



(21)申請案號：105126501

(22)申請日：中華民國 105 (2016) 年 08 月 19 日

(51)Int. Cl.：

*H01L21/3213 (2006.01)**H01L21/67 (2006.01)**C23C16/505 (2006.01)**H01J37/32 (2006.01)**C23C16/52 (2006.01)**H01L21/768 (2006.01)**H01L21/285 (2006.01)*

(30)優先權：2015/08/21 美國

62/208,527

2015/09/25 美國

62/233,186

2016/08/18 美國

15/240,807

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

美國

(72)發明人：馮 慧傑 FUNG, WAIKIT (US)；孟亮 MENG, LIANG (CN)；嘉德瑞什卡 阿南

德 CHANDRASHEKAR, ANAND (IN)

(74)代理人：許峻榮

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：21 項 圖式數：13 共 68 頁

(54)名稱

蝕刻製程中施加脈衝予射頻功率以提升鎢間隙填充功能

PULSING RF POWER IN ETCH PROCESS TO ENHANCE TUNGSTEN GAPFILL PERFORMANCE

(57)摘要

提供使用金屬材料（諸如含鎢材料）以實質無孔隙的方式填充特徵部的方法及設備。在某些實施例中，該方法包含沉積諸如含鎢材料之金屬的初始層，接著移除該初始層的一部分以形成剩餘層，該剩餘層沿高深寬比特徵部的深度係有差別地加以鈍化。該部分可藉由將含鎢材料曝露於自含氟含氮氣體產生的電漿並在曝露期間使脈衝輸送及/或勻變電漿而加以移除。

Methods and apparatuses for filling features with metal materials such as tungsten containing materials in a substantially void-free manner are provided. In certain embodiments, the method involves depositing an initial layer of a metal such as a tungsten-containing material followed by removing a portion of the initial layer to form a remaining layer, which is differentially passivated along the depth of the high-aspect ratio feature. The portion may be removed by exposing the tungsten-containing material to a plasma generated from a fluorine-containing nitrogen-containing gas and pulsing and/or ramping the plasma during the exposure.

指定代表圖：

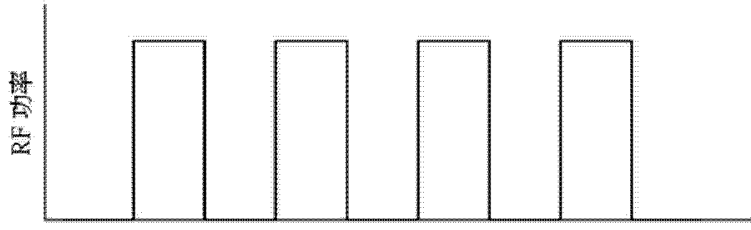


圖 12A

## 【發明說明書】

【中文發明名稱】 蝕刻製程中施加脈衝予射頻功率以提升鎢間隙填充功能

【英文發明名稱】 PULSING RF POWER IN ETCH PROCESS TO ENHANCE  
TUNGSTEN GAPFILL PERFORMANCE

### 【技術領域】

【0001】 本發明關於使用金屬材料以實質無孔隙的方式填充特徵部的方法及設備。

### 【先前技術】

【0002】 使用化學氣相沉積 (CVD) 技術之含鎢材料的沉積，係多種半導體製造製程的一重要部分。這些材料可用於水平互連線、毗鄰金屬層之間的貫孔、在第一金屬層和矽基板上元件之間的接觸窗及高深寬比的特徵部。在一傳統沉積製程中，基板係在沉積腔室中被加熱至預定的製程溫度，且作為晶種或成核層之一薄的含鎢材料層係加以沉積。之後，含鎢材料的其餘部分（主體層）係在成核層上加以沉積。傳統上，含鎢材料係藉由使用氫氣（ $H_2$ ）還原六氟化鎢（ $WF_6$ ）加以形成。含鎢材料係在包含特徵部及場區（field region）的基板之整個曝露表面區域上加以沉積。

【0003】 將含鎢材料沉積入小且（尤其）高深寬比的特徵部內，可能導致在所填充的特徵部內之接縫（例如未填充之孔隙）的形成。大的接縫可能導致所填充材料的高阻抗、污染、損耗，且另外使積體電路的效能降級。舉例而言，接縫可在填充製程之後延伸接近場區，且接著在化學機械平坦化期間開通。

**【發明內容】**

**【0004】** 本文提供用於處理半導體基板的方法及設備。一實施態樣包含一種方法，該方法包含：設置一基板，該基板具有使用一金屬部分地填充的一特徵部；將該基板曝露於一基於氟及基於氮的電漿；及脈衝輸送該電漿以移除一部分的該金屬。

**【0005】** 在一些實施例中，該金屬係錫。在各種實施例中，該電漿係在一開啓狀態及一關閉狀態之間脈衝輸送，其中在該關閉狀態期間的電漿功率係0 W，且在該開啓狀態期間的電漿功率係在約50 W和約3000 W之間。在一些實施例中，該電漿係以在約1 Hz和約400 kHz之間的頻率、或在約1 Hz和約100 kHz之間的頻率加以脈衝輸送。在各種實施例中，該電漿係使用在約1%和約99%之間的工作週期、或在約10%和約90%之間的工作週期加以脈衝輸送。在一些實施例中，該電漿係在一開啓狀態及一關閉狀態之間脈衝輸送，且該電漿在每一脈衝中係以在約100毫秒和約10秒之間的持續時間處於開啓狀態。在各種實施例中，將該基板曝露於該基於氟及基於氮之電漿的步驟包含流動一含氟及含氮氣體且點燃一電漿。

**【0006】** 在各種實施例中，該含氟及含氮氣體流係脈衝輸送的。該含氟及含氮氣體流可使用在約30%和約70%之間的工作週期加以脈衝輸送。在一些實施例中，該含氟及含氮氣體流係脈衝輸送在約200 ms和約3秒之間、或在約0.5秒和約3秒之間的持續時間。在一些實施例中，該含氟及含氮氣體係三氟化氮。

**【0007】** 該方法可進一步包含：在移除該部分的該金屬之後，將該基板曝露於一含金屬前驅物以在該特徵部內沉積金屬。

【0008】另一實施態樣包含一種方法，該方法包含：對一處理腔室設置一基板，該基板具有使用鎢部分地填充的一特徵部；將一含氟及含氮氣體引至該處理腔室；脈衝輸送該含氟及含氮氣體流；及在該處理腔室內點燃一電漿，以產生一基於氟及基於氮之電漿以蝕刻一部分的鎢。

【0009】在一些實施例中，該含氟及含氮氣體流係使用在約30%和約70%之間的工作週期加以脈衝輸送。在各種實施例中，該含氟及含氮氣體流係脈衝輸送在約200 ms和約3秒之間、或在約0.5秒和約3秒之間的持續時間。在各種實施例中，該含氟及含氮氣體係三氟化氮。

【0010】在各種實施例中，該電漿係脈衝輸送的。該電漿可在一開啓狀態及一關閉狀態之間脈衝輸送，其中在該關閉狀態期間的電漿功率係0 W，且在該開啓狀態期間的電漿功率係在約50 W和約3000 W之間。在各種實施例中，該電漿係以在約1 Hz和約400 kHz之間、或在約1 Hz和約100 kHz之間的頻率加以脈衝輸送。

【0011】另一實施態樣包含一種處理半導體基板的設備，該設備包含：包括一圓頂、一噴淋頭及一基座的一處理腔室；進入該處理腔室且關於流量控制硬體的一個以上氣體入口；一射頻（RF）產生器；及具有至少一處理器及一記憶體的一控制器，其中，該至少一處理器及該記憶體係彼此通訊連接，該至少一處理器係至少與該流量控制硬體及RF產生器操作連接，及該記憶體儲存電腦可執行指令，用於：將一含氟及含氮氣體引至該處理腔室，點燃一電漿，及在一開啓狀態及一關閉狀態之間脈衝輸送該電漿，其中在該關閉狀態期間的電漿功率係0 W，且在該開啓狀態期間的電漿功率係在約50 W和約3000 W之間。在各種實施例中，該含氟及含氮氣體流係脈衝輸送的。在一些實施例中，該含氟

及含氮氣體流係使用在約30%和約70%之間的工作週期加以脈衝輸送。在各種實施例中，該含氟及含氮氣體流係脈衝輸送在約200 ms和約3秒之間、或在約0.5秒和約3秒之間的持續時間。在各種實施例中，該含氟及含氮氣體係三氟化氮。

【0012】 所揭示實施例的這些及其他實施態樣係參照相對應的圖示進一步仔細地加以描述。

### 【圖式簡單說明】

【0013】 圖1根據某些實施例說明在一製程的不同階段，包含高深寬比特徵部之半導體基板的一個例子。

【0014】 圖2說明一般的製程流程圖，其根據某些實施例描述使用含錫材料填充高深寬比特徵部的方法。

【0015】 圖3根據某些實施例說明在填充製程的不同階段之基板橫截面的示意圖。

【0016】 圖4A根據某些實施例說明一種設備的示意圖，該設備用於填充高深寬比的特徵部。

【0017】 圖4B根據某些實施例說明用於蝕刻基板的設備之示意圖。

【0018】 圖5A根據某些實施例顯示多工作站式設備的示意圖，該設備用於填充高深寬比的特徵部。

【0019】 圖5B係根據某些實施例之用於填充高深寬比特徵部之多腔室設備的示意圖。

【0020】圖6A說明一特徵部的示意圖，該特徵部係在部分製造的半導體基板中加以設置，該部分製造的半導體基板具有在特徵部中沉積的含錫層，具圖6A指出層厚度之不同的測量點。

【0021】圖6B針對兩個不同的製程條件說明在蝕刻之前及在蝕刻之後，圖6A顯示之含錫層的厚度分布圖。

【0022】圖7係活化的氟物種及重組的氟物種隨基座溫度變化之蝕刻速率的圖。

【0023】圖8係活化的氟物種隨腔室壓力變化之蝕刻速率的圖。

【0024】圖9係針對使用不同蝕刻條件處理的各種樣品隨時間變化之沉積厚度的圖。

【0025】圖10說明在初始錫沉積、3秒的蝕刻及額外的錫沉積之後，30奈米特徵部的橫截面掃描式電子顯微鏡（SEM）影像。

【0026】圖11說明在相同的初始錫沉積、1秒的蝕刻及相同的額外錫沉積之後，另一30奈米特徵部的橫截面SEM影像。

【0027】圖12A根據某些實施例說明射頻電漿功率的示例脈衝輸送方案。

【0028】圖12B根據某些實施例說明氣流的示例脈衝輸送方案。

【0029】圖13根據某些實施例說明射頻電漿功率的示例脈衝輸送及勻變方案。

#### 【實施方式】

【0030】為了透徹理解所揭示的實施例，在以下的敘述中說明眾多具體細節。該等所揭示的實施例可不具有某些或全部這些具體細節而加以實施。另一

方面，未詳細說明眾所周知的製程操作，以不要不必要地模糊所揭示的實施例。雖然所揭示的實施例將結合具體的實施例加以描述，但可理解其係非意圖限制所揭示的實施例。

## 前言

**【0031】** 所揭示的實施例包含在蝕刻製程中施加脈衝予射頻功率以提升錫間隙填充功能。可被使用之所揭示實施例的示例方法係關於圖1-9描述於下。

**【0032】** 使用含錫材料填充特徵部可在所填充的特徵部內部造成接縫形成。接縫可當在特徵部之側壁上正在沉積的層變厚達到一個點時加以形成，該點自處理腔室的環境將在此點之下的孔隙空間密封（亦即形成夾點，亦稱作為密封點）。換言之，所沉積的層之增厚夾出一孔隙空間。此夾點阻礙前驅物及/或其他反應物進入剩餘的孔隙空間，而因此該剩餘的孔隙空間保持未填充。孔隙空間通常係細長形接縫，其沿特徵部的深度方向延伸於一部分之所填充的特徵部範圍。此孔隙空間或接縫因其形狀有時亦被稱為鎖形孔。

**【0033】** 對於接縫形成有多個可能的原因。其一係在含錫材料或更典型地諸如擴散阻障層或成核層之其他材料的沉積期間，在接近特徵部開口處形成的外伸部（overhang）。圖1根據某些實施例說明在半導體處理的不同階段期間，包含高深寬比特徵部之半導體基板的一個例子。第一橫截面101顯示具有預先形成之特徵部孔105的基板103。基板可為矽晶圓，例如：200-mm的晶圓、300-mm的晶圓、450-mm的晶圓。特徵部孔105可具有至少約2：1的深寬比，或在更特定的實施例中具有至少約4：1的深寬比。特徵部孔105亦可在接近開口處具有在約10奈米至500奈米之間、或更明確地在約25奈米至300奈米之間的橫截面尺寸（例



如：開口直徑、線寬等）。特徵部孔有時被稱為未填充的特徵部或僅稱為特徵部。

【0034】在下一階段（橫截面111）中，基板103係顯示具有襯裡特徵部孔105之所沉積的下層113，其可為擴散阻障層、黏合層、成核層、其組合、或任何其他可應用的材料。由於許多沉積製程不具良好的階梯覆蓋率特性，亦即，與特徵部內部相比，較多材料係沉積在場區上及接近開口處，下層113可能形成外伸部115。當外伸部115係下層113的一部分時，下層113在接近開口處可能比在例如特徵部內部厚。用於此描述的目的，「接近開口處」係定義為在特徵部內部（亦即，沿特徵部的側壁）一個大約的位置或區域，其對應於從場區測量之特徵部深度的約0-10%之間。在某些實施例中，接近開口處的區域對應於在開口的區域。此外，「特徵部內部」係定義為在特徵部內部一個大約的位置或區域，其對應於從特徵部頂部上的場區測量之特徵部深度的約20-60%之間。通常，當某些參數（例如厚度）的數值係指定「接近開口處」或「特徵部內部」時，這些數值代表在這些位置/區域內所取得之一測量值或多個測量值的平均值。在某些實施例中，接近開口處之下層的平均厚度係比特徵部內部厚至少約10%。在較特定的實施例中，此差異可為至少約25%、至少約50%、或至少約100%。特徵部內材料的分布亦可表徵為其階梯覆蓋率。用於此描述的目的，「階梯覆蓋率」係定義為兩個厚度的比例，亦即，特徵部內部之材料的厚度比上接近開口處之材料的厚度。在某些例子中，下層的階梯覆蓋率係少於約100%，或更明確地，少於約75%或甚至少於約50%。

【0035】下一橫截面121說明以含鎢材料123填充的特徵部孔。沉積製程可造成材料123的保形層在下層113上堆積。此沉積的層依循下層113（包括其外伸

部115)的形狀。在某些實施例中，且尤其在沉積製程的後期階段(例如：剛好在特徵部閉合之前)中，層123可變得較不保形，導致差的階梯覆蓋率(亦即，接近開口處比特徵部內部沉積較多材料)。當層123增厚時，其可閉合特徵部形成夾點125。通常，一些額外的材料在停止沉積製程之前係在夾點125上方加以沉積。由於外伸部115及在某些實施例中由於層123的差的階梯覆蓋率，閉合的特徵部可具有在參考點125下方之未填充的孔隙129(亦即接縫)。孔隙129的大小及相對於場區127之參考點125的位置取決於外伸部115的大小，以及特徵部的尺寸、深寬比、及弓形情況(bowling)、沉積製程參數及其他參數。

【0036】最後，橫截面131顯示在化學機械平坦化(CMP)之後的基板133，化學機械平坦化自基板103移除頂層。CMP可用以從場區移除覆蓋層(overburden)，諸如存在於基板103之頂部表面上的層113和123的部分。通常，基板103於CMP期間係亦加以薄化以形成基板133。若夾點125落在CMP製程的平坦化水平面上方，如圖1所示，則接縫129打開且係透過接縫開口135曝露於環境。開通及大接縫的問題係描述於上。

【0037】未於圖1中說明但仍可能導致接縫形成、或擴大接縫及將參考點往場區移近的另一原因，係特徵部孔之彎曲(或弓形)的側壁，其亦稱為弓形特徵部。在弓形特徵部內，接近開口處之凹槽的橫截面尺寸係小於特徵部內部之凹槽的橫截面尺寸。在弓形特徵部內這些較窄開口的影響係有點類似上述外伸部的問題。此外，弓形特徵部亦可具有有外伸部的下層，及遭遇使接縫形成之負面影響惡化的其他接縫形成原因。

【0038】自使用含鎢材料填充的特徵部完全消除接縫可能是不可能或不實際的。一些孔隙空間可能殘留在特徵部內部，例如由於所沉積材料的大顆粒，

在沉積期間，特別是在特徵部封閉前之前的質傳限制以及其他原因。然而，此處提出新穎的方法，其容許降低接縫尺寸及將參考點移動遠離場區。這些係被統稱為減緩接縫形成的步驟。

## 製程

**【0039】** 吾人發現接縫的形成可藉由導入一個以上中間選擇性移除操作而加以減緩，或在一些實施例中加以消除。例如：填充製程可始於形成一初始層，該初始層至少部分地填充高深寬比的特徵部。此操作之後係接著進行此初始層的部分選擇性移除，及接著沉積一另外的層。此移除-沉積循環可加以重複，直到特徵部係以實質上無孔隙的方式完全填充。製程參數可加以選擇，使得階梯覆蓋率係於至少一個循環加以改善。在某些實施例中，每個循環進一步改善階梯覆蓋率。總之，選擇性移除的特徵可為在接近開口處比在特徵部內部移除較多材料。各種製程控制參數可加以使用以實現這些結果，該等結果包含在質傳限制條件下的移除、控制不同蝕刻成分（例如活化的及重組的物種）的移除及/或吸附速率、控制蝕刻物種的重組速率、控制電漿的脈衝輸送、控制電漿功率、控制電漿脈衝長度、控制電漿脈衝的工作週期及其他。為了此申請案的目的，活化的物種（諸如原子化的物種、自由基及離子（例如原子氟））係與重組的物種有所區別，該等重組的物種諸如：包含高能態分子（例如分子氟）的分子，及來自初始蝕刻劑的物種（例如三氟化氮及其他下面進一步描述的前驅物）。

**【0040】** 圖2說明一般的製程流程圖，其根據某些實施例描述使用含錫材料填充高深寬比特徵部的方法。方法200可始於在處理腔室內部的沉積工作站上

配置包含高深寬比特徵部的基板（方塊201）。該基板亦可具有下層，諸如：擴散阻障層及/或鎢成核層。某些基板及下層的細節係提供於上述圖1的背景中。在某些實施例中，接近特徵部開口處之下層的平均厚度係比特徵部內部之下層的平均厚度（例如接近特徵部的底部）厚至少約25%。在更一般的情況下，基板可具有形成外伸部的下層。在某些情況下，先前沉積的主體鎢層可存在於特徵部內。具有外伸部的特徵部係在填充期間更容易形成孔隙。

**【0041】** 擴散阻障層可預先沉積在基板之上以形成保形層，該保形層避免用以填充特徵部的材料擴散進入基板的周圍材料。擴散阻障層的材料可包含氮化鎢、鈦、氮化鈦及其他。阻障層的厚度可介於約10埃和500埃之間，或在更特定的實施例中介於約25埃和200埃之間。在某些實施例中，擴散阻障層係在基板表面上不均勻地分布，使得其形成外伸部。

**【0042】** 成核層通常係薄的保形層，其有助於其上主體含鎢材料的後續沉積。在某些實施例中，該成核層係使用脈衝成核層（PNL）技術加以沉積。在PNL技術中，還原劑、沖洗氣體及含鎢前驅物的脈衝係依序注入反應腔室中且自該反應腔室加以沖洗。該製程係以一循環的方式加以重複，直至達到期望的厚度。PNL廣泛地包含依序添加反應物以供在半導體基板上反應的任何循環製程，包含原子層沉積（ALD）技術。用於沉積鎢成核層的PNL技術係在於2008年2月13日申請之美國專利申請案第12/030,645號、於2007年12月5日申請之美國專利申請案第11/951,236號及於2009年3月19日申請之美國專利申請案第12/407,541號中加以描述，以上申請案全部內容於此藉由參照及爲了描述鎢沉積製程的目的納入本案揭示內容。關於PNL類型製程的額外討論可在美國專利第6,635,965號、第6,844,258號、第7,005,372號及第7,141,494號、以及美國專利申請案第

11/265,531號中得知，其亦於此藉由參照納入本案揭示內容。在某些實施例中，成核層係在基板表面上不均勻地分布，使得其形成外伸部。此處描述的方法係不限於錫成核層沉積的特定方法，而是包含在藉由包含PNL、ALD、CVD、PVD及任何其他方法的任何方法所形成之錫成核層上之主體錫膜的沉積。此外，在某些實施例中，主體錫可在不使用成核層的情況下直接沉積。

**【0043】** 沉積工作站亦可用以執行某些預先操作（例如：擴散阻障層的沉積、成核層的沉積）及/或後續操作（例如：蝕刻、另一沉積、最終特徵部填充）。在某些實施例中，沉積工作站可專門設計成執行沉積操作203。設備亦可包含額外的沉積工作站以執行操作203。例如：初始的沉積可在第一沉積工作站上加以執行。基板可接著移動至另一工作站以進行蝕刻。在下面進一步描述的某些實施例中，蝕刻工作站係配置在不同的腔室內，以避免針對其各自操作在使用不同材料及條件的沉積和蝕刻環境之間的交叉污染。若製程接著包含另一沉積操作203，則基板可返回至第一沉積工作站或移動至另一沉積工作站。多個沉積工作站亦可用以在數個基板上執行平行的沉積操作203。額外的細節及設備的實施例係在下面圖4及圖5A-B的背景中加以描述。

**【0044】** 該製程可繼續進行將含錫材料沉積至基板之上（方塊203）。在某些實施例中，主體沉積包含化學氣相沉積（CVD）製程，其中含錫前驅物係藉由氫加以還原以沉積錫。雖然通常係使用六氟化錫（ $WF_6$ ），但製程可使用其他錫前驅物加以執行，包含但不限於六氯化錫（ $WCl_6$ ）、有機金屬前驅物及無氟前驅物，諸如：MDNOW（甲基環戊二烯基-二羰基亞硝基-錫）及EDNOW（乙基環戊二烯基-二羰基亞硝基-錫）。此外，雖然氫係通常在主體錫層的CVD沉積中用作還原劑，但包括矽烷的其他還原劑在不背離所揭示實施例的範疇下可在

氫之外或替代氫而加以使用。在另一實施例中，六羰基鎢 ( $W(CO)_6$ ) 可連同或不連同還原劑加以使用。不像上述的PNL製程，在CVD技術中， $WF_6$ 及 $H_2$ 或其他反應物係同時導入反應腔室內。此產生混合之反應物氣體的連續化學反應，其在基板表面上連續地形成鎢膜。使用化學氣相沉積 (CVD) 沉積鎢膜的方法係在於2008年8月29日申請之美國專利申請案第12/202,126號 (現為於2013年10月8日授證之美國專利第8,551,885號) 中加以描述，其全部內容於此為描述沉積製程的目的納入本案揭示內容。根據各種實施例，本文描述的方法係非限於部分填充特徵部的特定方法，而是可包含任何適當的沉積技術。

**【0045】** 圖3說明在填充製程的不同階段之特徵部橫截面之一個例子的示意圖。具體而言，橫截面321代表在完成初始沉積操作203的其中之一者之後之特徵部的一個例子。在製程的此階段，基板303可具有在下層313上方沉積的含鎢材料層323。接近開口處之凹槽的尺寸可比特徵部內部之凹槽的尺寸窄，這是例如由於下層313的外伸部315及/或所沉積的層323之差的階梯覆蓋率，其在上述圖1的背景中更詳細地加以描述。

**【0046】** 返回至圖2，繼續進行沉積操作203直到所沉積的層 (例如層323) 達到一定的厚度。此厚度可取決於凹槽輪廓及開口尺寸。在某些實施例中，接近開口處之所沉積的層的平均厚度可在包含任何下層 (若下層存在) 之特徵部橫截面尺寸的約5%和25%之間。在其他實施例中，特徵部可在沉積操作203期間完全閉合，且接著之後在選擇性移除操作 (未顯示) 期間再被開啓。

**【0047】** 在某些實施例中，處理腔室可配備各種感測器以執行原位計量測量，以識別沉積操作203及移除操作205的程度。原位計量的例子包含用於決定所沉積的膜之厚度的光學顯微鏡及X射線螢光法 (XRF)。此外，紅外線 (IR)

光譜法可用以偵測在蝕刻操作期間產生之氟化鎢 ( $WF_x$ ) 的量。最後，諸如鎢成核層或擴散阻障層的下層可用作蝕刻停止層。

**【0048】** 該製程繼續進行選擇性移除操作205。蝕刻製程的某些細節係在於西元2009年8月4日申請之 Chandrashekar 等人發明的美國專利申請案第 12/535,377 號中加以描述，該美國專利申請案的標題為 “METHOD FOR DEPOSITING TUNGSTEN FILM HAVING LOW RESISTIVITY, LOW ROUGHNESS AND HIGH REFLECTIVITY”，其全部內容於此納入本案揭示內容。基板可自沉積工作站移至另一工作站（且在更特定的實施例中，在不同條件下操作的另一處理腔室），或可繼續在相同的工作站上加以處理，或可首先自沉積工作站移除（例如進行儲存）且接著返回至該沉積工作站進行所沉積的層之選擇性移除。

**【0049】** 實現選擇性移除（亦即，在接近開口處比在特徵部內部移除較多的沉積材料）的一種方式係在質傳限制規則下執行操作205。在此規則中，在特徵部內部的移除速率係受限於擴散進入特徵部之不同蝕刻材料成分（例如：初始蝕刻劑材料、活化的蝕刻劑物種及重組的蝕刻劑物種）的量及/或相對組成。在某些實施例中，蝕刻速率取決於在特徵部內部不同位置的各種蝕刻劑成分濃度。應注意術語「蝕刻」及「移除」在本文中可互換使用。應理解選擇性移除可使用任何移除技術加以執行，其包含蝕刻及其他技術。

**【0050】** 質傳限制條件的特徵，部分可在於總蝕刻劑濃度變化。在某些實施例中，在特徵部內部的濃度係比在接近其開口的濃度低，造成在接近開口處比在特徵部內部之較高的蝕刻速率。此從而導致選擇性移除。質傳限制製程條件可藉由將限定之蝕刻劑的量供應至處理腔室內（例如：相對於凹槽輪廓及尺

寸使用低蝕刻劑流率)且同時維持相對高的蝕刻速率而達成,以當蝕刻劑擴散進入特徵部時消耗一些蝕刻劑。在某些實施例中,濃度梯度係顯著的,其可能造成相對高的蝕刻動力及相對低的蝕刻劑供給。在某些實施例中,接近開口處的蝕刻速率亦可為質量限制的,但不需此條件來達成選擇性移除。

**【0051】**除了在高深寬比特徵部內部的總蝕刻劑濃度變化之外,選擇性移除可受整個特徵部的不同蝕刻劑成分之相對濃度所影響。這些相對濃度又取決於蝕刻劑物種的解離及重組過程的相對動力學。濃度亦可取決於電漿條件,諸如:功率、電漿脈衝輸送週期、在操作205期間脈衝輸送電漿之脈衝開啓時間、及工作週期(在一週期期間電漿開啓的持續時間)。應理解電漿脈衝輸送可包含週期的重複,該等週期的每一者可持續一持續時間T。該持續時間T包含在一特定週期期間脈衝開啓的持續時間(電漿係處於開啓狀態的持續時間),及電漿關閉的持續時間(電漿係處於關閉狀態的持續時間)。脈衝頻率將被理解成 $1/T$ 。例如:對於電漿脈衝輸送週期 $T=100\ \mu\text{s}$ ,頻率係 $1/T=1/100\ \mu\text{s}$ 或10 kHz。工作週期或負載比係電漿處於開啓狀態期間在週期T中的分率或百分比,使得工作週期或負載比係脈衝開啓時間除以T。例如:對於電漿脈衝輸送週期 $T=100\ \mu\text{s}$ ,若脈衝開啓時間係 $70\ \mu\text{s}$ (使得電漿在一週期中的開啓狀態之持續時間係 $70\ \mu\text{s}$ )及脈衝關閉時間係 $30\ \mu\text{s}$ (使得電漿在一週期中的關閉狀態之持續時間係 $30\ \mu\text{s}$ ),則工作週期係70%。

**【0052】**如下面進一步描述,初始的蝕刻劑材料係通常通過遠程電漿產生器及/或經歷原位電漿,以產生活化的蝕刻劑物種(例如:氟原子、自由基)。在各種實施例中,如本文所述的電漿脈衝輸送可與原位電漿及/或遠程電漿產生器一起使用。然而,活化的物種可能易於重組成較低活性之重組的蝕刻物種(例



如氟分子)及/或沿其擴散路徑與含錫材料反應。因此,所沉積的含錫層之不同部分可曝露於不同濃度的不同蝕刻劑材料,例如:初始蝕刻劑、活化的蝕刻劑物種及重組的蝕刻劑物種。此提供用於下述控制選擇性移除的額外可能性。

**【0053】**舉例來說,活化的氟物種係通常比初始的蝕刻劑材料及重組的蝕刻材料對含錫材料較具反應性。此外,如圖7所示,活化的氟物種係通常比重組的氟物種對溫度變化較不敏感。因此,製程條件可以一種移除係主要歸因於活化的氟物種之方式加以控制。此外,特定的製程條件可導致活化的氟物種於接近特徵部的開口相較於特徵部的內部以較高濃度存在。舉例而言,一些活化的物種可加以消耗(例如:與沉積的材料反應及/或吸附在其表面上)及/或重組,且同時更深地擴散至特徵部中,尤其是在小的高深寬比特徵部中。應注意活化物種的重組亦發生在高深寬比特徵部之外(例如在處理腔室的噴淋頭中),且取決於腔室壓力。因此,腔室壓力可特別加以控制以調整在腔室及特徵部各點之活化的蝕刻物種之濃度。這些及其他製程條件現將更詳細地加以描述。

**【0054】**根據各種實施例,期望的蝕刻輪廓可藉由調整蝕刻保形性而獲得。正確的蝕刻溫度、蝕刻劑流的蝕刻壓力及電漿脈衝輸送的組合可能有助於達到期望的保形性。若蝕刻保形性對於每種類型的凹入結構係未正確調整,則此即使在沉積-蝕刻-沉積序列之後可能導致差的填充。

**【0055】**階梯覆蓋率係與(可用於反應的反應物物種)/(反應速率)成正比。對於主要的蝕刻劑係原子氟之此處描述的特徵部蝕刻之一些實施方式,此可簡化成:

$$W \text{ 階梯覆蓋率} \propto \frac{\text{(原子氟濃度)}}{\text{蝕刻速率}}$$

【0056】因此，爲了達到特定的鎢蝕刻階梯覆蓋率（或期望的蝕刻保形性或蝕刻非保形性）， $\text{NF}_3$ 流率（或如下所述的其他含F流率）、蝕刻溫度及脈衝輸送係一些相關的參數，因爲其直接影響原子氟的濃度及蝕刻速率。其他變量（如蝕刻壓力及載體氣流）亦具有一些重要性。

【0057】在較高的溫度下，進入的氟原子在特徵部入口處輕易地反應及蝕刻，導致更加非保形的蝕刻；在較低溫度下，進入的氟原子係能夠擴散及蝕刻更深入特徵部內，導致較保形的蝕刻。較高的蝕刻劑流率將導致產生較多的氟原子，造成較多的氟原子擴散及蝕刻更深入特徵部內，導致較保形的蝕刻。較低的蝕刻劑流率將導致產生較少的氟原子，此將易於在特徵部入口處反應及蝕刻，導致更加非保形的蝕刻。較高的壓力將造成氟自由基的較多重組以形成分子氟。分子氟比氟自由基具有較低的黏附係數，且因此在蝕刻鎢之前更輕易地擴散至特徵部內，導致較保形的蝕刻。

【0058】在一些實施例中，脈衝輸送RF電漿係用以調整蝕刻保形性。脈衝輸送RF電漿可調整氟物種（其可包含原子、自由基、中性粒子及其他物種）的量，及氮物種（其亦可包含原子、自由基、中性粒子及其他物種）的量。

【0059】在某些實施例中，選擇性移除操作205包含將初始蝕刻劑材料引入至處理腔室內且使用該初始蝕刻劑材料以選擇性地移除所沉積的層。蝕刻劑的選擇取決於所沉積的材料。雖然此描述聚焦於含鎢材料（諸如鎢及氮化鎢），但應理解其他材料可用於高深寬比特徵部的部分或完全填充。這些材料的一些例子包含諸如其他含鎢材料（例如：氮化鎢（WN）及碳化鎢（WC））、含鈦材料（例如：鈦、氮化鈦、矽化鈦（TiSi）、碳化鈦（TiC）及鋁化鈦（TiAl））、含鉭材料（例如：鉭、氮化鉭）、鈣、含鎳材料（例如：鎳（Ni）及矽化鎳（NiSi））

及鈷。這些材料可使用物理氣相沉積 (PVD)、化學氣相沉積 (CVD)、原子層沉積 (ALD) 及其他沉積技術加以沉積。通常，操作205可用以選擇性地移除在高深寬比特徵部內部形成的任何材料，包含擴散阻障層、成核層及/或填充材料。

**【0060】** 可用於含錫材料及一些其他材料的選擇性移除之初始蝕刻劑材料的例子包含三氟化氮 ( $\text{NF}_3$ )、四氟甲烷 ( $\text{CF}_4$ )、四氟乙烯 ( $\text{C}_2\text{F}_4$ )、六氟乙烷 ( $\text{C}_2\text{F}_6$ )、及八氟丙烷 ( $\text{C}_3\text{F}_8$ )、三氟甲烷 ( $\text{CHF}_3$ )、六氟化硫 ( $\text{SF}_6$ ) 及分子氟 ( $\text{F}_2$ )。在一些實施例中，含氮氣體及含氟氣體的組合可加以使用，諸如氮/氟 ( $\text{N}_2/\text{F}_2$ ) 的混合物。所揭示的實施例包含一製程，該製程通常包含產生活化物種 (例如包含自由基、離子及/或高能量分子) 的步驟。舉例而言：初始材料可流經遠程電漿產生器及/或經歷原位電漿。

**【0061】** 如上所述，在一些實施例中，蝕刻劑材料的量可藉由在操作205期間脈衝輸送RF電漿功率而加以調整。在一些實施例中， $\text{NF}_3$ 可形成氮及氟的物種，使得氟對氮物種之相對的量可在操作205期間加以調整。例如，在一些實施例中，可能在變化的功率、脈衝長度及/或工作週期的條件下脈衝輸送RF電漿以產生高的氮含量，以及在其他條件下脈衝輸送RF電漿以產生氮對氟物種之不同比例。在各種實施例中，操作205包含產生基於氟及基於氮的電漿。應理解本文使用的術語「基於氟及基於氮的電漿」意指具有大部分的氟及氮反應性物種的電漿。載體氣體亦可與較高濃度的蝕刻劑材料一起流動，但載體氣體係非反應性的物種。

**【0062】** 在一些實施例中，電漿脈衝輸送亦可用以在後續沉積中抑制錫的成核作用。在一些實施例中，在操作205中使用之來自蝕刻劑材料的碳及/或氮可

能鈍化表面以抑制鎢的成核作用及增強間隙填充。在各種實施例中，電漿脈衝輸送可用以蝕刻鎢以及在沉積期間抑制鎢的成核作用以增強間隙填充。例如：如此處描述之氟及氮物種的比例可加以調整以執行與抑制鎢成核相比較多的鎢蝕刻，或比蝕刻多的抑制，如下面進一步所描述。

**【0063】** 在各種實施例中，RF功率可為勻變的，其可在除了脈衝輸送RF功率之外或替代脈衝輸送RF功率加以執行。如此處使用的勻變係定義為在曝露於氣體或電漿物種期間改變條件。例如：在一些實施例中，使RF勻變可包含將RF功率從零增加至在約50 W和3000 W之間之所選的RF功率。

**【0064】** 勻變的RF功率可藉由調整RF允許在一定的時間在模組之內可獲得的N自由基及F自由基的獨立控制。此彈性提供額外的旋鈕以控制用於間隙填充應用之氟對氮的比例。圖12A及12B提供使用RF脈衝輸送（12A）及氣體脈衝輸送（12B）之脈衝輸送方案的示例。圖13提供執行RF勻變之脈衝輸送方案的示例。

**【0065】** 在一些實施例中，氮對氟物種的比例取決於RF頻率。例如：在一些實施例中，電漿頻率可為在kHz的範圍內。藉由控制頻率及負載比，基板曝露於電漿的持續時間可加以減少。亦調整電漿開啓及關閉的持續時間，且因此改變電漿特性（諸如電漿密度及電子能量分佈），以從而影響N自由基及F自由基的產生速率。調整頻率及負載比可使N自由基的產生比F自由基的產生減少地更明顯。

**【0066】** 在一些實施例中，RF脈衝輸送電漿的頻率可在約1 Hz和約400 kHz之間，或在1 Hz和約100 kHz之間，或在約10 Hz和約100 kHz之間，或在約100 Hz和約10 kHz之間。工作週期可在約1%和約99%之間，或在約10%和約90%之

間。在一些實施例中，在每一脈衝中RF功率係開啓的持續時間可在約100毫秒和約10秒之間，或在約100毫秒和約5秒之間。在一些實施例中，在開啓期間的RF功率可在約50 W和約3000 W之間。在一些實施例中，RF功率可為勻變的及脈衝輸送的。RF功率在曝露於氣體期間可為勻變的或維持在所選的功率。在一些實施例中，在執行操作205的持續時間之內，RF功率係從0 W勻變至選擇的RF功率並維持在選擇的RF功率，使得最後的脈衝係維持在相同的RF功率。

【0067】氣體脈衝輸送可使用RF脈衝輸送及/或勻變加以執行。舉例而言：如圖12B所示，在一些實施例中，氣流（例如氫氣流）可在約0 sccm和約500 sccm之間，而NF<sub>3</sub>的氣流可在約1 sccm和約200 sccm之間。氣流可以具有在約30%和約70%之間之工作週期的頻率加以脈衝輸送。在一些實施例中，氣流在一示例循環中可開啓1秒及關閉2秒。用於氣流之包含開啓及關閉時間的一完整循環可在約200毫秒和約5秒之間，或在約0.5秒和約3秒之間。

【0068】所揭示的實施例亦可維持高峰功率（因此維持ICP模式），但亦可維持低平均功率（電漿密度低點）。因此，低功率的CCP模式在一些實施例中將不加以使用。

【0069】對於功率，用於勻變條件的持續時間可在約100 ms和約2秒之間。例如：RF功率可在約100 ms的持續期間藉由增加RF功率而加以調整。在一些實施例中，低功率規則可降低N自由基。此勻變的實施方式可在配方中加以實施，且既有的硬體工具可能適合執行一些所揭示的實施例。例如：脈衝輸送產生器可在一些實施例中加以使用。該產生器本身可能能夠執行功率勻變，諸如：若使用時序模式，則執行用於持續時間在約幾毫秒至約1000 ms範圍之間的勻變。在一些實施例中，緩慢的勻變及快速的RF功率脈衝輸送可加以結合。

【0070】在各種實施例中，RF功率係在操作203和205的整個兩個以上循環加以勻變。在一些實施例中，勻變係在重複的操作203和205的一些而非所有循環加以執行。在一些實施例中，操作205包含RF功率及/或氣流的多個脈衝，且RF功率可在每一脈衝中加以勻變。在一些實施例中，勻變係在操作205中之多個脈衝的持續時間加以執行。在一些實施例中，勻變可加以執行使得RF功率係勻變的，維持在第一功率，再次勻變，及維持在第二功率等等。在各種實施例中，勻變可與脈衝輸送加以結合。例如：RF功率可加以勻變及脈衝輸送，且同時氣流係亦加以脈衝輸送。RF功率可藉由設定用於勻變的初始RF功率及最終RF功率而加以勻變及脈衝輸送，且隨著RF功率在初始RF功率和最終RF功率之間增加而加以脈衝輸送。在一些實施例中，勻變可藉由線性地增加RF功率而加以執行。在一些實施例中，勻變可藉由非線性地增加RF功率而加以執行（使得在兩個脈衝之間之RF功率的差隨時間增加或隨時間減少）。

【0071】蝕刻劑的流率通常取決於腔室尺寸、蝕刻速率、蝕刻均勻性及其他參數。通常，流率係加以選擇以使得在接近開口處與在特徵部內部相比移除較多的含錫材料。在某些實施例中，這些流率造成質傳限制的選擇性移除。例如：每工作站之195公升腔室的流率可在約25 sccm和10,000 sccm之間，或在更特定的實施例中，在約50 sccm和1,000 sccm之間。在某些實施例中，流率係小於約2,000 sccm，小於約1,000 sccm，或更特別地小於約500 sccm。應注意這些值係針對配置成處理300 mm晶圓基板的一單獨工作站而加以呈現。在此技術領域具有通常知識者將理解：例如這些流率可根據基板尺寸、設備中之工作站的數量（例如一個具有四個工作站之設備為四倍）、處理腔室體積及其他因素。

【0072】在某些實施例中，基板在可繼續進行移除操作205之前需被加熱或冷卻。各種裝置可加以使用以使基板到達預定的溫度，諸如：在工作站中的加熱或冷卻元件（例如：安裝在基座中的電阻加熱器或通過基座循環的熱傳遞流體）、在基板上方的紅外燈、點燃電漿等。

【0073】基板的預定溫度係加以選擇，使得不僅在所沉積的層和各種蝕刻劑物種之間誘發化學反應且亦控制在此兩者之間的反應速率。例如：溫度可加以選擇以具有高移除速率，使得相較於在特徵部內部較多的材料係在接近開口處加以移除。此外，溫度亦可加以選擇以控制活化物種的重組（例如原子氟重組成分子氟）及/或控制哪個物種（例如活化或重組的物種）主要對蝕刻有貢獻。總的來說，基板溫度可基於下列加以選擇：蝕刻劑的化學成分、期望的蝕刻速率、活化物種的期望濃度分布、藉由不同物種之選擇性移除的期望貢獻、及其他材料及製程參數。在某些實施例中，基板係維持在小於約300 C，或更特別地小於約250 C，或小於約150 C，或甚至小於約100 C。在其他實施例中，基板係加熱至在約300 C和450 C之間，或在更特定的實施例中，加熱至在約350 C和400 C之間。其他溫度範圍可用於不同類型的蝕刻劑。

【0074】如上所述，所揭示的實施例可使用諸如 $\text{NF}_3$ 的含氟蝕刻化學品以改善用於20 nm貫孔金屬接觸之CVD鎢沉積的間隙填充。如本文所述，可包含自由基的氟物種可用以蝕刻鎢，其可為鎢下層。然而，自蝕刻製程產生之可包含自由基的氮物種可與鎢反應，導致後續鎢生長的潛伏延遲及造成間隙填充問題。降低RF功率可減少氮自由基但氟自由基亦將加以減少，導致不期望的蝕刻輪廓。

**【0075】** 選擇性蝕刻亦可藉由調整在操作205期間使用的電漿功率而加以執行。例如：電漿產生器可為脈衝輸送的，或程式可用以控制電漿產生器的脈衝輸送，以在選擇性蝕刻期間調整氟自由基對氮自由基的比例。在各種實施例中，調整電漿功率將定制鎢蝕刻輪廓且同時最小化後續鎢生長的潛伏延遲，從而控制所揭示實施例的製程。在一些實施例中，此可用於具有約20 nm開口的貫孔，諸如用以形成金屬接觸的貫孔。

**【0076】** 如本文所述，所揭示的實施例可包含藉由以不同的頻率及負載比脈衝輸送而調整RF功率位準。在一些實施例中的氮自由基產生速率常數可能比氟自由基更敏感地取決於電漿密度及功率。因此，功率調整可用以增加氟對氮自由基的比例，用於最佳的鎢蝕刻輪廓且同時最小化後續鎢生長的潛伏延遲。

**【0077】** 使用RF調整氟對氮自由基的比例允許在晶圓內的較大間隙填充窗及較佳的製程控制。如上所述，一些電漿（諸如NF<sub>3</sub>電漿）可用以藉由在特徵部內鈍化所沉積的鎢之表面而抑制鎢的成核作用。在藉由功率調整誘導潛伏延遲的所有蝕刻劑物種（諸如自由基）中，氮物種（可包含自由基）的調整亦可用於包含抑制鎢成核作用的過程，諸如：藉由在沉積期間將鎢曝露於含氮的抑制劑。例如：鈍化可加以控制，藉由將鎢層曝露於氮物種而鈍化鎢層，從而抑制表面上的鎢成核作用。

**【0078】** 包含抑制成核作用之鎢沉積的額外例子及說明係在下列文件中加以描述：於2013年2月22日申請之美國專利申請公開號第2013/0171822號，該美國專利申請案的標題為“TUNGSTEN FEATURE FILL WITH NUCLEATION INHIBITION”；及於2013年3月27日申請之美國專利申請案第2013/0302980號，



該美國專利申請案的標題為“TUNGSTEN FEATURE FILL”，其全部內容於此藉由參照納入本案揭示內容。

【0079】 在一些實施例中，一個兩步驟的製程係在相同的模組中加以執行，或在不破壞真空的情況下以其他方式加以執行。如上所述，在一些示例中， $\text{NF}_3$ 遠程電漿係在功率/脈衝長度/工作週期的條件下首先脈衝輸送以產生非常高的N含量，及接著針對後續的回蝕步驟改變條件以產生不同的比例（例如： $\text{N/F} \ll 1$ ）。在一些實施例中，脈衝輸送可用以在特徵部中調整一抑制輪廓。

【0080】 沉積/蝕刻/沉積製程的其他例子係在下列文件中加以描述：在2012年2月21日授證之美國專利第8,119,527號，該美國專利的標題為“DEPOSITING TUNGSTEN INTO HIGH ASPECT RATIO FEATURES”；在2013年3月27日申請之美國專利申請公開號第2013/0302980號，該美國專利申請案的標題為“TUNGSTEN FEATURE FILL”；在2015年5月19日授證之美國專利第9,034,768號，該美國專利的標題為“DEPOSITING TUNGSTEN INTO HIGH ASPECT RATIO FEATURES”；及於2014年7月25日申請之美國專利申請公開號第2015/0024592號，該美國專利申請案的標題為“VOID FREE TUNGSTEN FILL IN DIFFERENT SIZED FEATURES”，其全部內容於此藉由參照納入本案揭示內容。

【0081】 已確定活化的物種比其重組的對應物不僅提供較快且亦較期望的選擇性移除。因此，已發展各種方法來增加活化物種的相對濃度及/或移除貢獻。例如：活化的氟物種之活化能係遠小於重組的氟之活化能。因此，降低基板溫度可能導致較多來自活化物種的移除貢獻。在某些溫度（及其他製程條件，

例如流率及腔室壓力)下，活化物種的相對移除貢獻可能超過重組物種的相對移除貢獻。

【0082】圖7係針對活化物種(線702)及針對重組物種(線704)隨基座溫度變化之兩種蝕刻速率的圖。蝕刻測試係使用以400 sccm 20秒通過遠程電漿產生器而供應至處理腔室內的三氟化氮前驅物(線702)及以500 sccm 50秒供應的分子氟前驅物(線704)加以模擬化。腔室壓力在兩者測試期間係維持在1托。結果顯示對應於重組的氟分子之蝕刻速率(線704)可藉由降低基座溫度而大幅降低。同時，對應於活化物種的蝕刻速率(線702)保持相對平坦，亦即，其係非如線704對基板溫度敏感。

【0083】在某些實施例中，可能難以消除或甚至大程度地最小化接觸基板表面的重組物種(例如：最小化活化物種的重組)。舉例而言：設備通常包含噴淋頭(進一步在圖4的背景中加以解釋)，該噴淋頭造成先前活化(例如自遠程電漿產生器流經噴淋頭)的蝕刻劑物種的實質重組。此結果可為例如在噴淋頭的封閉體積內之較長的滯留時間及其高的表面對體積比例。雖然重組仍可能存在於系統中，但已確定重組物種之部分移除的影響可在此操作期間藉由基板溫度而降低。原子氟比分子氟具有低得多的活化能(0.33 eV對0.55 eV)。此關係通常適用於其他活化及重組的物種。因此，重組物種的蝕刻貢獻可在蝕刻操作期間藉由降低溫度而減少。

【0084】可能影響活化物種重組的另一製程參數係在腔室內部的壓力，或更具體而言，係可存在於腔室中之不同材料(例如：初始蝕刻劑材料、活化物種、重組物種、載體氣體、反應產物等)的分壓。較高的總壓(例如大於約10托)通常對應於活化之蝕刻劑物種的較短平均自由路徑，其導致在物種之間較

多的碰撞，此因而導致較高的重組速率。此外，吾人發現在錫表面或其他類似的表面上之一些重組物種（例如分子氟）的黏附機率，係低於在低壓水平下之活化物種（例如原子氟）的黏附機率。低黏附機率易於改善階梯覆蓋率。

**【0085】** 圖8係針對以400 sccm 20秒供應進處理腔室的三氟化氮前驅物隨腔室壓力變化之蝕刻速率的圖。基板在此實驗期間係維持在300 C。結果顯示在1托和5托之間，壓力的增加導致較低的蝕刻速率。不受任何特定理論限制，吾人相信在此水平下的較高壓力導致活化物種成爲重組物種的較高重組速率，重組物種係較低反應性的，導致較低的蝕刻速率。此重組及較低的蝕刻反應性實際上抵消任何由較高之總蝕刻劑濃度造成的增加。當壓力進一步增加至5托以上時，蝕刻劑材料的較高濃度導致蝕刻速率中的一些中等程度增加。吾人相信在此壓力水平下，移除係主要由重組物種加以控制。因此，爲了具有來自活化物種的較多貢獻，處理腔室需要保持在較低的總壓力值。在某些實施例中，處理腔室係維持在小於約5托，或更特別地小於約2托，或甚至小於約1托或小於約0.1托。

**【0086】** 返回至圖2，由於選擇性移除操作205，在接近開口處之所沉積的層之平均厚度的減少可能多於在特徵部內部之所沉積的層之平均厚度的減少。在某些實施例中，在接近開口處的減少比在特徵部內部的減少係至少多約10%，或在更特定的實施例中，係至少多約25%。該移除操作205可能通常被執行至基板或任何下層（若下層存在）係曝露於蝕刻劑的點。剩餘層的特徵可在於階梯覆蓋率。在某些實施例中，所蝕刻的層之階梯覆蓋率係至少約75%，更特別地至少約100%，或至少約125%，甚至更特別地至少約150%。

【0087】在某些實施例中，執行移除操作使得鈍化的表面係加以形成。此表面抑制在後續沉積循環中之含錫材料的沉積。形成一鈍化表面係在下面圖2的背景中加以描述，儘管應注意其係非如此限制的，且可在任何錫沉積製程中藉由適當地使用蝕刻製程加以執行。鈍化及因而後續的錫沉積相對於特徵部深度或沉積表面的其他地理區域，藉由適當地調整如本文描述的蝕刻條件可為選擇性或非選擇性的。如上所述，在一些實施例中，鈍化亦可藉由在操作205期間調節電漿脈衝輸送而加以控制。例如：脈衝的電漿條件（諸如功率、脈衝長度及工作週期）可調整在電漿中之氮物種的量以控制鈍化的量。

【0088】返回至圖2，在某些實施例中，選擇性移除操作205係在某些製程條件下加以執行，該等製程條件導致具有鈍化表面的層之形成，該層可稱作為剩餘層。在某些實施例中，鈍化沿高深寬比特徵部的深度係差動的，這是由於沿上述尺寸之不同的蝕刻條件（例如活化物種的濃度）所造成。舉例而言：在此操作期間的製程條件可專門加以調節，以在接近特徵部的開口相較於在特徵部內部造成較多的鈍化。通常，這些條件對應於低壓（例如：小於8托且甚至小於5托）及延長的蝕刻（例如：多於1秒，且對於典型30奈米的特徵部甚至多於5秒）。此現象將參照圖9更詳細地加以描述。

【0089】圖9係針對使用不同蝕刻條件處理的五組晶圓隨時間變化之第二沉積循環沉積厚度的圖。此圖說明由這些蝕刻條件造成的不同鈍化程度對沉積速率的影響。在此實驗中，五組晶圓的表面係沉積初始錫層。相同的沉積條件係針對所有五組加以使用。接著各組晶圓係使用不同的蝕刻條件加以處理。對應於圖9中的線902（由圖中數值133、354及545標示的頂部實線）之第一組晶圓係未完全加以蝕刻。換句話說，第一沉積循環之後係接著第二沉積循環而沒有

任何中間蝕刻循環，對應於線904（由數值526標示的中間虛線；其他數值由於非常接近其他兩條線而未顯示）的第二組晶圓係在18托下蝕刻7秒的持續時間。對應於線906（頂部群三條線中的底部實線，其由數值126、344及518所標示）的第三組晶圓係在18托下蝕刻17秒的持續時間。對應於線908（由數值54、99及149所標示）的第四組晶圓在0.8托下蝕刻5秒的持續時間。最後，對應於線910（由數值5、9及25所標示）的第五組晶圓在0.8托下蝕刻10秒的持續時間。這五組晶圓係接著經歷相同的沉積條件三個時間週期（亦即5秒、15秒及25秒），以形成額外的錫層。所得之這些額外錫層的厚度係呈現於圖9。

**【0090】** 圖9說明前三組晶圓（亦即，未經歷蝕刻或在18托下加以蝕刻的晶圓）比後兩組晶圓（亦即，經歷在0.8托下蝕刻的晶圓）在第二沉積循環中具有厚得多的額外錫層。如上參照圖8所示，較高的壓力水平可能導致活化的蝕刻物種之重組（例如原子氟轉成分子氟），及在一定程度上，在蝕刻期間之不同的化學反應。在蝕刻期間在不同壓力水平下處理之所得的蝕刻層至少在其曝露的表面上可具有不同的特性，諸如：化學成分及/或物理結構。此因而影響後期所沉積的錫層之沉積，如圖9所示。具體而言，圖9顯示在較低壓力下及較長時間的蝕刻導致較鈍化的剩餘層，其抑制至少後續層的沉積。同時，較低的壓力水平對應於較侵襲性（**aggressive**）的蝕刻，如圖8所示。壓力及蝕刻持續時間的結合應小心地加以控制，以避免初始沉積層的完全移除及劣化下面的擴散阻障層。

**【0091】** 雖然一些鈍化在接近特徵部的開口係普遍期望的，但在某些實施例中其在特徵部內部係較不期望的且應加以避免。如上所述，在一些實施例中，電漿可加以脈衝輸送以蝕刻及/或鈍化在特徵部中沉積的材料。鈍化的量可藉由

在變化的條件下（諸如：不同的電漿功率、電漿脈衝長度及工作週期）脈衝輸送電漿而加以控制。例如：在一些實施例中，電漿的脈衝可包含比氟物種更多的氮物種以允許更多的鈍化。吾人發現在某些製程條件下，高深寬比的特徵部在蝕刻期間變得有差別地鈍化，使得剩餘層在接近開口處係比在特徵部內部更加鈍化。不受任何特定理論限制，吾人相信在較低壓力水平下的蝕刻可在高深寬比特徵部之內導致質傳限制條件，其中於接近特徵部的開口係相較於特徵部內部存在較高濃度之活化的蝕刻劑物種。一些活化的蝕刻劑物種在蝕刻接近開口處的層期間係加以消耗，而一些其他的活化物種係當擴散進入特徵部時加以重組。

**【0092】** 甚至在接近特徵部開口的鈍化應小心地加以控制，以防止在這些區域中的過度鈍化及允許在後期操作期間的充分沉積，以完全填充及閉合特徵部。此顧慮係反映在圖10和11中。具體而言，圖10顯示在初始錫沉積而後接著進行3秒的蝕刻且接著進行額外的錫沉積之後，30奈米特徵部的橫截面掃描式電子顯微鏡（SEM）影像。雖然底部區域係完全加以填充，但此特徵部的頂部區域保持未填充。雖然由差動鈍化造成之平緩由下而上的填充係期望的以避免特徵部的過早閉合及接縫的形成，但過度的鈍化可能導致未填充的特徵部，諸如圖10中呈現的特徵部，此可能不是期望的或可接受的。圖11顯示在相同的初始錫沉積而後接著進行1秒的蝕刻且接著進行相同的額外錫沉積之後，另一30奈米特徵部的橫截面SEM影像。此特徵部的頂部部分係完全加以填充。在一些情況下，雖然在接近特徵部開口的一些鈍化係期望的，但過度鈍化係加以避免。

**【0093】** 鑑於這些考慮，製程條件可特別加以調整以實現期望的處理結果，諸如：以一實質無空隙的方式完全填充高深寬比的特徵部。例如：在一些

實施例中，在電漿脈衝輸送期間的製程條件可能包含調整電漿功率、電漿脈衝長度、工作週期、脈衝輸送循環的數目等。一些這些製程條件包含在小於5托、或小於2托、或甚至小於1托的壓力下執行移除操作。在某些實施例中，壓力係維持在約0.1托和5托之間，或更特別地在約0.5托和3托之間。蝕刻操作的持續時間通常取決於初始層的厚度，其因而係通常維持在小於特徵部尺寸的約一半，以防止特徵部的閉合。例如：在包含30奈米特徵部之基板表面上所沉積的初始層係通常小於15奈米。此種層可加以蝕刻至少約1秒，或更特別地至少約3秒，或甚至至少約5秒而不損壞任何下面的層。在特定的實施例中，蝕刻操作的持續時間係在約1和10秒之間，或甚至更特別地在約3和5秒之間。蝕刻條件亦可參照剩餘層和特徵部的尺寸加以描述。在某些實施例中，剩餘層具有小於特徵部開口之10%的厚度。

**【0094】** 在某些實施例中，基板可包含一個以上特徵部，其在沉積操作203期間係閉合的且在選擇性移除操作205期間保持閉合。例如：基板可包含小的、中等尺寸的及大的特徵部。一些小的特徵部在初始沉積操作期間可能閉合且不再開啓。中等尺寸的特徵部在後期循環期間可能閉合，且當其他較大的特徵部係被填充時保持閉合。在某些實施例中，特徵部可存在於基板的不同垂直水平，例如：以雙鑲嵌的排列。在較低水平上的特徵部可能比在較高水平內的特徵部較早閉合。

**【0095】** 在某些實施例中，沉積操作203可僅暫時地閉合特徵部。不像在最終填充操作期間（諸如下述的操作213，或在上述不同尺寸及垂直位置之多個特徵部的情況下）使特徵部閉合，在此暫時閉合期間的接縫可仍為不被接受地大或開始過於接近場區。在這些實施例中，選擇性移除操作205可以下述方式加

以設計：操作205的第一部分係用以再開啓特徵部，且接著，操作205的下一部分係用於所沉積材料的選擇性移除。在此兩部分中的製程條件可為相同的或不同的。例如：蝕刻劑流率在操作205的第一部分期間可為較高，且接著在特徵部開啓時降低。

**【0096】** 包含沉積操作203及選擇性移除操作205的沉積-移除循環可重覆一次以上，如由判定方塊207所指示。例如：在一個循環之後達到期望的階梯覆蓋率可為困難的，尤其在具有大外伸部的小特徵部內。判定方塊207中對於是否繼續進行另一循環的考量因素包含外伸部尺寸、特徵部尺寸、特徵部深寬比、特徵部弓形情況、及接縫尺寸和接縫位置需求。

**【0097】** 在某些實施例中，下一循環內之操作的其中之一者或二者的製程參數可加以改變（方塊209）。例如：於初始循環期間的淨沉積可能需要多於在後續循環中的淨沉積，這是因為所沉積的層係仍薄的層且在蝕刻期間污染的風險係高。同時，凹槽起初係較開且閉合的風險係較低。舉例而言：初始沉積循環可以較低的沉積速率（例如：由較低的溫度及/或腔室壓力所驅動）加以執行，以對在部分製造的基板上所沉積之含錫材料的量達到較佳的控制。較低的速率如上所述可能導致較保形的沉積，其對於某些特徵部的類型（尤其是小、高深寬比的特徵部）可能是需要的。後續的沉積循環可以較快的沉積速率（例如：由較高的溫度及/或腔室壓力所驅動）加以執行，因為控制所沉積的厚度可能較不是關鍵的，及/或先前的沉積-蝕刻循環可能已經以這些凹槽係較不可能提早閉合的方式改變該等凹槽的輪廓。在其他實施例中，在後期循環中的沉積操作可以較低的沉積速率加以執行，因為剩餘的凹槽係較小且可能易於提早閉合。同



樣地，蝕刻製程條件可在循環之間加以變化，例如使用較不具侵襲性的蝕刻條件，而所沉積的層係仍薄的且最終轉變為更具侵襲性的蝕刻條件。

**【0098】** 返回至圖3，橫截面331描繪在選擇性移除之後的特徵部。因此，橫截面321及331可代表第一循環，或更普遍地代表初始循環的其中之一者。在此循環期間所沉積的層323可能太薄而無法完全補償或抵消各種接縫形成原因，諸如外伸部315。例如：在選擇性移除操作之後，顯示於橫截面331中的凹槽在接近開口處係仍然比在特徵部內部窄。在某些實施例中，此差異（窄的程度）可足夠地小，使得製程繼續至最終填充操作而不重覆沉積-移除循環。

**【0099】** 橫截面341及351說明在後期循環期間及之後的基板303。首先，橫截面341顯示在所蝕刻的層333上形成之新沉積的層343。具有層343的特徵部可具有改善的輪廓，其反映在先前循環期間所達成的較佳階梯覆蓋率。然而，凹槽的輪廓可能仍然不允許繼續進行至最終的填充，且可能需要另一蝕刻操作以進一步形塑此凹槽。橫截面351代表在用以完成填充的最終沉積步驟之前之階段的基板303。此凹槽在接近開口處係比在空隙內部寬。在某些實施例中，新沉積的層之階梯覆蓋率係比初始沉積的層之階梯覆蓋率至少高約10%，或在更特定的實施例中高至少約20%或高至少約30%。

**【0100】** 返回至圖2，在某些實施例中，沉積操作203及選擇性移除操作205可同時加以執行，此係由方塊204表示。舉例而言，前驅物及蝕刻劑可同時流進處理腔室內，以允許沉積及蝕刻反應兩者同時發生。為了（至少在最初）實現在特徵部內部比接近開口處的淨沉積多，蝕刻劑及含鎢前驅物的流率可使得蝕刻反應係質傳限制的，且因此取決於蝕刻劑濃度。同時，沉積反應係非質傳限制的，且在特徵部內部及開口以約相同的速率繼續進行。蝕刻劑或前驅物流率

或兩者可在操作204期間加以調整（例如：逐漸地或以逐步的方式），且在某些時間點，進入處理腔室的蝕刻劑流可加以中止。於此時點，製程可轉變至下述的最終填充操作213。

**【0101】** 在執行一個以上沉積-移除循環以部分地填充特徵部及形塑特徵部輪廓之後，製程可接著繼續進行最終填充操作213。此操作在某些方面可類似於沉積操作203。主要的不同係操作213繼續進行直到特徵部係完全閉合，且不接著用以開啓特徵部的蝕刻操作。返回至圖3，橫截面361代表基板303在最終填充操作之後的一個例子。在某些實施例中，特徵部仍具有接縫363，但該接縫係較小且比習知填充的特徵部具有位在更遠離場區的參考點，諸如圖1中說明的接縫。在某些實施例中，接縫363止於相對於特徵部之深度自場區至少約20%處（亦即， $D_{REF}$ 對 $D_{FET}$ 的比例係至少約20%）。

**【0102】** 在另一實施例中，特徵部係藉由在特徵部內部相較於在接近開口處沉積較多的鎢而加以填充。差動的沉積速率可藉由依據特徵部內部的的位置（例如接近開口處或在特徵部內部）將在其上含錫材料係正進行沉積的表面抑制至不同水平而加以實現。具體而言，接近開口處的表面可能比在特徵部內部的表面更受抑制。在一特定的實施例中，抑制劑係在沉積操作之前導入處理腔室內。特徵部之曝露的表面係在類似於上述蝕刻背景之質傳限制規則的質傳限制規則中使用此抑制劑加以處理。然而，不同於蝕刻操作，沒有材料在抑制期間係自表面加以移除（亦即，無淨蝕刻）。舉例而言，在某些製程條件下，所沉積的層之基於氟的蝕刻可能導致在殘餘之蝕刻層的表面上形成殘留物（例如：包含某些鎢的氟化物）。這些殘留物可作為在後續沉積操作中的抑制劑。此外，在某些製程條件下，可能沒有自所沉積的層之材料的淨移除發生，但所沉積的層

形成抑制層，該抑制層在接近開口處係比在特徵部內部更普遍。使用差動的沉積速率填充特徵部可結合或取代上述沉積-移除操作而加以進行。

## 設備

【0103】任何合適的腔室可用以執行此新穎的方法。沉積設備的例子包含各種系統，例如：由Novellus Systems, Inc. of San Jose, California市售的ALTUS及ALTUS Max、或任何各種其他市售的處理系統。

【0104】圖4A根據某些實施例說明設備400的示意圖，該設備400用於處理部分製造的半導體基板。設備400包含具有基座420的腔室418、噴淋頭414及原位電漿產生器416。設備400亦包含系統控制器422以接收輸入及/或供應控制訊號到各種裝置。

【0105】蝕刻劑及在某些實施例中的惰性氣體（諸如氬、氦及其他）係自來源402供應至遠程電漿產生器406，該來源可為儲存槽。任何合適的遠程電漿產生器可用於在將蝕刻劑引入腔室418之前活化該蝕刻劑。舉例而言：可使用遠程電漿清潔（RPC）單元，諸如：ASTRON® i Type AX7670、ASTRON® e Type AX7680、ASTRON® ex Type AX7685、ASTRON® hf-s Type AX7645，全部由MKS Instruments of Andover, Massachusetts所市售。RPC單元通常係一獨立（self-contained）的裝置，使用所供應的蝕刻劑產生弱離子化的電漿。將高功率RF產生器嵌入RPC單元對電漿中的電子提供能量。此能量係接著轉移至中性的蝕刻劑分子，導致2000K數量級的溫度，造成這些分子的熱解離。RPC單元可使多於60%之進來的蝕刻劑分子解離，這是因為該單元的高RF能量及造成蝕刻劑吸收大部分此能量的特殊通道幾何形狀。

【0106】在某些實施例中，蝕刻劑係自遠程電漿產生器406穿過連接管線408流入腔室418中，在腔室418中該混合物係經由噴淋頭414加以分布。在其他實施例中，蝕刻劑係完全繞開遠程電漿產生器406而直接流進腔室418（例如：設備400不包含此產生器）。或者，例如因為不需要蝕刻劑的活化，所以遠程電漿產生器406可在將蝕刻劑流進腔室418時加以關閉。

【0107】噴淋頭414或基座420通常可具有附接至其的內部電漿產生器416。在一實施例中，產生器416係高頻（HF）產生器，其能夠以在約1 MHz和100 MHz之間的頻率提供在約0 W和10,000 W之間的功率。在一更特定的實施例中，HF產生器可以約13.56 MHz遞送在約0 W和5,000 W之間的功率。RF產生器416可產生原位電漿，以增強初始錫層的移除。在某些實施例中，RF產生器416在製程的移除操作期間係未加以使用。

【0108】腔室418可包含感測器424，用於感測各種製程參數，諸如：沉積及蝕刻的程度、濃度、壓力、溫度及其他。感測器424可在處理期間將腔室條件的資訊提供至系統控制器422。感測器424的例子包含流量控制器、壓力感測器、熱電偶及其他。感測器424亦可包含紅外線偵測器或光學偵測器，以監測腔室內之氣體的存在及控制措施。

【0109】沉積及選擇性移除操作產生各種揮發性物種，其自腔室418加以排出。此外，處理係在腔室418的某個預定壓力下加以執行。這些功能係使用可為真空幫浦的真空排氣出口部426加以達成。

【0110】在某些實施例中，系統控制器422係用以控制製程參數。系統控制器422通常包含一個以上記憶體裝置及一個以上處理器。該處理器可包含CPU或電腦、類比及/或數位輸入/輸出連接件、步進馬達控制器板等。通常有關於系

統控制器422的使用者介面。該使用者介面可包含顯示螢幕、設備及/或製程條件的圖形軟體顯示器、及使用者輸入裝置（諸如指向裝置、鍵盤、觸控螢幕、麥克風等）。

**【0111】** 在某些實施例中，系統控制器422控制基板溫度、蝕刻劑流率、遠程電漿產生器406的功率輸出、腔室418內部的壓力及其他製程參數。系統控制器422執行系統控制軟體，該系統控制軟體包含用於控制下述的指令集：一特定製程的時序、氣體的混合、腔室壓力、腔室溫度及其他參數。關於控制器之儲存在記憶體裝置上的其他電腦程式可在一些實施例中加以使用。

**【0112】** 用於控制製程序列中之製程的電腦程式碼可以任何傳統的電腦可讀程式設計語言加以撰寫，例如：組合語言、C、C++、巴斯卡（Pascal）、福傳（Fortran）、或其他。編譯的目的碼或腳本係由處理器實行以執行在程式中所確定的任務。系統軟體可以許多不同的方式加以設計或配置。例如：各種腔室元件的副程式或控制物件可被撰寫，以控制執行所述製程使用的腔室元件之操作。為了此目的之程式或程式部分的例子包含處理氣體控制碼、壓力控制碼及電漿控制碼。

**【0113】** 控制器參數係與製程條件相關，例如：各個操作的時序、腔室內部的壓力、基板溫度、蝕刻劑流率等。這些參數係以配方的形式提供給使用者，且可利用使用者介面加以輸入。用於監控製程的訊號可由系統控制器422的類比及/或數位輸入連接件加以提供。用於控制製程的訊號係在設備400的類比及數位輸出連接件上加以輸出。

**【0114】** 圖4B根據某些揭示的實施例顯示可用以蝕刻鎢及/或含金屬材料的另一示例電漿反應器。圖4B示意性地顯示適合用於實施本文某些實施例之感

應式耦合電漿蝕刻設備490的橫剖面圖，設備490的一個例子係ALTUS® Max ExtremeFill™反應器，由Lam Research Corp. of Fremont, CA所製造。雖然ICP反應器係在此加以描述，但在一些實施例中應理解電容式耦合電漿反應器亦可加以使用。

【0115】感應式耦合電漿設備490包含用於點燃電漿之由腔室壁491及圓頂492結構上定義的整個處理腔室。腔室壁491可由不銹鋼或鋁加以製造。用於產生電漿的元件包含線圈494，其係位在圓頂492周圍且在噴淋頭495上方。在一些實施例中，線圈在所揭示的實施例中係未加以使用。線圈494係由導電材料製成，且包含至少完整一匝。在圖4B顯示的線圈494之實例包含三匝。線圈494的橫剖面係以符號加以表示：具有「X」的線圈旋轉延伸進入頁面，而具有「●」的線圈旋轉延伸出頁面。用於產生電漿的元件亦包含RF電源供應器441，其配置成將RF功率供應至線圈494。通常，RF電源供應器441係藉由連接件445連接至匹配電路439。該匹配電路439係藉由連接件443連接至線圈494。以此方式，RF電源供應器441係連接至線圈494。射頻功率係從RF電源供應器441供應至線圈494，以使RF電流流經線圈494。流經線圈494的RF電流在線圈494周圍產生電磁場。電磁場在圓頂492之內產生感應式耦合電漿。各種產生的離子及自由基與晶圓497的物理及化學交互作用蝕刻在半導體基板或晶圓497上的特徵部。

【0116】同樣地，RF電源供應器441可提供任何合適頻率的RF功率。在一些實施例中，RF電源供應器441可配置成彼此獨立地控制高頻及低頻的RF功率源。示例的低頻RF頻率可包含但不限於在0 kHz和500 kHz之間的頻率。示例的高頻RF頻率可包含但不限於在1 MHz和2.45 GHz之間、或在1.8 MHz和2.45 GHz之間、或大於約13.56 MHz、或大於27 MHz、或大於40 MHz、或大於60 MHz的

頻率。應理解任何適合的參數可不連續地或連續地加以調整，以提供用於表面反應的電漿能量。

【0117】 RF功率在根據某些實施例執行的蝕刻操作期間，可被程式化以勻變及/或脈衝輸送。例如：RF功率可在開啓和關閉狀態之間加以勻變，其中在關閉狀態期間的RF功率係0 W，而在開啓狀態期間的RF功率係在約50 W和約3000 W之間。RF功率可以在約1 Hz和約400 kHz之間、或在1 Hz和約100 kHz之間、或在約10 Hz和約100 kHz之間、或在約100 Hz和約10 kHz之間的頻率加以脈衝輸送。工作週期可為在約1%和約99%之間或在約10%和約90%之間。在一脈衝期間之RF功率開啓的持續時間可在約100毫秒和約10秒之間、或在約100毫秒和約5秒之間。

【0118】 噴淋頭495朝基板497分配處理氣體。在圖4B顯示的實施例中，基板497係位在噴淋頭495下方且係顯示為放在基座496上。噴淋頭495可具有任何適合的形狀，且可具有任何適當數量及配置的埠，其用於將處理氣體分配至基板497。

【0119】 基座496係配置成接收及固持基板497，蝕刻係在基板497之上加以執行。在一些實施例中，基座496可加以抬升或降低，以將基板497曝露於在基板497和噴淋頭495之間的容積。應理解在一些實施例中，基座高度可由合適的系統控制器499程式化地加以調整。

【0120】 在另一種情況下，調整基座496的高度可允許電漿密度在製程中所包含的電漿活化循環期間加以改變。在製程階段的最後，基座496可在另一基板傳送階段期間加以降低，以允許基板497自基座496移除。在一些實施例中，噴淋頭495的位置可相對於基座496加以調整，以改變在基板497和噴淋頭495之

間的容積。此外，應理解基座496及/或噴淋頭495的垂直位置可藉由在本揭示內容範圍內之任何適合的機構加以改變。在一些實施例中，基座496可包含用於旋轉基板497之定向的旋轉軸。應理解在一些實施例中，這些示例調整的其中之一者以上可由一個以上適合的系統控制器499程式化地加以執行。

**【0121】** 處理氣體（例如：含鹵素氣體、 $\text{NF}_3$ 、氫、 $\text{WF}_6$ 、氮等）可通過位在圓頂中的一個以上主要氣流入口493及/或通過一個以上側氣流入口（未顯示）而流入處理腔室。同樣地，儘管未明確顯示，類似的氣流入口可用以將處理氣體供應至電容式耦合電漿處理腔室。在電容式耦合電漿處理腔室的一些實施例中，氣體可通過噴淋頭經由噴淋頭的中心及/或邊緣加以注入。真空幫浦（例如一或兩階段的機械乾式幫浦及/或渦輪分子幫浦498a），可用以將處理氣體抽出處理腔室並維持處理腔室之內的壓力。閥控制的導管可用以將真空幫浦流體連接至處理腔室，以選擇性地控制由真空幫浦提供之真空環境的施加。此可在操作的電漿處理期間使用閉迴路控制的流量限制裝置（諸如節流閥（未顯示）或鐘擺閥（未顯示））加以達成。同樣地，連接至電容式耦合電漿處理腔室的真空幫浦及閥控制流體連接件亦可加以使用。揮發性的蝕刻及/或沉積副產物可自處理腔室通過埠498b加以移除。

**【0122】** 在一些實施例中，系統控制器499（其可包含一個以上物理或邏輯控制器）控制處理腔室的一些或全部操作。系統控制器499可包含一個以上記憶體裝置及一個以上處理器。在一些實施例中，設備490包含切換系統，用於當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490可具有高達約500 ms、或高達約750 ms的切換時間。切換時間可取決於流動化學、所選擇的配方、反應器結構及其他因素。



【0123】 在一些實施方式中，系統控制器499為系統的一部分，其可為上述例子的一部分。此等系統可包括半導體處理設備，其包含一個以上處理工具、一個以上腔室、用於處理的一個以上平臺及/或特定處理元件（晶圓基座、氣流系統等）。這些系統可與電子設備整合，該等電子設備用於在半導體晶圓或基板處理之前、期間及之後控制這些系統的操作。電子設備可被整合進系統控制器499，其可控制該一個以上系統的各種元件或子部分。依據系統的處理參數及/或類型，系統控制器499可加以編程以控制本文揭示的任何製程，包含：處理氣體的遞送、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、流體遞送設定、位置及操作設定、出入工具和其他轉移工具及/或與特定系統連接或介接之裝載鎖定部的晶圓轉移。

【0124】 廣義地說，系統控制器499可定義為電子設備，具有各種積體電路、邏輯、記憶體及/或軟體，其接收指令、發布指令、控制操作、啓用清潔操作、啓用端點測量等。積體電路可包含呈儲存程式指令之韌體形式的晶片、數位訊號處理器（DSP）、定義為特殊應用積體電路（ASIC）的晶片及/或執行程式指令（例如軟體）的一個以上微處理器或微控制器。程式指令可為以各種個別設定（或程式檔案）的形式與控制器通訊的指令，該等設定定義對於半導體晶圓或系統執行特殊製程的操作參數。在一些實施例中，該等操作參數可為由製程工程師定義之配方的部分，以在一或多個層、材料、金屬、氧化物、矽、二氧化矽、表面、電路及/或晶圓的晶粒之製造或移除期間完成一個以上處理步驟。

【0125】 在一些實施方式中，系統控制器499可為電腦的一部分或耦接至電腦，該電腦係與系統整合、耦接至系統、以其他方式網路連至系統、或以上方式組合。例如：控制器可為在「雲端」或晶圓廠主機電腦系統的整體或部分，可允許晶圓處理的遠端存取。該電腦可允許針對系統的遠端存取以監控製造操作的當前進度，檢查過往製造操作的歷史，檢查來自複數個製造操作的趨勢或性能度量，以改變目前處理的參數，以設定目前操作之後的處理步驟，或啟動新的製程。在一些例子中，遠程電腦（例如：伺服器）可經由網路提供製程配方給系統，該網路可包含區域網路或網際網路。遠程電腦可包含使用者介面，其允許參數及/或設定的輸入或編程，這些參數及/或設定係接著從遠程電腦被傳遞至系統。在一些例子中，系統控制器499接收數據形式的指令，該數據指定於一個或多個操作期間將被執行之各個處理步驟的參數。應理解參數可專門用於將執行之製程的類型與配置控制器以介接或控制之工具之類型。因此，如上所述，系統控制器499可為分散式的，諸如藉由包含一個以上分散的控制器，其由網路連在一起且朝共同的目的（諸如此處描述的製程及控制）作業。一個用於此等目的之分散式控制器的例子將為腔室上的一個以上積體電路，連通位於遠端（諸如在平台級或作為遠程電腦的一部分）的一個以上積體電路，其結合以控制腔室內的製程。

【0126】 不受限制地，示例系統可包含電漿蝕刻腔室或模組、沉積腔室或模組、旋轉-潤洗腔室或模組、金屬電鍍腔室或模組、清潔腔室或模組、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

室或模組及任何可關聯或使用於半導體晶圓的製造及/或生產中之其他的半導體處理系統。

【0127】如上所述，依據將由工具執行的一個以上製程步驟，控制器可與下述通訊：一或多個其他工具電路或模組、其他工具元件、群組工具、其他工具介面、毗鄰工具、相鄰工具、位於工廠各處的工具、主電腦、另一控制器、或用於材料傳送的工具，該等用於材料傳送的工具將晶圓的容器攜帶進出半導體生產工廠內的工具位置及/或負載端。

#### 多工作站式設備

【0128】圖5A顯示多工作站式設備500的例子。設備500包含處理腔室501及一個以上卡匣503（例如前開式晶圓傳送盒（front opening unified pod）），該等卡匣503用於固持待處理的基板及已完成處理的基板。腔室501可具有若干工作站，例如：兩個工作站、三個工作站、四個工作站、五個工作站、六個工作站、七個工作站、八個工作站、十個工作站、或任何其他數目的工作站。工作站的數量係通常由處理操作的複雜度及可在共用環境中執行之這些操作的數量加以決定。圖5A說明包含六個工作站（標記為511至516）的處理腔室501。在具有單一處理腔室501之多工作站式設備500中的所有工作站係曝露於相同的壓力環境。然而，每一工作站可具有一指定的反應物分配系統及由專門的電漿產生器及基座（諸如在圖4A及4B中顯示者）達成的局部電漿及加熱條件。

【0129】待處理的基板係自該等卡匣503之其中之一者經由裝載鎖定部505加載進入工作站511。外部機器人507可用以將基板自卡匣503轉移且進入裝載鎖定部505。在所描繪的實施例中，有兩個獨立的裝載鎖定部505。這些係通常配

備基板轉移裝置，以將基板自裝載鎖定部505移進工作站511中（一旦壓力係與對應於處理腔室501之內部環境的等級平衡時），且自工作站516移回進裝載鎖定部505以自處理腔室501移除。內部機器人509係用以在處理工作站511至516之間轉移基板及在製程期間支撐某些基板，如下所述。

**【0130】** 在某些實施例中，一個以上工作站可加以保留用於加熱基板。此等工作站可具有位在基板之上的加熱燈（未顯示）及/或支撐基板的加熱基座，該加熱基座係類似於在圖4A及4B中說明的基座。舉例而言，工作站511可接收來自裝載鎖定部的基板，且在進一步加以處理之前用以預熱該基板。其他工作站可用於填充高深寬比的特徵部，包含沉積及選擇性移除操作。

**【0131】** 在基板係於工作站511被加熱或以其他方式處理之後，基板係連續地移至處理工作站512、513、514、515及516，該等處理工作站可或可不依序加以配置。多工作站式設備500係配置成使得所有工作站係曝露於相同的壓力環境。如此一來，基板係自工作站511轉移至在腔室501中的其他工作站而不需要轉移埠，諸如裝載鎖定部。

**【0132】** 內部機器人509係用以在工作站511-516之間轉移基板。機器人509包含對於每一處理工作站具有至少一臂（顯示為在工作站之間延伸）的一鱈。在毗鄰處理工作站之臂的末端係自該臂延伸的四個指部，其中在每一側有二個指部。這些指部係在處理工作站之內用以抬升、降低及定位基板。例如：在多工作站式設備包含六個處理工作站的實施例中，轉軸組件係在一鱈上具有六臂的六臂旋轉組件。例如：如圖所示，轉軸組件的鱈具有六臂，其中每一臂具有四個指部。一組四個指部，亦即在第一臂上的兩個指部及在毗鄰的第二臂上

的兩個指部，係用以自一工作站將基板抬升、定位及降低至另一工作站。以此方式，該設備每一基座、每一工作站及每一基板係提供予四個指部。

**【0133】** 在某些實施例中，一個以上工作站可用以使用含錫材料填充特徵部。例如：工作站512可用於初始沉積操作，工作站513可用於對應的選擇性移除操作。在沉積-移除循環係加以重複的實施例中，工作站514可用於另一沉積操作，且工作站515可用於另一個部分移除操作。工作站516可用於最終填充操作。應理解針對特定製程（加熱、填充及移除）之工作站指定的任何配置可加以使用。

**【0134】** 作為上述多工作站式設備的一替代，該方法可在單一基板腔室或在以批次模式（亦即非順序式）於單一處理工作站中處理基板的多工作站式腔室內加以執行。在所揭示實施例的此實施態樣中，基板係加載進腔室且置放在單一處理工作站的基座上（無論其係僅具有一處理工作站的設備，或具有以批次模式運行之多個工作站的設備）。基板可接著加熱且沉積操作可加以執行。在腔室中的製程條件可接著加以調整，且所沉積的層之選擇性移除係接著加以執行。該製程可繼續進行一個以上的沉積-移除循環及進行最終填充操作，全部都在相同的工作站上加以執行。或者，單一工作站的設備可首先用以在多個晶圓上僅執行新方法中之該等操作的其中之一者（例如：沉積、選擇性移除、最終填充），在此之後，基板可返回至相同的工作站或移至不同的工作站（例如：不同設備的工作站）以執行其餘操作的其中之一者以上。

### 多腔室設備

【0135】圖5B係可根據某些實施例使用之多腔室設備520的示意圖。如圖所示，設備520具有三個獨立的腔室521、523及525。這些腔室的每一者係描繪成具有兩個基座。應理解設備可具有任何數量的腔室（例如：一、二、三、四、五、六等），且每一腔室可具有任何數量的基座（例如：一、二、三、四、五、六等）。腔室521-525的每一者具有其各自的壓力環境，該壓力環境係非在腔室之間共用。每一腔室可具有一個以上相對應的轉移埠（例如裝載鎖定部）。該設備亦可具有共用的基板搬運機器人527，用於將基板在轉移埠與一或多個卡匣529之間轉移。

【0136】如上所述，獨立的腔室可用於沉積含錫材料，且在後期的操作中選擇性移除這些所沉積的材料。藉由在每一腔室中維持相同的環境條件而將此兩個操作分別在不同的腔室內執行可有助於顯著地改善處理速度。換句話說，腔室不需要將其環境在用於沉積的條件與用於選擇性移除的條件之間來回改變，該等條件可能包含不同的前驅物、不同的溫度、壓力及其他製程參數。在某些實施例中，在兩個以上不同的腔室之間轉移部分製造的半導體基板係比改變這些腔室的環境較快速。

#### *圖案化的方法/設備：*

【0137】以上描述的設備/製程可結合微影圖案化的工具或製程（例如：半導體元件、顯示器、LED、太陽光電板等的製造或生產）而加以使用。通常，雖然不一定，此等工具/製程將於共同的製造設施內一起使用或執行。膜的微影圖案化一般包含一些或全部下列步驟，各個步驟以幾個可能的工具達成：（1）工件（亦即基板）上光阻的塗佈，使用旋轉式或噴塗式的工具；（2）光阻的固

化，使用熱板或加熱爐或UV固化工具；（3）以諸如晶圓步進機的工具將光阻曝露於可見光或UV或x射線光；（4）顯影光阻以便選擇性地移除光阻且從而使其圖案化，使用諸如溼檯的工具；（5）藉由使用乾式或電漿輔助蝕刻工具將光阻圖案轉移進入底膜或工件；及（6）使用諸如RF或微波電漿光阻剝除器的工具移除光阻。

## 實驗

### 實驗1

【0138】一系列的實驗係加以進行以決定不同製程條件對所沉積的材料之選擇性移除及所得接縫的影響。吾人發現增加基板溫度及降低蝕刻劑流率可導致在特徵部內部的質傳限制蝕刻，造成在接近開口處比在特徵部內部較多材料被蝕刻掉。

【0139】在一實驗中，不同的蝕刻條件及其對階梯覆蓋率的影響係加以評估。具有特徵部的基板係加以使用，該特徵部具有橫截面大約250奈米的開口及大約10:1的深寬比。該等特徵部係首先在約395 C的基板溫度下、在氬及氫環境中之約200 sccm氟化鎢（WF<sub>6</sub>）的流率下使用鎢部分地加以填充。一些基板係接著加以橫切面以分析在特徵部之內的鎢分布。吾人發現層在特徵部內部（平均厚度約862埃）係比在開口周圍（平均厚度約939埃）略薄，導致約62%的階梯覆蓋率。

【0140】其餘的基板係被分成兩組。第一組中的基板係使用下列參考製程條件加以蝕刻：大約8托的腔室壓力，大約350 C的基板溫度，大約2,000 sccm之三氟化氮（NF<sub>3</sub>）的流率，及大約4秒的蝕刻持續時間。來自此組的一些基板係

在蝕刻之後加以橫切面，以進一步分析在特徵部內部的鎢分布。已判定開口厚度（在接近開口處之鎢層的厚度）係平均約497埃，而內部厚度係平均約464埃，約107%的階梯覆蓋率。

【0141】第二組晶圓係使用不同（「改良」）的製程條件加以蝕刻。吾人相信這些新的條件促使在特徵部內部的蝕刻進入質傳限制規則，且因而更加改善階梯覆蓋率。基板溫度係增加至395 C，而蝕刻劑流率係降低至大約400 sccm。蝕刻係在保持約2托的腔室中執行大約12秒。剩餘之所蝕刻的層在特徵部內部（平均厚度約555埃）係顯著地比在接近開口處（平均厚度約344埃）厚。所計算的階梯覆蓋率係約161%。

【0142】圖6A說明特徵部601的示意圖，該特徵部601係在部分製造的半導體基板603中加以設置，該部分製造的半導體基板603具有與類似於以上實驗中所用者之與特徵部601一起形成的含鎢層605。該圖亦指出層厚度之不同的測量點。圖6B針對上述實驗說明對於兩個不同的製程條件在蝕刻之前及在蝕刻之後含鎢層之厚度分布的圖。此圖的水平軸對應於圖6A所繪的測量點。圖中提供的厚度值係對場區上的各值（點1及16）加以標準化。底細線607表示在任何蝕刻之前在特徵部內部的厚度分布。此線表示層在沉積之後在特徵部內部係比在接近開口處通常略薄。中間粗線606表示對於使用參考蝕刻條件蝕刻的基板之厚度分布。此分布表示比線607所表示者略高的階梯覆蓋率。最後，頂部細線611表示使用「改良」條件蝕刻之鎢的分布。其展現大幅改良的階梯覆蓋率。在最低（最深）測量點（點8、9及10，其係自特徵部底部之特徵部深度的大約30-40%）的厚度係在接近場區（點1、2、15及16）之厚度的幾乎兩倍。

## 實驗2



【0143】進行用於在基板上填充特徵部的一個實驗。第一基板係在沉積期間曝露於連續電漿，該沉積係藉由使用含錫前驅物沉積錫，將基板曝露於連續電漿及 $\text{NF}_3$ 以選擇性地移除在特徵部頂部的錫，及使用錫填充特徵部的其餘部分。第二基板係經歷沉積，其藉由使用含錫前驅物沉積錫，將基板曝露於具有30%的工作週期之以10 kHz脈衝輸送頻率的脈衝電漿及 $\text{NF}_3$ ，及使用錫填充特徵部的其餘部分。

【0144】第一基板的成核延遲係約40秒，而第二基板的延遲係0秒。針對兩個基板在曝露於電漿之後之殘餘氮及氟的量係加以判定，且來自電漿曝露的蝕刻厚度不均勻性係亦加以判定。間隙填充的量係藉由影像加以觀察。結果係顯示於下方表1。

表1 連續對脈衝的電漿

特性	第一基板 (連續電漿)	第二基板 (脈衝電漿)
沉積延遲	~40 秒	0 秒
殘餘的 N (平均 N/W)	16%	8%
殘餘的 F (平均 F/W)	6%	4%
間隙填充	佳	中等

## 結論

【0145】雖然上述實施例為了清楚理解的目的已以一些細節加以描述，但顯然地，某些改變與修飾可在隨附申請專利範圍的範疇內加以實施。應注意有許多替代方式執行所揭示實施例的製程、系統及設備。因此，本發明實施例係被視為說明性而非限制性的，且所揭示實施例係非限制於本文提供的細節。

【符號說明】

【0146】

- 101 第一橫截面
- 103 基板
- 105 孔
- 111 橫截面
- 113 下層
- 115 外伸部
- 121 橫截面
- 123 材料
- 125 夾點（參考點）
- 127 場區
- 129 孔隙（接縫）
- 131 橫截面
- 133 基板
- 135 接縫開口
- 200 方法
- 303 基板
- 313 下層
- 315 外伸部
- 321 橫截面
- 323 層

331	橫截面
333	層
341	橫截面
343	層
351	橫截面
361	橫截面
363	接縫
400	設備
402	來源
406	產生器
408	連接管線
414	噴淋頭
416	產生器
418	腔室
420	基座
422	系統控制器
424	感測器
426	真空排氣出口部
439	匹配電路
441	RF電源供應器
443	連接件
445	連接件

- 490 設備
- 491 腔室壁
- 492 圓頂
- 493 入口
- 494 線圈
- 495 噴淋頭
- 496 基座
- 497 晶圓（基板）
- 498a 幫浦
- 498b 埠
- 499 系統控制器
- 500 設備
- 501 腔室
- 503 卡匣
- 505 裝載鎖定部
- 507 機器人
- 509 機器人
- 511 工作站
- 512 工作站
- 513 工作站
- 514 工作站
- 515 工作站

516	工作站
520	設備
521	腔室
523	腔室
525	腔室
527	機器人
529	卡匣
601	特徵部
603	基板
605	含錫層
607	線
609	線
611	線
702	線
704	線
902	線
904	線
906	線
908	線



201719756

## 【發明摘要】

申請日: 105/08/19

IPC分類:

H01L 21/3213 (2006.01)

H01L 21/67 (2006.01)

C23C 16/505 (2006.01)

H01J 31/32 (2006.01)

C23C 16/52 (2006.01)

H01L 21/768 (2006.01)

H01L 21/285 (2006.01)

【中文發明名稱】蝕刻製程中施加脈衝予射頻功率以提升鎢間隙填充功能

【英文發明名稱】PULSING RF POWER IN ETCH PROCESS TO ENHANCE

TUNGSTEN GAPFILL PERFORMANCE

【中文】提供使用金屬材料（諸如含鎢材料）以實質無孔隙的方式填充特徵部的方法及設備。在某些實施例中，該方法包含沉積諸如含鎢材料之金屬的初始層，接著移除該初始層的一部分以形成剩餘層，該剩餘層沿高深寬比特徵部的深度係有差別地加以鈍化。該部分可藉由將含鎢材料曝露於自含氟含氮氣體產生的電漿並在曝露期間使脈衝輸送及/或勻變電漿而加以移除。

【英文】Methods and apparatuses for filling features with metal materials such as tungsten containing materials in a substantially void-free manner are provided. In certain embodiments, the method involves depositing an initial layer of a metal such as a tungsten-containing material followed by removing a portion of the initial layer to form a remaining layer, which is differentially passivated along the depth of the high-aspect ratio feature. The portion may be removed by exposing the tungsten-containing material to a plasma generated from a fluorine-containing nitrogen-containing gas and pulsing and/or ramping the plasma during the exposure.

【指定代表圖】 圖12A

【代表圖之符號簡單說明】

無

## 【發明申請專利範圍】

【第1項】一種方法，包含：

設置一基板，該基板具有使用一金屬部分地填充的一特徵部；

將該基板曝露於一基於氟及基於氮的電漿；以及

脈衝輸送該電漿以移除一部分的該金屬。

【第2項】如申請專利範圍第1項之方法，其中，該金屬係錫。

【第3項】如申請專利範圍第1項之方法，其中，該電漿係在一開啓狀態及一關閉狀態之間脈衝輸送，其中在該關閉狀態期間的電漿功率係0 W，且在該開啓狀態期間的電漿功率係在約50 W和約3000 W之間。

【第4項】如申請專利範圍第1項之方法，其中，該電漿係以在約1 Hz和約400 kHz之間的頻率加以脈衝輸送。

【第5項】如申請專利範圍第1項之方法，其中，該電漿係使用在約10%和約90%之間的工作週期加以脈衝輸送。

【第6項】如申請專利範圍第1項之方法，其中，該電漿係在一開啓狀態及一關閉狀態之間脈衝輸送，且其中該電漿在每一脈衝中係以在約100毫秒和約10秒之間的持續時間處於開啓狀態。

【第7項】如申請專利範圍第1-6項其中任一者之方法，其中，將該基板曝露於該基於氟及基於氮之電漿的步驟包含流動一含氟及含氮氣體且點燃一電漿。

【第8項】如申請專利範圍第7項之方法，其中，該含氟及含氮氣體流係脈衝輸送的。

【第9項】如申請專利範圍第8項之方法，其中，該含氟及含氮氣體流係使用在約30%和約70%之間的工作週期加以脈衝輸送。

【第10項】如申請專利範圍第8項之方法，其中，該含氟及含氮氣體流係脈衝輸送在約0.5秒和約3秒之間的脈衝持續時間。

【第11項】如申請專利範圍第8項之方法，其中，該含氟及含氮氣體係三氟化氮。

【第12項】如申請專利範圍第1-6項其中任一者之方法，進一步包含：在移除該部分的該金屬之後，將該基板曝露於一含金屬前驅物以在該特徵部內沉積額外的金屬。

【第13項】一種方法，包含：

對一處理腔室設置一基板，該基板具有使用鎢部分地填充的一特徵部；



將一含氟及含氮氣體引至該處理腔室；

脈衝輸送該含氟及含氮氣體流；以及

在該處理腔室內點燃一電漿，以產生一基於氟及基於氮之電漿以蝕刻一部分的錫。

【第14項】如申請專利範圍第13項之方法，其中，該含氟及含氮氣體流係使用在約30%和約70%之間的工作週期加以脈衝輸送。

【第15項】如申請專利範圍第13項之方法，其中，該含氟及含氮氣體流係脈衝輸送在約0.5秒和約3秒之間的持續時間。

【第16項】如申請專利範圍第13項之方法，其中，該含氟及含氮氣體係三氟化氮。

【第17項】如申請專利範圍第13-16項其中任一者之方法，其中，該電漿係脈衝輸送的。

【第18項】如申請專利範圍第17項之方法，其中，該電漿係在一開啓狀態及一關閉狀態之間脈衝輸送，其中在該關閉狀態期間的電漿功率係0 W，且在該開啓狀態期間的電漿功率係在約50 W和約3000 W之間。

【第19項】如申請專利範圍第17項之方法，其中，該電漿係以在約1 Hz和約400 kHz之間的頻率加以脈衝輸送。

【第20項】一種處理半導體基板的設備，該設備包含：

- 一處理腔室，包含一圓頂、一噴淋頭及一基座；
- 一個以上氣體入口，進入該處理腔室且關於流量控制硬體；
- 一射頻（RF）產生器；及
- 一控制器，具有至少一處理器及一記憶體，

其中，該至少一處理器及該記憶體係彼此通訊連接，

該至少一處理器係至少與該流量控制硬體及RF產生器操作連

接，以及

該記憶體儲存電腦可執行的指令，用於：

將一含氟及含氮氣體引至該處理腔室，

點燃一電漿，以及

在一開啓狀態及一關閉狀態之間脈衝輸送該電漿，其中在

該關閉狀態期間的電漿功率係0 W，且在該開啓狀態期間的電漿功率係在約

50 W和約3000 W之間。

【第21項】如申請專利範圍第20項之處理半導體基板的設備，其中，該含氟及含氮氣體流係脈衝輸送的。

























