



(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 I513015 B

(45)公告日：中華民國 104 (2015) 年 12 月 11 日

(21)申請案號：100123032

(22)申請日：中華民國 100 (2011) 年 06 月 30 日

(51)Int. Cl. : H01L31/028 (2006.01) H01L31/18 (2006.01)

(30)優先權：2010/07/02 美國 61/361,034

2011/02/10 美國 13/024,724

(71)申請人：萬國商業機器公司 (美國) INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION (US)

美國

(72)發明人：艾薩發 索羅門 ASSEFA, SOLOMON (ET)；金知煥 KIM, JEEHWAN (KR)；朴鎮宏 PARK, JIN-HONG (KR)；維拉索夫 尤利 A VLASOV, YURII A. (US)

(74)代理人：李宗德

(56)參考文獻：

US 7405098B2

US 2007/0262296A1

審查人員：葉耀中

申請專利範圍項數：8 項 圖式數：19 共 27 頁

(54)名稱

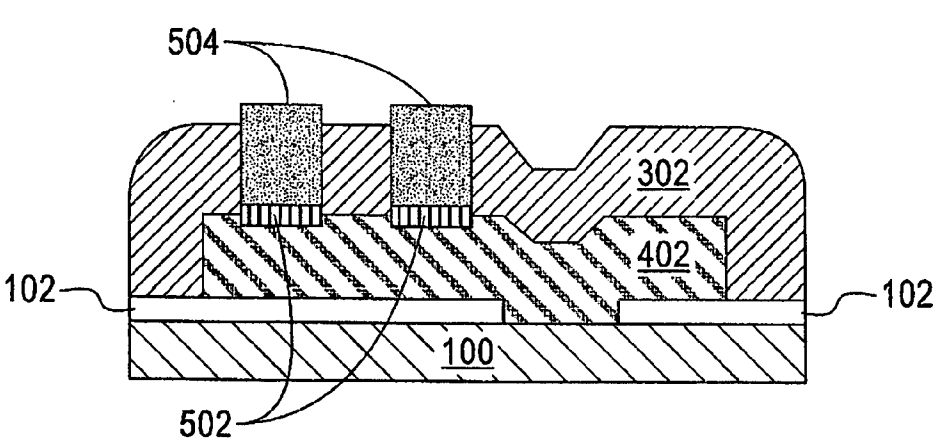
鍺光偵測器

GERMANIUM PHOTODETECTOR

(57)摘要

一種形成光偵測器元件的方法，其包括在基板上形成絕緣層、在該絕緣層和該基板之一部分上形成 Ge(鍺)層、在該 Ge 層上形成第二絕緣層、在該 Ge 層中植入 n 型離子、圖案化該 n 型 Ge 層、在該第二絕緣層和該第一絕緣層之一部分上形成覆蓋絕緣層、加熱該元件以結晶該 Ge 層產生單晶 n 型 Ge 層，以及形成電連接至該單晶 n 型 Ge 層的電極。

A method for forming a photodetector device includes forming an insulator layer on a substrate, forming a germanium (Ge) layer on the insulator layer and a portion of the substrate, forming a second insulator layer on the Ge layer, implanting n-type ions in the Ge layer, patterning the n-type Ge layer, forming a capping insulator layer on the second insulator layer and a portion of the first insulator layer, heating the device to crystallize the Ge layer resulting in an single crystalline n-type Ge layer, and forming electrodes electrically connected to the single crystalline n-type Ge layer.



- 100 . . . 基板
- 102 . . . 絕緣層
- 302 . . . 絕緣覆蓋層
- 402 . . . 單晶 n 型 Ge 材料
- 502 . . . 鍺化物區域
- 504 . . . 電極

圖 5

公告本

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：100123032

※ 申請日：100 年 06 月 30 日

※IPC 分類：

H01L 31/028 · 2006.01

一、發明名稱：(中文/英文)

鍺光偵測器

H01L 31/18 · 2006.01

GERMANIUM PHOTODETECTOR

二、中文發明摘要：

一種形成光偵測器元件的方法，其包括在基板上形成絕緣層、在該絕緣層和該基板之一部分上形成 Ge (鍺)層、在該 Ge 層上形成第二絕緣層、在該 Ge 層中植入 n 型離子、圖案化該 n 型 Ge 層、在該第二絕緣層和該第一絕緣層之一部分上形成覆蓋絕緣層、加熱該元件以結晶該 Ge 層產生單晶 n 型 Ge 層，以及形成電連接至該單晶 n 型 Ge 層的電極。

三、英文發明摘要：

A method for forming a photodetector device includes forming an insulator layer on a substrate, forming a germanium (Ge) layer on the insulator layer and a portion of the substrate, forming a second insulator layer on the Ge layer, implanting n-type ions in the Ge layer, patterning the n-type Ge layer, forming a capping insulator layer on the second insulator layer and a portion of the first insulator layer, heating the device to crystallize the Ge layer resulting in a single crystalline n-type Ge layer, and forming electrodes electrically connected to the single crystalline n-type Ge layer.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：圖 5。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

100 基板

102 絕緣層

302 絕緣覆蓋層

402 單晶 n 型 Ge 材料

502 鍺化物區域

504 電極

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。

六、發明說明：

【交互參照相關應用】

此應用主張 2010 年 7 月 2 日所申請的美國專利臨時申請案編號 61/361,034 之權益。

【發明所屬之技術領域】

本發明與光偵測器相關。

【先前技術】

光偵測器係暴露於光源時會輸出電流的元件。先前的 MSM (metal-semiconductor-metal, 金屬-半導體-金屬) 接面光偵測器包括本質 (intrinsic) Ge (鍺) 層和一對電極。

【發明內容】

根據本發明之一個具體實施例，一種形成光偵測器元件的方法包括在基板上形成絕緣層、在該絕緣層和該基板之一部分上形成 Ge(鍺)層、在該 Ge 層上形成第二絕緣層、在該 Ge 層中植入 n 型離子、圖案化該 n 型 Ge 層、在該第二絕緣層和該第一絕緣層之一部分上形成覆蓋絕緣層、加熱該元件以結晶該 n 型 Ge 層產生單晶 n 型 Ge 層，以及形成電連接至該單晶 n 型 Ge 層的電極。

根據本發明之另一具體實施例，一種形成光偵測器元件的方法包括在基板上形成絕緣層、在該絕緣層和該基板之一部分上形成 Ge(鍺)層、在該 Ge 層上形成第二絕緣

層、圖案化該 Ge 層、在該第二絕緣層和該第一絕緣層之一部分上形成覆蓋絕緣層、加熱該元件以結晶該 Ge 層產生單晶 Ge 層、在該單晶 Ge 層中植入 n 型離子、加熱該元件以活化在該單晶 Ge 層中的 n 型離子，以及形成電連接至該單晶 n 型 Ge 層的電極。

根據本發明之不同的另一具體實施例，一種形成光偵測器元件的方法包括在基板上以磊晶方式形成單晶 n 型 Ge 層、在該單晶 n 型 Ge 層上形成第一絕緣層、圖案化該單晶 n 型 Ge 層，以及形成電連接至該單晶 n 型 Ge 層的電極。

根據本發明之又不同的另一具體實施例，一種形成光偵測器元件的方法包括在基板上以磊晶方式形成單晶 Ge 層、在該單晶 Ge 層上形成第一絕緣層、在該單晶 Ge 層中植入 n 型離子以形成單晶 n 型 Ge 層、活化在該單晶 Ge 層中的該等 n 型離子，以及形成電連接至該單晶 n 型 Ge 層的電極。

根據本發明之又不同的另一具體實施例，光偵測器元件包含一基板、成長在該基板上的一單晶 n 型摻雜 Ge(銻)層、沉積在該單晶 n 型摻雜 Ge 層上的一絕緣層，以及電連接至該單晶 n 型摻雜 Ge(銻)層的一對電極。

更多的特徵和優勢係經由本發明之該等技術實現。本發明之其他具體實施例和態樣在此詳細說明並被視為所

主張發明之一部分。為了更佳了解本發明之該等優勢和該等特徵，參照該說明和該等圖式。

【實施方式】

前述光偵測器可能已包括一層本質鍺。該本質鍺在該光偵測器中產生增加該光偵測器之頻寬的高電場。在該本質鍺中的缺陷產生作為 p 型摻雜物質的本質鍺(有大約 10^{14} cm^{-3} 之 p 型材料)。本質鍺之此特性產生有低孔阻隔層作為電洞的該元件之大多數載子，其對 MSM 元件產生不欲求的高暗電流。對元件而言係欲包括有低濃度之 n 型摻雜(高於 10^{14} cm^{-3})的 n 型鍺。該低濃度之 n 型摻雜允許增加該元件之頻寬的高電場。以下所說明的該等方法產生低濃度 n 型摻雜的鍺，其改變該大多數載子為有高電子阻隔層的電子並減少該元件之暗電流。在該元件中最佳化鍺化物之形成亦可減少暗電流。

圖 1 至圖 5 例示形成光偵測器元件的示例性方法之側視剖面圖。參照圖 1，絕緣層 102 諸如舉例來說氧化物或氮化物材料係在基板 100 上圖案化。該基板可包括舉例來說單晶矽材料諸如 Si (矽)、SiGe，且可形成如矽波導。Ge(鍺)層 104 係在該絕緣層 102 和該基板 100 之該暴露的部分上形成。該 Ge 層 104 可包括舉例來說非晶 Ge 或多晶鍺(poly-germanium)，其任一者可能係舉例來說本質、p 型或相對(counter)摻雜的。該 Ge 層 104 可藉由舉例來說化學氣相沉積(chemical vapor deposition)製程、物理氣相沉積(physical vapor deposition)製程或電漿輔助化學氣相

沉積(plasma enhanced chemical vapor deposition)製程而形成。絕緣層 106 係在該 Ge 層 104 上形成。該絕緣層 106 可包括舉例來說氮化矽或氧化矽材料。

圖 2 例示在使用舉例來說暴露該絕緣層 102 之部分的乾蝕刻製程圖案化和蝕刻(圖 1 之)該絕緣層 106 和 Ge 層 104 之部分後該所產生的結構。該 Ge 層 104 已植入 n 型離子諸如舉例來說 P (磷)、As (砷)或 Sb (銻)產生 n 型 Ge 材料 202。該 n 型 Ge 材料 202 可在形成該 Ge 層 104 後藉由植入而形成。

圖 3 例示在(圖 2 之)該絕緣層 106 和該絕緣層 102 之該等暴露的部分上方形成絕緣覆蓋層 302 後該所產生的結構。該絕緣覆蓋層 302 可包括舉例來說氧化矽或氮化矽材料，其可藉由舉例來說 LPCVD (low pressure chemical vapor deposition，低壓化學氣相沉積)製程或 PECVD (plasma enhanced chemical vapor deposition，電漿輔助化學氣相沉積)製程而形成。

圖 4 例示在加熱該元件使得在(圖 4 之)該 n 型 Ge 材料 202 中的該等 n 型離子活化且該 n 型 Ge 材料 202 結晶成單晶 n 型 Ge 材料 402 的 RMG (rapid melting growth，快速熔融成長)製程後該所產生的結構。該 RMG 製程包括舉例來說短時間(例如少於 1 秒)加熱該 n 型 Ge 材料 202 到至少該 n 型 Ge 材料 202 之熔點(937°C)，其熔化該材料 202。該加熱製程可包括舉例來說快速熱退火(rapid thermal

annealing)或雷射退火製程。當在該材料 202 中的溫度降低時，當該材料 202 冷卻並固化時該材料 202 之結晶方向與該單晶 Si 基板 100 之方向對準。在另外的具體實施例中，該 n 型 Ge 材料 202 可在該磊晶成長(epitaxial growth)製程期間藉由該等 n 型離子之磊晶成長和原位摻雜(*in-situ* doping)而形成。

圖 5 例示在藉由舉例來說非等向性蝕刻(anisotropic etching)製程圖案化並去除該絕緣覆蓋層 302 之區域後該所產生的結構，以形成暴露該單晶 n 型 Ge 材料 402 之部分的空腔。鍺化物區域 502 係在該單晶 n 型 Ge 材料 402 之該等暴露的部分中形成。該等鍺化物區域 502 係藉由在該單晶 n 型 Ge 材料 402 之該等暴露的部分上形成金屬層並加熱該元件使得金屬擴散進入該單晶 n 型 Ge 材料 402 形成鍺化物而形成。可調整該金屬材料之選擇及用於促進擴散和燒結的溫度以最佳化該元件之特性。舉例來說與 Ti (鈦)一起形成的鍺化物可在高於 300°C 擴散進入 Ge 並與其一起燒結。用於擴散和燒結的該較高溫度在該元件中產生較高電阻率，因為在低於 450°C 所形成的 Ti 鍺化物有較 Ti 更高的電阻率。不同的材料諸如舉例來說 Ni (鎳)、Pd (鈀)、Pt (鉑)、Ta (鉭)、Cu (銅)、W (鎢)、Co (鈷)、Zr (鋯)及 Mo (鉬)可在多種溫度用於形成鍺化物。當形成該鍺化物時藉由選擇用於擴散和燒結的該等材料 and 溫度，在該元件中的該阻隔層高度和接觸電阻可最佳化以滿足設計規格。一旦該等鍺化物區域 502 形成，電極 504 可在該等鍺化物區域 502 上和該絕緣覆蓋層 302 中的該空腔中形

成。該等電極 504 可從舉例來說鈦、銅或金屬合金形成。

圖 6 至圖 10 例示形成光偵測器元件的另一例示性方法之側視剖面圖。用於形成圖 6 之結構的該等材料和方法係類似於以上在圖 1 中所說明的該等方法和材料。參照圖 6，絕緣層 602 諸如舉例來說氧化物或氮化物材料係在該基板 600 上圖案化。該基板可包括舉例來說單晶矽材料諸如 Si、SiGe，且可形成如矽波導。Ge 層 604 係在該絕緣層 602 和該基板 600 之該暴露的部分上形成。絕緣覆蓋層 606 係在 Ge 層 604 和該絕緣層 602 之該等暴露的部分上方形成。該絕緣覆蓋層 606 可包括舉例來說氧化矽或氮化矽材料。

圖 7 例示在使得該 Ge 層 604 材料結晶成單晶 Ge 材料 702 的 RMG 製程後該所產生的結構。

圖 8 例示在藉由舉例來說非等向性蝕刻製程去除部分絕緣覆蓋層 606 後該所產生的結構。

圖 9A 例示在植入和活化(圖 7 之)n 型離子產生單晶 n 型 Ge 材料 902 後該所產生的結構。

如以上所討論，在該本質鍺中的缺陷產生作為 p 型摻雜物質(有大約 10^{14} cm^{-3} 之 p 型材料)的該本質鍺。可能需在該單晶本質 Ge 材料 702 中植入低濃度之 n 型離子，其允許該元件有高電場及因此增加的頻寬。然而，若該等 n 型離子植入不足劑量，則 n 型離子之濃度將無法勝過

(overcome)該等 p 型離子之濃度。或者，若該 n 型離子濃度太高，則該元件可能呈現出不欲見的特性。

植入並活化低濃度之 n 型離子的示例性方法係由在圖 9B 中的區塊圖例示。參照圖 9B，在區塊 901 中，低劑量之 n 型離子諸如舉例來說大約 10^{11} cm^{-2} 係在(圖 7 之)該單晶 Ge 材料 702 中植入。在區塊 903 中，該等 n 型摻雜物係藉由施加熱至該結構而活化。在區塊 905 中，該結構可由分析元件諸如舉例來說熱探測器測量以判定該元件係 n 型元件或 p 型元件。在區塊 907 中，若該元件係 n 型元件，則該植入和活化製程結束。若該元件並非 n 型元件，則該製程在區塊 901 中重複開始。

圖 10 例示在圖案化並去除該絕緣覆蓋層 606 之部分以形成暴露該單晶 n 型 Ge 材料 902 之部分的空腔後該所產生的結構。鍺化物區域 1002 和電極材料 1004 係以如以上在圖 5 中所說明的類似方式形成。

圖 11 至圖 12 例示形成光偵測器元件的不同的另一示例性方法之側視剖面圖。參照圖 11，單晶 n 型 Ge 材料 1102 係在基板 1100 上磊晶成長。該基板 1100 係類似於(圖 1 之)該基板 100。該基板 1100 可包括舉例來說單晶矽材料諸如 Si、SiGe，且可形成如矽波導晶片。該單晶 n 型 Ge 材料 1102 係與該磊晶成長一起原位摻雜。絕緣覆蓋層 1104 係在該單晶 n 型 Ge 材料 1102 上方形成。該絕緣覆蓋層 1104 可包括舉例來說氧化矽或氮化矽材料。該絕緣

覆蓋層 1104 和單晶 n 型 Ge 材料 1102 係在該基板 1100 上圖案化。

圖 12 例示在圖案化並去除該絕緣層 1104 之部分以形成暴露該單晶 n 型 Ge 材料 1102 之部分的空腔後該所產生的結構。鍺化物區域 1202 和電極材料 1204 係以如以上在圖 5 中所說明的類似方式形成。

圖 13 至圖 15 例示形成光偵測器元件的又不同的另一例示性方法之側視剖面圖。參照圖 13，單晶 Ge 材料 1302 係在基板 1300 上磊晶成長。該基板 1300 係類似於(圖 1 之)該基板 100。

圖 14 例示在形成在(圖 13 之)該單晶 Ge 材料 1302 上形成的絕緣層 1404 後所產生的結構。一旦形成該絕緣層 1404，n 型離子係在該單晶 Ge 材料 1302 中植入並活化以形成單晶 n 型 Ge 材料 1402。該植入和活化製程可包括如以上在圖 9B 中所說明的類似製程。

圖 15 例示以如以上在圖 5 中所說明的類似方式所形成的鍺化物區域 1502 和電極材料 104。

圖 16 例示包括類似於以上在圖 1 至圖 5 中所說明該方法的形成元件的示例性方法 1600 之區塊圖。就此點而言，在區塊 1602 中 Ge 層係如在圖 1 中所顯示沉積並圖案化。在區塊 1604 中，n 型摻雜係在成長期間原位或經由如

在圖 2 中所顯示的植入任一者而執行。覆蓋層係如在圖 3 中所顯示在區塊 1606 中形成。在區塊 1608 中，該等 n 型離子之 RMG 和活化係如在圖 4 中所例示而執行。鍺化物區域係如在圖 5 中所例示在區塊 1610 中形成。在區塊 1620 中，電極係如在圖 5 中所顯示在該元件中形成。

圖 17 例示包括類似於以上在圖 6 至圖 10 中所說明該方法的形成元件的示例性方法 1700 之區塊圖。就此點而言，Ge 層係如在圖 6 中所例示在區塊 1702 中沉積並圖案化。在區塊 1704 中，覆蓋層係如在圖 6 中所例示而形成。在區塊 1706 中，RMG 係如在圖 7 中所顯示而執行。該覆蓋層係如在圖 8 中所例示在區塊 1708 中蝕刻。N 型摻雜植入和活化係在區塊 1710 中執行並在圖 9A 中例示。如在圖 10 中所例示，鍺化物區域係在區塊 1712 中形成，且電極係在區塊 1714 中形成。

圖 18 例示包括類似於以上在圖 11 至圖 12 中所說明該方法的形成元件的示例性方法 1800 之區塊圖。就此點而言，原位 n 型 Ge 材料係如在圖 11 中所例示在區塊 1802 中磊晶形成。絕緣覆蓋層係如在圖 11 中所顯示在區塊 1804 中形成並圖案化。如在圖 12 中所例示，鍺化物區域係在區塊 1806 中形成，且電極係在區塊 1808 中形成。

圖 19 例示包括類似於以上在圖 13 至圖 15 中所說明該方法的形成元件的示例性方法 1900 之區塊圖。就此點而言，Ge 層係如在圖 13 中所例示在區塊 1902 中磊晶形

成。如在圖 14 中所例示，絕緣層係在區塊 1904 中形成，且 n 型摻雜物係在該 Ge 層中植入並活化。如在圖 15 中所例示，該元件係在區塊 1906 中圖案化、鍍化物區域係在區塊 1908 中形成，且電極係在區塊 1910 中形成。

在此所使用的術語僅係用於說明特定具體實施例之用途，其不欲為本發明之限制。如在此所使用，該等單數形「一(a)」、「一(an)」及「該(the)」係欲亦包括該等複數形，除非該上下文明顯另有所指。將更了解該等用語「包含(comprises)」及/或「包含(comprising)」，當在本說明書中使用時，明確說明所述特徵、整體、步驟、操作、要素及/或組件之存在，但並未排除一個或多個其他特徵、整體、步驟、操作、要素部件及/或其群組之存在或附加。

在以下申請專利範圍中的該等對應的結構、材料、行為及所有手段或步驟加功能要素之相等物，係欲包括用於伴隨著如具體所主張的其他所主張要素執行該功能的任何結構、材料或行為。本發明之說明已為了例示和說明之用途而呈現，但係不欲為全面性或限於本發明所揭示該形式。此領域一般技術者顯然將可察知許多修飾例和變化例而未悖離本發明的範疇與精神。該具體實施例係選擇並說明以最佳解釋本發明和該實際應用之該等原則，且讓此領域一般技術者了解本發明適合於所考慮該特定用途的有各種修飾例之各種具體實施例。

在此所描繪出的該等圖式僅係一個範例。在其中所說

明的此圖式或該等步驟(或操作)可能有許多變化例而未悖離本發明的精神。舉例來說，該等步驟可能係以不同的順序執行或步驟可能增加、刪除或修改。所有這些變化例係被視為該所主張發明之一部分。

雖然已說明本發明之較佳具體實施例，但將可了解無論現在或未來熟習此項技術者可做出以下落於申請專利範圍之範疇內的各種改良和強化。這些申請專利範圍應被理解成為首先所說明的本發明維持適當的保護。

【圖式簡單說明】

視為本發明的該標的尤其係在本說明書之結論的申請專利範圍中指出並清楚主張。本發明之該等前述和其他特徵以及優勢，從與該等所附圖式相關的以下詳細說明顯而易見，其中：

圖 1 至圖 5 例示形成光偵測器的示例性方法之側視剖面圖。

圖 6 至圖 10 例示形成光偵測器元件的另一示例性方法之側視剖面圖。

圖 11 至圖 12 例示形成光偵測器元件的不同的另一示例性方法之側視剖面圖。

圖 13 至圖 15 例示形成光偵測器元件的又不同的另一示例性方法之側視剖面圖。

圖 16 例示區塊圖，其包括類似於在以上圖 1 至圖 5 中所說明的該方法之形成元件的示例性方法。

圖 17 例示區塊圖，其包括類似於在以上圖 6 至圖 10

中所說明的該方法之形成元件的示例性方法。

圖 18 例示區塊圖，其包括類似於在以上圖 11 至圖 12 中所說明的該方法之形成元件的示例性方法。

圖 19 例示區塊圖，其包括類似於在以上圖 13 至圖 15 中所說明的該方法之形成元件的示例性方法。

【主要元件符號說明】

- 100 基板
- 102 絕緣層
- 104 Ge (鍺)層
- 106 絕緣層
- 202 n 型 Ge 材料
- 302 絕緣覆蓋層
- 402 單晶 n 型 Ge 材料
- 502 鍺化物區域
- 504 電極
- 600 基板
- 602 絕緣層
- 604 Ge 層
- 606 絕緣覆蓋層
- 702 單晶 Ge 材料
- 902 單晶 n 型 Ge 材料
- 1002 鍺化物區域
- 1004 電極材料
- 1100 基板

1102 單晶 n 型 Ge 材料

1104 絕緣覆蓋層

1202 鍺化物區域

1204 電極材料

1300 基板

1302 單晶 Ge 材料

1402 單晶 n 型 Ge 材料

1404 絕緣層

1502 鍺化物區域

七、申請專利範圍：

1. 一種形成光偵測器元件的方法，該方法包括：
在一基板上形成一絕緣層；
在該絕緣層和該基板之一部分上形成一 Ge(銻)層；
在該 Ge 層上形成一第二絕緣層；
在該 Ge 層中植入 n 型離子；
圖案化該 n 型 Ge 層；
在該第二絕緣層和該第一絕緣層之一部分上形成一覆蓋絕緣層；
加熱該元件以結晶該 Ge 層產生一單晶 n 型 Ge 層；以及
形成電連接至該單晶 n 型 Ge 層的電極。
2. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中該方法更包括在該等電極和該單晶 n 型 Ge 層之間形成一銻化物材料，且其中該銻化物材料係藉由在該單晶 n 型 Ge 層之一暴露部分上沉積一層金屬並加熱該元件以擴散金屬進入該單晶 n 型 Ge 層而形成。
3. 如申請專利範圍第 2 項之方法，其中該層金屬包括鈦，且該元件係在高於 300°C 的溫度加熱。
4. 一種形成光偵測器元件的方法，該方法包括：
在一基板上形成一絕緣層；
在該絕緣層和該基板之一部分上形成一 Ge(銻)層；
在該 Ge 層上形成一第二絕緣層；
圖案化該 Ge 層；

在該第二絕緣層和該第一絕緣層之一部分上形成一覆蓋絕緣層；

加熱該元件以結晶該 Ge 層產生一單晶 Ge 層；

在該單晶 Ge 層中植入 n 型離子；

加熱該元件以活化在該單晶 Ge 層中的 n 型離子；以及
形成電連接至該單晶 n 型 Ge 層的電極。

5. 如申請專利範圍第 4 項之方法，其中該方法更包括：

在加熱該元件以活化在該單晶 Ge 層中的 n 型離子後判定該元件是否係一 n 型元件；以及

在該單晶 Ge 層中植入額外的 n 型離子，且回應判定該元件係非一 n 型元件而加熱該元件以活化在該單晶 Ge 層中的該等額外的 n 型離子。

6. 如申請專利範圍第 4 項之方法，其中該方法更包括在該 Ge 層中植入該等 n 型離子之前移除該覆蓋絕緣層之一部分。

7. 如申請專利範圍第 4 項之方法，其中該方法更包括在該等電極和該單晶 n 型 Ge 層之間形成一鍍化物材料，且其中該鍍化物材料係藉由在該單晶 n 型 Ge 層之一暴露部分上沉積一層金屬並加熱該元件以擴散該金屬進入該單晶 n 型 Ge 層而形成。

8. 如申請專利範圍第 7 項之方法，其中該層金屬包括鈦，且該元件係在高於 300°C 的一溫度加熱。

八、圖式：

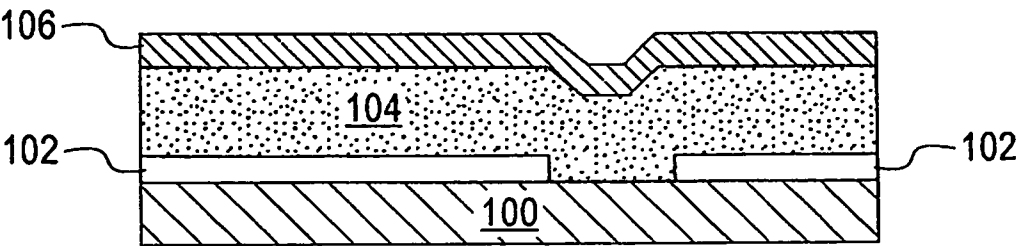


圖 1

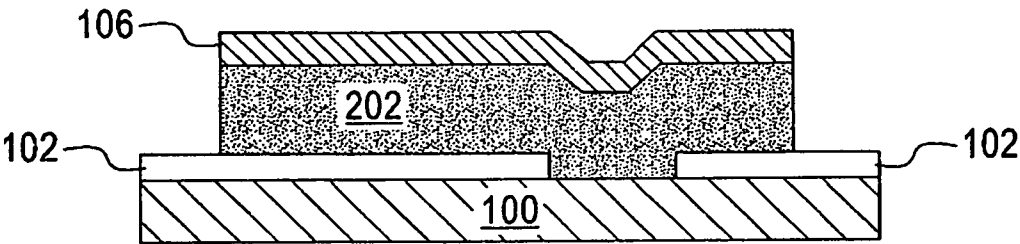


圖 2

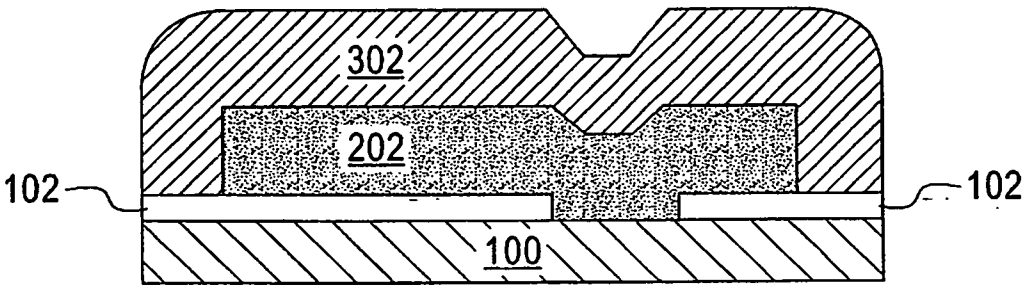


圖 3

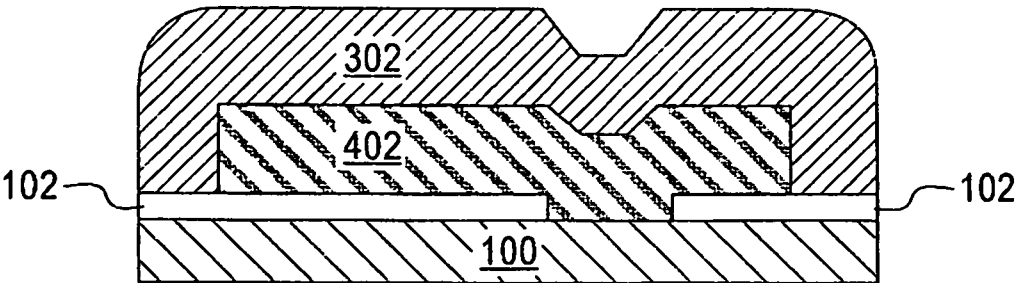


圖 4

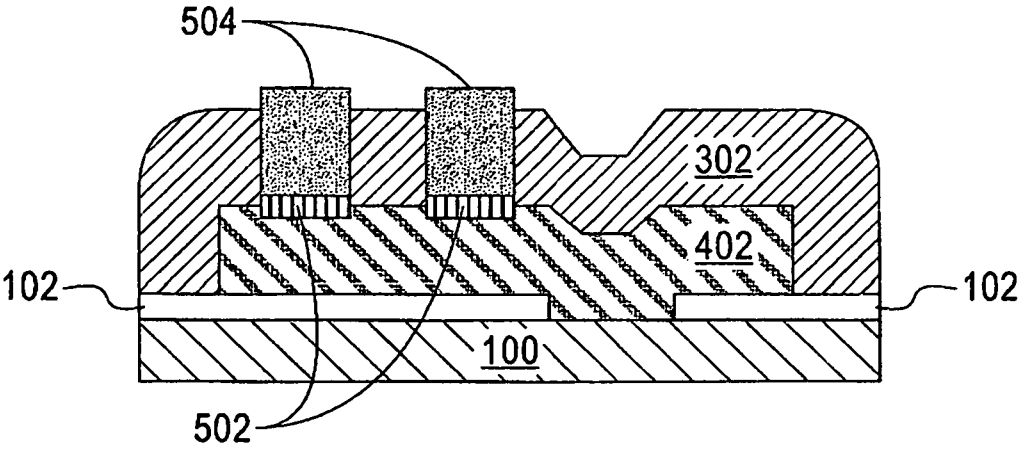


圖 5

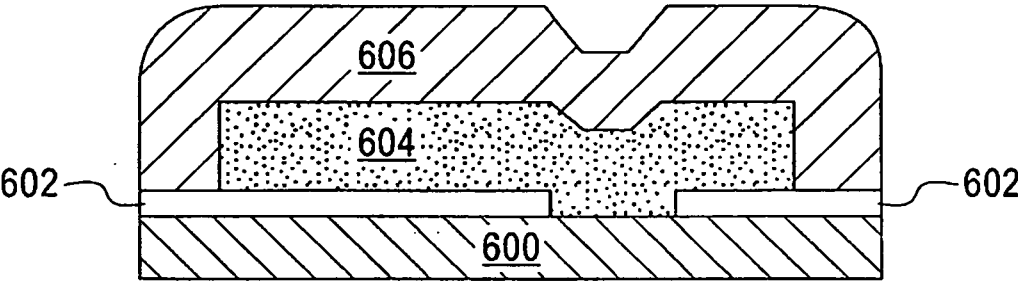


圖 6

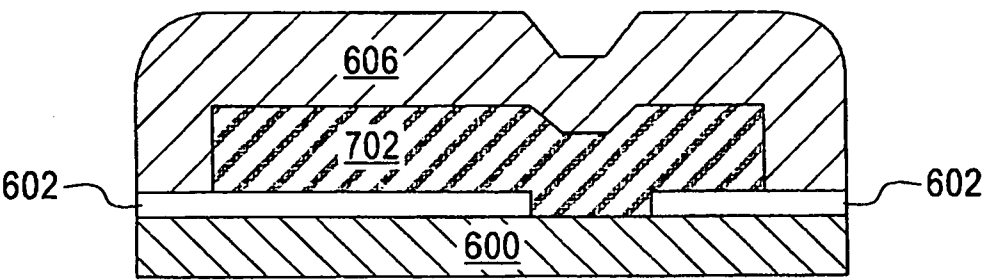


圖 7

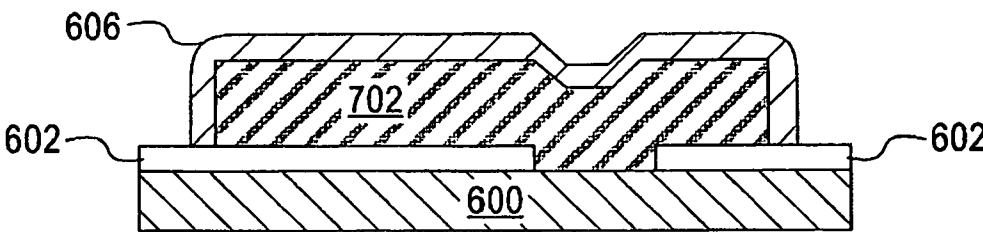


圖 8

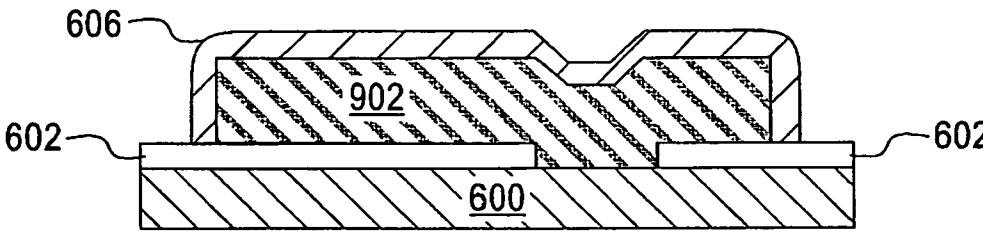


圖 9A

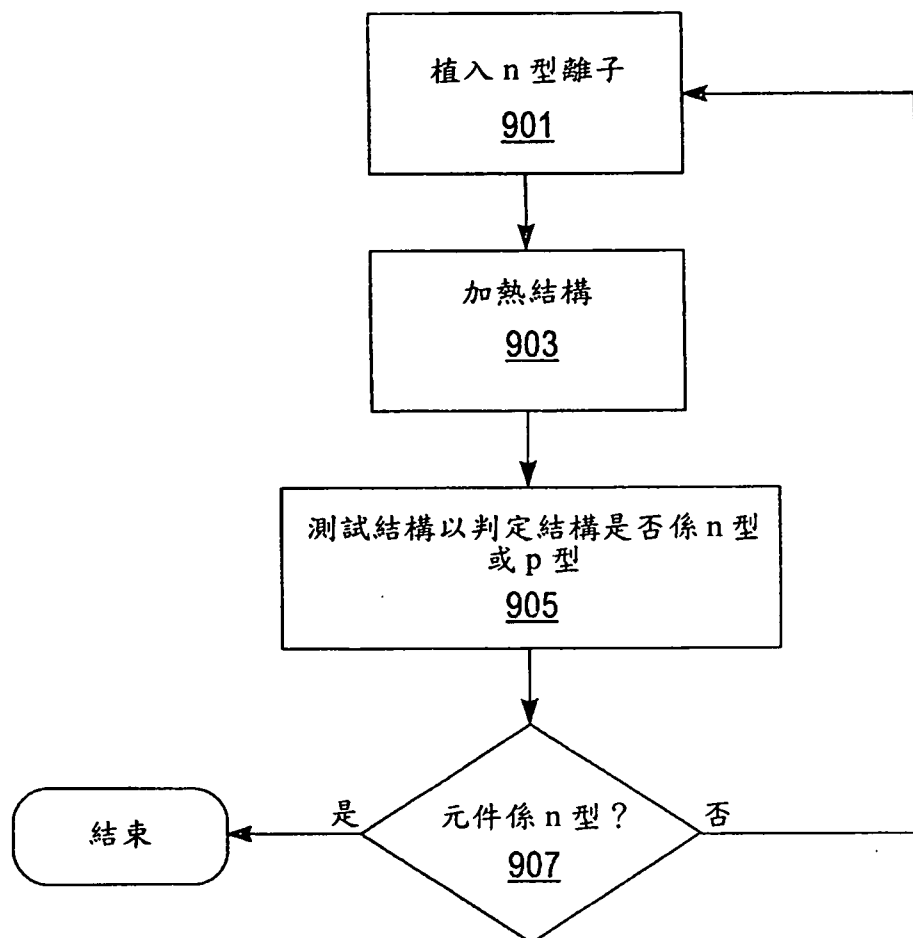


圖 9B

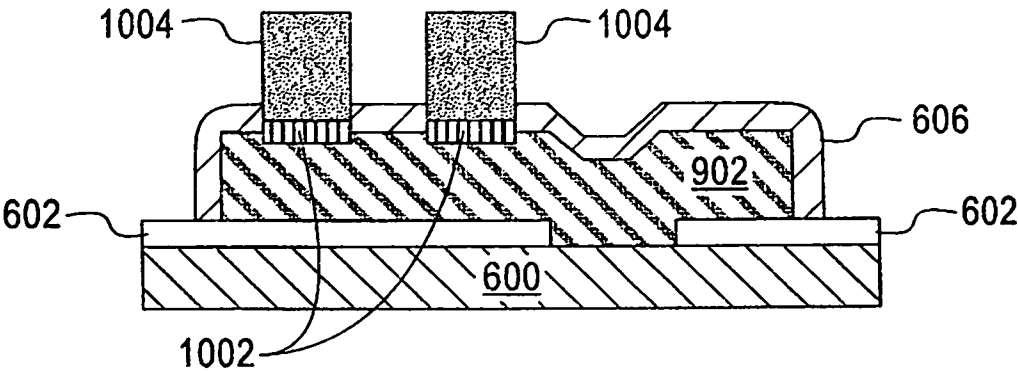


圖 10

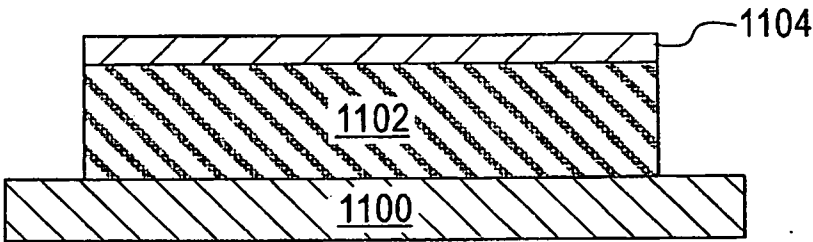


圖 11

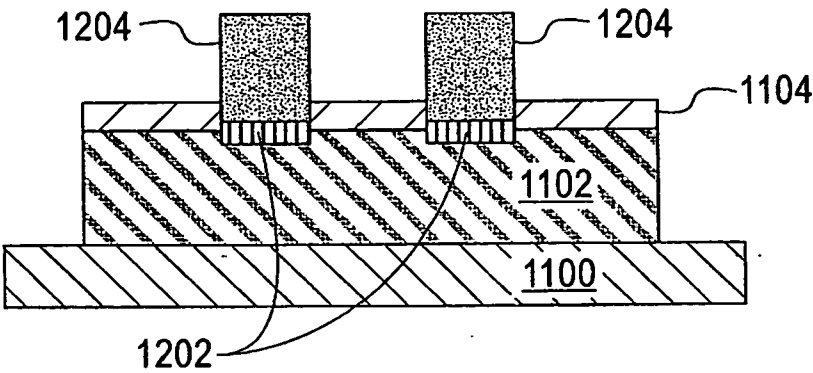


圖 12

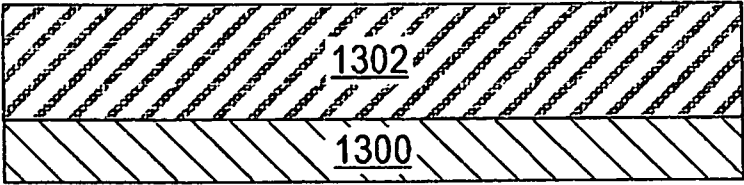


圖 13

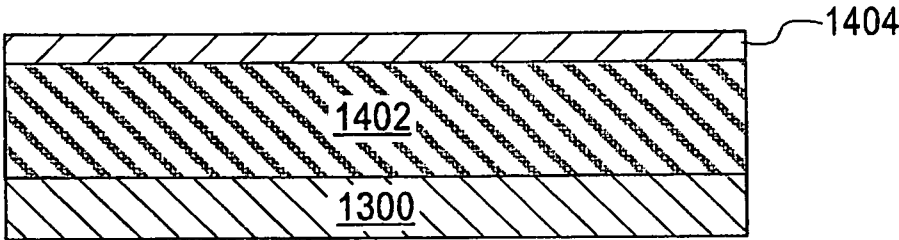


圖 14

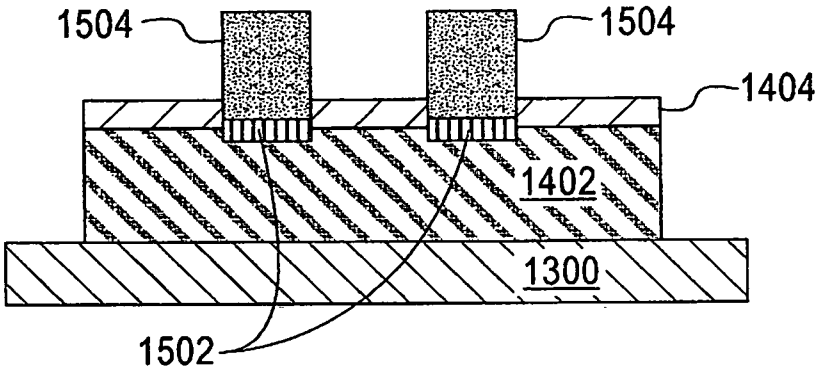


圖 15

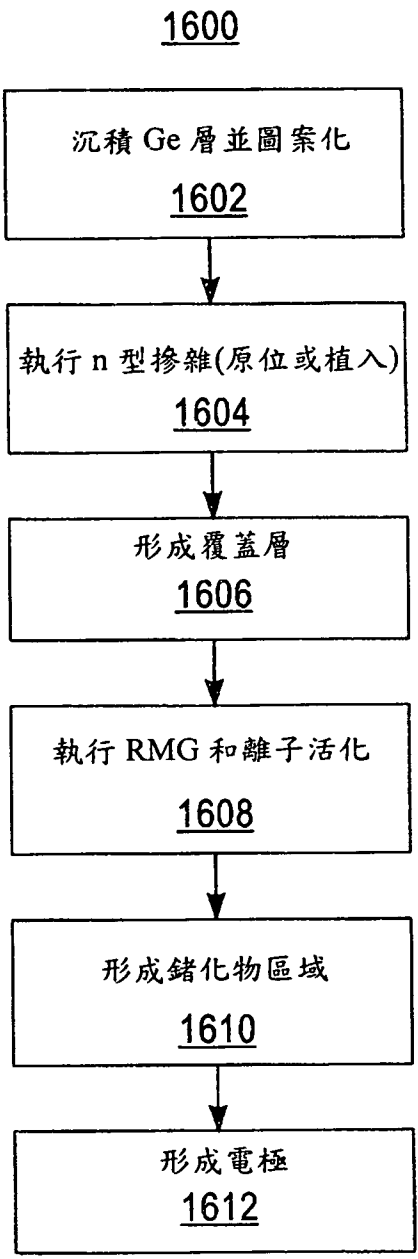


圖 16

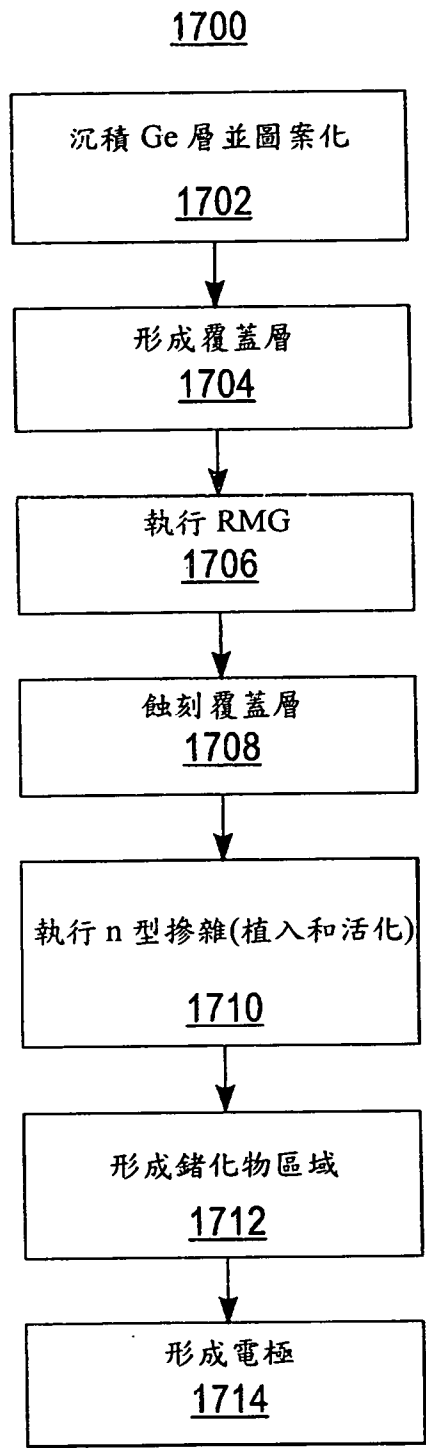


圖 17

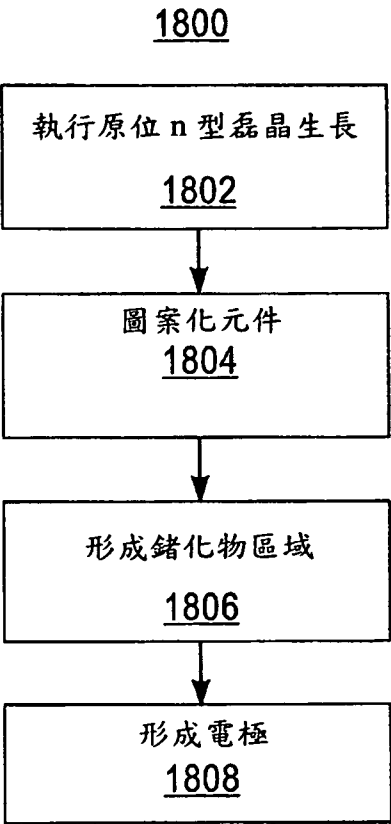


圖 18

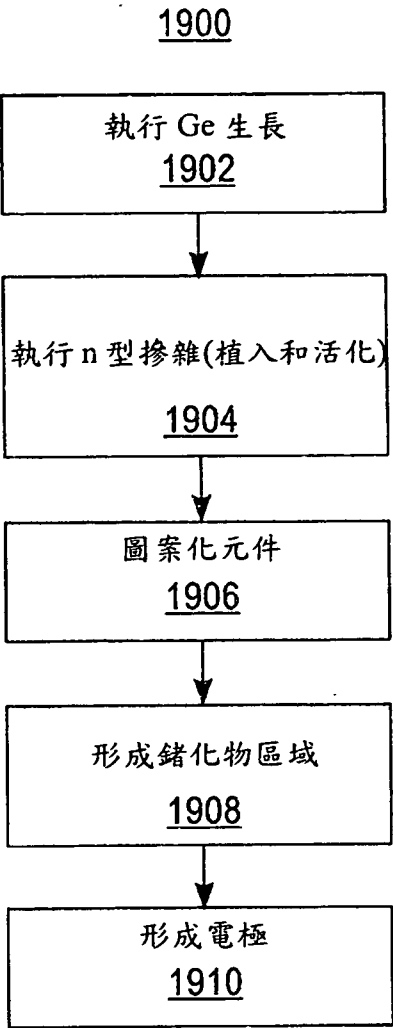


圖 19