



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I541970 B

(45)公告日：中華民國 105 (2016) 年 07 月 11 日

(21)申請案號：103107900

(22)申請日：中華民國 103 (2014) 年 03 月 07 日

(51)Int. Cl. : H01L23/52 (2006.01)

H01L21/768 (2006.01)

(30)優先權：2013/08/29 日本

2013-178713

(71)申請人：東芝股份有限公司 (日本) KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA (JP)
日本(72)發明人：齋藤達朗 SAITO, TATSURO (JP)；和田真 WADA, MAKOTO (JP)；磯林厚伸
ISOBAYASHI, ATSUNOBU (JP)；梶田明広 KAJITA, AKIHIRO (JP)；宮崎久生
MIYAZAKI, HISAO (JP)；酒井忠司 SAKAI, TADASHI (JP)

(74)代理人：林志剛

(56)參考文獻：

TW 201136828A

TW 201221466A

TW 201230063A

TW 201308383A

CN 1399015A

審查人員：彭大慶

申請專利範圍項數：15 項 圖式數：6 共 23 頁

(54)名稱

半導體裝置及其製造方法

SEMICONDUCTOR DEVICE AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME

(57)摘要

本發明係將 CNT 使用在接觸通孔的半導體裝置，具備：基板，其係具有接觸通孔用溝；CNT 成長用的觸媒層，其係形成於前述溝的底面；及 CNT 通孔，其係將複數根的 CNT 埋入至形成有前述觸媒層的前述溝內而形成。

而且，前述 CNT 係使複數的石墨烯層自前述溝的深度方向傾斜的狀態下層疊形成，且以前述石墨烯層的末端露出於側壁的方式形成。並且，至少 1 種類的元素係從前述 CNT 的側壁摻雜至該 CNT 中。

According to one embodiment, a semiconductor device in which CNTs are used for a contact via comprises a substrate includes a contact via groove, a catalyst layer for CNT growth which is formed at the bottom of the groove, and a CNT via formed by filling the CNTs into the groove in which the catalyst layer is formed. Each of the CNTs is formed by stacking a plurality of graphene layers in a state in which they are inclined depthwise with respect to the groove, and formed such that ends of the graphene layers are exposed on a sidewall of the CNT. Further, the CNT is doped with at least one element from the sidewall of the CNT.

指定代表圖：

符號簡單說明：

10 . . . Si 基板(半導體基板)

11, 21, 41 . . . 蓋層

12 . . . 配線層絕緣膜

15 . . . 下層配線

22 . . . 絕緣膜

23 . . . 接觸通孔用溝

30 . . . CNT 通孔

31 . . . 輔助觸媒層

32 . . . 觸媒層

33 . . . CNT

42 . . . 絕緣膜

45 . . . 上層配線層

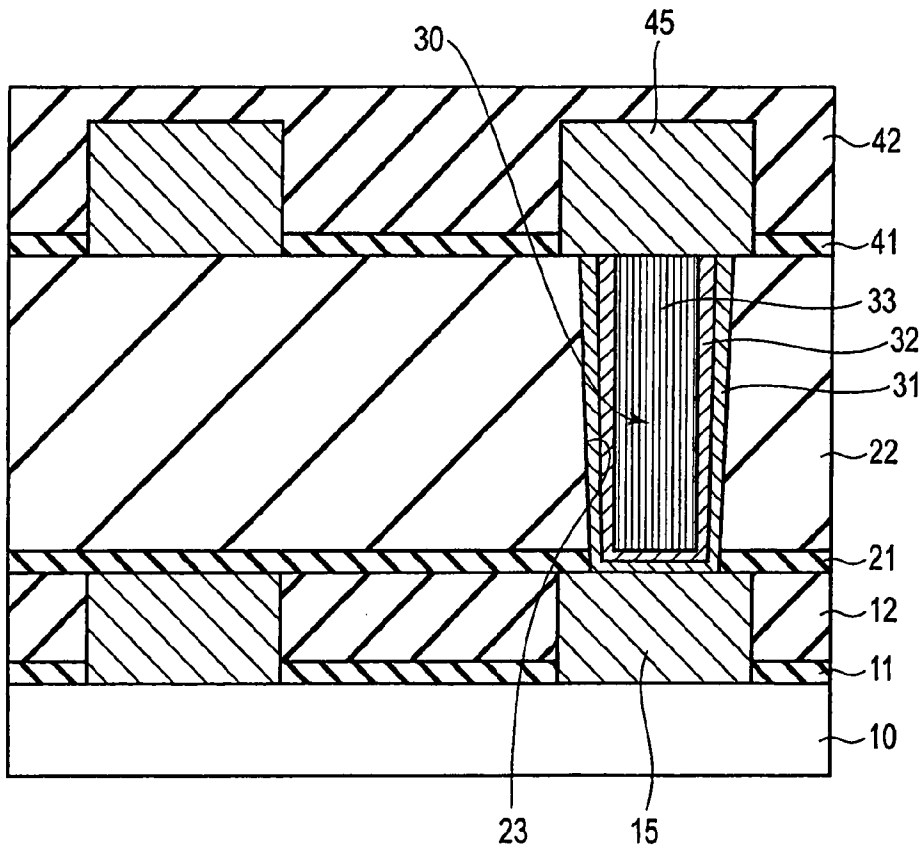
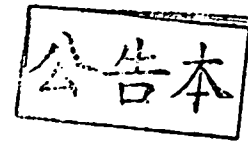


圖 1

發明摘要

※申請案號：103107900



※申請日：103 年 03 月 07 日

※IPC 分類：

【發明名稱】(中文/英文)

半導體裝置及其製造方法

Semiconductor device and method of manufacturing the same

H01L 23/152 (2006.01)

H01L 21/176 (2006.01)

【中文】

本發明係將 CNT 使用在接觸通孔的半導體裝置，具備：

基板，其係具有接觸通孔用溝；

CNT 成長用的觸媒層，其係形成於前述溝的底面；及

CNT 通孔，其係將複數根的 CNT 埋入至形成有前述觸媒層的前述溝內而形成。

而且，前述 CNT 係使複數的石墨烯層自前述溝的深度方向傾斜的狀態下層疊形成，且以前述石墨烯層的末端露出於側壁的方式形成。並且，至少 1 種類的元素係從前述 CNT 的側壁摻雜至該 CNT 中。

【英文】

According to one embodiment, a semiconductor device in which CNTs are used for a contact via comprises a substrate includes a contact via groove, a catalyst layer for CNT growth which is formed at the bottom of the groove, and a CNT via formed by filling the CNTs into the groove in which the catalyst layer is formed. Each of the CNTs is formed by stacking a plurality of graphene layers in a state in which they are inclined depthwise with respect to the groove, and formed such that ends of the graphene layers are exposed on a sidewall of the CNT. Further, the CNT is doped with at least one element from the sidewall of the CNT.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第(1)圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

10：Si 基板（半導體基板）

11，21，41：蓋層

12：配線層絕緣膜

15：下層配線

22：絕緣膜

23：接觸通孔用溝

30：CNT 通孔

31：輔助觸媒層

32：觸媒層

33：CNT

42：絕緣膜

45：上層配線層

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：
無

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

半導體裝置及其製造方法

Semiconductor device and method of manufacturing the same

【技術領域】

本說明書記載的實施例是有關半導體裝置及其製造方法。

【先前技術】

近年來，藉由在半導體裝置的多層配線的通孔內形成碳奈米管（carbon nanotube）（CNT）來謀求配線電阻的低減之方法被提案。CNT 是藉由其量子化傳導特性，可期待作為取代金屬配線之 LSI 用低電阻配線使用。而且，CNT 的構造為筒狀，可以 CVD 法來垂直成膜，具有與以往的裝置的縱方向配線形成製程良好的整合性。

如此，CNT 是作為縱方向配線被期待良好的電氣特性之新穎材料，特別是在長距離配線中有可能實現低電阻的配線。另一方面，為了將 CNT 適用於接觸，用以拉長彈道（Ballistic）長的措施變得重要。例如，可舉在 CNT 中摻雜 Br 或 N 等的元素，使被輸送的載子增加的措施。

【發明內容】

若根據本實施形態，則為一種將 CNT 使用在接觸通孔的半導體裝置，具備：

基板，其係具有接觸通孔用溝；

CNT 成長用的觸媒層，其係形成於前述溝的底面；及

CNT 通孔，其係將複數根的 CNT 埋入至形成有前述觸媒層的前述溝內而形成。

而且，前述 CNT 係使複數的石墨烯層自前述溝的深度方向傾斜的狀態下層疊形成，且以前述石墨烯層的末端露出於側壁的方式形成。並且，至少 1 種類的元素係從前述 CNT 的側壁摻雜至該 CNT 中。

【圖式簡單說明】

圖 1 是表示第 1 實施形態的半導體裝置的概略構成的剖面圖。

圖 2A，2B 是表示使用在圖 1 的半導體裝置的 CNT 的擴大構成及元素摻雜的情況的模式圖。

圖 3 是表示石墨烯的線寬與體積電阻率的關係的特性圖。

圖 4A，4B 是表示對石墨烯之元素摻雜的例子的剖面圖。

圖 5 是表示對 CNT 之元素摻雜的例子的模式圖。

圖 6A~6F 是表示第 2 實施形態的半導體裝置的製造工程的剖面圖。

【實施方式】

以下，參照圖面來說明實施形態的半導體裝置及其製造方法。

（第 1 實施形態）

圖 1 是表示第 1 實施形態的半導體裝置的概略構成的剖面圖。

本實施形態是在形成有電晶體或電容器等的半導體元件的基板上形成有用以連接半導體元件與配線層或配線層間的接觸層之構造。其中特別是在接觸層材料使用 CNT 通孔之構造。並且，將至少摻雜 1 種類以上的元素，石墨烯壁末端露出於 CNT 層側壁的 CNT 適用在接觸之構造。

圖中的 10 是形成有電晶體或電容器等的元件之 Si 基板（半導體基板）。在此基板 10 上形成有作為阻擋絕緣膜機能的 SiO_2 ， SiOC 等的蓋層 11，及 SiO_2 等的配線層絕緣膜 12。而且，在絕緣膜 12 形成有配線溝，藉由在配線溝內埋入金屬膜來形成下層配線 15。

另外，蓋層 11 及後述的蓋層 21，41 是底層的絕緣膜耐於 RIE 損傷的膜，例如 TEOS 或不含微小空孔的 SiOC 等時是亦可省略。

在形成下層配線 15 的基板 10 上形成有 SiN 等的蓋層 21 及 SiO_2 等的層間絕緣膜 22。在下層配線 15 上，層間絕緣膜 22 中是形成有接觸通孔用溝 23。

在接觸通孔用溝 23 內是隔著 Ti 或 TiN 等的輔助觸媒

層 31 及 Ni 或 Co 等的觸媒層 32 來埋入形成複數根的 CNT33。藉此，構成用以連接上下的配線層之 CNT 通孔 30。在此，各 CNT33 是從觸媒層 32 的底部成長至上側。

在如上述般形成 CNT 通孔 30 的基板上，形成有 SiN 等的蓋層 41，SiO₂ 等的絕緣膜 42，及 Cu 等的上層配線層 45。

另外，絕緣膜 42 是亦可為配線層絕緣膜與層間絕緣膜的層疊，或單獨層間絕緣膜。層疊時是在形成具有配線用溝的配線層絕緣膜之後在溝內埋入金屬膜而形成上層配線 45，且在其上形成層間絕緣膜。單獨時是在形成上層配線層 45 之後，只要予以埋入的方式形成層間絕緣膜即可。

輔助觸媒層 31 是用以使 CNT 的形成為容易的輔助膜，防止從觸媒層 32 往絕緣膜及下層接觸中的擴散。輔助觸媒層 31 的代表性的材料，可舉 Ta，Ti，Ru，W，Al 等。並且，該等的膜的氮化物或氧化物，甚至含該等的膜的層疊材料也可使用。

觸媒層 32 是用以形成 CNT 所必要的層。觸媒層 32 的觸媒材料是 Co，Ni，Fe，Ru，Cu 等的單體金屬，或至少含該等的任一個的合金，或該等的碳化物等為理想。CNT 的觸媒層是最好成為分散狀態的不連續膜。在此，基於使形成於接觸通孔的 CNT 固定化之目的，亦可例如埋入藉由 CVD 法所形成的絕緣膜或金屬。

並且，未圖示的擴散防止層（Diffusion Barrier）亦

可成膜或被覆配線構造。擴散防止層是例如使用 SiN 等。並且，使用的 CNT 其特徵是在 CNT 最外周存在複數石墨烯壁，構成元素不為 C 單體。

CNT 通孔 30 的各 CNT33 是如圖 2A 所示般，使複數的石墨烯層 33a 自接觸通孔用溝 23 的深度方向傾斜的狀態下層疊形成，形成石墨烯層 33a 的末端於露出側壁的杯堆疊型。一個石墨烯層 33a 的高度是成為 5nm 以上。而且，如圖 2B 所示般，至少 1 種類的元素 51 會從 CNT33 的側壁摻雜至石墨烯層 33a。

在此，所謂石墨烯是苯環平面狀規則性排列的膜會層疊 1~100 層程度之極薄的碳材料。並且，通常的 CNT 是苯環規則性地排列於平面上的膜的層疊碳材料之石墨烯會形成直徑 10~100nm 的筒狀的構造。

像本實施形態那樣，石墨烯壁末端露出於 CNT 層側壁的 CNT，例如杯堆疊型的 CNT 等那樣，可舉試管那樣的形狀的石墨烯層的堆疊構造。其特徵是起因於 1 層的石墨烯層從 CNT 的末端到末端未連接，就單體而言彈道長為短形成高電阻的情形為人所知。但，由於 CNT 的末端位於側壁，因此元素的摻雜路徑存在於 CNT 側壁。並且，由構造的觀點來看，CNT 會擴展於長度方向，藉此可確保其他元素所能存在的安定位置。

藉由上述特性，可在 CNT 中充分地摻雜元素，因此可使被輸送的載子增加。亦即，為可實現在接觸通孔的低電阻化之構造。並且，由製程的觀點來看，石墨烯壁末端

露出於 CNT 層側壁的 CNT 可在低溫成長。因此，具有可實現能夠適用至多樣的裝置之製程的優點。

圖 3 是表示石墨烯的體積電阻率與線寬的關係圖，顯示 Br 的摻雜所產生的低電阻化。相較於無摻雜 A，有摻雜 B 是 2 位數程度體積電阻率下降。

有關石墨烯的摻雜是如圖 4A 所示般，

在基板 61 上層疊石墨烯層 62 者時，如圖 4B 所示般，由橫方向來摻雜 Br。藉此，原子 51 會從石墨烯層 62 的側壁或缺陷侵入，石墨烯層間擴展，可縮小電阻。

另一方面，如圖 5 所示般，中空構造的 CNT63 時，原子 51 只能從前端侵入。因此，直徑不會擴展，極難謀求與石墨烯同樣的低電阻化。亦即，進行適用至中空構造的 CNT 時，作為往最外殼的 CNT 層以外的摻雜路徑是只有 CNT 的前端或外殼 CNT 的缺陷部分，CNT 的直徑幾乎不會擴展。因此，無法安定在 CNT 中進行元素摻雜，難以取得充分的效果。

對於此，在本實施形態中，如前述圖 2A，2B 所示般，不是通常的 CNT，而是以使石墨烯自通孔用溝的深度方向傾斜的狀態下層疊的杯堆疊 CNT33 來構成 CNT 通孔 30。因此，石墨烯的末端會露出於 CNT33 的側面，可由 CNT33 的側面來安定進行元素 51 的摻雜。藉此，可謀求 CNT 通孔 30 的低電阻化。

若如此根據本實施形態，則由於將構成 CNT 通孔 30 的各 CNT33 設為杯堆疊型構造，因此可由 CNT33 的側面

來效率佳摻雜 Br 等的元素，藉此可謀求 CNT 通孔 30 的更低電阻化。從而，可在使用 CNT 通孔 30 的半導體裝置中謀求配線電阻的更低電阻化。

（第 2 實施形態）

圖 6A~6F 是表示第 2 實施形態的半導體裝置的製造工程的剖面圖。

另外，在本實施形態製作的半導體裝置是與前述圖 1 所示的構造同樣。並且，為了使說明簡單，而省略蓋層。

首先，如圖 6A 所示般，在形成有電晶體或電容器等的半導體元件之 Si 基板 10 上形成配線層絕緣膜 12 及底層配線層 15。此時，配線層絕緣膜 12 是例如使用 TEOS 膜，底層配線層 15 的材料是例如使應 W 或 Cu 或 Al 等的金屬。在此，底層配線層 15 是設為粗度・寬度皆存在複數種類者。

接著，在絕緣膜 12 及配線層 15 上形成層間絕緣膜 22。絕緣膜 22 是例如由 SiOC 膜所構成，例如藉由 CVD 法或塗佈法來成膜。此絕緣膜 22 基於降低介電常數的目的，亦可為含微小空孔（Pore）的膜。之後，經由未圖示的光阻劑塗佈・微影技術（Lithography）的工程，僅形成 CNT 通孔的接觸，藉由 RIE 加工來開鑿通孔 23。

其次，如圖 6B 所示般，將用以使 CNT 的製作形成容易的輔助膜之輔助觸媒層 31 形成於通孔 23 內及絕緣膜 22 上。輔助觸媒層 31 是最好在通孔底部及側面形成均

一。成膜法是例如只要使用 CVD 法即可。輔助觸媒層 31 的代表性的材料是可舉 Ta, Ti, Ru, W, Al 等。亦可使用該等的膜的氮化物或氧化物，含該等的膜的層疊材料。

其次，如圖 6C 所示般，將 CNT 成長用的觸媒層 32 形成於輔助觸媒層 31 上。藉此，在通孔 23 中，輔助觸媒層 31 及觸媒層 32 會被形成於底部及側壁。觸媒層 32 的成膜法是例如使用 CVD 法。觸媒層 32 的材料是 Co, Ni, Fe, Ru, Cu 等的單體金屬，或至少含該等的任一個的合金，或該等的碳化物等為理想。觸媒層 32 是最好成為分散狀態的不連續膜。

其次，如圖 6D 所示般，形成成為電氣傳導配線層的 CNT33。CNT33 的成膜是利用 CVD 法。碳源是使用甲烷，乙炔等的碳化氫系氣體或其混合氣體，載氣是使用氫或稀有氣體。CNT33 是有只在成為不連續膜的觸媒層 32 上成膜的特徵。在此，特別是為了使 CNT33 的構造形成石墨烯壁末端露出於 CNT 層側壁的構造，而藉由控制 CNT33 的成長時的溫度・原料濃度或載氣種類・濃度來進行控制。藉此，可取得如前述圖 2A, 2B 所示的構造的杯堆疊構造的 CNT33。特別是可藉由將成長時的溫度形成 400℃ 以下來成為杯堆疊構造，可藉由改變溫度來改變石墨烯層的高度或石墨烯層對 CNT 的長度方向的傾斜。

CNT33 的成長後是例如將 Br 等的原子摻雜至 CNT33。摻雜元素是除了 Br 以外，最好是 N, Cl 等的 14~17 族元素，使用該等的至少 1 種。基於生成更多載子

的目的，亦可使用上述元素的其中多種。

本工程的摻雜，特別是成為以費米能量的增大所產生的載子增加為目的的工程。除此以外，更基於形成能量準位的目的，例如亦可使用 Cr, Fe 等的金屬原子或該等的錯合物。

14~17 族元素或金屬原子，其錯合物的摻雜方法與 CNT 成長同時的情況，是以 CVD 來使 CNT 成長時，只要混入含摻雜元素的原料作為原料氣體即可。並且，CNT 成長後的插入的情況，有將含有在減壓·高溫下作成的 CNT 的基板及包含使用於插入的元素的材料暴露於同一環境的方法。例如，可舉在室溫的摻雜元素氣體朝基板的暴露，或高溫下或電漿環境中的摻雜氣體暴露等。特別是為了在低溫取得充分的摻雜量，在電漿環境中之元素氣體暴露為理想。並且，此摻雜是亦可與 CNT 形成工程同時進行。

CNT33 的成長後是如圖 6E 所示般，藉由 CMP 來除去場區的 CNT33，觸媒層 32，及輔助觸媒層 31 等。此時，為了使 CNT33 固定化，亦可使絕緣膜或金屬等含浸於 CNT 中。

最後，如圖 6F 所示般，藉由形成上部配線層 45 及絕緣膜 42 等來完成前述圖 1 所示的構造。

若如此根據本實施形態，則可製造配線電阻極低的 CNT 通孔 30，可謀求半導體裝置的接觸通孔的低電阻化。並且，僅變更 CNT33 的成膜條件，便可製作適於 Br 等的摻雜之杯堆疊型的 CNT，因此可不須製造製程的大幅

度的變更來實現。

（第 3 實施形態）

在本實施形態是說明有關使用在 CNT 通孔之 CNT 的最適構造及其製作方法。

在第 1 及第 2 實施形態中，是以杯堆疊型的 CNT 來形成 CNT 通孔 30。在此，只由 C 的單元素形成的石墨烯壁末端露出於 CNT 層側壁的 CNT 是比中空構造更低導電率為人所知。這是因為相較於中空構造 CNT，電子傳導方向的石墨烯層的長度短。另一方面，有關摻雜對低電阻化的效果是與前述圖 3 所示的石墨烯的情況同樣。亦即，以打開 CNT 的筒之形狀具有同等的電氣特性的石墨烯的情況，藉由摻雜，有 2 位數的降低效果被報告。

本構造的通孔電阻是依據上述石墨烯層的高度所引起的導電率及摻雜所產生的低電阻化的效果而定。若假定電阻藉由摻雜而降低 2 位數，則為了實現比作為現在的 CNT 的目標之平均自由長 500nm（在此與 W 柱塞同程度的電阻）更低電阻，只要將一個石墨烯層的高度（平均自由長）形成 5nm 以上即可（ $500\text{nm}/100=5\text{nm}$ ）。亦即，為了具有與以往的金屬通孔或中空構造 CNT 同等或以上的效果，如前述圖 2A，2B 所示般堆疊高度為 5nm 以上的石墨烯層有效。

為了製造如此的構造，例如藉由控制 CNT 的成長時的溫度・原料濃度或載子氣體種類・濃度來進行控制。更具

體而言，為了將 CNT 的構造形成石墨烯壁末端露出於 CNT 層側壁的 CNT，例如在成膜條件中將溫度控制於 400℃ 以下的低溫，或進行過度供給原料等的控制。藉此，可取得前述圖 2 所示的構造的杯堆疊構造的 CNT33。

（變形例）

另外，本發明並非限於上述的各實施形態。

摻雜於 CNT 的元素並不限於 Br，亦可使用 N 或 Cl。而且，亦可摻雜該等的複數種。並且，CNT 的成膜條件是可按規格適當變更，只要構成 CNT 的各石墨烯的高度為 5nm 以上的條件即可。

在實施形態中，是在接觸通孔用溝的底面及側面形成觸媒層，但側面的觸媒層是不一定需要，亦可只在底面形成觸媒層。並且，在實施形態中，是在觸媒層的底層形成輔助觸媒層，但當從觸媒層 32 往下層接觸中的擴散不成問題時，亦可省略輔助觸媒層。

在第 2 實施形態中，是在 CNT 通孔的形成後進行元素的摻雜，但亦可在 CNT 通孔的形成時進行元素的摻雜。具體而言，在前述圖 6D 所示的工程中，藉由先在 CVD 的來源氣體中添加 Br，N，Cl 等的原子，可在被製作的 CNT 中摻雜元素。同時進行摻雜時，藉由控制摻雜元素的供給量，可形成石墨烯壁末端露出於 CNT 層側壁的 CNT。

以上說明本發明的幾個實施形態，但該等的實施形態

是舉例提示者，非意圖限定發明的範圍。實際上，在此所述的新穎實施例可在其他各種的形態下被實施。此外，可在不脫離發明的要旨的範圍內進行各種的省略，置換，變更。該等實施形態或其變形是為發明的範圍或要旨所包含，且為申請專利範圍記載的發明及其等效的範圍所包含。

【符號說明】

10：Si 基板（半導體基板）

11，21，41：蓋層

12：配線層絕緣膜

15：下層配線

22：絕緣膜

23：接觸通孔用溝

30：CNT 通孔

31：輔助觸媒層

32：觸媒層

33：CNT

33a：石墨烯層

42：絕緣膜

45：上層配線層

51：原子

61：基板

62：石墨烯層

63：CNT

申請專利範圍

1. 一種半導體裝置，其特徵係具備：

基板，其係具有接觸通孔用溝；

碳奈米管成長用的觸媒層，其係形成於前述溝的底面；及

碳奈米管通孔，其係埋入至形成有前述觸媒層的前述溝內，以複數根的碳奈米管所形成，

前述碳奈米管係使複數的石墨烯層自前述溝的深度方向傾斜的狀態下層疊形成，且以前述石墨烯層的末端露出於側壁的方式形成，

至少 1 種類的元素係從前述碳奈米管的側壁摻雜至該碳奈米管內。

2. 如申請專利範圍第 1 項之半導體裝置，其中，前述觸媒層係與前述溝的前述底面一同形成於前述溝的側面。

3. 如申請專利範圍第 1 項之半導體裝置，其中，被摻雜於前述碳奈米管的元素為 Br，Cl，或 N。

4. 如申請專利範圍第 3 項之半導體裝置，其中，在前述碳奈米管內，前述被摻雜的元素之外還添加 14~17 族元素的任一個。

5. 如申請專利範圍第 2 項之半導體裝置，其中，被摻雜於前述碳奈米管的元素為 Br，Cl，或 N。

6. 如申請專利範圍第 5 項之半導體裝置，其中，在前述碳奈米管內，前述被摻雜的元素之外還添加有 14~17

族元素的任一個。

7. 如申請專利範圍第 1 項之半導體裝置，其中，前述碳奈米管為堆疊高度 5nm 以上的前述石墨烯層之杯堆疊型的構造。

8. 如申請專利範圍第 2 項之半導體裝置，其中，前述碳奈米管為堆疊高度 5nm 以上的前述石墨烯層之杯堆疊型的構造。

9. 一種半導體裝置的製造方法，其特徵為：

在基板內形成接觸通孔用溝，

在前述溝的底面形成碳奈米管成長用的觸媒層，

在形成有前述觸媒層的前述溝內，使複數的石墨烯層以該石墨烯層的末端會露出於側壁的方式，自前述溝的深度方向傾斜的狀態下層疊，藉此形成複數根的碳奈米管，

在前述碳奈米管中摻雜至少 1 種類的元素，藉此形成碳奈米管通孔。

10. 如申請專利範圍第 9 項之半導體裝置，其中，形成前述觸媒層是在前述溝的底面及側面形成前述觸媒層。

11. 如申請專利範圍第 9 項之半導體裝置，其中，使用 Br，Cl，或 N，作為摻雜於前述碳奈米管的元素。

12. 如申請專利範圍第 9 項之半導體裝置，其中，在 400℃ 以下的溫度進行前述碳奈米管的成長。

13. 如申請專利範圍第 10 項之半導體裝置，其中，在原料過剩的條件下進行前述碳奈米管的成長。

14. 如申請專利範圍第 9 項之半導體裝置，其中，在

前述碳奈米管的形成之後進行往前述碳奈米管之前述元素的摻雜。

15. 如申請專利範圍第 9 項之半導體裝置，其中，與前述碳奈米管的形成同時進行往前述碳奈米管之前述元素的摻雜。

圖式

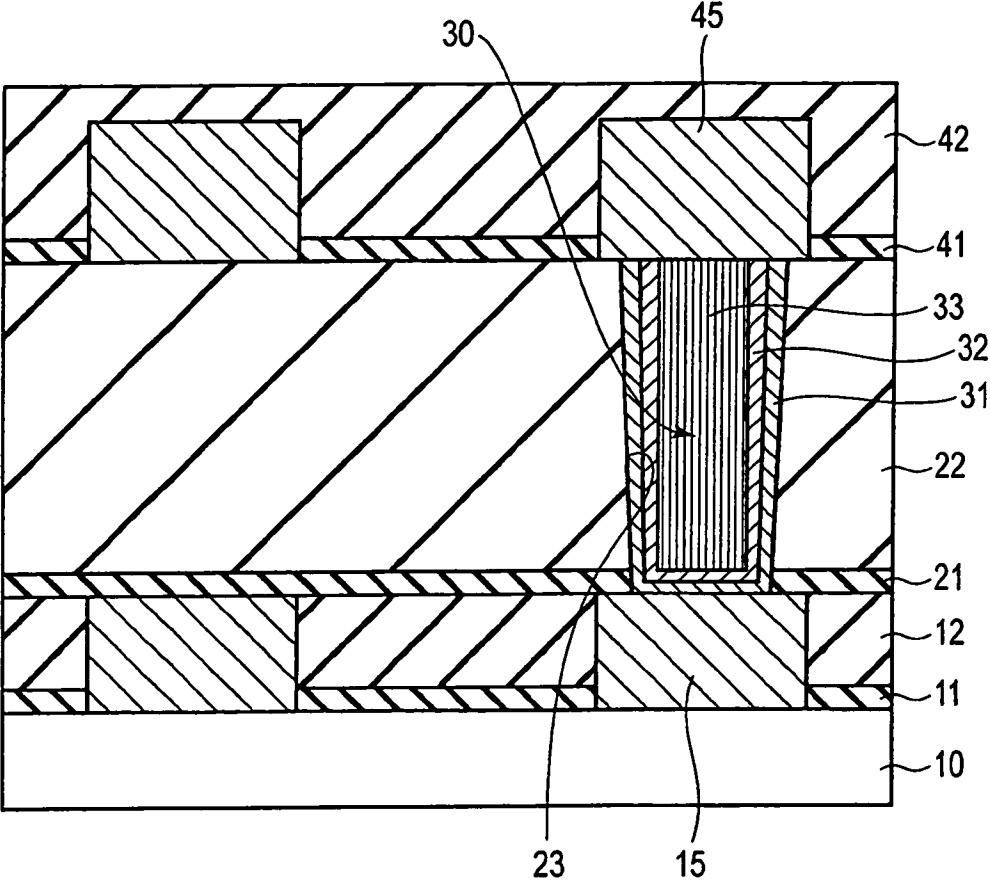


圖 1

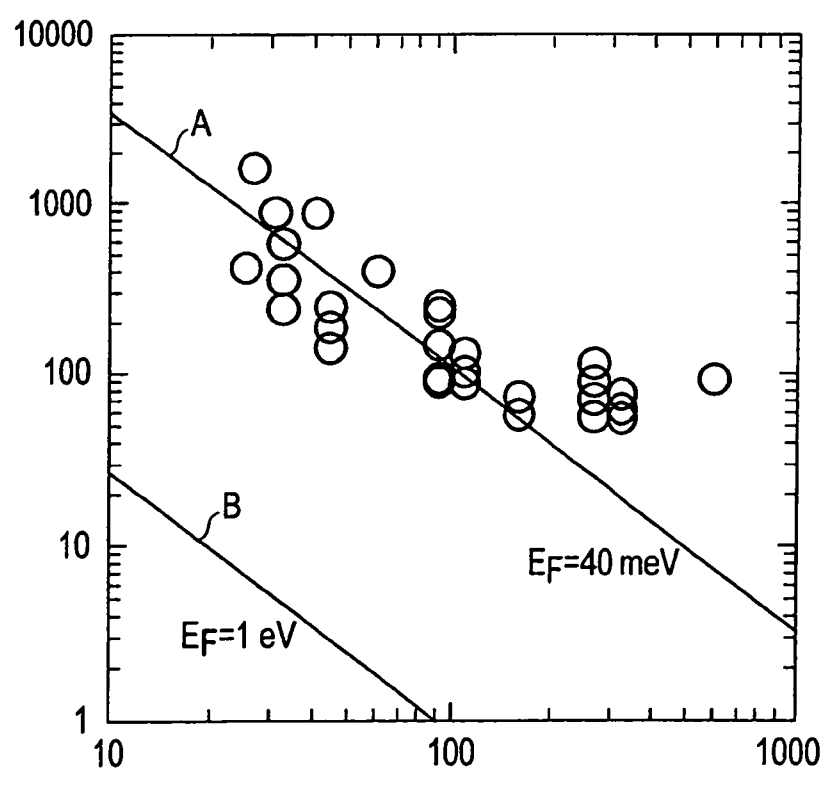
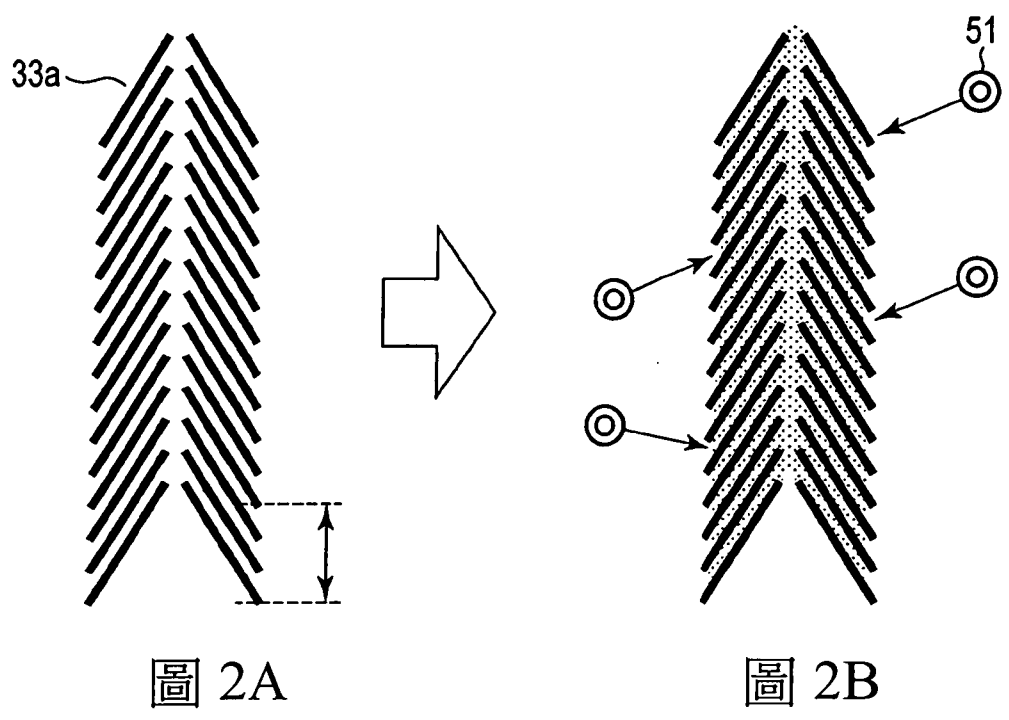


圖 3

圖 4A

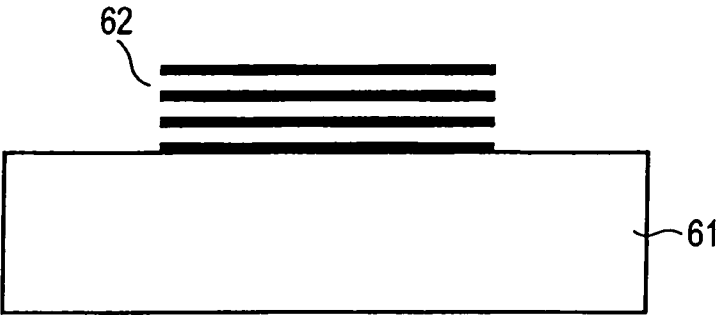


圖 4B

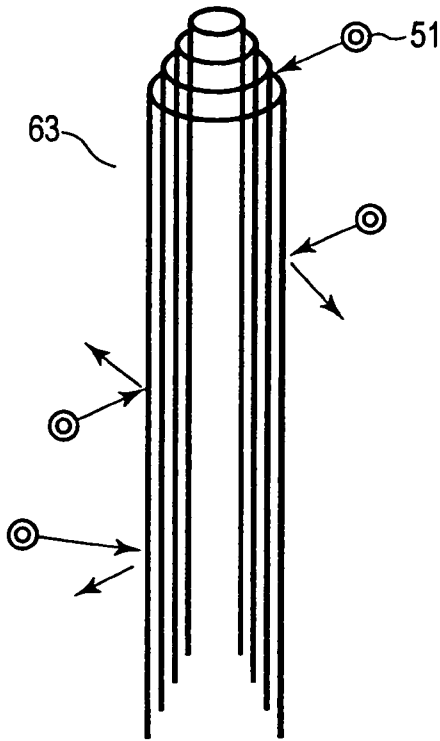
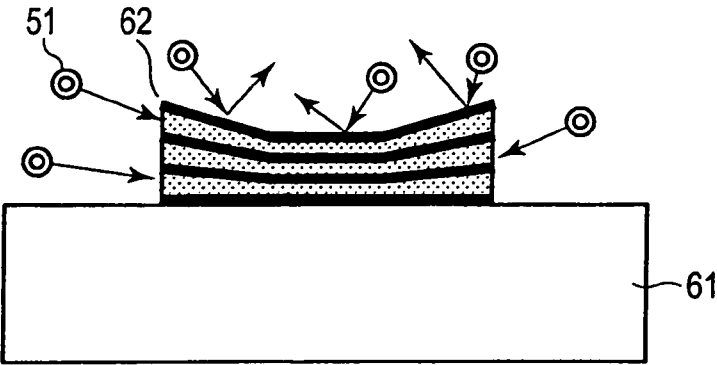


圖 5

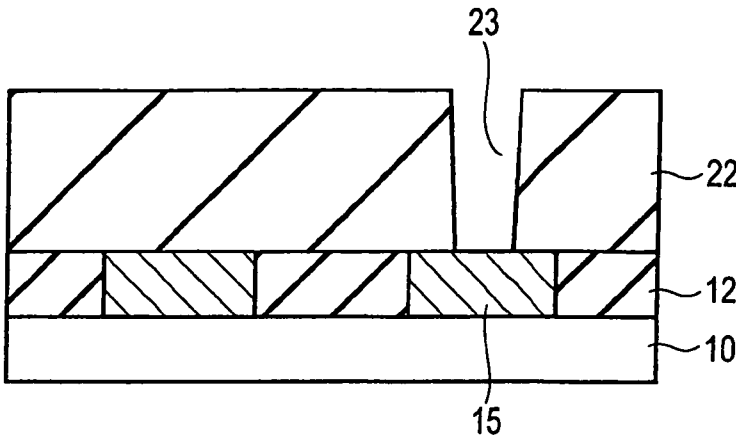


圖 6A

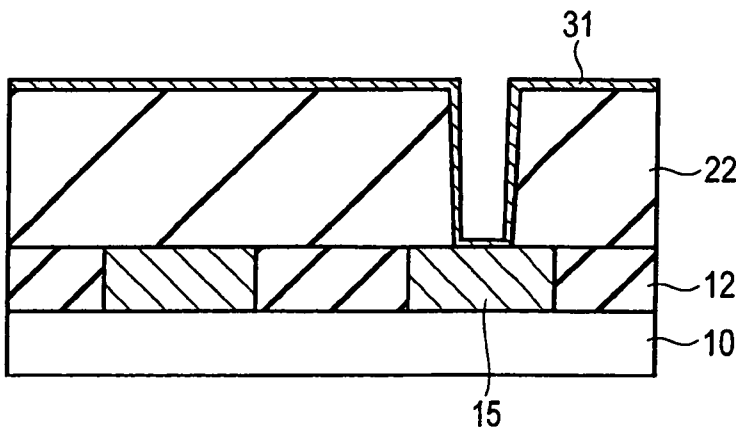


圖 6B

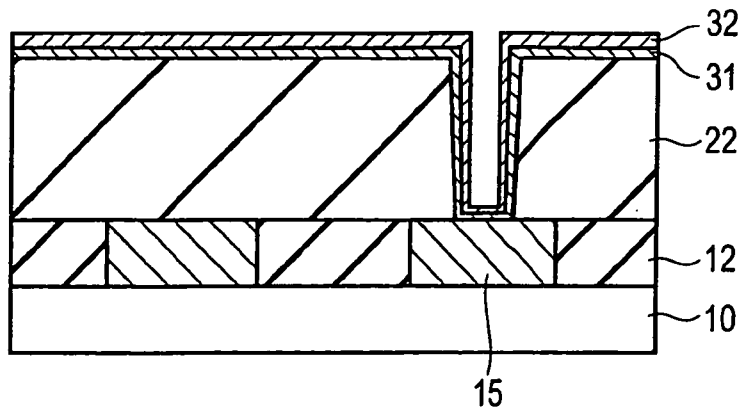


圖 6C

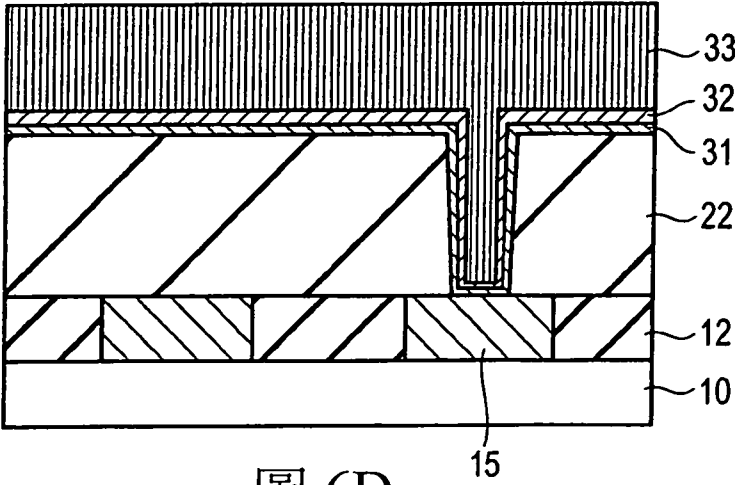


圖 6D

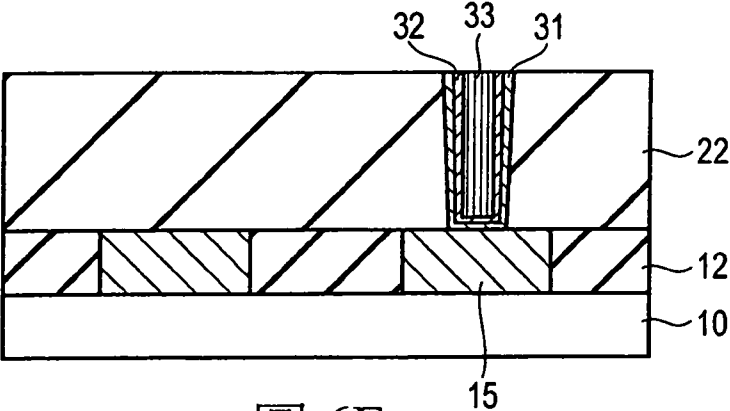


圖 6E

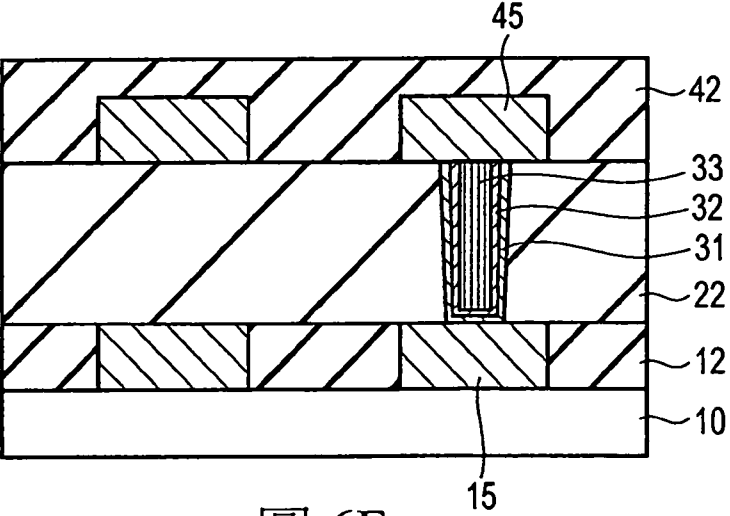


圖 6F