



(21) 申請案號：111127705

(22) 申請日：中華民國 111 (2022) 年 07 月 25 日

(51) Int. Cl. : G03F1/22 (2012.01) G03F1/82 (2012.01)

(30) 優先權：2021/07/26 美國 63/203,507

(71) 申請人：美商蘭姆研究公司 (美國) LAM RESEARCH CORPORATION (US)
美國(72) 發明人：陳 暹華 TAN, SAMANTHA SIAMHWA (US) ; 李達 LI, DA (CN) ; 游 正義 YU,
JENGYI (US) ; 金志妍 KIM, JI YEON (KR) ; 潘 陽 PAN, YANG (SG)

(74) 代理人：許峻榮

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：20 項 圖式數：7 共 49 頁

(54) 名稱

用以改善含金屬光阻的乾式顯影效能之多步驟曝光後處理

(57) 摘要

本文中所述之各種實施例係有關用於處理含金屬光阻以修改光阻之材料性質之方法、設備及系統。含金屬光阻可在涉及至少二熱操作之曝光後烘烤製程中進行處理。曝光後烘烤操作其中至少一者包括，在富含氧的環境中使含金屬光阻暴露至適度提高的溫度。接著進行之曝光後烘烤操作包括，在惰性氣體環境中使含金屬光阻暴露至高度提高的溫度。該多步驟曝光後烘烤操作改善了在後續乾式顯影製程中之蝕刻選擇性。

Various embodiments described herein relate to methods, apparatus, and systems for treating metal-containing photoresist to modify material properties of the photoresist. The metal-containing photoresist may be treated in a post-exposure bake process involving at least two thermal operations. At least one of the post-exposure bake operations includes exposing the metal-containing photoresist to a moderately elevated temperature in an oxygen-rich atmosphere. This is followed by a post-exposure bake operation that includes exposing the metal-containing photoresist to a highly elevated temperature in an inert gas atmosphere. The multi-step post-exposure bake operations improves etch selectivity in a subsequent dry development process.

指定代表圖：

符號簡單說明：

301:基板

302a:光阻

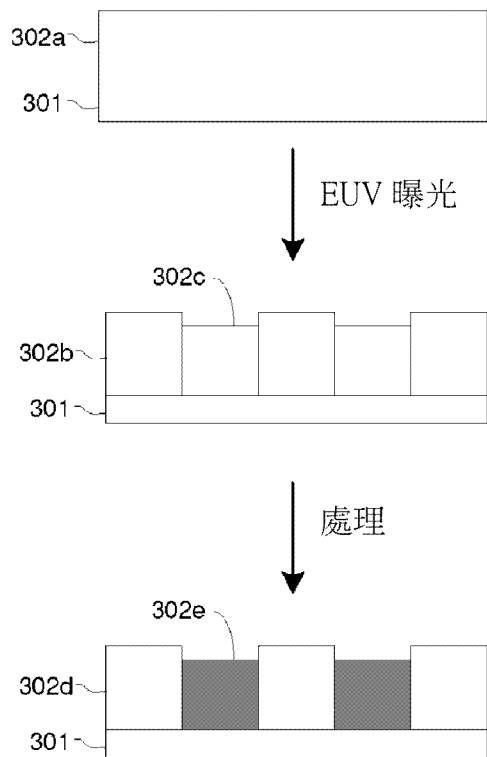
302b:未曝光部分

302c:已曝光部分

302d:未曝光部分之修改版本

302e:已曝光部分之修改版本

圖 3



【發明摘要】

【中文發明名稱】用以改善含金屬光阻的乾式顯影效能之多步驟曝光後處理

【英文發明名稱】MULTI-STEP POST-EXPOSURE TREATMENT TO IMPROVE DRY DEVELOPMENT PERFORMANCE OF METAL-CONTAINING RESIST

【中文】

本文中所述之各種實施例係有關用於處理含金屬光阻以修改光阻之材料性質之方法、設備及系統。含金屬光阻可在涉及至少二熱操作之曝光後烘烤製程中進行處理。曝光後烘烤操作其中至少一者包括，在富含氧的環境中使含金屬光阻暴露至適度提高的溫度。接著進行之曝光後烘烤操作包括，在惰性氣體環境中使含金屬光阻暴露至高度提高的溫度。該多步驟曝光後烘烤操作改善了在後續乾式顯影製程中之蝕刻選擇性。

【英文】

Various embodiments described herein relate to methods, apparatus, and systems for treating metal-containing photoresist to modify material properties of the photoresist. The metal-containing photoresist may be treated in a post-exposure bake process involving at least two thermal operations. At least one of the post-exposure bake operations includes exposing the metal-containing photoresist to a moderately elevated temperature in an oxygen-rich atmosphere. This is followed by a post-exposure bake operation that includes exposing the metal-containing photoresist to a highly elevated temperature in an inert gas atmosphere. The multi-step post-exposure bake operations improves etch electivity in a subsequent dry development process.

【指定代表圖】 圖 3

【代表圖之符號簡單說明】

301:基板

302a:光阻

302b:未曝光部分

302c:已曝光部分

302d:未曝光部分之修改版本

302e:已曝光部分之修改版本

【發明說明書】

【中文發明名稱】用以改善含金屬光阻的乾式顯影效能之多步驟曝光後處理

【英文發明名稱】MULTI-STEP POST-EXPOSURE TREATMENT TO IMPROVE DRY DEVELOPMENT PERFORMANCE OF METAL-CONTAINING RESIST

【技術領域】

【0001】本文中之實行例係關於光阻材料之處理，具體而言，關於在半導體製造中、在曝光之後之含金屬的光阻材料之處理。

【先前技術】

【0002】半導體元件（例如，積體電路）之製造為涉及光微影之多步驟處理。通常，該處理包括在晶圓上沉積材料，並且透過微影技術對材料進行圖案化以形成半導體元件之結構特徵部（例如，電晶體及電路）。此項技術領域中已知之典型光微影處理之步驟包括：準備基板；施加光阻，例如藉由旋轉塗佈；使光阻暴露於具有期望圖案之光，使得光阻之曝光區域變得更加可溶或更不可溶於顯影劑溶液；藉由施加顯影劑溶液而進行顯影，以去除光阻之已曝光或未曝光區域；以及後續處理，以在基板之已去除光阻之區域上產生特徵部，例如藉由蝕刻或材料沉積。

【0003】半導體設計之發展已產生在半導體基板材料上形成越來越小的特徵部之需求，且已被該能力所推動。此技術發展已在「摩爾定律（Moore's law）」中被描述為每兩年在密集積體電路中之電晶體密度之倍增。確實，晶片設計及製造已進步，以致現代微處理器可在單一晶片上含有數十億個電晶體及其它電路特徵部。這類晶片上之個別特徵部可為 22 奈米（nm）或更小之等級，在一些例子中小於 10 nm。

【0004】製造具有這類小特徵部之元件中之一挑戰為，能夠可靠且可再現地產生具有足夠解析度之光微影遮罩。目前的光微影處理通常使用 193 nm 紫外線 (UV) 光以使光阻曝光。光波長明顯大於特徵部 (將在半導體基板上產生) 之期望尺寸會產生固有的問題。達到小於光波長之特徵部尺寸會需使用複雜的解析度增強技術，例如多重圖案化。因此，有極大興趣及研究致力於開發使用具有 10 nm 至 15 nm (例如，13.5 nm) 波長之較短波長光 (例如，極紫外輻射 (EUV)) 之光微影技術。

【0005】然而，EUV 光微影處理可能帶來挑戰，包括在圖案化期間之低功率輸出及光之損失。傳統有機化學放大光阻 (CAR) (類似於使用於 193 nm UV 微影的那些) 在使用於 EUV 微影時具有潛在的缺點，尤其是因為其在 EUV 區域中具有低吸收係數，且經光活化的化學物種之擴散可導致模糊或線邊緣粗糙度。此外，為了提供對下方元件層進行圖案化所需之蝕刻抗性，在習知 CAR 材料中所圖案化之小特徵部可能導致具有圖案倒塌風險之高深寬比。因此，仍然需要改良的 EUV 光阻材料，其具有例如厚度降低、更大的吸收率及更大的蝕刻抗性之這類特性。

【0006】本文中所提出之先前技術大致上用於呈現本揭示內容之背景。在此先前技術部分中所述之本案發明人之成果範圍、以及不適格做為申請時之先前技術之實施態樣，皆非直接或間接地被承認為對抗本揭示內容之先前技術。

【發明內容】

【0007】本文中提出一種含金屬極紫外線 (EUV) 光阻之處理方法。該方法包括：提供基板在處理腔室中，其中該基板係半導體基板，該半導體基板包括基板層及位在該基板層上方之含金屬 EUV 光阻；在該處理腔室中，使該含金屬 EUV 光阻在含氧環境中暴露至第一提高的溫度；及使該含金屬 EUV 光阻在惰性

氣體環境中暴露至第二提高的溫度，其中該第二提高的溫度係大於該第一提高的溫度。

【0008】 在一些實行例中，該含金屬 EUV 光阻包括複數 EUV 曝光部分及複數 EUV 未曝光部分，其中在該含氧環境中暴露至該第一提高的溫度及在該惰性氣體環境中暴露至該第二提高的溫度係增加在後續乾式顯影處理中在該等 EUV 曝光部分與該等 EUV 未曝光部分之間之蝕刻選擇性。在一些實行例中，在該含氧環境中暴露至該第一提高的溫度及在該惰性氣體環境中暴露至該第二提高的溫度係在該後續乾式顯影處理中減少線邊緣粗糙度（LER）並且減少劑量對尺寸（DtS，dose to size）。在一些實行例中，該方法更包括：在提供該基板在該處理腔室中之前，使該含金屬 EUV 光阻暴露至 EUV 輻射，以便形成該等 EUV 曝光區域及該等 EUV 未曝光區域。在一些實行例中，在暴露至 EUV 輻射與暴露至該第一提高的溫度之間之第一等候時間係小於大約 20 分鐘，在暴露至該第一提高的溫度與暴露至該第二提高的溫度之間之第二等候時間係小於大約 1 小時。在一些實行例中，該第一提高的溫度係介於大約 150°C 與大約 220°C 之間，該第二提高的溫度係介於大約 220°C 與大約 250°C 之間。在一些實行例中，該含氧環境包括含氧物種，其中在該含氧環境中之該含氧物種之分壓係至少大約 100 Torr。在一些實行例中，該含氧環境包括氧（O₂）、臭氧（O₃）、水（H₂O）、過氧化氫（H₂O₂）、一氧化碳（CO）、二氧化碳（CO₂）或其組合。在一些實行例中，該惰性氣體環境包括氮（N₂）、氦（He）、氖（Ne）、氬（Ar）、氙（Xe）或其組合。在一些實行例中，該含氧環境及該惰性氣體環境其中每一者係不含或實質上不含水氣（moisture）。在一些實行例中，該含金屬 EUV 光阻係含金屬氧化物 EUV 光阻。在一些實行例中，該含氧環境包括由遠端電漿源所產生之複數氧自由基及離子，用於使該含金屬 EUV 光阻暴露至該等氧自由基及離子。在一些實行例中，使該含金屬 EUV 光阻在該惰性氣體環境中暴露至該第二

提高的溫度係發生在與使該含金屬 EUV 光阻在該含氧環境中暴露至該第一提高的溫度之相同處理腔室。在一些實行例中，該方法更包括：使該含金屬 EUV 光阻暴露至該含氧環境以及使該含金屬 EUV 光阻暴露至該惰性氣體環境之步驟係重複一或多次。在一些實行例中，該方法更包括：使該含金屬 EUV 光阻進行乾式顯影，以選擇性地去除該含金屬 EUV 光阻之複數部分，其中在該含氧環境中暴露至該第一提高的溫度以及在該惰性氣體環境中暴露至該第二提高的溫度係在乾式顯影之前所實施之曝光後烘烤（PEB）操作。

【0009】 本文中亦提出一種用於處理含金屬 EUV 光阻之設備。該設備包括：處理腔室，包括基板支撐件，其中該基板支撐件係用以支撐半導體基板，該半導體基板包括基板層及位在該基板層上方之含金屬 EUV 光阻；處理氣體源，與該處理腔室及相關的氣體流動控制硬體連接；基板熱控制硬體；及控制器。該控制器係配置有複數指令以執行下列操作：在該處理腔室中，使該含金屬 EUV 光阻在含氧環境中暴露至第一提高的溫度；及使該含金屬 EUV 光阻在惰性氣體環境中暴露至第二提高的溫度，其中該第二提高的溫度係大於該第一提高的溫度。

【0010】 在一些實行例中，該第一提高的溫度係介於大約 150°C 與大約 220°C 之間，該第二提高的溫度係介於大約 220°C 與大約 250°C 之間。在一些實行例中，該含氧環境及該惰性氣體環境其中每一者係不含或實質上不含水氣。在一些實行例中，在該含氧環境中之含氧物種之分壓係至少大約 100 Torr。在一些實行例中，該含氧環境包括含氧物種，其中在該含氧環境中之該含氧物種之濃度係至少 20 體積百分比，其中該含氧物種包括氧（O₂）、臭氧（O₃）、水（H₂O）、過氧化氫（H₂O₂）、一氧化碳（CO）、二氧化碳（CO₂）或其組合。

【圖式簡單說明】

【0011】圖 1 提出根據各種實施例之基板處理方法之流程圖。

【0012】圖 2 繪示出根據某些實施例之在數個處理步驟之過程期間之基板，其中使用了施加後處理。

【0013】圖 3 繪示出根據各種實施例之在數個處理步驟之過程期間之基板，其中使用了曝光後處理。

【0014】圖 4 提出根據各種實施例之在多步驟曝光後烘烤處理中之基板處理方法之流程圖。

【0015】圖 5A 繪示出處理腔室，在其中可能發生某些基於熱的步驟。

【0016】圖 5B 繪示出處理腔室，在其中可能發生各種步驟，包括基於熱的步驟以及基於電漿的步驟。

【0017】圖 6 描繪出根據某些實施例之叢集工具，其具有數個不同的模組以執行不同的操作。

【0018】圖 7A-7D 顯示出掃描電子顯微鏡 (SEM) 影像，其繪示出光阻層之未曝光與已曝光部分之間之改善的材料對比及選擇性，其可藉由在曝光後烘烤處理期間控制溫度而實現。

【實施方式】

【0019】在本文中將詳細參照本揭示內容之具體實施例。具體實施例之範例係繪示於附圖中。雖然本揭示內容將結合這些具體實施例而加以描述，但應理解，不應將本揭示內容限制於該等具體實施例。相反地，其應包含落在本揭示內容之精神及範疇內之置換、變更及均等物。在以下說明中，提出許多特定細節以提供對本揭示內容之徹底了解。本揭示內容可在缺少一些或所有該等特定細節下實施。在其它情況下，為人熟知的處理操作並未詳加描述，以免不必要地模糊本揭示內容。

含金屬光阻之處理

【0020】在半導體製造中，半導體處理中之薄膜圖案化通常是重要的步驟。圖案化涉及微影。在習知的光微影技術（例如，193 nm 微影）中，圖案係藉由以下方式印製至光敏感的光阻膜上：使光阻之選擇區域（由光罩所定義）暴露至光子，從而在已曝光的光阻中引起化學反應並且產生在顯影步驟中可運用之化學對比，以去除光阻之某些部分而形成圖案。接著，已圖案化且已顯影的光阻膜可用於做為蝕刻遮罩，以將圖案轉移至由金屬、氧化物等所組成之下方膜中。

【0021】先進技術節點（如國際半導體技術發展藍圖所定義）包括 22 nm、16 nm 及其它的節點。在 16 nm 節點中，例如，在鑲嵌結構中之介層窗或線之寬度通常不大於約 30 nm。先進半導體積體電路（IC）及其它元件上之特徵部之縮放正驅使著微影技術改善解析度。

【0022】極紫外線（EUV）微影可藉由移動至比習知的光微影方法所能達到之更小的成像源波長而擴展微影技術。大約 10-20 nm、或 11-14 nm 波長（例如 13.5nm 波長）之 EUV 光源可用於尖端微影工具（亦稱為掃描機）。EUV 輻射在許多固體與流體材料（包括石英與水蒸氣）中受到強吸收，因此在真空中進行操作。

【0023】EUV 微影使用 EUV 光阻，EUV 光阻被圖案化而形成遮罩以使用來蝕刻下方層。EUV 光阻可為基於聚合物的化學放大光阻（CAR），CAR 係藉由基於液體的旋塗技術所產生。CAR 之一替代方案為直接可光圖案化的（photopatternable）含金屬氧化物膜，該膜例如可從 Inpria Corp. (Corvallis, OR) 所購得、並且描述於例如美國專利公開案 US 2017/0102612、US 2016/021660 及 US 2016/0116839，其併入本文中做為參考文件，至少因為其揭示了可光圖案化的含金屬氧化物膜。這樣的膜可藉由旋塗技術或乾式氣相沉積來生產。含金屬氧化物的膜可在真空環境中藉由 EUV 曝光直接進行圖案化（亦即，不使用單獨的

光阻)，提供次 30 nm 之圖案化解析度，例如，如 2018 年 6 月 12 日公告且發明名稱為「EUV PHOTOPATTERNING OF VAPOR-DEPOSITED METAL OXIDE-CONTAINING HARDMASKS」之美國專利 9,996,004、及/或 2019 年 5 月 9 日申請且發明名稱為「METHODS FOR MAKING EUV PATTERNABLE HARD MASKS」之 PCT/US2019/31618，該等公開內容至少關於直接可光圖案化的金屬氧化物膜之組成、沉積及圖案化以形成 EUV 光阻遮罩，且併入本文中做為參考文件。通常，圖案化涉及利用 EUV 輻射進行 EUV 光阻之曝光以在光阻中形成光圖案，然後藉由顯影以根據光圖案而去除光阻之一部分以形成遮罩。

【0024】直接可光圖案化的 EUV 光阻可由高 EUV 吸收的金屬及其有機金屬氧化物氫氧化物及其它衍生物所組成、或包含其。在 EUV 曝光時，EUV 光子和所產生的二次電子可引發化學反應，例如在基於 SnO_x 的光阻（及其它基於金屬氧化物的光阻）中之 β-H 消去反應，並且提供化學官能性以促進光阻膜中之交聯及其它變化。這些化學變化可接著運用在顯影步驟中，以選擇性地去除光阻膜之已曝光或未曝光區域並且產生用於圖案轉移之蝕刻遮罩。

【0025】可藉由在真空環境下之 EUV 曝光而進行含金屬氧化物膜之直接圖案化（亦即，不使用單獨的光阻），提供次 30 nm 圖案化解析度，例如，如 2018 年 6 月 12 日公告且發明名稱為「EUV PHOTOPATTERNING OF VAPOR-DEPOSITED METAL OXIDE-CONTAINING HARDMASKS」之美國專利 9,996,004 中所述，其公開內容至少關於直接可光圖案化的金屬氧化物膜之組成、沉積及圖案化以形成 EUV 光阻遮罩，且併入本文中做為參考文件。通常，圖案化涉及使用 EUV 輻射對 EUV 光阻進行曝光以在光阻中形成光圖案，然後藉由顯影以根據光圖案而去除光阻之一部分以形成遮罩。

【0026】亦應瞭解，雖然本揭示內容係關於以 EUV 微影做為例子之微影圖案化技術及材料，但其亦可應用於其它下一世代的微影技術。除了 EUV（包括

目前使用及研究之標準的 13.5 nm EUV 波長) 之外，與這類微影最相關之輻射源為 DUV (深 UV，通常指使用 248 nm 或 193 nm 準分子雷射源)、X 射線 (其形式上包括在 X 射線範圍之較低能量範圍處之 EUV)、以及電子束 (其可包括寬的能量範圍)。這類方法包括下列者：使基板 (具有暴露的羥基團) 與經羥基取代的錫封端劑接觸，以形成羥基末端的 SnO_x 膜做為基板表面上之成像/PR 層。特定的方法可取決於在半導體基板中所使用之特定材料及應用以及最終的半導體元件。因此，本案中所述之方法僅為可用於本技術之方法及材料之範例。

【0027】 直接可光圖案化的 EUV 光阻可由下列者所構成或包括下列者：金屬及/或金屬氧化物混合在有機成分內。金屬/金屬氧化物是非常有前途的，因為它們可增強 EUV 光子吸附並產生二次電子及/或顯示出對下方膜堆疊及元件層之蝕刻選擇性增加。迄今，已利用濕式 (溶劑) 方案顯影這些光阻，濕式方案需要將晶圓移至軌道機，在該處使晶圓暴露至顯影溶劑、乾燥及烘烤。濕式顯影不僅限制了產能，亦可能由於在溶劑蒸發期間在細微特徵部之間之表面張力效應而造成線倒塌。

【0028】 已建議使用乾式顯影技術，藉由消除基板脫層及界面失效而克服這些問題。乾式顯影具有其本身的挑戰，包括在未曝光與 EUV 曝光的光阻材料之間之蝕刻選擇性，其可能為了有效的光阻曝光而導致較高的劑量對尺寸需求 (相較於濕式顯影)。次佳的選擇性亦可能由於在蝕刻氣體下暴露較久而造成光阻角落圓化，此可能在後續的轉移蝕刻步驟中增加線 CD 變異。

【0029】 根據本揭示內容之各種態樣，對於基於金屬及/或金屬氧化物的光阻之一或更多後處理係發生在沉積之後 (例如，施加後烘烤 (PAB)) 及/或在曝光之後 (例如，曝光後烘烤 (PEB))，其能增加在已曝光與未曝光的光阻 (PR) 之間之材料性質差異，因此減少劑量對尺寸 (DtS)、改善 PR 輪廓、以及改善在後續的乾式顯影之後之線邊緣粗糙度及線寬粗糙度 (LER/LWR)。這類處理

可涉及具有溫度、氣體環境、及水氣其中一或多者之控制之熱處理，在後續的處理中得到改善的乾式顯影效能。在某些情況中，可使用遠端電漿。

【0030】 在施加後處理（例如，**PAB**）之例子中，在沉積之後且在曝光之前可使用具有溫度、氣體環境（例如，使用本文中所述之該等氣體其中一或多者）、壓力及水氣其中一或多者之控制之熱處理，以改變未曝光的含金屬及/或金屬氧化物光阻之組成。此改變可增加材料之 **EUUV** 敏感度，且因此可在曝光及乾式顯影之後達成較低的劑量對尺寸及線邊緣粗糙度。

【0031】 在曝光後處理（例如，**PEB**）之例子中，可使用具有溫度、氣體環境（例如，使用本文中所述之該等氣體其中一或多者）、壓力及水氣其中一或多者之控制之熱處理，以改變未曝光與已曝光的光阻兩者之組成。在一些例子中，該處理可優先地改變已曝光的光阻之組成及材料性質（相較於未曝光的光阻），俾使已曝光的光阻在組成及材料性質上之改變係大於未曝光的光阻。此優先交互作用可能來自於在 **EUUV** 曝光期間所發生之化學改變，例如在光阻內之烷基團之喪失。在處理期間所發生之改變可增加在未曝光與已曝光的光阻之間之組成材料性質差異，藉此增強了在未曝光與已曝光的光阻之間之蝕刻率差異。藉此可達成較高的蝕刻選擇性，例如在光阻中之圖案之乾式顯影期間。由於此改善的選擇性，可獲得較方正的光阻輪廓、具有改善的表面粗糙度及/或較少光阻剩餘物殘渣。

【0032】 在任一例子中，在替代性實行例中，熱處理可被遠端電漿處理所取代或補充。遠端電漿處理可用於增加反應性物種，藉此降低所期望的反應之能量障壁並且增加產率。遠端電漿可產生更多的反應性自由基，且因此降低處理之反應溫度時間（例如，相較於僅僅依賴熱能之處理），導致產率增加。

【0033】 因此，可施加一或更多處理以對光阻本身進行改質，以增加乾式顯影選擇性。此熱及/或自由基改質可增加在未曝光與已曝光的材料之間之對

比，且因此增加後續的乾式顯影步驟之選擇性。可藉由調整一或更多處理條件（包括溫度、氣體流動、水氣、壓力、及或 RF 功率），調整未曝光與已曝光的材料之材料性質之間之差異。乾式顯影（其不受濕式顯影劑溶劑中之材料溶解度之限制）所賦予之大處理寬容度係允許施加更積極的條件，進一步增強可達成之材料對比。所得的高材料對比係回饋更寬的製程窗給乾式顯影，因而能增加產率、降低成本、及改善缺陷。

【0034】 濕式顯影的光阻膜之實質限制為受限溫度的烘烤。濕式顯影係仰賴在光阻之已曝光與未曝光的區域之間之材料溶解度之差異。加熱光阻至提高的溫度可大大地增加在含金屬光阻膜之已曝光與未曝光的區域兩者中之交聯程度。若光阻被加熱至大約 220°C 或更高之溫度，則光阻之已曝光與未曝光的區域兩者變得不可溶於濕式顯影溶劑中，使得光阻膜不再能確實地使用濕式顯影技術加以顯影。

【0035】 相較之下，對於乾式顯影的光阻膜而言，其仰賴光阻之已曝光與未曝光的區域之間之乾式蝕刻率差異（亦即，選擇性）而僅僅移除光阻之已曝光或未曝光的部分，在 PAB 或 PEB 中之處理溫度可在遠遠較廣的範圍內變化，因為適用於在濕式顯影溶劑中之溶解度之限制不適用於乾式蝕刻技術。因此，在乾式顯影之例子中，處理製程可在相當寬的溫度範圍中進行調整最佳化。例如，處理溫度可在從大約 90°C 至大約 250°C 之範圍，例如，對於 PAB 為大約 90°C 至大約 190°C，對於 PEB 為從大約 150°C 至大約 250°C 或更高。利用所述範圍中之較高處理溫度，已經得到降低的蝕刻率及較高的蝕刻選擇性。

【0036】 圖 7A-7D 描繪了實驗結果，顯示出在光阻層之未曝光與已曝光的部分之間之改善的材料對比及選擇性，其可藉由在 PEB 期間控制溫度來達成。在各實施例中，基板係暴露於 PEB，其中基板之溫度受到控制（例如，藉由控制基板支撐件溫度）。之後，使用乾式技術對各基板上之光阻層進行顯影，以在基

板上形成一系列的光阻特徵部。在圖 7A 中，溫度係控制在大約 235°C。在圖 7B 中，溫度係控制在大約 220°C。在圖 7C 中，溫度係控制在大約 205°C。在圖 7D 中，溫度係控制在大約 190°C。在較低的處理溫度下，光阻輪廓顯示出明顯的錐形圓化特徵。相較之下，在較高的處理溫度下，光阻輪廓係明顯地改善，其特徵為較少的錐形圓化、且更為方形。較高的 PEB 溫度在光阻之已曝光與未曝光的部分之間提供較大的材料對比度，從而在光阻顯影時提供較高的選擇性。此外，以較高的 PEB 溫度進行處理之基板在顯影後會顯示出較高的線臨界尺寸，其對應於較低的劑量對尺寸。換言之，相較於在較低的溫度下處理（或根本不處理）基板時達成相同的臨界尺寸所需，較高的處理溫度可用於在較低的 EUV 輻射劑量下達成期望的臨界尺寸。如上所述，乾式顯影技術係使用在 PEB 處理之後。在許多例子中，由於上述原因，濕式顯影技術不能對已經利用高溫（例如，>180°C）PEB 進行處理之光阻層進行顯影。

【0037】 在特定實施例中，PAB 及/或 PEB 處理可在 100 至 10000 sccm 範圍中之氣體環境流動下進行。在這些或其它實施例中，在周圍環境中之水氣含量可控制在大約數個百分比上至 100% 之間（例如，在一些例子中，在大約 20%-50% 之間）。在這些或其它實施例中，在處理期間之壓力可控制，例如，在大氣壓或更低（例如，使用真空以達成次大氣壓）。在一些例子中，在處理期間之壓力可介於大約 0.1-760 Torr 之間，例如介於大約 0.1-10 Torr 之間、或介於大約 0.1-1 Torr 之間，在一些例子中。在這些或其它實施例中，處理之持續時間可控制在介於大約 1 至 15 分鐘之間，例如，在大約 2 至 5 分鐘之間、或大約 2 分鐘。

【0038】 可使用這些發現來調整處理條件，以客製化或最佳化用於特定材料及情況之處理。例如，特定 EUV 劑量搭配約 20% 濕度下之空氣、220°C 至 250°C PEB 熱處理約 2 分鐘所達成之選擇性可類似於約 30% 較高的 EUV 劑量不搭配這類熱處理之選擇性。因此，取決於半導體處理操作之選擇性需求限制，可使用

熱處理（如本文中所述）以降低所需的 EUV 劑量。或者，若需要較高的選擇性且可客製化較高的劑量，則可獲得比濕式顯影背景下遠遠更高的選擇性（例如，在光阻之已曝光對未曝光的區域，高達 100:1 之乾式蝕刻選擇性）。

【0039】圖 1 描繪出本揭示內容之一態樣之處理流程，一種半導體基板之處理方法。方法 100 包含，在方塊 101，在處理腔室中提供含金屬光阻在半導體基板之基板層上。基板可為，例如，以任何合適的方式所製造之部分製造的半導體元件膜堆疊。在方塊 103，處理含金屬光阻，以改變含金屬光阻之材料性質，俾使在後續的曝光後乾式顯影處理中之蝕刻選擇性增加。例如，該處理可導致含金屬光阻中之交聯增加。

【0040】在一些實施例中，該處理可涉及具有溫度、氣體環境、及/或水氣控制之熱處理。氣體環境可包括反應性氣體物種，例如空氣、水 (H_2O)、氫 (H_2)、氧 (O_2)、臭氧 (O_3)、過氧化氫 (H_2O_2)、一氧化碳 (CO)、二氧化碳 (CO_2)、羰基硫 (COS)、二氧化硫 (SO_2)、氯 (Cl_2)、氨 (NH_3)、一氧化二氮 (N_2O)、一氧化氮 (NO)、甲烷 (CH_4)、甲基胺 (CH_3NH_2)、二甲基胺 ($(\text{CH}_3)_2\text{NH}$)、三甲基胺 ($\text{N}(\text{CH}_3)_3$)、乙基胺 ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$)、二乙基胺 ($(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{NH}$)、三乙基胺 ($\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_3)_3$)、吡啶 ($\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$)、醇 ($\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}$ ，包括但不限於甲醇、乙醇、丙醇及丁醇)、乙醯丙酮 ($\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{COCH}_3$)、甲酸 (HCOOH)、草醯氯 ($(\text{COCl})_2$)、羧酸 ($\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COOH}$)、及其他小分子胺 ($\text{NR}^1\text{R}^2\text{R}^3$ ，其中 R^1 、 R^2 及 R^3 每一者係獨立地選自氫、羥基、脂肪族、鹵代脂肪族、鹵代雜脂肪族、雜脂肪族、芳香族、脂肪-芳香族、雜脂肪-芳香族、或其任何組合) 等。亦可使用這些反應性氣體其中任一者之取代形式。在一些例子中，在處理操作期間，基板可暴露至二或更多反應性氣體。

【0041】在使用反應性氣體以處理光阻之實施例中，反應性氣體可透過氧化、配位或酸鹼化學而與光阻互相作用。

【0042】在各種實施例中，氣體環境可包括惰性氣體，例如氮（N₂）、氬（Ar）、氦（He）、氖（Ne）、氪（Kr）、氙（Xe）等。在某些例子中，惰性氣體可與以上所列之反應性氣體其中一或更多者一起提供。在其它例子中，氣體環境可為惰性的或實質上惰性的。例如，氣體環境可不含或實質上不含反應性氣體。當使用在本文中，若反應性氣體僅以微量存在，則氣體環境可被視為實質上不含這類氣體。在使用惰性環境之各種例子中，惰性環境可藉由減少在光阻之相關區域之過度氧化而增加組成及/或材料性質之對比度。例如，在使光阻暴露至圖案化的輻射之後、在惰性環境中對光阻進行熱處理之一些例子中，惰性環境藉由減少在光阻之未曝光區域上存在之過度氧化以促進材料對比度（例如，組成及/或材料性質）之增加。

【0043】本文中所述之任何實施例可包括還原步驟，其可操作以還原光阻之已氧化或過度氧化區域。在使光阻（或其部分）氧化之步驟之後，這樣的還原步驟可能特別有用。在各種實施例中，還原步驟可涉及將基板暴露至還原環境或惰性環境。在一些例子中，還原步驟可涉及加熱基板及/或使基板暴露至電漿。電漿可由惰性氣體及/或還原氣體所產生。

【0044】在各種實施例中，如圖 2 所示，在將光阻 202a 施加至基板 201 之後、在使光阻 202a 暴露至圖案化的輻射之前，可進行該處理。例如，在該處理為熱處理之一範例中，該處理可被稱為施加後烘烤（PAB）。該處理改變光阻 202a，以形成光阻 202b 之修改版本。相較於處理之前之光阻 202a，光阻 202b 之修改版本表現出改良的性質。例如，光阻 202b 之修改版本可能比光阻 202a 之未修改版本對 EUV 輻射更敏感。由於此增加的 EUV 敏感度，修改版本之光阻在 EUV 曝光期間可能呈現出較低的劑量對尺寸，並且可能在顯影之後提供較低的線邊緣粗糙度。

【0045】亦可在不同的時間提供該處理。在各種實施例中，如圖 3 所示，在光阻 302a 已經沉積並且已經藉由部分暴露至輻射（例如，EUV）而圖案化之後，可進行該處理，俾使處理中的基板包括 EUV 光阻之已曝光部分 302c 及未曝光部分 302b 兩者。例如，在該處理為熱處理之一範例中，該處理可被稱為曝光後烘烤（PEB）。該處理可修改 EUV 光阻之已曝光部分 302c 及未曝光部分 302b 兩者，從而形成已曝光部分 302e 之修改版本及未曝光部分 302d 之修改版本。由該處理所造成之修改可增加光阻材料在乾式顯影蝕刻氣體中之蝕刻速率。替代地或額外地，由該處理所造成之修改可增加在光阻之未曝光部分與已曝光部分之間之組成材料性質之差異。換言之，相較於比較 (1) 處理之前之光阻之未曝光部分 302b 與 (2) 處理之前之光阻之已曝光部分 302c 在組成材料性質之間之差異，當比較 (1) 處理之後之光阻之未曝光部分 302d 之修改版本與 (2) 處理之後之光阻之已曝光部分 302e 之修改版本時，在組成材料性質之間之差異更顯著。

【0046】此外，在 PAB 或 PEB 處理中烘烤溫度之上升速率是另一有用的處理參數，可對其進行控制以微調交聯蝕刻選擇性結果。PAB 及 PEB 熱處理可在單一操作或複數操作中完成。在使用複數操作之情況下，可在個別操作期間提供不同的處理條件。在個別操作之間可改變之示例性處理條件包括，但不限於，靠近基板之周圍氣體或混合物之特性及濃度、水氣含量、溫度、壓力等。可控制這些處理條件以調節光阻性質，從而調整不同的蝕刻選擇性。

【0047】在替代實施例中，施加後及曝光後處理其中任一者或兩者可包括遠端電漿處理（與熱處理一起或取代之），以產生自由基而與含金屬光阻進行反應，從而修改其材料性質。參考圖 2，在一些實施例中，遠端電漿處理製程係發生在光阻 202a 沉積之後、且在其暴露至 EUV 輻射之前。在此例子中，該處理可被稱為施加後電漿處理。參考圖 3，在一些實施例中，遠端電漿處理製程係發生

在光阻 302a 沉積、且暴露至 EUV 輻射以形成已曝光部分 302c 及未曝光部分 302b 之後。在此例子中，該處理可被稱為曝光後電漿處理。

【0048】 在使用遠端電漿來處理光阻之實行例中，自由基可由在本文中關於熱處理所述之相同或不同氣體物種而產生。

【0049】 在一些實施例中，可使用複數處理。例如，第一處理可發生在光阻沉積之後、且在 EUV 曝光之前（如圖 2 所示），第二處理可發生在 EUV 曝光之後、且在顯影之前（如圖 3 所示）。在第一處理期間及或在第二處理期間可如本文所述之控制該等處理條件其中一或多者。

含金屬光阻之多步驟曝光後處理

【0050】 通常執行 PEB 處理，以進一步增加在曝光（例如，EUV 曝光）之後之含金屬光阻之已曝光與未曝光部分之間之蝕刻選擇性之對比度。例如，可在化學物種之存在下對含金屬光阻進行熱處理，以促進在 EUV 曝光部分中之交聯。對於錫氧化物光阻，此係設計以驅使在 EUV 曝光期間所產生之有機碎片之蒸發、將 EUV 曝光所產生之任何 Sn-H、Sn-Sn 或 Sn 自由基物種氧化成金屬氫氧化物、並且促進在相鄰的 Sn-OH 基團之間之交聯以形成更緊密交聯的類 SnO₂ 網狀結構。然而，若在氧化氣氛之存在下之溫度太高，則含金屬光阻之 EUV 未曝光部分將過度氧化。隨著過度氧化，材料對比度下降，粗糙度增加，且在後續的乾式顯影處理中之缺陷增加。若在氧化氣氛之存在下之溫度太低，則含金屬光阻之 EUV 曝光部分將不能充分交聯。因此，在暴露至乾式顯影蝕刻氣體期間，材料對比度不足。如果 PEB 處理係在惰性環境中、在高溫下進行，則含金屬光阻之 EUV 曝光部分將無法得到足夠的氧。在 EUV 曝光部分中較少的氧會導致較少的交聯，從而造成 EUV 曝光部分較軟且較不緻密。較軟的光阻會導致更多的粗糙度，進而導致更大的圖案變形（例如，線條擺動）及缺陷。

【0051】 在本揭示內容中，基板上之光阻可遭受複數 PEB 處理或在 PEB 處理製程中之複數步驟。可在不同的溫度及/或不同的化學品下執行複數烘烤步驟。可在富含氧的環境中、以適度提高的烘烤溫度來執行第一烘烤步驟。可在惰性環境中、以高度提高的烘烤溫度（其大於適度提高的烘烤溫度）來執行第二烘烤步驟。在一些實行例中，適度提高的烘烤溫度可在大約 150°C 與大約 220°C 之間，且高度提高的烘烤溫度可在大約 220°C 與大約 250°C 之間。藉由將含金屬光阻依次暴露至第一烘烤步驟及第二烘烤步驟，改善了材料對比度，以在乾式顯影期間達成較高的蝕刻選擇性。

【0052】 圖 4 提出根據各種實施例之在多步驟曝光後烘烤處理中之基板處理方法之流程圖。處理 400 之操作可以不同的順序來執行及/或具有不同的、較少的、或額外的操作。處理 400 之一或更多操作可使用在圖 5A、5B 及 6 其中任一者中所述之設備來執行。在一些實施例中，處理 400 之操作可，至少部分地，根據儲存在一或更多非暫態電腦可讀媒體中之軟體來實施。

【0053】 在處理 400 之方塊 401，在處理腔室中提供基板，其中基板為半導體基板，具有含金屬光阻在半導體基板之基板層上。在一些實行例中，基板層為待蝕刻層，其中基板層可包括旋塗碳（SOC）、旋塗玻璃（SOG）、非晶形碳、矽、矽氧化物、矽氮化物、矽碳化物、或矽氮氧化物。含金屬光阻可以乾式或濕式沉積在基板層上。含金屬光阻可提供為在 EUV 曝光後具有 EUV 曝光及 EUV 未曝光區域之正型或負型光阻。在曝光及可選的 PEB 處理之後，含金屬光阻可進行顯影以選擇性地去除含金屬光阻之部分（例如，EUV 未曝光部分），以在基板層上形成圖案化遮罩。在一些實行例中，含金屬光阻為含金屬 EUV 光阻，其中含金屬 EUV 光阻為含有機金屬氧化物或有機金屬的膜。例如，含金屬 EUV 光阻可包含 Sn、O 及 C 原子。

【0054】 在一些實行例中，處理 400 更包括，在提供基板於處理腔室中之之前，使含金屬 EUV 光阻暴露至 EUV 輻射，以形成 EUV 曝光區域及 EUV 未曝光區域。在濕式或乾式沉積含金屬光阻之後，含金屬光阻可在 EUV 微影腔室（掃描機）或模組中進行光圖案化。含金屬光阻可為含 EUV 敏感的金屬或金屬氧化物的膜，例如有機錫氧化物。含 EUV 敏感的金屬或金屬氧化物膜可在真空環境中藉由 EUV 曝光而直接進行光圖案化。

【0055】 在含金屬光阻之光圖案化之後，在曝光後烘烤（PEB）操作中對含金屬光阻進行熱處理或烘烤。此為顯影創造了更大的化學對比度。PEB 處理可以二步驟或多步驟烘烤操作（而非執行單一烘烤操作）來進行，其中各步驟使得含金屬光阻遭受不同的處理條件。這樣的處理條件可包括但不限於：靠近基板之周圍氣體或混合物之特性及濃度、水氣含量、溫度、壓力等。該等步驟其中一者可將基板暴露於至少一不同的溫度及不同的周圍氣體。例如，該等烘烤步驟其中一者可將基板暴露至在氧化環境中之低或適度提高的溫度，該等烘烤步驟其中另一者可將基板暴露至在非氧化環境中之高度提高的溫度。這些步驟可依序執行，如以下的方塊 403 及 405 所示。

【0056】 在處理 400 之方塊 403 中，使含金屬光阻暴露至在處理腔室中之含氧環境中之第一提高的溫度。第一提高的溫度提供低至中溫烘烤。低至中溫烘烤可防止含金屬光阻之未曝光部分之過度氧化。在一些實行例中，第一提高的溫度係介於大約 150°C 與大約 220°C 之間，或大約 180°C 與大約 220°C 之間。含氧環境可促進氧摻入至含金屬光阻之已曝光部分中。較高的氧濃度通常導致較高的氧摻入。在一些實行例中，含氧環境包括含氧物種或氧化劑。含氧環境中之氧分壓可為至少大約 100 托，例如介於大約 100 托與大約 600 托之間。取決於氧分壓，氧化劑可佔據總氣體濃度之一定濃度。在一些實施例中，在含氧環境中，氧化劑之濃度可為至少 20 體積%。例如，氧化劑之濃度可介於大約 25 體積% 與大約 100

體積%之間，或介於大約 50 體積%與大約 100 體積%之間。在一些實行例中，含氧環境包括氧 (O_2)、臭氧 (O_3)、水 (H_2O)、過氧化氫 (H_2O_2)、一氧化碳 (CO)、二氧化碳 (CO_2)、或其組合。

【0057】較高的烘烤溫度通常導致在含金屬光阻之已曝光與未曝光部分之間之材料對比度增加。然而，若烘烤溫度太高，則會發生含金屬光阻之未曝光部分之過度氧化。不受限於含有機金屬膜之任何理論，在過高的烘烤溫度下可能發生金屬-碳鍵斷裂，留下金屬氫化物位點，其可在含氧環境存在下轉化為金屬氫氧化物。金屬氫氧化物可交聯而形成金屬氧化物基團。因此，含金屬光阻之未曝光與已曝光部分在化學結構方面之差異較小，其導致在後續的乾式顯影處理中蝕刻對比度降低。蝕刻對比度之降低可歸因於線 CD 變異之增加、光阻角落圓化及較高的劑量對尺寸。此外，由過度氧化所導致之蝕刻對比度降低可歸因於圖案顯影不良、在未曝光部分中形成殘留物之可能性增加、線邊緣粗糙度增加、以及在已圖案化光阻中之線橋接，而進一步增加缺陷率。因此，希望將含氧環境中之烘烤溫度限制於低或中烘烤溫度（例如，低於約 $220^{\circ}C$ ），防止含金屬光阻之未曝光部分之過度氧化。

【0058】含氧物種（例如， O_2 、 O_3 等）之存在通常導致在含金屬光阻之已曝光與未曝光部分之間之材料對比度增加。富含氧的烘烤會增加含氧物種之分壓，其降低了將相同量的氧摻入含金屬光阻之已曝光部分中所需之溫度。藉由在較低溫度下操作，防止了含金屬光阻之未曝光部分之過度氧化。含氧物種將促進含金屬光阻之已曝光部分中之交聯。不受限於任何理論，氧將附著至金屬氫化物位點以形成金屬氫氧化物。金屬氫氧化物（例如， $Sn-OH$ ）會形成交聯以產生金屬氧化物基團（例如， $Sn-O-Sn$ ）及水 (H_2O)。更緻密交聯的金屬氧化物網狀結構在含金屬光阻之已曝光與未曝光部分之間提供更大的蝕刻對比度。增加的蝕刻對比度提供了增加的蝕刻選擇性，其導致線 CD 變異之減少、更為方形的光阻

輪廓及更低的劑量對尺寸。此外，增加的蝕刻對比度導致圖案顯影之改善、在未曝光部分中形成殘留物之可能性降低、線邊緣粗糙度之降低、及缺陷率之降低。

【0059】可調整在含氧環境中暴露至第一提高的溫度之持續時間，以優化 PEB 處理。在一些實行例中，暴露之持續時間可介於大約 30 秒與大約 10 分鐘之間、或介於大約 1 分鐘與大約 5 分鐘之間。較長的暴露時間可允許更多的氧摻入含金屬光阻之已曝光部分中，其可改善材料對比度。另一方面，過長的暴露時間可能導致在含金屬光阻之未曝光部分中之過度氧化。

【0060】可控制在暴露至含氧環境期間之處理腔室中之壓力，以優化 PEB 處理。具體而言，可調節含氧物種之分壓，以在含金屬光阻之已曝光部分中達成期望的氧摻入量。例如，含氧物種之分壓可介於大約 10 托與大約 760 托之間、至少大約 100 托、或介於大約 100 托與大約 600 托之間。含氧物種可與惰性氣體之其餘部分一起在處理腔室中流動。在一些實行例中，含氧物種之濃度可為至少 20 體積%且高達 100 體積%。在一些例子中，含氧物種之分壓可控制 PEB 處理效能，不管總腔室壓力如何。舉例來說，600 托之腔室壓力及 20 體積%之氧氣濃度與 120 托之腔室壓力及 100 體積%之氧氣濃度可導致相同的 PEB 處理性能結果。

【0061】可調整在暴露至含氧環境期間之處理腔室中之水氣含量，以優化 PEB 處理。在某些例子中，水氣增加會導致線 CD 減小或其它不利的結果。不受限於任何理論，增加的濕度程度會抑制在含金屬光阻之已曝光部分中之交聯，從而降低材料對比度。因此，在處理腔室中之水氣含量被最小化。在一些實行例中，處理腔室不含或實質上不含水氣。

【0062】可將在曝光含金屬光阻以進行光圖案化與暴露含金屬光阻至含氧環境之間之等候時間最小化，以優化 PEB 處理。較長的等候時間會導致較高的劑量對尺寸及增加的粗糙度。因此，希望在 EUV 曝光與在含氧環境中之 PEB 處理之間之等候時間為越短越好。例如，在 EUV 曝光與在含氧環境中之 PEB 處理

之間之等候時間係小於約 3 小時、小於約 2 小時、小於約 1 小時、小於約 20 分鐘、或小於約 10 分鐘。

【0063】 在一些實行例中，可用遠端電漿來取代或補充低至中溫烘烤（亦即，第一提高的溫度）。遠端電漿可用於增加氧自由基，以提高產量。氧自由基提供反應性物種以摻入含金屬光阻之已曝光部分中。氧自由基可在遠端電漿源中產生，並且供應朝向在處理腔室中之基板。

【0064】 處理腔室可包括一或更多加熱器，用於溫度控制。在一些實行例中，一或更多加熱器可耦接至加熱組件，加熱組件係面向在處理腔室中之基板，用於基板溫度控制。例如，加熱組件可位於基板支撐件下方或在基板支撐件與基板之間。在一些實施例中，可使用輻射加熱組件（例如，IR 燈或一或更多 LED）以控制基板溫度。

【0065】 在處理 400 之方塊 405 中，使含金屬光阻在惰性氣體環境中暴露至第二提高的溫度，其中第二提高的溫度係高於第一提高的溫度。暴露至惰性氣體環境可發生在與暴露至含氧環境之相同或不同的處理腔室中。第二提高的溫度提供高溫烘烤。高溫烘烤提供足夠的熱能，以促進在含金屬光阻之已曝光部分中之交聯。在一些實行例中，第二提高的溫度為介於大約 220°C 與大約 300°C 之間、或介於大約 220°C 與大約 250°C 之間。惰性氣體環境不含或實質上不含含氧物種，以避免含金屬光阻之未曝光部分之過度氧化。在一些實行例中，惰性氣體環境包括氮（N₂）、氦（He）、氖（Ne）、氬（Ar）、氪（Kr）、氙（Xe）或其組合。

【0066】 在第二提高的溫度下暴露至惰性氣體環境（亦稱為「第二烘烤」）係在第一提高的溫度下暴露至含氧環境（亦稱為「第一烘烤」）之後接著發生。第一烘烤係提供氧摻入已曝光部分中，同時防止在含金屬光阻之未曝光部分之過度氧化。在惰性氣體環境中進行之第二烘烤係促進在含金屬光阻之已曝光部分中

之摻入的氧與金屬中心之間之反應，從而促進交聯以形成更緊密交聯的金屬氧化物網狀結構。此外，惰性氣體環境係防止在含金屬光阻之未曝光部分中之過度氧化。第二烘烤在含金屬光阻之未曝光與已曝光部分之間提供更大的區別，以在後續的乾式顯影處理中增加蝕刻對比度。增加的蝕刻對比度及乾式顯影選擇性為乾式顯影回饋了更寬的處理裕度，其可改善產量、較低的成本、較低的劑量對尺寸及更好的缺陷效能。

【0067】 在一些實行例中，處理 400 更包括重複第一烘烤及第二烘烤多次。第一烘烤及第二烘烤之複數循環可進一步增加蝕刻對比度。

【0068】 可調整在惰性氣體環境中暴露至第二提高的溫度之持續時間，以優化 PEB 處理。在一些實行例中，暴露之持續時間可介於大約 30 秒與大約 10 分鐘之間、或介於大約 1 分鐘與大約 5 分鐘之間。較長的暴露時間使得在含金屬光阻之已曝光部分中進行更多的交聯，以改善材料對比度。然而，過長的暴露時間最終可能在含金屬光阻之未曝光部分中形成交聯的金屬氧化物網狀結構。

【0069】 可控制惰性氣體環境，以使反應性物種之量最小化。可限制在惰性氣體環境中包括含氧物種之反應性物種之濃度，以避免過度氧化。氧分壓可等於或小於大約 20 托、等於或小於大約 10 托、或等於或小於大約 5 托。在一些實行例中，含氧物種之濃度係等於或小於大約 10 體積%、等於或小於大約 5 體積%、等於或小於大約 1 體積%、或等於或小於大約 0.5 體積%。在惰性氣體環境中，反應性物種可以相對於惰性氣體物種為痕量而存在。

【0070】 可調整在暴露至惰性氣體環境期間之處理腔室中之水氣含量，以優化 PEB 處理。如上所述，增加的濕度可導致蝕刻對比度降低。因此，用於執行第二烘烤之處理腔室可不含或實質上不含水氣。

【0071】 可將在暴露含金屬光阻至含氧環境與暴露含金屬光阻至惰性氣體環境之間之等候時間最小化，以優化 PEB 處理。較長的等候時間會導致增加的

線 CD 及增加的粗糙度。劑量對尺寸對於較長的等候時間不那麼敏感。雖然如此，但通常希望在第一烘烤與第二烘烤之間之等候時間為短。例如，在第一烘烤與第二次烘烤之間之等候時間係小於大約 3 小時、小於大約 2 小時、小於大約 1 小時、小於大約 20 分鐘或小於大約 10 分鐘。

【0072】 整體而言，相較於單一烘烤操作，執行第一烘烤然後進行第二烘烤之順序會改善 PEB 處理效能。執行第一烘烤及第二烘烤會改善蝕刻對比度，用於在後續的乾式顯影處理中改善在 EUV 曝光部分與 EUV 未曝光部分之間之蝕刻選擇性。此外，執行第一烘烤及第二烘烤可降低線邊緣粗糙度、並且在後續的乾式顯影處理中減少劑量對尺寸。

設備

【0073】 圖 5A 及 5B 描繪了可用於執行本文中所述之處理之處理站之不同實施例之示意圖。圖 5A 中所示之處理站 580 可用於基於熱的處理，例如施加後烘烤或曝光後烘烤。圖 5B 中所示之處理站 500 可用於基於熱的處理、遠端電漿處理或兩者。這些處理可包括施加後處理以及曝光後處理。這些處理可更包括如上所述之多步驟曝光後處理。圖 5A 及 5B 中所示之處理站亦可用於本文中所述之其它處理。對於需要電漿之步驟，可使用圖 5B 之處理站 500。對於不需要電漿之步驟，可使用圖 5B 之處理站 500 或圖 5A 之處理站 580。

【0074】 圖 5A 呈現根據一實施例之處理腔室 580 之簡化視圖。在此範例中，處理腔室 580 為具有可控制的環境之封閉腔室。基板 581 可位於基板支撐件 582 上，基板支撐件 582 亦可加熱及/或冷卻基板。在某些例子中，可提供替代的或額外的加熱及冷卻元件。處理氣體通過入口 583 而進入處理腔室 580。材料透過出口 584 而從處理腔室 580 移除，出口 584 可連接至真空源（未顯示）。處理腔室 580 之操作可藉由控制器 586 來控制，此將進一步討論於下。此外，可提供感測器 585，例如，以監測在處理腔室 580 中之溫度及/或環境之組成。來自感測

器 585 之讀數可被控制器 586 使用在主動反饋迴路中。在各種實行例中，處理腔室 580 可修改為包括與處理腔室 580 流體連通之遠端電漿腔室（未顯示）。在這樣的例子中，電漿可在遠端電漿腔室中生成，接著將電漿傳送至處理腔室 580。

【0075】 進行處理之腔室可以數個方式加以配置。在一些實施例中，該腔室為用於沉積光阻之同一腔室、及/或用於使光阻暴露至 EUV 輻射之同一腔室、及/或用於使光阻顯影之同一腔室。在一些實施例中，該腔室為專用的烘烤或遠端電漿處理腔室，其不用於例如沉積、蝕刻、EUV 曝光、或光阻顯影之其它處理。該腔室可為獨立的腔室，或者其可結合至較大的處理工具中，例如用於沉積光阻之沉積工具、用於使光阻暴露至 EUV 輻射之 EUV 曝光工具、及/或用於使光阻顯影之顯影工具。根據特定應用之需要，用於處理光阻之腔室可與這些工具其中任何一或多者進行組合，例如在叢集工具中。在一些例子中，腔室可設置在為複數腔室提供低壓之共同低壓處理工具環境中。

【0076】 圖 5B 概要地顯示感應耦合式電漿設備 500 之橫剖面圖，其適合實行某些實施例或實施例態樣（例如氣相（乾式）沉積、本文中所述之熱處理、本文中所述之電漿處理、乾式顯影及/或蝕刻），該設備之範例為由 Lam Research Corporation of Fremont, CA 所生產之 Kiyō® 反應器。在其它實施例中，具有實施乾式沉積、處理（熱或遠端電漿）、本文中所述之顯影及/或蝕刻處理其中一或更多操作之功能之其它工具或工具類型可用於實行例。

【0077】 感應耦合式電漿設備 500 包括整體處理腔室 524，其在結構上由腔室壁 501 及窗部 511 所界定。腔室壁 501 可由不鏽鋼或鋁所製成。窗部 511 可由石英或其它介電材料所製成。可選的内部電漿柵 550 將整體處理腔室分為上部子腔室 502 及下部子腔室 503。在某些實施例中，可將電漿柵 550 移除，從而利用由子腔室 502 及 503 所構成之腔室空間。在電漿柵 550 存在之處，它可用來保護基板免受在上部子腔室 502 中直接產生之電漿之影響，從而在下部子腔室 503

中利用遠端電漿來處理基板。在此範例中，出現在下部子腔室 503 中之電漿可被視為遠端電漿，因為它先在利用電漿來處理基板之位置（例如，下部子腔室 503）之上游處（例如，上部子腔室 502）產生。

【0078】 夾盤 517 係位於下部子腔室 503 內靠近底部內表面處。夾盤 517 係用以接收及固持半導體晶圓 519，以在其上實施蝕刻及沉積處理。夾盤 517 可為用以支撐晶圓 519（當其存在時）之靜電夾盤。在一些實施例中，邊緣環（未顯示）環繞著夾盤 517，且邊緣環之上表面與晶圓 519（當存在於夾盤 517 上時）之頂表面大約為平面。夾盤 517 亦包含靜電電極，用以夾持與去夾持晶圓 519。為此，可提供濾波器及 DC 箝位電源（未顯示）。亦可提供其它控制系統，以將晶圓 519 抬升而離開夾盤 517。可利用 RF 電源 523 而使夾盤 517 帶電。RF 電源 523 經由連接部 527 而連接至匹配電路 521。匹配電路 521 經由連接部 525 而連接至夾盤 517。以此方式，RF 電源 523 連接至夾盤 517。在各種實施例中，可將靜電夾盤之偏壓電源設定為約 50V、或可取決於依據所揭示的實施例所執行之處理而設定為不同的偏壓電源。例如，偏壓電源可在約 20 Vb 與約 100 V 之間、或在約 30 V 與約 150 V 之間。

【0079】 用於電漿產生之構件包括位於窗部 511 上方之線圈 533。在一些實施例中，不使用線圈。在一些這樣的實施例中，可提供替代的機制來產生電漿，例如提供電容耦合式電漿、微波電漿等。在使用感應耦合式電漿的例子中，線圈 533 係由導電材料所製成，並且包括至少一整圈。顯示於圖 5B 中之線圈 533 之範例包括三圈。線圈 533 之橫剖面係以符號顯示，其中具有「X」之線圈係旋轉延伸進入頁面，而具有「●」之線圈係旋轉延伸出頁面。用於電漿產生之構件亦包括 RF 電源 541，用以將 RF 功率供應至線圈 533。一般而言，RF 電源 541 經由連接部 545 而連接至匹配電路 539。匹配電路 539 經由連接部 543 而連接至線圈 533。以此方式，RF 電源 541 連接至線圈 533。

【0080】 可選的法拉第屏蔽 549 係位於線圈 533 與窗部 511 之間。法拉第屏蔽 549 可與線圈 533 維持相隔開的關係。在一些實施例中，法拉第屏蔽 549 係緊接位於窗部 511 上方。在一些實施例中，法拉第屏蔽 549 係在窗部 511 與夾盤 517 之間。在一些實施例中，法拉第屏蔽 549 與線圈 533 並非維持相隔開的關係。例如，法拉第屏蔽 549 可直接在窗部 511 下方而沒有間隙。線圈 533、法拉第屏蔽 549、及窗部 511 每一者係配置為彼此實質上平行。法拉第屏蔽 549 可防止金屬或其它物種沉積於處理腔室 524 之窗部 511 上。

【0081】 處理氣體可經由位於上部子腔室 502 中之一或更多主氣流入口 560、及/或經由一或更多側氣流入口 570 而流入處理腔室。同樣地，雖然未明確顯示，類似的氣流入口可用於將處理氣體供應至電容耦合式電漿處理腔室。真空泵浦（例如，一或二級機械乾式泵浦及/或渦輪分子泵浦）540 可用於將處理氣體自處理腔室 524 抽出，並維持處理腔室 524 內之壓力。例如，在吹淨（purge）操作期間，真空泵浦可用於將整體處理腔室 524 或下部子腔室 503 排空。閥控的管道可用於將真空泵浦流體連接至處理腔室 524，以便選擇性地控制由真空泵浦所提供之真空環境之應用。在操作電漿處理期間，此可藉由採用閉迴路控制的限流裝置（例如節流閥（未顯示）或鐘擺閥（未顯示））而達成。同樣地，亦可採用通往電容耦合式電漿處理腔室之真空泵浦及閥控的流體連接。

【0082】 在設備 500 之操作期間，可經由氣流入口 560 及/或 570 以供應一或更多處理氣體。在某些實施例中，可僅經由主氣流入口 560、或僅經由側氣流入口 570 而供應處理氣體。在一些例子中，圖中所示之氣流入口可用，例如，更多的複雜氣流入口、一或更多噴淋頭來取代。法拉第屏蔽 549 及/或可選的柵 550 可包括容許處理氣體輸送至處理腔室 524 之內部通道及孔洞。法拉第屏蔽 549 及可選的柵 550 其中任一或兩者可做為噴淋頭以輸送處理氣體。在一些實施例中，液體汽化及輸送系統可位於處理腔室 524 之上游，使得一旦液體反應物或前驅物

汽化時，經汽化的反應物或前驅物會經由氣流入口 560 及或 570 而被導入處理腔室 524。

【0083】 在一些實施例中，可在處理腔室 524 之上游提供遠端電漿產生單元，並且可經由氣流入口 560 及或 570 將由遠端電漿所形成之自由基提供至處理腔室。

【0084】 射頻功率係自 RF 電源 541 供應至線圈 533，使得 RF 流流過線圈 533。流過線圈 533 之 RF 流會產生電磁場在線圈 533 周圍。電磁場在上部子腔室 502 內產生感應電流。所產生的各種離子及自由基與晶圓 519 之物理及化學交互作用會蝕刻晶圓 519 之特徵部、並在晶圓 519 上選擇性地沉積膜層。

【0085】 若使用電漿柵 550，因而具有上部子腔室 502 及下部子腔室 503 兩者，則感應電流會作用於存在上部子腔室 502 中之氣體上，以在上部子腔室 502 中產生電子-離子電漿。可選的內部電漿柵 550 會限制下部子腔室 503 中之熱電子數量。在一些實施例中，設計並操作設備 500，使得下部子腔室 503 中之電漿為離子-離子電漿。

【0086】 上部的電子-離子電漿與下部的離子-離子電漿兩者皆可包含正及負離子，然而離子-離子電漿將具有較大的負離子對正離子比率。揮發性蝕刻及/或沉積副產物可經由開口 522 而自下部子腔室 503 移除。本文所揭示之夾盤 517 可操作於在約 10°C 與約 250°C 之間之提高的溫度下。溫度將取決於處理操作及特定配方。

【0087】 當安裝於無塵室或製造設施中時，設備 500 可耦接至廠務設施（未顯示）。廠務設施包括提供處理氣體、真空、溫度控制、以及環境微粒控制之管路。當安裝於目標製造設施中時，廠務設施係耦接至設備 500。此外，設備 500 可耦接至傳送腔室，其容許機器人利用典型的自動化將半導體晶圓傳送進出設備 500。

【0088】 在一些實施例中，系統控制器 530（其可包括一或更多實體或邏輯控制器）控制處理腔室 524 之一些或所有的操作。系統控制器 530 可包括一或更多記憶體裝置、以及一或更多處理器。在一些實施例中，設備 500 包括切換系統，用於在執行所揭示的實施例時控制流率及持續時間。在一些實施例中，設備 500 之切換時間可上達約 500 ms、或上達約 750 ms。切換時間可取決於流動化學品、所選擇的配方、反應器架構、及其它因素。

【0089】 在一些實行例中，系統控制器 530 為系統之一部分，其可為上述範例之一部分。這樣的系統可包括半導體處理設備，包括一或更多處理工具、一或更多腔室、用以進行處理之一或更多平台、及/或特定的處理構件（晶圓基座、氣體流動系統、等）。這些系統可與電子元件整合，以用於在半導體晶圓或基板之處理之前、期間內、及之後控制這些系統之操作。電子元件可整合在系統控制器 530 中，系統控制器 530 可控制一或更多系統之各種構件或子部分。根據處理參數及/或系統類型，系統控制器可被編程，以控制本文所揭示之任何處理，包括處理氣體之輸送、溫度設定（例如，加熱及/或冷卻）、壓力設定、真空設定、功率設定、射頻（RF）產生器設定、RF 匹配電路設定、頻率設定、流率設定、流體輸送設定、定位及操作設定、晶圓傳遞進入與離開連接至特定系統或與特定系統接合之工具及其它傳遞工具及/或裝載室。

【0090】 廣義而言，系統控制器 530 可定義為具有用以接收指令、發出指令、控制操作、使清洗操作得以進行、使終點測量得以進行、及達成類似功能之各種積體電路、邏輯、記憶體、及/或軟體之電子元件。積體電路可包括儲存程式指令之韌體形式之晶片、數位信號處理器（DSP）、定義為特殊應用積體電路（ASIC）之晶片、及/或一或更多微處理器、或執行程式指令（例如，軟體）之微控制器。程式指令可為以各種單獨設定（或程式檔案）之形式通訊至控制器之指令，定義了用以在半導體晶圓上、或對半導體晶圓、或對系統實施特定處理之

操作參數。在一些實施例中，操作參數可為由製程工程師所定義以在晶圓之一或更多層、材料、金屬、氧化物、矽、二氧化矽、表面、電路、及/或晶粒之製造或去除期間內完成一或更多處理步驟之配方之一部分。

【0091】 在一些實行例中，系統控制器 530 可為電腦之一部分或耦接至電腦，該電腦與系統整合、耦接至系統、以其它方式網路連接至系統、或其組合。例如，控制器可在「雲端」或晶圓廠主機電腦系統之全部或部分中，允許晶圓處理之遠端控制。電腦可使得對系統之遠端控制得以進行，以監控製造操作之當前處理、檢驗過去製造操作之歷史記錄、檢驗複數製造操作之趨勢或效能評量、改變當前處理之參數、設定在當前處理之後之處理步驟、或開始新的處理。在一些範例中，遠端電腦（例如同伺服器）可透過網路而將處理配方提供至系統，網路可包括區域網路或網際網路。遠端電腦可包括使用者介面，使用者介面使得參數及/或設定之輸入或編程得以進行，參數及/或設定接著從遠端電腦被傳遞至該系統。在一些範例中，系統控制器 530 接收數據形式之指令，指令為待於一或更多操作期間內執行之處理步驟其中每一者指定了複數參數。應當了解，該等參數可針對待執行之處理類型、以及控制器與其接合或對其進行控制之工具類型。因此，如上所述，系統控制器 530 可為分散式的，例如藉由包括以網路連接在一起並朝著共同目標（例如本文所述之處理及控制）工作之一或更多獨立控制器。用於這樣的目標之分散式控制器之範例為，與位於遠端（例如，在平台等級或做為遠端電腦之一部分）之一或更多積體電路進行通訊之腔室中之一或更多積體電路，其結合以控制腔室中之處理。

【0092】 非限制性地，示例性系統可包括電漿蝕刻腔室或模組、沉積腔室或模組、旋轉清洗腔室或模組、金屬電鍍腔室或模組、清洗腔室或模組、斜邊蝕刻腔室或模組、物理氣相沉積（PVD）腔室或模組、化學氣相沉積（CVD）腔室或模組、ALD 腔室或模組、ALE 腔室或模組、離子植入腔室或模組、軌道腔室

或模組、EUV 微影腔室（掃描機）或模組、乾式顯影腔室或模組、及關於或用於半導體晶圓之加工及/或製造之任何其它半導體處理系統。

【0093】 如上所述，取決於待由工具所執行之一或更多處理步驟，控制器可與下列之一或多者通訊：其它工具電路或模組、其它工具構件、叢集工具、其它工具介面、相鄰工具、鄰近工具、位於工廠各處之工具、主電腦、另一控制器、或在半導體製造工廠中將晶圓容器移入及移出工具位置及/或裝載埠之材料傳送用工具。

【0094】 EUVL 圖案化之實施可利用任何合適的工具，通常被稱為掃描機，例如由 Veldhoven, NL 之 ASML 所提供之 TWINSKAN NXE:3300B® 平台。EUVL 圖案化工具可為獨立的裝置，基板被移入其中或自其移出以用於本文所述之沉積與蝕刻。或者，如下所述，EUVL 圖案化工具可為在較大的多構件工具上之模組。圖 6 描繪半導體處理叢集工具架構，其具有與真空傳送模組接合之真空整合式沉積、EUV 圖案化、及乾式顯影蝕刻模組，適用於進行本文所述之處理。雖然可在缺少這樣的真空整合設備之情況下實施該等處理，但這樣的設備在某些實行例中可能是有利的。

【0095】 圖 6 描繪半導體處理叢集工具架構，其具有真空整合式沉積及圖案化模組，適用於進行本文中所述之實施例。這樣的叢集處理工具架構可包括 PR 及下方層沉積模組、光阻曝光（EUV 掃描機）模組及/或光阻乾式顯影及蝕刻模組，如本文中所述。在一些實施例中，處理站之一或更多處理參數，包括在本文中所詳細討論之那些，可藉由一或更多電腦控制器而編程地加以調整。

【0096】 在一些實施例中，某些處理功能可在同一模組中連續執行，例如光阻膜氣相沉積、處理、曝光及/或乾式顯影及蝕刻。本揭示內容之實施例係關於用於處理基板之設備，例如用於處理含金屬光阻之設備。該設備具有處理腔室，處理腔室包括基板支撐件，用以支撐具有基板層、及位於基板層上方之含金

屬光阻之半導體基板。該設備可更包括與處理腔室連接之處理氣體源、及相關的流動控制硬體、熱控制硬體、與處理腔室連接之基板操作硬體、以及具有處理器及記憶體之控制器。在一些實行例中，處理器與記憶體係彼此通信連接，處理器與流量控制及基板操作硬體係至少可操作地連接，且記憶體係儲存用以執行本文中所述之圖案化結構之製造方法中之操作之電腦可執行指令。

【0097】 在一些實行例中，具有處理器及記憶體之控制器可配置為具有用以執行以下操作之電腦可執行指令：在處理腔室中之含氧環境中使含金屬的 EUV 光阻暴露於第一提高的溫度，並且在惰性氣體環境中使含金屬的 EUV 光阻暴露於第二提高的溫度，其中第二提高的溫度高於第一提高的溫度。在一些實行例中，第一提高的溫度為介於大約 150°C 與大約 220°C 之間，且第二提高的溫度為介於大約 220°C 與大約 250°C 之間。

【0098】 如上所示，圖 6 描繪半導體處理叢集工具架構，其具有與真空傳送模組接合之真空整合式沉積及圖案化模組，適用於進行本文中所述之處理。用於在多個儲存設備與處理模組之間「傳送」晶圓之傳送模組之配置可稱為「叢集工具架構」系統。根據特定處理之需求，沉積及圖案化模組是真空整合式的。在該叢集上亦可包括其它模組（例如用於蝕刻）。本文中所述之處理步驟可在這些模組其中任何一或多者中執行、或在專用於這類處理之單獨模組中執行。

【0099】 真空傳送模組（VTM）638 與四個處理模組 620a-620d 接合，其可各別進行最佳化以執行各種製造處理。做為一範例，處理模組 620a-620d 可用於執行沉積、蒸發、熱及/或電漿處理、無電沉積、乾式顯影、蝕刻、剝除、及/或其它半導體處理。例如，模組 620a 可為 ALD 反應器，其可操作以執行非電漿的熱原子層沉積，以形成本文中所述之含金屬光阻或其它材料。在一範例中，模組 620a 為可購自 Lam Research Corporation of Fremont, CA 之 Vector® 工具。在這

些或其它實施例中，模組 620b 可為電漿增強化學氣相沉積（PECVD）工具，例如 Lam Vector®。應當理解，圖式未必按比例繪製。

【0100】 氣室 642 及 646（亦稱為裝載室或傳送模組）與 VTM 638 及圖案化模組 640 接合。例如，如上所述，合適的圖案化模組可為 TWINSCAN NXE: 3300B®平台（由 Veldhoven, NL 之 ASML 提供）。此工具架構容許工作件（例如，半導體基板或晶圓）在真空下傳送，以便不在曝光之前反應。沉積模組與微影工具之整合係藉由以下事實促成：考慮到環境氣體（例如 H₂O、O₂ 等）對於入射光子之強烈光學吸收性，EUVL 亦需要大幅降低的壓力。

【0101】 如上所述，此整合架構僅為用於實行所述處理之工具之一可能實施例。該等處理之實行亦可使用更為習知的獨立 EUV 微影掃描機及沉積反應器（例如 Lam Vector 工具）做為模組，其為獨立的或與其它工具（例如蝕刻、剝除等（例如 Lam Kiyo 或 Gamma 工具））一同整合於叢集架構中，例如參考圖 6 所述（但沒有整合的圖案化模組）。

【0102】 氣室 642 可為「輸出」負載室，代表將基板從供沉積模組 620a 使用之 VTM 638 傳出至圖案化模組 640，而氣室 646 可為「輸入」負載室，表示將基板從圖案化模組 640 傳送回 VTM 638。輸入負載室 646 亦可做為至工具外部之接合部，以用於基板之進出。每一處理模組具有將該模組接合至 VTM 638 之維面（facet）。例如，沉積處理模組 620a 具有維面 636。在每一維面內，感測器（例如，圖中所示之感測器 1-18）用以，當晶圓 626 在個別的站與站之間移動時，偵測晶圓之通過。圖案化模組 640 及氣室 642, 646 可類似地裝配有額外的維面及感測器（未顯示）。

【0103】 主要 VTM 機器人 622 在模組（包括氣室 642 及 646）之間傳送晶圓 626。在一實施例中，機器人 622 具有一手臂，而在另一實施例中，機器人 622 具有兩手臂，其中每一手臂具有一末端效應器 624 以拾取晶圓（例如晶圓 626）

而進行輸送。前端機器人 644 係用於將晶圓 626 自輸出氣室 642 傳送至圖案化模組 640 中、自圖案化模組 640 傳送至輸入氣室 646 中。前端機器人 644 亦可在輸入負載室與工具外部之間輸送晶圓 626，以用於基板之進出。由於輸入氣室模組 646 能夠匹配在大氣與真空之間之環境，所以晶圓 626 能在這兩個壓力環境之間移動而不會受損。

【0104】 應當注意，相較於沉積工具，EUV 微影工具通常在較高的真空下（例如，較低的壓力）操作。如果情況是如此，則期望在沉積工具與 EUV 微影工具之間之傳送期間增加基板之真空環境（例如，施加較大的真空，俾使基板係暴露於較低的壓力），以容許基板在進入 EUV 微影工具之前進行除氣。輸出氣室 642 可提供此功能，藉由將所傳送的晶圓維持在較低壓力（不高於圖案化模組 640 中之壓力）一段時間並抽空任何離去氣體，使得圖案化工具 640 之光學元件不會被來自基板之離去氣體所污染。輸出離去氣體的氣室之合適壓力為不超過 $1\text{E-}8$ Torr。

【0105】 在一些實施例中，系統控制器 650（其可包括一或更多實體或邏輯控制器）控制叢集工具及/或其個別模組之一些或所有操作。示例性系統控制器係如以上關於圖 4B 之進一步討論。應當注意，控制器可在叢集架構本地、或可位於製造樓層中之叢集架構之外部、或位在遠端位置並經由網路連接至叢集架構。系統控制器 650 可包括一或更多記憶體裝置及一或更多處理器。處理器可包括中央處理單元（CPU）或電腦、類比及/或數位輸入輸出連接、步進馬達控制板、及其它類似構件。在處理器上執行用以實施合適的控制操作之複數指令。這些指令可儲存於與控制器相連之記憶體裝置上、或可透過網路而提供。在某些實施例中，系統控制器執行系統控制軟體。

【0106】 系統控制軟體可包括用以控制任何工具或模組操作之實施態樣之應用與規模之時序之指令。系統控制軟體可以任何適當的方式配置。例如，可編

寫各種處理工具構件子程序或控制物件，以控制實施各種處理工具程序所需之處理工具構件之操作。系統控制軟體可以任何合適的電腦可讀程式語言加以編碼。在一些實施例中，系統控制軟體包括輸入輸出控制（IOC）序列指令，用以控制上述之各種參數。例如，半導體製造處理之每一階段可包括由系統控制器所執行之一或更多指令。例如，用以設定凝結、沉積、蒸發、圖案化及/或蝕刻階段之處理條件之指令可包括在相對應的配方階段中。

【0107】 在各種實施例中，提供用以形成負型圖案遮罩之設備。該設備可包括用於圖案化、沉積及蝕刻之一或更多處理腔室、以及包括用於形成負型圖案遮罩之指令之控制器。該等處理腔室其中一或多者可用以執行本文中所述之該等處理步驟其中一或多者。指令可包括用於，在相關的一或更多處理腔室中，執行下列處理之程式碼：藉由乾式沉積、如本文中所述之處理、EUV 曝光使基板表面曝光、使已光圖案化的光阻進行乾式顯影，以圖案化特徵部在半導體基板上之金屬氧化物光阻中；及/或使用已圖案化的光阻做為遮罩以蝕刻下方層或層堆疊。

【0108】 應當注意，控制晶圓移動之電腦可在叢集架構本地、或可位於製造樓層中之叢集架構之外部、或位在遠端位置並經由網路連接至叢集架構。關於圖 5B 而描述如上之控制器可與圖 6 中之工具一同實施。

結論

【0109】 揭示了處理策略（例如，施加後烘烤、曝光後烘烤、施加後遠端電漿處理、曝光後遠端電漿處理），以提高含金屬 EUV 光阻之 EUV 微影乾式顯影效能。

【0110】 在以上的敘述中，提出數個特定細節以提供對所述實施例之徹底瞭解。所揭示的實施例可在缺乏部分或全部這些特定細節之例子中實施。在其它例子中，不詳細說明習知的處理操作，以免不必要地模糊所揭示的實施例。雖然

利用特定的實施例來說明所揭示的實施例，但應當瞭解，其並非意圖限制所揭示的實施例。

【0111】 儘管上述實施例已為了清楚理解之目的而詳細地加以描述，但顯然地，在所附申請專利範圍之範疇中，可實行某些變更及修改。應當注意，有許多替代的方式來實施本案實施例之處理、系統及設備。因此，本案實施例應被視為是用於說明的而不是限制性的，且本案實施例不應被限制於本文中所提出之細節。

【0112】 提出以下的申請專利範圍以進一步說明本揭示內容之某些實施例。本揭示內容不必然受限於這些實施例。

【符號說明】

【0113】

1-18:感測器

100:方法

101, 103:方塊

201:基板

202a, 202b, 202c:光阻

301:基板

302a:光阻

302b:未曝光部分

302c:已曝光部分

302d:未曝光部分之修改版本

302e:已曝光部分之修改版本

400:處理

401, 403, 405:方塊

500:感應耦合式電漿設備

501:腔室壁

502:上部子腔室

503:下部子腔室

511:窗部

517:夾盤

519:晶圓

521:匹配電路

522:開口

523:射頻 (RF) 電源

525:連接部

527:連接部

530:系統控制器

533:線圈

539:匹配電路

540:真空泵浦

541:RF 電源

543:連接部

545:連接部

549:法拉第屏蔽

550:電漿柵

560:主氣流入口

570:側氣流入口

580:處理站
581:基板
582:基板支撐件
583:入口
584:出口
585:感測器
586:控制器
620a-620d:處理模組
622:機器人
624:末端效應器
626:晶圓
636:維面
638:真空傳送模組 (VTM)
640:圖案化模組
642:氣室
644:前端機器人
646:氣室
650:系統控制器

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種含金屬極紫外線（EUV）光阻之處理方法，包括：

提供一基板在一處理腔室中，其中該基板係一半導體基板，該半導體基板包括一基板層及位在該基板層上方之一含金屬 EUV 光阻；

在該處理腔室中，使該含金屬 EUV 光阻在一含氧環境中暴露至一第一提高的溫度；及

使該含金屬 EUV 光阻在一惰性氣體環境中暴露至一第二提高的溫度，其中該第二提高的溫度係大於該第一提高的溫度。

【請求項2】 如請求項 1 之含金屬極紫外線（EUV）光阻之處理方法，其中該含金屬 EUV 光阻包括複數 EUV 曝光部分及複數 EUV 未曝光部分，其中在該含氧環境中暴露至該第一提高的溫度及在該惰性氣體環境中暴露至該第二提高的溫度係增加在一後續乾式顯影處理中在該等 EUV 曝光部分與該等 EUV 未曝光部分之間之蝕刻選擇性。

【請求項3】 如請求項 2 之含金屬極紫外線（EUV）光阻之處理方法，其中在該含氧環境中暴露至該第一提高的溫度及在該惰性氣體環境中暴露至該第二提高的溫度係在該後續乾式顯影處理中減少線邊緣粗糙度（LER）並且減少劑量對尺寸（DtS）。

【請求項4】 如請求項 2 之含金屬極紫外線（EUV）光阻之處理方法，更包括：
在提供該基板在該處理腔室中之前，使該含金屬 EUV 光阻暴露至 EUV 輻射，以便形成該等 EUV 曝光部分及該等 EUV 未曝光部分。

【請求項5】 如請求項 4 之含金屬極紫外線 (EUV) 光阻之處理方法，其中在暴露至 EUV 輻射與暴露至該第一提高的溫度之間之一第一等候時間係小於大約 20 分鐘，及其中在暴露至該第一提高的溫度與暴露至該第二提高的溫度之間之一第二等候時間係小於大約 1 小時。

【請求項6】 如請求項 1 之含金屬極紫外線 (EUV) 光阻之處理方法，其中該第一提高的溫度係介於大約 150°C 與大約 220°C 之間，該第二提高的溫度係介於大約 220°C 與大約 250°C 之間。

【請求項7】 如請求項 1 之含金屬極紫外線 (EUV) 光阻之處理方法，其中該含氧環境包括一含氧物種，其中在該含氧環境中之該含氧物種之分壓係至少大約 100 Torr。

【請求項8】 如請求項 1 之含金屬極紫外線 (EUV) 光阻之處理方法，其中該含氧環境包括氧 (O₂)、臭氧 (O₃)、水 (H₂O)、過氧化氫 (H₂O₂)、一氧化碳 (CO)、二氧化碳 (CO₂) 或其組合。

【請求項9】 如請求項 1 之含金屬極紫外線 (EUV) 光阻之處理方法，其中該惰性氣體環境包括氮 (N₂)、氦 (He)、氖 (Ne)、氬 (Ar)、氙 (Xe) 或其組合。

【請求項10】 如請求項 1 之含金屬極紫外線 (EUV) 光阻之處理方法，其中該含氧環境及該惰性氣體環境其中每一者係不含或實質上不含水氣。

【請求項11】 如請求項 1 之含金屬極紫外線 (EUV) 光阻之處理方法，其中該含金屬 EUV 光阻係一含金屬氧化物 EUV 光阻。

【請求項12】 如請求項 1 之含金屬極紫外線 (EUV) 光阻之處理方法，其中該含氧環境包括由一遠端電漿源所產生之複數氧自由基及離子，用於使該含金屬 EUV 光阻暴露至該等氧自由基及離子。

【請求項13】 如請求項 1 之含金屬極紫外線 (EUV) 光阻之處理方法，其中使該含金屬 EUV 光阻在該惰性氣體環境中暴露至該第二提高的溫度係發生在與使該含金屬 EUV 光阻在該含氧環境中暴露至該第一提高的溫度之相同處理腔室。

【請求項14】 如請求項 1 之含金屬極紫外線 (EUV) 光阻之處理方法，更包括：
使該含金屬 EUV 光阻暴露至該含氧環境以及使該含金屬 EUV 光阻暴露至該惰性氣體環境之步驟係重複一或多次。

【請求項15】 如請求項 1 之含金屬極紫外線 (EUV) 光阻之處理方法，更包括：
使該含金屬 EUV 光阻進行乾式顯影，以選擇性地去除該含金屬 EUV 光阻之複數部分，其中在該含氧環境中暴露至該第一提高的溫度以及在該惰性氣體環境中暴露至該第二提高的溫度係在乾式顯影之前所實施之曝光後烘烤 (PEB) 操作。

【請求項16】 一種處理含金屬 EUV 光阻之設備，包括：

- 一處理腔室，包括一基板支撐件，其中該基板支撐件係用以支撐一半導體基板，該半導體基板包括一基板層及位在該基板層上方之一含金屬 EUV 光阻；
- 一處理氣體源，與該處理腔室及相關的氣體流動控制硬體連接；
- 一基板熱控制硬體；及
- 一控制器，配置有複數指令以執行下列操作：

在該處理腔室中，使該含金屬 EUV 光阻在一含氧環境中暴露至一第一提高的溫度；及

使該含金屬 EUV 光阻在一惰性氣體環境中暴露至一第二提高的溫度，其中該第二提高的溫度係大於該第一提高的溫度。

【請求項17】 如請求項 16 之處理含金屬 EUV 光阻之設備，其中該第一提高的溫度係介於大約 150°C 與大約 220°C 之間，該第二提高的溫度係介於大約 220°C 與大約 250°C 之間。

【請求項18】 如請求項 16 之處理含金屬 EUV 光阻之設備，其中該含氧環境及該惰性氣體環境其中每一者係不含或實質上不含水氣。

【請求項19】 如請求項 16 之處理含金屬 EUV 光阻之設備，其中在該含氧環境中之一含氧物種之分壓係至少大約 100 Torr。

【請求項20】 如請求項 16 之處理含金屬 EUV 光阻之設備，其中該含氧環境包括一含氧物種，其中在該含氧環境中之該含氧物種之濃度係至少 20 體積百分比，其中該含氧物種包括氧 (O₂)、臭氧 (O₃)、水 (H₂O)、過氧化氫 (H₂O₂)、一氧化碳 (CO)、二氧化碳 (CO₂) 或其組合。

【發明圖式】

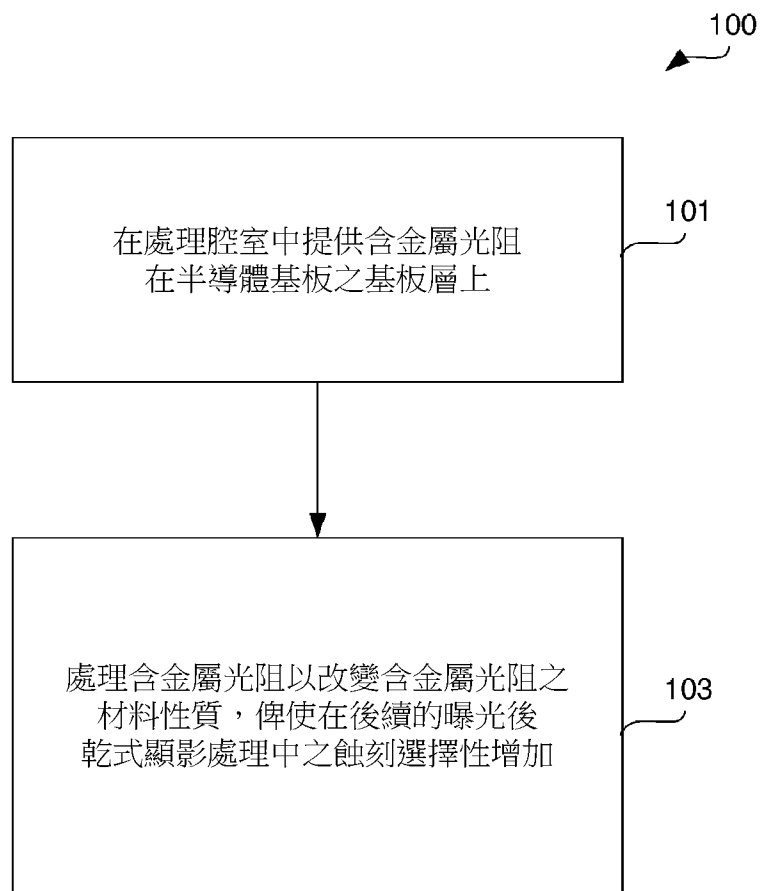


圖 1

圖 2

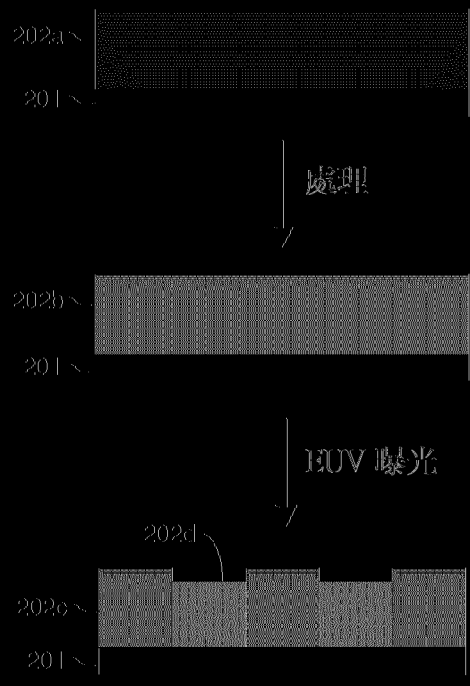
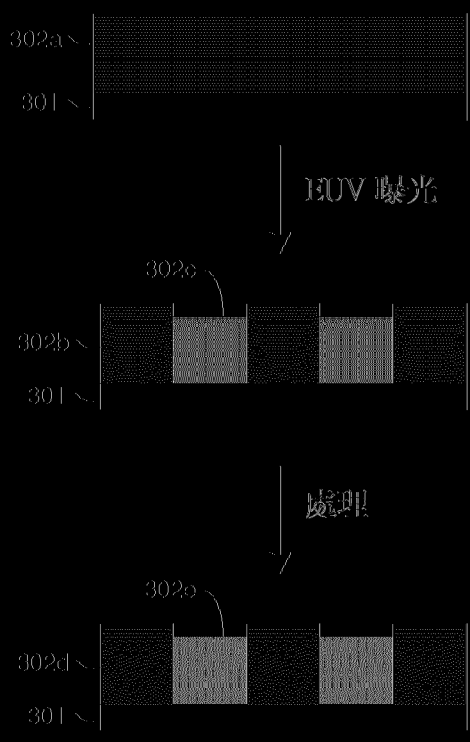


圖 3



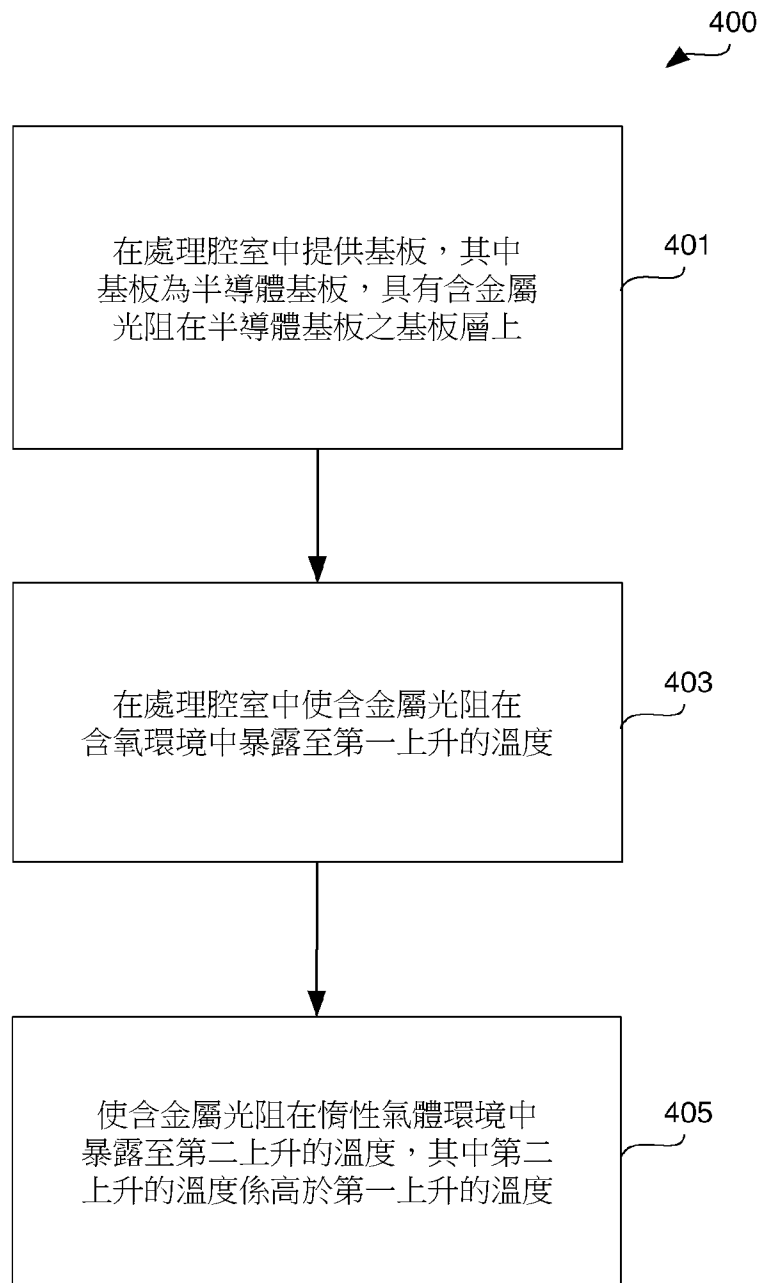


圖 4

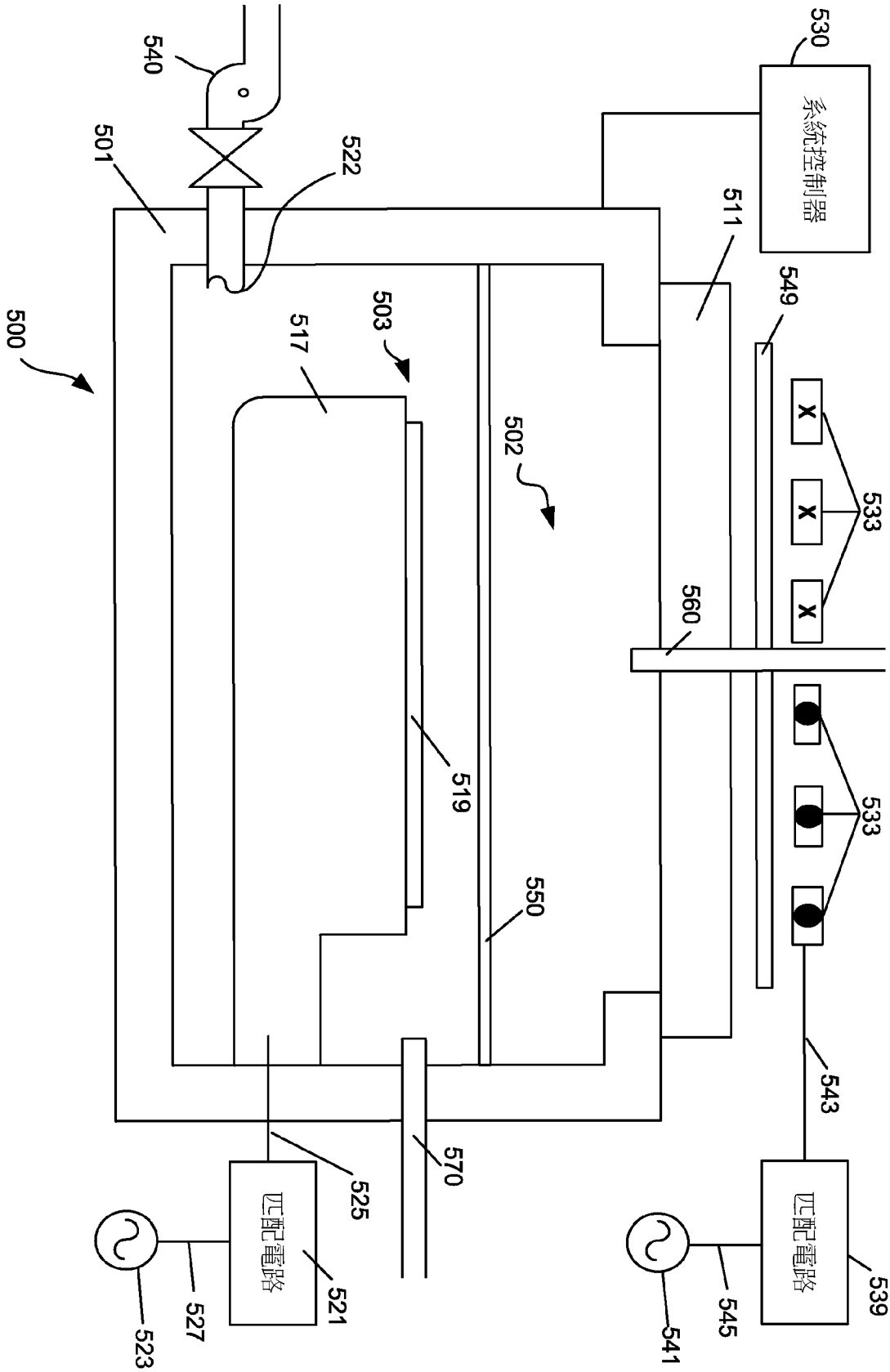


圖 5B

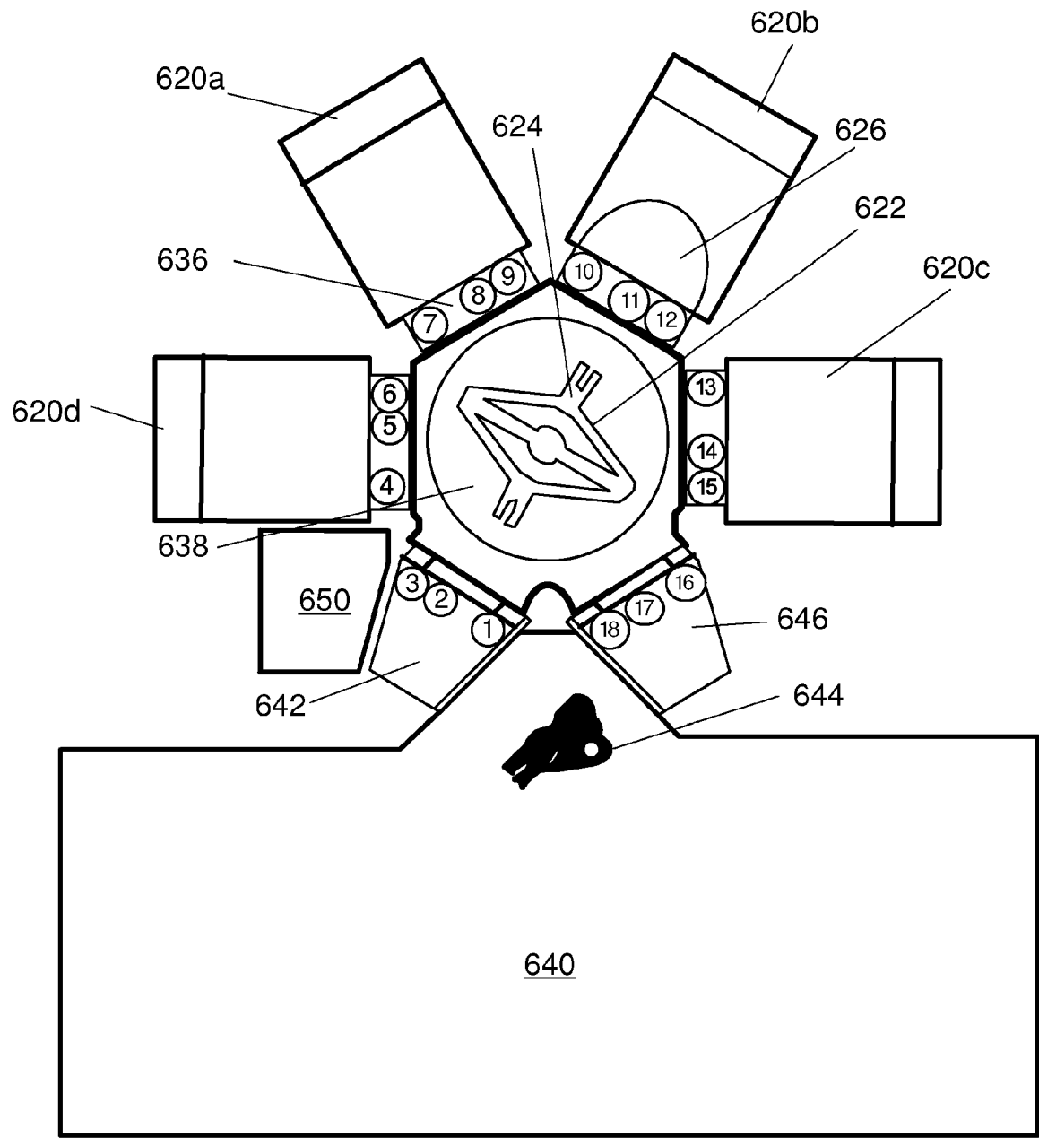


圖 6

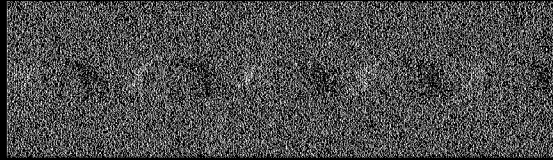


圖 7A

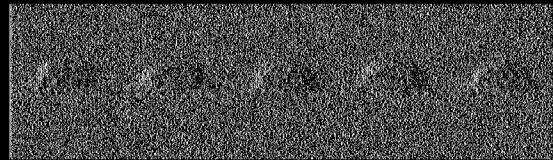


圖 7B

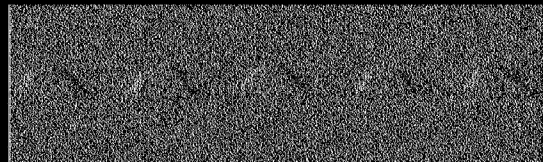


圖 7C

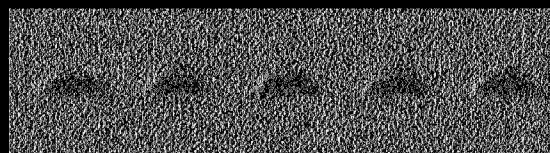


圖 7D