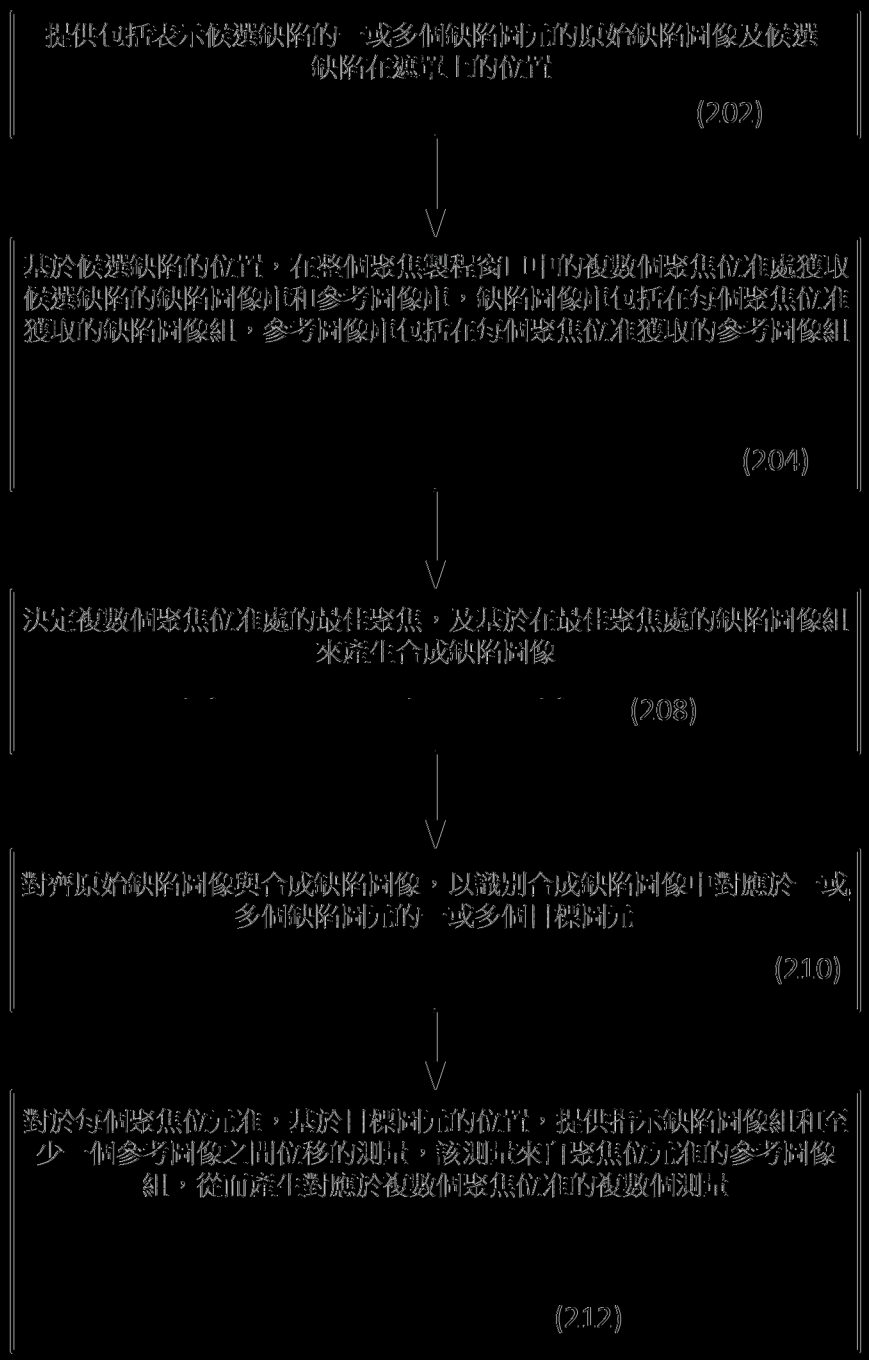
提供包括表示候選缺陷的一或多個缺陷圖像的原始缺陷圖像及候選缺陷在遮罩上的位置
(202)
基於候選缺陷的位置，在整個聚焦製程窗口中的複數個聚焦位准處獲取候選缺陷的缺陷圖像庫和參考圖像庫，缺陷圖像庫包括在每個聚焦位准獲取的缺陷圖像組，參考圖像庫包括在每個聚焦位准獲取的參考圖像組
(204)
決定複數個聚焦位准處的最佳聚焦，及基於在最佳聚焦處的缺陷圖像組來產生合成缺陷圖像
(208)
對齊原始缺陷圖像與合成缺陷圖像，以識別合成缺陷圖像中對應於一或多個缺陷圖案的一或多個目標圖案
(210)
對於每個聚焦位准，基於目標圖案的位置，提供指示缺陷圖像組和至少一個參考圖像之間位移的測量，該測量來自聚焦位准的參考圖像組，從而產生對應於複數個聚焦位准的複數個測量
(212)

圖2

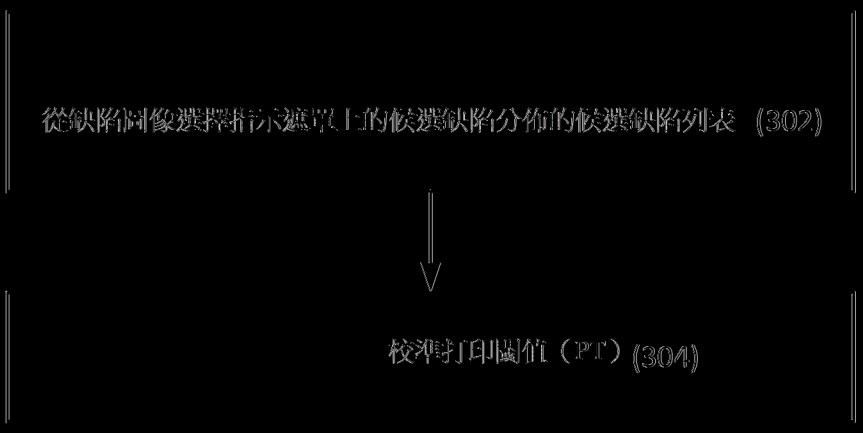
從缺陷圖像選擇指示遮罩上的候選缺陷分布的候選缺陷列表 (302)
校準打印機台（PT）(304)

圖3


驗證合成缺陷圖像中所包含的圖案的可配准性 (400)
以相應偏移量將圖案朝一組方向偏移，以獲得經偏移圖像組 (402)
在合成缺陷圖像與經偏移圖像組之間執行圖像配准 (404)
基於圖像配准的結果決定可配准性 (406)
基於驗證決定合成缺陷圖像中的目標區域以識別目標圖元(408)

圖4

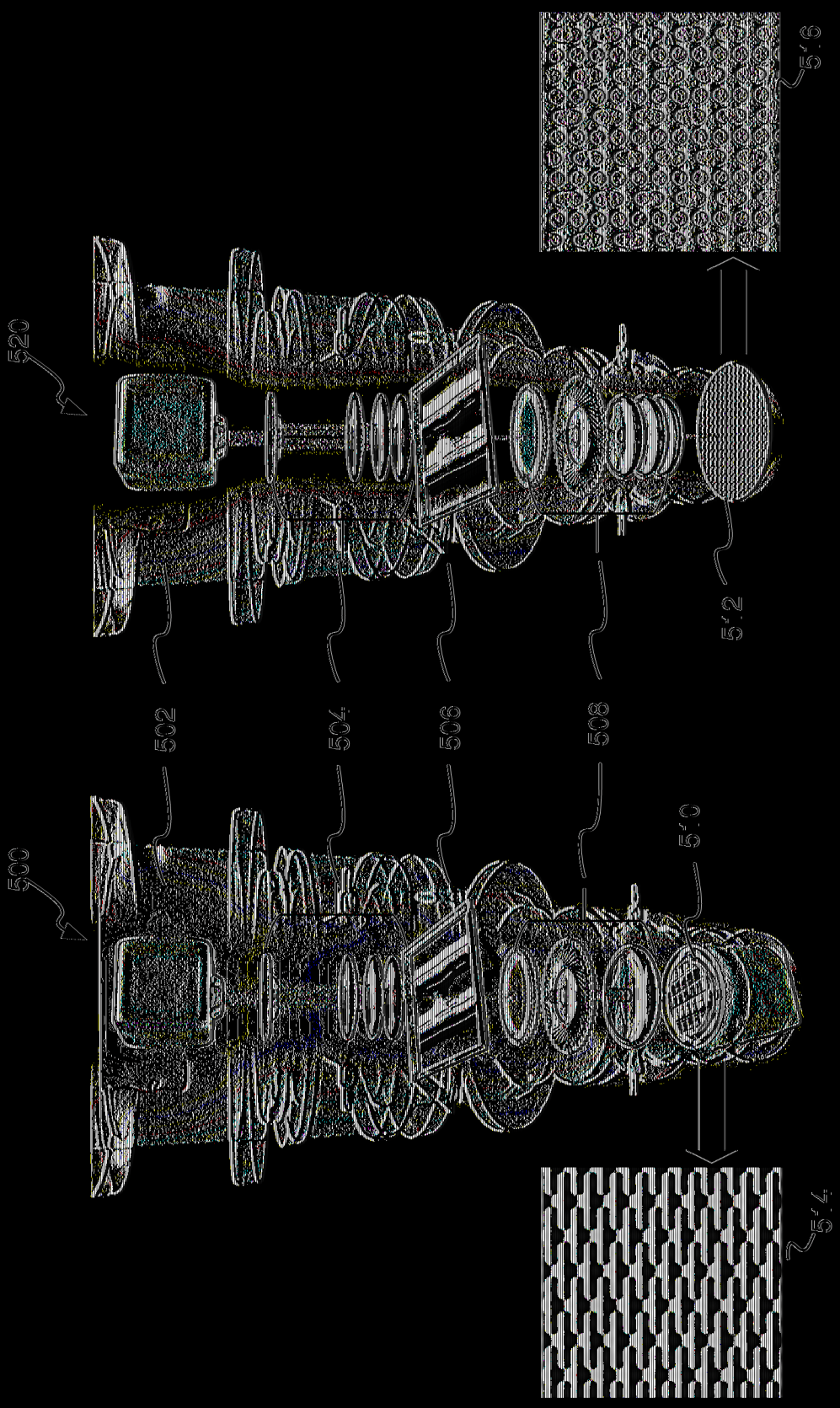

圖5

608
602
600
604
606
圖6

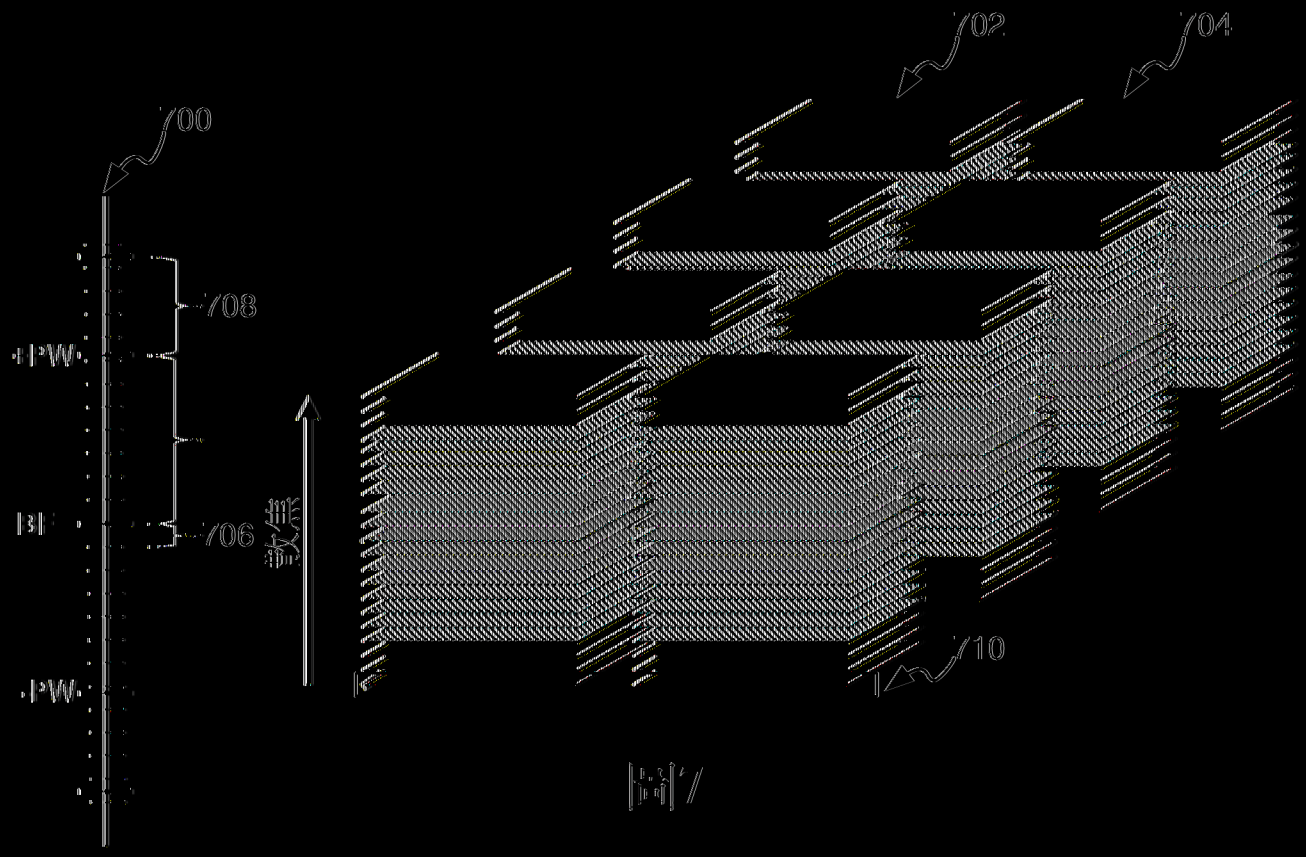

圖7

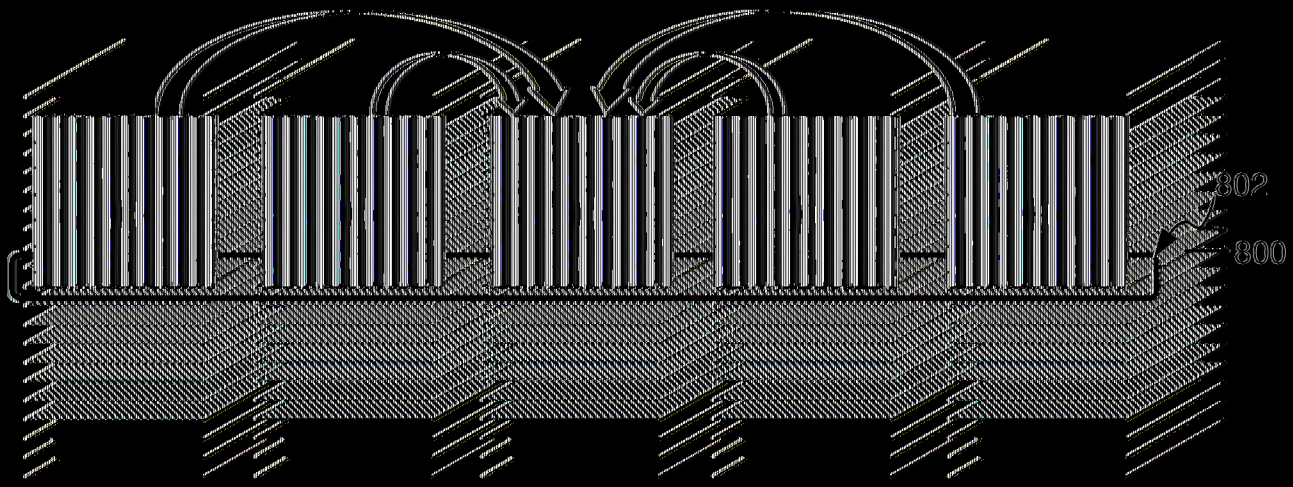

圖8

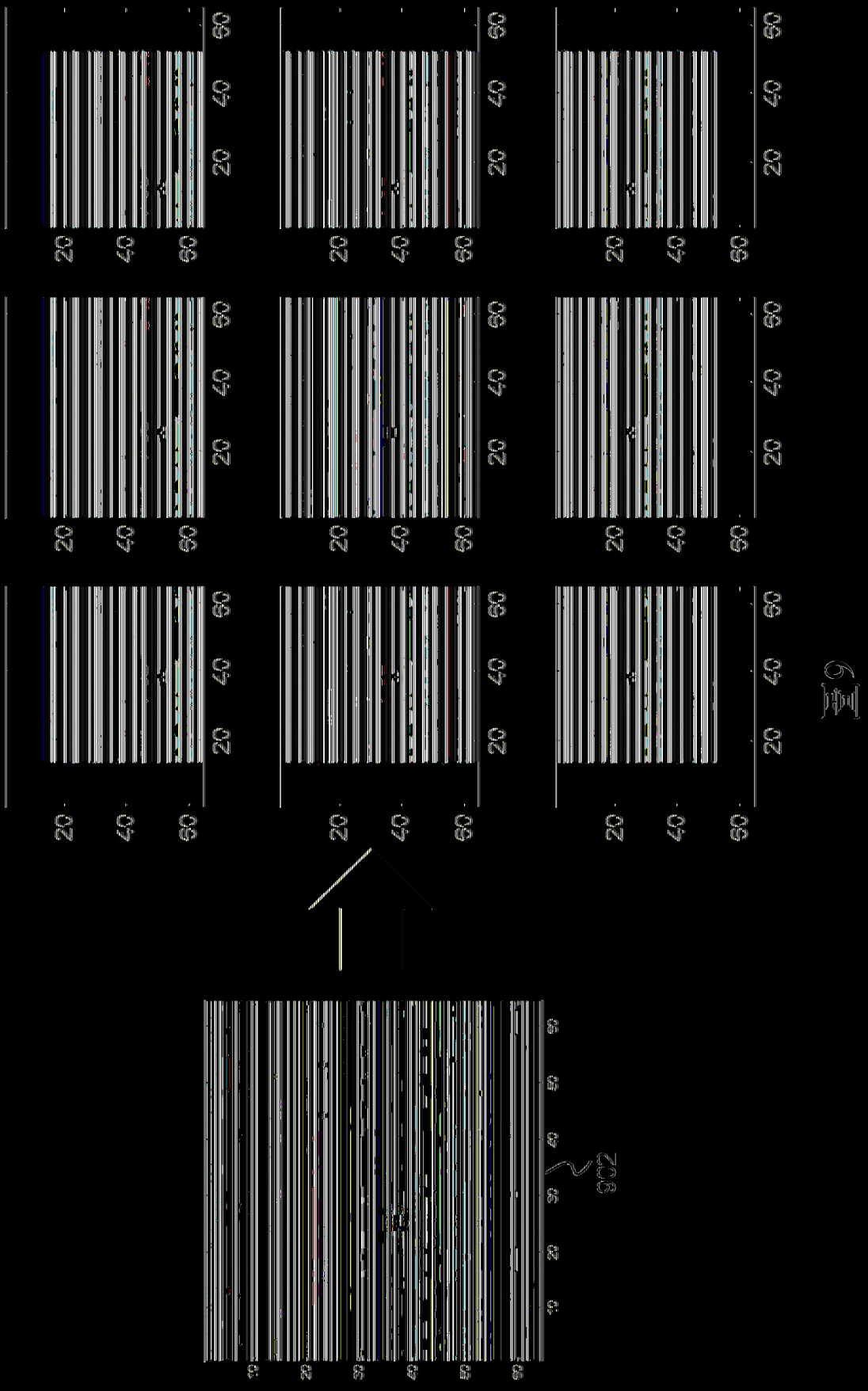

圖6

圖 6

202
402
602
802
1002
1202
202 402 602 802 1002 1202
88
86
84
82
94
92
圖

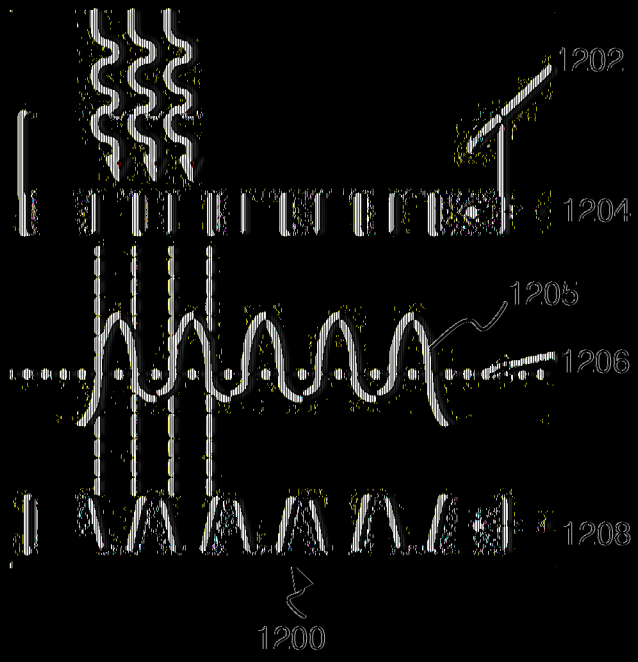
1202
1204
1205
1206
1208
1200

圖12

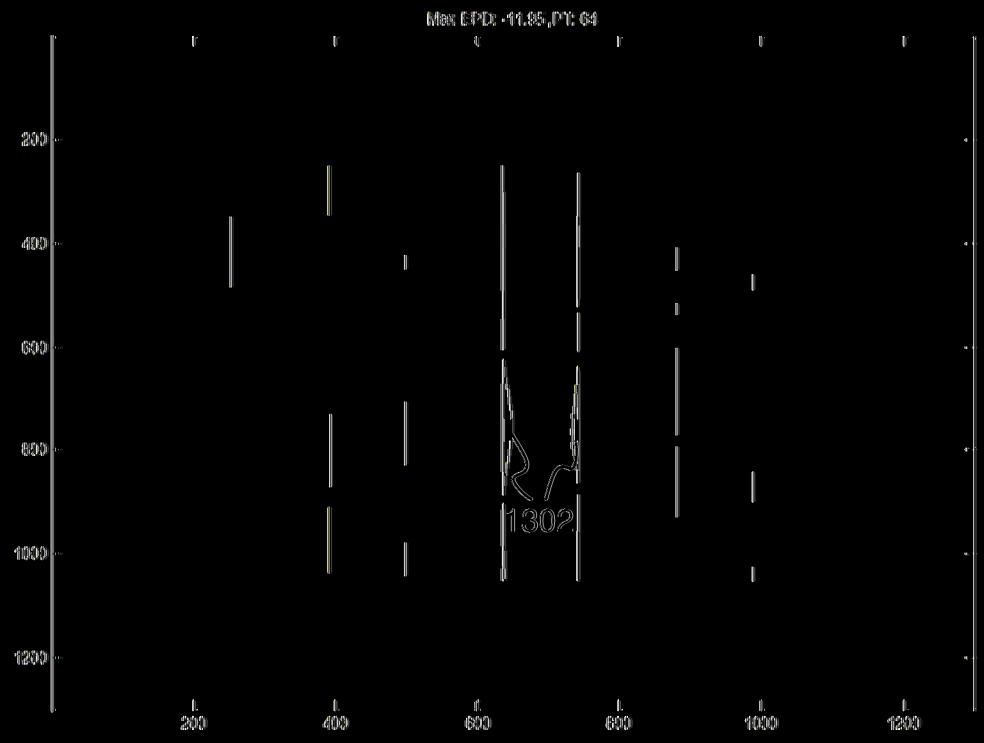
Max BPD: -11.95,PT: 64
200
400
600
800
1000
1200
1302
200
400
600
800
1000
1200

圖13

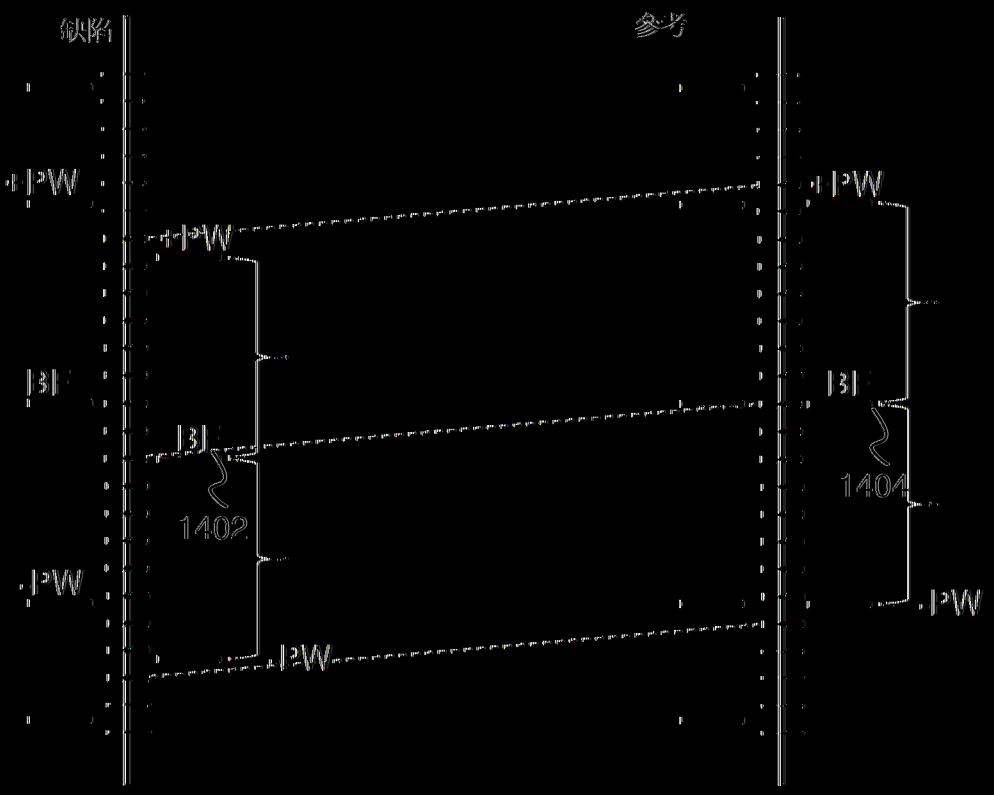

圖14

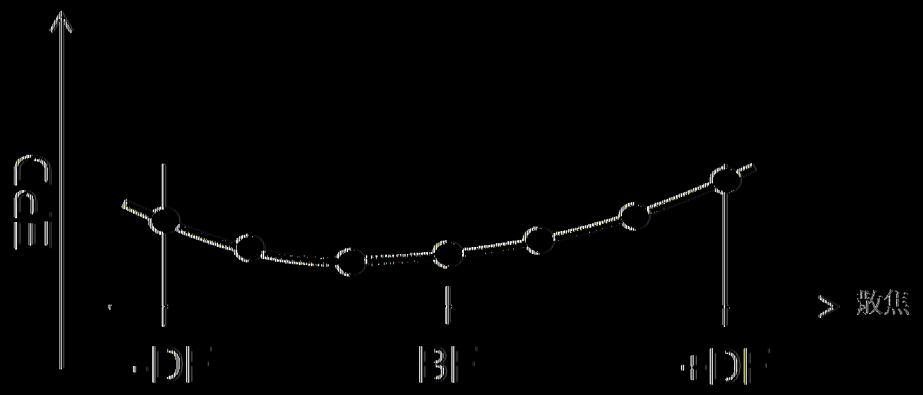

圖15