

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-144106

(P2011-144106A)

(43) 公開日 平成23年7月28日(2011.7.28)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C30B 29/06 (2006.01)	C30B 29/06 501B	4G072
C30B 15/06 (2006.01)	C30B 15/06	4G077
C30B 33/00 (2006.01)	C30B 33/00	
C01B 33/02 (2006.01)	C01B 33/02 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L 外国語出願 (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2011-17190 (P2011-17190)
 (22) 出願日 平成23年1月12日 (2011.1.12)
 (31) 優先権主張番号 12/685,701
 (32) 優先日 平成22年1月12日 (2010.1.12)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 505407807
 エスピーエックス・コーポレーション
 アメリカ合衆国、ノース・カロライナ州
 28277、シャーロット、バラントイン
 ・コーポレイト・プレイス 13515
 (74) 代理人 100092093
 弁理士 辻居 幸一
 (74) 代理人 100082005
 弁理士 熊倉 禎男
 (74) 代理人 100088694
 弁理士 弟子丸 健
 (74) 代理人 100103609
 弁理士 井野 砂里
 (74) 代理人 100095898
 弁理士 松下 満

最終頁に続く

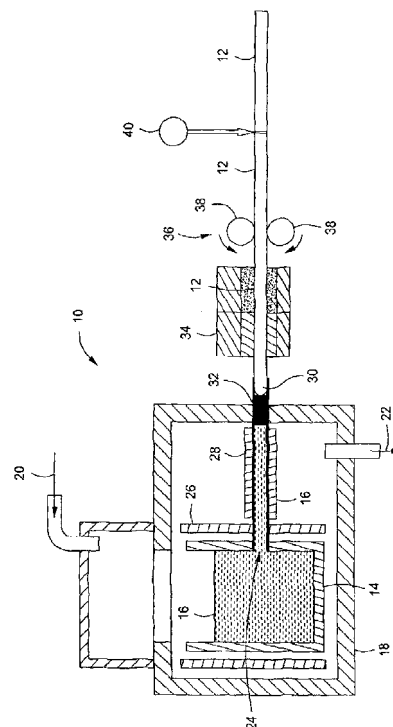
(54) 【発明の名称】 単結晶シリコンリボンの連続鑄造装置および連続鑄造方法

(57) 【要約】

【課題】比較的低コストで高品質の単結晶シリコンリボンを製造できる新規な装置および/またはシステムを提供することにある。

【解決手段】単結晶シリコンリボンの形成装置を提供する。本発明のシリコンリボンの形成装置はるつぼを有し、このるつぼ内でシリコン融成物が形成される。融成物は、るつぼから実質的に垂直方向に流出して、凝固前にシリコン種結晶と接触できる。リボンへの凝固にしたがって、制御された条件下でリボンの更なる冷却が行われ、リボンは最終的に切断される。また、上記装置を使用して単結晶シリコンリボンを形成する方法も提供される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

シリコン融成物を収容するように構成されたるつぼと、
このつぼに隣接して配置されかつ融成物が通ることができるように構成されたチャンネルと、

このチャンネルに隣接して配置されかつチャンネルを流れる融成物の温度を制御するように構成されたチャンネル加熱システムと、

融成物と接触しているシリコン種結晶を支持しかつこのシリコン種結晶を実質的に水平方向に移動させるように構成されたホルダと、

を有することを特徴とするシリコンリボン形成装置。

10

【請求項 2】

上記つぼを内部に収容する断熱チャンバを更に有することを特徴とする請求項 1 記載のシリコンリボン形成装置。

【請求項 3】

上記チャンネルおよびチャンネル加熱要素が断熱チャンバ内に収容されていることを特徴とする請求項 2 記載のシリコンリボン形成装置。

【請求項 4】

保護ガスを断熱チャンバ内に導入するように構成されたガス入口を更に有することを特徴とする請求項 2 記載のシリコンリボン形成装置。

【請求項 5】

上記断熱チャンバ内に真空を発生させるように構成された真空ポンプを更に有することを特徴とする請求項 2 記載のシリコンリボン形成装置。

20

【請求項 6】

上記チャンネルに隣接して配置されかつ融成物の凝固にしたがって融成物を熱処理するように構成された温度制御ゾーンを更に有することを特徴とする請求項 1 記載のシリコンリボン形成装置。

【請求項 7】

上記チャンネルに隣接して配置されかつ融成物の凝固にしたがって融成物を切断するように構成されたカッティングシステムを更に有することを特徴とする請求項 1 記載のシリコンリボン形成装置。

30

【請求項 8】

上記チャンネルに隣接して配置されかつ融成物の凝固部分を実質的に水平方向に引っ張るように構成されたプルシステムを更に有することを特徴とする請求項 1 記載のシリコンリボン形成装置。

【請求項 9】

上記つぼに隣接して配置されかつシリコン融成物を液体状態に維持するように構成されたるつぼ加熱システムを更に有していることを特徴とする請求項 1 記載のシリコンリボン形成装置。

【請求項 10】

容器内のシリコンを加熱して融成物を形成する段階と、
融成物の一部を容器からチャンネルを通して実質的に水平方向に流出させる段階と、
融成物の一部が容器から離れる方向に移動して凝固するときに、融成物の一部を種結晶と接触させることにより単結晶シリコンの形成を促進させる段階と、
を有することを特徴とするシリコンリボン形成方法。

40

【請求項 11】

上記容器を断熱チャンバ内に実質的に包囲する段階を更に有することを特徴とする請求項 10 記載のシリコンリボン形成方法。

【請求項 12】

上記断熱チャンバ内に真空を発生させる段階を更に有することを特徴とする請求項 11 記載のシリコンリボン形成方法。

50

【請求項 13】

上記断熱チャンバを保護ガスで実質的に充填する段階を更に有することを特徴とする請求項 12 記載のシリコンリボン形成方法。

【請求項 14】

上記融成物の一部が容器から離れる方向に移動するときに、いかに急速に融成物の一部を凝固させるかの温度制御を行うことを特徴とする請求項 10 記載のシリコンリボン形成方法。

【請求項 15】

上記温度制御段階および凝固は、容器を含む断熱チャンバ内で生じることを特徴とする請求項 14 記載のシリコンリボン形成方法。

10

【請求項 16】

上記融成物の一部がチャンネルを流れる流速は、融成物の一部の凝固にしたがって約 250 ミクロンより小さい厚さを有するシリコンリボンが形成されるように選択される段階を更に有することを特徴とする請求項 10 記載のシリコンリボン形成方法。

【請求項 17】

上記融成物の一部の内部応力を低下させるべく、融成物の一部の凝固にしたがってこの一部の熱プロセッシングを行う段階を更に有することを特徴とする請求項 10 記載のシリコンリボン形成方法。

【請求項 18】

上記融成物の一部の凝固にしたがって、機械的装置を用いて、融成物の一部を実質的に水平方向に移動させる段階を更に有することを特徴とする請求項 10 記載のシリコンリボン形成方法。

20

【請求項 19】

上記融成物の一部の凝固にしたがって融成物の一部を切断する段階を更に有することを特徴とする請求項 10 記載のシリコンリボン形成方法。

【請求項 20】

シリコンを加熱して融成物を形成する手段と、
融成物の一部を、上記加熱手段からチャンネルを通して実質的に水平方向に流出させる手段と、

上記融成物の一部が加熱手段から離れる方向に移動するときに、いかに急速に融成物の一部を冷却させるかを制御する手段と、

30

単結晶シリコンの形成を促進させる手段と、を有し、この促進手段は、融成物の一部が加熱手段から離れる方向に移動しかつ凝固するときに融成物の一部と接触するように配置されていることを特徴とするシリコンリボン形成装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、広くは、半導体 / 光起電プロセッシングに使用する装置およびシステムに関し、また半導体 / 光起電プロセッシング時に使用される方法に関する。

【背景技術】

40

【0002】

連続鋳造技術は、冶金工業においてアルミニウムおよび他の非鉄金属のビレットの製造に永く使用されている。しかしながら、近年では、この技術は、太陽電池用シリコン (Si) リボンを製造すべく改良されている。より詳しくは、例えばデンドリチック・ウェブ (Dendritic Web: WEB)、エッジデファインド・フィルムフェッド・グロース (Edge-defined Film-fed Growth: EFG)、ストリング・リボン (String-Ribbon: SR)、シリコンフィルム (Silicon Film: SF) (登録商標)、リボングロース・オン・サブストレート (Ribbon Growth on Substrate: RGS) 等の幾つかのシリコンリボン技術が商業化されているか、開発中である。

【0003】

50

チヨクラルスキー (Czochralski : CZ) 成長または直接凝固システム (Directional Solidification System : DSS) 成長等の従来の結晶シリコン技術と比較して、シリコンリボン技術は、シリコン成長の50%以上を無駄にする伝統的なウェーハカッティングプロセスを省略できる。またシリコンリボン技術は、従来の結晶シリコン技術と比較して、エネルギー消費を低減できる長所を有し、非常にコスト有効性に優れたものである。

【0004】

上記長所にもかかわらず、現在利用できる殆ど全てのシリコンリボン技術は、等軸晶組織を有するか、柱状シリコン粒を含む微細組織を有するシリコンリボンを製造するものである。換言すれば、現在利用できる殆ど全てのシリコンリボン技術は、多結晶シリコンを製造するものである。その上、高濃度の不純物に関連して多量の結晶粒界およびこれらの粒界に沿う欠陥が、これらのシリコンリボンから作られる太陽電池の最高効率を制限している。

【0005】

単結晶シリコンを製造する、現在利用できる唯一のシリコンリボン技術は、上記WEB技術である。しかしながら、この技術を実施するとき、シリコン成長を開始させるのに使用される樹枝状結晶の除去は問題が多い。また、WEB技術を用いるシリコン成長は、一般にウェブの中間に形成される双晶面を含んでいる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

少なくとも上記観点から、比較的 low コストで高品質の単結晶シリコンリボンを製造できる新規な装置および/またはシステムを提供することが望まれている。また、製造されたシリコンリボンは、例えば太陽電池の用途に使用することも望まれている。更に、このような比較的 low コストで高品質の単結晶シリコンリボンを製造する新規な方法を提供することも望まれている。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記要望は、本発明の1つ以上の実施形態により相当程度まで達成される。このような1つの実施形態によれば、シリコンリボンを形成する装置が提供される。この装置は、シリコン融成物を収容するように構成されたるつぼを有している。装置はまた、るつぼに隣接して配置されかつ融成物が通って流れることができるように構成されたチャネルを有している。また装置は、チャネルに隣接して配置されかつチャネルを通して流れる融成物の温度を制御するように構成されたチャネル加熱システムを有している。装置は更に、融成物と接触しているシリコン種結晶を支持しかつこのシリコン種結晶を実質的に水平方向に移動させるように構成されたホルダを有している。

【0008】

本発明の他の実施形態によれば、シリコンリボン形成方法が提供される。本発明の方法は、容器内の原料(例えば固体シリコン)を加熱して融成物を形成する段階を有している。この方法はまた、融成物の一部を容器からチャネルを通して実質的に水平方向に流出させる段階を有している。またこの方法は、融成物の一部が容器から離れる方向に移動して凝固するときに、融成物の一部を種結晶と接触させることにより単結晶シリコンの形成を促進させる段階を有している。

【0009】

本発明の更に別の実施形態によれば、シリコンリボンを形成する他の装置が提供される。この装置は、シリコンを加熱して融成物を形成する手段を有している。装置はまた、融成物の一部を、上記加熱手段からチャネルを通して実質的に水平方向に流出させる手段を有している。更に、装置は、融成物の一部が加熱手段から離れる方向に移動するときに、いかに急速に融成物の一部を冷却させるかを制御する手段を有している。また装置は、単結晶シリコンの形成を促進させる手段を有し、この促進手段は、融成物の一部が加熱手段から離れる方向に移動しかつ凝固するときに融成物の一部と接触するように配置されてい

10

20

30

40

50

る。

【0010】

以上、本発明の詳細な説明がより良く理解されるようにし、かつ当業界への本発明の寄与がより良く理解されるようにするため、本発明の或る実施形態をかなり概略的に説明した。もちろん、以下に説明する本発明の他の実施形態もあり、これらの実施形態は特許請求の範囲に記載の主題を形成する。

【0011】

この点に関し、本発明の少なくとも1つの実施形態を説明する前に理解すべきは、本発明は、以下の説明で述べまたは図面に示すコンポーネントの詳細な構造および配置にその適用が限定されるものではないことである。本発明は、説明された実施形態以外にも実施できかつ種々の態様で実施できる。また、本明細書並びに要約書において使用される語句および用語は、説明を目的とするものであって限定を意図するものではないと理解すべきである。

【0012】

また、当業者ならば、本明細書の開示が基づいている概念は、本発明の幾つかの目的を実行する他の構造、方法およびシステムを設計するための基礎として容易に利用できることは理解されよう。したがって、特許請求の範囲の記載は、本発明の精神および範囲から逸脱しない限り、このような均等構成をも含むものであると解釈すべきである。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の一実施形態による、シリコンリボン形成装置を示す概略図である。

【図2】図1に示した装置の温度制御ゾーン内のシリボンの代表的温度プロファイルを示すグラフである。

【図3】本発明の一実施形態による、図1に示したシリコンリボン形成方法の段階を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、添付図面を参照して本発明を説明する。なお、全図面を通して、同じ部品は同じ参照番号で示されている。図1は、本発明の一実施形態による、シリコンリボン12を形成する装置10を示す概略図である。図1に示すように、装置10は、シリコン融成物16を収容(すなわち保持)するように構成されたるつぼ(すなわち容器)14を有している。図1に示す融成物16は、るつぼ14内の溶融ポリシリコン原料により形成されている。しかしながら、融成物16は、本発明の1つ以上の実施形態の実施時に使用すべく、当業者には明白な他の任意の材料(単一または複数)を加熱することによっても形成できる。

【0015】

本発明の或る実施形態によれば、るつぼ14は、グラファイトで支持された、実質的に直方体の水晶容器である。しかしながら、水晶以外の材料を用いて、るつぼ14を形成できる。また、るつぼの他の構成および幾何学的形状も本発明の範囲内にある。

【0016】

図1には示されていないが、本発明の一実施形態によれば、るつぼ14の一部表面または全表面に1種類以上のセラミックコーティング(例えば、 Si_3N_4 、 SiO_2)を塗布できる。一般に、これらのコーティングは、るつぼ14から融成物16への酸素の溶解を低減させかつるつぼ壁へのシリコン融成物の付着を防止しまたは少なくとも低減させるように構成される。他の機能(例えば、高い表面硬度および耐引っ掻き性)を果たす非セラミックコーティング(単一または複数)も本発明の範囲内にある。

【0017】

図1に示すように、るつぼ加熱システム26が、るつぼ14に隣接して配置されている。本発明の或る実施形態によれば、るつぼ加熱システム26は、シリコン融成物16を液体状態に維持するように構成されている。また、るつぼ加熱システム26は、るつぼ14

10

20

30

40

50

内に導入される固体材料（例えば、上記原料中の多結晶シリコン）を溶解するように構成することもできる。図 1 に示す本発明の実施形態では、るつぼ加熱システム 26 は、チャンバ 18 の側壁に取付けられた 1 対のグラファイト抵抗ヒータを有している。しかしながら、他の形式の加熱要素および / またはこれらの他の位置への配置も本発明の範囲内にある。例えば、加熱システム 26 の一部をるつぼ 14 の下に配置するか、多ゾーン加熱形態で作動することができる。

【0018】

図 1 に示したるつぼ 14 および融成物 16 は、断熱チャンバ 18 内に収容（すなわち包囲）される。断熱チャンバ 18 は、熱損失を低減させまたは最小にできかつシリコンプロセスに関連する高温に耐えることができる任意の断熱材料（単一または複数）から作ることができる。図 1 に示す断熱チャンバ 18 の頂部にはガス入口 20 が配置され、底部には真空ポンプ 22 が配置されている。しかしながら、ガス入口 20 または真空ポンプ 22 の位置決めに関して特別な制限は課されない。また、多数の入口 / 出口を設けることも本発明の範囲内にあり、これにより、冗長性（redundancies）および / または断熱チャンバ 18 内に導入すべきガス混合物を加減できる。

10

【0019】

本発明の或る実施形態によれば、真空ポンプ 22 は断熱チャンバ 18 内に真空を発生するように構成され、ガス入口 20 は保護ガスまたはガス混合物（例えば、不活性ガス）を断熱チャンバ 18 内に導入するように構成されている。図 3 に示すフローチャートを参照して以下により詳細に説明するように、図 1 に示すガス入口 20 および真空ポンプ 22 を使用して、不活性雰囲気ガスが断熱チャンバ 18 内に導入される。また、シリコン融成物 16 の品質は、断熱チャンバ 18 内の不活性ガス（例えばアルゴン）の適当な圧力を維持することにより維持される（すなわち、融成物 16 は、汚染、酸化等から保護される）。また、るつぼ 14 から流出する融成物 16 の速度は、ガスの圧力レベルにより影響を受ける。換言すれば、シリコン融成物 16 の上方のガス圧力は、融成物 16 の頂面に作用する圧力を増減させるべく増大または減少される。

20

【0020】

図 1 に示すように、るつぼ 14 に隣接してチャンネル 24 が設けられている。チャンネル 24 は、図 1 に示す開位置にあるとき、シリコン融成物 16 がチャンネル 24 を通って流れることを可能にする。また図 1 には、チャンネル 24 に隣接して配置されたチャンネル加熱システム 28 が示されている。本発明の或る実施形態によれば、チャンネル 24 およびチャンネル加熱システム 28 の両方の少なくとも一部およびときには全部が断熱チャンバ 18 内に収容される。一般に、チャンネル加熱システム 28 は、シリコン融成物 16 がるつぼ 14 から凝固へと更に進行するとき、チャンネル 24 を通って流れるシリコン融成物 16 の温度を制御するように構成されている。

30

【0021】

図 1 に示された装置 10 の他のコンポーネントは、シリコン種結晶 32 を支持すべく構成されたホルダ 30 である。融成物 16 がるつぼ 14 から流出し始めるとき、ホルダ 30 は、最初に、種結晶 32 を、るつぼ 14 の外部の所定位置で融成物 16 と接触するように位置決めする。この位置で、融成物 16 の温度は、種結晶 32 が、図 1 に示す微結晶シリコンリボン 12 の形成を開始できる温度にある。

40

【0022】

ホルダ 30 はまた、種結晶 32 を支持することに加え、ひとたび上記リボン形成が開始されたときに、種結晶 32 をるつぼ 14 から離れる方向に実質的に水平に移動させるように構成されている。換言すれば、ホルダ 30 は、種結晶 32 およびこれに付着した全ての凝固シリコンを、図 1 に示すように、チャンネル 24 を通してるつぼ 14 から離れる方向に引っ張るように構成されている。これにより、多量の融成物 16 をるつぼ 14 から流出させて、多量のリボン 12 を凝固させかつ形成することが可能になる。

【0023】

図 1 には、温度制御ゾーン 34 が、チャンネル 24 に隣接して断熱チャンバ 18 の外部に

50

配置されているところが示されている。本発明の或る実施形態によれば、温度制御ゾーン 3 4 は、シリコン融成物 1 6 の凝固にしたがって（すなわち、固体のシリコンリボン 1 2 が形成された後に）、シリコン融成物 1 6 を熱処理するように構成されている。より詳しくは、温度制御ゾーン 3 4 は、シリコンリボン 1 2 の温度を徐々に低下させて、リボン 1 2 内の熱応力を実質的に無くすか、少なくとも大幅に低下させるのに使用される。必要ならば、温度制御ゾーン 3 4 は、リボン 1 2 を徐冷（アニーリング）して、リボン内の内部機械的応力を低下させ、リボン 1 2 にクラッキングが生じる蓋然性を更に低下させるように構成することもできる。

【0024】

シリコンが、シリコン融成物 1 6 の一部となっている状態とシリコンリボン 1 2 の一部となっている状態との間で遷移するとき、シリコンが装置 1 0 を通って連続的に移動することを確保するため、チャンネル 4 に隣接してプルシステム 3 6 も配置されている。図 1 には、プルシステム 3 6 が、温度制御ゾーン 3 4 に関してチャンネル 2 4 とは反対側に配置されているところが示されている。本発明の或る実施形態によれば、プルシステム 3 6 の速度は、シリコンリボン 1 2 の安定した均一な形成（すなわち、成長）を確保すべく入念に制御される。以下により詳細に説明するが、図 1 に例示するプルシステム 3 6 は、シリコンリボン 1 2 の完全に凝固した部分と摩擦接触する 1 対のローラ 3 8 を有している。しかしながら、本発明にしたがって、他のプルシステム 3 6 の構成を使用することもでき、またプルシステム 3 6 は図 1 に示した装置 1 0 の他のコンポーネンツに対して他の位置に移動することもできる。

10

20

【0025】

作動時に、ローラ 3 8 が図 1 に示すように回転（すなわち、上方ローラが反時計回り方向に回転し、下方ローラが時計回り方向に回転）すると、両ローラ間のシリコンリボン 1 2 が断熱チャンバ 1 8 から離れる方向に移動される（すなわち、選択される基準フレームに基づいて押出されるか、引出される）。また、リボン 1 2 は、種結晶 3 2 をるつぼ 1 4 から離れる方向に引出し、より多くのシリコン融成物 1 6 をるつぼ 1 4 から流出させることができる。

【0026】

本発明の或る実施形態によれば、プルシステム 3 6 は、シリコン融成物 1 6 の凝固部分（すなわち、シリコンリボン 1 2 の一部）を、ローラ 3 8 を用いて実質的に水平方向に移動させるように構成されている。しかしながら、断熱チャンバ 1 8 から離れる方向へのシリコンリボン 1 2 の移動を促進させるように構成された他の装置も本発明の範囲内に含まれる。

30

【0027】

上記全てのコンポーネンツ以外に、図 1 には、カッティングシステム 4 0 が、チャンネル 2 4 に隣接しかつプルシステム 3 6 に関して温度制御ゾーン 3 4 とは反対側に配置されているところが示されている。本発明の或る実施形態によれば、カッティングシステム 4 0 は、シリコン融成物 1 6 の凝固にしたがって（すなわち、融成物 1 6 がシリコンリボン 1 2 に凝固した後に）シリコン融成物 1 6 を切断するように構成されている。この機能を遂行するため、カッティングシステム 4 0 には、1 つ以上のソー（鋸）、1 つ以上のレーザーおよび/またはシリコンリボン 1 2 を 2 つ以上のピースに切断できる他の任意の装置/コンポーネンツ（単一または複数）を設けることができる。

40

【0028】

図 2 は、図 1 に示した装置 1 0 を通るシリコンリボンの温度プロファイルを示すグラフである。図 2 に示すように、温度は、シリコン融成物 1 6 がるつぼ 1 4 を出るときから比較的一定に維持されて、加熱チャンネル 2 8 に入る。温度は、シリコン融成物 1 6 が加熱チャンネル 2 8 を出るときから比較的急速に低下し、ここで融成物 1 6 は、一般にリボン 1 2 に凝固し始める（すなわち、温度は溶融温度 T_{melting} より低い温度に低下する）。次に、シリコンリボン 1 2 は温度制御ゾーン 3 4 に入る。しかしながら、ひとたび温度制御ゾーン 3 4 に入ると、リボン 1 2 内のあらゆる熱衝撃を低減/最小化すべく、冷却速度が遅

50

くなる。

【0029】

前述のように、本発明の或る実施形態によれば、リボン12の内部応力を徐冷により完全に除去できるように、温度は、温度制御ゾーン34内の選択された距離に亘って比較的一定に保持される。次に、シリコンリボン12が温度制御ゾーン34の出口に近づくと、温度は再び急速に低下できるようになる。最後に、温度制御ゾーン34を出るにしたがって、シリコンリボン12は大気条件下で冷却され、最終的に大気温度に到達する。

【0030】

図3は、図1に示した本発明の一実施形態によるシリコンリボン12の形成方法の段階を示すフローチャート42である。本発明による装置/システムおよび/または方法の使用により、長い少数キャリア寿命、少ない不純物および/または低い欠陥レベルを有する単結晶シリコンリボンを形成できる。換言すれば、本発明の或る実施形態を実施することにより、さもなくばCZ法またはDSS法により形成しなければならない、単結晶シリコンウェーハと同等のセル効率を有するシリコンリボンを得ることができる。

10

【0031】

図3に示す代表的な方法によれば、フローチャート42の第1段階(すなわち段階44)では、融成物(例えば、上記シリコン融成物16)を形成すべく、容器(例えば、図1に示したるつぼ14)内の原料(例えば、固体のポリシリコン)のバッチの加熱が規定される。加熱温度、溶融される原料の組成物(例えば不純物)または容器の幾何学的形状または組成物、および半導体工業で一般的に用いられているパラメータおよび組成物は、本発明の或る実施形態にしたがって選択される。

20

【0032】

段階46によれば、容器は、断熱チャンバ(例えば断熱チャンバ18)内に少なくとも実質的に包囲される。次に、段階48によれば、断熱チャンバ内に真空が発生される。断熱チャンバにより達成される実際の圧力に関し、特別な制限は全くない。しかしながら、本発明の或る実施形態によれば、5トルの公称圧力が達成される。段階48にしたがって、段階50に規定するように、断熱チャンバが、保護ガス(例えば不活性ガス)で充填される。本発明の或る実施形態によれば、段階48の間に、断熱チャンバ内にアルゴン環境が導入される。しかしながら、シリコン融成物が化学反応することを防止する他の不活性ガスおよび/または他のガスまたは混合物を含む環境を使用することもできる。

30

【0033】

段階52に記載されているように、次に、融成物の一部が容器からチャンネルを通して実質的に水平方向に排出される。本発明の或る実施形態によれば、段階52は、段階54で定められたパラメータにしたがって実施され、段階54では、約250ミクロンより小さい厚さを有するシリコンリボンが、融成物の一部の凝固にしたがって形成されるように、融成物の一部がチャンネルから排出される流速を選択すべきことが規定されている。当業者ならば、本発明の1つ以上の実施形態を実施するとき、例えば図1に示した装置10の構成/寸法およびプロセッシング温度(例えば、シリコン融成物16の温度、温度制御ゾーン34内の温度等)が、段階54を実施するときにかなる流速を選択すべきかについて影響を与えることは理解されよう。シリコンリボンの所望の寸法(例えば、厚さおよび幅)も、いかなる流速を選択すべきかについて影響を与える。

40

【0034】

図3に示す次の段階は段階56であり、この段階56は、融成物の一部が容器から離れる方向に移動しかつ凝固するときに、融成物の一部を種結晶と接触させることにより、単結晶シリコンの形成を促進することを規定している。図1を参照すると、段階56中に、融成物16がるつぼ14から流出し始めるとき、種結晶32はシリコン融成物16と最初の接触を行う。次に、種結晶32が断熱チャンバ18から出て、温度制御ゾーン34に向かって移動されると、融成物16が種結晶32に沿って引出され、冷却されて、最終的に凝固する。

【0035】

50

段階 5 6 にしたがって、段階 5 8 は、融成物の一部が容器から離れる方向に移動するときに、融成物の一部をいかに急速に凝固させるかの温度制御を規定している。本発明の或る実施形態によれば、段階 5 6 で規定された温度制御により、図 2 に示された冷却プロファイルの少なくとも一部が得られる。しかしながら、温度制御ゾーン 3 4 の存在に基づかない冷却プロファイルを含む他の冷却プロファイルも本発明の範囲内にある。

【 0 0 3 6 】

段階 5 8 に規定された凝固にしたがって、段階 6 0 によれば、融成物の一部内の内部応力を低減させるべく、段階 5 8 で説明した融成物の一部の熱プロセッシングが行われる。換言すれば、シリコン融成物 1 6 の一部が図 1 に示したシリコンリボン 1 2 の一部に凝固した後、シリコンリボン 1 2 の当該部分が有効に徐冷される。

10

【 0 0 3 7 】

図 3 に示した次の段階は段階 6 2 であり、この段階 6 2 には、融成物の一部の凝固にしたがって、機械的装置を用いて融成物の一部を実質的に水平方向に移動させる。本発明の或る実施形態によれば、図 1 に示したローラベースのプルシステム 3 6 と同一または同様な装置が使用される。しかしながら、シリコンが融成物からリボンに凝固するときに、シリコンの実質的に水平方向の（例えば、プッシュまたはプル）移動を行いおよび/または促進する他の装置も本発明の範囲内にある。

【 0 0 3 8 】

フローチャート 4 2 の最終段階は段階 6 4 であり、この段階 6 4 は、融成物の一部の凝固にしたがって当該一部を切断することを規定している。図 1 に示したカッティングシステム 4 0 に関連して前述したように、段階 6 4 は、例えば、ソーまたはレーザーの少なくとも一方を備えた装置またはシステムを用いて実施される。しかしながら、本発明の或る実施形態によれば、シリコンリボンを 2 つ以上のピースに切断できる他の任意のシステム / 装置を使用することもできる。

20

【 0 0 3 9 】

詳細な明細書から、本発明の多くの特徴および長所が明らかになったであろう。したがって、特許請求の範囲の記載は、本発明の精神および範囲内に含まれるこれらの全ての特徴および長所をカバーするものである。また、当業者ならば多くの変更を容易に想到できるので、本発明を図示しかつ説明したものと正確に同じ構造および作動に限定されず、したがって、適当な変更および均等物も本発明の範囲内に包含されるものである。

30

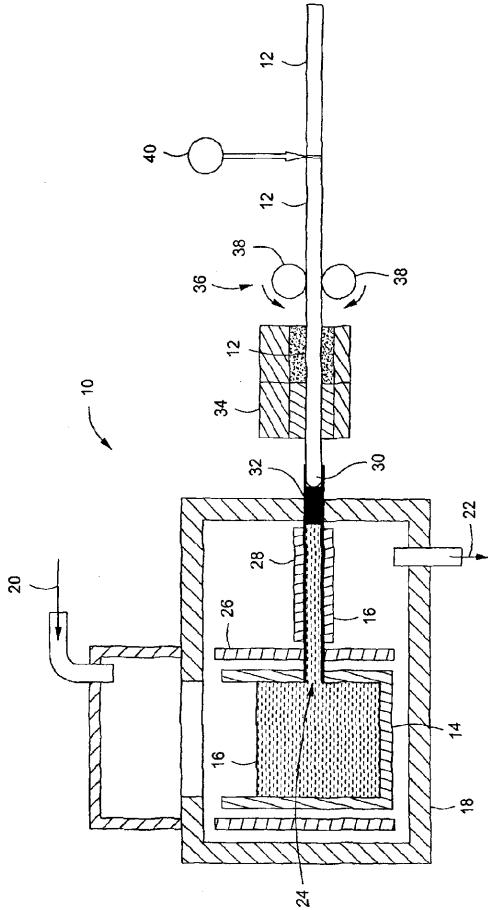
【 符号の説明 】

【 0 0 4 0 】

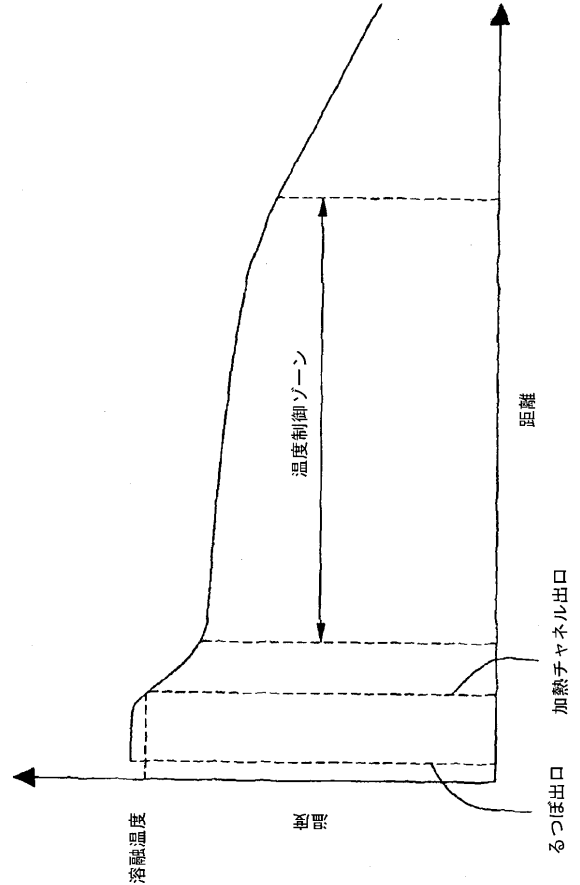
- 1 0 シリコンリボン形成装置
- 1 2 シリコンリボン
- 1 4 るつぼ
- 1 6 シリコン融成物
- 1 8 断面チャンバ
- 2 4 チャンネル
- 2 8 チャンネル加熱システム
- 3 0 ホルダ
- 3 2 シリコン種結晶
- 3 4 温度制御ゾーン
- 3 6 プルシステム
- 4 0 カッティングシステム

40

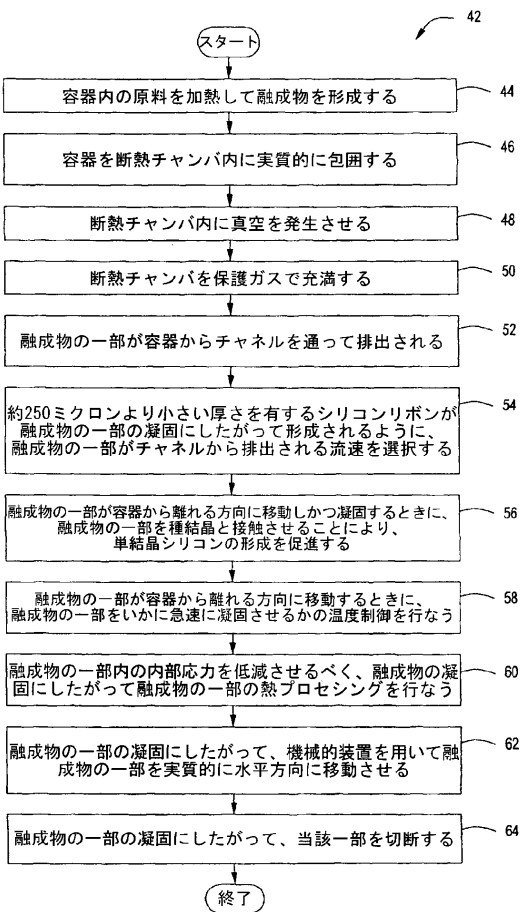
【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】



フロントページの続き

(74)代理人 100098475

弁理士 倉澤 伊知郎

(72)発明者 タオ リ

中華人民共和国 610072 シーチュアン チェンデュ キン ヤン グアン ファ キュン
ストリート グアン ファ 66 ブロック 3-3 1エフ ルーム 102

(72)発明者 キンユー パン

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14534 ピッツフォード スメシック コート 12

(72)発明者 ドリュウ ノーフェル

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14450 フェアポート シャプリ ドライブ 1

Fターム(参考) 4G072 AA01 BB01 BB11 GG04 GG05 HH01 MM21 MM38 NN03 RR13

UU02

4G077 AA03 BA04 CF01 CF03 EA01 EA05 EA06 EG11 EG12 EG18

EG19 EG20 EG21 EG22 EG25 EG29 EH07 EH09 FG13 HA01

HA12 PA03 PA10 PC01 PD02 PE12 PF16 PF17 PH01 PK01

PK03

【外国語明細書】

APPARATUS AND METHOD FOR CONTINUOUS CASTING OF MONOCRYSTALLINE SILICON RIBBON

FIELD OF THE INVENTION

The present invention relates generally to devices and systems used in semiconductor/photovoltaic processing. The present invention also relates generally to methods used during semiconductor/photovoltaic processing.

BACKGROUND OF THE INVENTION

Continuous casting technology has long been used to produce billets of aluminum and other nonferrous metals in the metallurgy industry. In recent years, however, this technology has been modified to produce silicon (Si) ribbon for solar cell applications. More specifically, some emerging silicon ribbon technologies such as Dendritic Web (WEB), Edge-defined Film-fed Growth (EFG), String-Ribbon (SR), Silicon FilmTM (SF) and Ribbon Growth on Substrate (RGS) have either been commercialized or are under development.

Compared to conventional crystalline silicon technologies such as Czochralski (CZ) or Directional Solidification System (DSS) growth, silicon ribbon technologies eliminate the traditional wafer-cutting process which can consume over 50% of the silicon grown. In addition, the silicon ribbon technologies benefit from reduced energy consumption and can be quite cost-effective relative to conventional crystalline silicon technologies.

The above notwithstanding, almost all currently available silicon ribbon technologies produce silicon ribbons with microstructures that are either

equiaxed or that include columnar silicon grains. In other words, almost all currently available silicon ribbon technologies produce multi-crystalline silicon. As such, the significant amount of grain boundaries, in conjunction with the high concentration of impurities and defects along these boundaries, limits the maximum efficiency of solar cells made therefrom.

The only currently available silicon ribbon technology that does produce monocrystalline silicon is the above-mentioned WEB technology. However, when implementing this technology, removal of the dendrites used to initiate silicon growth can be problematic. Also, silicon grown using WEB technology includes twin planes, typically formed in the middle of the web.

SUMMARY OF THE INVENTION

At least in view of the above, it would be desirable to provide novel devices and/or systems capable of producing relatively low-cost and high-quality monocrystalline silicon ribbons. It would also be desirable for the produced silicon ribbons to be applicable to, for example, solar applications. In addition, it would also be desirable to provide novel methods for producing such relatively low-cost and high-quality monocrystalline silicon ribbons.

The foregoing needs are met, to a great extent, by one or more embodiments of the present invention. According to one such embodiment, an apparatus for forming a silicon ribbon is provided. The apparatus includes a crucible configured to contain a silicon melt. The apparatus also includes a channel positioned adjacent to the crucible and configured to allow the melt to flow therethrough. In addition, the apparatus also includes a channel heating system positioned adjacent to the channel and configured to control temperature

of the melt flowing through the channel. Further, the apparatus also includes a holder configured to support a silicon seed crystal in contact with the melt and further configured to move the silicon seed crystal in a substantially horizontal direction.

In accordance with another embodiment of the present invention, a method of forming a silicon ribbon is provided. The method includes heating feedstock (e.g., solid silicon) in a vessel to form a melt. The method also includes channeling a portion of the melt out of the vessel in a substantially horizontal direction. In addition, the method also includes promoting single-crystal silicon formation by contacting the portion of the melt with a seed crystal as the portion of the melt moves away from the vessel and solidifies.

In accordance with yet another embodiment of the present invention, another apparatus for forming a silicon ribbon is provided. The apparatus includes means for heating silicon to form a melt. The apparatus also includes means for channeling a portion of the melt out of the means for heating in a substantially horizontal direction. Further, the apparatus also includes means for controlling how rapidly the portion of the melt cools as the portion moves away from the means for heating. In addition, the apparatus also includes means for promoting single-crystal silicon formation, wherein the means for promoting is placed in contact with the portion of the melt as the portion of the melt moves away from the means for heating and solidifies.

There has thus been outlined, rather broadly, certain embodiments of the invention in order that the detailed description thereof herein may be better understood, and in order that the present contribution to the art may be better

appreciated. There are, of course, additional embodiments of the invention that will be described below and which will form the subject matter of the claims appended hereto.

In this respect, before explaining at least one embodiment of the invention in detail, it is to be understood that the invention is not limited in its application to the details of construction and to the arrangements of the components set forth in the following description or illustrated in the drawings. The invention is capable of embodiments in addition to those described and of being practiced and carried out in various ways. Also, it is to be understood that the phraseology and terminology employed herein, as well as in the abstract, are for the purpose of description and should not be regarded as limiting.

As such, those skilled in the art will appreciate that the conception upon which this disclosure is based may readily be utilized as a basis for the designing of other structures, methods and systems for carrying out the several purposes of the present invention. It is important, therefore, that the claims be regarded as including such equivalent constructions insofar as they do not depart from the spirit and scope of the present invention.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

FIG. 1 is a schematic diagram of an apparatus for forming a silicon ribbon according to an embodiment of the present invention.

FIG. 2 is a graph of a representative temperature profile of an Si ribbon within the thermal control zone of the apparatus illustrated in FIG. 1.

FIG. 3 is a flowchart illustrating the steps a method of forming the silicon ribbon illustrated in FIG. 1 according to an embodiment of the present invention.

DETAILED DESCRIPTION

The invention will now be described with reference to the drawing figures, in which like reference numerals refer to like parts throughout. FIG. 1 is a schematic diagram of an apparatus 10 for forming a silicon ribbon 12 according to an embodiment of the present invention. As illustrated in FIG. 1, the apparatus 10 includes a crucible 14 (i.e., a vessel) configured to contain (i.e., hold) a silicon melt 16. The melt 16 illustrated in FIG. 1 is formed by melting polysilicon feedstock within the crucible 14. However, the melt 16 may also be formed by heating any other material(s) that will become apparent to one of skill in the art to use upon practicing one or more embodiments of the present invention.

According to certain embodiments of the present invention, the crucible 14 is a graphite-supported and substantially rectangular quartz vessel. However, materials other than quartz may also be used to form the crucible 14. Also, other crucible configurations/geometries are also within the scope of the present invention.

Although not illustrated in FIG. 1, according to certain embodiments of the present invention, one or more ceramic coatings (e.g., Si_3N_4 , SiO_2) may be applied to portions of or to all surfaces of the crucible 14. Typically, these coatings are configured to reduce the dissolution of oxygen from the crucible 14 to the melt 16, and prevent or at least reduce adhesion of silicon melt to the crucible walls. Non-ceramic coatings and/or coatings serving other

functions (e.g., increased surface hardness/scratch resistance) are also within the scope of the present invention.

As illustrated in FIG. 1, a crucible heating system 26 is positioned adjacent to the crucible 14. According to certain embodiments of the present invention, the crucible heating system 26 is configured to maintain the silicon melt 16 in a liquid state. In addition, the crucible heating system 26 may also be configured to melt a solid material (e.g., polycrystalline silicon in the above-discussed feedstock) that may get introduced into the crucible 14, thereby forming the silicon melt 16. In the embodiment of the present invention illustrated in FIG. 1, the crucible heating system 26 includes a pair of graphite resistance heaters that are attached to sidewalls of the chamber 18. However, other types of heating elements and/or alternate positioning thereof are also within the scope of the present invention. For example, a portion of the heating system 26 may be positioned below the crucible 14, or operated in a multi-zone heating configuration.

The crucible 14 and melt 16 illustrated in FIG. 1 are contained (i.e., enclosed) within an insulated chamber 18. The insulated chamber 18 may be made from any insulating material(s) capable of reducing or minimizing heat loss and of withstanding the high temperatures associated with silicon processing. At the top of the insulated chamber 18 illustrated in FIG. 1 is positioned a gas inlet 20 and at the bottom of the insulated chamber 18 is positioned a vacuum pump 22. However, no particular restrictions are placed upon the positioning either of the gas inlet 20 or of the vacuum pump 22. Also, multiple inlets/outlets are within

the scope of the present invention, thus allowing for redundancies and/or for gas mixtures to be introduced into the insulated chamber 18.

According to certain embodiments of the present invention, the vacuum pump 22 is configured to create a vacuum within the insulated chamber 18 and the gas inlet 20 is configured to introduce a protective gas or gas mixture (e.g., an inert gas) into the insulated chamber 18. As will be discussed in more detail below with reference to the flowchart illustrated in FIG. 3, using the gas inlet 20 and vacuum pump 22 illustrated in FIG. 1, an inert atmosphere may be introduced into the insulated chamber 18. As such, the quality of the silicon melt 16 may be maintained (i.e., the melt 16 may be protected from contamination, oxidation, etc.) by maintaining an appropriate pressure of inert gas (e.g., argon) within the insulated chamber 18. Also, the flow rate of the melt 16 out of the crucible 14 may be influenced by the pressure level of the gas. In other words, the gas pressure above the melt 16 may be increased or decreased to exert more or less pressure upon the top of the silicon melt 16.

As illustrated in FIG. 1, a channel 24 is positioned adjacent to the crucible 14. When in the open position illustrated in FIG. 1, the channel 24 allows for the silicon melt 16 to flow therethrough. Also illustrated in FIG. 1 is a channel heating system 28 that is positioned adjacent to the channel 24. According to certain embodiments of the present invention, at least a portion, and sometimes all, of both the channel 24 and channel heating system 28 are contained within the insulated chamber 18. Typically, the channel heating system 28 is configured to control the temperature of the silicon melt 16 flowing through

the channel 24 as the melt 16 proceeds further from the crucible 14 and towards solidification.

Another component of the apparatus 10 illustrated in FIG. 1 is a holder 30 that is configured to support a silicon seed crystal 32. As the melt 16 begins to flow out of the crucible 14, the holder 30 initially positions the seed crystal 32 in contact with the melt 16 at a predetermined location on the outside of the crucible 14. At this location, the temperature of the melt 16 is such that the seed crystal 32 is capable of initiating the formation of the monocrystalline silicon ribbon 12 illustrated in FIG. 1.

In addition to supporting the seed crystal 32, the holder 30 is also configured to move the seed crystal 32 in a substantially horizontal direction away from the crucible 14 once the above-mentioned ribbon formation has been initiated. In other words, the holder 30 is configured to pull the seed crystal 32 and any solidified silicon adhered thereto through the channel 24 and away from the crucible 14 as illustrated in FIG. 1. In turn, this allows for more melt 16 to flow out of the crucible 14, to solidify and to form more ribbon 12.

In FIG. 1, a thermal control zone 34 is illustrated as being positioned adjacent to the channel 24 and external to the insulated chamber 18. According to certain embodiments of the present invention, the thermal control zone 34 is configured to thermally treat the silicon melt 16 pursuant to the solidification thereof (i.e., after the solid silicon ribbon 12 has formed). More specifically, the thermal control zone 34 is used to gradually lower the temperature of the silicon ribbon 12, thereby substantially eliminating or at least greatly reducing thermal stresses within the ribbon 12. If necessary, the thermal

control zone 34 may also be configured to anneal the ribbon 12, thereby reducing internal mechanical stresses therein and further reducing the probability of the ribbon 12 cracking.

In order to ensure that silicon travels continuously through the apparatus 10 as the silicon transitions between being part of the silicon melt 16 and being part of the silicon ribbon 12, a pulling system 36 is also positioned adjacent to the channel 24. In FIG. 1, the pulling system 36 is illustrated as being positioned on the opposite side of the thermal control zone 34 as the channel 24. According to certain embodiments of the present invention, the speed of the pulling system 36 is carefully controlled to ensure a stable and uniform formation (i.e., growth) of the silicon ribbon 12. As will be discussed in more detail below, the exemplary pulling system 36 illustrated in FIG. 1 includes a pair of rollers 38 that are in frictional contact with a completely solidified portion of the silicon ribbon 12. However, other pulling system 36 configurations may also be used according to the present invention and the pulling system 36 may be moved to other positions relative to the other components of the apparatus 10 illustrated in FIG. 1.

In operation, as the rollers 38 rotate as illustrated in FIG. 1 (i.e., upper roller rotating counterclockwise and lower roller rotating clockwise), the silicon ribbon 12 between the rollers 38 is moved (i.e., is either pushed or pulled, depending on the frame of reference chosen) away from the insulated chamber 18. As such, the ribbon 12 draws the seed crystal 32 away from the crucible 14 and more of the silicon melt 16 is capable of flowing out of the crucible 14.

According to certain embodiments of the present invention, the pulling system 36 is configured to move a solidified portion the silicon melt 16 (i.e., a portion of the silicon ribbon 12) in a substantially horizontal direction using the rollers 38. However, other devices configured to promote movement of the silicon ribbon 12 away from the insulated chamber 18 are also within the scope of the present invention.

In addition to all of the other above-discussed components, FIG. 1 also illustrates that a cutting system 40 is positioned adjacent to the channel 24 and on the opposite side of the pulling system 36 from the thermal control zone 34. According to certain embodiments of the present invention, the cutting system 40 is configured to cut the silicon melt 16 pursuant to the solidification thereof (i.e., after the melt 16 has solidified into the silicon ribbon 12). In order to perform this function, the cutting system 40 may include one or more saws, one or more lasers and/or any other device(s)/component(s) capable of cutting the silicon ribbon 12 into two or more pieces.

FIG. 2 is a graph of a representative temperature profile of a silicon ribbon through the apparatus 10 illustrated in FIG. 1. As illustrated in FIG. 2, the temperature remains relatively constant from the time that the silicon melt 16 exits the crucible 14 and enters the heating channel 28. The temperature drops relatively quickly from the time that the silicon melt 16 exits the heating channel 28, where the melt 16 typically begins to solidify into the ribbon 12 (i.e., the temperature drops below the melting temperature, T_{melting}). Subsequently, the silicon ribbon 12 enters the thermal control zone 34. Once in the zone 34,

however, the rate of cooling slows in order to reduce/minimize any thermal shock in the ribbon 12

As mentioned above, according to certain embodiments of the present invention, the temperature is held relatively steady for a selected distance within the thermal control zone 34 so as to allow for internal stresses within the ribbon 12 to be annealed out. Next, as the silicon ribbon 12 nears the exit of the thermal control zone 34, the temperature again is allowed to drop relatively quickly. Finally, pursuant to exiting the thermal control zone 34, the silicon ribbon 12 is allowed to cool under ambient conditions until the ambient temperature is eventually reached.

FIG. 3 is a flowchart 42 illustrating the steps a method of forming the silicon ribbon 12 illustrated in FIG. 1 according to an embodiment of the present invention. It should be noted that, using devices/systems and/or methods according to the present invention, monocrystalline silicon ribbon may be formed that has long minority-carrier life, reduced impurities and/or reduced defect levels. In other words, by implementing certain embodiments of the present invention, silicon ribbon having a cell efficiency equivalent to monocrystalline silicon wafers may be obtained that otherwise would have to be formed by either the CZ or DSS method.

According to the representative method illustrated in FIG. 3, the first step (i.e., step 44) of the flowchart 42 specifies heating a batch of feedstock (e.g., solid polysilicon) in a vessel (e.g., the crucible 14 illustrated in FIG. 1) to form a melt (e.g., the above-discussed silicon melt 16). Although no particular restrictions are made on the heating temperature, the composition (e.g., impurity

content) of the feedstock being melted or on the geometry or composition of the vessel, parameters and compositions prevalent within the semiconductor industry are chosen according to certain embodiments of the present invention.

According to step 46, the vessel is at least substantially enclosed within an insulated chamber (e.g., insulated chamber 18). Then, according to step 48, a vacuum is created within the insulated chamber. No particular restrictions are placed on the actual pressure attained with the insulated chamber. However, according to certain embodiments of the present invention, a nominal pressure of 5 torr is attained. Pursuant to step 48, as specified in step 50, the insulated chamber is filled with a protective (e.g., inert) gas. According to certain embodiments of the present invention, an argon environment is introduced into the insulated chamber during step 48. However, environments including other inert gases and/or other gases or mixtures that would prevent the silicon melt from undergoing chemical reactions may also be used.

As stated in step 52, a portion of the melt is then channeled out of the vessel in a substantially horizontal direction. According to certain embodiments of the present invention, step 52 is implemented according to the parameters set forth in step 54 which specifies that a flow rate be selected at which the portion of the melt is channeled such that a silicon ribbon having a thickness of less than approximately 250 microns is formed pursuant to solidification of the portion of the melt. As one of skill in the art will appreciate upon practicing one or more embodiments of the present invention, parameters such as, for example, the configuration/dimensions of the apparatus 10 illustrated in FIG. 1 and the processing temperatures (e.g., temperature of the silicon melt 16,

temperatures within the thermal control zone 34, etc.) will affect which flow rate will be selected when implementing step 54. The desired dimensions of the silicon ribbon (e.g., thickness and width) will also affect which flow rate is selected.

The next step illustrated in FIG. 3 is step 56, which specifies promoting single-crystal silicon formation by contacting the portion of the melt with a seed crystal as the portion of the melt moves away from the vessel and solidifies. With reference to FIG. 1, during step 56, the seed crystal 32 makes initial contact with the silicon melt 16 as the melt 16 begins to flow out of the crucible 14. Then, as the seed crystal 32 is moved out of the insulated chamber 18 and toward the thermal control zone 34, the melt 16 is drawn along with the crystal 32, cooling and eventually solidifying.

Pursuant to step 56, step 58 specifies thermally controlling how rapidly the portion of the melt solidifies as the portion moves away from the vessel. According to certain embodiments of the present invention, the thermal control specified in step 56 results in at least a portion of the cooling profile illustrated in FIG. 2. However, other cooling profiles are also within the scope of the present invention, including those that do not rely on the presence of a thermal control zone 34.

According to step 60, pursuant to the solidification specified in step 58, the portion of the melt mentioned in step 58 is thermally processed to reduce internal stresses therein. In other words, after a portion of the silicon melt 16 has solidified into a portion of the silicon ribbon 12 illustrated in FIG. 1, that portion of the silicon ribbon 12 is effectively annealed.

The next step illustrated in FIG. 3 is step 62, which specifies effectuating movement of the portion of the melt in the substantially horizontal direction using a mechanical device pursuant to solidification of the portion of the melt. According to certain embodiments of the present invention, an apparatus similar or identical to the roller-based pulling system 36 illustrated in FIG. 1 is used. However, other devices that allow for and/or promote and/or effectuate movement (e.g., push or pull) of the silicon in a substantially horizontal direction as the silicon solidifies from a melt and into a ribbon are also within the scope of the present invention.

The final step in the flowchart 42 is step 64, which specifies cutting the portion of the melt pursuant to the solidification thereof. As discussed above in relation to the cutting system 40 illustrated in FIG. 1, step 64 may be implemented, for example, using a device or system that includes at least one of a saw or a laser. However, according to certain embodiments of the present invention, any other system/device capable of cutting a silicon ribbon into two or more pieces may also be used.

The many features and advantages of the invention are apparent from the detailed specification, and thus, it is intended by the appended claims to cover all such features and advantages of the invention which fall within the true spirit and scope of the invention. Further, since numerous modifications and variations will readily occur to those skilled in the art, it is not desired to limit the invention to the exact construction and operation illustrated and described, and accordingly, all suitable modifications and equivalents may be resorted to, falling within the scope of the invention.

What is claimed is:

1. An apparatus for forming a silicon ribbon, the apparatus comprising:
 - a crucible configured to contain a silicon melt;
 - a channel positioned adjacent to the crucible and configured to allow the melt to flow therethrough;
 - a channel heating system positioned adjacent to the channel and configured to control temperature of the melt flowing through the channel;
 - and
 - a holder configured to support a silicon seed crystal in contact with the melt and further configured to move the silicon seed crystal in a substantially horizontal direction.
2. The apparatus of claim 1, further comprising:
 - an insulated chamber within which the crucible is contained.
3. The apparatus of claim 2, wherein the channel and channel heating element are contained within the insulated chamber.
4. The apparatus of claim 2, further comprising:
 - a gas inlet configured to introduce a protective gas into the insulated chamber.
5. The apparatus of claim 2, further comprising:
 - a vacuum pump configured to create a vacuum within the insulated chamber.

6. The apparatus of claim 1, further comprising:
 - a thermal control zone positioned adjacent to the channel and configured to thermally treat the melt pursuant to solidification thereof.
7. The apparatus of claim 1, further comprising:
 - a cutting system positioned adjacent to the channel and configured to cut the melt pursuant to solidification thereof.
8. The apparatus of claim 1, further comprising:
 - a pulling system positioned adjacent to the channel and configured to pull a solidified portion of the melt in a substantially horizontal direction.
9. The apparatus of claim 1, further comprising:
 - a crucible heating system positioned adjacent to the crucible and configured to maintain the silicon melt in a liquid state.
10. A method of forming a silicon ribbon, the method comprising:
 - heating silicon in a vessel to form a melt;
 - channeling a portion of the melt out of the vessel in a substantially horizontal direction; and
 - promoting single-crystal silicon formation by contacting the portion of the melt with a seed crystal as the portion of the melt moves away from the vessel and solidifies.
11. The method of claim 10, further comprising:
 - substantially enclosing the vessel within an insulated chamber.

12. The method of claim 11, further comprising:
creating a vacuum within the insulated chamber.
13. The method of claim 12, further comprising:
Substantially filling the insulated chamber with a protective gas.
14. The method of claim 10, further comprising:
thermally controlling how rapidly the portion of the melt solidifies
as the portion moves away from the vessel;
15. The method of claim 14, wherein the thermally controlling step and
solidification occurs within an insulated chamber that includes the vessel.
16. The method of claim 10, further comprising:
selecting a flow rate at which the portion of the melt is channeled
such that a silicon ribbon having a thickness of less than approximately
250 microns is formed pursuant to solidification of the portion of the melt.
17. The method of claim 10, further comprising:
thermally processing the portion of the melt pursuant to
solidification thereof to reduce internal stresses therein.
18. The method of claim 10, further comprising:
effectuating movement of the portion of the melt in the
substantially horizontal direction using a mechanical device pursuant to
solidification of the portion of the melt.

19. The method of claim 10, further comprising:
 - cutting the portion of the melt pursuant to solidification thereof.

20. An apparatus for forming a silicon ribbon, the apparatus comprising:
 - means for heating silicon to form a melt;
 - means for channeling a portion of the melt out of the means for heating in a substantially horizontal direction;
 - means for controlling how rapidly the portion of the melt cools as the portion moves away from the means for heating; and
 - means for promoting single-crystal silicon formation, wherein the means for promoting is placed in contact with the portion of the melt as the portion of the melt moves away from the means for heating and solidifies.

ABSTRACT

An apparatus for forming monocrystalline silicon ribbon. The apparatus includes a crucible wherein a silicon melt is formed. The melt is allowed to flow substantially vertically out of the crucible and to contact a silicon seed crystal before solidification. Pursuant to solidification into a ribbon, further cooling of the ribbon occurs under controlled conditions and the ribbon is ultimately cut. Also, a method for forming monocrystalline silicon ribbon using the aforementioned apparatus.

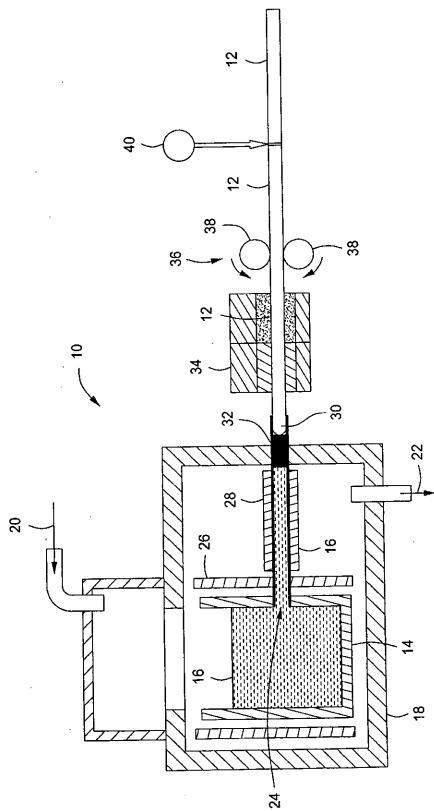


FIG. 1

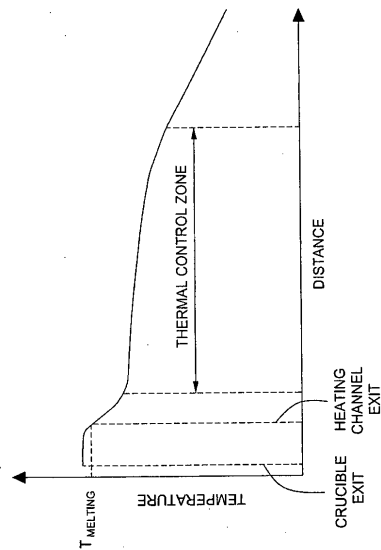


FIG. 2

