



(21)申請案號：109143151

(22)申請日：中華民國 109 (2020) 年 12 月 08 日

(51)Int. Cl. : **C23C16/452 (2006.01)**

C23C16/30 (2006.01)

H01L21/205 (2006.01)

H01L21/762 (2006.01)

(30)優先權：2019/12/09 美國

16/708,026

(71)申請人：美商應用材料股份有限公司 (美國) APPLIED MATERIALS, INC. (US)
美國

(72)發明人：薛瑪 雪恩克 SHARMA, SHASHANK (US)；劉 煒 LIU, WEI (CA)；孫 顥 SUN, YONG (US)；加 普拉凱特佩拉卡希 JHA, PRAKET PRAKASH (IN)

(74)代理人：李世章；彭國洋

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：20 項 圖式數：5 共 35 頁

(54)名稱

氧自由基輔助的介電膜緻密化

(57)摘要

本文中的實施例提供了對使用可流動化學氣相沉積 (FCVD) 工序來沉積的含矽材料層進行基於氧自由基的處理。對 FCVD 沉積的含矽材料層進行基於氧自由基的處理合乎需要地增加了穩定的 Si--O 鍵的數量、不合需要地移除了氫及氮的不純物、及在處理的含矽材料層中提供了進一步的緻密化及極好的膜品質。實施例包括用於製作半導體器件的方法及裝置，其包括：在足以使可流動的含矽材料層退火及增加可流動的含矽材料層的密度的條件下使設置在基片上的可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸。

Embodiments herein provide for oxygen radical based treatment of silicon containing material layers deposited using a flowable chemical vapor deposition (FCVD) process. Oxygen radical based treatment of the FCVD deposited silicon containing material layers desirably increases the number of stable Si--O bonds, removes undesirably hydrogen and nitrogen impurities, and provides for further densification and excellent film quality in the treated silicon containing material layers. Embodiments include methods and apparatus for making a semiconductor device including: contacting a flowable layer of silicon containing material disposed on a substrate with a plurality of oxygen radicals under conditions sufficient to anneal and increase the density of the flowable layer of silicon containing material.

指定代表圖：

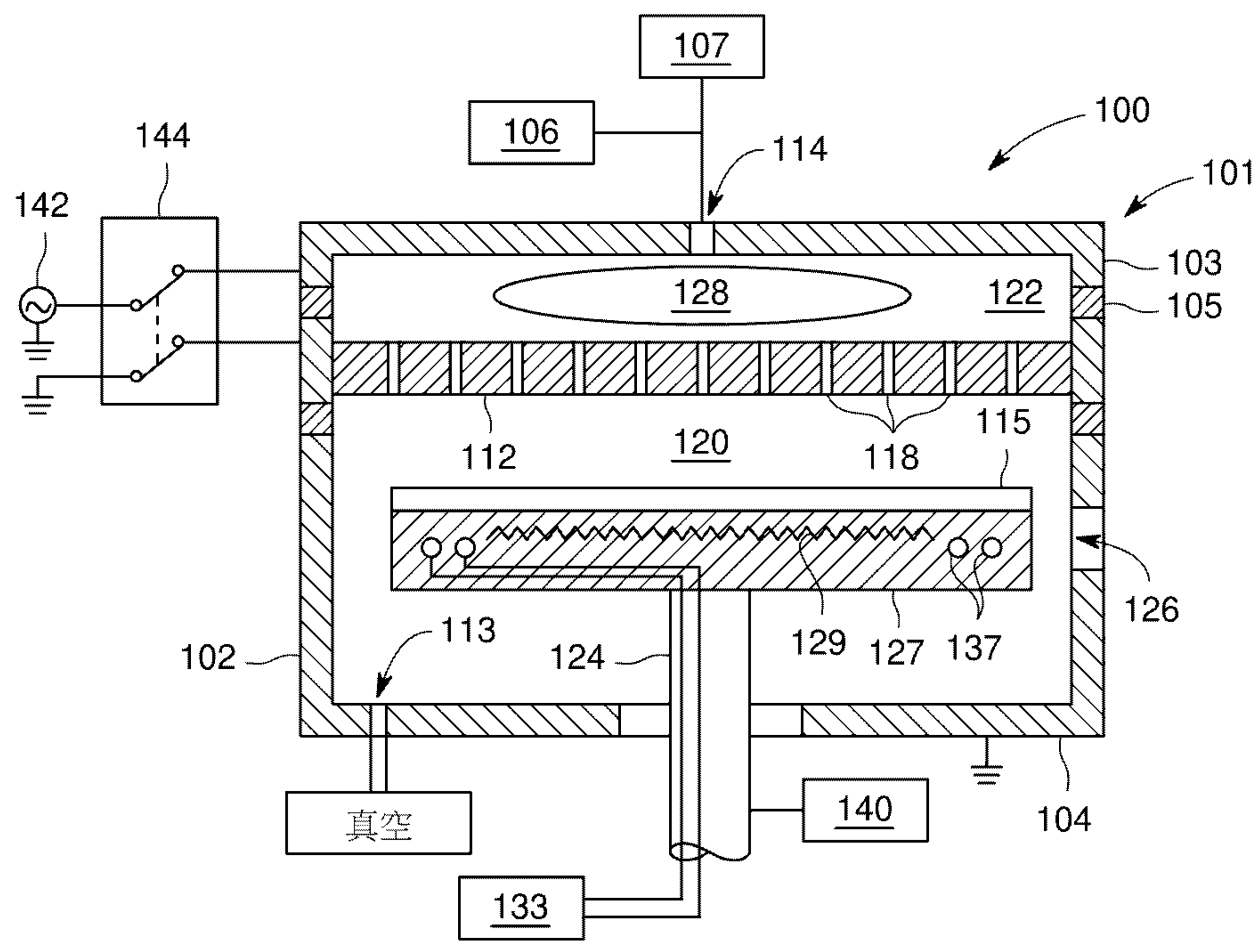


圖1

符號簡單說明：

- 100:處理腔室
- 101:腔室蓋組件
- 102:側壁
- 103:腔室蓋
- 104:腔室基部
- 105:電絕緣環
- 106:氣體源
- 107:遠端電漿源
- 112:淋噴頭
- 113:真空出口
- 114:氣體入口
- 115:基片
- 118:開口
- 120:處理容積
- 122:增壓室
- 124:支撐軸桿
- 126:開口
- 127:基片支撐件
- 128:遠端電漿
- 129:電阻式加熱構件
- 133:冷卻劑源
- 137:冷卻通道
- 140:控制器
- 142:電源
- 144:開關



202124764

【發明摘要】

【中文發明名稱】氧自由基輔助的介電膜緻密化

【英文發明名稱】OXYGEN RADICAL ASSISTED DIELECTRIC FILM
DENSIFICATION

【中文】

本文中的實施例提供了對使用可流動化學氣相沉積（FCVD）工序來沉積的含矽材料層進行基於氧自由基的處理。對FCVD沉積的含矽材料層進行基於氧自由基的處理合乎需要地增加了穩定的Si--O鍵的數量、不合需要地移除了氫及氮的不純物、及在處理的含矽材料層中提供了進一步的緻密化及極好的膜品質。實施例包括用於製作半導體器件的方法及裝置，其包括：在足以使可流動的含矽材料層退火及增加可流動的含矽材料層的密度的條件下使設置在基片上的可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸。

【英文】

Embodiments herein provide for oxygen radical based treatment of silicon containing material layers deposited using a flowable chemical vapor deposition (FCVD) process. Oxygen radical based treatment of the FCVD deposited silicon containing material layers desirably increases the number of stable Si--O bonds, removes undesirably hydrogen and nitrogen impurities, and provides for further densification and excellent film quality in the treated silicon containing material layers. Embodiments include methods and apparatus for making a semiconductor device including: contacting a

flowable layer of silicon containing material disposed on a substrate with a plurality of oxygen radicals under conditions sufficient to anneal and increase the density of the flowable layer of silicon containing material.

【指定代表圖】第（ 1 ）圖。

【代表圖之符號簡單說明】

1 0 0 : 處 理 腔 室

1 0 1 : 腔 室 蓋 組 件

1 0 2 : 側 壁

1 0 3 : 腔 室 蓋

1 0 4 : 腔 室 基 部

1 0 5 : 電 絕 緣 環

1 0 6 : 氣 體 源

1 0 7 : 遠 端 電 漿 源

1 1 2 : 淋 噴 頭

1 1 3 : 真 空 出 口

1 1 4 : 氣 體 入 口

1 1 5 : 基 片

1 1 8 : 開 口

1 2 0 : 處 理 容 積

1 2 2 : 增 壓 室

1 2 4 : 支 撐 軸 桿

1 2 6 : 開 口

1 2 7 : 基 片 支 撐 件

- 1 2 8 : 遠 端 電 漿
- 1 2 9 : 電 阻 式 加 熱 構 件
- 1 3 3 : 冷 卻 劑 源
- 1 3 7 : 冷 卻 通 道
- 1 4 0 : 控 制 器
- 1 4 2 : 電 源
- 1 4 4 : 開 關

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】 氧自由基輔助的介電膜緻密化

【英文發明名稱】 OXYGEN RADICAL ASSISTED DIELECTRIC FILM DENSIFICATION

【技術領域】

【0001】 本揭示內容的實施例大致與電子器件製造及修改介電層的性質的領域相關。

【先前技術】

【0002】 介電材料在半導體工業中廣泛地用於生產尺寸不斷減少的電子器件。一般而言，將介電材料用作間隙填充膜、淺溝槽絕緣（shallow trench insulation, STI）、導孔填料、掩模、閘極介電體、或用作其他的電子器件特徵。

【0003】 介電材料一般包括含矽材料（例如二氧化矽（ SiO_2 ）），且可以使用可流動化學氣相沉積（FCVD）工序由前驅物形成可流動材料。在與使用常規方法來沉積的含矽材料層相比時，使用（FCVD）工序來沉積的可流動的含矽材料工序（例如含矽材料層）一般會提供高縱橫比特徵的改善的間隙填充性能。然而，發明人已經發現，一般藉由FCVD工序來提供的含矽材料層有問題地包括Si-H、Si-NH鍵及碳鍵，從而在形成氧化矽材料時導致較低或不良的氧化矽層膜密度。

【0004】 雖然可以在沉積可流動的含矽材料之後進一步處理該可流動的含矽材料，但發明人已經發現，處理方

法會由於離子轟擊而產生損傷基片上的下伏特徵及材料的風險，或在其他情況下不適於處理設置在高縱橫比的開口中的含矽材料。例如，高溫退火可能誘發導致膜破裂、剝落、或兩者的膜收縮及應力，從而阻礙了深溝槽及導孔填充應用中的介電膜形成。

【0005】 因此，需要處理沉積的可流動含矽材料以實現期望的密度及/或其他期望的材料性質的改善方法。

【發明內容】

【0006】 本文中提供了包括處理可流動的含矽材料的用於製作半導體器件的方法及裝置。在一些實施例中，一種製作半導體器件的方法包括以下步驟：在足以使可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的密度的條件下使設置在基片上的該可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸。

【0007】 在一些實施例中，一種製作半導體器件的方法包括以下步驟：將可流動的含矽材料層沉積在基片上方的一或更多個特徵上方；及將氧自由基植入或混合到實質上整個該可流動的含矽材料層以使該可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的密度。

【0008】 在一些實施例中，一種用來製造電子器件的裝置包括：處理腔室，包括托座以固持基片，該基片包括該基片上方的可流動的含矽材料層；氧自由基源，耦接到該處理腔室；及處理器，耦接到該工序腔室及該氧自由基源，其中該處理器被配置為在該處理腔室中提供足以使該

可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的密度的條件。

【0009】 本揭示內容的其他及另外的實施例被描述於下文中。

【圖式簡單說明】

【0010】 可以藉由參照描繪於附圖中的本揭示內容的說明性實施例來了解本揭示內容的實施例，該等實施例在上文被簡要概述且於下文被更詳細地論述。然而，附圖僅繪示本揭示內容的典型實施例且因此不要被視為範圍的限制，因為本揭示內容可以接納其他同等有效的實施例。

【0011】 圖1是用於本揭示內容的方法中的處理腔室的示意橫截面圖。

【0012】 圖2A是依據本揭示內容用於處理的半導體基片的側視圖。

【0013】 圖2B是依據本揭示內容的實施例沉積在半導體基片的特徵上方的可流動層的側視圖。

【0014】 圖2C示出依據本揭示內容的實施例與可流動層接觸的氧自由基。

【0015】 圖2D示出依據本揭示內容的實施例將氧自由基植入或合併到可流動層中。

【0016】 圖3是依據本揭示內容的一些實施例製作半導體器件的流程圖。

【0017】 圖4是依據本揭示內容的一些實施例製作半導體器件的實施例的流程圖。

【0018】圖5是依據本揭示內容的一個實施例的三閘極電晶體結構的透視圖。

【0019】為了促進了解，已儘可能使用相同的參考標號來標誌該等圖式共有的相同構件。該等圖式並不是按比例繪製的，且可以為了明確起見而簡化該等圖式。可以在不另外詳述的情況下有益地將一個實施例的構件及特徵併入其他實施例。

【實施方式】

【0020】本文中所述的實施例大致與用於對設置在基片表面上的含矽材料層進行基於氧自由基的處理的方法相關，例如與用於對已經使用可流動化學氣相沉積（FCVD）工序來沉積的含矽材料層進行基於氧自由基的處理的方法相關。在與使用常規方法來沉積的含矽材料層相比時，使用（FCVD）工序來沉積的可流動的含矽材料工序（例如氧化矽層）一般會提供高縱橫比特徵的改善的間隙填充性能。然而，發明人已經發現，可以在足以使可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的密度的條件下執行使可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸的步驟。氧自由基是反應性的，且適於深度滲透可流動的含矽材料層，從而藉由減少或消除Si-H、Si-NH、或碳鍵而導致改善的膜品質。進一步地，發明人已經觀察到，可以減少或消除由導致膜收縮及應力的常規處理（例如離子轟擊或高溫退火）所引起的損傷基片上的下伏特徵及材料的風險。

【0021】圖1是適用於本揭示內容的方法中的處理腔室的示意橫截面圖。在一些實施例中，處理腔室100包括共同界定處理容積120的腔室蓋組件101、一或更多個側壁102、及腔室基部104。腔室蓋組件101包括腔室蓋103、淋噴頭112、及電絕緣環105，該電絕緣環設置在腔室蓋103與淋噴頭112之間，這界定了增壓室122。設置通過腔室蓋103的氣體入口114流體耦接到氣體源106。在一些實施例中，氣體入口114進一步地流體耦接到遠端電漿源107。具有複數個開口118的淋噴頭112用來將處理氣體或氧自由基從增壓室122通過該複數個開口118均勻地分佈到處理容積120中，該複數個開口被設置通過該淋噴頭。

【0022】在一些實施例中，在將開關144設置在第一位置（如所示）時，電源142（例如RF或VHF電源）經由該開關電耦接到腔室蓋。在將開關設置在第二位置（未示出）時，電源142電耦接到淋噴頭112。在開關144處於第一位置時，電源142用來點燃並維持相對於基片115位於遠端的第一電漿（例如設置在增壓室122中的遠端電漿128）。遠端電漿128由流動到增壓室中的處理氣體組成，且藉由將來自電源142的電力與該遠端電漿電容耦合維持為電漿。在開關144處於第二位置時，電源142用來點燃及維持淋噴頭112與設置在基片支撐件127上的基片115之間的處理容積120中的第二電漿（未示出）。

【0023】 在一些實施例中，處理容積120通過真空出口113流體耦接到真空源（例如一或更多個專用真空泵），這將處理容積120維持在亞大氣條件下並從該處理容積抽空處理氣體及其他氣體。設置在處理容積120中的基片支撐件127被設置在支撐軸桿124上，該支撐軸桿密封地延伸通過腔室基部104，例如在腔室基部104下方的區域中被波紋管（未示出）環繞。支撐軸桿124耦接到控制馬達以升起及降低支撐軸桿124的控制器140及設置在該支撐軸桿上的基片支撐件127，以在基片115的處理期間支撐該基片並將基片115向處理腔室100及從該處理腔室傳輸。

【0024】 將基片115通過該一或更多個側壁102中的一者中的開口126裝載到處理容積120中，該開口在基片115處理期間常規上用一或門或閥門（未示出）密封。在本文中，使用常規的升降銷系統（未示出）將基片115向基片支撐件127的表面及從該表面傳輸，該升降銷系統包括可動地設置通過基片支撐件的複數個升降銷（未示出）。一般而言，該複數個升降銷從其下方由升降銷箍狀物（未示出）接觸並移動以延伸於基片支撐件127的表面上方，從而從該表面升舉基片115並允許由機器手搬運器接取。在升降銷箍狀物（未示出）處於降下位置時，該複數個升降銷的頂部被定位為與基片支撐件127的表面及擱置在該表面上的基片齊平或位於該表面及該基片下方。基片支撐件在下部位置與升起位置之間可動，該下部

位置位於開口 126 下方且用於將基片安置在該基片支撐件上或從該基片支撐件移除基片 115，該升起位置用於基片 115 的處理。在一些實施例中，使用設置在基片支撐件中的電阻式加熱構件 129 及 / 或一或更多個冷卻通道 137 將基片支撐件 127 及設置在該基片支撐件上的基片 115 維持在期望的處理溫度下。一般而言，冷卻通道 137 流體耦接到冷卻劑源 133（例如具有相對較高的電阻的修改的水源，或致冷劑源）。在一些實施例中，將基片設置在快速熱處理腔室內，其中將燈配置為快速加熱基片。在一些實施例中，將快速熱處理腔室配置為用於依據本揭示內容來執行方法，例如在足以使可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的密度的條件下使設置在基片上的可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸。適於依據本揭示內容的配置的快速熱工序腔室的非限制性示例包括適於在短時間內將基片加熱到預定溫度的處理腔室。在一些實施例中，加熱系統包括光源，該光源被設置為使得由該光源所發射（例如來自燈）的光能量接觸並加熱基片的材料表面。在一些實施例中，依據本揭示內容將基片設置在工序腔室（例如從位於加州聖克拉拉市的應用材料有限公司可取得的 CENTURA[®] RADIANCE[®] RTP 腔室）內並暴露於退火工序。在實施例中，可以將退火腔室配置為使得可以使基片退火而不會使該基片暴露於周圍環境。

【0025】 在一些實施例中，處理腔室100進一步耦接到遠端電漿源107，該遠端電漿源向處理容積120提供氧自由基。一般而言，遠端電漿源（RPS）包括電感耦合電漿（ICP）源、電容耦合電漿（CCP）源、或微波電漿源。在一些實施例中，遠端電漿源是獨立的RPS單元。在其他的實施例中，遠端電漿源是與處理腔室100流體連通的第二處理腔室。在其他的實施例中，遠端電漿源是在腔室蓋103與淋噴頭112之間的增壓室122中點燃及維持的遠端電漿128。在一些其他的實施例中，從非基於電漿的自由基源（例如UV源，該UV源使用UV輻射來使第一氣體光解離成該第一氣體的自由基物種，熱線源（例如熱線CVD（HWCVD）腔室），該熱線源使用熱分解來將第一氣體解離成該第一氣體的自由基物種）向處理腔室提供氣態處理自由基。

【0026】 圖2A是依據本揭示內容的電子器件結構200的側視圖。在實施例中，電子器件結構200包括基片201。在一些實施例中，基片201包括半導體材料，例如矽（Si）、鍺（Ge）、矽鍺（SiGe）、基於III-V族材料的材料、或上述項目的任何組合。在一個實施例中，基片201包括集成電路的金屬化互連層。在一個實施例中，基片201包括電子器件，例如電晶體、記憶體、電容器、電阻器、光電子器件、開關、及被電絕緣層（例如層間介電體、溝槽絕緣層、或電子器件製造領域中的技術人員所習知的任何其他絕緣層）分離的任何其他有源及無源的電

子器件。在至少一些實施例中，基片 201 包括配置為連接金屬化層的互連結構（例如導孔）。在一個實施例中，基片 201 是隔離器上半導體結構

（`semiconductor-on-isolator`，`SOI`）基片，該基片包括本體下基片、中間絕緣層、及頂部單晶層。頂部單晶層可以包括上文所列舉的任何材料，例如矽。

【0027】 在一些實施例中，將器件層 202 沉積於基片 201 上。在一些實施例中，器件層 202 包括複數個特徵，例如特徵 203、204、及 205。如圖 2A 中所示，將複數個溝槽（例如溝槽 131）形成於基片 201 上及特徵之間。在實施例中，溝槽具有底部 232 及相對的側壁 233 及 234。底部 232 是特徵 204 與 205 之間的基片 201 的暴露部分。側壁 233 是特徵 205 的側壁，而側壁 234 則是特徵 204 的側壁。在一些實施例中，器件層 202 包括形成於基片 201 上的一或更多個半導體鰭片。在一些實施例中，特徵（例如 203、204、及 205）是鰭片結構以形成例如三閘極電晶體陣列，該三閘極電晶體陣列包括多個電晶體，例如圖 5 中所示的三閘極電晶體（電晶體 500）。

【0028】 在一些實施例中，特徵 203、204、及 205 的高度是在從約 30 nm 到約 500 nm（奈米）的近似範圍中。在一些實施例中，特徵 203 與 204 之間的距離為從約 2 nm 到約 100 nm。

【0029】 在一些實施例中，器件層 202 包括使用一或更多種沉積技術（例如但不限於化學氣相沉積（`CVD`）（例

如電漿增強化學氣相沉積（**P E C V D**））、物理氣相沉積（**P V D**）、分子束磊晶（**M B E**）、金屬有機化學氣相沉積（**M O C V D**）、原子層沉積（**A L D**）、或電子器件製造領域中的技術人員所習知的其他沉積技術）來沉積於基片**201**上的一或更多個層。在一些實施例中，使用電子器件製造領域中的技術人員所習知的圖案化及蝕刻技術將器件層**202**的該一或更多個層圖案化及蝕刻以形成特徵（例如特徵**203**、**204**、及**205**）。在一個實施例中，器件層**202**的特徵中的每一者均是一或更多個層的堆疊。在一個實施例中，器件層**202**的特徵是電子器件（例如電晶體、記憶體、電容器、電阻器、光電子器件、開關、及任何其他有源及無源的電子器件）的特徵。

【0030】 在一些實施例中，器件層**202**的特徵包括導電層。在一些實施例中，器件層**202**的特徵包括金屬（例如銅（**C u**）、鋁（**A l**）、銦（**I n**）、錫（**S n**）、鉛（**P b**）、銀（**A g**）、銻（**S b**）、鉍（**B i**）、鋅（**Z n**）、鎘（**C d**）、金（**A u**）、鈺（**R u**）、鎳（**N i**）、鈷（**C o**）、鉻（**C r**）、鐵（**F e**）、錳（**M n**）、鈦（**T i**）、鈦（**H f**）、鉭（**T a**）、鎢（**W**）、釩（**V**）、鉬（**M o**）、鈀（**P d**）、金（**A u**）、鉑（**P t**））、多晶矽、電子器件製造領域中的技術人員所習知的其他導電層、或上述項目的任何組合。

【0031】 如圖**2A**中所示，可選地將保護層**215**沉積在器件層**202**的特徵上方。在實施例中，保護層**215**覆蓋器件層**202**的特徵中的每一者的頂部（例如頂部**216**），如

圖 2 A 中所示。在一些實施例中，沉積保護層 215 以保護器件層 202 的特徵以免受到隨後階段的處理的影響。在一些實施例中，器件層 202 的特徵是矽特徵。在一些實施例中，保護層 215 是硬質掩模層。在一些實施例中，保護層覆蓋器件層 202 的特徵中的每一者的頂部及側壁（例如側壁 217 及側壁 218）。在一些實施例中，保護層 215 是氮化物層（例如氮化矽、氮化鈦）、氧化物層（例如氧化硼層、硼摻雜的玻璃層、氧化矽層）、其他保護層、或上述項目的任何組合。在一些實施例中，保護層 215 的厚度為從約 2 nm 到約 50 nm。

【0032】 在一些實施例中，可以使用一或更多種沉積技術（例如但不限於化學氣相沉積（CVD）（例如電漿增強化學氣相沉積（PECVD））、物理氣相沉積（PVD）、分子束磊晶（MBE）、金屬有機化學氣相沉積（MOCVD）、原子層沉積（ALD）、或電子器件製造領域中的技術人員所習知的其他沉積技術）來沉積保護層 215。

【0033】 圖 2 B 示出依據本揭示內容的電子器件結構 210 的側視圖。在實施例中，電子器件結構 210 包括基片 201。圖 2 B 示出將可流動層 206 沉積在器件層 202 的特徵上方之後的器件。在一些實施例中，可流動層 206 覆蓋沉積於器件層的特徵的頂部、側壁上的可選保護層 215 及溝槽的底部（例如底部 232）。在一些實施例中，在不存在保護層 215 的情況下將可流動層 206 直接沉積在器件層

202 的特徵的頂部及側壁上。在一些實施例中，將可流動層 206 沉積於基片 201 的部分上，從而填充在器件層 202 的特徵之間的空間中。在一個實施例中，可流動層 206 是介電層。在一些實施例中，可流動層 206 的初沉積密度為例如小於或為約 1.5 g/cm^3 。在一些實施例中，藉由本揭示內容的方法來增加可流動層 206 的密度，例如增加到大於 1.5 g/cm^3 的量。一般而言，材料的密度指的是每單位體積的材料質量（質量除以體積）。在一些實施例中，可流動層 206 具有孔（未示出）。在一些實施例中，材料中的孔指的是含有所考慮的材料以外的物質（例如空氣、真空、液體、固體、或氣體或氣態混合物）使得可流動層的密度取決於位置而變化的區域。

【0034】 在一些實施例中，可流動層 206 是氧化物層（例如氧化矽（例如 SiO_2 ）、氧化鋁（ Al_2O_3 ）、或其他氧化物層）、氮化物層（例如氮化矽（例如 Si_3N_4 ）或其他氮化物層）、碳化物層（例如碳、 SiOC ）、或其他碳化物層、氮氧化物層（例如 SiON ）、或上述項目的任何組合。

【0035】 在一些實施例中，可流動層 206 是發展為可流動的含矽材料層的可流動的 CVD 膜，其中初沉積的膜一般含有 Si-H 、 Si-N 、及 -NH 鍵。然後依據本揭示內容通過固化及退火在氧化環境中將膜轉換成 Si-O 網絡。

【0036】 在一個實施例中，使用由位於加州聖克拉拉市的應用材料有限公司開發的一或更多種可流動化學氣相

沉積 (FCVD) 沉積技術或電子器件製造領域中的技術人員所習知的其他 FCVD 沉積技術來沉積可流動層 206。在一些實施例中，可流動層 206 的厚度為從約 30 nm 到約 500 nm。在一些實施例中，可流動層 206 的厚度為從約 40 nm 到約 100 nm。

【0037】 在一些實施例中，可流動層 206 充當間隙填充層。在一些實施例中，可流動層 206 在基片的一部分上方充當間隙填充層，並在基片的其他部分上方充當硬質掩模層。在一些實施例中，可流動層 206 在高縱橫比（高度比寬度）的特徵（例如 5:1 或 20:1）中充當間隙填充層，其中該特徵具有小於 20 奈米的寬度。

【0038】 現在參照圖 2C，氧自由基 ($O\cdot$) 211 依據本揭示內容的一些實施例接觸可流動層 206。在一些實施例中，設置在基片上的可流動的含矽材料層在足以使可流動的含矽材料層退火及 / 或增加可流動的含矽材料層的密度的條件下與複數個氧自由基（例如自由基 ($O\cdot$)）接觸。非限制性的含矽材料包括氧化物層、氮化物層、碳化物層、氮氧化物層、或上述項目的組合。在一些實施例中，可流動的含矽材料層包括氧化矽 (SiO_2)、氮氧化矽 ($SiON$)、氮化矽 (Si_3N_4)、或碳氧化矽 ($SiOC$)。在一些實施例中，可流動的含矽材料層在 10 毫托到 20 托的壓力下與該複數個氧自由基接觸。在一些實施例中，可流動的含矽材料層在 100 攝氏度到 700 攝氏度的溫度下與複數個氧自由基接觸。在一些實施例中，可流動的含矽

材料層與複數個氧自由基接觸達高達10分鐘的持續時間，例如10秒到10分鐘。在一些實施例中，該複數個氧自由基滲透通過可流動的含矽材料層的頂部及底部，並混合到可流動的含矽材料層中。在一些實施例中，藉由氧自由基（ $O\cdot$ ）來氧化可流動層206以在器件層202的特徵之間形成絕緣區域。在一些實施例中，藉由氧自由基（ $O\cdot$ ）來處理可流動層206以形成淺溝槽絕緣（shallow trench insulation, STI）區域。在一些實施例中，在足以使可流動的含矽材料層退火及增加可流動的含矽材料層的密度的條件下將可流動的含矽材料層206與複數個氧自由基（例如氧自由基（ $O\cdot$ ）211）一起設置在基片201上。

【0039】 在一些實施例中，將該複數個氧自由基設置在反應氣體內，其中該反應氣體包括氧（ O_2 ）、氫（ H_2 ）、或氮（ N_2 ）中的一或更多者。例如，反應氣體可以包括與氧混合的氫或與氮混合的氫的混合物。在實施例中，包括氧自由基的反應氣體可以進一步包括高達95%的氫。

【0040】 參照圖2D，示出了依據本揭示內容的實施例將複數個氧自由基（例如氧自由基（ $O\cdot$ ）211）植入到可流動層206。如圖2D中所示，向可流動層206供應複數個氧自由基（例如氧自由基（ $O\cdot$ ）211）。在一些實施例中，複數個氧自由基（例如氧自由基（ $O\cdot$ ）211）僅包括氧自由基。在實施例中，複數個氧自由基（例如氧自由基（ $O\cdot$ ）211）滲透或混合到可流動層206的1/3部分、上

半部、或上 2/3 部分中。在一些實施例中，在足以滲透整個可流動層 206 的條件下供應作為複數個氧自由基（例如氧自由基（ $O\cdot$ ）211）。在一些實施例中，在足以植入及混合到整個可流動層 206 的條件下供應複數個氧自由基（例如氧自由基（ $O\cdot$ ）211）。

【0041】 在一些實施例中，用足以增加可流動層 206 的密度的量供應作為複數個氧自由基（例如氧自由基（ $O\cdot$ ）211）。在一些實施例中，用足以增加可流動層 206 的密度的量及在適於增加該密度的條件下供應氧自由基（ $O\cdot$ ）211。在一些實施例中，密度由本領域中的習知技術（包括諸如指示密度的改變的濕蝕刻速率比（WERR）的代理）可測量。在一些實施例中，依據本揭示內容，形成了處理的可流動的含矽材料層，且該處理的可流動的含矽材料層在稀釋的 HF 中在 0-2 分鐘的蝕刻持續時間之後具有約 9、或約 10、或介於約 9-10 之間的濕蝕刻速率比（WERR）。在實施例中，使用稀釋的 HF（例如 1:100 的 HF）相對於熱氧化矽膜測量濕蝕刻速率比。

【0042】 現在參照圖 3，示出了依據本揭示內容的一些實施例製作半導體器件的方法的流程圖。在實施例中，方法 300 包括工序序列 302，其包括以下步驟：在足以使可流動的含矽材料層退火及 / 或增加可流動的含矽材料層的密度的條件下使設置在基片上的可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸。在一些實施例中，該方法包括以下

步驟：使氮化矽層與氣態氧自由基接觸。雖然未示於方法 300 中，但方法也可以可選地包括以下步驟：將基片定位在基片支撐件上，其中將基片支撐件設置在處理腔室（例如圖 1 中所描述的處理腔室）的處理容積中。在一些實施例中，基片的特徵在於沉積於其表面上的氮化矽層。在一些實施例中，使可流動的含矽材料層與該複數個氧自由基接觸在 10 毫托到 20 托的壓力下且在 100 攝氏度到 700 攝氏度的溫度下進行達高達 10 分鐘的持續時間。在實施例中，在適於滲透通過可流動的含矽材料層的頂部且滲透到底部的量及條件下施加該複數個氧自由基。在一些實施例中，在快速熱處理腔室中執行使可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸。在一些實施例中，將該複數個氧自由基設置在反應氣體內，其中反應氣體包括氧、氫、氮中的一或更多者、或上述項目的組合。

【0043】 在一些實施例中，將含矽材料至少部分地設置在形成於基片的表面中的複數個開口中。在一些實施例中，該複數個開口具有大於 2:1 的縱橫比（深寬比），例如大於 5:1、大於 10:1、大於 20:1，例如大於 25:1。在一些實施例中，開口的寬度小於約 22 nm，例如小於約 16 nm，或介於約 1 nm 與約 20 nm 之間，例如介於約 10 nm 與約 20 nm 之間。

【0044】 現在參照圖 4，示出了依據本揭示內容的一些實施例製作半導體器件的方法 400 的流程圖。在工序序列 402 處，將可流動的含矽材料層沉積在基片上方的一或更

多個特徵上方。在一些實施例中，使用可流動化學氣相沉積（FCVD）工序來沉積氮化矽層（例如聚矽氮烷層）。在一些實施例中，在用於對含矽材料層進行基於自由基的處理的同一處理腔室中執行FCVD工序。在一些實施例中，在與用於對含矽材料進行基於自由基的處理的處理腔室不同的處理腔室中執行FCVD工序。

【0045】 在一些實施例中，工序序列402可以包括FCVD工序，例如使一或更多個矽前驅物流動到處理容積中，將基片暴露於該一或更多種矽前驅物，在處理容積中提供一或更多種共反應物，及將基片暴露於該一或更多種共反應物。在一些實施例中，依序地、並行地、或用上述項目的組合進行將基片暴露於一或更多種矽前驅物及將基片暴露於該一或更多種共反應物的步驟。

【0046】 在一些實施例中，執行FCVD，其中將處理容積的壓力合乎需要地維持在約10毫托與約10托之間，例如小於約6托，例如小於約5托，或介於約0.1托與約4托之間，例如介於約0.5托與約3托之間。在一些實施例中，將基片合乎需要地維持在約0攝氏度與約400攝氏度之間、或小於約200攝氏度、或約-10攝氏度與約75攝氏度之間的溫度下。

【0047】 在一些實施例中，該一或更多種矽前驅物包括矽烷化合物，例如矽烷（ SiH_4 ）、乙矽烷（ Si_2H_6 ）、丙矽烷（ Si_3H_8 ）、及丁矽烷（ Si_4H_{10} ）、或上述項目的組合。在一些其他的實施例中，矽前驅物包括具有至少

一個 Si - - N - - Si 官能基團的矽氮烷化合物（例如 N,N' 二甲矽烷基三矽氮烷（A））、諸如矽氮烷化合物的其他矽氮烷化合物（例如三甲矽烷基胺（TSA））、或上述項目的組合。在一些實施例中，矽前驅物包括一或更多種矽氮烷化合物與一或更多種矽氮烷化合物的組合。

【0048】 在一些 FCVD 實施例中，由在淋噴頭與腔室蓋之間的處理容積中點燃及維持的氣體（例如在圖 1 中所描述的增壓室 122 中點燃及維持的遠端電漿 128）形成電容耦合電漿。在一些實施例中，上述的 FCVD 工序合乎需要地提供可流動的氧化矽或氮化物膜，其允許從底部向上填充形成於基片的表面中的高縱橫比的開口。例如，可以使用 FCVD 工序來填充具有小於 20 nm 的寬度及大於約 10:1 的縱橫比的開口。在一些實施例中，將基片維持在小於約 200 攝氏度的溫度下。

【0049】 在工序序列 404 處，方法 400 包括以下步驟：實質通過可流動的含矽材料層植入氧自由基以使可流動的含矽材料層退火及 / 或增加可流動的含矽材料層的密度。在一些實施例中，工序序列 404 包括以下步驟：將 FCVD 沉積的矽可流動層暴露於氧自由基以形成處理的矽層。在一些實施例中，在同一處理腔室中進行沉積矽層及將 FCVD 沉積的矽層暴露於氧自由基的 FCVD。

【0050】 在一些實施例中，方法 400 包括以下步驟：依序重複沉積可流動的含矽材料層的至少一部分然後對至少部分地沉積的含矽材料進行基於氧自由基的處理，直到

達到期望的含矽材料厚度為止。一般而言，在與將含矽材料沉積到期望的厚度且隨後對該含矽材料進行基於自由基的處理相比時，依序重複會促進生成的處理的含矽材料的更均勻的緻密化及化學計量。

【0051】 在一些實施例中，本揭示內容與一種製作半導體器件的方法相關，該方法包括以下步驟：在足以使可流動的含矽材料層退火及增加可流動的含矽材料層的密度的條件下使設置在基片上的可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸。在一些實施例中，可流動的含矽材料層包括氧化物層、氮化物層、碳化物層、或氮氧化物層。在一些實施例中，可流動的含矽材料層包括氧化矽

(SiO_2)、氮氧化矽(SiON)、氮化矽(Si_3N_4)、或碳氧化矽(SiOC)。在一些實施例中，在10毫托到20托的壓力下使可流動的含矽材料層與該複數個氧自由基接觸。在一些實施例中，在100攝氏度到700攝氏度的溫度下使可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸。在一些實施例中，使可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸的持續時間高達10分鐘。在一些實施例中，該複數個氧自由基滲透通過可流動的含矽材料層的頂部及底部。在一些實施例中，在快速熱處理腔室中執行使可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸。在一些實施例中，在使可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸之前，使可流動的含矽材料層與臭氧及水接觸。

【0052】 現在參照圖5，示出了依據本揭示內容的一個實施例的三閘極電晶體結構的透視圖。在一些實施例中，將包括鰭片502的鰭片層形成於基片501上。在一些實施例中，鰭片層表示鰭片502的沿著A-A1軸線的橫截面圖。在一個實施例中，三閘極電晶體（電晶體500）是包括多個三閘極電晶體的三閘極電晶體陣列的一部分。在一些實施例中，將藉由植入氧自由基物種來修改的可流動的介電層形成於鰭片502附近的基片501上以提供場隔離（例如STI）區域，該場隔離區域將基片501上的一個電子器件與其他器件隔離，如上文針對圖2A-2D所述。在一些實施例中，鰭片502從基片501的頂面凸出。鰭片502可以由任何眾所周知的半導體材料所形成。在一些實施例中，將閘極介電層（未示出）沉積於鰭片502的及三個側面上。在一些實施例中，將閘極介電層形成於鰭片502的相對的側壁上及頂面上。如圖5中所示，將閘極電極506沉積於鰭片502上的閘極介電層上。閘極電極506如圖5中所示地扇形地分佈在鰭片502上的閘極電極上及周圍。在一些實施例中，將汲極區域505及源極區域503形成於鰭片502中的閘極電極506的相對側處，如圖5中所示。

【0053】 在一些實施例中，本揭示內容與一種製作半導體器件的方法相關，該方法包括以下步驟：將可流動的含矽材料層沉積在基片上方的一或更多個特徵上方；及將氧自由基植入或混合到實質上整個該可流動的含矽材料層

以使該可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的密度。在一些實施例中，該可流動的含矽材料層包括氧化矽（ SiO_2 ）、氮氧化矽（ SiON ）、氮化矽（ Si_3N_4 ）、碳氧化矽（ SiOC ）、或上述項目的組合。在一些實施例中，在10毫托到20托的壓力下執行植入氧自由基。在一些實施例中，在100攝氏度到700攝氏度的溫度下執行植入氧自由基。在一些實施例中，執行植入氧自由基達高達10分鐘的持續時間。在一些實施例中，該等氧自由基完全滲透整個該可流動的含矽材料層。在一些實施例中，在快速熱處理腔室中執行將氧自由基植入到可流動的含矽材料層中。在一些實施例中，在將氧自由基植入到可流動的含矽材料層中之前，使該可流動的含矽材料層與臭氧及水接觸。

【0054】 在一些實施例中，本揭示內容與一種用來製造電子器件的裝置相關，該裝置包括：處理腔室，包括托座以固持基片，該基片包括該基片上方的可流動的含矽材料層；氧自由基源，耦接到該處理腔室；及處理器，耦接到該氧自由基源，其中該處理器被配置為在該處理腔室中提供足以使該可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的密度的條件。在一些實施例中，該可流動的含矽材料層包括氧化矽（ SiO_2 ）、氮氧化矽（ SiON ）、氮化矽（ Si_3N_4 ）、碳氧化矽（ SiOC ）、或上述項目的組合。在一些實施例中，該等條件包括10毫托到20托的

壓力、100攝氏度到700攝氏度的溫度、及高達10分鐘的持續時間。

【0055】 在一些實施例中，本揭示內容與一種非暫時性電腦可讀取媒體相關，該非暫時性電腦可讀取媒體具有儲存在其上的指令，該等指令在被執行時使得工序腔室執行用於製作半導體器件的方法，該方法包括以下步驟：在一定條件下使設置在基片上的可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸，該等條件足以使該可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的密度。

【0056】 在一些實施例中，本揭示內容與一種用於處理可流動的含矽材料層的方法相關，該方法包括以下步驟：在一定條件下使設置在基片上的可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸，該等條件足以使該可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的密度。

【0057】 在一些實施例中，本揭示內容與一種非暫時性電腦可讀取媒體相關，該非暫時性電腦可讀取媒體具有儲存在其上的指令，該等指令在被執行時使得工序腔室執行用於處理可流動的含矽材料層的方法，該方法包括以下步驟：在一定條件下使設置在基片上的可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸，該等條件足以使該可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的密度。

【0058】 雖然上文是針對本揭示內容的實施例，但也可以在不脫離本揭示內容的基本範圍的情況下設計本揭示內容的其他及另外的實施例。

【符號說明】

【 0 0 5 9 】

- 1 0 0 : 處 理 腔 室
- 1 0 1 : 腔 室 蓋 組 件
- 1 0 2 : 側 壁
- 1 0 3 : 腔 室 蓋
- 1 0 4 : 腔 室 基 部
- 1 0 5 : 電 絕 緣 環
- 1 0 6 : 氣 體 源
- 1 0 7 : 遠 端 電 漿 源
- 1 1 2 : 淋 噴 頭
- 1 1 3 : 真 空 出 口
- 1 1 4 : 氣 體 入 口
- 1 1 5 : 基 片
- 1 1 8 : 開 口
- 1 2 0 : 處 理 容 積
- 1 2 2 : 增 壓 室
- 1 2 4 : 支 撐 軸 桿
- 1 2 6 : 開 口
- 1 2 7 : 基 片 支 撐 件
- 1 2 8 : 遠 端 電 漿
- 1 2 9 : 電 阻 式 加 熱 構 件
- 1 3 1 : 溝 槽
- 1 3 3 : 冷 卻 劑 源

1 3 7 : 冷 卻 通 道

1 4 0 : 控 制 器

1 4 2 : 電 源

1 4 4 : 開 關

2 0 0 : 電 子 器 件 結 構

2 0 1 : 基 片

2 0 2 : 器 件 層

2 0 3 : 特 徵

2 0 4 : 特 徵

2 0 5 : 特 徵

2 0 6 : 可 流 動 層

2 1 0 : 電 子 器 件 結 構

2 1 1 : 氧 自 由 基

2 1 5 : 保 護 層

2 1 6 : 頂 部

2 1 7 : 側 壁

2 1 8 : 側 壁

2 3 2 : 底 部

2 3 3 : 側 壁

2 3 4 : 側 壁

3 0 0 : 方 法

3 0 2 : 工 序 序 列

4 0 0 : 方 法

4 0 2 : 工 序 序 列

4 0 4 : 工 序 序 列

5 0 0 : 電 晶 體

5 0 1 : 基 片

5 0 2 : 鰭 片

5 0 3 : 源 極 區 域

5 0 5 : 汲 極 區 域

5 0 6 : 閘 極 電 極

【生物材料寄存】

【 0 0 6 0 】 國內寄存資訊 (請依寄存機構、日期、號碼順序註記)

無

【 0 0 6 1 】 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】 一種製作一半導體器件的方法，該方法包括以下步驟：

在一定條件下使設置在一基片上的一可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸，該等條件足以使該可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的一密度。

【請求項2】 如請求項1所述的方法，其中該可流動的含矽材料層包括一氧化物層、一氮化物層、一碳化物層、一氮氧化物層、或上述項目的組合。

【請求項3】 如請求項2所述的方法，其中該可流動的含矽材料層包括氧化矽（ SiO_2 ）、氮氧化矽（ SiON ）、氮化矽（ Si_3N_4 ）、碳氧化矽（ SiOC ）、或上述項目的組合。

【請求項4】 如請求項1到3中的任一者所述的方法，其中在10毫托到20托的一壓力下使該可流動的含矽材料層與該複數個氧自由基接觸。

【請求項5】 如請求項1到3中的任一者所述的方法，其中在100攝氏度到700攝氏度的一溫度下使一可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸。

【請求項6】 如請求項1到3中的任一者所述的方法，其中使一可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸的一持續時間高達10分鐘。

【請求項7】 如請求項1到3中的任一者所述的方法，其中該複數個氧自由基滲透通過該可流動的含矽材料層的一頂部及一底部。

【請求項8】 如請求項1到3中的任一者所述的方法，其中在一快速熱處理腔室中執行使一可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸。

【請求項9】 如請求項1到3中的任一者所述的方法，其中將該複數個氧自由基設置在一反應氣體內，其中該反應氣體包括氧、氫、氮中的一或更多者、或上述項目的組合。

【請求項10】 一種製作一半導體器件的方法，該方法包括以下步驟：

將一可流動的含矽材料層沉積在一基片的一或更多個特徵上方；及

將氧自由基植入到實質上整個該可流動的含矽材料層以使該可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的一密度。

【請求項11】 如請求項10所述的方法，其中該可流動的含矽材料層包括一氧化物層、一氮化物層、一碳化物層、一氮氧化物層、或上述項目的組合。

【請求項12】 如請求項10所述的方法，其中該可流動的含矽材料層包括氧化矽（ SiO_2 ）、氮氧化矽（ SiON ）、氮化矽（ Si_3N_4 ）、碳氧化矽（ SiOC ）、或上述項目的組合。

【請求項 13】如請求項 10 到 12 中的任一者所述的方法，其中在 10 毫托到 20 托的一壓力下執行植入氧自由基。

【請求項 14】如請求項 10 到 12 中的任一者所述的方法，其中在 100 攝氏度到 700 攝氏度的一溫度下執行植入氧自由基。

【請求項 15】如請求項 10 到 12 中的任一者所述的方法，其中執行植入氧自由基達高達 10 分鐘的一持續時間。

【請求項 16】如請求項 10 到 12 中的任一者所述的方法，其中該等氧自由基完全滲透整個該可流動的含矽材料層。

【請求項 17】如請求項 10 到 12 中的任一者所述的方法，其中在一快速熱處理腔室中執行將氧自由基植入到一可流動的含矽材料層中。

【請求項 18】如請求項 10 到 12 中的任一者所述的方法，其中在將氧自由基植入到一可流動的含矽材料層中之前，使該可流動的含矽材料層與臭氧及水接觸。

【請求項 19】一種用來製造一電子器件的裝置，該裝置包括：

一處理腔室，包括一托座以固持一基片，該基片包括該基片上方的一可流動的含矽材料層；

一氧自由基源，耦接到該處理腔室；及

一處理器，耦接到該處理腔室及該氧自由基源，其中該處理器被配置為在該處理腔室中提供足以使該可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的一密度的條件。

【請求項20】如請求項19所述的裝置，其中該可流動的含矽材料層包括氧化矽（ SiO_2 ）、氮氧化矽（ SiON ）、氮化矽（ Si_3N_4 ）、碳氧化矽（ SiOC ）、或上述項目的組合，且其中該等條件包括10毫托到20托的一壓力、100攝氏度到700攝氏度的一溫度、及高達10分鐘的一持續時間。



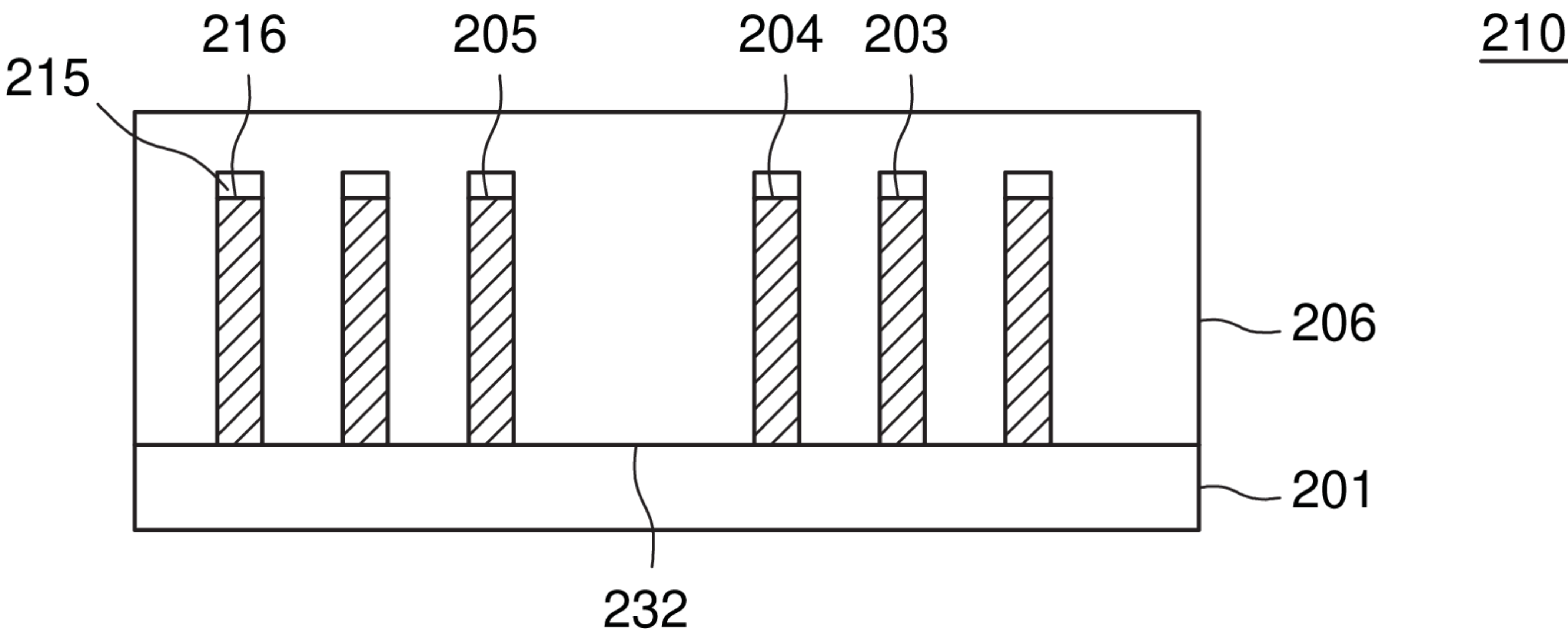


圖2B

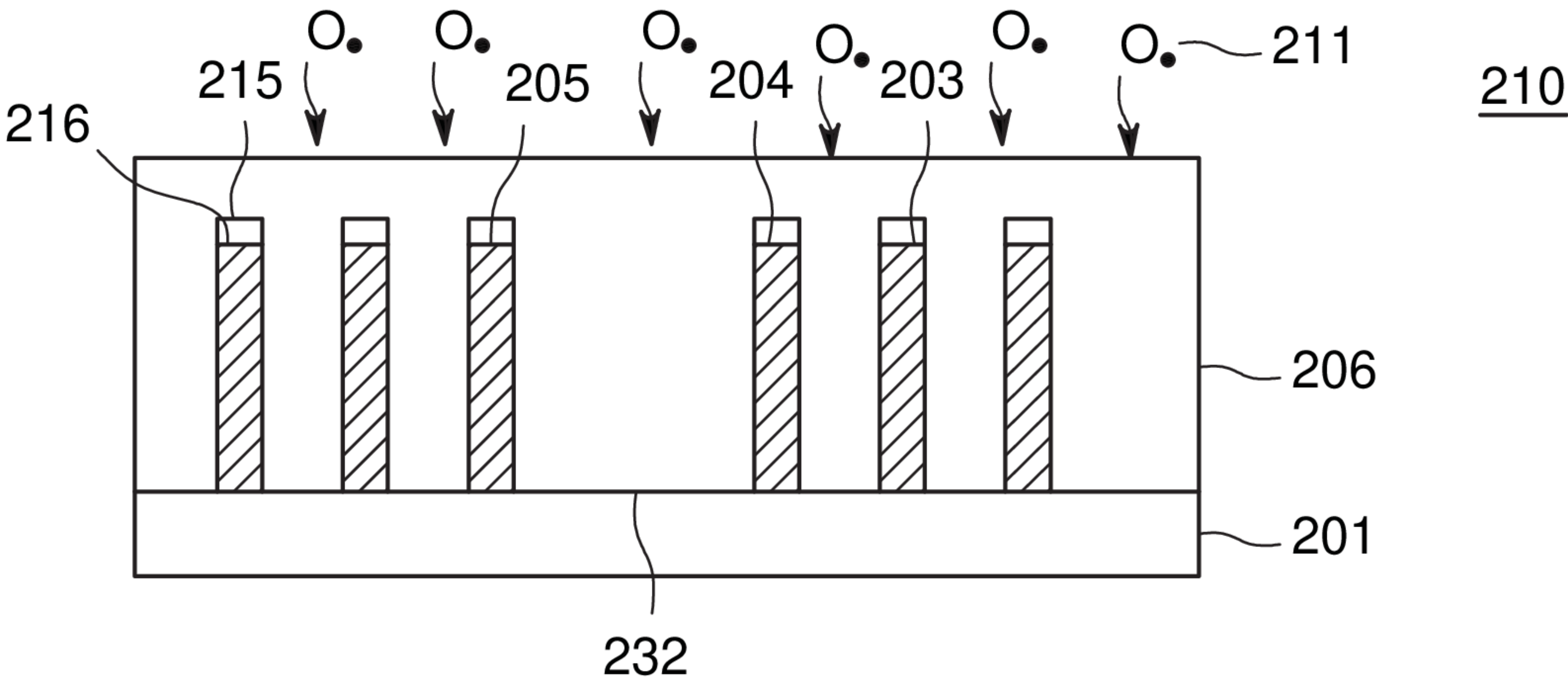


圖2C

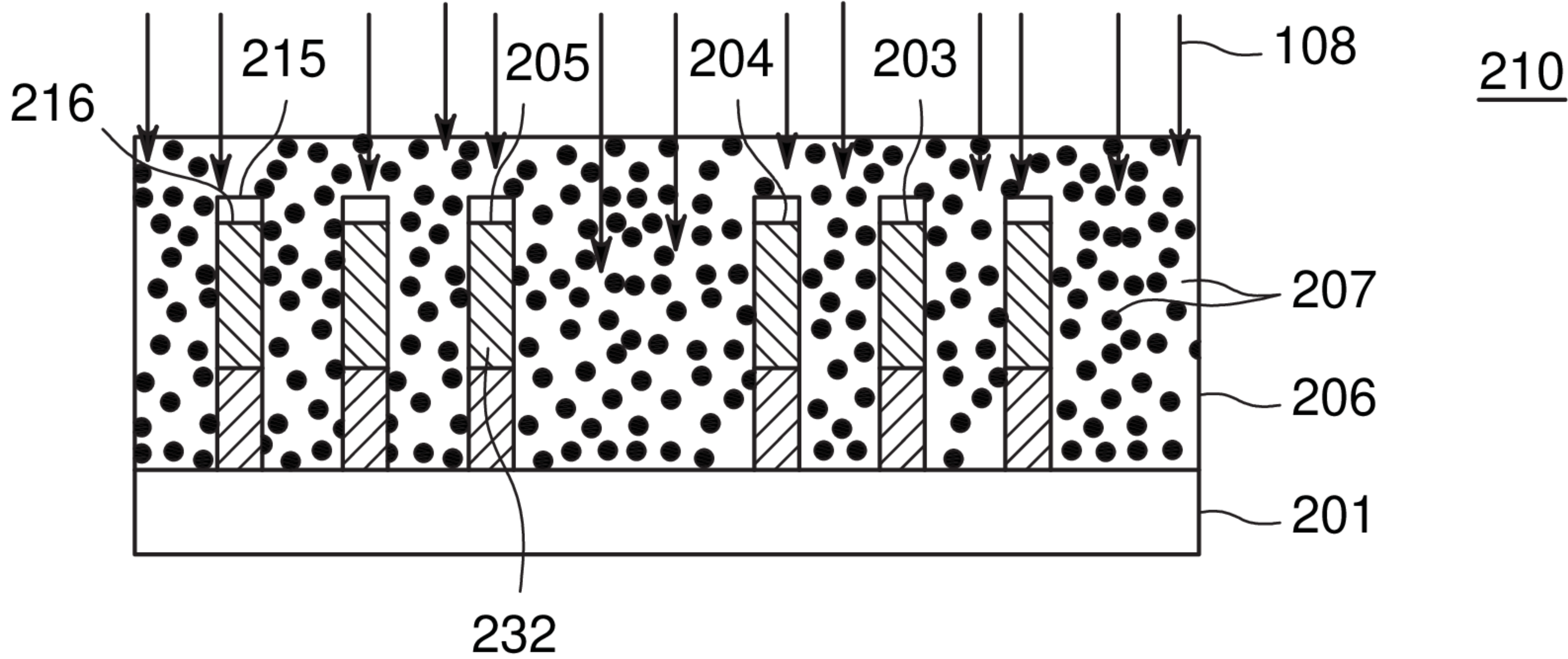


圖2D

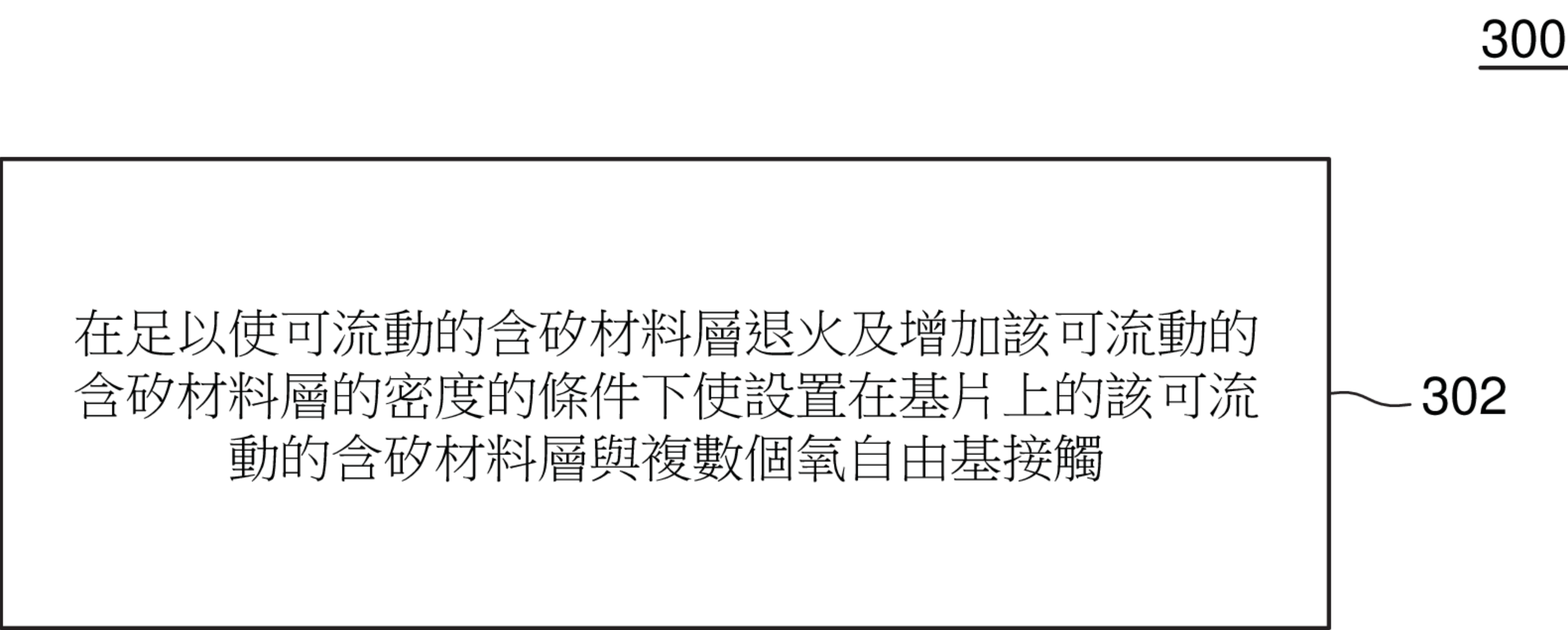


圖3

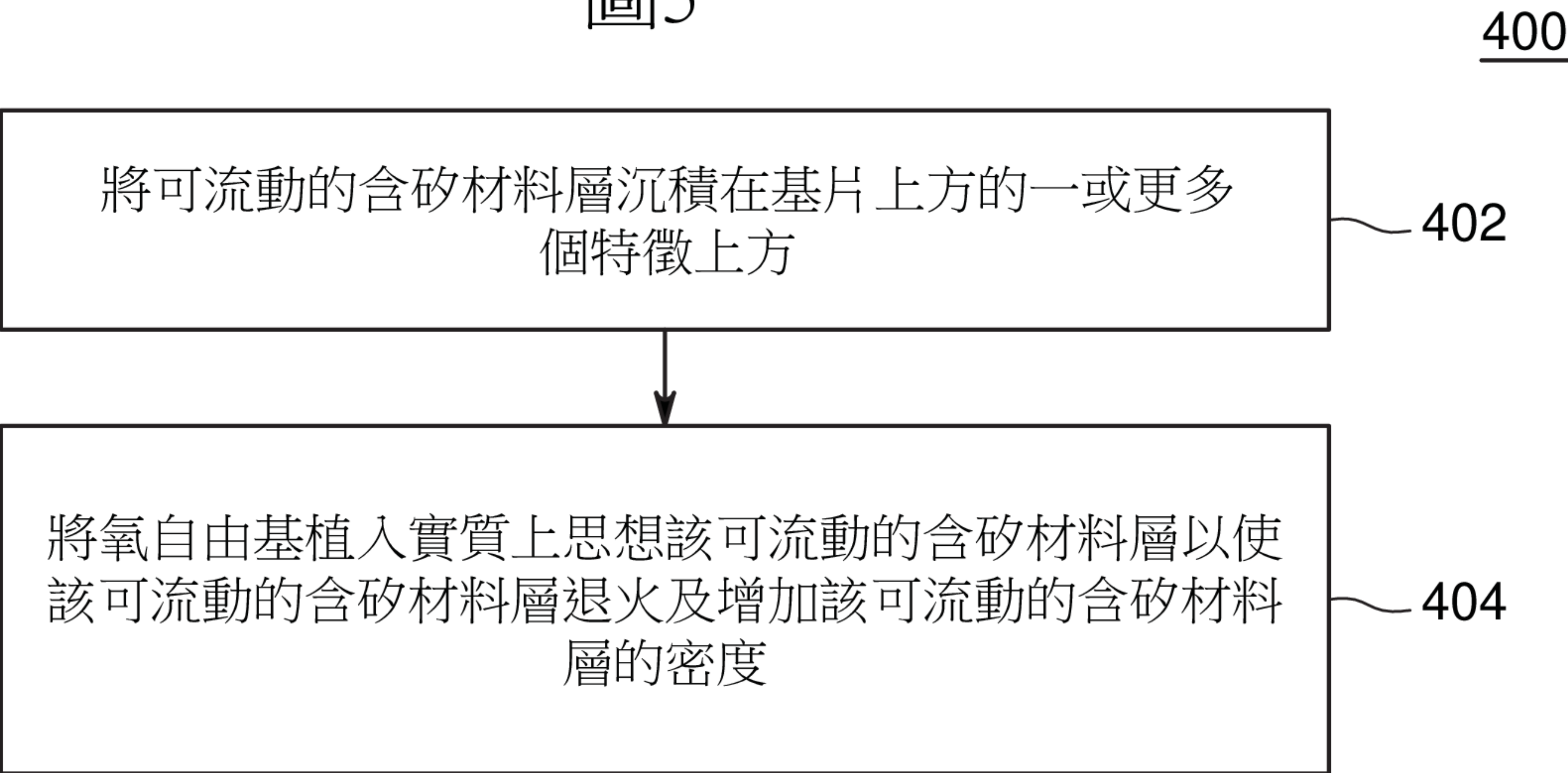


圖4

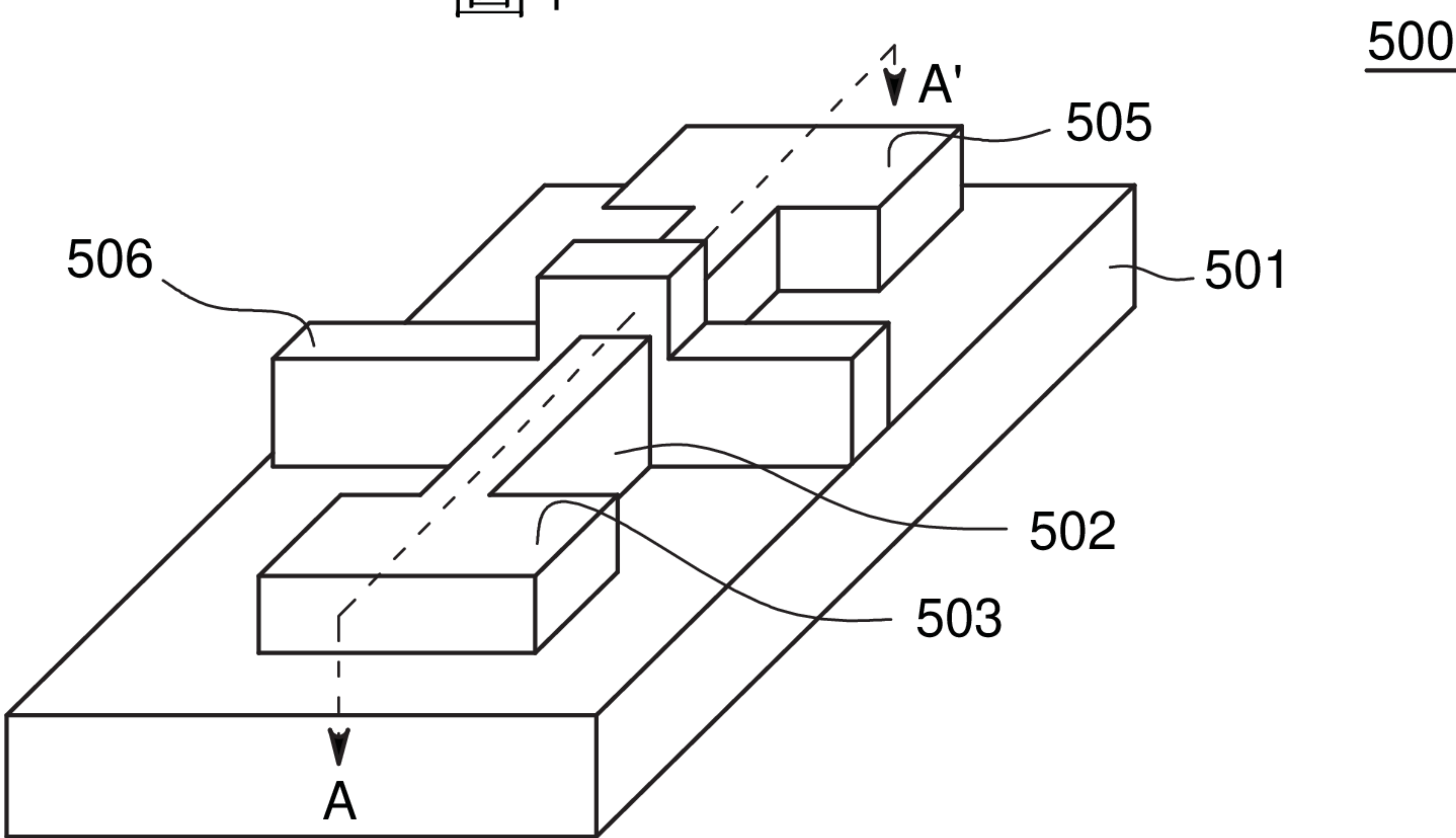


圖5



【發明摘要】

【中文發明名稱】氧自由基輔助的介電膜緻密化

【英文發明名稱】OXYGEN RADICAL ASSISTED DIELECTRIC FILM
DENSIFICATION

【中文】

本文中的實施例提供了對使用可流動化學氣相沉積（FCVD）工序來沉積的含矽材料層進行基於氧自由基的處理。對FCVD沉積的含矽材料層進行基於氧自由基的處理合乎需要地增加了穩定的Si--O鍵的數量、移除了不合需要的氫及氮的不純物、及在處理的含矽材料層中提供了進一步的緻密化及極好的膜品質。實施例包括用於製作半導體器件的方法及裝置，其包括：在足以使可流動的含矽材料層退火及增加可流動的含矽材料層的密度的條件下使設置在基片上的可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸。

【英文】

Embodiments herein provide for oxygen radical based treatment of silicon containing material layers deposited using a flowable chemical vapor deposition (FCVD) process. Oxygen radical based treatment of the FCVD deposited silicon containing material layers desirably increases the number of stable Si--O bonds, removes undesirable hydrogen and nitrogen impurities, and provides for further densification and excellent film quality in the treated silicon containing material layers. Embodiments include methods and apparatus for making a semiconductor device including: contacting a

flowable layer of silicon containing material disposed on a substrate with a plurality of oxygen radicals under conditions sufficient to anneal and increase the density of the flowable layer of silicon containing material.

【指定代表圖】第（ 1 ）圖。

【代表圖之符號簡單說明】

- 1 0 0 ： 處 理 腔 室
- 1 0 1 ： 腔 室 蓋 組 件
- 1 0 2 ： 側 壁
- 1 0 3 ： 腔 室 蓋
- 1 0 4 ： 腔 室 基 部
- 1 0 5 ： 電 絕 緣 環
- 1 0 6 ： 氣 體 源
- 1 0 7 ： 遠 端 電 漿 源
- 1 1 2 ： 淋 噴 頭
- 1 1 3 ： 真 空 出 口
- 1 1 4 ： 氣 體 入 口
- 1 1 5 ： 基 片
- 1 1 8 ： 開 口
- 1 2 0 ： 處 理 容 積
- 1 2 2 ： 增 壓 室
- 1 2 4 ： 支 撐 軸 桿
- 1 2 6 ： 開 口
- 1 2 7 ： 基 片 支 撐 件

- 1 2 8 ： 遠 端 電 漿
- 1 2 9 ： 電 阻 式 加 熱 構 件
- 1 3 3 ： 冷 卻 劑 源
- 1 3 7 ： 冷 卻 通 道
- 1 4 0 ： 控 制 器
- 1 4 2 ： 電 源
- 1 4 4 ： 開 關

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】 氧自由基輔助的介電膜緻密化

【英文發明名稱】 OXYGEN RADICAL ASSISTED DIELECTRIC FILM
DENSIFICATION

【技術領域】

【0001】 本揭示內容的實施例大致與電子器件製造及修改介電層的性質的領域相關。

【先前技術】

【0002】 介電材料在半導體工業中廣泛地用於生產尺寸不斷減少的電子器件。一般而言，將介電材料用作間隙填充膜、淺溝槽絕緣（shallow trench insulation, STI）、導孔填料、掩模、閘極介電體、或用作其他的電子器件特徵。

【0003】 介電材料一般包括含矽材料（例如二氧化矽（ SiO_2 ）），且可以使用可流動化學氣相沉積（FCVD）工序由前驅物形成可流動材料。在與使用常規方法來沉積的含矽材料層相比時，使用FCVD工序來沉積的可流動的含矽材料工序（例如含矽材料層）一般會提供高縱橫比特徵的改善的間隙填充性能。然而，發明人已經發現，一般藉由FCVD工序來提供的含矽材料層有問題地包括Si-H、Si-NH鍵及碳鍵，從而在形成氧化矽材料時導致較低或不良的氧化矽層膜密度。

【0004】 雖然可以在沉積可流動的含矽材料之後進一步處理該可流動的含矽材料，但發明人已經發現，處理方

法會由於離子轟擊而產生損傷基片上的下伏特徵及材料的風險，或在其他情況下不適於處理設置在高縱橫比的開口中的含矽材料。例如，高溫退火可能誘發導致膜破裂、剝落、或兩者的膜收縮及應力，從而阻礙了深溝槽及導孔填充應用中的介電膜形成。

【0005】 因此，需要處理沉積的可流動含矽材料以實現期望的密度及/或其他期望的材料性質的改善方法。

【發明內容】

【0006】 本文中提供了包括處理可流動的含矽材料的用於製作半導體器件的方法及裝置。在一些實施例中，一種製作半導體器件的方法包括以下步驟：在足以使可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的密度的條件下使設置在基片上的該可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸。

【0007】 在一些實施例中，一種製作半導體器件的方法包括以下步驟：將可流動的含矽材料層沉積在基片上方的一或更多個特徵上方；及將氧自由基植入或混合到實質上整個該可流動的含矽材料層以使該可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的密度。

【0008】 在一些實施例中，一種用來製造電子器件的裝置包括：處理腔室，包括托座以固持基片，該基片包括該基片上方的可流動的含矽材料層；氧自由基源，耦接到該處理腔室；及處理器，耦接到該工序腔室及該氧自由基源，其中該處理器被配置為在該處理腔室中提供足以使該

可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的密度的條件。

【0009】 本揭示內容的其他及另外的實施例被描述於下文中。

【圖式簡單說明】

【0010】 可以藉由參照描繪於附圖中的本揭示內容的說明性實施例來了解本揭示內容的實施例，該等實施例在上文被簡要概述且於下文被更詳細地論述。然而，附圖僅繪示本揭示內容的典型實施例且因此不要被視為範圍的限制，因為本揭示內容可以接納其他同等有效的實施例。

【0011】 圖1是用於本揭示內容的方法中的處理腔室的示意橫截面圖。

【0012】 圖2A是依據本揭示內容用於處理的半導體基片的側視圖。

【0013】 圖2B是依據本揭示內容的實施例沉積在半導體基片的特徵上方的可流動層的側視圖。

【0014】 圖2C示出依據本揭示內容的實施例與可流動層接觸的氧自由基。

【0015】 圖2D示出依據本揭示內容的實施例將氧自由基植入或合併到可流動層中。

【0016】 圖3是依據本揭示內容的一些實施例製作半導體器件的流程圖。

【0017】 圖4是依據本揭示內容的一些實施例製作半導體器件的實施例的流程圖。

【0018】 圖5是依據本揭示內容的一個實施例的三閘極電晶體結構的透視圖。

【0019】 為了促進了解，已儘可能使用相同的參考標號來標誌該等圖式共有的相同構件。該等圖式並不是按比例繪製的，且可以為了明確起見而簡化該等圖式。可以在不另外詳述的情況下有益地將一個實施例的構件及特徵併入其他實施例。

【實施方式】

【0020】 本文中所述的實施例大致與用於對設置在基片表面上的含矽材料層進行基於氧自由基的處理的方法相關，例如與用於對已經使用可流動化學氣相沉積

(FCVD)工序來沉積的含矽材料層進行基於氧自由基的處理的方法相關。在與使用常規方法來沉積的含矽材料層相比時，使用FCVD工序來沉積的可流動的含矽材料工序(例如氧化矽層)一般會提供高縱橫比特徵的改善的間隙填充性能。然而，發明人已經發現，可以在足以使可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的密度的條件下執行使可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸的步驟。氧自由基是反應性的，且適於深度滲透可流動的含矽材料層，從而藉由減少或消除Si-H、Si-NH、或碳鍵而導致改善的膜品質。進一步地，發明人已經觀察到，可以減少或消除由導致膜收縮及應力的常規處理(例如離子轟擊或高溫退火)所引起的損傷基片上的下伏特徵及材料的風險。

【0021】圖1是適用於本揭示內容的方法中的處理腔室的示意橫截面圖。在一些實施例中，處理腔室100包括共同界定處理容積120的腔室蓋組件101、一或更多個側壁102、及腔室基部104。腔室蓋組件101包括腔室蓋103、淋噴頭112、及電絕緣環105，該電絕緣環設置在腔室蓋103與淋噴頭112之間，這界定了增壓室122。設置通過腔室蓋103的氣體入口114流體耦接到氣體源106。在一些實施例中，氣體入口114進一步地流體耦接到遠端電漿源107。具有複數個開口118的淋噴頭112用來將處理氣體或氧自由基從增壓室122通過該複數個開口118均勻地分佈到處理容積120中，該複數個開口被設置通過該淋噴頭。

【0022】在一些實施例中，在將開關144設置在第一位置（如所示）時，電源142（例如RF或VHF電源）經由該開關電耦接到腔室蓋。在將開關設置在第二位置（未示出）時，電源142電耦接到淋噴頭112。在開關144處於第一位置時，電源142用來點燃並維持相對於基片115位於遠端的第一電漿（例如設置在增壓室122中的遠端電漿128）。遠端電漿128由流動到增壓室中的處理氣體組成，且藉由將來自電源142的電力與該遠端電漿電容耦合維持為電漿。在開關144處於第二位置時，電源142用來點燃及維持淋噴頭112與設置在基片支撐件127上的基片115之間的處理容積120中的第二電漿（未示出）。

【0023】 在一些實施例中，處理容積120通過真空出口113流體耦接到真空源（例如一或更多個專用真空泵），這將處理容積120維持在亞大氣條件下並從該處理容積抽空處理氣體及其他氣體。設置在處理容積120中的基片支撐件127被設置在支撐軸桿124上，該支撐軸桿密封地延伸通過腔室基部104，例如在腔室基部104下方的區域中被波紋管（未示出）環繞。支撐軸桿124耦接到控制馬達以升起及降低支撐軸桿124的控制器140及設置在該支撐軸桿上的基片支撐件127，以在基片115的處理期間支撐該基片並將基片115向處理腔室100及從該處理腔室傳輸。

【0024】 將基片115通過該一或更多個側壁102中的一者中的開口126裝載到處理容積120中，該開口在基片115處理期間常規上用門或閥門（未示出）密封。在本文中，使用常規的升降銷系統（未示出）將基片115向基片支撐件127的表面及從該表面傳輸，該升降銷系統包括可動地設置通過基片支撐件的複數個升降銷（未示出）。一般而言，該複數個升降銷從其下方由升降銷箍狀物（未示出）接觸並移動以延伸於基片支撐件127的表面上方，從而從該表面升舉基片115並允許由機器手搬運器接取。在升降銷箍狀物（未示出）處於降下位置時，該複數個升降銷的頂部被定位為與基片支撐件127的表面及擱置在該表面上的基片齊平或位於該表面及該基片下方。基片支撐件在下部位置與升起位置之間可動，該下部位置位於開口

126 下方且用於將基片安置在該基片支撐件上或從該基片支撐件移除基片 115，該升起位置用於基片 115 的處理。在一些實施例中，使用設置在基片支撐件中的電阻式加熱構件 129 及 / 或一或更多個冷卻通道 137 將基片支撐件 127 及設置在該基片支撐件上的基片 115 維持在期望的處理溫度下。一般而言，冷卻通道 137 流體耦接到冷卻劑源 133（例如具有相對較高的電阻的修改的水源，或致冷劑源）。在一些實施例中，將基片設置在快速熱處理腔室內，其中將燈配置為快速加熱基片。在一些實施例中，將快速熱處理腔室配置為用於依據本揭示內容來執行方法，例如在足以使可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的密度的條件下使設置在基片上的可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸。適於依據本揭示內容的配置的快速熱工序腔室的非限制性示例包括適於在短時間內將基片加熱到預定溫度的處理腔室。在一些實施例中，加熱系統包括光源，該光源被設置為使得由該光源所發射（例如來自燈）的光能量接觸並加熱基片的材料表面。在一些實施例中，依據本揭示內容將基片設置在工序腔室（例如從位於加州聖克拉拉市的應用材料有限公司可取得的 CENTURA[®] RADIANCE[®] RTP 腔室）內並暴露於退火工序。在實施例中，可以將退火腔室配置為使得可以使基片退火而不會使該基片暴露於周圍環境。

【0025】 在一些實施例中，處理腔室 100 進一步耦接到遠端電漿源 107，該遠端電漿源向處理容積 120 提供氧自

由基。一般而言，遠端電漿源（RPS）包括電感耦合電漿（ICP）源、電容耦合電漿（CCP）源、或微波電漿源。在一些實施例中，遠端電漿源是獨立的RPS單元。在其他的實施例中，遠端電漿源是與處理腔室100流體連通的第二處理腔室。在其他的實施例中，遠端電漿源是在腔室蓋103與淋噴頭112之間的增壓室122中點燃及維持的遠端電漿128。在一些其他的實施例中，從非基於電漿的自由基源（例如UV源，該UV源使用UV輻射來使第一氣體光解離成該第一氣體的自由基物種，熱線源（例如熱線CVD（HWCVD）腔室），該熱線源使用熱分解來將第一氣體解離成該第一氣體的自由基物種）向處理腔室提供氣態處理自由基。

【0026】圖2A是依據本揭示內容的電子器件結構200的側視圖。在實施例中，電子器件結構200包括基片201。在一些實施例中，基片201包括半導體材料，例如矽（Si）、鍺（Ge）、矽鍺（SiGe）、基於III-V族材料的材料、或上述項目的任何組合。在一個實施例中，基片201包括集成電路的金屬化互連層。在一個實施例中，基片201包括電子器件，例如電晶體、記憶體、電容器、電阻器、光電子器件、開關、及被電絕緣層（例如層間介電體、溝槽絕緣層、或電子器件製造領域中的技術人員所習知的任何其他絕緣層）分離的任何其他有源及無源的電子器件。在至少一些實施例中，基片201包括配置為連接金屬化層的互連結構（例如導孔）。在一個實施例中，基

片 201 是隔離器上半導體結構

(semiconductor-on-isolator, SOI) 基片，該基片包括本體下基片、中間絕緣層、及頂部單晶層。頂部單晶層可以包括上文所列舉的任何材料，例如矽。

【0027】 在一些實施例中，將器件層 202 沉積於基片 201 上。在一些實施例中，器件層 202 包括複數個特徵，例如特徵 203、204、及 205。如圖 2A 中所示，將複數個溝槽（例如溝槽 131）形成於基片 201 上及特徵之間。在實施例中，溝槽具有底部 232 及相對的側壁 233 及 234。底部 232 是特徵 204 與 205 之間的基片 201 的暴露部分。側壁 233 是特徵 205 的側壁，而側壁 234 則是特徵 204 的側壁。在一些實施例中，器件層 202 包括形成於基片 201 上的一或更多個半導體鰭片。在一些實施例中，特徵（例如 203、204、及 205）是鰭片結構以形成例如三閘極電晶體陣列，該三閘極電晶體陣列包括多個電晶體，例如圖 5 中所示的三閘極電晶體（電晶體 500）。

【0028】 在一些實施例中，特徵 203、204、及 205 的高度是在從約 30 nm 到約 500 nm（奈米）的近似範圍中。在一些實施例中，特徵 203 與 204 之間的距離為從約 2 nm 到約 100 nm。

【0029】 在一些實施例中，器件層 202 包括使用一或更多種沉積技術（例如但不限於化學氣相沉積（CVD）（例如電漿增強化學氣相沉積（PECVD））、物理氣相沉積（PVD）、分子束磊晶（MBE）、金屬有機化學氣相沉

積（MOCVD）、原子層沉積（ALD）、或電子器件製造領域中的技術人員所習知的其他沉積技術）來沉積於基片201上的一或更多個層。在一些實施例中，使用電子器件製造領域中的技術人員所習知的圖案化及蝕刻技術將器件層202的該一或更多個層圖案化及蝕刻以形成特徵（例如特徵203、204、及205）。在一個實施例中，器件層202的特徵中的每一者均是一或更多個層的堆疊。在一個實施例中，器件層202的特徵是電子器件（例如電晶體、記憶體、電容器、電阻器、光電子器件、開關、及任何其他有源及無源的電子器件）的特徵。

【0030】 在一些實施例中，器件層202的特徵包括導電層。在一些實施例中，器件層202的特徵包括金屬（例如銅（Cu）、鋁（Al）、銦（In）、錫（Sn）、鉛（Pb）、銀（Ag）、銻（Sb）、鉍（Bi）、鋅（Zn）、鎘（Cd）、金（Au）、鈺（Ru）、鎳（Ni）、鈷（Co）、鉻（Cr）、鐵（Fe）、錳（Mn）、鈦（Ti）、鈪（Hf）、鉭（Ta）、鎢（W）、釩（V）、鉬（Mo）、鈀（Pd）、金（Au）、鉑（Pt））、多晶矽、電子器件製造領域中的技術人員所習知的其他導電層、或上述項目的任何組合。

【0031】 如圖2A中所示，可選地將保護層215沉積在器件層202的特徵上方。在實施例中，保護層215覆蓋器件層202的特徵中的每一者的頂部（例如頂部216），如圖2A中所示。在一些實施例中，沉積保護層215以保護器件層202的特徵以免受到隨後階段的處理的影響。在一

些實施例中，器件層202的特徵是矽特徵。在一些實施例中，保護層215是硬質掩模層。在一些實施例中，保護層覆蓋器件層202的特徵中的每一者的頂部及側壁（例如側壁217及側壁218）。在一些實施例中，保護層215是氮化物層（例如氮化矽、氮化鈦）、氧化物層（例如氧化硼層、硼摻雜的玻璃層、氧化矽層）、其他保護層、或上述項目的任何組合。在一些實施例中，保護層215的厚度為從約2 nm到約50 nm。

【0032】 在一些實施例中，可以使用一或更多種沉積技術（例如但不限於化學氣相沉積（CVD）（例如電漿增強化學氣相沉積（PECVD））、物理氣相沉積（PVD）、分子束磊晶（MBE）、金屬有機化學氣相沉積（MOCVD）、原子層沉積（ALD）、或電子器件製造領域中的技術人員所習知的其他沉積技術）來沉積保護層215。

【0033】 圖2B示出依據本揭示內容的電子器件結構210的側視圖。在實施例中，電子器件結構210包括基片201。圖2B示出將可流動層206沉積在器件層202的特徵上方之後的器件。在一些實施例中，可流動層206覆蓋沉積於器件層的特徵的頂部、側壁上的可選保護層215及溝槽的底部（例如底部232）。在一些實施例中，在不存在保護層215的情況下將可流動層206直接沉積在器件層202的特徵的頂部及側壁上。在一些實施例中，將可流動層206沉積於基片201的部分上，從而填充在器件層202

的特徵之間的空間中。在一個實施例中，可流動層206是介電層。在一些實施例中，可流動層206的初沉積密度為例如小於或為約 1.5 g/cm^3 。在一些實施例中，藉由本揭示內容的方法來增加可流動層206的密度，例如增加到大於 1.5 g/cm^3 的量。一般而言，材料的密度指的是每單位體積的材料質量（質量除以體積）。在一些實施例中，可流動層206具有孔（未示出）。在一些實施例中，材料中的孔指的是含有所考慮的材料以外的物質（例如空氣、真空、液體、固體、或氣體或氣態混合物）使得可流動層的密度取決於位置而變化的區域。

【0034】 在一些實施例中，可流動層206是氧化物層（例如氧化矽（例如 SiO_2 ）、氧化鋁（ Al_2O_3 ）、或其他氧化物層）、氮化物層（例如氮化矽（例如 Si_3N_4 ）或其他氮化物層）、碳化物層（例如碳、 SiOC 、或其他碳化物層）、氮氧化物層（例如 SiON ）、或上述項目的任何組合。

【0035】 在一些實施例中，可流動層206是發展為可流動的含矽材料層的可流動的CVD膜，其中初沉積的膜一般含有 Si-H 、 Si-N 、及 Si-NH 鍵。然後依據本揭示內容通過固化及退火在氧化環境中將膜轉換成 Si-O 網絡。

【0036】 在一個實施例中，使用由位於加州聖克拉拉市的應用材料有限公司開發的一或更多種可流動化學氣相沉積（FCVD）沉積技術或電子器件製造領域中的技術人

員所習知的其他 F C V D 沉積技術來沉積可流動層 2 0 6。在一些實施例中，可流動層 2 0 6 的厚度為從約 3 0 n m 到約 5 0 0 n m。在一些實施例中，可流動層 2 0 6 的厚度為從約 4 0 n m 到約 1 0 0 n m。

【 0 0 3 7 】 在一些實施例中，可流動層 2 0 6 充當間隙填充層。在一些實施例中，可流動層 2 0 6 在基片的一部分上方充當間隙填充層，並在基片的其他部分上方充當硬質掩模層。在一些實施例中，可流動層 2 0 6 在高縱橫比（高度比寬度）的特徵（例如 5 : 1 或 2 0 : 1）中充當間隙填充層，其中該特徵具有小於 2 0 奈米的寬度。

【 0 0 3 8 】 現在參照圖 2 C，氧自由基（ $O\cdot$ ）2 1 1 依據本揭示內容的一些實施例接觸可流動層 2 0 6。在一些實施例中，設置在基片上的可流動的含矽材料層在足以使可流動的含矽材料層退火及 / 或增加可流動的含矽材料層的密度的條件下與複數個氧自由基（例如自由基（ $O\cdot$ ））接觸。非限制性的含矽材料包括氧化物層、氮化物層、碳化物層、氮氧化物層、或上述項目的組合。在一些實施例中，可流動的含矽材料層包括氧化矽（ SiO_2 ）、氮氧化矽（ $SiON$ ）、氮化矽（ Si_3N_4 ）、或碳氧化矽（ $SiOC$ ）。在一些實施例中，可流動的含矽材料層在 1 0 毫托到 2 0 托的壓力下與該複數個氧自由基接觸。在一些實施例中，可流動的含矽材料層在 1 0 0 攝氏度到 7 0 0 攝氏度的溫度下與複數個氧自由基接觸。在一些實施例中，可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸達高達 1 0 分鐘的持續時

間，例如10秒到10分鐘。在一些實施例中，該複數個氧自由基滲透通過可流動的含矽材料層的頂部及底部，並混合到可流動的含矽材料層中。在一些實施例中，藉由氧自由基（ $O\cdot$ ）來氧化可流動層206以在器件層202的特徵之間形成絕緣區域。在一些實施例中，藉由氧自由基（ $O\cdot$ ）來處理可流動層206以形成淺溝槽絕緣（shallow trench insulation, STI）區域。在一些實施例中，在足以使可流動的含矽材料層退火及增加可流動的含矽材料層的密度的條件下將可流動的含矽材料層206與複數個氧自由基（例如氧自由基（ $O\cdot$ ）211）一起設置在基片201上。

【0039】 在一些實施例中，將該複數個氧自由基設置在反應氣體內，其中該反應氣體包括氧（ O_2 ）、氫（ H_2 ）、或氮（ N_2 ）中的一或更多者。例如，反應氣體可以包括與氧混合的氫或與氮混合的氧的混合物。在實施例中，包括氧自由基的反應氣體可以進一步包括高達95%的氫。

【0040】 參照圖2D，示出了依據本揭示內容的實施例將複數個氧自由基（例如氧自由基（ $O\cdot$ ）211）植入到可流動層206。如圖2D中所示，向可流動層206供應複數個氧自由基（例如氧自由基（ $O\cdot$ ）211）。在一些實施例中，複數個氧自由基（例如氧自由基（ $O\cdot$ ）211）僅包括氧自由基。在實施例中，複數個氧自由基（例如氧自由基（ $O\cdot$ ）211）滲透或混合到可流動層206的1/3部分、上半部、或上2/3部分中。在一些實施例中，在足以滲透整

個可流動層 206 的條件下供應作為複數個氧自由基（例如氧自由基（ $\text{O}\cdot$ ）211）。在一些實施例中，在足以植入及混合到整個可流動層 206 的條件下供應複數個氧自由基（例如氧自由基（ $\text{O}\cdot$ ）211）。

【0041】 在一些實施例中，用足以增加可流動層 206 的密度的量供應作為複數個氧自由基（例如氧自由基（ $\text{O}\cdot$ ）211）。在一些實施例中，用足以增加可流動層 206 的密度的量及在適於增加該密度的條件下供應氧自由基（ $\text{O}\cdot$ ）211。在一些實施例中，密度由本領域中的習知技術（包括諸如指示密度的改變的濕蝕刻速率比（WERR）的代理）可測量。在一些實施例中，依據本揭示內容，形成了處理的可流動的含矽材料層，且該處理的可流動的含矽材料層在稀釋的 HF 中在 0-2 分鐘的蝕刻持續時間之後具有約 9、或約 10、或介於約 9-10 之間的濕蝕刻速率比（WERR）。在實施例中，使用稀釋的 HF（例如 1:100 的 HF）相對於熱氧化矽膜測量濕蝕刻速率比。

【0042】 現在參照圖 3，示出了依據本揭示內容的一些實施例製作半導體器件的方法的流程圖。在實施例中，方法 300 包括工序序列 302，其包括以下步驟：在足以使可流動的含矽材料層退火及 / 或增加可流動的含矽材料層的密度的條件下使設置在基片上的可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸。在一些實施例中，該方法包括以下步驟：使氮化矽層與氣態氧自由基接觸。雖然未示於方法

300中，但方法也可以可選地包括以下步驟：將基片定位在基片支撐件上，其中將基片支撐件設置在處理腔室（例如圖1中所描述的處理腔室）的處理容積中。在一些實施例中，基片的特徵在於沉積於其表面上的氮化矽層。在一些實施例中，使可流動的含矽材料層與該複數個氧自由基接觸在10毫托到20托的壓力下且在100攝氏度到700攝氏度的溫度下進行達高達10分鐘的持續時間。在實施例中，在適於滲透通過可流動的含矽材料層的頂部且滲透到底部的量及條件下施加該複數個氧自由基。在一些實施例中，在快速熱處理腔室中執行使可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸。在一些實施例中，將該複數個氧自由基設置在反應氣體內，其中反應氣體包括氧、氫、氮中的一或更多者、或上述項目的組合。

【0043】 在一些實施例中，將含矽材料至少部分地設置在形成於基片的表面中的複數個開口中。在一些實施例中，該複數個開口具有大於2:1的縱橫比（深寬比），例如大於5:1、大於10:1、大於20:1，例如大於25:1。在一些實施例中，開口的寬度小於約22 nm，例如小於約16 nm，或介於約1 nm與約20 nm之間，例如介於約10 nm與約20 nm之間。

【0044】 現在參照圖4，示出了依據本揭示內容的一些實施例製作半導體器件的方法400的流程圖。在工序序列402處，將可流動的含矽材料層沉積在基片上方的一或更多個特徵上方。在一些實施例中，使用可流動化學氣相沉

積 (FCVD) 工序來沉積氮化矽層 (例如聚矽氮烷層) 。
在一些實施例中，在用於對含矽材料層進行基於自由基的處理的同一處理腔室中執行 FCVD 工序。在一些實施例中，在與用於對含矽材料進行基於自由基的處理的處理腔室不同的處理腔室中執行 FCVD 工序。

【0045】 在一些實施例中，工序序列 402 可以包括 FCVD 工序，例如使一或更多個矽前驅物流動到處理容積中，將基片暴露於該一或更多種矽前驅物，在處理容積中提供一或更多種共反應物，及將基片暴露於該一或更多種共反應物。在一些實施例中，依序地、並行地、或用上述項目的組合進行將基片暴露於一或更多種矽前驅物及將基片暴露於該一或更多種共反應物的步驟。

【0046】 在一些實施例中，執行 FCVD，其中將處理容積的壓力合乎需要地維持在約 10 毫托與約 10 托之間，例如小於約 6 托，例如小於約 5 托，或介於約 0.1 托與約 4 托之間，例如介於約 0.5 托與約 3 托之間。在一些實施例中，將基片合乎需要地維持在約 0 攝氏度與約 400 攝氏度之間、或小於約 200 攝氏度、或約 -10 攝氏度與約 75 攝氏度之間的溫度下。

【0047】 在一些實施例中，該一或更多種矽前驅物包括矽烷化合物，例如矽烷 (SiH_4)、乙矽烷 (Si_2H_6)、丙矽烷 (Si_3H_8)、及丁矽烷 (Si_4H_{10})、或上述項目的組合。在一些其他的實施例中，矽前驅物包括具有至少一個 Si--N--Si 官能基團的矽氮烷化合物 (例如 N,N' 二

甲矽烷基三矽氮烷（A））、其他矽氮烷化合物（例如三甲矽烷基胺（TSA））、或上述項目的組合。在一些實施例中，矽前驅物包括一或更多種矽烷化合物與一或更多種矽氮烷化合物的組合。

【0048】 在一些FCVD實施例中，由在淋噴頭與腔室蓋之間的處理容積中點燃及維持的氣體（例如在圖1中所描述的增壓室122中點燃及維持的遠端電漿128）形成電容耦合電漿。在一些實施例中，上述的FCVD工序合乎需要地提供可流動的氧化矽或氮化物膜，其允許從底部向上填充形成於基片的表面中的高縱橫比的開口。例如，可以使用FCVD工序來填充具有小於20 nm的寬度及大於約10:1的縱橫比的開口。在一些實施例中，將基片維持在小於約200攝氏度的溫度下。

【0049】 在工序序列404處，方法400包括以下步驟：實質通過可流動的含矽材料層植入氧自由基以使可流動的含矽材料層退火及/或增加可流動的含矽材料層的密度。在一些實施例中，工序序列404包括以下步驟：將FCVD沉積的矽可流動層暴露於氧自由基以形成處理的矽層。在一些實施例中，在同一處理腔室中進行沉積矽層及將FCVD沉積的矽層暴露於氧自由基的FCVD。

【0050】 在一些實施例中，方法400包括以下步驟：依序重複沉積可流動的含矽材料層的至少一部分然後對至少部分地沉積的含矽材料進行基於氧自由基的處理，直到達到期望的含矽材料厚度為止。一般而言，在與將含矽材

料沉積到期望的厚度且隨後對該含矽材料進行基於自由基的處理相比時，依序重複會促進生成的處理的含矽材料的更均勻的緻密化及化學計量。

【0051】 在一些實施例中，本揭示內容與一種製作半導體器件的方法相關，該方法包括以下步驟：在足以使可流動的含矽材料層退火及增加可流動的含矽材料層的密度的條件下使設置在基片上的可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸。在一些實施例中，可流動的含矽材料層包括氧化物層、氮化物層、碳化物層、或氮氧化物層。在一些實施例中，可流動的含矽材料層包括氧化矽（ SiO_2 ）、氮氧化矽（ SiON ）、氮化矽（ Si_3N_4 ）、或碳氧化矽（ SiOC ）。在一些實施例中，在10毫托到20托的壓力下使可流動的含矽材料層與該複數個氧自由基接觸。在一些實施例中，在100攝氏度到700攝氏度的溫度下使可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸。在一些實施例中，使可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸的持續時間高達10分鐘。在一些實施例中，該複數個氧自由基滲透通過可流動的含矽材料層的頂部及底部。在一些實施例中，在快速熱處理腔室中執行使可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸。在一些實施例中，在使可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸之前，使可流動的含矽材料層與臭氧及水接觸。

【0052】 現在參照圖5，示出了依據本揭示內容的一個實施例的三閘極電晶體結構的透視圖。在一些實施例中，

將包括鰭片 502 的鰭片層形成於基片 501 上。在一些實施例中，鰭片層表示鰭片 502 的沿著 A - A' 軸線的橫截面圖。在一個實施例中，三閘極電晶體（電晶體 500）是包括多個三閘極電晶體的三閘極電晶體陣列的一部分。在一些實施例中，將藉由植入氧自由基物種來修改的可流動的介電層形成於鰭片 502 附近的基片 501 上以提供場隔離（例如 STI）區域，該場隔離區域將基片 501 上的一個電子器件與其他器件隔離，如上文針對圖 2A - 2D 所述。在一些實施例中，鰭片 502 從基片 501 的頂面凸出。鰭片 502 可以由任何眾所周知的半導體材料所形成。在一些實施例中，將閘極介電層（未示出）沉積於鰭片 502 的三個側面上。在一些實施例中，將閘極介電層形成於鰭片 502 的相對的側壁上及頂面上。如圖 5 中所示，將閘極電極 506 沉積於鰭片 502 上的閘極介電層上。閘極電極 506 如圖 5 中所示地扇形地分佈在鰭片 502 上的閘極電極上及周圍。在一些實施例中，將汲極區域 505 及源極區域 503 形成於鰭片 502 中的閘極電極 506 的相對側處，如圖 5 中所示。

【0053】 在一些實施例中，本揭示內容與一種製作半導體器件的方法相關，該方法包括以下步驟：將可流動的含矽材料層沉積在基片上方的一或更多個特徵上方；及將氧自由基植入或混合到實質上整個該可流動的含矽材料層以使該可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的密度。在一些實施例中，該可流動的含矽材料層

包括氧化矽（ SiO_2 ）、氮氧化矽（ SiON ）、氮化矽（ Si_3N_4 ）、碳氧化矽（ SiOC ）、或上述項目的組合。在一些實施例中，在10毫托到20托的壓力下執行植入氧自由基。在一些實施例中，在100攝氏度到700攝氏度的溫度下執行植入氧自由基。在一些實施例中，執行植入氧自由基達高達10分鐘的持續時間。在一些實施例中，該等氧自由基完全滲透整個該可流動的含矽材料層。在一些實施例中，在快速熱處理腔室中執行將氧自由基植入到可流動的含矽材料層中。在一些實施例中，在將氧自由基植入到可流動的含矽材料層之前，使該可流動的含矽材料層與臭氧及水接觸。

【0054】 在一些實施例中，本揭示內容與一種用來製造電子器件的裝置相關，該裝置包括：處理腔室，包括托座以固持基片，該基片包括該基片上方的可流動的含矽材料層；氧自由基源，耦接到該處理腔室；及處理器，耦接到該氧自由基源，其中該處理器被配置為在該處理腔室中提供足以使該可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的密度的條件。在一些實施例中，該可流動的含矽材料層包括氧化矽（ SiO_2 ）、氮氧化矽（ SiON ）、氮化矽（ Si_3N_4 ）、碳氧化矽（ SiOC ）、或上述項目的組合。在一些實施例中，該等條件包括10毫托到20托的壓力、100攝氏度到700攝氏度的溫度、及高達10分鐘的持續時間。

【0055】 在一些實施例中，本揭示內容與一種非暫時性電腦可讀取媒體相關，該非暫時性電腦可讀取媒體具有儲存在其上的指令，該等指令在被執行時使得工序腔室執行用於製作半導體器件的方法，該方法包括以下步驟：在一定條件下使設置在基片上的可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸，該等條件足以使該可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的密度。

【0056】 在一些實施例中，本揭示內容與一種用於處理可流動的含矽材料層的方法相關，該方法包括以下步驟：在一定條件下使設置在基片上的可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸，該等條件足以使該可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的密度。

【0057】 在一些實施例中，本揭示內容與一種非暫時性電腦可讀取媒體相關，該非暫時性電腦可讀取媒體具有儲存在其上的指令，該等指令在被執行時使得工序腔室執行用於處理可流動的含矽材料層的方法，該方法包括以下步驟：在一定條件下使設置在基片上的可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸，該等條件足以使該可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的密度。

【0058】 雖然上文是針對本揭示內容的實施例，但也可以在不脫離本揭示內容的基本範圍的情況下設計本揭示內容的其他及另外的實施例。

【符號說明】

【0059】

- 1 0 0 : 處 理 腔 室
- 1 0 1 : 腔 室 蓋 組 件
- 1 0 2 : 側 壁
- 1 0 3 : 腔 室 蓋
- 1 0 4 : 腔 室 基 部
- 1 0 5 : 電 絕 緣 環
- 1 0 6 : 氣 體 源
- 1 0 7 : 遠 端 電 漿 源
- 1 1 2 : 淋 噴 頭
- 1 1 3 : 真 空 出 口
- 1 1 4 : 氣 體 入 口
- 1 1 5 : 基 片
- 1 1 8 : 開 口
- 1 2 0 : 處 理 容 積
- 1 2 2 : 增 壓 室
- 1 2 4 : 支 撐 軸 桿
- 1 2 6 : 開 口
- 1 2 7 : 基 片 支 撐 件
- 1 2 8 : 遠 端 電 漿
- 1 2 9 : 電 阻 式 加 熱 構 件
- 1 3 1 : 溝 槽
- 1 3 3 : 冷 卻 劑 源
- 1 3 7 : 冷 卻 通 道
- 1 4 0 : 控 制 器

- 1 4 2 : 電 源
- 1 4 4 : 開 關
- 2 0 0 : 電 子 器 件 結 構
- 2 0 1 : 基 片
- 2 0 2 : 器 件 層
- 2 0 3 : 特 徵
- 2 0 4 : 特 徵
- 2 0 5 : 特 徵
- 2 0 6 : 可 流 動 層
- 2 1 0 : 電 子 器 件 結 構
- 2 1 1 : 氧 自 由 基
- 2 1 5 : 保 護 層
- 2 1 6 : 頂 部
- 2 1 7 : 側 壁
- 2 1 8 : 側 壁
- 2 3 2 : 底 部
- 2 3 3 : 側 壁
- 2 3 4 : 側 壁
- 3 0 0 : 方 法
- 3 0 2 : 工 序 序 列
- 4 0 0 : 方 法
- 4 0 2 : 工 序 序 列
- 4 0 4 : 工 序 序 列
- 5 0 0 : 電 晶 體

- 5 0 1 ： 基 片
- 5 0 2 ： 鰭 片
- 5 0 3 ： 源 極 區 域
- 5 0 5 ： 汲 極 區 域
- 5 0 6 ： 閘 極 電 極

【生物材料寄存】

【 0 0 6 0 】 國內寄存資訊 (請依寄存機構、日期、號碼順序註記)

無

【 0 0 6 1 】 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】 一種製作一半導體器件的方法，該方法包括以下步驟：

在一定條件下使設置在一基片上的一可流動的含矽材料層與複數個氧自由基接觸，該等條件足以使該可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的一密度。

【請求項2】 如請求項1所述的方法，其中該可流動的含矽材料層包括一氧化物層、一氮化物層、一碳化物層、一氮氧化物層、或上述項目的組合。

【請求項3】 如請求項2所述的方法，其中該可流動的含矽材料層包括氧化矽（ SiO_2 ）、氮氧化矽（ SiON ）、氮化矽（ Si_3N_4 ）、碳氧化矽（ SiOC ）、或上述項目的組合。

【請求項4】 如請求項1到3中的任一者所述的方法，其中在10毫托到20托的一壓力下使該可流動的含矽材料層與該複數個氧自由基接觸。

【請求項5】 如請求項1到3中的任一者所述的方法，其中在100攝氏度到700攝氏度的一溫度下使該可流動的含矽材料層與該複數個氧自由基接觸。

【請求項6】 如請求項1到3中的任一者所述的方法，其中使該可流動的含矽材料層與該複數個氧自由基接觸的一持續時間高達10分鐘。

【請求項7】 如請求項1到3中的任一者所述的方法，其中該複數個氧自由基滲透通過該可流動的含矽材料層的一頂部及一底部。

【請求項8】 如請求項1到3中的任一者所述的方法，其中在一快速熱處理腔室中執行使該可流動的含矽材料層與該複數個氧自由基接觸。

【請求項9】 如請求項1到3中的任一者所述的方法，其中將該複數個氧自由基設置在一反應氣體內，其中該反應氣體包括氧、氫、氮中的一或更多者、或上述項目的組合。

【請求項10】 一種製作一半導體器件的方法，該方法包括以下步驟：

將一可流動的含矽材料層沉積在一基片的一或更多個特徵上方；及

將氧自由基植入到實質上整個該可流動的含矽材料層以使該可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的一密度。

【請求項11】 如請求項10所述的方法，其中該可流動的含矽材料層包括一氧化物層、一氮化物層、一碳化物層、一氮氧化物層、或上述項目的組合。

【請求項12】 如請求項10所述的方法，其中該可流動的含矽材料層包括氧化矽（ SiO_2 ）、氮氧化矽（ SiON ）、氮化矽（ Si_3N_4 ）、碳氧化矽（ SiOC ）、或上述項目的組合。

【請求項13】如請求項10到12中的任一者所述的方法，其中在10毫托到20托的一壓力下執行植入氧自由基。

【請求項14】如請求項10到12中的任一者所述的方法，其中在100攝氏度到700攝氏度的一溫度下執行植入氧自由基。

【請求項15】如請求項10到12中的任一者所述的方法，其中執行植入氧自由基達高達10分鐘的一持續時間。

【請求項16】如請求項10到12中的任一者所述的方法，其中該等氧自由基完全滲透整個該可流動的含矽材料層。

【請求項17】如請求項10到12中的任一者所述的方法，其中在一快速熱處理腔室中執行將氧自由基植入到該可流動的含矽材料層中。

【請求項18】如請求項10到12中的任一者所述的方法，其中在將氧自由基植入到該可流動的含矽材料層中之前，使該可流動的含矽材料層與臭氧及水接觸。

【請求項19】一種用來製造一電子器件的裝置，該裝置包括：

一處理腔室，包括一托座以固持一基片，該基片包括該基片上方的一可流動的含矽材料層；

一氧自由基源，耦接到該處理腔室；及

一處理器，耦接到該處理腔室及該氧自由基源，其中該處理器被配置為在該處理腔室中提供足以使該可流動的含矽材料層退火及增加該可流動的含矽材料層的一密度的條件。

【請求項20】如請求項19所述的裝置，其中該可流動的含矽材料層包括氧化矽（ SiO_2 ）、氮氧化矽（ SiON ）、氮化矽（ Si_3N_4 ）、碳氧化矽（ SiOC ）、或上述項目的組合，且其中該等條件包括10毫托到20托的一壓力、100攝氏度到700攝氏度的一溫度、及高達10分鐘的一持續時間。

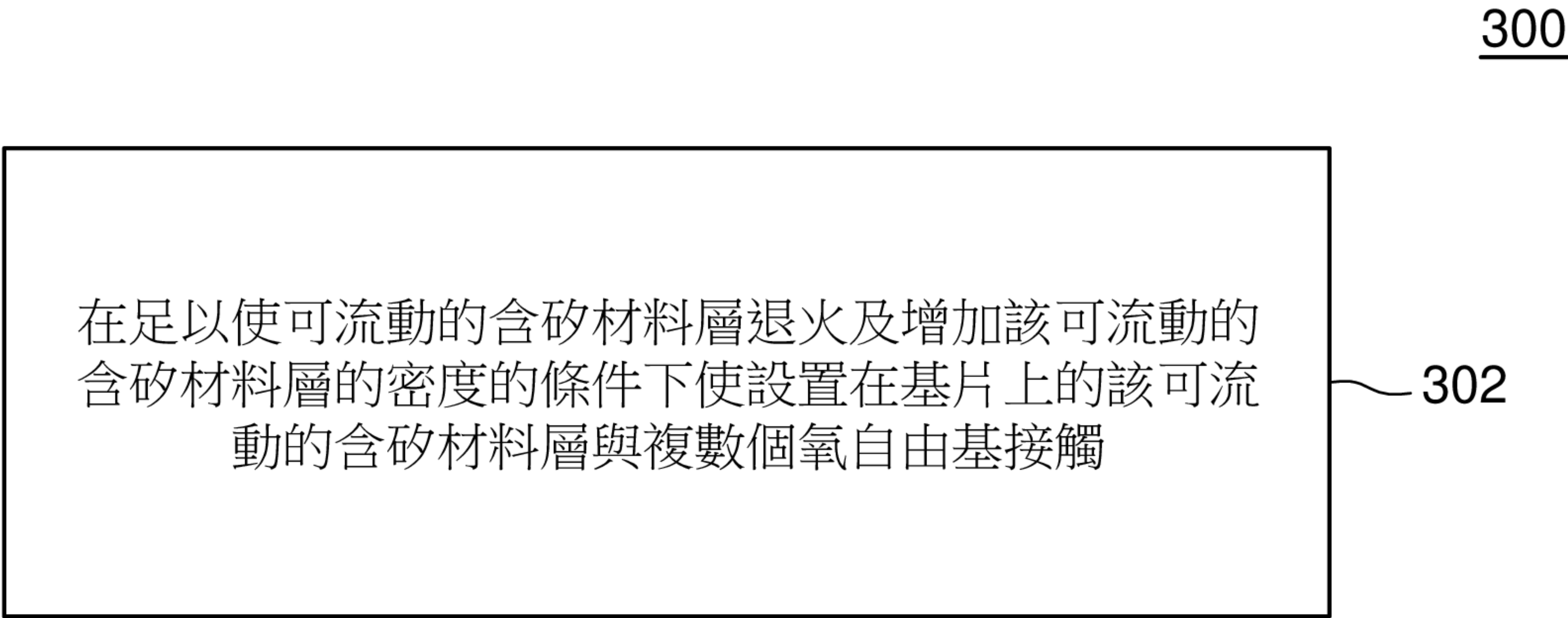


圖3

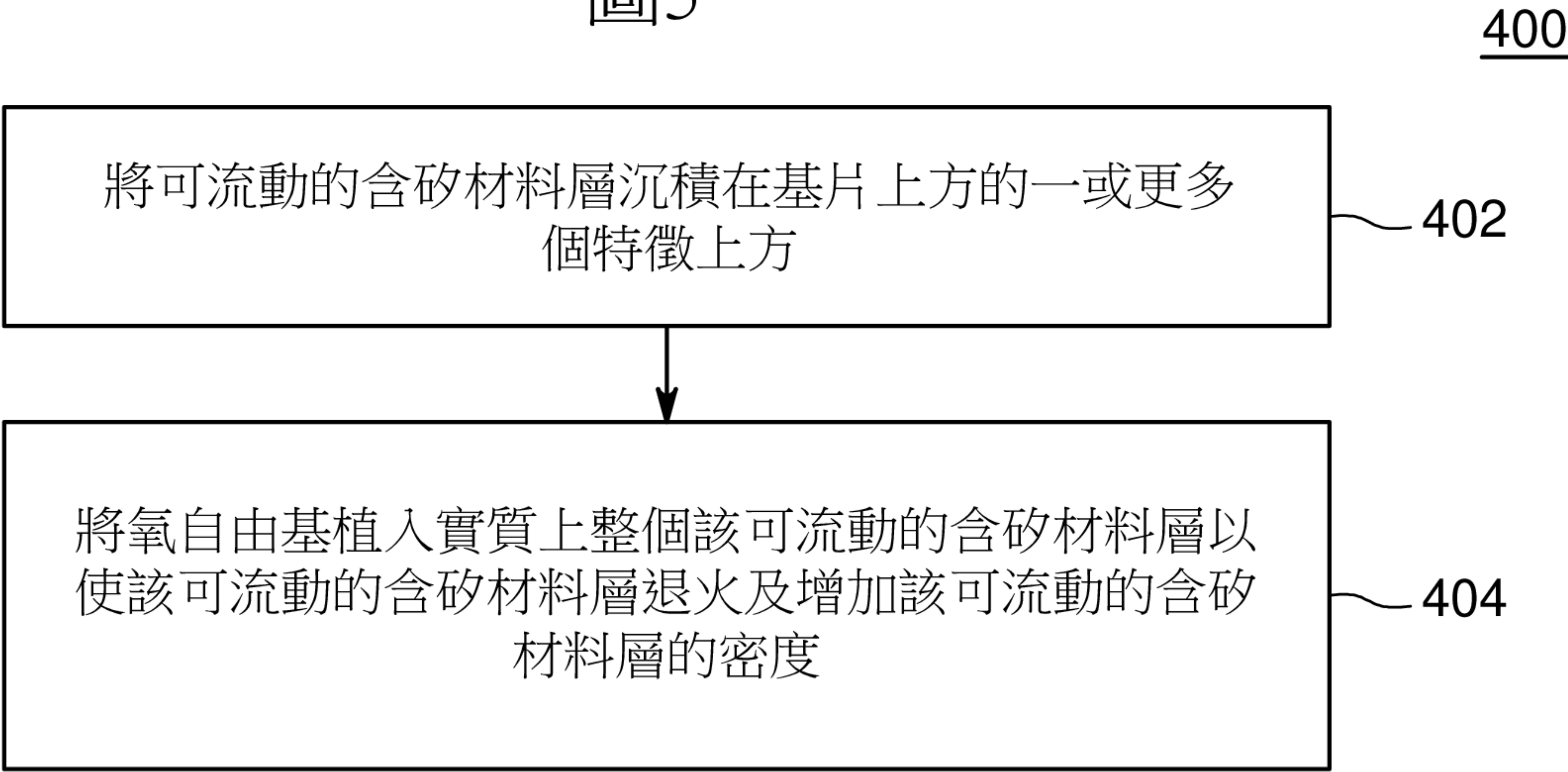


圖4

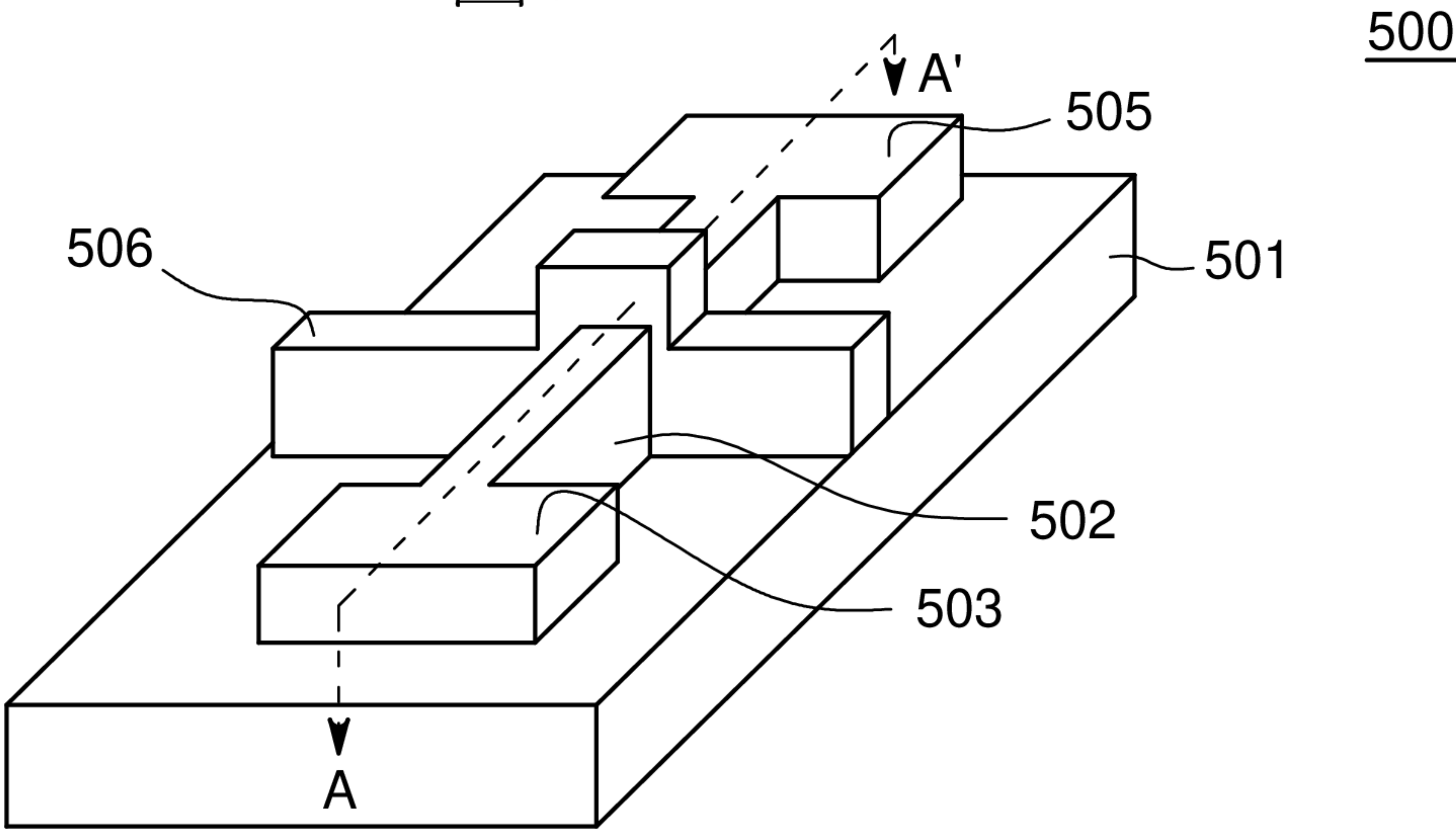


圖5