



(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 I600173 B

(45) 公告日：中華民國 106 (2017) 年 09 月 21 日

(21) 申請案號：102149279

(22) 申請日：中華民國 102 (2013) 年 12 月 31 日

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

H01L31/18 (2006.01)

(30) 優先權：2013/01/03 美國

13/733,362

(71) 申請人：索埃爾科技公司 (美國) SOLAERO TECHNOLOGIES, CORP. (US)
美國(72) 發明人：理查斯 班傑明 C RICHARDS, BENJAMIN C. (US)；林勇 LIN, YONG (CN)；夏
普斯 保羅 R SHARPS, PAUL R. (US)；帕特爾 普拉溫 PATEL, PRAVIN (US)

(74) 代理人：陳長文

(56) 參考文獻：

TW 200933913A

US 2004/0084694A1

US 2008/0163920A1

US 2008/0257405A1

US 2012/0240987A1

審查人員：蕭盛澤

申請專利範圍項數：19 項 圖式數：6 共 32 頁

(54) 名稱

在中間電池中具有低能隙吸收層之多接面太陽能電池及其製造方法

MULTIJUNCTION SOLAR CELL WITH LOW BAND GAP ABSORBING LAYER IN THE MIDDLE
CELL AND METHOD FOR FABRICATING THE SAME

(57) 摘要

本發明係關於一種多接面光伏電池，其包括頂部子電池；經安置與該頂部子電池直接相鄰且產生第一光生電流之第二子電池；且包括具有不同晶格常數之第一及第二不同半導體層之序列；及經安置與該第二子電池直接相鄰且產生數量實質上等於該第一光生電流密度之第二光生電流之下部子電池。

A multijunction photovoltaic cell including a top subcell; a second subcell disposed immediately adjacent to the top subcell and producing a first photo-generated current; and including a sequence of first and second different semiconductor layers with different lattice constant; and a lower subcell disposed immediately adjacent to the second subcell and producing a second photo-generated current substantially equal in amount to the first photo-generated current density.

指定代表圖：

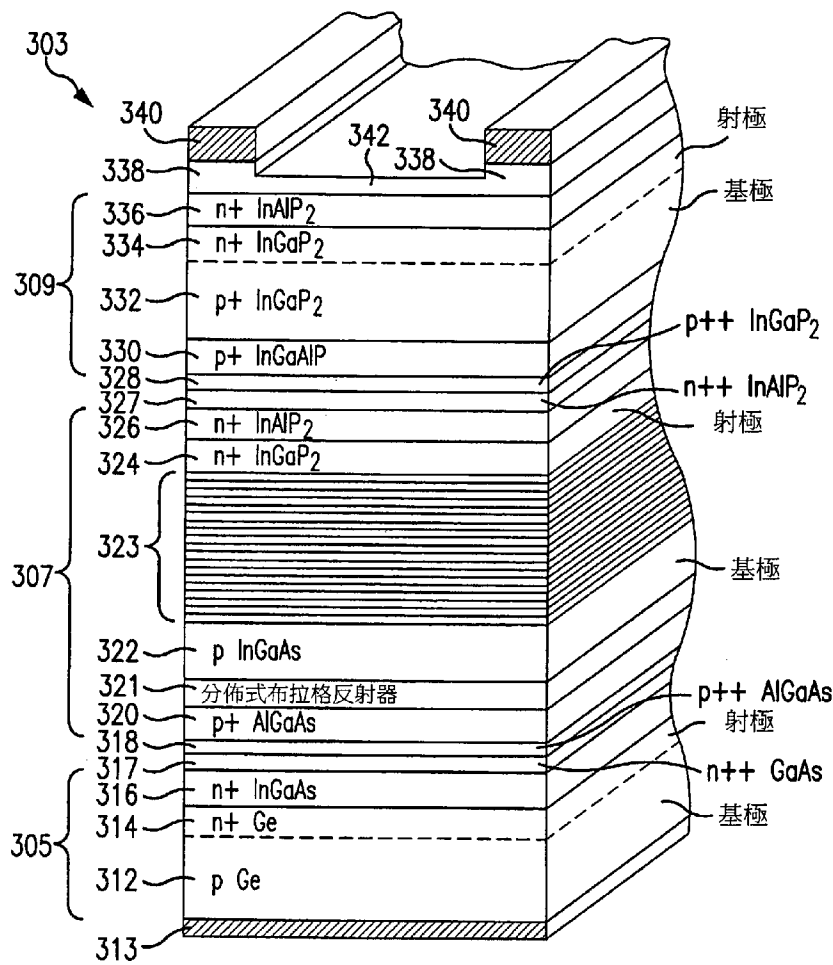


圖 3

符號簡單說明：

303 . . . 多接面太陽能電池裝置/多接面太陽能電池/多接面太陽能電池結構

305 . . . 底部子電池

307 . . . 中間子電池

309 . . . 頂部子電池

312 . . . 基極層/基板

313 . . . 接觸墊

314 . . . 高度摻雜之 n-型 Ge 射極層/n-型 Ge 層

316 . . . 成核層

317 . . . 隧道二極體/穿隧界面層/頂部隧道界面層

318 . . . 穿隧界面層/隧道二極體

320 . . . 背表面場層

321 . . . 分佈式布拉格反射器層

322 . . . 基極層

323 . . . 應變平衡之量子井結構/中間能隙層/應變平衡之多量子井或量子點層結構/本質層

324 . . . 射極層

326 . . . 窗口層

327 . . . 穿隧界面層

328 . . . 穿隧界面層

330 . . . 背表面場層

332 . . . 基極層

334 . . . 射極層

336 . . . 窗口層

338 . . . 帽層

340 . . . 金屬柵極層

I600173

TW I600173 B

342 · · · 抗反射塗層



申請日：102-12-31

IPC分類：H01L31/042(2014.01)

H01L31/18(2006.01)

發明摘要

※ 申請案號：102149279

※ 申請日：102年12月31日

※IPC 分類：H01L

【發明名稱】

在中間電池中具有低能隙吸收層之多接面太陽能電池及其製造方法

MULTIJUNCTION SOLAR CELL WITH LOW BAND GAP
ABSORBING LAYER IN THE MIDDLE CELL AND METHOD
FOR FABRICATING THE SAME

【中文】

本發明係關於一種多接面光伏電池，其包括頂部子電池；經安置與該頂部子電池直接相鄰且產生第一光生電流之第二子電池；且包括具有不同晶格常數之第一及第二不同半導體層之序列；及經安置與該第二子電池直接相鄰且產生數量實質上等於該第一光生電流密度之第二光生電流之下部子電池。

【英文】

A multijunction photovoltaic cell including a top subcell; a second subcell disposed immediately adjacent to the top subcell and producing a first photo-generated current; and including a sequence of first and second different semiconductor layers with different lattice constant; and a lower subcell disposed immediately adjacent to the second subcell and producing a second photo-generated current substantially equal in amount to the first photo-generated current density.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第(3)圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

- 303 多接面太陽能電池裝置/多接面太陽能電池/多接面太陽能電池結構
- 305 底部子電池
- 307 中間子電池
- 309 頂部子電池
- 312 基極層/基板
- 313 接觸墊
- 314 高度摻雜之n-型Ge射極層/n-型Ge層
- 316 成核層
- 317 隧道二極體/穿隧接面層/頂部隧道接面層
- 318 穿隧接面層/隧道二極體
- 320 背表面場層
- 321 分佈式布拉格反射器層
- 322 基極層
- 323 應變平衡之量子井結構/中間能隙層/應變平衡之多量子井或量子點層結構/本質層
- 324 射極層
- 326 窗口層
- 327 穿隧接面層
- 328 穿隧接面層
- 330 背表面場層
- 332 基極層
- 334 射極層

- 336 窗口層
- 338 帽層
- 340 金屬柵極層
- 342 抗反射塗層

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

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】

在中間電池中具有低能隙吸收層之多接面太陽能電池及其製造方法
MULTIJUNCTION SOLAR CELL WITH LOW BAND GAP
ABSORBING LAYER IN THE MIDDLE CELL AND METHOD
FOR FABRICATING THE SAME

政府權利聲明

本發明係依照合同號NRO 000-10-C-0285在政府支持下完成。政府對本發明擁有一定權利。

【技術領域】

本發明係關於太陽能電池及太陽能電池之製造，且更具體而言係關於基於III-V半導體化合物之多接面太陽能電池中之中間電池的設計及規範。

【先前技術】

來自光伏電池(亦稱作太陽能電池)之太陽能主要係由矽半導體技術來提供。然而，在過去幾年中，用於太空應用之III-V化合物半導體多接面太陽能電池之大規模製造加快了該技術之研發，其不僅用於太空應用且亦用於地面太陽能應用。與矽相比，III-V化合物半導體多接面裝置具有更高能量轉換效率及一般更高輻射電阻，但其製造往往更複雜。典型市售III-V化合物半導體多接面太陽能電池在一個太陽照明(氣團0 (AM0))下具有超過27%之能量效率，而即使最有效之矽技術在相當條件下一般僅達到約18%之效率。在高太陽濃度(例如，500x)下，市售III-V化合物半導體多接面太陽能電池在地面應用(在AM1.5D下)中之能量效率超過37%。III-V化合物半導體太陽能電池與矽太陽能電池相比較高之轉換效率部分係基於藉助使用具有不同能隙能量之

複數個光伏打區域達成入射輻射之光譜分裂並自每一區域累積電流之能力。

在衛星及其他太空相關應用中，衛星動力系統之大小、質量及成本取決於所用太陽能電池之功率及能量轉換效率。換言之，機載設施之酬載大小及可用度與所提供功率之量成比例。因此，隨著酬載變得更複雜，太陽能電池之功率對重量比變得愈來愈重要，且人們對更輕之重量愈來愈關注，「薄膜」型太陽能電池同時具有高效率及低質量。

將太陽能(或光子)轉換為電能之能量轉換效率取決於多種因素，例如太陽能電池結構之設計、半導體材料之選擇及每一電池之厚度。簡言之，每一太陽能電池之能量轉換效率取決於太陽光譜中可用日光之最適度利用。因此，半導體材料中之日光吸收特徵(亦稱作光伏打性質)對確定達成最適度能量轉換之最有效半導體至關重要。

多功能太陽能電池係由太陽能子電池之垂直或堆疊序列形成，每一子電池由適宜半導體層形成且包括p-n光活性結。每一子電池經設計以將不同光譜或波長帶中之光子轉換為電流。在日光射在太陽能電池正面上且光子穿過子電池後，波長帶中在一個子電池區域中未被吸收並轉換為電能之光子傳播至下一個子電池，其中意欲捕獲該等光子並將其轉換為電能，假定下遊子電池經設計用於具體波長或能量帶之光子。

多接面太陽能電池之能量轉換效率受諸如以下等因素影響：子電池數目、每一子電池之厚度以及每一子電池之能帶結構、電子能級、傳導及吸收。諸如短路電流密度(J_{sc})、開路電壓(V_{oc})及填充因數等因素亦很重要。

在選擇用於太陽能電池之半導體層時，一個重要的機械或結構考慮因素係太陽能電池中相鄰半導體材料層之需要，即沈積並生長以

形成太陽能電池之每一結晶半導體材料層具有類似晶格常數或參數。

多種III-V裝置(包括太陽能電池)係藉由III-V化合物半導體在相對較厚基板上之薄層磊晶生長來製造。基板通常為Ge、GaAs、InP或其他塊狀材料，其用作形成沈積磊晶層之模板。磊晶層中之原子間距或晶格常數一般會與基板一致，因此磊晶材料之選擇將受限於彼等晶格常數與基板材料類似之材料。圖1顯示各種III-V二元材料與常用基板材料之能隙之間之聯繫。三元III-V半導體合金之特徵亦可藉由參考二元材料對之間之實線自圖來推斷，例如，InGaAs合金之特徵表示為GaAs與InAs之間之線，此取決於在該三元合金中發現之In之百分比。

假定Ge或GaAs基板，與具有預定原子間距之磊晶層相關之晶格失配之量展示於下表1中。

表1

原子間距 磊晶層 (埃)	晶格失配 (%)
5.71	1%
5.76	2%
5.82	3%
5.875	4%
5.93	5%

太陽能電池中相鄰半導體層之間之晶格常數失配造成晶體中之缺陷或差排，此進而導致光伏打效率因不期望之現象(稱作開路電壓、短路電流及填充因數)而降格。

能量轉換效率(即太陽能電池上之給定量或通量之入射光子產生之電功率之量)係藉由所得電流及電壓(稱作光電流及光電壓)來量測。如果半導體裝置之每一太陽能電池界面皆電流匹配，換言之，多界面

裝置中每一太陽能子電池之電特徵使得每一子電池產生之電流皆相同，則可改良聚集之光電流流動。

子電池之間之電流匹配對於太陽能電池之總體效率至關重要，此乃因在多接面太陽能電池裝置中，裝置中之個別子電池係串聯電連接。在串聯電路中，穿過電路之總體電流受限於電路中任一個別電池之最小電流承受能力。電流匹配藉由指定及控制(藉由控制製造製程)以下二者基本上均衡每一電池之電流承受能力：(i) 用於形成電池接面之各種半導體材料之相對能隙能量吸收能力，及(ii) 多接面裝置中每一半導體電池之厚度。

與光電流不同，每一半導體電池產生之光電壓係加和性的，且多電池太陽能電池中之每一半導體電池較佳地經選擇以提供功率吸收之較小增量(例如，一系列逐漸減小之能隙能量)，從而改良太陽能電池之總功率(且特定而言電壓)輸出。

在製造期間控制該等參數在於自眾多種材料及材料化合物中適當地選擇最適宜之材料結構。然而，該等先前技術太陽能電池層經常出現晶格失配，即使輕微失配(例如小於1%)，亦可導致光伏打品質降格及效率降低。此外，即使在達成晶格匹配時，該等先前技術太陽能電池亦經常無法獲得所期望之光電壓輸出。此低效率至少部分係由於難以使每一半導體電池與基板之常用及較佳材料(例如鍺(Ge)或砷化鎵(GaAs)基板)晶格匹配所致。

如上文所論述，每一連續接面較佳地以略小能隙吸收能量，以更有效地轉換全光譜太陽能。就此而言，以能隙能量遞減之順序堆疊太陽能電池。然而，與上述較佳基板材料具有相同晶格常數之已知半導體材料(及相應之能隙)之有限選擇仍使得難以設計並製造具有高轉換效率及適當製造產率之多接面太陽能電池。

尤其在增加太陽光譜覆蓋率之多接面結構中，太陽能電池之物

理或結構設計亦可增強太陽能電池之性能及轉換效率。太陽能電池通常係藉由在n-型層與p-型層之間形成同質界面來製造。裝置向陽側上之界面之薄最高層稱作射極。相對較厚之底部層稱作基極。然而，與習知多界面太陽能電池結構相關之一個問題與多界面太陽能電池結構中之同質界面中間太陽能電池相關之相對較低之性能。同質界面太陽能電池之性能通常受限於射極之材料質量，該質量在同質界面裝置中較低。低材料質量通常包括諸如以下等因素：較差表面鈍化、各層之間之晶格失配及/或所選材料之狹窄能隙。

包括多個彼此垂直堆疊之子電池之多界面太陽能電池結構吸收擴大範圍之太陽光譜。然而，已證實僅藉助能隙工程及晶格匹配來提高多界面太陽能電池結構之裝置效率愈來愈難。

習用III-V太陽能電池通常使用多種化合物半導體材料，例如磷化鎵銻(InGaP)、砷化鎵(GaAs)、鍺(Ge)等，以提高自UV至890 nm吸收光譜之覆蓋率。例如，在電池結構中使用鍺(Ge)界面擴大吸收範圍(即擴大至1800 nm)。因此，適當選擇半導體化合物材料可增強太陽能電池之性能。

本發明係關於改良多界面太陽能電池結構以改良光轉換效率及電流匹配。

【發明內容】

發明目標

本發明之目標係提高多界面太陽能電池之光轉換效率。

本發明之另一目標係藉由利用中間電池中之晶格失配層及中間電池基極下方之分佈式布拉格(Bragg)反射器層來增加多界面太陽能電池之電流。

本發明之另一目標係在多界面太陽能電池之中間電池及中間電池基極下方之分佈式布拉格反射器層中提供應變平衡之量子井結構。

本發明之另一目標係在多接面太陽能電池之中間電池中提供量子點結構。

本發明之另一目標係在多接面太陽能電池之耦合有在中間電池下之分佈式布拉格反射器層之中間電池中提供量子點結構。

本發明之特徵

簡言之，且在一般而言，本發明提供多接面光伏電池，其包含由磷化鎵銻構成之頂部子電池；經安置與該頂部子電池直接相鄰且晶格匹配之第二子電池，其包括由磷化鎵銻構成之射極層；與該射極層晶格匹配之由砷化鎵銻構成之基極層；及具有不同晶格常數之第一及第二不同半導體層之序列，該序列形成安置在該射極層與該基極層之間之較低能隙層(即，「較低能隙層」具有低於該等射極及基極層之能隙之能隙)；該第二子電池產生第一光生電流；安置在第二子電池之基極層下方且與其相鄰之分佈式布拉格反射器(DBR)層，其中該分佈式布拉格反射器層係由複數個交替之晶格匹配材料層構成且其各別折射率不連續，其中使交替層之間之折射率差異最大化以使達成給定反射率所需之週期數最小化；及與該第二子電池晶格匹配且由鍺構成之下部子電池，該下部子電池經安置與該分佈式布拉格反射器(DBR)層相鄰，且產生數量實質上等於該第一光生電流之第二光生電流。

在另一態樣中，DBR層包括由p型InGaAlP層構成之第一DBR層，及安置在第一DBR層上之由p型InAlP層構成之第二DBR層。

在另一態樣中，DBR層包括由p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層構成之第一DBR層，及安置在該第一DBR層上之由p型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ 層構成之第二DBR層，其中 $0 < x < 1$ ， $0 < y < 1$ ，且 y 大於 x ，亦即， $0 < x < y < 1$ 。

在另一態樣中，DBR層之交替層之厚度經設計以使得DBR反射率峰之中心與在裝置之中間子電池之本質層中形成之低能隙層之吸收波長共振。

在另一態樣中，DBR層中之週期數決定反射率峰之振幅，且經選擇以最佳化低能隙層中之電流生成。

在另一態樣中，DBR層中之週期數在5至50個交替材料對週期範圍內。

在另一態樣中，交替第一及第二半導體層序列之平均晶格常數約等於基板之晶格常數。

在另一態樣中，第一及第二不同半導體層之序列形成其中具有複數個量子井或量子點之本質區域。

在另一態樣中，第一及第二不同半導體層之序列分別包含壓縮應變層及拉伸應變層。

在另一態樣中，第一及第二不同半導體層之序列之平均應變約等於零。

在另一態樣中，第一及第二半導體層中之每一者厚約100埃至300埃。

在另一態樣中，較低能隙層中之第一半導體層包含InGaAs且較低能隙層中之第二半導體層包含GaAsP。

在另一態樣中，低能隙層之每一InGaAs層中銻之百分比在10%至30%範圍內(對於QW)且至多100%(對於QD)。

在另一態樣中，頂部子電池之厚度應使其生成之電流比該第一電流小約4%至5%。

熟習此項技術者根據本解釋內容(包括以下詳細說明以及藉由本發明之實踐)可瞭解本發明之其他目標、優點及新穎特徵。儘管下文參照較佳實施例來闡述本發明，但應理解，本發明並不限於該等實施例。可獲得本文教示內容之熟習此項技術者將瞭解其他領域中之其他應用、修改及實施例，其在本文所揭示及主張之本發明範圍內且本發明對於其可具有實用性。

【圖式簡單說明】

結合附圖來考慮，參照以下詳細說明可更好地理解並更全面地瞭解本發明之該等及其他特徵及優點，在附圖中：

圖1係先前技術中已知多接面太陽能電池之實例；

圖2係圖1中多接面太陽能電池之光轉換或量子效率曲線；

圖3係第一實施例中本發明多接面太陽能電池之實例；

圖4係第二實施例中本發明多接面太陽能電池之實例；

圖5係第三實施例中本發明多接面太陽能電池之實例；且

圖6係與圖1及另一結構相比，圖3中多接面太陽能電池之光轉換或量子效率曲線。

熟習此項技術者根據本解釋內容(包括以下詳細說明以及藉由本發明之實踐)可瞭解本發明之其他目標、優點及新穎特徵。儘管下文參照較佳實施例來闡述本發明，但應理解，本發明並不限於該等實施例。可獲得本文教示內容之熟習此項技術者將瞭解其他領域中之其他應用、修改及實施例，其在本文所揭示及主張之本發明範圍內且本發明對於其可具有實用性。

【實施方式】

現將闡述本發明之詳細內容，包括其實例性態樣及實施例。參見圖式及以下說明，相同參考編號用於標識相同或功能上類似之元件，且意欲以高度簡化之圖解方式闡釋實例性實施例之主要特徵。此外，圖式不意欲繪示實際實施例之每一個特徵以及所繪示元件之相對尺寸，且並非按比例繪製。

圖1圖解說明先前技術中已知典型多接面太陽能電池100之實例，其包括底部子電池A、中間子電池B及頂部子電池C，其形成為太陽能電池堆疊。子電池A、B及C包括一層沈積於另一層頂部之半導體層之序列。多功能太陽能電池102內之每一子電池吸收活性區域中相

應波長範圍中之光。太陽能子電池之基極層與射極層之間之光活性區域或結由每一子電池中之虛線指示。太陽能電池結構2之量子效率曲線顯示於圖2中。在正常操作下，圖1中所示多接面太陽能電池之總體效率在一個太陽照明(氣團0 (AM0))條件下可接近約29.5%。

每一子電池中之活性區域不生成等量電流。通常，中間子電池B生成之光電流量最小。在太空(AMO)應用中，輻射損傷係一個問題，且由於中間子電池對輻射損傷比頂部子電池更敏感，因此頂部子電池C經設計用於該等應用以生成比中間子電池B小約4-5%之電流及比底部子電池A小約30%之電流。隨後，在高輻射環境中之十五年至二十年使用過程中，中間子電池B之持續輻射損傷可降低裝置性能，從而使得中間子電池B及頂部子電池C提供大致相等之電流生成。因此，在裝置之大部分壽命，頂部子電池C用於限制中間子電池B及底部子電池A生成之最大量之電流。

然而，對於地面應用(在海平面，AM1)，太陽能電池不經受輻射損傷，且可能不需要設計具有較小電流之頂部電池。

圖1圖解說明多接面太陽能電池裝置303之具體實例，其中第二子電池（以下稱「中間子電池307」）已經修改以提高總體多接面電池效率。每一虛線指示子電池之基極層與射極層之間之活性區域接面。

如圖1所示實例中所示，下部子電池（以下稱「底部子電池305」）包括由p-型鍺(「Ge」)形成之基板312，其亦用作基極層。在基極層312之底部上形成之接觸墊313提供與多接面太陽能電池303之電接觸。底部子電池305進一步包括(例如)高度摻雜之n-型Ge射極層314，及n-型砷化鎵(「InGaAs」)成核層316。成核層沈積在基極層312上，且射極層係在基板中藉由以下方式形成：使沈積物擴散至Ge基板中，由此形成n-型Ge層314。重度摻雜之p-型砷化鎵鋁(「AlGaAs」)及重度摻雜之n-型砷化鎵(「GaAs」)穿隧接面層318、317可沈積在成核層316上以在底部與中

間子電池之間提供低電阻路徑。

在圖1中所示實例中，中間子電池307包括高度摻雜之p-型砷化鎵鋁(「AlGaAs」)背表面場(「BSF」)層320、p-型InGaAs基極層322、高度摻雜之n-型磷化鎵銻(「InGaP₂」)射極層324及高度摻雜之n-型磷化鋁銻(「AlInP₂」)窗口層326。中間子電池307之InGaAs基極層322可包括(例如)約1.5% In。亦可使用其他組成。基極層322係在將BSF層沈積在底部子電池304之穿隧接面層318上之後，在BSF層320上形成。

在先前技術之一個實施例中，由應變平衡之多量子井結構323構成之本質層係在中間子電池B之基極層322與射極層324之間形成。應變平衡之量子井結構323包括自壓縮應變InGaAs及拉伸應變磷砷化鎵(「GaAsP」)之交替層形成之量子井層序列。應變平衡之量子井結構係自以下論文得知：Chao-Gang Lou等人，Current-Enhanced Quantum Well Solar Cells, Chinese Physics Letters, 第23卷，第1期(2006)及M. Mazzer等人，Progress in Quantum Well Solar Cells, Thin Solid Films, 第511-512卷(2006年7月26日)。

在替代性實例中，可提供包含壓縮應變InGaAs及拉伸應變砷化鎵之應變平衡之量子井結構323作為基極層322或射極層324。

除了應變平衡結構以外，亦可使用變質結構。

提供BSF層320以減少中間子電池307中之複合損失。BSF層320驅動來自背表面附近之高度摻雜區域之少數載流子以使複合損失之效應降至最低。因此，BSF層320減少太陽能電池背面之複合損失且由此減少基極層/BSF層界面之複合。在將射極層沈積在應變平衡之量子井結構323上之後，將窗口層326沈積在中間子電池B之射極層324上。中間子電池B中之窗口層326亦幫助減少複合損失並改良下伏接面之電池表面之鈍化。在沈積頂部電池C之層之前，可在中間子電池B上

沈積重度摻雜之n-型InAlP₂及p-型InGaP₂穿隧界面層327、328。

在所示實例中，頂部子電池309包括高度摻雜之p-型磷化鋁鎵銻(「InGaAlP」)BSF層330、p-型InGaP₂基極層332、高度摻雜之n-型InGaP₂射極層334及高度摻雜之n-型InAlP₂窗口層336。在中間子電池307之穿隧界面層328上形成BSF層330之後，將頂部子電池309之基極層332沈積在BSF層330上。在基極層332上形成射極層334之後，將窗口層336沈積在頂部子電池之射極層334上。可在頂部子電池308之窗口層336上沈積帽層338並將其圖案化為單獨接觸區域。帽層338用作頂部子電池309與金屬柵極層340之電接觸。經摻雜帽層338可為半導體層，例如，GaAs或InGaAs層。亦可在窗口層336之表面上在帽層338之接觸區域之間提供抗反射塗層342。

在所示實例中，應變平衡之量子井結構323係在中間子電池307之空乏區域中形成且具有約3微米(μm)之總厚度。亦可使用不同厚度。或者，中間子電池307可納入應變平衡之量子井結構323作為基極層322或射極層324且在基極層322與射極層324之間無插入層。應變平衡之量子井結構可包括一或多個量子井。如圖1實例中所示，量子井可自壓縮應變InGaAs及拉伸應變GaAsP之交替層形成。該結構內之個別量子井包括在GaAsP之兩個障壁層之間提供之InGaAs之井層，該等障壁層各自具有比InGaAs更寬之能量能隙。InGaAs層由於其晶格常數大於基板312之晶格常數而發生壓縮應變。GaAsP層由於其晶格常數小於基板312而發生拉伸應變。在量子井結構之平均應變約等於零時，發生「應變平衡」情況。應變平衡確保，在多界面太陽能電池層磊晶生長時，在量子井結構中幾乎不存在應力。各層之間不存在應力可幫助防止在晶體結構中形成差排，否則該等差排會對裝置性能造成負面影響。例如，量子井結構323之壓縮應變InGaAs井層可藉由拉伸應變GaAsP障壁層來應變平衡。

量子井結構323亦可與基板312晶格匹配。換言之，量子井結構可具有約等於基板312之晶格常數之平均晶格常數。使量子井結構323與基板312晶格匹配可進一步減少差排之形成並改良裝置性能。或者，量子井結構323之平均晶格常數可經設計以使得其維持中間子電池307中母體材料之晶格常數。例如，量子井結構323可經製造以具有維持AlGaAs BSF層320之晶格常數之平均晶格常數。以此方式，相對於中間電池307不引入差排。然而，如果中間電池之晶格常數與基板312不匹配，則總體裝置303可能保持晶格失配。量子井結構323內每一個別InGaAs或GaAsP層之厚度及組成可經調節以達成應變平衡並使晶體差排之形成最小化。例如，可形成相應厚度為約100埃至300埃(D)之InGaAs及GaAsP層。可在應變平衡之量子井結構323中形成介於100個與300個之間之總InGaAs/GaAsP量子井。亦可使用更多或更少量子井。另外，InGaAs層中銻之濃度可在10%至30%之間變化。

此外，量子井結構323可擴大中間子電池307吸收之波長範圍。圖1中多接面太陽能電池之近似量子效率曲線之實例圖解說明於圖2中。如圖2實例中所示，底部子電池305之吸收光譜在890-1600 nm之間擴大；中間子電池307之吸收光譜在660-1000 nm之間擴大，與底部子電池之吸收光譜重疊；且頂部子電池309之吸收光譜在300-660 nm之間擴大。波長位於中間子電池與底部子電池吸收光譜之重疊部分內之入射光子可在到達底部子電池305之前被中間子電池307吸收。因此，中間子電池307產生之光電流可因擷取原本將為底部子電池304中之過量電流之部分電流而增加。換言之，中間子電池307產生之光生電流密度可增加。根據量子井結構323內之總層數及每層之厚度，中間子電池307之光生電流密度可有所增加以匹配底部子電池305之光生電流密度。

然後可藉由增加頂部子電池309產生之電流來增加多接面電池太

陽能電池產生之總體電流。額外電流可由頂部子電池309藉由增加該電池中之p-型InGaP2基極層332之厚度來產生。厚度之增加使得可吸收額外光子，此導致生成額外電流。較佳地，對於太空應用或AM0應用，頂部子電池309之厚度增加維持頂部子電池309與中間子電池307之間約4-5%之電流生成之差異。對於AM1或地面應用，頂部電池及中間電池之電流生成可選擇以成對。

因此，在中間子電池307中引入應變平衡之量子井及增加頂部子電池309之厚度二者皆增加總體多接面太陽能電池電流生成且使得能改良總體光子轉換效率。此外，達成電流增加可不顯著降低多接面太陽能電池兩端之電壓。

圖2係圖1中多接面太陽能電池之光轉換或量子效率曲線。參考字母R指定之區域係中間電池之QE曲線之延伸，其表明一些較高波長光以相對較低之量子效率在中間子電池之區域R中被吸收，而顯著較大量之較高波長光係在底部子電池中被轉換。例如，亦參見美國專利第6,147,296號中之圖3，其繪示二接面串聯太陽能電池中之類似效應。

由量子點(QD)或量子井(QW)層組成之低能隙區域已提出修改並最佳化多接面III-V太陽能電池中之子電池之吸收光譜。QD及QW由此能隙低於周圍基質之半導體層組成，其提供電子及電洞之陷阱，由此提供載流子之一維(在QW情形中)或三維(在QD情形中)限制。該等層擴大納入其之子電池之吸收光譜且由此增加該子電池之短路電流密度(J_{sc})。

在提出本發明之前，人們已做出各種嘗試來試圖改良使用QD或QW之太陽能電池之效率，但尚未報導顯著效率改良。改良使用QD及QW之多接面裝置之最大障礙在於，較低能隙層既因應變效應而將缺陷引入晶體中，而且亦降低子電池之總體能隙。該兩種效應導致裝置

之開路電壓(V_{oc})降低，此抵消 J_{sc} 之改良，從而使得效率無淨增益，且與不使用QD或QW之太陽能電池相比經常降低效率。

本發明提供結合QD或QW之布拉格反射器以在保持 V_{oc} 損失常數之同時潛在地倍增 J_{sc} 之改良。布拉格反射器係充分理解之單塊式III-V半導體裝置，其由交替材料層之超晶格組成，該交替材料層選擇性地反射具有某一中心波長及某一帶寬之光，該二者可在布拉格反射器之設計期間工程化。含有QD或QW之子電池基極中之布拉格反射器可經設計以將所關注波長區域中之光反射回並穿過該子電池以供二次通過，由此倍增QD或QW生成之電流，同時與不使用布拉格反射器之類似裝置相比不增加子電池之缺陷密度或降低總體能隙。

圖3圖解說明多接面太陽能電池裝置303之第一實施例，其中中間子電池307已經修改以提高總體多接面電池效率。如圖3中所示，底部子電池305包括基板312及與圖1中所示相同之其他層314、316、317及318，且此處因此不再重複該等層之說明。

在圖3所示實例中，中間子電池307包括高度摻雜之p-型砷化鎵鋁(「AlGaAs」)背表面場(「BSF」)層320。分佈式布拉格反射器層321在背表面場(「BSF」)層320頂部。在本發明之此第一實施例中，分佈式布拉格反射器(「DBR」)層321係在中間子電池之基極層中形成，且由具有不同折射率但與基板密切晶格匹配之半導體材料之交替層(例如砷化鎵/砷化鋁或砷化鎵/鋁砷化鎵)構成。亦可使用其他材料組成。交替層之厚度經設計以使得DBR反射率峰之中心與在裝置之中間子電池307之本質層中形成之中間能隙層323之吸收波長共振。DBR層321之週期數決定反射率峰之振幅，且經選擇以最佳化中間能隙層中之電流生成。層數通常可在5至50個交替材料對週期之範圍內。

在圖3所示實例中，基極層322係在DBR層321上形成，且由InGaAs構成。中間子電池307之InGaAs基極層322可包括(例如)約1.5%

In。亦可使用其他組成。

由應變平衡之多量子井或量子點層結構323構成之本質層係在中間子電池B之基極層322與射極層324之間形成。應變平衡之量子井結構323包括自壓縮應變InGaAs及拉伸應變磷砷化鎵(「GaAsP」)之交替層形成之量子井層序列。應變平衡之量子點層結構包括自壓縮應變InAs或InGaAs及拉伸應變磷化鎵(「GaP」)或GaAsP之交替層形成之量子點層序列。應變平衡之量子井結構係自以下論文得知：Chao-Gang Lou等人，Current-Enhanced Quantum Well Solar Cells, Chinese Physics Letters, 第23卷，第1期(2006)及M. Mazzer等人，Progress in Quantum Well Solar Cells, Thin Solid Films, 第511-512卷(2006年7月23日)。應變平衡之量子點結構係自以下論文得知：塞斯哈伯德(Seth Hubbard)等人，Seth Hubbard等人，Nanostructured Photovoltaics for Space Power, *J. Nanophoton.* 3(1), 031880 (2009年10月30日)。

在本質層323頂部上沈積n-型磷化鎵銻(「InGaP₂」)射極層324，之後沈積n-型磷化鋁銻(「AlInP₂」)窗口層326。亦可使用其他組成。

與圖1中之結構類似，可將重度摻雜之n-型InAlP₂及p-型InGaP₂穿隧接面層327、328沈積在中間子電池B之窗口層326上。頂部子電池309包括高度摻雜之p-型磷化鋁鎵銻(「InGaAlP」)BSF層330、p-型InGaP₂基極層332、高度摻雜之n-型InGaP₂射極層334及高度摻雜之n-型InAlP₂窗口層336。在中間子電池307之穿隧接面層328上形成BSF層330之後，在BSF層330上沈積頂部子電池309之基極層332。在基極層332上形成射極層334之後，將窗口層336沈積在頂部子電池之射極層334上。可將帽層338沈積在頂部子電池308之窗口層336上並將其圖案化為單獨接觸區域。帽層338用作自頂部子電池309至金屬柵極層340之電接觸。經摻雜帽層338可為半導體層，例如，GaAs或InGaAs層。亦可在窗口層336之表面上在帽層338之接觸區域之間提供抗反射

塗層342。

圖4係本發明多接面太陽能電池之第二實施例。如圖5中所示，底部子電池305包括基板312及與圖1中所示相同之其他層314、316、317及318，且此處因此不再重複該等層之說明。

在圖4所示實例中，中間子電池307包括高度摻雜之p-型砷化鎵鋁(「AlGaAs」)背表面場(「BSF」)層320。分佈式布拉格反射器層321在背表面場(「BSF」)層320下方，該反射器層係直接在隧道二極體317/318上形成。在本發明之此第二實施例中，分佈式布拉格反射器(「DBR」)層321與結合圖3所述者實質上相同，且此處因此將不再重複DBR層之說明。

在圖5所示實例中，高度摻雜之p-型砷化鎵鋁(「AlGaAs」)背表面場(「BSF」)層320係在DRB層321上形成。在背表面場(「BSF」)層320頂部上形成基極層322，且其由InGaAs構成。

如圖4中所示，中間子電池307包括與圖3中所述者相同之層323、324及326，且此處因此不再重複該等層之說明。與圖3中之結構類似，可將重度摻雜之n-型InAlP₂及p-型InGaP₂穿隧界面層327、328沈積在中間子電池B之窗口層326上。頂部子電池309包括與圖3中所述者相同之層330至338，且此處因此不再重複該等層以及金屬柵極340之說明。

圖5係本發明多接面太陽能電池之第三實施例。如圖5中所示，底部子電池305包括基板312及與圖1中所述者相同之其他層314及316，且此處因此不再重複該等層之說明。

在圖5之實施例中，分佈式布拉格反射器(「DBR」)層319係直接在成核層316頂部上沈積。DBR層319與結合圖4所述者實質上相同，且此處因此不再重複DBR層之說明。

可將重度摻雜之p-型砷化鎵鋁(「AlGaAs」)及重度摻雜之n-型砷

化鎵(「GaAs」)穿隧界面層318、317沈積在DBR層319上以在底部與中間子電池之間提供低電阻路徑。

在圖5所示實例中，中間子電池307包括高度摻雜之p-型砷化鎵鋁(「AlGaAs」)背表面場(「BSF」)層320。在圖5所示實例中，高度摻雜之p-型砷化鎵鋁(「AlGaAs」)背表面場(「BSF」)層320係在頂部隧道界面層317上形成。在背表面場(「BSF」)層320之頂部上形成基極層322，且其由InGaAs構成。

如圖5中所示，中間子電池307包括與圖3中所述者相同之層323、324及326，且此處因此不再重複該等層之說明。與圖3中之結構類似，可將重度摻雜之n-型InAlP₂及p-型InGaP₂穿隧界面層327、328沈積在中間子電池B之窗口層326上。頂部子電池309包括與圖3中所述者相同之層330至338，且此處因此不再重複該等層以及金屬柵極340之說明。

圖6係與其他相關多界面太陽能電池結構相比，圖3中多界面太陽能電池之光轉換或量子效率曲線圖。標記為電池1之量子效率曲線係與美國專利申請公開案20080257405之圖1中所繪示者實質上類似之多界面太陽能電池，即既不具有量子井/量子點層亦不具有分佈式布拉格反射器層之三結太陽能電池。標記為電池2之量子效率曲線係與本申請案之圖1中所繪示者類似之多界面太陽能電池，即在中間層中具有量子點層之三結太陽能電池。注意，該電池在較長波長區域中之效率有所提高。標記為電池3之量子效率曲線係與本申請案之圖3中所繪示者類似之多界面太陽能電池。DBR層之反射率之中心在長波截止值之肩附近。其在分佈之肩附近相對於電池2之曲線顯著提高QD反應。在DBR不再有效之較高波長處，代表電池2及電池3之曲線會聚到一起。

在所示實施方案中，在太陽能電池結構之各層中使用具體III-V

半導體化合物。然而，多接面太陽能電池結構可藉由週期表中列示之第III族至第V族元素之其他組合來形成，其中第III族包括硼(B)、鋁(Al)、鎵(Ga)、銦(In)及鈦(Ti)，第IV族包括碳(C)、矽(Si)、Ge及錫(Sn)，且第V族包括氮(N)、磷(P)、砷(As)、銻(Sb)及鉍(Bi)。

儘管上述討論提到了各個層之材料及厚度之具體實例，但其他實施方案可使用不同之材料及厚度。同樣，在不背離本發明範圍之情況下，在多接面太陽能電池結構303中可增加其他層或可刪除一些層。在一些情況下，可在多接面太陽能電池結構303之層上形成諸如旁路二極體等整合裝置。

在不背離本發明之精神及範圍之情況下可做出各種修改。因此，其他實施方案在申請專利範圍之範圍內。

【符號說明】

303	多接面太陽能電池裝置/多接面太陽能電池/多接面太陽能電池結構
305	底部子電池
307	中間子電池
309	頂部子電池
312	基極層/基板
313	接觸墊
314	高度摻雜之n-型Ge射極層/n-型Ge層
316	成核層
317	隧道二極體/穿隧界面層/頂部隧道界面層
318	穿隧界面層/隧道二極體
320	背表面場層
321	分佈式布拉格反射器層
322	基極層

- 323 應變平衡之量子井結構/中間能隙層/應變平衡之多量子井或量子點層結構/本質層
- 324 射極層
- 326 窗口層
- 327 穿隧接面層
- 328 穿隧接面層
- 330 背表面場層
- 332 基極層
- 334 射極層
- 336 窗口層
- 338 帽層
- 340 金屬柵極層
- 342 抗反射塗層

申請專利範圍

1. 一種多接面光伏電池，其包含：
 - 由磷化鎵銻構成之頂部子電池；
 - 經安置與該頂部子電池直接相鄰且晶格匹配之第二子電池，其包括由磷化鎵銻構成之射極層；與該射極層晶格匹配之由砷化鎵銻構成之基極層；及具有不同晶格常數之第一及第二不同半導體層之序列，該序列形成安置在該射極層與該基極層之間之低能隙層；該第二子電池產生第一光生電流；
 - 安置在該第二子電池之該基極層下方且與其相鄰之分佈式布拉格反射器(DBR)層，其中該分佈式布拉格反射器層係由複數個交替之晶格匹配材料層構成且其各別折射率不連續，其中使交替層之間之折射率差異最大化以使達成給定反射率所需之週期數最小化，其中該等交替層之厚度經設計以使得DBR反射率峰之中心與在該第二子電池之本質層中形成之該等低能隙層之吸收波長共振；及
 - 與該第二子電池晶格匹配且由鍺構成之下部子電池，該下部子電池經安置與該分佈式布拉格反射器(DBR)層相鄰，且產生數量實質上等於該第一光生電流之第二光生電流。
2. 如請求項1之多接面光伏電池，其中該DBR層包括由p型InGaAlP層構成之第一DBR層，及安置在該第一DBR層上之由p型InAlP層構成之第二DBR層。
3. 如請求項2之多接面光伏電池，其中該DBR層包括由p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層構成之第一DBR層，及安置在該第一DBR層上之由p型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ 層構成之第二DBR層，其中y大於x。
4. 如請求項1之多接面光伏電池，其中該DBR層中之該週期數決定

- 該反射率峰之振幅，且經選擇以最佳化該等低能隙層中之電流生成。
5. 如請求項1之多接面光伏電池，其中該DBR層中之該週期數在5至50個交替材料對週期範圍內。
 6. 如請求項1之多接面光伏電池，其中第一及第二不同半導體層之該序列形成其中具有複數個量子井或量子點之本質區域。
 7. 如請求項1之多接面光伏電池，其中第一及第二不同半導體層之該序列分別包含壓縮應變層及拉伸應變層。
 8. 如請求項1之多接面光伏電池，其中第一及第二不同半導體層之該序列之平均應變約等於零。
 9. 如請求項1之多接面光伏電池，其中該等第一及第二半導體層中之每一者厚約100埃至300埃。
 10. 如請求項1之多接面光伏電池，其中該低能隙層中之該第一半導體層包含InGaAs且該中間能隙層中之該第二半導體層包含GaAsP。
 11. 如請求項10之多接面光伏電池，其中該低能隙層之每一InGaAs層中銻之百分比在10%至30%範圍內。
 12. 如請求項1之多接面光伏電池，其中該頂部子電池之厚度應使其生成之電流比該第一電流小約4%至5%。
 13. 一種使用MOCVD反應器製造多接面太陽能電池之方法；其包含：
 - 提供半導體基板，其包括下部子電池；
 - 在該下部子電池上形成分佈式布拉格反射器(DBR)層，其中該分佈式布拉格反射器層係由複數個交替之晶格匹配材料層構成且其各別折射率不連續；
 - 在該分佈式布拉格反射器層上形成第二子電池，其包括由磷

化鎵銻構成之射極層；與該射極層晶格匹配之由砷化鎵銻構成之基極層；及在該基極層與該射極層之間之本質層，該本質層係由具有不同晶格常數之第一及第二不同半導體層之序列構成，該序列形成安置在該射極層與該基極層之間之中間能隙層；該第二子電池產生第一光生電流，其中該DBR層之該等交替層之厚度經設計以使得DBR反射率峰之中心與在該第二子電池之該本質層中形成之該等中間能隙層之吸收波長共振；及

在該第二子電池上形成頂部子電池。

14. 如請求項13之方法，其中交替第一及第二半導體層之該序列之平均晶格常數約等於該基板之晶格常數。
15. 如請求項13之方法，其中第一及第二半導體層之該序列之總厚度為約3微米。
16. 如請求項13之方法，其中該等第一及第二半導體層中之每一者之厚度在100埃至300埃範圍內。
17. 如請求項13之方法，其中該DBR層包括由p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層構成之第一DBR層，及安置在該第一DBR層上之由p型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ 層構成之第二DBR層，其中y大於x。
18. 如請求項13之方法，其中第一及第二不同半導體層之該序列包含壓縮應變層及拉伸應變層，且第一及第二不同半導體層之該序列之平均應變約等於零，且該第二子電池中該等層之厚度經選擇以使得該第二子電池之光生電流實質上等於與該第二子電池相鄰之該下部子電池之光生電流密度。
19. 一種多界面光伏電池，其包含：
 - 由磷化鎵銻構成之頂部子電池；
 - 經安置與該頂部子電池直接相鄰且晶格匹配之第二子電池，其包括由磷化鎵銻構成之射極層；與該射極層晶格匹配之由砷

化鎵銮構成之基極層；及具有不同晶格常數之第一及第二不同半導體層之序列，該序列形成安置在該射極層與該基極層之間之低能隙層；該第二子電池產生第一光生電流；

安置在該第二子電池下方且與其相鄰之隧道二極體；

安置在該隧道二極體下方且與其相鄰之分佈式布拉格反射器(DBR)層，其中該分佈式布拉格反射器層係由複數個交替之晶格匹配材料層構成且其各別折射率不連續，其中使交替層之間之折射率差異最大化以使達成給定反射率所需之週期數最小化；及

與該第二子電池晶格匹配且由鍺構成之下部子電池，該下部子電池經安置與該分佈式布拉格反射器(DBR)層相鄰，且產生數量實質上等於該第一光生電流之第二光生電流。

圖式

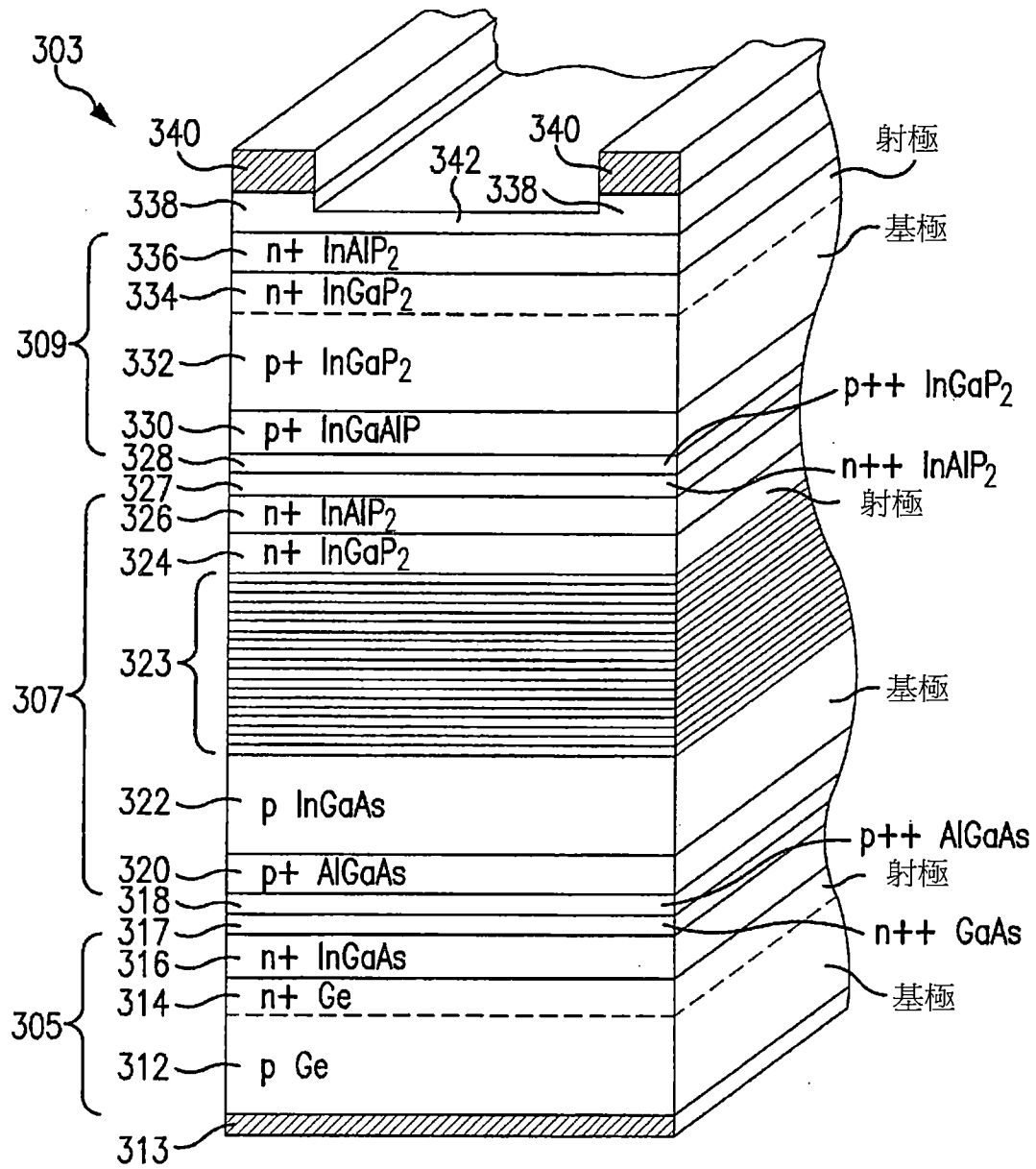


圖 1

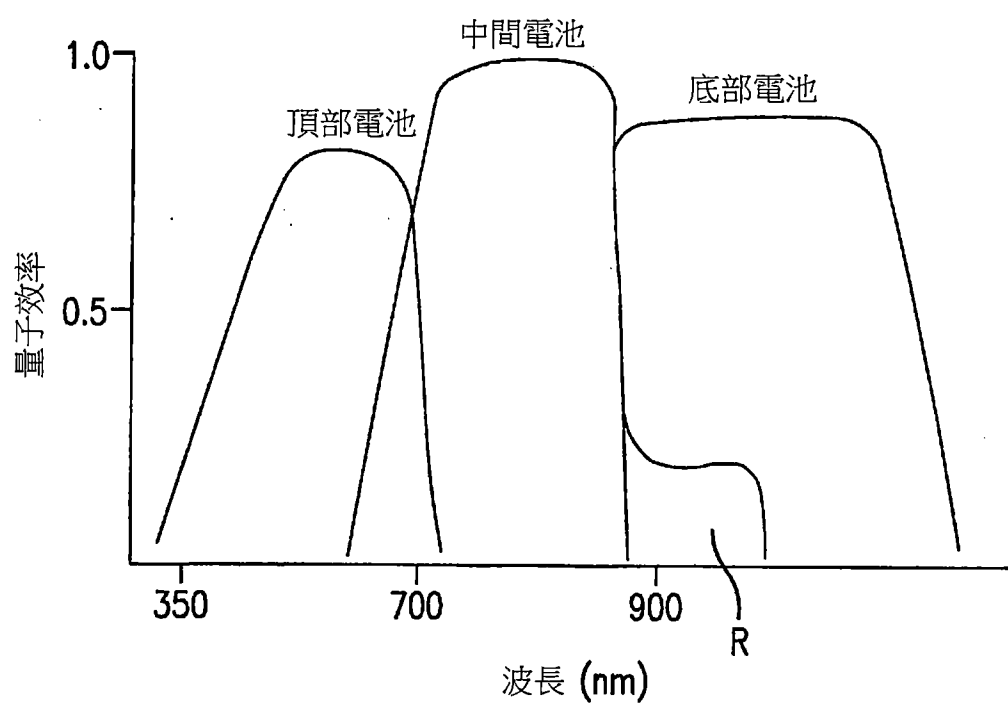


圖 2

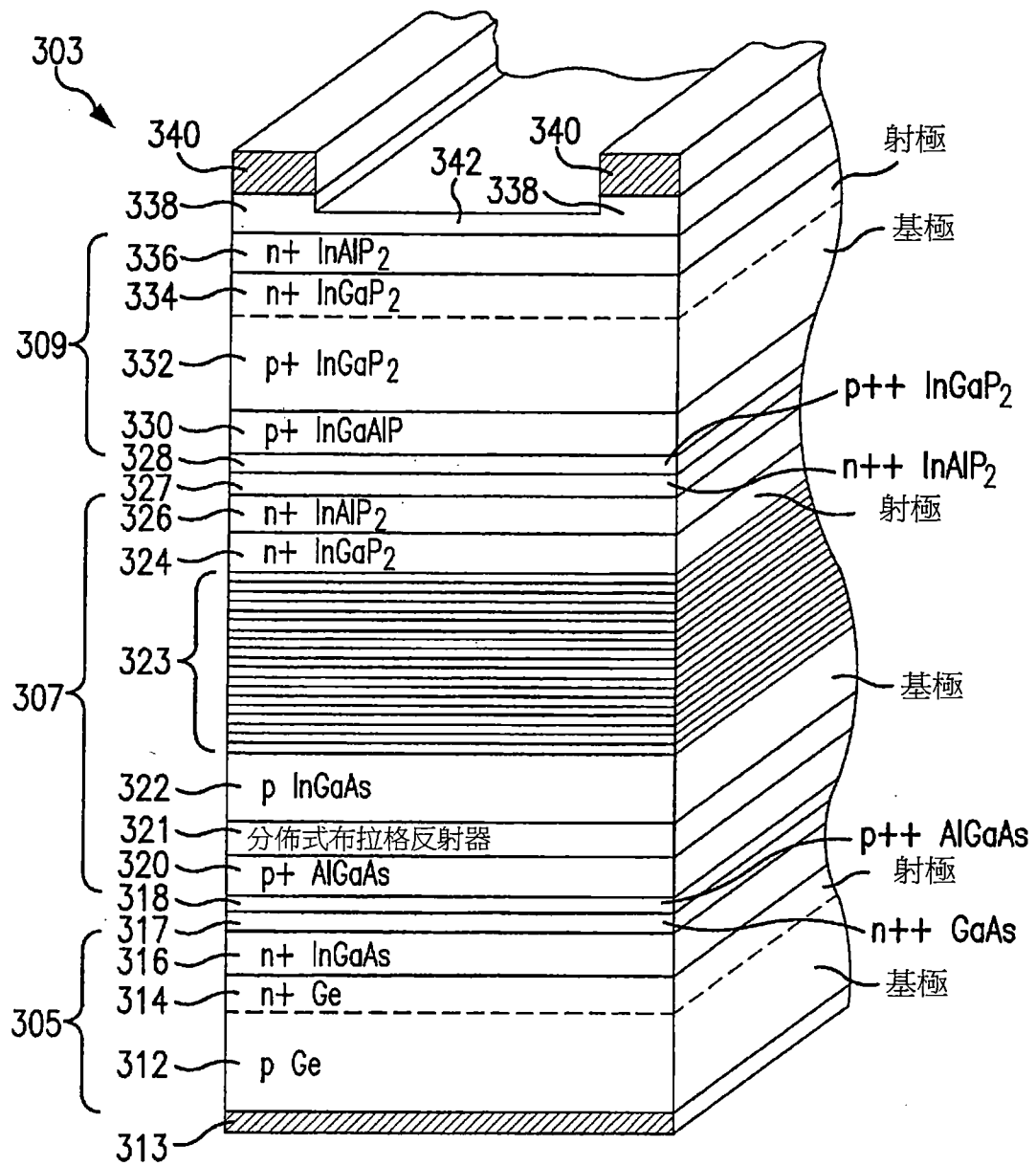


圖 3

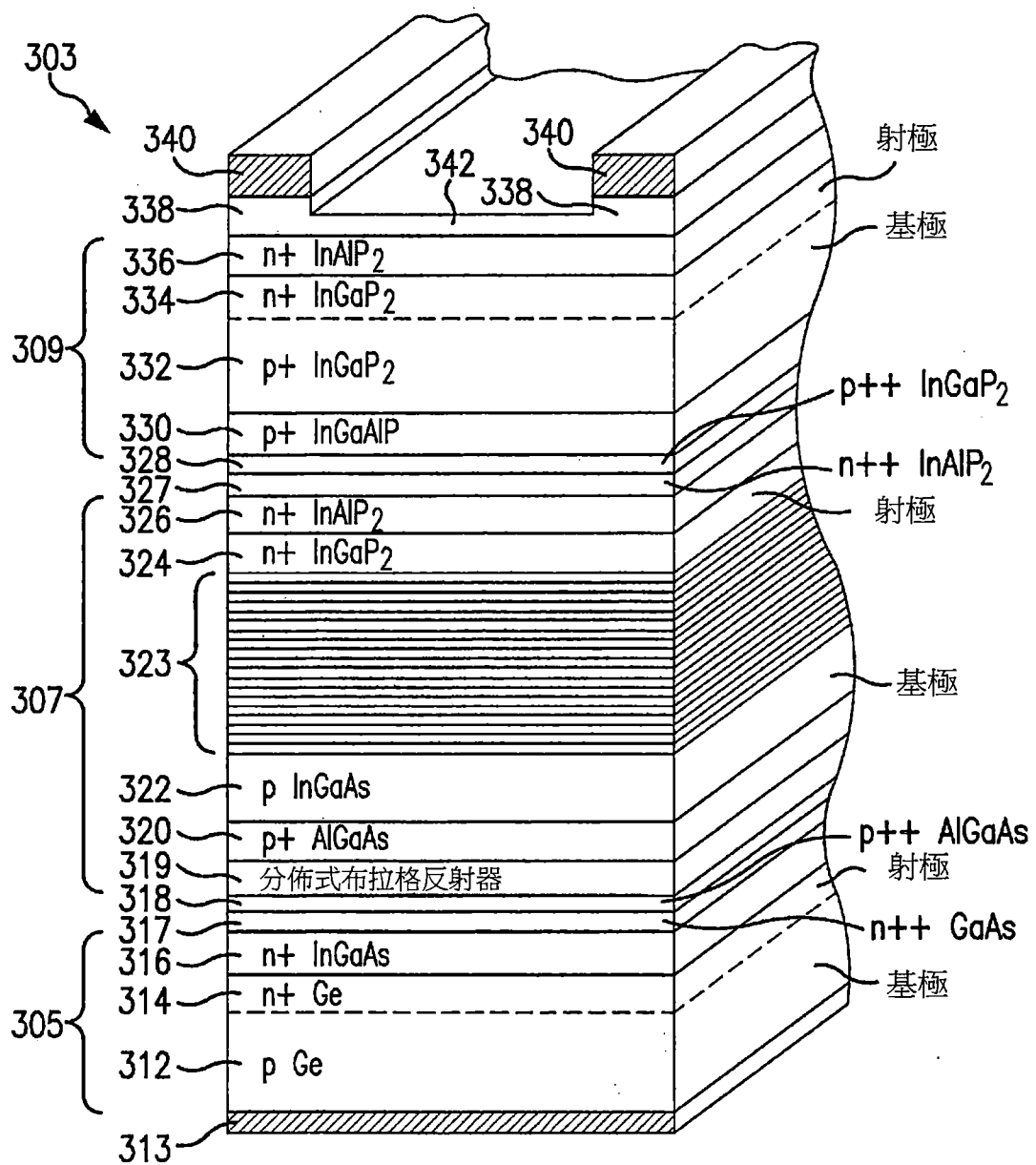


圖 4

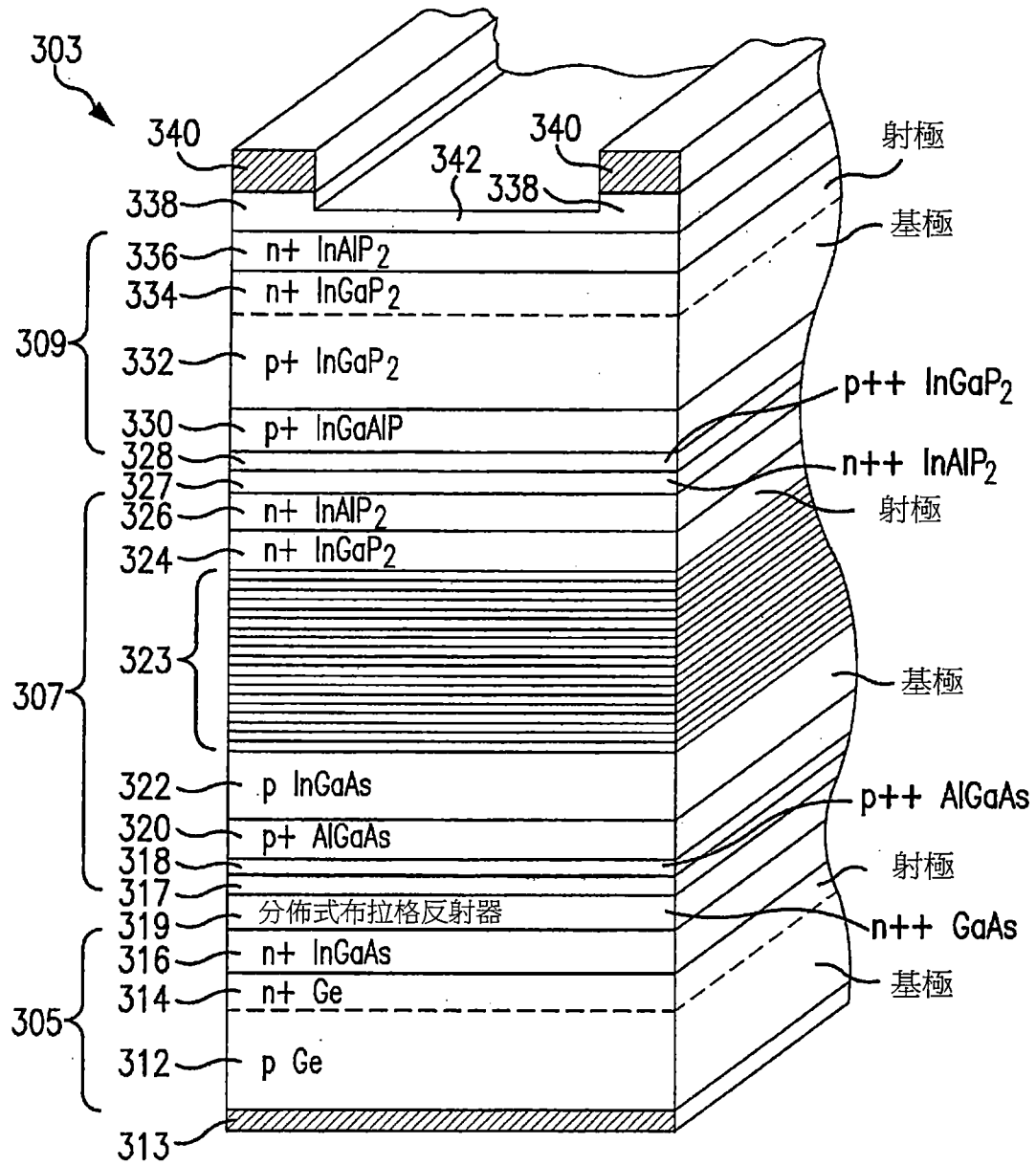


圖 5

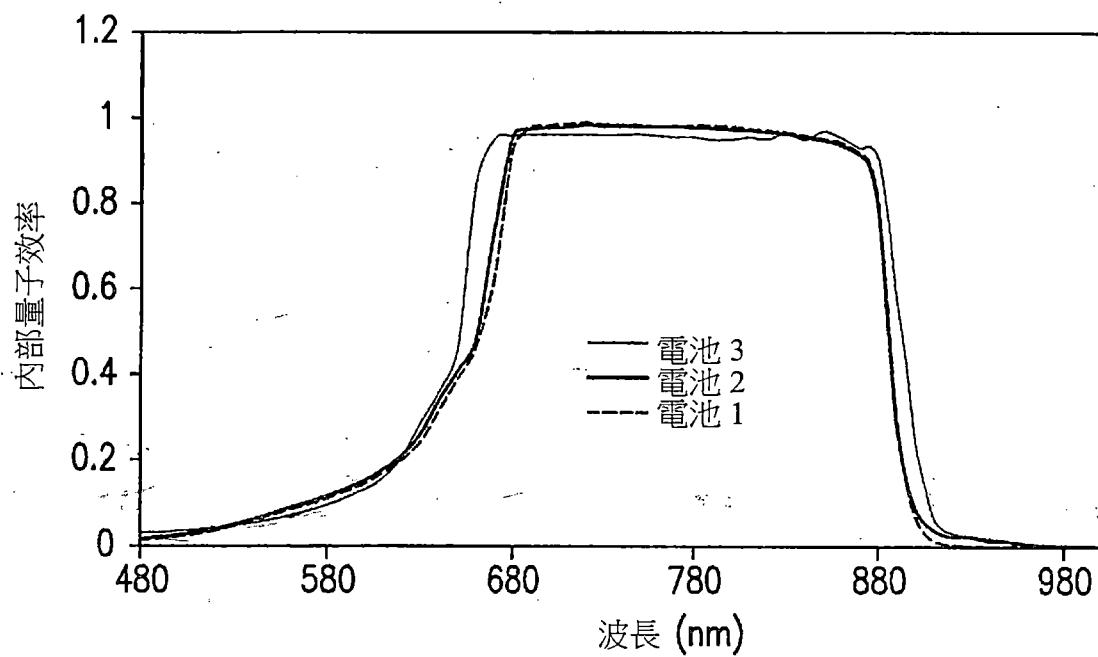


圖 6