



(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 I641159 B

(45)公告日：中華民國 107 (2018) 年 11 月 11 日

(21)申請案號：103129428

(22)申請日：中華民國 103 (2014) 年 08 月 26 日

(51)Int. Cl. : H01L31/18 (2006.01)

H01L31/042 (2014.01)

(30)優先權：2013/09/10 美國

14/023,423

(71)申請人：美商帕洛阿爾托研究中心公司(美國) PALO ALTO RESEARCH CENTER
INCORPORATED (US)

美國

(72)發明人：林 史考特 J H LIMB, SCOTT J. H. (US) ; 德布魯克 德克 DEBRUYKER,
DIRK (US) ; 加納 尚恩 GARNER, SEAN (US)

(74)代理人：王彥評；賴碧宏

(56)參考文獻：

CN 101657906A

EP 1251398A2

EP 2068354A2

US 2004/0022681A1

US 2010/0130014A1

審查人員：林君濤

申請專利範圍項數：1 項 圖式數：16 共 53 頁

(54)名稱

用於在多晶矽晶圓之平面表面上產生圖案化光捕獲結構的方法

METHOD FOR GENERATING A PATTERNED LIGHT TRAPPING STRUCTURE ON A PLANAR
SURFACE OF A MULTI-CRYSTALLINE SILICON WAFER

(57)摘要

一種具有圖案化光捕獲結構(例如，稜錐或凹槽特徵)之多晶矽(mc-Si)太陽能電池係藉由自緊密隔開式平行細長導管之一陣列印刷一液體遮罩材料而產生，使得經由印刷遮罩特徵之間界定之開口而曝露出 mc-Si 晶圓之部分。係使用導管(例如，微彈簧或筆直聚醯亞胺懸臂)之一陣列來達成緊密隔開式遮罩圖案特徵，其中每一導管包括一狹縫型、管件型或隆脊/凹谷型之液體導引通道，該液體導引通道延伸於該導管之一固定基底末端與一尖端末端之間，使得將自一儲集器供應之該遮罩材料自該尖端精確地排出至該 mc-Si 晶圓上。接著蝕刻經曝露之該平面表面之該部分以形成所需之圖案化光捕獲結構(例如，凹槽結構)。

Multicrystalline silicon (mc-Si) solar cells having patterned light trapping structures (e.g., pyramid or trough features) are generated by printing a liquid mask material from an array of closely-spaced parallel elongated conduits such that portions of the mc-Si wafer are exposed through openings defined between the printed mask features. Closely spaced mask pattern features are achieved using an array of conduits (e.g., micro-springs or straight polyimide cantilevers), where each conduit includes a slit-type, tube-type or ridge/valley-type liquid guiding channel that extends between a fixed base end and a tip end of the conduit such that mask material supplied from a reservoir is precisely ejected from the tip onto the mc-Si wafer. The exposed planar surface portions are then etched to form the desired patterned light trapping structures (e.g., trough structures).

指定代表圖：

符號簡單說明：

- 210 . . . 區塊
- 220 . . . 區塊
- 230 . . . 區塊
- 240 . . . 區塊

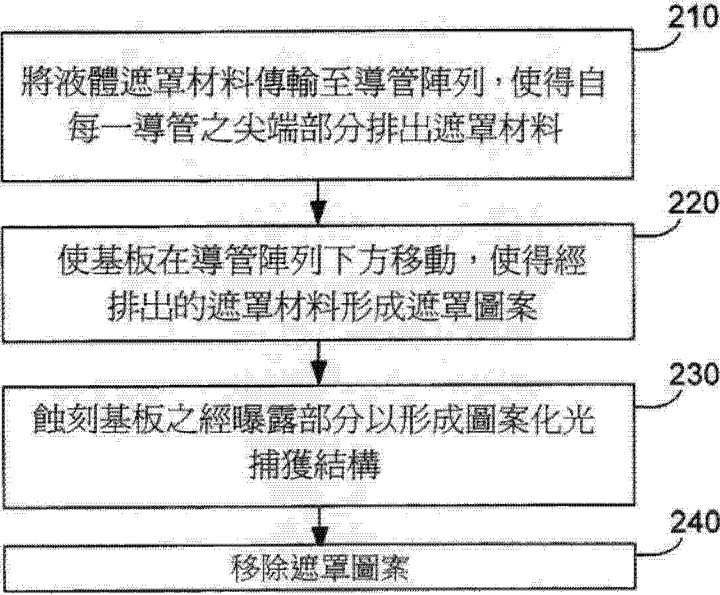


圖2

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

用於在多晶矽晶圓之平面表面上產生圖案化光捕獲結構的方法

METHOD FOR GENERATING A PATTERNED LIGHT TRAPPING STRUCTURE ON A PLANAR SURFACE OF A MULTI-CRYSTALLINE SILICON WAFER

【技術領域】

【0001】 本發明是關於太陽能電池，且尤其是關於用於在多晶太陽能電池晶圓上產生光捕獲結構之方法。

【先前技術】

【0002】 太陽能電池紋理化為改良光捕獲效能且增加總效率之重要製程步驟。

【0003】 當前，使用形成稜錐形結構之 KOH 蝕刻劑而使單晶晶圓紋理化。沿著晶體平面而形成之此等結構引起極好的光捕獲性質。

【0004】 另一方面，必須各向同性地蝕刻多晶 Si (mc-Si) 晶圓。對於多晶晶圓，使用一工業標準隔離紋理製程 (isotexture process)，其涉及使用合適蝕刻劑 (通常為 HF/硝酸/醋酸混合物) 來蝕刻整個晶圓表面。隔離紋理製程利用截口損傷之不規則性以使表面粗糙化。

【0005】 儘管隔離紋理製程具成本效益，但與圖案化特徵

相比較，所得隔離紋理化表面遠非最佳。紋理化表面相比於稜錐形或凹槽結構具有改良型光捕獲性質，但較不有效。根據 NREL/1366 報告，在使用凹槽結構的情況下，與隔離紋理化表面相比較，已計算出為 0.3%之絕對效率改良。另外，在具有最好光捕獲結構（隨機稜錐）的情況下，可達成高達 0.8%之絕對效率增加。

【0006】 隔離紋理製程之一替代方案涉及將蝕刻遮罩印刷於 mc-Si 晶圓上，且接著蝕刻通過該遮罩而曝露之晶圓區以形成圖案化光捕獲特徵。然而，諸如噴墨、網版印刷或柔版印刷之傳統遮罩印刷技術不能滿足最小線寬規格，且諸如微觸印刷、浸筆奈米微影（DNP，使用 AFM 型探針作為書寫尖端）或其他 MEMS 途徑之較新技術太緩慢、脆弱或不曾遍及大區域提供足夠垂直餘隙。

【0007】 需要一種用於在多晶晶圓中產生圖案化稜錐或凹槽特徵之具成本效益方法，以避免與習知方法相關聯之問題。

【發明內容】

【0008】 本發明是有關於一種用於以具成本效益方式而在多晶矽晶圓之平面表面上產生圖案化光捕獲結構（例如，稜錐或凹槽特徵）之方法，其涉及藉由緊密隔開式平行細長導管之陣列而將液體遮罩材料印刷至晶圓上，其中使液體遮罩材料沿著該等導管中每一者流動，且將遮罩材料之一部分自該等導管中每一者之尖端部分排出至晶圓表面上。同時地

使晶圓在導管陣列下方移動，使得被排出的遮罩材料部分在晶圓表面之第一部分上形成遮罩材料圖案，且使得經由遮罩材料圖案中界定之開口而曝露晶圓表面之第二部分。接著蝕刻經曝露平面表面部分（例如，HF/硝酸/醋酸混合物），使得剩餘多晶矽晶圓形成所需圖案化光捕獲結構（例如，凹槽結構）。接著視情況經由紋理蝕刻浴中之剝離製程抑或經由鹼性可溶性溶液而移除遮罩材料圖案。藉由利用緊密隔開式導管以在蝕刻之前將平行遮罩特徵「印刷」於目標 mc-Si 基板上，本發明相比於習知方法極大地增加遮罩印刷速度，藉此促進以顯著地低於在使用習知方法之情況下之可能成本的成本來生產具有理想圖案化光捕獲結構（例如，稜錐或凹槽特徵）之 mc-Si 太陽能電池。

【0009】 根據本發明之一態樣，該等導管中每一者包括延伸於基底部分與其尖端部分之間的毛細管通道，其中每一毛細管通道具有在 3 μm 至 10 μm 之範圍內（例如，5 微米）的小標稱通道寬度，且其中傳輸液體遮罩材料涉及使足夠液體遮罩材料沿著該等毛細管通道流動，使得被排出的遮罩材料部分在晶圓表面上形成遮罩特徵，該遮罩特徵具有指定標稱寬度（例如，大約 10 微米或更小）及標稱厚度（例如，在 1 微米至 10 微米之範圍內）。藉由通過此等導管而排出液體遮罩材料，本發明促進一遮罩印刷方法，其既滿足與太陽能電池之形成相關聯的最小線寬規格，又沈積足夠遮罩材料以促進遮罩特徵之單遍次印刷（亦即，印刷足夠遮罩材料以避免第二印刷層），從而使此途徑優於噴墨、網版印刷及柔版印刷

途徑。在一個實施例中，導管附接至印刷頭基板且自印刷頭基板延伸，且傳輸液體遮罩材料涉及將液體遮罩材料供應至印刷頭基板中界定之儲集器，該儲集器將遮罩材料饋入至導管，使得液體遮罩材料部分同時地沿著所有導管流動且自所有導管排出。此配置促進形成極細的緊密隔開式導管（例如，每吋 1,000 個或更多導管），藉此提供一高輸質量印刷製程，其滿足與太陽能電池之生產相關聯的最小線寬要求。在一個實施例中，藉由一輸送機構（例如，輸送帶）而使多晶矽晶圓在導管陣列下方以高速度（例如，125 mm/s 或更大）移動。藉由使遮罩材料通過印刷頭之流動與輸送機構之速度匹配，本發明提供一高速單遍次遮罩印刷方法，其促進以具高度成本效益方式而將圖案化光捕獲結構形成於多晶矽晶圓上。

【0010】 根據本發明之一實施例，印刷頭包含平行彎曲受應力金屬微彈簧導管，該等微彈簧導管具有附接至印刷頭基板之基底部分，及本體部分，該本體部分彎曲成遠離印刷頭基板，使得每一微彈簧導管之尖端（自由端）部分偏離（亦即，經安置成遠離）印刷頭基板。每一微彈簧導管界定一關聯毛細管通道之至少一部分，液體遮罩材料被供應至該關聯毛細管通道中（亦即，使得液體遮罩材料同時地自每一微彈簧導管之基底部分且沿著每一微彈簧導管之本體部分流動至每一微彈簧導管之尖端部分）。藉由使用受應力金屬微彈簧來形成導管，本發明利用具有經證實良率之專屬 ClawConnect™ 製造製程的經修改版本，其適合於生產滿足上文所闡明之印刷要求的印刷頭，且提供相比於習知印刷配置顯著地較穩固

之印刷頭。在一個實施例中，將印刷頭分段，使得每一印刷頭片段為大約 3"長且包括以線性陣列而安置之 3,000 個以上微彈簧。根據一特定實施例，液體遮罩材料沿著鄰近對微彈簧之間界定之狹縫狀毛細管通道流動。在另一特定實施例中，液體遮罩材料沿著該等微彈簧導管中每一者中界定之管件狀毛細管通道流動。在又一特定實施例中，液體遮罩材料沿著安置於每一微彈簧導管上之液體導引通道結構（例如，隆脊狀結構，抑或引導黏性液體遮罩材料之凹谷/通道）流動。該等特定實施例中每一者利用提供具有長操作壽命之穩固印刷頭的經證實製造技術（亦即，適合於生產 150,000 個或更多之 6 吋太陽能電池）。

【0011】 根據本發明之一替代實施例，導管包含由（例如）使用 UV 雷射微加工而蝕刻之聚醯亞胺薄片之部分形成的筆直懸臂區段。每一懸臂區段具有附接至基板本體之基底部，且遠離基板本體而延伸至末端（尖端）部分。因為薄（25 μm 至 50 μm 厚）聚醯亞胺極具順應性，所以設想到此印刷頭可「雕繪（scribe）」整個晶圓而不會斷裂或損壞（非常類似於漆刷），此相似於順應性彎曲懸臂，且與（例如）極具脆性的經微加工之筆直矽懸臂陣列相反。又，容易地使用目前先進技術之雷射微加工而使聚醯亞胺圖案化，且可由（例如）265 nm UV 雷射系統獲得所需小特徵。

【0012】 根據替代實施例，藉由若干可能機構來達成液體遮罩材料至導管之傳輸。在一個特定實施例中，將液體遮罩材料以精確數量（量）通過一或多個噴墨印刷頭而遞送至導

管，其中噴墨噴嘴定位於每一個別懸臂型導管之基底部分上方，且使用來自印刷頭之液滴來計量供給墨水。在一第二特定實施例中，通過將墨水饋入至（例如）管件狀導管中之一或多個加壓歧管而遞送液體遮罩材料。在又特定實施例中，藉由經由加熱鄰近於墨水儲集器之印刷頭基板來控制被遞送至該複數個導管之該液體材料的黏度梯度而將該液體遮罩材料遞送至該等導管。因此在印刷頭歧管中採用溫度梯度以產生黏度梯度，該黏度梯度用以將墨水計量供給至導管上。經由分段加熱器抑或藉由自印刷頭歧管之背部產生熱梯度來控制溫度。

【0013】 除了具有被對準之尖端部分的平行導管以外，亦選擇性地利用若干替代導管配置以提供冗餘或增加生產率。在一個特定實施例中，導管被形成有交錯尖端部分，其縮減經印刷墨水線（亦即，由被強制沿著導管且自交錯尖端部分排出之墨水/遮罩材料形成）之合併可能性，且促進減小之線間距。在一第二特定實施例中，串聯地配置若干組導管，使得兩個或兩個以上尖端部分安置於每一印刷線上方，從而允許自經串聯配置導管同時地印刷，使得來自第一導管之第一被排出的遮罩材料部分沈積於來自第二經串聯配置導管之第二被排出的遮罩材料部分的頂部上。串聯配置亦藉由允許在第一導管未能適當地操作時使用第二導管以「代替」第一經串聯配置導管來促進冗餘。在又一特定實施例中，使多組經串聯配置導管以長於預期印刷長度之距離（例如，以大於每一晶圓之長度的距離）隔開，且使用串聯行多工（series column

multiplexing) 來執行印刷，使得沿著每一印刷線自多個導管印刷遮罩材料，藉此增加印刷速度、減低印刷路徑長度且縮減墨水儲集器饋入時間。

【0014】 根據替代實施例，將遮罩材料以預定圖案印刷於多晶晶圓上，使得經曝露多晶矽晶圓之後續蝕刻產生所需光捕獲結構圖案。舉例而言，在一個特定實施例中，隨著晶圓通過尖端部分下方，自每一導管連續地排出遮罩材料，藉此產生包含連續平行遮罩線之遮罩，使得後續蝕刻在晶圓表面中產生平行溝槽型光捕獲結構。在一個特定實施例中，連續地排出遮罩材料，同時使印刷頭橫向於製程方向（亦即，垂直於晶圓之移動方向）而往復，藉以被排出的遮罩材料在晶圓表面之關聯部分上方形成波狀線。在其他特定實施例中，使連續筆直或波狀遮罩材料線重疊，或以其他方式使連續筆直或波狀遮罩材料線在多晶矽晶圓上界定該多晶矽晶圓之圓點狀經曝露平面表面部分，藉以圓點狀經曝露區之後續蝕刻產生凹坑型光捕獲結構。在又其他特定實施例中，將遮罩材料印刷為一系列重疊「圓點」（例如，藉由使導管之尖端部分與晶圓表面間歇地接觸），其中遮罩材料圓點經相連地配置以形成筆直或波狀線，抑或界定圓點狀經曝露平面表面部分。為了促進間歇接觸途徑，除了現有導管生產製程以外，亦將額外塗層或材料沈積於每一導管（懸臂）之尖端部分上，以便改良機械磨耗特性（機械磨耗特性對於筆尖印刷可引起特定問題）。特別是，在經釋放微彈簧結構上抑或在電鍍步驟之前沈積（例如，藉由濺鍍）諸如鈹之材料（在此之後，遮蔽

銥以便不塗飾銥)。在另一實施例中，將諸如銻之材料電鍍於每一微彈簧之尖端部分上（在形成懸臂本體之電鍍步驟之後）。銥及銻兩者為極硬且耐久之材料，因此，此等塗層用來改良印刷頭之壽命。

【0015】 根據又一替代實施例，自具有偏離導管之兩個印刷頭遞送液體遮罩材料，使得由一個印刷頭產生之第一遮罩材料線安置於由另一印刷頭產生之第二遮罩材料線之間，藉以使每一印刷頭上之鄰近導管之間的間隔較大以改良印刷頭生產良率。

【圖式簡單說明】

【0016】 關於以下描述、所附申請專利範圍及隨附圖式，將較好地理解本發明之此等及其他特徵、態樣及優點，在該等圖式中：

圖 1 為展示根據本發明之一般化實施例的用於在多晶矽晶圓上產生圖案化光捕獲結構之系統的俯視側透視圖；

圖 2 為展示用於利用圖 1 之系統來產生圖案化光捕獲結構之簡化方法的流程圖；

圖 3 為展示根據本發明之一實施例之遮罩印刷製程的俯視平面圖；

圖 4 為展示圖 3 之製程中利用的包括微彈簧型導管之例示性印刷頭的透視圖；

圖 5A 及圖 5B 分別為展示根據一第一特定實施例之微彈簧導管的透視側視圖及正視圖；

圖 6A 及圖 6B 分別為展示根據一第二特定實施例之微彈簧導管的透視側視圖及正視圖；

圖 7 為展示根據一第三特定實施例之微彈簧導管的透視側視圖；

圖 7A、圖 7B 及圖 7C 為由根據替代特定實施例之微彈簧導管利用之替代流動通道特徵的橫截面圖；

圖 8 為展示根據本發明之另一實施例之印刷頭的俯視側透視圖；

圖 9A、圖 9B 及圖 9C 為展示根據本發明之關聯特定實施例而利用之替代遮罩材料饋入系統的簡化橫截面側視圖；

圖 10A、圖 10B、圖 10C 及圖 10D 為展示根據本發明之替代特定實施例而利用之各種導管配置的簡化俯視平面圖；

圖 11 為展示包括根據本發明之一特定實施例而印刷的筆直線遮罩材料圖案之晶圓的簡化俯視平面圖；

圖 12 為展示在後續蝕刻之後的圖 11 之晶圓的俯視正透視圖；

圖 13 為展示包括根據本發明之另一特定實施例而印刷的另一筆直線遮罩材料圖案之晶圓的簡化俯視平面圖；

圖 14A 及圖 14B 為展示包括根據本發明之另一特定實施例而印刷的波狀線遮罩材料圖案之晶圓的簡化俯視平面圖；

圖 15A 及圖 15B 為展示包括根據本發明之另一特定實施例而印刷的圓點型遮罩材料圖案之晶圓的簡化俯視平面圖；
及

圖 16 為展示根據本發明之另一特定實施例的利用兩個偏

離印刷頭之遮罩印刷系統的簡化俯視圖。

【實施方式】

【0017】 本發明是關於用於印刷遮罩圖案之方法的改良，該等遮罩圖案用以在低成本太陽能電池之生產期間在多晶矽晶圓上產生光捕獲結構。呈現以下描述以使一般熟習此項技術者能夠作出及使用如在特定應用及其要求之上下文中提供的本發明。如本文所使用，諸如「上部」、「下部」、「向下」、「前部」、「後部」之方向術語意欲出於描述目的而提供相對位置，且並不意欲指明絕對參考座標。另外，片語「一體式地連接」及「一體式地模製」在本文中用以描述單一經模製或經加工結構之兩個部分之間的連接關係，且不同於術語「連接」或「耦接」（沒有修飾詞「一體式地」），「連接」或「耦接」指示藉由（例如）黏著劑、扣件、夾片或可移動接頭而接合之兩個分離結構。對較佳實施例之各種修改對於熟習此項技術者而言將顯而易見，且本文所界定之一般原理可應用於其他實施例。因此，本發明並不意欲限於所展示及描述之特定實施例，而應符合與本文所揭示之原理及新穎特徵一致的最寬範疇。

【0018】 圖 1 為展示用於在多晶矽（mc-Si）晶圓 101-1 及 101-2 之平面表面 102 上產生一體式圖案化光捕獲結構 105 之一系統 100 的俯視側透視圖，且圖 2 為展示根據本發明之一般化實施例的用於使用系統 100 來產生一體式圖案化光捕獲結構 105 之方法的流程圖。片語「一體式圖案化光捕獲結

構」中之術語「一體式」意味著光捕獲結構 105 是完全地由構成品圓 101-1 及 101-2 之 mc-Si 材料的部分形成（例如，藉由蝕刻/移除 mc-Si 晶圓材料之鄰近部分），且使片語「一體式圖案化光捕獲結構」有別於沈積於或以其他方式形成於晶圓 101-1 及 101-2 上之光捕獲結構。儘管在圖 1 中出於說明性目的而由陰影區域描繪，但應理解，圖案化光捕獲結構 105 包含藉由蝕刻/移除平面晶圓表面 102 之部分而形成的三維 mc-Si 結構（例如，稜錐或凹槽特徵）。

【0019】 如圖 1 中所指示，系統 100 通常包括自一遮罩材料供應器 120 接收一液體遮罩材料 125 之一印刷頭組件 110、用於在印刷頭組件 110 下方傳送多晶矽（mc-Si）晶圓 101-1 及 101-2 之一輸送帶 130，及用於將一蝕刻劑 145 施加至晶圓 101-1 及 101-2 上之一蝕刻站 140。

【0020】 參看圖 2 之上部部分，一般化方法包括將液體遮罩材料 125 傳輸至印刷頭組件 110，使得自導管 113-1 至 113-5 之一陣列的尖端部分排出遮罩材料 125（區塊 210）。如圖 1 之頂部處所指示，印刷頭組件 110 包括具有自供應器 120 接收遮罩材料 125 之一儲集器 112 的一基板 111，及自基板 111 平行地延伸之緊密隔開式平行細長導管 113-1 至 113-5。每一導管 113-1 至 113-5 與遮罩材料源 120 連通，使得液體遮罩材料 125（較佳地，諸如蠟、樹脂、聚合物、脂肪酸及酯之有機化合物）自儲集器 112 傳輸（流動）至導管 113-1 至 113-5 中。每一細長導管 113-1 至 113-5 包括附接至基板 111 之一基底部分、經安置成遠離基板 111 之一尖端部分，及界定了用於引

導遮罩材料自儲集器 112 至該尖端部分之流動之一毛細管流動通道的一本體部分。舉例而言，導管 113-1 包括沿著其本體部分延伸於一基底部分 114-1 與一尖端部分 116-1 之間的一流動通道 115-1，且導管 113-5 包括延伸於一基底部分 114-5 與一尖端部分 116-5 之間的一流動通道 115-5。如由圖 1 之右上部分中的虛線橢圓所指示，液體遮罩材料 125 之傳輸（流動）涉及利用下文所描述之流動產生方法中之一者以使足夠液體遮罩材料沿著每一導管 113-1 至 113-5 之毛細管通道（例如，沿著導管 113-5 之通道 115-5）流動，使得被排出的遮罩材料部分 125-1 至 125-5 在表面 102 上形成由緊密隔開式遮罩特徵 126-1 至 126-5（例如，連續線或數個系列相連「圓點」）構成之一遮罩材料圖案 126。舉例而言，如由圖 1 中之虛線箭頭所指示，遮罩材料部分 125-1 在自導管 113-1 之尖端部分 116-1 排出以在晶圓 101-1 之上部表面 102 上形成遮罩特徵 126-1 之前係自儲集器 112 沿著通道 115-1 流動。同時，遮罩材料部分 125-5 自儲集器 112 沿著通道 115-5 流動，且自導管 113-5 之尖端部分 116-5 排出以在晶圓 101-1 之上部表面 102 上形成遮罩特徵 126-5。遮罩材料部分 125-2、125-3 及 125-4 相似地分別自導管 113-2、113-3 及 113-4 同時地排出，以在晶圓 101-1 及 101-2 之上部表面 102 上形成遮罩特徵 126-2 至 126-4。

【0021】 參看圖 2 之區塊 220，該方法進一步包括使晶圓 101-1 及 101-2 在印刷頭組件 110 下方（亦即，在導管陣列下方）移動，使得被排出的遮罩材料 125 在每一晶圓上形成一遮罩材料圖案 126。根據圖 1 所展示之例示性實施例，由一輸

送機 130 使晶圓 101-1 及 101-2 在 113-1 至 113-5 下方以連續高速度（例如，125 mm/s 或更大）移動（亦即，在自導管 113-1 至 113-5 之尖端部分排出液體遮罩材料的同時），使得被排出的遮罩材料部分 125-1 至 125-5 在晶圓 101-1 及 101-2 之上部表面 102 上產生呈隔開式線狀特徵 126-1 至 126-5 之形式的遮罩材料圖案 126。在一個實施例中，輸送機 130 為一帶型移動結構，其支撐晶圓 101-1 及 101-2 且使晶圓在導管 113-1 至 113-5 下方（例如，在圖 1 中之箭頭「X」的方向上）以恆定速度移動，使得細長線狀特徵 126-1 至 126-5 覆蓋（遮蔽）晶圓 101-1 及 101-2 之關聯隔開式表面部分。具體而言，如晶圓 101-1 上所指示，特徵 126-1 至 126-5 安置於平面上部表面 102 之「經遮蔽」部分 102-1 上，其中每一鄰近對特徵（例如，特徵 126-1 及 126-2）是藉由一溝狀經曝露表面部分 102-2 而隔開。藉由匹配遮罩材料 125 通過印刷頭 110 之流動速度與輸送機構 130 提供之晶圓移動速度，本發明提供一高速度單遍次遮罩印刷方法，其促進以極具成本效益方式而將圖案化光捕獲結構 105 形成於多晶矽晶圓 101-1 及 101-2 上。

【0022】 如由圖 2 中之區塊 230 所指示，在形成遮罩材料圖案 126 之後，接著使晶圓 101-1 及 101-2 在蝕刻站 140 下方移動或移動通過，其中將蝕刻劑 145 施加至每一晶圓之上部表面 102 上以形成一體式圖案化光捕獲結構 105。根據本發明之一態樣，如由圖 1 中之晶圓 101-2 上的陰影表面所描繪，施加蝕刻劑 145，使得其蝕刻（亦即，移除部分之）每一晶圓之經曝露平面表面部分 102-2，使得剩餘之（經蝕刻）mc-Si 晶

圓材料（亦即，受到遮罩特徵 126-1 至 126-5 保護免於蝕刻劑 145 之部分）形成一體式圖案化光捕獲結構 105。在一例示性實施例中，蝕刻劑 145 包含 HF/硝酸/醋酸混合物中之一者，其被施加而使得剩餘多晶矽晶圓材料形成所需之圖案化光捕獲結構 105（例如，凹槽結構）。

【0023】 參看圖 2 之底部處的區塊 240，接著視情況使用已知技術來移除遮罩材料圖案 126。舉例而言，可充分地底切遮罩且使遮罩自基板起離，其中遮罩係自蝕刻浴濾出。另一方法將是在使用氫氧化鉀（KOH）或碳酸鉀（ K_2CO_3 ）之一鹼性溶液中蝕刻遮罩材料。

【0024】 圖 2 之方法提供用於在多晶晶圓 101-1 及 101-2 中產生圖案化稜錐或凹槽特徵之具成本效益方法。亦即，藉由以本文所描述之方式通過導管 113-1 至 113-5 而排出液體遮罩材料，本發明促進一遮罩印刷方法，其相比於噴墨、網版印刷及柔版印刷途徑以更具成本效益之方式來滿足與太陽能電池之形成相關聯的最小線寬規格。

【0025】 根據本發明之一態樣，每一導管 113-1 至 113-5 包含具有附接至基板 111 之（固定）基底部分及經安置成遠離基板 111 之尖端部分的懸臂型結構，且界定/包括控制（亦即，引導）遮罩材料自每一導管之基底部分至尖端部分之流動的毛細管（流動）通道。舉例而言，參看圖 1 之右上部部分處所指示的虛線泡，導管 113-5 包括環繞（界定）延伸於基底部分 114-5 與尖端部分 116-5 之間的毛細管通道 115-5 之管件型結構，其中毛細管通道 115-5 與儲集器 112 連通，使得遮

單材料部分 125-5 通過經設置在鄰近於基底部分 114-5 之敞開式（第一）末端而進入通道 115-5、自基底部分 114-5 沿著導管 113-5 引導（流動）朝向尖端部分 116-5，且在尖端部分 116-5 處自敞開式（第二）末端排出以形成遮罩特徵 126-5。導管 113-1 至 113-4 相似地與儲集器 112 連通以引導遮罩材料部分 125-1 至 125-4，使得其分別形成遮罩特徵 126-1 至 126-4。導管 113-1 至 113-5 之每一毛細管通道具有促進窄遮罩特徵之形成的微米級標稱通道寬度。舉例而言，如圖 1 之右頂部部分中的虛線泡中所指示，毛細管通道 115-5 具有在 3 微米至 10 微米之範圍內的標稱通道寬度（間隙距離 G ），其促進具有大約 10 微米或更小之標稱寬度 W 之線型遮罩特徵 126-5 的形成。利用懸臂型導管 113-1 至 113-5 之益處為：遞送足夠液體遮罩材料（例如，足夠液體遮罩材料沿著毛細管通道 115-1 至 115-5 流動），使得被排出的遮罩材料部分 125-1 至 125-5 形成具有在 1 微米至 10 微米之範圍內之所要標稱寬度 W 及標稱厚度 T 兩者的遮罩特徵 126-1 至 126-5，藉以在「單遍次」印刷步驟中達成遮罩印刷製程。亦即，藉由以本文所描述之方式通過導管 113-1 至 113-5 而排出液體遮罩材料 125，本發明促進一遮罩印刷方法，其既滿足與太陽能電池之形成相關聯的最小線寬規格，又沈積足夠遮罩材料以促進遮罩特徵之單遍次印刷（亦即，印刷足夠遮罩材料以避免第二印刷層），從而使此途徑優於噴墨、網版印刷及柔版印刷途徑。此配置亦促進形成極細的緊密隔開式導管（例如，每吋 1,000 個或更多導管），藉此提供滿足與太陽能電池之生產相關聯之最小線

寬要求的高輸質量印刷製程。

【0026】 圖 3 為展示一遮罩印刷製程之俯視平面圖，在該遮罩印刷製程中，使 mc-Si 晶圓 101 在印刷頭 110 下方（亦即，在該圖中為向下）移動，且使用上文所描述之方法而將多個平行線狀遮罩特徵 126 印刷至晶圓 101 上。在此狀況下，印刷頭 110 包括三個片段 110-1、110-2 及 110-3（亦即，形成於三個分離基板 111-1、111-2 及 111-3 上），該等片段是端對端地配置，使得其跨越晶圓 101 之寬度 W_w ，其中每一片段 110-1、110-2 及 110-3 經定位以將遮罩材料沈積於晶圓 101 之對應區段上（例如，片段 110-2 經安置以將遮罩特徵 126 形成於匯流條 106 之間，在 mc-Si PV 裝置上通常會發現該等匯流條）。在一特定實施例中，每一片段基板（例如，基板 111-2）具有為三吋之標稱寬度 W_s ，且晶圓 101 具有為六吋之寬度 W_w 。

【0027】 圖 4 為展示根據本發明之一實施例之單一印刷頭片段 110A 的透視圖，其中片段 110A 包括以懸臂型配置而緊固至基板 111A 之彎曲微彈簧導管 113A 之線性陣列。具體而言，每一微彈簧導管 113A 包括具有附接至基板 111A 之平面表面之基底（固定末端）部分 114A 及偏離（亦即，經安置成遠離）基板 111A 之尖端（自由端）部分 116A 的微彈簧結構。在一個實施例中，每一微彈簧導管 113A 包含使用相似於專屬符合 ClawConnect™之高密度互連（HDI）平台技術中利用之技術的技術而製造之應力金屬微彈簧結構，該 HDI 平台技術是由本發明之受讓人開發。根據 ClawConnect 技術，使用一

自彎曲彈簧金屬來形成每一微彈簧導管 113A，該自彎曲彈簧金屬被沈積為應力工程膜且接著被圖案化以形成彈簧材料島（平坦結構），其中該自彎曲彈簧金屬之最下部部分（亦即，鄰近於基板 111A 之上部表面的經沈積材料）相比於其上部部分（亦即，經定位成最遠離基板 111A 之水平層）具有較低內拉伸應力，藉此使應力工程金屬膜具有使彈簧金屬島之窄「指狀」部分在後續釋放製程期間遠離基板 111A 向上彎曲之內應力變化。舉例而言，美國專利第 3,842,189 號（沈積具有不同內應力之兩個金屬）及美國專利第 5,613,861 號（例如，在使製程參數變化的同時濺鍍之單一金屬）中教示用於在應力工程金屬膜中產生此等內應力變化之方法，此等專利兩者是以引用方式併入本文中。在一個實施例中，將鈦（Ti）釋放材料層沈積於基板 111 上，接著，應力工程金屬膜包括被濺鍍沈積於抑或電鍍於該釋放材料上方之鉬（Mo）、「鉬-鉻」合金（MoCr）、鎢（W）、鈦-鎢合金（Ti:W）、鉻（Cr）、銅（Cu）、鎳（Ni）及鎳-鋯合金（NiZr）中的一或多者。可將任選鈍化金屬層（未圖示；例如，金（Au）、鉑（Pt）、鈀（Pd）或銠（Rh））沈積於應力工程金屬膜之上部表面上，以在應力工程金屬膜未充當良好基底金屬時用作晶種材料以用於後續電鍍製程。亦可提供鈍化金屬層以改良已完成之彈簧結構中的接觸電阻。在一替代實施例中，可形成可被直接地電鍍而無晶種層之鎳（Ni）、銅（Cu）或鎳-鋯（NiZr）膜。若使用無電極電鍍，則可跳過電極層之沈積。在又一替代實施例中，自彎曲彈簧材料可為根據已知技術而製造之雙壓電晶片/雙金屬

化合物（例如，金屬 1/金屬 2、矽/金屬、氧化矽/金屬、矽/氮化矽）中的一或多者。在每一情況下，將高導電度材料（例如，金）外部層形成於「基底」彈簧金屬材料上以增加電導率且促進微電漿產生。在又一實施例中，製造每一微彈簧導管，使得其基底（錨）部分藉由任選支撐結構（例如，釋放層之經固持部分，或經預成型之導電基底結構）而連接至下方之基板。

【0028】 本發明之微彈簧導管與藉由 ClawConnect 技術而形成之標準微彈簧探針不同之處在於：製造製程被修改以提供沿著每一微彈簧結構/導管之長度延伸的合適毛細管通道，藉以藉由使遮罩材料部分之部分同時地沿著形成於微彈簧結構之部分上或由微彈簧結構之部分形成的毛細管通道流動來執行自每一微彈簧型導管排出液體遮罩材料。下文參看圖 5 至圖 7 來描述例示性毛細管通道特徵。

【0029】 圖 5A 及圖 5B 分別為展示根據一第一特定實施例的包括狹縫狀毛細管通道 115B 之微彈簧導管 113B 的透視側視圖及正視圖。每一微彈簧導管 113B 包括具有附接至一基板（未圖示）之基底部分 114B 及以上文參看圖 3 所描述之方式安置成遠離該基板之尖端部分 116B 的關聯對平行彎曲受應力金屬微彈簧 113B-1 及 113B-2，其中關聯微彈簧 113B-1 及 113B-2 隔開，使得在該等關聯微彈簧之間界定狹縫狀毛細管通道 115B。在此狀況下，傳輸液體遮罩材料涉及將遮罩材料供應至微彈簧 113B-1 及 113B-2 之基底部分 114B 之間的點，使得遮罩材料沿著狹縫狀毛細管通道 115B 流動且自尖端部分

116B 之間排出。藉由形成具有在 3 微米至 10 微米之範圍內之標稱間隙距離 G 的微彈簧 113B-1 及 113B-2，隨著遮罩材料在基底部分 114B 與尖端部分 116B 之間流動，藉由毛細管作用（力）而使遮罩材料維持於狹縫狀毛細管通道 115B 中。舉例而言，共同擁有之美國專利第 7,241,420 號（「CAPILLARY-CHANNEL PROBES FOR LIQUID PICKUP, TRANSPORTATION AND DISPENSE USING STRESSY METAL」）中揭示用於產生可用於液體流動之緊密隔開式微彈簧導管的技術，此專利之全文是以引用方式併入本文中。

【0030】 圖 6A 及圖 6B 分別為展示根據一第二特定實施例之管件狀微彈簧導管 113C 的透視側視圖及正視圖。在此狀況下，液體遮罩材料在由具有（例如）矩形橫截面之壁界定（亦即，在四個側上環繞）的中空管件狀毛細管通道 115C 中流動，其中管件狀毛細管通道 115C 延伸於微彈簧導管 113C 之基底末端 114C 與尖端末端 116C 之間。在此狀況下，在產生所需流動之壓力下將遮罩材料自圍封式儲集器（未圖示）饋入至毛細管通道 115C 中。舉例而言，共同擁有之美國專利第 8,080,293 號（「MICRO-MACHINED STRUCTURE PRODUCTION USING ENCAPSULATION」）中揭示用於產生可用於液體流動之管件狀微彈簧導管的技術，此專利之全文是以引用方式併入本文中。

【0031】 圖 7 為展示根據一第三特定實施例之圖案化微彈簧導管 113D 的透視側視圖，且圖 7A、圖 7B 及圖 7C 為展示由圖案化微彈簧導管 113D 利用之替代液體導引通道類型的橫

截面圖。如同上文參看圖 5A 及圖 5B 所描述之狹縫狀通道，每一微彈簧導管 113D 包括一關聯液體導引通道結構 115D，其用來隨著液體遮罩材料自基底部分 114D 沿著每一微彈簧導管 113D 行進至尖端部分 116D 而藉由毛細管作用來控制液體遮罩材料之流動。然而，代替使用兩個鄰近微彈簧予以形成，導管 113D 包括單一微彈簧結構，其被修改（圖案化）以包括位於其表面上或在其表面中界定之液體導引通道結構 115D，其中液體導引通道結構 115D 包括促進基底部分 114D 與尖端部分 116D 之間的毛細管液體流動之形狀。圖 7A 展示之第一微彈簧導管 113D-1，其具有自導管 113D-1 之中心表面區向上延伸的肋狀物所形成之隆脊型液體導引通道結構 115D-1。圖 7B 展示第二微彈簧導管 113D-2，其具有被形成為沿著導管 113D-2 之整個長度延伸至上部表面中的正方形或矩形凹槽之一凹谷或溝槽型液體導引通道結構 115D-2。圖 7C 展示第三微彈簧導管 113D-3，其具有被形成為沿著導管 113D-3 之整個長度延伸至上部表面中的半圓形凹槽（凹谷）之另一凹谷/溝槽型通道結構 115D-3。圖 7A 至圖 7C 所說明之液體導引通道結構的優點為：該等液體導引通道結構是使用現有 ClawConnect 技術予以製造，且因此被咸信為提供具有長操作壽命之穩固印刷頭（亦即，適合於生產 150,000 個或更多之 6 吋太陽能電池）。

【0032】 儘管較佳地使用微彈簧導管來實施本發明，但亦可利用其他技術。舉例而言，圖 8 為展示根據本發明之一替代實施例而形成的包括筆直平行懸臂區段 113E 之印刷頭片段

110E 的俯視側透視圖。在一個特定實施例中，藉由使用 UV 雷射微加工來蝕刻聚醯亞胺薄片 111E 而形成印刷頭片段 110E。每一懸臂區段 113E 具有附接至聚醯亞胺薄片（基板本體）111E 之基底部分 114E，及遠離薄片 111E 而延伸至末端（尖端）部分 116E。合適的流動通道將液體遮罩材料自形成於聚醯亞胺薄片 111E 上之儲集器 112E 饋入至該複數個筆直懸臂區段 113E 之鄰近對之間界定的狹縫狀毛細管通道 115E，使得被排出的遮罩材料部分同時地沿著所有狹縫狀毛細管通道 115E 流動。因為薄（25 μm 至 50 μm 厚）聚醯亞胺極具順應性，所以設想到印刷頭片段 110E 可「雕繪」整個目標 mc-Si 晶圓（未圖示）而不會斷裂或損壞（非常類似於漆刷）。亦即，不同於具脆性且會在接觸目標 mc-Si 晶圓時斷裂的經微加工之筆直矽懸臂陣列，薄聚醯亞胺懸臂區段 113E 能夠以相似於與受應力金屬微彈簧懸臂（上文所描述）相關聯之方式撓曲。又，容易地使用目前先進技術之雷射微加工而使聚醯亞胺圖案化，且可由（例如）265 nm UV 雷射系統獲得所需小特徵。

【0033】 使用若干可能機構來達成上文所描述的液體遮罩材料至各種導管之傳輸，下文參看圖 9A 至圖 9C 來描述一些此等可能機構。

【0034】 圖 9A 為展示第一液體遮罩材料饋入系統之簡化橫截面側視圖，在第一液體遮罩材料饋入系統中，將液體遮罩材料 125 以精確數量（液滴）通過一或多個噴墨印刷頭 120F 而遞送至印刷頭 110F 之導管 113F（一個被展示）。噴墨印刷

頭 120F 之出口噴嘴定位於每一個別懸臂型導管 113F 上方，使得將液體遮罩材料 125 供應至每一導管 113F 之基底部分 114F。印刷頭 110F 亦經配置成使得液體遮罩材料 125 自基底部分 114F 沿著毛細管通道 115F 流動至尖端部分 116F，藉以將液體遮罩材料以本文所描述之方式轉移至目標 mc-Si 晶圓（未圖示）。此途徑之優點為：噴墨遞送系統為用於遞送高度精確數量之液體材料的熟知機構。

【0035】 圖 9B 為展示第二液體遮罩材料饋入系統之簡化橫截面側視圖，在第二液體遮罩材料饋入系統中，將液體遮罩材料 125 通過一或多個加壓歧管 120G 而遞送至管件狀導管 113G（亦即，相似於上文參看圖 6A 及圖 6B 所描述之導管）中。將加壓液體遮罩材料 125-P 自泵或其他加壓供應源遞送至歧管 120G 內部界定之儲集器 112G，其中儲集器 112G 與經定位成鄰近於每一管件狀導管 113G 之基底部分 114G 的毛細管通道之第一末端連通，藉以液體遮罩材料 125 被強制沿著管件狀導管 113G 且在尖端部分 116F 處自出口排出至目標 mc-Si 晶圓上。此第二途徑之優點為：加壓歧管相比於噴墨遞送系統實施起來通常較不複雜且較不昂貴。

【0036】 圖 9C 為展示第三液體遮罩材料饋入系統之簡化橫截面側視圖，在第三液體遮罩材料饋入系統中，藉由隨著將液體遮罩材料自儲集器 112H 通過印刷頭基板 111H 饋入至導管 113H 而加熱液體遮罩材料 125 來控制被供應至印刷頭 110H 之液體遮罩材料 125 的黏度梯度，藉以在印刷頭 110H 中產生溫度梯度 T，其產生所要黏度梯度，該所要黏度梯度用

以在導管 113H 之基底部分 114H 處將液體遮罩材料 125 計量供給至毛細管通道 115H 中。經由分段加熱器抑或藉由自印刷頭歧管 120H 之背部產生熱梯度來控制溫度，藉以隨著具有相對高黏度及相對低溫度之液體遮罩材料 125 自儲集器 112H 朝向基板 111H 向下流動而加熱液體遮罩材料。設定溫度梯度，使得液體遮罩材料 125 既經歷黏度減低，藉此產生供應液體遮罩材料 125 之受控制流動速率，使得液體遮罩材料沿著導管 113H 之尖端 116H 流動且排出。此第三途徑之優點為：經加熱歧管相比於上文所描述之其他兩個遞送系統實施起來通常較不複雜且較不昂貴。

【0037】 除了使用具有被對準之尖端部分的平行導管之外，亦選擇性地利用下文參看圖 10A 至圖 10C 所描述之若干替代導管配置以提供冗餘或增加生產率。

【0038】 圖 10A 描繪具有兩組平行導管 113J-1 及 113J-2 之印刷頭 110J，該平行導管係以交錯圖案而安置，以便減小經印刷遮罩材料特徵（墨水線）之合併可能性，且藉由在每一鄰近對導管之間提供較大空間來促進較高生產良率。第一組 113J-1 包括在交叉製程（Y 軸）方向上對準之平行導管 113J-11、113J-12 及 113J-13，其以上文所描述之方式形成於印刷頭基板 111J（以虛線而展示以指示該等導管位於該基板與晶圓之間）上且緊固至印刷頭基板，且利用上文所描述之方法以在目標 mc-Si 晶圓 101J 上分別產生遮罩材料特徵 126J-11、126J-12 及 126J-13。第二組 113J-2 包括亦在交叉製程（Y 軸）方向上對準之平行導管 113J-21、113J-22 及

113J-23，但導管 113J-21、113J-22 及 113J-23 在製程/移動（X 軸）方向上自第一組 113J-1 偏離達一偏離距離 O。另外，導管 113J-21、113J-22 及 113J-23 在交叉製程（Y 軸）方向上相對於導管 113J-11、113J-12 及 113J-13 偏離（「交錯」），使得由第一組 113J-1 產生之第一遮罩特徵 126J-11、126J-12 及 126J-13 安置於由第二組 113J-2 之對應導管 113J-21、113J-22 及 113J-23 產生的第二遮罩特徵 126J-21、126J-22 及 126J-23 之鄰近對之間（例如，遮罩特徵 126J-12 安置於遮罩特徵 126J-21 與遮罩特徵 126J-22 之間）。此「交錯」配置促進緊密隔開式遮罩材料特徵之印刷，同時藉由增加使鄰近導管分離之空間來增加印刷頭生產良率。

【0039】 圖 10B 描繪具有三組平行導管 113K-1、113K-2 及 113K-3 之印刷頭 110K，平行導管係以重疊（經串聯配置）圖案而安置，使得自下游導管（例如，第三導管組 113K-3 中之導管）排出之遮罩材料特徵與自對應上游導管（例如，第一導管組 113K-1 或第二導管組 113K-2 中之導管）排出之遮罩材料特徵對準（亦即，可沈積於自對應上游導管排出之遮罩材料特徵的頂部上）。第一組 113K-1 包括平行導管 113K-11、113K-12、113K-13、113K-14 及 113K-15，其以上文所描述之方式在交叉製程（Y 軸）方向上對準且緊固至印刷頭基板 111K（以虛線而展示）。第二組 113K-2 包括平行導管 113K-21、113K-22、113K-23、113K-24 及 113K-25，其亦在交叉製程（Y 軸）方向上對準且緊固至印刷頭基板 111K，但安置於第一組 113K-1 下游，且第三組 113K-3 包括平行導

管 113K-31、113K-32、113K-33、113K-34 及 113K-35，其亦對準且安置於第二組 113K-2 下游。來自每一組之關聯導管在製程（X 軸）方向上串聯對準（例如，導管 113K-11、113K-21、113K-31 在 Y 軸方向上對準，導管 113K-12、113K-22、113K-32 在 Y 軸方向上對準，等等）。

【0040】 印刷頭 110K 之經串聯配置導管圖案促進同時地印刷，使得來自第一導管之第一被排出的遮罩材料部分沈積於來自第二經串聯配置導管之第二被排出的遮罩材料部分的頂部上。舉例而言，如圖 10B 之右側所指示，遮罩特徵 126K-1 是由三個遮罩材料層形成，其中自導管 113K-31 排出之遮罩材料印刷於自導管 113K-21 排出之遮罩材料的頂部上，自導管排出之遮罩材料又印刷於自導管 113K-11 排出之遮罩材料的頂部上。

【0041】 印刷頭 110K 之經串聯配置導管圖案亦藉由允許使用一或多個導管以「代替」有缺陷導管來促進冗餘。舉例而言，遮罩特徵 126K-2 是由兩個遮罩材料層形成，其中自導管 113K-32 排出之遮罩材料印刷於自導管 113K-22 排出之遮罩材料的頂部上，其中導管 113K-12 被保留為預備以防萬一導管 113K-32 或 113K-22 中之一者未能適當地操作。相似地，遮罩特徵 126K-3、126K-4 及 126K-5 各自是由單一遮罩材料層形成，其中遮罩特徵 126K-3 包含自導管 113K-33 排出之遮罩材料（保留預備導管 113K-23 及 113K-13），遮罩特徵 126K-4 包含自導管 113K-24 排出之遮罩材料（保留預備導管 113K-34 及 113K-14），且遮罩特徵 126K-5 包含自導管 113K-15 排出之

遮罩材料（保留預備導管 113K-35 及 113K-25）。

【0042】 圖 10C 描繪具有藉由針對介入柵格線 127L 所提供之間隙而分離之兩組隔開式導管的印刷頭 110L，柵格線 127L 是在遮罩印刷製程之前形成於 mc-Si 晶圓 101L 上。具體而言，導管 113L-1、113L-2 及 113L-3 形成以間距 P1 而定位及隔開以在柵格線 127L 之第一側上形成遮罩特徵 126L-1、126L-2 及 126L-3 的第一導管組，且導管 113L-4、113L-5 及 113L-6 形成經定位及隔開以在柵格線 127L 之第二側上形成遮罩特徵 126L-4、126L-5 及 126L-6 的第二導管組，其中間距 P1 小於柵格線 127L 之寬度 P2。

【0043】 圖 10D 描繪包括多組經串聯配置導管之另一印刷頭 110M，該等經串聯配置導管是以長於預期印刷長度之距離（例如，以大於晶圓 101M-1、101M-2 及 101M-3 中每一者之長度的距離）而隔開，其中使用串聯行多工來執行印刷，使得沿著每一印刷線自多個導管印刷遮罩材料，藉此增加印刷速度（亦即，藉由在晶圓 101M-1、101M-2 及 101M-3 上允許同時遮罩印刷）、減低印刷路徑長度且縮減墨水儲集器饋入時間。亦即，在第一組 113M-1（例如，導管 113M-11）將遮罩特徵（例如，特徵 126M-11）印刷於晶圓 101M-1 上時，第二組 113M-2（例如，導管 113M-21）將遮罩特徵（例如，特徵 126M-21）印刷於晶圓 101M-2 上，且第三組 113M-3（例如，導管 113M-31）將遮罩特徵（例如，特徵 126M-31）印刷於晶圓 101M-3 上。

【0044】 根據額外替代實施例，執行印刷製程，使得將遮

罩材料以預定圖案印刷於 mc-Si 晶圓上，其中以預定圖案通過開口而對多晶矽材料進行後續蝕刻會產生所需光捕獲結構圖案。存在將增加由太陽能晶圓進行之光吸收的數個可能蝕刻圖案。熟知蝕刻圖案包括溝槽及所謂的蜂房式紋理。運用本發明來達成此等結構之示例性較佳方法。一般而言，較佳的是使未經遮蔽區小於經蝕刻特徵之間距。眾所周知，此情形將產生深度與寬度相當之經蝕刻特徵，深度與寬度相當對於光捕獲是理想的。

【0045】 圖 11 為展示包括根據本發明之一第一特定實施例而印刷的筆直線遮罩材料圖案之晶圓 101N 的簡化俯視平面圖。亦即，藉由如下方式來形成遮罩 126N：自印刷頭之導管中每一者連續地排出遮罩材料，同時在單遍次中橫越目標晶圓進行掃描，使得被排出的遮罩材料部分在晶圓 101N 之第一表面部分 102N-1 上形成連續細長平行遮罩材料線 126N，其中每一鄰近對遮罩材料線 126N 是藉由一細長經曝露平面表面部分 102N-2 而分離。晶圓 101N 之後續蝕刻涉及施加僅接取細長經曝露平面表面部分 102N-2 之合適蝕刻劑（亦即，遮罩部分 126N 保護第一表面部分 102N-1）。圖 12 為展示在後續蝕刻製程將細長溝槽型光捕獲結構 105N-1 形成於上部表面 102N 中之後的晶圓 101N 之透視圖，其中溝槽型光捕獲結構 105N-1 包括藉由對應細長凸起隆脊狀結構 105N-12 而分離之細長 V 形溝槽 102N-11。

【0046】 再次參看圖 12，晶圓 101N 經處理以在該晶圓之兩個側上具有垂直線性溝槽，此情形允許所得太陽能電池根

據經修改光捕獲配置來捕獲更寬廣的散射角。爲了產生此垂直溝槽圖案，在第一製程（X 軸）方向上將溝槽型光捕獲結構 105N-1 形成於上部表面 102N 上之後，使晶圓 101N 翻轉及旋轉 90°，且接著在下部表面 103N 上執行第二遮罩/蝕刻製程（亦即，使得在對應於 Y 軸箭頭之第二製程方向上處理晶圓 101N）。相似於光捕獲結構 105N-1，所得第二細長溝槽型光捕獲結構 105N-2 是由藉由隆脊狀結構 105N-22 而分離之溝槽 102N-21 形成，但對準垂直於光捕獲結構 105N-1。在目標晶圓之兩個側上提供垂直溝槽會達成更寬廣的散射角，此情形藉由增加經捕獲光子之數目來增加太陽能電池效率。

【0047】 圖 13 爲根據另一替代實施例的經處理以具有由平行波狀遮罩特徵 126P 形成之「波狀線」遮罩圖案之晶圓 101P 的簡化圖。使用上文所描述之印刷頭及晶圓輸送機構來形成波狀遮罩特徵 126P，其中連續地排出遮罩材料，而使導管（印刷頭）抑或晶圓在交叉製程方向（亦即，橫向/垂直於晶圓之移動方向）上往復（前後移動），藉以將被排出的遮罩材料以波狀線 126P 之形式沈積於藉由晶圓表面 102P 之波狀線經曝露區域 126P-2 而分離的關聯波狀線經遮蔽部分 102P-1 上方。波狀線經曝露區域 126P-2 之後續蝕刻產生改良線性 1D 之凹槽設計之對應光捕獲圖案。

【0048】 在其他特定實施例中，使連續筆直或波狀遮罩材料線重疊以界定目標 mc-Si 晶圓之圓點狀經曝露平面表面部分，藉以圓點狀經曝露區之後續蝕刻產生呈「蜂房式」圖案之凹坑型光捕獲結構。舉例而言，圖 13 說明由三組筆直平行

連續遮罩材料線特徵 126O-11、126O-12 及 126O-13 形成之遮罩圖案 126O，筆直平行連續遮罩材料線特徵是在多個印刷遍次中（例如，藉由如上文所描述來印刷特徵 126O-11，接著使目標晶圓旋轉 120° ，接著印刷特徵 126O-13，接著使目標晶圓旋轉 120° ，接著印刷 126O-13）予以印刷，藉此形成具有三角形對稱性之經曝露「孔」區 102O-2 的圖案。當隨後蝕刻經曝露「孔」區 102O-2 時，形成具有蜂房式圖案之光捕獲特徵，其被咸信為優於溝槽結構，此是因為其使光在晶圓-表面平面中之多個方向上散射。相似地，如圖 14B 所展示，藉由印刷相似於參看圖 14A 所描述之遮罩材料特徵的緊密隔開式「波狀」遮罩材料特徵 126Q 來達成具有經曝露「孔」區 102Q-2 之三角形格子的遮罩材料圖案。若三角形格子等邊，則此格子在被蝕刻時將引起蜂房式紋理。若三角形格子不等邊，則將引起畸變蜂房式紋理。

【0049】 在又其他特定實施例中，將遮罩材料沈積為在目標晶圓上形成一系列重疊圓形圓點狀遮罩材料結構（特徵）之個別液滴。此等圓點狀遮罩特徵可關於諸如選定液體遮罩材料「墨水」之製程參數的某些組合而較佳。圖 15A 展示被形成為覆蓋 mc-Si 晶圓 102R 之經遮蔽部分 102R-1 的重疊圓點狀遮罩材料結構之平行列的線性遮罩特徵 126R（例如，線性遮罩特徵 126R-5 是部分地由圓點特徵 126R-51、126R-52 及 126R-53 形成），其中經曝露表面區 102R-2 設置於隨後被蝕刻以產生溝槽型光捕獲結構之圓點之列之間。圖 15B 展示藉由圓點狀遮罩材料結構 125S 之偏離列而形成於 mc-Si 晶圓

101S 上的第二遮罩圖案，圓點狀遮罩材料結構 125S 界定實質上三角形經曝露「圓點」，其在隨後被蝕刻時產生具有三重對稱性之複雜結構。諸如上文參看圖 15A 及圖 15B 所描述之遮罩材料結構的圓點狀遮罩材料結構重複地使筆尖接觸晶圓表面，接著脫離接觸，同時使印刷頭在各觸碰之間平移。相似於上文，可藉由多個偏離印刷頭抑或在使印刷頭在多個圓點置放中間平移的情況下藉由該多個圓點置放來達成具有比筆尖間隔更精細之間隔的圖案。

【0050】 除了現有製程以外，亦設想到可將額外塗層或材料沈積於懸臂之尖端區上，以便改良機械磨耗特性（機械磨耗特性對於筆尖印刷可引起特定問題）。特別是，可在經釋放懸臂結構上抑或在電鍍步驟之前沈積（藉由濺鍍）諸如鈹之材料（在此之後，遮蔽該材料以便不塗飾該材料）。又，可將諸如銻之材料電鍍於尖端區上（在形成懸臂「本體」之第一電鍍步驟之後）。鈹及銻兩者為極硬且耐久之材料，且此等塗層可改良印刷頭之壽命。

【0051】 圖 16 為展示根據本發明之又一特定實施例的利用印刷頭 110U-1 及 110U-2 之遮罩印刷系統 100U 的簡化俯視圖。印刷系統 100U 與先前實施例相似之處在於：印刷頭 110U-1 及 110U-2 分別包括導管 113U-1 及 113U-2，且使目標晶圓 101U 相對於印刷頭 110U-1 及 110U-2 移動，使得自導管 113U-1 及 113U-2 之尖端部分排出（印刷）的液體遮罩材料以相似於上文所描述之方式的方式而在目標晶圓 101U 上形成線型特徵 126U-1 及 126U-2。印刷系統 100U 與先前實施例不

同之處在於：使印刷頭 110U-1 及 110U-2 維持於固定相對位置中，使得導管 113U-1 及 113U-2 在交叉製程（X 軸）方向上偏離，藉以由印刷頭 101U-1 產生之（第一）遮罩材料線 126U-1 安置於由印刷頭 101U-2 產生之（第二）遮罩材料線 126U-2 之間。此配置允許每一印刷頭 110U-1 及 110U-2 上之鄰近導管 113U-1 與 113U-2 之間的間隔較大，以便改良印刷頭生產良率。

【0052】 儘管已關於某些特定實施例而描述本發明，但對於熟習此項技術者而言將清楚的是，本發明之發明特徵亦適用於其他實施例，此等其他實施例皆意欲屬於本發明之範疇。

【符號說明】

【0053】

100：系統

100U：遮罩印刷系統

101：晶圓

101-1：晶圓

101-2：晶圓

101J：晶圓

101L：晶圓

101M-1：晶圓

101M-2：晶圓

101M-3：晶圓

101N：晶圓

- 101P：晶圓
- 101S：晶圓
- 101U：晶圓
- 102：平面表面
- 102-1：「經遮蔽」部分
- 102-2：溝狀經曝露表面部分
- 102N：上部表面
- 102N-1：第一表面部分
- 102N-11：細長 V 形槽
- 102N-2：細長經曝露平面表面部分
- 102N-21：溝槽
- 102O-2：經曝露「孔」區
- 102P：晶圓表面
- 102P-1：波狀線經遮蔽部分
- 102Q-2：經曝露「孔」區
- 102R：晶圓
- 102R-1：經遮蔽部分
- 102R-2：經曝露表面區
- 103N：下部表面
- 105：一體式圖案化光捕獲結構
- 105N-1：細長溝槽型光捕獲結構
- 105N-12：細長凸起隆脊狀結構
- 105N-2：第二細長溝槽型光捕獲結構
- 105N-22：隆脊狀結構

106：匯流條

110：印刷頭組件

110-1：片段

110-2：片段

110-3：片段

110A：印刷頭片段

110E：印刷頭片段

110F：印刷頭

110H：印刷頭

110J：印刷頭

110K：印刷頭

110L：印刷頭

110M：印刷頭

110U-1：印刷頭

110U-2：印刷頭

111：基板

111-1：基板

111-2：基板

111-3：基板

111A：基板

111E：聚醯亞胺薄片

111H：印刷頭基板

111J：印刷頭基板

112：儲集器

- 112E：儲集器
- 112G：儲集器
- 112H：儲集器
- 113-1：導管
- 113-2：導管
- 113-3：導管
- 113-4：導管
- 113-5：導管
- 113A：彎曲微彈簧導管
- 113B：微彈簧導管
- 113B-1：彎曲受應力金屬微彈簧
- 113B-2：彎曲受應力金屬微彈簧
- 113C：管件狀微彈簧導管
- 113D：圖案化微彈簧導管
- 113D-1：第一微彈簧導管
- 113D-2：第二微彈簧導管
- 113D-3：第三微彈簧導管
- 113E：筆直平行懸臂區段
- 113F：導管
- 113G：管件狀導管
- 113H：導管
- 113J-1：導管
- 113J-11：導管
- 113J-12：導管

113J-13 : 導管

113J-2 : 導管

113J-21 : 導管

113J-22 : 導管

113J-23 : 導管

113K-1 : 導管

113K-11 : 導管

113K-12 : 導管

113K-13 : 導管

113K-14 : 導管

113K-15 : 導管

113K-2 : 導管

113K-21 : 導管

113K-22 : 導管

113K-23 : 導管

113K-24 : 導管

113K-25 : 導管

113K-3 : 導管

113K-31 : 導管

113K-33 : 導管

113K-34 : 導管

113K-35 : 導管

113L-1 : 導管

113L-2 : 導管

- 113L-3：導管
- 113L-4：導管
- 113L-5：導管
- 113L-6：導管
- 113M-1：第一組
- 113M-11：導管
- 113M-2：第二組
- 113M-21：導管
- 113M-3：第三組
- 113M-31：導管
- 113U-1：導管
- 113U-2：導管
- 114-1：基底部分
- 114-5：基底部分
- 114A：基底（固定末端）部分
- 114B：基底部分
- 114C：基底末端
- 114D：基底部分
- 114E：基底部分
- 114F：基底部分
- 114G：基底部分
- 114H：基底部分
- 115-1：流動通道
- 115-5：流動通道

- 115B：狹縫狀毛細管通道
- 115C：中空管件狀毛細管通道
- 115D：液體導引通道結構
- 115D-1：隆脊型液體導引通道結構
- 115D-2：凹谷或溝槽型液體導引通道結構
- 115D-3：凹谷/溝槽型通道結構
- 115E：狹縫狀毛細管通道
- 115F：毛細管通道
- 115H：毛細管通道
- 116-1：尖端部分
- 116-5：尖端部分
- 116A：尖端（自由端）部分
- 116B：尖端部分
- 116C：尖端末端
- 116D：尖端部分
- 116E：末端（尖端）部分
- 116F：尖端部分
- 120：遮罩材料供應器
- 120F：噴墨印刷頭
- 120G：加壓歧管
- 120H：印刷頭歧管
- 125：液體遮罩材料
- 125-1：遮罩材料部分
- 125-2：遮罩材料部分

- 125-3：遮罩材料部分
- 125-4：遮罩材料部分
- 125-5：遮罩材料部分
- 125-P：加壓液體遮罩材料
- 125S：圓點狀遮罩材料結構
- 126：遮罩材料圖案
- 126-1：遮罩特徵
- 126-2：遮罩特徵
- 126-3：遮罩特徵
- 126-4：遮罩特徵
- 126-5：遮罩特徵
- 126J-11：第一遮罩特徵
- 126J-12：第一遮罩特徵
- 126J-13：第一遮罩特徵
- 126J-21：第二遮罩特徵
- 126J-22：第二遮罩特徵
- 126J-23：第二遮罩特徵
- 126K-1：遮罩特徵
- 126K-2：遮罩特徵
- 126K-3：遮罩特徵
- 126K-4：遮罩特徵
- 126K-5：遮罩特徵
- 126L-1：遮罩特徵
- 126L-2：遮罩特徵

126L-3：遮罩特徵

126L-4：遮罩特徵

126L-5：遮罩特徵

126L-6：遮罩特徵

126M-11：特徵

126M-21：特徵

126M-31：特徵

126N：遮罩

126O：遮罩圖案

126O-11：遮罩材料線特徵

126O-12：遮罩材料線特徵

126O-13：遮罩材料線特徵

126P：波狀遮罩特徵

126Q：「波狀」遮罩材料特徵

126R：線性遮罩特徵

126R-5：線性遮罩特徵

126R-51：圓點特徵

126R-52：圓點特徵

126R-53：圓點特徵

126U-1：線型特徵

126U-2：線型特徵

127L：柵格線

130：輸送帶

140：蝕刻站

145：蝕刻劑

210：區塊

220：區塊

230：區塊

240：區塊

G：間隙距離

P1：間距

P2：寬度

T：厚度

W：寬度

W_s：寬度

W_w：寬度

I641159

發明摘要

※ 申請案號：103129428

※ 申請日：103/08/26

※IPC 分類：H01L 31/18 (2006.01)

H01L 31/042 (2014.01)

【發明名稱】(中文/英文)

用於在多晶矽晶圓之平面表面上產生圖案化光捕獲結構的方法

METHOD FOR GENERATING A PATTERNED LIGHT TRAPPING STRUCTURE ON A PLANAR SURFACE OF A MULTI-CRYSTALLINE SILICON WAFER

【中文】

一種具有圖案化光捕獲結構（例如，稜錐或凹槽特徵）之多晶矽（mc-Si）太陽能電池係藉由自緊密隔開式平行細長導管之一陣列印刷一液體遮罩材料而產生，使得經由印刷遮罩特徵之間界定之開口而曝露出 mc-Si 晶圓之部分。係使用導管（例如，微彈簧或筆直聚醯亞胺懸臂）之一陣列來達成緊密隔開式遮罩圖案特徵，其中每一導管包括一狹縫型、管件型或隆脊/凹谷型之液體導引通道，該液體導引通道延伸於該導管之一固定基底末端與一尖端末端之間，使得將自一儲集器供應之該遮罩材料自該尖端精確地排出至該 mc-Si 晶圓上。接著蝕刻經曝露之該平面表面之該部分以形成所需之圖案化光捕獲結構（例如，凹槽結構）。

【英文】

Multicrystalline silicon (mc-Si) solar cells having patterned light trapping structures (e.g., pyramid or trough features) are generated by printing a liquid mask material from an array of closely-spaced parallel elongated conduits such that portions of the mc-Si wafer are exposed through openings defined between the printed mask features. Closely spaced mask pattern features are achieved using an array of conduits (e.g., micro-springs or straight polyimide cantilevers), where each conduit includes a slit-type, tube-type or ridge/valley-type liquid guiding channel that extends between a fixed base end and a tip end of the conduit such that mask material supplied from a reservoir is precisely ejected from the tip onto the mc-Si wafer. The exposed planar surface portions are then etched to form the desired patterned light trapping structures (e.g., trough structures).

申請專利範圍

1. 一種用於在一多晶矽晶圓之一平面表面上產生一圖案化光捕獲結構的方法，該方法包含：

沿著複數個平行細長導管傳輸一液體遮罩材料，使得該遮罩材料之一部分自每一該導管之一尖端部分排出，其中該等導管係窄且緊密隔開式，每吋至少提供 1,000 個導管；

在該複數個導管之該等尖端部分下方移動該多晶矽晶圓，使得被排出之該遮罩材料之該等部分在該多晶矽晶圓之該平面表面上形成一遮罩圖案，其中該遮罩材料圖案之形成使得經由該遮罩材料圖案而曝露出該平面表面之一部分；以及

蝕刻經曝露之該平面表面之該部分，使得經蝕刻之該多晶矽晶圓形成一體式圖案化光捕獲結構。

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（2）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

210：區塊

220：區塊

230：區塊

240：區塊

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

【無】