

# 發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：97131310

※ 申請日期：97.8.15

※IPC 分類：H01L 31/042 (2014.01)

H01L 31/18 (2006.01)

## 一、發明名稱：(中文/英文)

太陽能電池結構、光伏打模組及對應之製程

SOLAR CELL STRUCTURES, PHOTOVOLTAIC MODULES AND  
CORRESPONDING PROCESSES

## 二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

美商納克公司

NANOGRAM CORPORATION

代表人：(中文/英文)

神部 信幸

KAMBE, NOBUYUKI

住居所或營業所地址：(中文/英文)

美國加州米皮塔市托帕茲街165號

165 TOPAZ STREET, MILPITAS, CA 95035, U.S.A.

國 籍：(中文/英文)

美國 U.S.A.

## 三、發明人：(共 1 人)

姓 名：(中文/英文)

亨利 海斯梅爾

HIESLMAIR, HENRY

國 籍：(中文/英文)

美國 U.S.A.

#### 四、聲明事項：

主張專利法第二十二條第二項  第一款或  第二款規定之事實，其

事實發生日期為： 年 月 日。

申請前已向下列國家(地區)申請專利：

【格式請依：受理國家(地區)、申請日、申請案號 順序註記】

有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

1. 美國；2008年02月15日；12/070,371

2. 美國；2008年02月15日；12/070,381

無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

1. 美國；2007年02月16日；60/902,006

2.

主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

主張專利法第三十條生物材料：

須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

## 五、中文發明摘要：

本發明係關於光伏打模組，該等模組可包含太陽能電池，其沿該等電池之後側具有相反極性之摻雜域。該等摻雜域可位於穿過一介電鈍化層之開口內。在一些實施例中，該等太陽能電池係由薄矽箔形成。摻雜域可藉由沿半導體片之後表面印刷墨水來形成。該等摻雜劑墨水可包含具有所要摻雜劑之奈米粒子。光伏打模組可用複數個具有不同尺寸之結構之太陽能電池來形成以改良模組效能。尺寸可基於半導體之估定性質動態確定以使得該模組中電池之電流輸出彼此更相似。該等模組相對於具有不產生匹配電流之相似相等尺寸電池的模組而言可產生較高之功率。本發明描述適當動態處理方法，其包括根據電池設計中之動態調整提供處理調整的處理步驟。

## 六、英文發明摘要：

Photovoltaic modules can comprise solar cells having doped domains of opposite polarities along the rear side of the cells. The doped domains can be located within openings through a dielectric passivation layer. In some embodiments, the solar cells are formed from thin silicon foils. Doped domains can be formed by printing inks along the rear surface of the semiconducting sheets. The dopant inks can comprise nanoparticles having the desired dopant. Photovoltaic modules can be formed with a plurality of solar cells having different sized structures to improve module performance. The sized can be determined dynamically based on estimated properties of the semiconductor so that the current outputs of the cells in the module are more similar to each other. The modules can produce higher power relative to modules with similar equal sized cells that do not produce matched currents. Appropriate dynamic processing methods are described that include processing steps that provide adjustments of the processing according to the dynamic adjustments in cell designs.

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(1)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

102 透明前板/前保護性片

104 保護性襯底層

106 保護性密封件

108 光伏打電池

110 端子

112 端子

120 集電器

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

(無)

## 九、發明說明：

### 【發明所屬之技術領域】

本發明係關於光伏打電池、光伏打模組及形成該等裝置之製程。在一些實施例中，本發明係關於後點接觸之光伏打電池及對應模組，其可包含矽/鍺半導體材料之薄膜。另外，本發明係關於形成後點連接之有效處理步驟。在其他實施例中，本發明係關於光伏打裝置之形成，其中處理參數係基於半導體性質量測來動態選擇。

### 【先前技術】

多種技術可用於形成光伏打電池，例如太陽能電池。大多數商業光伏打電池係以矽為主。隨著非可再生能源之價格持續上漲，日益關注於替代能源。替代能源之商業化增加依賴於每能量單位較低之成本所引起的漸增之成本有效性，其可經由能源之改良效率及/或經由材料及處理之成本降低來達到。

光伏打電池經由吸收光以形成電子-電洞對來操作。半導體材料可便利地用以吸收光，產生電荷分離。電子及電洞在差動電壓下收穫以直接或在用適當能量儲存裝置儲存之後在外電路中執行有用功。

### 【發明內容】

在第一態樣中，本發明係關於太陽能電池，其包含透明前板、具有前表面及相對後表面之半導體層、自半導體層之後表面延伸之複數個p摻雜島及n摻雜島及至少兩個電互連。半導體層固定於某一位置中，使得其前表面朝向透明

前板。通常，一電互連提供複數個p摻雜島之間的電連接，且另一電互連提供複數個n摻雜島之間的電連接。

在另一態樣中，本發明係關於形成摻雜半導體結構之方法，該方法包含將複數個沈積物印刷至半導體片之表面上，其中一些沈積物包含p摻雜劑且其他沈積物包含n摻雜劑。通常，將介電覆蓋物沿該表面附著於半導體片，所選開口經由介電覆蓋物而曝露下伏半導體表面。印刷可經由該等開口執行。

在另一態樣中，本發明係關於形成摻雜半導體結構之方法，該方法包含照射半導體片之表面上之包含摻雜劑的第一層，其中使介電覆蓋物沿該表面附著於半導體片，所選開口經由該介電覆蓋物而曝露下伏半導體表面。照射可在對應於所選窗口之位置處執行以在所照射位置形成摻雜觸點。

在額外態樣中，本發明係關於沿摻雜半導體結構選擇性沈積摻雜劑之方法。該方法包含將包含p摻雜氧化矽粒子之第一墨水及包含n摻雜氧化矽粒子之第二墨水噴墨印刷至矽基板上。一般而言，各墨水之氧化矽粒子具有不超過約100 nm之平均初級粒徑，且各墨水具有約1.0至約50重量百分比氧化矽粒子之濃度。

此外，本發明係關於光伏打模組，其包含透明前板及太陽能電池，該太陽能電池包含沿透明前板固定之半導體層，前表面面向透明前板；附著於半導體層之後表面之後介電層；位於穿過後介電層之開口內之摻雜域；電性連接

複數個p摻雜域之第一電互連及電性連接複數個n摻雜域之第二電互連，其中該等電互連延伸至該等開口中。

在另一態樣中，本發明係關於包含透明基板及複數個附著於透明基板之串聯連接之太陽能電池的光伏打模組。在一些實施例中，至少兩個電池之面積彼此不同，且該等電池之面積差異使得個別電池之電流輸出相對於具有相等面積在與模組之特定電池相同之各別光轉化效率下的電池而言更好匹配。

此外，本發明係關於太陽能電池，其包含具有經配置以接收光之前表面及與前表面相對之後表面之半導體片、沿後表面定位之p摻雜劑區及n摻雜劑區，及分別提供p摻雜劑區之間及n摻雜劑區之間的電接觸之兩個電互連。在一些實施例中，p摻雜劑區及n摻雜劑區並不沿後表面對稱地定位。

在其他態樣中，本發明係關於將半導體片再分以用作光伏打模組內之個別光伏打電池的方法。該方法可包含基於沿半導體片之量測，將半導體片切割成不相等面積之子段。量測可與在所量測位置處，一定面積之半導體材料所產生之預期電流關聯。

另外，本發明係關於製造太陽能電池之方法，其包含基於對半導體層之效能量測，以不對稱圖案沈積與半導體層相關之摻雜劑。

### 【實施方式】

有效光伏打結構係有效地以後表面觸點形成以有效收穫

一定電池區域上之電子-電洞對。在一些實施例中，摻雜觸點係使用穿過介電層中之開口或孔洞沈積來形成。本文中所述之製程可提供形成具有後連接之太陽能電池之有效方法，其中電池於光伏打模組內電性連接。經改良之製程適於薄半導體箔處理，但該等方法亦可適於較厚之半導體層處理。一些處理改良尤其適於對複數個電池同時進行之模組級處理。本文中所述之摻雜方法尤其適於形成摻雜劑結構，該等摻雜劑結構形成用於自半導體基板收穫光電流的光伏打觸點之一部分。

本文中所述用於形成光伏打模組之動態處理方法可提供更有效之太陽能電池及對應之光伏打模組，對模組內相對固定量之材料而言，其產生更高之功率。詳言之，光伏打模組可由更大之半導體材料片形成，該等板片可經量測以制訂板片上之預期效能特徵。半導體材料之預期效能性質之量測提供動態處理半導體的基礎。

本文中所述之摻雜方法適於摻雜劑置放之即時選擇。經由檢視半導體材料及即時摻雜劑沈積，個別電池尺寸及位置可經選擇以產生相似電流以使得模組之總功率產生可得以改良。該等功率改良方法及對應處理步驟通常可用於使用一定範圍之半導體材料之任何類型的太陽能電池。

光伏打模組通常包含透明前板，其在模組之使用期間曝露於太陽光。光伏打模組內之太陽能電池，亦即，光伏打電池可鄰近於透明前板置放，以使得傳輸穿過透明前板之光可由太陽能電池中之半導體材料吸收。透明前板可提供

支撐、物理保護以及針對環境污染物之保護及其類似功能。光伏打電池通常串聯連接以增加模組之可用電壓。光伏打模組可包含並聯連接之光伏打電池組以及串聯連接之電池組。光伏打電池之活性材料通常為半導體。吸收光後，光電流可自導帶收穫以經由與外電路之連接執行有用功。對光伏打電池而言，改良之效能可與給定光通量下能量轉化效率增加及/或電池製造成本降低相關。

與半導體材料界面連接之摻雜接觸區促進光電流之收穫。詳言之，電子及電洞可各別在n+摻雜區及p+摻雜區內偏析。摻雜接觸區與導體界面連接以形成集電器，以收穫藉由吸收光形成之光電流以在觸點之兩極之間產生電位。單個電池內，具有相同極性之摻雜接觸區連接於共同集電器，以使得與不同極性之摻雜觸點相聯合之兩個集電器形成光伏打電池的反電極。

雖然串聯連接之太陽能電池之電壓具相加性，但電池串聯之電流視個別太陽能電池之效能而定。詳言之，穿過電池串聯之電流基本上為該串聯中最弱電流傳遞太陽能電池之電流容量，因為最弱太陽能電池在共同光照量下不能支持較高之電流。可得自較高效能電池之功率因試圖推動電流通過較低效能電池而損失。來自串聯連接太陽能電池之功率為該單元之電流與電壓之乘積。特定電池之電流可為載流子壽命之函數，載流子壽命與在吸收光後自經填充導帶收穫電流之效率相關。通常，電池之效率亦與電池之設計相關，例如，與將電池分成p+摻雜區及n+摻雜區及摻雜

區之置放相關。

在一些實施例中，個別電池之尺寸可基於形成為光伏打電池之半導體材料之量測性質來訂定。因此，模組之電池集合可經選擇以相對於切割成相等尺寸之電池而言，具有顯著較小之電流容量差異。該電池面積選擇在個別電池係在較大板片上分開或自較大板片切割以使得該板片之區域可有效且適當分開時尤其便利。詳言之，可評估半導體片以估定在沿半導體之表面之所選位置處的少數載流子壽命，其為效能之主要決定因素。此外，若需要，則亦可基於關於半導體性質之量測來選擇摻雜劑置放以及個別摻雜觸點之尺寸及/或摻雜劑含量。噴墨製程將使摻雜接觸區之處理具有極大靈活性。明確而言，對特定半導體片而言，摻雜製程可以直接方式動態調整。一般而言，半導體性質之量測可在形成p摻雜觸點及/或n摻雜觸點之前或之後執行，但若量測係在摻雜劑沈積之前執行，則亦可動態地執行摻雜劑觸點置放。該等估定可提供將半導體材料之總區域分成甚至更多的具有不相等尺寸之產生電流之電池的基礎。電池之尺寸可基於動態而非靜態製程中之即時量測來選擇。經切割之電池隨後可裝配至單一光伏打模組、複數個模組或模組之一部分中。

電池內摻雜劑接觸區之置放影響電池之效能。詳言之，p+摻雜區相對於n+摻雜區之間隔及摻雜區之尺寸可影響電池效能。同樣地，不同摻雜接觸區(亦即p+摻雜區及n+摻雜區)之面積影響電池效能。因此，可選擇n+摻雜區及p+

摻雜區之數目及/或置放及/或尺寸以改良個別電池之電流產生效率。選擇個別電池內摻雜接觸區之數目及/或置放及/或尺寸的能力係基於即時基於所要摻雜劑位置之動態評估而選擇性沈積摻雜劑之能力。使用即時評估，個別電池可動態地而非靜態地設計以作為對總太陽能電池尺寸之動態選擇之替代或補充。處理方法通常亦可至少相對於可用範圍影響摻雜區之置放及尺寸。

通常，本文中所述之動態處理方法可應用於以諸如單晶矽、多晶矽、非晶矽、硒化鎘、碲化鎘、CIS合金及其類似物之任何類型之半導體材料為主的光伏打結構。CIS合金係指通常包括Cu、In、Ga、Se及S之硫族化物合金。半導體片通常可經摻雜以增加電荷遷移率，但半導體層之總摻雜劑含量小於適當對應摻雜觸點之摻雜劑含量。在下文，更詳細地論述受特別關注之以多晶矽為主之實施例，但基於本文中之揭示內容，適當部分可經推廣用於其他半導體系統。

在受特別關注之實施例中，光伏打模組包含用於半導體片之矽、鍺或矽-鍺合金材料。出於論述之簡單性，除非在上下文另外指示，否則本文中提及矽暗指矽、鍺、矽-鍺合金及其摻合物。在申請專利範圍中，矽/鍺係指矽、鍺、矽-鍺合金及其摻合物。半導體片通常可經摻雜以增加電荷遷移率，但半導體層之總摻雜劑含量小於適當對應摻雜觸點之摻雜劑含量。在下文，更詳細地論述以多晶矽為主之實施例，但基於本文中之揭示內容，適當部分可經

推廣用於其他半導體系統。此外，薄矽箔可適於本文中之處理方法，其中該等矽箔具有約5微米至約100微米之厚度。該等薄箔之形成由於革命性製程方法而成為可能。

諸如多晶矽之結晶矽之薄箔的形成另外描述於Hieslmair等人2007年3月13日申請之標題為"Thin Silicon or Germanium Sheets and Photovoltaics Formed From Thin Sheets"的同在申請中之美國專利申請案第11/717,605號及Hieslmair等人2008年1月25日申請之標題為"Deposition onto a Release Layer for Synthesizing Inorganic Foils"的美國臨時專利申請案第61/062,398號中，該等專利申請案均以引用之方式併入本文。薄矽箔可使用稱為光反應性沈積之光驅動沈積製程來形成。光反應性沈積另外描述於Bi等人之標題為"Coating Formation By Reactive Deposition"之同在申請中的美國專利申請案第09/715,935號、Bi等人之標題為"Coating Formation By Reactive Deposition"之公開案第2003/0228415A號及Chiruvolu等人之標題為"Dense Coating Formation By Reactive Deposition"之公開案第2006/0134347A號中，該等專利以引用之方式併入本文。

藉助於使用犧牲釋放層形成之薄半導體層，可對曝露表面進行清潔、紋理化及/或另外製備，且隨後可將該薄層自下伏基板直接分離至透明前板上。在一些實施例中，隨後將半導體層切割成電池，同時將半導體片固定於透明前板上。隨後，使經切割光伏打電池之前表面定位於其在透明前板上之最終位置而無需轉移電池。由於電池之半導體

結構處於透明前板上之適當位置中，可在電池之背側上執行額外處理直至電池完成且整合至模組中。

金屬或其他導電材料連接於摻雜半導體區成為電池內之集電器。鄰近電池之集電器可與電連接接合以串聯連接電池。串聯中之末端電池可連接於外電路以驅動所選應用或對諸如可再充電電池之儲電裝置進行充電。光伏打模組可安裝於適合框架上。

一般而言，光伏打電池包含具有經設計用於接收光之前表面之光導半導體結構。前表面可具有抗反射塗層及/或紋理或其類似物。前表面通常經設計用於在光伏打模組內鄰近透明層(諸如氧化矽玻璃層)置放。電池之後表面背向透明前板，且通常提供與電池之至少一些電連接。模組通常可具有後密封件，其可連同前透明材料及/或框架一起起作用以保護光伏打模組中之太陽能電池以避免濕氣及其他環境污染物。適當電連接自經密封模組中伸出。

已設計多種觸點結構用於光伏打電池。舉例而言，摻雜區可置放於電池之前表面上。通常，任何前方置放之摻雜區需要與集電器電接觸，該集電器延伸以將觸點與鄰近電池之相反極連接以達成串聯連接或連接於外電路。一些電池在前表面上具有一種類型之摻雜區且在後表面上具有第二類型之摻雜區。在本文中受特別關注之實施例中，各電池沿電池之後方或背部具有兩種極性之摻雜區。在前表面支撐於透明前板上的同時，後表面上置放兩種極性之摻雜區提供便利處理。對後方連接之太陽能電池而言，前表面

可不含會干擾用光照射半導體材料之通路之結構。

半導體摻雜區可形成為沿半導體材料之摻雜域，其中摻雜域可延伸至半導體材料中及/或自半導體材料之表面伸出。P+摻雜區通常包含缺電子摻雜劑，諸如B、Al、Ga、In或其組合。N+摻雜區通常包含多電子摻雜劑，諸如P、As、Sb或其組合。p+摻雜區形成電池陽極(發射極)，而n+摻雜區形成電池陰極(集電極)。在一些實施例中，電池之後側具有複數個p+摻雜區及複數個n+摻雜區。

導電元件將模組中之一個電池之發射極(陽極)與另一個電池之集電極(陰極)連接以形成一組串聯連接電池。當電池處於使用中時，串聯之末端電池之集電器連接於外電路。

在一些實施例中，半導體材料之前側及/或後側可包含電性絕緣之鈍化層。形成鈍化層之適合材料包括(例如)化學計量及非化學計量氧化矽、氮化矽及氮氧化矽，添加或不添加氫。明確而言，鈍化層可包含(例如) $\text{SiN}_x\text{O}_y$  ( $x \leq 4/3$  且  $y \leq 2$ )、氧化矽( $\text{SiO}_2$ )、氮化矽( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )、富矽氧化物( $\text{SiO}_x$ ,  $x < 2$ )或富矽氮化物( $\text{SiN}_x$ ,  $x < 4/3$ )。該等鈍化層保護半導體材料以避免環境降解，減少電洞及電子之表面重組且提供前表面之抗反射性質。如下所述，描述經由鈍化層傳遞摻雜劑材料之製程。

對本文中所述之動態模組及電池處理而言，即時量測可用於估定在沿半導體材料之不同物理位置處的效能特徵，諸如載流子壽命。可(例如)使用非破壞性光學技術進行量

測，該等光學技術可提供相對較大板片中半導體材料之快速評估。光學量測可在所選解析度下進行，且其他外推法及內插法可補充直接量測。量測隨後可用以選擇電池尺寸及/或摻雜劑置放以經由電流效能之改良匹配而改良所得電池及模組之效率。然而，為利用該等量測，切割半導體及/或沿半導體置放摻雜劑之對應有效技術可以基於量測之即時可調整程序實施。

在一些實施例中，自較大的半導體材料片切割複數個太陽能電池。通常，可使用任何合理切割方法。舉例而言，機械切割、流體噴射切割或基於輻射之切割可用於切割較大板片。在一些實施例中，基於輻射之切割(諸如用雷射)可有效用以進行鋒利分割以形成個別電池。半導體片在切割製程期間可支撐於基板上。對半導體為薄箔之實施例而言，可能尤其需要支撐半導體片以使得經切割片段很少會在操作中遭受損壞。

經切割區段可能或可能不相對於光伏打模組內之置放而重新定位。換言之，在一些實施例中，原始半導體片可經選擇以提供用於光伏打模組或其所選部分之半導體結構，且隨後經由切割製程將半導體片再分成個別電池。舉例而言，半導體片或複數個半導體片可固定於模組之透明前板以供切割，以使得經切割之電池結構經適當定位以供進一步處理成完整模組，而不改變半導體材料於透明前板上之位置。在替代實施例中，自單一板片切割之經切割半導體片段可獨立裝配至複數個模組中，諸如一部分區段裝配至

第一模組中且另一部分區段裝配至第二模組中。在其他實施例中，經切割區段可與自一或多種其他半導體片切割之區段一起裝配成單一模組，或經切割區段可與自其他半導體片切割之區段組合用於裝配至多個模組中。

一般而言，摻雜劑可以任何合理製程施加於半導體材料中以形成摻雜觸點。舉例而言，包含摻雜劑元素之液體組合物可經沈積以併入半導體中。或者，已描述用於自摻雜氧化矽粒子獲得摻雜劑以轉移至矽基板之方法。在其他實施例中，摻雜矽粒子可用於形成與半導體片相關之摻雜矽域。該等方法在下文用於摻雜薄矽/鍍箔之印刷方法之背景中進一步論述。

對沈積光伏打電池之摻雜劑而言，解析度就具有微米規模解析度之意義而言通常為中等的，但並非處於當前積體電路組件之甚至更小之規模。因此，噴墨印刷、其他印刷方法或其類似方法可便於在沿電池之選擇位置，諸如沿電池之後方或背側沈積液體摻雜劑組合物從而提供摻雜原子以便隨後形成各別 $n+$ 摻雜域及 $p+$ 摻雜域。雖然習知噴墨頭可適於該用途，但用於特定應用之經重新設計之印刷頭同樣可用以在所選位置自儲集層傳遞所要體積之液體。除印刷方法外，可沈積包含摻雜劑之摻雜劑層，且雷射或其他輻射束可用於將摻雜劑固定在所選位置處以在該位置處形成摻雜觸點。墨水可用於形成層。

一般而言，適於傳遞呈墨水形式之摻雜原子之任何組合物可併入墨水中。摻雜劑墨水被廣泛視為能夠提供所要摻

雜劑元素之液體組合物。詳言之，以相對較高濃度分散之奈米級粒子可用於摻雜劑墨水中。摻雜劑墨水可包含具有所選組成之粒子以傳遞所要濃度之所要摻雜劑。舉例而言，高度摻雜之氧化矽粒子及/或矽粒子可提供摻雜劑，而不引入任何相對於以矽為主之半導體片顯著量之污染物。在其他實施例中，摻雜劑墨水可包含非微粒摻雜劑組合物。

噴墨製程將使摻雜接觸區之處理具有極大靈活性。明確而言，對特定半導體片而言，摻雜製程可以直接方式動態調整。因此，基於對特定半導體片之量測，可選擇摻雜區之位置。如上所述，個別電池之尺寸可基於半導體片之表面上之半導體性質來選擇。若電池尺寸係基於半導體量測，基於電池之所選尺寸來選擇，則摻雜劑域可經對應選擇以適配於特定電池尺寸及形狀內。此外，即使電池尺寸不經動態選擇，亦即，若電池係形成為具有相同尺寸，則摻雜劑置放可基於半導體量測來選擇。同樣地，若需要，則亦可基於關於半導體性質之量測來選擇摻雜劑置放以及個別摻雜觸點之尺寸及/或摻雜劑含量。使用本文中所述之沈積方法，摻雜劑墨水或其他摻雜劑調配物可在所選位置即時印刷或沈積以達成快速及有效之處理。

一般而言，墨水可包含適合液體以形成粒子之分散液。分散金屬氧化物及非金屬氧化物粒子之適合液體通常可包含水、醇、其他有機溶劑及其混合物。分散矽粒子之其他液體描述於下文。分散液可具有低濃度至約50重量百分比

或更大之濃度。良好分散之粒子可具有合理的小二級粒徑，其指示粒子在分散液中不高度聚結。

在適當實施例中，用於形成墨水之摻雜粒子可經由任何合理之製程，諸如火焰熱解、基於溶液之方法或其類似方法來合成。然而，可(例如)使用雷射熱解來製造具有理想性質之高度摻雜粒子，雷射熱解為用於合成具有一定範圍之可選擇摻雜劑之高度均勻次微米級粒子的便利且通用方法。詳言之，藉由適當選擇反應物流之組成及處理條件，可形成併有所要金屬/非金屬組成化學計量視需要以及所選摻雜劑之次微米級粒子。雖然原則上一定範圍之摻雜粒子為適合的，但具有不超過約500 nm之平均初級粒子直徑之摻雜次微米級粒子或奈米粒子由於其能形成良好分散液而為理想的。在一些實施例中，摻雜粒子包含Si、Ge、SiO<sub>2</sub>、GeO<sub>2</sub>、其組合、其合金或其混合物。摻雜粒子可經相關組合物表面改質以穩定粒子分散液。一般而言，處理方法之任何合理組合可適於相對於半導體基板上之所選摻雜劑位置的摻雜劑置放。

最終電池結構可包括除透明前板、半導體片、集電器及摻雜劑區以外之其他層。該等額外層可包括(例如)黏接層、介電層、抗反射層、保護層及其類似物。下文進一步論述用於摻雜劑及觸點結構之通用置放的通用方法。然而，對關於矽箔半導體之特定實施例提供更詳細之描述，其中摻雜劑係沿後表面沈積且所有觸點係對應地沿電池之後表面置放。

在一些實施例中，為形成後觸點太陽能電池，可藉由在引入與半導體層相關之摻雜觸點之前將鈍化介電層沈積於半導體後表面上來達到有效處理。隨後，可移除部分鈍化層以曝露半導體表面以允許與摻雜劑接觸。開口/孔洞可(例如)使用雷射或其類似方法來穿過鈍化層置放，但諸如機械鑽孔或蝕刻之其他方法可為替代或額外方法。可控制雷射鑽孔或其他方法以曝露半導體表面，而不顯著損壞半導體表面。可選擇孔洞尺寸、孔洞數目及/或孔洞置放以產生所要程度之摻雜及電池效能。

一般而言，特定電池上存在具有相反極性之多個摻雜劑位置。若動態選擇個別電池之尺寸，則特定電池之尺寸可直接影響摻雜觸點之數目及置放。又，摻雜區之對應置放可基於特定電池上半導體性質之量測，以便平衡與n+摻雜觸點及p+摻雜觸點相關之效能，從而相對於摻雜觸點之純幾何置放而言，可實現電池之改良電流輸出。可選擇摻雜劑位置以產生高電流收穫效率，只要合理方法可用於形成集電器。因此，摻雜觸點置放將亦需要基於集電器置放之所選製程適當置放集電器。關於處理步驟之協調，孔洞穿過鈍化層之置放可基於摻雜域沿半導體表面置放之所選圖案。

在一些實施例中，圖案化層化結構可用於形成所要集電器組態。微影、光微影或其類似技術之使用可適於形成層化集電器結構。然而，印刷方法亦可用以形成集電器，其與有效且快速處理方法以及摻雜劑位置之動態選擇一致。

一般而言，合理的大量摻雜劑域之使用可為理想的，其後p摻雜區及n摻雜區可具有與鄰近摻雜區之較短距離。若鄰近摻雜區彼此接近，則可進行光電流之更有效收穫。

在沿半導體表面之所選位置處沈積摻雜劑墨水後，可進一步處理摻雜劑以形成摻雜觸點。對摻雜劑組合物及摻雜氧化矽粒子而言，摻雜劑通常在所沈積位置處驅入半導體材料層中，諸如經由在烘箱中加熱結構以使摻雜劑移動，其隨後遷移至半導體材料中。摻雜原子之擴散視時間及擴散條件而定。一般而言，基於烘箱之方法相對減緩且趨向於驅使摻雜劑進入半導體材料中之相對較深處以獲得摻雜劑於半導體內之所要含量。

其他或另外，可使用強光源將摻雜劑驅入半導體中。舉例而言，可使雷射束產生脈衝至表面上以沿表面熔融極薄層，以形成淺摻雜區，但在一些實施例中可使用深摻雜區。詳言之，雷射可在相對較大的區域上提供強烈脈衝以將摻雜劑處理至表面中。通常，適合雷射可發射具有在紅外至紫外範圍內之波長之光。可重複雷射之脈衝產生以達到驅入表面中所要含量之摻雜劑。若使用氧化矽粒子來提供摻雜原子，則在將摻雜劑驅入半導體中之後，可經由適當蝕刻製程自表面移除來自摻雜劑墨水之粒子之殘餘物。在一些實施例中，其可在不移除鈍化層的情況下進行。

對使用矽粒子來將摻雜原子傳遞至摻雜區之實施例而言，可使矽粒子在該位置熔融以直接形成摻雜區。一些摻

雜劑可能或可能不在該熔融製程期間擴散至下伏矽片中。因此，所得摻雜接觸區可呈位於半導體片上及/或半導體片之表面內之薄島狀物形式。在任一狀況下，可進行光電流之有效收穫，因為半導體片上之薄摻雜觸點可與半導體片內之觸點相似地發揮作用。

一旦p+-摻雜區及n+-摻雜區經由適當摻雜形成，即將具有相同極性之摻雜區連接於各別集電器。在適當實施例中，可使用穿過鈍化層之孔洞來形成與摻雜域之電連接。多種方法可用於沈積集電器材料。舉例而言，集電器可使用銀墨來形成，銀墨係諸如用噴墨或網板印刷沈積在適當位置處。適合商業銀墨包括(例如)DowCorning®牌高導電銀墨及來自Metech, Elverson, PA之導電銀墨2512。其他或另外，物理氣相沈積或其類似技術可用於沈積集電器材料。沈積集電器材料後，適當時，可將結構加熱以使集電器材料交聯、熔融及/或退火。在一些實施例中，可沈積集電器之種子層且使用電化學沈積來完成集電器形成。

集電器通常應經連接以串聯連接鄰近電池。為達成該目標，集電器材料可沈積成延伸以經由電阻橋或其類似物連接電池之組態及/或可使用額外佈線或其類似物來連接鄰近電池之集電器。黏接劑及/或襯底材料可置放在電池後表面上以保護後表面且促進操作。明確而言，諸如聚合物片之襯底結構可置放在模組之整個背部及/或側面上。電池模組可在置放襯底材料或其類似物之前或之後置放至適當框架中。陽極及陰極之電導線應在完成模組後可與外電

路連接，但導線可經覆蓋或另外保護以供運輸及/或儲存。

本文中所述之後半導體摻雜區結構良好適於改良之處理方法且適於置放於可用於形成電池結構之薄半導體基板上。通常，薄半導體層在處理期間支撐於基板上。使用後側摻雜區之處理方法減少轉移薄半導體材料之需要從而減少處理步驟且減少損壞薄半導體結構之機率。

即時動態處理太陽能電池及對應模組之能力提供對給定量之材料而言改良模組效能以便改良(亦即降低)功率產生之單位平均成本的能力。對應地，可改良模組之均一性，因為在電池處理中可能需要半導體片內之變化，以使得模組更接近於平均半導體片之規格來發揮作用。因此，可減少製程變化之一個態樣。一般而言，適當摻雜方法提供摻雜劑置放之便利即時程式設計，其允許基於半導體量測來調整電池尺寸以改良其他模組效能及(可能)個別電池之效能。在一些實施例中，便利處理方法包含在製程中電池與透明前板相對較早聯合及沿電池之後方進行額外處理。

### 模組及電池結構

光伏打模組通常具有透明前板及保護性襯底層，太陽能電池在透明前板與保護性襯底層之間。複數個太陽能電池通常在光伏打模組內串聯連接。光伏打電池之半導體結構可為薄矽箔，但本文中之處理方法可用於其他半導體材料及格式。各電池通常具有複數個摻雜域以形成用於電池之兩個極性集電器之觸點。通常，太陽能電池可為後表面或

背表面觸點太陽能電池，但在其他實施例中可採用其他觸點結構。自本文中所述之結構可預期高電池效能。

光伏打模組之示意圖展示於圖1中。光伏打模組100可包含透明前板102、保護性襯底層104、保護性密封件106、複數個光伏打電池108及端子110、112。截面圖展示於圖2中。透明前板102可為對適當太陽光波長透明且對諸如濕氣之環境攻擊提供合理障壁之氧化矽玻璃或其他適合材料之板片。模組組件之適合材料在以下部分中更詳細論述。襯底層104可為以適當成本提供模組之保護及合理操作的任何適合材料。襯底層104不需要為透明的且在一些實施例中可具反射性以將傳輸穿過半導體層之光經由半導體層反射回去，其中一部分反射光可被吸收。保護性密封件106可形成前保護性片102與保護性襯底層104之間的密封。在一些實施例中，可使用諸如可熱密封聚合物膜之單一材料來形成呈整體結構之襯底層104及密封件106。

太陽能電池108經置放以使其前表面面向透明前板102，以使得日光可到達光伏打電池之半導體材料。太陽能電池可使用集電器120、導電線或其類似物串聯電性連接。串聯中之末端電池可分別連接於端子110、112，該等端子提供模組與外電路之連接。在一些實施例中，一些太陽能電池可並聯連接以增加電流，而電壓補償性降低，及/或若各電池串聯產生適當量之電壓，則串聯連接之光伏打電池組可連接於與大模組相聯合之獨立端子。此外，各光伏打電池之平均尺寸可經調整以達到所要模組性質。舉例而

言，具有較少、較大串聯連接之電池之模組的形成在較低電壓下，相對於較大量之較小電池而言，在相同模組佔據面積上產生相對較大量之電流。來自電池串聯之電壓係藉由將個別串聯連接電池之個別電壓相加而求出。

特定預期應用通常影響模組尺寸之選擇。舉例而言，可能之應用為小型個別外部燈至用於住宅之太陽電池板至用於商業規模電力產生設施之太陽電池板不等。合理模組尺寸可(例如)在4平方公分( $\text{cm}^2$ )或4平方公分以下至若干平方公尺或更大之範圍內。一旦選定用於模組之總尺寸，即可選擇平均個別電池尺寸以平衡電流對電壓以及處理考慮因素及材料考慮因素。本文中之處理方法可適於任何該等具有適當對應設備設計之所選實施例。在一些實施例中，模組包含至少10個電池，在其他實施例中至少20個電池且在額外實施例中約24個電池至約200個電池。一般熟習此項技術者應認識到，涵蓋上文明確範圍內之額外電池數範圍且其涵蓋在本揭示案內。

光伏打模組130之實施例之仰視圖展示於圖3中，襯底層已移除。在該實施例中，將具有不同面積之光伏打電池132安裝在透明前板134上。在一些實施例中，模組中之整個電池集合係自單一大半導體片切割，或該模組之電池組係自單一半導體片切割。動態電池切割及摻雜製程可允許有效選擇具有更好匹配電流產生之面積之電池。如圖3中所示，複數個電池切割成具有大致相同之電池寬度，同時選擇電池長度以將電池之電流產生調整至所選值。

參考圖4及5，展示個別光伏打電池之實施例。在一些實施例中，光伏打電池150可包含半導體層152、前表面鈍化層154、後表面鈍化層156、負觸點或集電極160，及正觸點或發射極162。如圖5中之橫截面圖中所示，集電極160通常與n+摻雜區164電接觸。如圖5中所示，發射極162通常與p+摻雜區166電接觸。摻雜區164、166可定位於鈍化層156中之孔洞168下方，且孔洞168可填充有集電器材料以與摻雜區164、166電接觸。

集電器材料已移除之太陽能電池之仰視圖展示於圖6中。一般而言，摻雜區及穿過鈍化層之對應孔洞或開口可具有任何合理之形狀，其分離電池之不同極。舉例而言，穿過鈍化層之孔洞/開口可具有大致圓柱形狀、凹槽形狀或其他所要形狀。可便利地使用本文中所述之製程形成大致圓柱狀之孔洞。舉例而言，孔洞可藉由雷射鑽孔來形成。同樣地，呈凹槽狀之開口可藉由在脈衝之間適當移動雷射束而形成。若移除較大量之鈍化材料，則摻雜區之對應尺寸增加。因此，若移除較多鈍化材料，則接觸電阻可降低，但電洞及電子之表面重組可增加以使得該等效應之間的平衡可影響電池設計。

一般而言，孔洞可具有在約5微米至約100微米之範圍內且在其他實施例中在約10微米至約30微米之範圍內之平均直徑，其為對不同孔洞以及非圓形形狀之平均值。孔洞之間隔可為約50微米至約500微米且在其他實施例中為約80微米至約240微米。一般熟習此項技術者應認識到，涵蓋

上文明確範圍內之額外孔洞尺寸及間隔範圍且其涵蓋在本揭示案內。

在穿過層 156 之孔洞 168 內可見 n+ 摻雜區 164 及 p+ 摻雜區 166 之交替列。為簡化圖示，僅有兩列用參考數字 164、166 標記，但明確該等觸點如何與圖 4 中之集電器條帶排列以使 n+ 摻雜區與負集電極 160 電接觸，且 p+ 摻雜區與正集電極 162 電接觸。同樣地，圖中僅標記兩個實例孔洞，但各摻雜區均與孔洞相聯合。雖然孔洞在圖 4 中以矩形柵格展示，但孔洞置放可基於表面上之半導體性質量測來執行以便動態確定特定結構之孔洞置放，而置放受形成適當集電器之能力所約束。

太陽能電池之一替代實施例展示於圖 7 及 8 中。如圖 8 中所示，在該實施例中，光伏電池 178 具有 n+ 摻雜區 180 及 p+ 摻雜區 182，其以棋盤方式排列。如圖 7 中所示，負觸點 184 及正觸點 186 對應地對準於成角度的條帶中。隨後，負觸點 184 與 n+ 摻雜區 180 電接觸，且正觸點 186 與 p+ 摻雜區 182 電接觸。雖然圖 6 及 8 描述幾何排列之觸點，但如下文進一步所述，觸點置放之動態選擇可涉及觸點之較少對稱置放。

圖 7 之結構中兩極之集電器材料係以共同含量沈積於該結構上。對後觸點光伏電池而言，已描述有絕緣層分隔相反極性電極之雙層集電器結構。參見，Swanson 之標題為 "Method of Fabricating Back Surface Point Contact Solar Cells" 之美國專利 4,927,770 及 Verlinden 等人之標題為

"Method of Fabricating a Silicon Solar Cell"之美國專利6,423,568，兩者均以引用之方式併入本文。雖然雙層集電器結構可併入本文中所述之結構中，但雙層結構將增加處理步驟。

不管金屬指狀物之組態如何，金屬指狀物及相關金屬表面均可經設計以覆蓋實際可允許之區域，而不使相反極觸碰，因為金屬亦充當後光反射器。因此，指狀物寬度可大致為指狀物間距(亦即指狀物中心之間的間隔)之至少約40%，且在其他實施例為指狀物間距之至少約50%且在額外實施例中為指狀物間距之約60至約85%。一般熟習此項技術者應認識到，涵蓋該等明確範圍內之額外指狀物間距範圍且其涵蓋在本揭示案內。

上文之論述集中於具有後觸點之薄膜半導體太陽能電池。然而，本文中之諸如動態電池處理程序之一些處理程序可用於其他電池組態。舉例而言，具有前觸點及後觸點之組合之薄膜太陽電池另外描述於Hiraishi等人之標題為"Method of Fabricating Thin-Film Photovoltaic Module"之美國專利6,455,347中，該專利以引用之方式併入本文。具有前觸點及後觸點之另一代表性光伏打模組結構描述於Kidoguchi等人之標題為"Method of Fabricating Integrated Thin Film Solar Cells"之美國專利5,956,572中。本文中所述之一些動態製程基於本文中之教示可適於處理具有前觸點及後觸點之電池。對該等實施例而言，電池之動態切割可在將半導體片轉移至透明前板之前執行以使得半導體層

之前表面可就前表面觸點之置放而言，在將電池固定至透明前表面之前處理。將電池固定至透明基板後，可對後表面執行其餘處理。

### 光伏打總成之材料

下文描述併入光伏打模組中之適合材料之實例。透明前板可(例如)為氧化矽玻璃、其他無機玻璃材料、透明聚合物材料、其複合物或其類似物。透明前板可在一個或兩個表面上具有抗反射塗層或其他光學塗層。適合聚合襯底層包括(例如)來自 DuPont 之 Tedlar<sup>®</sup> "S" 型聚氟乙烯膜。關於反射材料，襯底層之聚合物片可塗有薄金屬膜，諸如金屬化 Mylar<sup>®</sup> 聚酯膜。接合透明前板及襯底層之保護性密封件可由黏接劑、天然或合成橡膠或其他聚合物或其類似物形成。

一般而言，若材料可形成為可適當切割成所選電池尺寸之板片，則適用於太陽能電池之任何合理半導體材料可如本文中所述來處理。然而，多晶矽提供所要水平之效能，同時具有可用於形成可切割成個別太陽能電池之大面積半導體片之合理成本材料。詳言之，適合半導體材料包括(例如)薄多晶矽箔。

矽或其他無機半導體之薄箔可形成於犧牲釋放層上。在一些實施例中，釋放層具有弱機械性，以使得釋放層可破裂而對釋放層上之矽層無損壞。藉由光反應性沈積(LRD™)形成薄矽片另外描述於 Hieslmair 等人 2007 年 3 月 13 日申請之標題為 "Thin Silicon or Germanium Sheets and

Photovoltaics Formed From Thin Sheets"之公開美國專利申請案 2007/0212510A 中，該案以引用之方式併入本文。同樣地，釋放層上之矽薄膜可使用化學氣相澱積(CVD)方法，在大氣壓或亞大氣壓力下，形成至多孔釋放層上。至多孔釋放層上之CVD製程另外描述於Hieslmair等人2008年1月25日申請之標題為"Deposition Onto a Release Layer for Synthesizing Inorganic Foils"之美國臨時專利申請案第 61/062,398 號中，該案以引用之方式併入本文。如 Hieslmair 等人 2008 年 1 月 25 日申請之標題為 "Zone Melt Recrystallization for Thin Silicon Films"之同在申請中的美國臨時專利申請案第 61/062,420 號中進一步所述，矽箔之性質可經由經設計供釋放層上之薄箔使用之有效區域熔融再結晶製程來改良。

薄矽片之使用降低材料用量，同時保證良好之電池效能。薄矽片通常具有不超過約 250 微米之厚度。在一些實施例中，薄矽箔可具有不超過約 100 微米之厚度，在其他實施例中約 5 微米至約 100 微米，在其他實施例中約 10 微米至約 80 微米且在其他實施例中約 30 微米至約 60 微米，及該等範圍內之任何子範圍。一般熟習此項技術者應認識到，涵蓋該等明確範圍內之額外箔厚度範圍且其涵蓋在本揭示案內。藉助於使用犧牲釋放層形成之薄半導體箔，可對上表面進行清潔、紋理化、塗佈及/或另外製備，且隨後可將薄箔自下伏基板直接分離至透明基板上。在一些實施例中，一或多個額外層(諸如鈍化層)可沈積在矽層之上及/或

矽層之下。

矽箔可轉移至透明前板，例如，使用黏接劑組合物黏接矽箔或使用靜電相互作用來轉移。適合黏接劑包括(例如)聚矽氧黏接劑或EVA黏接劑。其他合理黏接劑可用於光伏打模組總成中之其他用途，諸如黏接襯底材料、附著於框架、形成結構內之密封件及其類似用途。諸如橡膠之其他聚合物亦可用於形成密封件。用於將薄無機箔轉移至接收表面之製程及設備另外描述於Mosso等人2008年1月25日申請之標題為"Layer Transfer for Large Area Inorganic Foils"之同在申請中的美國臨時專利申請案第61/062,399號中，該案以引用之方式併入本文。

在一些實施例中，半導體層之前側及/或後側可包含電性絕緣之鈍化層。形成鈍化層之適合材料包括(例如)化學計量及非化學計量氧化矽、氮化矽及氮氧化矽、碳化矽、碳氮化矽、其組合及其混合物，添加或不添加氫。在一些實施例中，鈍化層可包含(例如) $\text{SiN}_x\text{O}_y$  ( $x \leq 4/3$  且  $y \leq 2$ )，氧化矽( $\text{SiO}_2$ )，氮化矽( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )，富矽氧化物( $\text{SiO}_x$ ， $x < 2$ )或富矽氮化物( $\text{SiN}_x$ ， $x < 4/3$ )。鈍化層可保護半導體材料以避免環境降解，減少電洞及電子之表面重組，提供結構設計特徵及/或輔助一些處理步驟，且為前表面提供抗反射性質。在一些實施例中，前鈍化層可包含 $\text{SiN}_x\text{O}_y$ 或其他透明介電材料。鈍化層通常亦為化學惰性的以使得電池對任何環境污染物更具抗性。

鈍化層可以形成薄結晶矽層之相似反應性沈積製程形

成，但鈍化層可由諸如CVD或PVD技術之其他技術，使用(例如)商業沈積設備或用光反應性沈積來形成。光反應性沈積(LRD™)另外描述於Bi等人之標題為"Coating Formation By Reactive Deposition"之同在申請中的美國專利申請案第09/715,935號、Bi等人之標題為"Coating Formation By Reactive Deposition"之10/414,443及Chiruvolu等人之標題為"Dense Coating Formation By Reactive Deposition"之11/017,214中，該等專利以引用之方式併入本文。鈍化層可用電漿CVD或其類似技術來沈積。鈍化層通常可具有通常約10奈米(nm)至200 nm且在其他實施例中30 nm至180 nm且在其他實施例中50 nm至150 nm之厚度。一般熟習此項技術者應認識到，涵蓋上文明確範圍內之額外厚度範圍且其涵蓋在本揭示案內。

前鈍化層及/或後鈍化層通常可具有紋理以將光散射至半導體層中(例如)以增加有效光路徑及對應之光吸收。在一些實施例中，紋理化材料可包含具有約50 nm至約100微米之平均峰間距離之粗糙表面。紋理可在形成鈍化層之沈積製程期間引入及/或紋理可在沈積步驟之後添加。

如上所述，將半導體材料處理成太陽能電池涉及傳遞摻雜劑材料以形成摻雜觸點。一般而言，可使用能夠將所要摻雜劑原子傳遞至經曝露矽之任何合理墨水。舉例而言，可沈積含有磷或硼之液體。詳言之，適合墨水可包含(例如)磷酸三辛酯、於乙二醇及/或丙二醇中之磷酸或於乙二醇及/或丙二醇中之硼酸。在一些實施例中，可沈積裝填

有無機粒子之墨水以提供摻雜劑。舉例而言，無機粒子可包含摻雜氧化矽或摻雜矽。摻雜氧化矽玻璃已用以使用光微影製程傳遞用於光伏打電池之摻雜劑。具有摻雜粒子之墨水之使用可提供摻雜劑在所要位置處之印刷，例如使用噴墨印刷。

在受特別關注之實施例中，摻雜粒子具有不超過約250 nm，在其他實施例中不超過約100 nm，在其他實施例中不超過約50 nm且在額外實施例中不超過約25 nm之平均初級粒徑。一般熟習此項技術者應認識到，涵蓋上文明確範圍內之額外粒徑範圍且其涵蓋在本揭示案內。一般而言，摻雜粒子通常可由基於反應流之方法或基於溶液之方法來形成。具有各種組成之次微米級無機粒子可藉由熱解，尤其基於光之熱解或雷射熱解，單獨或與額外處理一起來產生。在基於光之熱解/雷射熱解中，來自強電磁輻射源之光驅動反應以形成粒子。為了方便起見，本申請案可互換地提及基於光之熱解及雷射熱解，因為可使用適合強電磁輻射源替代雷射。雷射熱解適用於形成在組成、結晶度及尺寸上高度均勻之粒子。此外，可(例如)使用雷射熱解有效形成無機粒子，該雷射熱解產生具有引起高分散性且易於併入所要結構中之理想表面性質之粒子，但可使用其他粒子源。

詳言之，已開發雷射熱解方法用於合成次微米級多金屬/非金屬氧化物複合物粒子及其他錯合金屬/非金屬粒子組合物以及其摻雜組合物。將金屬/非金屬元素引入反應物

流中。藉由適當選擇反應物流之組成及處理條件，可形成併有所要金屬/非金屬組成化學計量視需要以及所選摻雜劑之次微米級粒子。用雷射熱解合成摻雜粒子另外描述於 Horne 等人之標題為 "Optical Materials and Optical Devices" 之美國專利 6,849,334 中，該專利以引用之方式併入本文。

一般而言，墨水可包含適合液體以形成粒子之分散液。分散金屬氧化物及非金屬氧化物粒子之適合液體通常可包含水、醇、其他有機溶劑及其混合物。分散液可具有低濃度至約 50 重量百分比或在一些實施例中至約 20 重量百分比或更大之濃度。良好分散之粒子可具有合理的小二級粒徑，其指示粒子在分散液中不高度聚結。粒子可具有表面改質以穩定粒子分散液及/或其他表面活性劑可包括於分散液中。

藉由雷射熱解形成之粒子通常具有欲以中等濃度來分散之適當表面化學性質。粒子分散液之穩定性可經由粒子之表面改質在較高粒子濃度下改良。一般而言，粒子之表面性質影響粒子之分散。粒子之表面性質通常視合成方法以及合成後處理而定。一些表面活性劑，諸如許多界面活性劑，經由與粒子表面之非鍵結相互作用起作用。在一些實施例中，理想性質經由使用與粒子表面化學鍵結之表面改質劑來獲得。適合表面改質劑包括(例如)烷氧基矽烷，其經由 O-Si 鍵與金屬氧化物及非金屬氧化物粒子化學鍵結。詳言之，三烷氧基矽烷與粒子表面形成穩定鍵。矽烷之側

基影響表面改質粒子之所得性質。

當處理乾燥合成原樣粉末時，已發現在表面改質之前形成粒子之良好分散促進表面改質製程且產生具有較高程度之表面改質之粒子。粒子之表面改質可增加適合液體之範圍，且尤其提供粒子於較小極性溶劑中之良好分散。一些形式之混合、超音波處理或其類似技術可用於改良粒子之分散。在一些實施例中，平均二級粒徑可為不超過平均初級粒徑之4倍，在其他實施例中不超過平均初級粒徑之約3倍且在額外實施例中不超過平均初級粒徑之約2倍。此外，體積平均粒徑可不超過約1微米，在其他實施例中不超過約250 nm，在額外實施例中不超過約100 nm，在其他實施例中不超過約75 nm且在一些實施例中為約5 nm至約50 nm。

對印刷應用而言，可能需要形成膠狀分散液。因此，在一些實施例中，分散液可為含有少量升高分散液之pH值之氫或其他組合物的水性分散液。為由無機粒子分散液形成墨水，若需要，則可包括其他添加劑，諸如黏度改質劑、界面活性劑或其類似物。對一些實施例而言，黏度可為0.1 mPa·s至約100 mPa·s，且在其他實施例中約0.5 mPa·s至約25 mPa·s。對一些實施例而言，分散液/墨水可具有約2.0至約6.0 N/m<sup>2</sup>且在其他實施例中約2.2至約5.0 N/m<sup>2</sup>且在額外實施例中約2.5至約4.5 N/m<sup>2</sup>之表面張力。一般熟習此項技術者應認識到，涵蓋上文明確範圍內之額外黏度及表面張力範圍且其涵蓋在本揭示案內。

用於執行半導體摻雜之包含氧化矽粒子之適合墨水之形成描述於 Hieslmair 等人 2008 年 1 月 2 日申請之標題為 "Silicon/Germanium Oxide Particle Inks, Inkjet Printing and Processes for Doping Semiconductor Substrates" 之同在申請中的美國專利申請案第 12/006,459 號中，該案以引用之方式併入本文。用於形成摻雜半導體域之包含矽粒子之適合墨水之形成另外描述於 Hieslmair 等人 2008 年 1 月 2 日申請之標題為 "Silicon/Germanium Particle Inks, Doped Particles, Printing and Processes for Semiconductor Applications" 之同在申請中的美國專利申請案第 12/006,453 號中，該案以引用之方式併入本文。該等專利申請案中所述之該等材料可應用於本文中所述之製程中。

#### 電池處理及模組處理

在此所述之處理步驟適用於且有效用於處理光伏打模組，視需要以及模組內經動態設計之太陽能電池。在一些實施例中，太陽能電池經設計以便由呈半導體片形式之薄矽箔製造。然而，至少一些處理程序通常適用於且有利於製造具有任何厚度之矽片之光伏打電池以及由其他半導體材料形成之電池。一些處理步驟或一系列處理步驟明確針對於自電池收穫電流之後側觸點之有效產生。摻雜劑可經由鈍化層中之孔洞來置放，其可與集電器材料之小心置放組合用於以減少之處理步驟數形成後觸點電池，同時達成保證以減少量之材料達成改良效能之理想結構。

一些實施例之動態處理係根據在半導體表面上之位置分

布下預期效能之量測來組構。隨後，基於所選演算法，使用效能量測動態地設計其他處理。該動態處理可包括(例如)選擇用於將半導體片切割成個別太陽能電池之位置及/或選擇摻雜觸點沿電池之置放。一旦設計完成，即執行額外處理步驟以相對於由半導體材料形成之不具有動態處理優勢之模組而言，以改良效能完成光伏打模組。

在一些實施例中，下文論述中之一些處理步驟明確針對於自電池收穫電流之後側觸點之形成，但可執行用於如上所述之其他電池觸點組態之動態處理。一般而言，如圖9中所示，處理步驟可包含(例如)半導體片製備190、半導體量測192、動態電池設計194、電池結構處理196及模組完成198。在本文中所述之總處理方法之一些實施例中，該製程通常涉及一或多個半導體(例如矽)大片的使用，其在製程期間基於板片上之某些點之半導體性質量測而分成個別電池。一般而言，製程可提供材料之適當操作以及有效處理，同時廢物減少且處理步驟數減少，而不損及模組效能之品質。對不執行動態處理之實施例而言，可省略關於半導體量測192及動態電池設計194之步驟。

半導體片製備190係針對初始半導體片之形成以為執行其他處理以由該半導體片形成太陽能電池作準備。初始半導體片結構可通常藉由任何適合方法來形成。舉例而言，半導體片可自矽錠切割。然而，在其他實施例中，半導體片至少部分用反應性沈積製程來形成。上文描述用於形成半導體片之適當反應性沈積製程。經由反應性沈積製程，

可形成極薄的矽箔以供模組中使用。即使矽箔為薄的，其仍可用避免對該矽箔造成損壞之適當轉移技術來操作。

與電池結構處理196有關之一些步驟可在半導體片製備190之前執行。舉例而言，鈍化層可在形成半導體片之前沈積，半導體片係沈積在鈍化層上。一或兩個鈍化層可作為反應性沈積製程之一部分形成。通常將鈍化層紋理化。

同樣地，一些電池結構處理步驟196可能或可能不在對半導體片執行量測192之前執行。舉例而言，半導體之表面可經曝露用於執行量測，以使得鈍化層可能不在進行量測之前置放於兩個表面上。對該等實施例而言，一鈍化層可在執行半導體量測之前置放及/或半導體層可在執行半導體量測之前與透明層聯合。透明基板可在後續處理步驟期間為半導體片提供機械支撐。然而，在替代實施例中，半導體量測可在形成頂鈍化層及底鈍化層之後執行。一或兩個鈍化層可作為反應性沈積製程之一部分形成。

在一些實施例中，在反應性沈積製程中，一或多層具有半導體層之結構係連續形成在釋放層上。釋放層可具有提供該結構自原始基板破裂或釋放之組成及/或機械性質。視矽箔之其他操作而定，矽箔之後表面或前表面可抵靠釋放層形成。在替代實施例中，矽係直接沈積在透明前板上以使得電池之前表面形成在透明前板上而無需釋放層或對應轉移。在任一定向中，結構可進一步處理，諸如熱處理，同時與原始基板聯合。雖然原則上電池之摻雜區可經由反應性沈積製程形成，但本文中描述用於形成摻雜劑觸

點之有效且便利方法，其提供與摻雜觸點之電連接。

在涉及釋放層之反應性沈積製程中，釋放層可沈積在可再使用之基板上。釋放層可為可經由反應性沈積製程沈積之多孔微粒陶瓷組合物，且適合組合物包括(例如)適於鈍化層之相似組合物。因為基板可再使用，所以可使用高品質基板而不會過度增加成本。在實施例之一實例中，薄氮化矽或氮氧化矽後鈍化層可沈積在釋放層上。隨後，結晶矽層可沈積在後鈍化層上。在一些實施例中，薄的前鈍化層可沈積在結晶矽層上。若沈積後鈍化層，則半導體之量測可在將該結構與釋放層分離之前執行。若沈積前鈍化層，則半導體層之量測可在與釋放層分離且視需要移除釋放層之殘餘物後，在半導體之經曝露後表面上執行。

形成矽箔及鈍化層之反應性沈積另外描述於上文材料部分中。在一些實施例中，可隨後加熱藉由反應性沈積形成之結構以使鈍化層固結及/或使結晶矽層退火及/或另外改變層之性質。上文亦提及用於執行薄矽箔之區域熔融再結晶之改良方法。

為估定在太陽能電池中之效能而進行之半導體量測192可基於載流子壽命評估。詳言之，半導體材料之光電流產生可作為半導體之載流子壽命之函數來估定。通常在摻雜及/或切割個別電池之前執行評估以估定板片上不同位置處之效能。詳言之，量測可在沿半導體片之所選點柵格上執行。載流子壽命之額外值可相對於所量測點，使用已建立線性或非線性擬合慣例來內插及或外推。因此，為了方

便起見，量測可基於具有一定間隔之矩形柵格，該間隔可至少部分基於量測技術之解析度。對沿量測柵格(邊緣可能為柵格區域之片段)之各柵格位置而言，沿柵格之區段之面積可設定在(例如)約 $0.0001 \text{ mm}^2$ 至約 $400 \text{ mm}^2$ 之解析度，其中該等柵格區分別對應約10微米至約20 mm之解析度。一般熟習此項技術者應認識到，涵蓋該等明確範圍內之額外解析度範圍且其涵蓋在本揭示案內。

量測設備及/或半導體片可在平台或其他傳送系統上相對於彼此平移以執行量測。在一些實施例中，可移動光學組件以掃描半導體表面。該等量測可用於確定電池組態及對應電池觸點置放。

詳言之，光學技術可用於評估半導體之載流子密度及/或載流子壽命。在一些實施例中，載流子密度可用於估定載流子壽命，其與作為光電導體之材料之電流產生關聯。沿半導體表面圖之少數載流子擴散長度的光學量測(可用於評估載流子壽命)描述於Shi等人標題為"Methods and Systems for Determining one or More Properties of a Specimen"之公開美國專利申請案2007/0126458中，該案以引用之方式併入本文。又，載流子密度可由形成鈍化層之前或之後映射於半導體材料上之紅外壽命來估定。紅外壽命可(例如)用在光譜之紅外部分中操作用以量測樣本之紅外傳輸的電荷耦合相機來量測。可快速獲得材料之高解析度掃描。Isenberg等人之文章描述使用紅外雷射及商業CCD相機以獲得半導體材料之表面上降至30微米之解析

度。對 Isenberg 文章的引用為 Journal of Applied Physics, 93(7):4268-4275 (2003年4月1日)，標題為 "Imaging method for laterally resolved measurement of minority carrier densities and lifetimes: Measurement principle and first applications"，其以引用之方式併入本文。Goldschmidt 等人之文章論述基於載流子壽命之量測計算短路電流及開路電壓。Goldschmidt 之文章係在第 20 屆歐洲光伏打太陽能會議及展覽 (the 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition)，2005 年 6 月 6-10 日，Barcelona，Spain 中提出，標題為 "Predicting Multi-Crystalline Silicon Solar Cell Parameters From Carrier Density Images"，其以引用之方式併入本文。用於矽材料之電荷-電流效能之無觸點估定的替代方法描述於 Trupke 等人，Applied Physics Letters 87:093503 (2005) 中，標題為 "Suns-photoluminescence: Contactless determination of current-voltage characteristics of silicon wafers"，其以引用之方式併入本文。Trupke 文章中之製程可推廣用於半導體表面上之空間解析。

半導體量測可用於執行動態電池設計 194，參見圖 9 之製程步驟。一般而言，基於半導體表面上之量測，可使用一系列演算法來布置所得電池。一般而言，將初始材料性質與最終電池功率特徵關聯之能力允許吾人調整電池尺寸、觸點間隔/間距，及甚至 '串列 (stringing)' 電池 (串聯及/或並聯連接電池子集) 以增加總模組功率產生且補償具有不良效能之區域。

給定矽箔之載流子壽命圖，可選擇電池尺寸以使得電池在預期峰功率點處之輸出電流良好匹配。較低載流子壽命及/或載流子密度量測與彼區域在峰功率點處每單位面積之較低預期電流關聯。因此，與較高載流子壽命區域比較，較低載流子壽命區域應製成較大電池。初始材料載流子壽命與適當電池面積之間為達成電流匹配之比例可憑經驗確定且不必為線性的。詳言之，對特定太陽能電池設計而言，可進行來自所量測域之光電流的量測，以確定具有對應光電流之材料載流子壽命與電壓之間的函數關係。該等函數關係隨後可用以執行動態電池設計。

因為光伏打模組通常以串聯及/或並聯形式安裝在某一位點，所以常常需要模組具有某種額定電流(串聯)或額定電壓(並聯)。給定矽箔或其他半導體材料之載流子壽命映射以及電池製造過程及所得電池性質之經驗知識，可設計流程以將箔分成電池以便在較高功率下達到目標電流或目標電壓。為達到目標電流，劃分電池以使得各電池產生大致為目標值之電流。隨後，模組之串聯連接電池產生大致等於目標值之總電流。為達到目標電壓，電池之粗略電壓值可用於選擇電池總數以達到目標值。隨後，將板片適當分成電池，其串聯相加達到目標值。通常藉由損失一些程度之功率效能同時設定目標電流及電壓係可能的。一般而言，經由動態處理，模組中任何兩個電池之間的電流變化可減少至不超過該等電池之平均電流之8%，且在其他實施例中，不超過在相等照明下在組合電池之最大功率點處

之電流的約5%變化。同樣地，個別電池具有更均勻電流產生之模組的功率大致因模組之對應電流增加而更高。一般熟習此項技術者應認識到，涵蓋上文明確範圍內之額外電流及功率改良範圍且其涵蓋在本揭示案內。

已關注於將反相器整合至模組中。若該等反相器變得商業可行，則不要求目標電壓或電流。在該情況下，可完全選擇電池尺寸、觸點間距及電池串列以達成增加之功率產生。經整合之反相器可將模組功率輸出調節成標準120V 60Hz輸出(US)，其可直接饋送至電力線，或送至所選之其他標準電力輸出。

作為代表實例，考慮將半導體基板分成一或多個條帶。如圖10A中所示，展示基板220，線224指示板片最後分成兩個條帶226、228。線224之位置可基於來自各條帶之估定總電流。作為基於圖10A中所示之實施例之假設實例，若預期自頂部條帶中之所有量測之電流估定值相加比自底部條帶中之所有量測之總和的電流估定值高，則頂部條帶之面積可製成適當小於底部條帶之面積以作補償。

隨後，各條帶可再分以使得劃分後來自各電池之電流大致相等。該劃分係基於對板片及對應各條帶之所選電池總數。在一些實施例中，各量測點周圍區域之估定電流可假定為在該點周圍大致恆定。或者，在各量測點處之估定電流可使用線性或非線性算法外推或內插。可考慮條帶尺寸。隨後，條帶中來自各電池之估定電流係自總估定電流除以條帶中之電池總數而獲得。隨後，可確定各電池之面

積以產生目標電流。圖10A中展示代表性劃分成10個電池232。

圖10B中展示切割成10個電池232後之板片，基板234支撐經切割之電池。圖10B亦展示摻雜域236之定位，其中摻雜域位置經動態選擇以使得位置不在矩形柵格上。在替代情況下，摻雜觸點可置放在矩形柵格上。在圖10B中所示之實施例中，選擇各個垂直但未必筆直之列以接收相同摻雜劑以使得觸點可沿列而形成。

一旦電池尺寸確定，即可確定摻雜製程之摻雜域之數目及置放。摻雜域置放之選擇可基於保持電池內摻雜域數目恆定且基於電池之實際尺寸將摻雜域置放於特定電池中以根據所選圖案大致均勻地間隔摻雜域。或者，摻雜域之間間隔可靶向固定值，且隨後因此藉由根據電池中之可用空間，基於摻雜域之目標間隔及尺寸配合最多摻雜域來置放摻雜域。

將半導體片切割成個別電池後之另一實施例展示於圖11中。在該實施例中，將板片切割成5個大致相等尺寸之列240、242、244、246、248。隨後，基於半導體性質之量測將各列切割成具有適當尺寸之電池。如上所述，電池數目通常可基於目標模組效能選擇，諸如基於目標電壓選擇。一般而言，光伏打模組可包含(例如)2至2000個太陽能電池，且在其他實施例中10至500個太陽能電池，以及該等明確範圍內之任何範圍。通常，布置可首先基於如上文實例中劃分成列，或劃分可為改良電流匹配之任何數量之

數學演算法，諸如以相等面積電池開始且改變面積以補償電流差異之迭代法，該校正方法持續直至電流經估定在指定公差內為相等的。

進一步處理半導體片以經由形成收穫光電流之摻雜觸點及置放引導所收穫光電流之集電器而形成太陽能電池。在受特別關注之實施例中，個別太陽能電池係自較大半導體片切割。太陽能電池可經定位以接收穿過透明前板之光。本文中之論述集中於後觸點太陽能電池之形成，但基於本文中之教示至少一些處理步驟可推廣用於其他摻雜觸點置放。電池結構處理 196(圖 9)可包含(例如)圖 12 中之一或多個步驟，但當對處理考慮而言不必要時，該等步驟不必以所呈現之順序來執行，且通常對於特定商業設計可包括額外處理步驟。此外，電池結構處理 196 之一些步驟可在圖 9 之半導體量測 192 及 / 或動態電池設計 194 有關之步驟之前進行或同時與該等步驟平行進行。

一般而言，參考圖 12，電池結構處理 196 可包含(例如)沈積一或多個額外層 260，將半導體轉移至透明前板 262，切割電池 264，使該結構準備用於摻雜劑沈積 266，沈積摻雜劑組合物 268，使摻雜劑固化 270，沈積電池集電器 272 且使集電器固化 274，但可使用額外步驟，且一些步驟可組合或可選。額外層之沈積可涉及沿半導體片之頂表面及 / 或底表面形成(例如)鈍化層。在替代實施例中，一或多個鈍化層可在用於形成半導體層之製程期間形成。上文描述用於形成鈍化層之組合物、參數及方法。亦可沈積可為臨

時的或為最終太陽能電池之層之額外保護層、黏接層及處理層。

用於半導體層之各別側面之鈍化層可在製程中之適當時間沈積。通常將鈍化層紋理化。紋理化可用電漿蝕刻或其他適合方法來進行，及/或紋理可在沈積期間併入層中。適當時可沈積額外層以形成所要結構，諸如分層集電器。同樣地，蝕刻製程及微影及光微影方法可用於將層圖案化。

關於將半導體片轉移至透明前板262，該製程在很大程度上視半導體之性質而定。一般而言，對較厚半導體結構而言，可直接執行該製程。對薄矽箔而言，可直接自涉及多孔微粒釋放層之結構執行該製程或可預先執行轉移步驟以使得向透明前板之轉移可自臨時接收表面發生。用於操作及轉移薄無機箔之製程及設備另外描述於Mosso等人2008年1月25日申請之標題為"Layer Transfer for Large Area Inorganic Foils"之同在申請中的美國臨時專利申請案61/062,399中，該案以引用之方式併入本文。具有任何鈍化層及其類似物之半導體結構可用透明黏接劑或其類似物層壓至透明前板。

對適當實施例而言，使用半導體片上之半導體性質之量測，電池可基於上文所論述之動態電池設計布置於板片上。電池係在電池結構處理製程中之適當時間點自半導體片切割264。通常，板片係在半導體量測(若執行)之後且在形成完整模組之最終處理步驟之前的某一時間點執行。另

外，太陽能電池可在定位於透明前板上之前或之後自半導體片切割。在置放於透明前板上之後切割免去任何獨立對準步驟，但除非執行額外移除及置換步驟，否則該處理順序通常或多或少固定電池之特定配置。由於電池之半導體結構處於透明基板上之適當位置中，可在電池之背側上執行額外處理直至電池完成且整合至模組中。

太陽能電池可基於所選劃分自半導體片切割，該劃分視需要可在動態電池設計期間映射。若不執行動態電池設計，則板片通常經劃分以形成大致相等尺寸之電池。因為光伏打模組通常以串聯及/或並聯形式安裝於某一位點，所以常常需要模組具有某種額定電流(串聯)或額定電壓(並聯)。為達到目標電流，劃分電池以使得各電池產生大致為目標值之電流。隨後，模組之串聯連接電池產生大致等於目標值之總電流。為達到目標電壓，電池之粗略電壓值可用於選擇電池總數以達到目標值。隨後，將板片適當分成電池，其串聯相加達到目標值。通常藉由損失一些程度之功率效能，同時設定目標電流及電壓係可能的。

雖然電池可在不使用量測下以規則圖案來劃分，但經由將電池動態切割成更接近匹配來自個別電池之電流之尺寸可獲得優點。電池可使用合理機械方法來切割，諸如用具有硬刃刀片之鋸、流體噴射切割設備或其他機械方法來切割。然而，可用之雷射切割技術提供尤其關於電池置放之即時測定之特定便利性。適合雷射切割系統可購自 Oxford Lasers, Inc., Shirley, MA, USA 及 IPG Photonics Corp.,

Oxford, MA, USA以及其他商業來源。一般而言，可使用使材料扁平(oblate)之任何合理雷射頻率，諸如在1070 nm下操作之鐳雷射。若半導體片係在附著於透明基板的同时切割，則所選切割方法可輕微切割至透明基板中而不損傷電池效能，只要透明基板維持其機械完整性即可。一般而言，電池之雷射切割可在與形成摻雜觸點有關之步驟之前，之後或之間執行。

摻雜劑沈積之準備266(若執行)通常涉及提供鈍化層或可沿半導體表面置放之其他層以及摻雜劑到達半導體表面的通路。在一些實施例中，鈍化層可經圖案化以提供可接受摻雜劑之經曝露區。光微影技術、可涉及各種蝕刻方法之其他微影技術可用於結構之圖案化。原則上，若可置放摻雜劑而無顯著遷移，則鈍化層或其他保護層之圖案化可在摻雜製程之後執行，但摻雜之該處理順序首先提供對其他處理步驟之約束且涉及相當精確之相對定位以適當曝露所得摻雜劑。在一些實施例中，理想方法包含穿過鈍化層鑽孔。摻雜劑可印刷至孔洞中，該等孔洞變成摻雜觸點之位置。提及孔洞並非意欲暗指圓柱狀結構，且孔洞可具有所選形狀及尺寸。上文論述適當孔洞尺寸範圍。

供摻雜之適當位置可在各電池內確定。在上文圖4-8之背景中，論述用於定位摻雜觸點之圖案。舉例而言，供摻雜劑置放之孔洞可置放在矩形柵格或其他適當幾何配置上。在一些實施例中，供摻雜劑沈積之適當位置可動態地在各電池內確定。摻雜劑置放之動態選擇可基於半導體片

上之半導體性質之量測。

可雷射鑽取或機械鑽取穿過鈍化層之孔洞。舉例而言，雷射鑽孔可使用綠色至UV雷射，其可以10奈秒(ns)至100 ns之短脈衝來使用，但可使用其他雷射頻率及啟動序列。經估定每脈衝約2至約30 J/cm<sup>2</sup>之雷射通量適於單脈衝以開孔。一般熟習此項技術者應認識到，涵蓋上文明確雷射參數範圍內之額外範圍且其涵蓋在本揭示案內。實驗已展示，對具有約60 nm之厚度之富矽氮化矽薄膜而言，在355 nm波長下來自三倍波長YAG雷射之單一25 ns脈衝以4.3 J/cm<sup>2</sup>之通量形成適合開口。所得孔洞之顯微照片展示於圖13中。預期較短波長及較短脈衝時間引起對下伏矽之較少損傷，但自商業觀點可能存在一定範圍之取捨，諸如成本。

預期雷射鑽孔產生一些碎片。淺蝕刻可移除碎片以及矽中之受損層。可用硝酸/氫氟酸混合物、氫氧化四甲基銨(TMAH)或氫氧化鉀(KOH)蝕刻組合物執行適合的化學蝕刻。蝕刻之後所得結構之示意性截面圖展示於圖14中，其中孔洞290延伸穿過鈍化層292且部分進入半導體294。一般而言，雷射切除、化學蝕刻及/或其他移除步驟後，約1%至約50%，在其他實施例中約5%至約30%且在額外實施例中約10%至約25%之介電鈍化層經移除以曝露孔洞下方之乾淨、有效未受損之矽，其餘部分藉由鈍化層覆蓋。一般熟習此項技術者應認識到，涵蓋上文明確範圍內之額外鈍化層移除範圍且其涵蓋在本揭示案內。

摻雜劑組合物隨後可經由孔洞施加以接觸經曝露之矽。在一些實施例中，摻雜劑在載有摻雜劑之墨水中傳遞，該墨水可(例如)使用噴墨印刷機或其類似物來分配。目前易於獲得200至800 dpi之大面積上之噴墨解析度，其足以用單滴圖案化100至200節線以覆蓋雷射切割之孔洞。又，噴墨解析度持續改良。通常使用兩種墨水，一種墨水提供n型摻雜劑，諸如磷及/或砷，且第二種墨水提供p型摻雜劑，諸如硼、鋁及/或鎵。上文描述適合墨水，其可包含呈液體形式或溶於液體中之摻雜劑組合物，或包含摻雜劑粒子，諸如摻雜氧化矽粒子或摻雜矽粒子。

摻雜劑沈積後，適當時可使摻雜劑固化270(圖12)以提供摻雜觸點與半導體材料之間的所要電相互作用。舉例而言，沈積摻雜劑墨水後，可使用可選乾燥步驟移除溶劑及/或其他有機物。在一些實施例中，可留下具有小於1微米之厚度之薄膜以進行其他摻雜劑固化處理。摻雜劑固化之性質視摻雜劑組合物之性質而定。對包含摻雜劑之液體及氧化矽粒子墨水而言，將摻雜劑驅入矽層中以形成摻雜觸點，而對矽粒子墨水而言，可使矽在適當位置熔融以形成摻雜觸點。

對適當實施例而言，在驅入步驟期間，將所沈積之摻雜劑元素驅入矽中以及在矽中形成摻雜觸點。可用在烘箱中加熱來執行驅入以加速固態擴散。摻雜劑之熱驅入通常產生摻雜劑於矽中高斯分布(Gaussian profile)，以便通常獲得相對較深的摻雜劑結構以獲得所要總摻雜含量。通常，摻

雜劑含量可為每立方公分(cc)約  $5.0 \times 10^{18}$  至約  $5 \times 10^{19}$  個原子。

然而，在一些實施例中，(例如)用UV雷射，諸如準分子雷射來執行雷射驅入，但寬範圍之雷射頻率可適於基於雷射之摻雜劑驅入。詳言之，10至1000 ns之準分子雷射脈衝可使矽在超過  $1400^\circ\text{C}$  之溫度下熔融至20至80 nm之深度。作為一特定實例，約  $0.75 \text{ J/cm}^2$  之準分子雷射通量歷時20 ns脈衝或  $1.8 \text{ J/cm}^2$  之準分子雷射通量歷時200 ns脈衝為用於熔融區之適合參數，但適當時可使用其他雷射、雷射頻率及其他功率參數。上覆層中之摻雜劑快速擴散至熔融矽中，但通常極少擴散超過熔融矽。因此，可達到大致逐步之摻雜劑分布，摻雜劑濃度可能達到大於溶解度之水平。另外，矽層及下層之塊體在環境室溫下或接近環境室溫下保留，且較低溫度製程可為有利的，因為消耗較少能量。

在一些實施例中，使用基於雷射之驅入，重度摻雜之觸點可形成為相對較淺之分布，厚度為約10 nm至約500 nm且在其他實施例中約20 nm至約100 nm。在具有淺分布之一些實施例中，摻雜劑分布具有至少約95原子百分比之於半導體中之摻雜劑在半導體表面之約500 nm內且在其他實施例中在半導體表面之約100 nm內。一般熟習此項技術者應認識到，涵蓋上文明確範圍內之額外摻雜觸點深度範圍且其涵蓋在本揭示案內。摻雜劑分布可使用次級離子質譜分析(SIMS)評估元素組成連同自表面濺鍍或其他蝕刻至樣本中之不同深度來量測。

同樣地，可使矽半導體片之表面上之摻雜矽沈積物熔融以形成與半導體片聯合之摻雜觸點。矽粒子可在烘箱或其類似物中熔融，或藉由將該結構置放於基於光之加熱系統，諸如基於雷射之掃描設備中來熔融。又，諸如雷射之具有廣泛頻率範圍之光源可適於將矽粒子固化成摻雜觸點。

一些摻雜劑墨水在驅入之後可能留下很少(若留下)殘餘物。通常在摻雜劑驅入後自表面清除使用摻雜氧化矽( $\text{SiO}_2$ )之摻雜劑墨水。可用HF蝕刻移除殘餘 $\text{SiO}_2$ 及一些不純物質。

在額外或替代實施例中，摻雜劑沈積268及摻雜劑固化270可隨不同摻雜劑組合物而以複數個交替步驟執行。詳言之，第一摻雜劑組合物可形成為層。隨後，使用照射束，諸如雷射束執行驅入步驟。輻射束可聚焦以使摻雜劑在所選位置固化，例如相應於穿過鈍化層之孔洞。摻雜劑可包含摻雜劑液體及/或摻雜粒子，諸如矽粒子或氧化矽粒子。如上所述來執行固化。

第一摻雜劑在所選位置處固化後，(諸如)用有機溶劑或蝕刻組合物洗去層之殘餘部分，其中至少顯著部分之固化摻雜劑保留。隨後，塗覆不同摻雜劑之第二層。使用照射來使第二摻雜劑在第二組位置處固化。隨後，移除第二摻雜劑層之殘餘物。以該方式，n摻雜劑及p摻雜劑可以任一順序依次沈積。旋塗、噴塗或其他便利塗佈方法可用於(例如)用如本文中所述之摻雜劑墨水來形成層。

參考圖 12，將集電器材料沈積 272 以形成與摻雜觸點之電連接以使得所收穫之光電流可引導至電池外部。形成集電器以電性連接摻雜觸點從而形成電池之兩極，該等極適於與模組端子或另一電池連接。在電池內，摻雜觸點在電池組態內電性連接，通常以特定極性(亦即摻雜劑觸點類型)並聯連接。可(例如)使用噴墨直接沈積金屬化材料或沈積供後續電鍍之導電種子圖案來執行集電器材料之沈積。在一些實施例中，金屬化材料之直接沈積可包含用噴墨具有聚合物-銀粒子複合物之墨水來沈積。對基於電鍍之實施例而言，種子層可包含任何導電材料，諸如 Cu、Ag 或 Ni 之層。種子層之使用及後續電鍍另外描述於(例如)Horii 之標題為 "Method for Forming Capacitor of Semiconductor Memory Device Using Electroplating Method" 之美國專利 6,630,387 中，該專利以引用之方式併入本文。

用於固化集電器材料 274(圖 12)之適當方法視集電器材料之性質而定。在一些實施例中，可加熱集電器材料以使金屬或其他材料退火以形成良好接合。聚合物金屬粒子複合物可在有效使聚合物交聯之適度加熱後固化成高度導電之材料。一些聚合物複合物可用輻射來固化。

在一些實施例中，若使用橋跨越自切割電池形成之間隙，則可延伸噴墨金屬化以串聯連接多個太陽能電池。橋應由電性絕緣填充劑形成。適合填充劑包括(例如)韌性可撓性聚合物，其不將應變引入模組結構中。適合聚合物可使用直接製程，諸如擠壓、模製或其類似製程來沈積。橋

之形成及橋上之噴墨金屬化無需將電池焊接在一起。或者，電池可與銅線或其類似物焊接在一起，或可使用其他方法以形成電連接。

參考圖9，一旦電池完成，即可執行其他處理步驟以完成模組形成198。在完成模組之最終處理步驟期間，太陽能電池之電極可串聯連接，且可按需要形成其他電連接。又，在串聯末端處之適當電池電極連接於模組端子。明確而言，一旦完成電池之間的電連接，即可形成外部模組連接，且可密封模組之後平面。可塗覆襯底層以密封電池之後方。因為後方密封材料不需要為透明的，所以如上文所論述，可使用一定範圍之材料及製程。若使用熱密封膜，則將該膜置放於適當位置，且將模組加熱至適當溫度以形成密封件而不影響其他組件。隨後，按需要可將模組安裝至框架中。

上文之實施例意欲為說明性的且不為限制性。額外實施例在申請專利範圍內。另外，儘管本發明已參照特定實施例加以描述，但熟習此項技術者應認識到在不脫離本發明之主旨及範疇時，可在形式及細節上進行改變。對上文文獻之任何以引用方式之併入加以限制，以使得不併入與本文中之明確揭示內容相反之標的。

### 【圖式簡單說明】

圖1為移除一部分襯底層以曝露模組內之一些太陽能電池的光伏打模組之示意性側面透視圖。

圖2為沿圖1之線2-2截取之圖1的光伏打模組之截面側視

圖。

圖 3 為移除襯底層以曝露模組內之太陽能電池之光伏打模組的仰視圖。

圖 4 為個別太陽能電池之底部透視圖。

圖 5 為沿圖 4 之線 5-5 截取之圖 5 的太陽能電池之截面圖。

圖 6 為移除集電器以經由穿過鈍化層鑽取之孔洞曝露摻雜劑域的半導體基板之仰視圖。

圖 7 為太陽能電池之替代實施例之仰視圖。

圖 8 為應用之前移除集電器以曝露穿過鈍化層之孔洞內之摻雜劑域的圖 7 之太陽能電池之仰視圖。

圖 9 為指示模組製備之主要製程步驟之流程圖。

圖 10A 為具有所指示動態電池選擇之半導體片之仰視圖。

圖 10B 為在切割電池且鑽洞用於摻雜劑置放後，圖 10A 之半導體片之仰視圖。

圖 11 為展示即時電池選擇後，經切割電池之半導體片之仰視圖。

圖 12 為指示用於太陽能電池處理之步驟之流程圖，但圖中所示之順序並非必需為處理順序。

圖 13 為穿過矽層上之氮化矽層鑽取之實際孔洞的顯微照片。

圖 14 為展示在雷射鑽孔以形成穿過鈍化層之孔洞後之結構局部、截面側視圖。

### 【主要元件符號說明】

102	透明前板/前保護性片
104	保護性襯底層
106	保護性密封件
108	光伏打電池
110	端子
112	端子
120	集電器
130	光伏打模組
132	光伏打電池
134	透明前板
150	光伏打電池
152	半導體層
154	前表面鈍化層
156	後表面鈍化層
160	負觸點或集電極
162	正觸點或發射極
164	n+摻雜區
166	p+摻雜區
168	孔洞
178	光伏打電池
180	n+摻雜區
182	p+摻雜區
184	負觸點
186	正觸點

220	基板
224	線
226, 228	條帶
232	電池
234	基板
236	摻雜域
240, 242, 244, 246, 248	列
290	孔洞
292	鈍化層
294	半導體

## 十、申請專利範圍：

104年9月1日修(更)正本

1. 一種太陽能電池，其包含一透明前板、一包含元素矽/鍺且具有一前表面及一相對後表面之半導體層、複數個自該半導體層之該後表面延伸之p-摻雜島及n-摻雜島及至少兩個電互連，其中該半導體層係固定在其前表面朝向該透明前板之位置，且其中一個電互連提供複數個p-摻雜島之間的電連接，且另一電互連提供複數個n-摻雜島之間的電連接，其中自該半導體層之該後表面延伸出之該等摻雜島之一片段基本上係由摻雜元素矽、摻雜元素鍺、摻雜元素矽-鍺合金或其摻合物所組成。
2. 如請求項1之太陽能電池，其中該半導體層包含具有5微米至100微米之平均厚度之矽/鍺箔。
3. 如請求項1之太陽能電池，其中該等摻雜島係與穿過一後介電鈍化層之開口對準。
4. 如請求項3之太陽能電池，其中該後介電鈍化層包含氧化矽、氮化矽、氮氧化矽或其組合。
5. 如請求項1之太陽能電池，其中一前介電鈍化層係位於該半導體層與該透明前板之間。
6. 一種光伏打模組，其包含如請求項1之太陽能電池及複數個沿透明材料片之額外太陽能電池結構。
7. 一種形成太陽能電池之方法，該方法包含印刷一摻雜劑墨水以形成複數個沈積物至包含元素矽/鍺之一半導體片之一表面上，有些該等沈積物包含p摻雜劑且其他沈積物包含n摻雜劑，其中一介電覆蓋物係沿該表面附著於

該半導體片，其中該摻雜劑墨水 包含具有不超過100 nm之平均初級粒徑之摻雜矽/鍺奈米粒子；及

藉由加熱在該半導體表面上圖案化之該等摻雜矽奈米粒子形成一第一摻雜觸點，該第一摻雜觸點係在沿著該半導體表面之一區域中局部化，其中來自在該半導體之該表面上圖案化之該印刷墨水之摻雜劑係在該加熱過程中被驅動至該半導體片內，及該等摻雜半導體奈米粒子係併入該第一摻雜觸點中，該第一摻雜觸點具有延伸至該半導體片內之摻雜矽結構及突出作為在該半導體片上方之局部結構。

8. 如請求項7之方法，其中該印刷包含噴墨印刷。
9. 如請求項7之方法，其中該等摻雜粒子具有不超過100 nm之平均初級粒子直徑。
10. 一種光伏打模組，其包含一透明前板及一太陽能電池，該太陽能電池包含一沿該透明前板固定之半導體層，該半導體層包含元素矽、元素鍺或其合金，及一前表面面向該透明前板；一附著於該半導體層之一後表面之後介電層；位於穿過該後介電層之開口內之摻雜域；一電性連接複數個p-摻雜域之第一電互連及一電性連接複數個n-摻雜域之第二電互連，其中該等電互連延伸至該等開口中，其中該等摻雜域包含具有延伸進、延伸出及與該半導體片之該後表面實體接觸之部位之島體，及其中該等自該後表面延伸之島片段基本上係由摻雜元素矽、摻雜元素鍺或其合金所組成。

11. 如請求項10之光伏打模組，其另外包含一位於該透明前板與該半導體層之間且鄰近該透明前板之一表面之前介電層。
12. 如請求項10之光伏打模組，其中該半導體層包含一具有5微米至100微米之厚度之矽/鍺箔。
13. 如請求項10之光伏打模組，其中該等摻雜域延伸至該半導體片之該後表面中且具有95原子百分比之該摻雜劑在該半導體表面之100 nm內的摻雜劑分布。

十一、圖式：

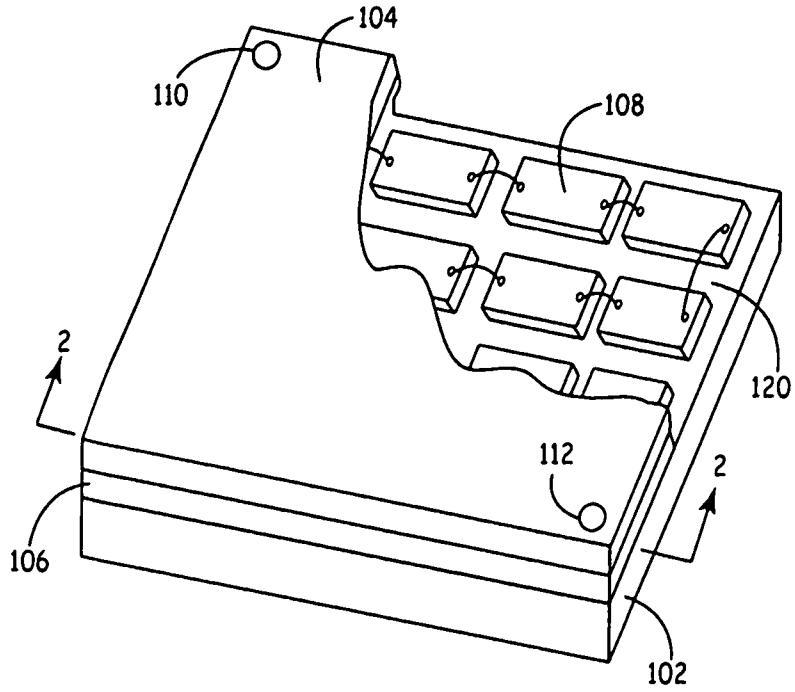


圖 1

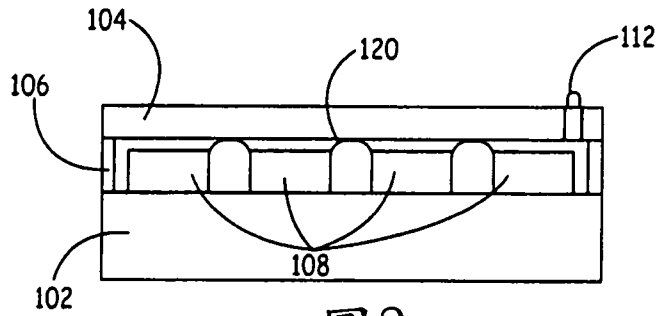


圖 2

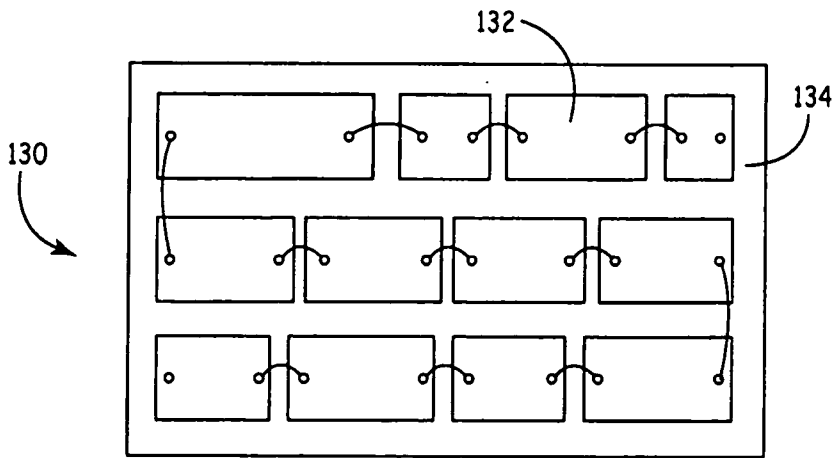


圖 3

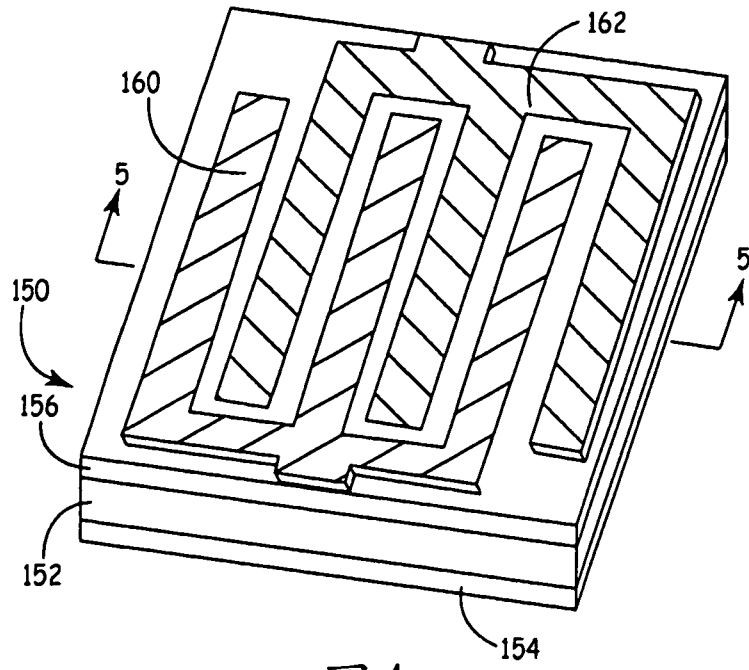


圖 4

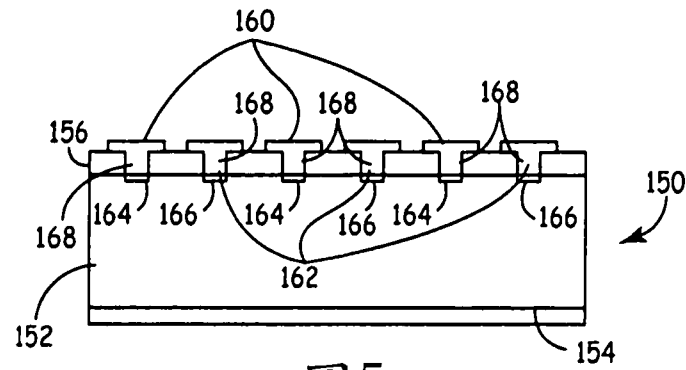


圖 5

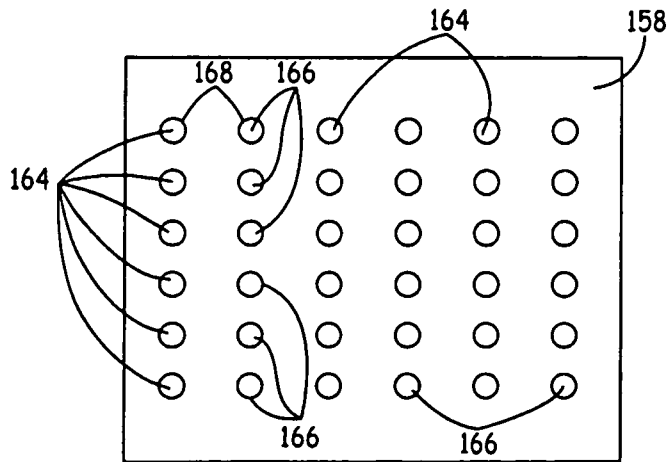


圖 6

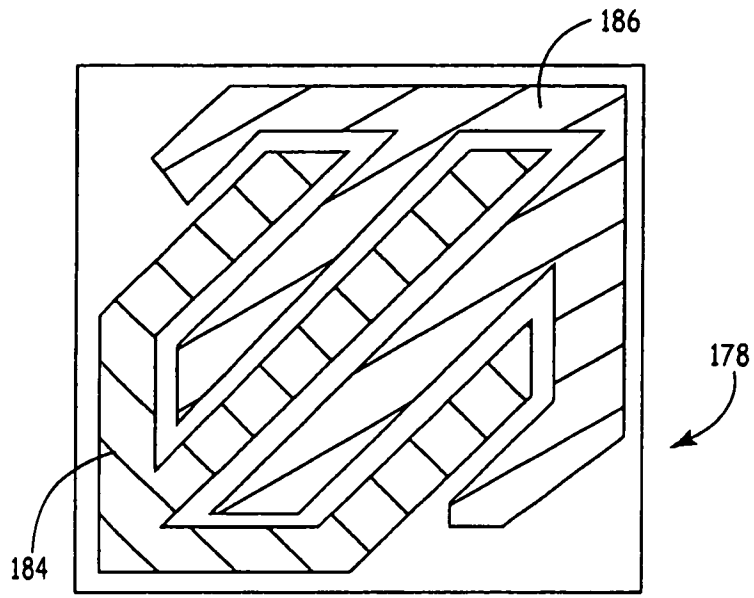


圖 7

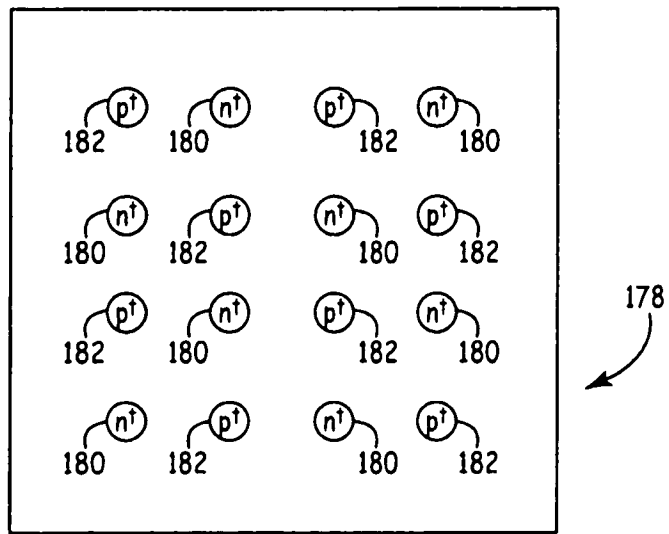


圖 8

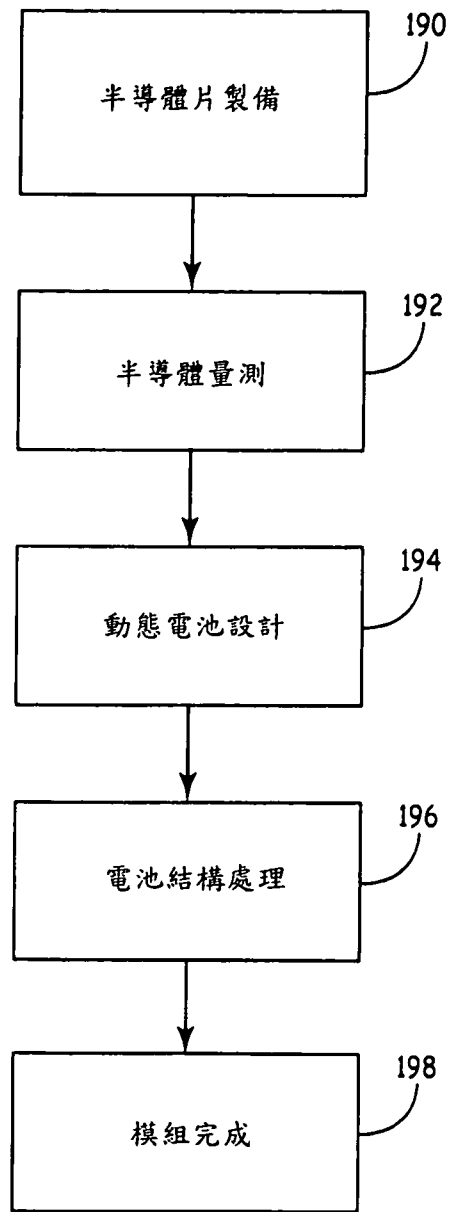


圖9

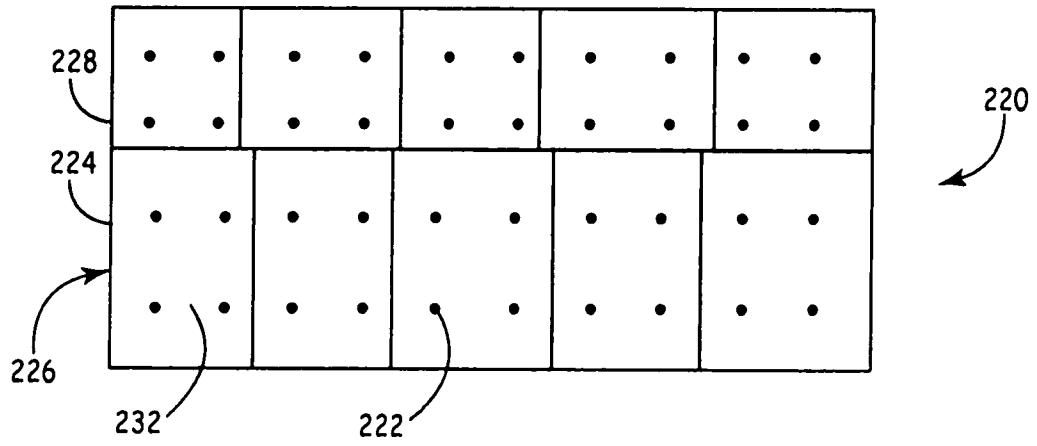


圖 10A

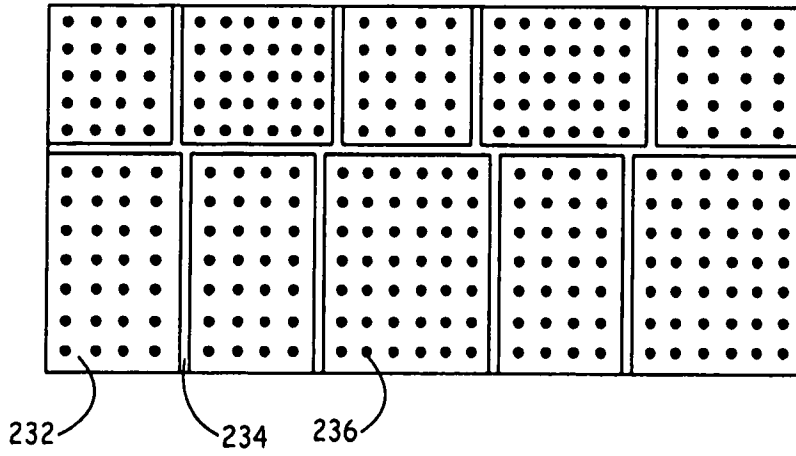


圖 10B

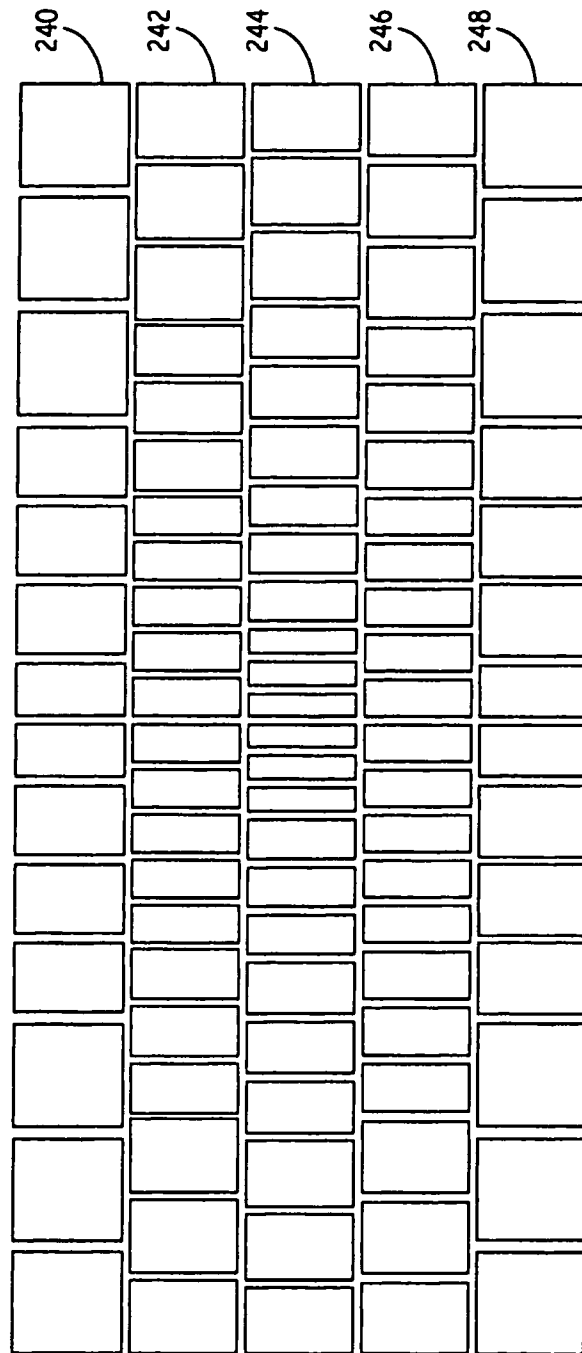


圖 11

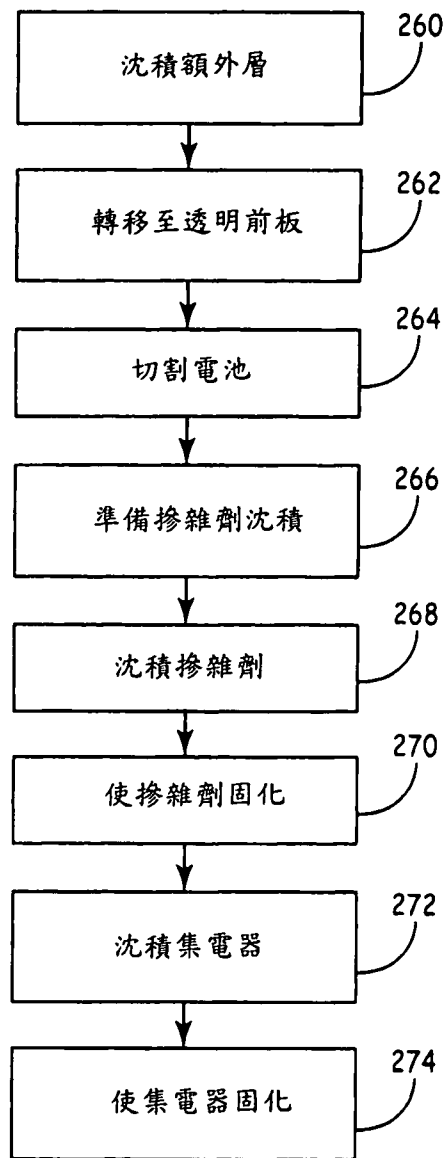


圖12

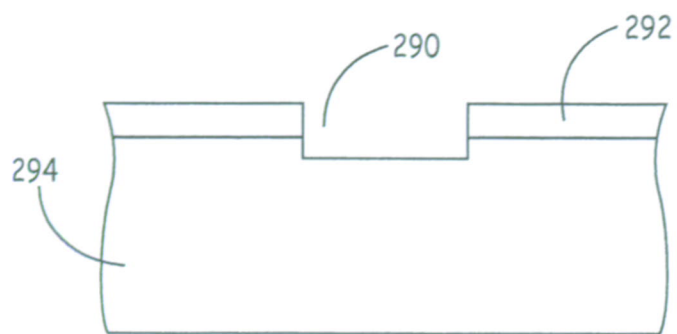


圖 14

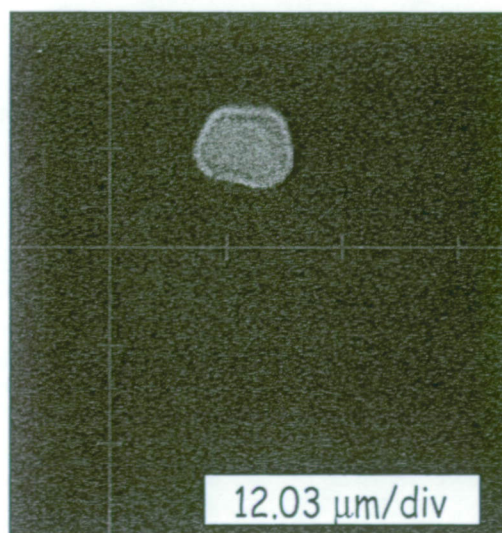


圖 13