



(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 I493739 B

(45) 公告日：中華民國 104 (2015) 年 07 月 21 日

(21) 申請案號：102119892

(22) 申請日：中華民國 102 (2013) 年 06 月 05 日

(51) Int. Cl. : **H01L31/06 (2012.01)**

(71) 申請人：國立臺灣大學 (中華民國) NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY (TW)

臺北市大安區羅斯福路 4 段 1 號

(72) 發明人：林清富 LIN, CHING FUH (TW)；陳新鎰 CHEN, HSIN YI (TW)；趙俊傑 CHAO, JIUN JIE (TW)；許紘彰 SYU, HONG JHANG (TW)

(74) 代理人：陳昭誠

(56) 參考文獻：

US 2010/0243863A1

審查人員：劉文傑

申請專利範圍項數：24 項 圖式數：5 共 33 頁

(54) 名稱

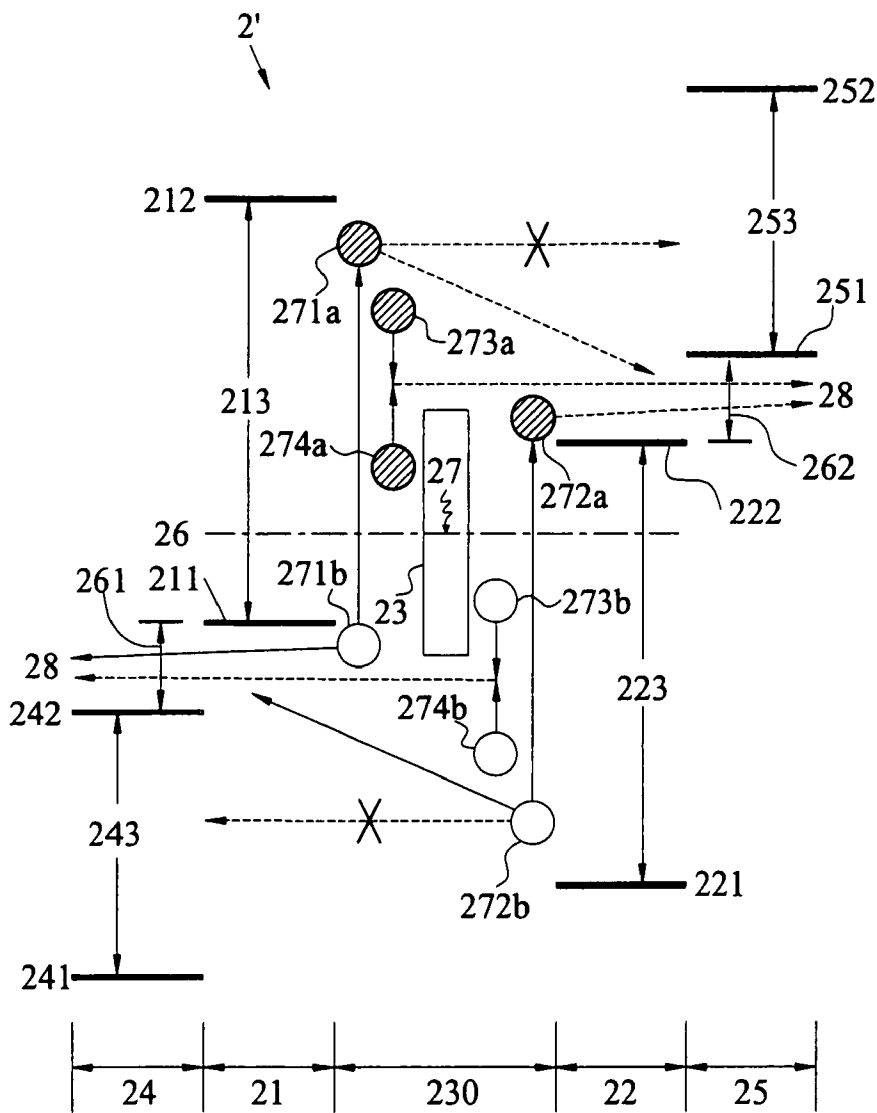
熱載子光電轉換裝置及其方法

HOT-CARRIER PHOTO-ELECTRIC CONVERSION APPARATUS AND METHOD THEREOF

(57) 摘要

一種熱載子光電轉換裝置及其方法，該方法係包括：提供具有 P 型半導體層、N 型半導體層、與無機可導電之吸光層之熱載子光電轉換裝置，其中，該無機可導電之吸光層係位於該 P 型半導體層與該 N 型半導體層之間，且該 P 型半導體層與該 N 型半導體層之間形成電場。接著，藉由該無機可導電之吸光層吸收光子而產生電子及電洞。最後，藉由該電場或是擴散作用將該電子及該電洞分別移向該 N 型半導體層與該 P 型半導體層，使該電子及該電洞各自導出而產生電能。藉此，本發明能增加該光子之吸收數量，並快速導出大量具有高能量之電子與電洞(熱載子)，以提高光電轉換效率，進而產生具有高開路電壓及高電流之電能。

A hot-carrier photo-electric conversion apparatus and method thereof, the method comprises: providing a hot-carrier photo-electric conversion apparatus with a P-type semiconductor layer, a N-type semiconductor layer, and an inorganic conductive light-absorbing layer, wherein the inorganic conductive light-absorbing layer located between the P-type semiconductor layer and the N-type semiconductor layer, and a built-in electric filed formed between the P-type semiconductor layer and the N-type semiconductor layer; absorbing photons to generate electrons and holes by the inorganic conductive light-absorbing layer; and toward the electrons and the holes respectively to the N-type semiconductor layer and the P-type semiconductor layer by the built-in electric filed, so that enabling the electrons and the holes to export separately to generate electricity. Thereby, the invention can increase absorption number of the photons, and export a large mount of high-energy electrons and holes (hot carriers), so as to improve photoelectric conversion efficiency, and then produce electrical energy with high open-circuit voltage and high current.



第3A圖

- 2' . . . 熱載子光電轉換裝置
- 21 . . . P型半導體層
- 211 . . . 第一價電帶
- 212 . . . 第一導電帶
- 213 . . . 第一能隙
- 22 . . . N型半導體層
- 221 . . . 第二價電帶
- 222 . . . 第二導電帶
- 223 . . . 第二能隙
- 23 . . . 無機可導電之吸光層
- 230 . . . 空乏區
- 24 . . . 第一半導體層
- 241 . . . 第三價電帶
- 242 . . . 第三導電帶
- 243 . . . 第三能隙
- 25 . . . 第二半導體層
- 251 . . . 第四價電帶
- 252 . . . 第四導電帶
- 253 . . . 第四能隙
- 26 . . . 費米能階
- 261 . . . 第一能階通道
- 262 . . . 第二能階通道
- 27 . . . 光子
- 271a . . . 第一電子
- 271b . . . 第一電洞
- 272a . . . 第二電子
- 272b . . . 第二電洞
- 273a . . . 第三電子
- 273b . . . 第三電洞
- 274a . . . 第四電子

I493739

TW I493739 B

274b . . . 第四電洞

28 . . . 外部電路

發明摘要

公告本

申請案號：102119892

申請日：102. 6. 05

※IPC 分類：H01L 31/04 (2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

熱載子光電轉換裝置及其方法

HOT-CARRIER PHOTO-ELECTRIC CONVERSION

APPARATUS AND METHOD THEREOF

【中文】

一種熱載子光電轉換裝置及其方法，該方法係包括：提供具有 P 型半導體層、N 型半導體層、與無機可導電之吸光層之熱載子光電轉換裝置，其中，該無機可導電之吸光層係位於該 P 型半導體層與該 N 型半導體層之間，且該 P 型半導體層與該 N 型半導體層之間形成電場。接著，藉由該無機可導電之吸光層吸收光子而產生電子及電洞。最後，藉由該電場或是擴散作用將該電子及該電洞分別移向該 N 型半導體層與該 P 型半導體層，使該電子及該電洞各自導出而產生電能。藉此，本發明能增加該光子之吸收數量，並快速導出大量具有高能量之電子與電洞(熱載子)，以提高光電轉換效率，進而產生具有高開路電壓及高電流之電能。

【英文】

A hot-carrier photo-electric conversion apparatus and method thereof, the method comprises: providing a hot-carrier photo-electric conversion apparatus with a P-type semiconductor layer, a N-type semiconductor layer, and an inorganic conductive light-absorbing layer, wherein the inorganic conductive light-absorbing layer located between the P-type semiconductor layer and the N-type semiconductor layer, and a built-in electric field formed between the P-type semiconductor layer and the N-type semiconductor layer; absorbing photons to generate electrons and holes by the inorganic conductive light-absorbing layer; and toward the electrons and the holes respectively to the N-type semiconductor layer and the P-type semiconductor layer by the built-in electric field, so that enabling the electrons and the holes to export separately to generate electricity. Thereby, the invention can increase absorption number of the photons, and export a large amount of high-energy electrons and holes (hot carriers), so as to improve photoelectric conversion efficiency, and then produce electrical energy with high open-circuit voltage and high current.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（ 3A ）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

2'	熱載子光電轉換裝置	21	P 型半導體層
211	第一價電帶	212	第一導電帶
213	第一能隙	22	N 型半導體層
221	第二價電帶	222	第二導電帶
223	第二能隙	23	無機可導電之吸光層
230	空乏區	24	第一半導體層
241	第三價電帶	242	第三導電帶
243	第三能隙	25	第二半導體層
251	第四價電帶	252	第四導電帶
253	第四能隙	26	費米能階
261	第一能階通道	262	第二能階通道
27	光子	271a	第一電子
271b	第一電洞	272a	第二電子
272b	第二電洞	273a	第三電子
273b	第三電洞	274a	第四電子
274b	第四電洞	28	外部電路

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

本案無化學式。

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)

熱載子光電轉換裝置及其方法

HOT-CARRIER PHOTO-ELECTRIC CONVERSION

APPARATUS AND METHOD THEREOF

【技術領域】

本發明係關於一種光電轉換裝置及其方法，特別是指一種熱載子光電轉換裝置及其方法。

【先前技術】

第 1 圖係繪示習知技術之光電轉換裝置 1 之基本結構及其光電轉換方法之示意圖。如圖所示，光電轉換裝置 1 係包括 P 型半導體層 11 以及 N 型半導體層 12。

該 P 型半導體層 11 係具有第一價電帶 (valence band) 111、第一導電帶 (conduction band) 112 與第一能隙 (bandgap) 113，該 N 型半導體層 12 係具有第二價電帶 121、第二導電帶 122 與第二能隙 123，該 P 型半導體層 11 與該 N 型半導體層 12 間之 PN 接面形成有空乏區 13，且該空乏區 13 會產生內建電場。

該第一價電帶 111 與該第二價電帶 121 之間形成有第一位能坡 131，且三者均位於費米能階 (Fermi level) 133 之下方。而該第一導電帶 112 與該第二導電帶 122 之間形成

有第二位能坡 132，且三者均位於該費米能階 133 之上方。

當該光電轉換裝置 1 吸收複數光子 14 而產生第一電子 141a 與第一電洞 141b、第二電子 142a 與第二電洞 142b 等電子電洞對(electron-hole pair)時，該第一電子 141a 可自該第一價電帶 111 躍遷至該第一導電帶 112，而該第二電子 142a 可自該第二價電帶 121 躍遷至該第二導電帶 122。

然後，藉由擴散(diffusion)作用，使該第一電子 141a 與該第二電子 142a 到達該空乏區 13 之第二位能坡 132 上方，並使該第一電洞 141b 與該第二電洞 142b 到達該空乏區 13 之第一位能坡 131 下方。接著，藉由該空乏區 13 之內建電場，使該第一電子 141a 與第二電子 142a、第一電洞 141b 與第二電洞 142b 等分開傳導至外部電路 15 而產生電能。

上述習知技術之光電轉換裝置之缺點，在於 P 型半導體層與 N 型半導體層皆具有能隙，例如以矽(Si)當作 P 型半導體層或 N 型半導體層之能隙大約為 1.1 eV(電子伏特)，故該光電轉換裝置對光子之吸光範圍受到該能隙之限制，使得有些光子無法被該光電轉換裝置所吸收，以致減少該些光子之吸收數量，而無法產生大量的電子與電洞。

再者，該電子與該電洞被導出之速度較慢、捕獲數量較少，使其能量損失較大、電壓及電流較小、光電轉換效率較差，故該光電轉換裝置僅能取得少數具有低能量之電子與電洞(冷載子)，並產生具有低電壓及低電流之電能。

因此，如何克服上述習知技術的問題，實已成目前亟

欲解決的課題。

【發明內容】

鑑於上述習知技術之種種缺失，本發明係提供一種熱載子光電轉換裝置，其包括：P型半導體層；N型半導體層；以及無機可導電之吸光層，係位於該P型半導體層與該N型半導體層之間。

該P型半導體層或該N型半導體層可為透明或部分透明之半導體，使光子經由該透明或部分透明之半導體射入至該無機可導電之吸光層而產生電子及電洞。該P型半導體層與該N型半導體層兩者均可為無機半導體或有機半導體，或兩者之一為無機半導體而另一為有機半導體。

本發明另提供一種熱載子光電轉換方法，其包括：提供具有P型半導體層、N型半導體層、與無機可導電之吸光層之熱載子光電轉換裝置，其中，該無機可導電之吸光層係位於該P型半導體層與該N型半導體層之間，且該P型半導體層與該N型半導體層之間形成電場；藉由該無機可導電之吸光層吸收光子而產生電子及電洞；以及藉由該電場或擴散作用將該電子及該電洞分別移向該N型半導體層與該P型半導體層，使該電子及該電洞各自導出而產生電能。

由上可知，本發明之熱載子光電轉換裝置及其方法，主要係在P型半導體層與N型半導體層之間形成無機可導電之吸光層以吸收光子，並將電子及電洞分別導出而產生電能。因此，本發明能吸收任何波長之光子，以增加該光

子之吸收數量，並快速導出大量具有高能量之電子與電洞(熱載子)，藉以提高光電轉換效率，進而產生具有高開路電壓及高電流之電能。

【圖式簡單說明】

第 1 圖係繪示習知技術之光電轉換裝置之基本結構及其光電轉換方法之示意圖；

第 2 圖係繪示本發明之熱載子光電轉換裝置之基本結構及其光電轉換方法之第一實施例之示意圖；

第 3A 圖係繪示本發明之熱載子光電轉換裝置之基本結構及其光電轉換方法之第二實施例之示意圖；

第 3B 圖至第 3C 圖係分別繪示本發明之熱載子光電轉換裝置之基本結構及其光電轉換方法之第二實施例之不同變化態樣示意圖；

第 4A 圖係繪示本發明之 P 型半導體層與第一半導體層之變化態樣之示意圖；

第 4B 圖係繪示本發明之 N 型半導體層與第二半導體層之變化態樣之示意圖；以及

第 5 圖係繪示本發明之熱載子光電轉換裝置之基本結構及其光電轉換方法之第三實施例之示意圖。

【實施方式】

以下藉由特定的具體實施例說明本發明之實施方式，熟悉此技藝之人士可由本說明書所揭示之內容輕易地瞭解本發明之其他優點及功效。

須知，本說明書所附圖式所繪示之結構、比例、大小

等，均僅用以配合說明書所揭示之內容，以供熟悉此技藝之人士之瞭解與閱讀，並非用以限定本發明可實施之限定條件，故不具技術上之實質意義，任何結構之修飾、比例關係之改變或大小之調整，在不影響本發明所能產生之功效及所能達成之目的下，均應仍落在本發明所揭示之技術內容得能涵蓋之範圍內。

同時，本說明書中所引用之如「第一」及「第二」等用語，亦僅為便於敘述之明瞭，而非用以限定本發明可實施之範圍，其相對關係之改變或調整，在無實質變更技術內容下，當亦視為本發明可實施之範疇。

第 2 圖係繪示本發明之熱載子光電轉換裝置 2 之基本結構及其光電轉換方法之第一實施例之示意圖。如圖所示，熱載子光電轉換裝置 2 可為光電轉換元件，並包括 P 型半導體層 21、N 型半導體層 22 以及無機可導電之吸光層 23。該 P 型半導體層 21 與該 N 型半導體層 22 兩者均可為無機半導體或有機半導體，或兩者之一為無機半導體而另一為有機半導體。

該 P 型半導體層 21 係具有第一價電帶 211、第一導電帶 212、以及形成於該第一價電帶 211 與該第一導電帶 212 間之第一能隙 213，且該第一價電帶 211 與該第一導電帶 212 分別位於費米能階 26 之下方及上方。其中，可選擇具有較高能量的第一導電帶 212 之 P 型半導體層，藉此可阻擋電子擴散到 P 型半導體層造成復合減少載子收集。

該 N 型半導體層 22 係具有第二價電帶 221、第二導電

帶 222、以及形成於該第二價電帶 221 與該第二導電帶 222 間之第二能隙 223，且該第二價電帶 221 與該第二導電帶 222 分別位於該費米能階 26 之下方及上方。其中，可選擇具有較低能量的第二價電帶 221 之 N 型半導體層，藉此可阻擋電洞擴散到 N 型半導體層造成復合減少載子收集。

該無機可導電之吸光層 23 係位於該 P 型半導體層 21 與該 N 型半導體層 22 之間，用以吸收複數光子 27 而產生第一電子 271a 與第一電洞 271b、第二電子 272a 與第二電洞 272b 等電子電洞對。而藉由電場或是擴散作用，該第一電子 271a 與該第二電子 272a 等移向該 N 型半導體層 22 之第二導電帶 222 上方，該第一電洞 271b 與該第二電洞 272b 等移向該 P 型半導體層 21 之第一價電帶 211 下方，使該第一電子 271a 與第二電子 272a、第一電洞 271b 與第二電洞 272b 等分開傳送至外部電路 28，藉此取得大量具有高能量之第一電子 271a、第二電子 272a、第一電洞 271b、第二電洞 272b 等熱載子，進而產生具有高開路電壓及高電流之電能。

上述之無機可導電之吸光層 23 之材質可為金屬、石墨或石墨烯等，且其厚度可為 50 奈米(10^{-9} m)以下，或者小於或等於該第一電子 271a 或該第一電洞 271b 等在該無機可導電之吸光層 23 內之平均自由路徑(mean free path)之約五倍長度。當該無機可導電之吸光層 23 之厚度小於該平均自由路徑時，代表該第一電子 271a 或該第一電洞 271b 等在尚未彼此碰撞而消耗能量之前就已經被導出，因此所導

出之第一電子 271a 及第一電洞 271b 等具有高能量。

此外，若欲吸收較多該光子 27，亦可將該 P 型半導體層 21 或該 N 型半導體層 22 製成奈米結構，再將該無機可導電之吸光層 23 形成於該奈米結構之表面，使該無機可導電之吸光層 23 在該奈米結構上產生高低起伏，藉此增加等效吸光厚度，以提升該熱載子光電轉換裝置 2 之吸光量。同時，該無機可導電之吸光層 23 與鄰接之 P 型半導體層 21 或 N 型半導體層 22 非常接近，使該第一電子 271a 及第一電洞 271b 等之行進距離接近該平均自由路徑，即可進入該 P 型半導體層 21 或該 N 型半導體層 22。

由於該無機可導電之吸光層 23 之厚度接近該第一電子 271a 及第一電洞 271b 等之平均自由路徑，使得該第一電子 271a 及第一電洞 271b 等被分別移動至該 P 型半導體層 21 與該 N 型半導體層 22 時，並未經過多次聲子散射，故可保留較高的能量，讓該第一電子 271a 及該第一電洞 271b 等成爲所謂的熱載子。

另一方面，若該第一電子 271a 及第一電洞 271b 等之能量較低，則可透過聲子碰撞，讓較高能量之熱載子將部分能量傳給較低能量之熱載子而具有較高之能量，故該無機可導電之吸光層 23 可不具有能隙，整個太陽光或各種光線之光譜皆可吸收。

第 3A 圖係繪示本發明之熱載子光電轉換裝置 2' 之基本結構及其光電轉換方法之第二實施例之示意圖。第 3A 圖之熱載子光電轉換裝置 2' 及光電轉換方法，係與第 2 圖

之熱載子光電轉換裝置 2 及光電轉換方法大致相同，其主要差異如下：

在第 3A 圖中，熱載子光電轉換裝置 2' 亦包括可為 P 型或 N 型半導體層之第一半導體層 24 與第二半導體層 25。

該第一半導體層 24 係形成於該 P 型半導體層 21 上，並具有第三價電帶 241、第三導電帶 242、以及形成於該第三價電帶 241 與該第三導電帶 242 間之第三能隙 243。該第一半導體層 24 之第三導電帶 242 之能階係低於該 P 型半導體層 21 之第一價電帶 211 之能階，以使該第三導電帶 242 與該第一價電帶 211 之間產生第一能階通道 261，俾使第一電洞 271b 至第四電洞 274b 等通過該第一能階通道 261 而傳導至外部電路 28，藉此即可取得大量具有高能量之第一電洞 271b 至第四電洞 274b 等熱載子。其中，可選擇具有較高能量的第一導電帶 212 之 P 型半導體層，藉此可阻擋電子擴散到 P 型半導體層造成復合減少載子收集。

另外，當該第四電洞 274b 之能量大於該第一能階通道 261 之能階時，該第四電洞 274b 便無法通過該第一半導體層 24 或該第三能隙 243，此時可藉由較低能量之第三電洞 273b 來與較高能量之第四電洞 274b 進行重新分配能量，使該第四電洞 274b 能通過該第一能階通道 261 而傳導至該外部電路 28，如此可增加傳導至該外部電路 28 之電洞數目。

同理，當該第二電洞 272b 之能量大於該第一能階通道 261 之能階時，該第二電洞 272b 便無法通過該第一半導體

層 24 或該第三能隙 243，此時亦可藉由較低能量之電洞來與較高能量之第二電洞 272b 進行重新分配能量，使該第二電洞 272b 能通過該第一能階通道 261 而傳導至該外部電路 28，藉此增加傳導至該外部電路 28 之電洞數目。

再者，該第二半導體層 25 係形成於該 N 型半導體層 22 上，並具有第四價電帶 251、第四導電帶 252、以及形成於該第四價電帶 251 與該第四導電帶 252 間之第四能隙 253。該第二半導體層 25 之第四價電帶 251 之能階係高於該 N 型半導體層 22 之第二導電帶 222 之能階，以使該第四價電帶 251 與該第二導電帶 222 之間產生第二能階通道 262，俾使該第一電子 271a 至第四電子 274a 等通過該第二能階通道 262 而傳導至該外部電路 28，藉此即可取得大量具有高能量之第一電子 271a 至第四電子 274a 等熱載子。其中，可選擇具有較低能量的第二價電帶 221 之 N 型半導體層，藉此可阻擋電洞擴散到 N 型半導體層造成復合減少載子收集。

同樣地，當該第三電子 273a 之能量大於該第二能階通道 262 之能階時，該第三電子 273a 便無法通過該第二半導體層 25 或該第四能隙 253，此時亦可藉由較低能量之第四電子 274a 來與較高能量之第三電子 273a 進行重新分配能量，使該第三電子 273a 能通過該第二能階通道 262 而傳導至該外部電路 28，如此可增加傳導至該外部電路 28 之電子數目。

同理，當該第一電子 271a 之能量大於該第二能階通道

262 之能階時，該第一電子 271a 便無法通過該第二半導體層 25 或該第四能隙 253，此時可藉由較低能量之電子來與較高能量之第一電子 271a 進行重新分配能量，使該第一電子 271a 能通過該第二能階通道 262 而傳導至該外部電路 28，藉此增加傳導至該外部電路 28 之電子數目。

在第二實施例中，該重新分配能量之方式可同時用於電子及電洞上，或者僅用於電子及電洞其中一者上。因電子通常會分佈在較大的能量範圍，故實務上較常將該重新分配能量之方式用於電子上，可使該熱載子光電轉換裝置 2' 產生較多的熱載子(電子)。

第 3B 圖至第 3C 圖係分別繪示本發明之熱載子光電轉換裝置 2' 之基本結構及其光電轉換方法之第二實施例之不同變化態樣示意圖。第 3B 圖至第 3C 圖分別與第 3A 圖之熱載子光電轉換裝置 2' 大致相同，其主要差異如下：

在第 3A 圖中，第一半導體層 24 係形成於 P 型半導體層 21 上。但是，在第 3B 圖中，該第一半導體層 24 則改形成於該 P 型半導體層 21 與該無機可導電之吸光層 23 之間。

同樣地，在第 3A 圖中，第二半導體層 25 係形成於 N 型半導體層 22 上。但是，在第 3C 圖中，該第二半導體層 25 則改形成於該 N 型半導體層 22 與該無機可導電之吸光層 23 之間。

第 4A 圖係繪示本發明之 P 型半導體層 21 與第一半導體層 24 之變化態樣之示意圖，其可用於取代第 3 圖之 P 型半導體層 21 及第一半導體層 24。第 4A 圖與第 3 圖之 P

型半導體層 21 及第一半導體層 24 大致相同，其主要差異如下：

在第 4A 圖中，對於該 P 型半導體層 21 與該第一半導體層 24 而言，當該第一半導體層 24 之第三導電帶 242 高於該 P 型半導體層 21 之第一價電帶 211 時，理論上此時位於該 P 型半導體層 21 之第一價電帶 211 上之第一電洞 271b 並無法直接通過該第一半導體層 24。但是，當該第一半導體層 24 之第三導電帶 242 與該 P 型半導體層 21 之第一價電帶 211 之能量差小於 0.1-0.2 eV 時，該第一電洞 271b 可藉由聲子碰撞躍遷至該第一半導體層 24 之第三導電帶 242 上，再透過該第三導電帶 242 或能階通道傳導至外部電路 28。

此外，對於不在該 P 型半導體層 21 之第一價電帶 211 上之較低能量之第三電洞 273b 與較高能量之第四電洞 274b，亦可透過能量重新分配而移動至該 P 型半導體層 21 之第一價電帶 211 上，並藉由聲子碰撞躍遷至該第一半導體層 24 之第三導電帶 242 上，使該第三電洞 273b 及該第四電洞 274b 均能經由該第三導電帶 242 或第一能階通道 261 傳導至外部電路 28。

由上述第 3A 圖與第 4A 圖可知，本發明之熱載子光電轉換裝置 2' 可選擇適合的 P 型半導體層 21 與第一半導體層 24 來收集電洞(熱載子)。

第 4B 圖係繪示本發明之 N 型半導體層 22 與第二半導體層 25 之變化態樣之示意圖，其可用於取代第 3 圖之 N

型半導體層 22 與第二半導體層 25。第 4B 圖與第 3 圖之 N 型半導體層 22 與第二半導體層 25 大致相同，其主要差異如下：

在第 4B 圖中，對於該 N 型半導體層 22 與該第二半導體層 25 而言，當該第二半導體層 25 之第四價電帶 251 低於該 N 型半導體層 22 之第二導電帶 222 時，理論上此時位於該 N 型半導體層 22 之第二導電帶 222 上之第一電子 271a 並無法直接通過該第二半導體層 25。但是，當該第二半導體層 25 之第四價電帶 251 與該 N 型半導體層 22 之第二導電帶 222 之能量差小於 0.1-0.2 eV 時，該第一電子 271a 亦可藉由聲子碰撞躍遷至該第二半導體層 25 之第四價電帶 251 上，再透過該第四價電帶 251 或能階通道將該第一電子 271a 傳導至外部電路 28。

此外，對於不在該 N 型半導體層 22 之第二導電帶 222 上之較高能量之第三電子 273a 與較低能量之第四電子 274a，亦可透過能量重新分配而移動至該 N 型半導體層 22 之第四價電帶 251 上，並藉由聲子碰撞躍遷至該第二半導體層 25 之第四價電帶 251 上，使該第三電子 273a 及該第四電子 274a 均能再經由該第四價電帶 251 或能階通道傳導至外部電路 28。

由上述第 3A 圖與第 4B 圖可知，本發明之熱載子光電轉換裝置 2' 亦可選擇適合的 N 型半導體層 22 與第二半導體層 25 來收集電子(熱載子)。

在圖 4A 及圖 4B 中，該重新分配能量之方式可同時用

於電子及電洞上，或者僅用於電子及電洞其中一者上。因電子通常會分佈在較大的能量範圍，故實務上較常將該重新分配能量之方式用於電子上，可使該熱載子光電轉換裝置 2' 產生較多的熱載子(電子)。

第 5 圖係繪示本發明之熱載子光電轉換裝置 2'' 之基本結構及其光電轉換方法之第三實施例之示意圖。如圖所示，熱載子光電轉換裝置 2'' 可包括 P 型電場加強層 23a 與 N 型電場加強層 23b 其中至少一者。

該 P 型電場加強層 23a 之材質可為 MoO_3 (三氧化鉬) 或 MoO_x (氧化鉬化合物)，係形成於該 P 型半導體層 21 與該無機可導電之吸光層 23 之間，用以增強該 P 型半導體層 21 與該無機可導電之吸光層 23 間之內建電場強度，使第一電洞 271b 等熱載子快速分離至該 P 型半導體層 21。

該 N 型電場加強層 23b 之材質可為 PFN (poly [(9,9-bis(3'-(N,N-dimethylamino)propyl)-2,7-fluorene)-alt-2,7-(9,9-dioctylfluorene)])，係形成於該 N 型半導體層 22 與該無機可導電之吸光層 23 之間，用以增強該 N 型半導體層 22 與該無機可導電之吸光層 23 間之內建電場強度，使第一電子 271a 等熱載子快速分離至該 N 型半導體層 22。

如此，本發明之熱載子光電轉換裝置 2'' 即可產生大量具有高開路電壓及高電流之第一電子 271a 及第一電洞 271b 等熱載子，再經由上述第 2 圖至第 4B 圖所述之內

建電場、能階通道、聲子碰撞或能量重新分配等方式，將該第一電子 271a 及該第一電洞 271b 等熱載子傳導至外部電路 28。

由上可知，本發明之熱載子光電轉換裝置及其方法至少具有下列優點：

(1)由於無機可導電之吸光層不具有習知技術之 P 型或 N 型半導體層之能隙，故本發明在 P 型半導體層與 N 型半導體層之間形成無機可導電之吸光層，即可吸收任何波長之光子，藉此增加該光子之吸收數量而產生大量的電子與電洞。

(2)無機可導電之吸光層之厚度非常薄，其可為 50 奈米以下，或者小於或等於電子或電洞在該無機可導電之吸光層內之平均自由路徑之五倍長度，無論該電子與該電洞之能量大小，均能被電場或是擴散作用快速地傳導至外部電路。藉此，使得該電子與該電洞被導出之速度較快、捕獲數量較多、能量損失較少，以取得大量具有高能量之電子與電洞(熱載子)，進而產生具有高開路電壓及高電流之電能。

(3)在 P 型半導體層與第一半導體層之間形成第一能階通道，且在 N 型半導體層與第二半導體層之間形成第二能階通道，使該電子與該電洞分別通過該第一及第二能階通道而傳導至外部電路。藉此，可快速地捕獲大量具有高能量之電子與電洞，以提高光電轉換效率，並產生具有高開路電壓及高電流之電能。

(4)在無機可導電之吸光層之一側或兩側分別形成 P 型電場加強層或/及 N 型電場加強層，可增強內建電場之強度，使電洞與電子等熱載子各自快速分離至 P 型半導體層及 N 型半導體層。

上述實施例係用以例示性說明本發明之原理及其功效，而非用於限制本發明。任何熟習此項技藝之人士均可在不違背本發明之精神及範疇下，對上述實施例進行修改。因此本發明之權利保護範圍，應如後述之申請專利範圍所列。

【符號說明】

1	光電轉換裝置
11	P 型半導體層
111	第一價電帶
112	第一導電帶
113	第一能隙
12	N 型半導體層
121	第二價電帶
122	第二導電帶
123	第二能隙
13	空乏區
131	第一位能坡
132	第二位能坡
133	費米能階
14	光子

- 141a 第一電子
- 141b 第一電洞
- 142a 第二電子
- 142b 第二電洞
- 15 外部電路
- 2, 2', 2'' 熱載子光電轉換裝置
- 21 P型半導體層
- 211 第一價電帶
- 212 第一導電帶
- 213 第一能隙
- 22 N型半導體層
- 221 第二價電帶
- 222 第二導電帶
- 223 第二能隙
- 23 無機可導電之吸光層
- 23a P型電場加強層
- 23b N型電場加強層
- 230 空乏區
- 24 第一半導體層
- 241 第三價電帶
- 242 第三導電帶
- 243 第三能隙
- 25 第二半導體層
- 251 第四價電帶

252	第四導電帶
253	第四能隙
26	費米能階
261	第一能階通道
262	第二能階通道
27	光子
271a	第一電子
271b	第一電洞
272a	第二電子
272b	第二電洞
273a	第三電子
273b	第三電洞
274a	第四電子
274b	第四電洞
28	外部電路

申請專利範圍

1. 一種熱載子光電轉換裝置，其包括：
 - P 型半導體層；
 - N 型半導體層；以及
 - 無機可導電之吸光層，係位於該 P 型半導體層與該 N 型半導體層之間，且該無機可導電之吸光層之厚度係小於或等於電子或電洞在該無機可導電之吸光層內之平均自由路徑之五倍長度。
2. 如申請專利範圍第 1 項所述之熱載子光電轉換裝置，其中，該 P 型半導體層或該 N 型半導體層至少有一者係為透明或部分透明之半導體，光子經由該透明或部分透明之半導體射入至該無機可導電之吸光層而產生該電子及該電洞。
3. 如申請專利範圍第 1 項所述之熱載子光電轉換裝置，其中，該 P 型半導體層與該 N 型半導體層兩者均為無機半導體或有機半導體，或一者為無機半導體而另一者為有機半導體。
4. 如申請專利範圍第 1 項所述之熱載子光電轉換裝置，其中，該無機可導電之吸光層之材質係為金屬、石墨或石墨烯。
5. 如申請專利範圍第 1 項所述之熱載子光電轉換裝置，其中，該無機可導電之吸光層之厚度係為 50 奈米以下。
6. 如申請專利範圍第 1 項所述之熱載子光電轉換裝置，復包括第一半導體層，係形成於該 P 型半導體層上、

或形成於該 P 型半導體層與該無機可導電之吸光層之間，且該第一半導體層之導電帶之能階低於該 P 型半導體層之價電帶之能階。

7. 如申請專利範圍第 1 項所述之熱載子光電轉換裝置，復包括第二半導體層，係形成於該 N 型半導體層上、或形成於該 N 型半導體層與該無機可導電之吸光層之間，且該第二半導體層之價電帶之能階高於該 N 型半導體層之導電帶之能階。
8. 如申請專利範圍第 1 項所述之熱載子光電轉換裝置，復包括第一半導體層，係形成於該 P 型半導體層上、或形成於該 P 型半導體層與該無機可導電之吸光層之間，該第一半導體層之導電帶之能階高於該 P 型半導體層之價電帶之能階，且該第一半導體層之導電帶與該 P 型半導體層之價電帶之能量差小於 0.2 電子伏特。
9. 如申請專利範圍第 1 項所述之熱載子光電轉換裝置，復包括第二半導體層，係形成於該 N 型半導體層上、或形成於該 N 型半導體層與該無機可導電之吸光層之間，該第二半導體層之價電帶之能階低於該 N 型半導體層之導電帶之能階，且該第二半導體層之價電帶與該 N 型半導體層之導電帶之能量差小於 0.2 電子伏特。
10. 如申請專利範圍第 1 項所述之熱載子光電轉換裝置，復包括 P 型電場加強層與 N 型電場加強層，該 P 型電場加強層係形成於該 P 型半導體層與該無機可導電之吸光層之間，該 N 型電場加強層係形成於該 N 型半導

體層與該無機可導電之吸光層之間。

11. 如申請專利範圍第 1 項所述之熱載子光電轉換裝置，復包括 N 型電場加強層，係形成於該 N 型半導體層與該無機可導電之吸光層之間。

12. 一種熱載子光電轉換方法，其包括：

提供具有 P 型半導體層、N 型半導體層、與無機可導電之吸光層之熱載子光電轉換裝置，其中，該無機可導電之吸光層係位於該 P 型半導體層與該 N 型半導體層之間；

藉由該無機可導電之吸光層吸收光子而產生電子及電洞，其中，該無機可導電之吸光層之厚度係小於或等於該電子或該電洞在該無機可導電之吸光層內之平均自由路徑之五倍長度；以及

藉由電場或擴散將該電子及該電洞分別移向該 N 型半導體層與該 P 型半導體層，使該電子及該電洞各自導出而產生電能。

13. 如申請專利範圍第 12 項所述之熱載子光電轉換方法，其中，該 P 型半導體層或該 N 型半導體層至少有一者係為透明或部分透明之半導體，該光子係經由該透明或部分透明之半導體射入至該無機可導電之吸光層而產生該電子及該電洞。

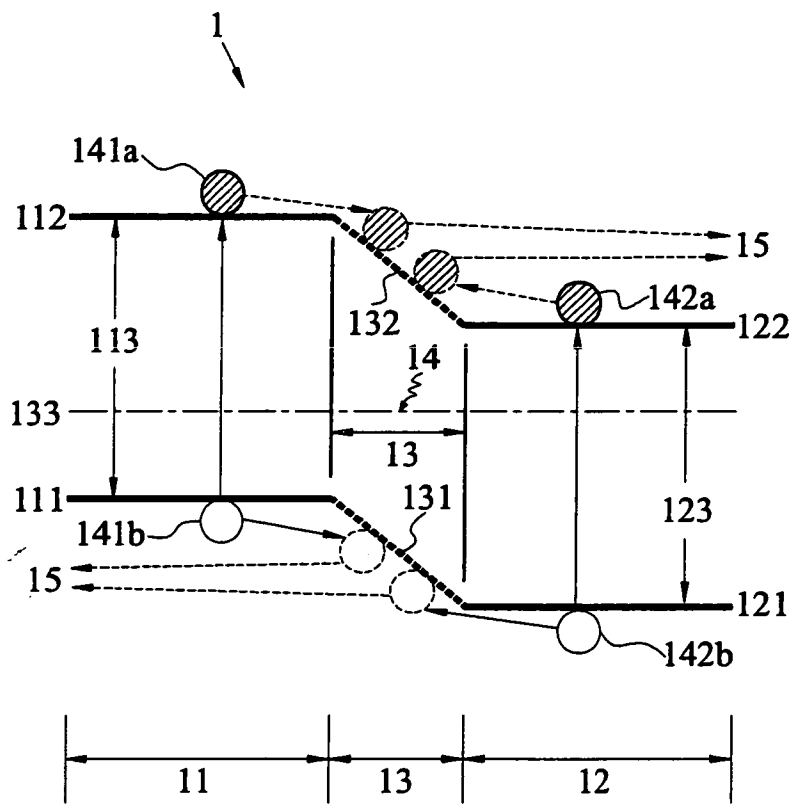
14. 如申請專利範圍第 12 項所述之熱載子光電轉換方法，其中，該 P 型半導體層與該 N 型半導體層兩者均為無機半導體或有機半導體，或一者為無機半導體而另一

者為有機半導體。

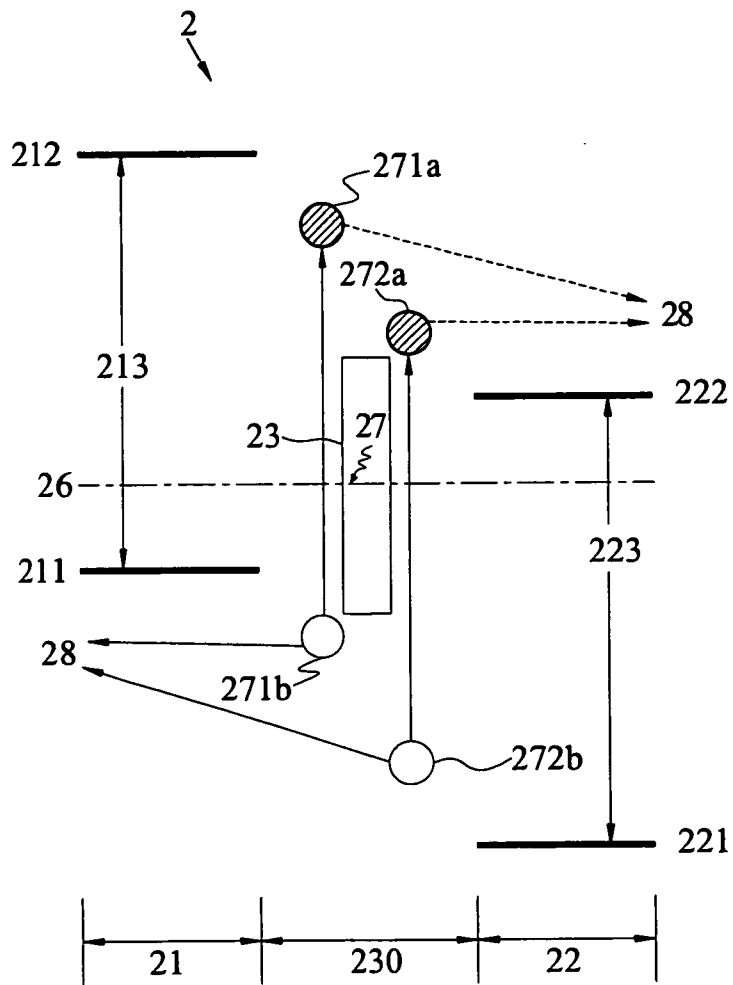
15. 如申請專利範圍第 12 項所述之熱載子光電轉換方法，其中，該無機可導電之吸光層之材質係為金屬、石墨或石墨烯。
16. 如申請專利範圍第 12 項所述之熱載子光電轉換方法，其中，該無機可導電之吸光層之厚度係為 50 奈米以下。
17. 如申請專利範圍第 12 項所述之熱載子光電轉換方法，復包括形成第一半導體層於該 P 型半導體層上、或該 P 型半導體層與該無機可導電之吸光層之間，以使該第一半導體層之導電帶與該 P 型半導體層之價電帶之間產生第一能階通道，俾使該電洞通過該第一能階通道而傳導至外部電路，其中，該第一半導體層之導電帶之能階係低於該 P 型半導體層之價電帶之能階。
18. 如申請專利範圍第 17 項所述之熱載子光電轉換方法，其中，當該電洞之能量大於該第一能階通道之能階時，藉由重新分配該電洞之能量以符合該第一能階通道之能階，使該電洞通過該第一能階通道。
19. 如申請專利範圍第 12 項所述之熱載子光電轉換方法，復包括形成第二半導體層於該 N 型半導體層上、或該 N 型半導體層與該無機可導電之吸光層之間，以使該第二半導體層之價電帶與該 N 型半導體層之導電帶之間產生第二能階通道，俾使該電子通過該第二能階通道而傳導至外部電路，其中，該第二半導體層之價電帶之能階係高於該 N 型半導體層之導電帶之能階。

20. 如申請專利範圍第 19 項所述之熱載子光電轉換方法，其中，當該電子之能量大於該第二能階通道之能階時，藉由重新分配該電子之能量以符合該第二能階通道之能階，使該電子通過該第二能階通道。
21. 如申請專利範圍第 12 項所述之熱載子光電轉換方法，復包括形成第一半導體層於該 P 型半導體層上、或該 P 型半導體層與該無機可導電之吸光層之間，其中，該第一半導體層之導電帶之能階係高於該 P 型半導體層之價電帶之能階，且該第一半導體層之導電帶與該 P 型半導體層之價電帶之能量差小於 0.2 電子伏特。
22. 如申請專利範圍第 12 項所述之熱載子光電轉換方法，復包括形成第二半導體層於該 N 型半導體層上、或該 N 型半導體層與該無機可導電之吸光層之間，其中，該第二半導體層之價電帶之能階係低於該 N 型半導體層之導電帶之能階，且該第二半導體層之價電帶與該 N 型半導體層之導電帶之能量差小於 0.2 電子伏特。
23. 如申請專利範圍第 12 項所述之熱載子光電轉換方法，復包括形成 P 型電場加強層於該 P 型半導體層與該無機可導電之吸光層之間。
24. 如申請專利範圍第 12 項所述之熱載子光電轉換方法，復包括形成 N 型電場加強層於該 N 型半導體層與該無機可導電之吸光層之間。

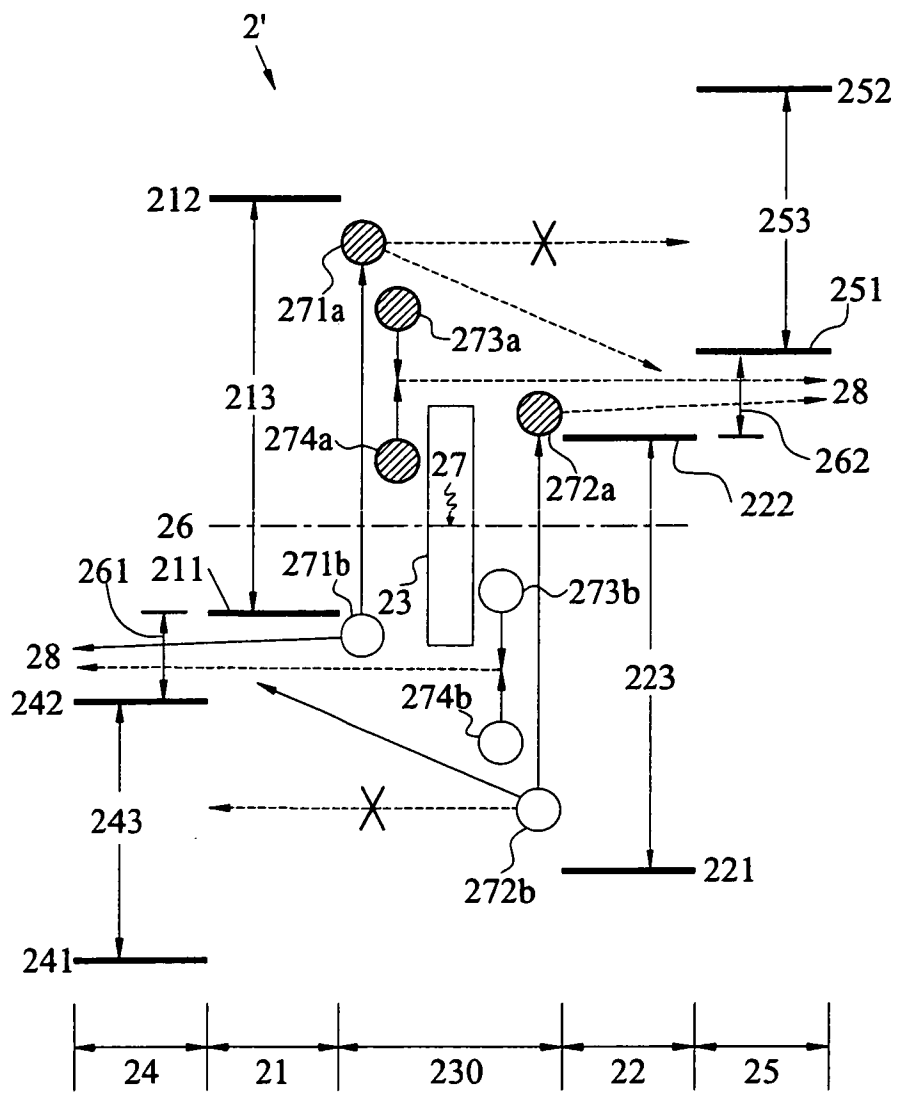
圖式



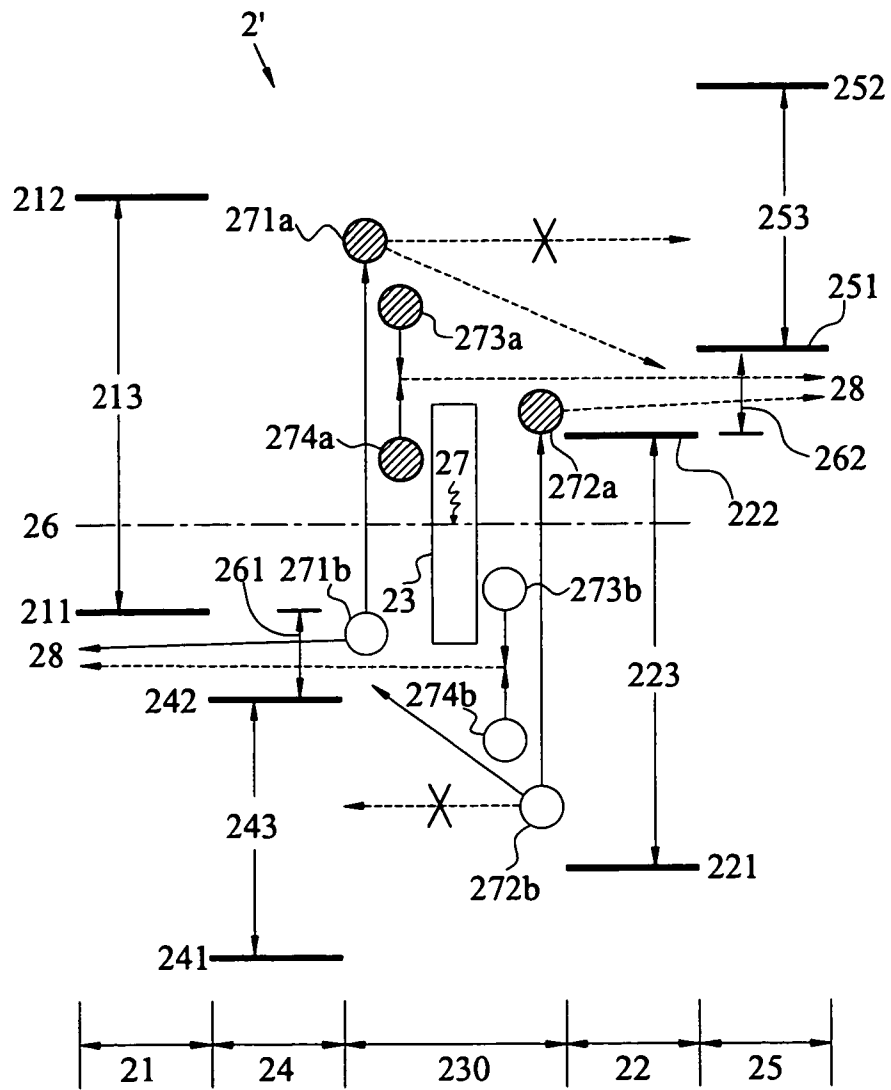
第1圖



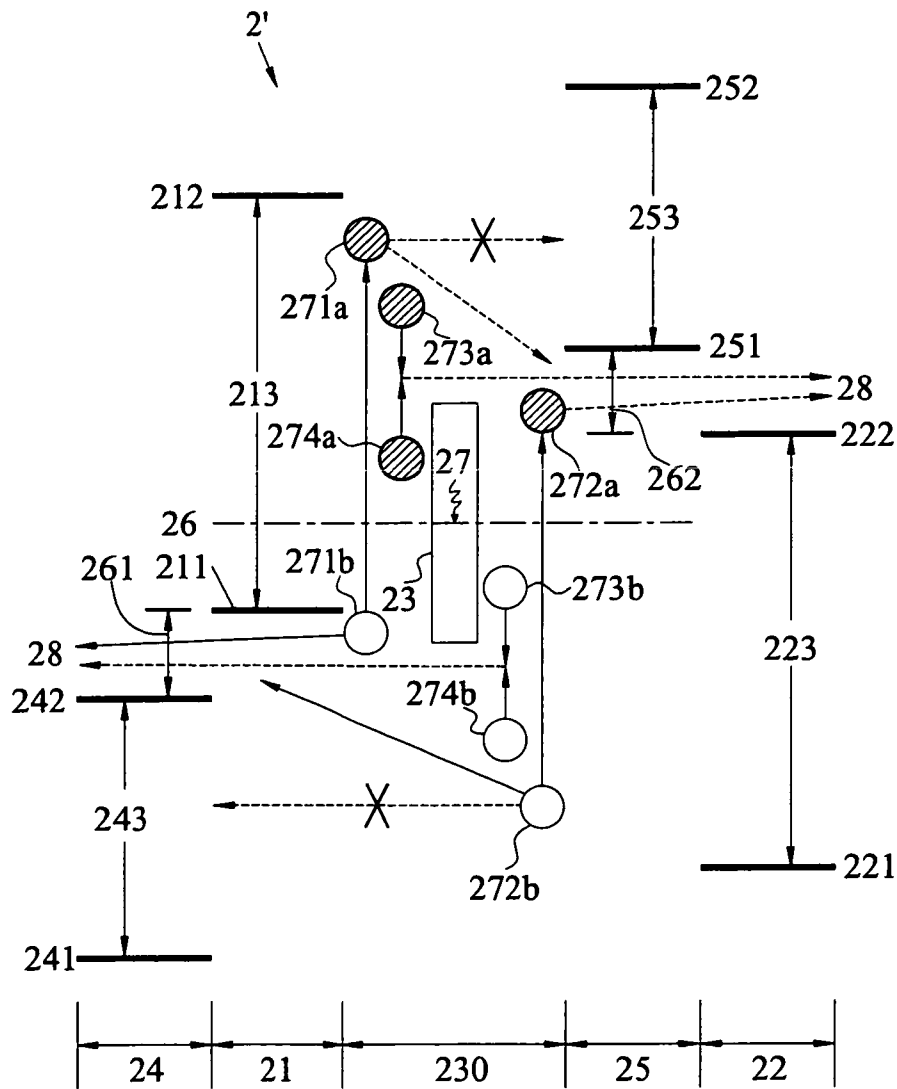
第2圖



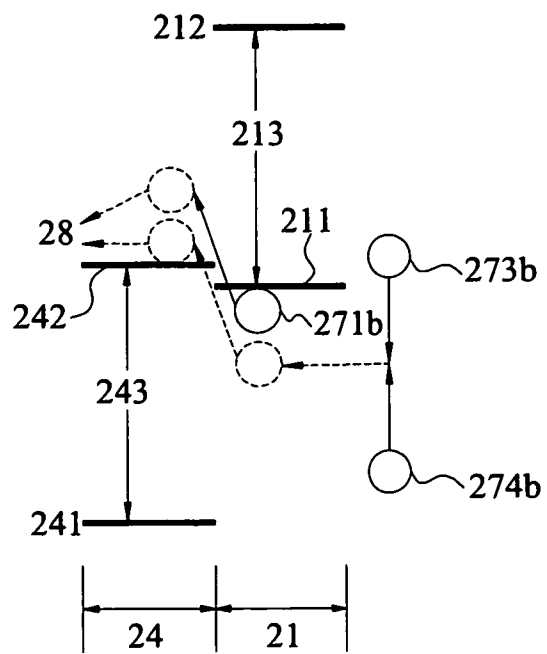
第3A圖



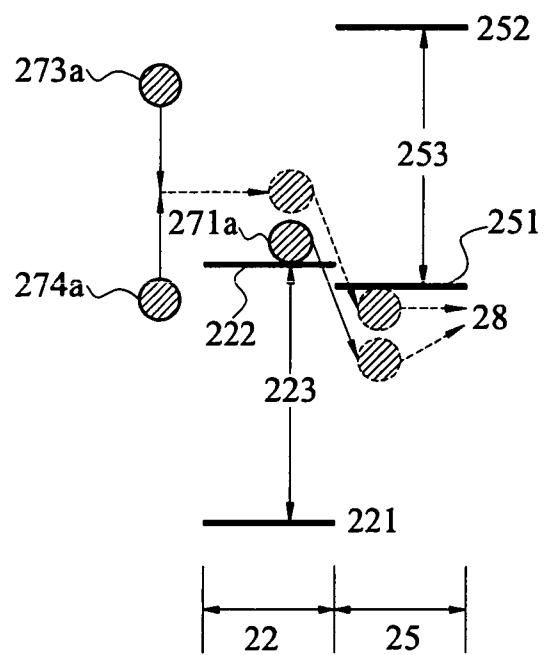
第3B圖



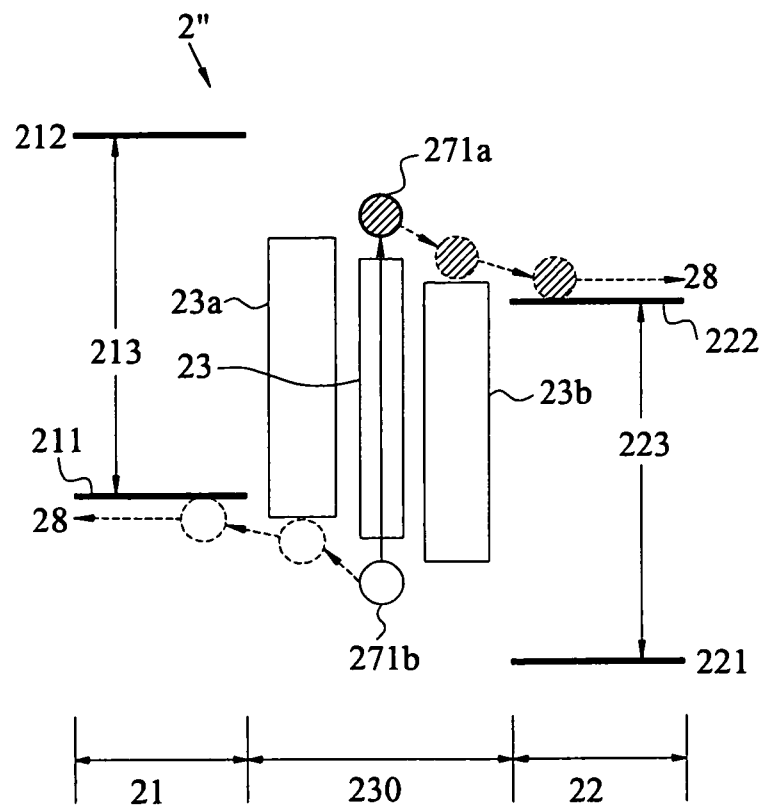
第3C圖



第4A圖



第4B圖



第5圖