

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3754451号

(P3754451)

(45) 発行日 平成18年3月15日(2006.3.15)

(24) 登録日 平成17年12月22日(2005.12.22)

(51) Int. Cl.		F I			
H O 1 L	31/04	(2006.01)	H O 1 L	31/04	A
B 2 2 F	1/00	(2006.01)	B 2 2 F	1/00	A

請求項の数 23 (全 10 頁)

<p>(21) 出願番号 特願平8-520810</p> <p>(86) (22) 出願日 平成8年1月3日(1996.1.3)</p> <p>(65) 公表番号 特表平11-502670</p> <p>(43) 公表日 平成11年3月2日(1999.3.2)</p> <p>(86) 国際出願番号 PCT/GB1996/000007</p> <p>(87) 国際公開番号 W01996/021054</p> <p>(87) 国際公開日 平成8年7月11日(1996.7.11)</p> <p>審査請求日 平成14年12月6日(2002.12.6)</p> <p>(31) 優先権主張番号 08/368,229</p> <p>(32) 優先日 平成7年1月3日(1995.1.3)</p> <p>(33) 優先権主張国 米国(US)</p>	<p>(73) 特許権者 オンタリオ ハイドロ カナダ国 オンタリオ エム5ジー 1エ ックス6, トロント, ユニバーシティ ア ベニュー 700</p> <p>(74) 代理人 弁理士 長門 侃二</p> <p>(72) 発明者 スティーブンス, ギャリー ドン アメリカ合衆国 テキサス州 75287 ダラス レイバングラン コート 18 912</p> <p>(72) 発明者 パドバーニ, フランソワ エー アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 O 2090, ウェストウッド レゼルボワ ロード 60</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	--

(54) 【発明の名称】 半導体粒子の形成方法及び形成装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の半導体材料塊を耐火物層の上に互いに離間して形成する工程と、前記半導体原料を少なくとも部分的に融解させかつ半導体粒子を形成するのに十分なエネルギーを有した光学的エネルギーを、前記複数の半導体原料の塊へ向ける工程とを備えることを特徴とする、半導体粒子の形成方法。

【請求項2】

平方センチメートルあたり約400Wないし600Wのフラックス密度を有した前記光学的エネルギーを向ける工程を更に備えることを特徴とする請求の範囲第1項に記載の半導体粒子の形成方法。

【請求項3】

コンベア媒体の上に前記耐火物層を形成する工程と、前記コンベア媒体を進ませて、前記半導体原料塊を、前記光学的エネルギーを通して進ませる工程とを更に備えることを特徴とする請求の範囲第1項または第2項に記載の半導体粒子の形成方法。

【請求項4】

前記コンベア媒体を毎分約6.1メートルないし9.1メートルの速度で進める工程を備えることを特徴とする請求の範囲第3項に記載の半導体粒子の形成方法。

【請求項5】

前記コンベア媒体の上にシリカの層を前記耐火物層として形成する工程を備えることを特徴とする請求の範囲第3項または第4項に記載の半導体粒子の形成方法。

10

20

【請求項 6】

前記半導体原料としてシリコンを利用する工程を備えることを特徴とする請求の範囲第 1 項ないし第 5 項のいずれかに記載の半導体粒子の形成方法。

【請求項 7】

前記半導体原料としてドーブしたものを利用する工程を備えることを特徴とする請求の範囲第 1 項ないし第 6 項のいずれかに記載の半導体粒子の形成方法。

【請求項 8】

約 1 ミリメートルの厚さの前記シリカの層を形成する工程を備えることを特徴とする請求の範囲第 5 項ないし第 7 項のいずれかに記載の半導体粒子の形成方法。

【請求項 9】

テンプレートを利用して前記半導体原料塊を形成する工程を備えることを特徴とする請求の範囲第 1 項ないし第 8 項のいずれかに記載の半導体粒子の形成方法。

【請求項 10】

光学的アーク炉を利用して、前記半導体原料塊に前記光学的エネルギーを向けかつ該エネルギーの焦点を該塊へ合わせる工程を備えることを特徴とする請求の範囲第 1 項ないし第 9 項のいずれかに記載の半導体粒子の形成方法。

【請求項 11】

前記シリカの耐火物層から前記半導体粒子を分離する工程を備えることを特徴とする請求の範囲第 1 項ないし第 5 項のいずれかに記載の半導体粒子の形成方法。

【請求項 12】

前記半導体粒子からの分離の後に前記シリカの耐火物層を収集し、前記シリカの耐火物層を再処理する工程を備えることを特徴とする請求の範囲第 1 項ないし第 11 項に記載の半導体粒子の形成方法。

【請求項 13】

前記光学的エネルギーを前記半導体原料塊に向けたときに前記半導体原料塊の回りから周囲空気を一掃する工程を備えることを特徴とする請求の範囲第 1 項ないし第 12 項のいずれかに記載の半導体粒子の形成方法。

【請求項 14】

前記半導体原料塊を全て熔融させるに十分なエネルギーの前記光学的エネルギーを向ける工程を備えることを特徴とする請求の範囲第 1 項ないし第 13 項のいずれかに記載の半導体粒子の形成方法。

【請求項 15】

前記半導体原料塊が熔融しかつ前記半導体粒子を一般的には球状に形成するように、前記光学的エネルギーを向ける工程を備えることを特徴とする請求の範囲第 1 項ないし第 14 項に記載の半導体粒子の形成方法。

【請求項 16】

複数の半導体原料塊を耐火物層の上に互いに離間して形成するための手段と、前記複数の半導体原料塊に光学的エネルギーを向けて前記半導体原料塊を少なくとも部分的に融解させかつ半導体粒子を形成する手段とを備えることを特徴とする、半導体粒子の形成装置。

【請求項 17】

前記光学的エネルギーを向ける手段を通過させて、前記耐火物層および前記半導体原料塊を進めるコンベア媒体を更に備えることを特徴とする請求の範囲第 1 項ないし第 16 項に記載の半導体粒子の形成装置。

【請求項 18】

前記光学的エネルギーを向ける手段は、光学的アーク炉を備えることを特徴とする請求の範囲第 1 項ないし第 17 項に記載の半導体粒子の形成装置。

【請求項 19】

前記耐火物層から前記半導体粒子を分離するための手段を更に備えることを特徴とする請求の範囲第 1 項ないし第 18 項のいずれかに記載の半導体粒子の形成装置。

10

20

30

40

50

【請求項 20】

前記半導体原料を形成する手段はテンプレートを備えることを特徴とする請求の範囲第 16 項ないし第 19 項のいずれかに記載の半導体粒子の形成装置。

【請求項 21】

前記耐火物層はシリカを備えることを特徴とする請求の範囲第 16 項ないし第 20 項のいずれかに記載の半導体粒子の形成装置。

【請求項 22】

前記半導体原料は、シリコン、ゲルマニウムまたはガリウム砒素を備えることを特徴とする請求の範囲第 16 項ないし第 21 項のいずれかに記載の半導体粒子の形成装置。

【請求項 23】

前記半導体原料はドーブ材料を備えることを特徴とする請求の範囲第 16 項ないし第 22 項のいずれかに記載の半導体粒子の形成装置。

【発明の詳細な説明】

発明の技術分野

本発明は、一般的には光起電性の太陽電池アレイに関し、特に、太陽電池アレイに用いられ、質量が均一な半導体の球状体を効率的に製造する方法および装置に関する。

発明の背景

太陽電池は、太陽の太陽エネルギーを有用な電気エネルギーに変換する光起電性デバイスである。太陽電池は、典型的には、光反射性のアルミニウム箔に埋設されたドーブ半導体球体のマトリックスまたはアレイを備えている。半導体材料は、典型的にはシリコンを備える。その様な太陽電池の一つは、ホッチキス氏に対して付与され、本願と同一の譲受人へ譲渡された米国特許第 5,028,546 号「箔接触点を備えた太陽電池の製造方法」に開示されている。これらの太陽電池は、典型的には、シリコンの球状粒子を備えた透明なマトリックスから構成されている。各々の粒子は、一側のマトリックス面に露出した p 領域と他側のマトリックス面へ延びる n 領域とを有している。光の光子がシリコン球体に衝突したときに電気的エネルギーが発生して、2つの導電領域の間の空乏領域を横切る電子を誘起する。

本分野では、多数の半導体の球体製造方法が知られている。理想的な太陽電池アレイでは、半導体の球体は、シリコンなどの純粋半導体材料から構成され、均一の質量を有し、結晶性で形状が球状であり、太陽エネルギーから電気エネルギーへの変換効率が高く、自動化装置により大量生産されるようなものである。理想的なシリコン球体は、直径が約 30 ミル (1 ミル = 25.4 ミクロン) で、10% を上回るエネルギー効率を実現し、僅かな融解サイクルの間に球形状にされる。

レヴィン氏に付与された米国特許第 5069740 号の教示を本願明細書中に文献として援用するものであるが、この米国特許に開示されているように、従来公知のシリコン球体製造方法の一つは、まず、ふるいを用いて、不規則形状の冶金学グレード (metallurgical grade) のシリコン粒子をサイズ毎に分離する。所望の寸法範囲内の粒子は、シリコンの融点よりも高温で作動する抵抗加熱式の対流型平炉により融解される。シリコン粒子を大気中で加熱しても良く、これにより、融解プロセス中に粒子表面に二酸化ケイ素表皮を形成しつつ、シリコンの表面張力によって粒子が球状化される。これらの粒子の冷却を制御して球状の結晶性粒子を得る。従来公知の研磨を使用し、または HF 溶液などを用いた化学的エッチング法を使用して、二酸化ケイ素表皮が除去される。加熱、冷却の繰り返しによって、ボロンなどの不純物がシリコンから二酸化ケイ素表皮へ追い出される。従って、粒子を繰り返して加熱、冷却することは、より純粋なシリコン球体を得る助けになる。シリコンの粒子およびパウダを融解するための抵抗加熱炉は、処理能力および搬送能力の双方において制約がある。この種の炉は、熱をシリコンに直接に結合するものではない。この結果、シリコンおよびその下側の耐火材料ならびに搬送トレイをシリコンの融点まで加熱する必要が生じる。このため、エネルギー効率が低下するばかりでなく、その結果としてシリコン融点への到達遅れによる事前酸化が生じる。事前酸化は二酸化ケイ素の成長をもたらす。シリコン材料の事前酸化によって、シリコンパウダから溶融粒子への変換の効

10

20

30

40

50

率が低下すると共に、シリコンが二酸化ケイ素により覆われるので質量分布が広がる。二酸化ケイ素は溶融粒子への付着を阻害する。一酸化シリコンが形成されると、全体としてのシリコン産出量が減少する。ウォーキングビーム式平炉は、温度調節および搬送調節に関連して大きな制約がある。

その他の均一質量シリコン球体製造方法は、ノズルまたは回転ディスクからの溶融純粋シリコンのショットティング (shotting) を含む。この様にして形成される球体は、形状が非常に不規則であり、多結晶性である。球体は、材料を融点よりも高温へ再加熱した後に上述のように材料を可制御的に冷却するなどのその他のプロセスにより、後で結晶化することができる。

米国特許第 4,637,855 号には、その他の結晶性シリコン球体製造方法が開示されている。シリコン球体は、シリコン融点を越える温度での結合性を維持可能する基板表面に冶金学グレードのシリコンのスラリーを塗布することにより製造される。

次に、シリコンスラリー層をパターン成形して、冶金学グレードのシリコンの領域を設ける。そして、基板およびシリコンスラリーをシリコン融点よりも高温へ加熱する。シリコンがビードとしてスラリーから表面へ比較的純粋なシリコンとして上昇し、シリコンの高い表面張力または結合力によりシリコン球体が形成される。次に、球体は、シリコン融点よりも低温へ制御的に冷却され、シリコン球体が結晶化される。

幾人かの執筆者(すなわち、ドイツ国ミュンヘンのジーマンス・アー・ゲー社)が過去に公刊した報告によれば、融解シリコンパウダへ集中光を用いて連続モードで多結晶性シリコンリボンを形成する試みがなされている。これらのプロセスの全ては、パウダを固めた後に個々に固められたシートを融解させるべく、各側を多数回にわたって加熱する必要がある。溶融シリコンの表面張力によりシートが小さい溶融粒子へ分断されるので、シートを十分に融解させることは不可能であった。更に、毎分数センチメートルを上回る生産量は、秩序ある多結晶性構造のための要件を満たさないで、達成不能である。連続した多結晶性リボンの製造にあたっては高い生産能力を得ることができるとは考えられておらず、先の試みではいずれも低フラックス装置が用いられた。

エネルギー変換効率が高い太陽電池を実現するべく、半導体球体を高純度材料で構成する必要がある。冶金学グレードまたは半導体グレードのシリコンからスタートすることにより、最終的には、高純度のシリコン球体を得ることはできる。しかしながら、出発材料の不純物が多いほど、最終的に高純度のシリコン球体を得るには、より多くの後続の純化プロセスが必要になる。また、追加の融解・不純物除去サイクルを含む純化プロセスは時間がかかり、相当量のエネルギーを要し、全体としてのシリコン産出量が少なくなる。出発材料のコストに対して上記の考察をバランスさせる必要がある。冶金学グレードのシリコン原料に比べて、半導体グレードのシリコン原料のコストは高価である。しかしながら、規格外の半導体グレードのシリコン原料のコストは、冶金学グレードのシリコン原料のコストに匹敵するもので、不純物除去の必要がなくなる。

上記に相互参照した係属中の関連特許出願に開示されているように、耐火物層の上にパウダ原料を均一質量の塊として計量供給することにより、均一質量の半導体粒子を得ることができる。そして、半導体原料塊を一時的に融解させて、均一質量の統合化された半導体粒子を得る。シリカは好適な耐火物層であり、溶融過程後に半導体粒子を耐火物層から分離可能である。この独創的な計量プロセスは、自動化されたプロセス制御装置にて実施するのが望ましい。ここで、プロセスパラメータは正確に制御可能であり、事前酸化を殆どまたは全く生じることなしに、エネルギー変換効率および均一質量のシリコン球体の生産量の向上を図れる。

発明の概要

本発明は、高エネルギー光学炉を実装して、集束された高強度の光を複数の半導体パウダ原料塊へ向けて、これらの塊を殆ど瞬時に効率的に溶融させる。これにより、如何なる酸化物の成長をも阻止し、下側の耐火物層および搬送面への熱損失量を制限する。

光学炉は、半導体パウダ原料塊がベルトコンベアによって光学炉の下方を通過する間に半導体パウダ原料塊を殆ど瞬時に融解させ、原料を迅速に凝固させ一つの溶融粒子を形成す

10

20

30

40

50

る。下側に配される反射性の耐火基板を用いて、この光は、シリコンに直接に結合される。シリコン粒子は、基板に対するよりも互いの濡れが良く、変換性が向上する。原料は、部分的または全体的に融解可能で、結晶性または多結晶性粒子へ冷却され、次いで、その下側の、パウダ状または粒状の耐火物層から分離される。その後、球状性および結晶性を向上するべく再融解を実施しても良い。好ましくは、係属中の相互参照特許出願の手法によるテンプレートを用いて、半導体原料塊は計量供給されて均一質量の列にされる。この種の炉は、電力レベルおよび搬送速度をオンラインで迅速に調節可能である。

本発明の好適な実施形態による方法は、離間された複数の半導体原料塊を反射性の耐火物層の上で形成することを含む。十分な強度である高強度の光学的エネルギーが、複数の半導体原料塊へ向けられる。光学的エネルギーは、半導体原料を少なくとも部分的に融解しかつ一つの半導体粒子を形成する時間にわたって持続する。好ましくは、耐火物層は、ベルトコンベア上に広がったパウダ化されたシリカの薄い層を備える。この耐火物層は、光学炉で半導体原料塊と共に進行する。シリコン塊に対して光学的エネルギーの焦点を合わせると、耐火物層中に熱を発生させることは殆どない。好ましくは、光は、平方センチメートルあたり約400Wないし600Wのフラックス密度を有し、コンベア媒体は毎分約20フィート（毎分6.1メートル）ないし毎分30フィート（毎分9.1メートル）の速度で進行する。この好適形態では、カナダ国、ブリティッシュコロンビア、バンクーバのポータック・インダストリーズ・リミテッドが製造しているような、楕円形反射室を備えた高エネルギー光学炉を用いている。

シリカ耐火物層は、好ましくは、約1ミリメートルの厚さを有している。コンベア媒体は、好ましくは、光学炉中でかつ分離ステーションに向けて、シリカ耐火物層および半導体原料塊を支持すると共に進行させる連続ベルトである。分離ステーションでは、シリカ耐火物層から溶融半導体粒子が分離され、半導体粒子は一つの貯蔵部に収集されて後使用のために戻される。角度付きロッドスクリーン、振動スクリーン、空気サイクロンなどの、種々の分離装置を使用可能である。

上記の好適形態において、光学エネルギーが原料塊に向けられているとき、周囲空気は光学炉から及び半導体原料塊の回りから一掃され、殆ど瞬時の融解の間の半導体材料での酸化物の成長が抑制される。好ましくは、焦点を合わせた光学エネルギーは、半導体原料塊の全てを溶融させるのに足るエネルギーであって、溶融半導体材料は殆ど球状になる。

本発明の好適形態による装置は、耐火物層と、離間した半導体原料塊を耐火物層上で形成するための機構とを含む。この好適形態において、上記の機構は、耐火物層上で半導体パウダ原料の均一質量塊を形成するためのテンプレートを含む。高エネルギー光学炉が設けられ、光学エネルギーが複数の半導体パウダ原料塊に向けられると共に、これに光学エネルギーの焦点が合わされる。光学炉は、十分な光エネルギーを向け、少なくとも部分的に半導体原料塊を融解・溶融させる。該塊は、半導体粒子を形成する。ベルトコンベアは、耐火物層およびその上の半導体原料塊を、溶融のため、光学炉へ進めるためのコンベア媒体として利用される。半導体原料は、好ましくは、半導体グレードのシリコンを備える。但し、必要ならば、冶金学グレードのものであっても良い。更に、所要生産量に応じて、ドーブシリコン原料または非ドーブシリコン原料を利用可能である。その他の、ゲルマニウム、ガリウム砒素化合物を含む半導体原料材料、および、その他の周知の半導体材料も使用可能である。窒素ガスまたはアルゴンガスは、光学炉から半導体原料塊の回りの雰囲気溶融・融解中に一掃するために利用される。溶融/融解は殆ど瞬時であり、その後、半導体粒子は殆ど瞬時に凝固する。耐火物層には殆ど熱は供給されない。半導体原料のパウダまたは粒状物同士の濡れは、耐火物層との濡れよりも良好である。一掃された雰囲気では、半導体粒子内に酸化物層がとどまることはない。

耐火物層上の一点に向けられかつ焦点を合わされ、従って、半導体原料塊が耐火物層を通過する間に半導体原料塊に向けられかつ焦点を合わされた光学エネルギーによれば、僅か1ミリメートルの深さのシリカ耐火物層で充分であり、耐火物層を支持するコンベアベルトは、エネルギーを殆どまたは全く受けることがなく、冷却されたままである。すなわち、光学エネルギーは、半導体原料塊の温度を摂氏約1,450度まで一時的に上昇させるのに充

10

20

30

40

50

分である。コンベア表面での温度は摂氏100度よりも低い。好適形態では、コンベアベルトは、高分子(すなわち、ファイバグラス織布上のシリコン)からなる。但し、耐火物層が晒される温度により加熱されたときに嵩高にならないような硬質ゴムまたは金属でコンベアベルトを構成可能である。好適形態では、半導体原料塊は、約0.2秒の間に室温から約摂氏1,450度まで加熱される。光学エネルギーは、半導体原料塊を殆ど瞬時に溶融し、その後、半導体粒子は殆ど瞬時に凝固する。塊中には、シリコンの融点温度を上回る温度に維持するに足る熱が存在しないからである。

【図面の簡単な説明】

図1は、パウダ化された半導体原料の均一質量塊を溶融するための、本発明の好適形態による高エネルギー光学炉を含む装置の立面図である。

10

図2は、半導体原料塊を少なくとも部分的に融解させるための、好適な光学炉フラックス密度を、コンベアベルト速度の関数で示すグラフである。

好適形態の説明

図1を参照すると、高純度半導体粒子を形成するための、本発明の好適形態による自動化された大量生産装置は、符号10により一般的に示されている。左から右に見て、装置10は、シリカ(二酸化ケイ素)などのパウダ化された耐火物材料を含む計量分配貯蔵部12を含み、回転する無端コンベアベルト16上にシリカ14を均一に計量分配して均一厚さの耐火物層18を形成する。コンベアベルト16は、一對の両側の駆動ホイール20により進められ調節される。図示のように、各ホイールは、コンベア16の各端に配されている。符号22により一般的に示すローディング部では、テンプレート24が自動的にまたは手動で利用されて、シリコンのような半導体パウダ状原料26の均一質量の塊が計量分配される。半導体グレードのシリコン原料26を使用するのが好ましい。但し、必要であれば、冶金学グレードの原料を使用可能である。更に、所要生産量に応じて、ドーブシリコン原料または非ドーブシリコン原料を使用できる。

20

高エネルギーの光学アーク炉30が図示されている。アーク炉は、コンベアベルト16の中央部に位置づけられ、また、アークランプ32を含んでいる。光学炉30は、好ましくは、カナダ国ブリティッシュ・コロンビア、バンクーバのポーテックス・インダストリーズ・リミテッドにより製造されるアーク炉により構成される。図1中、矢印で示すように、ランプ32の高強度光学エネルギーは楕円形内壁34で反射されて、耐火物層18の上面に定めた単一点に向けられる。結果として、半導体原料の塊が進行されるときに、光学エネルギーの焦点は塊に合わされる。

30

パラボリック状またはU字状の内壁のような、その他の形状の反射壁34を使用可能であることが予期される。現状では、高生産性のシリコン溶融プロセス用に十分なフラックス密度を提供するその他の技術が存しないので、ポーテックス・インダストリーズ社により製造される光学炉が好ましい。炉30の受端38および出口端40は、耐火物層18の表面から上方へ約1センチメートルだけ離間され、半導体原料26の塊が炉の下方で進行可能で、また、溶融して統合する半導体粒子42を形成可能である。装置10の先端には、耐火物層18の落下流の直前では、アングル付きのロッドスクリーン50が図示のように方向づけられている。このスクリーンは、耐火物層18から一体化した半導体粒子42をすくい取り、図示のように、粒子42を収集貯蔵部48へ向ける。

40

好適形態において、耐火物層18は、好ましくは1ミリメートルの深さを有している。開口の配列(図示略)はテンプレート24を延びている。ローディング部22において、パウダ化された半導体原料が開口に充填される。耐火物層18からテンプレート24が取り除かれる前に、ドクタ・ブレードなどにより、上面が平滑されて余剰のパウダ原料が除去され、半導体原料塊26が形成される。必要ならば、テンプレート24による塊26の計量プロセスは自動化可能である。

光学炉30は中央室54を有している。溶融プロセス中、ダクト56を介して、窒素またはアルゴンなどの不活性ガスを室54へ導入することにより、室54から雰囲気空気を一掃可能である。従って、半導体原料塊26が殆ど瞬時に溶融される間、雰囲気不純物は存

50

在せず、半導体原料塊 26 を溶融して統合半導体粒状体 42 を形成する間に雰囲気不純物が半導体塊 26 中に侵入することはない。従来の対流炉において、その室内の雰囲気を一掃することは本分野では周知であり、本発明に開示の光学炉に対しても同様に適用可能である。溶融される半導体原料塊 26 の回りの雰囲気を一掃することにより、および、塊 26 上に光エネルギーの焦点をあわせることにより、半導体原料パウダのグレインに濡れが生じて、互いに容易に融合する。不純物（酸素を含む）を除去することにより、粒子 42 の表面にはシリコン酸化物は形成されず、また、半導体材料のすべてが一つの粒子の形成に転化される。従って、研磨や、HF などの酸性溶液を用いた化学的処理などによる清浄化のための後処理は不要である。

図 2 のグラフを参照すると、コンベア 16 の進行速度が毎分 20 ないし 30 フィート（毎分 6.1 メートルないし 9.1 メートル）である場合での光学炉 30 の好適な動作フラックス密度は 400 ~ 600 W/cm² であることが分かる。ベルト速度が遅いほど、半導体原料 26 の塊を少なくとも部分的に融解させるための、炉の所要フラックス密度は小さくなる。好適形態では、コンベア速度が毎分約 30 フィートの場合での最大フラックス密度は約 600 W/cm² である。上記は本発明に対して好適なパラメータであるが、これらの速度またはフラックス密度に限定されるものではなく、塊の融解の望ましい完了および複数の半導体塊間の融解の望ましい均一性に依じて、その他のパラメータを選択できる。本発明の一つの特徴は、光学的フラックス密度およびベルト速度を含むプロセスパラメータを、ウォームアップ時間を要することなく、殆ど瞬時に変化可能または設定可能である。この点で、従来の抵抗加熱式平炉を用いる場合に対して相当な改善が図られる。

動作方法

図 1 を参照して、本発明の好適形態による方法を説明する。駆動ホイール 20 を駆動することにより毎分約 20 ないし 30 フィートでコンベア 16 を均一に進めると、計量分配貯蔵部 12 はパウダ化されたシリカ 14 をコンベア 16 の上面に計量分配して、約 1 ミリメートル厚の耐火物層 18 を均一の厚さに形成する。

半導体塊のローディング部 22 では、テンプレート 24 を利用して、複数の均一質量の半導体原料塊 26 が計量供給される。テンプレート 24 の穴（図示略）の各々にはパウダ化された半導体原料が完全に充填される。この半導体原料は、好ましくは半導体グレードのものであるが、必要であれば、冶金学グレードのパウダ化された半導体原料でも良い。余剰の半導体原料は、必要に応じて好適な平滑ツールまたはドクタブレードにより、テンプレート 24 の上面から除去される。次いで、テンプレート 24 は、耐火物層 16 から慎重に除去され、図示のように、複数の均一質量の半導体原料塊 26 が形成される。

光学炉 30 の受端 38 の下方で、コンベア 16 は、半導体原料塊 26 を均一速度で室 54 内へ進める。半導体原料塊 26 が室 54 内の溶融位置 36 へ進む間、アークランプ 32 から連続的に放射される高強度の光学エネルギーが、楕円壁 34 で反射されて、溶融位置 36 ひいては半導体原料塊 26 に光学エネルギーの焦点が合わされる。平方センチメートルあたり 400 ないし 600 W のフラックス密度を有した光学炉と半導体粒子 26 を毎分 20 ないし 30 フィートで進めるコンベア 16 とにより、光学エネルギーは、約 0.2 秒の間に、原料材料の粒子を殆ど瞬時に濡れさせて融解、溶融する。シリコンの融点は約摂氏 1450 度である。アークランプ 32 により提供される光学エネルギーは、不完全な融解のみを達成するに足るのが好ましく、原料のグレインの各々は、単に、隣りのグレインとの融合のみを開始する。しかしながら、このエネルギーは、原料のグレインを互いに溶融させて一体化した半導体粒子 42 を形成するには十分なものである。必要ならば、半導体原料の塊 26 を完全に融解させるように光学エネルギーおよび/またはコンベア速度を確立し、パウダ化された原料を融合させ完全に融解させることができる。

光エネルギーの焦点を原料塊 26 に合わせることで、耐火物層 18 はエネルギーを殆ど受けず、殆ど加熱されない。従って、原料の粒状物は互いに濡れ、原料粒状物と耐火物層とは漏れを生じない。窒素またはアルゴンなどの不活性ガスをダクト 56 を介して導入することにより、室 54 の空気が一掃され、粒子 42 内への不純物の導入が回避される。溶融プロセスが殆ど瞬時に行われるので、事前酸化を生じることは殆どなく、シリコンが殆ど完全に

10

20

30

40

50

転化されて一体化した粒子42を形成し、均一質量の粒子42が実現される。さらに、研磨または化学的エッチングによる清浄化の後処理が不要である。

コンベア16は、溶融した半導体粒子42を溶融位置36から進め、半導体粒子は殆ど瞬時に凝固して多結晶粒子42を形成する。塊26での光学エネルギーは、半導体材料をその融点よりも高温に維持するには不足だからである。コンベア16は、光学炉30の出口40の下方において半導体粒子42を進め、半導体粒子を装置の先端へ進める。必要であれば、炉30はシュラウドを備えて雰囲気の一掃プロセスを行うものでも良い。

装置の先端において、ロッドスクリーン50は、収集貯蔵部46へ投入される耐火物層18から一体化した半導体粒子42をすくい取り、図示のように、半導体粒子42は、受入収集貯蔵部48へ案内される。ロッドスクリーンは、本分野で周知であり、本発明で好適である。但し、振動スクリーンおよびエアサイクロンを含むその他の代替物は公知であり、使用可能である。

貯蔵部48に収集された半導体粒子は、次いで、一つ以上の加熱・冷却(融解)サイクルによって再び処理されて必要ならば不純物を除去し、結晶性半導体球状体を得る。この後処理としての加熱および純化プロセスは、上記のプロセスを用いて、または、本願の従来技術説明で幾つか言及した本分野で周知のプロセスを用いて実行可能である。必要であれば、光学炉30の下方において、上述の場合と同一の速度または異なる速度でかつ同一または異なる光学的フラックス密度で、上述したように半導体粒子を進めることによって、半導体粒子42を再処理可能である。この様にして得た半導体球状体は最後に太陽電池に実装される。

本発明の好適形態によれば、高生産性の装置および方法が提供される。光学的溶融プロセス中に粒子中へ不純物を導入することなく、均一質量の半導体粒子42を得ることができる。光学炉30は、ウォームアップ時間が不要であるのでパワー効率に優れ、また、大きなエネルギーを耐火物層16へ向けることなしに、エネルギーを主として半導体原料塊へ直接に加えることができる。従って、従来の対流式の炉に比べて、光学炉を用いて時間およびエネルギーの浪費が回避される。

コンベア16が進む速度および光学炉30が動作するフラックス密度を含むプロセスパラメータは、正確かつ即時に制御可能である。これにより、半導体粒子42の生産量を制御可能とし、また、溶融プロセス中に半導体粒子を部分的に融解すべきか或いは全てを融解すべきかの半導体粒子42の組織を制御可能とする。純粹半導体粒子42を利用して塊26を形成する場合、純粹半導体粒子42が実現される。また、太陽電池アレイに実装される場合、エネルギー変換率が10%を上回るような高効率の太陽電池アレイが実現される。シリコンが、本発明によって処理される好適な半導体材料であるが、必要であれば、ゲルマニウムやガリウム砒素を含むその他の周知の半導体原料材料を利用可能である。好適形態において、半導体粒子は、約30ミル(1ミル=25.4ミクロン)の直径を有している。

シリカは、耐火物層18として好適な材料である。但し、必要であれば、石英ボートを含むその他の耐火物材料を使用可能である。しかしながら、半導体原料塊26を支持するために非常に円滑な反射層を形成でき、比較的安価であり、また、図示のように収集貯蔵部46に収集することにより容易に再処理可能である点において、シリカが理想的である。好適形態において、1フィート(300ミリメートル)幅の融解炉において毎分200,000個を上回る数の半導体粒子42を形成できる。勿論、この生産量は、本発明に関連する寸法およびプロセスパラメータのみにより制約される。より大きなコンベア、より大きなテンプレート、および/または、高フラックス密度の光学炉を用いることにより、より高い生産量を実現できる。

本発明のプロセスは適切に自動化されているので、高品質な半導体粒子の製造に関連する費用が非常に魅力のあるものになる。高度に均一で、高純度かつ高い均質性を有した半導体粒子が得られる。本発明は、公知の対流式の炉に関連する欠点を克服する。

上記において特定の好適形態を参照して本発明を説明したが、本願の教示に基づく種々の変形は本分野の熟練者には明らかである。

10

20

30

40

50

フロントページの続き

審査官 濱田 聖司

- (56)参考文献 特表昭60-501501(JP,A)
米国特許第4637855(US,A)
米国特許第5069740(US,A)
特開昭54-15662(JP,A)
特開昭53-44487(JP,A)
特開昭53-121493(JP,A)
特開昭61-124179(JP,A)
特開平5-63226(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 31/04 - 31/078
C30B 1/00 - 35/00