

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6383225号
(P6383225)

(45) 発行日 平成30年8月29日(2018.8.29)

(24) 登録日 平成30年8月10日(2018.8.10)

(51) Int.Cl.

F 1

H01L 31/0236 (2006.01)
H01L 21/306 (2006.01)H01L 31/04 280
H01L 21/306 B

請求項の数 19 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2014-182571 (P2014-182571)
 (22) 出願日 平成26年9月8日 (2014.9.8)
 (65) 公開番号 特開2015-56663 (P2015-56663A)
 (43) 公開日 平成27年3月23日 (2015.3.23)
 審査請求日 平成29年9月5日 (2017.9.5)
 (31) 優先権主張番号 14/023,423
 (32) 優先日 平成25年9月10日 (2013.9.10)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 502096543
 パロ・アルト・リサーチ・センター・イン
 コーポレーテッド
 Palo Alto Research
 Center Incorporated
 アメリカ合衆国、カリフォルニア州 94
 304、パロ・アルト、コヨーテ・ヒル・
 ロード 3333
 (74) 代理人 100079049
 弁理士 中島 淳
 (74) 代理人 100084995
 弁理士 加藤 和詳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】太陽電池のテクスチャリング

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

多結晶シリコンウェハの平坦面上にパターニングされた光捕捉構造を生成する方法であつて、

複数の並列の細長い導管であつて、前記導管の夫々が、液体マスク材料が一時貯留される基板に接続され、前記基板に貯留された液体マスク材料が供給される基部と、前記基部に供給された液体マスク材料が吐出される先端部と、前記基部と前記先端部との間に延在する毛細管流路と、を有する導管に沿って、液体マスク材料の一部が前記導管の夫々の先端部から排出されるように前記液体マスク材料を送ることと、

多結晶シリコンウェハを、複数の導管の先端部の下方を一方向に移動させて、排出されたマスク材料部分によって多結晶シリコンウェハの平坦面の上にマスク材料パターンを形成することであつて、前記平坦面の一部が前記マスク材料パターンを介して露出されるように前記液体マスク材料のパターンを形成することと、

露出された平坦面部分をエッチングして、エッチングされた前記多結晶シリコンウェハが一体パターニングされた光捕捉構造を形成するようにすることと
を備え、

前記複数の導管は、基部と前記先端部との間に延在する毛細管流路を備え、前記毛細管流路は、3~10ミクロンの公称流路幅を有し、且つ

前記液体マスク材料の送りは、前記毛細管流路の夫々から排出された液体マスク材料が、前記平坦面上において公称流路幅10ミクロン以下のマスク特徴を形成するように、充

10

20

分な量の前記液体マスク材料を前記毛細管流路に沿って流すようにせしめることを含む、方法。

【請求項 2】

前記液体マスク材料の送りは、容器を有する基板を備える印刷ヘッドに前記液体マスク材料を供給することを含み、

複数の前記毛細管流路は、前記基板に接続されるとともに前記基板から離れて配設され、

前記液体マスク材料は、前記排出されたマスク材料部分が前記容器から複数の前記毛細管流路に沿って同時に流れるように、前記容器に供給される、

請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 3】

前記多結晶シリコンウェハを移動させることは、複数の前記毛細管流路の下を、少なくとも 125 mm/s の速度で前記多結晶シリコンウェハを移動させることを含む、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

複数の密集した導管は、夫々、基板に取り付けられた前記基部と前記基板から離れて配設された前記先端部とを備える湾曲した微小バネ構造を有し、

前記液体マスク材料の送りは、前記排出されたマスク材料部分が、夫々の前記微小バネ構造の部分によって画定される毛細管流路を同時に流れるようにせしめることを含む、請求項 3 に記載の方法。

20

【請求項 5】

前記液体マスク材料の送りは、前記排出されたマスク材料部分の夫々が、関連する一対の前記微小バネ構造によって画定される対応するスリット状の毛細管流路を流れるようにせしめることを含む、

請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記液体マスク材料の送りは、前記排出されたマスク材料部分の夫々が、複数の前記微小バネ構造のうちの関連する 1 つの微小バネ構造によって画定された対応するチューブ状の毛細管流路を流れるようにせしめることを含む、

請求項 4 に記載の方法。

30

【請求項 7】

前記液体マスク材料の送りは、前記排出されたマスク材料部分の夫々が、複数の前記微小バネ構造のうちの関連する 1 つの微小バネ構造上に設けられた関連する液体案内流路構造を流れるようにせしめることを含む、

請求項 4 に記載の方法。

【請求項 8】

複数の密集した導管は、基板に取り付けられた基部と、基板から離れて配設された先端部とを有する複数の直線状のカンチレバー部を含み、且つ

前記液体マスク材料の送りは、前記排出されたマスク材料部分が、前記複数の直線状のカンチレバー部の一対によって画定される対応するスリット状の毛細管流路を同時に流れるようにせしめることを含む、

請求項 3 に記載の方法。

40

【請求項 9】

前記液体マスク材料の送りは、前記排出されたマスク材料部分を、1 つ以上のインクジェット印刷ヘッドを介して前記複数の導管に供給することを含む、

請求項 3 に記載の方法。

【請求項 10】

前記液体マスク材料の送りは、前記排出されたマスク材料部分を、1 つ以上の加圧されたマニホールドを介して前記複数の導管に供給することを含む、

請求項 3 に記載の方法。

50

【請求項 1 1】

前記液体マスク材料の送りは、前記容器に隣接する前記基板を加熱することによって、複数の前記毛細管流路に供給される前記排出されたマスク材料部分の粘度勾配を制御することを含む、

請求項 3 に記載の方法。

【請求項 1 2】

前記液体マスク材料の送りは、第 1 の組の並列の導管と第 2 の組の並列の導管とに沿つて前記液体マスク材料を排出することを含み、ここで、前記第 1 の組は、前記第 2 の組から前記多結晶シリコンウェハの移動方向に沿ってオフセットされており、

前記第 1 の組の導管で形成される第 1 のマスク特徴の夫々が、前記第 2 の組の導管で形成される第 2 のマスク特徴の対の間に位置するように、前記第 1 の組の並列の導管は、第 2 の組の並列の導管からクロスプロセス方向にオフセットされている、

請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 3】

前記液体マスク材料の送りは、第 1 の導管から排出された第 1 の液体マスク材料が、第 2 の導管から排出された第 2 の液体マスク材料の上に重なるように、前記液体マスク材料を複数の直列配置された導管に同時に供給することを含む、

請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記液体マスク材料の送りは、前記排出されたマスク材料部分を、直列に配置された複数の組の導管に、前記複数の組の導管から前記多結晶シリコンウェハに同時に排出されるように供給することを含む、

請求項 1 3 に記載の方法。

【請求項 1 5】

前記液体マスク材料の送りは、前記複数の導管のそれぞれからマスク材料を連続的に排出して、排出されたマスク材料部分が、多結晶シリコンウェハの細長い露出された平坦な表面部によって分離された、連続した細長い並列のマスク材料線を形成することを含み、

エッチングは、前記細長い露出された平坦な表面部をエッチングして前記エッチングによって細長い溝型の光捕捉構造を形成することを含む

請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 6】

前記液体マスク材料の送りは、複数の平行な細長い導管をウェハの移動方向に対して直交する方向に振動させて、排出されたマスク材料部分が前記多結晶シリコンウェハの表面に波型のマスク材料線を形成することを含む、

請求項 1 5 に記載の方法。

【請求項 1 7】

前記液体マスク材料の送りは、前記多結晶シリコンウェハの上に、前記多結晶シリコンウェハのドット状の露出された平坦な表面部を画定する排出されたマスク材料部分を形成することを含み、

前記露出された平坦面のエッチングは、前記多結晶シリコンウェハのドット状の露出された表面をエッチングしてピット型の光捕捉構造を生成することを含む、

請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 8】

前記液体マスク材料の送りは、前記複数の導管の先端部を前記多結晶シリコンウェハの平坦面に断続的に接触させて排出されたマスク材料部分によって前記多結晶シリコンウェハの上にドット状のマスク材料構造を形成することを含む、

請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 9】

前記液体マスク材料の送りは、オフセットした導管を有する第 1 の印刷ヘッド及び第 2 の印刷ヘッドに前記液体マスク材料を供給して、前記第 1 の印刷ヘッドに設けられた導管

10

20

30

40

50

の先端部から排出された前記液体マスク材料の第1の部分が、前記第2の印刷ヘッドに設けられた導管の先端部から排出された前記液体マスク材料の第2の部分の間に位置するようにすることを含む、

請求項1に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、太陽電池に関し、特に、多結晶太陽電池ウェハ上の光捕捉構造を生成するための方法に関する。

【背景技術】

10

【0002】

太陽電池のテクスチャリングは、光捕捉性能を向上させ、全体的な効率を高める重要なプロセスステップである。

【0003】

現在、単結晶ウェハは、ピラミッド状構造を形成するKOHエッチャントを使用してテクスチャリングされている。結晶面に沿って形成されたこれらの構造は、非常に良好な光捕捉特性をもたらす。

【0004】

一方、多結晶Si(mc-Si)ウェハは、等方的にエッチングされなければならない。多結晶ウェハに関して、適切なエッチャント、典型的には、HF / 硝酸 / 酢酸の混合物を使用したウェハ表面全体のエッチングを含む業界標準の等方性テクスチャリングプロセスが使用されている。等方性テクスチャリングプロセスは、表面を粗くするために、切り口の損傷の凹凸を利用する。

20

【0005】

等方性テクスチャリングプロセスは、コスト効率が高いが、得られた等方性テクスチャリングされた表面は、パターニングされた特徴と比較して決して最適なものではない。テクスチャリングされた表面は、光捕捉特性を改善したが、ピラミッド状又はトラフ状構造よりも効果が低い。NREL/1366報告書によれば、トラフ状構造を使用すると、0.3%の絶対効率の向上が等方性テクスチャリングされた表面と比較して算出されている。さらに、最良の光捕捉構造(ランダムピラミッド)により、最大0.8%の絶対効率の向上を達成することができる。

30

【0006】

等方性テクスチャリングプロセスの代わりに、mc-Siウェハ上にエッチングマスクを印刷し、その後、パターニングされた光捕捉機能を形成するようにマスクを介して露光されたウェハ領域をエッチングすることを含む。しかしながら、インクジェット、スクリーン印刷又はフレキソ印刷などの従来のマスク印刷技術は、最小線幅仕様を満たすことができず、ミクロ接触プリンティング、ディップペン・ナノリソグラフィ(DNP、書き込み先端としてAFM型プローブを用いる)又は他のMEMSアプローチなどの新たな技術は、遅すぎて脆弱であり、又は、大面積にわたる十分な垂直クリアランスを提供しない。

【0007】

40

必要とされるものは、従来の方法に付随する問題を回避する多結晶ウェハにおけるパターニングされたピラミッド又はトラフ状の特徴を生成するためのコスト効率が高い方法である。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明は、密集した並列の細長い導管のアレイを介してウェハ上に液体マスク材料を印刷することを含む、コスト効率が高い方法で多結晶シリコンウェハの平坦面上にパターニングされた光捕捉構造(例えば、ピラミッド又はトラフ状特徴)を生成する方法に関し、液体マスク材料は、導管のそれぞれに沿って流れさせられ、マスク材料の一部は、ウェハ

50

表面上に導管のそれぞれの先端部から排出される。排出されたマスク材部分がウェハ表面の第1の部分上にマスク材料パターンを形成するように且つウェハ表面の第2の部分がマスク材料パターン内に画定された開口を介して露出されるように、ウェハは導管アレイの下方に同時に移動される。残りの多結晶シリコンウェハが所望のパターニングされた光捕捉構造（例えば、トラフ状構造）を形成するように、露出された平坦な表面部分は、その後にエッチングされる（例えば、HF / 硝酸 / 酢酸混合物）。そして、マスク材料パターンは、必要に応じて、テクスチャエッチング槽内のリフトオフプロセスを介して又は塩基可溶性溶液を介してのいずれかによって除去される。エッチング前に対象とするmc-Si基板上に並列のマスク特徴を「印刷」するために密集した導管を利用することにより、本発明は、従来の方法よりもマスク印刷速度を大幅に増加させ、それにより、従来の方法を用いて可能であるよりも大幅に低いコストで、望ましいパターニングされた光捕捉構造（例えば、ピラミッド又はトラフ状特徴）を有するmc-Si太陽電池の製造を容易とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の態様によれば、導管のそれぞれは、基部とその先端部との間に延在する毛細管流路を含み、各毛細管流路は、3から10μm（例えば、5μm）の範囲内の小さな公称流路幅を有し、液体マスク材料を送ることは、排出されたマスク材料部分が指定された公称幅（例えば、約10ミクロン以下）及び公称厚（例えば、1から10ミクロンの範囲内）を有するマスク特徴をウェハ表面上に形成するように、十分な液体マスク材料が毛細管流路に沿って流れさせることを含む。そのような導管を介して液体マスク材料を排出することにより、本発明は、太陽電池の形成に関連する最小線幅仕様を満たし且つマスク特徴の1経路印刷を容易とするように十分なマスク材料を蒸着するマスク印刷方法を容易とし（すなわち、第2の印刷層を回避するために十分なマスク材料を印刷する）、このアプローチを、インクジェット、スクリーン印刷及びフレキソ印刷のアプローチよりも優れたものとする。1つの実施形態において、導管は、印刷ヘッド基板に取り付けられてそこから延在しており、液体マスク材料を送ることは、液体マスク材料部分が全ての導管に沿って同時に流れ且つそこから排出されるように、導管へとマスク材料を供給する印刷ヘッド基板に画定された容器へとマスク材料を供給することを含む。この配置は、非常に薄く密集した導管（例えば、インチあたり1000本以上の導管）の形成を容易とし、それにより、太陽電池の製造に関連する最小線幅要件を満たす高スループットの印刷プロセスを提供する。1つの実施形態において、多結晶シリコンウェハは、導管アレイの下方に高速（例えば、125mm/s以上）で搬送機構（例えば、コンベアベルト）を介して移動される。搬送機構の速度によって印刷ヘッドを介したマスク材料の流れを一致させることにより、本発明は、高いコスト効率で多結晶シリコンウェハ上へのパターニングされた光捕捉構造の形成を容易とする高速で単一経路のマスク印刷方法を提供する。

【0010】

本発明の実施形態によれば、印刷ヘッドは、各微小バネ型導管の先端（自由端）部が印刷ヘッド基板からオフセットされる（すなわち、離れて配設される）ように、印刷ヘッド基板に取り付けられた基部と、印刷ヘッド基板から離れるように湾曲した本体部とを有する並列の湾曲した応力-金属微小バネ型導管を備える。各微小バネ型導管は、液体マスク材料が供給される関連する毛細管流路の少なくとも一部を画定する（すなわち、液体マスク材料が基部から各微小バネ型導管の先端部へと本体部に沿って同時に流れるように）。応力-金属微小バネを使用して導管を形成することにより、本発明は、上述した印刷要件を満たす印刷ヘッドの製造に適した実績のある歩留まりを有する独自のClawConnecct（商標）製造プロセスの変更版を利用し、従来の印刷構造よりも著しくより堅牢である印刷ヘッドを提供する。1つの実施形態において、印刷ヘッドは、各印刷ヘッド・セグメントが約3'の長さで且つ直線アレイに配設された3000個以上の微小バネを含むようにセグメント化されている。具体的な実施形態によれば、液体マスク材料は、微小バネの隣接する対間に画定されたスリット状の毛細管流路に沿って流れ。他の特定の実

10

20

30

40

50

施形態において、液体マスク材料は、微小バネ型導管のそれぞれに画定されたチューブ状の毛細管流路に沿って流れる。さらに他の特定の実施形態において、液体マスク材料は、各微小バネ型導管上に配設された案内流路構造（例えば、粘性液体マスク材料を導く尾根状構造又は谷／流路のいずれか）に沿って流れる。特定の実施形態のそれぞれは、長い動作寿命を有する堅牢な印刷ヘッドを提供する実績のある製造技術を利用する（すなわち、150000個以上の6インチ太陽電池を製造するのに適している）。

【0011】

本発明の代替的な実施形態によれば、導管は、例えば、UVレーザ微小加工を用いてエッティングされたポリイミドシートの一部によって形成された直線状のカンチレバー部を含む。各カンチレバー部は、基板本体に取り付けられた基部を有し、基板本体から離れるよう端（先端）部まで延在している。薄い（25から50μm厚）ポリイミドが非常に適合するため、そのような印刷ヘッドは、適合する湾曲したカンチレバーと同様に、例えば非常に脆弱である微小加工された直線状のシリコン・カンチレバーアレイとは逆に、破壊又は失敗することなく、（鉛筆と酷似するように）ウェハ全体を「スクライプ」することができる事が想定される。また、ポリイミドは、最新のレーザ微小加工の技術を使用して容易にパターニングされ、必要とされる小さな特徴は、例えば、265nmのUVレーザシステムによって得られることができる。

【0012】

代替的な実施形態によれば、導管への液体マスク材料の送りは、いくつかの可能な機構によって達成される。1つの特定の実施形態において、液体マスク材料は、導管へと1つ以上のインクジェット印刷ヘッドを介して正確な量（量）で送達され、インクジェットノズルは、個々のカンチレバー型の導管の基部の上方に位置しており、インクは、印刷ヘッドからの液滴を用いて測定される。第2の具体的な実施形態において、液体マスク材料は、例えば、チューブ状の導管内にインクを供給する1つ以上の加圧されたマニホールドを介して送達される。さらに具体的な実施形態において、液体マスク材料は、インク容器に隣接した印刷ヘッド基板の加熱によって前記複数の導管へと送達される前記液体材料の粘度勾配を制御することによって導管へと送達される。それゆえに、温度勾配は、導管上においてインクを測定するのに使用される粘度勾配を形成するために、印刷ヘッドのマニホールドにおいて使用される。温度は、セグメント化されたヒータを介して又は印刷ヘッドのマニホールドの背面から熱勾配を形成することによってのいずれかによって制御される。

【0013】

整列された先端部を有する並列の導管に加えて、冗長性を提供するために又は製造率を増加させるためにいくつかの代替的な導管配置が選択的に利用される。1つの特定の実施形態において、導管は、印刷されたインク線のマージの機会を減らす千鳥状の先端部によって形成されており（すなわち、導管に沿って押しやられて千鳥状の先端部から排出されたインク／マスク材料によって形成されており）、ラインピッチの削減を容易とする。第2の具体的な実施形態において、導管のいくつかの組は、2つ以上の先端部が各印刷線上に配設されるように直列に配置されており、第1の導管からの第1の排出されたマスク材料が第2の直列に配置された導管からの第2の排出されたマスク材料部分の上面に蒸着されるように直列に配置された導管から同時に印刷するのを可能とする。直列配置はまた、第1の導管が適切に動作しないときに、第1の直列配置された導管の「発生」のために第2の導管の使用を可能とすることによって冗長性を容易とする。さらに他の特定の実施形態において、直列に配置された導管の複数の組は、予想される印刷長よりも長い距離（例えば、各ウェハの長さよりも長い距離）離隔され、マスク材料が各印刷線に沿って複数の導管から印刷されるように直列カラム多重化を使用して印刷が行われ、それにより、印刷速度を高め、印刷経路長を減少させ、インク貯留供給時間を削減する。

【0014】

代替的な実施形態によれば、マスク材料は、露出された多結晶シリコンウェハの後続のエッティングが所望の光捕捉構造パターンを生成するように多結晶ウェハ上に所定のパー

10

20

30

40

50

ンで印刷される。例えば、1つの特定の実施形態において、マスク材料は、ウェハが先端部の下方を通過するのにともない連続的に各導管から排出され、それにより、後続のエッティングがウェハ表面に並列の溝型の光捕捉構造を生成するように連続的な並列のマスク線を含むマスクを製造する。1つの特定の実施形態において、マスク材料は連続的に排出されるとともに、プロセス方向（すなわち、ウェハの移動方向に対して垂直）に対して横方向に印刷ヘッドを往復運動させ、それにより、排出されたマスク材料は、ウェハ表面の関連する部分にわたって波線を形成する。他の特定の実施形態において、連続的な直線状又は波状のマスク材料線は重複し、又は、多結晶シリコンウェハ上に前記多結晶シリコンウェハ上のドット状の露出された平坦な表面部分を画定させ、それにより、ドット状の露出された領域のその後のエッティングは、ピット型の光捕捉構造を生成する。さらに他の具体的な実施形態において、マスク材料は、（例えば、ウェハ表面に対して導管の先端部を間欠的に接触させることにより）一連の重複した「ドット」として印刷され、マスク材料ドットは、直線状若しくは波状線を形成するように又はドット状の露出された平坦な表面部分を画定するように連続的に配置される。間欠的な接触接近を容易とするために、既存の導管製造プロセスに加えて、（ペン先印刷についての特定の問題を提起することがある）機械的摩耗特性を改善するために、各導管（カンチレバー）の先端部に追加のコーティング又は材料が配設される。特に、イリジウムなどの材料は、剥離された微小バネ構造上又は（それをオーバーコートしないためにイリジウムがマスクされた後）電気メッキ工程前のいすれかに（例えば、スパッタリングによって）蒸着されることができる。他の実施形態において、ロジウムなどの材料は、（カンチレバー本体を形成する電解メッキ工程後に）各微小バネの先端部に電気メッキされる。イリジウム及びロジウムは、双方とも、非常に硬くて耐久性のある材料であり、これらのコーティングは、印刷ヘッドの寿命を向上させるように機能する。

【0015】

さらに他の代替的な実施形態によれば、液体マスク材料は、1つの印刷ヘッドによって生成された第1のマスク材料線が他の印刷ヘッドによって生成された第2のマスク材料線間に配設されるように、オフセット導管を有する2つの印刷ヘッドから送達され、それにより、各印刷ヘッドにおける隣接する導管間の間隔は、印刷ヘッドの製造歩留まりを向上させるために大きくされる。

【0016】

本発明のこれらの及び他の特徴、態様及び効果は、以下の説明、添付された特許請求の範囲及び添付図面に関してより良好に理解されるようになる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】図1は、本発明の一般化された実施形態にかかる多結晶シリコンウェハ上にパターニングされた光捕捉構造を生成するためのシステムを示す平面側の斜視図である。

【図2】図2は、図1のシステムを利用したパターニングされた光捕捉構造を生成するための簡略化された方法を示すフロー図である。

【図3】図3は、本発明の実施形態にかかるマスク印刷プロセスを示す平面図である。

【図4】図4は、図3の処理において利用される微小バネ型導管を含む例示的な印刷ヘッドを示す斜視図である。

【図5A】図5Aは、第1の特定の実施形態にかかる微小バネ型導管を示す斜視側面図である。

【図5B】図5Bは、第1の特定の実施形態にかかる微小バネ型導管を示す斜視正面図である。

【図6A】図6Aは、第2の特定の実施形態にかかる微小バネ型導管を示す斜視側面図である。

【図6B】図6Bは、第2の特定の実施形態にかかる微小バネ型導管を示す斜視正面図である。

【図7】図7は、第3の特定の実施形態にかかる微小バネ型導管を示す斜視側面図である

10

20

30

40

50

。

【図7A】図7Aは、他の特定の実施形態にかかる微小バネ型導管によって利用される他の流路の特徴を示す断面図である。

【図7B】図7Bは、他の特定の実施形態にかかる微小バネ型導管によって利用される他の流路の特徴を示す断面図である。

【図7C】図7Cは、他の特定の実施形態にかかる微小バネ型導管によって利用される他の流路の特徴を示す断面図である。

【図8】図8は、本発明の他の実施形態にかかる印刷ヘッドを示す平面側の斜視図である。

【図9A】図9Aは、本発明の関連する具体的な実施形態にしたがって利用される他のマスク材料供給システムを示す簡略化された側断面図である。 10

【図9B】図9Bは、本発明の関連する具体的な実施形態にしたがって利用される他のマスク材料供給システムを示す簡略化された側断面図である。

【図9C】図9Cは、本発明の関連する具体的な実施形態にしたがって利用される他のマスク材料供給システムを示す簡略化された側断面図である。

【図10A】図10Aは、本発明の他の特定の実施形態にしたがって利用される様々な導管の配置を示す簡略化された平面図である。

【図10B】図10Bは、本発明の他の特定の実施形態にしたがって利用される様々な導管の配置を示す簡略化された平面図である。

【図10C】図10Cは、本発明の他の特定の実施形態にしたがって利用される様々な導管の配置を示す簡略化された平面図である。 20

【図10D】図10Dは、本発明の他の特定の実施形態にしたがって利用される様々な導管の配置を示す簡略化された平面図である。

【図11】図11は、本発明の特定の実施形態にしたがって印刷される直線マスク材料パターンを含むウェハを示す簡略化された平面図である。

【図12】図12は、後続のエッチング後における図11のウェハを示す上正面斜視図である。

【図13】図13は、本発明の他の特定の実施形態にしたがって印刷される他の直線マスク材料パターンを含むウェハを示す簡略化された平面図である。

【図14A】図14Aは、本発明の他の特定の実施形態にしたがって印刷される波線状マスク材料パターンを含むウェハを示す簡略化された平面図である。 30

【図14B】図14Bは、本発明の他の特定の実施形態にしたがって印刷される波線状マスク材料パターンを含むウェハを示す簡略化された平面図である。

【図15A】図15Aは、本発明の他の特定の実施形態にしたがって印刷されるドット状マスク材料パターンを含むウェハを示す簡略化された平面図である。

【図15B】図15Bは、本発明の他の特定の実施形態にしたがって印刷されるドット状マスク材料パターンを含むウェハを示す簡略化された平面図である。

【図16】図16は、本発明の他の特定の実施にかかる2つのオフセット・印刷ヘッドを利用したマスク印刷システムを示す簡略化された平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

本発明は、低コストの太陽電池の製造中に多結晶シリコンウェハ上に光捕捉構造を生成するのに使用されるマスクパターンを印刷するための方法の改善に関する。以下の説明は、当業者が特定の用途及びその要件の文脈において提供されるような本発明を作製して使用するのを可能するために提示される。本願明細書では、「上」、「下」、「下向き」、「前」、「後」などの方向を示す用語は、説明のために相対位置を提示することを意図しており、基準の絶対的なフレームを指定することを意図するものではない。さらに、語句「一体に接続された」及び「一体に成形された」は、单一の成形又は機械加工された構造の2つの部分間の接続関係を説明するために本願明細書において使用され、例えば、接着剤、ファスナ、クリップ又は可動継ぎ手を介して接合される2つの別個の構造を示す(50

修飾語「一体に」を有しない)用語「接続された」又は「連結された」とは区別される。望ましい実施形態に対する様々な変更は、当業者にとって明らかであり、本願明細書において定義される一般的な原理は、他の実施形態に適用することができる。したがって、本発明は、図示されて説明された特定の実施形態に限定されることを意図するものではなく、本願明細書に開示された原理及び新規な特徴と一致する最も広い範囲を与えられるべきである。

【0019】

図1は、多結晶シリコン(m c - S i)ウェハ101-1及び101-2の平坦面102上に一体パターニングされた光捕捉構造105を生成するためのシステム100を示す平面斜視図であり、図2は、本発明の一般化された実施形態にかかるシステム100を用いて一体パターニングされた光捕捉構造105を生成するための方法を示すフロー図である。語句「一体パターニングされた光捕捉構造」における用語「一体」は、光捕捉構造105が(例えば、m c - S iウェハ材料の隣接部分をエッティング/除去することにより)ウェハ101-1及び101-2を構成するm c - S i材料の一部によって全体的に形成されており、ウェハ101-1及び101-2上に配設又は形成された光捕捉構造とは語句「一体パターニングされた光捕捉構造」を区別することを示している。図示のために図1における斜線部分によって示されているが、パターニングされた光捕捉構造105は、平面ウェハ表面102の一部をエッティング/除去することによって形成された3次元のm c - S i構造(例えば、ピラミッド又はトラフ状の特徴)を含むことが理解される。

【0020】

図1に示されるように、システム100は、一般に、マスク材料供給源120から液体マスク材料125を受け取る印刷ヘッド・アセンブリ110と、印刷ヘッド・アセンブリ110の下方に多結晶シリコン(m c - S i)ウェハ101-1及び101-2を搬送するための搬送ベルト130と、ウェハ101-1及び101-2上にエッチャント145を塗布するためのエッティングステーション140とを含む。

【0021】

図2の上部を参照すると、一般化された方法は、マスク材料125が導管113-1から113-5のアレイの先端部から排出されるように、印刷ヘッド・アセンブリ110に対して液体マスク材料125を送ることを含む(ロック210)。図1の上部に示されるように、印刷ヘッド・アセンブリ110は、供給源120からのマスク材料125を受ける容器112と、基板111から並列に延在する密集した並列の細長導管113-1から113-5とを有する基板111を含む。各導管113-1から113-5は、液体マスク材料125(望ましくは、ワックス、樹脂、ポリマー、脂肪酸及びエステルなどの有機化合物)が容器112から導管113-1から113-5内に送られる(流れる)ようマスク材料源120と連通している。各細長導管113-1から113-5は、基板111に取り付けられた基部と、基板111から離れて配設された先端部と、容器112から先端部へとマスク材料の流れを導くための毛細管流路を画定する本体部とを含む。例えば、導管113-1は、基部114-1と先端部116-1との間ににおいて本体部に沿って延在する流路115-1を含み、導管113-5は、基部114-5と先端部116-5との間に延在する流路115-5を含む。図1の右上部において破線橢円によって示されるように、液体マスク材料125の送り(流れ)は、排出されたマスク材料部分125-1から125-5が表面102上に密集したマスク特徴126-1から126-5(例えば、連続線又は一連の連続した「ドット」)から構成されたマスク材料パターン126を形成するように、各導管113-1から113-5の毛細管流路に沿った(例えば、導管113-5の流路115-5に沿った)十分な液体マスク材料の流れを引き起こすために、以下に記載される流れ発生方法の1つを利用することを含む。例えば、図1において破線矢印によって示されるように、マスク材料部分125-1は、ウェハ101-1の上面102上にマスク特徴126-1を形成するように導管113-1の先端部116-1から排出される前に、流路115-1に沿って容器112から流れる。それと同時に、マスク材料部分125-5は、流路115-5に沿って容器112から流れ、ウェハ101

10

20

30

40

50

- 1 の上面 102 上にマスク特徴 126 - 5 を形成するように導管 113 - 5 の先端部 116 - 5 から排出される。マスク材料部分 125 - 2、125 - 3 及び 125 - 4 は、同様に、ウェハ 101 - 1 及び 101 - 2 の上面 102 にマスク特徴 126 - 2 から 126 - 4 を形成するように導管 113 - 2、113 - 3 及び 113 - 4 からそれぞれ同時に排出される。

【0022】

図 2 のブロック 220 を参照すると、本方法は、さらに、排出されたマスク材料 125 が各ウェハ上にマスク材料パターン 126 を形成するように、印刷ヘッド・アセンブリ 110 の下方（すなわち、導管アレイの下方）にウェハ 101 - 1 及び 101 - 2 を移動させることを含む。図 1 に示される例示的な実施形態によれば、ウェハ 101 - 1 及び 101 - 2 は、排出されたマスク材料部分 125 - 1 から 125 - 5 がウェハ 101 - 1 及び 101 - 2 の上面 102 上に離隔された線状特徴 126 - 1 から 126 - 5 の形態でマスク材料パターン 126 を生成するように、113 - 1 から 113 - 5 の下方に（すなわち、液体マスク材料が導管 113 - 1 から 113 - 5 の先端部から排出されているときに）連続して高速（例えば、125 mm/s 以上）でコンベア 130 によって移動される。1 つの実施形態において、コンベア 130 は、細長線状の特徴 126 - 1 から 126 - 5 がウェハ 101 - 1 及び 101 - 2 の関連する離隔された表面部分を被覆（マスク）するように、（例えば、図 1 における矢印「X」の方向に）導管 113 - 1 から 113 - 5 の下方に一定速度でウェハ 101 - 1 及び 101 - 2 を支持して移動させるベルト式可動構造である。具体的には、ウェハ 101 - 1 上に示されるように、特徴 126 - 1 から 126 - 5 は、各隣接する特徴対（例えば、特徴 126 - 1 及び 126 - 2）が露出された溝状の表面部分 102 - 2 によって分離された平坦上面 102 の「マスクされた」部分 102 - 1 上に配設される。搬送機構 130 によって提供されるウェハ速度によって印刷ヘッド 110 を介したマスク材料 125 の流れを一致させることにより、本発明は、高いコスト効率で多結晶シリコンウェハ 101 - 1 及び 101 - 2 上へのパターニングされた光捕捉構造 105 の形成を容易とする高速で単一経路のマスク印刷方法を提供する。

【0023】

図 2 におけるブロック 230 によって示されるように、マスク材料パターン 126 を形成した後に、ウェハ 101 - 1 及び 101 - 2 は、エッチャント 145 が一体パターニングされた光捕捉構造 105 を形成するように各ウェハの上面 102 上に塗布されるエッチャングステーション 140 の下方に又はそれを通って移動される。本発明の態様によれば、図 1 におけるウェハ 101 - 2 上の斜線表面によって示されるように、エッチャント 145 は、残り（エッチングされた）mc-Si ウェハ材料（すなわち、マスク特徴 126 - 1 から 126 - 5 によってエッチャント 145 から保護される部分）が一体パターニングされた光捕捉構造 105 を形成するように、各ウェハの露出された平坦表面部分 102 - 2 をエッチングする（すなわち、その部分を除去する）ように塗布される。例示的な実施形態において、エッチャント 145 は、残りの多結晶シリコンウェハ材料が所望のパターニングされた光捕捉構造 105（例えば、トラフ状構造）を形成するように塗布される HF / 硝酸 / 酢酸混合物の 1 つを含む。

【0024】

図 2 の下部におけるブロック 240 を参照すると、マスク材料パターン 126 は、その後、公知の技術を用いて任意に除去される。例えば、マスクは、完全に切り取られ、マスクがエッチング槽から濾過される基板からリフトオフができる。他の方法は、KOH 又は K_2CO_3 を用いた塩基性溶液内でマスク材料をエッチングすることであろう。

【0025】

図 2 の方法は、多結晶ウェハ 101 - 1 及び 101 - 2 においてパターニングされたピラミッド又はトラフ状特徴を生成するためのコスト効率が高い方法を提供している。すなわち、本願明細書に記載された方法で導管 113 - 1 から 113 - 5 を介して液体マスク材料を排出することにより、本発明は、インクジェット、スクリーン印刷及びフレキソ印

10

20

30

40

50

刷アプローチよりもコスト効率が高い方法で太陽電池の形成に関連する最小線幅仕様を満たすマスク印刷方法を容易とする。

【0026】

本発明の態様によれば、各導管113-1から113-5は、基板111に取り付けられた(固定)基部と、基板111から離れて配設された先端部とを有するカンチレバー型構造を含み、各導管の基部から先端部へのマスク材料の流れ(すなわち、流路)を制御する毛細管(流れ)流路を含む/定義する。例えば、図1の右上部に示される破線泡を参照すると、導管113-5は、基部114-5と先端部116-5との間に延在している毛細管流路115-5を取り囲む(画定する)チューブ状構造を含み、マスク材料部分125-5が、基部114に隣接して配設された開口(第1の)端を介して流路115-5に入り、先端部116-5に向かって基部114-5から導管113-5に沿って導かれ(流れ)、マスク特徴126-5を形成するように先端部116-5における開口(第2の)端から排出されるように、毛細管流路115-5が容器112と連通している。導管113-1から113-4は、同様に、それらがマスク特徴126-1から126-4をそれぞれ形成するように、マスク材料部分125-1から125-4を導くように容器112と連通している。導管113-1から113-5の各毛細管流路は、狭いマスク特徴の形成を容易とするミクロンレベルの公称流路幅を有している。例えば、図1の右上部において破線泡で示されるように、毛細管流路115-5は、約10ミクロン以下の公称幅Wを有する線状マスク特徴126-5の形成を容易とする3から10ミクロンの範囲内の公称流路幅(間隙距離G)を有する。カンチレバー型導管113-1から113-5を利用することの利点は、排出されるマスク材料部分125-1から125-5が1から10ミクロンの範囲内の所望の公称幅W及び公称厚Tを有するマスク特徴126-1から126-5を形成するように、十分な液体マスク材料が送達される(例えば、毛細管流路115-1から115-5に沿って流れる)ということであり、それにより、マスク印刷プロセスは、「単一経路」印刷工程において達成される。すなわち、本願明細書に記載された方法で導管113-1から113-5を介して液体マスク材料125を排出することにより、本発明は、太陽電池の形成に関連する最小線幅仕様を双方とも満たすマスク印刷方法を容易とし、マスク特徴の単一経路印刷(すなわち、第2の印刷層を回避するように十分なマスク材料を印刷する)を容易とするように十分なマスク材料を蒸着し、このアプローチをインクジェット、スクリーン印刷及びフレキソ印刷のアプローチよりも優れたものとする。この配置はまた、非常に薄くて密集した導管(例えば、インチあたり1000本以上の導管)の形成を容易とし、それにより、太陽電池の製造に関連する最小線幅要件を満たす高スループットの印刷プロセスを提供する。

【0027】

図3は、mc-Siウェハ101が印刷ヘッド110の下方に(すなわち、図の下向きに)移動され、複数の並列の線状マスク特徴126が上述した方法を用いてウェハ101上に印刷されるマスク印刷プロセスを示す平面図である。この場合、印刷ヘッド110は、それらがウェハ101の幅W_Wに及ぶように、エンド・ツー・エンドで配置された3つのセグメント110-1、110-2及び110-3(すなわち、3つの別個の基板111-1、111-2及び111-3上に形成された)を含み、各セグメント110-1、110-2及び110-3は、ウェハ101の対応する部分上にマスク材料を蒸着するように配置されている(例えば、セグメント110-2は、通常mc-Si PV装置上にみられるバスバー106の間にマスク特徴126を形成するように配設されている)。特定の実施形態において、各セグメントの基板(例えば、基板111-2)は、3インチの公称幅W_Sを有し、ウェハ101は、6インチの幅W_Wを有する。

【0028】

図4は、本発明の実施形態にかかる単一の印刷ヘッド・セグメント110Aを示す斜視図であり、セグメント110Aは、基板111Aに対して片持ち型の配置で固定される湾曲した微小バネ型導管113Aの線形アレイを含む。具体的には、各微小バネ型導管113Aは、基板111Aの平坦面に取り付けられた基(固定端)部114Aと基板111A

10

20

30

40

50

からオフセットされた（すなわち、離れて配設された）先端（自由端）部 116A を有する微小バネ構造を含む。1つの実施形態において、各微小バネ型導管 113A は、本発明の譲受人によって開発された高密度相互接続（HDI）プラットフォーム技術に準拠した独自 Claw Connect（商標）に利用されるものと同様の技術を用いて作製された応力 - 金属微小バネ構造を備える。Claw Connect 技術によれば、各微小バネ型導管 113A は、応力 - 工業用フィルムとして蒸着された後に、その最下部（すなわち、基板 111A の上面に隣接した蒸着材料）がその上側部分（すなわち、基板 111A から最も遠くに位置する水平層）よりも低い内部引張応力を有するバネ材料島（平坦構造）を形成するようにパターニングされる自己湾曲バネ金属を用いて形成され、それにより、その後の剥離プロセス中に基板 111A から離れるように上向きに湾曲させるようにバネ金属島の狭い「指」部を生じさせる内部応力の変化を応力 - 工業用金属フィルムに有させる。応力 - 工業用金属フィルムにおけるこのような内部応力の変化を生成するための方法は、例えば、米国特許第 3,842,189 号明細書（異なる内部応力を有する 2 つの金属の蒸着）及び米国特許第 5,613,861 号明細書（例えば、プロセスパラメータを変化させながらスパッタリングされる単一の金属）に教示されており、双方とも参照することによって本願明細書に組み込まれる。1つの実施形態において、チタン（Ti）剥離材料層が基板 111 上に蒸着され、その後、応力 - 工業用金属フィルムは、剥離材料上にスパッタリング蒸着又はメッキされたモリブデン（Mo）、「モリ - クロム」合金（Mo Cr）、タンゲステン（W）、チタン - タンゲステン合金（Ti : W）、クロム（Cr）、銅（Cu）、ニッケル（Ni）及びニッケル - ジルコニウム合金（NiZr）のうちの 1 つ以上を含む。応力 - 工業用金属フィルムが良好な母材として機能しない場合には、任意のパッシベーション金属層（図示しない；例えば、金（Au）、白金（Pt）、パラジウム（Pd）又はロジウム（Rh））が後続のメッキプロセスのためのシード材料として作用するように応力 - 工業用金属フィルムの上面に蒸着されてもよい。パッシベーション金属層はまた、完成したバネ構造における接触抵抗を改善するために設けられてもよい。代替的な実施形態において、ニッケル（Ni）、銅（Cu）又はニッケル - ジルコニウム（NiZr）フィルムがシード層を有さずに直接メッキができるように形成されてもよい。無電解メッキが使用される場合、電極層の蒸着は、省略することができる。さらに他の代替的な実施形態において、自己湾曲バネ材料は、公知の技術にしたがって作製されるバイモルフ / バイメタル化合物（例えば、金属 1 / 金属 2、シリコン / 金属、シリコン酸化物 / 金属、シリコン / 窒化シリコン）のうちの 1 つ以上とすることができます。各場合において、高導電性材料（例えば、金）の外層は、導電性を高めてマイクロプラスマの生成を容易するために「基」バネ金属材料上に形成される。さらに他の実施形態において、各微小バネ型導管は、その基（アンカー）部が任意の支持構造（例えば、剥離層の保持部又は予め形成された導電性基体構造）を介して下方基板に接続されるように作製される。

【0029】

本発明の微小バネ型導管は、製造プロセスが各微小バネ構造 / 導管の長さに沿って延在する適切な毛細管流路を設けるように変更されるという点で、Claw Connect 技術によって形成される標準的な微小バネ型プローブとは異なり、それにより、微小バネ構造の一部に又は微小バネ構造の一部によって形成された毛細管流路に沿ってマスク材料部分の一部を同時に流れさせることによって各微小バネ型導管からの液体マスク材料の排出が行われる。例示的な毛細管流路特徴は、図 5 - 図 7 を参照しながら以下に説明される。

【0030】

図 5A 及び図 5B は、それぞれ、第 1 の特定の実施形態にかかるスリット状の毛細管流路 115B を含む微小バネ型導管 113B を示す斜視側面図及び正面図である。各微小バネ型導管 113B は、図 3 を参照して上述したように基板（図示なし）に取り付けられた基部 114B 及び基板から離れて配設された先端部 116B を有する関連する並列の湾曲した応力 - 金属微小バネ 113B - 1 及び 113B - 2 を含み、関連する微小バネ 113B - 1 及び 113B - 2 は、スリット状の毛細管流路 115B がそれらの間に画定され

10

20

30

40

50

るよう離隔されている。この場合、液体マスク材料を送ることは、マスク材料がスリット状の毛細管流路 115B に沿って流れて先端部 116B の間から排出されるように、微小バネ 113B-1 及び 113B-2 の基部 114B の間の地点にマスク材料を供給することを含む。3 から 10 ミクロンの範囲内の公称間隙距離 G を有する微小バネ 113B-1 及び 113B-2 を形成することにより、マスク材料は、それが基部 114B と先端部 116B の間を流れるのにともない毛細管作用（力）を介してスリット状の毛細管流路 115B 内に維持される。液体の流れのために使用されることがある密集した微小バネ型導管を生成するための技術は、例えば、共同所有の米国特許第 7,241,420 号明細書（「応力金属を用いた液体抽出、輸送及び分配用の毛細管流路プローブ」）に開示されており、これは、その全体を参照することによって本願明細書に組み込まれる。 10

【0031】

図 6A 及び図 6B は、それぞれ、第 2 の特定の実施形態にかかるチューブ状の微小バネ型導管 113C を示す斜視側面図及び正面図である。この場合、液体マスク材料は、例えば矩形断面を有する壁によって画定された（すなわち、四方を囲まれた）中空のチューブ状の毛細管流路 115C 内を流れ、チューブ状の毛細管流路 115C は、微小バネ型導管 113C の基端 114C と先端 116C の間に延在している。この場合、マスク材料は、必要な流量を生成する圧力で封入された容器（図示しない）から毛細管流路 115C 内に供給される。液体の流れのために使用されることがあるチューブ状の微小バネ型導管を生成するための技術は、例えば、共同所有の米国特許第 8,080,293（「カブセル化を使用した微小加工構造の製造」）に開示されており、これは、その全体を参照することによって本願明細書に組み込まれる。 20

【0032】

図 7 は、第 3 の特定の実施例にかかるパターニングされた微小バネ型導管 113D を示す斜視側面図であり、図 7A、図 7B 及び図 7C は、パターニングされた微小バネ型導管 113D によって利用される他の液体案内流路タイプを示す断面図である。図 5A 及び図 5B を参照しながら上述したスリット状の流路と同様に、各微小バネ型導管 113D は、液体マスク材料の流れが各微小バネ型導管 113D に沿って基部 114D から先端部 116D へと移動するのにともない、毛細管作用によって液体マスク材料の流れを制御するよう機能する関連する液体案内流路構造 115D を含む。しかしながら、2 つの隣接する微小バネを使用して形成される代わりに、導管 113D は、その表面において又はその表面に画定された液体案内流路構造 115D を含むように変更された（パターニングされた）単一の微小バネ構造を含み、液体案内流路構造 115D は、基部 114D と先端部 116D の間の毛細管液体流れを容易とする形状を含む。図 7A は、導管 113D-1 の中央表面領域から上方に延在するリブによって形成された硬質液体案内流路構造 115D-1 を有する第 1 の微小バネ型導管 113D-1 を示している。図 7B は、導管 113D-2 の全長に沿って上面へと延在する正方形又は矩形のトラフとして形成された谷又は溝型液体案内流路構造 115D-2 を有する第 2 の微小バネ型導管 113D-2 を示している。図 7C は、導管 113D-3 の全長に沿って上面へと延在する半円形のトラフ（谷）として形成された他の谷 / 溝型流路構造 115D-3 を有する第 3 の微小バネ型導管 113D-3 を示している。図 7A - 図 7C に示された液体案内流路構造の利点は、それらが既存の *Law Connect* 技術を用いて作製され、したがって、長い動作寿命を有する堅牢な印刷ヘッドを提供すると考えられるということである（すなわち、150000 個以上の 6 インチ太陽電池を製造するのに適している）。 30

【0033】

本発明は、望ましくは、微小バネ型導管を使用して実装されるが、他の技術もまた利用されることができる。例えば、図 8 は、本発明の代替的な実施形態にしたがって形成された直線状の並列のカンチレバー部 113E を含む印刷ヘッド・セグメント 110E を示す平面側斜視図である。1 つの特定の実施形態において、印刷ヘッド・セグメント 110E は、UV レーザ微小加工を用いてポリイミドシート 111E をエッキングすることによって形成される。各カンチレバー部 113E は、ポリイミドシート（基板本体）111E に 40

取り付けられた基部 114E を有し、シート 111E から離れて端（先端）部 116E まで延在している。適切な流路は、排出されるマスク材料部分が同時にスリット状の毛細管流路 115E に沿って流れるように、ポリイミドシート 111E 上に形成された容器 112E から、前記複数の直線状カンチレバー部 113E の隣接する対の間に画定されたスリット状の毛細管流路 115E まで液体マスク材料を供給する。薄い（25から50μm 厚）ポリイミドは非常に適合しているため、印刷ヘッド・セグメント 110E が（絵筆と酷似するように）破壊又は失敗することなく、対象とするmc-Siウェハ全体（図示しない）を「スクリーブ」することができることが想定される。すなわち、対象とするmc-Siウェハと接触したときに脆弱で破壊することができる微細加工された直線状のシリコン・カンチレバーアレイとは異なり、薄いポリイミドカンチレバー部 113E は、（上述した）応力金属微細バネカンチレバーに関連付けられたものと同様の方法で撓むことができる。また、ポリイミドは、最新のレーザ微小加工の技術を使用して容易にパターニングされ、必要とされる小さな特徴は、例えば265nmのUVレーザシステムによって得られることができる。10

【0034】

上述した様々な導管への液体マスク材料の送りは、そのいくつかが図9Aから図9Cを参照しながら以下に説明されるいくつかの可能な機構を使用して達成される。

【0035】

図9Aは、液体マスク材料 125 が印刷ヘッド 110F の導管 113F（1つが示されている）へと1つ以上のインクジェット印刷ヘッド 120F を介して正確な量（滴）で送達される第1の液体マスク材料供給システムを示す簡略化された側断面図である。インクジェット印刷ヘッド 120F の出口ノズルは、液体マスク材料 125 が各導管 113F の基部 114F に供給されるように、個々のカンチレバー型導管 113F にわたって配置される。印刷ヘッド 110F はまた、液体マスク材料 125 が毛細管流路 115F に沿って基部 114F から先端部 116F へと流れるように配置され、それにより、本願明細書に記載された方法で対象とするmc-Siウェハ（図示しない）へと転送される。このアプローチの利点は、インクジェット送達システムが非常に正確な量の液体材料を送達するための周知の機構であるということである。20

【0036】

図9Bは、液体マスク材料 125 がチューブ状の導管 113G（すなわち、図6A及び図6Bを参照しながら上述したものと同様）内へと1つ以上の加圧されたマニホールド 120G を介して送達される第2の液体マスク材料供給システムを示す簡略化された側断面図である。加圧された液体マスク材料 125-P は、ポンプ又は他の加圧供給源からマニホールド 120G 内部に画定された容器 112G へと送達され、容器 112G は、各チューブ状の導管 113G の基部 114G に隣接して配置された毛細管流路の第1の端部と連通しており、それにより、液体マスク材料 125 は、チューブ状の導管 113G に沿って押しやられ、対象とするmc-Siウェハ上に先端部 116F における出口から排出される。この第2のアプローチの利点は、加圧されたマニホールドが、一般に、インクジェット送達システムよりも実装するのにより複雑でなく安価であるということである。30

【0037】

図9Cは、印刷ヘッド 110H に供給される液体マスク材料 125 の粘度勾配が、それが印刷ヘッド基板 111H を介して容器 112H から導管 113H へと供給されるのにともない、液体マスク材料 125 を加熱することによって制御され、それにより、温度勾配 T が、導管 113H の基部 114H において毛細管流路 115H 内の液体マスク材料 125 を測定するのに使用される所望の粘度勾配を形成する印刷ヘッド 110H において生成される第3の液体マスク材料供給システムを示す簡略化された側断面図である。温度は、セグメント化されたヒータを介して又は印刷ヘッドのマニホールド 120H の背面からの熱勾配を形成することによってのいずれかで制御され、それにより、比較的高い粘度及び比較的低温を有する液体マスク材料 125 は、基板 111H に向かって容器 112H から下向きに流れるのにともない加熱される。温度勾配は、液体マスク材料 125 が粘度の低4050

下の双方を受けるように設定され、それにより、沿って流れて導管 113H の先端 116H から排出されるように液体マスク材料 125 を供給する制御された流量を生成する。この第 3 のアプローチの利点は、加熱されたマニホールドが、一般に、上述した他の 2 つの送達システムよりも実装するのにより複雑でなく安価であるということである。

【0038】

整列している先端部を有する並列の導管の使用に加えて、図 10A - 図 10C を参照しながら以下に説明されるいくつかの代替的な導管配置が、冗長性を与えるために又は生産率を増加させるために選択的に利用される。

【0039】

図 10A は、導管の隣接する各対間に大きな空間を設けることにより、印刷されたマスク材料特徴（インク線）のマージの機会を減少させ且つより高い歩留まりを容易するために、千鳥状に配設されている並列の導管 113J-1 及び 113J-2 の 2 つの組を有する印刷ヘッド 110J を示している。第 1 の組 113J-1 は、上述したように（導管が基板とウェハとの間にあることを示すように破線で示される）印刷ヘッド基板 111J 上に形成されて固定されたクロスプロセス（Y 軸）方向に整列され、対象とする m c - S i ウェハ上 101J 上にマスク材料特徴 126J-11、126J-12 及び 126J-13 をそれぞれ生成するために上述した方法を利用する並列の導管 113J-11、113J-12 及び 113J-13 を含む。第 2 の組 113J-2 は、同様にクロスプロセス（Y 軸）方向に整列されるが、導管 113J-21、113J-22 及び 113J-23 がオフセット距離 0 だけ第 1 の組 113J-1 から処理 / 移動（X 軸）方向にオフセットされた並列の導管 113J-21、113J-22 及び 113J-23 を含む。さらに、導管 113J-21、113J-22 及び 113J-23 は、第 1 の組 113J-1 によって生成された第 1 のマスク特徴 126J-11、126J-12 及び 126J-13 が第 2 の組 113J-2 の対応する導管 113J-21、113J-22 及び 113J-23 によって生成された第 2 のマスク特徴 126J-21、126J-22 及び 126J-23 の隣接する対間に配設される（例えば、マスク特徴 126J-12 は、マスク特徴 126J-21 及び 126J-22 の間に配設される）ように、導管 113J-11、113J-12 及び 113J-13 に対してクロスプロセス（Y 軸）方向にオフセットされている（「千鳥状にされている」）。この「千鳥状」構成は、隣接する導管を分離する空間を大きくすることによって印刷ヘッドの歩留まりを高めながら、密集したマスク材料特徴の印刷を容易とする。

【0040】

図 10B は、下流の導管（例えば、第 3 の導管組 113K-3 内の導管）から排出されたマスク材料特徴が整列される（すなわち、対応する上流側の導管（例えば、第 1 の導管組 113K-1 又は第 2 の導管組 113K-2 内の導管）から排出されたマスク材料特徴の上面に配設されることができる）ように、重複して配設された（直列配置された）パターンの 3 つの組の並列の導管 113K-1、113K-2 及び 113K-3 を有する印刷ヘッド 110K を示している。第 1 の組 113K-1 は、上述した方法でクロスプロセス（Y 軸）方向に整列されて（破線で示される）印刷ヘッド基板 111K に固定された並列の導管 113K-11、113K-12、113K-13、113K-14 及び 113K-15 を含む。第 2 の組 113K-2 は、同様にクロスプロセス（Y 軸）方向に整列されて印刷ヘッド基板 111K に固定されているが、第 1 の組 113K-1 から下流に配設された並列の導管 113K-21、113K-22、113K-23、113K-24 及び 113K-25 を含み、第 3 の組 113K-3 は、同様に整列されて第 2 の組 113K-2 から下流に配設された並列の導管 113K-31、113K-32、113K-33、113K-34 及び 113K-35 を含む。各組からの関連する導管は、プロセス（X 軸）方向に直列整列されている（例えば、導管 113K-11、113K-21、113K-31 が Y 軸方向に整列され、導管 113K-12、113K-22、113K-32 が Y 軸方向に整列されるなど）。

【0041】

10

20

30

40

50

印刷ヘッド 110K の直列配置された導管パターンは、第 1 の導管からの第 1 の排出されたマスク材料部分が第 2 の直列配置された導管からの第 2 の排出されたマスク材料部分の上面に蒸着されるように同時に印刷するのを容易とする。例えば、図 10B の右側に示されるように、マスク特徴 126K-1 は、導管 113K-11 から排出されたマスク材料の上面に順次印刷される導管 113K-21 から排出されたマスク材料の上面に印刷される導管 113K-31 から排出されたマスク材料を有する 3 層のマスク材料によって形成される。

【0042】

印刷ヘッド 110K の直列配置された導管パターンはまた、欠陥導管の「発生」のために 1 つ以上の導管の使用を可能とすることによって冗長性を容易とする。例えば、マスク特徴 126K-2 は、導管 113K-22 から排出されたマスク材料の上面に印刷される導管 113K-32 から排出されたマスク材料を有する 2 層のマスク材料によって形成され、導管 113K-12 は、導管 113K-32 又は 113K-22 の 1 つが適切に動作しない場合に予備に保持される。同様に、マスク特徴 126K-3、126K-4 及び 126K-5 は、導管 113K-33 (導管 113K-23 及び 113K-13 は、予備に保持される) から排出されたマスク材料を含むマスク特徴 126K-3 と、導管 113K-24 (導管 113K-34 及び 113K-14 は、予備に保持される) から排出されたマスク材料を含むマスク特徴 126K-4 と、導管 113K-15 (導管 113K-35 及び 113K-25 は、予備に保持される) から排出されたマスク材料を含むマスク特徴 126K-5 とを有する単一層のマスク材料によってそれぞれ形成される。

【0043】

図 10C は、マスク印刷プロセス前に m c - S i ウェハ 101L 上に形成された介在グリッド線 127L に備えられた間隙によって分離された 2 組の離隔された導管を有する印刷ヘッド 110L を示している。具体的には、導管 113L-1、113L-2 及び 113L-3 は、グリッド線 127L の第 1 の側にマスク特徴 126L-1、126L-2 及び 126L-3 を形成するようにピッチ P1 で配置されて離隔された第 1 の導管組を形成し、導管 113L-4、113L-5 及び 113L-6 は、グリッド線 127L の第 2 の側にマスク特徴 126L-4、126L-5 及び 126L-6 を形成するように配置されて離隔された第 2 の導管組を形成し、ピッチ P1 は、グリッド線 127L の幅 P2 よりも小さい。

【0044】

図 10D は、予想される印刷長よりも長い距離 (例えば、ウェハ 101M-1、101M-2 及び 101M-3 のそれぞれの長さよりも長い距離) 離隔された複数組の直列配置された導管を含む他の印刷ヘッド 110M を示しており、マスク材料が各印刷線に沿って複数の導管から印刷されるように、印刷は直列カラム多重化を使用して行われ、それにより、印刷速度を高め (すなわち、ウェハ 101M-1、101M-2 及び 101M-3 上の同時マスク印刷を可能とすることにより)、印刷経路長を減少させ、インク貯留供給時間を削減する。すなわち、第 1 の組 113M-1 (例えば、導管 113M-11) は、ウェハ 101M-1 上にマスク特徴 (例えば、特徴 126M-11) を印刷するとともに、第 2 の組 113M-2 (例えば、導管 113M-21) は、ウェハ 101M-2 上にマスク特徴 (例えば、特徴 126M-21) を印刷し、第 3 の組 113M-3 (例えば、導管 113M-31) は、ウェハ 101M-3 上にマスク特徴 (例えば、特徴 126M-31) を印刷する。

【0045】

さらなる代替的な実施形態によれば、印刷プロセスは、マスク材料が m c - S i ウェハ 上に所定のパターンで印刷されるように行われ、所定のパターンの開口を介した多結晶シリコン材料の後続のエッティングは、所望の光捕捉構造パターンを生成する。ソーラーウェハによる光の吸収を増加させる多くの可能なエッティングパターンがある。周知のエッティングパターンは、溝及びいわゆるハニカムテクスチャを含む。例示的な望ましい方法は、本発明によってこれらの構造を実現する。一般に、エッティングされた特徴のピッチに比べて

10

20

30

40

50

小さいマスクされていない領域を有することが望ましい。周知のように、これは、その深さが光捕捉のために望ましいそれらの幅に匹敵するエッティングされた特徴を生成する。

【0046】

図11は、本発明の第1の具体的な実施形態にしたがって印刷された直線状のマスク材料パターンを含むウェハ101Nを示す簡略化された平面図である。すなわち、マスク126Nは、印刷ヘッドの導管のそれぞれからマスク材料を連続的に排出することによって形成される一方で、排出されたマスク材料部分がウェハ101Nの第1の表面部102N-1上に連続した細長い並列のマスク材料線126Nを形成するように单一経路で対象とするウェハ全体を走査し、マスク材料線126Nの各隣接対は、細長い露出された平坦な表面部102N-2によって分離される。ウェハ101Nの後続のエッティングは、細長い露出された平坦な表面部102N-2にのみアクセスされる適切なエッチャントを塗布することを含む（すなわち、マスク部126Nは、第1の表面部102N-1を保護する）。図12は、後続のエッティングプロセスが上面102Nに細長い溝型の光捕捉構造105N-1を形成した後のウェハ101Nを示す斜視図であり、溝型の光捕捉構造105N-1は、対応する細長い隆起された尾根状の構造105N-12によって分離された細長いV字状の溝105N-11を含む。

【0047】

再度図12を参照すると、ウェハ101Nは、得られた太陽電池が変更された光捕捉構造にしたがって多種多様な散乱角を捕捉するのを可能とするウェハの両側に垂直な直線状の溝を有するように処理される。この垂直溝パターンを生成するために、溝型の光捕捉構造105N-1が第1のプロセス（X軸）方向において上面102Nに形成された後、ウェハ101Nは裏返されて90°回転され、そして、下面103Nにおいて第2のマスク／エッティングプロセスが行われる（すなわち、ウェハ101NがY軸の矢印に対応する第2のプロセス方向に処理されるように）。光捕捉構造105N-1と同様に、得られた第2の細長い溝型の光捕捉構造105N-2は、尾根状構造105N-22によって分離された溝102N-21によって形成されるが、光捕捉構造105N-1に対して垂直に整列される。対象とするウェハの両側に垂直な溝を設けることは、捕捉された光子の数を増加させることによって太陽電池の効率を高める多種多様な散乱角を達成する。

【0048】

図14Aは、ウェハ101Pが他の代替的な実施形態にかかる並列の波状マスク特徴126Pによって形成される「波線」のマスクパターンを有するように処理される簡略化された図である。波状マスク特徴126Pは、上述した印刷ヘッド及びウェハ搬送機構を使用して形成され、マスク材料は、導管（印刷ヘッド）又はウェハのいずれかがクロスプロセス方向（すなわち、ウェハの移動方向に対して横／縦方向）に往復運動（前後移動）しているときに連続的に排出され、それにより、排出されたマスク材料は、ウェハ表面102Pの波線状露光領域102P-2によって分離された関連する波線状にマスクされた部分102P-1にわたって波線126Pの形態で蒸着される。波線状露光領域102P-2のその後のエッティングは、線形1Dトラフの設計を改善する対応する光捕捉パターンを生成する。

【0049】

他の特定の実施形態において、連続的な直線状又は波状のマスク材料線は、対象とするm c - S i ウェハのドット状の露出された平坦な表面部分を画定するように重複され、それにより、ドット状の露出された領域の後続のエッティングは、「ハニカム」パターンにおけるピット型の光捕捉構造を生成する。例えば、図13は、複数の印刷経路で印刷され（例えば、上述したような特徴126O-11を印刷した後に、対象とするウェハを120°回転させ、そして、特徴126O-13を印刷した後に、対象とするウェハを120°回転させ、そして、特徴126O-13を印刷する）、それにより、三角対称性を有する露出された「孔」領域102O-2のパターンを形成する3組の直線状の並列の連続マスク材料線特徴126O-11、126O-12及び126O-13によって形成されたマスクパターン126Oを図示している。露出された「孔」領域102O-2がその後に工

10

20

30

40

50

ツチングされたとき、それらがウェハ表面内の複数の方向に光を散乱させるため溝構造よりも優れていると考えられるハニカムパターンを有する光捕捉特徴が形成される。同様に、図14Bに示されるように、露出された「孔」領域102Q-2の三角格子を有するマスク材料パターンが、図14Aを参照して説明されたものと同様に密集した「波状」マスク材料特徴126Qを印刷することによって達成される。三角格子が正三角形の場合には、これは、エッチングされたときにハニカムテクスチャをもたらす。そうでない場合には、歪んだハニカムテクスチャが得られる。

【0050】

さらに他の具体的な実施形態において、マスク材料は、対象とするウェハ上に一連の重複した円形ドット状のマスク材料構造（特徴）を形成する個々の液滴として蒸着される。そのようなドット状のマスク特徴は、選択された液体マスク材料「インク」などのプロセスパラメータの特定の組み合わせを有することが望ましい場合がある。図15Aは、m s - S i ウェハ102Rのマスクされた部分102R-1を被覆するドット状のマスク材料構造と重複した並列行として形成された直線状のマスク特徴126Rを示しており（例えば、直線状のマスク特徴126R-5は、ドット特徴126R-51、126R-52及び126R-53によって部分的に形成される）、ドットの行間に露出された表面領域102R-2が設けられており、溝型の光捕捉構造を生成するためにその後にエッチングされる。図15Bは、その後にエッチングされたときに3重対称性を有する複雑な構造を製造する、略三角形に露出された「ドット」を画定するドット状のマスク材料構造125Sのオフセット行によってm c - S i ウェハ101S上に形成された第2のマスクパターンを示している。図15A及び図15Bを参照して上述したものなどのドット状のマスク材料構造は、ペン先をウェハ表面と接触させた後に接触解除するのを繰り返すとともに、接触間において印刷ヘッドを平行移動する。上記と同様に、ペン先の間隔よりも細かい間隔を有するパターンは、複数のオフセット印刷ヘッドによって又はその間の印刷ヘッドの平行移動をともなう複数のドットの配置のいずれかによって達成することができる。

【0051】

既存のプロセスに加えて、（ペン先印刷についての特定の問題を提起することがある）機械的摩耗特性を改善するために、追加のコーティング又は材料がカンチレバーの先端領域に蒸着されることができることが想定される。特に、イリジウムなどの材料は、剥離されたカンチレバー構造上又は（それをオーバーコートしないためにマスクされた後）電気メッキ工程前のいずれかに（スパッタリングによって）蒸着されることができる。また、ロジウムなどの材料は、（カンチレバー「本体」を形成する最初の電解メッキ工程後に）先端領域に電気メッキができる。イリジウム及びロジウムは、双方とも、非常に硬くて耐久性のある材料であり、これらのコーティングは、印刷ヘッドの寿命を向上させることができる。

【0052】

図16は、本発明のさらに他の特定の実施形態にかかる印刷ヘッド110U-1及び110U-2を利用したマスク印刷システム100Uを示す簡略化された平面図である。印刷システム100Uは、印刷ヘッド110U-1及び110U-2のそれぞれにおける先の実施形態と同様に、導管113U-1及び113U-2を含み、対象とするウェハ101Uは、導管113U-1及び113U-2の先端部から排出された（印刷された）液体マスク材料が上述したものと同様にして対象とするウェハ101U上に線状特徴126U-1及び126U-2を形成するように、印刷ヘッド110U-1及び110U-2に対して移動される。印刷システム100Uは、導管113U-1及び113U-2がクロスプロセス（X軸）方向にオフセットされるように印刷ヘッド110U-1及び110U-2が固定相対位置に維持され、それにより、印刷ヘッド101U-1によって生成された（第1の）マスク材料線126U-1は、印刷ヘッド101U-2によって生成された（第2の）マスク材料線126U-2との間に配設される点で、先の実施形態とは異なる。この配置は、印刷ヘッドの製造歩留まりを向上させるために、各印刷ヘッド110U-1及び110U-2において隣接する導管113U-1及び113U-2の間の間隔を大き

10

20

30

40

50

くするのを可能とする。

【0053】

本発明は、特定の実施形態について説明されたが、本発明の独創性のある特徴が他の実施形態にも同様に適用可能であり、それらの全てが本発明の範囲内に入ることが意図されていることは、当業者にとって明らかである。

【図1】

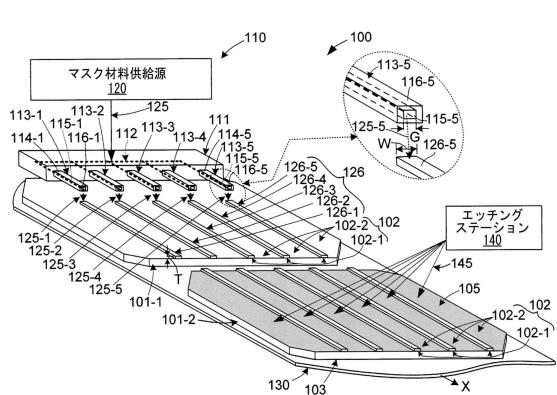


図1

【図2】

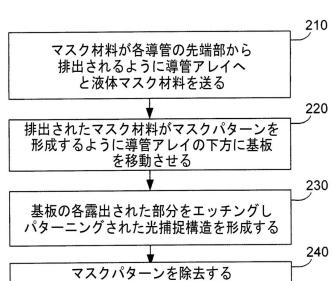


図2

【図3】

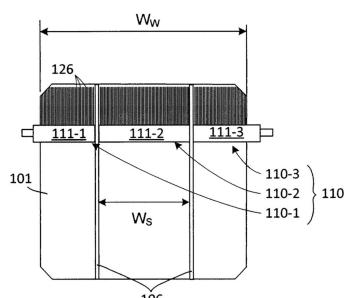


図3

【図4】

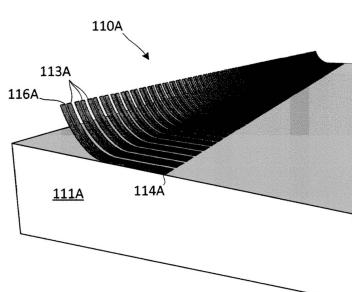


図4

【図5A】

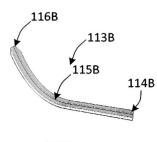


図5A

【図5B】

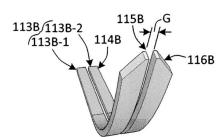


図5B

【図6A】

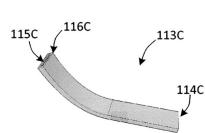


図6A

【図6B】

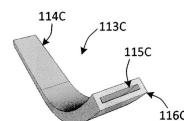


図6B

【図7】

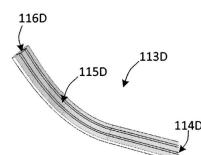


図7

【図7A】



図7A

【図7B】



図7B

【図7C】

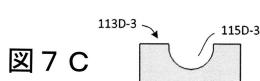


図7C

【図9B】

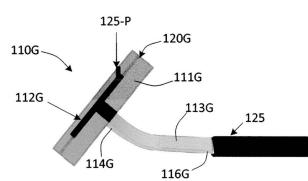


図9B

【図9C】

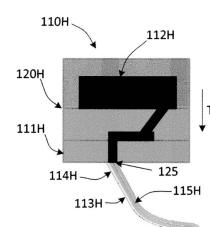


図9C

【図9A】

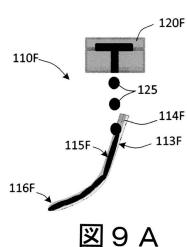


図9A

【図 10 A】

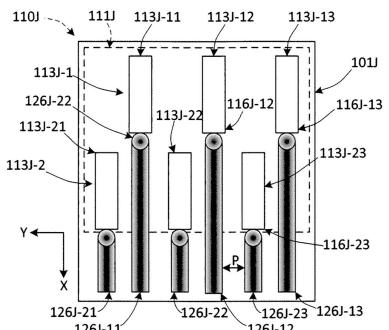


図 10 A

【図 10 C】

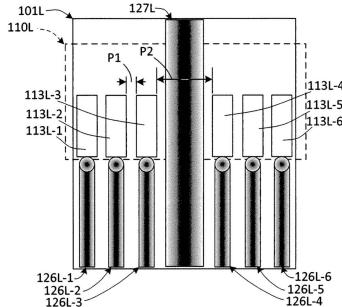


図 10 C

【図 10 D】

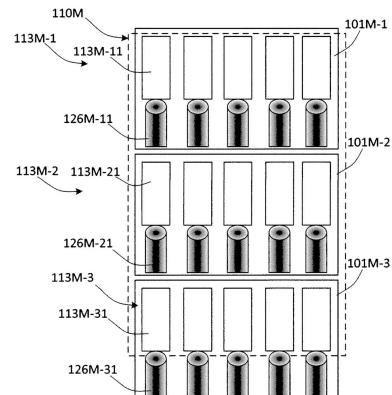


図 10 D

【図 10 B】

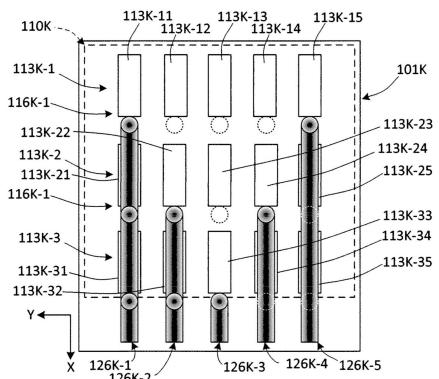


図 10 B

【図 11】

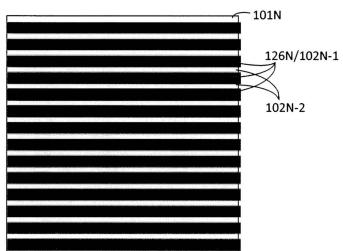


図 11

【図 13】

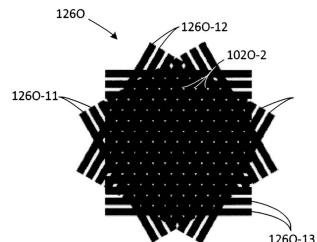


図 13

【図 12】

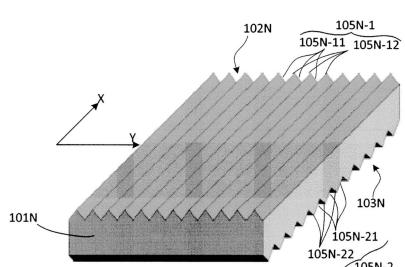


図 12

【図 14 A】

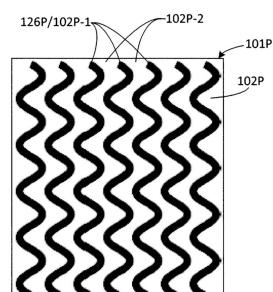


図 14 A

【図 1 4 B】

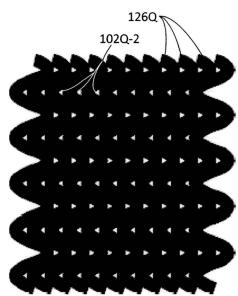


図 1 4 B

【図 1 5 B】

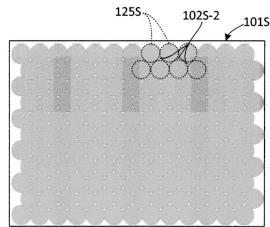


図 1 5 B

【図 1 5 A】

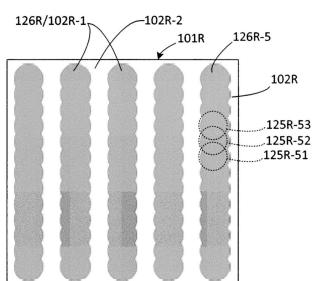


図 1 5 A

【図 1 6】

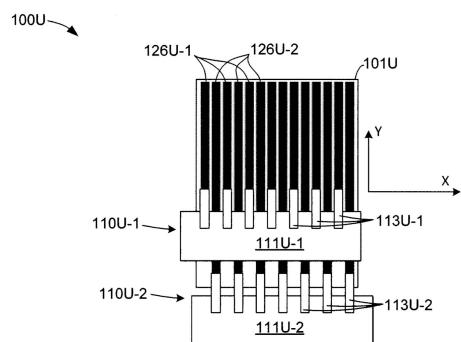


図 1 6

フロントページの続き

(72)発明者 スコット・ジェイ・エイチ・リム
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94306 パロ・アルト グラント・アベニュー 455
ナンバー1

(72)発明者 ダーク・デ・ブルカー
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95128 サンノゼ ポンペイ・ドライブ 1496

(72)発明者 ショーン・ガーナー
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94103 サンフランシスコ クレメンティーナ・ストリート 481 アパートメントエフ

審査官 佐竹 政彦

(56)参考文献 特開2004-134494(JP, A)
特表平09-500587(JP, A)
特開昭59-095158(JP, A)
特開2003-224285(JP, A)
特開2004-106172(JP, A)
米国特許出願公開第2010/0130014(US, A1)
特開2004-158561(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L31/02-31/078
H01L31/18-31/20
H01L51/42-51/48
H02S10/00-10/40
H02S30/00-99/00
H01L21/308
B41J2/01-2/21
B05C5/00-5/04
B05D1/00-1/42
B05D5/00-7/26