



(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 201128789 A1

(43)公開日：中華民國 100 (2011) 年 08 月 16 日

(21)申請案號：099104561

(22)申請日：中華民國 99 (2010) 年 02 月 12 日

(51)Int. Cl.：

H01L31/065 (2006.01)

H01L31/028 (2006.01)

H01L31/18 (2006.01)

(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：張俊彥 CHANG, CHUN YEN (TW)

(74)代理人：何金塗；丁國隆

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：47 項 圖式數：18 共 58 頁

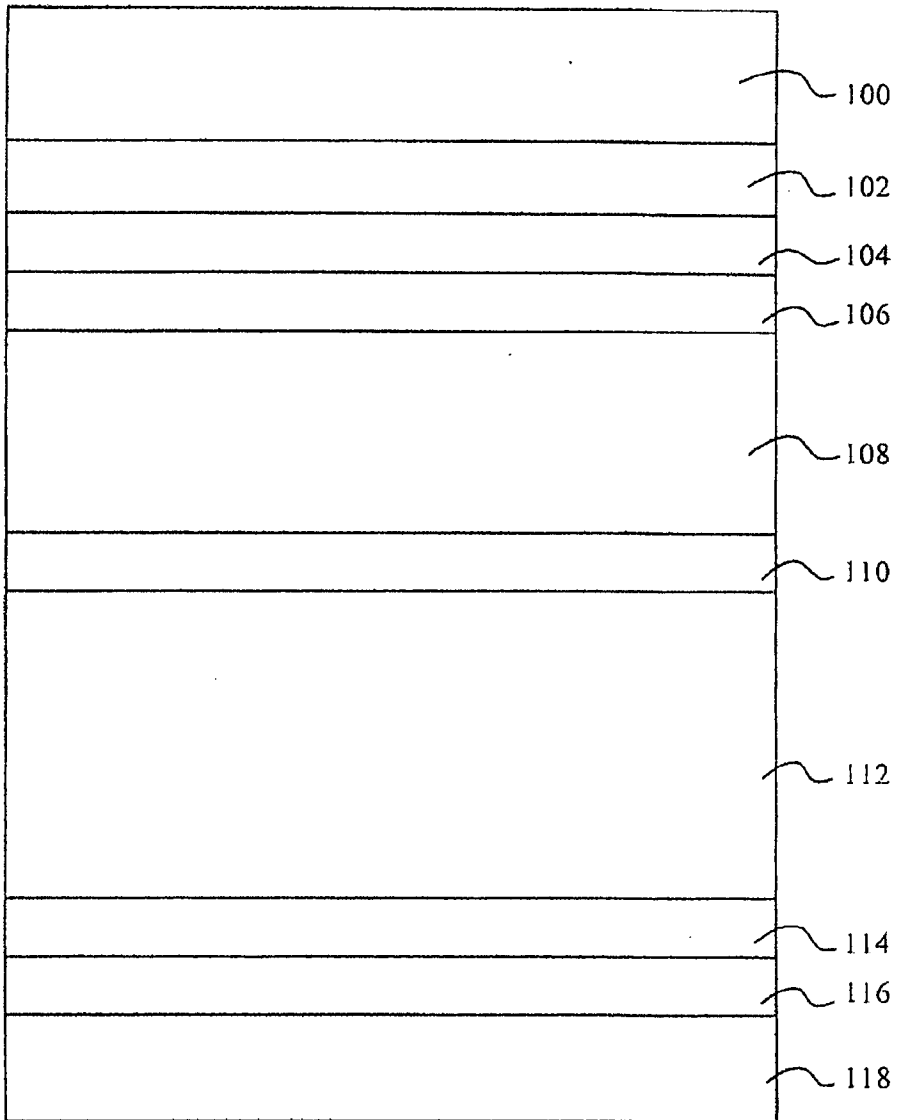
(54)名稱

超晶格結構的太陽能電池

NEW STRUCTURE SOLAR CELL WITH SUPERLATTICES

(57)摘要

本發明提供一種高效率新型 a-Si/c-Si 之薄膜太陽能電池，其使用選自於由超晶格層、a-SiGe 層、a-Si 與 $\mu\text{c-Si}$ 之混合層、及 a-Si 與 poly-Si 之混合層所構成的群組之至少一者來作為具有固定能隙之過渡層，或者是使用選自於由超晶格層、a-SiGe 層、a-Si 漸變為 $\mu\text{c-Si}$ 之層、及 a-Si 漸變為 poly-Si 之層所構成的群組之至少一者來形成具有漸變能隙之過渡層，來取代習知的多接面串疊型太陽電池中之 n+/TCO/p+ 接面，使太陽能電池的整體能隙更平滑而降低載子被再結合的機率，其中藉由在成膜期間調整製程氣體中之氫含量來形成 a-Si 與 $\mu\text{c-Si}$ 之混合層、a-Si 與 poly-Si 之混合層、a-Si 漸變為 $\mu\text{c-Si}$ 之層、或 a-Si 漸變為 poly-Si 之層。此外，藉由在 a-Si/c-Si 二層光吸收層結構中增加作為第 3 層光吸收層之 $\mu\text{c-Ge}$ 層而成為 a-Si/c-Si/ $\mu\text{c-Ge}$ 三層光吸收層結構，能吸收太陽光譜中之長波長光，提升光吸收效果。



- 2：串疊型太陽能電池
- 100：抗反射塗層
- 102：織構化玻璃基板
- 104：透明導電氧化層
- 106：正面接點
- 108：第 1 光吸收層
- 110：過渡層
- 112：第 2 光吸收層
- 114：後面接點
- 116：金屬電極
- 118：鈍化層

發明專利說明書

PD1095586(3)

(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： 99104561

H01L 31/065 (2006.01)

※申請日： 99.2.12

※IPC 分類： H01L 31/028 (2006.01)

H01L 31/18 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

超晶格結構的太陽能電池

NEW STRUCTURE SOLAR CELL WITH SUPERLATTICES

二、中文發明摘要：

本發明提供一種高效率新型 a-Si/c-Si 之薄膜太陽能電池，其使用選自於由超晶格層、a-SiGe 層、a-Si 與 μ c-Si 之混合層、及 a-Si 與 poly-Si 之混合層所構成的群組之至少一者來作為具有固定能隙之過渡層，或者是使用選自於由超晶格層、a-SiGe 層、a-Si 漸變為 μ c-Si 之層、及 a-Si 漸變為 poly-Si 之層所構成的群組之至少一者來形成具有漸變能隙之過渡層，來取代習知的多接面串疊型太陽能電池中之 n+/TCO/p+ 接面，使太陽能電池的整體能隙更平滑而降低載子被再結合的機率，其中藉由在成膜期間調整製程氣體中之氫含量來形成 a-Si 與 μ c-Si 之混合層、a-Si 與 poly-Si 之混合層、a-Si 漸變為 μ c-Si 之層、或 a-Si 漸變為 poly-Si 之層。此外，藉由在 a-Si/c-Si 二層光吸收層結構中增加作為第 3 層光吸收層之 μ c-Ge 層而成為 a-Si/c-Si/ μ c-Ge 三層光吸收層結構，能吸收太陽光譜中之長波長光，提升光吸收效果。

三、英文發明摘要：

無。

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (3) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

2	串疊型太陽能電池
100	抗反射塗層
102	織構化玻璃基板
104	透明導電氧化層
106	正面接點
108	第1光吸收層
110	過渡層
112	第2光吸收層
114	後面接點
116	金屬電極
118	鈍化層

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】

本發明係關於太陽能電池及其製造方法，尤其是關於多接面矽薄膜太陽能電池。

【先前技術】

太陽能電池，若以材料分類，有矽系、化合物半導體系及有機系，其中又可依結晶型態及元件構造細分為塊（bulk）型、薄膜型、單結晶型、多結晶型等。

一般的太陽能電池基本上是採用將 p 型半導體與 n 型半導體相接而成的 pn 接合構造。將電子拉向 n 型側、電洞拉向 p 型側的強力電場會在此 pn 接面發生。即，在 pn 接合部中電子如溜下滑梯般而電洞如水中的氣泡浮上般分別往相反方向移動。換言之，pn 接合的功能在於使電子與電洞分離。

如 CIGS 系或 CdTe 系之化合物半導體系太陽能電池，雖然轉換效率較高，但因使用稀有元素作為材料，所以製造成本高，且 Cd、Te 為有毒物質，易造成環境公害，故而迄今成功商業化之太陽能電池仍以矽系太陽能電池為主流。

雖然現今塊型結晶矽太陽能電池占太陽能電池之大部分生產量，但是薄膜矽太陽能電池由於其半導體層厚度為塊型結晶矽太陽能電池的 $1/10 \sim 1/100$ ，所以可避免塊型結晶矽太陽能電池所遭遇之矽原料不足的問題，同時能期待大幅低成本化，故而受矚目成為次世代的太陽能電池。

又，薄膜系太陽能電池中生產量最多之非晶矽（a-Si）太陽能電池，雖然光吸收係數高且能以數百奈米的膜厚製作，但其有在光照射下轉換效率會劣化約 10% 的問題。相較於 a-Si 太陽能電池，能以與 a-Si 太陽能電池同樣方法製作之結晶矽（c-Si）薄膜太陽能電池（在此係將微晶矽（ $\mu\text{c-Si}$ ）或多晶矽（poly-Si）總稱為結晶矽），則可吸收較長波長段的光線且不會產生光劣化，從而能藉由積層上述 2 種太陽能電池，製得更高轉換效率的薄膜太陽能電池。如第 1 圖所示，習知的以 a-Si 電池作為上部電池、以 c-Si 電池作為下部電池之串疊型電池（tandem cell），由於能夠高效率地藉由上部電池（top cell）、下部電池（bottom cell）分別吸收入射光之短波長光、中波長光，因此能覆蓋更廣波長段地有效利用太陽光光譜。

第 1 圖係顯示習知之具有 p-i-n 接合之 a-Si/c-Si 串疊型太陽能電池 1 的構造圖。該串疊型太陽能電池 1 在具有抗反射塗層 10 及纖構化透明導電氧化層 14 的玻璃基板 12 上依序形成有：由 p+型 a-Si 層 16、n 型或 i 型 a-Si 層 18、和 n+型 a-Si 層 20 所構成之 a-Si 電池 22；透明導電氧化層 24；由 p+型 poly-Si 或 $\mu\text{c-Si}$ 層 26、i 型 poly-Si 或 $\mu\text{c-Si}$ 層 28、和 n+型 poly-Si 或 $\mu\text{c-Si}$ 層 30 所構成之 c-Si 電池 32；由 Ag 或 Al 所構成之金屬電極 34；及由 SiN_x 所構成之鈍化層（passivation）36。

第 2 圖係製作如第 1 圖所示之具有 p-i-n 接合之 a-Si/c-Si 串疊型太陽能電池的流程圖。以高密度電漿化學

氣相沉積 (HDPCVD) 或電漿強化化學氣相沉積 (PECVD) 在玻璃基板 12 上成長抗反射塗層 (ARC) 10 (步驟 S10)，以使光在太陽能電池表面的反射變小。以濺鍍法成長如 ITO 或 SnO_2/ZnO 之透明導電氧化層 (TCO) 14 (步驟 S20)。爲了有效利用入射電池的光，以濕蝕刻將透明導電氧化層 14 纖構化 (步驟 S30)。接下來，藉由 HDPCVD 依序成長非晶矽 (a-Si) 電池 22 之 p+型 a-Si 層 16、n 型或 i 型 a-Si 層 18、和 n+型 a-Si 層 20 (步驟 S40、S50、S60)。以濺鍍法成長如 ITO 或 SnO_2/ZnO 之透明導電氧化層 (TCO) (步驟 S70)。然後藉由 HDPCVD 或 PECVD 依序成長結晶矽 (c-Si) 電池 30 之 p+型 poly-Si 或 $\mu\text{c-Si}$ 層 24、i 型 poly-Si 或 $\mu\text{c-Si}$ 層 26、和 p+型 poly-Si 或 $\mu\text{c-Si}$ 層 28 (步驟 S80、S90、S100)。然後，以電子槍蒸發器 (E-gun evaporator) 濺鍍 Ag 或 Al 而形成金屬電極 32 (步驟 S110)。由於太陽能電池的矽表面會成爲非穩定產生的載子容易再結合 (即表面再結合速度大) 的狀態，因此利用 HDPCVD 或 PECVD 成長 SiN_x 作爲鈍化層 34 (步驟 S120)，來將表面穩定化抑制表面再結合的損失，藉以改善轉換效率。最後以金屬快速處理退火法 (metal RTA) 或快速處理退火法 (RTA) 進行膜的熱處理 (步驟 S140)，使薄膜的緻密化及密著性提高。

然而，上述具有 p+-i- (非晶矽) -n+/TCO/p+-i- (結晶矽) -n+ 結構之串疊型太陽能電池存在著很大的接觸電阻 (contact resistance，係指在 n+/TCO 界面、及 TCO/p+界

面所產生的電阻)、串聯電阻 (series resistance, 係指 n^+ 、TCO、及 p^+ 本身固有的電阻)、載子再結合 (recombination)、及 TCO 本身固有的透光率而使轉換效率低下的問題。

【發明內容】

本發明人針對上述習知太陽能電池轉換效率低下的問題，由以下 3 個面向來考量提升太陽能電池轉換效率的技術：(1) 將更多進入元件內的光封閉起來以使吸收電流增加；(2) 藉由減少少數載子 (minority carrier) 的再結合而增大開路電壓 (open circuit voltage, V_{oc})；及(3) 降低元件內的內部電阻。經過潛心研究而提出能隙工程 (band gap engineering) 技術，利用現有的生產設備及製程，藉由匹配具有適當光學性質及電氣性質之材料來獲得最佳化的光吸收效果及轉換效率，完成能夠解決上述問題之本發明。

具體而言，本發明為藉由使用超晶格 (superlattice) 層、非晶相 SiGe (a-SiGe) 層、a-Si 與 μc -Si 之混合層、或 a-Si 與 poly-Si 之混合層作為如 a-Si 之大能隙光吸收層與如 c-Si 之小能隙光吸收層之間的過渡層 (穿隧接面)，如第 4 圖所示，使太陽能電池之整體能隙更加平滑，以減少電洞被再結合的機率。

又，若能進一步使該過渡層具有漸變式能隙，例如藉由在成膜期間連續調整製程氣體中之氫含量來形成 a-Si (結晶率 0%) 漸變為 μc -Si (結晶率 60~100%) 之層，則

因其能隙的梯度會產生內建電場（內建電位），便能更有效地加速載子傳輸並減少載子再結合，強化載子傳輸至電極端的能力。

第 16 圖係顯示氫的稀釋比影響結晶度及 Si-H 鍵結的圖表。以上述方法所形成的 a-Si 漸變為 $\mu\text{c-Si}$ 之層能藉由拉曼散射光譜法來測量結晶分率 X_c （%，crystalline fraction），定義 $X_c = (I_{520}) / (I_{480} + I_{520})$ ，其中 I_{480} 為位於 480 cm^{-1} 之代表 a-Si 吸收峰的強度， I_{520} 為位於 520 cm^{-1} 之代表 $\mu\text{c-Si}$ 吸收峰的強度；及藉由 FT-IR 來測量 Si-H 鍵結比（Si-H bonding ratio） R ，定義 $R = (I_{2090}) / (I_{2000} + I_{2090})$ ，其中 I_{2000} 為位於 2000 cm^{-1} 之代表 Si-H 透過峰的強度， I_{2090} 為位於 2090 cm^{-1} 之代表 H-Si-H 透過峰的強度。

又，習知的 a-Si/c-Si 串疊型太陽能電池中，係由 a-Si 所構成之第 1 光吸收層吸收波長 $0.2\mu\text{m}$ 以下之太陽光，由 c-Si 所構成之第 2 光吸收層吸收波長 $0.2\sim 0.5\mu\text{m}$ 之太陽光。為了有效利用太陽光譜中的全部波段，本發明之第 2 目的為在習知的具有 a-Si/c-Si 二層光吸收層結構之串疊型太陽能電池中，增加吸收長波長光（波長 $0.5\mu\text{m}$ 以上）的 $\mu\text{c-Ge}$ （微晶鍺）層而成為具有三層光吸收層結構之串疊型太陽能電池，提升光吸收效果，同時藉由使用 a-SiGe 層或超晶格層作為如 a-Si 之大能隙光吸收層與如 c-Si 之小能隙光吸收層之間的過渡層，及使用 $\mu\text{c-Si}/\mu\text{c-Ge}$ 超晶格層、或 $\mu\text{c-SiGe}$ 層作為如 c-Si 之小能隙光吸收層與如 $\mu\text{c-Ge}$ 之更

小能隙光吸收層之間的過渡層，如第 7 圖所示，使太陽能電池之整體能隙更加平滑，以減少電洞被再結合的機率。

再者，本發明之第 3 目的，係根據完全漸變能隙 (fully graded bandgap) 結構的構想，以超晶格層取代上述第 1、第 2 目的之太陽能電池中之具有不同能隙的光吸收層及各光吸收層間的過渡層，如第 10、12 圖所示，進一步使太陽能電池的整體能隙完全地平滑。

本發明之第 1 構成的薄膜太陽能電池，請參照第 3 圖，其包括：

正面接點 (front contact) 106；

第 1 光吸收層 108，係形成於該正面接點 106 上；

過渡層 110，係形成於該第 1 光吸收層 108 上；

第 2 光吸收層 112，係形成於該過渡層 110 上；及

後面接點 (back contact) 114，係形成於該第 2 光吸收層 112 上，

其中該過渡層 110 具有固定能隙，為選自於由下列所構成之群組：

超晶格層、

a-SiGe 層、

a-Si 與 $\mu\text{c-Si}$ 之混合層、及

a-Si 與 poly-Si 之混合層，或者是，

該過渡層具有漸變能隙，為選自於由下列所構成之群組：

超晶格層、

a-SiGe 層、

a-Si 漸變為 $\mu\text{c-Si}$ 之層、及

a-Si 漸變為 poly-Si 之層，其中該 a-Si 漸變為 $\mu\text{c-Si}$ 之層或該 a-Si 漸變為 poly-Si 之層係藉由在成膜期間連續調整製程氣體中之氫含量來形成。

又，該正面接點係具有能隙 E_{g1} 之感光材料，該第 1 光吸收層係具有能隙 E_{g1} 之感光材料，該過渡層係具有能隙 E_{g2} 之感光材料，該第 2 光吸收層係具有能隙 E_{g3} 之感光材料，該後面接點係具有能隙 E_{g3} 之感光材料，其中 $E_{g1} \geq E_{g2} \geq E_{g3}$ ， E_{g2} 為從 1.8eV 至 1.1eV 之一漸變值，或者是， E_{g2} 為在 1.8eV 與 1.1eV 之間的一固定值。

又，該超晶格層為 n 型、p 型或 i 型（本質型）半導體，其組態定義為：

$$a_1b_1/a_2b_2/\dots/a_ib_i/\dots/a_nb_n$$

a_i ：第 i 單元中 a-Si 層的厚度，能隙 E_{g2a} ，

b_i ：第 i 單元中 $\mu\text{c-Si}$ 或 poly-Si 層的厚度，能隙 E_{g2b} ，

該超晶格層中之第 i 單元的能隙：

$$E_{g2i} \doteq E_{g2a} (a_i / (a_i + b_i)) + E_{g2b} (b_i / (a_i + b_i))，$$

$a_{i-1} = a_i$ ， $b_{i-1} = b_i$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ ， $n = 1 \sim 1000$ ，即該 E_{g2} 為常數，及該超晶格層之厚度 $W1$ 為 $0\text{nm} < W1 \leq 2.5\mu\text{m}$ 。

又，該超晶格層為 n 型、p 型或 i 型半導體，其組態定義為：

$$a_1b_1/a_2b_2/\dots/a_ib_i/\dots/a_nb_n$$

a_i ：第 i 單元中 a-Si 層的厚度，能隙 E_{g2a} ，

b_i ：第 i 單元中 $\mu\text{c-Si}$ 或 poly-Si 層的厚度，能隙 E_{g2b} ，

該超晶格層中之第 i 單元的能隙：

$$E_{g2i} \doteq E_{g2a} (a_i / (a_i + b_i)) + E_{g2b} (b_i / (a_i + b_i)),$$

$a_{i-1} > a_i$, $b_{i-1} < b_i$, $i = 1, 2, \dots, n$, $n = 1 \sim 1000$, 即 E_{g2} 爲漸變, 及該超晶格層之厚度 $W1$ 爲 $0 \text{ nm} < W1 \leq 2.5 \mu\text{m}$ 。

又, 該超晶格層係以先成長小能隙材料再成長大能隙材料的方式形成組成單元, 組態定義爲 $b_1 a_1 / b_2 a_2 / \dots / b_i a_i / \dots / b_n a_n$ 。

又, 該超晶格層係以先成長大能隙材料再成長小能隙材料的方式形成其組成單元, 組態定義爲 $a_1 b_1 / a_2 b_2 / \dots / a_i b_i / \dots / a_n b_n$ 。

又, 該 a-SiGe 層爲 n 型、p 型或 i 型半導體, 其組態定義爲:

$$a\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x$$

x 爲常數且 $0.01 \leq x \leq 1$, 即 E_{g2} 爲常數, 及該 a-SiGe 層之厚度 $W1$ 爲 $0 \text{ nm} < W1 \leq 2.5 \mu\text{m}$ 。

又, 該 a-SiGe 層爲摻雜漸變的 (modulated doping) n 型、p 型或 i 型半導體, 其組態定義爲:

$$a\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x$$

x 爲位置的函數且 $0.01 \leq x \leq 1$, 即 E_{g2} 爲漸變, 及該 a-SiGe 層之厚度 $W1$ 爲 $0 \text{ nm} < W1 \leq 2.5 \mu\text{m}$ 。

又, 該 a-Si 與 $\mu\text{c-Si}$ 之混合層或該 a-Si 與 poly-Si 之混合層爲 n 型、p 型或 i 型半導體, 其組態分別定義爲:

$$(a\text{-Si})_{1-x} (\mu\text{c-Si})_x$$

$$(a\text{-Si})_{1-x} (\text{poly-Si})_x$$

x 爲常數且 $0.01 \leq x \leq 1$, 即 E_{g2} 爲常數, 及該 a-Si 與 $\mu\text{c-Si}$ 之混合層或該 a-Si 與 poly-Si 之混合層之厚度 $W1$ 爲

$0\text{ nm} < W1 \leq 2.5\text{ }\mu\text{m}$ ，其中，藉由在成膜期間調整製程氣體中之氫含量來改變 x 的值。

又，該 $a\text{-Si}$ 漸變 $\mu\text{c-Si}$ 之層或該 $a\text{-Si}$ 漸變為 poly-Si 之層為 n 型、 p 型或 i 型半導體，其組態分別定義為：

$$(a\text{-Si})_{1-x}(\mu\text{c-Si})_x$$

$$(a\text{-Si})_{1-x}(\text{poly-Si})_x$$

x 為位置的函數且 $0.01 \leq x \leq 1$ ，即 E_{g2} 為漸變，及該 $a\text{-Si}$ 漸變 $\mu\text{c-Si}$ 之層或該 $a\text{-Si}$ 漸變為 poly-Si 之層之厚度 $W1$ 為 $0\text{ nm} < W1 \leq 2.5\text{ }\mu\text{m}$ ，其中，藉由在成膜期間連續調整製程氣體中之氫含量來使 x 的值隨位置而改變。

又，該具有漸變能隙之過渡層進一步包括：藉由在成膜期間連續調整製程氣體中之氫含量所形成之由結晶率為 0% 之 $a\text{-Si}$ 漸變為結晶率為 $60\sim 100\%$ 之 $\mu\text{c-Si}$ 的層、由結晶率為 $60\sim 100\%$ 之 $\mu\text{c-Si}$ 漸變為結晶率為 0% 之 $a\text{-Si}$ 的層、由 $\mu\text{c-Si}$ 漸變為 $\mu\text{c-Ge}$ 的層、或由 $\mu\text{c-Ge}$ 漸變為 $\mu\text{c-Si}$ 的層。

本發明之第 2 構成的薄膜太陽能電池，請參照第 6 圖，其包括：

正面接點 206，具有能隙 E_{g1} ；

第 1 光吸收層 208，係形成於該正面接點 206 上，具有能隙 E_{g1} ；

第 1 過渡層 210，係形成於該第 1 光吸收層 208 上，具有能隙 E_{g2} ；

第 2 光吸收層 212，係形成於該第 1 過渡層 210 上，具有能隙 E_{g3} ；

第 2 過渡層 214，係形成於該第 2 光吸收層 212 上，具有能隙 E_{g4} ；

第 3 光吸收層 216，係形成於該第 2 過渡層 214 上，具有能隙 E_{g5} ；及

後面接點 218，係形成於該第 3 光吸收層 216 上，具有能隙 E_{g5} ，

其中，該第 1 過渡層 210 之組態及定義係與該過渡層 110 相同，

該第 2 過渡層 214 具有數值在 1.1eV 與 0.7eV 之間的固定能隙 E_{g4} ，為選自於由下列所構成之群組：

$\mu\text{c-Si}$ 及 $\mu\text{c-Ge}$ 之超晶格層；

poly-Si 及 $\mu\text{c-Ge}$ 之超晶格層；

$\mu\text{c-SiGe}$ 層；

$\mu\text{c-Si}$ 及 $\mu\text{c-Ge}$ 之混合層；及

poly-Si 及 $\mu\text{c-Ge}$ 之混合層，或者是，

該第 2 過渡層 214 具有數值從 1.1eV 至 0.7eV 之漸變能隙 E_{g4} ，為選自於由下列所構成之群組：

$\mu\text{c-Si}$ 及 $\mu\text{c-Ge}$ 之超晶格層；

poly-Si 及 $\mu\text{c-Ge}$ 之超晶格層；

$\mu\text{c-SiGe}$ 層；

$(\mu\text{c-Si})_{1-x}(\mu\text{c-Ge})_x$ 層；及

$(\text{poly-Si})_{1-x}(\mu\text{c-Ge})_x$ 層，其中 x 會隨位置而改變；

該第 3 光吸收層 216 為 n 型 $\mu\text{c-Ge}$ 層。

又，該正面接點係具有能隙 E_{g1} 之感光材料，該第 1 光吸收層係具有能隙 E_{g1} 之感光材料，該第 1 過渡層係具

有能隙 E_{g2} 之感光材料，該第 2 光吸收層係具有能隙 E_{g3} 之感光材料，該第 2 過渡層係具有能隙 E_{g4} 之感光材料，該第 3 光吸收層係具有能隙 E_{g5} 之感光材料，該後面接點係具有能隙 E_{g5} 之感光材料，其中 $E_{g1} \geq E_{g2} \geq E_{g3} \geq E_{g4} \geq E_{g5}$ 。

又，該 μc -Si 及 μc -Ge 之超晶格層或該 poly-Si 及 μc -Ge 之超晶格層為 n 型、p 型或 i 型半導體，其組態定義為：

$$c_1 d_1 / c_2 d_2 / \dots / c_i d_i / \dots / c_n d_n$$

c_i ：第 i 單元中 μc -Si 或 poly-Si 層的厚度，能隙 E_{g4c} ，

d_i ：第 i 單元中 μc -Ge 層的厚度，能隙 E_{g4d} ，

該 μc -Si 及 μc -Ge 之超晶格層或該 poly-Si 及 μc -Ge 之超晶格層中之第 i 單元的能隙：

$$E_{g4i} \doteq E_{g4c} (c_i / (c_i + d_i)) + E_{g4d} (d_i / (c_i + d_i))，$$

$c_{i-1} = c_i$ ， $d_{i-1} = d_i$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ ， $n = 1 \sim 1000$ ，即該 E_{g4} 為常數，及該 μc -Si 及 μc -Ge 之超晶格層或該 poly-Si 及 μc -Ge 之超晶格層之厚度 W_2 為 $0 \text{ nm} < W_2 \leq 2.5 \mu \text{ m}$ 。

又，該 μc -Si 及 μc -Ge 之超晶格層或該 poly-Si 及 μc -Ge 之超晶格層為 n 型、p 型或 i 型半導體，其組態定義為：

$$c_1 d_1 / c_2 d_2 / \dots / c_i d_i / \dots / c_n d_n$$

c_i ：第 i 單元中 μc -Si 或 poly-Si 層的厚度，能隙 E_{g4c} ，

d_i ：第 i 單元中 μc -Ge 層的厚度，能隙 E_{g4d} ，

該 μc -Si 及 μc -Ge 之超晶格層或該 poly-Si 及 μc -Ge 之超晶格層中之第 i 單元的能隙：

$$E_{g4i} \doteq E_{g4c} (c_i / (c_i + d_i)) + E_{g4d} (d_i / (c_i + d_i))，$$

$c_{i-1} > c_i$ ， $d_{i-1} < d_i$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ ， $n = 1 \sim 1000$ ，即該 E_{g4}

為漸變，及該 $\mu\text{c-Si}$ 及 $\mu\text{c-Ge}$ 之超晶格層、或該 poly-Si 及 $\mu\text{c-Ge}$ 之超晶格層之厚度 W_2 為 $0\text{nm} < W_2 \leq 2.5\mu\text{m}$ 。

又，該超晶格層係以先成長小能隙、層厚漸增的材料，再成長大能隙、層厚漸減的材料之方式形成其組成單元，組態定義為 $d_1c_1/d_2c_2/\dots/d_ic_i/\dots/d_nc_n$ 。

又，該超晶格層係以先成長大能隙、層厚漸減的材料，再成長小能隙、層厚漸增的材料之方式形成其組成單元，組態定義為 $c_1d_1/c_2d_2/\dots/c_id_i/\dots/c_nd_n$ 。

又，該 $\mu\text{c-SiGe}$ 層為 n 型、 p 型或 i 型半導體，其組態定義為：

$$\mu\text{c-Si}_{1-x}\text{Ge}_x$$

x 為常數且 $0.01 \leq x \leq 1$ ，即該 E_g 為常數，及該 $\mu\text{c-SiGe}$ 層之厚度 W_2 為 $0\text{nm} < W_2 \leq 2.5\mu\text{m}$ 。

又，該 $\mu\text{c-SiGe}$ 層為摻雜漸變的 n 型或 p 型半導體，其組態定義為：

$$a\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x$$

x 為位置的函數且 $0.01 \leq x \leq 1$ ，即該 E_g 為漸變，及該 $\mu\text{c-SiGe}$ 層之厚度 W_2 為 $0\text{nm} < W_2 \leq 2.5\mu\text{m}$ 。

又，該 $\mu\text{c-Si}$ 及 $\mu\text{c-Ge}$ 之混合層或該 poly-Si 及 $\mu\text{c-Ge}$ 之混合層為 n 型、 p 型或 i 型半導體，其組態分別定義為：

$$(\mu\text{c-Si})_{1-x}(\mu\text{c-Ge})_x$$

$$(\text{poly-Si})_{1-x}(\mu\text{c-Ge})_x$$

x 為常數且 $0.01 \leq x \leq 1$ ，即 E_g 為常數，及

該 $\mu\text{c-Si}$ 及 $\mu\text{c-Ge}$ 之混合層或該 poly-Si 及 $\mu\text{c-Ge}$ 之混合層之厚度 W_2 為 $0\text{nm} < W_1 \leq 2.5\mu\text{m}$ ，其中，藉由在成膜

期間調整製程氣體中之氫含量來改變 x 的值。

又，該 $(\mu\text{c-Si})_{1-x}(\mu\text{c-Ge})_x$ 層或該 $(\text{poly-Si})_{1-x}(\mu\text{c-Ge})_x$ 層為 n 型、 p 型或 i 型半導體，其組態定義為：

$$(\mu\text{c-Si})_{1-x}(\mu\text{c-Ge})_x$$

$$(\text{poly-Si})_{1-x}(\mu\text{c-Ge})_x$$

x 為位置的函數且 $0.01 \leq x \leq 1$ ，即 E_g4 為漸變，及該 $(\mu\text{c-Si})_{1-x}(\mu\text{c-Ge})_x$ 層或該 $(\text{poly-Si})_{1-x}(\mu\text{c-Ge})_x$ 層之厚度 $W2$ 為 $0\text{nm} < W2 \leq 2.5\mu\text{m}$ ，其中，藉由在成膜期間連續調整製程氣體中之氫含量來使 x 的值隨位置而改變。

又，上述太陽能電池進一步包括： a-SiO:H 層（hydrogenated a-SiO ），係位在該正面接點與該第 1 光吸收層之間。該 a-SiO:H 層之形成係利用在成長 p^+ 型 a-Si 層後，將氧通入成膜裝置的腔室，使腔室氛圍中之氧含量成為 $0\sim 20\%$ 以形成具有漸變能隙之 a-SiO:H 層，由於 a-SiO:H 的能隙約 2.0eV ，大於 a-Si （ $E_g = 1.7\text{eV}$ ），能增大太陽能電池的內建電場，加速載子的收集。

又，在上述太陽能電池中，該後面接點係由 $n^+ \text{a-Si}$ 層所構成，且在最靠近該後面接點之光吸收層與該後面接點之間進一步包括 $n^+ \mu\text{c-Si}$ 漸變為 a-Si 之層。第 17 圖為在此種態樣下將第 4 圖加上 $n^+ \mu\text{c-Si}$ 漸變為 a-Si 之層、 $n^+ \text{a-Si}$ 層、及 Ag 或 Al 或纖構化 ITO 層之能隙示意圖。第 18 圖為在此種態樣下將第 7 圖加上 $n^+ \mu\text{c-Si}$ 漸變為 a-Si 之層、 $n^+ \text{a-Si}$ 層、及 Ag 或 Al 或纖構化 ITO 層之能隙示意圖。

本發明之第 3 構成的薄膜太陽能電池，請參照第 15 圖，其包括：

第 1 電極 500；

正面接點 502，係形成於該第 1 電極 500 上；

第 1 光吸收層 504，係形成於該正面接點 502 上；

第 2 光吸收層 506，係形成於該第 1 光吸收層 504 上；

第 3 光吸收層 508，係形成於該第 2 光吸收層 506 上；

第 4 光吸收層 510，係形成於該第 3 光吸收層 508 上；

後面接點 512，係形成於該第 4 光吸收層 510 上；及

第 2 電極 514，係形成於該後面接點 512 上；

其中，該第 1 電極 500 係由透明導電氧化層所構成；該正面接點 502 係由 $p^+ a\text{-Si}$ 所構成；該第 1 光吸收層 504 係由 $a\text{-Si}$ 漸變為 $a\text{-SiO}:\text{H}$ 所構成；該第 2 光吸收層 506 係由 $a\text{-SiO}:\text{H}$ 漸變為 $a\text{-Si}$ 所構成；該第 3 光吸收層 508 係由 $a\text{-Si}$ 漸變為 $\mu c\text{-Si}$ 或 $a\text{-Si}$ 漸變為 poly-Si 所構成；該第 4 光吸收層 510 係由 $\mu c\text{-Si}$ 漸變為 $a\text{-Si}$ 或 poly-Si 漸變為 $a\text{-Si}$ 所構成；該後面接點 512 係由 $n^+ a\text{-Si}$ 所構成；及該第 2 電極 514 為由透明導電氧化層、Ag 或 Al 所構成。

又，本發明之第 3 構成的薄膜太陽能電池亦可為以 $n^+ a\text{-Si}$ 構成正面接點 502，以 $p^+ a\text{-Si}$ 構成後面接點 512。

又，本發明之第 3 構成的薄膜太陽能電池可進一步在後面接點與第 2 電極之間設置由 $a\text{-SiO}_x:\text{H}$ ($x = 0\sim 0.3$) 所構成的反射層，藉由讓入射至此反射層的光產生多重反射，以提高光的利用效率。

又，上述太陽能電池進一步包括：一排以上之複數個奈米點 (nanodot)，該等奈米點係配置在該薄膜太陽能電

池中的任何層。

又，該等奈米點的材料係選自於由 Si、Ge、金屬、介電常數有別於 SiO_2 之材料、及其組合之複合材料所構成的群組之一者。

又，該等奈米點的尺寸範圍為 $1\text{nm}\sim 100\text{nm}$ 。

此種構成之薄膜太陽能電池，係利用漸變層使電子經由 a-SiO:H 漸變為 a-Si 再漸變為 $\mu\text{c-Si}$ 來獲得加速而被有效地收集以提高光電流，且相較於 $\text{n}+\mu\text{c-Si}/\text{TCO}$ 藉由 $\text{n}+\text{a-Si}/\text{TCO}$ 來降低漏電流來提高開路電壓 (V_{oc})，故而能有效地增加效率。

第 14 圖係顯示由本發明之具有奈米點之異質接面光吸收層之完全漸變型結構能隙圖，其中藉由在成長 p^+ 型 a-Si 層後，將氧通入成膜裝置的腔室，使腔室氛圍中之氧含量從 0% 逐漸增加到 20% 來形成 a-SiO:Si 漸變為 a-Si 漸變為 p^+ a-Si 層。接著，藉由將腔室氛圍中之氧含量從 20% 逐漸調節到 0% 來形成 a-SiO:H 漸變為 a-Si 層及 a-Si 漸變為 $\mu\text{c-Si}$ 漸變為 $\text{n}+\mu\text{c-Si}$ 層。

請參照第 14 圖，奈米點能使斜向入射至太陽能電池的光線多重反射 (multiple reflection) 以增加光線在內部行進的距離，搭配纖構化的透明導電氧化層，能提升光線捕集 (light trapping) 的效果。此外，奈米點能產生量子侷限 (quantum confinement) 效應。

本發明之另一態樣為一種製造如上述構成之薄膜太陽能電池之方法，使用選自由高密度電漿化學氣相沉積系統

(HDPCVD)、電漿強化化學氣相沉積系統(PECVD)、金屬有機化學氣相沉積系統(MOCVD)、分子束磊晶系統(MBE)、超高真空化學氣相沉積系統(UHVCVD)、原子層沉積系統(ALD)、及光化學氣相沉積系統(Photo-CVD)所構成之群組的成膜系統來形成不同晶相、不同摻雜及不同厚度的各層薄膜。

上述不同晶相薄膜之形成係藉由在成膜期間控制氫的流量來調整薄膜的結晶率 (crystallinity)。例如，在建構如由 a-Si 層漸變為 $\mu\text{c-Si}$ 層之由大能隙層漸變為小能隙層之結構的情況，可藉由在成膜期間控制氫的流量來調整結晶率，使其結構由結晶率為 0% 的 a-Si 層漸變為結晶率為 60~100% 的 $\mu\text{c-Si}$ 層。

發明的效果

根據本發明之太陽能電池，因為採用蘊藏量豐富且對環境無害之 Si、Ge 元素作為材料，所以能避免如 CIGS 系或 CdTe 系之化合物半導體系太陽能電池之製造成本昂貴、造成環境公害等問題，故堪稱為新綠能太陽能電池。

從前採用 p/i/n 結構之太陽能電池轉換效率約 7%。目前主流的 p/i/n/TCO/p/i/n 結構之太陽能電池轉換效益，雖然理論上可達 14% 以上，但因 n/TCO/p 各層本身及其接面間存在有電阻而容易造成載子再結合，及 TCO 本身的透光率、電阻及折射率等因素，所以實際上的轉換效率僅約 8%。

第 13 圖係顯示本發明之採用漸變式 p 型 a-Si/ $\mu\text{c-Si}$ 超

晶格層作為 i 型 a-Si 層與 $\mu\text{c-Si}$ 層間的過渡層之 J-V 模擬圖，其中 J_{sc} 代表短路電流密度 (Short-Circuit Current Density, 單位為 mA/cm^2)， V_{oc} 代表開路電壓 (單位為 V)，FF 代表填充因子 (Fill Factor)， η 代表轉換效率 (Efficiency)，其關係如下式所示：

$$\eta = (V_{oc} \times J_{sc} \times FF \times A) / P_{in}$$

其中 P_{in} 為入射光強度，A 為受光面積，

由第 13 圖的 J-V 曲線可知，在將作為過渡層之超晶格層能隙固定為 1.4eV 的情況，轉換效率可達 15.65% ，在將作為過渡層之超晶格層設計為漸變能隙的情況，轉換效率可達 17.4% 。

【實施方式】

以下，將參照隨附圖式敘述本發明之薄膜太陽能電池之實施方式。

(第 1 實施例) 製作具有如第 3 圖所示之 a-Si (第 1 光吸收層 108) / a-SiGe (過渡層 110) / c-Si (第 2 光吸收層 112) 結構的串疊型太陽能電池 2。

首先，以 HDPCVD 或 PECVD 將如氮氧化矽、氮化矽、或氮氧化矽 / 氮化矽之抗反射塗層 100 沉積在玻璃基板 102 上面，以濺鍍法成長如 ITO 或 SnO_2/ZnO 之透明導電氧化層 104，再以蝕刻法將透明導電氧化層 104 纖構化。

將基板送入選自於由 HDPCVD、PECVD、MOCVD、MBE、UHVCVD、ALD、及光化學氣相沉積 (Photo-CVD) 系統所構成之群組之一成膜系統中，通入氮氣 (N_2)、氬氣

(Ar)、矽烷(SiH_4)及鍺烷(GeH_4)等各種製程氣體來沉積 Si (Ge) 薄膜，藉由調變溫度、壓力、氣體流量等成膜製程參數，來成長各種不同晶相、不同摻雜、及不同厚度的 p+ 型 a-Si、i 型 a-Si、a-SiGe、n 型 $\mu\text{c-Si}$ 、及 n+型 $\mu\text{c-Si}$ 薄膜而分別作為正面接點 106、第 1 光吸收層 108、過渡層 110、第 2 光吸收層 112、及後面接點 114。其中，a-SiGe 的沉積，通常會先通入穩定流量的 SiH_4 ，再慢慢通入 GeH_4 以調變 SiGe 薄膜中的 Ge 含量，成長 a-SiGe 接面緩衝。

然後，以電子槍蒸發器濺鍍纖構化透明導電氧化層、Ag、或 Al 而形成金屬電極 116。再利用 HDPCVD 或 PECVD 成長氮化矽或二氧化矽作為鈍化層 118。最後以 RTA 進行膜的熱處理。

(第 2 實施例) 製作具有如第 3 圖所示之 a-Si (第 1 光吸收層 108) / 超晶格 (a-Si/ $\mu\text{c-Si}$ ，過渡層 110) / $\mu\text{c-Si}$ (第 2 光吸收層 112) 結構的串疊型太陽能電池 2。

除了依過渡層所需之 E_g^* 及總厚度來決定超晶格的單元數之步驟以外，其餘製程皆與第 1 實施例相同，其中超晶格的單一單元定義為由 1 個 a-Si 及 1 個 $\mu\text{c-Si}$ 所組成且能隙為 E_g^* 。

範例 1：固定能隙且單元中之 a-Si 與 $\mu\text{c-Si}$ 厚度相等。

令 a-Si 層厚度 a_i ， $\mu\text{c-Si}$ 層厚度 b_i

$i = 1, 2, \dots, n$ ； $n = 1 \sim 1000$

設 $a_i : b_i = 1 : 1$ ， $1 \text{ nm} < a_i, b_i < 10 \text{ nm}$

$E_g^*{}_1 = E_g^*{}_2 = E_g^*{}_3 = \dots$

$$(a\text{-Si})_x (\mu\text{c-Si})_y : E_g^* = 1.7x + 1.1y$$

$$x = a_i / (a_i + b_i)$$

$$y = b_i / (a_i + b_i)$$

例如：首先若決定 $E_g^* = 1.4\text{eV}$ ，又 $a_i : b_i = 1 : 1$ ，所以 $(x, y) = (0.5, 0.5)$

其次若決定 a_i 為 1nm ，則單一單元的厚度為 2nm ，

當規範其總厚度 $< 100\text{nm}$ 時，則過渡層須由約 50 個單元組成。

範例 2：固定能隙且單元中之 $a\text{-Si}$ 與 $\mu\text{c-Si}$ 厚度不相等。

$$1.2\text{eV} < E_g^* < 1.6\text{eV}$$

令 $a\text{-Si}$ 層厚度 a_i ， $\mu\text{c-Si}$ 層厚度 b_i

$$i = 1, 2, \dots, n; n = 1 \sim 1000$$

設 $a_i : b_i = x : y; 0 < x, y < 1; 1\text{nm} < a_i, b_i < 10\text{nm}$

$$E_{g^*_1} = E_{g^*_2} = E_{g^*_3} = \dots$$

$$(a\text{-Si})_x (\mu\text{c-Si})_y : E_g^* = 1.7x + 1.1y$$

$$x = a_i / (a_i + b_i)$$

$$y = b_i / (a_i + b_i)$$

例如：首先若決定 $E_g^* = 1.5\text{eV}$ ，過渡層總厚度 $< 100\text{nm}$

則 $E_g^* = 1.7x + 1.1y$ 且 $0 < x, y < 1$

可選定一組解 $(x, y) = (0.3, 0.9)$

又因 $a_i : b_i = x : y$ ，若設定 $a_i = 1\text{nm}$ ， $b_i = 3\text{nm}$

則單一單元 $(a_i, b_i) = (1\text{nm}, 3\text{nm})$

當規範其總厚度 $< 100\text{nm}$ 時，則過渡層須由約 25 個單

元組成。

範例 3：漸變能隙

$$1.2\text{eV} < E_g^* < 1.6\text{eV}$$

令 a-Si 層厚度 a_i ， $\mu\text{c-Si}$ 層厚度 b_i

$$i = 1, 2, \dots, n; n = 1 \sim 1000$$

設 $a_i : b_i = x : y; 0 < x, y < 1; 1\text{ nm} < a_i, b_i < 10\text{ nm}$

若決定單元數 n 且 $E_g^*{}_1 > E_g^*{}_2 > E_g^*{}_3 > \dots$

則 $(\text{a-Si})_x (\mu\text{c-Si})_y : E_g^* = 1.7x + 1.1y$

$$x = a_i / (a_i + b_i)$$

$$y = b_i / (a_i + b_i)$$

(第 3 實施例) 製作具有如第 9 圖所示之以漸變式超晶格層作為光吸收層 308 來取代第 1 實施例中之 a-Si (第 1 光吸收層 108) / a-SiGe (過渡層 110) / c-Si (第 2 光吸收層 112) 結構的串疊型太陽能電池 4。第 10 圖係顯示如第 9 圖所示的太陽能電池之完全漸變能隙示意圖，其中橫軸座標代表層厚。

首先，以 HDPCVD 或 PECVD 將如氮氧化矽、氮化矽、或氮氧化矽/氮化矽之抗反射塗層 300 沉積在玻璃基板 302 上面，以濺鍍法成長如 ITO 或 SnO_2/ZnO 之透明導電氧化層 304，再以蝕刻法將透明導電氧化層 304 纖構化。

將基板送入選自由 HDPCVD、PECVD、MOCVD、MBE、UHVCVD、ALD、及光化學氣相沉積系統所構成之群組之一成膜系統中，通入氮氣(N_2)、氬氣(Ar)、及矽烷(SiH_4)等各種製程氣體來沉積 Si 薄膜，藉由調變溫度、壓力、氣體

流量等成膜製程參數，來成長各種不同晶相、不同摻雜、及不同厚度的 p^+ 型 $a\text{-Si}$ 、 $a\text{-Si}/\mu\text{c-Si}$ 超晶格、及 n^+ 型 $\mu\text{c-Si}$ 薄膜而分別作為正面接點 306、光吸收層 308、及後面接點 314，其中，超晶格層的組態係依照第 2 實施例中範例 3 所述之方法決定。

然後，以電子槍蒸發器濺鍍纖構化透明導電氧化層、Ag、或 Al 而形成金屬電極 316。再利用 HDPCVD 或 PECVD 成長氮化矽或二氧化矽作為鈍化層 318。最後以 RTA 進行膜的熱處理。

（第 4 實施例）製作具有如第 6 圖所示之 $a\text{-Si}$ （第 1 光吸收層 208）/ $a\text{-SiGe}$ （第 1 過渡層 210）/ $\mu\text{c-Si}$ （第 2 光吸收層 212）/ $\mu\text{c-SiGe}$ （第 2 過渡層 214）/ $\mu\text{c-Ge}$ （第 3 光吸收層 216）結構的串疊型太陽能電池 3。

首先，以 HDPCVD 或 PECVD 將如氮氧化矽、氮化矽、或氮氧化矽/氮化矽之抗反射塗層 200 沉積在玻璃基板 202 上面，以濺鍍法成長如 ITO 或 SnO_2/ZnO 之透明導電氧化層 204，再以蝕刻法將透明導電氧化層 204 纖構化。

將基板送入選自由 HDPCVD、PECVD、MOCVD、MBE、UHVCVD、ALD、及光化學氣相沉積系統所構成之群組之一成膜系統中，通入氮氣 (N_2)、氬氣 (Ar)、矽烷 (SiH_4) 及鎘烷 (GeH_4) 等各種製程氣體來沉積 Si (Ge) 薄膜，藉由調變溫度、壓力、氣體流量等成膜製程參數，來成長各種不同晶相、不同摻雜、及不同厚度的 p^+ 型 $a\text{-Si}$ 、 i 型 $a\text{-Si}$ 、 $a\text{-SiGe}$ 、 n 型 $\mu\text{c-Si}$ 、 $\mu\text{c-SiGe}$ 、 n 型 $\mu\text{c-Ge}$ 、及 n^+ 型 $\mu\text{c-Ge}$ 薄膜而分

別作為正面接點 206、第 1 光吸收層 208、第 1 過渡層 210、第 2 光吸收層 212、第 2 過渡層 214、第 3 光吸收層 216、及後面接點 218。其中，a-SiGe 的沉積，通常會先通入穩定流量的 SiH_4 ，再慢慢通入 GeH_4 以調變 SiGe 薄膜中的 Ge 含量，成長 a-SiGe 接面緩衝。

然後，以電子槍蒸發器濺鍍纖構化透明導電氧化層、Ag、或 Al 而形成金屬電極 220。再利用 HDPCVD 或 PECVD 成長氮化矽或二氧化矽作為鈍化層 222。最後以 RTA 進行膜的熱處理。

以上雖然藉由參照特定實施例描述本發明，但對本發明所屬領域之具有通常知識者而言，在不悖離下述申請專利範圍所界定的本發明之精神及範圍的情況下，可輕易進行各種變更及替代。

【圖式簡單說明】

第 1 圖係顯示習知之具有 p-i-n 接合之 a-Si/TCO/c-Si 串疊型太陽能電池的構造示意圖。

第 2 圖係製作如第 1 圖所示之具有 p-i-n 接合之 a-Si/TCO/c-Si 串疊型太陽能電池的流程圖。

第 3 圖係顯示本發明之具有第 1 光吸收層/過渡層/第 2 光吸收層結構的串疊型太陽能電池的構造示意圖。

第 4 圖係顯示如第 3 圖所示的串疊型太陽能電池之能隙示意圖。

第 5 圖係顯示如第 3 圖所示的串疊型太陽能電池之過渡層的能隙示意圖。

第 6 圖係顯示本發明之具有第 1 光吸收層/第 1 過渡層/第 2 光吸收層/第 2 過渡層/第 3 光吸收層結構的串疊型太陽能電池的構造示意圖。

第 7 圖係顯示如第 6 圖所示的串疊型太陽能電池之能隙示意圖。

第 8 圖係顯示如第 6 圖所示的串疊型太陽能電池之第 2 過渡層的能隙示意圖。

第 9 圖係顯示本發明之以超晶格層作為光吸收層的太陽能電池的構造示意圖。

第 10 圖係顯示如第 9 圖所示的太陽能電池之完全漸變能隙示意圖。

第 11 圖係顯示本發明之具有以不同組態之超晶格層作為第 1 光吸收層及第 2 光吸收層結構的太陽能電池的構造示意圖。

第 12 圖係顯示如第 11 圖所示的太陽能電池之完全漸變能隙示意圖。

第 13 圖係顯示本發明之採用漸變 p 型 a-Si/ μ c-Si 超晶格層作為 i 型 a-Si 層與 μ c-Si 層間的過渡層之 J-V 模擬圖。

第 14 圖係顯示本發明之具有奈米點之異質接面光吸收層之完全漸變型結構能隙圖。

第 15 圖係顯示本發明之另一構成的薄膜太陽能電池之能隙示意圖。

第 16 圖係顯示氫的稀釋比影響結晶度及 Si-H 鍵結的圖表。

第 17 圖 為 將 第 4 圖 加 上 $n^+ \mu c\text{-Si}$ 漸 變 為 $a\text{-Si}$ 之 層、 $n^+ a\text{-Si}$ 層、及 Ag 或 Al 或 纖 構 化 ITO 層 之 能 隙 示 意 圖。

第 18 圖 為 將 第 7 圖 加 上 $n^+ \mu c\text{-Si}$ 漸 變 為 $a\text{-Si}$ 之 層、 $n^+ a\text{-Si}$ 層、及 Ag 或 Al 或 纖 構 化 ITO 層 之 能 隙 示 意 圖。

【 主 要 元 件 符 號 說 明 】

1、2、3、4、5	串疊型太陽能電池
10、100、200、300、400	抗反射塗層
12、102、202、302、402	玻璃基板
14、24、104、204、304、404	透明導電氧化層
16	p^+ 型 $a\text{-Si}$ 層
18	n 型或 i 型 $a\text{-Si}$ 層
20	n^+ 型 $a\text{-Si}$ 層
22	非晶矽 ($a\text{-Si}$) 電池
26	p^+ 型 poly-Si 或 $\mu c\text{-Si}$ 層
28	i 型 poly-Si 或 $\mu c\text{-Si}$ 層
30	n^+ 型 poly-Si 或 $\mu c\text{-Si}$ 層
32	結晶矽 ($c\text{-Si}$) 電池
34、116、220、316、420	金屬電極
36、118、222、318、422	鈍化層
106、206、306、406、502	正面接點
108、208、408、504	第 1 光吸收層
110	過渡層
112、212、412、506	第 2 光吸收層
114、218、314、418、512	後面接點

210	第 1 過 渡 層
214	第 2 過 渡 層
216、508	第 3 光 吸 收 層
308	光 吸 收 層
500	第 1 電 極
510	第 4 光 吸 收 層
514	第 2 電 極
S10~S130	步 驟
W1、W2	厚 度

七、申請專利範圍：

1. 一種薄膜太陽能電池，其包括：

正面接點（front contact）；

第 1 光吸收層，係形成於該正面接點上；

過渡層，係形成於該第 1 光吸收層上；

第 2 光吸收層，係形成於該過渡層上；及

後面接點（back contact），係形成於該第 2 光吸收層上，

其特徵為：該過渡層是具有固定能隙或漸變能隙的超晶格層。

2. 如申請專利範圍第 1 項之薄膜太陽能電池，其中，該正面接點係具有能隙 E_{g1} 之感光材料，該第 1 光吸收層係具有能隙 E_{g1} 之感光材料，該過渡層係具有能隙 E_{g2} 之感光材料，該第 2 光吸收層係具有能隙 E_{g3} 之感光材料，該後面接點係具有能隙 E_{g3} 之感光材料，其中 $E_{g1} \geq E_{g2} \geq E_{g3}$ ， E_{g2} 為從 1.8eV 至 1.1eV 之一漸變值，或者是， E_{g2} 為在 1.8eV 與 1.1eV 之間的一固定值。

3. 如申請專利範圍第 2 項之薄膜太陽能電池，其中，該超晶格層為 n 型、p 型或 i 型（本質型）半導體，其組態定義為：

$$a_1 b_1 / a_2 b_2 / \dots / a_i b_i / \dots / a_n b_n$$

a_i ：第 i 單元中 a-Si 層的厚度，能隙 E_{g2a} ，

b_i ：第 i 單元中 μc -Si 或 poly-Si 層的厚度，能隙 E_{g2b} ，

該超晶格層中之第 i 單元的能隙：

$$E_{g2i} = E_{g2a} (a_i / (a_i + b_i)) + E_{g2b} (b_i / (a_i + b_i))，$$

$a_{i-1} = a_i$, $b_{i-1} = b_i$, $i = 1, 2, \dots, n$, $n = 1 \sim 1000$, 即該 E_{g2} 爲常數, 及

該超晶格層之厚度 $W1$ 爲 $0\text{nm} < W1 \leq 2.5\mu\text{m}$ 。

4. 如申請專利範圍第 2 項之薄膜太陽能電池, 其中, 該超晶格層爲 n 型、 p 型或 i 型半導體, 其組態定義爲:

$$a_1 b_1 / a_2 b_2 / \dots / a_i b_i / \dots / a_n b_n$$

a_i : 第 i 單元中 a -Si 層的厚度, 能隙 E_{g2a} ,

b_i : 第 i 單元中 μc -Si 或 poly-Si 層的厚度, 能隙 E_{g2b} ,

該超晶格層中之第 i 單元的能隙:

$$E_{g2i} = E_{g2a} (a_i / (a_i + b_i)) + E_{g2b} (b_i / (a_i + b_i)),$$

$a_{i-1} > a_i$, $b_{i-1} < b_i$, $i = 1, 2, \dots, n$, $n = 1 \sim 1000$, 即 E_{g2} 爲漸變, 及

該超晶格層之厚度 $W1$ 爲 $0\text{nm} < W1 \leq 2.5\mu\text{m}$ 。

5. 如申請專利範圍第 3 或 4 項之薄膜太陽能電池, 其中, 該超晶格層係以先成長小能隙材料再成長大能隙材料的方式形成組成單元, 組態定義爲 $b_1 a_1 / b_2 a_2 / \dots / b_i a_i / \dots / b_n a_n$ 。

6. 如申請專利範圍第 3 或 4 項之薄膜太陽能電池, 其中, 該超晶格層係以先成長大能隙材料再成長小能隙材料的方式形成其組成單元, 組態定義爲 $a_1 b_1 / a_2 b_2 / \dots / a_i b_i / \dots / a_n b_n$ 。

7. 如申請專利範圍第 1 項之薄膜太陽能電池, 其中, 進一步包括: $a\text{-SiO:H}$ 層 ($\text{hydrogenated } a\text{-SiO}$), 係位在該正面接點與該第 1 光吸收層之間。

8. 如申請專利範圍第 1 或 7 項之薄膜太陽能電池, 其中,

進一步包括：一排以上之複數個奈米點（nanodot），該等奈米點係配置在該薄膜太陽能電池中的任何層。

9.如申請專利範圍第8項之薄膜太陽能電池，其中，該等奈米點的材料係選自於由Si、Ge、金屬、介電常數有別於SiO₂之材料、及其組合之複合材料所構成的群組之一者。

10.如申請專利範圍第8項之薄膜太陽能電池，其中，該等奈米點的尺寸範圍為1nm~100nm。

11.如申請專利範圍第1項之薄膜太陽能電池，其中，該後面接點係由n+ a-Si所構成，且在該第2光吸收層與該後面接點之間進一步包括n+ μ c-Si漸變為a-Si之層。

12.一種薄膜太陽能電池，其包括：

正面接點，具有能隙Eg1；

第1光吸收層，係形成於該正面接點上，具有能隙Eg1；

第1過渡層，係形成於該第1光吸收層上，具有能隙Eg2；

第2光吸收層，係形成於該第1過渡層上，具有能隙Eg3；

第2過渡層，係形成於該第2光吸收層上，具有能隙Eg4；

第3光吸收層，係形成於該第2過渡層上，具有能隙Eg5；及

後面接點，係形成於該第3光吸收層上，具有能隙Eg5，

其特徵為：

該第 1 過渡層是具有數值在 1.8eV 與 1.1eV 之間的固定能隙 E_{g2} 的 a-Si 及 $\mu\text{c-Si}$ 之超晶格層、或 a-Si 及 poly-Si 之超晶格層，或是具有數值從 1.8eV 至 1.1eV 之漸變能隙 E_{g2} 的 a-Si 及 $\mu\text{c-Si}$ 之超晶格層、或 a-Si 及 poly-Si 之超晶格層，其中，

該 a-Si 及 $\mu\text{c-Si}$ 之超晶格層或該 a-Si 及 poly-Si 之超晶格層為 n 型、p 型或 i 型半導體，其組態定義為：

$$a_1 b_1 / a_2 b_2 / \dots / a_i b_i / \dots / a_n b_n$$

a_i ：第 i 單元中 a-Si 層的厚度，能隙 E_{g2a} ，

b_i ：第 i 單元中 $\mu\text{c-Si}$ 或 poly-Si 層的厚度，能隙 E_{g2b} ，

該 a-Si 及 $\mu\text{c-Si}$ 之超晶格層或該 a-Si 及 poly-Si 之超晶格層中之第 i 單元的能隙：

$$E_{g2i} = E_{g2a} (a_i / (a_i + b_i)) + E_{g2b} (b_i / (a_i + b_i))，$$

$a_{i-1} = a_i$ ， $b_{i-1} = b_i$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ ， $n = 1 \sim 1000$ ，即 E_{g2} 為常數，及

該 a-Si 及 $\mu\text{c-Si}$ 之超晶格層或該 a-Si 及 poly-Si 之超晶格層之厚度 $W1$ 為 $0\text{nm} < W1 \leq 2.5\mu\text{m}$ ；

或定義為：

$$a_1 b_1 / a_2 b_2 / \dots / a_i b_i / \dots / a_n b_n$$

a_i ：第 i 單元中 a-Si 層的厚度，能隙 E_{g2a} ，

b_i ：第 i 單元中 $\mu\text{c-Si}$ 或 poly-Si 層的厚度，能隙 E_{g2b} ，

該 a-Si 及 $\mu\text{c-Si}$ 之超晶格層或該 a-Si 及 poly-Si 之超晶格層中之第 i 單元的能隙：

$$E_{g2i} = E_{g2a} (a_i / (a_i + b_i)) + E_{g2b} (b_i / (a_i + b_i))，$$

$a_{i-1} > a_i$, $b_{i-1} < b_i$, $i = 1, 2, \dots, n$, $n = 1 \sim 1000$, 即 E_{g2} 爲漸變, 及

該 a-Si 及 μc -Si 之超晶格層或該 a-Si 及 poly-Si 之超晶格層之厚度 $W1$ 爲 $0nm < W1 \leq 2.5\mu m$;

該第 2 過渡層是具有數值在 $1.1eV$ 與 $0.7eV$ 之間的固定能隙 E_{g4} 的 μc -Si 及 μc -Ge 之超晶格層、或 poly-Si 及 μc -Ge 之超晶格層, 或是具有數值從 $1.1eV$ 至 $0.7eV$ 之漸變能隙 E_{g4} 的 μc -Si 及 μc -Ge 之超晶格層、或 poly-Si 及 μc -Ge 之超晶格層;

該第 3 光吸收層爲 n 型 μc -Ge 層。

13. 如申請專利範圍第 12 項之薄膜太陽能電池, 其中, 該正面接點係具有能隙 E_{g1} 之感光材料, 該第 1 光吸收層係具有能隙 E_{g1} 之感光材料, 該第 1 過渡層係具有能隙 E_{g2} 之感光材料, 該第 2 光吸收層係具有能隙 E_{g3} 之感光材料, 該第 2 過渡層係具有能隙 E_{g4} 之感光材料, 該第 3 光吸收層係具有能隙 E_{g5} 之感光材料, 該後面接點係具有能隙 E_{g5} 之感光材料, 其中 $E_{g1} \geq E_{g2} \geq E_{g3} \geq E_{g4} \geq E_{g5}$ 。

14. 如申請專利範圍第 12 項之薄膜太陽能電池, 其中, 該 μc -Si 及 μc -Ge 之超晶格層或該 poly-Si 及 μc -Ge 之超晶格層爲 n 型、p 型或 i 型半導體, 其組態定義爲:

$$c_1 d_1 / c_2 d_2 / \dots / c_i d_i / \dots / c_n d_n$$

c_i : 第 i 單元中 μc -Si 或 poly-Si 層的厚度, 能隙 E_{g4c} ,

d_i : 第 i 單元中 μc -Ge 層的厚度, 能隙 E_{g4d} ,

該 μc -Si 及 μc -Ge 之超晶格層或該 poly-Si 及 μc -Ge

之超晶格層中之第 i 單元的能隙：

$$E_{g4i} \cong E_{g4c} (c_i / (c_i + d_i)) + E_{g4d} (d_i / (c_i + d_i)) ,$$

$c_{i-1} = c_i$, $d_{i-1} = d_i$, $i = 1, 2, \dots, n$, $n = 1 \sim 1000$, 即該 E_{g4} 為常數 , 及

該 μc -Si 及 μc -Ge 之超晶格層或該 poly-Si 及 μc -Ge 之超晶格層之厚度 W_2 為 $0 \text{ nm} < W_2 \leq 2.5 \mu \text{m}$ 。

15. 如申請專利範圍第 12 項之薄膜太陽能電池 , 其中 , 該 μc -Si 及 μc -Ge 之超晶格層或該 poly-Si 及 μc -Ge 之超晶格層為 n 型、 p 型或 i 型半導體 , 其組態定義為：

$$c_1 d_1 / c_2 d_2 / \dots / c_i d_i / \dots / c_n d_n$$

c_i : 第 i 單元中 μc -Si 或 poly-Si 層的厚度 , 能隙 E_{g4c} ,

d_i : 第 i 單元中 μc -Ge 層的厚度 , 能隙 E_{g4d} ,

該 μc -Si 及 μc -Ge 之超晶格層或該 poly-Si 及 μc -Ge 之超晶格層中之第 i 單元的能隙：

$$E_{g4i} \cong E_{g4c} (c_i / (c_i + d_i)) + E_{g4d} (d_i / (c_i + d_i)) ,$$

$c_{i-1} > c_i$, $d_{i-1} < d_i$, $i = 1, 2, \dots, n$, $n = 1 \sim 1000$, 即該 E_{g4} 為漸變 , 及

該 μc -Si 及 μc -Ge 之超晶格層或該 poly-Si 及 μc -Ge 之超晶格層之厚度 W_2 為 $0 \text{ nm} < W_2 \leq 2.5 \mu \text{m}$ 。

16. 如申請專利範圍第 14 或 15 項之薄膜太陽能電池 , 其中 , 該超晶格層係以先成長小能隙、層厚漸增的材料 , 再成長大能隙、層厚漸減的材料之方式形成其組成單元 , 組態定義為 $d_1 c_1 / d_2 c_2 / \dots / d_i c_i / \dots / d_n c_n$ 。

17. 如申請專利範圍第 14 或 15 項之薄膜太陽能電池 , 其中 , 該超晶格層係以先成長大能隙、層厚漸減的材料 ,

再成長小能隙、層厚漸增的材料之方式形成其組成單元，組態定義為 $c_1d_1/c_2d_2/\dots/c_id_i/\dots/c_nd_n$ 。

18.如申請專利範圍第 12 項之薄膜太陽能電池，其中，進一步包括 a-SiO:H 層，係位在該正面接點與該第 1 光吸收層之間。

19.如申請專利範圍第 12 或 18 項之薄膜太陽能電池，其中，進一步包括：一排以上之複數個奈米點，該等奈米點係配置在該薄膜太陽能電池中的任何層。

20.如申請專利範圍第 19 項之薄膜太陽能電池，其中，該等奈米點的材料係選自於由 Si、Ge、金屬、介電常數有別於 SiO₂ 之材料、及其組合之複合材料所構成的群組之一者。

21.如申請專利範圍第 19 項之薄膜太陽能電池，其中，該等奈米點的尺寸範圍為 1nm~100nm。

22.如申請專利範圍第 12 項之薄膜太陽能電池，其中，該後面接點係由 n+ a-Si 所構成，且在該第 3 光吸收層與該後面接點之間進一步包括 n+ μ c-Si 漸變為 a-Si 之層。

23.一種薄膜太陽能電池，其包括：

正面接點；

光吸收層，係形成於該正面接點上；及

後面接點，係形成於該第 2 光吸收層上，

其特徵為該光吸收層是具有漸變能隙之超晶格層。

24.如申請專利範圍第 23 項之薄膜太陽能電池，其中，該正面接點係具有能隙 E_{g1} 之感光材料，該光吸收層係具

有能隙 E_{g2} 之感光材料，該後面接點係具有能隙 E_{g3} 之感光材料，其中 $E_{g1} \geq E_{g2} \geq E_{g3}$ ， E_{g2} 為從 1.8 eV 至 1.1 eV 之一漸變值。

25. 如申請專利範圍第 24 項之薄膜太陽能電池，其中，該超晶格層為 n 型、p 型或 i 型半導體，其組態定義為：

$$a_1 b_1 / a_2 b_2 / \dots / a_i b_i / \dots / a_n b_n$$

a_i ：第 i 單元中 a-Si 層的厚度，能隙 E_{g2a} ，

b_i ：第 i 單元中 μc -Si 或 poly-Si 層的厚度，能隙 E_{g2b} ，

該超晶格層中之第 i 單元的能隙：

$$E_{g2i} = E_{g2a} (a_i / (a_i + b_i)) + E_{g2b} (b_i / (a_i + b_i))，$$

$a_{i-1} > a_i$ ， $b_{i-1} < b_i$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ ， $n = 1 \sim 1000$ ，即 E_{g2}

為漸變，及

該超晶格層之厚度 $W1$ 為 $0 \text{ nm} < W1 \leq 2.5 \mu\text{m}$ 。

26. 如申請專利範圍第 25 項之薄膜太陽能電池，其中，該超晶格層係以先成長小能隙材料再成長大能隙材料的方式形成組成單元，組態定義為 $b_1 a_1 / b_2 a_2 / \dots / b_i a_i / \dots / b_n a_n$ 。

27. 如申請專利範圍第 25 項之薄膜太陽能電池，其中，該超晶格層係以先成長大能隙材料再成長小能隙材料的方式形成其組成單元，組態定義為 $a_1 b_1 / a_2 b_2 / \dots / a_i b_i / \dots / a_n b_n$ 。

28. 如申請專利範圍第 23 項之薄膜太陽能電池，其中，進一步包括：a-SiO:H 層，係位在該正面接點與該光吸收層之間。

29. 如申請專利範圍第 23 或 28 項之薄膜太陽能電池，其

中，進一步包括：一排以上之複數個奈米點，該等奈米點係配置在該薄膜太陽能電池中的任何層。

30.如申請專利範圍第 29 項之薄膜太陽能電池，其中，該等奈米點的材料係選自於由 Si、Ge、金屬、介電常數有別於 SiO_2 之材料、及其組合之複合材料所構成的群組之一者。

31.如申請專利範圍第 29 項之薄膜太陽能電池，其中，該等奈米點的尺寸範圍為 $1\text{nm}\sim 100\text{nm}$ 。

32.如申請專利範圍第 23 項之薄膜太陽能電池，其中，該後面接點係由 $n^+ a\text{-Si}$ 所構成，且在該光吸收層與該後面接點之間進一步包括 $n^+ \mu\text{c-Si}$ 漸變為 $a\text{-Si}$ 之層。

33.一種薄膜太陽能電池，其包括：

正面接點，具有能隙 E_{g1} ；

第 1 光吸收層，係形成於該正面接點上，具有能隙 E_{g2} ；

第 2 光吸收層，係形成於該第 1 光吸收層上，具有能隙 E_{g3} ；

第 3 光吸收層，係形成於該第 2 過渡層上，具有能隙 E_{g4} ；及

後面接點，係形成於該第 3 光吸收層上，具有能隙 E_{g5} ，

其特徵為：該第 1 光吸收層是具有數值從 1.8eV 至 1.1eV 之漸變能隙 E_{g2} 的 $a\text{-Si}$ 及 $\mu\text{c-Si}$ 之超晶格層、或 $a\text{-Si}$ 及 poly-Si 之超晶格層，其中，

該 $a\text{-Si}$ 及 $\mu\text{c-Si}$ 之超晶格層或該 $a\text{-Si}$ 及 poly-Si 之超

晶格層為 n 型、p 型或 i 型半導體，其組態定義為：

$$a_1 b_1 / a_2 b_2 / \dots / a_i b_i / \dots / a_n b_n$$

a_i ：第 i 單元中 a-Si 層的厚度，能隙 E_{g2a} ，

b_i ：第 i 單元中 μc -Si 或 poly-Si 層的厚度，能隙 E_{g2b} ，

該 a-Si 及 μc -Si 之超晶格層或該 a-Si 及 poly-Si 之超晶格層中之第 i 單元的能隙：

$$E_{g2i} = E_{g2a} (a_i / (a_i + b_i)) + E_{g2b} (b_i / (a_i + b_i))，$$

$a_{i-1} > a_i$ ， $b_{i-1} < b_i$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ ， $n = 1 \sim 1000$ ，即 E_{g2} 為漸變，及

該 a-Si 及 μc -Si 之超晶格層或該 a-Si 及 poly-Si 之超晶格層之厚度 $W1$ 為 $0 \text{ nm} < W1 \leq 2.5 \mu\text{m}$ ；

該第 2 光吸收層是具有數值從 1.1 eV 至 0.7 eV 之漸變能隙 E_{g3} 的 μc -Si 及 μc -Ge 之超晶格層、或 poly-Si 及 μc -Ge 之超晶格層；

該第 3 光吸收層為 n 型 μc -Ge 層。

34. 如申請專利範圍第 33 項之薄膜太陽能電池，其中，該正面接點係具有能隙 E_{g1} 之感光材料，該第 1 光吸收層係具有能隙 E_{g2} 之感光材料，該第 2 光吸收層係具有能隙 E_{g3} 之感光材料，該第 3 光吸收層係具有能隙 E_{g4} 之感光材料，該後面接點係具有能隙 E_{g5} 之感光材料，其中 $E_{g1} \geq E_{g2} \geq E_{g3} \geq E_{g4} \geq E_{g5}$ 。

35. 如申請專利範圍第 33 項之薄膜太陽能電池，其中，該 μc -Si 及 μc -Ge 之超晶格層或該 poly-Si 及 μc -Ge 之超晶格層為 n 型、p 型或 i 型半導體，其組態定義為：

$$c_1 d_1 / c_2 d_2 / \dots / c_i d_i / \dots / c_n d_n$$

c_i : 第 i 單元中 μc -Si 或 poly-Si 層的厚度, 能隙 E_{g4c} ,

d_i : 第 i 單元中 μc -Ge 層的厚度, 能隙 E_{g4d} ,

該 μc -Si 及 μc -Ge 之超晶格層或該 poly-Si 及 μc -Ge 之超晶格層中之第 i 單元的能隙:

$$E_{g4i} = E_{g4c} (c_i / (c_i + d_i)) + E_{g4d} (d_i / (c_i + d_i)),$$

$c_{i-1} > c_i$, $d_{i-1} < d_i$, $i = 1, 2, \dots, n$, $n = 1 \sim 1000$, 即該 E_{g4} 為漸變, 及

該 μc -Si 及 μc -Ge 之超晶格層或該 poly-Si 及 μc -Ge 之超晶格層之厚度 $W2$ 為 $0 \text{ nm} < W2 \leq 2.5 \mu \text{m}$ 。

36. 如申請專利範圍第 35 項之薄膜太陽能電池, 其中, 該超晶格層係以先成長小能隙、層厚漸增的材料, 再成長大能隙、層厚漸減的材料之方式形成其組成單元, 組態定義為 $d_1 c_1 / d_2 c_2 / \dots / d_i c_i / \dots / d_n c_n$ 。

37. 如申請專利範圍第 35 項之薄膜太陽能電池, 其中, 該超晶格層係以先成長大能隙、層厚漸減的材料, 再成長小能隙、層厚漸增的材料之方式形成其組成單元, 組態定義為 $c_1 d_1 / c_2 d_2 / \dots / c_i d_i / \dots / c_n d_n$ 。

38. 如申請專利範圍第 33 項之薄膜太陽能電池, 其中, 進一步包括 $a\text{-SiO:H}$ 層, 係位在該正面接點與該第 1 光吸收層之間。

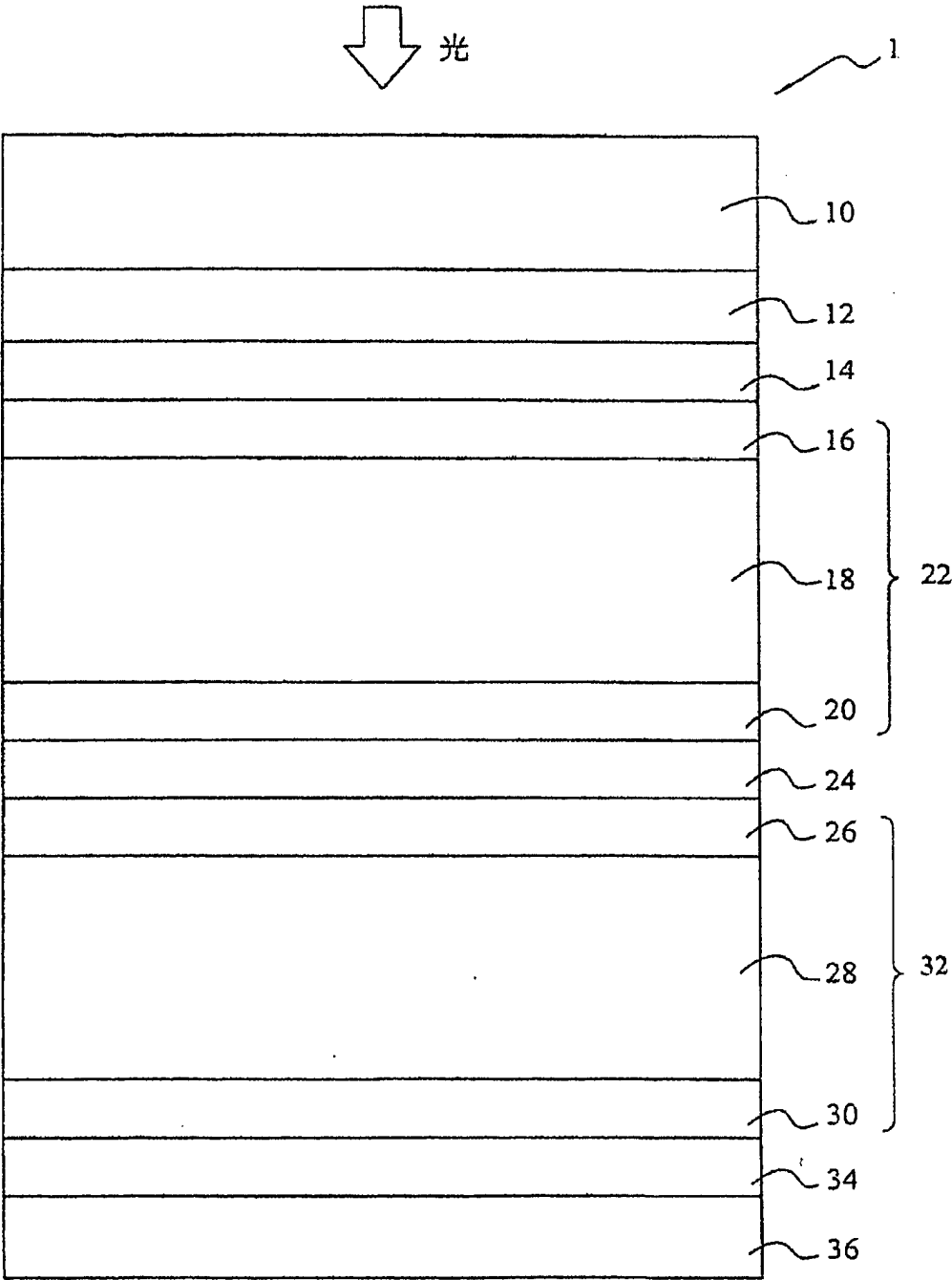
39. 如申請專利範圍第 33 或 38 項之薄膜太陽能電池, 其中, 進一步包括: 一排以上之複數個奈米點, 該等奈米點係配置在該薄膜太陽能電池中的任何層。

40. 如申請專利範圍第 39 項之薄膜太陽能電池, 其中, 該等奈米點的材料係選自於由 Si、Ge、金屬、介電常數有

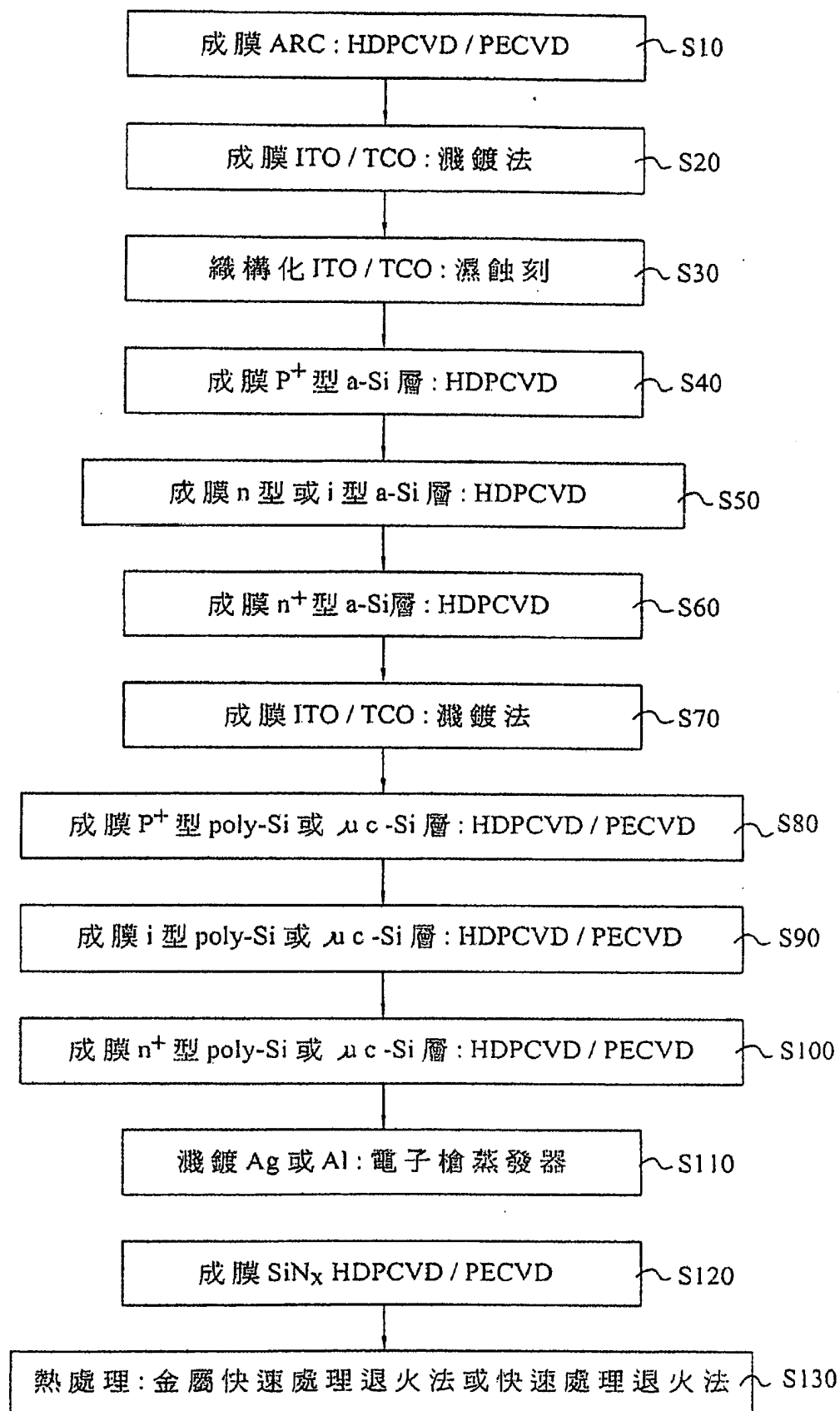
別於 SiO_2 之材料、及其組合之複合材料所構成的群組之一者。

41. 如申請專利範圍第 39 項之薄膜太陽能電池，其中，該等奈米點的尺寸範圍為 $1\text{ nm} \sim 100\text{ nm}$ 。
42. 如申請專利範圍第 33 項之薄膜太陽能電池，其中，該後面接點係由 $n^+ a\text{-Si}$ 所構成，且在該第 3 光吸收層與該後面接點之間進一步包括 $n^+ \mu c\text{-Si}$ 漸變為 $a\text{-Si}$ 之層。
43. 一種製造如申請專利範圍第 1 至 42 項中任一項之薄膜太陽能電池之方法，使用選自由高密度電漿化學氣相沉積系統 (HDPCVD)、電漿強化化學氣相沉積系統 (PECVD)、金屬有機化學氣相沉積系統 (MOCVD)、分子束磊晶系統 (MBE)、超高真空化學氣相沉積系統 (UHVCVD)、原子層沉積系統 (ALD)、及光化學氣相沉積系統 (Photo-CVD) 所構成之群組的成膜系統來形成不同晶相、不同摻雜及不同厚度的各層薄膜。
44. 如申請專利範圍第 43 項之方法，其中不同晶相薄膜之形成係藉由在成膜期間控制氫的流量來調整薄膜的結晶率 (crystallinity)。
45. 一種設備，其包含如申請專利範圍第 1 至 42 項中任一項之薄膜太陽能電池。
46. 一種器件，其包含如申請專利範圍第 1 至 42 項中任一項之薄膜太陽能電池。
47. 一種應用，其使用如申請專利範圍第 1 至 42 項中任一項之薄膜太陽能電池。

八、圖式：

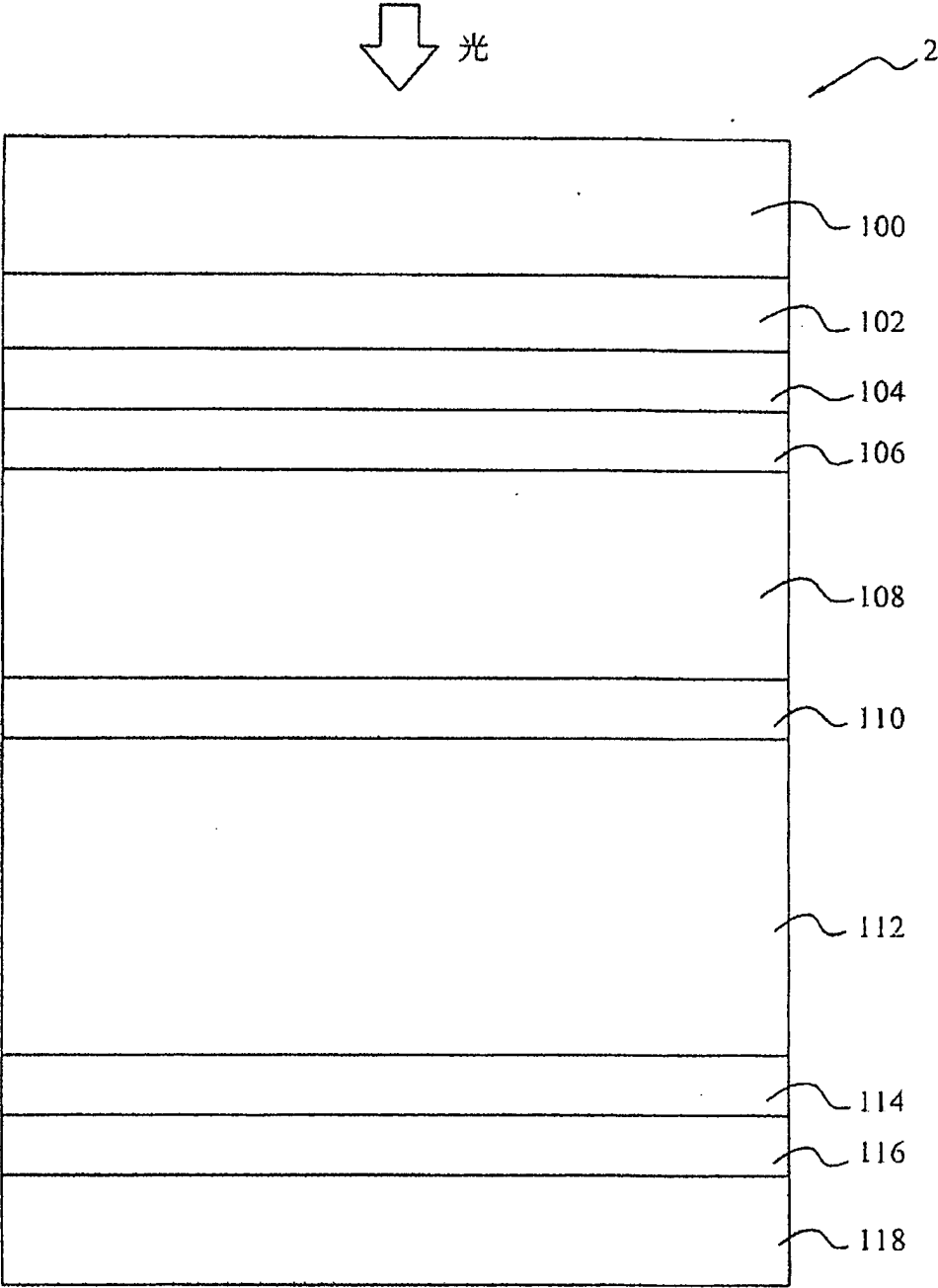


(先前技術)
第 1 圖

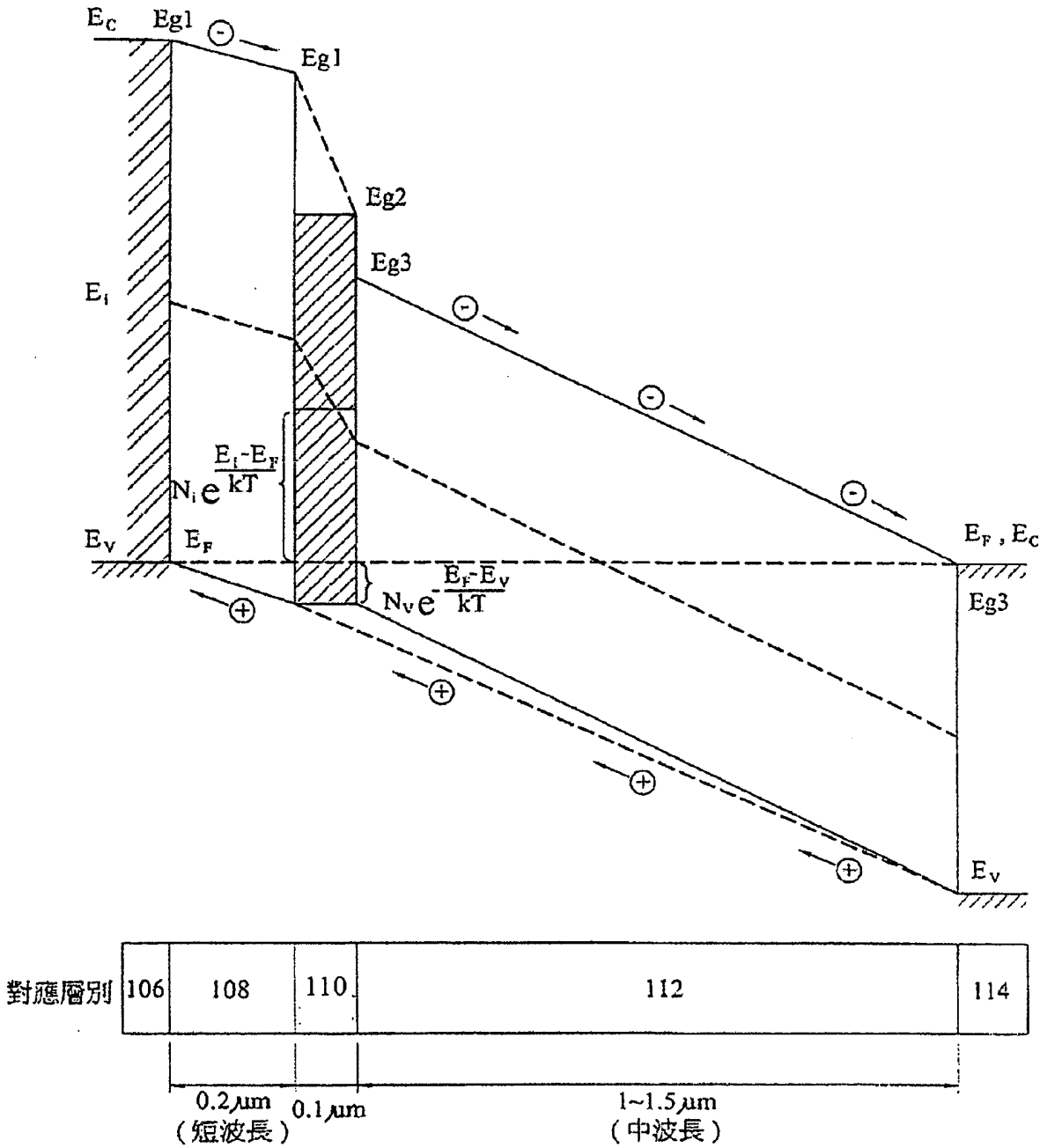


(先前技術)

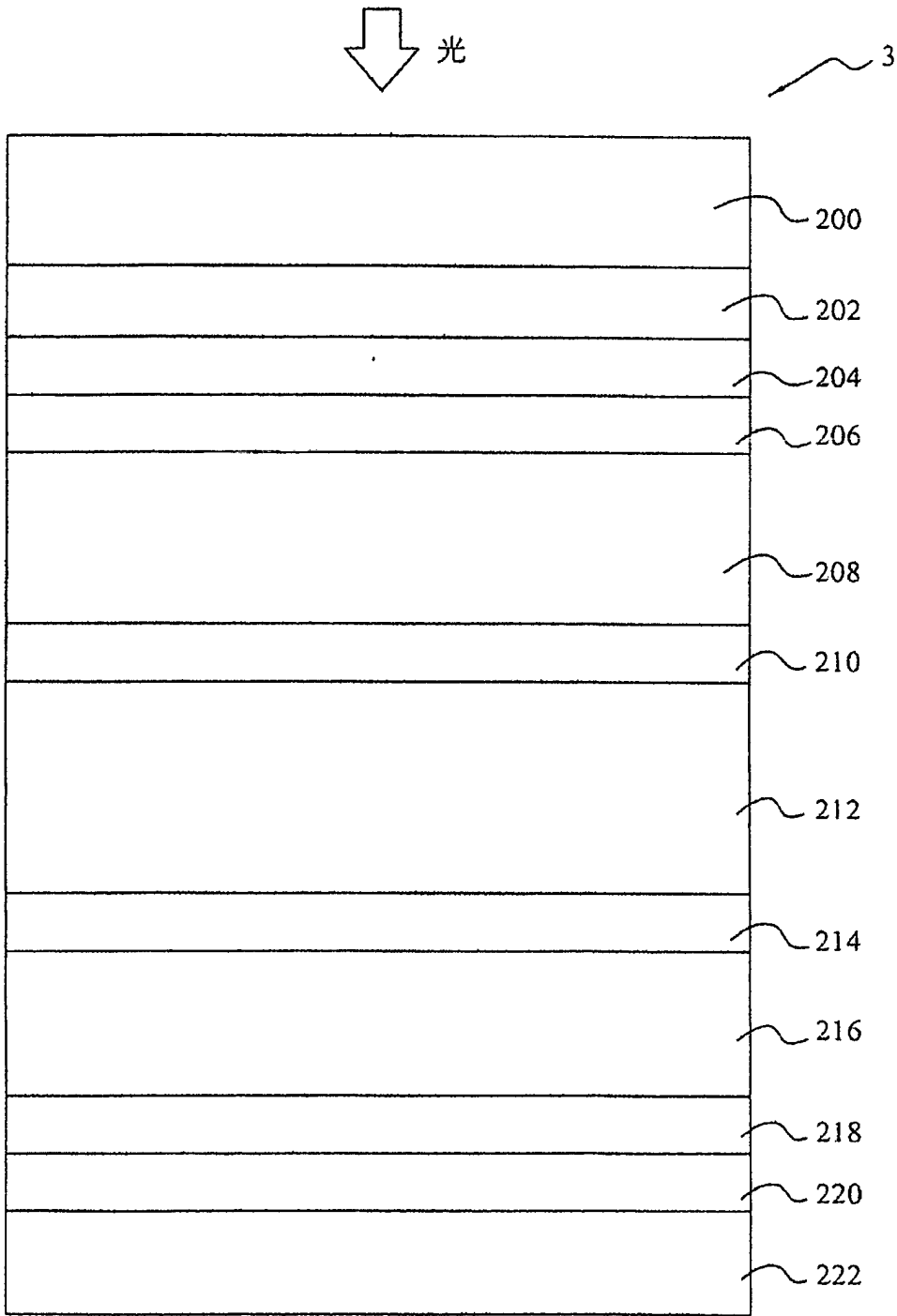
第 2 圖



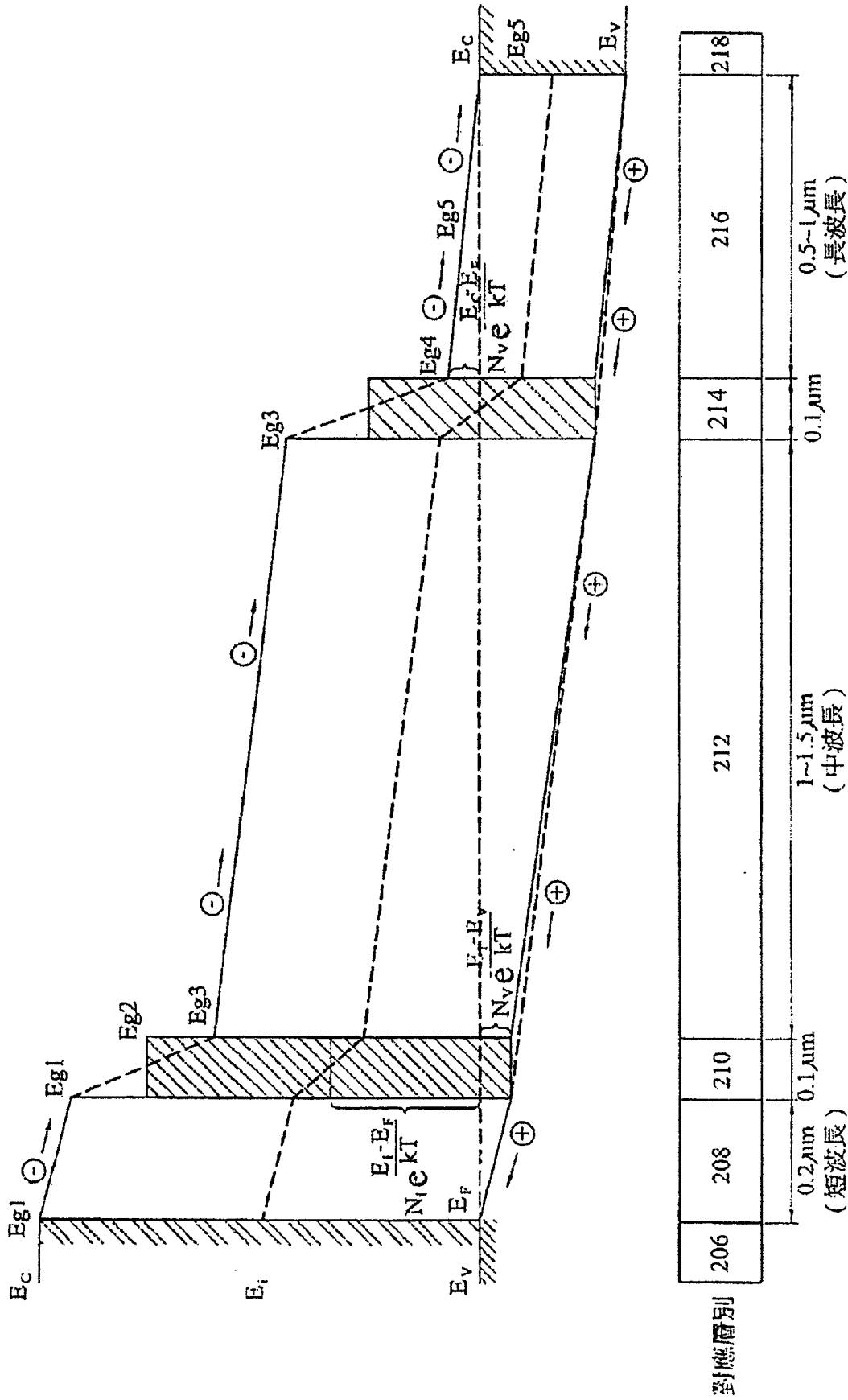
第 3 圖



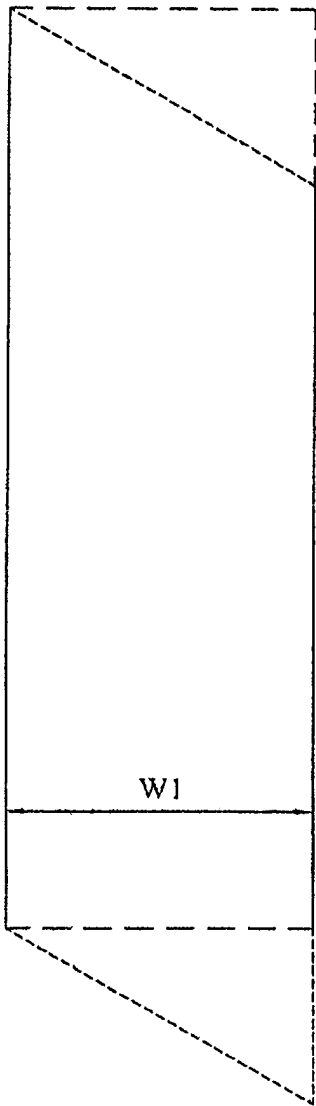
第 4 圖



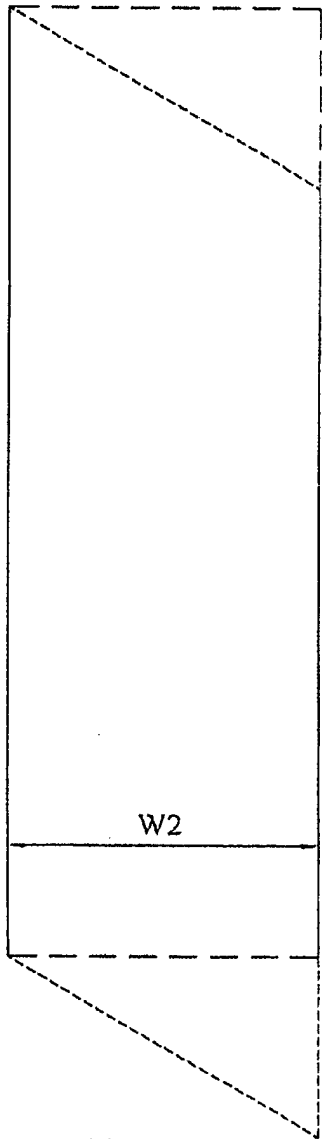
第 6 圖



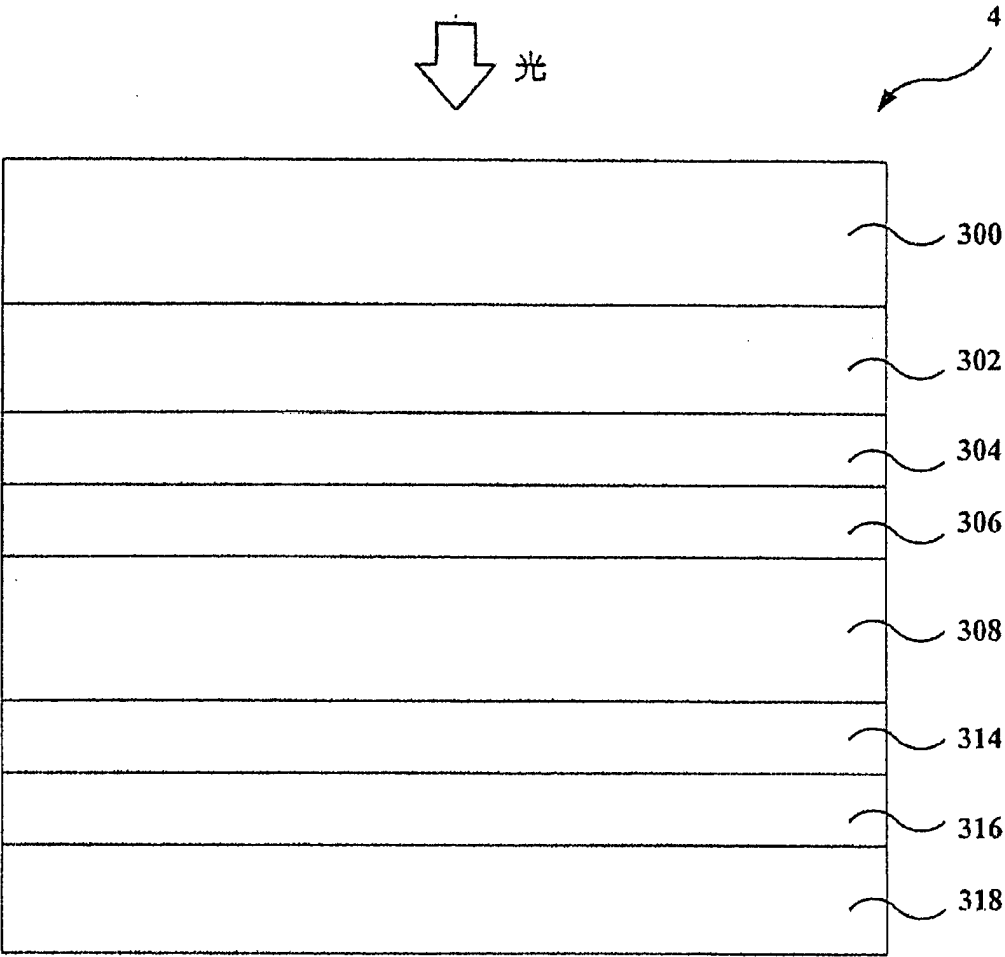
第 7 圖



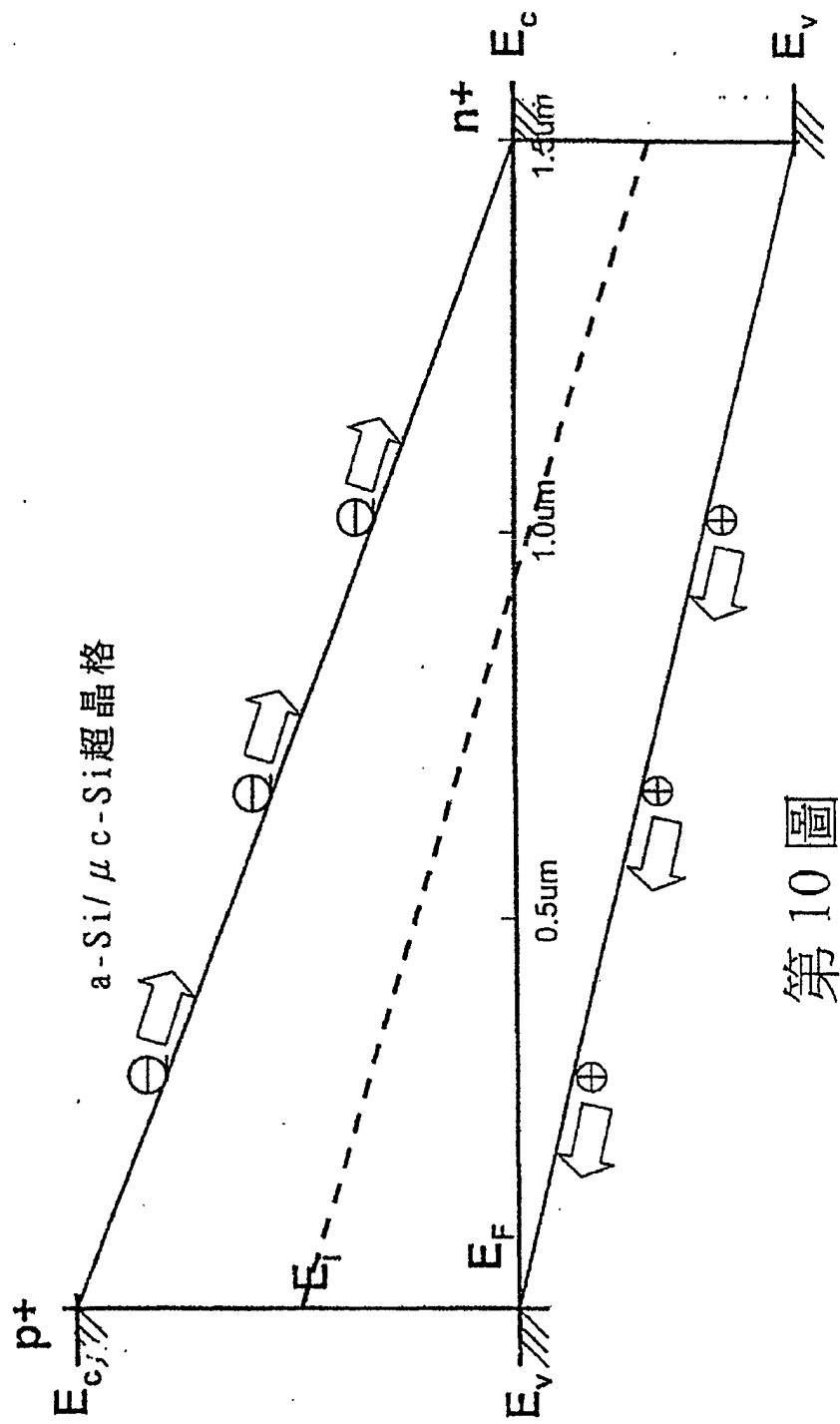
第 5 圖



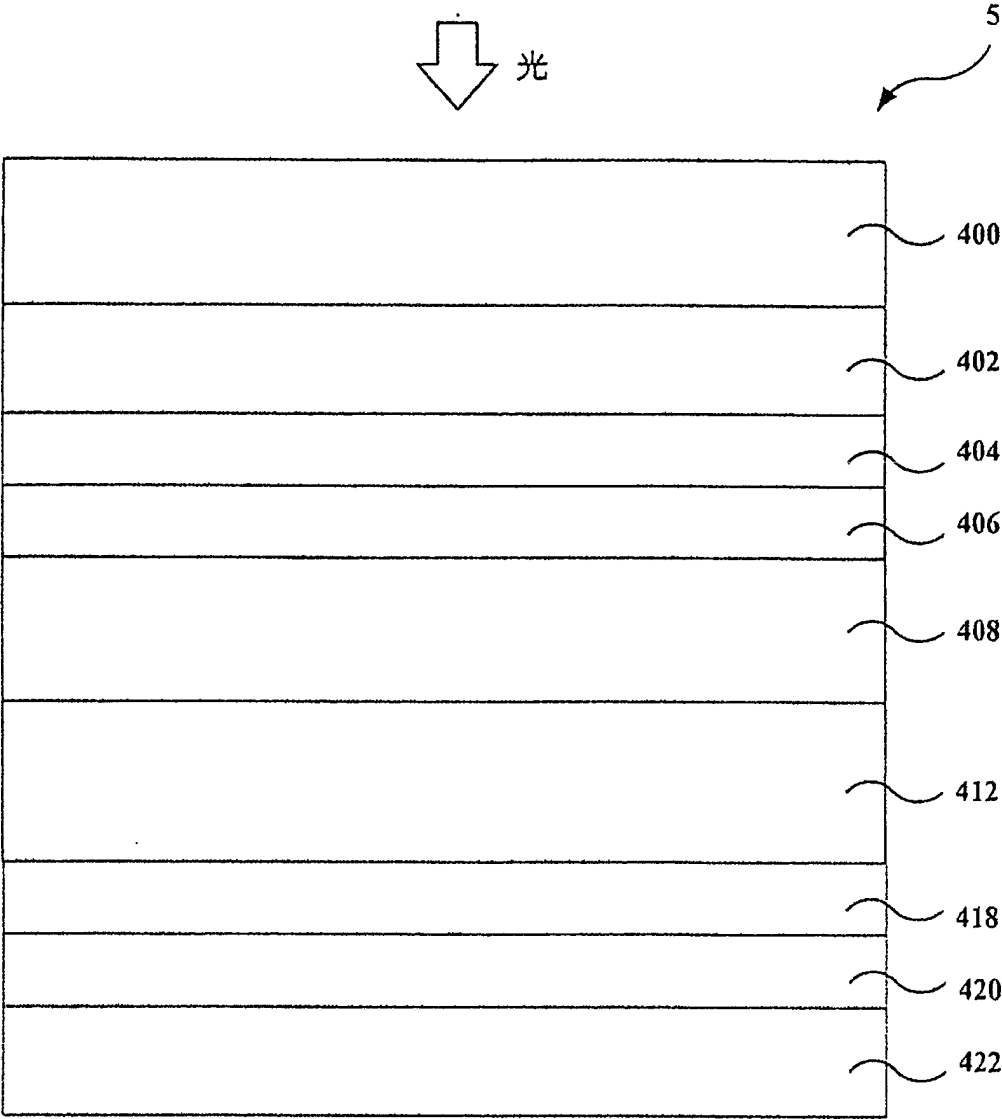
第 8 圖



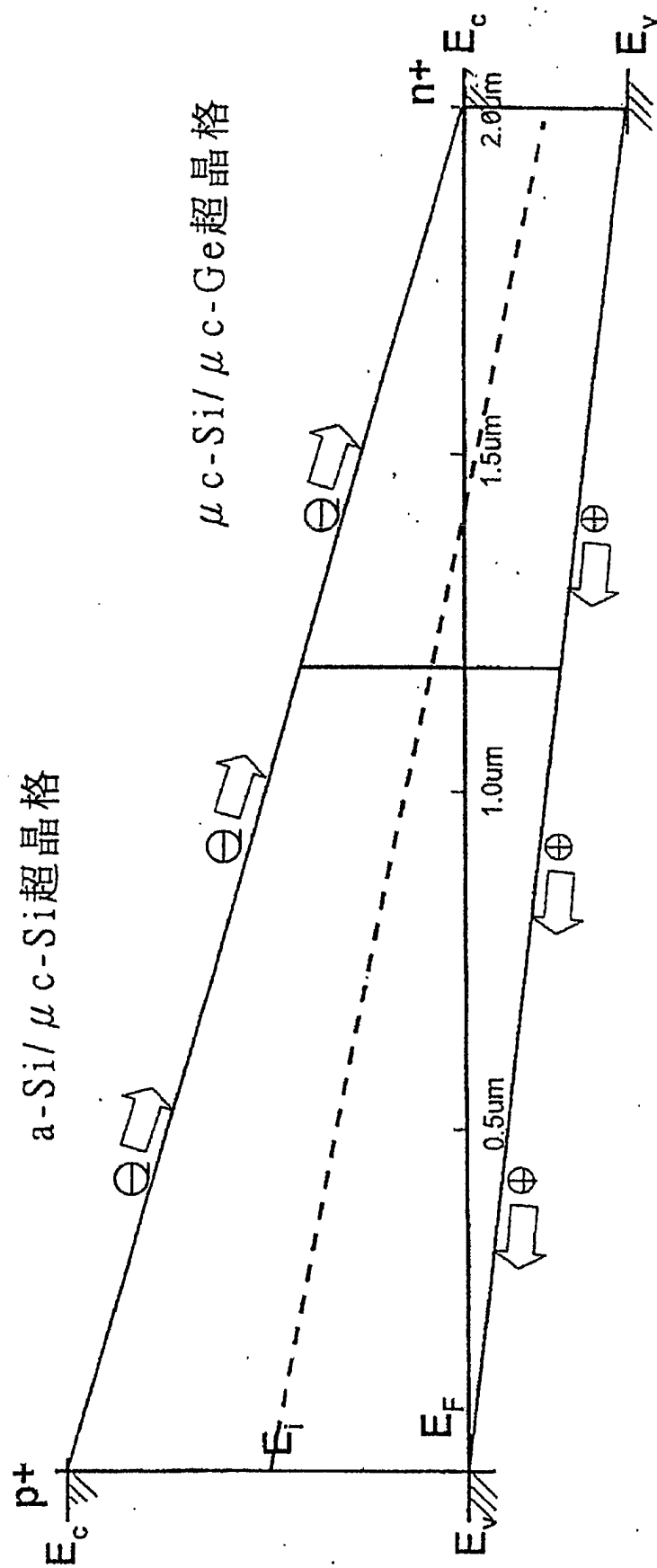
第 9 圖



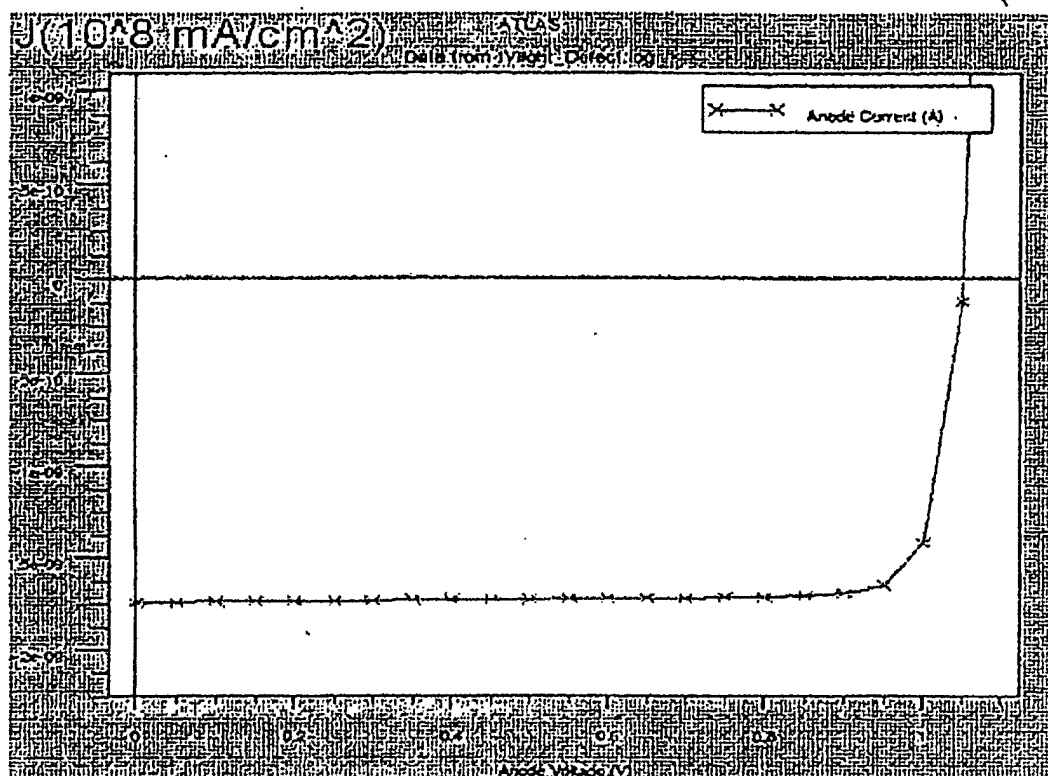
第 10 圖



第 11 圖

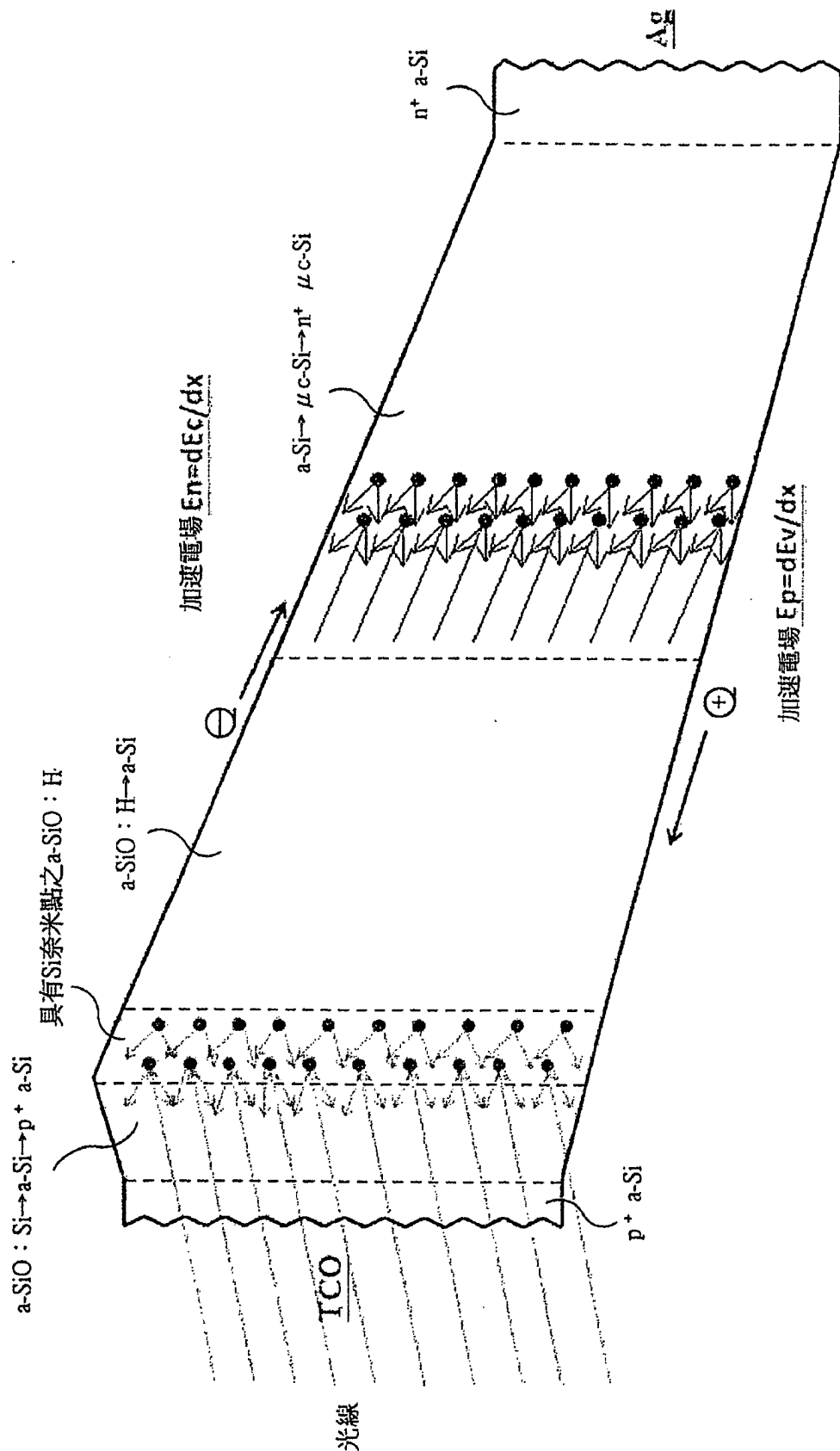


第12圖

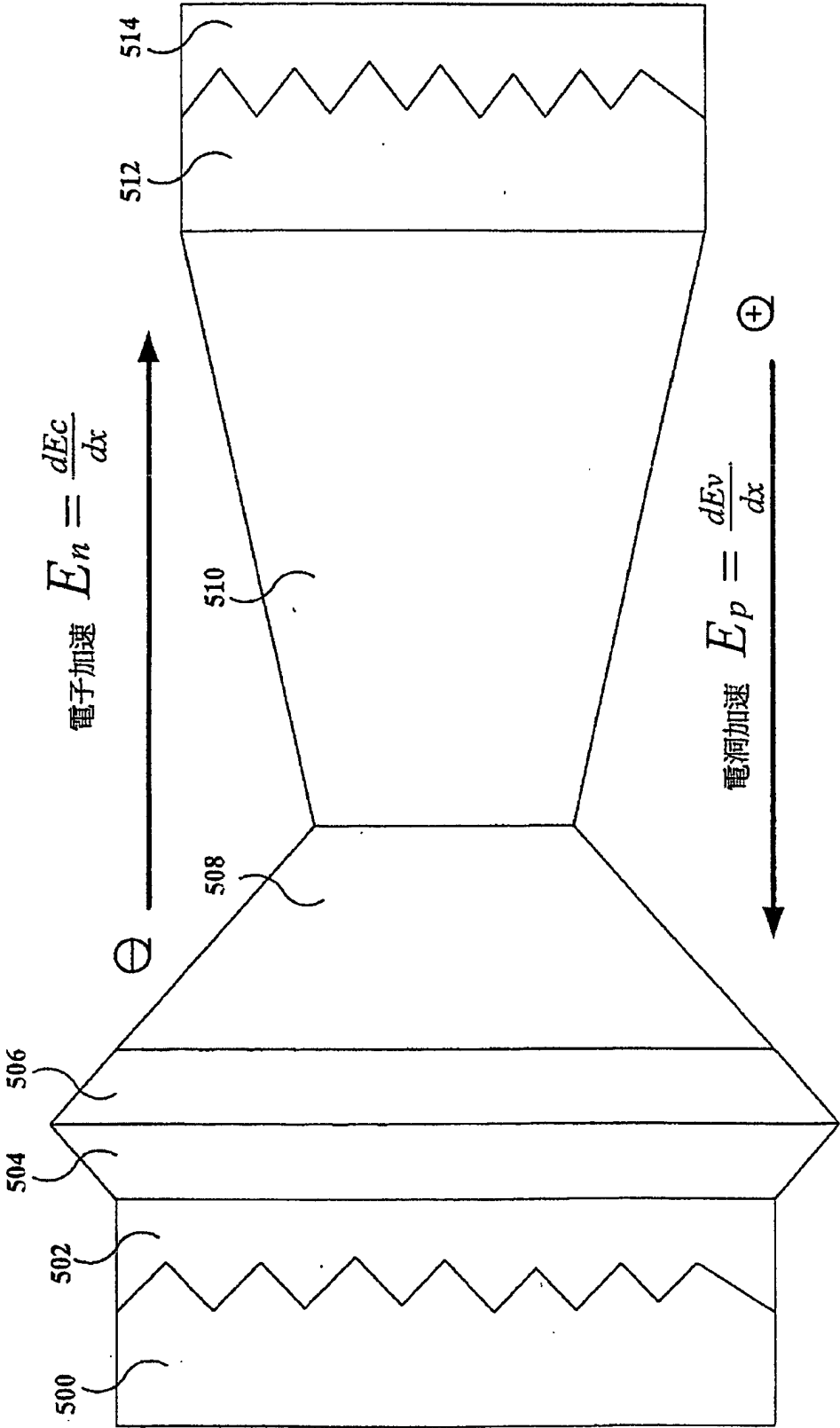


超晶格型式	Jsc	Voc	FF	η
固定能隙 1.4eV	17.41	1.058	0.855	15.65%
漸變能隙	23.6	0.96	0.76	17.4%

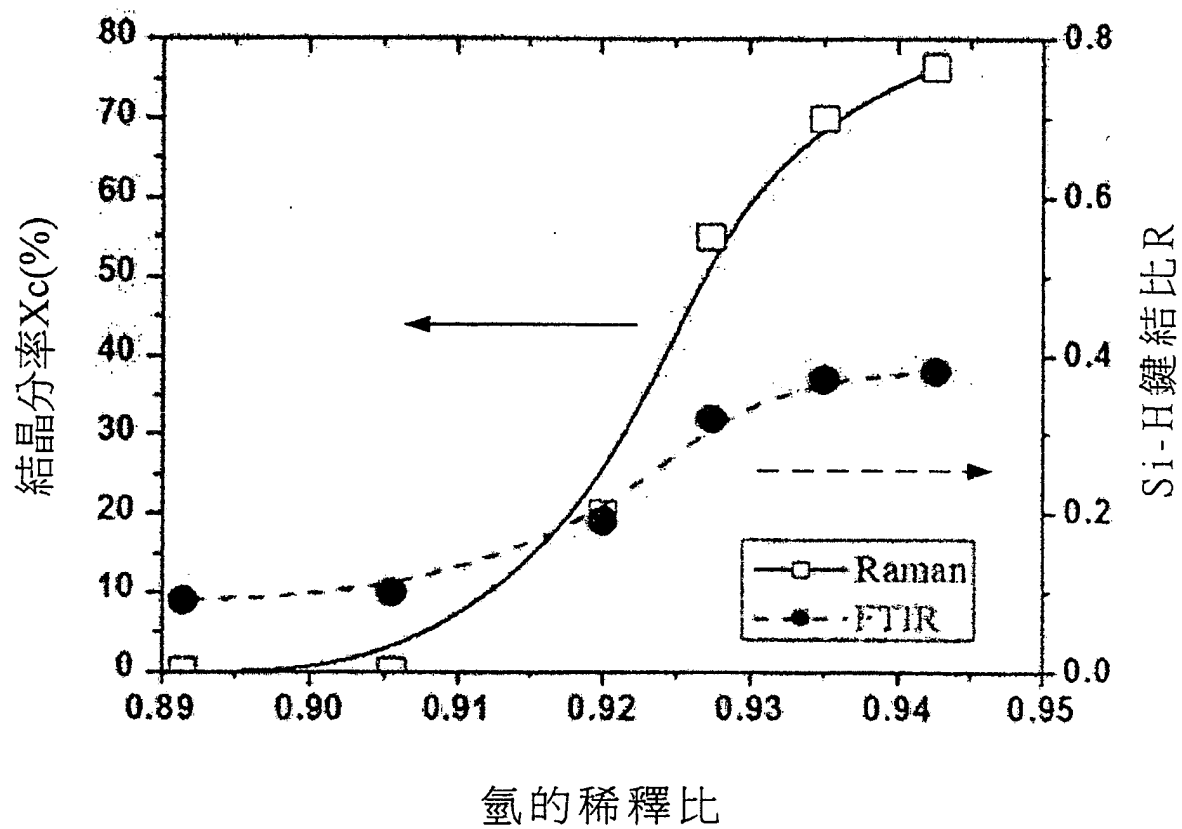
第 13 圖



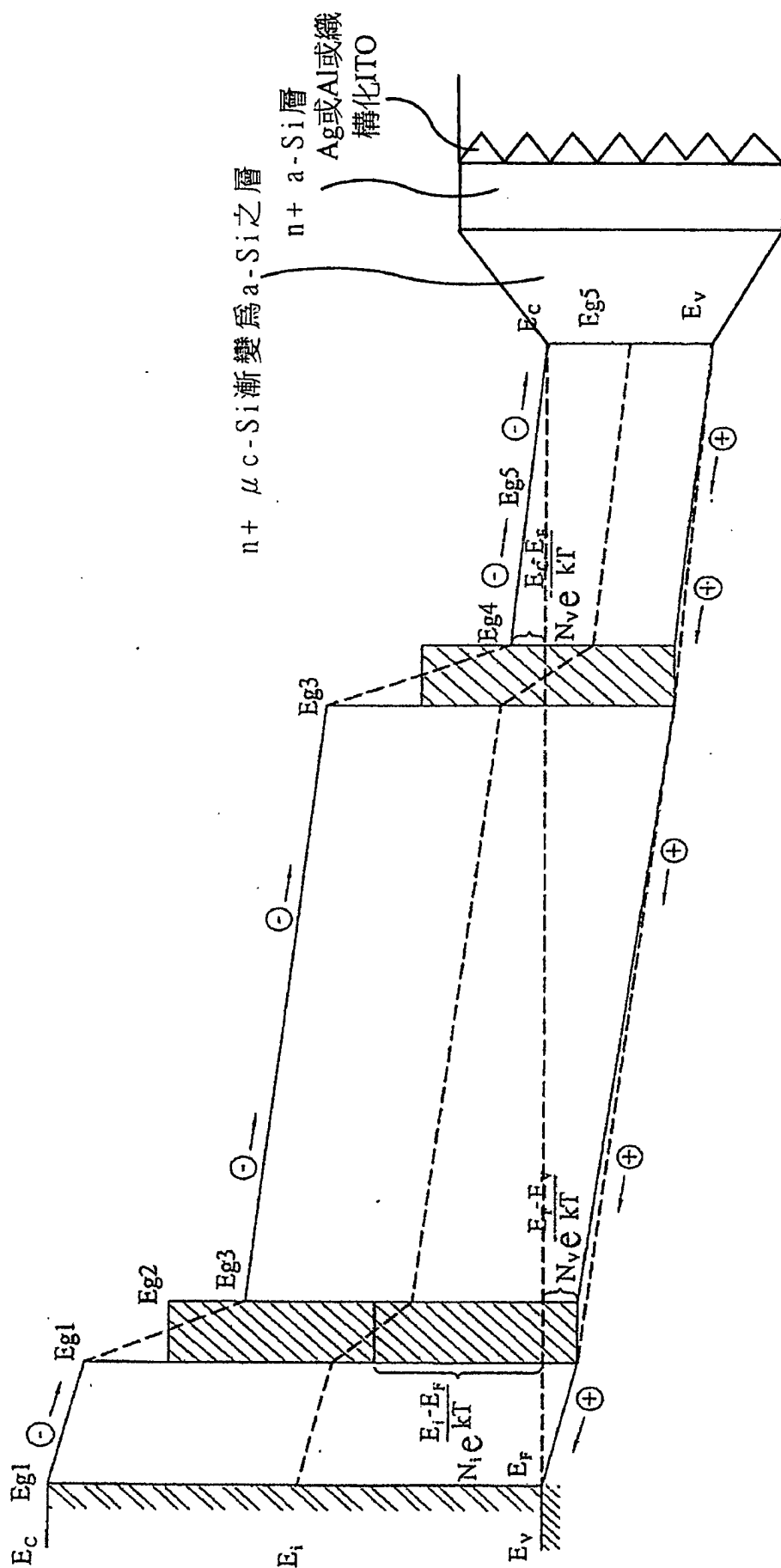
第14圖



第 15 圖



第 16 圖



第18圖