



(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 I460867 B

(45)公告日：中華民國 103 (2014) 年 11 月 11 日

(21)申請案號：100118094

(22)申請日：中華民國 100 (2011) 年 05 月 24 日

(51)Int. Cl. : H01L31/042 (2014.01)

H01L31/18 (2006.01)

(30)優先權：2010/05/24 美國

61/347,666

2010/11/24 美國

61/416,986

(71)申請人：普林斯頓大學理事會(美國) THE TRUSTEES OF PRINCETON UNIVERSITY (US)
美國(72)發明人：阿維斯緹 蘇許歐漢 AVASTHI, SUSHOBHAN (IN)；史頓 詹姆士 C STURM,
JAMES C. (US)；史瓦茲 傑佛瑞 SCHWARTZ, JEFFREY (US)

(74)代理人：閻啟泰；林景郁

(56)參考文獻：

TW 200822380A

TW 200929652A

TW 201001508A1

審查人員：陳柏雅

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：27 共 0 頁

(54)名稱

光伏裝置和製造其之方法

PHOTOVOLTAIC DEVICE AND METHOD OF MAKING SAME

(57)摘要

茲揭示一種光伏裝置及製造其之方法。在一具體實施例裡，該裝置含有矽質層，以及第一和第二有機物層。該矽質層具有一第一面部及一第二面部。第一及第二電極係經電性耦接於該等第一及第二有機物層。一第一異質接面係經構成於該矽質層之一面部與該第一有機物層間的接面處。一第二異質接面係經構成於該矽質層之一面部與該第二有機物層間的接面處。該矽質層可為構成而無須 p-n 接面。至少一有機物層可經組態設定為一電子阻擋層或為一電洞阻擋層。至少一有機物層可含有菲醌(phenanthrenequinone, PQ)。一鈍化層可為設置在該等有機物層的至少一者與該矽質層之間。該鈍化層可為有機性。該等有機物層的至少一者可鈍化該矽質層的表面。該裝置亦可含有經耦接於該等電極之至少一者的至少一透明電極層。

A photovoltaic device and method of manufacturing is disclosed. In one embodiment, the device includes a silicon layer and first and second organic layers. The silicon layer has a first face and a second face. First and second electrodes electrically are coupled to the first and second organic layers. A first heterojunction is formed at a junction between the one of the faces of the silicon layer and the first organic layer. A second heterojunction is formed at a junction between one of the faces of the silicon layer and the second organic layer. The silicon layer may be formed without a p-n junction. At least one organic layer may be configured as an electron-blocking layer or a hole-blocking layer. At least one organic layer may be comprised of phenanthrenequinone (PQ). A passivating layer may be disposed between at least one of the organic layers and the silicon layer. The passivating layer may be organic. At least one of the organic layers may passivate a surface of the silicon layer. The device may also include at least one transparent electrode layer coupled to at least one of the electrodes.

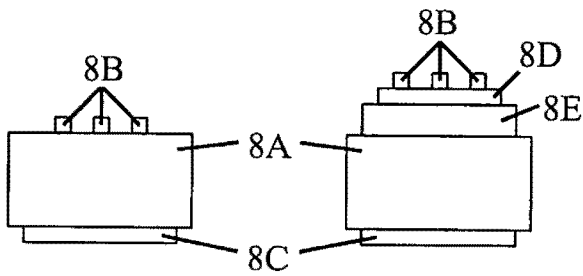


圖8.1

圖8.2

- 8A . . . n 型矽質
- 8B . . . 金屬網格(陽極)
- 8C . . . 陰極電極
- 8D . . . 透明導體(該陽極的一部份)
- 8E . . . P3HT 層(電子阻擋有機物)

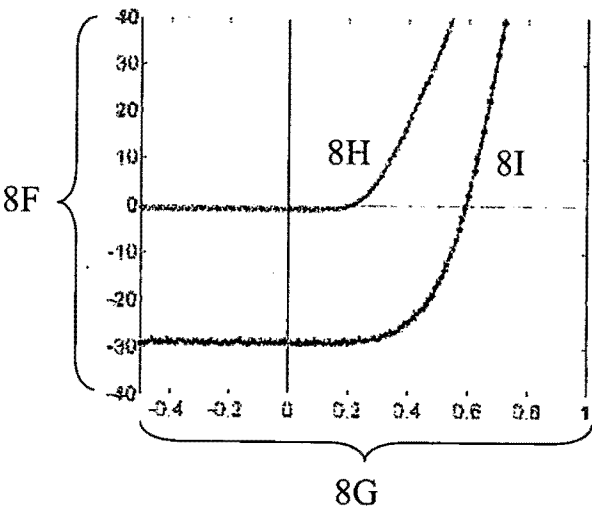


圖8.3

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：100118094

※申請日：100.5.24

※IPC 分類：H01L 31/02 2006.01

一、發明名稱：(中文/英文)

H01L 31/18 2006.01

光伏裝置和製造其之方法

PHOTOVOLTAIC DEVICE AND METHOD OF MAKING
SAME

二、中文發明摘要：

茲揭示一種光伏裝置及製造其之方法。在一具體實施例裡，該裝置含有矽質層，以及第一和第二有機物層。該矽質層具有一第一面部及一第二面部。第一及第二電極係經電性耦接於該等第一及第二有機物層。一第一異質接面係經構成於該矽質層之一面部與該第一有機物層間的接面處。一第二異質接面係經構成於該矽質層之一面部與該第二有機物層間的接面處。該矽質層可為構成而無須 p-n 接面。至少一有機物層可經組態設定為一電子阻擋層或為一電洞阻擋層。至少一有機物層可含有菲醌 (phenanthrenequinone, PQ)。一鈍化層可為設置在該等有機物層的至少一者與該矽質層之間。該鈍化層可為有機性。該等有機物層的至少一者可鈍化該矽質層的表面。該裝置亦可含有經耦接於該等電極之至少一者的至少一透明電極層。

三、英文發明摘要：

A photovoltaic device and method of manufacturing is disclosed. In one embodiment, the device includes a silicon layer and first and second organic layers. The silicon layer has a first face and a second face. First and second electrodes electrically are coupled to the first and second organic layers. A first heterojunction is formed at a junction between the one of the faces of the silicon layer and the first organic layer. A second heterojunction is formed at a junction between one of the faces of the silicon layer and the second organic layer. The silicon layer may be formed without a p-n junction. At least one organic layer may be configured as an electron-blocking layer or a hole-blocking layer. At least one organic layer may be comprised of phenanthrenequinone (PQ). A passivating layer may be disposed between at least one of the organic layers and the silicon layer. The passivating layer may be organic. At least one of the organic layers may passivate a surface of the silicon layer. The device may also include at least one transparent electrode layer coupled to at least one of the electrodes.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：圖 8.2。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

8A n 型 矽 質

8B 金 屬 網 格 (陽 極)

8C 陰 極 電 極

8D 透 明 導 體 (該 陽 極 的 一 部 份)

8E P3HT 層 (電 子 阻 擋 有 機 物)

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：

【發明所屬之技術領域】

本發明是關於光伏裝置的領域；並且尤其是有關該等裝置內之異質接面的構成和運用，以及利用有機材料俾產生且強化此等異質接面。

【先前技術】

長久以來既已冀求能夠製作並運用光伏裝置。此等裝置適用於偵測電磁輻射、將電磁輻射轉換為電能、將電能轉換為光能及/或其他所欲用途。

光伏裝置對於電磁輻射具有敏感度。當出現電磁輻射時，光伏裝置可將電磁輻射轉換成電能。太陽能電池即為光伏裝置的其一範例。

從晶態矽可建構出一些擁有較高效率形式的光伏裝置。然而晶態矽光伏裝置的製造成本非常昂貴。其他的光伏裝置可藉由非矽材料所製造以利降低成本。但是這些光伏裝置在將電磁輻射轉換成電能時效率較低。於 2011 年 1 月 11 日授予 Brabec 等人之美國專利第 7,868,405 B2 號即為自著眼於降低製造成本的有機材料而利用有機材料以產生光伏裝置的其一範例。Brabec 揭示一種有機異質接面，但無法產獲在業界最先進之晶態矽裝置中所觀察到電磁輻射至電能的轉換效率。

因此需要一種可適用於光伏裝置，同時又能夠降低製造成本並且改善該等光伏裝置之效率及效能的異質接面。

【發明內容】

茲揭示一種光伏裝置及製造其之方法。在一具體實施例裡，該裝置含有矽質層，以及第一和第二有機物層。該矽質層具有一第一面部及一第二面部。第一及第二電極係經電性耦接於該等第一及第二有機物層。一第一異質接面係經構成於該矽質層之一面部與該第一有機物層間的接面處。一第二異質接面係經構成於該矽質層之一面部與該第二有機物層間的接面處。該矽質層可為構成而無須 p-n 接面。至少一有機物層可經組態設定為一電子阻擋層或為一電洞阻擋層。至少一有機物層可含有菲醌(PQ)。一鈍化層可為設置在該等有機物層的至少一者與該矽質層之間。該鈍化層可為有機性。該等有機物層的至少一者可鈍化該矽質層的表面。該裝置亦可含有經耦接於該等電極之至少一者的至少一透明電極層。

在另一具體實施例裡，該光伏裝置含有一矽質層，此層接觸於經組態設定以構成一異質接面的有機物層。一第一電極係經電性耦接於該矽質層，並且一第二電極係經電性耦接於該有機物層。該有機物層係經組態設定為電荷載子阻擋層。該裝置亦可含有一經構成於該矽質內的 p-n 接面。該有機物層可為未經摻雜，並且該有機物層可為經溶液處理。該有機物層可含有聚 3-己烷基噻吩 (Poly 3-Hexyothiophene, P3HT)。該裝置亦可含有一經設置於該有機物層與該矽質層之間的鈍化層。該鈍化層可為由有機物

所構成。該有機物層可為一鈍化層。該有機物層可含有菲醌(PQ)。該裝置亦可含有經耦接於該等電極之至少一者的至少一透明電極層。

在另一具體實施例裡，該光伏裝置含有一矽質層，以及一經組態設定以構成一異質接面的有機物層。一第一電極係經電性耦接於該矽質層，並且一第二電極係經電性耦接於該有機物層。該矽質層是由從包含下列項目之群組中選定的材料所構成：矽合金、多晶矽、微晶矽、原晶矽、升級後之冶金級矽(upgraded metallurgical-grade)、帶狀矽、薄膜矽，以及該等的組合。該矽質層可為構成而無須 p-n 接面。至少一有機物層可經組態設定為一電子阻擋層或為一電洞阻擋層。至少一有機物層可含有菲醌(PQ)。一鈍化層可為設置在該等有機物層的至少一者與該矽質層之間。該鈍化層可為有機性。該等有機物層的至少一者可鈍化該矽質層的表面。該裝置亦可含有經耦接於該等電極之至少一者的至少一透明電極層。

在另一具體實施例裡，該光伏裝置含有一矽質層，此層接觸於一有機物層以構成一異質接面。一第一電極係經電性耦接於該矽質層，並且一第二電極係經電性耦接於該有機物層。該矽質層可為構成而無須 p-n 接面。該矽質層係以一粗糙化(texturing)表面構成。該有機物層亦可以一粗糙化表面構成。該有機物層的粗糙化表面可配合於該矽質層的粗糙化表面。在另一具體實施例裡，該光伏裝置含有一矽質層，此層接觸於經組態設定以構成一異質接面的有機

物層。一第一電極係經電性耦接於該矽質層，並且一第二電極係經電性耦接於該有機物層。該有機物層係以一粗糙化表面構成。

在另一具體實施例裡，該光伏裝置含有一矽質層，此層接觸於經組態設定以構成一異質接面的有機物層。一第一電極係經電性耦接於該矽質層，並且一第二電極係經電性耦接於該有機物層。該有機物層係經組成於該矽質層上，使得該有機物層的最高佔據分子軌道(HOMO)對準於該矽質層之價帶邊緣(E_v)的頂部以有助於電洞傳輸，並且該有機物層的最低未經佔據分子軌道(LUMO)不會對準於該矽質層之傳導帶(E_c)的底部。該矽質層可為構成而無須 p-n 接面。在另一具體實施例裡，該光伏裝置含有一矽質層，此層接觸於經組態設定以構成一異質接面的有機物層。一第一電極係經電性耦接於該矽質層，並且一第二電極係經電性耦接於該有機物層。該有機物層係經組成於該矽質層上，使得該有機物層的最低未經佔據分子軌道(LUMO)對準於該矽質層之傳導帶(E_c)的底部以有助於電子傳輸，並且該有機物層的最高佔據分子軌道(HOMO)不會對準於該矽質層之價帶邊緣(E_v)的頂部。該矽質層可為構成而無須 p-n 接面。

在另一具體實施例裡，該光伏裝置含有一矽質層，此層接觸於經組態設定以構成一異質接面並且鈍化該矽質之表面的有機物層。一對電極定義通過該矽質層的電流路徑。該矽質層可為構成而無須 p-n 接面。該有機物層係經設

置於該電流路徑的外部。該有機物層可經組態設定以阻擋至少一電荷載子。該有機物層可含有菲醌(PQ)。

在另一具體實施例裡揭示一種構成一光伏裝置的方法。該方法包含在一矽質層上沉積第一及第二有機物層，該矽質層具有一第一面部和一第二面部。第一及第二電極係經電性耦接於該等第一及第二有機物層。一第一異質接面係經構成於該矽質層之第一面部與該第一有機物層間的接面處。一第二異質接面係經構成於該矽質層之第二面部與該第二有機物層間的接面處。該光伏裝置可為在低於 500°C 的溫度處所製作。該矽質層可為構成而無須 p-n 接面。

在另一具體實施例裡，一種構成一光伏裝置的方法包含在一矽質層上沉積一有機物層，並且構成一異質接面。一第一電極係經電性耦接於該矽質層。一第二電極係經電性耦接於該有機物層。該有機物層係經組態設定為電荷載子阻擋層。該光伏裝置可為在低於 500°C 的溫度處所製作。該矽質層可為構成而無須 p-n 接面。

在另一具體實施例裡，一種構成一光伏裝置的方法包含在一矽質層上沉積一有機物層，並且構成一異質接面。一第一電極係經電性耦接於該矽質層。一第二電極係經電性耦接於該有機物層。該矽質層是由從包含下列項目之群組中選定的材料所構成：碳化矽、多晶矽、微晶矽、原晶矽、升級後之冶金級矽、帶狀矽、薄膜矽，以及該等的組合。該光伏裝置可為在低於 500°C 的溫度處所製作。該矽質層可為構成而無須 p-n 接面。

【實施方式】

定義

「同質接面」在此是指由相同材料所製成的 p-n 接面。

「異質接面」在此是指具有不同電子帶結構之多種材料間的介面。

「載子阻擋層」在此是指電子阻擋層、電洞阻擋層，或是阻擋電子及電洞二者的覆層。

「電子阻擋層」在此是指可提供往返於矽質之電洞傳通並防止電子傳通的材料。這可藉由將該材料的「最高佔據分子軌道(HOMO)」/價帶邊緣(E_v)近似地對準於矽質的價帶邊緣(E_v)，並且該材料的「最低未經佔據分子軌道(LUMO)」/傳導帶(E_c)顯著地高於該矽質的傳導帶(E_c)，所達到(參見圖 2.1)。

「電洞阻擋層」在此是指可提供往返於矽質之電子傳通並防止電洞傳通的材料。這可藉由將該材料的 LUMO/傳導帶(E_c)近似地對準於矽質的傳導帶(E_c)，並且該材料的 HOMO/價帶邊緣(E_v)顯著地低於該矽質的價帶邊緣(E_v)，所達到(參見圖 2.2)。

「表面鈍化」在此是指移除一半導體之表面上的電性作用中間隙缺陷。

「低溫」在此是指低於約 500°C 的溫度，並且最好是低於約 160°C 。

光伏的基本物理通常為兩項步驟的製程，即 1)吸收電

磁輻射並且產生電荷的能力，以及 2)利用內部電場以分離出正電荷(電洞)和負電荷(電子)。無機性太陽能電池通常是由晶態或多晶態材料所製成以供吸收光線。為分離由光線所產生的電荷載子，會在該裝置內製作可供產生內部電場的 p-n 接面。光線吸收及電荷分離可將其開路電壓(V_{OC})和短路電流(I_{SC})提供至該裝置，使得該者能夠自光線產生電力。然而，p-n 接面的製作成本昂貴，特別是在矽質中尤甚。p-n 接面的產生作業是一項高溫、能量密集並且高成本的步驟。

在光線下的光伏裝置可視同二極體，其中電流-密度(J)是依照跨於該等電極上的電壓(V)而定，即如下列函式：

$$J = J_0 \left(e^{\frac{qV}{nkT}} - 1 \right) - J_{SC}$$

太陽能電池在開路條件($J=0$)下的電壓輸出，即開路電壓(V_{OC})，可為利用下列方程式所特徵化：

$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{J_{SC}}{J_0} \right)$$

其中： J_{SC} 為短路電流密度，並且 V_{OC} 為開路電壓：光伏裝置內的兩項重要參數。一旦該參數 J_{SC} 達到其理論最大值，則欲進一步提高 V_{OC} 即需降低 J_0 。

圖 1.1 顯示一光伏裝置之結構在光亮條件(圖 1.2)及黑

暗條件(圖 1.3)下其功能的略圖。該光伏裝置含有：一陽極電極 1A、一 p 型矽質層 1B、一 n 型矽質層 1C 以及一陰極電極 1D。該等電極 1A、1D 的至少一者可為透明。當受曝於電磁輻射時，一些電流路徑可產生電力，而其他路徑則是「損耗」路徑。所欲者為決定損耗的成因，並且降低光伏裝置內的損耗。圖 1.2 為圖 1.1 在照明下並且連接於外部負載 1I 的能帶圖。圖 1.3 為圖 1.1 在黑暗下並且連接於外部電壓 1N 的能帶圖。所使用的參考編號如下：

- 1E：陽極電極費米能階
- 1F：矽質之傳導帶邊緣(E_c)的底部；
- 1G：矽質之價帶邊緣(E_v)的頂部；
- 1H：陰極電極費米能階；
- 1I：外部負載；
- 1J：電子復合電流(損耗機制)；
- 1K：光線引生的電子流；
- 1L：光線引生的電洞流；
- 1M：電洞復合電流(損耗機制)；以及
- 1N：在黑暗中對裝置的外部施加的電壓。

既已決定，當施加一外部電壓時，在缺少電磁輻射下，亦即在黑暗裡，該等「損耗」路徑(1J 及 1M)確為作用中(參見圖 1.3)。考量到，在缺少電磁輻射下，此「黑暗電流」可為藉由測量該光伏裝置的 J_0 所檢知。因此，可發現 J_0 為一

太陽能電池之許多復合損耗機制的有效測度。經由檢視 J_0 即可對一光伏裝置內的復合損耗進行測量。而藉由降低 J_0 ，當該光伏裝置受曝於電磁輻射時可提高開路電壓，並且能夠改善該光伏裝置的整體效率。

圖 2.1 為顯示一矽質層及一電子阻擋層間之能帶對準的圖式。圖 2.2 為顯示一矽質層及一電洞阻擋層間之能帶對準的圖式。所使用的參考編號如下：

2A：矽質之傳導帶邊緣(E_c)的底部；

2B：矽質之價帶邊緣(E_v)的頂部；

2C：該電子阻擋層的 LUMO 或是該傳導帶邊緣的底部；

2D：該電子阻擋層的 HOMO 或是該價帶邊緣的頂部；

2E：電子傳通受到阻擋；

2F：電洞傳通受到促成；

2G：該電洞阻擋層的 LUMO 或是該傳導帶邊緣的底部；

2H：該電洞阻擋層的 HOMO 或是該價帶邊緣的頂部；

2I：電子傳通受到促成；以及

2J：電洞傳通受到阻擋。

既已決定一種降低矽質 p-n 接面光伏裝置內之 J_0 的方式是藉由在該矽質 p-n 接面的 p 側與該陽極電極 3A 之間引入一電子阻擋層 3B。

圖 3.1 為一具有 p-n 接面與電子阻擋層之光伏裝置具體實施例的略圖。該光伏裝置含有一陽極電極 3A、一電子阻擋層 3B、一 p 型矽質層 3C、一 n 型矽質層 3D 以及一陰極電極 3E。該等電極 3A、3E 的至少一者可為透明。

圖 3.2 為圖 3.1 之 p-n 接面在黑暗、連接於外部電壓下的能帶圖。所使用的參考編號如下：

3F：陽極電極費米能階；

3G：該電子阻擋層的 LUMO 或是該傳導帶邊緣的底部；

3H：該電子阻擋層的 HOMO 或是該價帶邊緣的頂部；

3I：矽質的傳導帶邊緣；

3J：矽質的價帶邊緣；

3K：陰極電極費米能階；

3L：電子復合電流可為降低(損耗機制)；以及

3M：電洞復合電流(損耗機制)。

目前已發現該電子阻擋層 3B 可因在 p-n 二極體之 p 側接觸處的電子復合(圖 3.2)而壓制損耗。這種電子阻擋層的其中一者可為像是 N,N'-二苯基-N,N'-二(3-甲基苯基)-1,4-聯苯-4,4'-二胺(TPD)的有機材料[參考 S. Avasthi 等人, DOI: 10.1109/PVSC.2009.5411419]。

既已決定另一種降低矽質 p-n 接面光伏裝置內之 J_0 的方式是藉由在該矽質 p-n 接面的 n 側上引入一電洞阻擋層。

圖 4.1 為一具有 p-n 接面與電洞阻擋層之光伏裝置具體實施例的略圖。該光伏裝置含有一陽極電極 4A、一 p 型矽質層 4B、一 n 型矽質層 4C、一電洞阻擋層 4D 以及一陰極電極 4E。該等電極 4A、4E 的至少一者可為透明。

圖 4.2 為圖 4.1 之 p-n 接面在黑暗且連接於外部電壓下的能帶圖。所使用的參考編號如下：

- 4F：陽極電極費米能階；
- 4G：電洞阻擋層的 LUMO 或是該傳導帶邊緣的底部；
- 4H：電洞阻擋層的 HOMO 或是該價帶邊緣的頂部；
- 4I：矽質的傳導帶邊緣；
- 4J：矽質的價帶邊緣；
- 4K：陰極電極費米能階；
- 4L：電子復合電流(損耗機制)；以及
- 4M：電洞復合電流可為降低(損耗機制)。

既已發現該電洞阻擋層 4D 可因在 p-n 接面之 n 側接觸處的電洞復合(參見圖 4.2)而壓制損耗。在一些具體實施例裡，該電洞阻擋層可為有機材料。

位在該矽質表面處之矽原子的未經滿足配價會造成電性作用的中間隙缺陷狀態。該矽質表面上的這些「表面狀態」也會導致提高 J_0 的復合損耗。因此，既已決定藉由移除該等表面狀態，即如鈍化該矽質表面，以進一步降低 J_0 。既已決定藉由滿足該矽質表面上的未經滿足配價以移除該

等表面狀態。既已決定可與該矽質之表面上的未經滿足矽質配價進行化學互動的材料將能移除該等表面狀態並鈍化該表面。此覆層係經設置在該矽質表面與該載子阻擋層之間而位於電流的行流路徑內。因此不會對經其而過的載子傳通產生阻礙。一種利用有機材料的特定範例可如「Applied Physics Letters 96」, 222109 (2010) doi: 10.1063/1.3429585 以及 S. Avasthi 等人「Surface Science (2011)」, doi: 10.1016/j.susc.2011.04.024 所揭示, 茲將該等依其整體併入本案。pi 共軛有機材料, 菲醌(後文中稱為「PQ」), 既已顯示可鈍化矽質表面並且改善光伏裝置的效率。

圖 5.1 為一具有 p-n 接面、電洞阻擋層和鈍化之光伏裝置具體實施例的略圖。該光伏裝置含有一陽極電極 5A、一 p 型矽質層 5B、一 n 型矽質層 5C、一鈍化層 5D、一電洞阻擋層 5E 以及一陰極電極 5F。該等電極 5A、5F 的至少一者可為透明。圖 5.2 為具有 p-n 接面、電子阻擋層和鈍化之光伏裝置的一具體實施例。該光伏裝置含有一陽極電極 5G、一電子阻擋層 5H、一鈍化層 5I、一 p 型矽質層 5B、一 n 型矽質層 5C 以及一陰極電極 5J。該等電極 5G、5J 的至少一者可為透明。

該鈍化層 5I、5D 可併同於該 p 側上的電子阻擋層 5H (圖 5.2), 或該 n 側上的電洞阻擋層 5E (圖 5.1), 用以進一步降低該矽質 p-n 接面光伏裝置的 J_0 。應瞭解該等載子阻擋層(電子及電洞兩者)亦可為移除該矽質上之缺陷狀態的鈍化層, 換言之, 單一覆層可達到兩者功能。

可藉由利用前述技術的組合以進一步降低 J_0 。例如，一矽質 p-n 接面光伏裝置可藉由在該 p 型矽質與其電極之間併入一電子阻擋層、在該 n 型矽質與其電極之間併入一電洞阻擋層，以及位於兩側上的鈍化層(若需要個別的鈍化層)，而獲以顯著地降低 J_0 。

可利用非晶態矽(和非晶態矽合金)以在矽質上製作該等載子阻擋層及鈍化層。此外，此方法可適用於製作矽質光伏裝置。一般說來，該晶態矽基板為 n 型，並於其上成長出本質性非晶態矽的薄層。隨後為成長出一 p 型非晶態矽層。此接面稱為「具有本質性薄層的異質接面」或「HIT」接面(參見 Tanaka M. 等人，2003 年，「Proceedings of the 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion」第 1 冊，第 955-958 頁，doi: 10.1109/WCPEC.2003.1305441；以及 Tanaka M. 等人，1993 年，Jpn. J. Appl. Phys.，第 31 冊，第 3518-3522 頁，茲將該等二者依其整體而以參考方式併入本案)。在該晶態矽的另一側上則沉積有另一個本質性非晶態矽層。在該本質性覆層上成長出一 n 型非晶態矽層。如此可產生 p-n-n 接面。這種產生鈍化接觸的方法稱為背側表面。此方法有助於降低少數載子復合並且提高效率。在該所獲非晶態矽層上進行電極沉積即可完成該 HIT 接面。金屬或透明的導電聚合物可適合作為該電極。HIT 接面雖為有效，但使用非晶態矽的必要性會對該 HIT 接面的建構增加高複雜度，並由於複雜度之故而顯著地提升成本。此建構必須使用電漿輔助式化學氣相沉積法。該項製程必須在

真空條件下執行，使用電漿系統同時亦牽涉到危險氣體。故所希冀者為能夠藉由成本較低且較為安全的方法以鈍化該矽質。

在傳統的矽質 p-n 接面光伏裝置裡，能夠分離並促成收集光產生載子的電場是由該 p-n 接面所創出。而該 p-n 接面則是藉由高溫且成本密集的擴散製程所製作。可藉由一種金屬-矽質「蕭特基」接面，而非 p-n 接面，來產生該電場俾消除此項昂貴步驟[S. M. Sze, 「Physics of semiconductor devices」 (Wiley, New York, 1969), 第二版, 第 8 章]。然所獲 J_0 會因龐大多數的載子電流而非常高，導致具有較小 V_{oc} 和較低效率的裝置。

既已決定亦可藉由併入一載子阻擋層以阻擋大部份的載子電流，亦即對於 n 型矽質基板為該電子阻擋層 6B (圖 6.1)、而對於 p 型矽質基板則為該電洞阻擋層 7C (圖 7.1)，來強化該「蕭特基」接面以利降低該高 J_0 。該等載子阻擋層可為有機材料。該所獲金屬/有機/矽質異質接面可有效地取代傳統光伏裝置內的 p-n 接面，同時產生內部電場以分離並促成收集光產生載子。

圖 6.1 為一光伏裝置具體實施例的略圖，此者並未含有 p-n 接面，而是另外地在 n 型矽質上使用一金屬-有機物-矽質接面及一電子阻擋層以分離光產生電荷載子。該光伏裝置含有一陽極電極 6A、一電子阻擋層 6B、一 n 型矽質層 6C 以及一陰極電極 6D。該等電極 6A、6D 的至少一者可為透明。圖 6.2 為圖 6.1 之光伏裝置在黑暗且連接於外部電壓

下的能帶圖。所使用的參考編號如下：

6E：陽極電極費米能階；

6F：該電子阻擋層的 LUMO 或是該傳導帶邊緣的底部；

6G：該電子阻擋層的 HOMO 或是該價帶邊緣的頂部；

6H：矽質的傳導帶邊緣；

6I：矽質的價帶邊緣；

6J：陰極電極費米能階；

6K：電子復合電流可為降低(損耗機制)；以及

6L：電洞復合電流(損耗機制)。

圖 7.1 為一光伏裝置具體實施例的略圖，此者並未含有任何 p-n 接面，而是另外地在 p 型矽質上使用一金屬-有機物-矽質接面及一電洞阻擋層以分離光產生電荷載子。該光伏裝置含有一陽極電極 7A、一 p 型矽質層 7B、一電洞阻擋層 7C 以及一陰極電極 7D。該等電極 7A、7D 的至少一者可為透明。圖 7.2 為圖 7.1 之光伏裝置在黑暗且連接於外部電壓下的能帶圖。所使用的參考編號如下：

7E：陽極電極費米能階；

7F：電洞阻擋層的 LUMO 或是該傳導帶邊緣的底部；

7G：電洞阻擋層的 HOMO 或是該價帶邊緣的頂部；

7H：矽質的傳導帶邊緣；

7I：矽質的價帶邊緣；

7J：陰極電極費米能階；

7K：電子復合電流(損耗機制)；以及

7L：電洞復合電流可為降低(損耗機制)。

藉由在前述的異質接面結構裡運用有機載子阻擋層，即可依相比於傳統 p-n 接面式光伏裝置為較低的製造成本來生產光伏裝置。可實現較低成本，理由是可藉由在室溫下並以低成本方式(即透過旋轉塗佈、噴霧塗佈或疊層處理)將有機物層施用於矽質上來取代在構成 p-n 接面中所必要的高溫且昂貴的擴散製程。由於可獲用廣泛的有機材料，因此含有這種具備至少一有機物層之異質接面光伏裝置的光伏裝置可為針對於特定目的所優化，並且提供比起矽質同質接面為更高的效率。

矽質-有機物異質接面光伏裝置的其一具體實施例含有聚 3-己烷基噻吩(後文中稱為「P3HT」)的有機物層以作為 n 型矽質基板上的電子阻擋層。然應瞭解此 P3HT 可為由廣泛各種的有機分子所取代。該 P3HT-矽質介面可滿足對於高效率光伏操作的兩項主要的能帶對準標準：a)在該傳導帶處的大型阻障以供阻擋矽質內的光產生電子而不致在金屬處復合，以及 b)小型的價帶阻障，因此不同於電子，光產生電洞可輕易地流過該介面並在陽極處所收集。

圖 8.1 為顯示一位在 n 型矽質上之金屬-矽質「蕭特基」接面光伏裝置，而無 p-n 接面，的結構。圖 8.2 為顯示一位

在 n 型矽質上之金屬-P3HT-矽質異質接面太陽能電池，而無 p-n 接面，的結構。所使用的參考編號如下：

8A：n 型矽質；

8B：金屬網格(陽極)；

8C：陰極電極；

8D：透明導體(該陽極的一部份)；以及

8E：P3HT 層(電子阻擋有機物)。

圖 8.3 顯示圖 8.1 及 8.2 所示之結構的電流-電壓特徵。所使用的參考編號如下：

8F：垂直軸為按 mA/cm^2 所測得的電流密度；

8G：水平軸為按伏特所測得的供應電壓；以及

8H：圖 8.1 之結構在照明下的電流-電壓特徵。

8I：圖 8.2 之結構在照明下的電流-電壓特徵。

由於 J_0 減少，因此相較於金屬-矽質蕭特基接面(圖 8.1)而言，該 P3HT-矽質異質接面(圖 8.2)可改善該光伏效能，並且開路電壓可自蕭特基接面的 0.30V 提高至金屬-有機物-矽質異質接面光伏裝置的 0.59V (圖 8.3)。

先前對於產生光伏應用項目之矽質-有機物異質接面的嘗試是使用經重度摻雜的「金屬狀」有機材料，其可作用成透明導體。例如，在 Camaioni 等人 [Synthetic Metals 85

(1997) 1369-1370]、Sailor 等人 [Science 249, 1146 (1990)] 以及 Wang 等人 [Applied Physics Letters 91 (2007)] 所描述的實驗就是運用經摻雜的近似金屬有機層。茲將 Camaioni 等人、Sailor 等人及 Wang 等人文獻依其等整體而以參考方式併入本案。而如本揭所述的矽質與有機異質接面則是利用半導體有機物層。

同時，對於建構矽質-有機物異質接面的多數先前嘗試既已仰賴於單晶矽(參見 Wang 等人(2007))。然本揭敘述異質接面可為利用其他類型的矽質而藉由該等方法所產生。例如，可設想的是能夠利用各種的矽合金(SiGe、SiC、SiGe 等等)、多晶矽、微晶矽、原晶矽、升級後之冶金級矽、帶狀矽、薄膜矽，以及該等的組合，以建構該等異質接面光伏裝置。亦能設想的是可將擁有該等矽質類型之異質接面運用於包含太陽能電池、二極體、電容器及電晶體在內的光伏裝置。

在金屬-矽質「蕭特基」裝置裡，少數的載子電流會遠小於多數的載子復合電流；即如在 n 型矽質上的蕭特基裝置裡，電子流是遠大於電洞流。不過，在圖 6.1 及 7.1 的金屬-有機物-矽質異質接面裝置中，該多數載子電流，即分別為電子及電洞流，會減少至其中少數載子復合電流，即分別為電洞及電子流，會為較大的能階。在矽質中的另增矽質摻雜和另增少數載子復合壽命會消滅該少數載子復合電流。一種實現較高載子復合壽命的方式是利用較佳品質的矽質基板，像是浮動區矽質。

可設想的是能夠藉由在該裝置的另一末端處增設另一個載子阻擋層(對於 n 型矽質基板為電洞阻擋層，而對於 p 型矽質基板則為電子阻擋層)以進一步減少該金屬-有機物-矽質異質接面光伏裝置內的少數載子復合電流。此一額外的載子阻擋層可減少因少數載子(在 n 型矽質中為電洞而在 p 型矽質中為電子)之復合所致生的損耗，並且改善該光伏裝置的 V_{oc} 和整體效率。該第二阻擋層可被視為是對於傳統矽質 p-n 接面光伏裝置中所使用之背側表面場域的替代項目。該阻擋層可為由有機材料所製成。

圖 9.1 為一在 n 型矽質上具有一金屬-有機物-矽質接面、一電子阻擋層以及一電洞阻擋背側-表面-場域之光伏裝置的略圖。該光伏裝置含有一陽極電極 9A、一電子阻擋層 9B、一 n 型矽質層 9C、一電洞阻擋層 9D 以及一陰極電極 9E。該等電極 9A、9E 的至少一者可為透明。圖 9.2 為圖 9.1 之光伏裝置在黑暗且連接於外部電壓下的能帶圖。所使用的參考編號如下：

9F：陽極電極費米能階；

9G：該電子阻擋層的 LUMO 或是該傳導帶邊緣的底部；

9H：該電子阻擋層的 HOMO 或是該價帶邊緣的頂部；

9I：矽質的傳導帶邊緣；

9J：矽質的價帶邊緣；

9K：電洞阻擋層的 LUMO 或是該傳導帶邊緣的底部；

9L：電洞阻擋層的 HOMO 或是該價帶邊緣的頂部；

9M：陰極電極費米能階；

9N：電子復合電流可為降低(損耗機制)；以及

9O：電洞復合電流可為降低(損耗機制)。

可藉由以具有適當化學鍵結結構的材料鈍化該矽質表面以進一步降減少數載子電流。這可藉由一組包含有機物在內的材料，然不限於此，所達成。此鈍化層係經設置在該矽質表面與該載子阻擋層之間而位於該電流的行流路徑內。因此，不會對經其而過的載子傳通產生阻礙。例如，既已呈現 PQ 以鈍化矽質表面並且改善光伏裝置內的效率 [S.Avasthi 等人，doi：10.1063/1.3429585]。可併入該鈍化層以作為該矽質-有機物異質接面的一部份，藉此進一步減少 J_0 並且進一步改善光伏裝置的效能。

圖 10 為一具有一電子阻擋層、一電洞阻擋層以及經鈍化矽質表面之矽質-有機物異質接面光伏裝置具體實施例(太陽能電池)的略圖。該裝置具有一陽極電極 10A、一選擇性的中介層-1 10B、一電子阻擋有機物層 10C、一選擇性的鈍化層 10D，此層可供傳導電洞、一矽質層 10E、一選擇性的鈍化層 10F，此層可供傳導電子、一電洞阻擋有機物層 10G、一選擇性的中介層-2 10H 以及一陰極電極 10I。該等電極 10A、10I 的至少一者可為透明。

注意到移除該矽質表面上之缺陷狀態的鈍化層亦可為載子阻擋層(電子及電洞兩者)；換言之，單一覆層可達到兩

者功能。

矽質藉由有機材料的鈍化處理可在低溫下進行而無須使用極度潔淨的烘爐或其他的昂貴設備。因此，利用有機物進行矽質表面鈍化不僅能夠提高效能效率，同時亦提供較為節省的製造成本和較低的製造資本支出。

亦設想到如前所述之異質接面光伏裝置可經由運用表面粗糙化處理以提供改善光伏裝置效率的機會。光伏裝置內的表面粗糙化是指以許多微米尺寸的隨機結構粗糙化該矽質表面，並且通常可獲以提高短路電流與整體效率。此一提升可肇因於三項機制：

i) 經粗糙化的表面具有斜傾角度，因此所反射的入射光線很可能會撞擊到另一表面並且進入該電池，從而降低來自於該矽質表面的整體反射(參見圖 11.1)。參考編號 11A 顯示未經粗糙化矽質表面是如何地反射光線。參考編號 11B 則顯示經粗糙化矽質表面是如何地減少光線反射。

ii) 進入該電池內的所折射光線是按一小於相對該電池平面之法向的角度所傳播，如此讓光線在獲得離開的機會之前能夠先在該吸收材料裡行旅較長的距離。這可提高吸收的機率(參見圖 11.2)。參考編號 11C 顯示，在未經粗糙化矽質裡，多數光線是以法向的方式進入。而參考編號 11D 則顯示，在經粗糙化的矽質表面中，光線是按一角度進入。

iii) 較長波長的光線並不會被該矽質有效率吸收。一種解決方式為較厚的矽質晶圓，但是這種解決方式的成本較高。其替代方式為在背側上設置有反射材料，即如背側反

射器(通常為背側金屬)，此者可反射未經吸收的光線而朝向該前側表面返回。該粗糙化前側表面可增加光線會被內部反射的機率而提高吸收的機率(參見圖 11.3)。參考編號 11E 顯示，在未經粗糙化矽質裡，自背側反射器所反射的光線是如何地損耗。參考編號 11F 顯示，在經粗糙化矽質裡，自背側反射器 11G 所反射的光線是如何地散射返回。

在晶態矽太陽能電池裡，會在像是 KOH 及 NaOH 或 TMAH 的鹼性溶液中(參考 D. Iencinella 等人，doi: 10.1016/j.solmat.2004.09.020)利用矽質晶圓的非等向性蝕刻處理以進行表面粗糙化。而在多晶態中則是以經遮罩之反應離子蝕刻與酸性濕性蝕刻的組合所執行(參考 L.A. Dobrzanski 等人「Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering」 31, 77 (2008))。其他類型的太陽能電池是利用類似的方式來進行表面粗糙化處理。幾乎任何類型的已知矽質蝕刻方法皆可運用以粗糙化所述裝置。圖 12.1 為具有傳統化學/機械粗糙化矽質 12A 之粗糙化光伏裝置的略圖表示。

所提供的一種策略是藉由有機物(而非矽質)的粗糙化來規避成本。由於有機物為較柔軟的材料，因此有機物可藉由模製戳壓而凹縮，而修改沉積條件，所以有機物能夠形成粗糙且因此自動為粗糙化的表面。圖 12.2 為具有經沉積於一矽質層 12C 上之有機物層 12B 的光伏裝置之略圖表示。該有機物層 12B 係以一粗糙化表面構成。在本範例裡，該矽質層 12C 並沒有粗糙化表面。亦可運用一種對矽質層

及有機物層兩者進行粗糙化的組合，其中矽質的粗糙化是利用傳統方式所進行，而有機物層的粗糙化是利用模製凹縮及/或修改沉積條件所進行，因此該有機物可構成粗糙且因此自動為粗糙化的表面。圖 12.3 為具有經沉積於一矽質層 12E 上之有機物層 12D 的光伏裝置之略圖表示。該有機物層 12D 係以一粗糙化表面構成，即如前文所述。該矽質層 12E 係以一粗糙化表面構成(即如經傳統化學/機械粗糙化)。或另者，經沉積於該粗糙化矽質表面之頂部上的有機物本身可擁有平滑表面。

如前所述在該異質接面裝置內的電磁輻射吸收會在該矽質層內發生。為了使輻射能夠到達矽質而無顯著損耗，該等電極之一者需為至少部份地透明，亦即讓光線能夠通過。例如，在本揭所述之裝置中，陽極為半透明並且是由兩個覆層所組成。其中一層含有導體聚合物 PEDOT:PSS (聚(3,4-亞乙二氧基噻吩)-聚(苯乙烯磺酸))，並且第二層是由可為金屬之不透明電極所製成的網格(參見圖 13.1、13.2)。該不連續金屬網格雖遮蔽部份的輻射(1%至 40%)，然該者確可藉由降低電流路徑的電阻值以增強該光伏裝置的電能輸出。為自該陽極堆疊獲得最佳效能，可將該等 PEDOT:PSS 層和金屬網格兩者的性質予以優化。

裸出矽質層具有未滿足的矽質配價而導致中間隙缺陷狀態，這會成為復合中心而造成光伏裝置的效能嚴重劣化。在傳統的光伏裝置裡，可利用熱氧化層或是氮化矽層以減少該等復合中心，即如鈍化該表面。然此項製程要求

高溫以及特別超高度潔淨的設備。有機材料可按大幅降低的成本沉積於裸出矽質基板上以進行矽質鈍化。

PQ 是一種對矽質鈍化有效的有機分子(參考 S. Avasthi 等人「Applied Physics Letters」 96, 222109 (2010), doi: 10.1063/1.3429585, 以及 Avasthi 等人「Surface Science (2011)」, doi: 10.1016/j.susc.2011.04.024)。然可瞭解有機分子提供廣泛各種的潛在鈍化層。選定 PQ 的理由是因為該者為 n-電子共軛系統, 並且被視為運作如擁有大型能帶間隔的半導體。任何具有類似特徵的有機物皆可用以進行矽質鈍化。圖 14.1 為具有傳統鈍化層之光伏裝置其一局部的略圖表示。該裝置具有經沉積於一矽質層 14B 上的傳統鈍化層 14A, 即如氮化矽、氧化矽等等。圖 14.2 為具有由一有機物層, 像是 PQ, 所成之鈍化的光伏裝置其一局部之略圖表示。該裝置具有一經構成於該矽質層 14B 上的有機鈍化層 14C。該鈍化層係經組態設定以阻擋至少一載子。

這項利用 PQ 進行鈍化的製程是在高度真空中利用熱汽化以在裸出矽質上沉積一有機物層。在進行沉積之前會先利用所準備的溶劑和 RCA 潔淨處理(即如備製晶圓的方式為將該等浸泡在 DI 水內, 然後在 75 或 80°C 處以氫氧化氫、過氧化氫及水的 1:1:5 溶液潔淨約 15 分鐘, 隨後為在 25°C 處簡短 1 分鐘的浸沒於 HF+水的 1:100 溶液裡, 接著在 75 或 80°C 處以氯化氫、過氧化氫及水的 1:1:5 溶液清洗 15 分鐘)以徹底地潔淨該矽質表面。隨後為簡短的(即如 1 分鐘) 1:100 的 HF: 去離子水沾潤, 藉以剝除在先前潔淨步驟過

程中所形成的氧化物層。然後再將矽質裝載至基底壓力 $< 5 \times 10^{-7}$ torr 的汽化系統內。一旦位在基底壓力處，該有機物層就會按非常低的沉積速率 (0.2-0.3 Å/s) 熱性沉積。令該系統停留在真空下的處理室裡 12 小時，讓該有機物層與該矽質表面產生反應並予以鈍化。

範例

在 n 型矽質上製造金屬-有機物-矽質異質接面而無須 p-n 接面及 P3HT 作為電子阻擋層。

圖 8.2 為顯示該金屬-P3HT-矽質異質接面光伏裝置具體實施例之結構的略圖。該光伏裝置具有一陽極 8B (金屬網格)、一透明導體(一部份的陽極) 8D、一有機電子阻擋層 (P3HT) 8E、一 n 型矽質層 8A 以及一陰極電極 8C。圖 8.3 中的曲線 8I 顯示 8.2 之光伏裝置的電流-電壓特徵。

該製造方法是以矽質基板為起始。利用標準矽質潔淨方法以謹慎地潔淨該基板。任何已知的潔淨方法皆可運用。例如，可浸潤於丙酮/甲醇/丙醇-2 內然後進行 RCA 潔淨處理(即如備製晶圓的方式為將該等浸泡在 DI 水內，然後在 75 或 80°C 處以氫氧化氨、過氧化氫及水的 1:1:5 溶液潔淨約 15 分鐘；隨後為在 25°C 處簡短 1 分鐘的浸沒於 HF+ 水的 1:100 溶液裡；接著在 75 或 80°C 處以氯化氫、過氧化氫及水的 1:1:5 溶液清洗)。在此之後，將該矽質沾潤於稀釋的 HF 內(約 1:100)以去除該表面上的化學氧化物塗層。在潔淨且備妥該表面之後隨即將待予用於該異質接面而在

適當溶劑內之有機材料的溶液旋轉塗佈於該等矽質表面的其一者上。例如，可將經溶解在氯苯內的 P3HT 旋轉塗佈於晶態矽晶圓之淨化且備妥表面的頂部表面上。一旦該有機物層既已於空氣中乾燥後，即沉積出頂部及底部電極。任何適當電極皆可使用。不受範例所限，適當的金屬電極包含 Pd 和 Al 以及類似金屬。為供光線穿透該陽極，可沉積透明的導體有機物。此透明電極可包含聚(3,4-亞乙二氧基噻吩)-聚(苯乙烯磺酸)(後文中稱之為「PEDOT:PSS」)，然不限於此。根據結構而定，可施予一些熱處理以改善效率。不受範例所限，典型的熱處理可牽涉到在約 30°C 至約 150°C 之間加熱樣本約 0 至約 10 分鐘。熱處理通常是在真空下，或者在氧氣/溼度缺乏的環境下，進行。該等裝置可在 100mW/cm² 的光線激發下達到 0.59V 的高開路電壓。短路電流為 29mA/cm²，並且填入因數為 0.59，這可轉映為 10.1% 的能量效率。

在前文中雖既已按特定具體實施例說明多項特性及要素，然各項特性或要素可單獨運用而無須其他的特性及要素，或是按連同或不含其他特性及要素的各種組合所運用。

【圖式簡單說明】

圖 1.1 為一光伏裝置在光亮條件及黑暗條件下之功能的略圖；

圖 1.2 為圖 1.1 之光伏裝置在照明下並且連接於外部負載的能帶圖；

圖 1.3 為圖 1.1 之光伏裝置在黑暗和外部電壓下的能帶圖；

圖 2.1 為顯示一電子阻擋層之能帶對準的圖式；

圖 2.2 為顯示一電洞阻擋層之能帶對準的圖式；

圖 3.1 為一具有 p-n 接面與電子阻擋層之光伏裝置具體實施例的略圖；

圖 3.2 為圖 3.1 之 p-n 接面在黑暗、連接於外部電壓下的能帶圖；

圖 4.1 為一具有 p-n 接面與電洞阻擋層之光伏裝置具體實施例的略圖；

圖 4.2 為圖 4.1 之 p-n 接面在黑暗且連接於外部電壓下的能帶圖；

圖 5.1 為一具有 p-n 接面、電洞阻擋層和鈍化之光伏裝置具體實施例的略圖；

圖 5.2 為具有 p-n 接面、電子阻擋層和鈍化之光伏裝置的一具體實施例；

圖 6.1 為一在 n 型矽質上具有金屬-有機物-矽質接面與電子阻擋層之光伏裝置具體實施例的略圖；

圖 6.2 為圖 6.1 之光伏裝置在黑暗且連接於外部電壓下的能帶圖；

圖 7.1 為一在 p 型矽質上具有金屬-有機物-矽質接面與電洞阻擋層之光伏裝置具體實施例的略圖；

圖 7.2 為圖 7.1 之光伏裝置在黑暗且連接於外部電壓下的能帶圖；

圖 8.1 為顯示一位在 n 型矽質上金屬-矽質「蕭特基」接面光伏裝置具體實施例(太陽能電池)，而無 p-n 接面，之結構的略圖；

圖 8.2 為顯示一位在 n 型矽質上金屬-P3HT-矽質異質接面光伏裝置具體實施例(太陽能電池)，而無 p-n 接面，之結構的略圖；

圖 8.3 為一顯示圖 8.1 及 8.2 之光伏裝置的電流-電壓特徵之圖式；

圖 9.1 為一在 n 型矽質上具有金屬-有機物-矽質接面、電子阻擋層以及電洞阻擋背側-表面-場域之光伏裝置具體實施例的略圖；

圖 9.2 為圖 9.1 之光伏裝置在黑暗且連接於外部電壓下的能帶圖；

圖 10 為一具有電子阻擋層、電洞阻擋層以及經鈍化矽質表面之矽質-有機物異質接面光伏裝置具體實施例(太陽能電池)的略圖；

圖 11.1 為顯示由粗糙化太陽能電池所提供而優於非粗糙化太陽能電池之反射改善結果的略圖表示；

圖 11.2 為顯示粗糙化太陽能電池優於非粗糙化太陽能電池之吸收改善結果的略圖表示；

圖 11.3 為顯示粗糙化太陽能電池優於具有背側反射器的非粗糙化太陽能電池之吸收改善結果的略圖表示；

圖 12.1 為一粗糙化光伏裝置具體實施例的略圖表示；

圖 12.2 為另一粗糙化光伏裝置具體實施例的略圖表

示；

圖 12.3 為另一粗糙化光伏裝置具體實施例的略圖表示；

圖 13.1 為顯示一位在 n 型矽質上 P3HT-矽質異質接面光伏裝置具體實施例(太陽能電池)頂部上之頂部透明電極的結構，而無 p-n 接面，之略圖表示(上視圖)；

圖 13.2 為圖 13.1 之光伏裝置的截面視圖；

圖 14.1 為具有經沉積於一矽質層上之傳統鈍化層的光伏裝置其一局部之略圖表示；以及

圖 14.2 為具有由一有機物層，像是 PQ，所成之鈍化的光伏裝置其一局部之略圖表示。

【主要元件符號說明】

- 1A 陽極電極
- 1B p 型矽質層
- 1C n 型矽質層
- 1D 陰極電極
- 1E 陽極電極費米能階
- 1F 矽質之傳導帶邊緣(E_c)的底部
- 1G 矽質之價帶邊緣(E_v)的頂部
- 1H 陰極電極費米能階
- 1I 外部負載
- 1J 電子復合電流(損耗機制)
- 1K 光線引生的電子流

- 1L 光線引生的電洞流
- 1M 電洞復合電流(損耗機制)
- 1N 在黑暗中對裝置的外部施加電壓
- 2A 矽質之傳導帶邊緣(E_c)的底部
- 2B 矽質之價帶邊緣(E_v)的頂部
- 2C 電子阻擋層的 LUMO 或是傳導帶邊緣的底部
- 2D 電子阻擋層的 HOMO 或是價帶邊緣的頂部
- 2E 電子傳通受到阻擋
- 2F 電洞傳通受到促成
- 2G 電洞阻擋層的 LUMO 或是傳導帶邊緣的底部
- 2H 電洞阻擋層的 HOMO 或是價帶邊緣的頂部
- 2I 電子傳通受到促成
- 2J 電洞傳通受到阻擋
- 3A 陽極電極
- 3B 電子阻擋層
- 3C p 型矽質層
- 3D n 型矽質層
- 3E 陰極電極
- 3F 陽極電極費米能階
- 3G 電子阻擋層的 LUMO 或是傳導帶邊緣的底部
- 3H 電子阻擋層的 HOMO 或是價帶邊緣的頂部
- 3I 矽質的傳導帶邊緣
- 3J 矽質的價帶邊緣
- 3K 陰極電極費米能階

- 3L 電子復合電流可為降低(損耗機制)
- 3M 電洞復合電流(損耗機制)
- 4A 陽極電極
- 4B p 型矽質層
- 4C n 型矽質層
- 4D 電洞阻擋層
- 4E 陰極電極
- 4F 陽極電極費米能階
- 4G 電洞阻擋層的 LUMO 或是傳導帶邊緣的底部
- 4H 電洞阻擋層的 HOMO 或是價帶邊緣的頂部
- 4I 矽質的傳導帶邊緣
- 4J 矽質的價帶邊緣
- 4K 陰極電極費米能階
- 4L 電子復合電流(損耗機制)
- 4M 電洞復合電流可為降低(損耗機制)
- 5A 陽極電極
- 5B p 型矽質層
- 5C n 型矽質層
- 5D 鈍化層
- 5E 電洞阻擋層
- 5F 陰極電極
- 5G 陽極電極
- 5H 電子阻擋層
- 5I 鈍化層

5J	陰極電極
6A	陽極電極
6B	電子阻擋層
6C	n 型矽質層
6D	陰極電極
6E	陽極電極費米能階
6F	電子阻擋層的 LUMO 或是傳導帶邊緣的底部
6G	電子阻擋層的 HOMO 或是價帶邊緣的頂部
6H	矽質的傳導帶邊緣
6I	矽質的價帶邊緣
6J	陰極電極費米能階
6K	電子復合電流可為降低(損耗機制)
6L	電洞復合電流(損耗機制)
7A	陽極電極
7B	p 型矽質層
7C	電洞阻擋層
7D	陰極電極
7E	陽極電極費米能階
7F	電洞阻擋層的 LUMO 或是傳導帶邊緣的底部
7G	電洞阻擋層的 HOMO 或是價帶邊緣的頂部
7H	矽質的傳導帶邊緣
7I	矽質的價帶邊緣
7J	陰極電極費米能階
7K	電子復合電流(損耗機制)

- 7L 電洞復合電流可為降低(損耗機制)
- 8A n 型矽質
- 8B 金屬網格(陽極)
- 8C 陰極電極
- 8D 透明導體(該陽極的一部份)
- 8E P3HT 層(電子阻擋有機物)
- 8F 垂直軸為按 mA/cm^2 所測得的電流密度
- 8G 水平軸為按伏特所測得的供應電壓
- 8H 圖 8.1 之結構在照明下的電流-電壓特徵
- 8I 圖 8.2 之結構在照明下的電流-電壓特徵
- 9A 陽極電極
- 9B 電子阻擋層
- 9C n 型矽質層
- 9D 電洞阻擋層
- 9E 陰極電極
- 9F 陽極電極費米能階
- 9G 電子阻擋層的 LUMO 或是傳導帶邊緣的底部
- 9H 電子阻擋層的 HOMO 或是價帶邊緣的頂部
- 9I 矽質的傳導帶邊緣
- 9J 矽質的價帶邊緣
- 9K 電洞阻擋層的 LUMO 或是傳導帶邊緣的底部
- 9L 電洞阻擋層的 HOMO 或是價帶邊緣的頂部
- 9M 陰極電極費米能階
- 9N 電子復合電流可為降低(損耗機制)

- 9O 電洞復合電流可為降低(損耗機制)
- 10A 陽極電極
- 10B 選擇性的中介層-1
- 10C 電子阻擋有機物層
- 10D 選擇性的鈍化層
- 10E 矽質層
- 10F 選擇性的鈍化層
- 10G 電洞阻擋有機物層
- 10H 選擇性的中介層-2
- 10I 陰極電極
- 11A 未經粗糙化之矽質表面的光線反射
- 11B 經粗糙化之矽質表面的光線反射
- 11C 在未經粗糙化矽質裡多數光線以法向進入
- 11D 在經粗糙化的矽質表面裡光線是按一角度進入
- 11E 在未經粗糙化矽質裡自背側反射器所反射之光線的損耗
- 11F 在經粗糙化矽質裡自背側反射器所反射之光線的散射返回
- 11G 背側反射器
- 12A 傳統化學/機械粗糙化矽質的粗糙化光伏裝置
- 12B 有機物層
- 12C 矽質層
- 12D 有機物層
- 12E 矽質層

14A 傳統鈍化層

14B 矽質層

14C 有機鈍化層

七、申請專利範圍：

1. 一種光伏裝置，其中包含：

一矽質層以及第一和第二有機物層，該第一有機物層相關於該矽質層係具有不同於該第二有機物層相關於該矽質層的價帶偏置，該矽質層具有一第一面部和一第二面部；

第一及第二電極，其等係經電性耦接於該等第一及第二有機物層，以定義一電流路徑；

一第一異質接面，此者係經設置於該電流路徑中並係經構成於該矽質層之第一面部與該第一有機物層之間，該第一有機物層係經組態設定當作一電子阻擋層，其係防止在該矽質層和該第一有機物層之間的電子傳通；以及

一第二異質接面，此者係經設置於該電流路徑中並係經構成於該矽質層之第二面部與該第二有機物層之間，該第二有機物層係經組態設定當作一電洞阻擋層，其係防止在該矽質層和該第二有機物層之間的電洞傳通。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之光伏裝置，其中至少一有機物層含有菲醌(phenanthrenequinone, PQ)。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述之光伏裝置，其中該等有機物層的至少一者鈍化該矽質層的表面。

4. 如申請專利範圍第 1 項所述之光伏裝置，其中該等電極的至少一者係透明的。

5. 一種構成一光伏裝置之方法，該方法包含：

在一矽質層上沉積第一和第二有機物層，該第一有機物層相關於該矽質層係具有不同於該第二有機物層相關於

該矽質層的價帶偏置，該矽質層具有一第一面部和一第二面部；以及

將第一和第二電極電性耦接該等第一及第二有機物層，以定義一電流路徑，其中一第一異質接面係構成於該電流路徑中並構成於該矽質層之第一面部與該第一有機物層之間，一第二異質接面係構成於該電流路徑中並構成於該矽質層之第二面部與該第二有機物層之間，該第一有機物層係經組態設定當作一電子阻擋層，其係防止在該矽質層和該第一有機物層之間的電子傳通，該第二有機物層係經組態設定當作一電洞阻擋層，其係防止在該矽質層和該第二有機物層之間的電洞傳通。

6.如申請專利範圍第 5 項所述之方法，其中該光伏裝置是在低於 500°C 溫度處所製造。

7.一種光伏裝置，其包含：

一矽質層以及第一和第二有機物層，該第一有機物層相關於該矽質層係具有不同於該第二有機物層相關於該矽質層的價帶偏置，該矽質層具有一第一面部和一第二面部；

第一及第二電極，其等係經電性耦接於該等第一及第二有機物層，以定義一電流路徑；

一第一異質接面，此者係經設置於該電流路徑中並係經構成於該矽質層之第一面部與該第一有機物層之間，該第一異質接面包含一第一鈍化層於該矽質層之第一面部與該第一有機物層之間，該第一有機物層係經組態設定當作一電子阻擋層，其係防止在該矽質層和該第一有機物層之

間的電子傳通；以及

一 第二異質接面，此者係經設置於該電流路徑中並係經構成於該矽質層之第二面部與該第二有機物層之間，該第二有機物層係經組態設定當作一電洞阻擋層，其係防止在該矽質層和該第二有機物層之間的電洞傳通。

8.如申請專利範圍第 7 項所述之光伏裝置，其中至少一有機物層含有菲醌(PQ)。

9.如申請專利範圍第 7 項所述之光伏裝置，其中該鈍化層為有機性。

10.如申請專利範圍第 7 項所述之光伏裝置，其中該等有機物層的至少一者鈍化該矽質層的表面。

11.如申請專利範圍第 7 項所述之光伏裝置，其中該等電極的至少一者係透明的。

12.一種光伏裝置，其包含：

一矽質層以及第一和第二有機物層，該第一有機物層相關於該矽質層係具有不同於該第二有機物層相關於該矽質層的價帶偏置，該矽質層具有一第一面部和一第二面部；

第一及第二電極，其等係經電性耦接於該等第一及第二有機物層，以定義一電流路徑；

一第一異質接面，此者係經設置於該電流路徑中並係經構成於該矽質層之第一面部與該第一有機物層之間，該第一有機物層係經組態設定當作一電子阻擋層，其係防止在該矽質層和該第一有機物層之間的電子傳通；以及

一第二異質接面，此者係經設置於該電流路徑中並係

經構成於該矽質層之第二面部與該第二有機物層之間，該第二異質接面包含一第二鈍化層於該矽質層之第二面部與該第二有機物層之間，該第二有機物層係經組態設定當作一電洞阻擋層，其係防止在該矽質層和該第二有機物層之間的電洞傳通。

13.如申請專利範圍第 12 項所述之光伏裝置，其中至少一有機物層含有菲醌(PQ)。

14.如申請專利範圍第 12 項所述之光伏裝置，其中該鈍化層為有機性。

15.如申請專利範圍第 12 項所述之光伏裝置，其中該等有機物層的至少一者鈍化該矽質層的表面。

16.如申請專利範圍第 12 項所述之光伏裝置，其中該等電極的至少一者係透明的。

17.一種光伏裝置，其包含：

一矽質層以及第一和第二有機物層，該第一有機物層相關於該矽質層係具有不同於該第二有機物層相關於該矽質層的價帶偏置，該矽質層具有一第一面部和一第二面部；

第一及第二電極，其等係經電性耦接於該等第一及第二有機物層，以定義一電流路徑；

一第一異質接面，此者係經設置於該電流路徑中並係經構成於該矽質層之第一面部與該第一有機物層之間，該第一異質接面包含一第一鈍化層於該矽質層之第一面部與該第一有機物層之間，該第一有機物層係經組態設定當作一電子阻擋層，該第一有機物層係經組態設定當作一電子

阻擋層，其係防止在該矽質層和該第一有機物層之間的電子傳通；以及

一第二異質接面，此者係經設置於該電流路徑中並係經構成於該矽質層之第二面部與該第二有機物層之間，該第二異質接面包含一第二鈍化層於該矽質層之第二面部與該第二有機物層之間，該第二有機物層係經組態設定當作一電洞阻擋層。

18.如申請專利範圍第 17 項所述之光伏裝置，其中至少一有機物層含有菲醌(PQ)。

19.如申請專利範圍第 17 項所述之光伏裝置，其中該鈍化層為有機性。

20.如申請專利範圍第 17 項所述之光伏裝置，其中該等電極的至少一者係透明的。

八、圖式：

(如次頁)

圖 1. 1

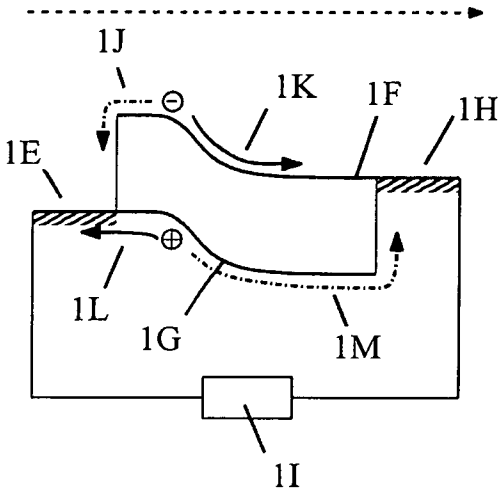
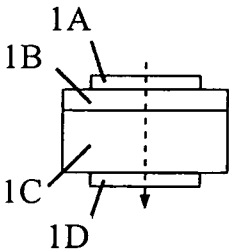


圖 1. 2

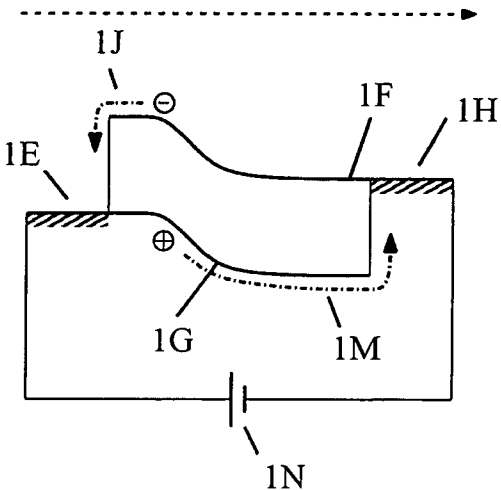


圖 1. 3

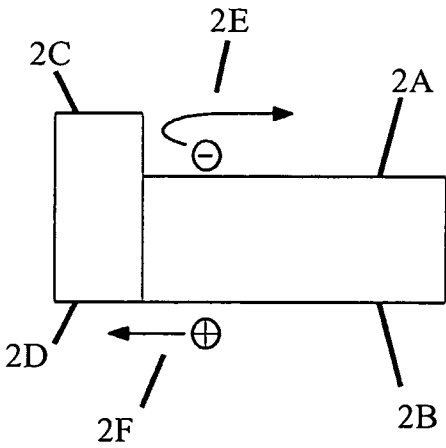


圖 2. 1

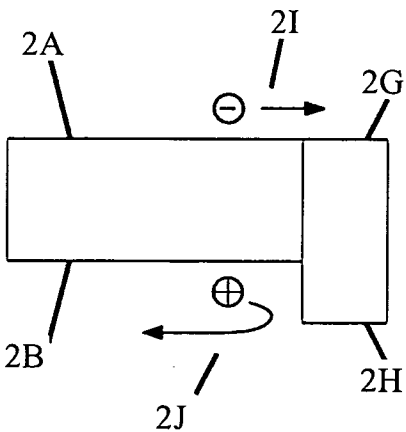


圖 2. 2

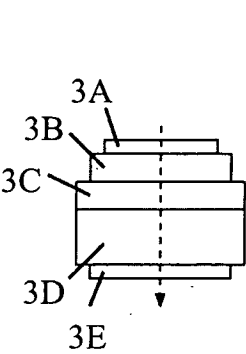


圖 3. 1

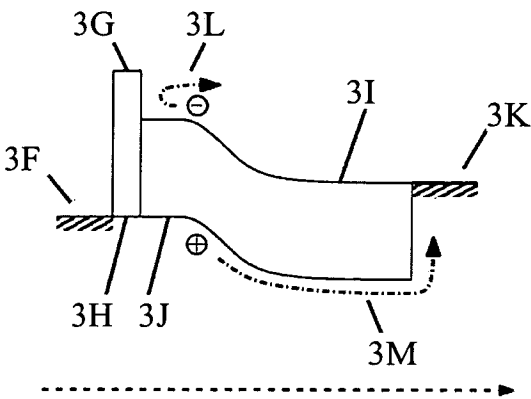


圖 3. 2

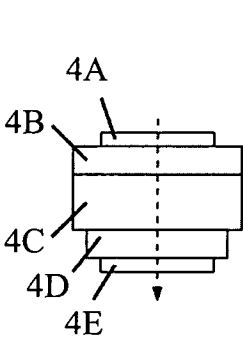


圖 4. 1

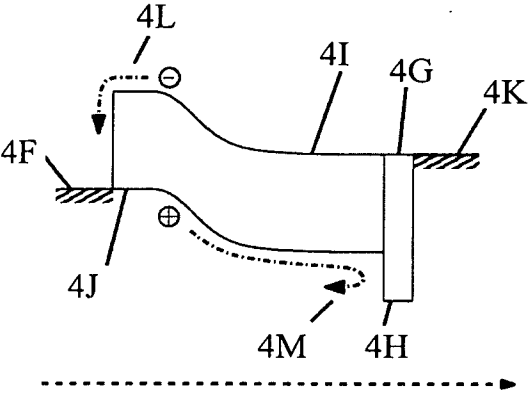


圖 4. 2

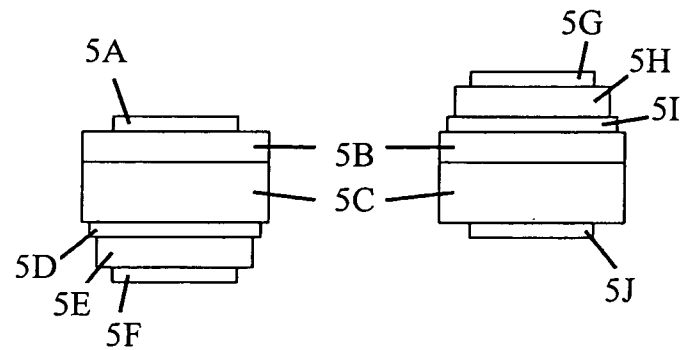


圖5.1

圖5.2

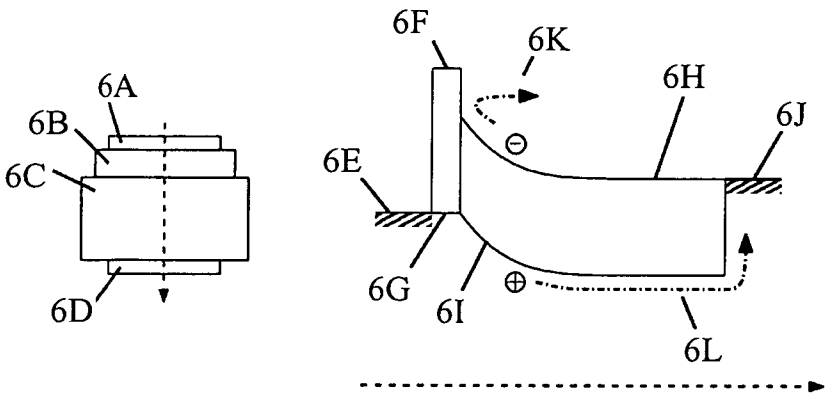


圖6.1

圖6.2

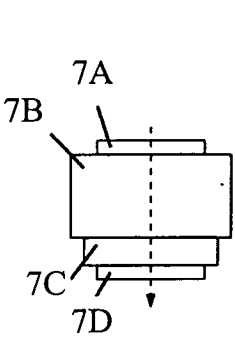


圖 7.1

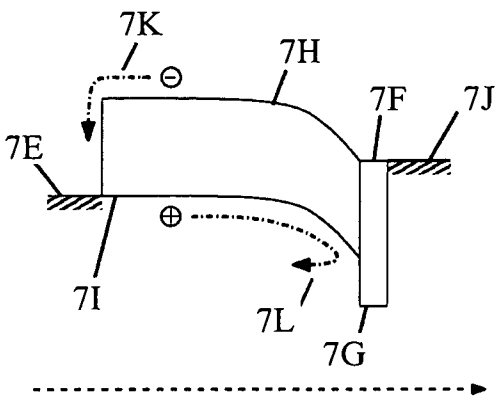


圖 7.2

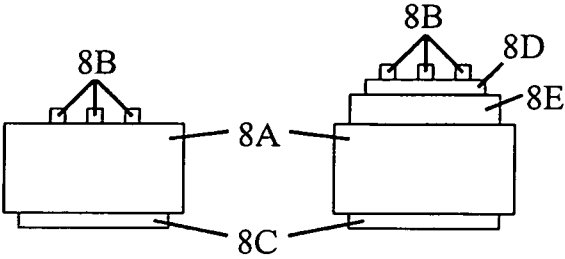


圖 8.1

圖 8.2

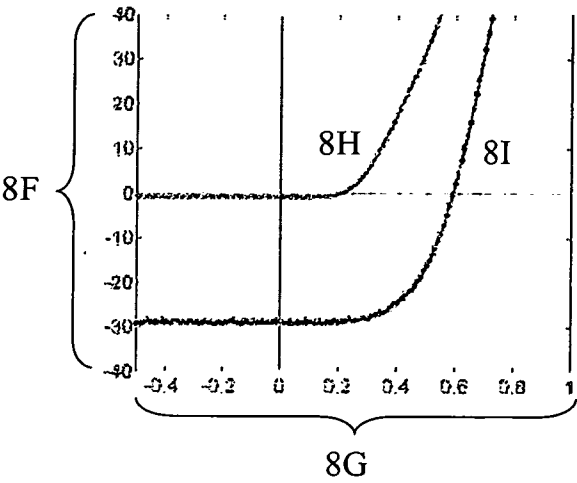


圖 8.3

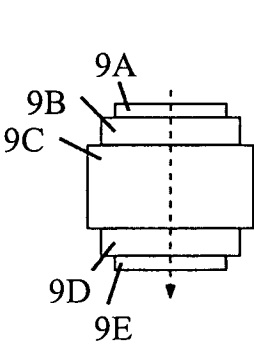


圖 9.1

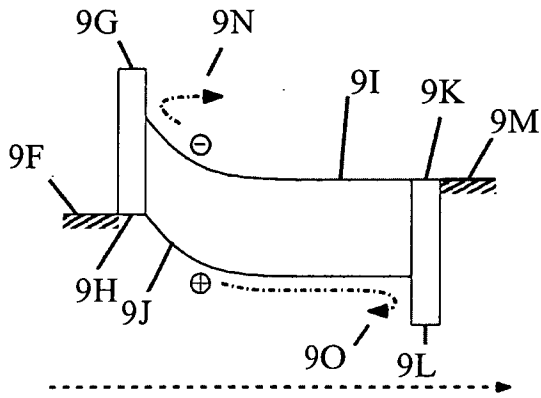


圖 9.2

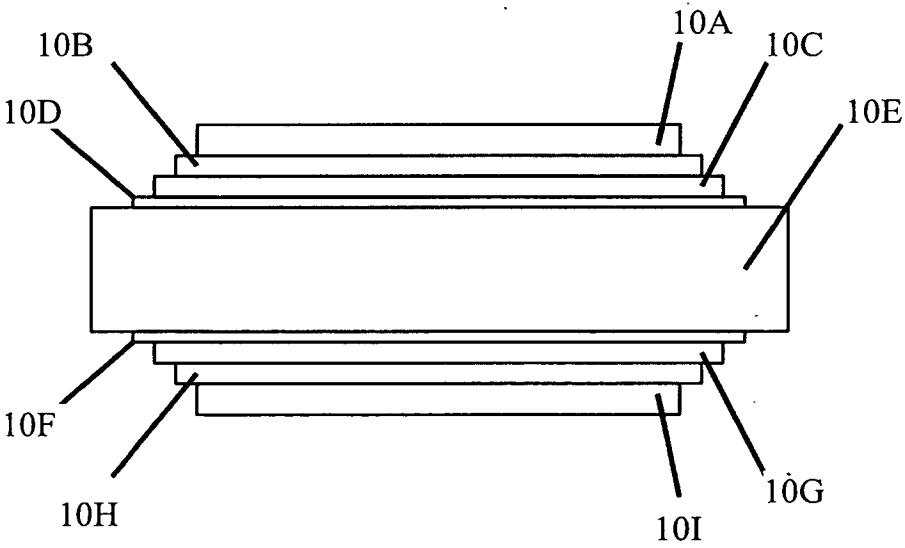


圖 10



圖 11.1



圖 11.2

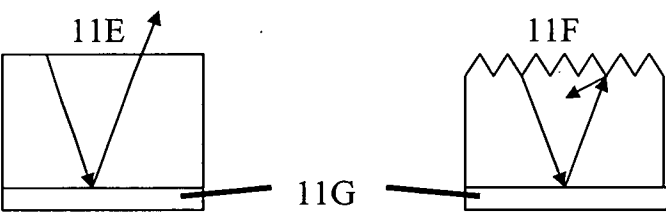


圖 11.3

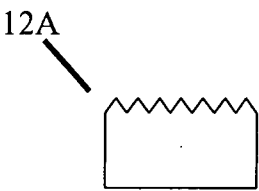


圖12.1

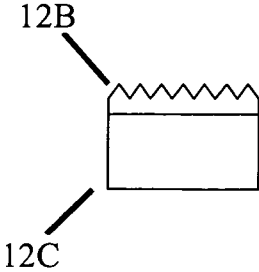


圖12.2

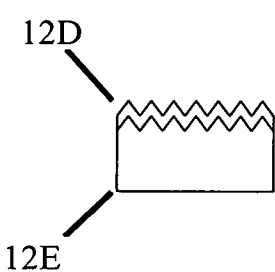


圖12.3

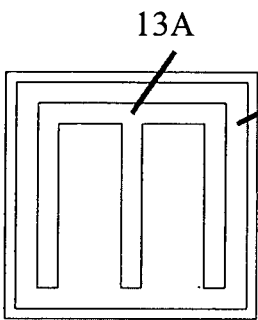


圖13.1

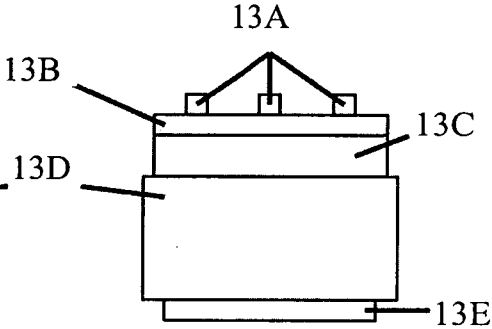


圖13.2

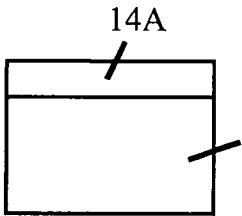


圖14.1

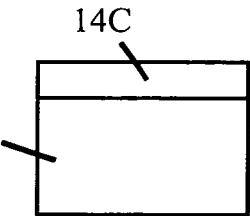


圖14.2