



(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 I873255 B

(45)公告日：中華民國 114 (2025) 年 02 月 21 日

(21)申請案號：109144703

(22)申請日：中華民國 109 (2020) 年 12 月 17 日

(51)Int. Cl. : H01J37/28 (2006.01)

H10B12/00 (2023.01)

H10B41/27 (2023.01)

H10B43/27 (2023.01)

(30)優先權：2020/02/12 美國

16/789,348

(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：理曼 艾隆 LITMAN, ALON (IL)；齊爾科 康斯坦丁 CHIRKO, KONSTANTIN
(IL)；哲 葉胡達 ZUR, YEHUDA (IL)

(74)代理人：李世章；彭國洋

(56)參考文獻：

US 20090114818A1

審查人員：林宥辰

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：7 共 42 頁

(54)名稱

在高能 SEM 下以沉積來填充空結構以實現均勻分層

(57)摘要

一種評估樣品的包括由實心部分分隔的孔陣列的區域的方法。方法包括以下步驟：將樣品放置在評估工具的真空腔室內，評估工具包括掃描電子顯微鏡 (SEM) 柱和聚焦離子光束 (FIB)；將沉積氣體注入到樣品上；用第一帶電粒子光束掃描樣品的一部分，樣品的該部分包括在孔陣列中的複數個孔，以從沉積氣體將材料局部沉積在所掃描的部分中的複數個孔內；及用 FIB 柱銑削樣品的該部分，樣品的該部分包括材料局部沉積於中的複數個孔。

A method of evaluating a region of a sample that includes an array of holes separated by solid portions. The method includes positioning the sample within in a vacuum chamber of an evaluation tool that includes a scanning electron microscope (SEM) column and a focused ion beam (FIB); injecting a deposition gas onto the sample; scanning, with a first charged particle beam, a portion of the sample that includes a plurality of holes in the array of holes to locally deposit material within the plurality of holes in the scanned portion from the deposition gas; and milling, with the FIB column, the portion of the sample that includes the plurality of holes in which the material was locally deposited.

指定代表圖：

符號簡單說明：

400:方法

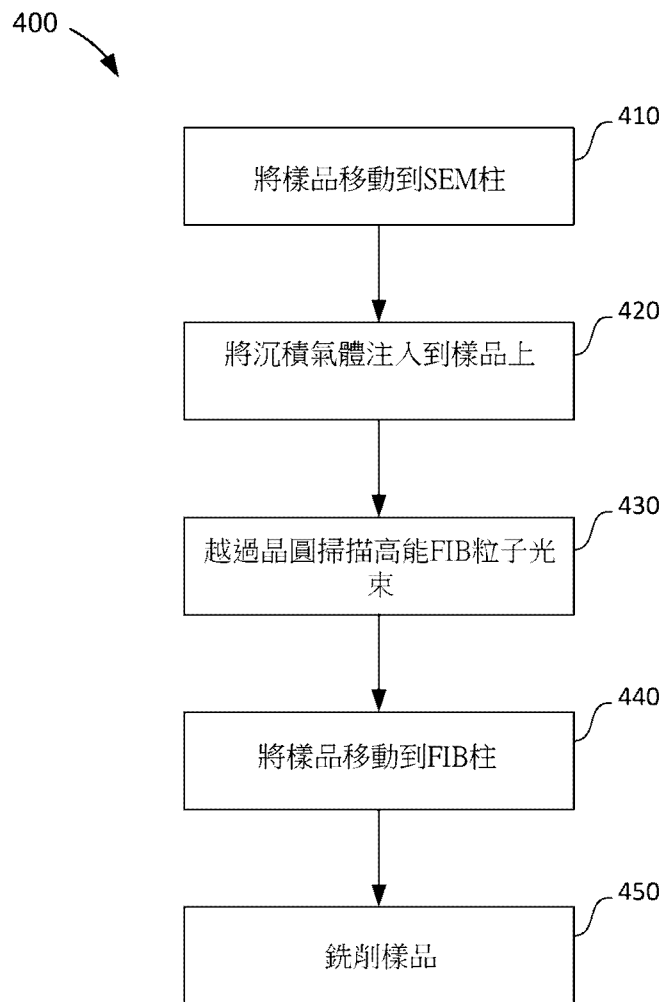
410:方塊

420:方塊

430:方塊

440:方塊

450:方塊



第4圖



公告本

I873255

【發明摘要】

【中文發明名稱】 在高能 SEM 下以沉積來填充空結構以實現均勻分層

【英文發明名稱】 FILLING EMPTY STRUCTURES WITH DEPOSITION UNDER HIGH-ENERGY SEM FOR UNIFORM DE LAYERING

【中文】

一種評估樣品的包括由實心部分分隔的孔陣列的區域的方法。方法包括以下步驟：將樣品放置在評估工具的真空腔室內，評估工具包括掃描電子顯微鏡（SEM）柱和聚焦離子光束（FIB）；將沉積氣體注入到樣品上；用第一帶電粒子光束掃描樣品的一部分，樣品的該部分包括在孔陣列中的複數個孔，以從沉積氣體將材料局部沉積在所掃描的部分中的複數個孔內；及用 FIB 柱銑削樣品的該部分，樣品的該部分包括材料局部沉積於中的複數個孔。

【英文】

A method of evaluating a region of a sample that includes an array of holes separated by solid portions. The method includes positioning the sample within in a vacuum chamber of an evaluation tool that includes a scanning electron microscope (SEM) column and a focused ion beam (FIB); injecting a deposition gas onto the sample; scanning, with a first charged particle beam, a portion of the sample that includes a plurality of holes in the array of holes to locally deposit material within the plurality of holes in the scanned portion from the deposition gas; and milling, with the FIB column, the portion of the sample that includes the plurality of holes in which the material was locally deposited.

【指定代表圖】第（ 4 ）圖。

【代表圖之符號簡單說明】

4 0 0 : 方 法

4 1 0 : 方 塊

4 2 0 : 方 塊

4 3 0 : 方 塊

4 4 0 : 方 塊

4 5 0 : 方 塊

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】 在高能 SEM 下以沉積來填充空結構以實現均勻分層

【英文發明名稱】 FILLING EMPTY STRUCTURES WITH DEPOSITION UNDER HIGH-ENERGY SEM FOR UNIFORM DE LAYERING

【技術領域】

【0001】 本申請案主張 2020 年 2 月 12 日提交的 US 16/789,348 的優先權。其揭露內容據此出於所有目的全文以引用方式而併入於此。

【0002】 本揭露書係關於在高能 SEM 下以沉積來填充空結構以實現均勻分層。

【先前技術】

【0003】 在電子材料和用於將此種材料製造成電子結構的處理的研究中，電子結構的試樣可為了故障分析和裝置驗證的目的而用於顯微鏡檢查。例如，可在掃描電子顯微鏡（SEM）或透射電子顯微鏡（TEM）中分析電子結構（諸如矽晶圓）的試樣，以研究晶圓中的特定特性特徵。此類特性特徵可包括所製造的電路以及在製造處理期間形成的任何缺陷。電子顯微鏡是用於分析半導體裝置的微觀結構的最有用的配備之一。

【0004】 在製備用於電子顯微鏡檢查的電子結構的試樣中，可使用各種拋光和銑削處理來對結構進行切片，直到曝露出特定的特性特徵為止。隨著裝置尺寸不斷減小到亞半微米水平，製備用於在電子顯微鏡中研究的試樣的技術變得越來越重要。由於光學顯微鏡的分辨率不可接受，因

此用光學顯微鏡研究結構的常規方法不能用以研究現代電子結構中的特徵。

【0005】 儘管TEM技術可提供足以分析具有亞半微米特徵的裝置的試樣的內部結構的高分辨率圖像和詳細描述，但它們僅對電子透明樣品有效。因此，對TEM樣品的基本要求是，樣品必須足夠薄以被電子光束穿透，並且必須足夠薄以避免多重散射，多重散射導致圖像模糊。從晶圓提取的用於TEM處理技術的薄樣品可能很脆，並且可能容易破裂或碎裂。由於該等和其他原因，對於某些缺陷檢查和分析操作而言，TEM成像處理並不實用。

【0006】 結合了掃描電子顯微鏡和聚焦離子光束（FIB）單元的雙柱系統可產生形成在樣品（諸如半導體晶圓）上的電子結構的局部區域的高分辨率SEM圖像。典型的雙柱系統包括SEM柱、FIB柱、支撐樣品的支撐元件及真空腔室，當樣品（藉由FIB柱）銑削時且當樣品（藉由SEM柱）成像時，樣品放置在真空腔室中。

【0007】 移除一個或多個選定的層（或層的一部分）以隔離樣品上的結構被稱為分層，並且可在雙柱系統中完成，諸如如上所述。例如，可藉由以下方式進行分層：（i）定位需要銑削的關注位置，以便從樣品移除一定厚度的材料（關注位置可藉由SEM的導航來定位，有時可通過使用光學顯微鏡），（ii）移動樣品（如，藉由機械支撐元件），使得樣品位於FIB單元下方，及（iii）銑削樣品以在關注位置移除期望的材料量。分層處理可包括在樣品

中形成孔（通常尺寸在橫向和垂直維度上為幾微米到幾十微米），以在孔的底部處曝露出期望採樣的材料。

【0008】 當試圖銑削形成在樣品上的某些結構時，被銑削的結構的幾何形狀可能帶來以均勻方式來分層結構的挑戰。例如，在包括高深寬比通道孔陣列或在孔之間具有實心部分（如，狹縫）的類似結構的裝置中，通道孔的區域可能比具有實心部分的區域的銑削速度更快，從而難以或甚至不可能在彼等區域進行精確的計量。因此，期望改進的銑削和分層技術。

【發明內容】

【0009】 本揭露書的實施例涉及一種用於經由分層處理而移除包括亞半微米特徵的樣品的一個或多個選定的層（或層的一部分）的改進的方法和系統。即使分層的部分包括高深寬比通道孔陣列，本揭露書的實施例亦可用以均勻分層此種樣品的一部分，孔具有在孔之間形成的實心部分或類似結構。儘管本揭露書的實施例可用以分層在各種不同類型的樣品上形成的結構，但是一些實施例在分層作為半導體晶圓或類似試樣的樣品中是特別有用的。

【0010】 一些實施例涉及一種評估樣品的包括由實心部分分隔的孔陣列的區域的方法。方法可包括以下步驟：將樣品放置在評估工具的真空腔室內，評估工具包括掃描電子顯微鏡（SEM）柱和聚焦離子光束（FIB）；將沉積氣體注入到樣品上；用第一帶電粒子光束掃描樣品的一部分，樣品的該部分包括在孔陣列中的複數個孔，以從沉積

氣體將材料局部沉積在所掃描的部分中的複數個孔內；及用FIB柱銑削樣品的該部分，樣品的該部分包括材料局部沉積於中的複數個孔。

【0011】 銑削步驟可包括以下步驟：越過沉積在孔陣列中的材料和分隔孔的實心部分兩者掃描離子光束，且銑削步驟可迭代地分層孔陣列中的材料和分隔孔的實心部分兩者。並且，在一些實施方式中，在銑削處理的每次迭代移除銑削區域中的樣品的層之後，可藉由SEM柱對樣品成像。

【0012】 在一些實施例中，可將在掃描步驟期間沉積的材料沉積在複數個孔的上部部分內，銑削步驟可將樣品銑削至曝露出複數個孔的下部未填充部分的水平，且方法進一步包括以下步驟：在銑削步驟之後，重複注入和掃描步驟，以在複數個孔的未填充部分內沉積額外的材料；及用FIB柱銑削樣品的該部分，樣品的該部分包括額外的材料局部沉積於中的複數個孔。

【0013】 一些實施例涉及一種用於評估樣品的包括由實心部分分隔的孔陣列的區域的系統。系統可包括真空腔室；樣品支撐件，配置成在樣品評估處理期間將樣品保持在真空腔室內；SEM柱，配置成將第一帶電粒子光束引導到真空腔室中；FIB柱，配置成將第二帶電粒子光束引導到真空腔室中；氣體供應系統，配置成將沉積氣體注入到樣品上；及處理器和耦合到處理器的計算機可讀記憶體。記憶體可包括複數個計算機可讀指令，當由處理器執

行時使系統：將沉積氣體注入到樣品上；越過樣品的包括在孔陣列中的複數個孔的一部分掃描帶電粒子光束，以從沉積氣體將材料局部沉積在所掃描的部分中的複數個孔內；及用FIB柱銑削樣品的該部分，樣品的該部分包括材料局部沉積於中的複數個孔。

【0014】 一些實施例涉及一種非暫時性計算機可讀記憶體，非暫時性計算機可讀記憶體儲存用於藉由以下方法來評估樣品的包括由實心部分隔開的孔陣列的區域的指令：將樣品放置在評估工具的真空腔室內，評估工具包括SEM柱和FIB柱；將沉積氣體注入到樣品上；用第一帶電粒子光束掃描樣品的包括在孔陣列中的複數個孔的該部分，以從沉積氣體將材料局部沉積在所掃描的部分中的複數個孔內；及用FIB柱銑削樣品的該部分，樣品的該部分包括材料局部沉積於中的複數個孔。

【0015】 於此描述的實施例的各種實施方式可包括以下特徵的一個或多個。第一帶電粒子光束可為由SEM柱產生的高能SEM光束，或第一帶電粒子光束可由以反向偏壓模式操作的FIB柱產生。注入和掃描可同時發生，或注入和掃描可順序發生，並且可在要分層的樣品的不同區域中越過樣品重複多次。高能SEM光束的功率水平至少為15 KeV。樣品可為半導體晶圓。複數個孔中的每個孔可具有小於100 nm的直徑和大於3微米的深度。在一些實施方式中，複數個孔是用於3D-NAND結構中的記憶體通道

的接觸孔，並且在一些實施方式中，複數個孔是可在其中形成 D R A M 裝置中的電容器的孔。

【0016】 亦有其他實施例涉及一種評估樣品的包括由實心部分分隔的孔陣列的區域的方法。方法可包括以下步驟：將樣品放置在評估工具的真空腔室中的支撐件上，評估工具包括 S E M 柱和 F I B 柱；將樣品移至腔室內在 S E M 柱的視野下的位置；將沉積氣體注入到樣品上；及使用來自 S E M 柱的高能 S E M 光束掃描樣品的包括在孔陣列中的複數個孔的一部分，以將材料局部沉積在所掃描的部分中的複數個孔內；將腔室內的樣品移動到 F I B 柱的視野下的位置；及用 F I B 柱銑削樣品的該部分，樣品的該部分包括材料局部沉積於中的複數個孔。

【0017】 為了更好地理解本揭露書的本質和優點，應當參考以下描述和附圖。然而，應當理解，每個圖式僅出於說明的目的而提供，並且不旨在作為對本揭露書的範圍的限制的界定。同樣，作為一般規則，且除非從說明書中明顯得知相反，否則在不同圖式中的元件使用相同的元件符號時，該等元件在功能或目的上通常相同或至少相似。

【圖式簡單說明】

【0018】 第 1 A 圖是半導體晶圓的簡化橫截面圖，半導體晶圓包括由實心部分分隔的高深寬比通道孔陣列，孔可作為分層處理的一部分進行銑削操作；

【0019】 第 1 B 圖是第 1 圖所示的根據現有技術在晶圓上執行銑削操作之後的半導體晶圓的簡化橫截面圖；

【0020】 第 2 圖是描繪根據現有技術的穿過高深寬比通道孔陣列的 F I B 銑削處理的結果的 S E M 圖像；

【0021】 第 3 A 圖是根據本揭露書的一些實施例的樣品評估系統的簡化圖；

【0022】 第 3 B 圖是根據本揭露書的另外的實施例的樣品評估系統的簡化圖；

【0023】 第 4 圖是描繪根據本揭露書的一些實施例的與分層樣品的方法相關聯的步驟的流程圖；

【0024】 第 5 A 圖至第 5 C 圖是根據一些實施例的在第 4 圖中闡述的分層處理的不同階段處的半導體晶圓的簡化橫截面圖；

【0025】 第 5 D 圖是根據一些實施例的可分層的半導體晶圓上的區域的簡化圖；

【0026】 第 5 E 圖描繪了根據一些實施例的當從晶圓依次銑削不同的層時的半導體晶圓的簡化橫截面圖；

【0027】 第 6 A 圖至第 6 D 圖是根據一些實施例的在分層處理的不同階段處的另一半導體晶圓的簡化橫截面圖；及

【0028】 第 7 圖是描繪根據本揭露書的額外實施例的與分層樣品的方法相關聯的步驟的流程圖。

【實施方式】

【0029】 本揭露書的實施例可分層包括孔陣列的樣品的一部分，孔陣列具有形成在孔之間的實心部分。儘管本揭露書的實施例可用以分層在各種不同類型的樣品上形成的結構，但是一些實施例在分層包括形成在半導體晶圓或

類似試樣上的小特徵尺寸及/或高深寬比的孔（如，直徑為100或更小的孔及/或深寬比為30：1、40：1或60：1或更高）的樣品中特別有用。根據本揭露書的實施例可分層的小特徵尺寸、高深寬比的孔的非限制性實例包括用於3D-NAND裝置中的記憶體通道的接觸孔和可在其中形成DRAM裝置中的電容器的孔。

【0030】 如上所述，當使用標準分層技術來分層樣品的一部分時，該樣品的一部分包括具有實心部分（如，狹縫）在其間的高深寬比的孔陣列，孔通常比狹縫被銑削得更快。發明人認為，在此種樣品中的不均勻銑削是由於穿過壁的濺射。

【0031】 為了說明，參考第1A圖和第1B圖，第1A圖和第1B圖是半導體晶圓100的簡化橫截面圖，半導體晶圓100包括由實心部分120隔開的高深寬比通道孔110的陣列。在第1A圖中，在兩個分開的區域處執行向晶圓的所有區域提供相等離子劑量的銑削操作（如，FIB點在被銑削的晶圓上的每個位置花費相同的時間量）。在通道孔陣列中執行第一銑削位置（由光束130表示），並且在不包括通道孔110的半導體晶圓100的區域中執行第二銑削位置（由光束140表示）。在每個區域中的離子滲透150代表真實的TRIM模擬。

【0032】 來自銑削操作的濺射材料在第1A圖中由指向遠離每個離子滲透區域150的箭頭顯示。由於穿過壁的濺射，通道孔的銑削速度比狹縫要快。結果，並且如第1B

圖所示，銑削處理可能產生帶有重新沉積的材料的薄層160的不均勻表面，重新沉積的材料是由穿過壁而濺射的材料所形成的。

【0033】 第2圖（其為穿過通道孔陣列的FIB銑削處理的SEM圖像）說明了此種現象。特別地，在第2圖中，以45度傾斜對晶圓200成像，從而顯示了通道孔陣列中的銑削區域210，同時亦包括孔陣列的晶圓區域215未被銑削。如從第2圖明顯看出，銑削區域210表現出第1B圖所描繪對計量結果產生不利影響的不均勻的槽形輪廓。

【0034】 本揭露書的實施例藉由用將避免上述現象同時仍在用於孔計量的SEM成像中提供對比度的材料填充孔陣列來克服該挑戰。

【0035】 在一些實施例中，在雙柱缺陷分析系統中，在高性能SEM下藉由沉積處理填充孔陣列。在第3A圖中闡述了根據本揭露書的實施例的適合於填充孔陣列的系統的一個實例，其顯示了根據本揭露書的一些實施例的簡化的樣品評估系統300。樣品評估系統300可用於除其他操作之外的缺陷檢查和對在半導體晶圓上形成的結構的分析。

【0036】 系統300可包括真空腔室310以及掃描電子顯微鏡（SEM）柱320和聚焦離子光束（FIB）柱330。支撐元件350可在樣品355（有時於此稱為「物體」或「試標」）受到來自FIB或SEM柱之一的帶電粒子光束的作用的處理操作期間在腔室310內支撐樣品355（如，半導

體晶圓)，並可根據處理的需要，在真空腔室310內在兩個柱320和330的視場之間移動樣品。

【0037】 可將一種或多種氣體藉由氣體供應單元360輸送到將處理的樣品以用於某些操作。為了便於說明，氣體供應單元360在第3A圖中顯示為噴嘴，但是要注意的是，氣體供應單元360可包括氣體儲存器、氣體源、閥、一個或多個入口和一個或多個出口以及其他元件。在一些實施例中，氣體供應單元360可配置成在將樣品曝露於帶電粒子光束的掃描圖案的地區中將氣體輸送到樣品，而不是將氣體輸送到樣品的整個上表面。例如，在一些實施例中，氣體供應單元360具有以幾百微米（如，在400-500微米之間）測量的噴嘴直徑，配置成將氣體直接輸送到樣品的表面的涵蓋帶電粒子光束掃描圖案的較小部分。在各種實施例中，第一氣體供應單元360可配置成將氣體輸送至設置在SEM柱320下方的樣品，且第二氣體供應單元360可配置成將氣體輸送至設置在FIB柱330下方的樣品。

【0038】 SEM柱320和FIB柱330連接到真空腔室310，使得由其中一個帶電粒子柱產生的帶電粒子光束在撞擊樣品355之前傳播經過真空腔室310內形成的真空環境。SEM柱320可藉由用帶電粒子光束照射樣品、檢測由於照射而發射的粒子並基於檢測到的粒子生成帶電粒子圖像來產生樣品355的一部分的圖像。FIB柱330可藉由用一個或多個帶電粒子光束照射樣品355以形成橫截

面並且亦可使橫截面平滑來銑削（如，在樣品 355 中鑽洞）樣品 355。橫截面可包括第一材料的一個或多個第一部分和第二材料的一個或多個第二部分。橫截面亦可包括其他材料的其他部分。方便地，平滑操作涉及相對於樣品的銑削利用較小的加速電壓。

【0039】 粒子成像和銑削處理各自通常包括以恆定的速率跨越被成像或銑削的樣品的特定區域來回掃描帶電粒子光束（如，以光柵掃描圖案）。耦合到帶電粒子柱的一個或多個透鏡（未顯示）可實現掃描圖案，此是熟悉本領域者已知的。所掃描的區域通常僅佔樣品的總區域的很小一部分。例如，樣品可為具有直徑為 200 mm 或 300 mm 任一者的半導體晶圓，而在晶圓上掃描的每個區域可為矩形區域，其寬度及 / 或長度以微米或數十微米測量。

【0040】 在一些實施例中，缺陷分析系統 300 可包括如第 3 B 圖所示的照明單元 370 及 / 或氣體噴塗單元 380。當系統 300 包括照明單元 370 時，系統可藉由將光活化的蝕刻劑氣體曝露於由照明單元產生的光來執行氣體輔助蝕刻（下面討論）。為此，照明單元 370 可包括光源 372 和聚焦光學裝置 374，在一些實施例中，光源 372 和聚焦光學裝置 374 的每一個可位於真空腔室 310 內，而在其他實施例中，光源 372 和聚焦光學裝置 374 的每一個可位於真空腔室 310 外側。光源 372 可為單色光源、寬帶光源、脈衝光源、連續光源、雷射、燈（諸如但不限於水銀燈），並且在一些實施例中可產生波長不超過 200 奈米的光。聚焦

光學裝置 374 可將來自光源 372 的光聚焦到正被處理的區域上，該區域可包括橫截面、可僅包括橫截面的一部分或可位於橫截面附近。例如，該區域可位於距橫截面幾奈米或幾微米的位置。應注意，即使當光束聚焦到橫截面上時，光束亦可穿過不在橫截面附近的光活化蝕刻劑氣體。藉由將光束聚焦到上述區域上，可（主要或僅）在橫截面附近發生選擇性蝕刻，而晶圓的其他部分基本上（或甚至非實質性地）不被蝕刻。

【0041】 除了氣體供應單元 360 之外或代替氣體供應單元 360，可包括氣體噴塗單元 380，且氣體噴塗單元 380 可包括如上文關於氣體供應單元 360 所討論的各種氣體源、儲存器、閥等，並且亦可包括將氣體（如，沉積氣體或蝕刻劑氣體）噴塗到樣品上的噴嘴，以便在樣品上沉積材料或蝕刻橫截面以提供如下所述的精細的形貌。

【0042】 儘管在第 3 A 圖或第 3 B 圖的任一者中均未顯示，系統 300 可包括一個或多個控制器、處理器或其他硬體單元，其藉由執行儲存在一個或多個計算機可讀記憶體中的計算機指令來控制系統 300 的操作，此對於熟悉本領域者而言是已知的。舉例而言，計算機可讀記憶體可包括固態記憶體（諸如隨機存取記憶體（RAM）及/或唯讀記憶體（ROM））（其可為可程式化的，快閃記憶體可更新的及/或類似者）、磁碟驅動器、光學儲存裝置或類似的非暫時性計算機可讀儲存媒體。

【0043】 除了利用 SEM 柱 320 生成帶電粒子圖像外，系統 300 亦可在樣品上沉積材料及 / 或對樣品進行氣體輔助蝕刻。系統 300 可執行橫截面的氣體輔助蝕刻，以便（例如）在橫截面的至少一個第一部分和至少一個第二部分之間產生形貌差異。為了進行氣體輔助蝕刻，氣體供應單元 360（或氣體噴塗單元 380）可將適當的蝕刻劑源氣體供應到可包括橫截面或可靠近橫截面的區域。在某些情況下，當樣品曝露在來自 SEM 柱的帶電粒子光束時，蝕刻源氣體可藉由從樣品的表面出現的二次電子而活化，無論碰撞電子的串列（c a s c a d e）到達何處。在某些情況下，當樣品曝露於來自 FIB 柱的帶電粒子光束時，蝕刻源氣體可藉由從樣品的表面出現的二次電子而活化，無論碰撞離子的串列到達何處。在沒有帶電粒子光束的情況下，氣體輔助蝕刻步驟期間所供應的氣體可為非反應性的或微反應性的。一旦被活化，蝕刻劑源氣體可接著變得具有反應性，並且可以不同的速率蝕刻不同的材料以形成精細的形貌。

【0044】 在根據本揭露書的氣體輔助蝕刻處理的一些實施例中，使用具有幾千電子伏特（幾 keV）的能級的電子光束以便產生活化蝕刻劑源氣體的二次電子。在其他實施例中，使用低能量（例如，約幾百電子伏特）的離子光束來引發上述活化蝕刻劑源氣體的事件是方便的。

【0045】 本揭露書的一些實施例可藉由在系統內的高能 SEM 下啟動沉積處理，使用雙柱缺陷分析系統（諸如上

述系統300)來填充高深寬比的孔(或類似結構)的陣列。為此,可藉由氣體供應單元360(或氣體噴塗單元380)將沉積氣體供應到樣品355,並且來自SEM柱320的能量可產生二次電子。撞擊中的二次電子的串列繼而又可活化沉積氣體,從而導致材料沉積在樣品上以及位於樣品的受SEM粒子光束作用的區域中的孔陣列內。因此,根據本揭露書的此類實施例發生的沉積不會同時在正在處理的樣品或晶圓的整個表面上同時發生。取而代之的是,沉積僅發生在SEM粒子光束(作為非限制性實例,直徑可在0.5到10nm的範圍中)撞擊到晶圓上的一般區域並且當粒子光束越過晶圓的彼等區域而掃描時。因此,可以奈米分辨率進行根據一些實施例的沉積。

【0046】 局部沉積處理可用任何材料填充孔,該等材料將避免相對於第1A圖、第1B圖和第2圖所述的不均勻銑削,同時仍然提供用於孔測量的SEM成像中的對比度。例如,在高能SEM處理(數十kV)中,電子的穿透深度可能超過一微米。因此,當在上述幾何形狀上掃描時,穿過孔壁(更靠近底部)的二次電子產量要高於表面處的二次電子產量。結果,假定沉積氣體分子存在於孔內側,則根據本揭露書的一些實施例的沉積在孔內側更快速地發生。沉積的材料可接著填充孔,從而使填充的結構可在後續的銑削操作中均勻地銑削。

【0047】 為了說明,參照第4圖,第4圖是顯示與根據本揭露書的一些實施例的方法400相關聯的步驟的流程

圖，並且參照第5A圖至第5C圖，第5A圖至第5C圖是經受方法400的步驟的半導體晶圓500的簡化橫截面圖。半導體晶圓500可包括形成在半導體晶圓500中並且由實心部分或狹縫520分隔的小特徵尺寸、高深寬比的孔510的陣列。孔510和實心部分520可與以上關於第1A圖和第1B圖討論的孔110和狹縫120相似或相同。

【0048】 方法400的初始步驟可包括在SEM柱的視野下移動晶圓500（方塊410）。一旦晶圓被適當地定位後，就可將沉積氣體注入到晶圓上（方塊420）。如第5A圖所示，沉積氣體可黏附到包括上表面505和孔內的表面515的晶圓500的表面，如氣體層530所示。可基於形成孔510的材料來選擇沉積氣體。例如，可選擇沉積氣體以沉積具有類似於形成孔510的材料（亦即，由實心部分520構成的材料）的銑削速率，但與用於成像目的的部分520的材料具有不同的對比度的材料（在下面討論的方塊430期間）。作為各種實例，實心部分520可包括碳、氧化矽或其他適當的材料，並且取決於部分520的材料，可選擇沉積氣體來沉積碳、鉑、鎢、鈷、鈮或任何適當的材料。例如，在要沉積的材料是金屬的情況下，沉積氣體可包括帶有要沉積金屬的單個原子的大分子-例如，六氟化鎢（ WF_6 ）或六羰基鎢（ $W(CO)_6$ ）任一者可為鎢的沉積氣體，而三甲基（甲基環戊二烯基）鉑（ $(C_5H_4CH_3)(CH_3)_3Pt$ ）可為鉑的沉積氣體。

【0049】 接下來，當氣體仍被注入到晶圓500上時，方法400可包括在晶圓的部分中越過晶圓500掃描SEM帶電粒子光束540，晶圓的該部分處形成隨後在方塊450中銑削的孔510（方塊430）。帶電粒子光束可聚焦在晶圓500的表面505處，以確保高度的橫向準確度和掃描速率（亦即，如熟悉本領域者將理解的光束速度是包括像素大小、駐留時間和重疊的參數的組合）且粒子光束的i探針（電流）控制沉積速率，並且可針對孔內的沉積品質進行最佳化以達到最佳效果。可選擇在方塊430中指向晶圓的SEM帶電粒子光束540的能級，使得基於帶電粒子類型（如，來自SEM柱的電子）和所穿透的材料，光束藉由電子545的滲透如第5B圖所示穿透晶圓的表面505下方幾微米。電子545的滲透引發反應性氣體分子中的反應，從而在孔陣列內沉積固體材料550，固體材料位於SEM粒子光束撞擊晶圓的區域。那就是沉積僅在SEM光束撞擊晶圓的地方發生。沉積量藉由用SEM帶電粒子光束掃描注入的氣體所花費的時間控制。應注意，第5B圖描繪了在SEM光束540已經越過區域552掃描，從而在區域552中的孔內沉積材料之後，及當SEM光束540剛剛開始越過區域554掃描，從而開始在區域554中的孔內沉積材料的時間點時的晶圓500。

【0050】 一旦SEM光束540已越過期望沉積的晶圓的部分完全地掃描（如，越過將要銑削的孔的所有部分），材料550將填充彼等區域中的孔。接下來，可將晶圓移動到

FIB 柱的視場（方塊 440），並且可藉由 FIB 柱以均勻的方式銑削填充區域（方塊 450），如第 5C 圖所示，一旦完成銑削處理，在該處就已將表面 505 銑削到較低的相對平坦的表面 505b。

【0051】 在一些實施例中，方塊 450 的銑削處理可包括多個子步驟。例如，在第一子步驟中，待分層的部分的最上層可被銑削和移除。可接著將樣品移回 SEM 柱的視野，並可對銑削區域進行成像。接下來，可將樣品移回 FIB 柱，並可接著在晶圓的同一部分銑削後續層。可重複多次此種移除特定區域的晶圓層並對該區域進行成像的處理，從而實質上在樣品中刻出一個孔，孔隨著每次迭代而變得越來越深。在處理的成像部分期間所擷取的數據可用以評估銑削和成像部分，包括（例如）在銑削區域中生成樣品的三維模型。

【0052】 為了進一步說明，參照第 5D 圖和第 5E 圖，其中第 5D 圖是第 5A 圖至第 5C 圖中所描繪的半導體晶圓 500 的簡化圖，而第 5E 圖是當晶圓 500 的區域 570 內的多層被分層和分析時的晶圓 500 的簡化橫截面圖。第 5D 圖包括晶圓 500 的頂視圖以及晶圓 500 的特定部分的兩個展開圖。晶圓 500 可為（例如）200 mm 或 300 mm 的半導體晶圓，並且可包括多個積體電路 560（在所描繪的實例中為五十二個）形成在其上。積體電路 560 可處於製造的中間階段，並且於此描述的分層技術可用以評估和分析積體電路的包括由實心部分隔開的高深寬比的孔陣列的一個或

多個區域 570。例如，第 5 D 圖的展開圖 A 描繪了可根據於此描述的技術來評估和分析的積體電路 560 之一的多個區域 570。展開圖 B 描繪了彼等區域 570 的包括如以上關於第 5 A 圖至第 5 C 圖所討論的孔 510 的陣列和實心部分 520 的一個。

【0053】 一些實施例可藉由在銑削步驟期間順序地銑削掉區域的最上層並且對銑削的區域進行成像來分析和評估區域 570（方塊 450）。銑削處理可藉由根據光柵圖樣（諸如以簡化格式在第 5 D 圖的展開圖 B 中描繪的掃描圖案 580）在區域內來回掃描 FIB 光束來銑削區域 570，以移除區域 570 的上部部分。移除的部分可在 Z 方向上具有特定的深度，並且可在 X 和 Y 方向兩者上從區域 570 整體上移除。例如，若區域 570 是具有 X 微米的長度和寬度的正方形，則可在銑削處理期間從區域 570 順序地移除分別為 Z 微米深的 X 乘以 X 微米的分開的切片，其中在每一層中，移除的正方形包括根據方法 400 沉積在孔內的材料以及在孔之間的實心部分。因此，如第 5 E 圖所示，第一銑削子步驟可從區域 570 移除基本上是 X 乘以 X 微米的正方形的層 590（1），並且可藉由 SEM 柱產生移除了層 570（1）的區域的圖像。接下來，第二銑削子步驟可從區域 570 移除再次基本上是 X 乘以 X 微米的正方形的層 590（2），並且可藉由 SEM 柱產生移除了層 590（1）和 590（2）的區域的圖像。雖然第 5 E 圖描繪了分層處理的四個迭代，實施例可適當地或根據特定分析和評估情況的需要

將分層處理重複任何次數。而且，代替在分層處理的每次迭代中銑削相同大小的區域（亦即，實例中 X 乘以 X 微米的正方形），在一些實施例中，一個或多個後續迭代可比先前的迭代逐漸移除區域的較小部分。

【0054】 回頭參照第 4 圖，本揭露書的實施例可用以填充非常小特徵尺寸的孔，孔亦非常深，從而具有非常高的深寬比。作為非限制性實例，各種實施例可在方塊 420、430 中填充直徑小於 100 nm 且深度大於 3 微米的孔、直徑為 80 nm 或更小且深度為 3 - 5 微米的孔及直徑在 70 - 80 nm 之間且深度在 4 - 5 微米之間的孔。

【0055】 SEM 帶電粒子光束的能級通常應該足夠高以在晶圓的上表面下方足夠遠的位置處達到高二次電子產率，使得沉積材料到達將被填充的孔的底部。在一些實施方案中，SEM 將具有數十 KeV 的能級（如，15 KeV 或更高的能級、40 KeV 或更高的能級或 30 KeV 或更高的能級）。在此類能級下，粒子光束可穿透晶圓上表面下方超過一微米或 2 - 3 微米的區域。

【0056】 一些當前已知的雙柱 SEM/FIB 系統對 SEM 光束的能級具有上限，諸如 30 KeV。由於 SEM 光束的能級決定了光束將在給定樣品內穿透的深度，因此，當填充太深的孔而無法由工具一次填充時，一些實施例可採用多步方式。例如，若特定工具可產生穿透特定樣品 3 微米深的最大 30 KeV 的 SEM 光束，則本揭露書的一些實施例可使用多步驟、深銑重複處理來均勻地銑削比 3 微米深的小

特徵尺寸、高深寬比的孔。作為實例，參照第 6 A 圖至第 6 D 圖，其是晶圓 6 0 0 的簡化橫截面圖，晶圓 6 0 0 具有大約 6 1 0 微米深且由實心部分 6 2 0 隔開的孔 6 1 0 的陣列。

【0057】 為了銑削孔 6 1 0，本揭露書的實施例可使用以上關於第 4 圖描述的技術在孔內沉積材料 6 5 0 a 的第一層以填充孔的上部 3 微米。在該初始沉積步驟之後，沉積的材料 6 5 0 a 可從上表面 6 0 5 a 延伸到晶圓 6 0 0 內大約 3 微米的深度。如第 6 A 圖所示，由於孔 6 1 0 大約為 6 微米深，所以孔的一部分 6 1 0 b（如，約 3 微米）將未被填充。

【0058】 如第 6 B 圖所示，可銑削晶圓 6 0 0 以移除晶圓的包括材料 6 5 0 a 的部分，從而留下孔 6 1 0，孔 6 1 0 現在距銑削的上表面 6 0 5 b 大約 3 微米的深度。可根據第 4 圖的方法，藉由重複第 6 A 和 6 B 圖的步驟來接著填充並進一步銑削孔 6 1 0 直到分別由第 6 C 和 6 D 圖所示的表面 6 1 0 c。作為另一個實例，可藉由重複三次深銑步驟而不是僅僅兩次來填充 9 微米深的孔。以此種方式，本揭露書的實施例可均勻地銑削孔，否則孔將會太深而不能使沉積材料進入孔的底部。

【0059】 在一些實施例中，除了可在將帶電的 S E M 光束施加到晶圓上之前停止氣流之外，可採用類似於關於第 4 圖所討論的技術。此使得頂表面上的氣體分子能夠分離，而在孔內側行進的分子仍然保留下來，因為孔內的深層幾何形狀導致分離的特徵時間更長。可選擇 S E M 光束的能級，使得電子在孔（亦即，孔壁）之間的塊狀材料內深入

地穿透至所期望的沉積深度。SEM光束的足夠高的能級可在孔的底部處而不是頂部提供更高的二次電子產率。此外，在上表面上缺乏沉積氣體分子可有助於避免在孔的頂部處快速沉積，否則可能導致在底部處填充孔之前在頂部處關閉孔。取決於氣流關閉之後氣體在孔中保留的時間長短，採用該技術的一些實施例可重複將氣體引入腔室中、停止氣流及接著將晶圓曝露於SEM光束以啟動在孔內多次深入地沉積，以將材料沉積在出現在晶圓的不同位置處的孔內。

【0060】 在FIB柱的離子光束源為電漿源的其他實施例中，雙模式FIB既可用以將材料沉積在包括孔的樣品上的期望區域內且之後又可作為分層處理的一部分將期望區域銑削。為了說明，參照第7圖，第7圖是顯示與根據本揭露書的一些實施例的方法700相關聯的步驟的流程圖。如第7圖所闡述的，方法700藉由反轉FIB柱的電漿源的能量和提取電壓（以及熟悉本領域者將理解的其他必需的電壓，以便使FIB柱以反向偏壓模式運行），並在FIB欄的視野下移動樣品而開始（方塊710）。當FIB色譜柱以反向偏壓模式運行時，FIB柱可用作SEM色譜柱。接下來，可將沉積氣體注入到樣品上（方塊720），並且可將反向偏壓的FIB帶電粒子光束聚焦在樣品的表面處，並越過晶圓的形成隨後要銑削的孔的部分來掃描樣品的一部分（方塊730）。可選擇在方塊430中朝向晶圓的反向偏壓的FIB帶電粒子光束的能級，使得基於帶電粒子的類

型和所穿透的材料，光束藉由穿透而穿透晶圓的表面下方幾微米。作為實例，在一些實施例中，用以產生反向偏壓的FIB光束的能級大於15 KeV。在方塊720和730中發生的沉積處理可類似於以上關於第4圖、方塊420和430描述以及相對於第5B圖顯示的處理。

【0061】 一旦反向偏壓的FIB帶電粒子光束已經越過期望沉積的晶圓的部分而進行了全面掃描（如，越過將要銑削的孔的所有部分）後，則沉積的材料將填充在彼等區域中的孔。接下來，FIB柱可切換回正常模式（方塊740），並且可藉由FIB柱以均勻的方式銑削所填充的區域（方塊750）。

【0062】 在又其他實施例中，雙模式FIB既可用以將材料沉積在包括孔的樣品上的期望區域內且之後又可作為分層處理的一部分使用關於第6圖描述的深銑重複處理將期望區域銑削。亦即，在一些實施例中，雙模式FIB可用以分層太深以致於不能用單個沉積步驟填充的結構。例如，可使用上面關於第7圖、方塊720、730所描述的技術在孔內沉積材料的第一層以填充孔的上部。在該初始沉積步驟之後，沉積的材料可從樣品的上表面延伸到非常深的孔內的中間深度，而不會到達孔的底部。可接著對樣品進行銑削，以移除樣品的包括沉積材料的部分，而在銑削區域中未在第一沉積步驟期間被沉積材料填充的孔的其餘部分可根據第7圖的方法藉由重複沉積和銑削一次或多次來進一步填充和銑削。此種深銑重複處理可提供替代方法，

以均勻地分層孔，否則孔將會太深而無法在單個沉積步驟中將沉積材料帶入孔的底部部分。

【0063】 上面說明書中對方法的任何引用應在作必要修改後應用到能夠執行該方法的系統，並且應在作必要修改後應用到儲存指令的計算機程式產品，指令一旦執行就會導致執行該方法。類似地，以上說明書中對系統的任何引用應在作必要修改後應用到可由系統執行的方法，應在作必要修改後應用到儲存可由系統執行的指令的計算機程式產品；並且說明書中對計算機程式產品的任何引用應在作必要修改後應用到當執行儲存在計算機程式產品中的指令時可執行的方法，且應在作必要修改後應用到配置成執行在計算機程式產品中儲存的指令的系統。

【0064】 為了說明的目的，前述的描述使用特定術語來提供對所描述的實施例的透徹理解。然而，對於熟悉本領域者顯而易見的是，不需要特定的細節即可實踐所描述的實施例。例如，儘管上述揭露內容的幾個特定實施例使用了包括由實心狹縫分開的小特徵尺寸、高深寬比的通道孔陣列的示例樣品，但是本揭露書不限於具有此種幾何形狀的樣品。本揭露書的實施例可同樣有益地應用於分層具有填充孔陣列的樣品，該填充孔陣列在填充孔之間具有蝕刻部分或狹縫。實施例亦可有益地用於具有非常小的特徵尺寸的任何樣品，該等特徵尺寸被蝕刻（如，溝槽）或以其他方式在樣品的實心部分之間以高的深寬比形成。另外，本揭露書的實施例不限於分層具有特定尺寸或深寬比的具

有孔（或其他特徵）的樣品，並且可有益地應用於分層具有比於此特別討論的彼等孔或其他特徵更大或更淺的孔或其他特徵的樣品。

【0065】 因此，出於說明和描述的目的，呈現了於此描述的特定實施例的前述描述。它們並非旨在將實施例窮舉或限制為所揭露的精確形式。而且，儘管以上揭露了本揭露書的不同實施例，但是在不背離本揭露書的實施例的精神和範圍的情況下，可以任何合適的方式組合特定實施例的特定細節。此外，對於熟悉本領域者顯而易見的是，鑑於以上教示，許多修改和變化是可能的。

【0066】 因為本揭露書的所示實施例在很大程度上可使用熟悉本領域者已知的電子部件和電路來實施，所以為了瞭解和理解本揭露書的基本概念並且為了不混淆或分散本揭露書的教示，所示實施例的詳細程度沒有以認為是超過如上所述必需的程度來解釋。

【符號說明】

【0067】

1 0 0 : 半 導 體 晶 圓

1 1 0 : 通 道 孔

1 2 0 : 實 心 部 分 / 狹 縫

1 3 0 : 光 束

1 4 0 : 光 束

1 5 0 : 離 子 滲 透 / 離 子 滲 透 區 域

1 6 0 : 薄 層

- 200: 晶圓
- 210: 銑削區域
- 215: 晶圓區域
- 300: 系統
- 310: 真空腔室
- 320: 柱
- 330: 柱
- 350: 支撐元件
- 355: 樣品
- 360: 氣體供應單元
- 370: 照明單元
- 372: 光源
- 374: 聚焦光學裝置
- 380: 氣體噴塗單元
- 400: 方法
- 410: 方塊
- 420: 方塊
- 430: 方塊
- 440: 方塊
- 450: 方塊
- 500: 晶圓
- 505: 表面
- 505b: 表面
- 510: 孔

5 1 5 : 表 面
5 2 0 : 狹 縫 / 部 分
5 3 0 : 氣 體 層
5 4 0 : 光 束
5 4 5 : 電 子
5 5 0 : 材 料
5 5 2 : 區 域
5 5 4 : 區 域
5 6 0 : 積 體 電 路
5 7 0 : 區 域
5 8 0 : 圖 案
5 9 0 (1) : 層
5 9 0 (2) : 層
5 9 0 (3) :
5 9 0 (4) :
6 0 0 : 晶 圓
6 0 5 a : 上 表 面
6 0 5 b : 上 表 面
6 0 5 c :
6 1 0 : 孔
6 1 0 b : 部 分
6 1 0 c : 表 面
6 2 0 : 實 心 部 分
6 5 0 a : 材 料

650b:

700: 方法

710: 方塊

720: 方塊

730: 方塊

740: 方塊

750: 方塊

【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】 一種評估一樣品的包括由多個實心部分分隔的一孔陣列的一區域的方法，該方法包含以下步驟：

將該樣品放置在一評估工具的一真空腔室內，該評估工具包括一掃描電子顯微鏡（SEM）柱和一聚焦離子光束（FIB）柱；

將一沉積氣體注入到該樣品上；

用一第一帶電粒子光束掃描該樣品的一部分，該樣品的該部分包括在該孔陣列中的複數個孔，以從該沉積氣體將材料局部沉積在所掃描的該部分中的該複數個孔內；及

用該 FIB 柱銑削該樣品的該部分，該樣品的該部分包括該材料局部沉積於中的該複數個孔。

【請求項 2】 如請求項 1 所述之方法，其中該第一帶電粒子光束為由該 SEM 柱產生的一高能 SEM 光束。

【請求項 3】 如請求項 2 所述之方法，其中該注入和掃描同時發生。

【請求項 4】 如請求項 2 所述之方法，其中該高能 SEM 光束的一功率水平為至少 15 KeV。

【請求項 5】 如請求項 4 所述之方法，其中多個電子的一穿透深度在足夠遠離該樣品的一上表面下方的一位置處產生高二次電子產率，使得沉積材料到達該複數個孔中的多個孔的一底部。

【請求項 6】 如請求項 2 所述之方法，其中該注入和掃描

順序發生，並且在要分層的該樣品的不同區域中越過該樣品重複多次。

【請求項 7】 如請求項 1 所述之方法，其中該 FIB 柱的該離子光束源是一電漿源，並且該第一帶電粒子光束是藉由以一反向偏壓模式操作的該 FIB 柱產生的。

【請求項 8】 如請求項 1 所述之方法，其中在該掃描步驟期間沉積的該材料將材料沉積在該複數個孔的一上部部分內，該銑削步驟將該樣品銑削至曝露出該複數個孔的一下部、未填充部分的一水平；且其中該方法進一步包括以下步驟：

在該銑削步驟之後，重複該注入和掃描步驟，以將額外的材料沉積在該複數個孔的該未填充部分內；及

此後，用該 FIB 柱銑削該樣品中包括該複數個孔的該部分，該額外的材料局部地沉積在該複數個孔中。

【請求項 9】 如請求項 1 所述之方法，其中該樣品是半導體晶圓。

【請求項 10】 如請求項 9 所述之方法，其中該複數個孔中的每個孔具有小於 100 nm 的一直徑和大於 3 微米的一深度。

【請求項 11】 如請求項 9 所述之方法，其中該複數個孔是用於一 3D-NAND 結構中的多個記憶體通道的多個接觸孔。

【請求項 12】 如請求項 9 所述之方法，其中該複數個孔是可在其中形成 DRAM 裝置中的一電容器的多個孔。

【請求項 13】如請求項 1 至 12 中任一項所述之方法，其中銑削該樣品的該部分的步驟包括以下步驟：越過沉積在該孔陣列中的該材料和分隔該等孔的該等實心部分兩者掃描一離子光束，以迭代地分層該孔陣列中的該材料和分隔該等孔的該等實心部分兩者。

【請求項 14】如請求項 13 所述之方法，其中在藉由該銑削處理移除每一層之後，藉由該 SEM 柱對該樣品成像。

【請求項 15】一種用於評估一樣品的包括由多個實心部分分隔的一孔陣列的一區域的系統，該系統包含：

一真空腔室；

一樣品支撐件，配置成在一樣品評估處理期間將一樣品保持在該真空腔室內；

一掃描電子顯微鏡（SEM）柱，配置成將一第一帶電粒子光束引導到該真空腔室中；

一聚焦離子光束（FIB）柱，配置成將一第二帶電粒子光束引導到該真空腔室中；

一氣體供應系統，配置成將一沉積氣體注入到該樣品上；

一處理器和耦合到該處理器的一記憶體，該記憶體包括複數個計算機可讀指令，當由該處理器執行時使該系統：

將一沉積氣體注入到該樣品上；

越過該樣品的包括在該孔陣列中的複數個孔的一部分掃描一帶電粒子光束，以從該沉積氣體將材料局部

沉積在所掃描的該部分中的該複數個孔內；及

用該 FIB 柱銑削該樣品的該部分，該樣品的該部分包括該材料局部沉積於中的該複數個孔。

【請求項 16】如請求項 15 所述之系統，其中該第一帶電粒子光束為由該 SEM 柱產生的一高能 SEM 光束。

【請求項 17】如請求項 15 或 16 所述之系統，其中該 FIB 柱的該離子光束源是一電漿源，並且該第一帶電粒子光束是藉由以一反向偏壓模式操作的該 FIB 柱產生的。

【請求項 18】一種非暫時性計算機可讀記憶體，該非暫時性計算機可讀記憶體儲存用於藉由以下方法來評估一樣品的包括由多個實心部分隔開的一孔陣列的一區域的多個指令：

將該樣品放置在一評估工具的一真空腔室內，該評估工具包括一掃描電子顯微鏡（SEM）柱和一聚焦離子光束（FIB）柱；

將一沉積氣體注入到該樣品上；

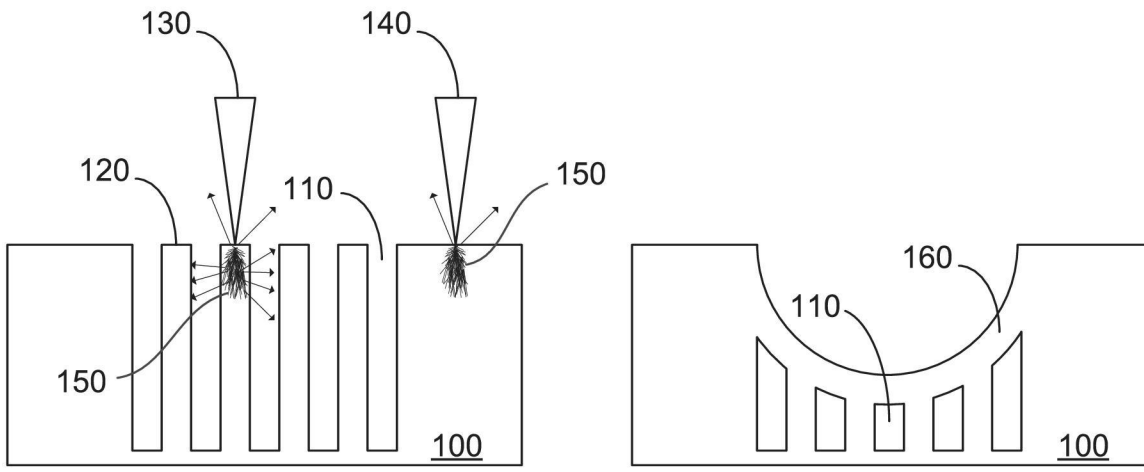
用一第一帶電粒子光束掃描該樣品的包括在該孔陣列中的複數個孔的該部分，以從該沉積氣體將材料局部沉積在所掃描的該部分中的該複數個孔內；及

用該 FIB 柱銑削該樣品的該部分，該樣品的該部分包括該材料局部沉積於中的該複數個孔。

【請求項 19】如請求項 18 所述之非暫時性計算機可讀記憶體，其中該第一帶電粒子光束為由該 SEM 柱產生的一高能 SEM 光束。

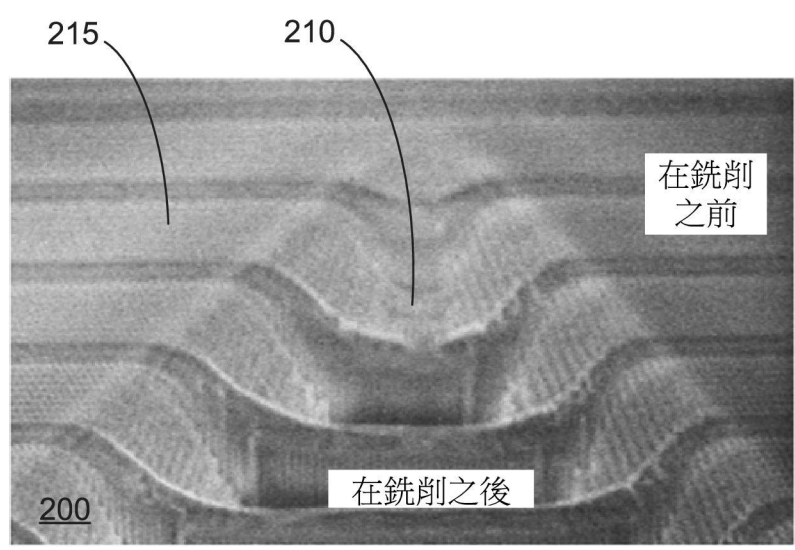
【請求項20】如請求項18或19所述之非暫時性計算機可讀記憶體，其中該FIB柱的該離子光束源是一電漿源，並且該第一帶電粒子光束是藉由以一反向偏壓模式操作的該FIB柱產生的。

【發明圖式】

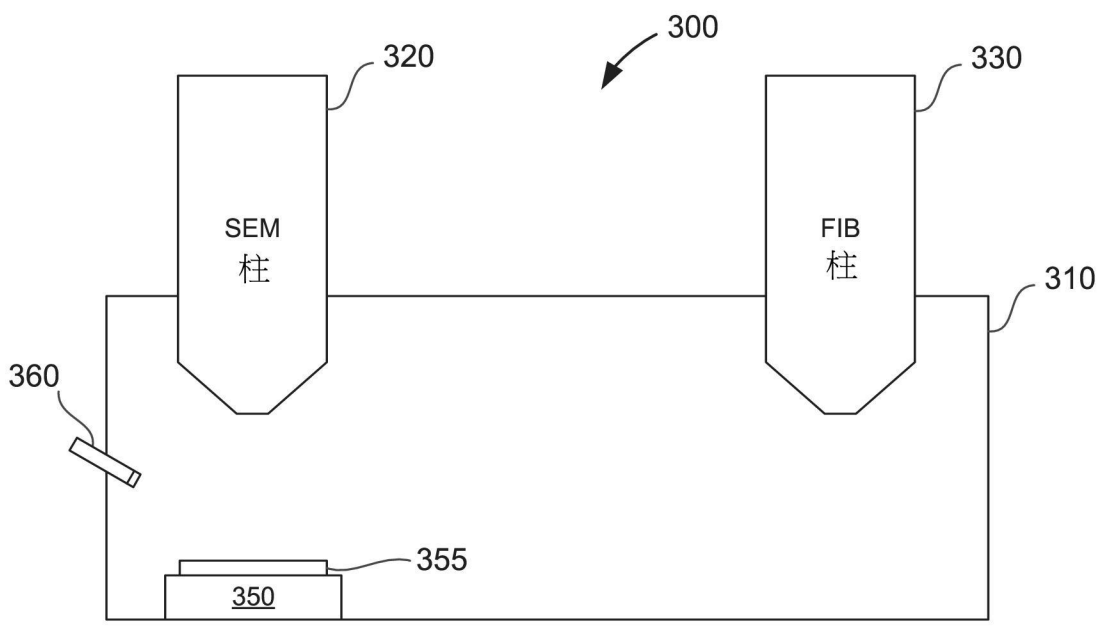


第1A圖

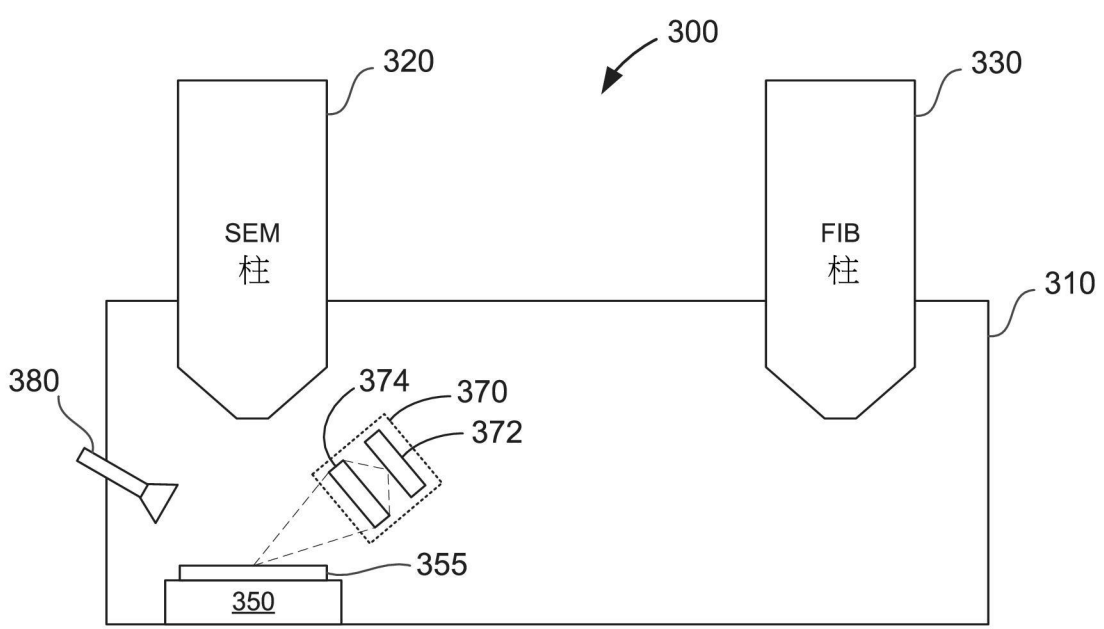
第1B圖



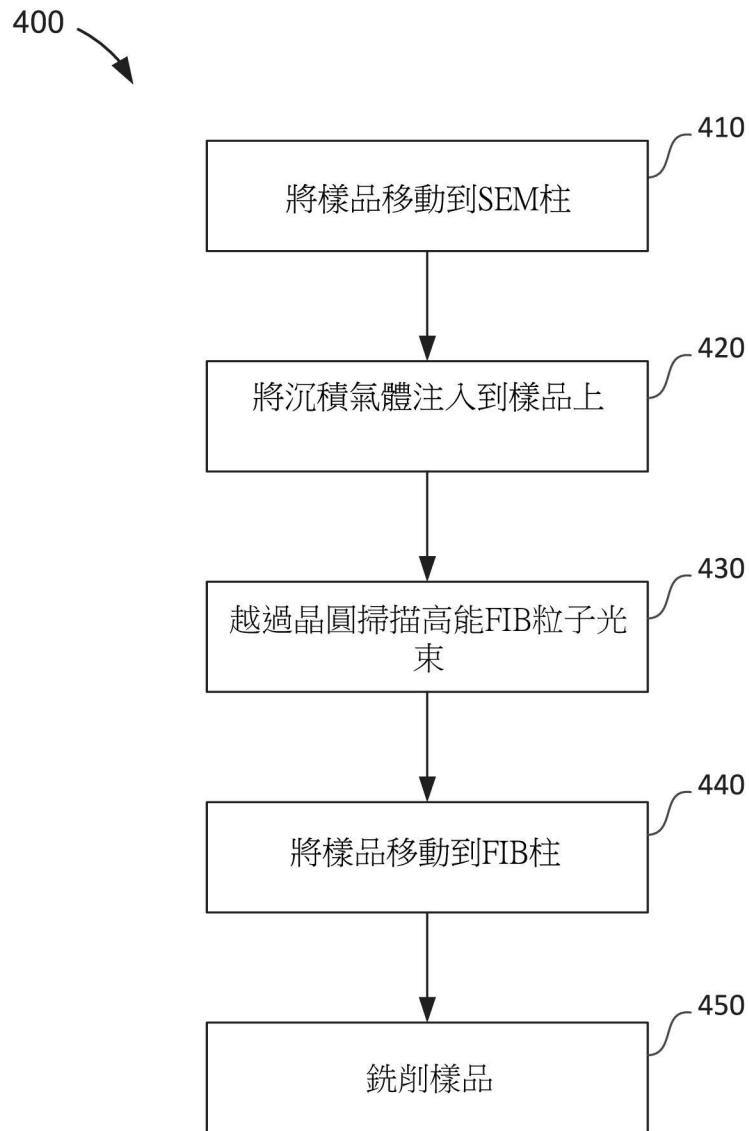
第2圖



第3A圖

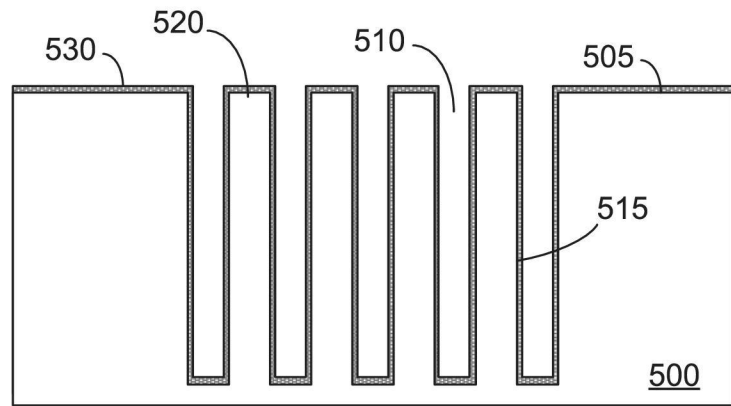


第3B圖

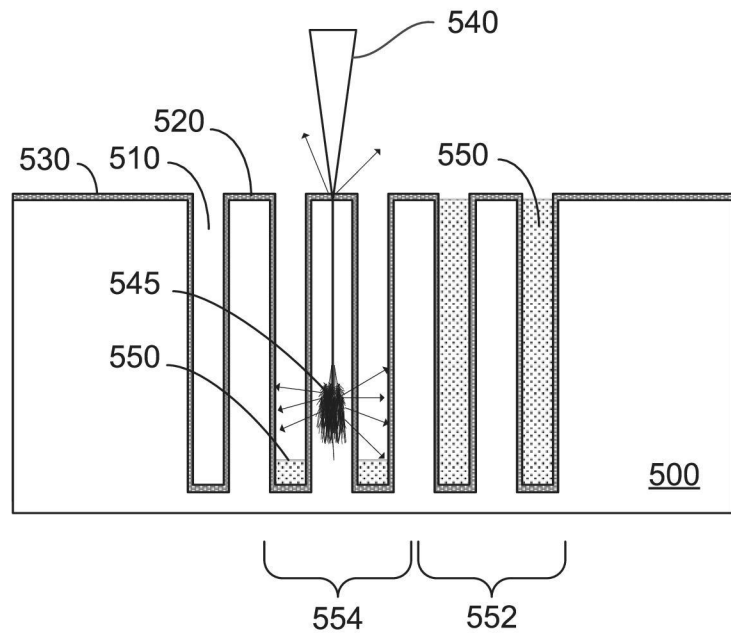


第4圖

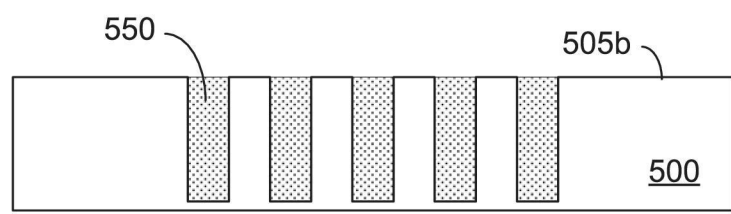
第5A圖

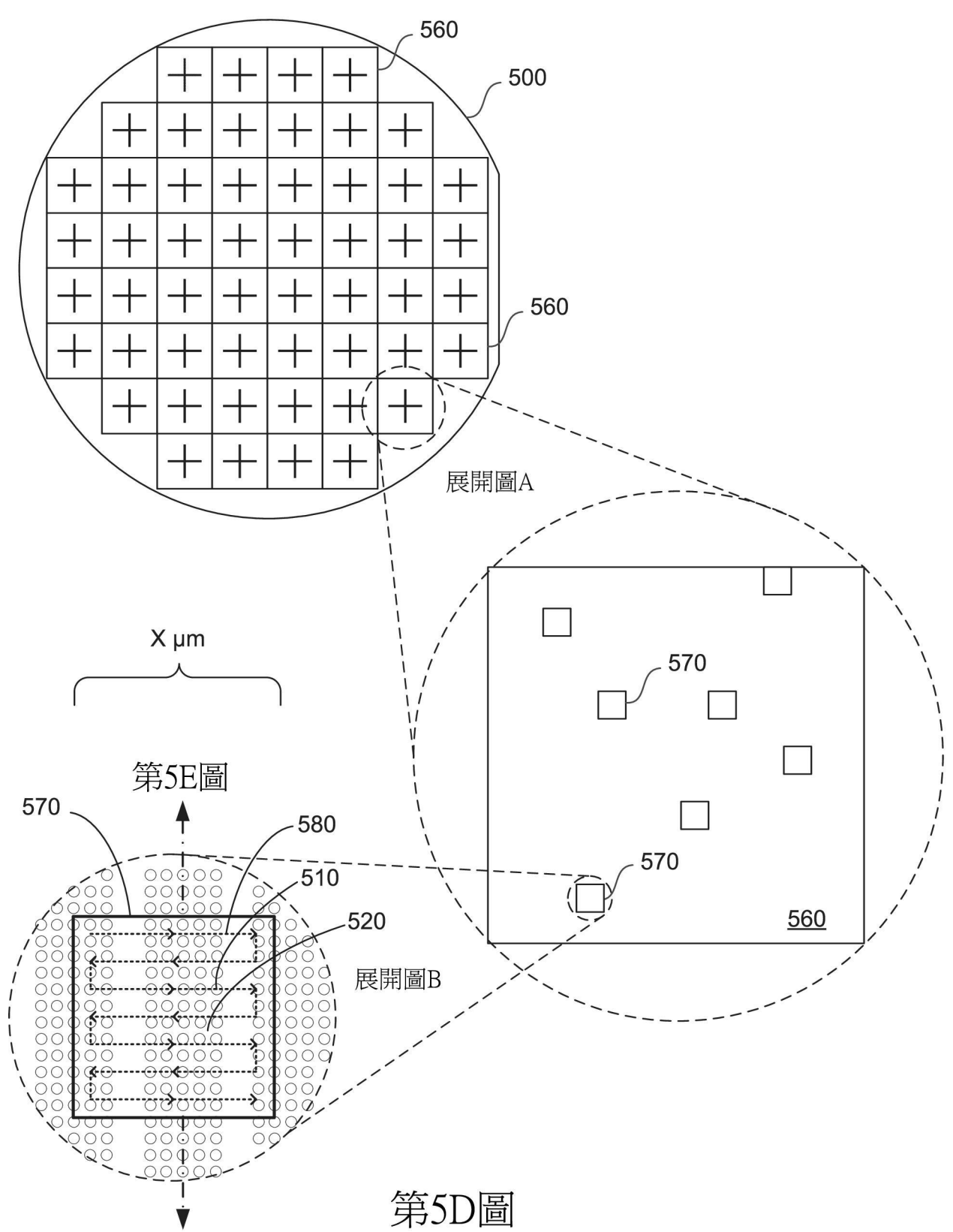


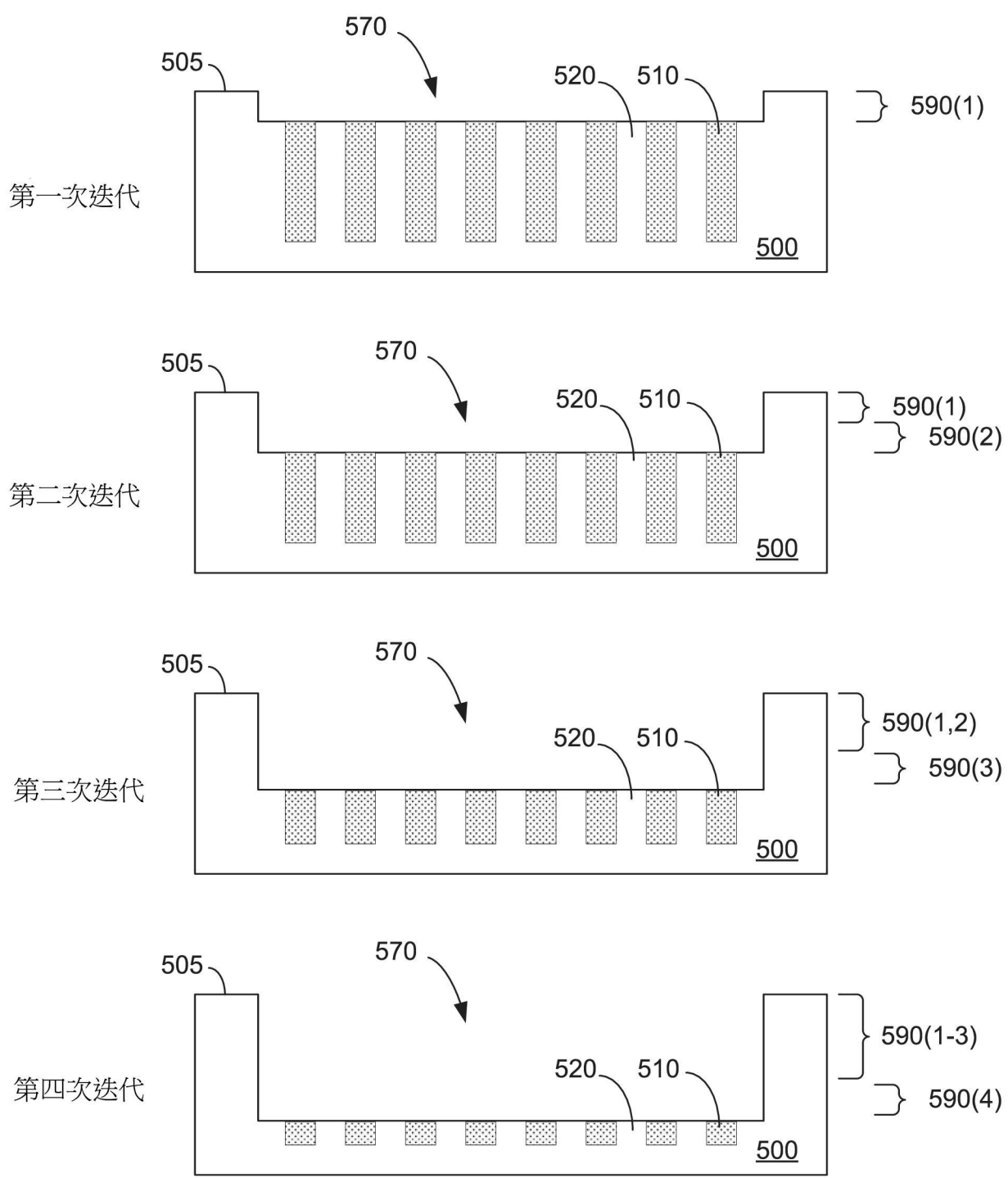
第5B圖



第5C圖

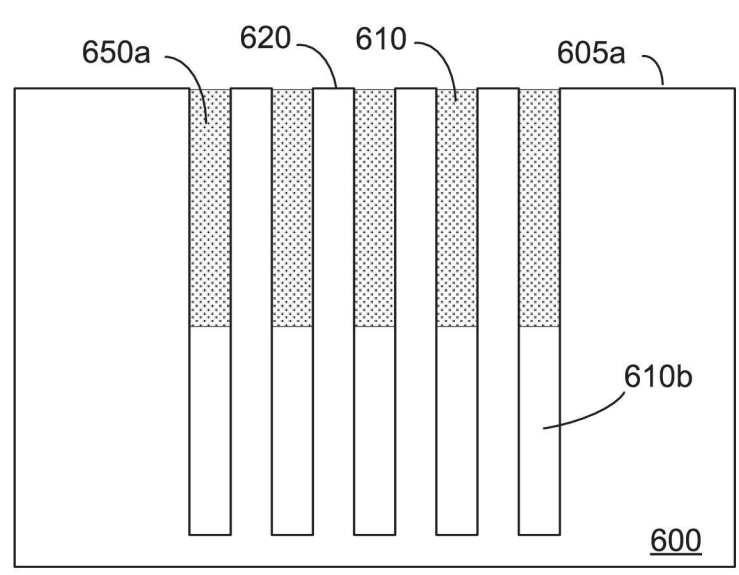




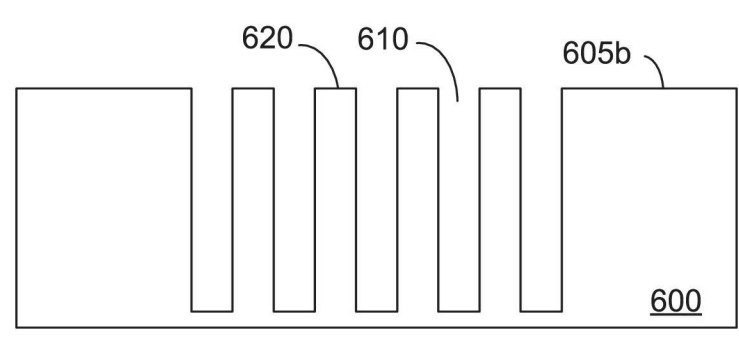


第5E圖

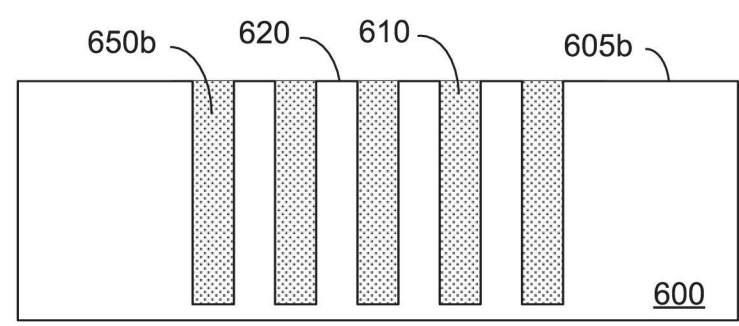
第6A圖



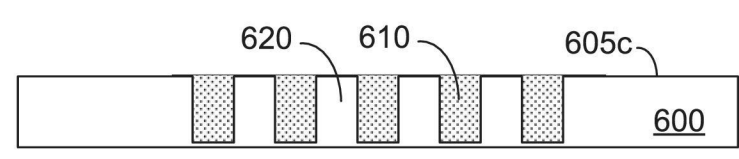
第6B圖

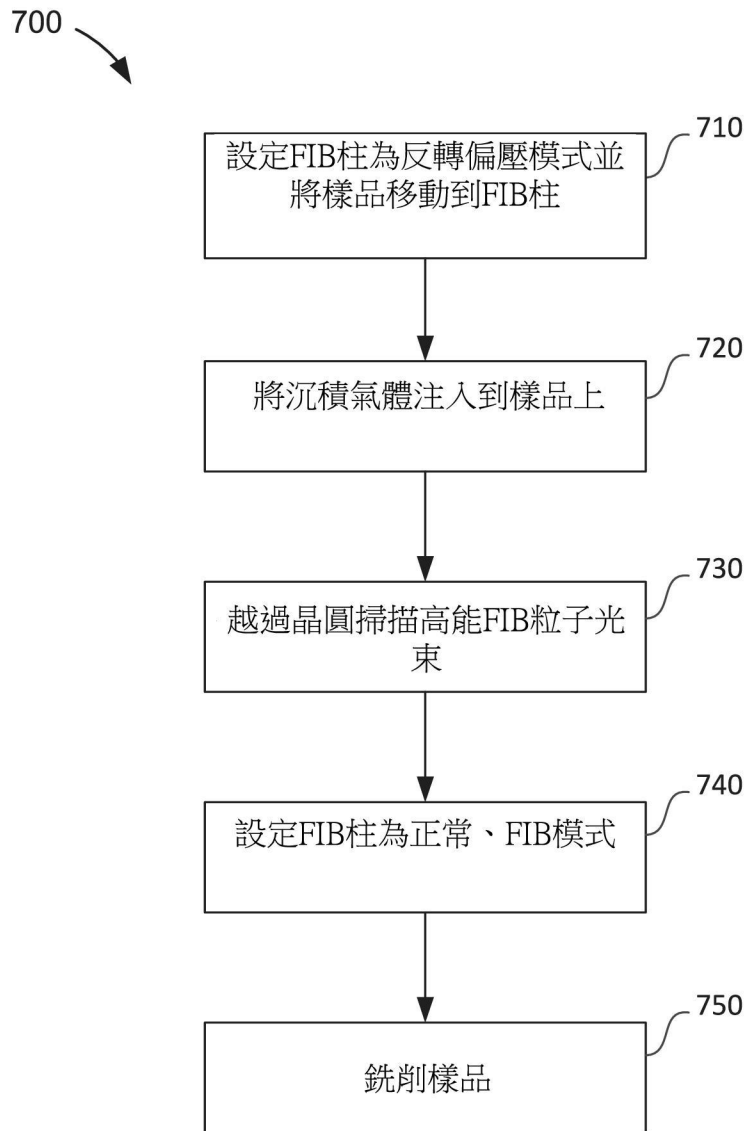


第6C圖



第6D圖





第7圖