(19)中華民國智慧財產局
(12)發明說明書公開本 (11)公開編號：TW 201110831 A1
(43)公開日： 中華民國 100 (2011) 年 03 月 16 日

(21)申請案號：098129732 (22)申請日： 中華民國 98 (2009) 年 09 月 03 日
(51)Int. Cl.： *H05H1/48 (2006.01)* *H01L21/31 (2006.01)*
(71)申請人：中華映管股份有限公司 (中華民國) CHUNGHWA PICTURE TUBES, LTD. (TW)
桃園縣八德市和平路 1127 號
(72)發明人：蔡宗惠 TSAI, JEFF (TW) ；林宗穎 LIN, TSUNG YING (TW) ；廖子傑 LIAO, ZI JIE (TW) ；彭佳淩 PENG, CHIA LING (TW) ；劉家麟 LIU, CHIA LIN (TW) ；莫啟能 MO, CHI NENG (TW)
(74)代理人：詹銘文；蕭錫清
申請實體審查：有 申請專利範圍項數：21 項 圖式數：8 共 34 頁

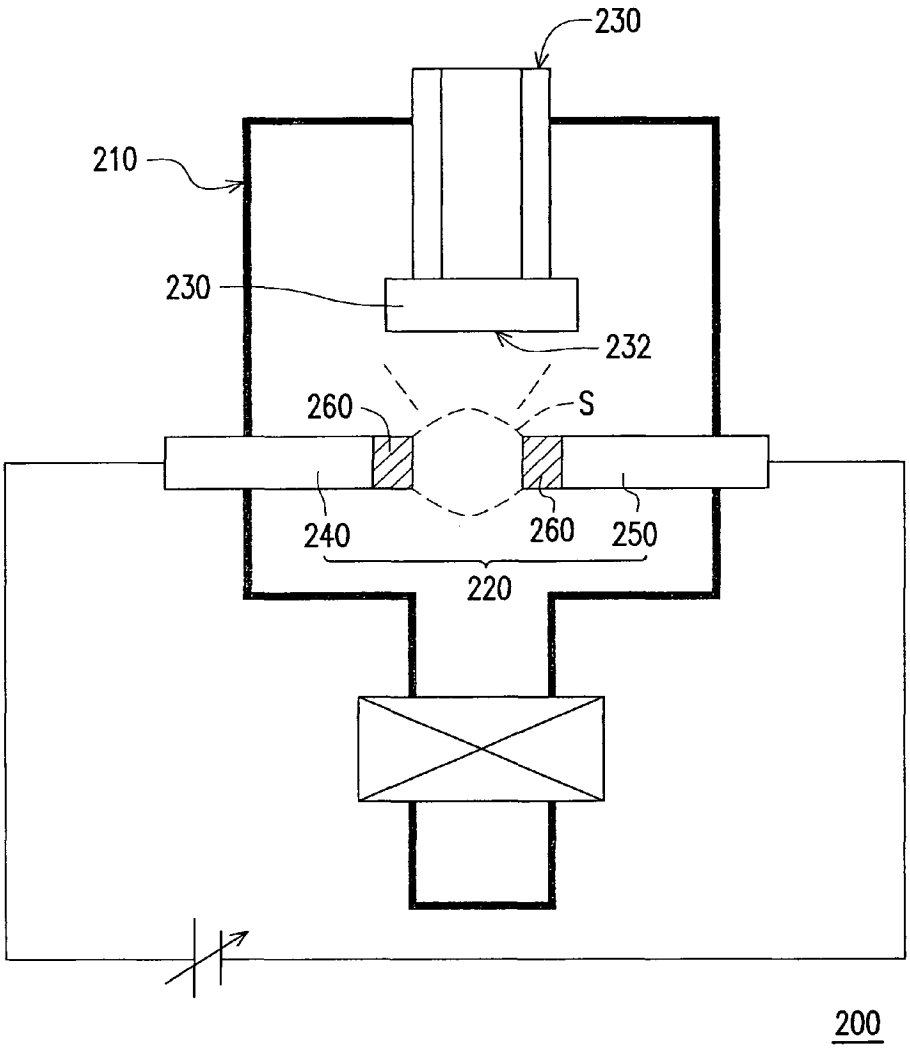
(54)名稱

電漿裝置以及奈米晶矽薄膜的製作方法

PLASMA APPARATUS AND METHOD OF FABRICATING NANO-CRYSTALLINE SILICON THIN FILM

(57)摘要

一種電漿裝置，其包括腔體、電弧電極組以及承載基座。電弧電極組位於該腔體中，該電弧電極組包括一陽極以及一陰極，其中該陰極與該陽極之間具有一電弧放電空間，且該陰極與該陽極在彼此相對的一端分別具有一結晶矽靶材，該些結晶矽靶材的電阻率小於 0.01 歐姆・公分(Ω・cm)。承載基座位於該腔體中，該承載基座具有一承載面，且該承載面面向該電弧放電空間。此外，本發明另提出一種利用上述電漿裝置形成奈米晶矽薄膜的製作方法。因此，利用本發明之電漿裝置可以製作出高品質的奈米晶矽薄膜。



200：電漿裝置
210：腔體
220：電弧電極組
230：承載基座
232：承載面
240：陽極
250：陰極
260：結晶矽靶材
S：電弧放電空間

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明是有關於一種半導體設備以及薄膜的製作方法，且特別是有關於一種電漿裝置以及奈米晶矽薄膜的製作方法。

【先前技術】

在半導體製程中，電漿(plasma)係受到廣泛的應用，例如是應用於清潔(cleaning)、塗佈(coating)、濺鍍(sputtering)、電漿化學氣相沈積(plasma CVD)、離子植入(ion implantation)、真空電弧（Vacuum Arc）、浸入式電漿離子植入（plasma immersion ion implantation, PIII）或是蝕刻(etching)等。

其中，習知技術中通常利用電漿來形成半導體製程中的薄膜，所成膜出來的產品可用於製造太陽電池用薄膜、液晶顯示器等中所使用的薄膜電晶體(Thin-Film Transistor, TFT）陣列等的各種半導體。

圖 1 為美國專利公告號 US5952061 所載之電漿裝置的示意圖。請參照圖 1，電漿裝置係包括腔體 1、承載基座 10、電極板 12、坩鍋 3、氣體管路 16。其中基板 11 放在承載基座 9 上，坩鍋 3 中填有矽合金 8 作為矽源。當直流電壓源 4 施加一電壓差於電極板 12 以及坩鍋 3 之間時，自氣體管路 16 通入的中性氣體（例如：氬氣、氦氣、氖氣、氪氣以及氙氣)可作為產生電漿的媒介，而所施加的直流電

流為一百安培到兩百安培。此時，坩鍋3中的矽合金8因受熱而產生矽蒸氣散佈於腔體1中。接著，腔體1中的矽原子蒸氣再慢慢地沈積基板11。如圖1所示，承載基座9中具有一加熱器10，承載基座9上的基板11藉由加熱器10的加熱而成長出矽薄膜。

然而，在美國專利公告號US5952061所揭示的電漿裝置中，在成長矽薄膜時需將基板上加熱至攝氏300度以上的高溫，因此對於一些較不耐熱的基板而言，例如可撓式基板，並無法在其上形成矽薄膜。這樣將使得太陽電池用薄膜、液晶顯示器等中所使用的薄膜電晶體（Thin-Film Transistor, TFT）陣列等的各種半導體的薄膜因受限於製程而無法被順利的製造在較不耐熱的基板上。

【發明內容】

本發明提供一種電漿裝置，其可以在不需額外的摻雜步驟下，形成具有優異光電特性的薄膜。

本發明提供一種奈米晶矽薄膜的製作方法，其具有優異的光電特性。

本發明提出一種電漿裝置，此電漿裝置包括一腔體、一電弧電極組以及一承載基座（substrate holder）。其中，電弧電極組位於腔體中，電弧電極組包括一陽極以及一陰極，其中陰極與陽極之間具有一電弧放電空間，且陰極與陽極在彼此相對的一端分別具有一結晶矽靶材，結晶矽靶材的電阻率小於0.01歐姆・公分(Ω・cm)。承載基座位於

腔體中，承載基座具有一承載面，且承載面面向電弧放電空間。

在本發明之一實施例中，上述之各結晶矽靶材具有一單晶矽結構，且各單晶矽結構具有高濃度摻雜的摻質(dopant)，其中摻質在各單晶矽結構中的摻雜濃度實質上為10^{19}～10^{20} atom/cm^2。更進一步來說，在上述之結晶矽靶材中具有高濃度摻雜的摻質，其中摻質之材料可以選自第三族元素，而結晶矽靶材則為P型半導體靶材。或者，摻質之材料也可視選自第五族元素，而結晶矽靶材則為N型半導體靶材。當然，在上述之結晶矽靶材中具有高濃度摻雜的摻質，摻質之材料還可以是包括了第三族元素以及第五族元素，且各結晶矽靶材構成本質型(intrinsic)半導體靶材。

在本發明之一實施例中，上述之結晶矽靶材的電阻率大於 0.005 Ω/cm。

在本發明之一實施例中，上述之電漿裝置可以進一步包括一可動式機構，與電弧電極組連接，藉由可動式機構而使陽極與陰極產生相對位移。

在本發明之一實施例中，上述之電漿裝置更包括一基板，載放於承載基座的承載面上，且承載基座更包括一冷卻系統，冷卻系統掩埋於承載面中並強行冷卻在製程期間被加熱的基板。進一步而言，冷卻系統可以包括一冷卻管路以及一冷卻劑，承載基座的內部具有一溝槽，冷卻管路穿設於溝槽中，且冷卻劑在冷卻管路中流動並進行循環。

此時，上述之承載面之溫度藉由冷卻系統而在製程期間強行冷卻至例如實質上小於攝氏 0℃。舉例而言，上述之冷卻劑包括水或液態氮。

在本發明之一實施例中，上述之基板為可撓式基板。

在本發明之一實施例中，上述之基板的受鍍面為平面、球面或鏡面。

在本發明之一實施例中，上述之電漿裝置更包括一連續進料系統與基板連接，基板藉由連續進料系統而載放於承載基座上。

在本發明之一實施例中，上述之電漿裝置更包括一氣體管路，設置於腔體的室壁上，通過氣體管路的摻雜氣體源包括二硼烷(diborane)或磷化氫(phosphine)。

本發明另提出一種奈米晶矽薄膜的製作方法，其適於利用如申請專利範圍第 1 項所述之電漿裝置進行製作，此奈米結晶薄膜的製作方法包括下列步驟。首先，提供一基板於承載基座的承載面上。接著，調整腔體中的氣體至操作壓力。之後，輸入一電壓差至陽極以及陰極之間。繼之，縮短陽極以及陰極之間的距離，以使陽極與陰極之間產生一穩定電弧電漿。接著，陽極的結晶矽靶材與陰極的結晶矽靶材藉由穩定電弧電漿而形成多個矽晶粒以及矽原子。之後，矽晶粒以及矽原子沈積於基板上而形成一奈米晶矽薄膜。

在本發明之一實施例中，上述之藉由穩定電弧電漿所形成的矽晶粒以及矽原子處於高溫狀態。此時，上述之承

載基座還可以進一步包括一冷卻系統，冷卻系統掩埋於承載面中，並且在藉由穩定電弧電漿而形成多個矽晶粒以及矽原子的步驟之前，於冷卻系統通入一冷卻劑，以強行冷卻在製程期間被加熱的基板，使得高溫的矽晶粒以及矽原子冷卻地(quench)沈積於該基板上。

在本發明之一實施例中，上述之奈米晶矽薄膜包括一連續相的非晶矽層以及多個分散於非晶矽中的單晶矽晶粒。

在本發明之一實施例中，上述之單晶矽晶粒的尺寸實質上為 100 奈米至 5 微米。

在本發明之一實施例中，上述之基板為可撓式基板，基板為連續進料，以於連續進料的基板上連續地沈積出奈米晶矽薄膜。

基於上述，本發明之電漿裝置利用具有結晶矽靶材的一電弧電極組，可以以較簡易的製程製作出高品質的奈米晶矽薄膜，在一實施例中，於承載基座設置冷卻系統，以強行冷卻在製程期間被加熱的基板，如此，可以在不耐高溫的基板上製作出奈米晶矽薄膜。

為讓本發明之上述特徵和優點能更明顯易懂，下文特舉實施例，並配合所附圖式作詳細說明如下。

【實施方式】

本發明之電漿裝置的一實施例主要是提出一種新穎且簡易的直接形成方式，利用在一組電弧電極組的相對側

分別設置一具有結晶矽的矽靶材，當在電弧電極組中的陰極與陽極之間施加適當電壓時，並利用電弧使得結晶矽靶材中的矽結晶獲得相當程度之能量，使矽結晶以及矽原子自結晶矽靶材中蒸發至氣相中，同時讓矽結晶以及矽原子均勻混合，而在基板上形成高度分散、具有矽晶粒且光電特性優異的奈米晶矽薄膜。

圖 2 為本發明一實施例之電漿裝置的剖面示意圖。請參照圖 2，此電漿裝置 200 包括一腔體 210、一電弧電極組 220 以及一承載基座 230（substrate holder）。其中，電弧電極組 220 位於腔體 210 中，電弧電極組 220 包括對向設置的一陽極 240 以及一陰極 250，其中陰極 250 與陽極 240 之間具有一電弧放電空間 S，且陰極 250 與陽極 240 在彼此相對的一端分別具有一結晶矽靶材 260，結晶矽靶材 260 的電阻率小於 0.01 歐姆・公分(Ω・cm)。承載基座 230 位於腔體 210 中，承載基座 230 具有一承載面 232，且承載面 232 面向電弧放電空間 S。藉由陰極 250 與陽極 240 之間的結晶矽靶材 260 可以以簡易的製程製作出具有光電特性優異的半導體薄膜。

更詳細而言，如圖 2 所示，結晶矽靶材 260 是分別位於陰極 250 與陽極 240 相對的一側，在本實施例中，結晶矽靶材 260 具有單晶矽結構，藉由在單晶矽結構中摻雜適當濃度的摻質而適度地調整結晶矽靶材 260 的結構以及其電阻率。換言之，電阻率可以藉由提高摻質的摻雜濃度而降低。進一步而言，提高摻質的摻雜濃度有助於在陰極 250

與陽極240之間生成電弧放電，換言之，當結晶矽靶材260的電阻率小於0.01歐姆・公分(Ω・cm)時，可以充分地使得陰極250與陽極240在合適的電壓範圍內以及電極距離時產生電弧放電。另一方面，在結晶矽靶材260中，摻雜濃度的上限並無特定的限制，惟，基於降低摻質對結晶矽靶材260中結晶性的破壞程度，摻質之摻雜濃度的上限較佳地是使結晶矽靶材260的電阻率不小於等於0.005(Ω・cm)，換言之，當結晶矽靶材260的電阻率大於0.005(Ω・cm)時，可以充分維持結晶矽靶材260中的結晶性。換言之，各結晶矽靶材260例如具有一單晶矽結構，且各單晶矽結構具有高濃度摻雜的摻質(dopant)。在本實施例中，摻質在各單晶矽結構中的摻雜濃度的範圍實質上為10^{19}～10^{20} atom/cm^2。

值得一提的是，設計者可依據欲形成半導體薄膜之產品需求，例如：半導體薄膜的結構為P型半導體、N型半導體亦或是具有P-N二極體結構等，來選擇摻質之材料。舉例而言，摻質之材料可以選自第三族元素，而結晶矽靶材260則為P型半導體靶材。或者，摻質之材料也可是選自第五族元素，而結晶矽靶材260則為N型半導體靶材。當然，摻質之材料還可以是包括了第三族元素以及第五族元素，且各結晶矽靶材260構成本質型(intrinsic)半導體靶材，結晶矽靶材260中摻質之材料的選擇端視產品需求而定，本發明並不以此為限。

圖3進一步繪示圖2之電弧電極組運動軌跡的局部放

大示意圖。請參照圖 3，在實際的運作機制上，電弧放電的形成方式例如可外接一可動式機構，且此可動式機構 270 與電弧電極組 220 連接，其中可動式機構 270 是平行於陰極 250 與陽極 240 而設置的，且可動式機構 270 例如是線性步進器。藉由可動式機構 270 而使陽極 240 與陰極 250 產生相對位移，例如陽極 240 的運動方式可以是隨時間而迫近陰極 250，而此相對位移可以是等速、等加速度、等減速度或是以一特定函數進行運作。在實務上，在陽極 240 與陰極 250 之間施加一直流電壓之後，利用可動式機構 270 漸漸地縮短陽極 240 與陰極 250 之間的間距，直到陽極 240 與陰極 250 之間產生電弧放電。如圖 3 所示，在第一時間 t_1 時，陽極 240 與陰極 250 之間具有間距 d1。接著，在第二時間 t_2，當陽極 240 與陰極 250 之間的距離迫近至間距 d2 時，陽極 240 與陰極 250 之間的電弧放電空間 S 中產生電弧放電，因此陽極 240 與陰極 250 的運動軌跡如圖 3 中的瞬時位置 P_1 以及瞬時位置 P_2 所示。

圖 4 為本發明一實施例之電漿裝置中產生電弧放電時的狀態示意圖。請參照圖 4，在電漿裝置 300 中，當電弧放電產生時，電弧瞬間所產生的高熱可將結晶矽靶材 260 中固態的矽原子 262 或是矽晶粒轉變成氣態的矽原子 262 或是矽晶粒 264，而在電弧放電空間 S 中產生矽源電漿。接著，這些氣態的矽原子 262 與矽晶粒 264 例如藉由濃度梯度效應而自具有高濃度矽源電漿的電弧放電區域擴散至基板上，再於基板上沈積具有微晶結構的奈米晶矽薄膜。

值得一提的是，發明者進一步發現，藉由上述方法所產生之同相的矽原子 262 與矽晶粒 264，存在電弧放電空間 S 中氣態之矽原子 262 與矽晶粒 264 的濃度遠高於腔體 210 內其他區域（例如基板表面）之氣體濃度，因此這些同相的矽原子 262 與矽晶粒 264 自電弧放電空間 S 往基板的沈積具有一定程度的流量，使得氣態之矽原子 262 與矽晶粒 264 在腔體 210 中產生如太陽風(solar wind)等現象，此處所謂太陽風泛指腔體中高速帶電粒子的氣流。因此，本發明之電漿裝置 300 並不需要額外反應氣體來生成電漿並藉以產生矽晶粒 264，因此本發明相較於習知技術較為簡易。

更進一步來說，設計者可依據產品所欲達成的光電特性，例如吸收光的波段，來調整奈米晶矽薄膜中矽結晶的尺寸大小、矽結晶在非晶矽薄膜中的分散程度等。更具體而言，奈米晶矽薄膜中矽晶粒 264 的設計尺寸奈米晶矽薄膜中矽晶粒 264 的尺寸可以進一步藉由調整電弧放電的能量、腔體 210 之背景壓力(background pressure)、以及基板至電弧中心之距離來加以控制。

請繼續參照圖 4，在本實施例中，在實際的製程中，基板 302 載放於承載基座 230 的承載面 232 上。並且，在承載基座 230 中設置冷卻系統 310，其中此冷卻系統 310 掩埋於承載面 232 中並強行冷卻在製程期間被加熱的基板 302，其中冷卻系統 310 例如主要是由冷卻管路 312 以及冷卻劑 314 所構成。詳言之，如圖 4 所示，承載基座 230 的內部具有一溝槽 234，冷卻管路 312 穿設於溝槽 234 中，

且冷卻劑 314 在冷卻管路 312 中流動並進行循環，以適時帶走基板 302 上在製程期間所產生的熱量。關於冷卻系統 310 中的冷卻劑 314 並無特定的限制，端視所使用的基板 302 耐熱程度而定，例如冷卻劑 314 可以是水或液態氮。

如圖 4 所示，放置於承載面 232 上的基板 302 可利用掩埋於承載面 232 中的冷卻系統 310 而被準確地控制製程溫度，如此一來，基板 302 可以選用具有可撓性的塑膠基板 302，如可撓式基板等，因此可利用上述之電漿裝置 300 而於可撓式基板上形成如 P 型半導體、N 型半導體或是具有 P-N 二極體結構之奈米晶矽薄膜。具體來說，當冷卻劑 314 使用水時，承載面 232 之溫度可藉由冷卻系統 310 而在製程期間強行冷卻，並使溫度維持在常溫或是實質上大於等於攝氏 0℃的範圍。當然，當冷卻劑 314 也可以使用液態氮，使得承載面 232 之溫度可藉由冷卻系統 310 而在製程期間強行冷卻，並使溫度維持實質上小於攝氏 0℃的範圍，例如攝氏-10℃、或是絕對溫度 77K。

因此，氣態中的矽原子 262 沈積在基板 302 上時則構成非晶矽的連續薄膜，而氣態中的矽晶粒 264 沈積在基板 302 上時則分散在非晶矽連續薄膜之中，藉此構成連續相為非晶矽而分散相為具微晶結構之矽晶粒 264 的奈米晶矽薄膜。在本實施例中，具微晶結構之矽晶粒 264 的尺寸分佈例如是實質上 100 奈米至 5 微米，關於奈米晶矽薄膜的結構將詳述於後。

請參照圖 4，在一些特殊的應用層面中，本發明之電

漿裝置 300 也可以進一步包括一氣體管路 330，設置於腔體 210 的室壁 212 上，其中通過氣體管路 330 的摻雜氣體源可以是二硼烷(diborane)等含有三族元素的化合物或是磷化氫(phosphine)等含有五族元素的化合物。如此一來，使用者也可以在連續製程中，藉由調整通入氣體的流量、種類來調整奈米晶矽薄膜中摻質的濃度與種類，更進一步來說，在實際的應用上，使用者可以在不更換結晶矽靶材 260 的情況下，在一連續的批次中，藉由調整通入氣體的種類而在一連續的奈米晶矽薄膜中沈積出同時具有 P 型半導體、N 型半導體的奈米晶矽薄膜。

此外，實務上，基板之材質可以是玻璃基板或是如塑膠基板等可撓式基板。圖 5 為本發明一實施例之電漿裝置中基板的進料方式的局部放大示意圖，其中圖 5 中僅繪示承載基座、基板以及連續進料系統為代表說明，而省略了電漿裝置中可能存在的構件，以清楚說明。在實際的運用層面上，基於量產性的考量，電漿裝置 400 可以進一步包括一連續進料系統 420 與基板 410 連接，基板 410 藉由連續進料系統 420 而載放於承載基座 230 上。如此一來，可將奈米晶矽薄膜連續地沈積於基板 410 上，而實現光電產品大面積化的可能性，並提高其應用層面。此外，本發明並不限定基板受鍍面的形狀，舉例來說，基板的受鍍面的形狀可以是平面、球面或鏡面。

下文將以一種前述圖 4 之電漿裝置 300 為例，說明利用電漿裝置 300 之奈米晶矽薄膜的製作方法，但下述實施例並不用以限定本發明。

圖 6 為本發明一實施例之奈米晶矽薄膜的製作方法，此奈米晶矽薄膜的製作方法包括下列步驟。請同時參照圖 2 與圖 6，首先，請參照步驟 S10，提供一基板 302 於承載基座 230 的承載面 232 上。之後，請參照步驟 S20，調整腔體 210 中的氣體至操作壓力。

之後，請參照步驟 S30，輸入一電壓差 V 至陽極 240 以及陰極 250 之間。繼之，請參照步驟 S40，縮短陽極 240 以及陰極 250 之間的距離，以使陽極 240 與陰極 250 之間產生一穩定電弧電漿。值得一提的是，在此步驟中，藉由穩定電弧電漿所形成的矽晶粒 264 以及矽原子 262 處於高溫狀態。接著，請參照步驟 S50，陽極 240 的結晶矽靶材 260 與陰極 250 的結晶矽靶材 260 藉由穩定電弧電漿而形成多個矽晶粒 264 以及矽原子 262。

值得注意的是，在藉由該穩定電弧電漿形成多個矽晶粒 264 以及矽原子 262 的步驟之前，更可以進一步執行步驟 S42。請參照步驟 S42，承載基座 230 還可以進一步包括一冷卻系統 310，且冷卻系統 310 掩埋於承載面 232 中，於冷卻系統 310 通入一冷卻劑 314，以強行冷卻在製程期間被加熱的基板 302，使得高溫的該些矽晶粒 264 以及矽原子 262 冷卻地(quench)沈積於該基板 302 上。

之後，請參照步驟 S60，矽晶粒 264 以及矽原子 262 沈積於基板 302 上而形成一奈米晶矽薄膜。在本實施例中，奈米晶矽薄膜包括一連續相的非晶矽層以及多個分散於非晶矽中的單晶矽晶粒 264，其中單晶矽晶粒 264 的尺

寸實質上為100奈米至5微米之間。此外，如前述，基板302也可以是可撓式基板，且基板302為連續進料，以於連續進料的基板302上連續地沈積出奈米晶矽薄膜。

以下將依據上述之電漿裝置列舉一代表性之實施例來說明本發明，但本發明並不限定於此。

[實施例]

下述實施例是利用前述如圖4所示之電漿裝置300，並依照如圖6所示之奈米晶矽薄膜的製作方法來進行奈米晶矽薄膜的製作。以下實施例可一併參照圖4與圖6。

首先，將一軟性基板302，如可撓式基板置入腔體210中。接著，利用真空幫浦將腔體210抽至實質上操作壓力為8×10^{-6}~5×10^{-5}的真空狀態。之後，於承載基座230的冷卻管路312中中通入如液態氮等冷卻劑314，使得承載於承載基座230上的基板302保持在低溫環境，在本實施例中，基板302上的溫度控制於絕對溫度77K。然後，外接一直流電源430至電弧電極組220中的陰極250及陽極240，並且於陰極250及陽極240施加一直流電流實質上為20安培至30安培。

接著，利用線性步進器使陽極240與陰極250彼此接近，直到在陰極250及陽極240之間的電弧放電空間S中產生電弧放電。如此一來，電弧放電時所產生的高熱蒸發陽極240與陰極250上結晶矽靶材260中的矽原子262與矽晶粒264，產生矽源電漿而沈積至基板302上。

藉由上述條件所形成的奈米晶矽薄膜中，其結晶比約為40%～70%，並且奈米晶矽薄膜之結構可以視產品需求而進行調整，如P型半導體結構、N型半導體結構以及P-N二極體之半導體結構。因此，在產業的利用上，利用本發明之電漿裝置300所製成的奈米晶矽薄膜具有相當的潛力可以應用於薄膜電晶體領域與太陽能電池領域，相較於非晶矽薄膜，奈米晶矽薄膜於長時間光照後具有較佳的穩定性與較高的電子遷移率，因而具有優異的光電特性。特別的是，在一實施例中，電漿裝置300可以直接在低溫的可撓式基板上形成具有微晶結構的奈米晶矽薄膜，例如塑膠基板302。因此，大幅增廣了奈米晶矽薄膜在可撓式顯示器以及可撓式太陽能電池上的應用。

此外，相較於習知技術，利用本發明之電漿裝置300來製作奈米晶矽薄膜時，並無須對基板302來使沈積至基板302上的矽原子262產生結晶化，而是直接利用電弧放電蒸發結晶矽靶材260上的矽原子262與矽晶粒264，直接在基板302上形成具有微晶結構的奈米晶矽薄膜。此外，由於沈積在基板302上之薄膜中的矽原子262與矽晶粒264的來源主要是來自於結晶矽靶材260，因此相較於需通入介質氣體作為薄膜中矽原子262來源的習知技術而言，本發明之電漿裝置300可以不需利用通入含有矽元素的氣體，可以進一步節省成本。另一方面，本發明之電漿裝置300所需之直流電流可以降低至五十安培以下，並且無需要通入任何的媒介氣體做為電漿點燃的來源，因此相

較於習知技術，本發明之電漿裝置300具有簡易且節省成本的效果。

圖7為依據本發明一實施例之電漿裝置所形成之奈米晶矽薄膜的拉曼光譜圖(Raman spectrum)。請參照圖7，令膜中之結晶體積分率為 X_c，其中結晶體積分率為 X_c 滿足下列關係式(1)：

$$X_C = \frac{I_C}{(I_C + I_a)} \qquad (1)$$

其中，I_c 代表結晶相訊號峰值強度積分，I_a 代表非結晶相訊號峰值強度積分。如圖7所示，膜中的不同區域具有不同的結晶體積分率為 X_c，如奈米晶矽薄膜之第一區域A1的結晶體積分率為 X_{c1} 實質上為67%，而奈米晶矽薄膜之第二區域A2的結晶體積分率 X_{c2} 實質上為54%。

此外，圖8為依據本發明一實施例之電漿裝置所形成之奈米晶矽薄膜的結構分析圖，其中圖8的（a）、（b）與（c）分別為奈米晶矽薄膜的穿透式電子顯微鏡圖。請先參照圖8的（a）與（b），奈米晶矽薄膜的結構主要為一連續相中的非晶矽薄膜，並且在此非晶矽薄膜中分散有球狀之具有完全結晶結構(fully crystallized structure)的顆粒，如圖8的（a）與（b）中顯示一球狀的顆粒埋置於非晶矽的基質中。並且，請參照圖8的（c），這些球狀之具有完全結晶結構是以彼此分散的型態埋置於非晶矽薄膜中。

綜上所述，本發明之電漿裝置以及本發明之奈米結晶

矽薄膜的製作方法至少具有以下優點的全部或一部份：

1. 利用具有結晶矽靶材的一電弧電極組，可以以較簡易的製程製作出高品質的奈米晶矽薄膜。

2. 在一實施例中，於承載基座設置冷卻系統，以強行冷卻在製程期間被加熱的基板，如此，可以在不耐高溫的基板上製作出奈米晶矽薄膜。

3. 本發明之奈米結晶矽薄膜中的矽原子與矽晶粒的來源主要是來自於結晶矽靶材，因此在一些實施例中，可以不需額外通入含有矽元素的氣體，進而節省成本。

4. 本發明之電漿裝置所需之直流電流可以降低至五十安培以下，因此可以進一步節省電力。

5. 在一些實施例中之電漿裝置無需要通入任何的媒介氣體做為電漿點燃的來源，因此可以使得設備與製成簡化，進而節省成本。

雖然本發明已以實施例揭露如上，然其並非用以限定本發明，任何所屬技術領域中具有通常知識者，在不脫離本發明之精神和範圍內，當可作些許之更動與潤飾，故本發明之保護範圍當視後附之申請專利範圍所界定者為準。

【圖式簡單說明】

圖 1 為習知一種電漿裝置的示意圖。

圖 2 為本發明一實施例之電漿裝置的剖面示意圖。

圖 3 進一步繪示圖 2 之電弧電極組運動軌跡的局部放大示意圖。

圖4為本發明一實施例之電漿裝置中產生電弧放電時的狀態示意圖。

圖5為本發明一實施例之電漿裝置中基板的進料方式的局部放大示意圖。

圖6為本發明一實施例之奈米晶矽薄膜的製作方法。

圖7為依據本發明一實施例之電漿裝置所形成之奈米晶矽薄膜的拉曼光譜圖(Raman spectrum)。

圖8為依據本發明一實施例之電漿裝置所形成之奈米晶矽薄膜的穿透式電子顯微鏡圖。

【主要元件符號說明】

1、210：腔體

3：坩鍋

8：矽合金

9、230：承載基座

10：加熱器

11：基板

12：電極板

16：氣體管路

200、300、400：電漿裝置

212：室壁

220：電弧電極組

232：承載面

234：溝槽

240：陽極

250：陰極

260：結晶矽靶材

270：可動式機構

262：矽原子

264：矽晶粒

302：基板

310：冷卻系統

312：冷卻管路

314：冷卻劑

330：氣體管路

400：電漿裝置

410：基板

420：連續進料系統

A1：奈米晶矽薄膜之第一區域

A2：奈米晶矽薄膜之第二區域

d1：間距

d2：間距

P_1：瞬時位置

P_2：瞬時位置

S：電弧放電空間

t_1：第一時間

t_2：第二時間

X_c、X_{c1}、X_{c2}：結晶體積分率

發明專利說明書

（本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫）

※ 申請案號：98129737
※ 申請日：98.9.3
※IPC 分類：H05H 1/48 (2006.01)
H01L 21/31 (2006.01)

一、發明名稱：

電漿裝置以及奈米晶矽薄膜的製作方法 / PLASMA APPARATUS AND METHOD OF FABRICATING NANO- CRYSTALLINE SILICON THIN FILM

二、中文發明摘要：

一種電漿裝置，其包括腔體、電弧電極組以及承載基座。電弧電極組位於該腔體中，該電弧電極組包括一陽極以及一陰極，其中該陰極與該陽極之間具有一電弧放電空間，且該陰極與該陽極在彼此相對的一端分別具有一結晶矽靶材，該些結晶矽靶材的電阻率小於 0.01 歐姆・公分(Ω・cm)。承載基座位於該腔體中，該承載基座具有一承載面，且該承載面面向該電弧放電空間。此外，本發明另提出一種利用上述電漿裝置形成奈米晶矽薄膜的製作方法。因此，利用本發明之電漿裝置可以製作出高品質的奈米晶矽薄膜。

三、英文發明摘要：

A plasma apparatus having a chamber, a set of arc

electrodes and a substrate holder is provided. The set of arc electrodes disposed within the chamber has an anode and a cathode, wherein an arc forming space is formed between the anode and the cathode. The anode and the cathode respectively have a crystallized silicon target. The crystallized silicon target of the anode is disposed on a side facing to that of the cathode, wherein the resistance of the crystallized silicon targets is smaller than $0.01\,\Omega \cdot cm$. The substrate holder is disposed within the chamber and has a carrying surface, wherein the carrying surface is face to the arc forming space. Besides, a method of fabricating nano-crystalline silicon thin film is also provided. By using the plasma apparatus, a nano-crystalline silicon thin film with high quality is formed.

七、申請專利範圍：

1. 一種電漿裝置，包括：

一腔體；

一電弧電極組，位於該腔體中，該電弧電極組包括一陽極以及一陰極，其中該陰極與該陽極之間具有一電弧放電空間，且該陰極與該陽極在彼此相對的一端分別具有一結晶矽靶材，該些結晶矽靶材的電阻率小於 0.01 歐姆・公分(Ω・cm)；以及

一承載基座（substrate holder），位於該腔體中，該承載基座具有一承載面，且該承載面面向該電弧放電空間。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之電漿裝置，其中各該結晶矽靶材具有一單晶矽結構，且各該單晶矽結構具有高濃度摻雜的摻質(dopant)，該摻質在各該單晶矽結構中的摻雜濃度實質上為 10^{19}～10^{20} atom/cm^2。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述之電漿裝置，其中該些結晶矽靶材中具有高濃度摻雜的摻質，該摻質之材料選自第三族元素，且該些結晶矽靶材為 P 型半導體靶材。

4. 如申請專利範圍第 1 項所述之電漿裝置，其中該些結晶矽靶材中具有高濃度摻雜的摻質，該摻質之材料選自第五族元素，且該些結晶矽靶材為 N 型半導體靶材。

5. 如申請專利範圍第 1 項所述之電漿裝置，其中該些結晶矽靶材中具有高濃度摻雜的摻質，該摻質之材料包括第三族元素以及第五族元素，且各該結晶矽靶材為本質型(intrinsic)半導體靶材。

6. 如申請專利範圍第 1 項所述之電漿裝置，其中該些結晶矽靶材的電阻率大於 0.005 Ω/cm。

7. 如申請專利範圍第 1 項所述之電漿裝置，更包括一可動式機構，與該電弧電極組連接，藉由該可動式機構而使該陽極與該陰極產生相對位移。

8. 如申請專利範圍第 1 項所述之電漿裝置，更包括一基板，載放於該承載基座的該承載面上，且該承載基座更包括一冷卻系統，該冷卻系統掩埋於該承載面中並強行冷卻在製程期間被加熱的該基板。

9. 如申請專利範圍第 8 項所述之電漿裝置，其中該冷卻系統包括一冷卻管路以及一冷卻劑，該承載基座的內部具有一溝槽，該冷卻管路穿設於該溝槽中，且該冷卻劑在該冷卻管路中流動並進行循環。

10.如申請專利範圍第 9 項所述之電漿裝置，其中該承載面之溫度藉由該冷卻系統而在製程期間強行冷卻至實質上小於攝氏 0℃。

11.如申請專利範圍第 9 項所述之電漿裝置，其中該冷卻劑包括水或液態氮。

12. 如申請專利範圍第 8 項所述之電漿裝置，其中該基板為可撓式基板。

13. 如申請專利範圍第 8 項所述之電漿裝置，其中該基板的受鍍面為平面、球面或鏡面。

14. 如申請專利範圍第 8 項所述之電漿裝置，更包括一連續進料系統，與該基板連接，該基板藉由該連續進料

系統而載放於該承載基座上。

15. 如申請專利範圍第 1 項所述之電漿裝置，更包括一氣體管路，設置於該腔體的室壁上，通過該氣體管路的摻雜氣體源包括二硼烷(diborane)或磷化氫(phosphine)。

16.一種奈米晶矽薄膜的製作方法，其適於利用如申請專利範圍第 1 項所述之電漿裝置進行製作，該奈米結晶薄膜的製作方法包括：

提供一基板於該承載基座的該承載面上；

調整該腔體中的氣體至操作壓力；

輸入一電壓差至該陽極以及該陰極之間；

縮短該陽極以及該陰極之間的距離，以使該陽極與該陰極之間產生一穩定電弧電漿；

該陽極的該結晶矽靶材與該陰極的該結晶矽靶材藉由該穩定電弧電漿而形成多個矽晶粒以及矽原子；以及

該些矽晶粒以及矽原子沈積於該基板上而形成一奈米晶矽薄膜。

17. 如申請專利範圍第 16 項所述之奈米晶矽薄膜的製作方法，其中藉由該穩定電弧電漿所形成的該些矽晶粒以及矽原子處於高溫狀態。

18. 如申請專利範圍第 17 項所述之奈米晶矽薄膜的製作方法，其中該承載基座更包括一冷卻系統，該冷卻系統掩埋於該承載面中，並且在藉由該穩定電弧電漿而形成多個矽晶粒以及矽原子的步驟之前，於冷卻系統通入一冷卻劑，以強行冷卻在製程期間被加熱的該基板，使得高溫

的該些矽晶粒以及矽原子冷卻地(quench)沈積於該基板上。

19. 如申請專利範圍第 16 項所述之奈米晶矽薄膜的製作方法，其中該奈米晶矽薄膜包括一連續相的非晶矽層以及多個分散於該非晶矽中的單晶矽晶粒，且該些單晶矽晶粒的尺寸實質上為 100 奈米至 5 微米。

20. 如申請專利範圍第 19 項所述之奈米晶矽薄膜的製作方法，其中該些單晶矽晶粒的尺寸實質上為 100 奈米至 5 微米。

21. 如申請專利範圍第 16 項所述之奈米晶矽薄膜的製作方法，其中基板為可撓式基板，該基板為連續進料，以於連續進料的該基板上連續地沈積出該奈米晶矽薄膜。

31663TW_J

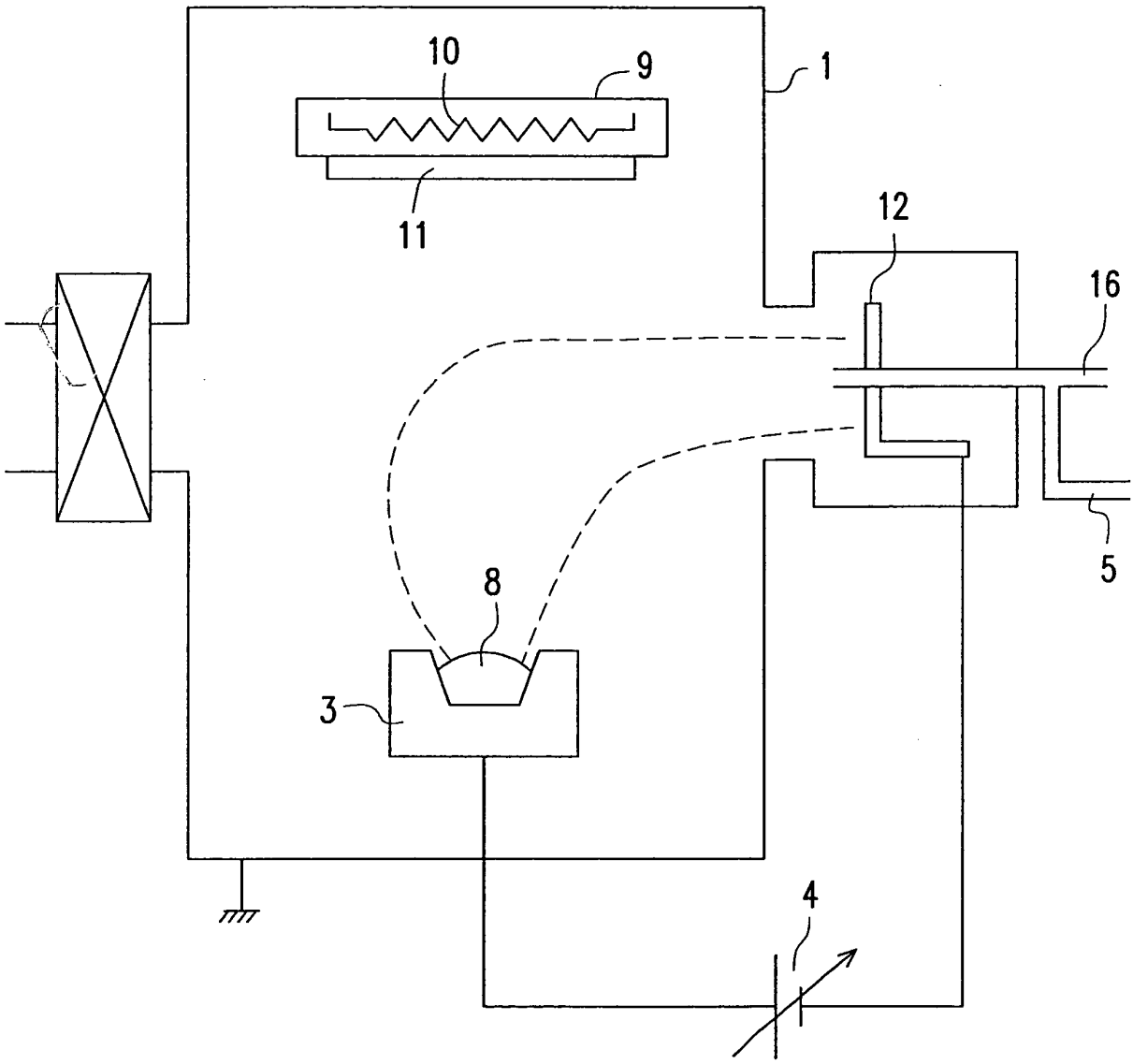


圖 1

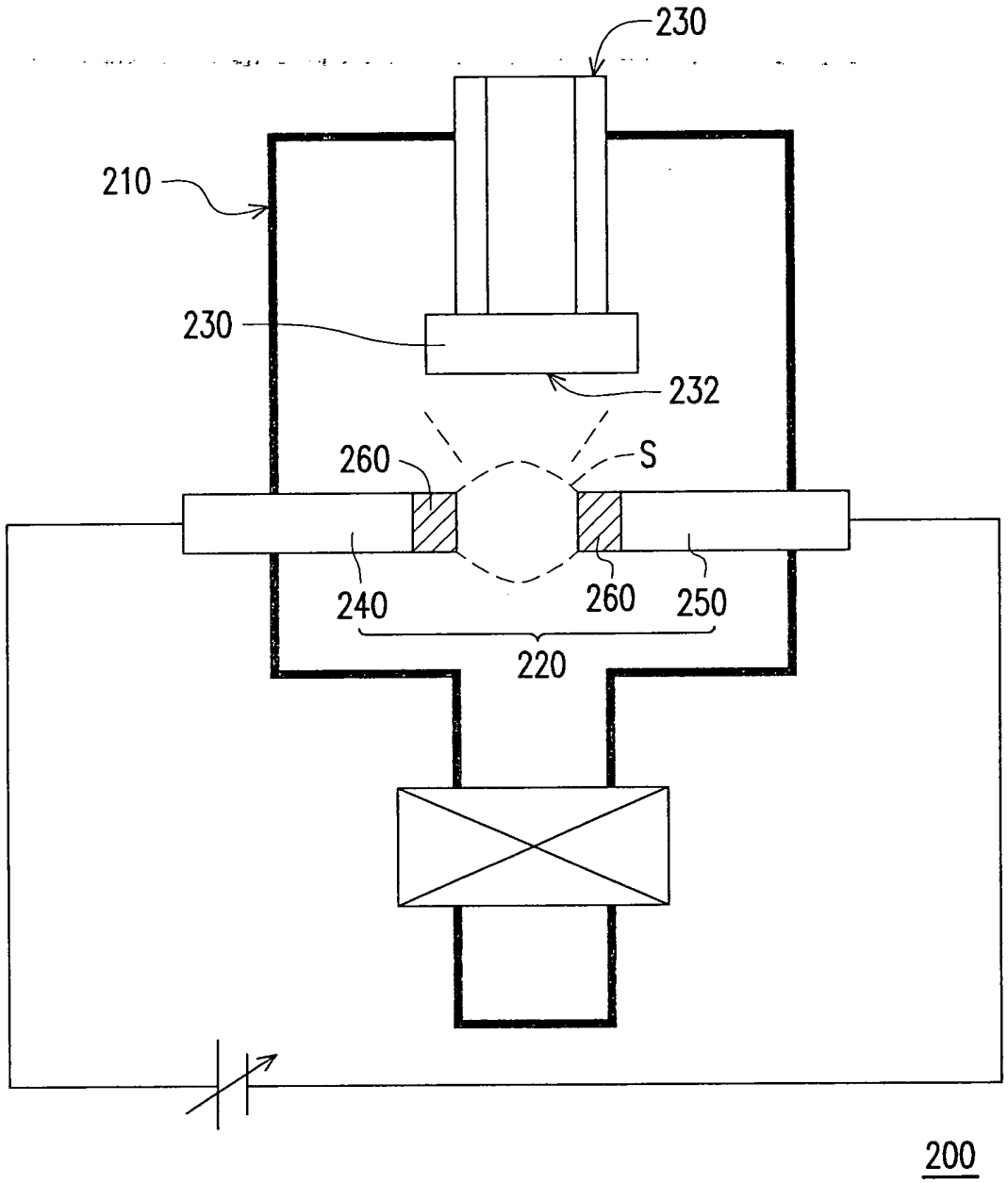


圖 2

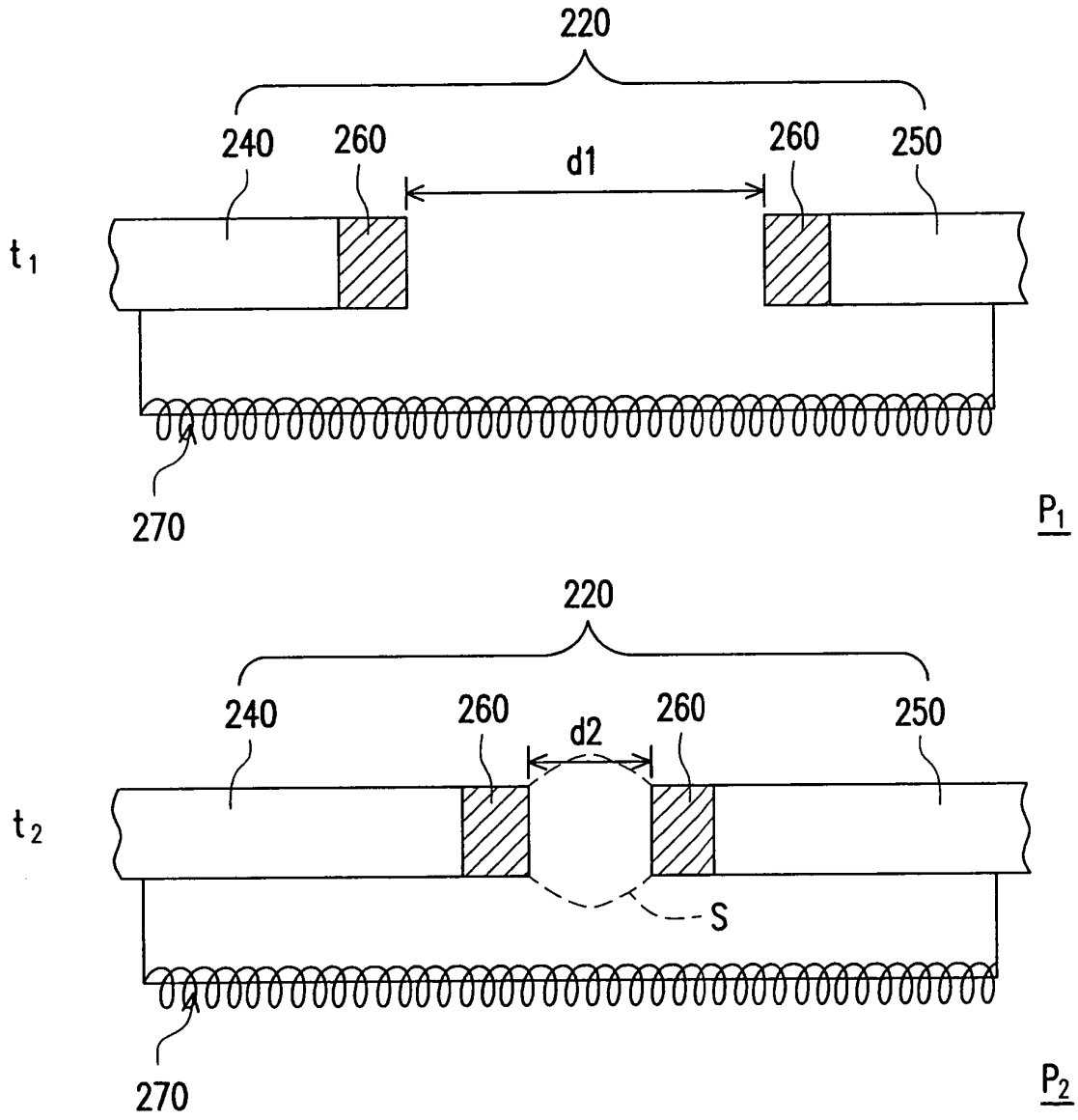


圖 3

31663TW_J

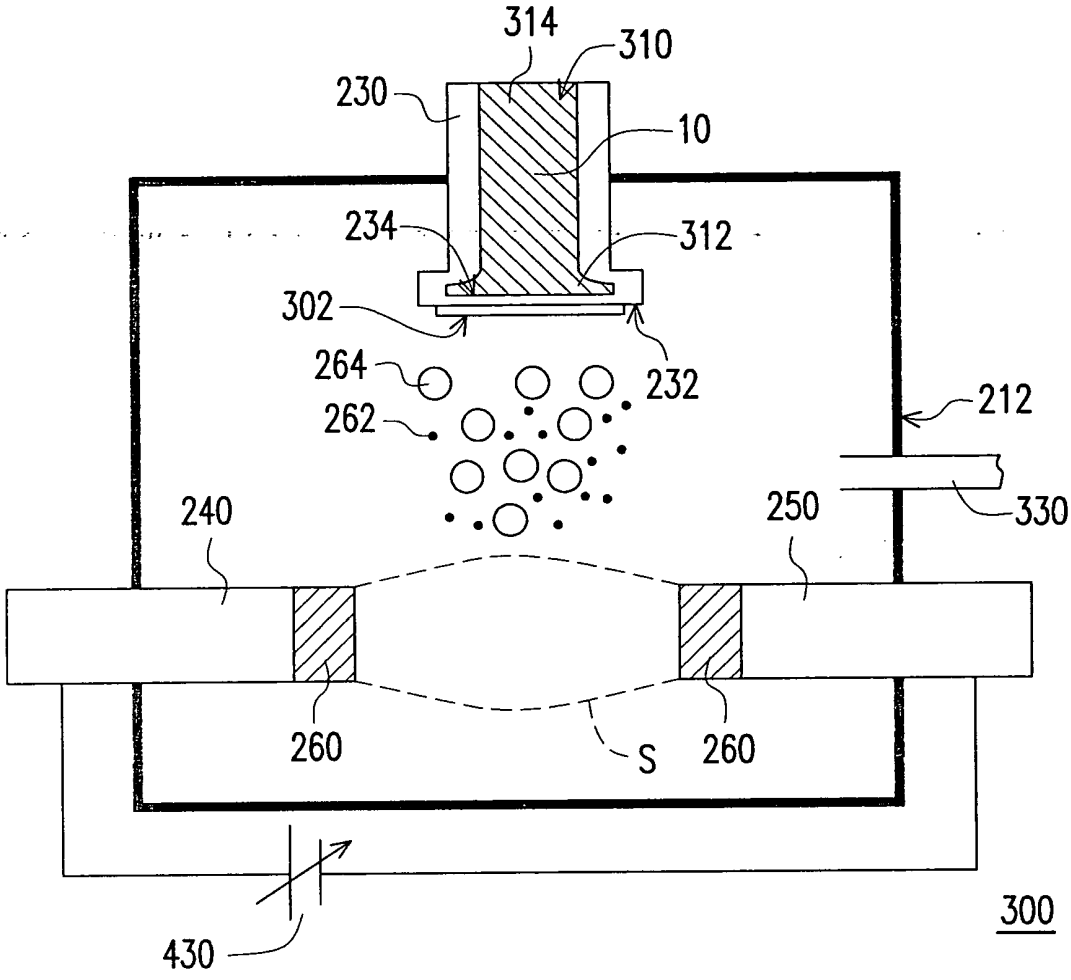


圖 4

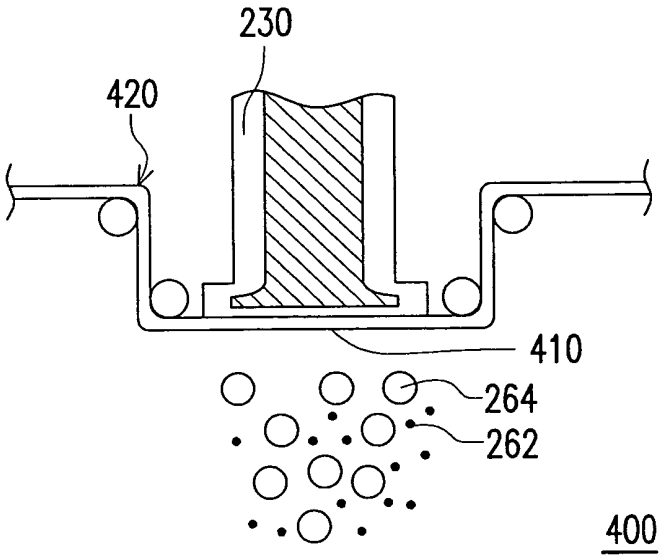


圖 5

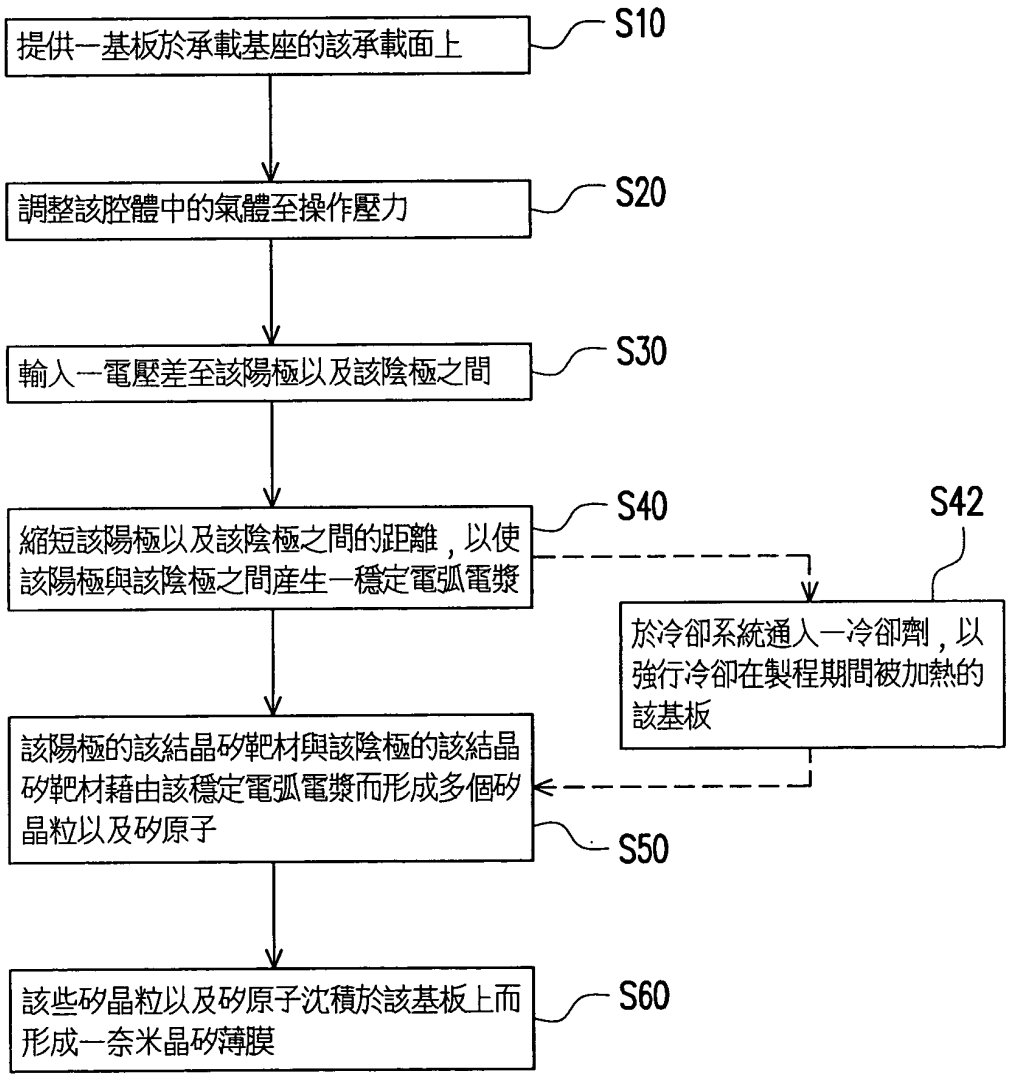

提供一基板於承載基座的該承載面上
S10
調整該腔體中的氣體至操作壓力
S20
輸入一電壓差至該陽極以及該陰極之間
S30
縮短該陽極以及該陰極之間的距離，以使該陽極與該陰極之間產生一穩定電弧電漿
S40
S42
於冷卻系統通入一冷卻劑，以強行冷卻在製程期間被加熱的該基板
該陽極的該結晶矽靶材與該陰極的該結晶矽靶材藉由該穩定電弧電漿而形成多個矽晶粒以及矽原子
S50
該些矽晶粒以及矽原子沈積於該基板上而形成一奈米晶矽薄膜
S60

圖 6

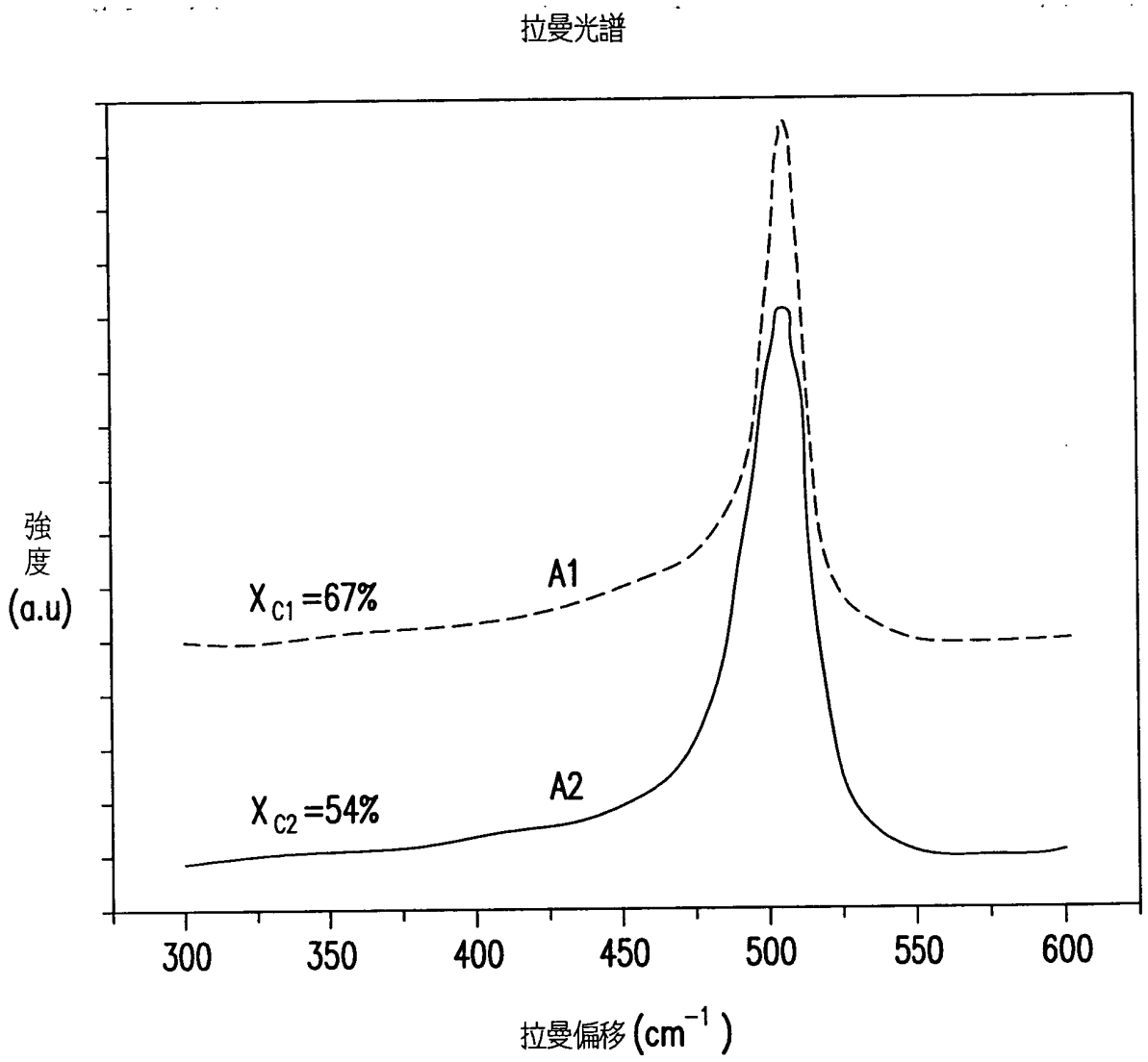

拉曼光譜
強度
(a.u)
X_{C1}=67%
A1
X_{C2}=54%
A2
300
350
400
450
500
550
600
拉曼偏移 (cm^{-1})

圖 7

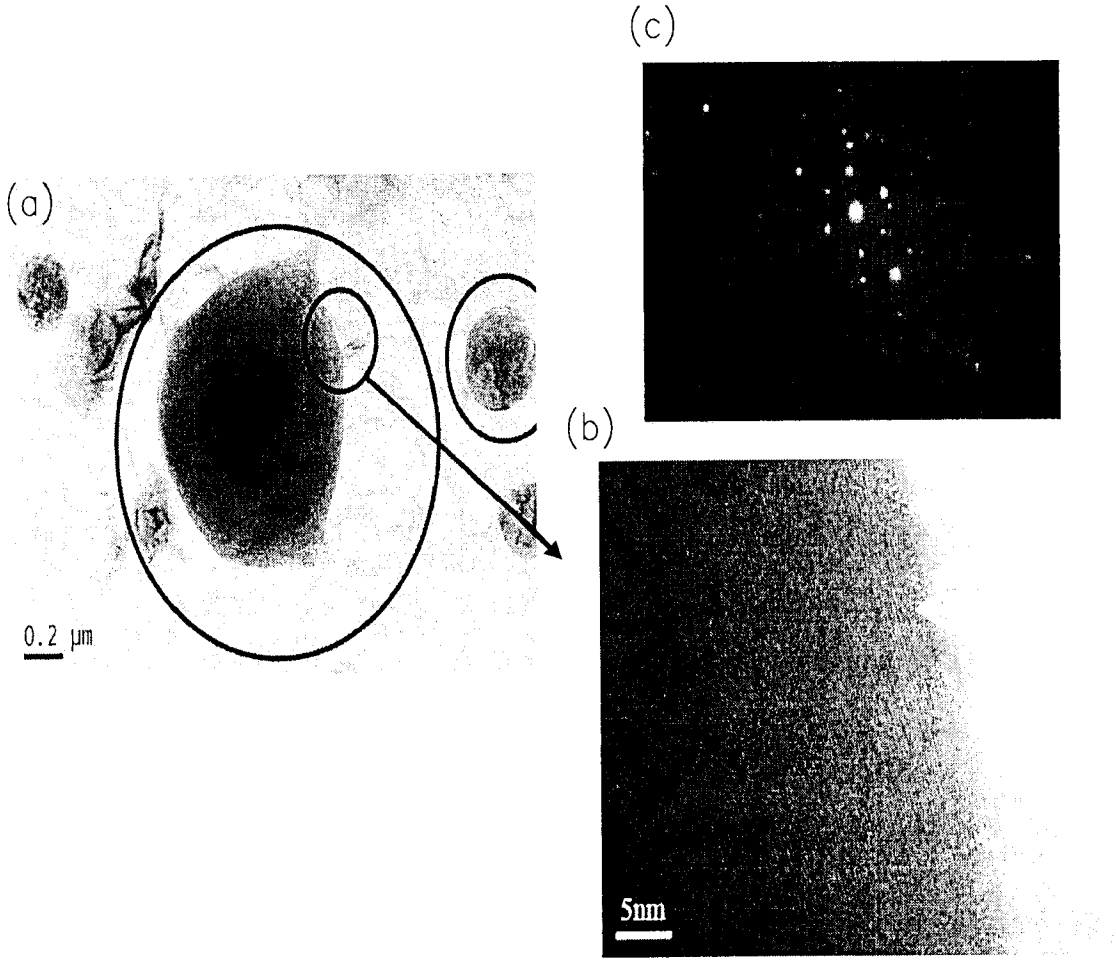


圖 8

四、指定代表圖：

（一）本案之指定代表圖：圖 2

（二）本代表圖之元件符號簡單說明：

200：電漿裝置

210：腔體

220：電弧電極組

230：承載基座

232：承載面

240：陽極

250：陰極

260：結晶矽靶材

S：電弧放電空間

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無