

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5519285号
(P5519285)

(45) 発行日 平成26年6月11日 (2014. 6. 11)

(24) 登録日 平成26年4月11日 (2014. 4. 11)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 31/06 (2012.01)

H O 1 L 31/04

A

H O 1 L 31/04

B

請求項の数 8 (全 56 頁)

(21) 出願番号	特願2009-532513 (P2009-532513)	(73) 特許権者	509101804
(86) (22) 出願日	平成19年10月7日 (2007. 10. 7)		ソレクセル、インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2010-522971 (P2010-522971A)		アメリカ合衆国 9 5 0 3 5 - 7 4 0 5
(43) 公表日	平成22年7月8日 (2010. 7. 8)		カリフォルニア、ミルピータス、マッカー
(86) 国際出願番号	PCT/US2007/080659		シー プールバード 1 5 3 0
(87) 国際公開番号	W02008/057687	(74) 代理人	110001210
(87) 国際公開日	平成20年5月15日 (2008. 5. 15)		特許業務法人 Y K I 国際特許事務所
審査請求日	平成22年10月5日 (2010. 10. 5)	(74) 代理人	110000855
(31) 優先権主張番号	60/828, 678		特許業務法人浅村特許事務所
(32) 優先日	平成18年10月9日 (2006. 10. 9)	(74) 代理人	100066692
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 浅村 皓
(31) 優先権主張番号	60/886, 303	(74) 代理人	100072040
(32) 優先日	平成19年1月24日 (2007. 1. 24)		弁理士 浅村 肇
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100123180
			弁理士 白江 克則

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 角錐形状三次元薄膜太陽電池セル

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

角錐形状の三次元単結晶シリコン薄膜太陽電池セルであって、

面積が少なくとも 1 2 5 m m × 1 2 5 m m 以上であって、表面構造の一連の特徴を有する三次元単結晶シリコン薄膜の太陽電池セル基板を有し、

前記太陽電池セル基板上の所定の位置における前記特徴は、前記太陽電池セル基板の受光面上にある複数の不連続の独立した反転角錐形状の空洞を含み、前記空洞は、傾斜側壁と、前記太陽電池セル基板の前記受光面に実質的に垂直な中心軸とを含み、

前記傾斜側壁は、さらに前記空洞間に点在し、前記空洞に隣接する相互接続され連続する複数のリッジを有し、前記リッジは自立支持された基板として前記太陽電池セル基板を構成するように結合され、さらに幾何学的アスペクト比と寸法のセットと対応付けられ、

第 1 ドーパントを含み、前記太陽電池セル基板の実質的な一部を構成するドーブされた選択的なベース領域と、

前記第 1 ドーパントとは逆の極性である第 2 ドーパントを含み、前記太陽電池セル基板の表面の少なくとも一部に形成され、前記ベース領域と接合構造を形成するドーブされた選択的なエミッタ領域と、

前記ベース領域の少なくとも一部と接触するベース金属化処理領域と、

前記エミッタ領域の少なくとも一部と接触するエミッタ金属化処理領域と、

を含む角錐形状の三次元単結晶シリコン薄膜太陽電池セル。

【請求項 2】

10

20

前記ベース領域は、自己整合ベース領域を含み、
前記エミッタ領域は、自己整合エミッタ領域を含み、
さらに前記ベース金属化処理領域及び前記エミッタ金属化処理領域は、自己整合金属化処理領域を含む、

請求項 1 に記載された角錐形状の三次元単結晶シリコン薄膜太陽電池セル。

【請求項 3】

前記空洞は、多角形基底を有する複数の不連続の独立した反転角錐形状の空洞を含む、
請求項 1 に記載された角錐形状の三次元単結晶シリコン薄膜太陽電池セル。

【請求項 4】

前記空洞は、四角形基底を有する複数の不連続の独立した反転角錐形状の空洞を含む、
請求項 3 に記載された角錐形状の三次元単結晶シリコン薄膜太陽電池セル。

10

【請求項 5】

後部ミラーをさらに含む、請求項 1 に記載された角錐形状の三次元単結晶シリコン薄膜太陽電池セル。

【請求項 6】

前記後部ミラーは、一体化された後部ミラーを含む、請求項 5 に記載された角錐形状の三次元単結晶シリコン薄膜太陽電池セル。

【請求項 7】

前記空洞は、100～400ミクロンの範囲の角錐形状の空洞の高さを有する、請求項 1 に記載された角錐形状の三次元単結晶シリコン薄膜太陽電池セル。

20

【請求項 8】

前記幾何学的アスペクト比および寸法のセットは、前記三次元単結晶シリコン薄膜太陽電池セル基板の前記受光面上の約0.5～5ミクロンの範囲のリッジ幅を含む、請求項 1 に記載された角錐形状の三次元単結晶シリコン薄膜太陽電池セル。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本出願は、本明細書に参考として援用する、2006年10月9日に出願された特許仮出願第60/828678号及び2007年1月24日に出願された特許仮出願第60/886303号の利益を主張する。

30

【0002】

本開示は、広い意味で言えば光起電力技術及び太陽電池セルの分野に関し、さらに詳細には三次元(3-D)薄膜太陽電池セル(TFSC)及びその製造方法に係るものである。さらに詳細には、現在開示される主題は、角錐形状の三次元薄膜太陽電池セル及びその製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0003】

再生可能、高効率、かつコスト効率の良いエネルギー源は、世界的規模で必要性が増大しつつある。ますます高価な、信頼できない、及び環境的に危険な化石燃料並びに電気を含むエネルギーに対する世界的規模の必要性の増大により、代替の、確実な、清浄な、広く利用できる、コスト効率の良い、環境に優しい、及び再生可能なエネルギー形態が必要になっている。太陽電池セルを使用する太陽光起電力(PV)電気発生は、住宅用、商業用、産業用、及び集中公共施設への適用の要求を満たすために特に適している。太陽エネルギーを魅力的にするかぎとなる属性は、豊富であり、世界的であり、使用場所で太陽光が供給できること、環境への優しさ、拡張性(ミリワットからメガワットまで)、確実であること、使用場所での太陽光発電電気の発生、及び優れた分散エネルギー経済である。太陽は、全世界の年間エネルギー消費よりも多いエネルギーを1時間で地球に提供する。地球表面の多くはかなりの量の年間日照時間を受け、それは清浄で確実な電気発生のために効果的に利用される可能性がある。この市場をけん引するためのかぎとなる駆動要因は

40

50

、環境に優しい技術への社会認識の高まりである。しかしながら、比較的太陽電池セル効率が低いこと（例えば、大部分の薄膜技術に対しては12%未満、及び大部分の結晶シリコン・太陽電池セル技術に対しては約12%～18%）、原材料（例えば、結晶シリコン・ウエハ・太陽電池セルのためのシリコン）及び製造プロセスのコストが高いこと、コスト効率の良い及び効率的な蓄電が制限されていること、並びに太陽電池セルの急増を支援するための社会基盤の全体的な欠如が原因で、今までこのエネルギー解決策の使用が制限されていた（現在は、ソーラー光起電力による電気発生は、全世界の全電気発生のおよそ0.1%未満を占める）。

【0004】

商業用途に対しては、最終使用者へのエネルギーのコスト（例えば、電気に対してはセント/kWh単位）は、十分に低く、従来の電気発生源を使用する公共施設配電網からのそれと同程度に又はそれよりもさらに安価にすべきである。現在は、全世界の電気発生のおよそ0.1%未満を占める太陽光起電力電気発生は、もしそれが従来の配電網電気と同等のコストを達成するならば、大幅に拡大される可能性がある。太陽電池セル及びモジュールのコスト（通常は、\$/W_pにより表される）が低減されるにつれて、配電網連結ソーラー光起電力応用は、加速的に受け入れられるようになり、電気発生のかんりの急増に対する魅力的な選択肢となる。

【0005】

価格志向型の太陽電池セル市場では、2つの主要な技術的選択肢が存在する。一方では、結晶シリコン（c-Si）ウエハは、太陽電池セル形成のための基礎としての機能を果たす可能性がある（現在はソーラーPV市場の90%よりも多くを占める）。他方では、シリコン及び他の半導体吸収体材料（非晶質シリコン、CdTe、又はCIGSなど）を使用する薄膜（非晶質及び多結晶質）技術は、結晶シリコン・ウエハを基礎にした太陽電池セルと比較してかなりのコスト面での優位性を有する可能性がある。これらの異なる手法は、価格-性能尺度の両端にある。結晶シリコン・ウエハは、性能がより高いが、コストがより高い（原料の単結晶及び多結晶シリコン・ウエハのコストが比較的高いことが原因）。薄膜技術は、製造コストはより低いが通常は性能より低い（即ち、より低い効率）可能性がある。どちらの手法でも、ワット当たりの価格は通常、セル効率が上昇するにつれて増加する（材料及び/又は製造コストがより高いことが原因）。

【0006】

過去10年間の40%を超える急速な年間成長速度並びに半導体マイクロエレクトロニクス及び太陽光発電産業の両方によるシリコン材料に対する同時需要が原因で、太陽光発電産業はポリシリコン原料の供給不足を経験してきた。ポリシリコン原料不足により、特に過去数年の間、太陽光発電産業の成長が大幅に抑制されてきた。実際に、太陽電池セル産業は現在、高純度ポリシリコン原料の全世界生産の半分以上を消費する。ここ数年間で、ポリシリコンの契約価格は、約\$30/kgから約\$85/kgまで上昇し、スポット価格は\$250/kgを超えた。これは、今では全太陽電池モジュール製造コストの約半分を占める単結晶及び多結晶シリコン・ウエハの価格の大きな上昇をもたらした。

【0007】

主流の結晶シリコン（c-Si）ウエハ太陽電池セル産業での傾向は、ウエハ厚さを200ミクロン未満に減少させることであった（太陽電池セル定格ピーク電力のワット当たり使用されるグラム単位でのシリコン材料の量を低減するため）。例えば、単結晶シリコン・ウエハ太陽電池セルは、約200ミクロンの現在のウエハ厚さから、2012年までに約120ミクロンの厚さまで薄くなると予想される。多結晶シリコン・ウエハ太陽電池セルは、約260ミクロンの現在の平均ウエハ厚さから、2012年までに約180ミクロンの厚さまで薄くなると予想される。しかしながら、このウエハ厚さの低減により、機械的剛性、製造歩留り、及び太陽電池セル効率に関連する付加的な課題がもたらされる。その高コストにもかかわらず、主により高い効率並びに確立されたマイクロエレクトロニクス産業及びサプライ・チェーンとの相乗効果のために、結晶シリコン（c-Si）技術はなお、太陽電池セル市場を支配している。現在、c-Siは、太陽電池セル市場の90

10

20

30

40

50

%を少し超える割合を占めている（リボン・シリコンが含まれるときは95%）。

【0008】

歴史的には、結晶シリコン太陽電池セルは、累積の全世界セル生産の各倍増に対して20%のコスト低減を達成してきた（メガワット即ち MW_p 及びギガワット即ち GW_p の単位で測定される）。革新的なコスト低減及び効率増大方法を通じて、配電網連結屋上ソーラー光起電力モジュールから引き出される電気のコストは、5～10年以内に公共施設配電網から購入される電気のコストと比較できるほどになる可能性があると予想される。商業用に利用できる単結晶シリコン及び多結晶シリコンの太陽電池モジュールの2005年概観によれば、約12.5%の中間効率値を有する9.1%～16.1%の範囲内にある太陽電池モジュール効率を報告している。商業用の結晶シリコン・モジュールは、通常、ウエハ化太陽電池セルでの光劣化影響（例えば、ウエハ少数キャリア寿命劣化）を含む様々な影響が原因で、1%～3%（相対的な）の急速な初期効率劣化を示す。単結晶シリコン・ウエハ太陽電池セル効率は、約16.5%の現在の効率（最先端の商業用に利用できる単結晶シリコン・太陽電池セル及び太陽電池モジュール効率は、それぞれ現在約21.5%及び18%である）から、2012年までに約20.5%まで増加すると予想される。多結晶シリコン・ウエハ太陽電池セル効率は、約15.5%の現在の効率レベルから、2012年までに約18%まで増加すると予想される。

10

【0009】

最新技術の結晶シリコン太陽電池セル製造は現在、ピーク・ワット当たり約10グラムの高純度ポリシリコン原料（ g/W_p ）を使用し、（\$85/kgのポリシリコン価格を仮定すると）約\$0.85/ W_p のポリシリコン原材料コストを要する。今後5年間にわたって、太陽電池セルのウエハ厚さ低減の予想傾向（例えば、200ミクロン未満のウエハまで）及びソーラー等級ポリシリコンに対する約\$20/kgの長期予定価格は、ポリシリコン原料コスト（ g/W_p 単位で）を約\$0.10/ W_p から\$0.20/ W_p まで約4分の1から8分の1に低減する可能性がある。そのために、任意の競合する太陽電池セル技術は、それらの製造コスト目標をこの低減された原材料コスト数字に対して評価すべきである。所与のセル効率に対して、シリコン・ウエハ厚さ低減は、ピークの太陽電池の電力のワット当たり消費されるポリシリコン原料の量を低減させることによって太陽電池セルのコスト低減の主要な機会を与える。

20

【0010】

現在のシリコン太陽電池セルに対して約\$0.25/ W_p に達するワイヤ・ソーに関連するコストは、シリコン・ウエハ太陽電池セルの別のウエハ関連コスト成分である。切断及びスライスに関するカーフ・ロスをなくす革新的な及びコスト効率の良い技術は、シリコン太陽電池セルのコスト低減をさらに促進するはずである。ウエハに基づく結晶シリコンの太陽電池モジュール製造コスト（それは現在、ワット当たり\$2.10～ワット当たり\$2.70を超える程度である）は、一部分においては約200ミクロンの現在の値から2012年までに約130ミクロンまでのウエハ切断カーフ・ロスの低減が原因で、2012年までに約\$1.50/ W_p ～\$1.80/ W_p の範囲まで低減される可能性があると予想される。ウエハに基づく結晶シリコン太陽電池セルに対する全体的なコスト低減は、より低いコストのポリシリコン原料、より薄いウエハ、より高いセル段階の効率、低減されたウエハ切断カーフ・ロス、及び増加した規模又は製造量の経済を含む、様々な要因によりもたらされ得る。

30

40

【0011】

最新技術のシリコン・ウエハ太陽電池セル加工設備（「ソーラー・製造」）は典型的には、現在は125mm×125mm～156mm×156mmまでの太陽電池セルを作製する。結晶シリコン・ウエハ太陽電池セルでの傾向は、より薄く、より大きなウエハに向かっている。発電モジュールに使用される最先端の太陽電池セルでの単結晶及び鑄造（リボンと同様）多結晶シリコン太陽電池セル・ウエハ厚さは、2009～2010年ごろまでにそれぞれ約150及び200ミクロンまで低減されると予想される。上述の現在及び予想される2009～2010年の数字と比較して、セル電力の W_p 当たりのシリコン材

50

料消費（例えば、ウエハ又は膜の厚さ）の大幅な低減を可能にする任意のコスト効率の良い高効率の革新的なシリコン太陽電池セル技術は、ソーラー光起電力応用（例えば、大規模集中公共施設発電応用と同様に、住宅用の、商業用及び産業用の屋根）のための実行可能な商業用太陽電池セル技術として大幅な見込みを与える可能性がある。

【 0 0 1 2 】

より高い太陽電池セル効率は、低減されたバランス・オブ・システム（BOS）コスト（例えば、面積に関連した太陽電池モジュール据付け及びインバータのコスト）と同様に、材料消費及びコストの低減のために、全太陽電池セル価値連鎖及びエネルギーの平準化コスト（\$ / kWh 単位での LCOE）に対して望ましい効果を有する。現在の主流の商業用結晶太陽電池セルは、14%～17%程度の効率を示す。商業用太陽電池セルで予想される結晶シリコン太陽電池セル効率は、2009年までに単結晶及び多結晶シリコン太陽電池セルに対してそれぞれ約19%及び17%に近づく可能性があると期待される。新規の太陽電池セルのビジネス・チャンスのためのかぎとなる領域は、全体的な太陽電池セル及びモジュール製造コストを低下させながら効率を押し上げる可能性がある、革新的なセル構造及び簡略化されたプロセス・フローの開発である。主流のウエハに基づく結晶シリコン太陽電池セル技術を超えて成功するための代替（例えば、薄膜PV）手法によっては、新規の技術が完全に商業化される場合に主流のウエハに基づく結晶シリコン太陽電池セルの予想される効率及びコスト数字と比較して、より低い製造コストにおいてさえ、より高い効率を提供するべきである。

【 0 0 1 3 】

高容量の太陽電池製造能力に関する規模の経済での製造コスト低減は、LCOEに影響を与えるかぎとなる要因である。最新技術の高容量太陽光起電力製造は、50 MW_p～100 MW_p（MW_p = 100 万 W_p）程度又はそれを超える年間生産能力を有する。高容量太陽光起電力製造能力は、来るべき10年以内に数百 MW_p 又は1 GW_p（GW_p = 10 億 W_p）に近づきさえする年間生産速度にまで大幅に増加すると期待される。100 MW_p～1 GW_p の範囲の巨大容量太陽電池製造は、高容量製造の規模の経済を通じてより長期のコスト低減（LCOEを含む）を促進するはずである。しかし、容易に\$100Mを超える可能性のある比較的高い初期製造投資コストは、太陽光起電力製造建設の選択にある種の制限を課す可能性がある。理想的には、好ましいことは、適度の生産容量（例えば、5 MW_p～50 MW_p の範囲の年間生産容量）を有するより小さな規模の（及びより少ない資本集約の）製造でさえ太陽電池セル及びモジュールの大幅な製造コスト低減を促進する革新的な結晶シリコン太陽電池セル設計及び簡略化された製造プロセスを開発する可能性がある。この種類の技術は、適度の製造設定及び運転コストを有する適度の容量の太陽光起電力製造を可能にするであろう。（製造コスト低減のために十分な規模の経済を達成するためには、非常に高価な高容量製造を設置しなければならないこととは対照的に）低減された製造設定及び運転コストは、コスト効率の良い太陽電池モジュールの全世界的な急増をさらに促進し、多数の非常に手ごろな価格の適度の容量の製造の建設を可能にするであろう。もちろん、コスト効率の良い、適度の容量の製造に対する上述の基準に合う（即ち、簡略化された太陽電池セル・プロセスのための低コスト製造設置での適度の生産容量でさえLCOEロードマップ要件に合う）、革新的な太陽電池セル技術は、（例えば、100 MW_p よりも大きい）巨大容量の太陽電池製造にも適用できる可能性がある。そのような太陽光起電力製造は、増加した容量に関連する規模の経済をさらに活用することができる。

【 0 0 1 4 】

薄膜太陽電池セル（TFSC）技術（例えば、非晶質シリコン、CdTe、及びCIGS）は、太陽光スペクトルによく整合した吸収帯のために、通常の標準「エアー・マス1.5」（AM-1.5）直射日光照射度を吸収するために、少しの吸収体材料（通常は10ミクロンよりもはるかに小さい厚さ）しか必要としない。TFSC吸収体材料は、ガラス又は柔軟な金属若しくは非金属基板などの安価な基板に被着できる。通常、TFSCは、低コスト、低減されたモジュール重量、低減された材料消費、及び柔軟な基板を使用する

10

20

30

40

50

能力を有するが、通常は効率がはるかに低い（例えば、通常は5%～12%）。従来技術の薄い結晶シリコン膜の場合には、低コスト、高性能太陽電池セルのための平坦なシリコン膜（50ミクロンよりも薄い厚さを有するエピタキシャル成長シリコン膜など）の使用については多数の主要な問題及び課題がある。これらは、比較的低い太陽電池モジュール効率（通常は7%～12%）、モジュール効率の現場劣化、希少で高価な吸収体材料（例えば、CIGS用のIn及びSe並びにCdTe用のTe）、システムの現場信頼性の制限された検証、並びにCIS/CIGS及びCdTeなどの非シリコン技術の環境への悪影響を含む。

【0015】

従来技術を示す図1は、エピタキシャル・シリコンによって作製される平面シリコン薄膜吸収体層を使用してc-Si TFSCを加工するためのプロセス・フロー10を示す。この従来技術のTFSC加工プロセス・フローは、セル構造を形成するためにいくつかのシャドー・マスク・プロセス・ステップを使用する。セル吸収体は単に、シリコン・エピタキシャル成長処理によって形成されるc-Siの薄い平面膜である。セルは、光閉じ込めを改善するための前側シリコンのきめ（テクスチャ）形成、及びセル効率を改善するための分離した後部アルミニウム・ミラーを使用する。ステップ12は、単結晶p⁺CZシリコンから始める。ステップ14は、20%の空隙率を有する1ミクロンの上部層及び50%よりも大きい空隙率を有する200ナノメートルの後部層を含む2層多孔質シリコンを形成するために、シリコンの電気化学的HFエッチングを含む。ステップ16は、1100で30分間の水素（H₂）熱処理（アニール）を含む。ステップ18は、トリクロロシラン即ちSiHCl₃を使用する1100でのエピタキシャル・シリコン成長を含み（分当たり1ミクロンの成長速度）、2ミクロンのp⁺-Si及び30ミクロンのp-Siを形成する。ステップ20は、直立表面角錐（ピラミッド）を形成するために、ウエットKOHエッチングによる前側表面テクスチャ形成を含む。ステップ22は、エミッタ拡散窓を規定するためにシャドー・マスクを通じてのLPCVD窒化シリコン（SiN_x）被着を伴う第1のシャドー・マスク・プロセスを含む。ステップ24は、830での固体源リン拡散を含む（n⁺ドープ接合に対して80Ω/□（スクエア）を達成するため）。ステップ26は、シャドー・マスクを通じての蒸着による前側金属化処理（チタン/Pd/銀グリッド）を伴う第2のシャドー・マスク・プロセスを含む。ステップ28は、水素化PVD又はPECVD SiN_xによるエミッタ表面パシベーション（表面安定化処理）を含む。ステップ30は、導電性接着剤によるコンタクト前側バスバーを含む。ステップ32は、透明接着剤を使用してセル前側をMgF₂被覆ガラスに接着することを含む。ステップ34は、機械的応力によってセルをシリコン・ウエハから分離することを含む。ステップ36は、シャドー・マスクを通じての蒸着を使用する裏側アルミニウム金属化処理を伴う第3のシャドー・マスク・プロセスを含む。最後に、ステップ38は、セル裏側から200ミクロンの距離にアルミニウム反射体を取り付けることを含む。

【0016】

従来技術を示す図2は、自己整合選択エミッタ及び金属化処理を伴うシリコン・ウエハ上への太陽電池セルの加工のための別のプロセス・フロー方法40を示す。この従来技術のプロセスは、高濃度にドープされたn⁺⁺エミッタ・コンタクト拡散領域を形成するために下にあるシリコンを融解させながら、上部セル誘電体層をパターン形成するためにレーザー処理を使用する（高速熱処理による低濃度拡散選択エミッタ領域の形成後）。ステップ42は、単結晶p型シリコンから始める。ステップ44は、90の希釈NaOH中での切断損傷除去エッチング及び異方性テクスチャ形成エッチングを含む。ステップ46は、リン拡散源のスピン・オン塗布及び乾燥を含む。ステップ48は、低濃度拡散エミッタ（80～200Ω/□）を形成するために高速熱処理を含む。ステップ50は、アルミニウム又は銀/アルミニウム合金の真空蒸着又はスクリーン印刷の裏側金属コンタクトへの適用を含み、後に乾燥が続く。ステップ52は、スクリーン印刷コンタクトの裏側金属焼結/焼成（例えば、酸素/窒素中820で）を含む（金属メッキ溶液に対する抵抗力を高めるために誘電体を酸化させながら金属ペーストを焼成する）。ステップ54は、n

10

20

30

40

50

* * コンタクト拡散領域を形成するために下にあるシリコンを融解させながら、上部誘電体層をパターン形成するためのレーザー処理を含む。ステップ56は、金属メッキ表面を準備するために希釈HFエッチングを含む。ステップ58は、90で5分間の無電解ニッケル・メッキを含む。ステップ60は、(窒素、アルゴン、又はフォーミング・ガス中の)350 ~ 450でのニッケル焼結を含む。ステップ62は、厚い高導電性銅膜を形成するために、後に長時間の無電解銅メッキが続く、追加の2分間のニッケル・メッキを含む。ステップ64は、銅表面上へのフラッシュ浸漬銀(銀)被着を含む。最後に、ステップ66は、縁取り接合分離を含む(例えば、レーザー溝彫り、縁へき開、又はプラズマ・エッチングを使用)。

【0017】

10

従来技術の結晶シリコン(c-Si)薄膜太陽電池セル(TFSC)技術に関しては、結晶シリコン膜厚さを低減させながら、表面反射損失を低減するための十分な薄いシリコン膜の表面テクスチャ形成に関する困難がある。これは、生産歩留り及びセル性能(効率)を考慮することにより、最小の平坦な(同一平面上の)単結晶シリコン厚さに制限を加える。平坦な又は同一平面上の膜の場合には、テクスチャ形成されない結晶シリコン膜の反射率は、極めて過度であり(30%よりも大きくできる)、大幅な光反射損失及び外部量子効率の劣化をもたらすため、表面テクスチャ形成を使用することは必須である。それ故に、同一平面上のエピタキシャル・シリコン膜での反射率誘起光子損失の低減は、それ自身最小エピタキシャル・シリコン層厚さに限度を設ける効果的な表面テクスチャ形成を必要とする。膜表面テクスチャ形成要件及びプロセスに応じて、最小結晶シリコン層厚さは、(テクスチャ形成プロセスが結晶シリコン層のどの部分も破らないように)少なくとも10ミクロン程度となる可能性がある。

20

【0018】

さらに、薄い平面結晶シリコン膜での大幅に低減された平均光路長は、特にシリコンの赤外バンドギャップに近いエネルギーを有する光子に対して(800~1100ナノメートル)、低減された光子吸収をもたらし、結果として低減された太陽電池セル量子効率(低減された短絡電流即ち J_{sc})をもたらす。これは、低減されたセル量子効率及び低減された J_{sc} のために、太陽電池セル効率の重大な劣化がもたらされる。例えば、20ミクロンの厚さを有する同一平面上の(平坦な)結晶シリコン吸収体層では、垂直に近い角度でセルに衝突する太陽光線は、シリコンの赤外バンドギャップに近いエネルギーを有する(即ち、約800~1100ナノメートルの波長を有する)太陽放射光子が、シリコン薄膜内で効果的に吸収されるにはあまりにも短すぎる膜厚さに等しい有効経路長を有するであろう。実際に、約50ミクロン未満までの活性セル・シリコン厚さの低減は、 J_{sc} の及び結果として生じる太陽電池セル効率のかなりの低減をもたらす、シリコン膜厚さが約20ミクロン未満に低減されるときには、この劣化の影響は、急速に加速する。それ故に、同一平面上の薄い結晶シリコン膜は、結晶シリコン膜厚さの何倍にも等しい有効光路長を形成するためには、上部表面テクスチャ形成及び結晶シリコン膜の背面から抜け出る光の裏面後方反射の両方を使用する、効果的な光閉じ込めをも必要とする可能性がある。

30

【0019】

この手法を使用する従来技術は、大部分は結晶シリコン膜/シリコン基板における光の内部反射を通じての後方反射が、又はブランケット裏側コンタクト(裏面電界アルミニウム・コンタクト/ミラーなど)からの反射のいずれかを使用する。これらの技術によって提供される後方反射率は、大きくない可能性があり(例えば、約70%の有効近赤外後方反射率)、最適な後方反射体によってならば達成されたであろう性能向上を制約する。この手法の問題は、主要な入射ビームが常に結晶シリコン膜を一度だけ通過することである。主要な入射ビーム光子の任意のその後の第2の通過は、裏面反射に依存している。

40

【0020】

セル及びモジュール処理ステップ中の、薄膜の剛性及び機械的支持の欠如の問題もある。この問題は、大面積(例えば、200mm×200mm)の薄いシリコン膜の機械的強度に関する。大面積結晶シリコン・ウエハ厚さを100ミクロン未満まで低減することは

50

、セル基板の機械的強度／剛性の大幅な損失をもたらし、そのような薄いウエハは、柔軟で、セル加工プロセス・フロー中、破損なしに扱うことが非常に困難になる傾向があることが周知である。

【 0 0 2 1 】

例えば、50ミクロンよりも薄い、大面積の、同一平面上の（平坦な）結晶シリコン膜は、太陽電池セル及びモジュール製造に対して容認できる歩留りを達成するためには、コスト効率の良い支持又は取扱い基板上に適切に取り付けられ、支持されなければならない。1つの手法は、薄いエピタキシャル膜を比較的低コストの（例えば、冶金学的等級の）シリコン基板上に成長させ、保持することであるが（その上にエピタキシャル層が成長される）、この手法は、最終的な太陽電池セル効率を制約するいくつかの固有の問題に悩まされる。別の手法は、太陽電池セル・プロセス・フローの間に機械的強度を提供するために、エピタキシャル・シリコン膜をその（再使用可能な）親シリコン基板から取り外す又はリフト・オフし、続いてそれをより安価な非シリコンの支持又は取扱い基板上に置くことである。この手法は、薄いエピタキシャル・シリコン膜の非シリコン支持基板からの汚染の可能性と同様に、任意の高温酸化及び熱処理（アニール）プロセス中の支持／取扱い基板とシリコン膜との間の熱膨張係数（TCF）の不一致にも悩まされる可能性がある（両方は、可能性のある製造歩留り及び性能／効率劣化問題を起こす）。

10

【 0 0 2 2 】

シリコン・エピタキシーを使用する単結晶シリコン膜成長プロセスのコストは、特に30ミクロンを超える厚さを有するより厚いエピタキシャル膜に対しては、取り組むべき追加の問題である。比較的小さいエピタキシャル膜厚さ（一実施例では、30ミクロンよりもはるかに薄い）を使用することは、エピタキシーのコストを魅力的な範囲にまで下げる可能性がある。しかしながら、これは、平面シリコン薄膜太陽電池セルの加工に対して様々な課題を提示するであろう。述べられたように、より薄い同一平面上の（平坦な）エピタキシャル膜（例えば、30ミクロンよりもはるかに小さい範囲）は、膜の機械的強度の欠如、低表面反射率及び低減された光反射損失のための薄いシリコン膜の効果的な表面テクスチャ形成を制限する制約、比較的短い光路長、並びに低減されたセル量子効率を含む、多数の問題及び課題を引き起こす。効果的な光閉じ込めは、薄膜c-Si太陽電池セル効率の向上にとって必須である。効果的な光閉じ込めの要件は、十分に低い表面再結合速度を達成しながら（高セル効率のために）、前面テクスチャ形成と裏面ミラーとを組合せることに基づいている。これは、同一平面上の（平坦な）c-Si薄膜太陽電池セルで達成することは非常に困難である。

20

30

【 0 0 2 3 】

高性能c-Si薄膜太陽電池セルは、いくつかのパターン形成ステップ又はパターン形成された処理ステップを必要とする（例えば、選択エミッタ、前側エミッタ又は裏側エミッタ・ラップ・スルー金属化処理コンタクト、裏側ベース金属化処理コンタクト、その他の形成のため）。これらのパターン形成ステップは通常、フォトリソグラフィ、スクリーン印刷、及び／又はシャドー・マスク被着（例えば、シャドー・マスク・スパッタリング又は蒸着）プロセスを使用して達成される。フォトリソグラフィ及び／又はスクリーン印刷及び／又はシャドー・マスク被着パターン形成ステップの使用は、通常、製造プロセス・フローの複雑さ及びコストを増加させ、また、最終の達成可能な太陽電池セル効率と同様に、加工歩留りにも悪影響を及ぼす可能性もある。

40

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 2 4 】

従って、上記で確認された問題を修正する薄膜太陽電池セル（TFSC）に対する必要性が生じた。

【 0 0 2 5 】

その上、既存の主流のc-Si太陽電池セル技術の欠点に取り組むためのさらなる必要性が存在する。これは、ソーラー電力のピーク・ワット当たり消費されるポリシリコン原

50

料の量を低減すること、並びに切断及びスライスに関連するカーフ・ロスを排除すること、それ故に、全体的な太陽電池セル製造コストを大幅に低減することを含む。

【 0 0 2 6 】

全体的な太陽電池セル及びモジュール製造コストを大幅に下げながら、セル及びモジュール効率を増加させる、革新的な太陽電池セル構造及び簡略化されたプロセス・フローに対するさらなる必要性が存在する。適度の生産容量を有する製造でさえ、大幅な太陽電池セル及びモジュール・コストの低減を促進し、適度の製造設定及び運転コストの低度から中間までの容量の太陽電池セル製造を可能にする（それ故に、従来の製造よりも大幅に低い製造容量での製造コスト低減のために規模の経済を達成する）、革新的な c - S i 太陽電池セル設計及び簡略化された自己整合製造プロセスに対するさらなる必要性が存在する。

10

【 0 0 2 7 】

既存の T F S C 技術の欠点に取り組むためのさらなる必要性が存在する。これは、生産歩留り及びセル性能の考慮が原因で、現在は最小の平坦な（同一平面上の）結晶シリコン厚さに限度を設ける、表面反射損失を低減するのに十分な薄い平面シリコン膜の表面テクスチャ形成に関連する困難に取り組むことを含む。低い表面再結合速度を達成しながら（高セル効率のために）、前面テクスチャ形成及び裏面ミラーの組合せに基づく効果的な光閉じ込めに対するさらなる必要性が存在する。

【 0 0 2 8 】

既存の T F S C 技術の追加の欠点に取り組むためのさらなる必要性が存在する。これは、セル及びモジュール処理ステップ中の薄膜基板の剛性及び機械的支持の欠如の問題を含み、それ故に、T F S C 基板のための支持又は取扱い基板（シリコン又は別の材料でできている）の使用を必要とする。これはさらに、特に平面結晶シリコン T F S C に必要とされるより厚いエピタキシャル膜に対しては、エピタキシャル・シリコン膜成長プロセスのコストを含む。これはさらに、通常は製造プロセス・フローの複雑さ及びコストを増加させる、複数のフォトリソグラフィ及び／又はスクリーン印刷及び／又はシャドー・マスク処理／パターン形成ステップの要件を含み、また、最終の達成可能な太陽電池セル効率と同様に、加工歩留りにも悪影響を及ぼす可能性もある。

20

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 9 】

本開示によると、角錐（ピラミッド）形状三次元薄膜太陽電池セル（3 - D T F S C）が提供される。開示される主題の角錐形状 3 - D T F S C は、効率及び製造コストの両方の点から見て、これまでに開発された T F S C に関連する不都合及び問題を大幅になくす又は低減する。

30

【 0 0 3 0 】

開示される主題の一観点によると、角錐形状 3 - D T F S C 基板を含む、角錐形状 3 - D T F S C が提供される。ここで前記角錐形状 3 - D T F S C 基板は、複数の角錐形単位セルを含む。

【 0 0 3 1 】

開示される主題の別の観点によると、角錐形状 3 - D T F S C 基板を含む、角錐形状 3 - D T F S C が提供される。ここで前記角錐形状 3 - D T F S C 基板は、角錐形空洞を有する複数の単位セルを含む。

40

【 0 0 3 2 】

任意選択で、角錐形状 3 - D T F S C は、光閉じ込め及び変換効率の改善のために、後部ミラーに取り付けられることができる。

【 0 0 3 3 】

開示される主題のさらに別の観点によると、角錐形状 3 - D T F S C が提供される。角錐形状 3 - D T F S C は、エミッタ接合領域及びドープ・ベース領域を有する角錐形状 3 - D T F S C 基板を含む。さらに、角錐形状 3 - D T F S C は、エミッタ金属化処理領域及びベース金属化処理領域を含む。角錐形状 3 - D T F S C 基板は、複数の角

50

錐形単位セルを含む。

【0034】

より具体的には、開示される主題は、シリコンでできている、及びさらにより具体的には結晶シリコンでできている、角錐形状3-D T F S C基板を含む。

【0035】

より具体的には、開示される主題は、角錐配列設計、及びさらにより具体的には、数ある中で、六角形角錐設計又は多角形角錐設計による角錐形状3-D T F S C基板を含む。

【0036】

より具体的には、開示される主題は、一体化された後部ミラー又は分離された(d e t a c h e d)後部ミラーを有する角錐形状3-D T F S Cを含む。

10

【0037】

開示される主題のこれらの及び他の利点は、追加の新規な特徴と同様に、本明細書で提供される記述から明らかであろう。この課題を解決するための手段の意図は、特許請求される主題の包括的な記述ではなく、むしろ主題の機能性の一部の短い概観を提供することである。本明細書で提供される、他のシステム、方法、特徴及び利点は、次の図及び詳細な記述の検討により当業者には明らかになるであろう。全てのそのような追加のシステム、方法、特徴及び利点は、この記述内に含まれ、添付の特許請求の範囲内にあるであろうことが意図される。

【0038】

開示される主題の特徴、性質、及び利点は、同様の符号が全体にわたって対応すると認識する図面と併せて理解すると、以下で説明される詳細な記述からより明らかになるであろう。

20

【図面の簡単な説明】

【0039】

【図1】(従来技術)シリコン・エピタキシーによって作製される平面シリコン薄膜吸収体層を使用して、結晶シリコン(c - S i)薄膜太陽電池セル(T F S C)を加工するための従来技術のプロセス・フローを示す図。

【図2】(従来技術)自己整合選択エミッタ及び金属化処理を含むシリコン・ウエハ上での太陽電池セルの加工のための従来技術のプロセス・フローを示す図。

【図3】(従来技術)従来技術と比較して、本開示によって排除されるかぎとなるプロセス・ステップを要約する図。

30

【図4】3-D T F S C基板及び太陽電池セル加工プロセス・フローの概観を提供する図。

【図5】周囲平面シリコン・フレームを有するハニカム六角形角錐配列設計T F S C基板の上面図を示す図。

【図6】より大きな厚さの周囲平面フレームを有する代替ハニカム六角形角錐配列設計T F S C基板の上面図を示す図。

【図7】六角形角錐形状(ハニカム)3-D T F S C基板の具体例のY-Y及びZ-Z断面軸を示す図。

【図8】六角形角錐形状(ハニカム)3-D T F S C基板の具体例のY-Y及びZ-Z断面軸を示す図。

40

【図9】エミッタ及びベース・コンタクト並びに太陽電池セル相互接続の自己整合形成後のY-Y断面図を示す図。

【図10】図9で示される薄いフレームと比較して厚いシリコン・フレームを有する3-D自己支持六角形角錐T F S C基板を示す図。

【図11】従来技術と比較して、本開示の高レベルのプロセス・フロー及び競争力のある利点を要約する図。

【図12】テンプレートの具体例のY-Y断面図を示す図。

【図13】六角形角錐形状3-D T F S C基板内の単一単位セルの3-D図を示す図。

【図14】3-D六角形角錐T F S C基板の具体例の概略的Z-Z断面図を示す図。

50

【図 1 5】3 - D 六角形角錐 T F S C 基板の具体例の概略的 Y Y 断面図を示す図。

【図 1 6】薄い四角形シリコン・フレイムを有する 3 - D 自己支持六角形角錐 T F S C 基板の具体例の Y Y 断面図を示す図。

【図 1 7】厚い四角形シリコン・フレイムを有する 3 - D 自己支持六角形角錐 T F S C 基板の具体例の Y Y 断面図を示す図。

【図 1 8】ファイア・スルー金属化処理を使用する 3 - D T F S C の加工のためのプロセス・フローを説明する図。

【図 1 9】ファイア・スルー金属化処理を使用する 3 - D T F S C の加工のためのプロセス・フローを説明する図。

【図 2 0】ファイア・スルー金属化処理を使用する 3 - D T F S C の加工のためのプロセス・フローを説明する図。 10

【図 2 1】選択メッキ金属化処理を使用する 3 - D T F S C の加工のためのプロセス・フローを説明する図。

【図 2 2】選択メッキ金属化処理を使用する 3 - D T F S C の加工のためのプロセス・フローを説明する図。

【図 2 3】選択メッキ金属化処理を使用する 3 - D T F S C の加工のためのプロセス・フローを説明する図。

【図 2 4】選択メッキ金属化処理を使用する 3 - D T F S C の加工のためのプロセス・フローを説明する図。

【図 2 5】選択メッキ金属化処理を使用する 3 - D T F S C の加工のためのプロセス・フローを説明する図。 20

【図 2 6】ローラー塗布による 3 - D T F S C 基板上部リッジ及び後部表面又はリッジ上へのドーパント液体又はペースト層の自己整合塗布（被覆）のための両面塗布機設定並びに塗布される液体／ペースト層のインライン硬化の概略図を示す図（一体化されたベルト駆動プロセス装置と併せて示される）。

【図 2 7】図 2 6 のローラー塗布機及び硬化設定と同じプロセスを実施するための代替スプレー塗布機及び硬化設定を示す図。

【図 2 8】図 2 6 のローラー塗布機及び硬化設定並びに図 2 7 のスプレー塗布機及び硬化設定と同じプロセスを実施するために液体浸漬塗布又は液体転写塗布を使用する別の代替設定設計を示す図。 30

【図 2 9】上述のドーピング・プロセス・ステップ後の 3 - D 基板の断面図を示す（六角形角錐セルの 1 つを示す）図。

【図 3 0】エミッタ及びベース・コンタクト並びに太陽電池セル相互接続の自己整合形成後の Y Y 断面図を示す図。

【図 3 1】太陽電池セル加工プロセスの完了後の及び後部ベース・コンタクトを後部セル・ミラー（及びベース相互接続）板にはんだ付けした後の、3 - D 六角形角錐太陽電池セルの Y Y 断面図を示す（単一六角形角錐単位セルを示す）図。

【図 3 2】太陽電池セル加工プロセスの完了後の及び後部ベース・コンタクトを後部セル・ミラー（及びベース相互接続）板にはんだ付けした後の、3 - D 六角形角錐太陽電池セルの Y Y 断面図を示す（いくつかの隣接単位セルを示す）図。 40

【図 3 3】前側ハニカム・リッジ上への n 型ドーパント・ペーストの自己整合ローラー塗布後の、並びに選択エミッタ領域及び高濃度にドーパされたエミッタ・コンタクト領域を形成するための硬化及び炉内熱処理（アニール）後の、3 - D 六角形角錐 T F S C 基板の Y Y 断面図を示す（1 つの角錐単位セルを示す）図。

【図 3 4】p 型ドーパント層のローラー塗布並びにその後の硬化及びアニールを除いて、図 3 3 と同様の図。

【図 3 5】図 2 9 で示される図と同様の断面図を示す図。しかしながら、図 3 5 で示される具体例では、前側ハニカム・リッジ上への n 型ドーパント・ペーストの塗布のみである。

【図 3 6】前側固体ドーパント源層及び選択エミッタの自己整合形成後の、3 - D 六角形 50

角錐基板のＹＹ断面図を示す図。

【図３７】前側固体ドーパント源層及び選択エミッタの自己整合形成後の、３－Ｄ六角形角錐基板のＺＺ断面図を示す図。

【図３８】自己整合前側エミッタ及び後部ベース・コンタクトと同様に、前側固体ドーパント源層、選択エミッタの自己整合形成後の、３－Ｄ六角形角錐基板のＹＹ断面図を示す図。

【図３９】自己整合前側エミッタ及び後部ベース・コンタクトと同様に、前側固体ドーパント源層、選択エミッタの自己整合形成後の、３－Ｄ六角形角錐基板のＺＺ断面図を示す図。

【図４０】自己整合前側エミッタ・コンタクト及び後部ベース・コンタクトの形成後の、六角形角錐単位セルの概略的な準３－Ｄ図を示す図。

10

【図４１】後部ミラー及びベース相互接続上の太陽電池セル組立体の代替実施例を示す図（第１の実施例は図３２で示される）。

【図４２】四角形角錐単位セル構造を有する３－Ｄ ＴＦＳＣ基板の上面図を示す図。

【図４３】三角形角錐単位セル構造を有する３－Ｄ ＴＦＳＣ基板の上面図を示す図。

【図４４】直交Ｖ溝単位セル構造を有する３－Ｄ ＴＦＳＣ基板の上面図を示す図。

【図４５】図４４で示される、直交Ｖ溝単位セル構造を有する３－Ｄ ＴＦＳＣ基板の代替断面図を示す図。

【図４６】代替直交対角Ｖ溝単位セル構造を有する３－Ｄ ＴＦＳＣ基板の上面図を示す図。

20

【図４７】図４６で示される直交対角Ｖ溝単位セル構造を有する３－Ｄ ＴＦＳＣ基板の代替断面図を示す図。

【図４８】直接レーザー・マイクロマシニングを使用するテンプレートの加工のためのプロセス・フローの実施例を概説する図。

【図４９】フォトリソグラフィ・パターン形成を使用するテンプレートの加工のためのプロセス・フローの実施例を概説する図。

【図５０】角錐形状３－Ｄ ＴＦＳＣ基板の加工のためのプロセス・フローの実施例を示す図。

【図５１】角錐形状３－Ｄ ＴＦＳＣ基板の加工のためのプロセス・フローの実施例を示す図。

30

【図５２】角錐形状３－Ｄ ＴＦＳＣ基板の加工のためのプロセス・フローの実施例を示す図。

【図５３】角錐形状３－Ｄ ＴＦＳＣ基板の加工のためのプロセス・フローの実施例を示す図。

【図５４】本開示の上部保護ガラス板及び埋め込みＰＣＢを有する太陽電池モジュールの加工のためのプロセス・フローの第１の実施例を説明する図（ＰＣＢ及びＰＣＢに取り付けられたＴＦＳＣを有する図５５の太陽電池モジュール構造に対応する）。

【図５５】太陽電池モジュール（ソーラー・パネル）構造の断面図を示す図（図５４で述べられるプロセス・フローによりもたらされる）。

【図５６】太陽電池モジュールの加工のための組立てプロセス・フローの代替実施例を概説する図（図５７の太陽電池モジュール構造に対応する）。

40

【図５７】太陽電池モジュール構造の別の実施例の断面図を示す図（図５６で述べられるプロセス・フローによりもたらされる）。

【図５８】建物の窓内に統合された又は組み立てられた太陽電池セルを示す図。

【図５９】太陽電池モジュール組立体での本開示のＴＦＳＣの直列接続の代表的な実施例を示す図。

【図６０】太陽電池モジュール組立てのために使用される印刷回路基板（ＰＣＢ）の前側配置を示す図。

【図６１】ＴＦＳＣの直列接続を示す、太陽電池モジュール組立てのために使用される印刷回路基板（ＰＣＢ）の裏側配置の上面図を示す図。

50

【図 6 2】PCB 上の銅パターンの裏側図を示し、本質的に図 6 1 と同様の図。

【図 6 3 A】太陽電池モジュール印刷回路基板 (PCB) の前側上のパターンの拡大上面図を示す図。

【図 6 3 B】太陽電池モジュール印刷回路基板 (PCB) の裏側上の相互接続パターンの拡大上面図を示す図。

【図 6 4】厚いシリコン・フレイム、シリコン・フレイム薄片、及びシリコン薄片を作製する (例えば、切り取る) ための代表的な方法の様々な概略図を示す図。

【図 6 5】計算のための参考を提供される図 (図 1 5 と同様の)。

【図 6 6】六角形角錐単位セルの、六角形角錐側壁面積と平面六角形基底面積との比 (S_{hp} / S_{hb}) 対高さと基底対角直径との比 (H / d) を示す図。

【図 6 7】太陽電池セル六角形角錐単位セルの計算された前側開口角対六角形角錐単位セルの高さと基底対角直径との比 (H / d) を示す図。

【図 6 8】太陽電池セル六角形角錐単位セルの計算された前側開口角対六角形角錐単位セルの高さと基底対角直径との比 (H / d) を示す図。

【図 6 9】計算のための参考を提供される図。

【図 7 0】円錐形単位セル側壁面積と平面円形基底面積との比 (S_{cp} / S_{cb}) 対円錐形単位セルの高さと基底直径との比 (H / D) を示す図。

【図 7 1】太陽電池セル円錐形単位セル (六角形角錐単位セルに対する近似) の計算された前側開口角対円錐形単位セルの高さと基底直径との比 (H / D) を示す図。

【図 7 2】単位セルの六角形角錐配列を有する円形基板を仮定した、TFSC 相互接続抵抗損失の近似的な解析計算で参考に使

【図 7 3】3 - D 太陽電池セル基板の上部の異なるエミッタ相互接続面積被覆比に対して、六角形角錐高さ

【図 7 4】3 - D 太陽電池セル基板の上部の異なるエミッタ相互接続面積被覆比に対して、六角形角錐高さ

【図 7 5】 R_{thm} 及び L / H の様々な値に対するプロットを示す図。

【図 7 6】 R_{thm} 及び L / H の様々な値に対するプロットを示す図。

【図 7 7】 R_{thm} 及び L / H の様々な値に対するプロットを示す図。

【図 7 8】 R_{thm} 及び L / H の様々な値に対するプロットを示す図。

【図 7 9】 R_{thm} 及び L / H の様々な値に対するプロットを示す図。

【図 8 0】 R_{thm} 及び L / H の様々な値に対するプロットを示す図。

【図 8 1】 R_{thm} 及び L / H の様々な値に対するプロットを示す図。

【図 8 2】 R_{thm} 及び L / H の様々な値に対するプロットを示す図。

【図 8 3】 R_{thm} 及び L / H の様々な値に対するプロットを示す図。

【図 8 4】 R_{thm} 及び L / H の様々な値に対するプロットを示す図。

【発明を実施するための形態】

【0040】

本開示の好ましい実施例は、図面で説明され、同様の数字は、様々な図面の同様の及び対応する部分を参照するために使用されている。本開示の革新的な太陽電池セル設計及び技術は、再使用可能な結晶 (実施例は、単結晶又は多結晶シリコンを含む) 半導体テンプレート上に被着され、それから取り外された、三次元 (3 - D) の、自己支持の、ドーブされた (一実施例では、その場 (in - situ) ドーブされた) 半導体薄膜の使用に基づいている。

【0041】

3 - D TFSC 基板用の好ましい半導体材料は結晶シリコン (c - Si) であるが、他の半導体材料も使用できる。一実施例では、薄膜半導体材料として単結晶シリコンが使用される。他の実施例では、多結晶シリコン、多結晶質シリコン、微結晶シリコン、非晶質シリコン、多孔質シリコン、及び / 又はそれらの組合せが使用される。本明細書の設計

は、ゲルマニウム、シリコン・ゲルマニウム、炭化シリコン、結晶化合物半導体、又はそれらの組合せなどの、他の半導体材料にも適用できる。追加の適用は、銅インジウム・ガリウム・セレン化物（CIGS）及びカドミウム・テルル化物半導体薄膜を含む。

【0042】

本開示の3-D TFSC設計及び生産技術は、関連するモジュール構造及び組立て手法と同様に、上述の問題及び課題を効果的に克服し、セル加工中に（即ち、再使用可能な3-Dテンプレートの加工後の3-D TFSC基板及びセル加工中に）フォトリソグラフィ・パターン形成又はスクリーン印刷又はシャドー・マスク被着プロセスのいずれのステップも使用することなく、自己整合セル・プロセス・フローを使用して、超高効率太陽電池セル及びモジュールのコスト低減された加工を可能にする。本開示の3-D TFSC技術は、自立、自己支持の3-D薄膜半導体基板構造を形成するために、低コストの再使用可能なテンプレート上への3-D角錐配列TFSC基板の形成及びその後のテンプレートからの取外し及びリフト・オフに基づいている。

10

【0043】

本開示は、実績のある高効率結晶シリコン（c-Si）基盤に基づくTFSC加工の利点を組み合わせる。本開示の3-D c-Si TFSC設計及び技術は、製造コスト低減と同様に、c-Si太陽電池セル及びモジュール効率向上の領域でも大幅な前進を可能にする。革新的な薄膜プロセス・ステップに基づいて、高価で制約されたシリコン・ウエハ供給連鎖（サプライ・チェーン）への依存が排除される。低減された製造コストで超高効率を達成することを可能にする、本開示のセル設計及び技術の独自の利点のいくつかは、伝統的なソーラーPVシリコン・サプライ・チェーン、性能向上、コスト低減、及び信頼性改善から実質的に切り離されている。

20

【0044】

開示される主題は、高効率の光閉じ込めと併せて、吸収体層として3-D c-Si膜を使用することによって太陽電池セル効率を改善するものである。結晶シリコン吸収体層の使用は、吸収体層の厚さを低減しながら（例えば、ウエハに基づく太陽電池セルに使用されるシリコン・ウエハと比較して10分の1未満に低減される）、既知の太陽電池セル製造技術及びサプライ・チェーンを利用する。開示される方法及びシステムは、光劣化をなくし又は大幅に低減し、セルの開回路電圧（ V_{oc} ）を向上させる。さらに、開示される方法及びシステムによれば、入射太陽光の光束を最大に吸収するために、高反射性後部ミラーと併せて、効率的な前側及び後側光閉じ込めが提供される。また、開示される方法及びシステムによれば、独自の折り返しエミッタ金属化処理コンタクト設計及び改善されたモジュール組立てによって、セルの遮蔽を最小限にし、抵抗損失を低減するとともに、青色応答及び外部量子効率を向上させるために、選択エミッタも提供される。

30

【0045】

製造コストは、シリコン使用料を少なくすることによって（例えば、3倍～10倍を超える大きな倍数だけ）低減され、同時により薄く被着されたc-Si膜は、完成された太陽電池モジュールのエネルギー回収時間を1年未満～2年にまで低減もする。製造コストは、主流の太陽電池セル・ウエハ製造技術に関するワイヤ・ソー切断及び関連するカーフ・ロスをなくすことによってさらに低減される。製造コストは、基板及びセル加工プロセス・フロー中に使用されるリソグラフィ又はパターン形成のどんなステップもない自己整合処理を使用することによって、並びに歩留り及びサイクル時間の改善が伴う、低減されたステップ数の加工プロセスを使用することによって、さらに低減される。生産コストは、簡略化された相互接続及びセル・モジュール組立てプロセス並びに軽量モノリシック・モジュールを使用することによって、さらに低減される。

40

【0046】

動作信頼性は、光劣化をなくし、温度係数を低減する、より薄いシリコン膜を使用することによって改善される。動作信頼性は、現場故障を最小限にする、簡単な分散高導電性電気相互接続を使用することによってさらに改善される。動作信頼性は、（ガラスなしモジュール組立てのために）モジュールのガラス・カバーをなくすことによってさらに改善

50

され、それ故にコストを低減し、現場組立て及び操作を容易にする。動作信頼性は、インライン製造プロセス制御を使用して製造プロセス・ステップ数及びプロセス変動を低減することによってさらに改善される。

【0047】

本開示は、使用者のためのワット当たりの太陽電池モジュールのコストを（少なくとも30%～50%だけ）低減し、統合業者及び設置業者のためのバランス・オブ・システム（BOS）及び設置コストを削減する。これは、全世界の配電網連結最終使用者並びにソーラー・システム設置業者及び統合業者に主要な利点を提供する可能性がある。本開示は、モジュール統合及び設置コスト並びに使用者のための W_p 当たりの設置された太陽電池セル・システム・コストを低減し、それによって W_p 当たりの完成されたシステム・コストを下げる。本開示は、モジュール効率を増加させ、結果としてより高いモジュール効率は、より低いBOSコストをもたらす。設置された太陽電池セル・システムのより低いコストは、現在の最善の組合せのc-Si太陽電池セル・システムにとっての約1/2～1/3の割合から、本開示の実施例にとっての1/4未満～1/8の割合までの、システム寿命時間のより低い割合まで、経済的損益分岐時間の低減をもたらす。本開示は、最善の組合せのc-Si太陽電池セル・システムの3～7年から、本開示の実施例の1年未満～2年まで、エネルギー回収時間（EPBT）を低減する。低減されたEPBTは、現場設置モジュールに対する正味の寿命時間エネルギー出力（kWh単位で）を大幅に増加させる。本開示のセル設計及びモジュール組立体は、延長された時間（例えば、モジュールの30～40年の寿命）にわたって安定した劣化のない現場操業も提供し、正味の寿命時間電気エネルギー出力をさらに増加させる。モジュール製造コストは、市場参入時の先導する高性能c-Si太陽電池セル/モジュールのそれよりも30%～65%低くなると期待される。これは、現在の業界ロードマップ及び予測と比較して、使用者に対するROI損益分岐時間を短縮する可能性がある。さらなる利点は、向上された現場性能安定性及び信頼性並びに低減された環境影響（非毒性材料及び短縮したEPBT）を含む。さらに、本開示のセル及びモジュール設計は、制限された建物の屋根又は壁面領域からの電気発生を最大化するために有利である、配電網連結への用途に理想的である。

【0048】

本開示の吸収体シリコン膜厚さは、約1～30ミクロンの範囲の値でよい。より薄いシリコン層は、より少ない材料消費のために好ましい（一実施例では、1～10ミクロン）。3-D TFS C基板の3-D幾何学構造に起因する有効表面積の増加を考慮に入れた後でさえ、本開示の3-D TFS C基板は、最新技術のウエハを基礎にしたc-Si太陽電池セルよりも大幅に少ないシリコン材料しか消費しない。さらに、切断即ちカーフ・ロスがない。同様に、3-D結晶シリコン膜は、再使用可能なテンプレートからの取外しでプロセスの準備ができているから、切断損傷除去の必要がない。これは、シリコン消費に関連する太陽電池セル・コストを大幅に低減する。自己支持3-Dエピタキシャル・シリコン薄膜は、低コストの再使用可能な結晶（単結晶又は多結晶）シリコン基板（テンプレート）上に被着され、そこから取り外される。テンプレートは、修繕される又はリサイクルされる前に何度も再使用できる。どんな金属不純物も、3-D結晶シリコン膜を汚染するのを防止されるから、テンプレートは、はるかにより低コストの冶金学的等級のc-Siからでさえ選択できる。

【0049】

図3は、従来技術の全体的な結晶太陽電池セル加工プロセス・フローを要約し、従来技術と比較して、本開示によって排除される特定のステップを強調したものである。図4は、従来技術と比較して、本開示の全体的なセル及びモジュール加工プロセス・フロー並びに競争力のある利点を要約する。ここで強調されるように、本開示は、3-D TFS C基板及び3-D TFS Cの加工を可能にし、それ故に、半導体吸収体材料（例えば、シリコン）の消費並びにセル及びモジュール製造コストを大幅に低減する。

【0050】

以下の図は、3-D TFS C基板構造の実施例を示す。結晶シリコン膜厚さは、2～

30ミクロンの範囲であり、好ましくは2～10ミクロンの低い方の端の範囲である。これは、最新技術のシリコン太陽電池セル・ウエハ厚さ（約200ミクロン）よりも大幅に小さい（約20分の1～100分の1）。

【0051】

これらの3-D TFSC基板は、3-D角錐形状TFSCを加工するために使用される。

【0052】

図5は、周囲平面シリコン・フレーム104を有する、TFSC基板102を使用するハニカム六角形角錐配列設計TFSCの上面図100を示す。その設計は、高アスペクト比（又は低開口角）の六角形角錐単位セル106の周期配列を含む。一実施例によれば、フレーム長さ（S）104は、125mm～200mm超である。シリコン・フレーム104は、TFSC基板102と同じ厚さを有してもよく、又ははるかにより厚くてもよい（例えば、シリコン・フレーム厚さ＝5～500ミクロン）。好ましくは、フレームの上面は上部太陽電池セル相互接続として使用される（それは、上部ハニカム・コンタクトと一緒に金属化処理され、ハニカム・コンタクトに電氣的に接続される）。一実施例によれば、フレーム104の幅108は、約125ミクロン～1mmである。TFSC基板の膜厚さ110は、約2～30ミクロンであり、好ましくは2～10ミクロンである。典型的には、大面積（例えば、200mm×200mm）のTFSC基板102を形成するために、数百万の（又はわずか数千の）これらの六角形角錐単位セル106が設けられる。

【0053】

図6は、厚さ108のより大きな周囲平面シリコン・フレーム104を有する代替ハニカム六角形角錐配列設計TFSC基板102の上面図120を示す。

【0054】

以下の図を参照する際、YY軸及びZZ軸は、図7及び図8で示されている。

【0055】

図7は、上記で概説されたプロセス・ステップを使用して形成される、（等辺の）正六角形角錐3-D TFSC基板102の上面図130を示す。各六角形単位セル106は、点144として示される六角形角錐の底部頂点（それは、裏面コンタクトを形成するであろう）とともに、六角形単位セル点（ H_1 、 H_2 、 H_3 、 H_4 、 H_5 、及び H_6 ）132、134、136、138、140、及び142を含む。図7はさらに、六角形角錐3-D TFSC基板側壁146、単位セル六角形の対角寸法（d）148、及び六角形単位セル水平距離（h）150を示す。一実施例では、六角形角錐3-D TFSC基板側壁146は、2～30ミクロンの厚さである。

【0056】

図8は、図7で示されたTFSC基板102の底面図160を示す。この図では、六角形角錐後部（底部）頂点144が六角形の中心に示されている。ハニカム六角形は、3-D TFSC基板の上部ハニカム・リッジの底面図である。

【0057】

図9は、フレーム縁部において太陽電池セル六角形前側エミッタ・コンタクトに接続される自己整合周囲エミッタ・ラップ・アラウンド・コンタクト172を有する複数単位セル106の図170を示す。前側174及び裏側コンタクト176の両方は、自動化モジュール組立てを容易にするために、セルの後側で利用可能であることに留意されたい。

【0058】

図10は、図9で示される薄いフレームと比較して、厚いシリコン・フレームを有する3-D自己支持六角形角錐TFSC基板図180を示す。厚いフレームは、約500～1000ミクロンの幅を有してもよく、（厚いシリコン・フレームを再使用可能なシリコン・テンプレート上に置くことによる）エピタキシャル・シリコン被着プロセス中に又はシリコン・エピタキシー及び3-D基板取外し（電子ビーム溶接による）後に、3-D TFSC基板102と融合されてもよい。

【0059】

図 1 1 は、3 - D T F S C 基板及びセル加工プロセス・フローの概観を示す。3 - D T F S C 基板加工を説明する図 1 1 の上部に焦点を合わせると、このプロセス・フローでの第 1 のステップは、事前加工されたテンプレートを使用することに留意されたい。事前加工された 3 - D トレンチ又は溝パターンを有するテンプレートは、3 - D T F S C 基板の形成に使用でき、次いで 3 - D T F S C の形成で使用され、以前に開発された T F S C 及びウエハを基礎にした結晶シリコン・セル技術に関する不都合及び問題を実質的になくすか又は低減する。テンプレートは、修繕される又はリサイクルされる前に多数の 3 - D T F S C 基板を加工するために何度も（例えば、数十～数百回）使用できる。一実施例では、テンプレートは、リサイクルされる前に 3 - D T F S C 基板を加工するために数百回使用されてもよい。テンプレートは、それが比較的転位がないままである限りは、及び / 又はそれが、許容できる制御限界内の幅及び（例えば、インライン計測法によって計られるような）表面条件を有する、許容できるトレンチ又は溝パターンを維持する限りは、再使用できる。

10

【 0 0 6 0 】

図 1 2 は、上述のプロセス・フローを使用して基板前側 2 0 6 内に形成された、ポスト 2 0 4 間の六角形角錐トレンチ（溝部）2 0 2 を示すテンプレート 2 0 0 の Y - Y 断面図を示す。トレンチ 2 0 2 の底部 2 0 8 は貫通ウエハ裏側の好ましくは小さい直径の穴 2 1 2 に接続しており、この穴はテンプレート裏側 1 3 0 に接続される。一実施例では、穴 2 1 2 は、直径が 1 ~ 1 0 ミクロンである。穴 2 1 0 は、その後の犠牲層の湿式エッチング並びに 3 - D シリコン膜の取外し及びリフト・オフのために使用される。テンプレート 2 0 0 は、L 2 1 4（一実施例では 0 ~ 2 5 ミクロンであるが、数百ミクロンまでもっと大きくてもよい）、3 - D 単位セル高さ H 2 1 6、角錐角 α 2 1 8、及び単位セル開口直径 h 2 0 を有する。六角形角錐 3 - D T F S C 基板（図示されず）は、最初にテンプレート上に適切な比較的共形の薄い犠牲層（一実施例では、多孔質シリコン）を形成し、次いで六角形角錐ポスト 2 0 6 間のトレンチ内を充填し、その後に六角形角錐 3 - D T F S C 基板とテンプレートとの間に被着された犠牲層（図示されず）を選択的にエッチングすることによって六角形角錐 3 - D T F S C 基板を取り外すことによって加工される。

20

【 0 0 6 1 】

以下の図は、3 - D T F S C 基板構造の実施例を示す。結晶シリコン膜厚さは、2 ~ 3 0 ミクロンの範囲であり、好ましくは 2 ~ 1 0 ミクロンの低い方の端の範囲である。これは、最新技術のシリコン太陽電池セル・ウエハの厚さ（約 2 0 0 ミクロン）よりも大幅に小さい（約 2 0 分の 1 ~ 1 0 0 分の 1）。

30

【 0 0 6 2 】

図 1 3 は、上記で示される T F S C 基板 1 0 2 の個々の六角形角錐単位セル 1 0 6 の準 3 - D 図 2 3 0 を示す。単位セル 1 0 6 の上部六角形開口は、薄膜太陽電池セル（T F S C）の前側自己整合相互接続コンタクトを形成する。六角形角錐セル 1 0 6 の側壁を形成する半導体膜の幅（W）1 1 0 及びセル 1 0 6 の高さ（H）2 3 2、及び $d/2$ 2 3 4 もこの図に示される。

【 0 0 6 3 】

40

図 1 4 は、3 - D 六角形角錐 T F S C 基板 1 0 2 の Z Z 断面図 2 4 0 を示し、六角形角錐上部開口角 β 2 4 2 を示している。三角形の底部頂点 1 4 4 は、六角形角錐の後部頂点である（ここにベース・コンタクトが置かれるであろう）。実線は、厚さ 1 1 0（一実施例では、約 1 ~ 2 5 ミクロンの厚さ）を有する 3 - D T F S C 基板薄膜シリコン層を示す。図 1 5 は、六角形角錐 T F S C 基板 1 0 2 の Y Y 断面図 2 5 0 を示し、六角形角錐上部開口角 α 2 5 2 を示している。

【 0 0 6 4 】

図 1 6 は、膜厚さ 1 1 0 と同じ厚さを有する（図 5 で示されるフレーム 1 0 4 と同様の）薄い四角形シリコン・フレーム 1 0 4 を有する 3 - D 自己支持六角形角錐 T F S C 基板 1 0 2 の実施例の Y Y 断面図 2 7 0（縮尺なし）を示す。シリコン・フレーム幅（W）1

50

08は、50～250ミクロンである。上部六角形ハニカム・シリコン・リッジ272の幅は好ましくは、h 150及びH 232よりもはるかに小さいことに留意されたい。一実施例では、上部ハニカム・リッジ272の幅は、約0.5ミクロン～5ミクロン未満である。

【0065】

図17は、(図6で示されるフレーム104と同様の)より厚い四角形シリコン・フレーム104を有する3-D自己支持六角形角錐TFSC基板102の実施例のYY断面図290(縮尺なし)を示す。フレームの厚さは、膜厚さ110と同じではないことに留意されたい。その代わりに、厚いシリコン・フレームは、約100～500ミクロンの厚さでもよい。シリコン・フレーム幅(W)108は、50～250ミクロンである。好ましくは、厚い周囲シリコン・フレームは低コストの冶金学的等級シリコンでできていてもよく、次の方法の1つを使用して3-D TFSC基板に取り付けられてもよい。即ち(i)厚いシリコン・フレームが再使用可能なシリコン・テンプレート上に置かれ、エピタキシャル・シリコン成長プロセス中に3-D薄膜シリコン膜と融合される。(ii)厚いシリコン・フレームへの3-D TFSC基板の電子ビーム溶接(再使用可能なシリコン・テンプレートからの3-D TFSC基板のリフト・オフ/取外し後)、又は(iii)(型締め圧のもとで)3-D TFSC基板への厚いシリコン・フレームの熱接合。厚いシリコン・フレームは、3-D TFSC基板の機械的支持及び剛性の向上のために使用できる。

【0066】

以下、3-D薄膜太陽電池セル(TFSC)を加工するために、上述の3-D TFSC基板を使用するプロセスを詳述する。特に、以下の図は、ファイア・スルー金属化処理及び選択メッキ金属化処理の代替方法を使用するプロセス・フローの実施例を説明する。これらのプロセス・フローは、フォトリソグラフィ又はスクリーン印刷のどのプロセスをも使用しない。太陽電池セル基板の3-D六角形角錐構造設計は、全体のセル・プロセス・フローにわたって自己整合処理を可能にする。エミッタ及びベース・コンタクト並びに金属化処理領域は、前側エミッタ及び裏側ベース領域の比較的小さな部分をそれぞれ覆う。図示されるように、選択エミッタ及びベースのドーピングは、好ましくは両面ローラー塗布方法を使用する、3-D六角形角錐基板の上部及び底部へのn型及びp型ドーパント・ペーストの自己整合適用によって達成される。3-D基板は、次いで硬化され、3-D基板の前側へのn⁺選択エミッタ及び後側へのp⁺ドーパント・ベースを形成するためにベルト炉へ進む。好ましいn型ドーパント源はリンであり、好ましいp型ドーパント源はホウ素である。

【0067】

図18～図20は、ファイア・スルー金属化処理を使用するプロセス・フローを示すが、図21～図25は、選択メッキ金属化処理を使用するプロセス・フローを示す。

【0068】

図18に示されるプロセス・フロー400は、銅(Cu)又は銀(Ag)メッキ後のフォーミング・ガス・アニール(FGA)のステップとともに、ファイア・スルー金属化処理を使用する実施例を示している。ステップ402は、p型3-DシリコンTFSC基板から始める。ステップ404は、六角形角錐の上部部分(一実施例では、上部2～10ミクロンの高さ)をn型液体又はペースト・ドーパント源で選択的に塗布することを含む。塗布は、ドーパント・ペースト/液体を使用する自己整合ローラー塗布、又は制御された液体ドーパント源深さに浸漬することによる液体浸漬塗布によって実施される。次いで、ドーパント層は乾燥され/硬化される(250～400又はUV)。ステップ406は、自己整合エミッタ・コンタクトの形成を含む。角錐頂点の底部部分は、p型液体又はペースト・ドーパント源で選択的に塗布される(一実施例では、約2～10ミクロンの高さ)。塗布は、ドーパント・ペースト/液体を使用する自己整合ローラー塗布、又は制御された液体ドーパント源深さに浸漬することによる液体浸漬塗布によって実施される。次いで、ドーパント層は乾燥され/硬化される(250～400又はUV)。ステップ

408は、自己整合選択エミッタ形成を含み、ここで上部 n^+p 及び $n^{++}p$ 接合並びに後部 p^+ 頂点は、アニール（例えば、800～950）によって同時に形成される。ドーパント層の乾燥及びアニールは、単一ベルト炉内で連続して実施できる。好ましくは、基板は、 n^+ 領域の気相ドーピング形成を促進するために、加熱された平面上で面を下にして、又は前側の面と面を接触させた基板対でアニールできる。ステップ410（表面パシベーション及びARC）では、（一実施例では、希釈HFを使用して）ドーパント源層及び自然酸化物が取り除かれる。薄い酸化物が、水蒸気酸化によって成長させられ（例えば、850～950で3～10nm）、次いで SiN_x ARCが、PECVDによって被着される。両方の層は、両方のシリコン面上に形成され、同時にPECVD- SiN_x は、シリコンのHパシベーションをも提供する。ステップ412（自己整合金属化処理）では、六角形角錐の上部部分は、自己整合ローラー塗布を使用して金属（Ag）ペーストで選択的に（ドーパント源よりも低い高さまで）塗布され、次いで乾燥され、硬化される。次に、六角形角錐の底部頂点は、自己整合ローラー塗布によって金属（Al又はAg）ペーストで後側に選択的に塗布され、次いで乾燥され、硬化される。ステップ414（自己整合金属化処理（焼成））では、前部（Ag）及び後部（Al、Ag）金属化処理領域が、熱酸化物/PECVD SiN_x 層をファイア・スルーすることによって形成される。ステップ416は、任意選択の自己整合金属化処理ステップを含む。ここでは前部及び後部相互接続抵抗値を低減し、表面/バルク・パシベーションに役立つために、FGAが実施される（例えば、300～450）。ステップ418は、任意選択の自己整合金属化処理ステップを含み、ここではCu又はAgが、メッキによって金属化処理上部ハニカム・リッジ及び底部六角形角錐頂点に選択的に/同時に被着される（例えば、1～5ミクロン）。金属化処理領域は次いで、Agでフラッシュ被覆される。ステップ420では、太陽電池セル裏側金属化処理六角形角錐頂点が、Cu又はAgミラー板又は箔（穴をあけられてもよい）にはんだ付けされ、次いでAgでフラッシュ被覆される。後部ミラーは、後部電気コネクタとしての機能も果たす。最後に、ステップ422では、太陽電池セルは、太陽電池モジュール/パネルに実装することができる。

【0069】

代替ファイア・スルー金属化処理プロセス・フロー430が、図19に示される。エミッタ・コンタクト及び相互接続は、上部ハニカム・リッジ上に作られるが、ベース・コンタクトは、後部六角形角錐頂点に形成される。この実施例では、後部ベース・コンタクト領域は、ファイア・スルー・プロセス中にAlによって高濃度にドーブされる（ホウ素ドーパント源による別個の p^+ 後部ベース・ドーピングは使用されない）。フォーミング・ガス・アニール（FGA）は、Cu及び/又はAgメッキ後に実施される。ステップ432（基板を提供する）は、図18でのステップ402に対応し、ステップ434（上部部分を選択的に塗布）は、ステップ404に対応する。しかし、ステップ406（底部部分の選択的塗布）は、次には実施されない。その代わりに、その後のステップ436～450が、ステップ408～422に対応する。

【0070】

別の代替ファイア・スルー金属化処理プロセス・フロー460が、図20に示される。図19でのプロセス・フロー430と比較すると、フォーミング・ガス・アニール（FGA）ステップは、Cu及び/又はAgメッキの前に実施される。特に、図19のステップ444及び446は、図20のステップ474及び476で入れ替えられて記載されている。

【0071】

上述のように、図21～図25は、選択メッキ金属化処理を使用するプロセス・フローを示す。

【0072】

図21に示されるプロセス・フロー490は、選択メッキ金属化処理を使用する実施例を述べる。ステップ492（基板の提供）は図18のステップ402に対応し、ステップ494（上部部分を選択的に塗布）はステップ404に対応し、ステップ496（底部部

10

20

30

40

50

分を選択的に塗布)はステップ406に対応し、ステップ498はステップ408に対応し、ステップ500はステップ410に対応する。しかしながら、ステップ502(自己整合金属化処理)は、エッチング剤のペーストの自己整合ローラー塗布により六角形角錐の上部部分(ドーパント源より低い高さまで)を選択的にエッチングし、続いてすすぎ、後部六角形角錐頂点でそのプロセスを繰り返すことを含む。ステップ504(自己整合金属化処理)は、単一メッキ・プロセス(例えば、Ag、Ni、Pt、Ti、Co、Ta)によって前部及び後部金属化処理領域を同時に形成することを含む。ステップ506は、任意選択の自己整合金属化処理ステップを含む。ここでは前部及び後部相互接続抵抗値を低減するため及び表面/パルク・パシベーションに役立つために、フォーミング・ガス・アニール(FGA)が実施される(例えば、300~450)。ステップ508は、自己整合金属化処理を含み、ここではCu又はAgが、メッキによって金属化処理上部ハニカム・リッジ及び底部六角形角錐頂点に選択的に/同時に被着される(例えば、1~5ミクロン)。ステップ510(はんだ付けする)及びステップ512(実装を進める)は、上記と同じである。

【0073】

代替選択メッキ金属化処理プロセス・フロー520が、図22に示されている。p⁺ドーパント・ペースト塗布は、後部ベース・コンタクトのドーピングには使用されない。後部ベースp⁺コンタクトのドーピングは、メッキを使用する後部ベース頂点A1金属化処理後にアニール・プロセスを使用するベース・コンタクト領域内のA1ドーピングによって実施される。ステップ522(基板を提供する)は図18でのステップ492に対応し、ステップ524(上部部分を選択的に塗布する)はステップ494に対応する。しかしながら、ステップ496(底部部分の選択塗布)は、次には実施されない。その代わりに、ステップ526(自己整合選択エミッタ)が次に実施され、ステップ498に対応する。ステップ528(表面パシベーション及びARC)は、ステップ500に対応し、ステップ530(自己整合金属化処理)は、ステップ502に対応する。ステップ532では、後部金属化処理領域は、A1後部メッキ・プロセス(例えば、後部/裏面のみを浸漬メッキする)によって選択的に形成される。ステップ534では、金属(Ag、Ni)が、前部露出ハニカムn⁺⁺ドープ領域及び後部A1金属化処理領域に選択的にメッキされる。ステップ536は、A1ドープ後部p⁺頂点を形成するためにFGA(300~450)を実施することを含む。FGAは、前部及び後部相互接続抵抗値を低減し、表面/パルク・パシベーションに役立つ。ステップ538(メッキする)はステップ508に対応し、ステップ540(はんだ付け)はステップ510に対応し、ステップ542(実装を進める)はステップ512に対応する。

【0074】

別の代替選択メッキ金属化処理プロセス・フロー550が、図23に示される。図21の実施例とは対照的に、ローラー・ペースト・エッチング・プロセスは、ここでは使用されない。その代わりに、ここでのプロセスは、ドーパント源層の選択エッチングを使用する。ステップ552(基板を提供する)、ステップ554(上部部分を選択的に塗布する)、及びステップ556(底部部分を選択的に塗布する)は、図21でのステップ492~496に対応する。ステップ558(自己整合選択エミッタ)は、5~50nmの熱酸化物を成長させるための最初は不活性(Ar、N₂)雰囲気中で、次いで酸化(水蒸気)雰囲気中での連続したアニール(例えば、800~950)によって、上部n⁺p及びn⁺⁺p接合並びに後部p⁺頂点を同時に形成することを含む。ドーパント層の乾燥及びアニールは、単一ベルト炉で連続して実施できる。ステップ560は、熱酸化物と比較して高いエッチング選択性を有するウエット・エッチングを使用して、酸化物のわずかな部分のみを除去しながら、ドーパント源層を選択的にエッチングすることを含む。ステップ562(メッキする)はステップ504に対応し、ステップ564(メッキする)はステップ508に対応する。ステップ566は、裏側金属化処理六角形角錐頂点をA1ミラー板又は箔(穴をあけられてもよい)にはんだ付けし(鉛フリーはんだ)、次いでAgでフラッシュ被覆することを含む。後部ミラーは、後部電気コネクタとしての機能も果たす。

ステップ568は、前部及び後部の両方の表面にARC層（例えば、低温PECVD SiN_x）を同時に被着させることを含む。ARC層は、スペクトルの低周波数変換を含むことができる。ARC層は、追加のHパシベーションにも役立つ。前側太陽電池セル及び後部ミラーの周囲は、セル/モジュール相互接続を容易にするためにPECVD中はマスクされるべきであることに留意されたい。ステップ570（FGA）は、ステップ504に対応し、ステップ572（実装）は、上記と同じである。

【0075】

別の代替選択メッキ金属化処理プロセス・フロー580が、図24に示される。図23のプロセス・フロー550と比較して、このプロセスは、ただ1つの高温（アニール及び酸化）プロセス・ステップを使用する。ステップ582～596は、図23のステップ552～566と同じである。しかしながら、ステップ598では、ARC層（例えば、低温PECVD SiN_x）は、太陽電池セル前面上だけに被着される。ステップ600及びステップ602は、図23のステップ570及びステップ572と同じである。

【0076】

別の代替選択メッキ金属化処理プロセス・フロー610が、図25に示される。図24のプロセス・フロー580のように、このプロセスは、ただ1つの高温（アニール及び酸化）プロセス・ステップを使用する。ステップ612～620は、図24からのステップ582～590に対応する。しかしながら、ステップ592（メッキする）は、実施されない。その代わりに、メッキ・ステップ594だけが実施され、ステップ622に対応する。ステップ624～630は、図24のステップ596～602に対応する。

【0077】

上記のプロセス・ステップは、統合されたインライン・プロセス装置で実施されてもよい。例えば、図26は、炉内アニールよりも前に液体/ペースト塗布及びUV又はIR硬化の2つのプロセス・ステップを実施するための設定図640を示し、それは、インライン拡散炉でのアニール後の選択エミッタ及びベース領域のそれに続く形成を可能にする。この統合されたインライン・プロセス装置は、ローラー塗布による3-D TFSC基板上部リッジ及び後部リッジへのドーパント液体又はペースト塗布の自己整合形成を可能にする。ローラー塗布は、拡散炉とインラインに統合された、大気圧、ベルト駆動塗布及び硬化装置を使用して実施できる。一実施例では、上部リッジは、n型ドーパント液体/ペーストで塗布され、後部リッジは、p型ドーパント液体/ペーストで塗布される。

【0078】

3-D TFSC基板642が投入コンベヤー・ベルト646に乗って入ってくるところ644が示されている。上部ローラー・パッド650を有する回転上部ローラー648は、上部リッジをn型ペーストで塗布するために制御された下向きの力を印加する。後部ローラー・パッド654を有する回転後部ローラー652は、後部リッジをp型ペーストで塗布するために制御された上向きの力を印加する。異なる液体又はペースト材料をローラーの上部648及び/又は後部652の組の各ローラーに加える（又は流す）ことによって、多層材料が、3-D TFSC基板の各面上に塗布できる。次に、3-D TFSC基板642は硬化領域内に移動し、ここでドーパント液体/ペースト層が、IR又はUV硬化ビーム658を使用する硬化ランプ656を使用して同時に形成される。次に、3-D TFSC基板642が送出コンベヤー・ベルト662へ出ていくところ660が示されており、それは、基板642をインライン拡散炉へ移動させ、そこでn⁺及びp⁺コンタクト並びに選択エミッタ領域が、同時に形成される。

【0079】

同様のローラー塗布機設定は、エミッタ及びベース・コンタクト金属化処理を形成するために（及び適用可能なときはいつでも、またアルミニウム・ドーパ⁺⁺ベース・コンタクト領域も形成するために）、ファイア・スルー金属化処理のための、金属液体/ペースト塗布（例えば、銀及び/又はアルミニウム液体又はペースト源）、金属液体/ペースト源の硬化、及びその後の熱アニールのインライン大気炉（抵抗加熱又はランプ加熱炉）中での実施に適切に構成および使用できる。

【 0 0 8 0 】

図 2 7 は、図 2 6 のローラー塗布機 / 硬化 / 炉設定と同じプロセスを実施するための代替設定設計図 6 7 0 を示す。図 2 7 の設定は、傾斜スプレー塗布による 3 - D T F S C 基板上部リッジ及び後部リッジへのドーパント源液体 / ペースト塗布の自己整合形成のために使用できる。この設定は、インライン拡散炉と容易に統合できるインライン大気圧塗布及び硬化及び拡散装置構成を利用できる。図 2 6 でのローラー塗布機設定のように、多層材料は、異なる液体源（ここでは図示されず）に接続される複数組のスプレー・ノズルを使用し、スプレー・ノズルの上部及び / 又は後部の組の各ノズルに異なる液体源材料を加える（又は流す）ことによって、基板の各面に塗布できる。これは、図 2 6 で示されるローラー塗布システムに対する代替技術である。一実施例では、上部リッジは、n 型ドーパント液体 / ペースト（リンなど）により塗布され、後部リッジは、p 型ドーパント液体 / ペースト（ホウ素など）で塗布される。図 2 7 を参照すると、3 - D T F S C 基板 6 4 2 は、投入コンベヤー・ベルト 6 4 6 に乗って入ってくるところ 6 4 4 を示されている。傾斜ノズル 6 7 2 は、表面に対して鋭角で n 型ドーパント液体を表面に吹き付ける（ノズルはウエハ幅をカバーする）。この n 型ドーパント液体は、n 型液体ドーパント源及びノズル貯蔵器 / ポンプ 6 7 4 から供給される。傾斜ノズル 6 7 6 は、表面に対して鋭角で p 型ドーパント液体を表面に吹き付ける（ノズルはウエハ幅をカバーする）。この p 型ドーパント液体は、p 型液体ドーパント源及びノズル・ポンプ 6 7 8 から供給される。次に、3 - D T F S C 基板 6 4 2 は硬化領域に移動し、ここでドーパント液体 / ペースト層が、I R 又は U V 硬化ビーム 6 5 8 を使用する硬化ランプ 6 5 6 を使用して同時に形成される。次に、3 - D T F S C 基板 6 4 2 は、送出コンベヤー・ベルト 6 6 2 へ出ていくところ 6 6 0 を示され、それは、基板 6 4 2 をインライン拡散炉へ移動させ、そこで n⁺ 及び p⁺ コンタクト並びに選択エミッタ領域が、同時に形成される。

【 0 0 8 1 】

傾斜スプレー技術は、液体 / ペースト塗布の垂直高さをリッジの一部分に制限し、液体源が六角形角錐空洞側壁及び / 又は後部の内側部分を塗布することを妨げる。また、この型のインライン（又は別の駆動方法の）処理システムは、上部及び / 又は後部六角形角錐リッジからの誘電体（例えば、酸化物及び / 又は固体ドーパント源層）の選択エッチングのための液体エッチング剤を塗布するのと同様に、ファイア・スルー金属化処理適用のための金属源液体（例えば、銀及び / 又はアルミニウム源液体）を塗布するためにも使用することができる。

【 0 0 8 2 】

図 2 8 は、図 2 6 のインライン・ローラー塗布機 / 硬化設定及び図 2 7 のインライン・スプレー塗布機 / 硬化設定と同じプロセスを実施するための、別の代替設定の図 6 8 0 を示す。図 2 8 での設定は、液体浸漬塗布による 3 - D T F S C 基板上部リッジ及び後部リッジへのドーパント液体 / ペースト塗布の自己整合形成に使用できる。また、この設定は、インライン拡散（又はファイア・スルー）炉の投入段に取り付けられるために、インライン大気圧塗布及び硬化装置構成を利用できる。

【 0 0 8 3 】

一実施例では、上部リッジは、n 型ドーパント液体 / ペースト（リンなど）を塗布され、後部リッジは、p 型ドーパント液体 / ペースト（ホウ素など）を塗布される。3 - D T F S C 基板 6 4 2 は、投入コンベヤー・ベルト 6 4 6 に乗って入ってくるところ 6 4 4 を示される。n 型液体ドーパント源を収容する液体膜供給装置（ディスペンサ）6 8 2 は、制御された厚さの n 型液体ドーパント膜 6 8 4 を塗布する。この n 型ドーパント液体は、n 型液体ドーパント源並びに液体レベル及び深さコントローラ 6 8 6 から供給される。p 型液体ドーパント源を収容する液体膜供給装置（ディスペンサ）（周囲空気を浮遊させる）6 8 8 は、制御された厚さの p 型液体ドーパント膜 6 9 0 を塗布する。この p 型ドーパント液体は、p 型液体ドーパント源並びに液体レベル及び深さコントローラ 6 9 2 から供給される。次に、3 - D T F S C 基板 6 4 2 は、硬化領域内に移動し、ここでドーパント液体 / ペースト層が、I R 又は U V 硬化ビーム 6 5 8 を使用する硬化ランプ 6 5 6 を

使用して同時に形成される。次に、3-D T F S C 基板 6 4 2 は、送出コンベヤー・ベルト 6 6 2 へ出ていくところ 6 6 0 を示され、それは、基板 6 4 2 をインライン拡散炉へ移動することができる。ここで n^+ 及び p^+ コンタクト並びに選択エミッタ領域が、同時に形成される。

【 0 0 8 4 】

図 2 6 及び図 2 7 の設定のように、多層材料は、複数組の液体浸漬塗布器（ここでは図示されず）を使用し、塗布器の上部及び／又は後部の組の各液体浸漬塗布器に異なる液体源材料を加える（又は流す）ことによって、3-D T F S C 基板の各面に塗布できる。また、この型の処理システムは、上部及び／又は後部リッジからの誘電体（例えば、酸化物及び／又は固体ドーパント源層）の選択エッチングのための液体エッチング剤を塗布することと同様に、ファイア・スルー金属化処理のための液体金属を塗布するために使用できる。

【 0 0 8 5 】

以下の項は、上記で概説されたプロセス・フローの様々な段階中の、T F S C 基板の断面図を示す。以下の図では、相対的な寸法は、縮尺により示されない。

【 0 0 8 6 】

図 2 9 は、インライン・ベルト駆動装置などの適切なプロセス装置内での上述のドーピング・プロセス・ステップ（ドーパント液体／ペーストのローラー塗布又はスプレー塗布又は液体浸漬塗布又は別の液体／ペースト転写塗布、乾燥／硬化、及び拡散炉内アニール）後の、3-D 基板 1 0 2 の断面図 7 0 0 を示す（六角形角錐セル 1 0 6 の 1 つを示す）。六角形リッジの上部部分 2 7 2 を覆う n 型（例えば、リン）ドーパント・ペースト又は液体 7 0 2 に関して、拡散炉内での単一の炉内アニール・プロセス（例えば、約 8 0 0 ~ 9 5 0 °C で）により、硬化された n 型ドーパント固体源層 7 0 2 と直接接触する及びその下にある上部シリコン六角形リッジ上に、より高い表面リン濃度を有する、より高濃度にドーピングされたコンタクト拡散領域 7 0 4 が作製される。六角形角錐空洞内の隣接する前側領域への気化ドーパント源の気体又は蒸気相輸送を通じて、炉内アニール／拡散プロセスにより、固体ドーパント源層により被覆されていない残りの前面領域 7 0 6 は、より小さい表面濃度及びより小さい用量でリンを同時にドーピングされ、それ故に、より低濃度の表面ドーピングを有する自己整合選択エミッタ領域を形成する。これらのより低濃度にドーピングされた領域 7 0 6 は、太陽電池セルの青色応答を改善し、他方、より高濃度にドーピングされたリッジ 7 0 4 は、改善されたセル・エミッタ・コンタクト金属化処理に対して、太陽電池セルの前側コンタクト抵抗を最小化するであろう。同様に、同じ炉内アニール・プロセスにより、低ベース・コンタクト抵抗のために、より高濃度にドーピングされた p^+ - ドーピング 7 0 8 六角形角錐後部頂点 1 4 4 が作られ、他方、残りの裏側ベース領域 7 1 0 は、表面に、より低濃度にドーピングされる。図 2 9 で示される実施例では、 L_{712} は、 H_{232} よりもはるかに小さく、 h_{150} よりもはるかに小さい。ここで、 H_{232} は 1 0 0 ~ 5 0 0 ミクロンであり、一方 L_{712} は、2 ~ 2 0 ミクロンである。 l_{714} 及び α_{716} も示され、ここで $l = L / \cos(\alpha / 2)$ 及び $\alpha / 2 = \tan^{-1}(h / 2H)$ である。 L'_{718} 、及び l'_{720} も示され、ここで l' は、高濃度にドーピングされた接合領域の傾斜した高さである。

【 0 0 8 7 】

図 3 0 は、エミッタ及びベース・コンタクト並びに太陽電池セル相互接続の自己整合形成後の Y Y 断面図 7 3 0 及び 7 4 0 を示す。図示されるように、エミッタ・コンタクトは、全てのセル・コンタクトを太陽電池セルの後側に作るために（太陽電池モジュール組立て自動化を容易にするために）、3-D 基板フレームの周りを巻き付けられることが好ましい（又は、図示されないフレームの穴を通して巻き付けられてもよい）。図 3 0 で示されるように、自己整合前側ハニカム・コンタクト 1 7 4 は、ハニカム構造のより高濃度に n^+ - ドーピングされた上部リッジ 7 0 4 内に置かれる（それ故に、コンタクト抵抗が非常に低い）。エミッタ・コンタクトで被覆されない残りの上部領域（隣接する固体ドーパント源領域からの近接蒸気相ドーピングによってドーピングされる六角形角錐側壁領域の大部分で

ある)は、より低濃度にドーブされた n^+ 選択エミッタ領域を有し、優れた太陽電池セル青色応答を可能にする。後側六角形角錐頂点上のベース金属化処理コンタクト176は、より高濃度に p^+ ドーブされた領域(固体ドーパント源層との直接接触によって形成される)を被覆し、ベース・コンタクト金属化抵抗を小さくする。3-D基板の後側の残りのベース表面領域は、より低濃度にホウ素でドーブされ(隣接する固体ドーパント源領域からの近接蒸気相ドーピングによって)、非常に低い表面再結合速度及びセル性能の改善を可能にする。表面パシベーション及びARC層(熱 SiO_2 及びPECVD又はPVD水素化 SiN_x)736も示されている。

【0088】

図31及び図32は、太陽電池セル加工プロセスの完了後の、及び後部ベース・コンタクト176(後側六角形角錐金属化処理頂点)を後部セル・ミラー754(及びベース相互接続)板にはんだ付けした(又は適切な導電性エポキシで接続した)752後の、3-D六角形角錐太陽電池セルのYY断面図750及び760を示す(単一六角形角錐単位セル及びいくつかの隣接単位セルをそれぞれ示す)。このミラー/相互接続板は、多数の材料、好ましくはAg被覆Cu又はAg被覆Al(又は任意の他の適切な導電性及び光学的反射性の材料)で作ることができる。高反射性後部ミラー及び太陽電池セルの3-D六角形角錐構造の組合せ(及び太陽電池セルの前側ハニカム・パターン開口762)は、非常に効率の良い光閉じ込めを保証し、非常に薄い結晶シリコン膜を使用する超高効率太陽電池セルを可能にする。

【0089】

次の図は、上記で概説されたTFSCの加工のためのプロセス・フローの様々なステップに対応する代替図を示す。

【0090】

図33は、選択エミッタ領域及び高濃度にドーブされたエミッタ・コンタクト拡散領域を形成するための(好ましい実施例は、選択エミッタ接合領域を含むドーブされた拡散領域を形成するための単一の炉内アニール/拡散プロセス前に、 n 型及び p 型の両方のドーパント・ペースト又は液体を前側及び裏側にそれぞれ塗布する)、前側ハニカム・リッジ272上への n 型ドーパント・ペースト/液体702の自己整合ローラー塗布(又はスプレー塗布又は液体浸漬塗布又は別の適切な液体転写塗布)後の、並びに好ましくはインライン・ベルト炉中での乾燥/硬化及び炉内アニール後の、3-D六角形角錐TFSC基板102のYY断面図770を示す(1つの角錐単位セルを示す)。この構造は、短い熱酸化(例えば、5nm~10nmの熱酸化物を成長させるための)及びPVD又はPECVD ARC層(SiN_x)形成後の単位セルを示す。点線は、ドーブされた領域を示す(さらなる処理後、単位セル構造は、図29で示される)。この実施例は、事前の p^+ ベース・コンタクト・ドーピングを示さない(それは、ベース・コンタクト焼成プロセスを使用するAl後部ベース・コンタクト形成と併せて、Alドーピングによって行われるであろう)。

【0091】

図34は、 p 型ドーパント層のローラー塗布(又はスプレー塗布又は液体浸漬塗布又は別の適切な液体転写塗布)並びにそれに続く硬化及びアニール(エミッタと同じアニール)による p^+ ベース・コンタクト・ドーピングを示すということを除いて、図33と同様である。(メッキ後部ベース・コンタクトのための)自己整合固体ドーパント源ドーブの後部 p^+ コンタクト領域782は、点線を使用して例示される。

【0092】

図35は、図29で示される図700と同様の断面図790を示す。しかしながら、図35で示される実施例では、前側ハニカム・リッジへの n 型ドーパント・ペースト/液体の塗布のみである。裏側に適用される p^+ ドーパント・ペースト/液体はない。

【0093】

図36は、前側(上部)固体 n^+ (例えば、リンをドーブされた)固体ドーパント源層及び選択エミッタの自己整合形成後の、3-D六角形角錐基板102のYY断面図800

を示す。この構造は、図 4 1 で示される構造をもたらす。前側パターンは、エミッタ・コンタクト / 相互接続の形成のためにその後に使用されるであろうハニカム・リッジにより構成される。図 3 7 は、Z Z 断面図 8 1 0 を示す。

【 0 0 9 4 】

図 3 8 は、自己整合前側エミッタ及び後部ベース・コンタクトと同様、前側（上部）固体 n^+ （例えば、リンをドーパされた）及び p^+ 固体ドーパント源層、選択エミッタの自己整合形成後の、3 - D 六角形角錐基板 2 0 0 の Y Y 断面図 8 2 0 を示す（ファイア・スルー金属化処理について示されるが、選択メッキも、同じ構造を得るために使用できる）。この構造は、図 4 1 で示される構造をもたらす。前側パターンは、エミッタ・コンタクト / 相互接続の形成のためにその後に使用されるであろうハニカム・リッジにより構成される。図 3 9 は、Z Z 断面図 8 3 0 を示す。

10

【 0 0 9 5 】

図 4 0 は、（ハニカム・リッジ上の）自己整合前側エミッタ・コンタクト及び（六角形角錐後部頂点上の）後部ベース・コンタクトの形成後の、開示される主題の 3 - D T F S C 基板構造の一実施例の六角形角錐単位セルの概略的な準 3 - D 図 8 5 0 を示す。太陽光は、上部側から六角形角錐単位セル空洞内へと太陽電池セルに入る。

【 0 0 9 6 】

最後に、図 4 1 は、後部ミラー及びベース相互接続上での太陽電池セル組立ての代替実施例の図 8 6 0 を示す（第 1 の実施例は図 3 2 で示される）。鏡面反射性の後部ミラーで示される図 3 2 とは対照的に、この実施例は、拡散後部ベース・ミラー 8 6 2（反射された光を 3 - D セル構造内へ散乱させて戻すための粗面化された A g 被覆表面を有する）を使用する。

20

【 0 0 9 7 】

以上、六角形角錐 T F S C 基板の好ましい実施例を説明してきた。代替実施例は、四角形角錐、三角形角錐、その他を含む、多角形基底を有する反転角錐単位セルなどの単位セルのための代替設計を使用でき、他の実施例は、V 溝又は直交 V 溝パターン、その他を有する 3 - D T F S C 基板を含むことができる。例えば、図 4 2 は、四角形角錐単位セル構造を有する 3 - D T F S C 基板の上面図 8 6 4 を示す。このパターンと好ましい実施例の六角形角錐単位セルパターンとの間の主要な差異は、上部基底（又は角錐開口）幾何学形状（反転角錐単位セルに対する四角形基底対六角形基底）である。四角形角錐単位セルの垂直高さ及び基底面積の値は、六角形角錐単位セルのものと同程度である（同様の考察が適用される）。別の実施例は、図 4 3 で示され、それは、三角形角錐単位セル構造を有する 3 - D T F S C 基板の上面図 8 6 6 を示す。このパターンと好ましい実施例の六角形角錐単位セルパターンとの間の主要な差異は、上部基底又は角錐開口幾何学形状（反転角錐単位セルに対する三角形基底対六角形基底）である。三角形角錐単位セルの垂直高さ及び基底面積の値は、六角形角錐単位セルのものと同程度である（同様の考察が適用される）。

30

【 0 0 9 8 】

図 4 4 は、直交 V 溝単位セル構造を有する 3 - D T F S C 基板の上面図 8 6 8 を示す。直交 V 溝単位セルは、4 つの隣接する長方形又は四角形の V 溝配列を有することが好ましく、同時に隣接する副単位セルの各対の V 溝は、互いに垂直に走っている。3 - D T F S C 基板は、上記で示される多数の直交単位セルを使用する。直交 V 溝単位セルの V 溝の高さ及び幅の範囲は、六角形角錐単位セルの高さ及び直径の範囲とそれぞれ同様である。各四角形副単位セル（上記で示される 4 つの副単位セルは、1 つの直交 V 溝単位セルを形成する）は、数十～数百の V 溝を有することができる。直交 V 溝構造により、全基板上に平行 V 溝を有する標準的な V 溝構造と比較して、付加的な機械的剛性が得られる。点線は、V 溝トレンチ底部を表し、他方、実線は V 溝の上部リッジを示す。図 4 5 は、図 4 4 で示される、直交 V 溝単位セル構造を有する 3 - D T F S C 基板の X X 8 7 0、Y Y 8 7 2、及び Z Z 8 7 4 断面図を示す。

40

【 0 0 9 9 】

50

図46は、図44で示される直交V溝単位セル構造と比較して、代替直交対角V溝単位セル構造を有する3-D TFS C基板の上面図876を示す。直交対角V溝単位セルは、4つの隣接する長方形又は四角形のV溝配列を有することが好ましく、同時に隣接する副単位セルの各対のV溝は、互いに垂直に走っている。直交V溝構造により、全基板上に平行V溝を有する標準的なV溝構造と比較して、付加的な機械的剛性が得られる。図47は、図46で示される、代替直交対角V溝単位セル構造を有する3-D TFS C基板のYY 878、XX 880、及びZZ 882断面図を示す。

【0100】

以下では、リソグラフィ及びエッチング技術又はレーザー・マイクロマシニング（又はレーザー穴あけ）のいずれかを使用してテンプレートを加工するためのプロセス・フローの代替実施例が述べられる。次いで、テンプレートは、3-D TFS C加工のための3-D TFS C基板を加工するために使用され、何度も再使用される。

【0101】

テンプレートは、エレクトロニクス級のシリコン・ウエハ、太陽電池級のシリコン・ウエハ、又はより低コストの冶金学的等級のシリコン・ウエハを使用して加工できる。さらに、シリコンで作られるテンプレートは、単結晶又は多結晶シリコン・ウエハのいずれかを使用して加工することができる。始めのテンプレート・ウエハは、標準的な研磨ウエハ（切断損傷除去後の）又はワイヤ・ソー切断直後の（切断損傷除去のない）さらにより低い等級のウエハのいずれかでよい。後者によれば、テンプレートのコストがさらに低減される可能性がある。比較的 low コストの各テンプレートは、多数の3-D TFS C基板にわたって広められ、標準的な最新技術（例えば、200ミクロン厚さ）のソーラー等級単結晶及び多結晶シリコン・ウエハ並びに関連のモジュールと比較して、はるかに低いTFS C基板及び完成モジュール・コストをもたらす。

【0102】

テンプレートがどのように加工されるかをさらに説明するために、図48は、プロセス・フローの実施例890を示す。プロセスは、ステップ891から始め、ここでパターン形成されていない単結晶シリコン又は多結晶シリコンの、四角形又は円形（例えば、200mm×200mm四角形又は200mm円形）のいずれかの基板が提供される。開始のテンプレート・ウエハは、ワイヤ・ソーによって準備された、切断損傷除去のある又はない（後者は、テンプレートのコストをさらに低減する可能性がある）ウエハでよい。開始のテンプレート・ウエハは、より低純度（及びより低コスト）の冶金学的等級シリコンで作られてもよい。一実施例では、基板は、約200～800ミクロン厚さである。任意選択で、ステップ891は、低コスト冶金学的等級シリコンへのゲッタリングを実施すること及び/又は任意選択のテクスチャ形成テンプレート表面を形成するために、表面テクスチャ形成エッチングを実施する（例えば、硝酸及びフッ化水素酸の混合液による等方性酸テクスチャ形成を使用する、又はKOH/IPA中でのアルカリ・テクスチャ形成を使用する）ことを含む。ステップ892は、深いトレンチの所望の周期的配列を形成するために、プログラム可能な精密レーザー・マイクロマシニングの使用を含む。このプロセスは、物理的アブレーション又は物理的アブレーション及びレーザー支援化学的エッチングの組合せのいずれかに基づいて、制御された大気雰囲気中で実施できる。ステップ893は、テンプレート表面の準備及び洗浄を含む。このプロセスは、パターン形成されたフォトレジスト層を基板から取り外すことを含む。次いで、テンプレート基板は、TFS C基板を形成するためのその後の熱被着処理の前に、ウェット・ベンチ内で洗浄される。そのような洗浄は、DRIE誘起ポリマー除去（硫酸及び過酸化水素の混合液などの適切なウェット・エッチャントを使用する）を含んでもよく、その後、トレンチ側壁及び底部から（例えば、10～500ナノメートル程度の）シリコンの薄い層を等方的に除去するために、（硝酸及びフッ化水素酸の混合液中などの）等方性シリコン・ウェット・エッチングが続く。これは、深いRIE（DRIE）プロセスによって導入される任意の表面及び埋め込まれた金属及び/又はポリマー/有機物の汚染などの、どんな表面及び埋め込まれた汚染も、DRIE作製テンプレート・トレンチの側壁及び底部から除去する可能性がある。テ

10

20

30

40

50

ンプレート処理は、脱イオン化（D I）水すすぎ及び乾燥後に完了できる。任意選択で及びもし所望するならば、テンプレート・ウエハは、上述のD I水すすぎ及び乾燥よりも前にいわゆるR C Aウエット洗浄などの標準的な拡散前の（又は熱処理前の）ウエハ洗浄プロセスを経過してもよい。別の任意選択の表面準備ステップ（ウエット等方性シリコン・エッチング・プロセスの代わりに実施される又はその後のいずれかの）は、短い熱酸化（例えば、5～100ナノメートルの犠牲二酸化シリコンを成長させるため）を実施することを含み、その後にウエット・フッ化水素酸（H F）酸化物除去（パターン形成されたテンプレートからどんな残留汚染も除去するため）が続く。もし任意選択の酸化物成長／H F除去が使用されないならば、後に続く3-D T F S C基板加工に備えて、自然酸化物層を除去し、表面を水素でパシベーションする（S i - H結合を形成する）ために、任意選択の希釈H Fエッチングが実施できる。ステップ893の完了後、結果として得られるテンプレートは次いで、3-D（例えば、六角形角錐）T F S C基板を加工するために使用され、多数回再使用できる。

10

【0103】

テンプレートのパターン形成のためのプロセス・フローの代替実施例894は、図49で概説される。それは、直接レーザー・マイクロマシニングの代わりにフォトリソグラフィ及びエッチングを使用する。ステップ895（パターン形成されていない基板を提供）は、図48のステップ891に対応する。ステップ896は、フォトレジストでの六角形角錐パターン（即ち、フォトレジスト層内の相互接続された六角形開口）などのマスク・パターンを形成するために、フォトリソグラフィ・パターン形成を使用する（一実施例では、比較的 low コストの接触又は近接アライナー／パターン形成を使用する）。プロセスは、酸化物及び／又は窒化物（任意選択）層の形成、フォトレジスト塗布（例えば、スピン・オン塗布又はスプレー塗布）及び予備ベーク、六角形配列マスクを通じてのフォトリソグラフィ露光、並びにフォトレジスト現像及び後（ポスト）ベークを含む。一実施例は、フォトレジストの下に任意選択のハード・マスク層（S i O₂及び／又はS i N_x、例えば、薄い熱成長酸化物層は任意選択のハード・マスクとして使用することができる）を含む（プロセスは、シリコン上に直接フォトレジスト塗布を置くことによって、任意のハード・マスク層の使用なしに実施できる）。ハード・マスク層を使用するときには、ハード・マスク層の露出部分は、フォトレジストのパターン形成後にエッチングされる（それ故に、六角形開口を形成する）。露出したハード・マスク層のそのようなエッチングは、酸化物ハード・マスクのためのフッ化水素酸などの湿式エッチング剤を使用して又はプラズマ・エッチングを使用して簡単に実施できる。ステップ897は、異方性プラズマ・エッチングを使用する六角形角錐の形成を含み、ここで高速の深い反応性イオン・エッチング（D R I E）プロセスは、シリコン内に深い（例えば、100～400ミクロン）六角形角錐形トレンチ（即ち、傾斜側壁を有する角錐形状トレンチ）の稠密配列を形成する。フォトレジスト及び／又は酸化物及び／又は窒化物ハード・マスクの（1つ又は複数の）層は、パターン形成されたフォトレジスト層からシリコン基板へのパターン転写のために使用される。一実施例では、深いR I E（D R I E）プロセス・パラメータは、制御された角度の六角形角錐側壁傾斜を作製するために設定される。R I Eは、基板裏側まで突き抜けることによって角錐の底部に小さな直径（例えば、5ミクロン未満）の穴を作製できる。別法として、角錐形状トレンチの底部頂点に接続する別個の小さな直径の裏側穴が形成されてもよい。ステップ898（表面準備及び洗浄）は、図48のステップ893に対応する。ステップ898の完了後、結果として得られるテンプレートは次いで、3-D（例えば、六角形角錐）T F S C基板を加工するために使用され、多数回再使用できる。

20

30

40

【0104】

以下、上述のテンプレートを使用して3-D角錐形状T F S C基板を加工するための様々なプロセス・フローを概説する。

【0105】

図50は、自己支持、自立3-D六角形角錐T F S C基板の加工のためのプロセス・フローの実施例900を示す。そのプロセスは、シリコンのどんな感知できるほどのエッチ

50

ングもなしに界面の犠牲層 ($\text{Ge}_{1-x}\text{Si}_x$ の) を除去するために、高選択性エッチング・プロセスに基づくリフト・オフ 3-D 薄膜取外しプロセスを使用する。 $\text{Ge}_{1-x}\text{Si}_x$ 層は、一定割合の Ge を有する単一層又は変化する割合の Ge を有する多層 (例えば、2~3 層) 構造でもよい。ステップ 901 では、パターン形成された四角形テンプレートが提供される。このテンプレートは、トレンチ底部 208 から裏側 212 までのウエハ貫通穴 210 の配列とともに、その前側 206 に六角形角錐トレンチの配列を形成するために、既に処理されている。ステップ 902 は、エピタキシャル反応炉内での多層エピ (epi) を含む。ステップ 902 は最初に、 H_2 又は GeH_4/H_2 その場 (in-situ) 洗浄を含み、それは、標準的なエピ前のウエット洗浄後に実施される。次に、薄い犠牲エピ層が、前側のみに被着される。一実施例では、 $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ が、犠牲エピ層に使用され、10~200 ナノメートルである。次に、ドーブされたシリコン・エピ層が、前側のみに被着される。一実施例では、その層は、p 型のホウ素をドーブされ、2~20 ミクロンの厚さを有する。ステップ 903 は、3-D TFSC 基板取外しを含む。 $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ の高選択性の等方性ウエット又はドライ・エッチングが、シリコンに関して非常に高い選択性をもって実施される。一実施例では、フッ化水素酸、硝酸及び酢酸の混合液 (HNA) が、 $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ 層をエッチングするために使用される。別法として、アンモニア、過酸化水素、及び水の混合液 ($\text{NH}_4\text{OH} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$) が使用されてもよい。このプロセスは、シリコン・エピ層を六角形角錐 3-D TFSC 基板として取り外し、それは、その後の 3-D TFSC 加工に使用できる。

【0106】

エミッタ・ドーピングの型 (n 型又は p 型) に応じて、その場合ベース・ドーピングの型は、p 型 (例えば、ホウ素) 又は n 型 (例えば、リン) に選択される。図示される実施例は、n 型の、リンをドーブされた選択エミッタを有する TFSC を加工するために使用できるホウ素をドーブされた六角形角錐 3-D TFSC 基板の実施例を示す。代替実施例では、全てのドーピングの極性が反転でき、その結果ホウ素をドーブされた選択エミッタを有するセルを加工するために使用できるリンをドーブされた六角形角錐 3-D TFSC 基板をもたらす。

【0107】

図 51 は、自己支持、自立 3-D 六角形角錐 TFSC 基板の加工のためのプロセス・フローの代替実施例 904 を示す。他の単位セル構造 (四角形角錐、三角形角錐、直交 V 溝、直交対角 V 溝、その他) を有する 3-D TFSC 基板の加工のために、同じプロセス・フローが使用できる。このプロセスは、3-D TFSC 基板の取外し及びリフト・オフ (又はテンプレートからの除去) を容易にするために、適切な犠牲材料層 (例えば、二酸化シリコン) を使用する。非晶質シリコン又はポリシリコン層を結晶化するために、レーザー結晶化が使用できる。ステップ 905 (テンプレートを提供する) は、上記のステップ 901 に対応する。ステップ 906 は、犠牲層被着を含み、ここで薄い犠牲層 (例えば、 SiO_2) が、好ましくは APCVD によって被着される (別法として、LPCVD 又は PECVD 又はさらには熱酸化を使用する)。一実施例では、この層は、20 nm ~ 200 nm の SiO_2 である。ステップ 907 では、ドーブされた (例えば、p 型) シリコン層 (好ましくはドーブされた非晶質シリコン又はポリシリコン) が、(例えば、2~20 ミクロン厚さで、ホウ素をドーブされた) PECVD などの CVD プロセスによって酸化物被覆基板上 (上部のみ) に被着される。ステップ 908 は、好ましくは APCVD (別法として、LPCVD 又は PECVD 又はさらには熱酸化を使用) などの化学気相被着プロセスによって、上部保護層として薄い犠牲層 (例えば、 SiO_2) を被着することを含む。一実施例では、この層は、5 nm ~ 50 nm の SiO_2 でよい。ステップ 909 では、レーザー結晶化シードとして好ましくは四角形単結晶シリコン・フレイムを使用して (縁部から中心部への結晶化)、ドーブされたシリコン層のレーザー結晶化 (好ましくは基板縁部のシリコン・フレイムから開始する) が実施される。ステップ 910 は、p 型 3-D シリコン膜とテンプレートとの間の酸化物取外し層をエッチングで除去するために (このプロセスは、3-D 六角形角錐シリコン膜を持ち上げる)、犠牲 SiO_2 層の高選

択性の等方性 H F ウエット・エッチングを（シリコンに関して高選択性を有して）実施することによって、3 - D T F S C 基板を取り外すことを含む。全ての実施例に対して、3 - D 膜を取り外すことは、取外しエッチング中に小さな機械的応力（例えば、ウエハの反り）を加える又は超音波若しくはメガソニック攪拌を加えることによって支援できる。
【0108】

図52は、自己支持、自立3 - D六角形角錐 T F S C 基板の加工のためのプロセス・フローの代替実施例911を示す。他の単位セル構造（四角形角錐、三角形角錐、直交V溝、直交対角V溝、他の型の角錐、その他）を有する3 - D T F S C 基板の加工のために、同じプロセス・フローが使用できる。このプロセスは、3 - D T F S C 基板の取外しを容易にするために、犠牲又は使い捨て材料層（例えば、二酸化シリコン）を使用する。非晶質シリコン又はポリシリコン層を結晶化するために、レーザー結晶化が使用できる。ステップ912（テンプレートを提供する）は、上記のステップ901に対応する。ステップ913（犠牲層被着）は上記のステップ908に対応する。ステップ914は、酸化物を充填された基板底部穴を再びあけるために SiO_2 の裏側ウエット・エッチングを実施することを含む。ステップ915（ドーブされたシリコン被着）は、上記のステップ907に対応し、ステップ916（犠牲層被着）はステップ908に対応する。ステップ917では、レーザー結晶化シードとして六角形角錐の底部穴にある単結晶の島を使用して、ドーブされたシリコン層のレーザー結晶化が実施される。ステップ918（3 - D T F S C 基板取外し）は上記のステップ910に対応する。

【0109】

図53は、自己支持、自立3 - D六角形角錐 T F S C 基板の加工のためのプロセス・フローの代替実施例919を示す。他の単位セル構造（四角形角錐、三角形角錐、直交V溝、直交対角V溝、他の角錐形状単位セル構造、その他）を有する3 - D T F S C 基板の加工のために、同じプロセス・フローが使用できる。このプロセスは、半導体（例えば、シリコン）エピタキシーより前に低空隙率及び/又は高空隙率の（1つ又は複数の）多孔質シリコン層を形成するために、電気化学的シリコン・エッチングを使用する。ステップ920（テンプレートを提供）は、上記のステップ901に対応する。ステップ921は、電気化学的 H F エッチング（また多孔質シリコンを形成するためのシリコンの電気化学的陽極酸化としても知られている）を使用して、単一層の多孔質シリコン又は高空隙率多孔質シリコンの層上への低空隙率多孔質シリコンの上部層の二層スタックを形成するためのウエット・ベンチ内での電気化学的シリコン・エッチングを含む。多孔質シリコン層又は層スタックは、テンプレート基板の直接電気化学的エッチングによって又はエピタキシャル・シリコンの薄い層を最初に被着し、次いでその薄いシリコン・エピ層を、電気化学的エッチングを使用して犠牲多孔質シリコンに転換することによってのいずれかにより形成できる。ステップ922では、多孔質シリコン犠牲層又は層スタックの上部に好ましくは単結晶シリコンを形成するために、シリコン・エピタキシーが、エピタキシャル反応炉内で実施され、同時に次のその場プロセス・ステップ、即ち、 H_2 その場洗浄、ドーブされた（例えば、p型）シリコン・エピ（上部のみ）（例えば、2 ~ 20ミクロン厚さで、ホウ素をドーブされた）の被着が実施される。最後に、ステップ923では、機械的応力を基板に加えることによって（例えば、基板にわずかな反りを加えることによって）、又は簡単に適切なエッチング剤（ $\text{HF} + \text{H}_2\text{O}_2$ 又は TMAH 又は別の適切な選択性多孔質シリコンのエッチング剤など）を使用する犠牲多孔質シリコン層（又は層スタック）の選択ウエット・エッチングによってのいずれかで、3 - D T F S C 基板が取り外される。

【0110】

以下、建物の屋根及び壁面、集中発電、並びに他の応用に適した太陽電池モジュールを作るための本開示の様々な実施例が述べられる。通常、太陽電池モジュールは、複数の太陽電池セルを配置し、上部ガラス層及び Tedlar （登録商標）などの後部保護材料層によって保護された太陽電池モジュール組立体内でそれらを直列に接続すること（直列電気接続）によって作られる。DC から AC へ的高效率電力変換を促進するように DC 電圧を増大させるために（太陽電池モジュール電流をセル電流のレベルと同じレベルに維持し

10

20

30

40

50

ながら)、セルは直列に接続できる。

【0111】

図54は、本開示の上部保護ガラス板及び組み込まれたPCBを有する太陽電池モジュールの加工のためのプロセス・フローの第1の実施例924を説明する(PCB及びPCB上に取り付けられたTFSCを有する図55の太陽電池モジュール構造に対応する)。この製造フローは、完全自動化モジュール組立てラインに適合する。このモジュール組立てフローは、PCB上部側にセル後部ミラー/ベース相互接続(PCB上部側に銀被覆のパターン形成された銅)を有する両面印刷回路基板(PCB)の使用に基づいている。モジュール組立てより前に加工された後部ベース層及び統合された/組み込まれた(又は取り付けられた)後部ミラーを有する六角形角錐3-D TFSC(例えば、後部ベース層並びに、PVD又はメッキ又はローラー塗布/スプレー塗布及び硬化を使用して、後部ベース層の後面上に被着された薄膜後部ミラーを有する六角形角錐セル)に対しては、パターン形成されたPCB銅層は、高反射率ミラー材料(銀)で被覆されなくてもよい。ステップ925では、モジュール組立ては、前側及び裏側の両方を銅箔で被覆された両面PCBから始める。PCB領域は、所望の数/配置のTFSCを支持するはずである(例えば、各面に約10~100ミクロンを超える厚さの銅箔で、 1m^2)。ステップ926は、PCB相互接続パターン形成及び銀フラッシュ被覆(後者は、もし必要ならばPCB後部ミラーのため)を含む。PCB前側及び裏側銅箔は、所望の前側及び裏側相互接続配置に従ってパターン形成される。銅パターンは、高反射性銀(及び/又はアルミニウム)の薄い層でフラッシュ被覆される。鏡面反射性ミラーも使用できるが、高反射性拡散ミラーが使用されてもよい。ステップ927は、自動化TFSC設置及びはんだ付けのためのセル準備を含む。TFSCの後部金属化処理側は、鉛フリーはんだ又は導電性及び熱伝導性エポキシ・ペーストでローラー塗布(又はスプレー塗布又は浸漬塗布)される。ステップ928は、自動化TFSC配置及びはんだ付け(又はエポキシの硬化)を含む。TFSCは、自動的に採取され、PCBの前側に稠密配列で置かれる。各セルの後側は、パターン形成された銅相互接続を有する両面PCBの前側のその指定される位置に座る。TFSC後部六角形角錐ベース相互接続は、熱又は超音波はんだ付けを使用して、PCB前側の銀被覆のパターン形成された銅の島にはんだ付けされる。はんだの代わりにエポキシを使用する場合には、エポキシ層は、熱及び/又はIR/UV硬化を使用して硬化される。保護用薄膜シャント・ダイオードが、PCB裏側に取り付けられ、はんだ付けされる(又はエポキシ樹脂で接着される)。任意選択のステップは、金属領域を高反射性銀の薄い層でフラッシュ被覆するためである。ステップ929は、最終の太陽電池モジュール組立て及びラミネート加工を含む。低反射強化(一実施例では、またテクスチャ形成もされる)上部ガラス、カプセル化層、セルが取り付けられたPCB、別のカプセル化層及びTedlar又はフッ化ビニル樹脂背面シートのスタックが準備される。次に、モジュール・スタック組立体は、例えば、減圧ラミネート加工を使用して、密封され、実装される。

【0112】

図55は、実績のある従来技術材料(例えば、Tedlar又はフッ化ビニル樹脂膜)で作られている保護用背面板931、後部カプセル化層932(EVA)、パターン形成された後部電気相互接続934及びパターン形成された上部電気相互接続935を有する本開示の2面印刷回路基板(PCB)933、セル後部ミラー並びに後部ベース及びPCBの前側に取り付けられたラップ・アラウンド(又はラップ・スルー)エミッタ・コンタクトを有するTFSC936、上部カプセル化層(EVA)937、並びに反射防止被覆(ARC)強化ガラス(一実施例では、テクスチャ形成強化ガラス)938(後部から上部へ)(98%よりも大きい透過率を有し、スパッタされた又はスプレーされた又は液体塗布された反射防止被覆を有する)を有する太陽電池モジュール(ソーラー・パネル)構造(図54で述べられるプロセス・フローによりもたらされる)の断面図930を示す。このモジュール構造は、フレームなしモジュールとして又は(例えば、アルミニウムで作られた)フレームを有するモジュールのいずれの密封パッケージとして組み立てることができる。一実施例では、モジュール組立体は、(低減された材料エネルギー含量及び低減

10

20

30

40

50

されたエネルギー回収時間のための) フレームなし組立体である。

【0113】

図56は、コスト及び重量(軽量)の低減された太陽電池モジュール(図57の太陽電池モジュール構造に対応する)の加工のための組立てプロセス・フローの代替実施例940を概説する。このフローは、完全自動化モジュール組立てに適合する。このプロセス・フローは、厚いガラス板の使用なしの(それ故に、本開示の太陽電池モジュールの重量、コスト、及びエネルギー回収時間をさらに低減する)及びセルの上部のEVAカプセル化層なしの組立てプロセスを示す。モジュール上側(組み立てられたセルの前側)は、数十~数百ミクロン程度の複合厚さを有する硬い保護ガラス型層(所望ならば、上部ARC層も含む)で覆われる。被着されるときは、この前側保護層は、TFSCの3-D構造の結果として効果的にテクスチャ形成される。上部層は、液体塗布技術(例えば、スプレー塗布、液体浸漬塗布、又はローラー塗布)、後に続く熱又はUV硬化プロセスによって形成できる。液体スプレー塗布(又は液体浸漬塗布又はローラー塗布)の保護/AR層に対する熱(又はUV)硬化は、減圧熱ラミネート加工プロセスと一緒に単一ステップとして実施できる。この実施例は、低減された材料消費、低減されたコスト、及び低減されたエネルギー回収時間を有する軽量モジュール組立体をもたらす。ステップ942(PCBを提供する)は図54のステップ902に対応し、ステップ944(PCBパターン形成及び銀フラッシュ被覆)はステップ904に対応し、ステップ946(セル準備)はステップ906に対応し、ステップ948(自動化TFSC配置)はステップ908に対応する。ステップ950では、太陽電池モジュール・ラミネート加工を含む。セルが取り付けられたPCB、カプセル化層、及び背面シートのスタックが準備される。次に、減圧ラミネート加工などの適切な密閉封入/実装プロセスが実施される。ステップ952では、太陽電池モジュール前側保護被覆層(それは、被着されるとき自動的にテクスチャ形成されてもよく、TFSCへの効果的な結合のための効率の良い光閉じ込めを提供する)及び任意選択のARC層の被着を含む。ソーラー・パネルの前側は、適切な被覆方法を使用して、保護材料(例えば、ガラス型の透明材料)の薄い層及び任意選択の上部反射防止被覆(ARC)層で被覆される。この被覆(約数十~数百ミクロン)は、液体スプレー塗布、液体ローラー塗布、液体浸漬塗布、プラズマ・スプレー被覆又は別の適切な方法を使用して実施できる。次に、熱/UV硬化プロセスが実施される。

【0114】

図57は、太陽電池モジュール構造の別の実施例(図56で述べられるプロセス・フローによりもたらされる)の断面図960を示す。図55で示されるような、上部カプセル化層(EVA)937、及び反射防止被覆(ARC)強化ガラス938の代わりに、単一の前側保護層及び反射防止被覆層962がある。前側保護層及び反射防止被覆(ARC)層962は、液体スプレー塗布/硬化、液体ローラー塗布/硬化、液体浸漬塗布/硬化、プラズマ・スプレー被覆、又は別の適切な低温被覆技術によって形成される。この前側保護被覆及びARC層962は、TFSCの3-D構造の結果として、被覆層が被着されるとき効果的にテクスチャ形成される(それ故に、別のテクスチャ形成プロセスは必要とされない)。これは、被覆層が、TFSC六角形角錐空洞上にくぼみ(低い点)を、及び六角形角錐・エミッタ・リッジ上にピーク(高い点)を有してもよいということに起因している。前側保護層及び反射防止被覆層962は、数十~数百ミクロンの範囲の複合厚さを有することができる。一実施例では、その厚さは、約30~300ミクロンでよい。反射防止被覆(ARC)機能を提供することに加えて、積み重ねられた前側保護/ARC層は、実際の屋外現場運用での天候/要素及び力の衝撃(例えば、雹の衝突)に対して優れた保護を提供する。前側被覆は、TFSCの3-D構造の結果として、効果的に及び自動的にテクスチャ形成されるために、前側被覆上への別個のARC層の使用は任意である。テクスチャ形成された被覆は、入射ソーラー光強度の非常に高い割合(例えば、95%よりも大きい)をTFSCに効果的に結合させるために、前側被覆内での効果的な光閉じ込めを提供できる。前側保護層は、上部エミッタ・コンタクト金属化処理に関連するどんな反射損失もなくす又は低減するために、光導波路機能を提供することもできる。

【 0 1 1 5 】

図 5 8 は、建物の窓内に統合された又は組み立てられた太陽電池セルの図 9 7 0 を示す。太陽電池セルは、3 - D 六角形角錐太陽電池セル基板内に穴又は細長い開口の配列をつくることによって、（例えば、10 % ~ 30 % 程度の透過の）部分的な可視光透過を許容することができる。一実施例では、セルは、5 % ~ 20 % の光透過を可能にするために、穴又は細長い開口の規則的配列を有する。この図は、六角形角錐セルを有するソーラー・ガラスの一部分の拡大図を有する（それ故に、六角形角錐セル及びソーラー・ガラスの相対的な寸法は、縮尺なしで示されている）。図 5 8 は、前側 T F S C 六角形エミッタ相互接続 1 7 4 及び自己整合裏側六角形ベース・コンタクト 1 7 6 を示す。上部ガラス板 9 7 2 と底部ガラス板 9 7 4 との間の距離 9 7 8 は、1 ~ 1 2 ミリメートルでよい。六角形角錐セル・パラメータは、セルを通り抜ける所望のレベルの光透過（例えば、約 10 % ~ 90 % ）を可能とするように設計できる。平均光透過率のレベルは、T F S C のアスペクト比によって制御することができる。

【 0 1 1 6 】

図 5 9 は、太陽電池モジュール組立体での本開示の T F S C の直列接続の代表的な実施例の図 9 8 0 を示す。この実施例は、直列に接続される 2 4 の四角形セル 9 8 2 （6 × 4 配列）を示す。直列の電気接続は、直列に接続される隣接セル間の矢印によって示される。モジュール電力の入力 9 8 4 及び出力 9 8 6 導線も示されている。実際のモジュール組立体では、セルの数は、もっと少なく又はもっと多くてもよく、セルは、直列に又は直列及び並列の組合せで接続できる。前述のように、モジュール組立体内のセルの直列接続は、D C から A C への変換器のために D C 電圧を増大させる（及び、現場でのモジュール据付けを容易にするため及びモジュールからモジュールの電気接続の信頼性のために太陽電池モジュールの D C 電流を制限もする）ことを可能にする。本開示の印刷回路基板（P C B ）に基づくモジュール組立ては、モジュール内に組み立てられる任意の数のセル及び任意の電気接続構成（直列、直列 / 並列組合せ、又は並列）を支援する。本開示の T F S C 及びモジュールは、様々な応用のために、1 m² 未満 ~ 数 m² （例えば、10 m² ）の面積を有する比較的軽量の太陽電池モジュールを提供できる。モジュール組立体内で直列に接続されるセルは、それらの光生成電流（例えば、短絡電流 I_{sc} 及び / 又は最大出力電流 I_m ）に関して適合されるべき分類に基づいて選択される。

【 0 1 1 7 】

本開示の太陽電池モジュール構造及び組立て方法は、3 - D T F S C を稠密配列で組み立てるために、及びモジュール組立体内で P C B 板を使用して（一実施例では直列に）セルを接続するために、印刷回路基板（P C B ）の使用に基づいている。P C B 板は、P C B の上部に単一のパターン形成された金属（一実施例では、銅）相互接続層を又は P C B 板の上面及び後面に 2 つのパターン形成された銅層を有することができる。図 6 0 は、太陽電池モジュール組立てのために使用される印刷回路基板（P C B ）の前側銀被覆銅配置図 9 9 0 を示す（四角形の島は、後部ミラーとして（もし統合されたミラーが単一開口セルで使用されないなら、又はもしセルがベース層のない二重開口セルであるならば）及びベース相互接続としての両方の機能を果たし、周囲四角形銅帯は、T F S C 周囲フレーム後側においてラップ・アラウンド・エミッタ・コンタクトに接続し、P C B 前側及び裏側の選択領域を接続する銅充填ビア・プラグは、小さな円として示される）。この実施例は、各行に 6 セルの 4 行で配置された 2 4 の T F S C の配列に対して示されている（P C B は、T F S C の任意の数及び様々な配置に対して設計できる）。P C B 導体（銅又はアルミニウム）厚さは、高い電気的及び熱的伝導性を提供するために、約 10 ~ 100 ミクロンを超える範囲内でよい。P C B は、運用中の T F S C の温度サイクルを最小限にするために効果的なヒート・シンクとしての機能も果たす。P C B 材料は、軽量、高強度材料（航空宇宙産業で使用する炭素複合材料など）、又はさらに比較的薄い柔軟な材料であるように選択できる。より大きな面積の四角形銀被覆銅領域 9 9 2 は、T F S C 後部ベース領域（単一開口セルに対しては後部ベース層の底部又は二重開口セルに対しては二重開口セルの底部リッジ）に接続される。周囲銀被覆銅線 9 9 4 は、T F S C エミッタ・コン

10

20

30

40

50

タクト金属化处理領域に電氣的に接続される。

【 0 1 1 8 】

図 6 1 は、太陽電池モジュール組立てのために使用される印刷回路基板 (P C B) の裏側 (任意選択として銀被覆) 銅配置の上面図 1 0 0 0 を示し、 T F S C の直列接続を示している。 P C B 裏側は、 (図 6 0 で示されるように) T F S C の陰保護のための薄膜シャント・ダイオードをも含むことができる。銅充填ビア・プラグ (円として示される) は、対応する領域内の P C B 前側及び裏側金属化处理パターンを接続する。ここに示される実施例は、 2 4 の T F S C をソーラー・パネル上で直列に接続するためであるが、同様の P C B 設計手法は、任意の数のセルを任意の所望の配置でモジュール上に構成し、接続するために適用できる。この P C B の前側の図は、図 6 0 に示される。この実施例は、各行に 6 セルの 4 行で配置され (P C B は、 T F S C の任意の数及び様々な配置に対して設計できる)、全て直列に接続された 2 4 の T F S C の配列に対して示される。 P C B 導体 (銅又はアルミニウム) 厚さは、高い電氣的及び熱的伝導性を提供するために、約 1 0 ~ 1 0 0 ミクロンを超える範囲内でよい。 P C B は、運用中の T F S C の温度サイクルを最小限にするために効果的なヒート・シンクとしての機能も果たす。 P C B 材料は、軽量、高強度材料 (航空宇宙産業で使用される適切な炭素複合材料など) であるように選択できる。図 6 1 は、電力入力導線 9 8 4 (最初のセルの p 導線) 及び電力出力導線 9 8 6 (最後のセルの n 導線) も示す。

10

【 0 1 1 9 】

図 6 2 は、 P C B 上の銅パターンの裏側の図 1 0 1 0 を示し、本質的に図 6 1 と同様である。この図は、 (セル陰保護のために) P C B 裏側パターン上に取り付けられた保護用薄膜シャント・ダイオードの使用も示す。

20

【 0 1 2 0 】

図 6 3 A は、 T F S C の 1 つに対して後部ミラー用並びにエミッタ及びベースの相互接続のためにも使用される太陽電池モジュール印刷回路基板 (P C B) の前側の銀被覆銅パターン (1 つのセルを取り付けるためのパッド) の拡大上面図 1 0 2 0 を示す (相対的な寸法は、縮尺なしで示されている)。図 6 3 A は、 L_1 1 0 2 2 及び L_2 1 0 2 4 の寸法を示す (一実施例では、 1 5 0 ミリメートル ~ 2 0 0 ミリメートルよりも大きい。ここで $L_2 = L_1 + 2 (W + S)$)。 S 1 0 2 6 は、 2 5 ~ 2 5 0 ミクロンの程度でよい。周囲銅導体帯の幅 (W) 1 0 2 8 は、 5 0 ~ 5 0 0 ミクロンの程度でよい。銅充填ビア・プラグ 1 0 3 0 は、円として示される (T F S C を直列に接続するために事前に設計された配置で又は直列 / 並列などの任意の他の所望の配置で P C B 前側及び裏側の相互接続パターンを接続し、ここで示される代表的な実施例は、モジュール開回路電圧を増大するために全てのセルを直列に接続するためである)。ビア・プラグ 1 0 3 0 の直径は、約 5 0 ~ 5 0 0 ミクロン程度でよい (W 1 0 2 8 よりも小さくてもよい)。大きな中央四角形パッドは、後部セル・ミラー及びまたベース相互接続面としての両方の機能を果たす (六角形角錐ベース・コンタクト金属化处理に接続する)。中央四角形 (p 領域コンタクト) 内のビアの数 (N) 1 0 3 2 は、数百 ~ 数千の程度でよい。周囲線 (n 領域コンタクト) 内のビアの数 (M) 1 0 3 4 は、数十 ~ 数百 (又はさらに数千) の程度でよい。 T F S C エミッタ (n) 領域に接触する周囲線上のビアは、 3 辺上に置かれる。 P C B 導体 (銅又はアルミニウム) 厚さは、高い電氣的及び熱的伝導性を提供するために約 1 0 ~ 1 0 0 ミクロンを超える範囲内でよい。 P C B 板は、現場運用中の T F S C の温度サイクルを最小限にするために効果的なヒート・シンクとしての機能も果たす。この図は、図 6 0 の完全なモジュール P C B 配列で示される銅相互接続 / ミラー・パッドの 1 つを示す。

30

40

【 0 1 2 1 】

図 6 3 B は、本開示の 1 対の隣接 T F S C に対するエミッタ及びベース電気相互接続のために使用される太陽電池モジュール印刷回路基板 (P C B) の裏側の銀被覆銅相互接続パターンの拡大上面図 1 0 4 0 を示す (P C B 図の一部)。図 6 3 B は、配列内の T F S C 1 及び 2 に対する P C B 裏側銀被覆銅相互接続パターンを示す。ここでの銅パターンは、モジュール開回路電圧を増大するために T F S C を直列に接続するために示される。

50

図63Bは、 $L_1' = 1042$ 、周囲エミッタ（ n 領域）コネクタ線幅 $W' = 1044$ （一実施例では、 $2 \sim 10$ ミリメートル）、中央ベース（ p 領域）コネクタ面と周囲エミッタ（ n 領域）コネクタ線との間の間隔 $S' = 1046$ （一実施例では、 100 ミクロン ~ 1 ミリメートル）の寸法を示す。 $L_1' = 1042$ は、図63Aからの L_1 よりも約 $2 \sim 10$ ミリメートルだけ小さいことに留意されたい。これは、PCB裏側でのより大きな周囲エミッタ（ n 領域）コネクタ線幅及び大幅に低減された抵抗損失を可能にする。

【0122】

本開示の3-D TFS C基板は、追加の機械的支持のために及びまたラップ・スルー又はラップ・アラウンド・エミッタ・コンタクト金属化処理の形成を容易にもするための両方のために周囲の厚いシリコン・フレームを利用できる（太陽電池モジュール組立てを容易にするため）。厚いシリコン・フレームは、非常に低コストのシリコン材料（冶金学的等級又は再生シリコン・ウエハなど）から別々に作ることができる。図64は、厚いシリコン・フレーム、シリコン・フレーム薄片、及び非常に低コストの円形（例えば、マイクロエレクトロニクスからの不合格シリコン）又は四角形（又は長方形）鑄造シリコン（又は再生Si）基板からシリコン薄片を作製する（例えば切り取る）ための代表的な方法の様々な概略図1050を示す。薄片は、冶金学的等級の鑄造Siなど非常に低コストの結晶又は多結晶シリコンで作ることができる。円形1052又は四角形1054のシリコン・ウエハ（例えば、 $200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ 鑄造冶金学的等級シリコン基板）は、レーザー切断などの切断プロセスによって数百のシリコン薄片1056を作製するために使用できる（電子ビーム溶接などの溶接プロセスによって3-D TFS C基板のための厚いシリコン・フレームを作るために4つの薄片が使用される）。

【0123】

これらの薄片1056は、上記で示される基板のための厚いシリコン・フレームを作るために使用できる。次に、別々に加工された厚いシリコン・フレームは、3-D薄膜セル処理前の実施例では、以下の技術のうちの1つによって、3-D TFS C基板に一体的に取り付けることができる。即ち、いくつかの周囲スポット/接合での電子ビーム溶接、厚い周囲シリコン・フレームをテンプレート上に置くこと及びシリコン被着プロセスによる3-D TFS C基板への厚いシリコン・フレームの継ぎ目のない取付けを可能にすることによる3-D TFS C基板加工シリコン被着中の取付け、又は清浄な硬化エポキシである。

【0124】

上面図1058は、3-D TFS C基板に融合されるべき厚いシリコン・フレームを示す。シリコン・フレーム厚さ1060は、約 $50 \sim 500$ ミクロンである。溶接された（例えば、電子ビーム溶接された）接合部1062（4つの溶接された接合部）があり、ここで $L = 1064$ は、約 $150 \sim 300$ ミリメートルであり、 $W = 1066$ は、約 $100 \sim 1000$ ミクロンである。薄片1056は、ラップ・スルー/ラップ・アラウンド・エミッタ金属化処理コンタクトに役立つために、貫通穴（図1068で示される）を有することができる。

【0125】

以下、開示される主題に関連する様々な計算を概説する。

【0126】

所与の薄いシリコン膜厚さ及び基板寸法（例えば、 $200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ 基板寸法）の値に対して、3-D六角形角錐基板構造で使用するシリコン材料の実際の量（例えば、全シリコン表面積、体積、又は重量によって測定されるような量）は、同じ寸法（例えば、 $200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ ）を有する同一平面上の（平坦な）基板のそれよりも実際は大きい。

【0127】

図65（図13と同様）は、以下の計算のための参考に提供される。 B は、 H_2 と H_3 との間の中間点であり、 A は、 H_5 と H_6 との間の中間点であり、 $H_1 H_4 = H_3 H_6 = H_2 H_5 = d$ であり、 AB は、六角形単位セル開口水平距離（ h ）、即ち、

$$h = (\sqrt{3} / 2) d$$

である。

【 0 1 2 8 】

前側開口角 α は、A - T - B によって規定される角度であり、前側開口角 β は、 $H_6 - T - H_3$ によって規定される角度であり、次のように計算することができる、即ち、

$$\alpha = 2 \tan^{-1} [(\sqrt{3} \times d) / (4 H)]$$

$$\beta = 2 \tan^{-1} [d / (2 H)]$$

である。

【 0 1 2 9 】

円錐角錐基底の表面積 (S_{hb}) は、

$$S_{hb} = [(3\sqrt{3}) / 8] \times d^2$$

である。

【 0 1 3 0 】

円錐角錐側壁の表面積 (S_{hp}) は、

$$S_{hp} = [(3\sqrt{3}) / 8] \times d^2 \times \sqrt{ [1 + (16/3) \times (H/D)^2] }$$

である。

【 0 1 3 1 】

従って、有効表面積拡大率 (S_{hp} / S_{hb}) は、

$$S_{hp} / S_{hb} = \sqrt{ [1 + (16/3) \times (H/D)^2] }$$

である。

【 0 1 3 2 】

3 - D T F S C 構造内での非常に効率の良い光閉じ込め及び S_{hp} / S_{hb} の適度な (即ち、過剰ではない) 面積拡大率を有する非常に低い有効表面反射率を達成するために、開口角 (α 及び β) は、好ましくは約 $20^\circ \sim$ 約 40° の範囲に選択される。

【 0 1 3 3 】

図 6 6 は、六角形角錐側壁面積と平面六角形基底面積との比 (S_{hp} / S_{hb}) 対六角形角錐単位セルの高さと基底対角直径との比 (H/d) を示す。最適に近い開口角に対する好ましい H/d 範囲は、点線間で示される (約 $1.5 \sim 3.0$ の H/d)。これは、約 $4 \sim 7$ の程度の側壁と基底との面積比をもたらす。

【 0 1 3 4 】

図 6 7 及び図 6 8 は、太陽電池セル六角形角錐単位セルの計算された前側開口角 (α 及び β) 対六角形角錐単位セルの高さと基底対角直径との比 (H/d) を示す。

【 0 1 3 5 】

図 6 9 は、以下の計算の参考に提供される。3 - D 基板の六角形角錐単位セルは、円錐 (六角形角錐と同じ高さを有し、六角形角錐と同じ基底面積を有する) によって近似できる。開口角 (ϕ) は、

$$\phi = 2 \tan^{-1} [D / (2 H)]$$

である。

【 0 1 3 6 】

円錐角錐基底の表面積 (S_{cb}) は、

$$S_{cb} = (\pi D^2) / 4$$

である。

【 0 1 3 7 】

円錐角錐側壁の表面積 (S_{cp}) は、

$$S_{cp} = [(\pi D^2) / 4] \times \sqrt{ [1 + (2 H / D)^2] }$$

である。

【 0 1 3 8 】

従って、側壁表面積 S_{cp} と上部基底表面積 S_{cb} との比は、

$$S_{cp} / S_{cb} = \sqrt{ [1 + (2 H / D)^2] }$$

である。

【 0 1 3 9 】

図 7 0 及び図 7 1 は、円錐形単位セル側壁面積と平面円形基底面積との比 (S_{cp} / S_{cb}) 対円錐形単位セルの高さと基底直径との比 (H / D) 及び太陽電池セル円錐形単位セル (六角形角錐単位セルに対する近似) の計算された前側開口角 ϕ 対円錐形単位セルの高さと基底直径との比 (H / D) を示す。これらの図は、円錐形角錐に対する開口角及び表面積比のプロットを提供し、一方図 6 6 ~ 図 6 8 は、六角形角錐単位セルに対するこれらのプロットを示す。円錐形角錐単位セル (六角形角錐単位セルの近似) に対する結果 (プロット) は、六角形角錐単位セルに対するそれらとかなり比較できるほどである。

【 0 1 4 0 】

T F S C 及びモジュール相互接続での 1 つの重要な考慮すべきことは、T F S C 及び太陽電池モジュール組立体での電気相互接続に関する全電力損失である。本開示の六角形角錐 3 - D c - S i T F S C 及び P C B に基づくモジュール設計は、この問題に効果的に取り組み、セルでの及びモジュール内での非常に低い相互接続抵抗損失をもたらす。この特徴は (P C B に基づく太陽電池モジュール組立体への T F S C の高効率実装と併せて)、本開示の技術での T F S C と太陽電池モジュール組立体との間の効率の差を大幅に狭くする。

【 0 1 4 1 】

以下は、本開示の六角形角錐 3 - D T F S C でのエミッタ・コンタクト金属化処理抵抗損失の基本的な計算に関する。エミッタ・コンタクト金属化処理に対する抵抗損失の計算は、ベース・コンタクト金属化処理にも適用できる。しかしながら、本開示のいくつかの実施例では、パターン形成された印刷回路基板 (P C B) 上に 3 - D T F S C を取り付けるから、ベース・コンタクト金属化処理は、非常に高い導電性の銅パッドに平面形式で電氣的に接続され、(エミッタ相互接続抵抗損失と比較して) ベース相互接続抵抗損失を大幅に低減する。従って、本開示の実用的な実施例では、相互接続抵抗損失は、エミッタ・コンタクト金属化処理によって支配される。

【 0 1 4 2 】

図 7 2 は、本開示のセル設計実施例に基づく単位セルの六角形角錐配列を有する円形基板を仮定しており、T F S C 相互接続抵抗損失の近似的な解析計算についての参考に使用できる。全体的なセル相互接続抵抗損失は、上部エミッタ・コンタクト金属化処理によって支配されるから、六角形エミッタ・コンタクト金属化処理に起因する抵抗電力損失は、最大電力におけるセル電流及びエミッタ・コンタクト金属垂直高さ被覆比 L / d (角錐側壁上のエミッタ・コンタクト金属被覆の高さと角錐単位セルの長い六角形対角寸法との比) の関数として計算される。ここで示される解析計算は、以下の図 (図 7 3 ~ 図 8 7) で示されるプロットを作成するために使用された。円形基板に対して実施される計算及び得られる傾向は、四角形 T F S C 基板にも近似的に適用できる。

【 0 1 4 3 】

次の計算において、 I_0 はピーク電力における全セル電流であり、 $A = (\pi A^2) / 4$ は全セル面積 (円形セルに対して示される) であり、 $J_0 = (4 \times I_0) / (\pi a^2)$ はセル電流密度であり、 R_{thm} は上部ハニカム・コンタクト金属のシート抵抗であり、 C は垂直高さ L を有するハニカム・コンタクトの有効平坦面被覆率であり、 $R_{eff} = R_{thm} / C$ は上部金属コンタクトの有効平坦面シート抵抗である。

【 0 1 4 4 】

これに基づいて、最大セル電力時の相互接続抵抗損失は、

10

20

30

40

【数 1】

$$P_i \equiv (R_{thm} l^2) / \{8 \pi (S_{hp} / S_{hb}) [1 - (1 - L/H)^2]\}$$

$$P_i \equiv (R_{thm} l^2) / \{8 \pi [\sqrt{1 + (16/3) (H/d)^2}] [1 - (1 - L/H)^2]\}$$

である。

10

【0145】

図73及び図74では、3-D太陽電池セル基板の上部への2つの異なるエミッタ相互接続領域被覆比に対して、開示される主題の3-D T F S Cの予想される（計算された）相互接続関連の太陽電池セル電力損失が、六角形角錐高さと対角基底寸法との比（ H/d ）の関数としてプロットされている。 $H/d = 2.0$ に対しては、 400 cm^2 太陽電池セルから最大電力を引き出す結果として経験される抵抗電力損失は、（2つのプロットに対して示されるエミッタ金属被覆率に応じて）約 $0.1 \sim 0.2 \text{ W}$ であると予想される。この実施例での最大太陽電池セル電力は約 8 W であると仮定されるから、（エミッタ電流収集によって支配される）太陽電池セル相互接続に対する抵抗電力損失は、 $1.25\% \sim 2.5\%$ と予想される。PCB金属パターンは、PCB相互接続抵抗電力損失が、上述の太陽電池セル相互接続電力損失よりもはるかに小さいように設計することができる。それ故に、全抵抗電力損失は、 2% をはるかに下回った状態を保つことができる。これは、開示される主題の太陽電池セル及びモジュール技術を使用して、太陽電池セルと太陽電池モジュールとの間の効率の差が、 2% をはるかに下回って低減できることを意味する。それ故に、 23% の太陽電池セル効率の場合、少なくとも 21% の太陽電池モジュール効率を達成するであろうという高度の確信を有することができる。両方の図は、 400 cm^2 の面積及び最大電力（約 8 W_p の最大電力が仮定される）で 12 A の電流を有する大面積セルに対して計算された太陽電池セル抵抗電力損失を示す。 R_{thm} は、八ニカム六角形リッジ上のエミッタ・コンタクト/金属層（例えば、Ag層又は耐熱金属層上へのAgのスタック）のシート抵抗である（両方のグラフに対して $0.0075 \Omega/\square$ （スクエア））。比 L/H （ここで、図73では 0.05 、図74では 0.025 ）は、八ニカム・リッジ上のエミッタ金属化処理コンタクトの垂直被覆高さと六角形角錐単位セルの高さとの比である。

20

30

【0146】

次の図は、 R_{thm} 及び L/H の様々な値に対するプロットを示す。図75は、 $0.002 \Omega/\square$ の R_{thm} 及び 0.05 の L/H を示し、図76は、 $0.002 \Omega/\square$ の R_{thm} 及び 0.01 の L/H を示す。図77は、 $0.005 \Omega/\square$ の R_{thm} 及び 0.01 の L/H を示し、図78は、 $0.005 \Omega/\square$ の R_{thm} 及び 0.02 の L/H を示す。図79は、 $0.005 \Omega/\square$ の R_{thm} 及び 0.05 の L/H を示し、図80は、 $0.005 \Omega/\square$ の R_{thm} 及び 0.1 の L/H を示す。図81は、 $0.01 \Omega/\square$ の R_{thm} 及び 0.05 の L/H を示し、図82は、 $0.01 \Omega/\square$ の R_{thm} 及び 0.02 の L/H を示す。図83は、 $0.003 \Omega/\square$ の R_{thm} 及び 0.02 の L/H を示し、図84は、 $0.003 \Omega/\square$ の R_{thm} 及び 0.05 の L/H を示す。

40

【0147】

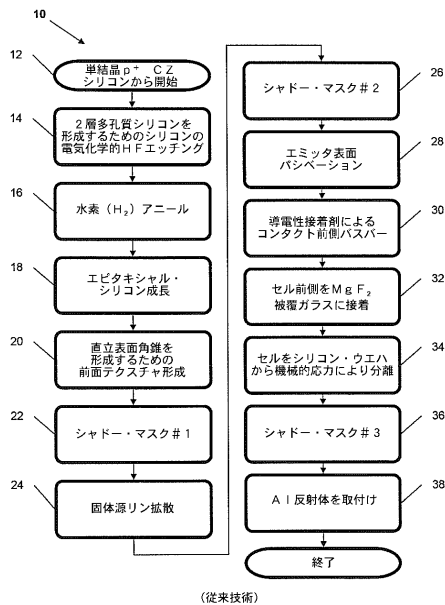
要約すれば、開示される主題は、角錐形状三次元薄膜太陽電池セルの多数の具体例を提供する。角錐形状三次元薄膜太陽電池セルは、自己整合選択エミッタ領域及び自己整合ベース拡散領域を有する半導体基板を含む。角錐形状三次元薄膜太陽電池セルは、自己整合エミッタ・コンタクト金属化処理領域及び自己整合ベース・コンタクト金属化処理領域をさらに含む。

【0148】

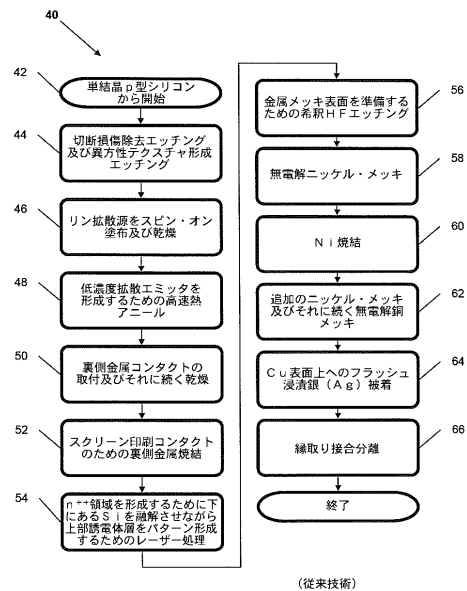
50

好ましい具体例の上記の記述は、任意の当業者が特許請求される主題を作る又は使用することを可能にするために提供される。これらの実施例に対する様々な変更は、当業者には容易に明らかであろう。本明細書で規定される一般的な原理は、革新的な能力の使用なしに他の実施例に適用できる。それ故に、特許請求される主題は、本明細書で示される実施例に限定されることを意図されず、本明細書で開示される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。

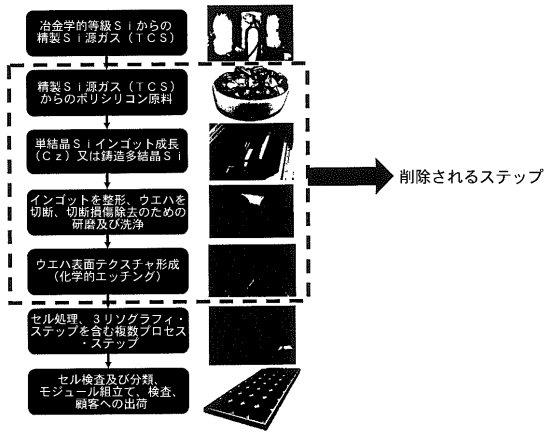
【図 1】



【図 2】



【図 3】

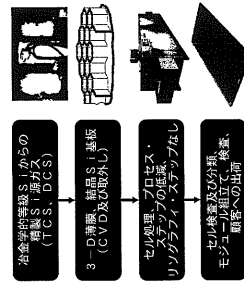


(従来技術)

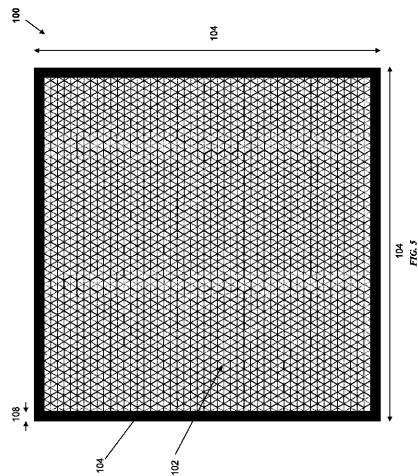
【図 4】

本発明の競争上の利点

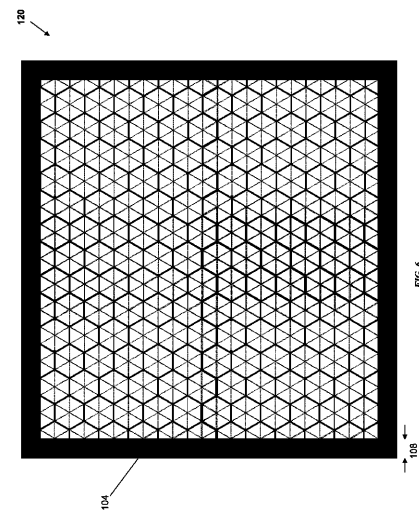
1. ワット当たりのシリコン<1グラム
2. シリコン・サブライ・チェーンからの分離
3. ポリシリコン原料コストがない
4. 結晶成長コストがない
5. ワイヤ・ソー・コストがない
6. ウエハ切断損傷除去コストがない
7. テクスチャ形成コストがない
8. セル処理のためのリングラフィ・コストがない
9. プロセス・ステップがより少ない、自己整合フロー
10. PVファブ資本コストの低減
11. モジュール製造コスト/Wpの低減>60%
12. 超効率セル及びモジュール



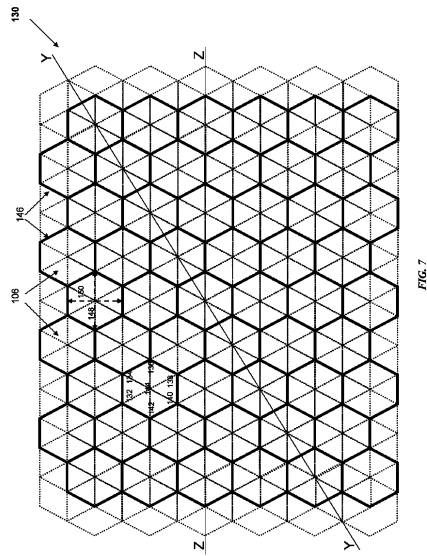
【図 5】



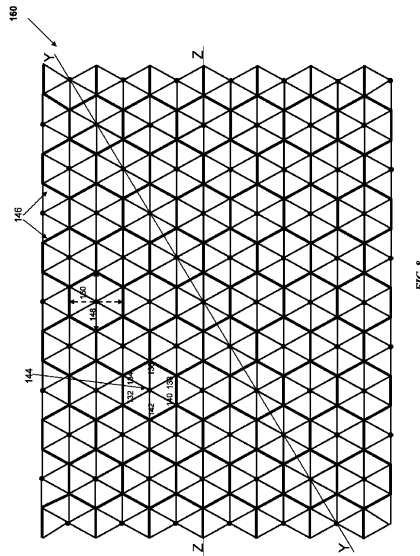
【図 6】



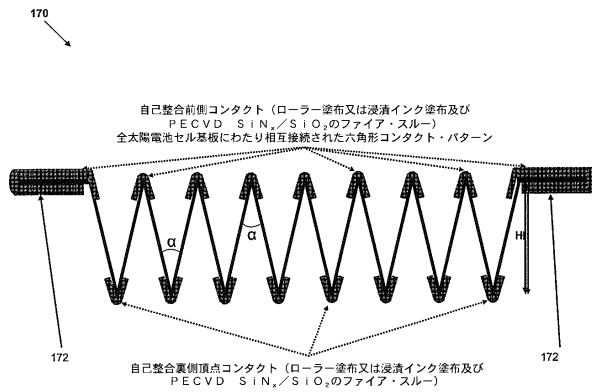
【図 7】



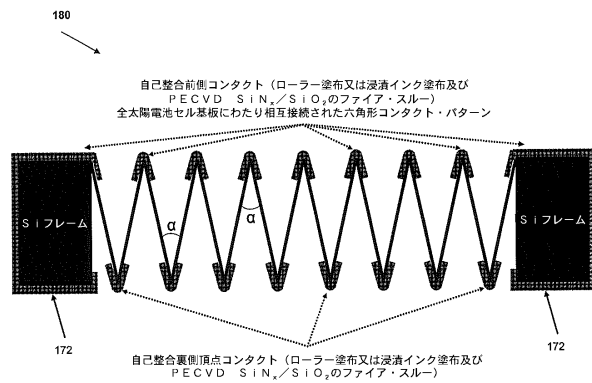
【図 8】



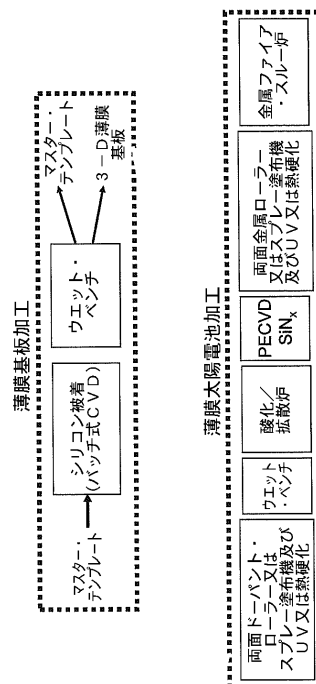
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【図 1 2】

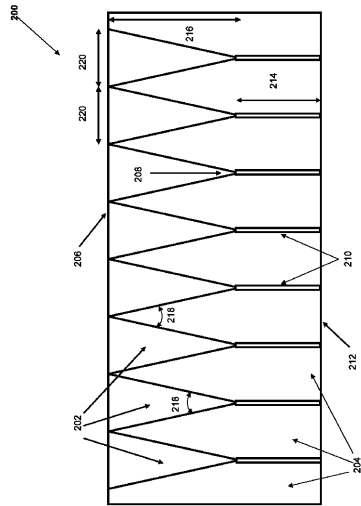


FIG. 12

【図 1 3】

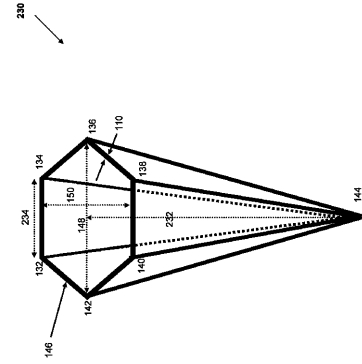


FIG. 13

【図 1 4】

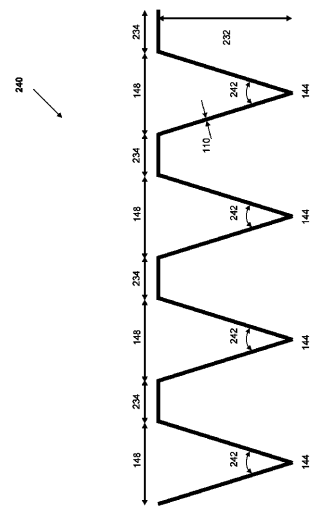


FIG. 14

【図 1 5】

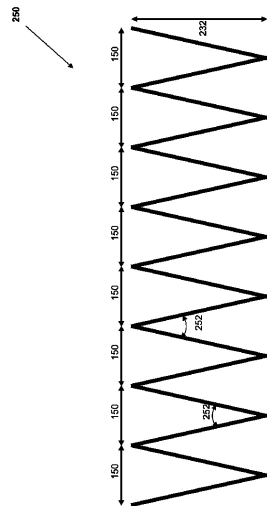
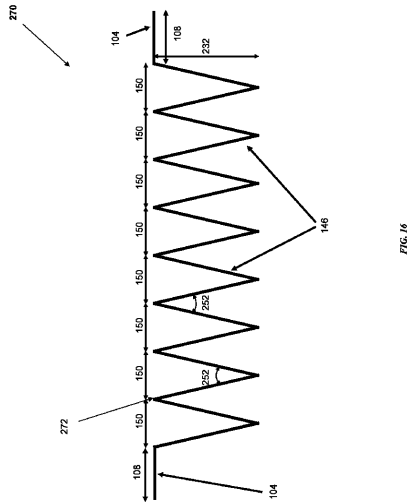
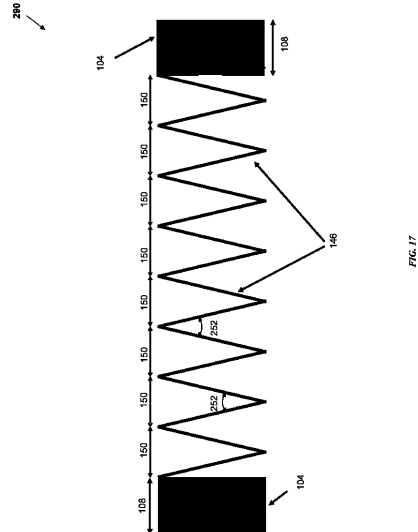


FIG. 15

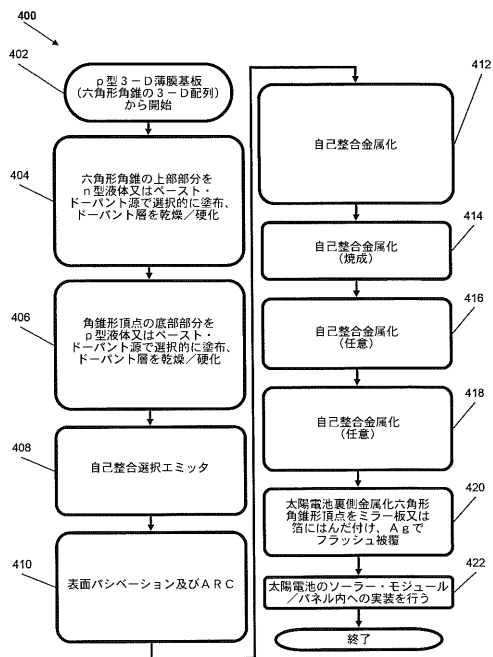
【図 16】



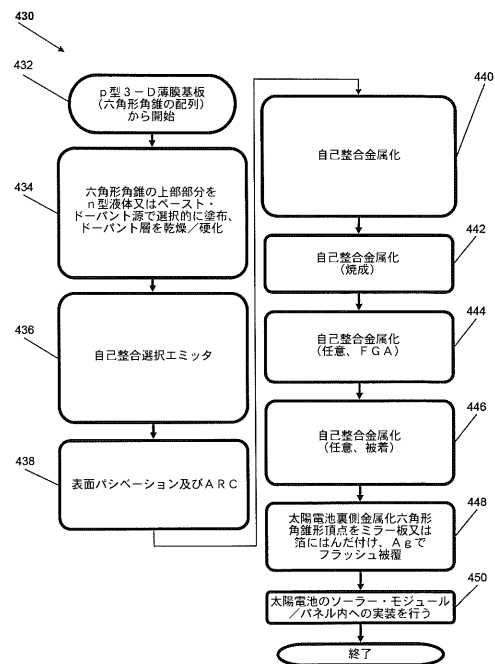
【図 17】



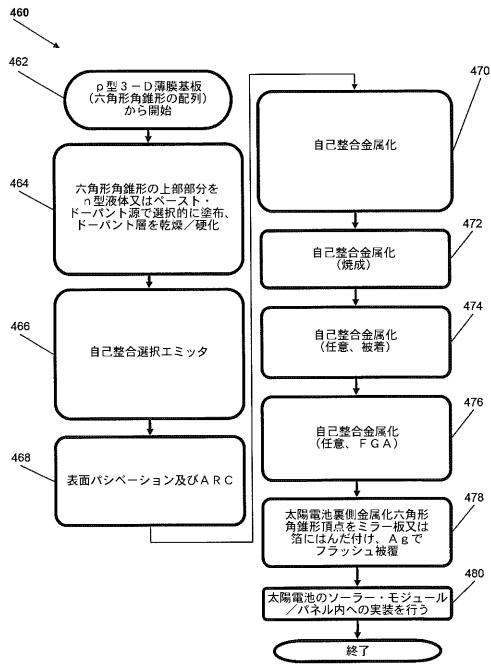
【図 18】



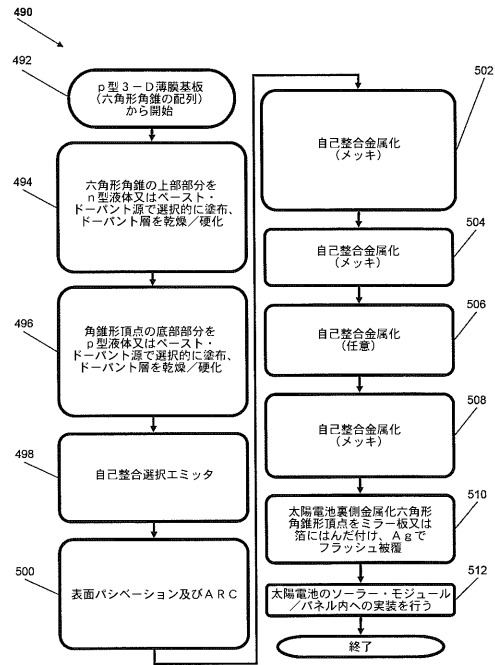
【図 19】



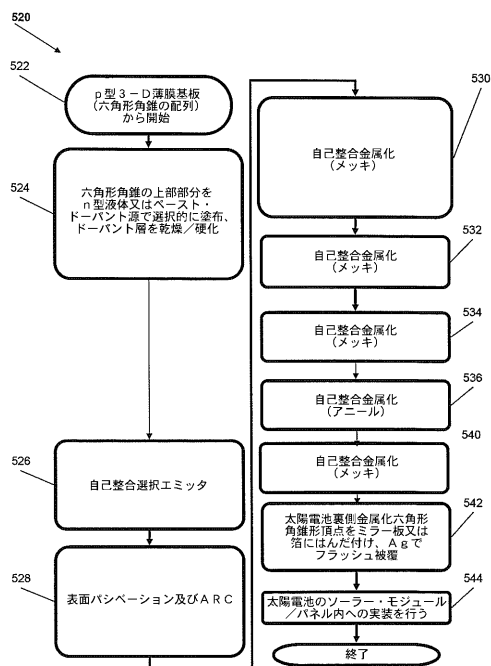
【 図 2 0 】



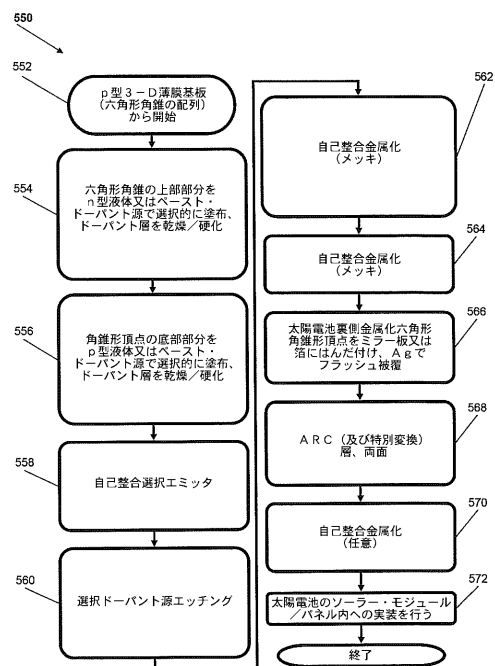
【 図 2 1 】



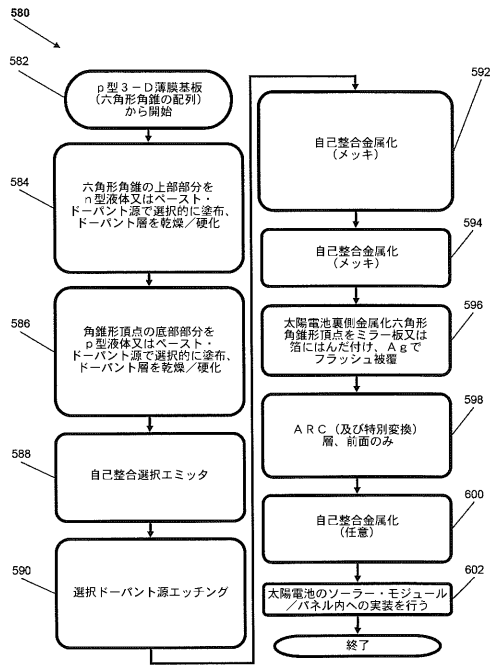
【 ㄨ 2 2 】



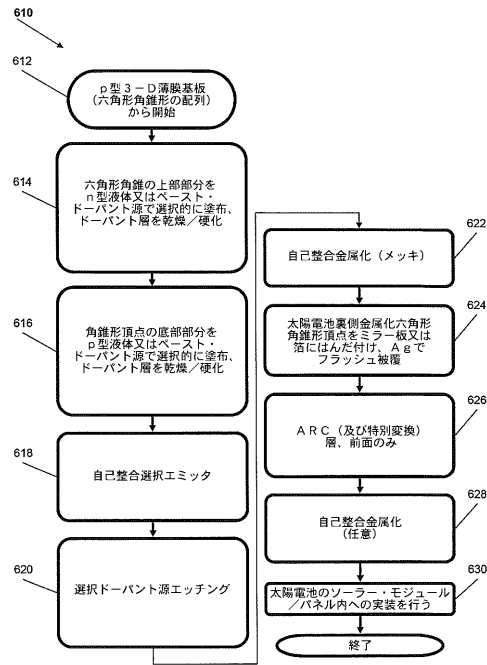
【 図 2 3 】



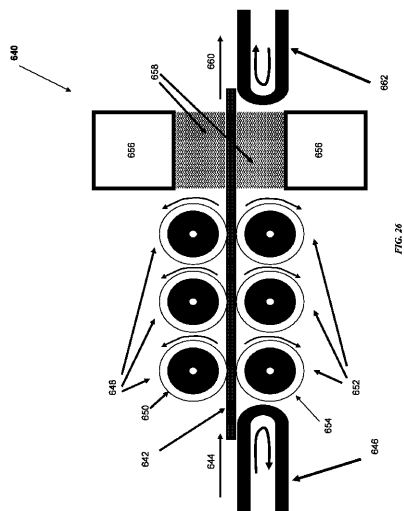
【図 24】



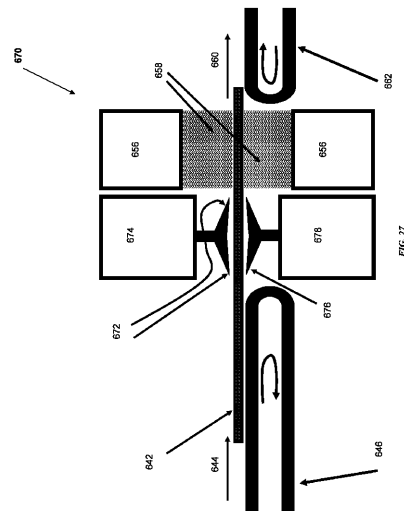
【図 25】



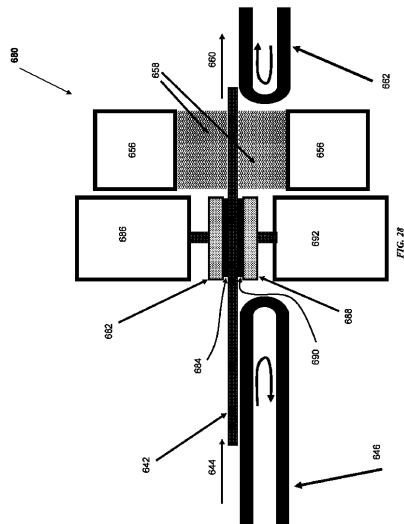
【図 26】



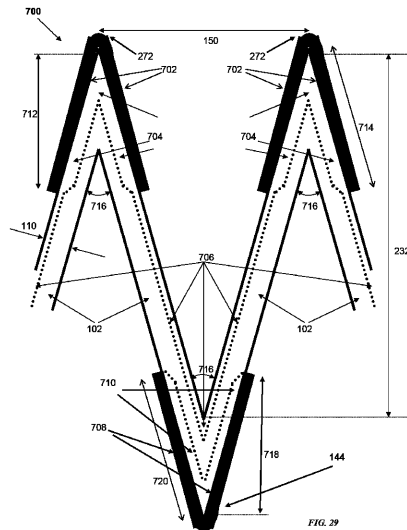
【図 27】



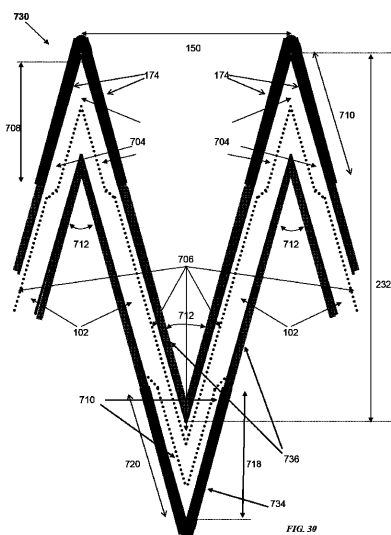
【 図 2 8 】



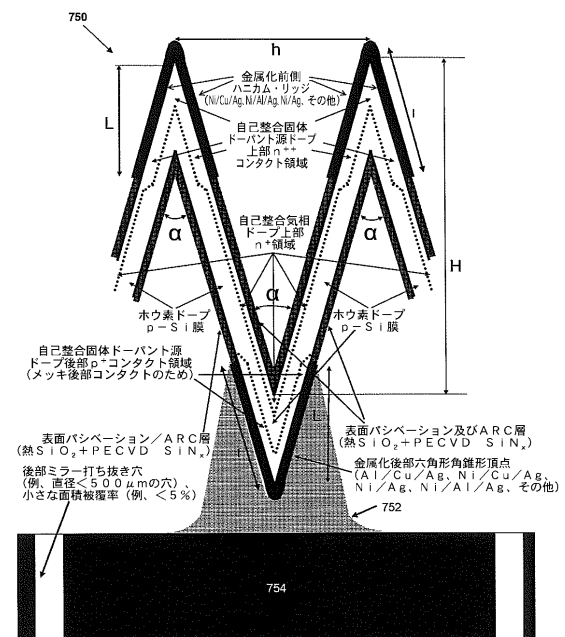
【 図 2 9 】



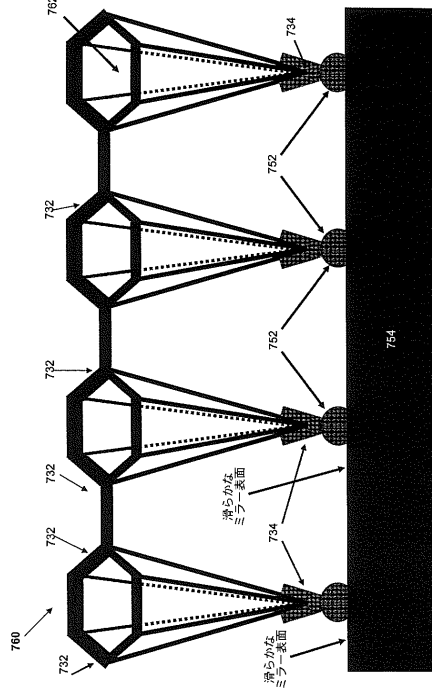
【 図 3 0 】



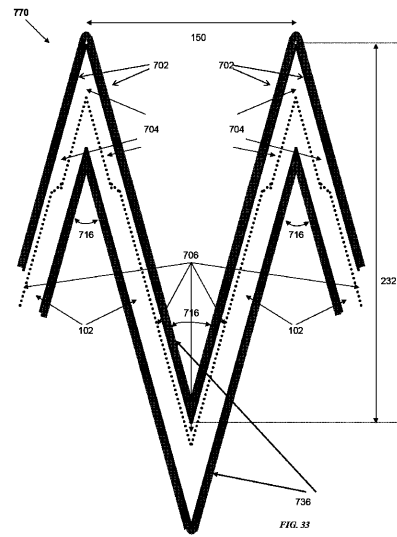
【 図 3 1 】



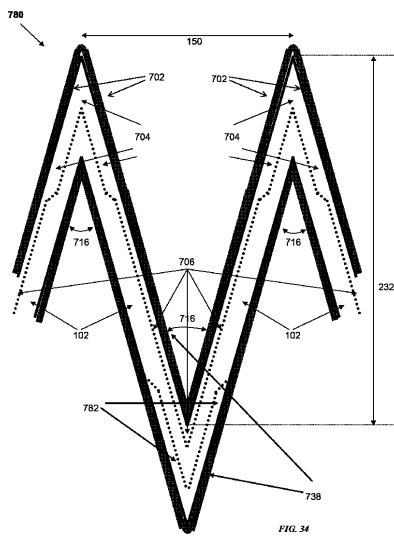
【図 3 2】



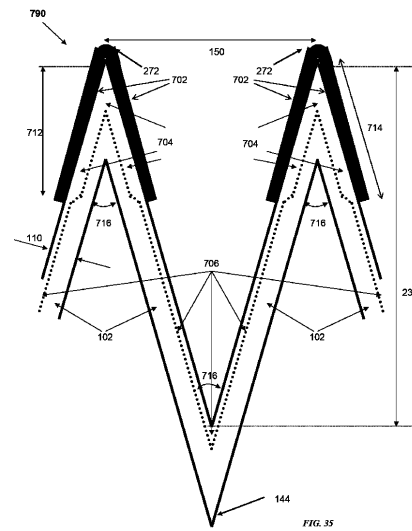
【図 3 3】



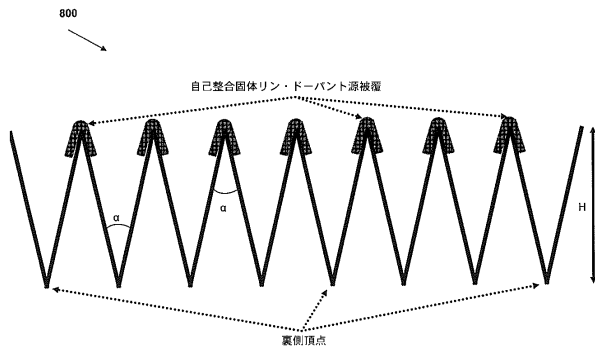
【図 3 4】



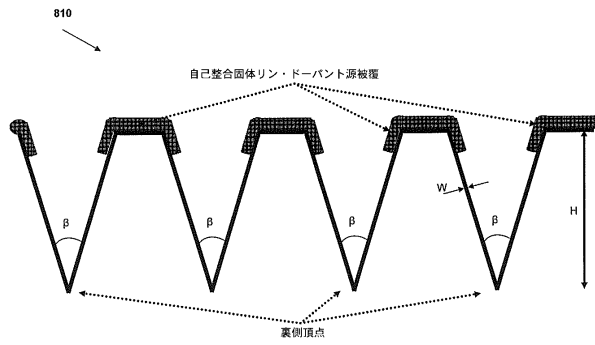
【図 3 5】



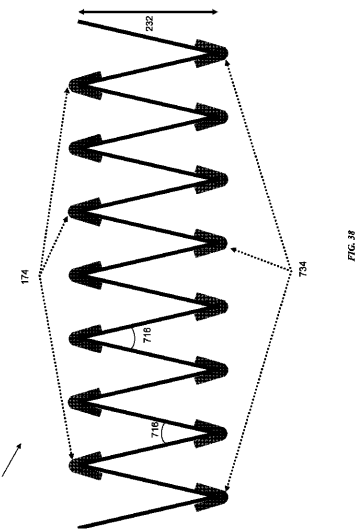
【図 36】



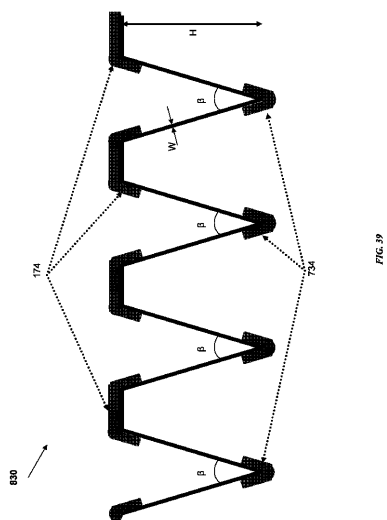
【図 37】



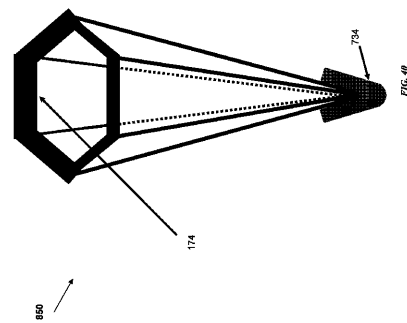
【図 38】



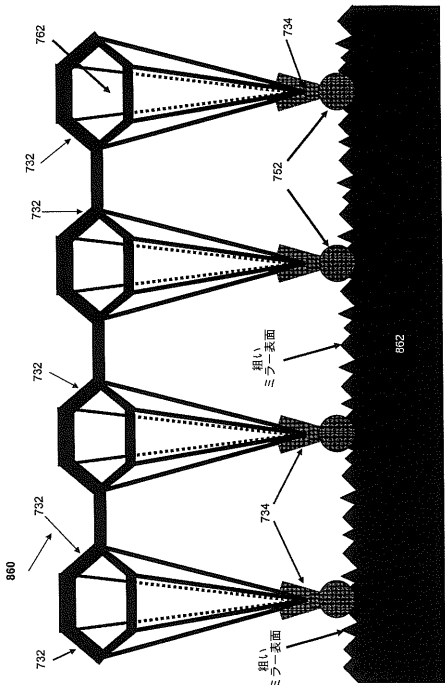
【図 39】



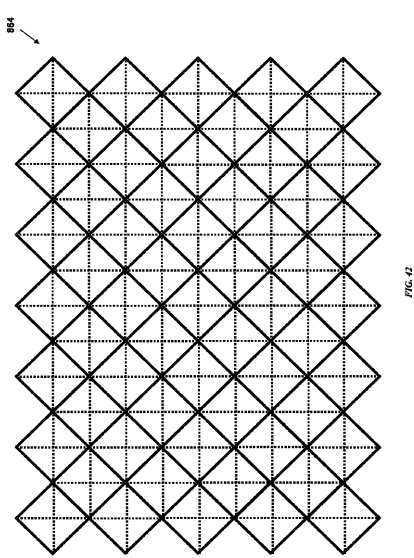
【図 40】



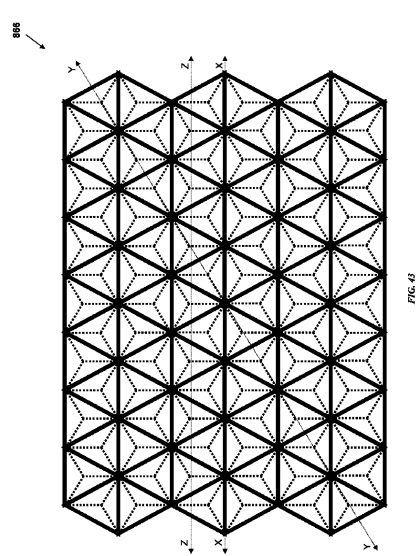
【図 4 1】



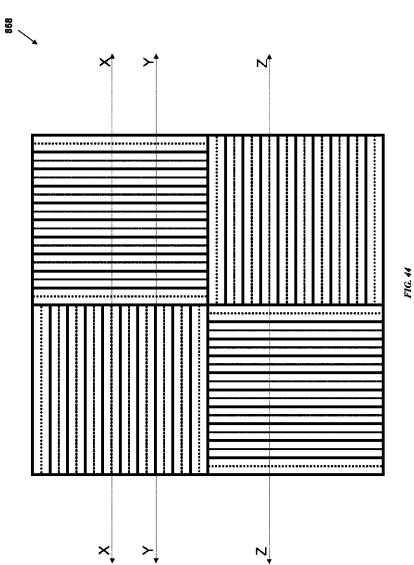
【図 4 2】



【図 4 3】



【図 4 4】



【図 45】

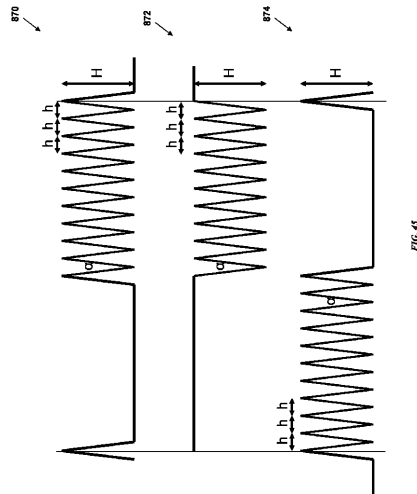


FIG. 45

【図 46】

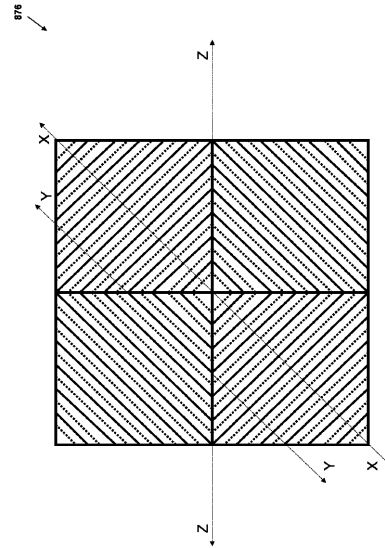


FIG. 46

【図 47】

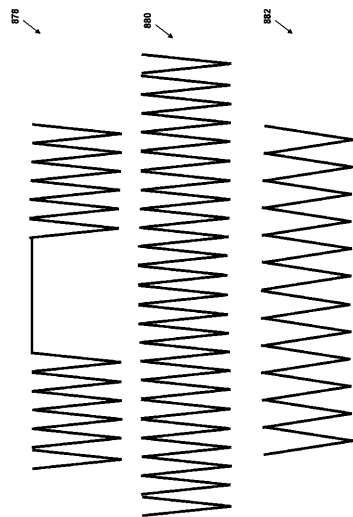
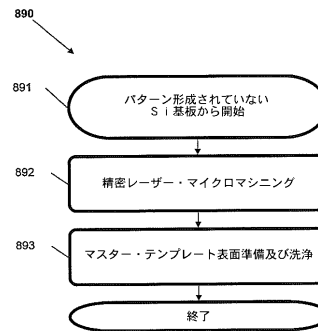
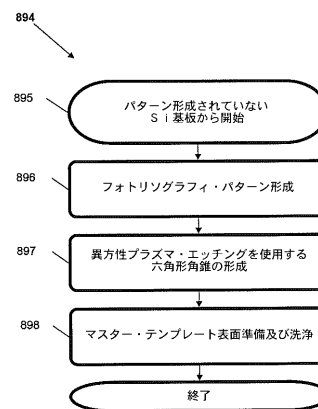


FIG. 47

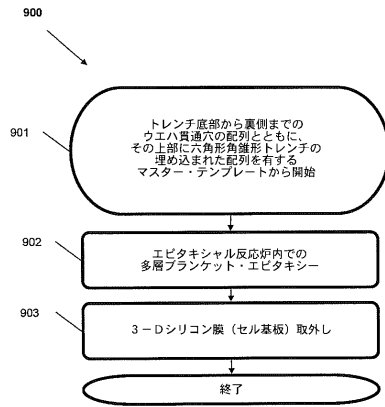
【図 48】



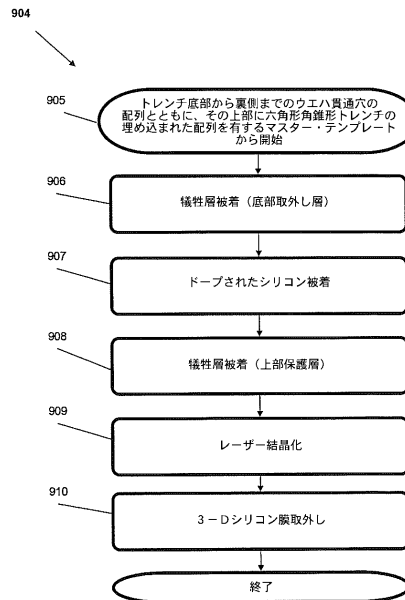
【図 49】



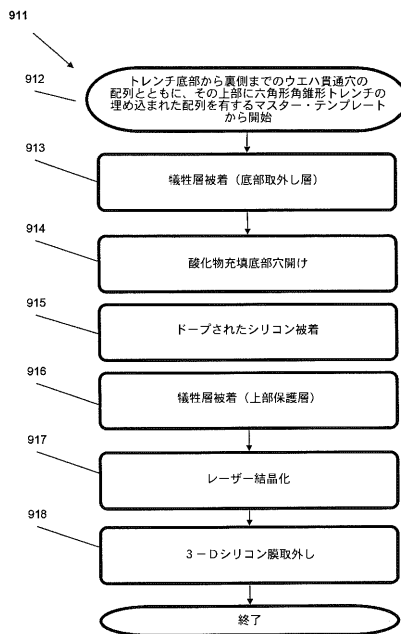
【図 50】



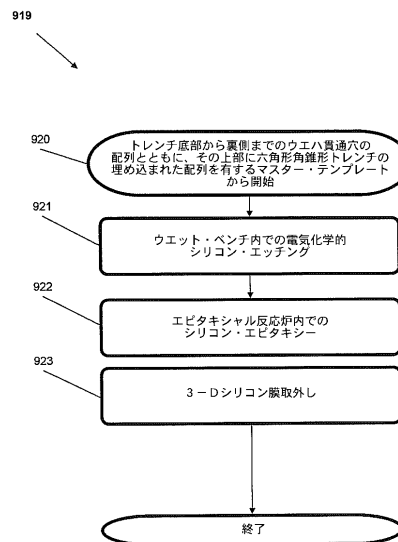
【図 51】



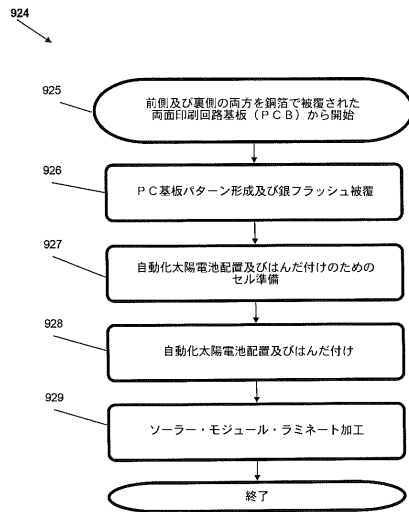
【図 52】



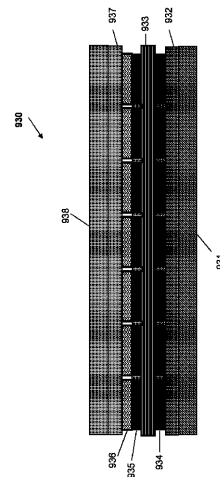
【図 53】



【図 5 4】



【図 5 5】



【図 58】

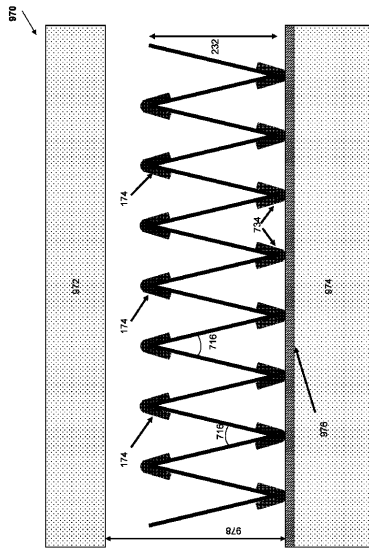


FIG. 58

【図 59】

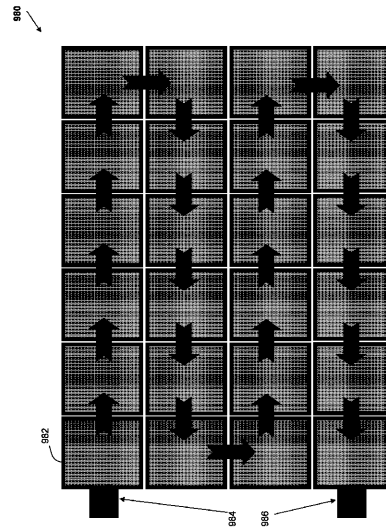


FIG. 59

【図 60】

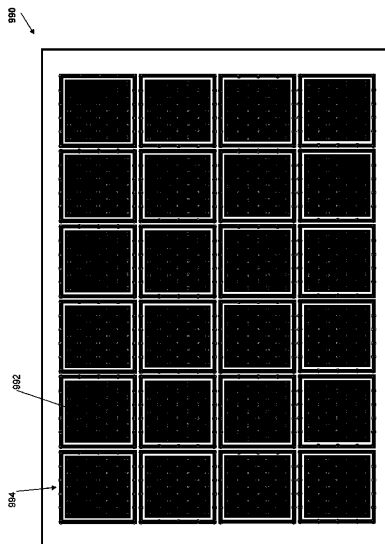


FIG. 60

【図 61】

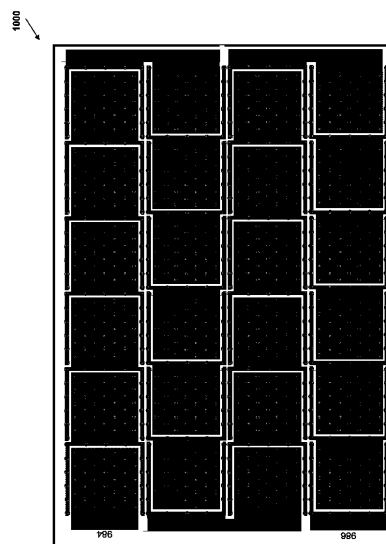
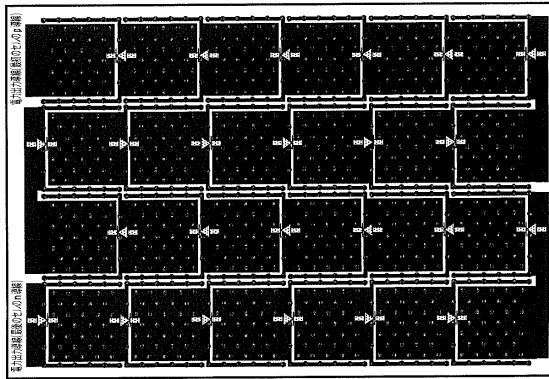
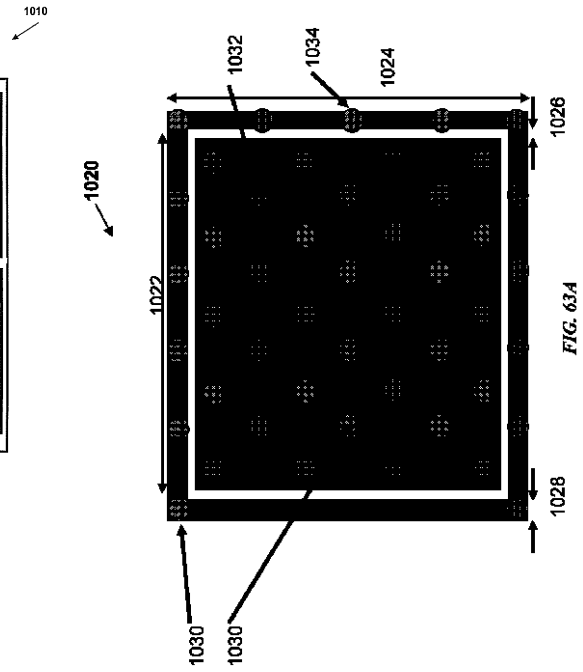


FIG. 61

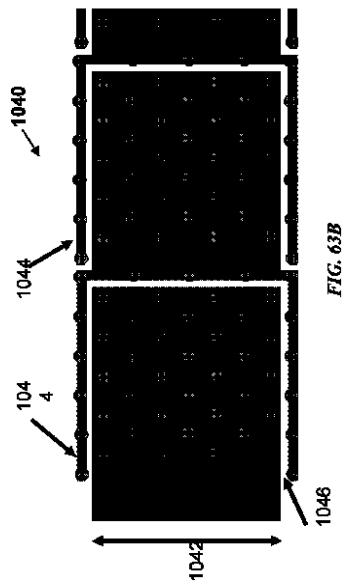
【図 6 2】



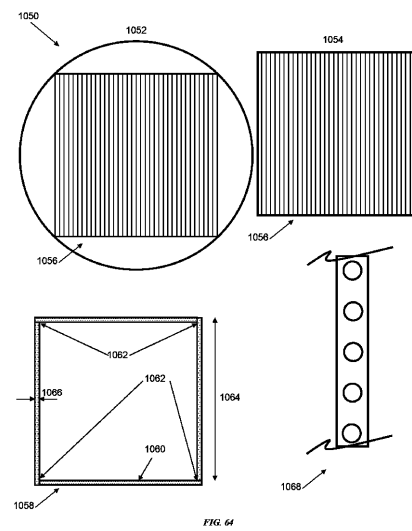
【図 6 3 A】



【図 6 3 B】



【図 6 4】



【図 65】

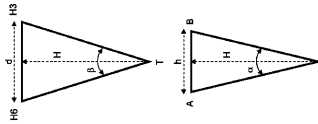
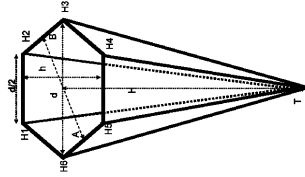
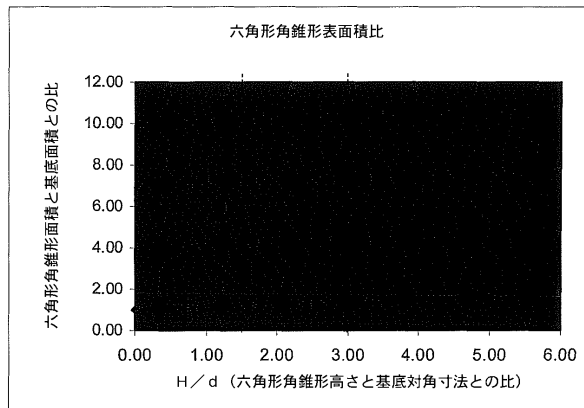


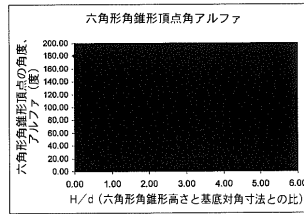
FIG. 65



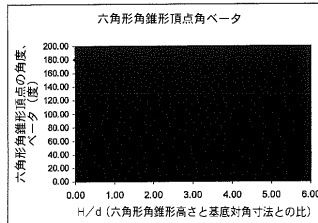
【図 66】



【図 67】



【図 68】



【図 69】

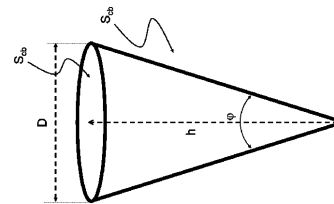
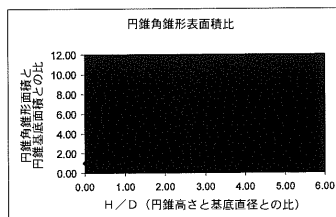
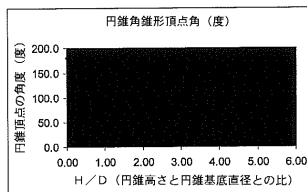


FIG. 69

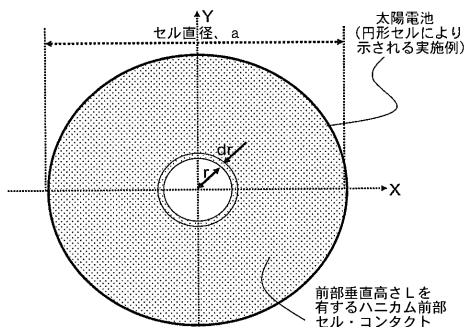
【図 70】



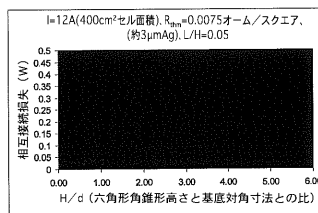
【図 71】



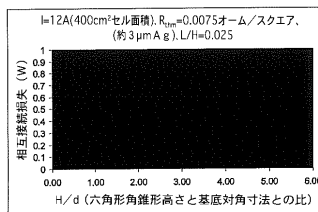
【図 72】



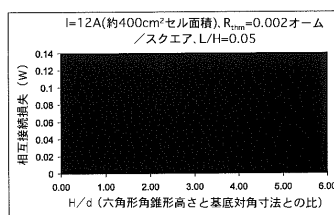
【図 73】



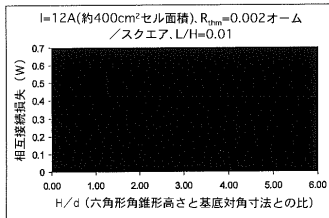
【図 74】



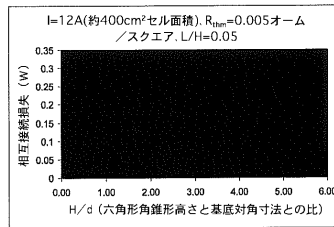
【図 75】



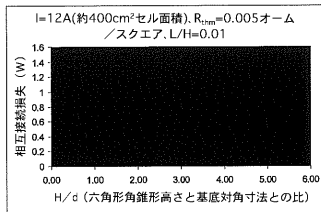
【図 76】



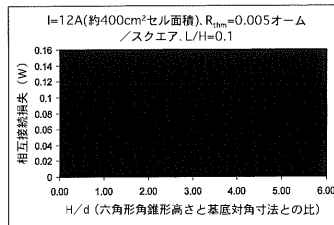
【図 79】



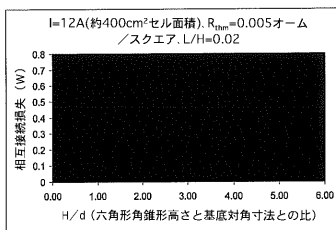
【図 77】



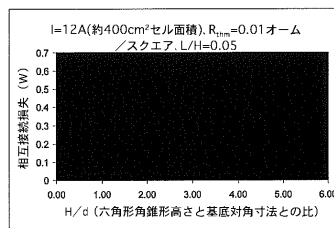
【図 80】



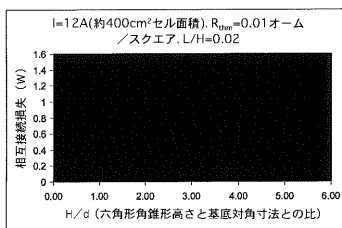
【図 78】



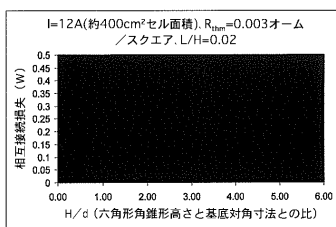
【図 81】



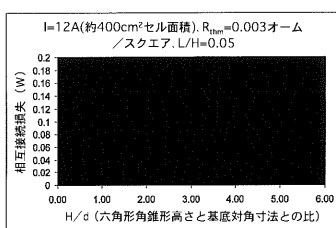
【図 82】



【図 83】



【図 84】



フロントページの続き

(74)代理人 100087217

弁理士 吉田 裕

(74)代理人 100072822

弁理士 森 徹

(74)代理人 100089897

弁理士 田中 正

(74)代理人 100137475

弁理士 金井 建

(72)発明者 モスレイ、メヘルダード

アメリカ合衆国、カリフォルニア、ロスアルトス、 スタンリー アベニュー 956

審査官 森江 健蔵

(56)参考文献 特表2001-508947(JP,A)

特表2002-511981(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 31/0224

H01L 31/04-31/078