



(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 I878477 B

(45)公告日：中華民國 114 (2025) 年 04 月 01 日

(21)申請案號：110107682

(22)申請日：中華民國 110 (2021) 年 03 月 04 日

(51)Int. Cl. : H01L21/306 (2006.01)

H10B99/00 (2023.01)

H01L21/67 (2006.01)

(30)優先權：2020/03/06 美國

62/986,485

(71)申請人：美商蘭姆研究公司 (美國) LAM RESEARCH CORPORATION (US)

美國

(72)發明人：費雪 安德里斯 FISCHER, ANDREAS (US)；盧特詹 亞倫 琳恩 ROUTZAHN, AARON LYNN (US)；立爾 托爾斯滕 貝恩德 LILL, THORSTEN BERND (US)；凡拉德拉真 瑟沙撒依 VARADARAJAN, SESHASAYEE (IN)

(74)代理人：許峻榮

(56)參考文獻：

TW 201733128A

審查人員：謝懷毅

申請專利範圍項數：22 項 圖式數：6 共 35 頁

(54)名稱

鉬的原子層蝕刻

(57)摘要

透過執行一或多個蝕刻循環而以高度可控方式來蝕刻鉬，其中每一循環係涉及將具有鉬層之半導體基板暴露至含氧反應劑，以形成氧化鉬，接著以三氯化硼進行處理，以將氧化鉬轉化成揮發性的氧氯化鉬，接著以含氟反應劑來處理基板，以將在第一個反應中形成之氧化硼自基板表面移除。在一些實施例中，本方法係在無電漿情況下執行且導致基本各向同性蝕刻。本方法可用在半導體處理之諸多應用中，例如在 3D NAND 製造中的字元線隔離。

Molybdenum is etched in a highly controllable manner by performing one or more etch cycles, where each cycle involves exposing the substrate having a molybdenum layer to an oxygen-containing reactant to form molybdenum oxide followed by treatment with boron trichloride to convert molybdenum oxide to a volatile molybdenum oxychloride with subsequent treatment of the substrate with a fluorine-containing reactant to remove boron oxide that has formed in a previous reaction, from the surface of the substrate. In some embodiments the method is performed in an absence of plasma and results in a substantially isotropic etching. The method can be used in a variety of applications in semiconductor processing, such as in wordline isolation in 3D NAND fabrication.

指定代表圖：

符號簡單說明：
101-109: 步驟

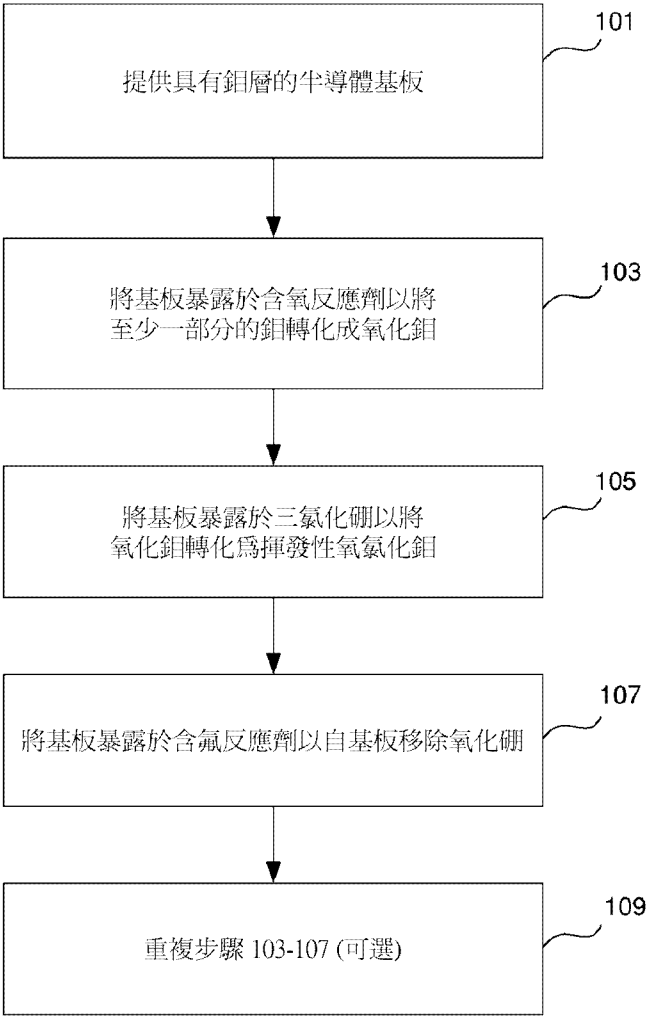


圖 1



I878477

【發明摘要】

【中文發明名稱】 鉬的原子層蝕刻

【英文發明名稱】 ATOMIC LAYER ETCHING OF MOLYBDENUM

【中文】

透過執行一或多個蝕刻循環而以高度可控方式來蝕刻鉬，其中每一循環係涉及將具有鉬層之半導體基板暴露至含氧反應劑，以形成氧化鉬，接著以三氯化硼進行處理，以將氧化鉬轉化成揮發性的氧氯化鉬，接著以含氟反應劑來處理基板，以將在前一個反應中形成之氧化硼自基板表面移除。在一些實施例中，本方法係在無電漿情況下執行且導致基本各向同性蝕刻。本方法可用在半導體處理之諸多應用中，例如在3D NAND製造中的字元線隔離。

【英文】

Molybdenum is etched in a highly controllable manner by performing one or more etch cycles, where each cycle involves exposing the substrate having a molybdenum layer to an oxygen-containing reactant to form molybdenum oxide followed by treatment with boron trichloride to convert molybdenum oxide to a volatile molybdenum oxychloride with subsequent treatment of the substrate with a fluorine-containing reactant to remove boron oxide that has formed in a previous reaction, from the surface of the substrate. In some embodiments the method is performed in an absence of plasma and results in a substantially isotropic etching. The method can be used in a variety of applications in semiconductor processing, such as in wordline isolation in 3D NAND fabrication.

【指定代表圖】 圖 1

【代表圖之符號簡單說明】

101-109: 步驟

【發明說明書】

【中文發明名稱】 鉬的原子層蝕刻

【英文發明名稱】 ATOMIC LAYER ETCHING OF MOLYBDENUM

【技術領域】

【0001】 本發明係涉及用於半導體裝置製造的方法和設備。具體而言，本發明之實施例係涉及在半導體處理中用於受控鉬蝕刻的方法和設備。

【先前技術】

【0002】 在半導體裝置製造中，沉積和蝕刻技術係用於形成材料圖案，例如用於形成嵌入介電層中的金屬線。沉積技術包含原子層沉積（ALD）、化學氣相沉積（CVD）和物理氣相沉積（PVD）。蝕刻技術包含濕式蝕刻方法和乾式蝕刻方法，例如反應性離子蝕刻（RIE）。

【0003】 蝕刻方法可以是各向同性和各向異性的。各向同性蝕刻的特徵是在基板的多個方向（垂直及水平兩者）上蝕刻，其中在不同方向上的蝕刻速率大致相同。例如水平蝕刻係需要各向同性蝕刻。各向異性蝕刻的特徵係在於主要在一個方向上蝕刻，例如在垂直方向上，並且常用於在基板上形成凹陷特徵部（例如通孔）。各向異性蝕刻也稱為「定向蝕刻」。

【0004】 此處所提供之背景描述係為了總體上呈現本揭露內容之上下文的目的是。目前列名的發明人之工作成果到在此先前技術部分中所描述的範圍內，以及在提出申請時可能無法以其他方式視為先前技術的描述方面，均未明確或隱含視為不利於本揭露內容的先前技術。

【發明內容】

【0005】 本文係提供可控鉬蝕刻的方法和設備。在一些實施例中，該方法係允許在每個蝕刻循環僅受控地移除數個鉬原子層（例如約 $10\text{\AA}$ ）。藉由重複蝕刻循環數次，便可以以原子級精度移除大量鉬（例如 $2\text{--}2000\text{ nm}$ ）。此處提供的方法可用於鉬的各向同性蝕刻，包含但不限於 3D NAND 節點分離中的鉬蝕刻。如果調整製程條件（例如電漿條件）以有利於定向蝕刻，則所提供的方法也可用於定向蝕刻。

【0006】 在一態樣中係提供了一種蝕刻半導體基板上之鉬層的方法。該方法包含：（a）將半導體基板暴露至含氧反應劑，以將至少一部份之鉬層氧化成氧化鉬；（b）在氧化鉬形成之後，將半導體基板暴露至三氯化硼，以將氧化鉬轉化成揮發性的氧氯化鉬，同時在半導體基板上形成氧化硼；以及（c）將半導體基板暴露至含氟反應劑，以將氧化硼自半導體基板移除。步驟（a）–（c）係構成一個蝕刻循環，且可以根據需要重複多次以蝕刻所需的鉬量。例如可以執行大約 2-50 個蝕刻循環。在一些實施方式中，一個蝕刻循環包含步驟（a）–（c），且單一蝕刻循環乃可控地移除約 $8\text{--}15\text{\AA}$ 之間的鉬層。在一些實施例中，這些步驟係在沒有電漿的情況下進行。在一些實施例中，鉬層的蝕刻是各向同性的。步驟（a）–（c）可以在一個處理室中執行，而在一些實施例中，在蝕刻循環的每個步驟之後會進行清洗。

【0007】 在一些實施方式中，含氧反應劑是 O_2 、 O_3 或它們的混合物，其中含氧反應劑（例如 O_2 ）係可選地在電漿中活化。例如利用遠端電漿源形成的氧

自由基或來自原位（直接）氧電漿的氧離子。在一些實施例中，用於移除氧化硼的含氟反應劑為 HF。

【0008】 在一些實施方式中，蝕刻循環係在大約 100–400°C 之間的溫度下執行，例如大約 150–250°C 之間。

【0009】 在一種應用中，所提供的方法係用於從半導體基板上之凹陷特徵部的側壁來蝕刻鉬層。例如可以在 3D NAND 結構的製造中，於字元線隔離期間蝕刻（較佳是各向同性）鉬層。

【0010】 在另一態樣中，提供了一種用於處理基板的設備，其中該設備包含具有配置用以實現本文所述任一方法之程式指令的控制器。在一實施例中，該設備包含配置用以容納基板的處理室，其中該處理室包含用以支承基板的基板支架、用以引入一或多個反應劑至處理室之的入口、以及具有程式指令之控制器，其係用以致使下列各者而啟動對半導體基板上之鉬層的蝕刻：（i）將具有鉬層之基板暴露至含氧反應劑，以將至少一部份之鉬層氧化成氧化鉬；（ii）將半導體基板暴露至三氯化硼，以將氧化鉬轉化成揮發性的氧氯化鉬，同時在半導體基板上形成氧化硼；以及（iii）將半導體基板暴露至含氟反應劑，以將氧化硼自半導體基板移除。控制器還可以包含配置用以重複步驟（i）–（iii）的指令，在每個步驟之後可選地清洗。

【0011】 在一些實施例中，該設備還進一步包含加熱器，且程式指令係包含配置用以在鉬層的蝕刻期間保持大約 100-400°C 之間的溫度的程式指令。

【0012】 在一些實施方式中，該設備係進一步配置用以在半導體基板上沉積材料（例如用於在鉬蝕刻之前沉積鉬）。

【0013】 在一些實施例中，該設備係配置用以激活電漿中的含氧反應劑。

【0014】 在另一態樣中係提供了非暫態電腦可讀媒體，其包含用於控制設備的程式指令，該設備係配置用以進行半導體基板處理，其中該程式指令包含配置用以實現下列各者而啟動鉬層蝕刻之編碼：(i) 將具有鉬層之基板暴露至含氧反應劑，以將至少一部份之鉬層氧化成氧化鉬；(ii) 將基板暴露至三氯化硼，以將氧化鉬轉化成揮發性的氧氯化鉬，同時在半導體基板上形成氧化硼；以及(iii) 將基板暴露至含氟反應劑，以將氧化硼自半導體基板移除。

【0015】 此處所提供的方法和設備可以與用於微影圖案化的方法和系統結合使用。在一態樣中係提供了包含本文所述之設備和步進機的一種系統。在一些實施例中，所提供的方法還進一步涉及施加光阻到半導體基板上；將光阻暴露至光；圖案化光阻並將圖案轉移至半導體基板；以及選擇性將光阻自半導體基板移除。

【0016】 在本說明書中描述之實施標的的這些和其他方面態樣係在附圖和以下描述中闡述。

【圖式簡單說明】

【0017】 圖 1 係根據本文提供之實施例的鉬蝕刻方法的製程流程圖。

【0018】 圖 2 係根據本文提供之實施例而在 3D NAND 結構製造中使用鉬蝕刻方法的製程流程圖。

【0019】 圖 3A 和 3B 係根據本文提供之實施例，提供在 3D NAND 結構製造中之鉬蝕刻之前和之後的半導體裝置的示意性橫剖面視圖。

【0020】 圖 3C 和 3D 係根據本文提供之實施例，提供在 3D NAND 結構製造中之鉬蝕刻之前和之後的半導體裝置的不同視圖。

【0021】圖 4 係根據本文提供之實施例適於蝕刻鋁的設備的示意圖。

【0022】圖 5 描繪了根據本文提供之實施例的半導體製程叢集架構。

【0023】圖 6 為一實驗曲線圖，說明作為製程溫度函數的每一循環蝕刻的鋁量。

【實施方式】

【0024】此處提供了用於鋁蝕刻的方法和設備。所提供的方法可用於在各種應用中，但在半導體裝置製造中的鋁各向同性或弱定向蝕刻尤其有用。在一些實施例中，所提供的方法係用於從半導體基板上之凹陷特徵部之側壁大致各向同性的蝕刻鋁。例如可以在 3D NAND 裝置製造中的節點分離（字元線分離）期間使用所提供的方法。所描述的方法可以提供對蝕刻材料量的原子級控制，因為每一蝕刻循環都可以用於可控地移除少至 1-3 個原子層的鋁。這種受控蝕刻係稱為原子層蝕刻（ALE）且適用於蝕刻各種厚度的鋁層。

【0025】如本文所用之用語「鋁」是指金屬鋁（零氧化態的鋁）。在一些實施例中，鋁具有至少約 90% 的純度（鋁含量），例如按重量計至少約 95% 的純度。此處所提供的方法可以用於例如蝕刻 CVD 沉積的鋁、ALD 沉積的鋁和 PVD 沉積的鋁。

【0026】如本文所用之用語「半導體基板」是指在半導體裝置製造的任何階段的基板，在其結構內的任何地方包含半導體材料。可以理解的是，半導體基板中的半導體材料不需要暴露出來。具有覆蓋半導體材料的多層其他材料（例如介電質）的半導體晶圓為半導體基板的範例。以下詳細的說明係假設所揭露的實施方式是在例如 200mm、300mm 或 450mm 的半導體晶圓上實現。然而，所揭

露的實施方式不限於此。半導體晶圓可以是各種形狀、尺寸、和材料。除了半導體晶圓，其他類型的工作件可以利用所揭露的實施方式，其包含例如印刷電路板等不同物件。

【0027】 當用於指稱數值時，用語「大約」係包含所述數值之 $\pm 10\%$ 的範圍，除非另有說明。

【0028】 圖 1 顯示根據本文提供之一實施例中的鉬蝕刻方法的製程流程圖。該製程始於步驟 101，提供具有鉬層的半導體基板。通常，該方法可用於在多種基板上蝕刻一或多個鉬層。例如，鉬層可以位於基板上之凹陷特徵部的側壁上。在另一例中，鉬層可以是位於介電層上方的水平鉬覆蓋層。在又一例中，鉬層可以填充基板上之凹陷特徵部的至少一部分。所提供之基板上的鉬層係外露，使得其可觸及氣態反應劑。基板可以在任何合適的設備中進行處理，該設備係具有配備基板支架（例如基座）和用於引入反應劑之入口的處理室，其中該設備可以可選地配置為直接在處理室中或遠端產生電漿。

【0029】 在步驟 103 中，將基板暴露於含氧反應劑以經歷鉬氧化（也就是將至少一部分的鉬層轉化成氧化鉬）。如本文所用，「氧化鉬」是指含有鉬和氧的 Mo_xO_y 化合物，其中 x 和 y 表示化學計量可能會有所不同。用於鉬氧化的合適含氧反應劑的實例包含臭氧（ O_3 ）和氧氣（ O_2 ）。在一些實施例中，氧化反應係在不存在電漿的情況下（熱）進行。在一實施方式中，在不存在電漿的情況下使用臭氧處理基板來將鉬轉化為氧化鉬。在另一實施方式中，藉由用電漿激活的 O_2 處理基板來形成氧化鉬。在一些實施例中，電漿直接在容納基板的處理室中產生。在其他實施例中，電漿係在遠離基板處（例如在容納基板的處理室之外）

的遠端產生，且被供給到容納基板的處理室。在較高溫度下也可以使用 O_2 進行熱氧化。

【0030】對於期望各向同性蝕刻的應用，熱（無電漿）氧化是較佳的。如果在氧化期間，於基板基座處使用遠端電漿和/或低偏壓或沒有偏壓，便亦可使用電漿輔助氧化來實現各向同性或弱各向異性蝕刻。例如在一些實施例中，係使用遠端電漿（例如遠離基板形成的氧自由基）或熱氧化來實現鉬的各向同性蝕刻。

【0031】氧化鉬形成步驟 103 係用於控制將在一蝕刻循環中蝕刻的鉬量。基板暴露於含氧反應劑的時間可用來作為要轉化為氧化鉬之鉬量的控制因素。在一些實施例中，暴露時間係經控制以將約 1-5 個鉬原子層（例如約 3 個鉬原子層）轉化為氧化鉬。需要注意的是，一個蝕刻循環的後續反應將受到在第一次反應中形成之氧化鉬量的限制。在一些實施方式中，暴露於含氧反應劑的時間係經選擇為介於大約 10 秒和 3 分鐘之間。

【0032】在氧化鉬形成完成之後，可以任選地藉由吹掃和/或抽空將含氧反應劑從處理室中移除。在一些實施例中，處理室係以例如氦氣、氬氣或 N_2 的惰性氣體吹掃。

【0033】接下來，在步驟 105 中，將基板暴露於三氯化硼（ BCl_3 ）以將氧化鉬轉化為揮發性氧氯化鉬。氧氯化鉬是指 MoO_xCl_y 化合物，其中 x 和 y 表示化學計量可能會有所不同。氧氯化鉬通常在形成時會從基板表面移除，而在基板表面留下一層非揮發性氧化硼。三氯化硼和氧化鉬之間的反應係使得在先前反應中形成的所有氧化鉬都轉化成氧氯化鉬。接下來，可選地藉由吹掃和/或抽空而自處理室中移除氧氯化鉬，隨後進行蝕刻循環的下一步驟。

【0034】 在下一步驟 107 中，將基板暴露於含氟反應劑，以移除先前遺留在基板表面的氧化硼。含氟反應劑係與氧化硼反應並將其轉化為揮發性三氟化硼而自基板表面移除（例如在反應過程中）。在一些實施例中，含氟反應劑為氣態氟化氫（HF）。在反應之後，可以任選地吹掃和/或抽空處理室以移除氟化氫和三氟化硼。

【0035】 接下來在步驟 109 中，如果需要，可選地重複包含步驟 103-107 的蝕刻循環以蝕刻更多的鉬。雖然在一些實施例中只需要執行一個循環（步驟 103-107），但在許多其它實施方案中係執行約 2-100 個之間的蝕刻循環，例如約 5-50 個之間的蝕刻循環，其中每一循環包含鉬氧化 103、氧氯化鉬形成 105、以及氧化硼移除 107。在一實施例中，每一蝕刻循環移除約 5-15Å 之間的鉬，例如約 1 nm 的鉬。所描述的方法可以用於以高精度來移除各種量的鉬。例如約 1-2,000 nm 之間的鉬，例如以原子級精確度且如果需要的話可以以各向同性蝕刻約 1-20 nm 之間的鉬。

【0036】 蝕刻循環的所有步驟較佳是在一處理室中並在單一溫度下執行，雖然可能依照需要改變步驟之間的溫度。溫度和壓力係經選擇以確保反應劑和揮發性產物（例如氧氯化鉬）保持氣態形式，並實現高反應速率。例如可以使用大約 100–400°C 之間的溫度。當在氧化步驟中使用氧電漿時，便可以在例如約 150–250°C 之間的溫度下進行蝕刻循環。當在沒有電漿的情況下使用氧氣時，在一些實施例中係使用例如介於約 400-600°C（例如約 400°C）的較高溫度。在一些實施方式中，壓力係介於在約 30 mTorr 和 5 Torr 之間的範圍內，例如在約 20-500 mTorr 之間。反應劑係以氣態形式引入處理室。在一些實施例中，反應劑可與例如氮氣或氬氣的載氣一起引入。然而，在一些實施例中，較佳是在不添加載

氣的情況下引入反應劑以使反應速率最大化。因此，在一些實施例中，在蝕刻循環的每個步驟期間引入至處理室中的處理氣體基本上係由反應劑組成（例如第一步驟的 O_2 和/或 O_3 、第二步驟的 BCl_3 以及第三步驟的 HF ）。在一些實施方式中，處理室係在蝕刻循環之前已預先塗覆四氯化矽（ $SiCl_4$ ），以防止室壁被 BCl_3 和 HF 腐蝕。

【0037】 所描述的蝕刻方法可用於半導體製程中的多種應用，但特別適用於需要在高度控制移除層厚度的情況下基本各向同性移除鈾的應用。所提供的方法特別適用於在基板上蝕刻所需量的鈾而不完全移除整個外露的鈾層。此類應用的一例是 3D NAND 結構製造中的節點分離。

【0038】 圖 2 說明在 3D NAND 製造中使用提供之鈾蝕刻方法的製程流程圖。該製程開始於步驟 201，提供具有凹陷特徵部及暴露在凹陷特徵部側壁上之鈾層的基板，其中鈾層係電連接 3D NAND 結構中的導電層。這種部分製造之 3D NAND 結構的一個例子係在圖 3A 中示出，其圖示了該結構之示意性橫剖面圖。基板包含可以是矽的底層 301、形成在底層 301 上方的層堆疊、以及形成在層堆疊中的凹陷特徵部 303。吾人應當理解，通常 3D NAND 結構在堆疊中係具有比簡化圖 3A 中所示的顯著更多層。例如典型的 3D NAND 結構在堆疊中具有大約 5-100 個導電層和介電層（組合）。鈾層 305 係覆蓋了凹陷特徵部 303 的側壁和底部、以及堆疊（場域）的頂部。層堆疊係由介電材料 307（例如氧化矽）和導電材料 309（例如鎢）的交替層形成，其中導電材料層 309 為 3D NAND 結構的字元線。可以看出圖 3A 所示結構中的鈾層 305 係藉由凹陷特徵部 303 之側壁上的部分 311 而電連接導電層 309。為了將導電層 309 彼此電隔離，需要將鈾層

305 從凹陷特徵部 303 的側壁移除，但是係以受控方式進行而不在字元線的鋁部分 305 中形成大的凹陷。此步驟稱為 3D NAND 節點分離。

【0039】 參考圖 2 的製程圖，該製程在步驟 203 中藉由使用提供的方法從側壁可控地蝕刻期望量的鋁來進行。如步驟 205 所示，蝕刻繼續進行直到實現節點分離，且在 3D NAND 結構中的導電層 309 被隔離。所得結構如圖 3B 所示。在此情況下的鋁蝕刻係從側壁移除足夠量的鋁，以隔離導電層 309 而沒有在導電層 309 的末端部分完全移除鋁 305。典型地在本應用中，所提供的蝕刻方法可以用於移除約 1-20 nm 的鋁。在這種情況下的蝕刻也移除了在堆疊頂部上之場域的鋁、以及在凹陷特徵部 303 底部的鋁。另一部分製造的 3D NAND 結構在蝕刻前後的示意圖係分別在圖 3C 和 3D 中所示，其顯示出結構的不同視圖以及比圖 3A 和 3B 中之更大的層堆疊。

【0040】 所提供的 ALE 方法與濕式蝕刻方法相比具有優勢，因為 ALE 方法具有明顯更好的製程控制。藉由控制鋁氧化步驟中暴露於含氧反應劑的時間以及藉由控制蝕刻循環的次數，可以可靠地控制蝕刻的鋁量。此外，熱 ALE 方法具有出色的均勻性，且不會表現出在 RIE 中會遇到的明顯深寬比相關蝕刻（ARDE）。當在基板上之凹陷特徵部的頂部和底部的蝕刻物質濃度不同時，便會發生深寬比相關蝕刻，這會導致頂部和底部的蝕刻不均勻。因此，提供的 ALE 方法特別適用於蝕刻高深寬比特徵部中的鋁，例如深寬比為至少約 20:1、至少約 50:1 和至少約 100:1 的特徵部。由於在 3D NAND 結構中的凹陷特徵部常具有深寬比大於約 5:1、深度大於約 5 nm，所提供的 ALE 方法對於本應用特別有用。

儀器

【0041】 在此描述的蝕刻方法可以在多種設備中進行。合適的設備包含處理室、配置用以在蝕刻期間將基板保持在適當位置之處理室中的基板支架、用於引入一或多種反應劑之處理室入口、以及可選地配置用以在處理氣體中（直接在基板附近或遠端）產生電漿的電漿產生機構。在一些實施例中，該設備不包含用於產生電漿的任何機制，因為所提供的方法可以在沒有電漿的情況下以熱方式執行。

【0042】 合適設備的實例包含但不限於感應耦合電漿（ICP）反應器，其在某些實施例中，也可以適合於循環沉積和活化製程，包含原子層沉積（ALD）的操作。在一些實施例中，該設備具有處理室，該處理室係用於使用本文提供的方法來沉積材料和蝕刻。例如在一些實施例中，該設備係配置用以在同一處理室中沉積鋁（例如藉由 ALD）和蝕刻鋁。在一些實施例中，蝕刻係在加州弗里蒙特市之 Lam Research Corp. 生產的 Striker[®]反應器中進行。儘管本文詳細描述了 ICP 反應器，但吾人應當理解，也可以使用電容耦合電漿反應器以及無電漿產生設備的反應劑。

【0043】 圖4示意性地顯示感應耦合電漿整合蝕刻及沉積設備400的橫剖面視圖，其適於實施本文描述之方法，其一例為加州弗里蒙特市之Lam Research Corp. 生產的Kiyo[®]反應器。感應耦合電漿蝕刻設備400包含整體處理室424，其結構上由腔室壁401和窗411界定。腔室壁401可以由不銹鋼或鋁製成。窗411可由石英或其他介電材料製成。可選的内部電漿格柵450係將整體處理室分成上部子腔室402和下部子腔室403。在許多實施例中，可以移除電漿格柵450，從而利用由子腔室402和403製成的腔室空間。卡盤417係定位在下部子腔室403內靠近底部

內表面處。卡盤417係配置用以接收和支承在其上執行蝕刻和沉積製程的半導體晶圓419。卡盤417可以是靜電卡盤，用於在晶圓存在時支撐晶圓419。在一些實施例中，邊緣環（未示出）係圍繞卡盤417，並且當晶圓存在於卡盤417之上時，邊緣環之上表面係與晶圓419之頂表面大致平齊。卡盤417還包含用於夾持晶圓和使晶圓脫夾的靜電電極。為此可以提供濾波器和直流箝位電源（未示出）。也可以提供用於將晶圓419抬離卡盤417的其他控制系統。卡盤417可以使用RF電源423充電。RF電源423係藉由連接件427而連接到匹配電路421。匹配電路421係藉由連接件425而連接到卡盤417。以這種方式，RF電源423便連接到卡盤417。在諸多實施例中，靜電卡盤之偏壓係可設定在約50 Vb或可根據所揭露實施例執行之製程而將其設定在不同的偏壓。例如，偏壓可以介於約20 Vb跟100 Vb之間，或介於約30 Vb跟150 Vb之間。

【0044】 用於產生電漿的元件包含位於窗411上方的線圈433。在一些實施例中，在揭露的實施例中並不使用線圈。線圈433係由導電材料製成並且包含至少一完整的匝圈。圖4所示之線圈433範例包含三個匝圈。線圈433之橫剖面以符號顯示，具有「X」符號的線圈係旋轉延伸進入頁面，而具有「●」線圈則旋轉延伸出頁面。用於產生電漿的元件包含RF電源441，其配置係用以供應RF功率至線圈433。一般而言，RF電源441係透過連接件445而連接到匹配電路439。匹配電路439則透過連接件443而連接到線圈433。以這種方式，RF電源441係連接到線圈433。可選的法拉第屏蔽449a係相對於線圈433而保持在相隔開的關係。在一些實施例中，法拉第屏蔽449a係設置在窗411的正上方。在一些實施例中，法拉第屏蔽449b係位於窗411與卡盤417之間。在一些實施例中，法拉第屏蔽449b相對於線圈433並未保持在相隔開的關係。例如，法拉第屏蔽449b可以無間隙的直接

位於窗411正下方。線圈433、法拉第屏蔽449a以及窗411中之每一個的配置係用以實質與彼此平行。法拉第屏蔽449a可以防止金屬或其他物質沉積在處理室424的窗411上。

【0045】 處理氣體（例如 O_2 ）可透過位於上部子腔室402中的一或多個主氣流入口460及/或透過一或多個側氣流入口470來流入處理室。類似地，雖然未明確顯示，可以使用類似的氣流入口來供應處理氣體至感應耦合電漿處理室。例如一段式或兩段式的機械乾式泵及/或渦輪分子泵440的真空泵可以用來將處理氣體自處理室424抽出、並維持處理室424內的壓力。例如，在吹掃操作期間可以使用真空泵來抽空下部子腔室403。可以使用閥控制的導管使真空泵流體連接至處理室424，使得選擇性地控制由真空泵提供之真空環境的應用，進而控制402及403內的處理壓力。在操作電漿處理期間，這可以採用封閉式-迴路-控制限流裝置（例如節流閥（未顯示）或鐘擺閥（未顯示））來達成。類似地，亦可以使用通往電容耦合電漿處理室之真空泵及閥控制流體連接。

【0046】 在設備400的操作期間，例如含 O_2 氣體的一或多種處理氣體可以透過氣流入口460和/或470供應。在某些實施例中，可僅透過主氣流入口460或僅透過側氣流入口470供應氣體。在一些情況下，圖中所示之氣流入口可以替換成更複雜的氣流入口，例如一或多個噴淋頭。法拉第屏蔽449a及/或可選的格柵450可以包含內部通道和孔，以允許將處理氣體輸送到處理室424中。法拉第屏蔽449a及/或可選的格柵450其中之一或兩者都可以用作輸送處理氣體的噴淋頭。在一些實施例中，液體汽化及輸送系統可以座落於處理室424的上游，俾使一旦液體反應劑或前驅物汽化之後，汽化之反應劑或前驅物便可透過氣流入口460及/或470引入處理室424。

【0047】 射頻功率係從RF電源441供應至線圈433，以引起RF電流流過線圈433。流過線圈433之RF電流會在線圈433附近產生電磁場。該電磁場則會在上部子腔室402 內產生感應電流。所產生之各個離子和自由基與晶圓419的物理及化學相互作用係蝕刻了晶圓419上之特徵部並選擇性地在晶圓419上沉積層。

【0048】 如果使用電漿格柵450使得有上部子腔室402以及下部子腔室403兩者存在，感應電流便會作用於上部子腔室402中存在的氣體，而在上部子腔室402中產生電子-離子電漿。可選的內部電漿格柵450會限制下部子腔室403中的熱電子數量。在某些實施例中，設備400的設計和操作係俾使存在於下部子腔室403中的電漿為離子-離子電漿。

【0049】 上部電子-離子電漿和下部離子-離子電漿都可以包含正離子和負離子，儘管離子-離子電漿將具有更大的負離子對正離子的比率。揮發性蝕刻和/或沉積副產物可以透過端口422 而自下部子腔室403中移除。例如在使用 BCl_3 蝕刻氧化鋁期間所產生的氧氯化鋁可以在吹掃和/或抽空期間透過端口422移除。本文揭露之卡盤417可以在大約 10°C 和大約 400°C 之間的溫度範圍內操作。溫度將取決於製程操作和特定配方。在一些實施例中，設備係經控制以在約 $100\text{-}400^\circ\text{C}$ 之間的溫度下進行蝕刻。

【0050】 當安裝在潔淨室或製造設施中時，設備400可以與設施（未示出）耦合。設施包含提供處理氣體、真空、溫度控制和環境顆粒控制的管道。當安裝在目標製造設施中時，這些設施係耦合到設備400。此外，設備400可以耦合到傳送腔室，其允許機器人使用典型的自動化將半導體晶圓傳送進出設備400。

【0051】 在一些實施例中，系統控制器430（其可包含一或多個物理或邏輯控制器）係控制處理室424的一些或全部操作。系統控制器430可以包含一或多個

記憶體裝置和一或多個處理器。在一些實施例中，設備400包含控制處理氣體之流速的切換系統。在一些實施例中，控制器係包含實現本文提供之任一方法步驟的程式指令。

【0052】 在一些實施方案中，系統控制器430為系統的一部分，其可以是上述範例中的一部分。此種系統可以包含半導體處理設備，其包含一或多個處理工具、一或多個腔室、一或多個用於處理的平台及/或特定的處理部件（晶圓基座、氣流系統等）。這些系統可以與電子設備整合在一起，以控制在半導體晶圓或基板的處理前、中、後的操作。電子設備可以整合至系統控制器430中，其可以控制一或多個系統的各個元件或子部件。取決於處理參數及/或系統的類型，系統控制器可以經程式化而控制此處揭露的任何處理，包含處理氣體的輸送、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、流速設定、流體輸送設定、位置和操作設定、晶圓傳送進出工具以及其他傳送工具及/或連接到特定系統或與特定系統相接的負載鎖。

【0053】 廣義來說，系統控制器430可以定義為具有各個積體電路、邏輯、記憶體及/或軟體的電子設備，其接收指令、發出指令、控制操作、啟用清潔操作、啟用端點測量等。積體電路可包含儲存程式指令之韌體形式的晶片、數位訊號處理器（DSP）、定義為專用積體電路（ASIC）的晶片及/或一或多個微處理器或執行程式指令之微控制器（例如軟體）。程式指令可以是以各種個別設定（或程式檔案）的形式傳遞給控制器的指令，其定義用於在半導體晶圓或系統上或針對半導體晶圓或系統執行特定處理的操作參數。在一些實施例中，操作參數可以由製程工程師定義之配方的一部分，以在製造或移除下列一或多個的期間完

成一或多個處理步驟：層、材料、金屬、氧化物、矽、二氧化矽、表面、電路以及/或晶圓之晶粒。

【0054】 在一些實施方式中，系統控制器430可以是電腦的一部份或是耦合至電腦，而電腦則是整合至系統、耦合至系統或與系統聯網，或前述的組合。例如，控制器可以在「雲端」中或可以是晶圓廠電腦主機系統的全部或一部分，如此可以允許對晶圓處理的遠端存取。該電腦可以啟動對系統進行遠端存取，以監控製造操作的當前進度、檢查過去製造操作的歷史、檢查來自多個製造操作的趨勢或性能指標、改變當前製程的參數、設定製程步驟以接續當前製程、或開始新的製程。在一些例子中，遠端電腦（例如伺服器）可以藉由網路向系統提供製程配方，該網路可以包含區域網路或網際網路。遠端電腦可以包含使用者介面，而使得能夠對參數及/或設定進行輸入或程式化，然後將參數及/或設定從遠端電腦傳送到系統。在一些例子中，系統控制器430係接收數據形式的指令，其為在一或多個操作期間要執行的每個製程步驟指定參數。吾人應理解，參數係針對於欲進行製程的類型以及控制器用以與之相接或控制的工具類型。因此如上所述，可以例如透過包含被聯網在一起並朝著共同目的（例如本文所描述的處理和控制）而工作的一或多個離散控制器來分佈系統控制器430。用於此種目的之分佈式控制器的例子為腔室中的一或多個積體電路，其與遠端（例如在平台等級或作為遠端電腦的一部分）的一或多個積體電路進行通信，這些積體電路相結合以控制腔室中的處理。

【0055】 系統範例可以包含電漿蝕刻室或模組、沉積室或模組、旋轉清洗室或模組、金屬電鍍室或模組、清潔室或模組、斜面邊緣蝕刻室或模組、物理氣相沉積（PVD）室或模組、化學氣相沉積（CVD）室或模組、ALD室或模組、ALE

室或模組、離子植入室或模組、徑跡室或模組、以及可以與半導體晶圓製造及/或生產中相關聯或用於其中之任何其他半導體處理系統，而不受任何限制。

【0056】 如上所述，取決於工具要執行的一或多個處理步驟，控制器可以與下列一或多個通信：其他工具電路或模組、其他工具元件、叢集工具、其他工具介面、相鄰工具、鄰近工具、遍布工廠各處的工具、主電腦、另一控制器或用於可將晶圓容器往返於半導體製造工廠的工具位置及/或裝載埠之材料運輸的工具。

【0057】 圖5描繪了具有與真空傳輸模組538 (VTM) 相接之諸多模組的半導體製程叢集架構。用於在多個儲存設施和處理模組之間「轉移」晶圓之各個模組的配置可以稱為「叢集工具架構」系統。與VTM 538 (輪流與四個處理模組520a-520d介接) 介接之氣匣530 (亦稱為負載鎖或轉移模組) 可以被個別最佳化以執行諸多製造處理。舉例來說，處理模組520a-520d可以安裝用於執行基板蝕刻、沉積、離子注入、晶圓清潔、濺射和/或其他半導體製程。在一些實施例中，係在同一模組中執行氧化錫沉積及氧化錫蝕刻。在一些實施例中，係在同一工具之不同模組中執行氧化錫沉積及氧化錫蝕刻。一或多個基板蝕刻處理模組(520a-520d中的任一個) 可以如本文所揭露之方式實現，例如根據所揭露實施例中之用於沉積保形膜、選擇性蝕刻氧化錫、形成空氣間隙、以及其他合適的功能。氣匣530和處理模組520a-520d可被稱為「工作站」。每個工作站都有一個刻面536而使該工作站介接於VTM 538。在每一刻面內，感應器1-18被用於當晶圓526在各別工作站之間移動時檢測其通過。

【0058】 機器人522 係在工作站之間轉移晶圓526。在一實施例中，機器人522具有一個臂，而在另一實施例中，機器人522具有兩個臂，其中每個臂具有末

端執行器524，以拾取例如晶圓526的晶圓進行運輸。大氣傳送模組（ATM）540中的前端機器人532係用於將晶圓526從裝載端模組（LPM）542中的卡匣或前開式晶圓傳送盒（FOUP）534傳送到氣匣530。處理模組520a-520d內之模組中心528是用於放置晶圓526的一個位置。在ATM 540中的對準器544係用於對準晶圓。

【0059】 在一示例性處理方法中，係將晶圓放置在LPM 542的其中一個FOUP 534中。前端機器人532係將晶圓從FOUP 534傳送到對準器544，如此讓晶圓526在蝕刻或處理之前適當的置中。在對準之後，晶圓526便被前端機器人532移動到氣匣530中。因為氣匣530具有匹配ATM 540和VTM 538之間的環境的能力，所以晶圓526能夠在兩個壓力環境下之間移動而不受損壞。晶圓526被機器人522從氣匣530移動穿過VTM 538而到處理模組 520a-520d 其中之一中。為了實現該晶圓移動，機器人522係使用在其每個臂上的末端執行器524。一旦晶圓526處理完，便由機器人522將晶圓526從處理模組520a-520d移動到氣匣530。從這裡，晶圓526可以被前端機器人532移動到FOUP 534其中之一或到對準器544。

【0060】 吾人應該注意，控制晶圓移動的電腦可以位於叢集架構的當地，也可以位於製造樓層中之叢集架構的外部，或者位於遠端的位置而透過網路連接到叢集架構。可以利用圖5中的工具來實現如上文關於圖4所述的控制器。包含用以根據本發明而控制製程操作之指令的機器可讀媒體可以耦合到系統控制器。

【0061】 在一些實施例中係提供了一種設備，其中該設備包含處理室，該處理室具有配置用以在蝕刻期間支承半導體基板的基板支架，以及用於將一或多種反應劑引入處理室的入口；可選地，配置用以在製程氣體中產生電漿的電漿產生器；以及控制器。該控制器係包含用於實施本文描述之任何方法的程式指令。

【0062】 在另一態樣中係提供了一種非暫態電腦機器可讀媒體，其包含用於引起執行本文所述之任何方法的編碼。

實驗結果

【0063】 實驗研究了製程溫度對蝕刻速率的影響。在不同溫度下於基板上蝕刻鋁，並且針對每個溫度測量每一蝕刻循環的蝕刻材料量。每一循環包含以下步驟：

- (1) 將基板暴露於 O_2 電漿；
- (2) 用氮氣吹掃處理室；
- (3) 在沒有電漿的情況下將基板暴露於 BCl_3 ；
- (4) 用氮氣吹掃處理室；
- (5) 將基板暴露於氣態 HF 中；以及
- (6) 用氮氣吹掃處理室。

【0064】 執行二十個 ALE 循環。所有循環均在 60 mTorr 的壓力下進行，且每個測試溫度均在恆定溫度下進行。使用 O_2 電漿進行處理，該電漿係使用 600W 功率和 13.56MHz 頻率產生的直接（原位）電漿。氧氣係以 500 sccm 的流速流入處理室。沒有使用外部偏壓。

【0065】 圖 6 是說明使用上述製程條件所獲得之在 150–250°C 範圍內不同溫度下每個循環之蝕刻數據的曲線圖。可以看出在此溫度範圍內獲得了 8–12Å/循環的蝕刻速率。

【0066】 在其他實驗中顯示出可以在氧化步驟期間使用遠端產生的電漿。當使用遠端電漿時，係使用 3,000W 的功率、1,000sccm 的 O₂ 流速以及 500 mTorr 的壓力來產生電漿。

進一步的實施

【0067】 本文描述的設備和製程可以與微影圖案化工具或製程結合使用，例如用於製造或生產半導體裝置、顯示器、LED、光電板等。通常，儘管並非必須，這樣的設備和製程將在共同的製造設施中一起使用或進行。膜的微影圖案化通常包含一些或所有下列步驟，每一步驟係由多個可能的工具啟用：（1）使用旋塗或噴塗工具在工作件（即基板）上施加光阻；（2）使用熱板或爐子或UV固化工具來固化光阻；（3）使用例如晶圓步進機的工具將光阻暴露在可見光或UV或X射線下；（4）使光阻顯影以選擇性地移除光阻，進而使用例如濕台的工具進行圖案化；（5）使用乾式蝕刻工具或電漿輔助蝕刻工具將光阻圖案轉移到下層薄膜或工作件上；（6）使用RF或微波電漿光阻剝離劑的工具移除光阻。

【符號說明】

【0068】

101-109: 步驟

201-205: 步驟

301: 底層

303: 凹陷特徵部

305: 鉬層

307: 介電材料

309: 導電材料、導電層

311: 凹陷特徵部303之側壁上的部分

400: 設備

401: 腔室壁

402: 上部子腔室

403: 下部子腔室

411: 窗

417: 卡盤

419: 晶圓

421: 匹配電路

422: 端口

423: RF電源

424: 處理室

425: 連接件

427: 連接件

430: 系統控制器

433: 線圈

439: 匹配電路

440: 機械乾式泵及/或渦輪分子泵

441: RF電源

443: 連接件

445: 連接件

449a: 法拉第屏蔽

449b: 法拉第屏蔽

450: 内部電漿格柵

460: 主氣流入口

470: 側氣流入口

520a-520d: 處理模組

522: 機器人

524: 末端執行器

526: 晶圓

528: 模組中心

530: 氣匣

532: 前端機器人

534: 前開式晶圓傳送盒 (FOUP)

536: 刻面

538: 真空傳輸模組 (VTM)

540: 大氣傳送模組 (ATM)

542: 裝載端模組 (LPM)

544: 對準器

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種蝕刻半導體基板上之鉬層的方法，其步驟包含：

(a) 將該半導體基板暴露至一含氧反應劑，以將至少一部份之該鉬層氧化成氧化鉬；

(b) 在該氧化鉬形成之後，將該半導體基板暴露至三氯化硼，以將該氧化鉬轉化成揮發性的氧氯化鉬，同時在該半導體基板上形成氧化硼；以及

(c) 將該半導體基板暴露至一含氟反應劑，以將該氧化硼自該半導體基板移除。

【請求項2】 如請求項1之蝕刻半導體基板上之鉬層的方法，其進一步包含重複步驟 (a) - (c) 。

【請求項3】 如請求項1之蝕刻半導體基板上之鉬層的方法，其中步驟 (a) - (c) 係在無電漿的情況下執行。

【請求項4】 如請求項1之蝕刻半導體基板上之鉬層的方法，其中藉由步驟 (a) - (c) 執行的鉬層蝕刻為各向同性。

【請求項5】 如請求項1之蝕刻半導體基板上之鉬層的方法，其中一單一蝕刻循環包含步驟 (a) - (c)，且其中該單一蝕刻循環係可控地移除約8-15Å之間的該鉬層。

【請求項6】 如請求項1之蝕刻半導體基板上之鉬層的方法，其中該含氧反應劑係選自由 O_2 、 O_3 及其混合物組成之群組，其中當使用 O_2 時， O_2 係選自由在一遠端電漿中活化之 O_2 以形成氧自由基、在一直接電漿中活化之 O_2 以形成氧離子、以及在一無電漿環境中之 O_2 所組成之群組。

【請求項7】 如請求項1之蝕刻半導體基板上之鉬層的方法，其中該含氟反應劑為HF。

【請求項8】 如請求項1之蝕刻半導體基板上之鉬層的方法，其中步驟（a）-（c）係在約100-400°C之間的一溫度下執行。

【請求項9】 如請求項1之蝕刻半導體基板上之鉬層的方法，其中步驟（a）-（c）係在約150-250°C之間的一溫度下執行。

【請求項10】 如請求項1之蝕刻半導體基板上之鉬層的方法，其中該含氧反應劑為在一電漿中活化的O₂。

【請求項11】 如請求項1之蝕刻半導體基板上之鉬層的方法，其中該鉬層係自該半導體基板上之一凹陷特徵部的側壁被蝕刻。

【請求項12】 如請求項1之蝕刻半導體基板上之鉬層的方法，其中該鉬層係於製造一3D NAND結構中之字元線隔離期間被蝕刻。

【請求項13】 如請求項1之蝕刻半導體基板上之鉬層的方法，其中該方法包含執行約2-50個之間的蝕刻循環，且其中每一蝕刻循環包含步驟（a）-（c）。

【請求項14】 如請求項1之蝕刻半導體基板上之鉬層的方法，其中步驟（a）-（c）係於一處理室中執行。

【請求項15】 如請求項1之蝕刻半導體基板上之鉬層的方法，其中步驟（a）-（c）係於一處理室中執行，且該方法進一步包含在步驟（a）、（b）及（c）的每一個執行之後清洗該處理室。

【請求項16】 一種基板的處理設備，其包含：

（a） 用以存放該基板之一處理室，其中該處理室係包含用以支承該基板的一基板支架以及用以引入一或多個反應劑至該處理室之一入口；以及

(b) 包含程式指令之一控制器，該程式指令係用以致使下列各者而啟動對該基板上之一鉬層的蝕刻：

- (i) 將具有該鉬層之該基板暴露至一含氧反應劑，以將至少一部份之該鉬層氧化成氧化鉬；
- (ii) 將該半導體基板暴露至三氯化硼，以將該氧化鉬轉化成揮發性的氧氯化鉬，同時在該半導體基板上形成氧化硼；以及
- (iii) 將該半導體基板暴露至一含氟反應劑，以將該氧化硼自該半導體基板移除。

【請求項17】 如請求項16之基板的處理設備，其中該設備進一步包含一加熱器，且其中該程式指令包含配置用以在蝕刻該鉬層期間維持在約100-400°C之間之一溫度的指令。

【請求項18】 如請求項16之基板的處理設備，其中該設備係進一步配置用以實現在該基板上的材料沉積。

【請求項19】 如請求項16之基板的處理設備，其中該程式指令係包含用以重複步驟 (i) - (iii) 的指令。

【請求項20】 如請求項16之基板的處理設備，其中該設備係配置用以激活在一電漿中之該含氧反應劑。

【請求項21】 一種包含用以控制配置用於處理基板之設備的程式指令的非暫態電腦機器可讀媒體，其中該程式指令包含配置用以實現下列各者之編碼：

- (i) 將具有該鉬層之該基板暴露至一含氧反應劑，以將至少一部份之該鉬層氧化成氧化鉬；

- (ii) 將該基板暴露至三氯化硼，以將該氧化鉬轉化成揮發性的
氧氯化鉬，同時在該基板上形成氧化硼；以及
- (iii) 將該基板暴露至一含氟反應劑，以將該氧化硼自該基板移
除。

【請求項22】 如請求項1之蝕刻半導體基板上之鉬層的方法，其中更包含下列步驟：

- 施加光阻至該半導體基板；
- 將該光阻暴露至光；
- 圖案化該光阻並將該圖案轉移至該半導體基板；
- 以及選擇性將該光阻自該半導體基板移除。

【發明圖式】

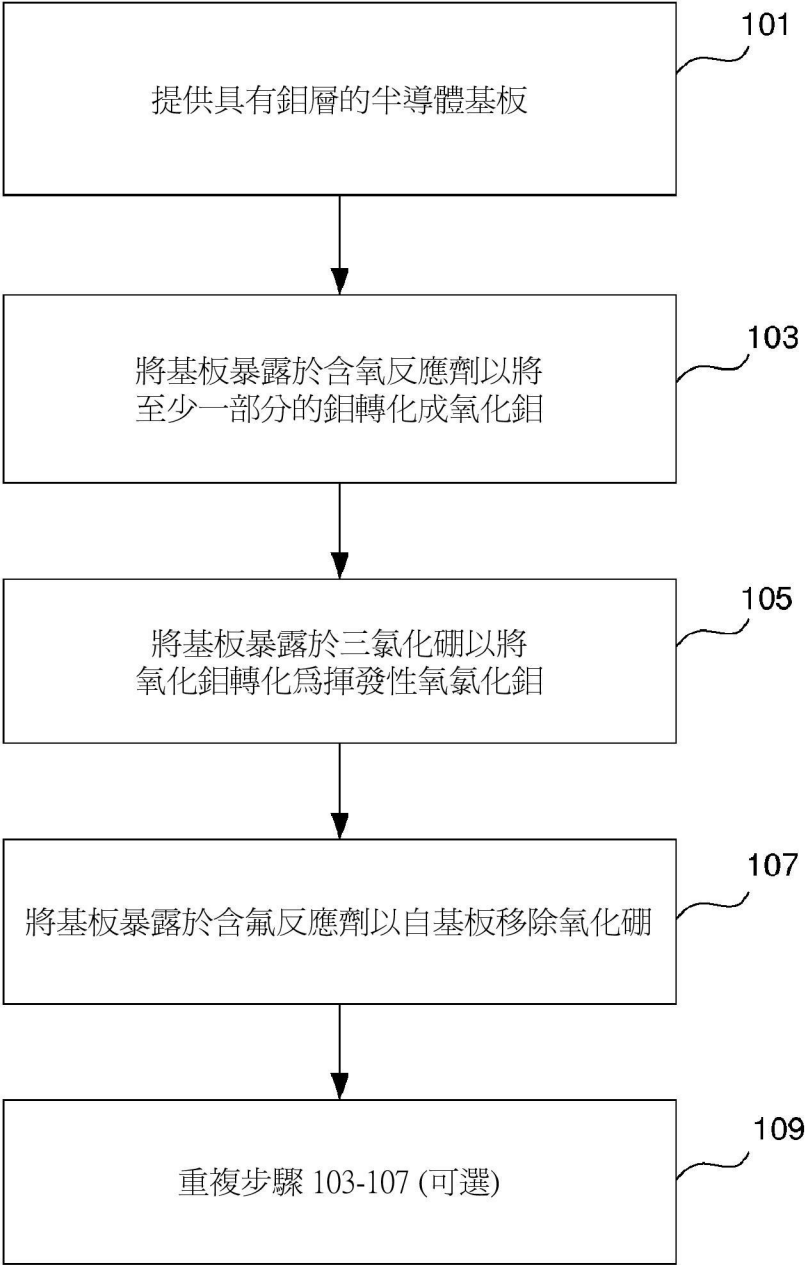


圖 1

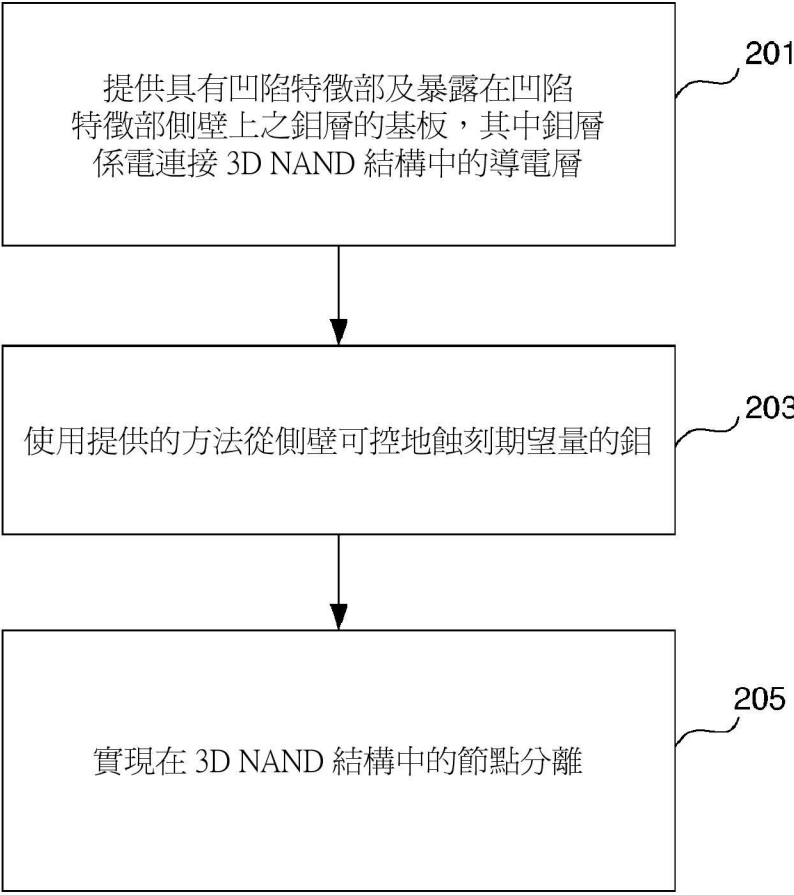


圖 2

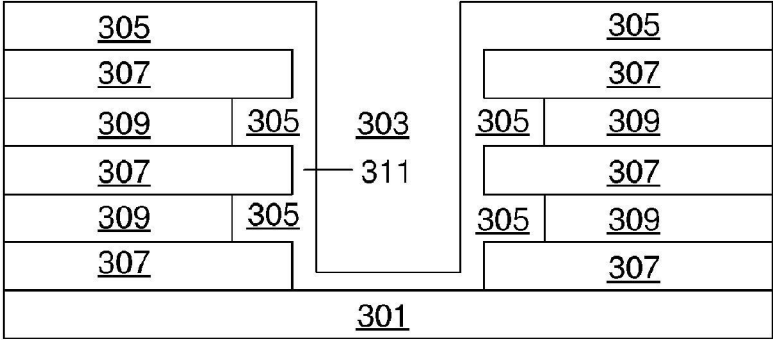


圖 3A

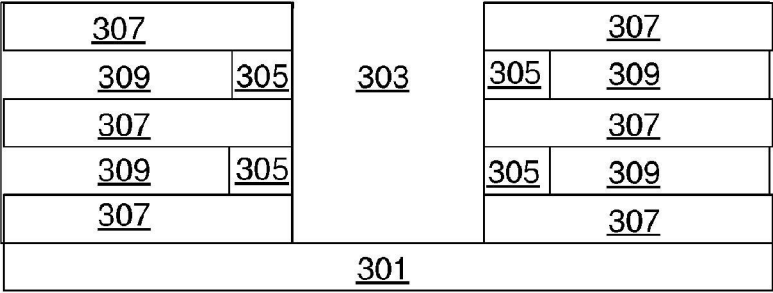


圖 3B

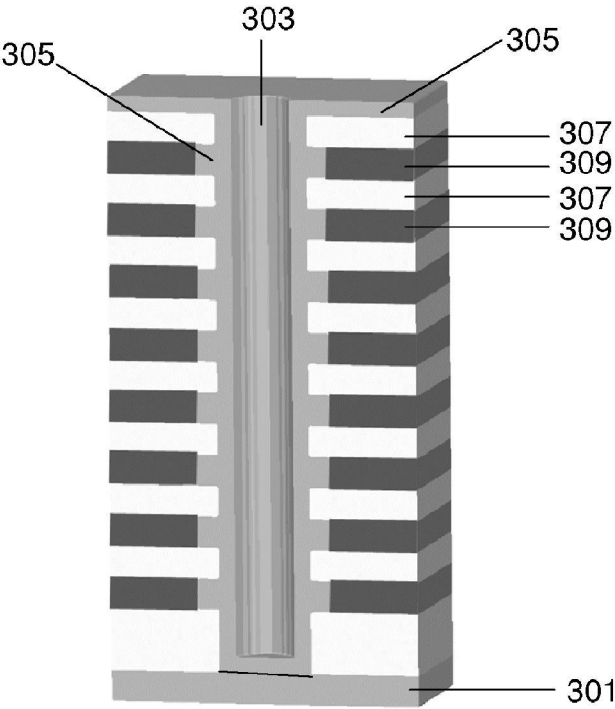


圖 3C

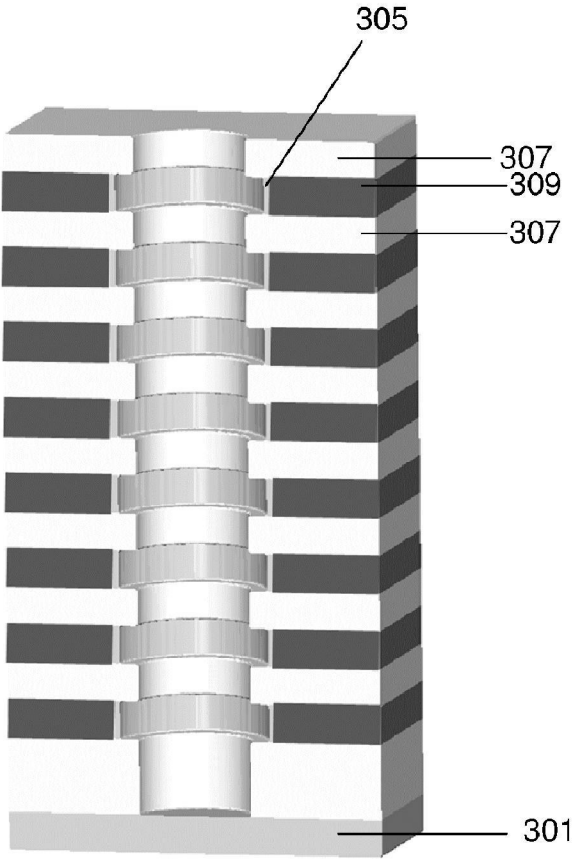


圖 3D

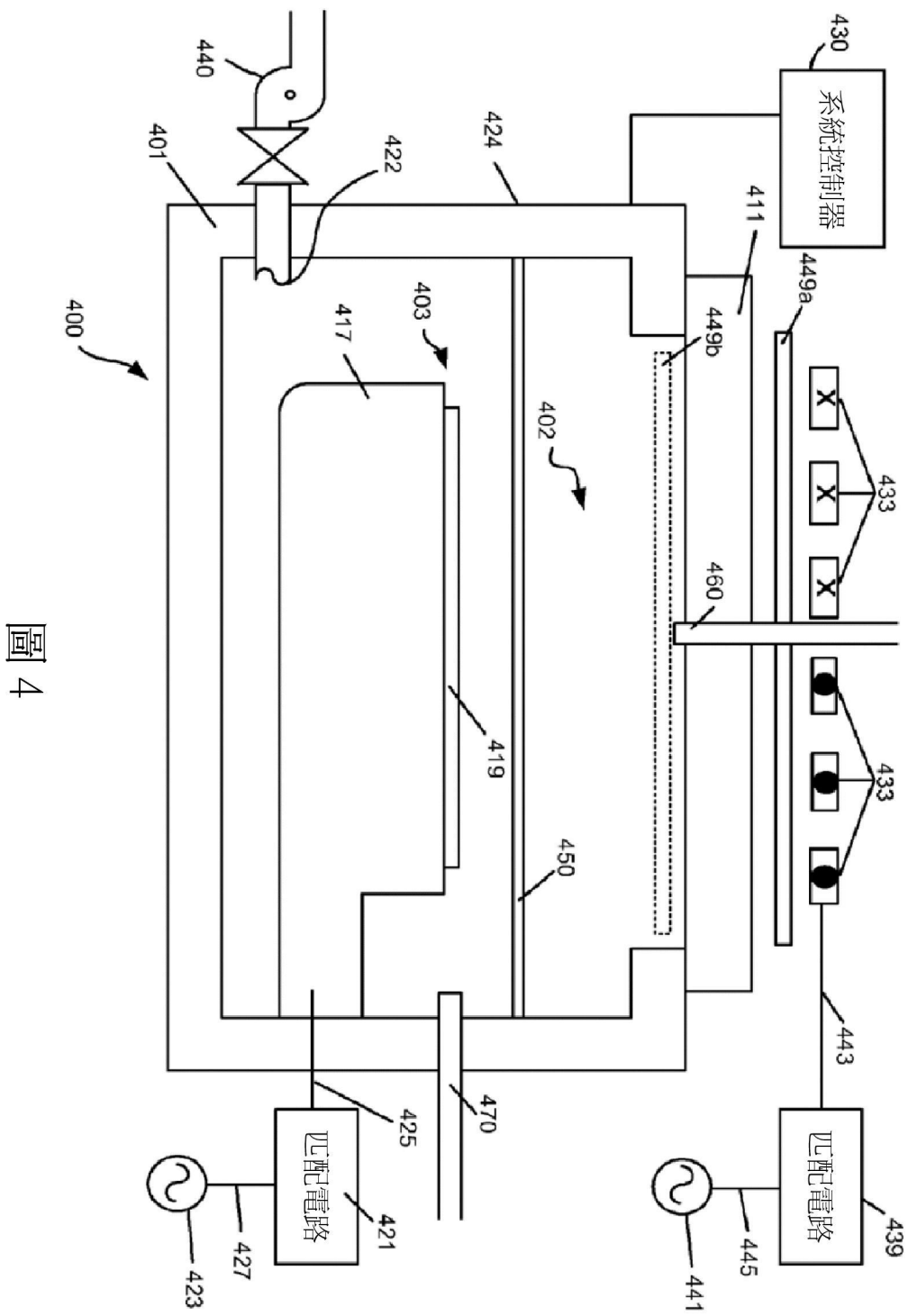


圖 4

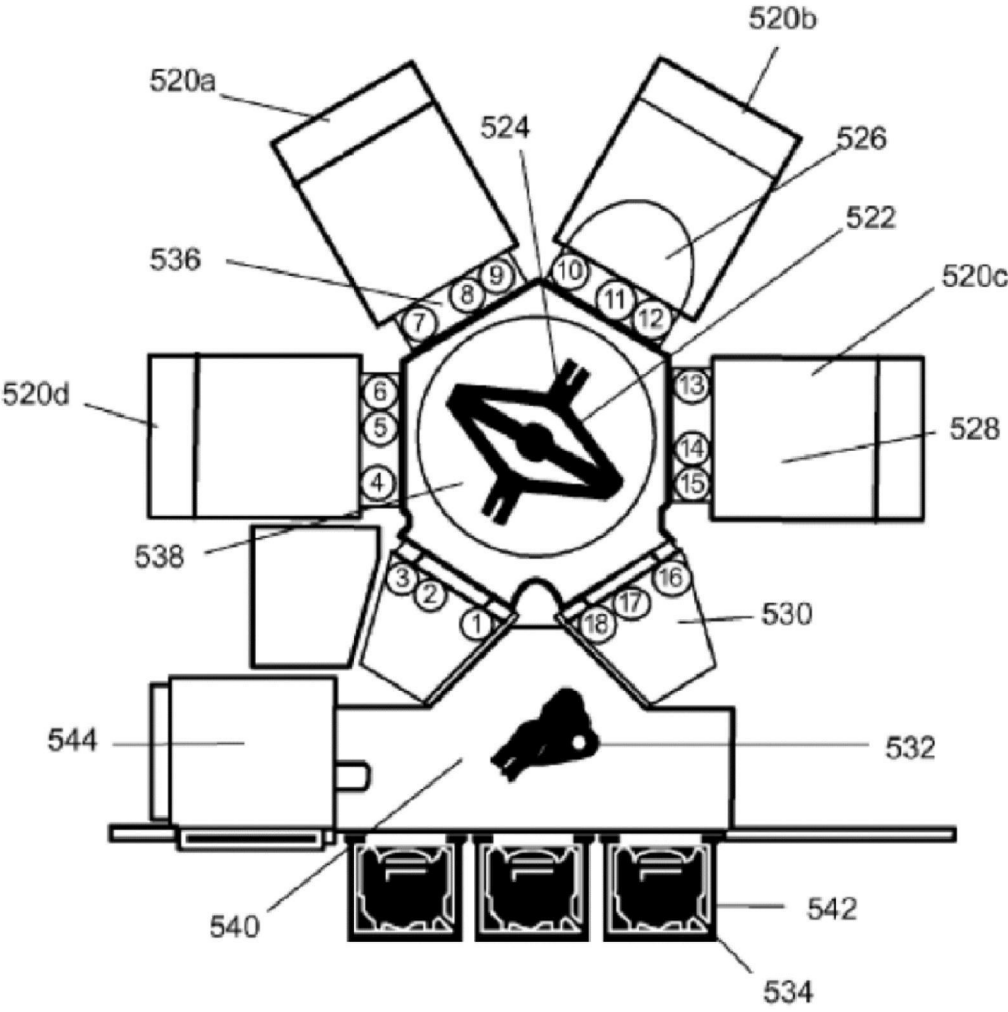


圖 5

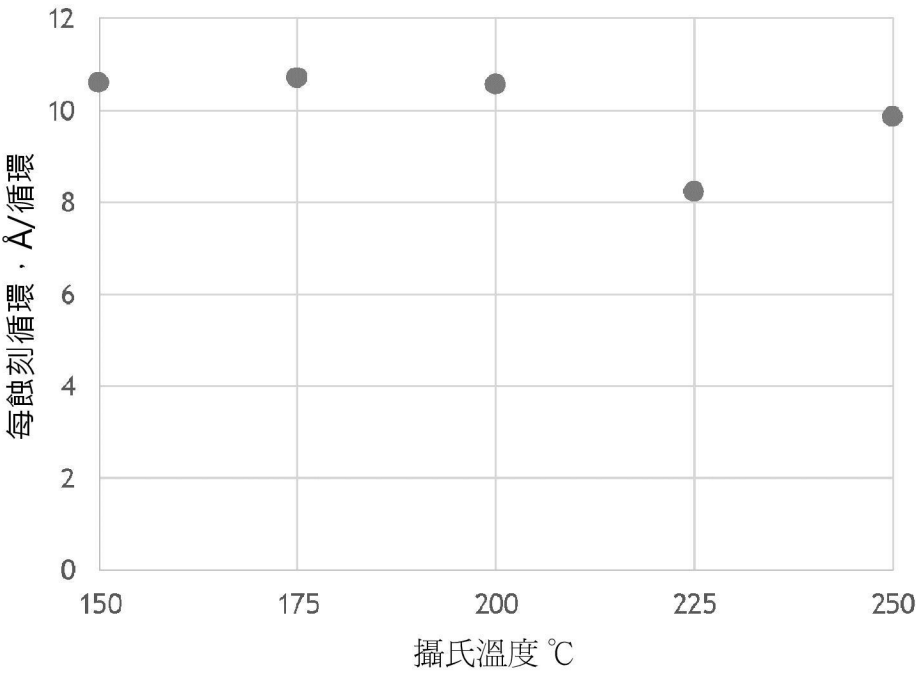


圖 6