



(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 201413943 A

(43)公開日：中華民國 103 (2014) 年 04 月 01 日

(21)申請案號：101134278

(22)申請日：中華民國 101 (2012) 年 09 月 19 日

(51)Int. Cl. : H01L29/06 (2006.01)

H01L29/12 (2006.01)

B82Y10/00 (2011.01)

(71)申請人：國立交通大學(中華民國) NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY (TW)

新竹市大學路 1001 號

(72)發明人：張家靖 CHANG, CHIA CHING (TW)；簡紋濱 JIAN, WEN BIN (TW)；陳煜璋 CHEN, YU CHANG (TW)；袁俊傑 YUAN, CHIUN JYE (TW)；法蘭克 古 FRANK, GU (CA)

(74)代理人：高玉駿；楊祺雄

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：36 項 圖式數：28 共 62 頁

(54)名稱

半導體生物奈米線裝置及其製作方法

SEMICONDUCTOR BIO-NANOWIRE DEVICE AND METHOD FOR FABRICATING THE SAME

(57)摘要

一種半導體生物奈米線裝置，包含一具有一第一表面的基材、一第一導體、一第二導體及一生物奈米線。該第一導體與該第二導體設置於該基材的該第一表面且彼此相間隔。該生物奈米線的兩端分別連結於該第一導體與該第二導體，主要由核酸製成並包括多個整合於核酸的金屬離子。對該生物奈米線施加一電壓或電流以改變其中金屬離子的氧化還原狀態，藉此控制該生物奈米線的非線性導電特性。

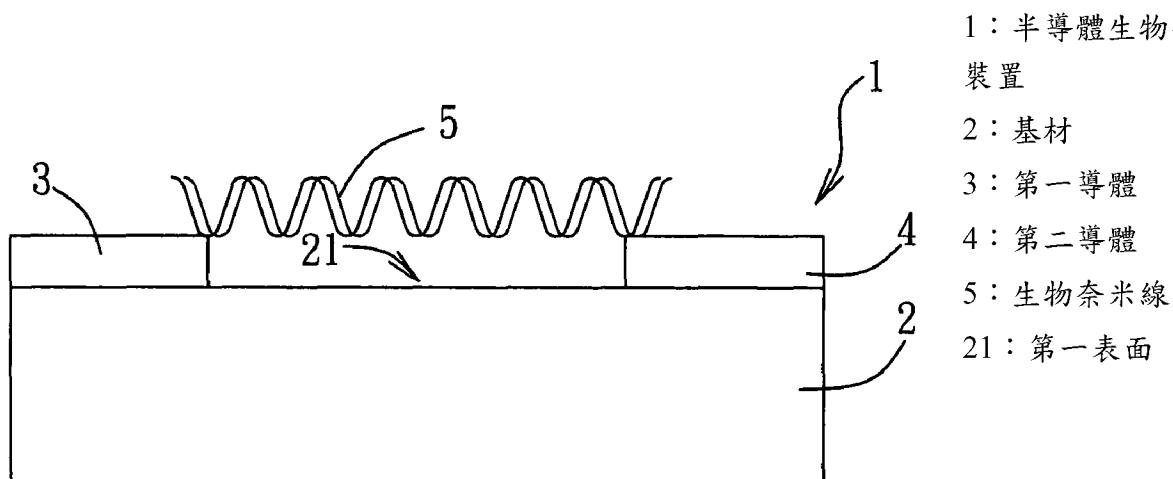


圖 1

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： 101134298 H01L 29/06 (2006.01)
 ※申請日： 101.9.18 ※IPC 分類：H01L 29/12 (2006.01)
B82Y 10/00 (2011.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

半 導 體 生 物 奈 米 線 裝 置 及 其 製 作 方 法 /
 Semiconductor bio-nanowire device and method
 for fabricating the same

二、中文發明摘要：

一種半導體生物奈米線裝置，包含一具有一第一表面的基材、一第一導體、一第二導體及一生物奈米線。該第一導體與該第二導體設置於該基材的該第一表面且彼此相間隔。該生物奈米線的兩端分別連結於該第一導體與該第二導體，主要由核酸製成並包括多個螯合於核酸的金屬離子。對該生物奈米線施加一電壓或電流以改變其中金屬離子的氧化還原狀態，藉此控制該生物奈米線的非線性導電特性。

三、英文發明摘要：

The present invention provides a semiconductor bio-nanowire device comprising a substrate with a first surface, a first conductor, a second conductor and a bio-nanowire. The first conductor and the second conductor are separately disposed on the first surface of the substrate. The two ends of the bio-nanowire are connected to the first conductor and the second conductor, respectively. The bio-

nanowire is mainly made from nucleic acids and includes a plurality of metal ions chelated with the nucleic acids. A non-linear electro-conductive characteristic of the bio-nanowire is controlled by applying an electric signal to the bio-nanowire to change the redox state of the metal ions of the bio-nanowire.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：圖(1)。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

- | | |
|----------------------|-------------|
| 1.....半導體生物奈米
線裝置 | 3.....第一導體 |
| 2.....基材 | 4.....第二導體 |
| 21.....第一表面 | 5.....生物奈米線 |

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

nanowire is mainly made from nucleic acids and includes a plurality of metal ions chelated with the nucleic acids. A non-linear electro-conductive characteristic of the bio-nanowire is controlled by applying an electric signal to the bio-nanowire to change the redox state of the metal ions of the bio-nanowire.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：圖(1)。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

- | | |
|----------------------|-------------|
| 1.....半導體生物奈米
線裝置 | 3.....第一導體 |
| 2.....基材 | 4.....第二導體 |
| 21.....第一表面 | 5.....生物奈米線 |

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明是有關於一種奈米線裝置，特別是指一種具有半導體特性的生物奈米線裝置。

【先前技術】

一般物質於奈米尺度下會呈現迥異於巨觀尺度的特性，因此目前許多半導體裝置應用奈米點、奈米線、奈米柱等奈米結構以改良其特性。以中華民國公開號第201218421號申請案為例，該申請案提出一種使用氮化鎵奈米線的發光二極體，每一條氮化鎵奈米線均包含相連接的一P型氮化鎵部分及一N型氮化鎵部分，該P型、N型氮化鎵的交界處形成PN接面，而使各條氮化鎵奈米線分別呈現二極體的特性。但是應用此種無機固態材料製作之奈米結構的半導體裝置，其特性及應用方式較為固定（例如前述申請案的半導體裝置只能當作LED使用），難以在同一個半導體裝置藉由操作條件的調整而執行不同的元件功能。

【發明內容】

因此，本發明之目的，即在提供一種半導體生物奈米線裝置。該半導體生物奈米線裝置使用的生物奈米線具有半導體特性，且藉由操作條件的調整可使半導體生物奈米線裝置執行不同的元件功能。

於是，本發明半導體生物奈米線裝置包含一基材、一第一導體、一第二導體及一生物奈米線。

該基材具有一第一表面。該第一導體設置於該基材的該第一表面。該第二導體設置於該基材的該第一表面，並間隔於該第一導體。該生物奈米線的兩端分別連結於該第一導體與該第二導體，主要由核酸製成並包括多個螯合於核酸的金屬離子。其中，對該生物奈米線施加一電壓以改變其中金屬離子的氧化還原狀態，藉此控制該生物奈米線的非線性導電特性。

較佳地，該生物奈米線包括相互螺旋纏繞的一第一序列結構與一第二序列結構。該第一序列結構具有多個線狀排列的核苷酸分子，該第二序列結構具有多個線狀排列且完全匹配於該第一序列結構的核苷酸分子，該第一序列結構的核苷酸分子分別藉由氫鍵及一金屬離子而連結於該第二序列結構對應匹配的核苷酸分子。

較佳地，該生物奈米線包括相互螺旋纏繞的一第一序列結構與一第二序列結構。該第一序列結構具有多個線狀排列的核苷酸分子，該第二序列結構具有多個線狀排列的核苷酸分子，該第一序列結構的其中一核苷酸分子不匹配於該第二序列結構對應的核苷酸分子，且該第一序列結構與該第二序列結構相互匹配的核苷酸分子各藉由氫鍵及一金屬離子連結。

較佳地，該生物奈米線包括相互螺旋纏繞的一第一序列結構與一第二序列結構，該第一序列結構具有多個線狀排列的核苷酸分子，該第二序列結構具有多個線狀排列的核苷酸分子，該第一序列結構的多個核苷酸分子不匹配於

該第二序列結構對應的核苷酸分子，且該第一序列結構與該第二序列結構相互匹配的核苷酸分子各藉由氫鍵及一金屬離子連結。

更佳地，上述該第一序列結構與該第二序列結構分別對應於一 DNA 分子的雙股核酸，或分別對應於一單股核酸中形成雙股螺旋構造的兩互補區段。

較佳地，該等核苷酸分子為腺嘌呤、鳥嘌呤、胸腺嘧啶或胞嘧啶，且該等核苷酸分子於該第一序列結構或該第二序列結構中的排列順序為任意組合。

較佳地，該等核苷酸分子為核糖核苷酸或去氧核苷酸，且該等核苷酸分子於該第一序列結構或該第二序列結構中的排列順序為任意組合。

較佳地，該生物奈米線的金屬離子選自鎳離子、銅離子、鋅離子、鈷離子及鐵離子所組成的群體。

較佳地，該半導體生物奈米線裝置還包含一第一接合子與一第二接合子，該第一接合子與該第二接合子主要由核酸製成且分別包括至少一個螯合於核酸的金屬離子，該生物奈米線的兩端分別藉由該第一接合子與該第二接合子而連結於該第一導體與該第二導體。

進一步來說，該生物奈米線的兩端分別藉由兩相異核酸限制酶處理而形成一第一黏著端及一第二黏著端，且該第一導體與該第二導體由金或銀製成。該第一接合子包括一第一核酸引子及一第二核酸引子，該第一核酸引子及該第二核酸引子與該金屬離子螯合，且兩者核酸序列相互匹

配並匹配於該生物奈米線的第一黏著端。該第一核酸引子與該第二核酸引子的一端連結於該生物奈米線的第一黏著端，且該第一核酸引子與該第二核酸引子連結於該第一導體的另一端至少其中之一具有一硫醇基，而與該第一導體形成硫-金鍵結或硫-銀鍵結。該第二接合子包括一第三核酸引子及一第四核酸引子。該第三核酸引子及該第四核酸引子與該金屬離子螯合，且兩者核酸序列相互匹配並匹配於該生物奈米線的第二黏著端。該第三核酸引子及該第四核酸引子的一端連結於該生物奈米線的第二黏著端，且該第三核酸引子與該第四核酸引子連結於該第二導體的另一端至少其中之一具有一硫醇基，而與該第二導體形成硫-金鍵結或硫-銀鍵結。

較佳地，該等金屬離子藉由一正設定電壓而設定為氧化狀態，或藉由一負設定電壓而設定為還原狀態，以控制該生物奈米線於該氧化狀態及該還原狀態變化所呈現相異的非線性導電特性。

更佳地，該生物奈米線於該氧化狀態與該還原狀態呈現導電特性相反的二極體特性。

進一步來說，在該還原狀態下，該生物奈米線接受一小於該正設定電壓的正電壓時產生一第一正偏向電流，並於接受一小於該負設定電壓的負電壓時產生一第一負偏向電流，且該第一正偏向電流大於該第一負偏向電流。在該氧化狀態下，該生物奈米線接受一小於該正設定電壓的正電壓時產生一第二正偏向電流，並於接受一小於該負設定

電壓的負電壓時產生一第二負偏向電流，且該第二正偏向電流小於該第二負偏向電流。

較佳地，該第一導體與該第二導體的間距為 20 奈米至 300 奈米。

較佳地，該第一導體與該第二導體的間距為 5 奈米至 1 微米。

較佳地，該第一導體與該第二導體的材料選自金屬、石墨、金屬氧化物或高分子導電材料所組成的群組。

較佳地，該第一導體與該第二導體由磁性金屬製成，且該生物奈米線、該第一導體與該第二導體各具有對應的電子自旋方向，藉由電流、電壓、相位或電阻值的量測，以判斷該生物奈米線、該第一導體或該第二導體的電子自旋方向。

較佳地，該第一導體與該第二導體由磁性金屬製成且具有相同的電子自旋方向，施加一電壓於該第一導體使該第一導體的電子經由該生物奈米線傳輸至該第二導體，而將該生物奈米線的電子自旋方向設定為相同於該第一導體與該第二導體。

進一步來說，上述該第一導體與該第二導體的材料選自鐵、鈷、鎳所組成的群組。

較佳地，該半導體生物奈米線裝置還包含一流道結構，該流道結構包括一位置對應該生物奈米線並將該生物奈米線容納其中的流體槽，該流體槽供容裝一包含多個待測生物分子的檢測溶液。

較佳地，該生物奈米線的兩端藉由靜電力或酵素而連結於該第一導體與該第二導體。

本發明還提出一種半導體生物奈米線裝置，該半導體生物奈米線裝置包含一基材、一第一導體、一第二導體及多條生物奈米線。

該基材具有一第一表面。該第一導體設置於該基材的第一表面。該等生物奈米線分別以其一端垂直連結於該第一導體，且該等生物奈米線主要由核酸製成，並分別包括多個螯合於其核酸的金屬離子。各該生物奈米線的金屬離子提供電子傳輸路徑，且該等生物奈米線彼此之間不導電。該第二導體與該第一導體相間隔，且電連接於該等生物奈米線遠離該第一導體的另一端。

較佳地，該等生物奈米線分別包括螺旋纏繞的一第一序列結構與一第二序列結構，該等第一序列結構各具有多個線狀排列的核苷酸分子，該等第二序列結構各具有多個完全匹配於其中一第一序列結構的核苷酸分子，各該第一序列結構的核苷酸分子藉由氫鍵及一金屬離子而連結於一匹配的第二序列結構的核苷酸分子。

較佳地，該等生物奈米線分別包括相互螺旋纏繞的一第一序列結構與一第二序列結構，該等第一序列結構各具有多個線狀排列的核苷酸分子，該等第二序列結構各具有多個線狀排列的核苷酸分子，各該第一序列結構的其中一核苷酸分子不匹配於該第二序列結構對應的核苷酸分子，且各該第一序列結構與各該第二序列結構相互匹配的核苷

酸分子分別藉由氫鍵及一金屬離子連結。

較佳地，該等生物奈米線分別包括相互螺旋纏繞的第一序列結構與一第二序列結構，該等第一序列結構各具有多個線狀排列的核苷酸分子，該等第二序列結構各具有多個線狀排列的核苷酸分子，各該第一序列結構的多個核苷酸分子不匹配於該第二序列結構對應的核苷酸分子，且各該第一序列結構與各該第二序列結構相互匹配的核苷酸分子分別藉由氫鍵及一金屬離子連結。

較佳地，各該生物奈米線的第一序列結構與第二序列結構係分別對應於一 DNA 分子的雙股核酸，或分別對應於一單股核酸中形成雙股螺旋構造的兩互補區段。

較佳地，各該生物奈米線的核苷酸分子為腺嘌呤、鳥嘌呤、胸腺嘧啶或胞嘧啶，且該等核苷酸分子於各該第一序列結構或各該第二序列結構中的排列順序為任意組合。

較佳地，各該生物奈米線的核苷酸分子為核糖核苷酸或去氧核苷酸，且該等核苷酸分子於該第一序列結構或該第二序列結構中的排列順序為任意組合。

較佳地，該等金屬離子選自鎳離子、銅離子、鋅離子、鈷離子及鐵離子所組成的群體。

較佳地，該第一導體由金或銀製成，該等生物奈米線連結於該第一導體的一端還分別包括一硫醇基，且該等生物奈米線各藉由該硫醇基而與該第一導體形成硫-金鍵結或硫-銀鍵結。

本發明的另一目的，在提出一種半導體生物奈米線裝

置的製作方法。於是，該製作方法包含以下步驟：(A) 在一基材的第一表面製作相互間隔的一第一導體及一第二導體，該第一導體及該第二導體由金或銀製成；(B) 將一第一接合子及一第二接合子分別連結於該第一導體與該第二導體，該第一接合子與該第二接合子主要由核酸製成並分別包括至少一個螯合於核酸的金屬離子，且該第一接合子與該第二接合子各藉由其一端的硫醇基而與該第一導體與該第二導體形成硫-金鍵結或硫-銀鍵結；及(C) 將一生物奈米線的兩端分別連結於該第一接合子及該第二接合子，該生物奈米線主要由核酸製成且包括多個螯合於核酸的金屬離子。

較佳地，於步驟(C)該生物奈米線的兩端分別藉由兩相異核酸限制酶而形成一第一黏著端與一第二黏著端，且該生物奈米線分別藉由該第一黏著端與該第二黏著端而連結於該第一接合子與該第二接合子。

較佳地，該第一接合子包括一第一核酸引子及一第二核酸引子。該第一核酸引子及該第二核酸引子與該金屬離子螯合，且兩者核酸序列相互匹配並匹配於該生物奈米線的第一黏著端。該第一核酸引子與該第二核酸引子的一端連結於該生物奈米線的第一黏著端，且該第一核酸引子與該第二核酸引子連結於該第一導體的另一端至少其中之一具有一硫醇基。該第二接合子包括一第三核酸引子及一第四核酸引子。該第三核酸引子及該第四核酸引子與該金屬離子螯合，且兩者核酸序列相互匹配並匹配於該生物奈米

線的第二黏著端。該第三核酸引子及該第四核酸引子的一端連結於該生物奈米線的第二黏著端，且該第三核酸引子與該第四核酸引子連結於該第二導體的另一端至少其中之一具有一硫醇基。

較佳地，該步驟（B）包括以下步驟：（B1）將一內含該第一核酸引子與該第三核酸引子的溶液滴加於該第一導體與該第二導體，使該第一核酸引子與該第三核酸引子分別藉由其硫醇基連結於該第一導體與該第二導體；（B2）將一內含該第二核酸引子與該第四核酸引子的溶液滴加於該第一導體與該第二導體，並將一含金屬離子的反應溶液滴加於該第一導體與該第二導體，使該第二核酸引子與該第四核酸引子分別藉由其硫醇基連結於該第一導體與該第二導體，並形成連結於該第一導體與該第二導體的第一接合子與第二接合子。

較佳地，於步驟（B1）該溶液的濃度為 0.01 至 10 微莫爾/公升，且步驟（B1）經過 6 至 12 小時後再執行步驟（B2）；於步驟（B2）內含該第二核酸引子與該第四核酸引子的該溶液濃度為 0.01 至 10 微莫爾/公升，該含鎳的反應溶液的濃度為 10 微莫爾/公升至 10 毫莫爾/公升，且該溶液與該含鎳之反應溶液的體積比例為 0.1 至 10。

較佳地，上述該等金屬離子選自鎳離子、銅離子、鋅離子、鈷離子及鐵離子所組成的群體。

本發明之功效在於：藉由施加特定的電壓、電流或磁場，可讓半導體生物奈米線裝置分別執行二極體、憶

阻器、自旋電子裝置、微生物感測器或異方性導電結構的元件功能，而實現單一半導體裝置的多功能用途。

【實施方式】

有關本發明之前述及其他技術內容、特點與功效，在以下配合參考圖式之三個較佳實施例的詳細說明中，將可清楚地呈現。

在本發明被詳細描述之前，要注意的是，在以下的說明內容中，類似的元件是以相同的編號來表示。

參閱圖 1 至圖 4 為本發明半導體生物奈米線裝置 1 的第一較佳實施例。本實施例對半導體生物奈米線裝置 1 施以特定的操作條件（例如電流、電壓或磁場），以控制同一個半導體生物奈米線裝置 1 在不同的操作條件下分別執行二極體（Diode）、憶阻器（Memristor）、自旋電子裝置（Spintronic device）或微生物感測器（Bio-sensor）的元件功能，其詳細內容說明如下。

半導體生物奈米線裝置 1 包含一絕緣基材 2、一第一導體 3、一第二導體 4 及一生物奈米線 5。

基材 2 具有一第一表面 21，本實施例中基材 2 採用表面具有一層二氧化矽絕緣層的矽基板，但不以此種基板為限。

第一導體 3 與第二導體 4 間隔地設於基材 2 的第一表面 21，兩者的間距範圍為 5 奈米至 1 微米，且以金屬、石墨、金屬氧化物或高分子導電材料藉由半導體技術而製成。

生物奈米線 5 主要由核酸製成，包括相互螺旋纏繞的一第一序列結構 51 與一第二序列結構 52，以及多個整合於第一序列結構 51 與第二序列結構 52 的金屬離子 53，其兩端分別藉由靜電力連結於第一導體 3 與第二導體 4，且長度（也就是核苷酸的數量）可視需要彈性調整，只要第一導體 3 與第二導體 4 的尺寸對應配合即可。

本實施例中，第一序列結構 51 與第二序列結構 52 係分別對應於一 DNA 分子的雙股螺旋結構，且兩者藉由氫鍵與金屬離子 53 連結。相較之下，一般 DNA 分子僅具有一第一序列結構 51 與第二序列結構 52，因此呈現絕緣的導電特性。但生物奈米線 5 中長串排列的金屬離子 53 可當作電子傳導的路徑，因而讓生物奈米線 5 呈現半導體的導電特性。

進一步來說，生物奈米線 5 的第一序列結構 51 與第二序列結構 52 各具有多個線狀排列的核苷酸分子 511、521，該等核苷酸分子 511、521 各為腺嘌呤（Adenine）、鳥嘌呤（Guanine）、胸腺嘧啶（Thymine）或胞嘧啶（Cytosine）等去氧核苷酸，在圖中以符號 A、G、T、C 表示，且分別藉由氫鍵（圖未示）及一金屬離子 53 相互連結。但該等核苷酸分子 511、521 也可以使用核糖核苷酸，不限於上述的去氧核苷酸。此外，本實施例中生物奈米線 5 的金屬離子 53 為鎳離子，但金屬離子 53 也可以是銅離子、鋅離子、鈷離子或鐵離子，不以鎳離子為限。

參照圖 2 至圖 4。本發明中，生物奈米線 5 的第一序列結構 51 與第二序列結構 52 由任意排列順序的核苷酸分子 511、521 組成，不限於特定的組成、順序、數量或長度，但該等核苷酸分子 511、521 必須維持匹配關係。

舉例來說，第一序列結構 51 的核苷酸分子 511 為胸腺嘧啶 (T) 與鳥嘌呤 (G) 交錯排列，且位於 5'端的是胸腺嘧啶 (T)，位於 3'端的是鳥嘌呤 (G)。而第二序列結構 52 的核苷酸分子 521 則為腺嘌呤 (A) 與胞嘧啶 (C) 交錯排列，位於 5'端的是腺嘌呤 (A)，位於 3'端的是胞嘧啶 (C)。但上述內容僅用於說明，不能以此限制本發明的實施範圍。

進一步來說，圖 2、圖 3 及圖 4 還分別呈現第一序列結構 51 與第二序列結構 52 的核苷酸分子 511、521 處於完全匹配、一處不匹配 (Mismatch) 及多處不匹配的匹配關係。

參照圖 2，第一序列結構 51 的核苷酸分子 511 與第二序列結構 52 的核苷酸分子 521 完全相互匹配 (T-A 與 G-C)，且對應匹配的核苷酸分子 511、521 之間均連結一金屬離子 53。

參照圖 3。與圖 2 相比，圖 3 中第二序列結構 52 的一個胞嘧啶 (C) 以胸腺嘧啶 (以符號 T 表示) 置換，所以第一序列結構 51 對應位置的鳥嘌呤 (以 G 表示) 不匹配於該第二序列結構 52 的胸腺嘧啶 (T)，且該處無整合的金屬離子 53。

參照圖 4。與圖 2 相比，圖 4 的第一序列結構 51 與第二序列結構 52 的核苷酸分子 511、521 具有三處 G-T 不匹配，且該等不匹配處均無螯合的金屬離子 53。

依據上述說明，生物奈米線 5 的核苷酸分子 511、521 具有多種匹配關係，且於不匹配處缺少金屬離子 53，而形成電子傳導路徑的能障 (Energy barrier)，導致電子傳導的阻礙。因此，圖 2 至圖 4 的生物奈米線 5 因核苷酸分子 511、521 不匹配的數量增多而導致阻值的上升，但在各種匹配關係下該等生物奈米線 5 都呈現出半導體的導電特性，所以均能達成本發明的目的。

參照圖 1、圖 5 及圖 6，半導體生物奈米線裝置 1 製作流程說明如下。

步驟 S1：製作第一導體 3 與第二導體 4。

本實施例是以舉離製程 (Lift-off process) 製作第一導體 3 與第二導體 4，但第一導體 3 與第二導體 4 也可以藉由蝕刻製程製作，不限於此處揭露的內容。

具體來說，先在基材 2 的第一表面 21 藉由微影製程 (Photolithography) 定義出第一導體 3 與第二導體 4 的光阻圖形。接著藉由電子束蒸鍍 (E-gun evaporation)、熱蒸鍍 (Thermal evaporation) 或是其他鍍膜技術在光阻表面以及基材 2 未被光阻覆蓋的第一表面 21 依序鍍上一層 5 奈米的鈦鍍層以及一層 50 奈米的金鍍層。最後將光阻以及光阻表面的鈦/金鍍層去除，便完成第一導體 3 與第二導體 4 的製作。要特別說明的是，第一導體 3 與第二

導體 4 的材質可視需要而彈性調整，不以此處的實施方式為限。

步驟 S2：製備反應溶液 54。

內含生物奈米線 5 的反應溶液 54 製備方法如下。

首先，將類似圖 2、圖 3 或圖 4 但未螯合金屬離子 53 的多個原始 DNA 分子（各包括一第一序列結構 51 與一第二序列結構 52）添加於 pH 9.0 的 10 mM 三羥甲基氨基甲烷-鹽酸（Tris-HCl）緩衝溶液中，並在維持 pH 9.0 的環境下將溶液濃度調整為 12.5 ng/ μ L（即每公升 Tris-HCl 緩衝溶液中含有 12.5 毫克的原始 DNA 分子）。

而後，在維持 pH 9.0 的條件下，添加 10 mM 的 Tris-HCl 溶液及 2.5 mM 氯化鎳（NiCl₂）於該緩衝溶液中，並經過至少 8 小時的反應時間，讓該等原始 DNA 分子與鎳離子經由螯合反應，而製備內含如圖 2、圖 3 或圖 4 的生物奈米線 5 的反應溶液 54。

步驟 S3：將生物奈米線 5 連結於第一導體 3 與第二導體 4。

生物奈米線 5 內包含多個帶負電的金屬離子 53（本實施例中為鎳離子），因此生物奈米線 5 整體呈現負電性。本步驟使用電泳技術，在第一導體 3 與第二導體 4 施加正電壓，藉由靜電力讓生物奈米線 5 吸附於第一導體 3 與第二導體 4，並將生物奈米線 5 拉伸延展而使其兩端分別連結於第一導體 3 與第二導體 4。

參照圖 5。具體來說，先將內含生物奈米線 5 的反應

溶液 54 在 4°C 的環境下通過雙重蒸餾水 (Double-distilled water) 以透析法 (Dialyze) 處理 8 小時，以除去多餘的鹽基離子 (Salt) 及鎳離子。接著，將約 5 微升 (μl) 的反應溶液 54 滴於第一導體 3 與第二導體 4 之間。

而後，在第一導體 3 與第二導體 4 施加 +1 V 的正電壓 (以符號 V 表示) 並持續 20 分鐘，讓反應溶液 54 中的生物奈米線 5 藉由電泳吸附而連結於第一導體 3 與第二導體 4。其中，反應期間可使用一遮蓋將反應溶液 54 密封其中，以維持反應溶液 54 的濃度。

最後，以氮氣緩慢吹去 (Blow off) 第一導體 3 與第二導體 4 表面剩餘的反應溶液 54，即完成半導體生物奈米線裝置 1 的製作。

在此要說明的是，上述製作條件例如第一導體 3 與第二導體 4 的材質與厚度、溶液濃度、酸鹼值、電壓值、反應時間等都是用於舉例說明，可視需要而彈性調整，不以此處揭露的內容為限。此外，連結於第一導體 3 與第二導體 4 之生物奈米線 5 的數量也可以設置為多條，其數量可視需要而定。

另一方面，本實施例中生物奈米線 5 的第一序列結構 51 與第二序列結構 52 分屬於一條 DNA 分子的雙股核酸結構，但生物奈米線 5 的第一序列結構 51 與第二序列結構 52 也可以僅由單股核酸構成。

具體來說，該單股核酸包含兩個互補區段，其中一

區段類似圖 2 至圖 4 的第一序列結構 51，呈現由胸腺嘧啶 (T)、鳥嘌呤 (G) 構成的序列；另一區段則類似圖 2 至圖 4 的第二序列結構 52，呈現由腺嘌呤 (A)、胞嘧啶 (C) 構成的序列。其中，此兩個互補區段可以是直接相互連接，也可以是透過非屬於該等互補區段的核苷酸分子而相互連接。

而後，將該單股核酸由此兩個互補區段的中間位置彎折(loop)，使該單股核酸的兩互補區段透過靜電力形成雙股螺旋構造，再將金屬離子螯合於該等區段，即能製成類似圖 2 至圖 4 的生物奈米線 5 結構，並能執行相同的功能。因此，生物奈米線 5 的構造與製作方式可視需要而彈性調整，不限於前述說明內容。

應用於作為二極體

以下配合圖 1~圖 4 以及圖 7~圖 10 說明半導體生物奈米線裝置 1 作為二極體的實施方式。

參照圖 7 是對半導體生物奈米線裝置 1 的第一導體 3 與第二導體 4 施加一直流電壓所測得的電流-電壓曲線圖 (I-V curve)。該直流電壓從 -10V 逐漸增加至 +10V，再從 +10V 逐漸減少至 -10V，其對應的電流值呈現於圖 7 中。

首先，施加電壓 -10V 於半導體生物奈米線裝置 1，將生物奈米線 5 內的所有金屬離子 53 均設定為還原狀態，也就是所有鎳離子被設定為 Ni^{2+} 狀態。接著，電壓從 -10V 逐漸增加至 0 V 的過程中，半導體生物奈米線裝置 1 呈現一非常小（幾乎為 0 nA）的第一負偏向電流。而電

壓從 0 V 逐漸增加為 +10V 時，半導體生物奈米線裝置 1 呈現一相對大於第一負偏向電流的第一正偏向電流。其中，第一正偏向電流在 0 V ~ +3V 的電壓區間內迅速增加，於 +3V 處產生電流峰值（約 7.5 nA），且於 +3V ~ +5V 的電壓區間內遞減至約 2.6 nA，並於 +5V ~ +10 V 的電壓區間內緩慢增加。

也就是說，透過一負設定電壓（此處為 -10V，但不以此為限）可將生物奈米線 5 內的金屬離子 53 設定為還原狀態。在還原狀態下，半導體生物奈米線裝置 1 的第一正偏向電流相對大於第一負偏向電流，而呈現出類似一般二極體的導電特性。且進一步來說，半導體生物奈米線裝置 1 於正電壓區間還呈現出非線性且非逐步遞增的電流-電壓特性，因此導電特性與一般二極體不盡相同。

另一方面，透過一正設定電壓（此處為 +10V）可將生物奈米線 5 內的金屬離子 53 設定為氧化狀態（ Ni^{3+} ）。在氧化狀態下，電壓從 +10V 逐漸減少至 0 V 的過程中，半導體生物奈米線裝置 1 呈現一較小的第二正偏向電流；而電壓從 0 V 逐漸減少為 -10V 時，半導體生物奈米線裝置 1 呈現一大致上相對大於第二正偏向電流的第二負偏向電流。此外，第二負偏向電流類似第一正偏向電流，亦呈現非線性及非逐漸遞增的電流-電壓特性。

因此，在氧化狀態下，半導體生物奈米線裝置 1 呈現相反於還原狀態的導電特性，且其電流-電壓特性大致

上相反於一般二極體。也就是說，透過正設定電壓或負設定電壓可將半導體生物奈米線裝置 1 設定為氧化狀態或還原狀態，使半導體生物奈米線裝置 1 呈現導電特性相反的二極體特性，而執行不同的元件功能。

參照圖 8。舉例來說，此處透過+6V 的正設定電壓將半導體生物奈米線裝置 1 設定為氧化狀態後，輸入一電壓峰值為 $\pm 1.5V$ 的弦波，可讀取如圖 8 的電流值。其中，當該弦波電壓為 $0V \sim +1.5V$ (正電壓) 時，其對應的電流峰值介於 $0 \sim 1 \text{ nA}$ 之間。而當該弦波電壓為 $-1.5V \sim 0V$ (負電壓) 時，其對應的電流峰值接近 5 nA 。因此，在此操作條件下，半導體生物奈米線裝置 1 於負電壓的電流值大於正電壓的電流值，而呈現相反於一般二極體的導電特性。

參照圖 9。此處透過-6V 的負設定電壓將半導體生物奈米線裝置 1 設定為還原狀態後，施加相同於圖 8 的弦波電壓，可讀取對應的電流值。當該弦波電壓為 $0V \sim +1.5V$ (正電壓) 時，對應的電流峰值略大於 4 nA ；當該弦波電壓為 $-1.5V \sim 0V$ (負電壓) 時，對應的電流峰值介於 $1 \sim 2 \text{ nA}$ 之間。因此，半導體生物奈米線裝置 1 於正電壓的電流值大於負電壓的電流值，而呈現類似一般二極體的操作特性。

對照圖 8、圖 9 可知，依據生物奈米線 5 被設定的氧化狀態或還原狀態，對半導體生物奈米線裝置 1 輸入相同的弦波電壓會呈現相反的二極體特性。因此，使用者

可根據需要對半導體生物奈米線裝置 1 施加正設定電壓或負設定電壓，而執行不同的元件功能。

參照圖 10。類似地，對處於氧化狀態或還原狀態的半導體生物奈米線裝置 1 施加一個三角波電壓，半導體生物奈米線裝置 1 亦對應呈現相異的電流值。圖 10 中黑色虛線為該輸入的三角波電壓，其電壓值介於 $0V \sim +3V$ ；黑色粗實線為還原狀態下的電流值，其電流峰值約為 $5\text{ nA} \sim 6\text{ nA}$ ；黑色細實線則為氧化狀態下的電流值，其電流峰值約為 $1\text{ nA} \sim 2\text{ nA}$ 。因此，當輸入的電壓為正三角波電壓，半導體生物奈米線裝置 1 根據氧化狀態或還原狀態而呈現相異的電流值，此亦為半導體生物奈米線裝置 1 於特定條件下可供操作的二極體特性。

在此要特別說明的是，上述內容藉由直流電壓、弦波電壓、三角波電壓說明半導體生物奈米線裝置 1 作為二極體的操作特性，但半導體生物奈米線裝置 1 也可以藉由其他類型的輸入電壓（如方波）進行操作，而不限於此處揭露的內容。

應用於作為憶阻器

以下配合圖 1~圖 4 與圖 11 說明半導體生物奈米線裝置 1 作為憶阻器的實施方式。

隨機存取記憶體（Random access memory, RAM）是目前各類電子裝置常用的電子元件，其透過內部的多個電容器（Capacitor）儲存資料。其中，電能飽和的電容器對應呈現二進位的「1」，未儲存電能的電容器對應呈

現二進位的「0」。但在電子裝置關機或斷電的情況下，隨機存取記憶體會損失內部的儲存資料，而構成使用上的限制。

針對上述問題，可採用憶阻器（Memristor）取代傳統記憶體。憶阻器是一種電子裝置關機或斷電後，可維持斷電前的阻值而能持續保存資料的記憶元件。具體來說，憶阻器具有以下特性：

$$V(t) = R(q(t)) \times I(t)$$

其中， $V(t)$ 是電壓對時間的函數， $q(t)$ 是電荷對時間的函數， $I(t)$ 是電流對時間的函數， $R(q(t))$ 則是憶阻器的阻值對電荷變化的函數。

由上述公式可知，憶阻器的阻值由特定時間的電荷量控制。所以，對憶阻器施加一電壓或一電流會改變其阻值，且移除該電壓或該電流後會使憶阻器的阻值維持在斷電前的狀態，這就是憶阻器的「記憶電阻」特性。

因此，若將對應二進位儲存資料「1」、「0」的相異電壓值（例如+5V與+1V）分別施加於憶阻器，可將憶阻器的阻值設定為對應的數值，而後只要量測憶阻器的阻值，即可得知憶阻器儲存的資料為「1」或「0」。此外，由於斷電後憶阻器的阻值仍維持於斷電前的狀態，因此可避免儲存資料的遺失。

本實施例中，對半導體生物奈米線裝置1施以正設定電壓或負設定電壓，會將金屬離子53設定為氧化狀態或還原狀態，且氧化狀態、還原狀態僅會被後續施加的

負設定電壓、正設定電壓重新設定，即使斷電也不會改變斷電前的氧化、還原狀態，而能維持斷電前的阻值。因此，本發明半導體生物奈米線裝置 1 具有憶阻器的操作特性。

進一步來說，還可將半導體生物奈米線裝置 1 的正設定電壓定義為對應二進位資料「1」，負設定電壓則對應二進位資料「0」，並藉由偵測半導體生物奈米線裝置 1 的電流-電壓特性以判斷其為氧化狀態或還原狀態，而得知儲存的資料內容。

參照圖 11。舉例來說，藉由 $-6V$ 的負設定電壓將半導體生物奈米線裝置 1 設定為對應二進位資料「0」的還原狀態後，在需要讀取半導體生物奈米線裝置 1 儲存的資料內容時，可分別對半導體生物奈米線裝置 1 施加 $-3V$ 及 $+3V$ 的方波電壓（以黑色虛線表示），並分別讀取對應的電流值（以黑色實線表示）。當方波電壓為 $-3V$ 時，對應的電流值相對較小（約介於 $0\text{ nA} \sim 25\text{ nA}$ ）；當方波的電壓為 $+3V$ 時，對應的電流值相對較大（大致上介於 $80\text{ nA} \sim 150\text{ nA}$ ）。參照前述內容可知，此電流-電壓關係顯示半導體生物奈米線裝置 1 處於還原狀態，所以可判斷其儲存的資料內容為「0」。類似地，藉由 $+6V$ 的正設定電壓可將半導體生物奈米線裝置 1 設定為對應資料「1」的氧化狀態，而後藉由電流-電壓關係以判斷半導體生物奈米線裝置 1 儲存的資料內容。

要特別說明的是，上述內容是以 $+6V$ 或 $-6V$ 進行半導

體生物奈米線裝置 1 的設定，並施加 +3V 與 -3V 的方波電壓以量測電流-電壓關係，但不以此為限，只要電壓值能設定半導體生物奈米線裝置 1 為氧化狀態或還原狀態，且施加的電壓可顯現出電流-電壓關係即可。

此外，除了以二進位進行記憶儲存，由前述公式可知半導體生物奈米線裝置 1 的阻抗 $R(q(t))$ 為時間之函數。意即當輸入電位 V 的時間改變，其對應於半導體生物奈米線裝置 1 上之阻抗與電荷值將會因時間而改變，而此一差異可為一偵測裝置所區別，因此電荷值對時間之變化將可區分為 0 至 N ，其中的 N 為核酸之鹼基對數量。也就是說，單一半導體生物奈米線裝置 1 不僅能以二進位儲存資料，還能因應生物奈米線 5 之核酸的鹼基對數量而執行 N 位元資料儲存。由前述內容可知本實施例中 N 值的範圍可以是 60~900，但不限於此範圍，可依據需要而調整。

應用於作為自旋電子裝置

以下配合圖 1~圖 4 與圖 12~圖 14 說明半導體生物奈米線裝置 1 作為自旋電子裝置的實施方式。

電子是一種帶負電的亞原子粒子 (Subatomic particle)，具有「+1/2」與「-1/2」兩種自旋方向。而自旋電子裝置則是可藉由偵測阻值變化以判斷電子自旋方向的裝置。

具體來說，自旋電子裝置通常具有一個電子傳輸通道以及兩個分別連接電子傳輸通道兩端的電極。對電極

施以一磁場以進行磁化處理後，可將電極內部的電子設定為相同的自旋方向（均為 $+1/2$ 或 $-1/2$ ）。當兩電極之電子的自旋方向相同時，對該等電極施以一電壓，會驅動其中一電極的電子經由該電子傳輸通道而傳輸至另一電極。由於該等電極的電子自旋方向相同，電子在傳輸途中不會發生自旋散射，因而呈現較小的阻值。另一方面，當兩電極的電子自旋方向相反時，電子在傳輸途中會發生自旋散射，因而呈現較大的阻值。因此，藉由自旋電子裝置的阻值量測，可判斷出其中電子的自旋方向。此外，上述偵測還可藉由電流、電壓於數值或相位的量測，以得知阻值的變化。

本實施例中，半導體生物奈米線裝置 1 作為自旋電子裝置操作時，生物奈米線 5 對應於前述的電子傳輸通道，且第一導體 3 與第二導體 4 需以磁性金屬（鐵、鈷、鎳）製成，而能藉由磁場設定電子自旋方向。

參照圖 12~圖 14。對半導體生物奈米線裝置 1 施以一外加電壓，並將第一導體 3、第二導體 4 分別設定為低電位、高電位，會驅動第一導體 3 的電子經由生物奈米線 5 傳輸至第二導體 4。其中，黑色圓圈代表電子，向上箭頭符號 \uparrow 代表電子的自旋方向為 $+1/2$ ，向下箭頭符號 \downarrow 代表電子的自旋方向為 $-1/2$ ，橫向箭頭符號 \rightarrow 則代表電子傳輸的方向。

參照圖 12。第一導體 3、生物奈米線 5 與第二導體 4 經由磁化處理後，三者的電子自旋方向相同（此處均為

+1/2))，因此施加一電壓後測得的阻值 R_1 最小。參照圖 13，第一導體 3 的電子自旋方向異於生物奈米線 5、第二導體 4，因此測得的阻值 R_2 相對大於 R_1 。再參照圖 14，生物奈米線 5 的電子自旋方向異於第一導體 3 與第二導體 4，所以測得的阻值 R_3 為最大，也就是說 $R_3 > R_2 > R_1$ 。因此，藉由對半導體生物奈米線裝置 1 阻值的量測，可得知電子的自旋方向，還能進一步判斷第一導體 3、第二導體 4 與生物奈米線 5 的相對磁化狀態。

除此之外，本實施例還可以藉由電壓而設定生物奈米線 5 的磁化狀態。舉例來說，當生物奈米線 5 的金屬離子 53 處於未磁化狀態且第一導體 3、第二導體 4 的電子自旋方向相同時，施加一電壓驅動第一導體 3 的電子經由生物奈米線 5 流經至第二導體 4，會將生物奈米線 5 的金屬離子 53 的電子自旋方向設定為相同於第一導體 3 與第二導體 4 方向，而呈現類似圖 12 的磁化狀態。

應用於作為生物感測器

以下參照圖 15 說明半導體生物奈米線裝置 1 作為微生物感測器的實施方式。

此處，生物奈米線 5 的第一序列結構 51、第二序列結構 52 的磷酸根（圖中未繪製）分別藉由 EDC 交連劑而與一個 PGB1 蛋白質 55 接合，且每個 PGB1 蛋白質 55 又跟一個 G 免疫球蛋白 56 接合。據此，G 免疫球蛋白 56 可與相互配對的待測生物分子 571 接合，以進行待測生物分子 571 的偵測。

舉例來說，可將一內含待測生物分子 571 的檢測溶液 572 滴加於生物奈米線 5，或將半導體生物奈米線裝置 1 浸泡於檢測溶液 572 中，以進行待測生物分子 571 的偵測。此外，半導體生物奈米線裝置 1 也可以藉由一具有一流體槽的流道結構（圖中未繪製）將檢測溶液 572 輸送至生物奈米線 5 處，以進行偵測。具體來說，偵測待測生物分子 571 的方式是施加一電壓或一電源於半導體生物奈米線裝置 1，並量測其對應電流或電壓的變化，藉以偵測檢測溶液 572 中是否存在待測生物分子 571。但上述 PGB1 蛋白質 55 與 G 免疫球蛋白 56 可根據待測生物分子 571 的類型而調整更換，不以此處揭露的內容為限。

應用於作為異方性導電結構

以下配合圖 16~圖 22 說明本發明半導體生物奈米線裝置 1 的第二較佳實施例，該第二較佳實施例說明半導體生物奈米線裝置 1 作為異方性導電結構（Anisotropic conducting structure）的實施方式。

參照圖 16。半導體生物奈米線裝置 1 具有一基材 2、一第一導體 3、一第二導體 4 及多條生物奈米線 5”。基材 2 具有一第一表面 21。第一導體 3 設置於基材 2 的第一表面 21 且由金或銀製成。多條生物奈米線 5”藉由自組裝單分子層（Self-assembly monolayer, SAM）技術以其一端垂直連結於第一導體 3，其製作方式於後續段落說明。第二導體 4 設置於間隔於第一導體 3 的位置且連接於

該等生物奈米線 5'' 的另一端，而藉由該等生物奈米線 5'' 與第一導體 3 形成電性連接。

參照圖 17~圖 22。本實施例中，生物奈米線 5'' 的構造與第一較佳實施例（對照圖 2~圖 4）大致相同，差別在於：本實施例的生物奈米線 5'' 於 3' 端或 5' 端還連結一硫醇基 58 (Thiol groups, 圖中以 SH 表示)，並藉由硫醇基 58 與第一導體 3 形成硫-金鍵結或硫-銀鍵結，而使生物奈米線 5'' 連結於第一導體 3。

此外，由於生物奈米線 5'' 的第一序列結構 51 與第二序列結構 52 呈現絕緣特性，且包覆於第一序列結構 51 與第二序列結構 52 之內的串列金屬離子 53 提供電子傳輸的路徑，因此可將生物奈米線 5'' 視為外圍包覆絕緣層的微型纜線，且該等生物奈米線 5'' 相互配合構成類似同軸電纜 (Coaxial cable) 的結構。第一導體 3 與第二導體 4 藉由該等生物奈米線 5'' 傳輸電訊號時，該等生物奈米線 5'' 各自傳輸的電訊號相互獨立不干擾，因而具有異方性導電之功效。

以下配合圖 16、圖 23、圖 24 及相關圖式，說明本實施例的半導體生物奈米線裝置 1 的製造方法。

步驟 F1：製作第一導體 3。

在基材 2 的第一表面 21 藉由半導體技術製備第一導體 3，其製作方式類似步驟 S1，在此不多贅述。此處，第一導體 3 還可以進一步藉由鋁粉 (Alumina powder) 進行表面研磨，並在 0.5 M 硫酸溶液中進行電解拋光處理，

以增進表面平整性。

步驟 F2：製備合成溶液 59。

此步驟製備帶有硫醇基 58 之生物奈米線 5”的合成溶液 59。

首先，執行前述步驟 S2 以製備前述反應溶液 54。接著，藉由硫醇化處理，使生物奈米線 5”之 3’端或 5’端帶有 $\text{SH}(\text{CH}_2)_6$ (6-Mercapto-1-hexanol) 的硫醇基 58，而完成合成溶液 59 的製備。

步驟 F3：令自組裝單分子層之生物奈米線 5 連結於第一導體 3。

此步驟是讓合成溶液 59 中的生物奈米線 5”藉由其硫醇基 58 垂直鍵結於金或銀材質的第一導體 3 表面，而形成自組裝單分子層 (SAM) 結構。

具體作法是以 $2 \mu\text{M}$ 的合成溶液 59 滴加於第一導體 3 表面並維持 8 小時，合成溶液 59 中的生物奈米線 5”會自動藉由硫醇基 58 鍵結於第一導體 3 表面，並與第一導體 3 表面相互垂直。其中，反應過程中可使用一遮蓋加以密封以維持合成溶液 59 濃度的穩定性。而後，將第一導體 3 連同生物奈米線 5”浸泡於 0.1 M 的磷酸緩衝溶液 (Phosphate-buffered saline, PBS) 中 10 分鐘並以蒸餾水清洗，以去除第一導體 3 表面殘留的反應物。

步驟 F4：將第二導體 4 連接於生物奈米線 5。

此步驟將第二導體 4 連接於生物奈米線 5”相反於第一導體 3 的另一端，而完成具異方性導電特性的半導體

生物奈米線裝置 1。

舉例來說，上述第一導體 3 與第二導體 4 分屬兩個電子元件的電極，於第一導體 3 表面藉由硫醇基 58 連接該等生物奈米線 5”，並將第二導體 4 連接於該等生物奈米線 5”的另一端，即可讓此兩個電子元件藉由該等生物奈米線 5”傳遞電訊號。

參照圖 25 與圖 28 為本發明半導體生物奈米線裝置 1 的第三較佳實施例。該第三較佳實施例與第一較佳實施例大致相同，差別在於：第三實施例中，半導體生物奈米線裝置 1 還包含一第一接合子 6 與一第二接合子 7。第一接合子 6 與第二接合子 7 主要由核酸製成且分別包括至少一個螯合於核酸的金屬離子（圖中未繪製），並藉由自組裝單分子層技術連結於第一導體 3 與第二導體 4，其製作方式於後續段落說明。依據此實施方式，生物奈米線 5””的兩端分別藉由第一接合子 6 與第二接合子 7 連結於第一導體 3 與第二導體 4，而不同於第一實施例的連結方式。

具體來說，本實施例中第一導體 3 與第二導體 4 是由金或銀製成，以便形成化學鍵結。生物奈米線 5””的構造與第一實施例的生物奈米線 5 大致相同，其鹼基對中亦含有一個螯合於核酸的金屬離子（圖中未繪製），但兩端分別藉由兩種相異的核酸限制酶（Restriction enzyme，例如 Bam HI 與 Hind III）處理而形成非平整的一第一黏著端（Stick end）501 及一第二黏著端 502。

第一接合子 6 包括一第一核酸引子 61 及一第二核酸引子 62，此處第一核酸引子 61 及第二核酸引子 62 的長度為 20 至 30 nts (nucleotides)，兩者長度相異並與金屬離子 (圖中未繪製) 整合，其核酸序列相互匹配且匹配於生物奈米線 5 的第一黏著端 501。第一核酸引子 61 及第二核酸引子 62 的一端連結於生物奈米線 5''' 的第一黏著端 501，且第一核酸引子 61 與第二核酸引子 62 連結於第一導體 3 的另一端各具有一硫醇基 (圖中以 SH 符號表示)，而與第一導體 3 形成硫-金鍵結或硫-銀鍵結。據此，生物奈米線 5''' 的第一黏著端 501 可透過第一接合子 6 而連結於第一導體 3。要注意的是，上述第一核酸引子 61 與第二核酸引子 62 也可以設計為僅兩者其中之一具有硫醇基，亦能透過硫醇基而將第一接合子 6 連同生物奈米線 5''' 連結於第一導體 3。

類似地，生物奈米線 5''' 的第二黏著端 502 透過第二接合子 7 連結於第二導體 4。第二接合子 7 包括一第三核酸引子 71 及一第四核酸引子 72。第三核酸引子 71 及第四核酸引子 72 與金屬離子 (圖中未繪製) 整合，兩者核酸序列相互匹配並匹配於生物奈米線 5''' 的第二黏著端 502。第三核酸引子 71 及第四核酸引子 72 的一端連結於生物奈米線 5''' 的第二黏著端 502，且第三核酸引子 71 與第四核酸引子 72 連結於第二導體 4 的另一端至少其一具有一硫醇基，而與第二導體 4 形成硫-金鍵結或硫-銀鍵結。

依據上述設置方式，生物奈米線 5'' 的第一黏著端 501、第二黏著端 502 分別藉由第一接合子 6、第二接合子 7 連結於第一導體 3、第二導體 4，而能用於執行前述的二極體、憶阻器、自旋電子裝置、微生物感測器或異方性導電結構之元件功能。要特別說明的是，除了第一接合子 6、第二接合子 7 之外，生物奈米線 5'' 的兩端也可以透過酵素而連結於第一導體 3、第二導體 4，此為可視需要而彈性設置的實施方式，而不限於前述說明內容。

以下配合相關圖式說明第三實施例中半導體生物奈米線裝置 1 的製作方式。

參閱圖 25 至圖 28，本實施例中半導體生物奈米線裝置 1 的製作方式如下：

步驟 M1：製作第一導體 3 與第二導體 4。

本步驟是在基材 2 上以導電材料製作第一導體 3 與第二導體 4，其詳細內容如步驟 S1，在此不多贅述。

步驟 M2：於第一導體 3 與第二導體 4 表面連結自組裝的第一接合子 6 與第二接合子 7。

本步驟是以自組裝技術在第一導體 3 與第二導體 4 的表面連結第一接合子 6 與第二接合子 7。

參閱圖 27。首先，將內含長度不同之第一核酸引子 61、第三核酸引子 71 的 1 μ M (1 微莫爾/公升) 水溶液混合後，滴加 5 微升於第一導體 3 與第二導體 4 並靜置 6~12 小時，讓第一核酸引子 61 與第三核酸引子 71 各藉

由其硫醇基（圖中以 SH 示意的位置）而與第一導體 3 與第二導體 4 形成硫-金鍵結或硫-銀鍵結，並形成自組裝單層結構。圖 27 中，第一導體 3 表面係連結一第一核酸引子 61，第二導體 4 表面則連結一第三核酸引子 71，但此設置方式僅用以說明半導體生物奈米線裝置 1 的製作方式，其設置方式不限於此。也就是說，第一核酸引子 61 與第三核酸引子 71 的數量也可以是多個，且第一導體 3 與第二導體 4 的表面也可以分別同時連結多個第一核酸引子 61 與第三核酸引子 71，亦能達成相同的功效。

參閱圖 28。接著，將 2 微升內含匹配於第一核酸引子 61 之第二核酸引子 62、匹配於第三核酸引子 71 之第四核酸引子 72 的 $1 \mu\text{M}$ （1 微莫爾/公升）pH 9 之雙重蒸餾水溶液（Double-distilled water, ddH₂O），與 2 微升前述含鎳的反應溶液（鎳離子含量為 $100 \mu\text{M}$ ）分別滴於第一導體 3 與第二導體 4 並靜置 12 小時，而形成內含螯合金屬離子（圖中未繪製）的第一接合子 6 與第二接合子 7。

最後，以 pH 9.0 之雙重蒸餾水（Double-distilled water）沖洗第一導體 3 與第二導體 4 三次，以除去多餘的鹽基離子（Salt）及鎳離子。

要特別說明的是，第一導體 3 與第二導體 4 的表面也可以分別連結多個自組裝的第一接合子 6 與第二接合子 7，且於後續步驟中藉以連接多條生物奈米線 5'''，亦能執行前述的元件功能。此外，前述製作參數可視需要而彈性調整，例如內含第一核酸引子 61、第三核酸引子

71 或內含第二核酸引子 62、第四核酸引子 72 之水溶液的濃度範圍為 0.01 至 10 微莫爾/公升，該含鎳的反應溶液的濃度範圍為 10 微莫爾/公升至 10 毫莫爾/公升，且兩者混合的體積比例為 0.1 至 10，上述參數範圍都能達成本步驟的目的。

步驟 M3：於生物奈米線 5''' 的兩端分別連接於第一接合子 6 與第二接合子 7。

本步驟是要將生物奈米線 5''' 透過第一接合子 6 與第二接合子 7 而連結於第一導體 3 與第二導體 4。

具體來說，先以前述步驟 S2 的方式製備內含生物奈米線 5 的反應溶液 54。接著，使用核酸限制酶（Bam HI 與 Hind III）在生物奈米線 5 的兩端分別形成第一黏著端 501 及第二黏著端 502，而將前述的生物奈米線 5 轉換為具有第一黏著端 501 及第二黏著端 502 的生物奈米線 5'''，以製備具有生物奈米線 5''' 的反應溶液 54'（圖中未繪製）。

而後，將 5 微升之 200 nM/L（奈莫爾/公升）的反應溶液 54' 滴加於第一導體 3 與第二導體 4，並靜置 20 分鐘，而讓生物奈米線 5''' 的兩端分別連結於第一接合子 6 與第二接合子 7。於反應過程中，可使用一遮蓋將反應溶液 54' 密封其中，以維持反應溶液 54' 的濃度。最後，以氮氣緩慢吹去剩餘的反應溶液 54'，即完成半導體生物奈米線裝置 1 的製作。

要特別說明的是，上述反應溶液 54' 的濃度與反應時

間可視需要而調整，不以此處揭露的內容為限。

本實施例中，生物奈米線 5''' 是透過第一接合子 6 與第二接合子 7 而連接於第一導體 3 與第二導體 4，與第一實施例中生物奈米線 5 以靜電吸附力連結於第一導體 3 與第二導體 4、第二實施例中生物奈米線 5'' 藉由硫醇基連結於第一導體 3 的製作方式不同，但是三者都能執行相同的元件功能。此外，圖 25 中半導體生物奈米線裝置 1 僅包含一條生物奈米線 5'''，但是生物奈米線 5''' 的數量也可以為多條，不限於此處揭露的內容。

綜上所述，本發明半導體生物奈米線裝置 1 可在特定的操作條件與實施態樣下，分別執行二極體、憶阻器、自旋電子裝置、微生物感測器或異方性導電結構的元件功能，而能在同一半導體裝置執行多種元件功能，故確實能達成本發明的目的。

惟以上所述者，僅為本發明之較佳實施例而已，當不能以此限定本發明實施之範圍，即大凡依本發明申請專利範圍及發明說明內容所作之簡單的等效變化與修飾，皆仍屬本發明專利涵蓋之範圍內。

【圖式簡單說明】

圖 1 是一示意圖，說明本發明半導體生物奈米線裝置的第一較佳實施例；

圖 2 至圖 4 為示意圖，說明該第一實施例的生物奈米線的實施態樣；

圖 5 是將該生物奈米線連結於一第一導體與一第二導體

的示意圖；

圖6是一流程圖，說明該第一實施例的半導體生物奈米線裝的製作流程；

圖7是一電流-電壓曲線圖，說明該半導體生物奈米線裝置作為二極體的操作特性；

圖8至圖10是該半導體生物奈米線裝置的電流-時間曲線圖；

圖11是一電流-時間曲線圖，說明該半導體生物奈米線裝置作為憶阻器的操作特性；

圖12至圖14為示意圖，說明該半導體生物奈米線裝置作為自旋電子裝置的操作特性；

圖15是一示意圖，說明該半導體生物奈米線裝置作為微生物感測器的實施態樣；

圖16是一示意圖，說明本發明半導體生物奈米線裝置的第二較佳實施例；

圖17至圖22分別是該第二較佳實施例的生物奈米線的實施態樣；

圖23是該第二較佳實施例中，製作該半導體生物奈米線裝置的示意圖；

圖24是一流程圖，說明該第二較佳實施例的半導體生物奈米線裝置的製作流程；

圖25是一示意圖，說明本發明半導體生物奈米線裝置的第三較佳實施例；

圖26是一流程圖，說明該第三較佳實施例的半導體生物

奈米線裝置的製作流程；及

圖 27 與圖 28 是製作第三較佳實施例的半導體生物奈米線裝置的示意圖。

【主要元件符號說明】

1 …………… 半導體生物奈米線裝置	572 …………… 檢測溶液
2 …………… 基材	58 …………… 硫醇基
21 …………… 第一表面	59 …………… 合成溶液
3 …………… 第一導體	6 …………… 第一接合子
4 …………… 第二導體	61 …………… 第一核酸引子
5、5''、5''' …………… 生物奈米線	62 …………… 第二核酸引子
51 …………… 第一序列結構	7 …………… 第二接合子
511 …………… 核苷酸分子	71 …………… 第三核酸引子
52 …………… 第二序列結構	72 …………… 第四核酸引子
521 …………… 核苷酸分子	3' …………… 生物奈米線的一端
53 …………… 金屬離子	5' …………… 生物奈米線的一端
54、54' …………… 反應溶液	S1~S3 …… 流程步驟
55 …………… PGB1 蛋白質	F1~F4 …… 流程步驟
56 …………… G 免疫球蛋白	M1~M3 …… 流程步驟
571 …………… 待測生物分子	

七、申請專利範圍：

1. 一種半導體生物奈米線裝置，包含：

一基材，具有一第一表面；

一第一導體，設置於該基材的該第一表面；

一第二導體，設置於該基材的該第一表面，並間隔於該第一導體；及

一生物奈米線，兩端分別連結於該第一導體與該第二導體，該生物奈米線主要由核酸製成，且包括多個整合於核酸的金屬離子，

對該生物奈米線施加一電壓或電流以改變其中金屬離子的氧化還原狀態，藉此控制該生物奈米線的非線性導電特性。

2. 根據申請專利範圍第 1 項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，該生物奈米線包括相互螺旋纏繞的一第一序列結構與一第二序列結構，該第一序列結構具有多個線狀排列的核苷酸分子，該第二序列結構具有多個線狀排列且完全匹配於該第一序列結構的核苷酸分子，該第一序列結構的核苷酸分子分別藉由氫鍵及一金屬離子而連結於該第二序列結構對應匹配的核苷酸分子。

3. 根據申請專利範圍第 1 項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，該生物奈米線包括相互螺旋纏繞的一第一序列結構與一第二序列結構，該第一序列結構具有多個線狀排列的核苷酸分子，該第二序列結構具有多個線狀排列的核苷酸分子，該第一序列結構的其中一核苷酸分子不匹配於該第

二序列結構對應的核苷酸分子，且該第一序列結構與該第二序列結構相互匹配的核苷酸分子各藉由氫鍵及一金屬離子連結。

4. 根據申請專利範圍第 1 項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，該生物奈米線包括相互螺旋纏繞的一第一序列結構與一第二序列結構，該第一序列結構具有多個線狀排列的核苷酸分子，該第二序列結構具有多個線狀排列的核苷酸分子，該第一序列結構的多個核苷酸分子不匹配於該第二序列結構對應的核苷酸分子，且該第一序列結構與該第二序列結構相互匹配的核苷酸分子各藉由氫鍵及一金屬離子連結。
5. 根據申請專利範圍第 2 至 4 項中任一項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，該第一序列結構與該第二序列結構係分別對應於一 DNA 分子的雙股核酸，或分別對應於一單股核酸中形成雙股螺旋構造的兩互補區段。
6. 根據申請專利範圍第 2 至 4 項中任一項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，該等核苷酸分子為腺嘌呤、鳥嘌呤、胸腺嘧啶或胞嘧啶，且該等核苷酸分子於該第一序列結構或該第二序列結構中的排列順序為任意組合。
7. 根據申請專利範圍第 2 至 4 項中任一項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，該等核苷酸分子為核糖核苷酸或去氧核糖核苷酸，且該等核苷酸分子於該第一序列結構或該第二序列結構中的排列順序為任意組合。
8. 根據申請專利範圍第 1 項所述之半導體生物奈米線裝置，

- 其中，該等金屬離子選自鎳離子、銅離子、鋅離子、鈷離子及鐵離子所組成的群體。
9. 根據申請專利範圍第1項所述之半導體生物奈米線裝置，還包含一第一接合子與一第二接合子，該第一接合子與該第二接合子主要由核酸製成且分別包括至少一個螯合於核酸的金屬離子，該生物奈米線的兩端分別藉由該第一接合子與該第二接合子而連結於該第一導體與該第二導體。
10. 根據申請專利範圍第9項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，該生物奈米線的兩端分別藉由兩相異核酸限制酶處理而形成一第一黏著端及一第二黏著端，且該第一導體與該第二導體由金或銀製成；該第一接合子包括一第一核酸引子及一第二核酸引子，該第一核酸引子及該第二核酸引子與該金屬離子螯合，且兩者核酸序列相互匹配並匹配於該生物奈米線的第一黏著端，該第一核酸引子與該第二核酸引子的一端連結於該生物奈米線的第一黏著端，且該第一核酸引子與該第二核酸引子連結於該第一導體的另一端至少其中之一具有一硫醇基，而與該第一導體形成硫-金鍵結或硫-銀鍵結；該第二接合子包括一第三核酸引子及一第四核酸引子，該第三核酸引子及該第四核酸引子與該金屬離子螯合，且兩者核酸序列相互匹配並匹配於該生物奈米線的第二黏著端，該第三核酸引子及該第四核酸引子的一端連結於該生物奈米線的第二黏著端，且該第三核酸引子與該第四核酸引子連結於該第二導體的另一端至少其中之一具有一硫醇基，而與該第二導體形成硫-金鍵結或

硫 - 銀鍵結。

11. 根據申請專利範圍第 1 項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，該等金屬離子藉由一正設定電壓而設定為氧化狀態，或藉由一負設定電壓而設定為還原狀態，以控制該生物奈米線於該氧化狀態及該還原狀態變化所呈現相異的非線性導電特性。
12. 根據申請專利範圍第 11 項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，該生物奈米線於該氧化狀態與該還原狀態呈現導電特性相反的二極體特性。
13. 根據申請專利範圍第 11 項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，在該還原狀態下，該生物奈米線接受一小於該正設定電壓的正電壓時產生一第一正偏向電流，並於接受一小於該負設定電壓的負電壓時產生一第一負偏向電流，且該第一正偏向電流大於該第一負偏向電流；在該氧化狀態下，該生物奈米線接受一小於該正設定電壓的正電壓時產生一第二正偏向電流，並於接受一小於該負設定電壓的負電壓時產生一第二負偏向電流，且該第二正偏向電流小於該第二負偏向電流。
14. 根據申請專利範圍第 1 項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，該第一導體與該第二導體的間距為 20 奈米至 300 奈米。
15. 根據申請專利範圍第 1 項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，該第一導體與該第二導體的間距為 5 奈米至 1 微米。

16. 根據申請專利範圍第 1 項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，該第一導體與該第二導體的材料選自金屬、石墨、金屬氧化物或高分子導電材料所組成的群組。
17. 根據申請專利範圍第 1 項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，該第一導體與該第二導體由磁性金屬製成，且該生物奈米線、該第一導體與該第二導體各具有對應的電子自旋方向，藉由電流、電壓、相位或電阻值的量測，以判斷該生物奈米線、該第一導體或該第二導體的電子自旋方向。
18. 根據申請專利範圍第 1 項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，該第一導體與該第二導體由磁性金屬製成且具有相同的電子自旋方向，施加一電壓於該第一導體使該第一導體的電子經由該生物奈米線傳輸至該第二導體，而將該生物奈米線的電子自旋方向設定為相同於該第一導體與該第二導體。
19. 根據申請專利範圍第 17 或 18 項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，該第一導體與該第二導體的材料選自鐵、鈷、鎳所組成的群組。
20. 根據申請專利範圍第 1 項所述之半導體生物奈米線裝置，還包含一流道結構，該流道結構包括一位置對應該生物奈米線並將該生物奈米線容納其中的流體槽，該流體槽供容裝一包含多個待測生物分子的檢測溶液。
21. 根據申請專利範圍第 1 項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，該生物奈米線的兩端藉由靜電力或酵素而連結於該

第一導體與該第二導體。

22. 一種半導體生物奈米線裝置，包含：

一基材，具有一第一表面；

一第一導體，設置於該基材的第一表面；

多條生物奈米線，分別以其一端垂直連結於該第一導體，該等生物奈米線主要由核酸製成，且分別包括多個整合於其核酸的金屬離子，各該生物奈米線的金屬離子提供電子傳輸路徑，且該等生物奈米線彼此之間不導電；對該等生物奈米線施加一電壓或電流以改變其中金屬離子的氧化還原狀態，藉此控制該等生物奈米線的非線性導電特性；及

一第二導體，與該第一導體相間隔且電連接於該等生物奈米線遠離該第一導體的另一端。

23. 根據申請專利範圍第22項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，該等生物奈米線分別包括螺旋纏繞的一第一序列結構與一第二序列結構，該等第一序列結構各具有多個線狀排列的核苷酸分子，該等第二序列結構各具有多個完全匹配於其中一第一序列結構的核苷酸分子，各該第一序列結構的核苷酸分子藉由氫鍵及一金屬離子而連結於一匹配的第二序列結構的核苷酸分子。

24. 根據申請專利範圍第22項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，該等生物奈米線分別包括相互螺旋纏繞的一第一序列結構與一第二序列結構，該等第一序列結構各具有多個線狀排列的核苷酸分子，該等第二序列結構各具有多個線

- 狀排列的核苷酸分子，各該第一序列結構的其中一核苷酸分子不匹配於該第二序列結構對應的核苷酸分子，且各該第一序列結構與各該第二序列結構相互匹配的核苷酸分子分別藉由氫鍵及一金屬離子連結。
25. 根據申請專利範圍第22項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，該等生物奈米線分別包括相互螺旋纏繞的一第一序列結構與一第二序列結構，該等第一序列結構各具有多個線狀排列的核苷酸分子，該等第二序列結構各具有多個線狀排列的核苷酸分子，各該第一序列結構的多個核苷酸分子不匹配於該第二序列結構對應的核苷酸分子，且各該第一序列結構與各該第二序列結構相互匹配的核苷酸分子分別藉由氫鍵及一金屬離子連結。
26. 根據申請專利範圍第23至25項中任一項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，各該生物奈米線的第一序列結構與第二序列結構係分別對應於一DNA分子的雙股核酸，或分別對應於一單股核酸中形成雙股螺旋構造的兩互補區段。
27. 根據申請專利範圍第23至25項中任一項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，各該生物奈米線的核苷酸分子為腺嘌呤、鳥嘌呤、胸腺嘧啶或胞嘧啶，且該等核苷酸分子於各該第一序列結構或各該第二序列結構中的排列順序為任意組合。
28. 根據申請專利範圍第23至25項中任一項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，各該生物奈米線的核苷酸分子為核糖核苷酸或去氧核苷酸，且該等核苷酸分子於該第一序列結

構或該第二序列結構中的排列順序為任意組合。

29. 根據申請專利範圍第22項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，該等金屬離子選自鎳離子、銅離子、鋅離子、鈷離子及鐵離子所組成的群體。
30. 根據申請專利範圍第22項所述之半導體生物奈米線裝置，其中，該第一導體由金或銀製成，該等生物奈米線連結於該第一導體的一端還分別包括一硫醇基，且該等生物奈米線各藉由該硫醇基而與該第一導體形成硫 - 金鍵結或硫 - 銀鍵結。
31. 一種半導體生物奈米線裝置的製作方法，包含以下步驟：
 - (A) 在一基材的第一表面製作相互間隔的一第一導體及一第二導體，該第一導體及該第二導體由金或銀製成；
 - (B) 將一第一接合子及一第二接合子分別連結於該第一導體與該第二導體，該第一接合子與該第二接合子主要由核酸製成並分別包括至少一個螯合於核酸的金屬離子，且該第一接合子與該第二接合子各藉由其一端的硫醇基而與該第一導體與該第二導體形成硫 - 金鍵結或硫 - 銀鍵結；及
 - (C) 將一生物奈米線的兩端分別連結於該第一接合子及該第二接合子，該生物奈米線主要由核酸製成且包括多個螯合於核酸的金屬離子。
32. 根據申請專利範圍第31項所述之半導體生物奈米線裝置的製作方法，其中，於步驟(C)該生物奈米線的兩端分別

藉由兩相異核酸限制酶而形成一第一黏著端與一第二黏著端，且該生物奈米線分別藉由該第一黏著端與該第二黏著端而連結於該第一接合子與該第二接合子。

33. 根據申請專利範圍第32項所述之半導體生物奈米線裝置的製作方法，其中，該第一接合子包括一第一核酸引子及一第二核酸引子，該第一核酸引子及該第二核酸引子與該金屬離子螯合，且兩者核酸序列相互匹配並匹配於該生物奈米線的第一黏著端，該第一核酸引子與該第二核酸引子的一端連結於該生物奈米線的第一黏著端，且該第一核酸引子與該第二核酸引子連結於該第一導體的另一端至少其中之一具有一硫醇基；該第二接合子包括一第三核酸引子及一第四核酸引子，該第三核酸引子及該第四核酸引子與該金屬離子螯合，且兩者核酸序列相互匹配並匹配於該生物奈米線的第二黏著端，該第三核酸引子及該第四核酸引子的一端連結於該生物奈米線的第二黏著端，且該第三核酸引子與該第四核酸引子連結於該第二導體的另一端至少其中之一具有一硫醇基。

34. 根據申請專利範圍第33項所述之半導體生物奈米線裝置的製作方法，其中，該步驟（B）包括以下步驟：

（B1）將一內含該第一核酸引子與該第三核酸引子的溶液滴加於該第一導體與該第二導體，使該第一核酸引子與該第三核酸引子分別藉由其硫醇基連結於該第一導體與該第二導體；

（B2）將一內含該第二核酸引子與該第四核酸引子的

溶液滴加於該第一導體與該第二導體，並將一含金屬離子的反應溶液滴加於該第一導體與該第二導體，使該第二核酸引子與該第四核酸引子分別藉由其硫醇基連結於該第一導體與該第二導體，並形成連結於該第一導體與該第二導體的第一接合子與第二接合子。

35. 根據申請專利範圍第34項所述之半導體生物奈米線裝置的製作方法，其中，於步驟（B1）該溶液的濃度為0.01至10微莫爾／公升，且步驟（B1）經過6至12小時後再執行步驟（B2）；於步驟（B2）內含該第二核酸引子與該第四核酸引子的該溶液濃度為0.01至10微莫爾／公升，該含鎳的反應溶液的濃度為10微莫爾／公升至10毫莫爾／公升，且該溶液與該含鎳之反應溶液的體積比例為0.1至10。
36. 根據申請專利範圍第31項所述之半導體生物奈米線裝置的製作方法，其中，該等金屬離子選自鎳離子、銅離子、鋅離子、鈷離子及鐵離子所組成的群體。

八、圖式：

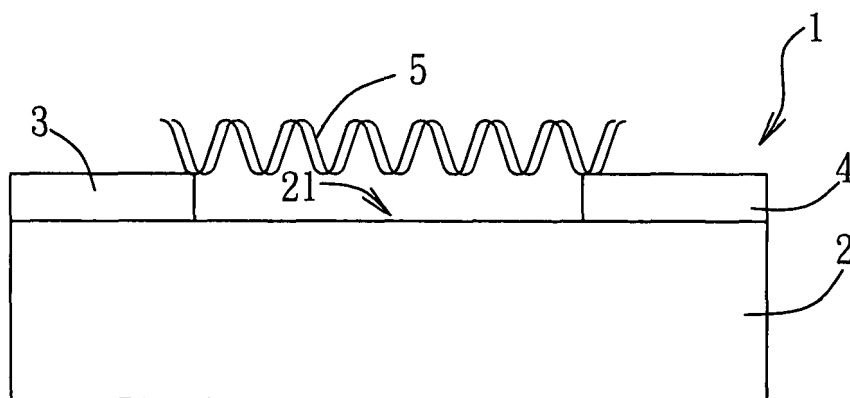


圖1

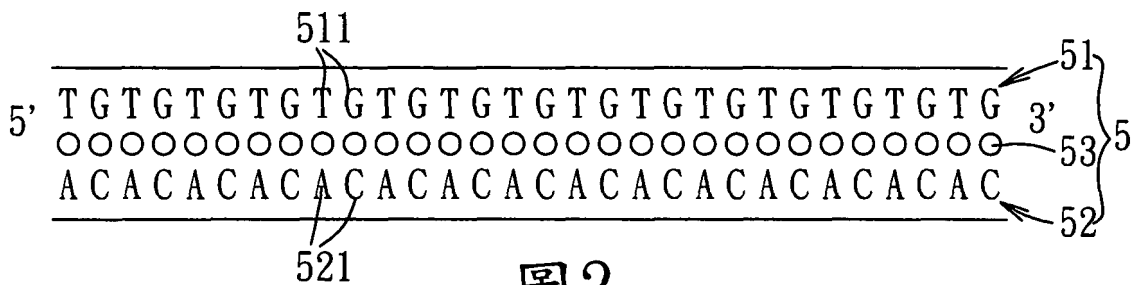


圖2

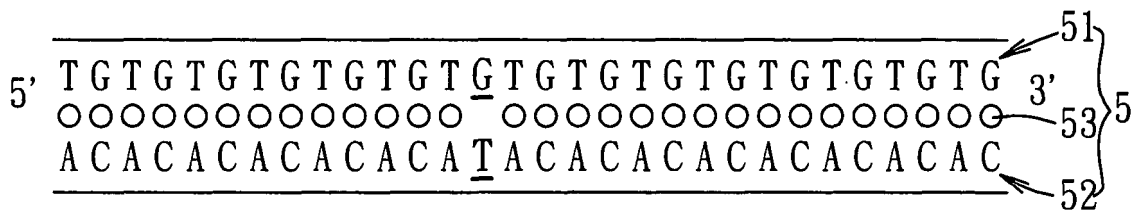


圖3

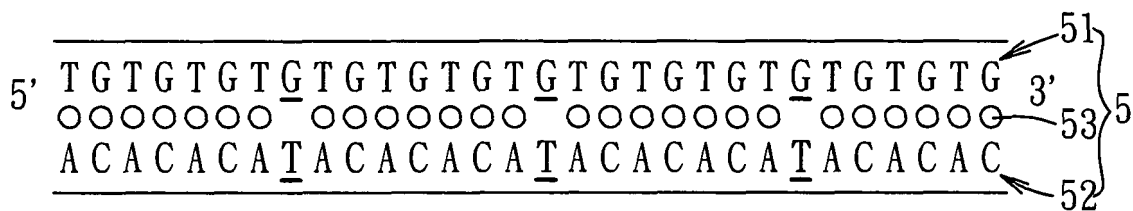


圖4

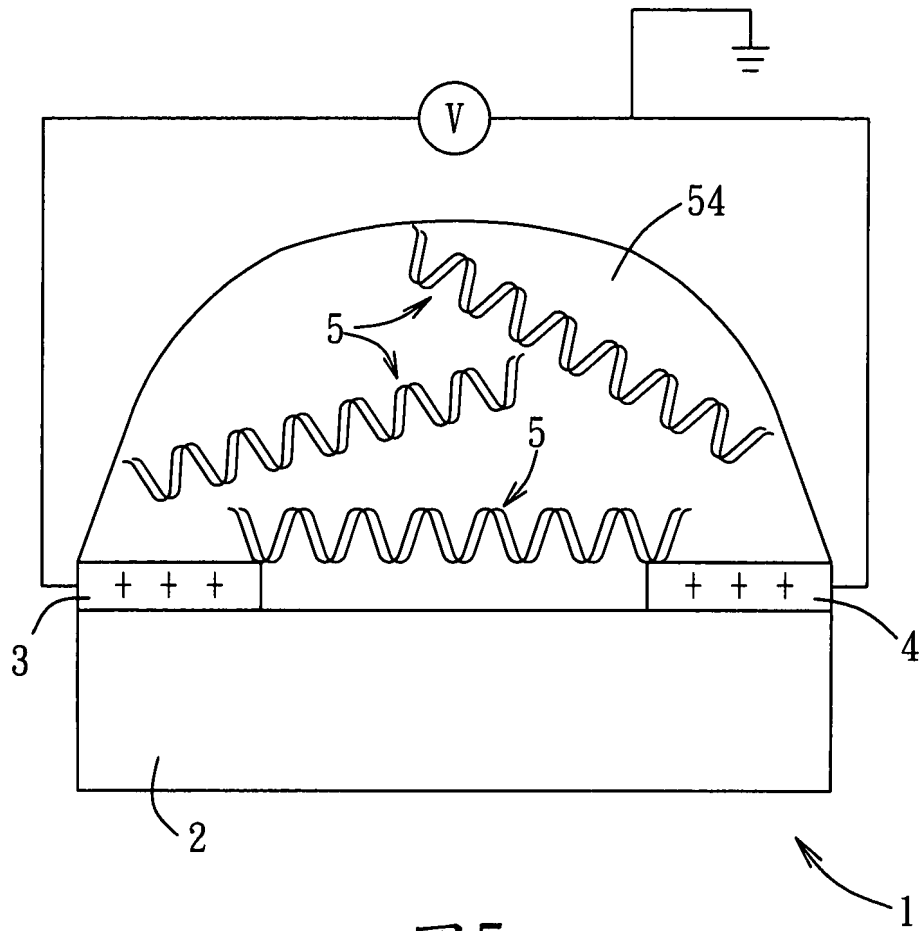


圖5

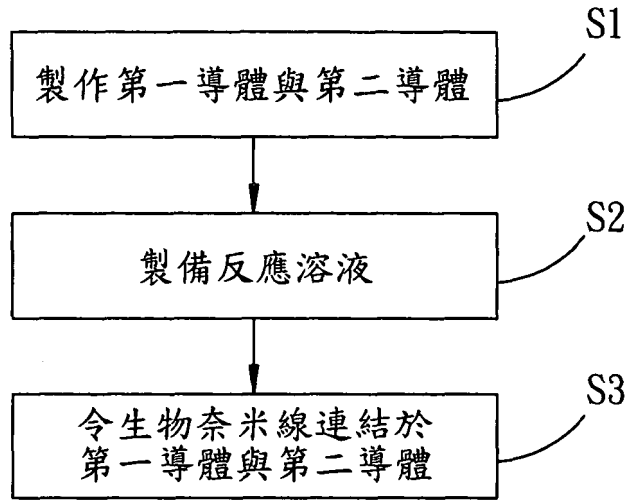


圖6

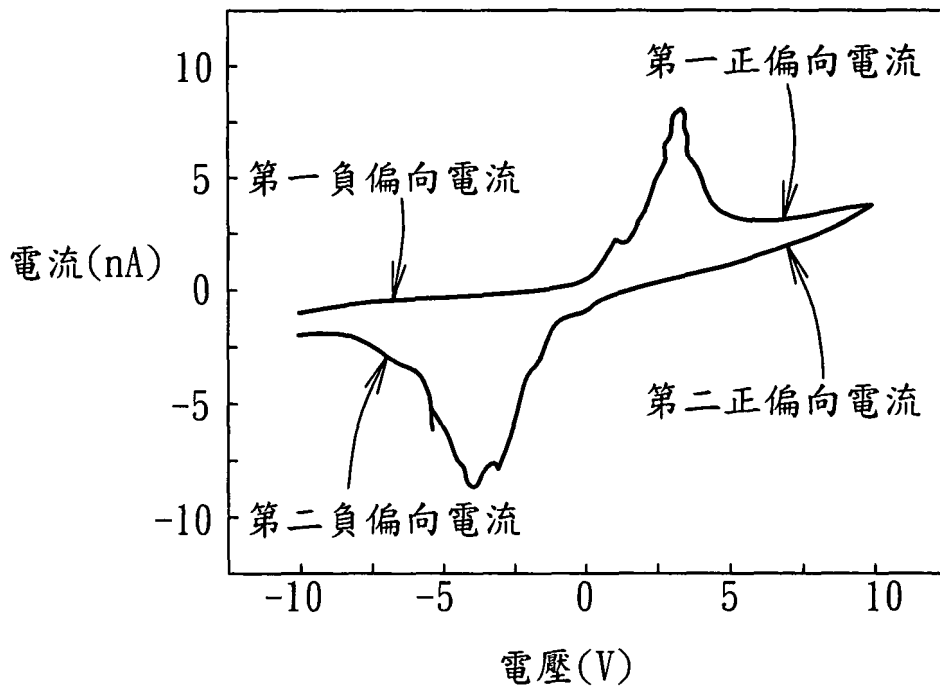


圖7

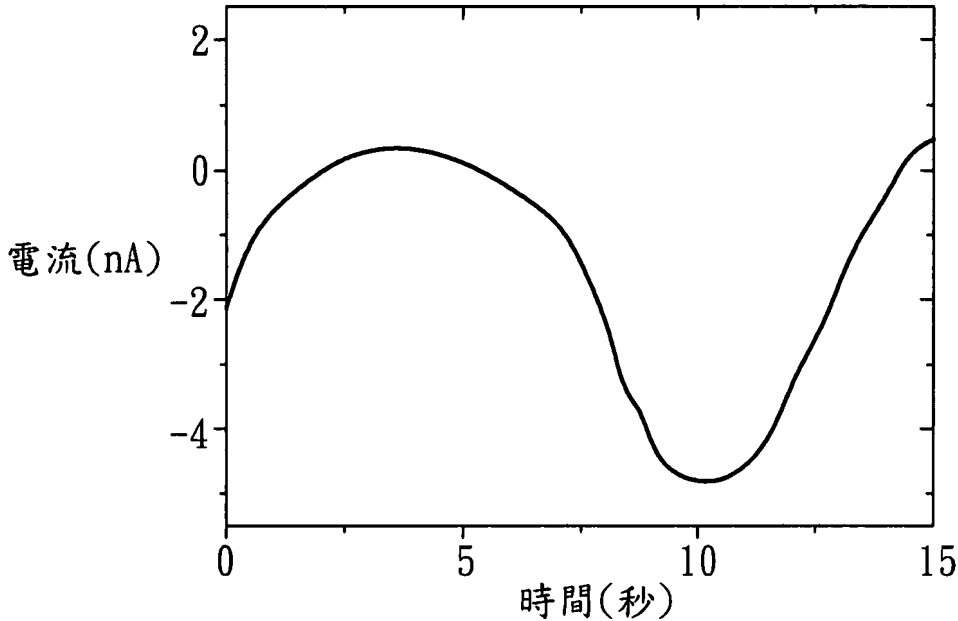


圖8

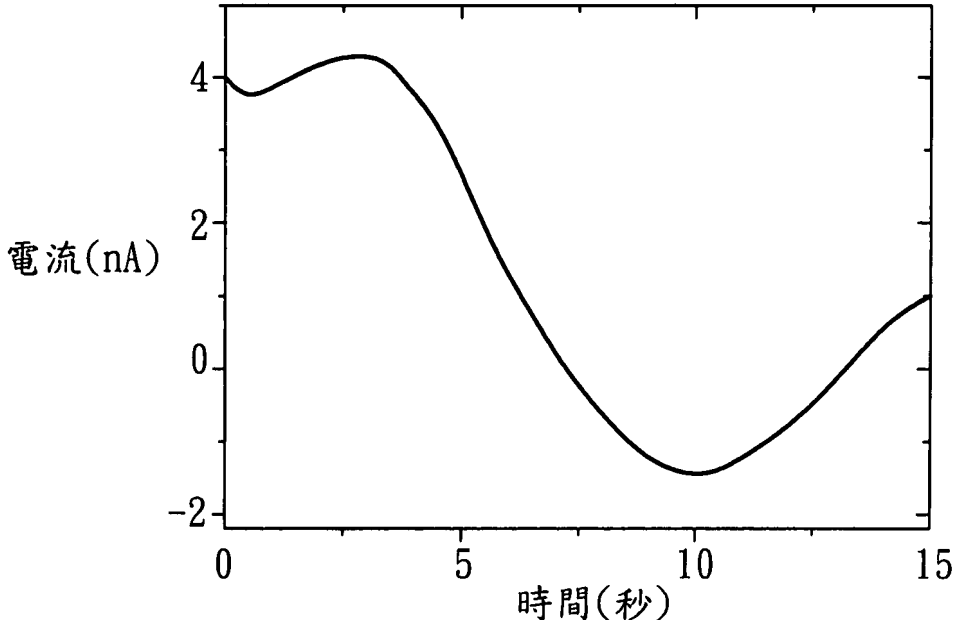


圖9

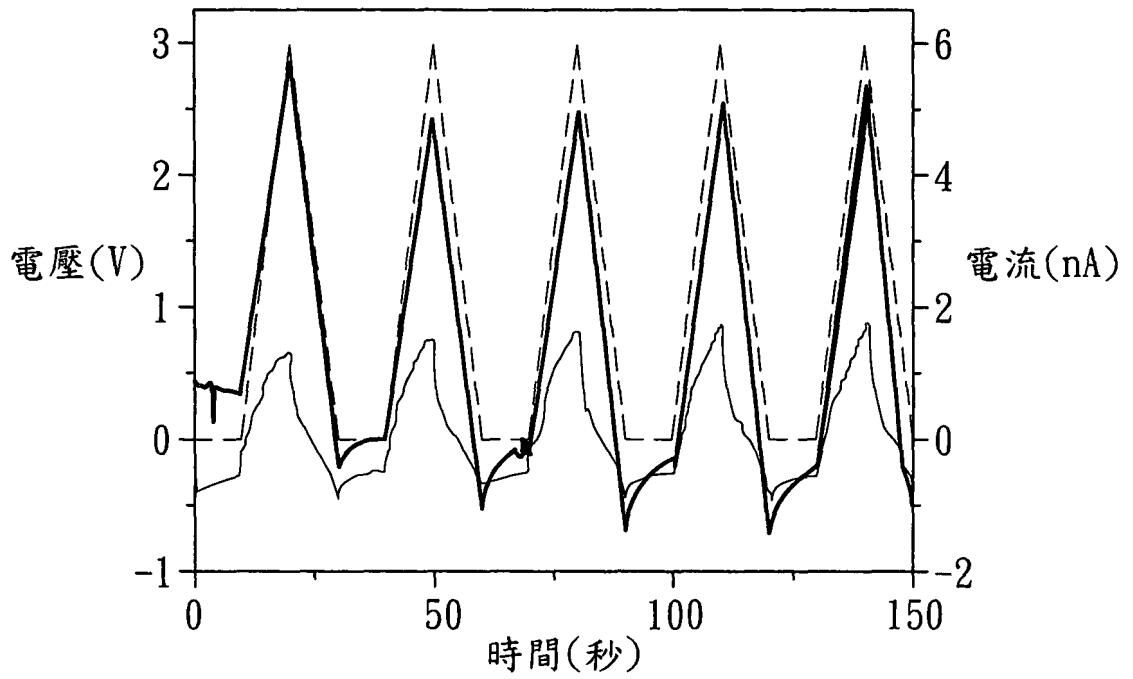


圖 10

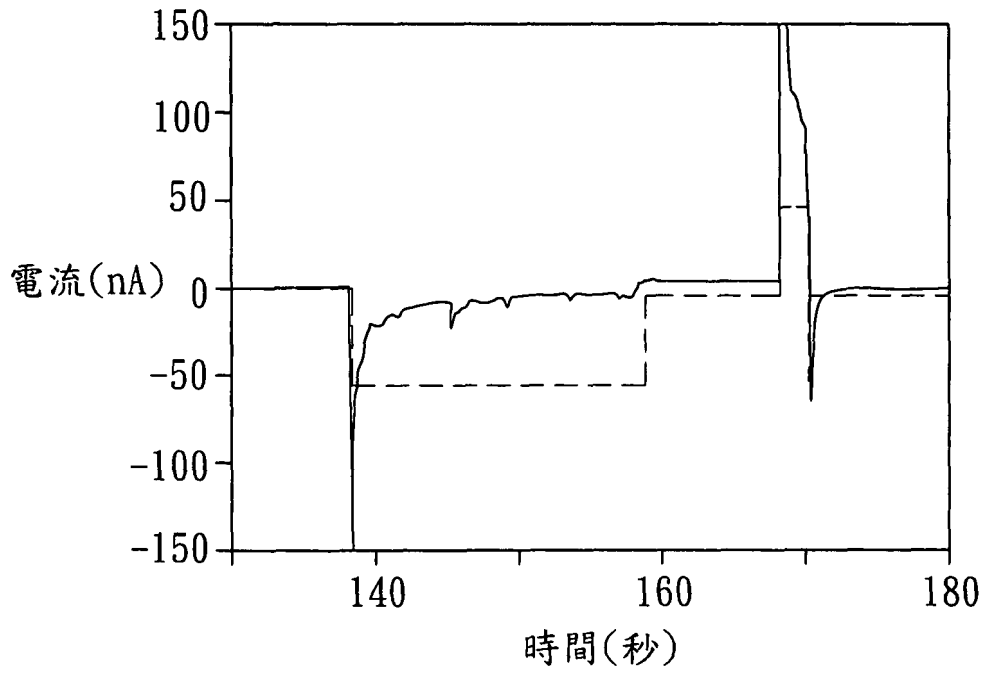


圖 11

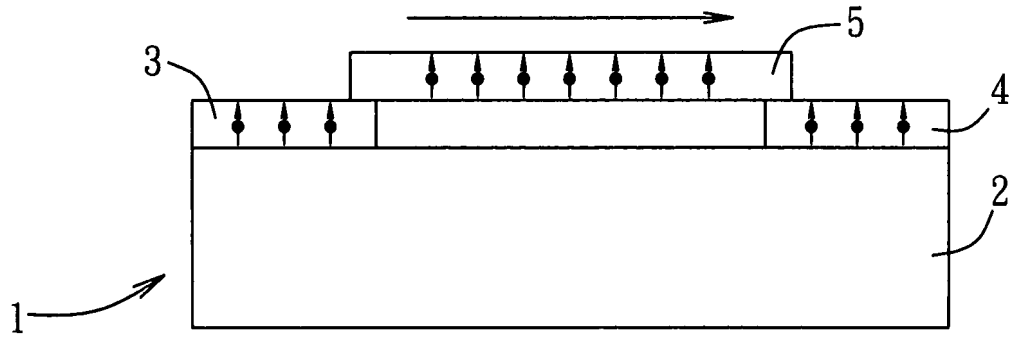


圖12

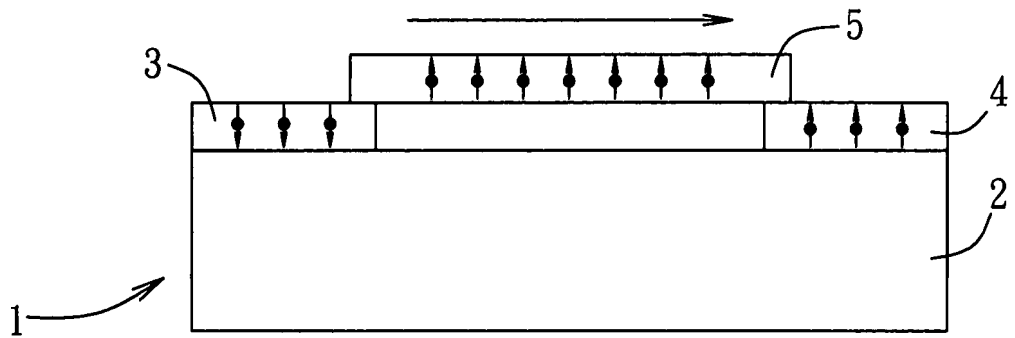


圖13

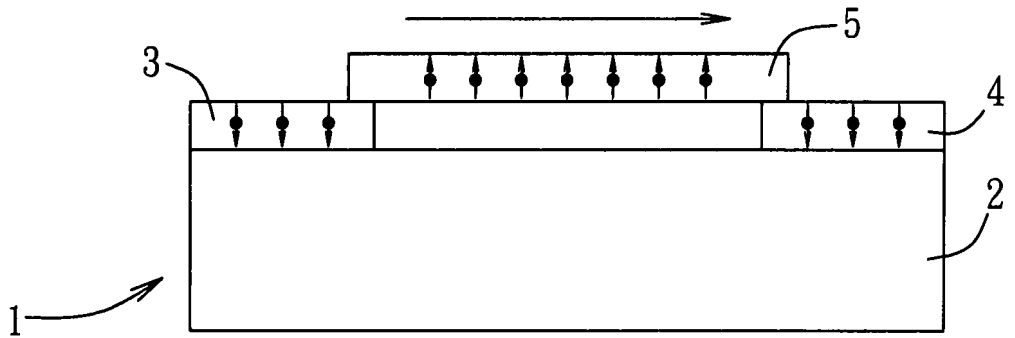


圖14

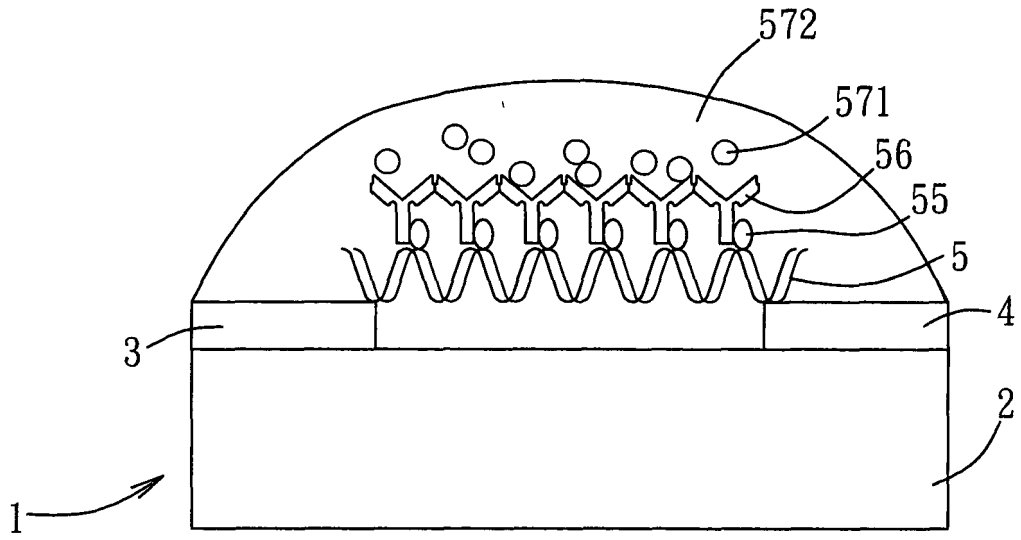


圖 15

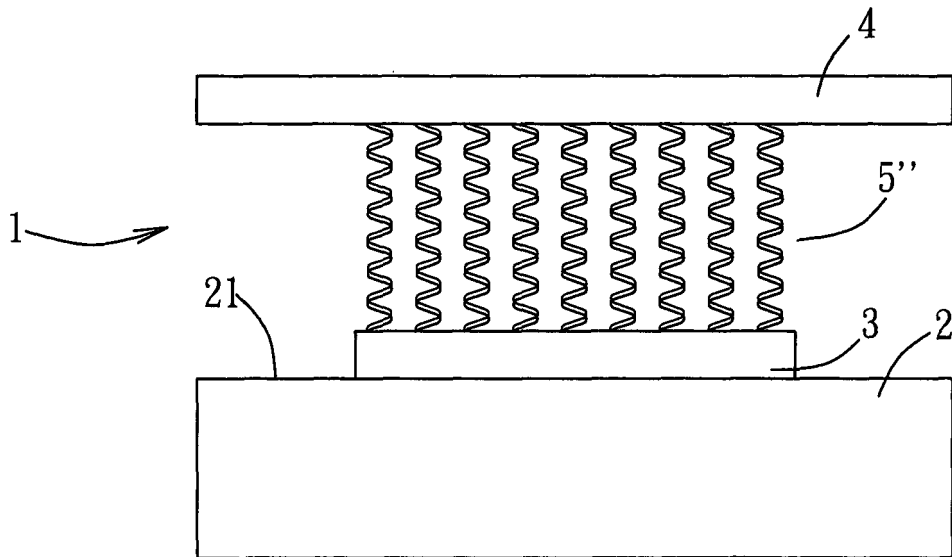


圖 16

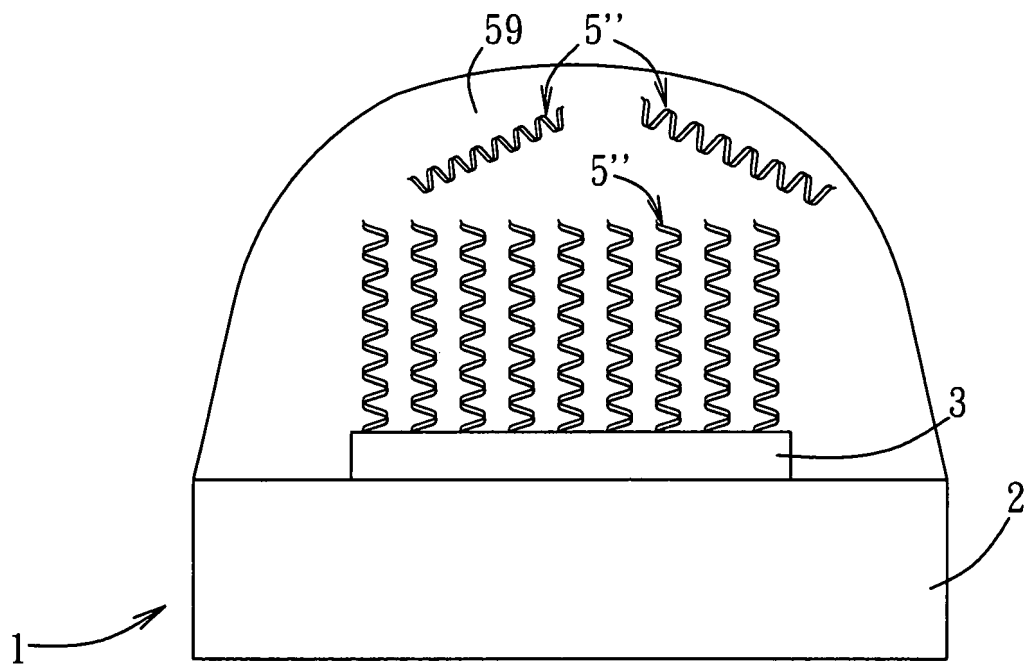


圖 23

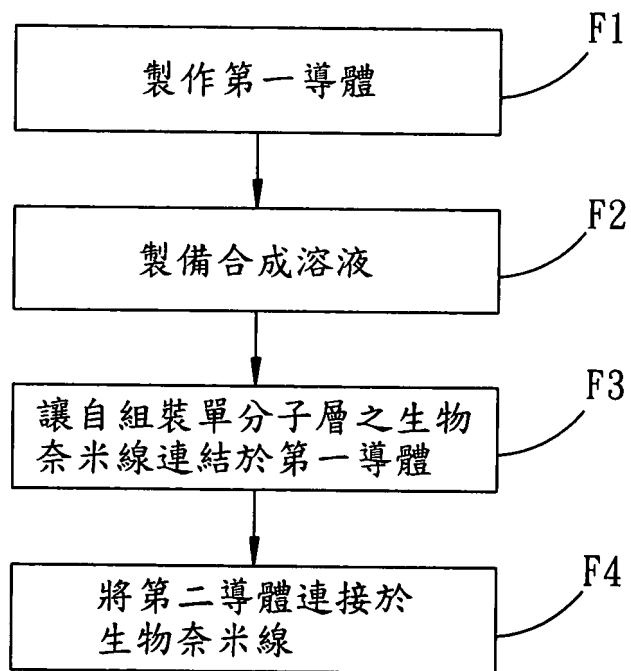


圖24

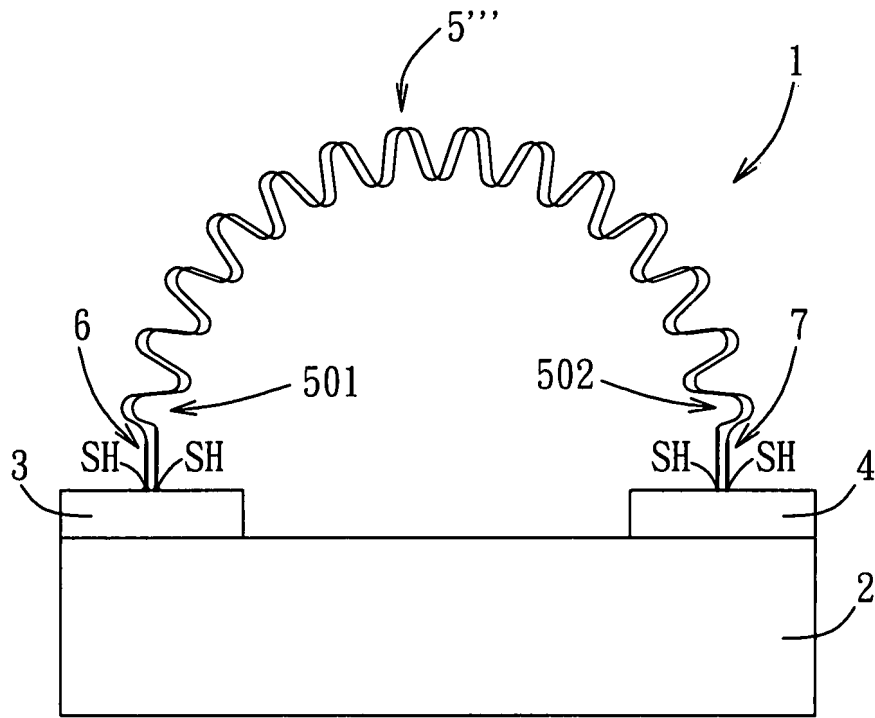


圖 25

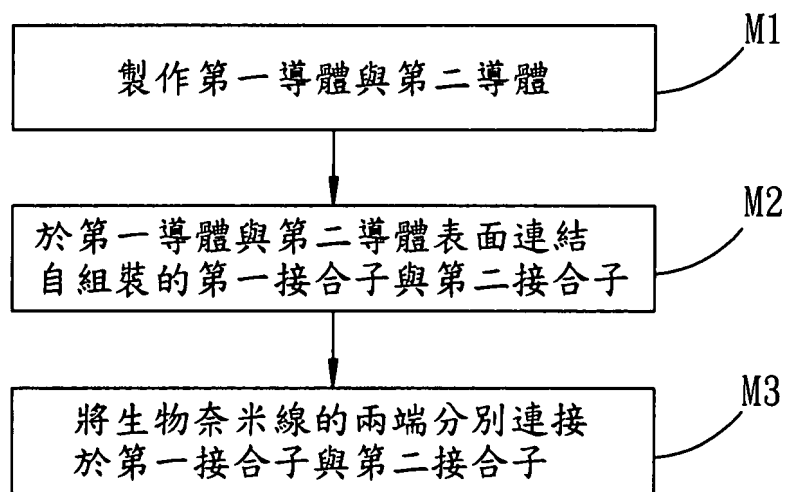


圖 26

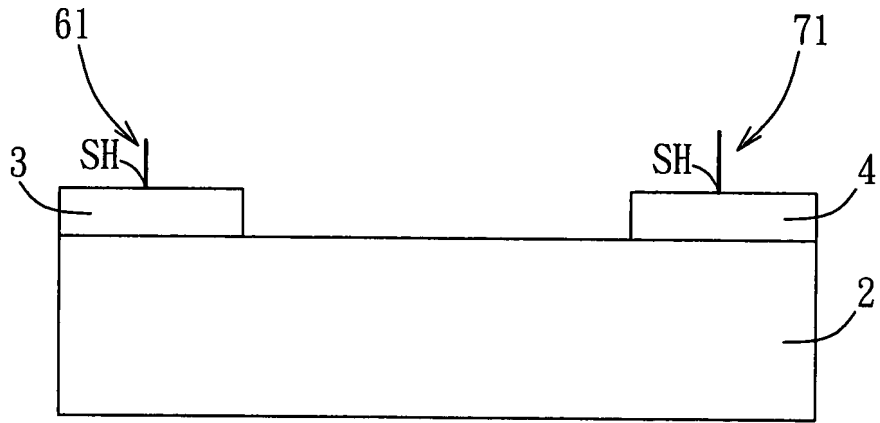


圖27

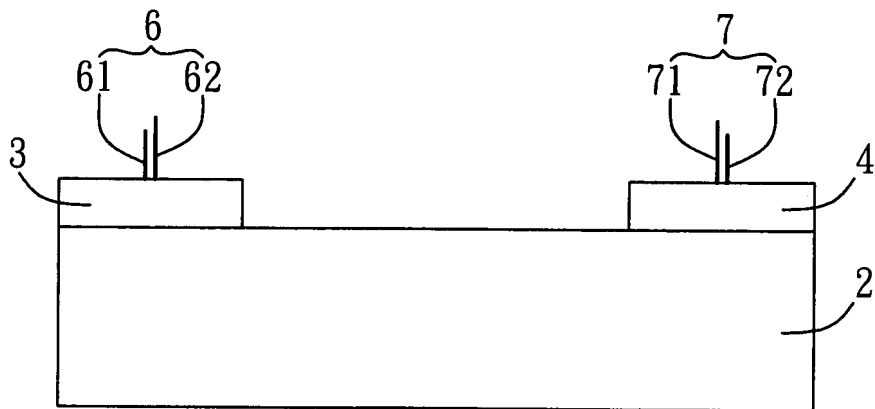


圖28