

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5290282号
(P5290282)

(45) 発行日 平成25年9月18日(2013.9.18)

(24) 登録日 平成25年6月14日(2013.6.14)

(51) Int.Cl.	F 1
C 30 B 29/06 (2006.01)	C 30 B 29/06 503
C 30 B 15/34 (2006.01)	C 30 B 15/34
C 01 B 33/02 (2006.01)	C 01 B 33/02 Z

請求項の数 19 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2010-511247 (P2010-511247)	(73) 特許権者	500031674 エバーグリーン ソーラー, インコーポ レイテッド アメリカ合衆国 マサチューセッツ 01 752, マールボーロ, バートレット ストリート 138
(86) (22) 出願日	平成20年5月27日 (2008.5.27)	(74) 代理人	100078282 弁理士 山本 秀策
(65) 公表番号	特表2010-528971 (P2010-528971A)	(74) 代理人	100062409 弁理士 安村 高明
(43) 公表日	平成22年8月26日 (2010.8.26)	(74) 代理人	100113413 弁理士 森下 夏樹
(86) 國際出願番号	PCT/US2008/064854		
(87) 國際公開番号	W02008/150761		
(87) 國際公開日	平成20年12月11日 (2008.12.11)		
審査請求日	平成23年3月31日 (2011.3.31)		
(31) 優先権主張番号	11/760,542		
(32) 優先日	平成19年6月8日 (2007.6.8)		
(33) 優先権主張国	米国(US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】局所冷却によってリボン結晶を成長させる方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

リボン結晶を成長させる方法であって、該方法は、
冷却装置を提供することと、
溶融材料に少なくとも2つの糸を通し、部分的に形成されたリボン結晶を生成することと、

該冷却装置を用いて、該部分的に形成されたリボン結晶の所与の部分を対流により冷却することと
を含み、

該部分的に形成されたリボン結晶は、該糸のうちの1つによって画定される縁を有し、
該部分的に形成されたリボン結晶は、また、該縁から離れて配置された内側部分を有し、
該所与の部分は、該縁と該内側部分との間にあり、対流により冷却することは、該所与の
部分の厚さを該内側部分の厚さより大きくさせることを含む、方法。

【請求項 2】

前記部分的に形成されたリボン結晶は、前記溶融材料との界面を形成し、対流により冷
却することは、対流冷却を変化させて、該界面の位置を変化させることを含み、前記所与
の部分は、該界面の該位置の関数である厚さを有する、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

対流により冷却することは、流体の流れを前記所与の部分の方向に向けることを含む、
請求項1に記載の方法。

10

20

【請求項 4】

流体送達装置は、前記流体の流れを、前記所与の部分に当たるよう面向け、前記流体の流れは、該所与の部分に接触した後で、前記部分的に形成されたリボン結晶の第2の部分に接触し、該流体の流れが該第2の部分を冷却する、請求項3に記載の方法。

【請求項 5】

流体送達装置は、前記流体の流れを前記所与の部分の方向に向け、該流体送達装置は、該所与の部分を放射的に冷却する、請求項3に記載の方法。

【請求項 6】

前記部分的に形成されたリボン結晶は、前記溶融材料との界面を形成し、対流により冷却することは、ガスの流れを、前記所与の部分の特定の位置に接触するよう面向けることを含み、該特定の位置は、該界面から間をあいて配置されている、請求項1に記載の方法。10

【請求項 7】

前記部分的に形成されたリボン結晶は、リボン幅を有し、前記所与の部分は、該リボン幅の半分以下の幅を有する、請求項1に記載の方法。

【請求項 8】

リボン結晶を成長させる方法であって、該方法は、
溶融材料を収納するつぼを提供することと、
該溶融材料に少なくとも2つの糸を通し、部分的に形成されたリボン結晶を生成することと、20

該部分的に形成されたリボン結晶の所与の部分に流体を向けることであって、該流体は、該所与の部分を対流により冷却することと
を含み、

該部分的に形成されたリボン結晶は、該糸のうちの1つによって画定される縁を有し、該部分的に形成されたリボン結晶は、また、該縁から間をあいて配置された内側部分を有し、該所与の部分は、該縁と該内側部分との間にあり、流体を向けることは、該所与の部分の厚さを該内側部分の厚さよりも大きくすることを含む、方法。

【請求項 9】

流体を向けることは、前記流体を前記所与の部分に向けるジェットを提供することを含み、該ジェットは、該所与の部分を放射的に冷却する、請求項8に記載の方法。30

【請求項 10】

前記ジェットは、前記流体の流れを前記所与の部分に当たるよう面向け、該流体の流れは、該所与の部分に接触した後で、前記部分的に形成されたリボン結晶の第2の部分に接触し、該流体の流れが該第2の部分を冷却する、請求項9に記載の方法。

【請求項 11】

前記流体は、ジェットから前記所与の部分に向って吹き込まれるガスを含み、該ガスは、100 ~ 400 の間の温度である、請求項8に記載の方法。

【請求項 12】

前記部分的に形成されたリボン結晶は、前記溶融材料との界面を形成し、さらに、前記流体は、前記所与の部分の特定の位置に接触し、該特定の位置は、該界面から間をあいて配置されている、請求項8に記載の方法。40

【請求項 13】

リボン結晶を形成する装置であって、該装置は、
溶融材料を収納するつぼであって、該つぼは、リボン結晶を成長させるための溶融材料に糸を通す糸穴を形成する、るつぼと、

該成長しているリボン結晶の縁と内側部分との間に向かってガスを内側に向けることと、該縁と内側部分との間の厚さを該内側部分の厚さよりも大きくするための、内側に面する出口ポートを有するガスジェットと

を含む、装置。

【請求項 14】

50

前記ガスジェットは、放射冷却材料を含む、請求項 1 3 に記載の装置。

【請求項 1 5】

前記放射冷却材料は、グラファイトを含む、請求項 1 4 に記載の装置。

【請求項 1 6】

前記ガスジェットは、前記るつぼから水平に距離をおいて配置されている、請求項 1 3 に記載の装置。

【請求項 1 7】

第 2 のガスジェットをさらに含み、前記第 1 のガスジェットは、ガスを第 1 の方向に向け、該第 2 のガスジェットは、ガスを第 2 の方向に向け、該第 1 および第 2 の方向は、異なる方向であり、平行である、請求項 1 3 に記載の装置。 10

【請求項 1 8】

前記第 1 のガスジェットおよび第 2 のガスジェットは、同軸であるそれぞれのガスの流れを生成する、請求項 1 7 に記載の装置。

【請求項 1 9】

前記糸穴を通る糸と、成長しているリボン結晶とをさらに含む、請求項 1 3 に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、概して結晶成長に関し、より具体的には、本発明は、リボン結晶の成長に関する。 20

【背景技術】

【0 0 0 2】

シリコンウェハは、太陽電池、集積回路、およびMEMSデバイスのような、半導体デバイスの幅広い多様性のビルディングブロックである。例えば、マサチューセッツ州マールボロのEvergreen Solar, Inc.は、周知の「リボン引き上げ(ribbon pulling)」技術によって製造されたシリコンウェハから太陽電池を形成している。

【0 0 0 3】

リボン引き上げ技術は、高品質シリコン結晶を生成するために、実証されたプロセスを使用する。そのようなプロセスは、しかしながら、破断しやすい比較的薄い領域を有するリボン結晶を生成し得る。例えば、図1は、従来技術のリボン結晶10Aの部分断面図を模式的に示している。この断面図は、リボン結晶12の残りの部分の厚さに比較して薄い、いわゆる「ネック領域12」を示している。 30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 4】

この問題を避けるために、従来のリボン引き上げ炉は、成長中のリボン結晶と溶融シリコンとの間の界面の形状と高さを変化するために、メニスカスシェーパを有し得、それにより、ネック領域12を排除している。この問題に対して有益ではあるが、適切な炉の動作を確実にするために、メニスカスシェーパが必然的に定期的な間隔で洗浄されなければならない。結果として、結晶成長プロセス全体は、メニスカスシェーパを洗浄するために中止されなければならなく、従って歩留りを低下する。さらに、メニスカスシェーパ洗浄は、手動/オペレータの干渉を必要とし、従って、製造コストを上昇する。 40

【課題を解決するための手段】

【0 0 0 5】

本発明の1つの実施形態によると、リボン結晶を成長する方法は、溶融材料を通じて、少なくとも2つの糸を通し、部分的に形成されたリボン結晶を生成する。方法は、また、部分的に形成されたリボン結晶の所与の部分を対流的に冷却する。

【0 0 0 6】

部分的に形成されたリボン結晶は、縁と、内側部分と、所与の部分とを有し、該縁は、前記糸のうちの1つによって概ね画定されており、該内側部分は、該縁から離れて配置されており、該所与の部分は該縁と該内側部分との間にある。対流冷却の場合、方法は、該所与の部分の厚さを該内側部分の該厚さより大きくさせ得る。いくつかの実施形態では、対流冷却は、対流冷却を変化して、該界面の位置を変化することを含み得る。前記所与の部分は、結果として、該界面の該位置の関数である厚さを有する。

【0007】

様々な実施形態において、対流冷却は、前記流体の流れを前記所与の部分に向けることによって遂行される。例えば、流体送達装置は、前記流体の流れを、前記所与の部分に当たるよう向けて得る。実際、前記流体の流れは、部分的に形成されたリボン結晶の第2の部分に接触し（該所与の部分に接触した後で）、該第2の部分を冷却する。成長中のリボン結晶を対流的に冷却することに加えて、該流体送達装置は、該所与の部分を放射的に冷却し得る。

10

【0008】

成長の間、前記部分的に形成されたリボン結晶は、リボン幅を有する。前記所与の部分は、該リボン幅の約半分を超えない幅を有し得る。

【0009】

本発明の他の実施形態によると、リボン結晶を成長する方法は、溶融材料を収納するためのるつぼを提供し、溶融材料を通じて、少なくとも2つの糸を通し、部分的に形成されたりボン結晶を生成する。その後、方法は、該部分的に形成されたリボン結晶の所与の部分に流体を向け、該所与の部分を対流的に冷却する。

20

【0010】

本発明の他の実施形態によると、リボン結晶を形成する装置は、溶融材料を収納するためのるつぼを有する。るつぼは、リボン結晶を成長するための溶融材料を通じて糸を通す糸穴を形成する。該装置は、また、該成長中のリボン結晶に向かってガスを概ね内側に向けるために、内側に面する出口ポートを有するガスジェットを有する。

【0011】

いくつかの実施形態では、前記ガスジェットは、前記るつぼから水平に距離を置いて配置されている。さらに他の実施形態では、該装置は、第2のガスジェットを有する。前記第1のガスジェットは、ガスを第1の方向に向け、該第2のガスジェットは、ガスを第2の方向に向け。例示的な該第1および第2の方向は、異なる方向であり、概ね平行である。例えば、前記第1のガスジェットおよび第2のガスジェットは、概ね同軸であるそれぞれのガスの流れを生成し得る。

30

【0012】

いくつかの実施形態は、また、前記糸穴を通る糸および成長中のリボン結晶をさらに含む。

例えば、本発明は以下の項目を提供する。

(項目1)

リボン結晶を成長させる方法であって、該方法は、
溶融材料に少なくとも2つの糸を通し、部分的に形成されたリボン結晶を生成すること
と、

40

該部分的に形成されたリボン結晶の所与の部分を対流により冷却することと
を含む、方法。

(項目2)

上記部分的に形成されたリボン結晶は、上記糸のうちの1つによって概ね画定される縁
を有し、該部分的に形成されたリボン結晶は、また、該縁から離れて配置された内側部分
を有し、該所与の部分は、該縁と該内側部分との間にあり、対流により冷却することは、
該所与の部分の厚さを該内側部分の厚さより大きくさせることを含む、項目1に記載の
方法。

(項目3)

50

上記部分的に形成されたリボン結晶は、上記溶融材料との界面を形成し、対流により冷却することは、対流冷却を変化させて、該界面の位置を変化させることを含み、上記所与の部分は、該界面の該位置の関数である厚さを有する、項目 1 に記載の方法。

(項目 4)

対流により冷却することは、流体の流れを上記所与の部分の方向に向けることを含む、項目 1 に記載の方法。

(項目 5)

流体送達装置は、上記流体の流れを、上記所与の部分に当たるよう面向け、上記流体の流れは、該所与の部分に接触した後で、上記部分的に形成されたリボン結晶の第 2 の部分に接触し、該流体の流れが該第 2 の部分を冷却する、項目 4 に記載の方法。

10

(項目 6)

流体送達装置は、上記流体の流れを上記所与の部分の方向に向け、該流体送達装置は、該所与の部分を放射的に冷却する、項目 4 に記載の方法。

(項目 7)

上記部分的に形成されたリボン結晶は、上記溶融材料との界面を形成し、対流により冷却することは、ガスの流れを、上記所与の部分の特定の位置に接触するよう面向けることを含み、該特定の位置は、該界面から間をあいて配置されている、項目 1 に記載の方法。

(項目 8)

上記部分的に形成されたリボン結晶は、リボン幅を有し、上記所与の部分は、該リボン幅の約半分以下の幅を有する、項目 1 に記載の方法。

20

(項目 9)

リボン結晶を成長させる方法であって、該方法は、溶融材料を収納するつぼを提供することと、

溶融材料に少なくとも 2 つの糸を通し、部分的に形成されたリボン結晶を生成することと、

該部分的に形成されたリボン結晶の所与の部分に流体を向けることであって、該流体は、該所与の部分を対流により冷却することとを含む、方法。

(項目 10)

上記部分的に形成されたリボン結晶は、上記糸のうちの 1 つによって概ね画定される縁を有し、該部分的に形成されたリボン結晶は、また、該縁から間をあいて配置された内側部分を有し、上記所与の部分は、該縁と該内側部分との間にあり、流体を向けることは、該所与の部分の厚さを該内側部分の厚さよりも大きくすることを含む、項目 9 に記載の方法。

30

(項目 11)

流体を向けることは、上記流体を上記所与の部分に向けるジェットを提供することを含み、該ジェットは、該所与の部分を放射的に冷却する、項目 9 に記載の方法。

(項目 12)

上記ジェットは、上記流体の流れを上記所与の部分に当たるよう面向け、該流体の流れは、該所与の部分に接触した後で、上記部分的に形成されたリボン結晶の第 2 の部分に接触し、該流体の流れが該第 2 の部分を冷却する、項目 11 に記載の方法。

40

(項目 13)

上記流体は、ジェットから上記所与の部分に向って吹き込まれるガスを含み、該ガスは、約 100 ~ 400 の間の温度である、項目 9 に記載の方法。

(項目 14)

上記部分的に形成されたリボン結晶は、上記溶融材料との界面を形成し、さらに、上記流体は、上記所与の部分の特定の位置に接触し、該特定の位置は、該界面から間をあいて配置されている、項目 9 に記載の方法。

(項目 15)

リボン結晶を形成する装置であって、該装置は、

50

溶融材料を収納するるつぼであって、該るつぼは、リボン結晶を成長させるための溶融材料に糸を通す糸穴を形成する、るつぼと、
該成長しているリボン結晶に向かってガスを概ね内側に向けるための、内側に面する出口ポートを有するガスジェットと
を含む、装置。

(項目16)

上記ガスジェットは、放射冷却材料を含む、項目15に記載の装置。

(項目17)

上記放射冷却材料は、グラファイトを含む、項目16に記載の装置。

(項目18)

上記ガスジェットは、上記るつぼから水平に距離をおいて配置されている、項目15に記載の装置。

(項目19)

第2のガスジェットをさらに含み、上記第1のガスジェットは、ガスを第1の方向に向け、該第2のガスジェットは、ガスを第2の方向に向け、該第1および第2の方向は、異なる方向であり、概ね平行である、項目15に記載の装置。

(項目20)

上記第1のガスジェットおよび第2のガスジェットは、概ね同軸であるそれぞれのガスの流れを生成する、項目19に記載の装置。

(項目21)

上記糸穴を通る糸と、成長しているリボン結晶とをさらに含む、項目15に記載の装置。

【図面の簡単な説明】

【0013】

当業者は、すぐ下にまとめられた図面を参照して、以下の「例示的実施形態の記述」から本発明の様々な実施形態の利点をより完全に容易に理解するであろう。

【図1】図1は、従来技術のリボン結晶の部分断面を模式的に示している。

【図2】図2は、本発明の例示的実施形態に従って生成され得るリボン結晶の上面図を模式的に示している。

【図3】図3は、図2の3-3で横切るリボン結晶の断面図を模式的に示している。

【図4】図4は、本発明の例示的実施形態を実装するリボン結晶炉の一部分を模式的に示している。

【図5】図5は、形成中のプロセスでのリボン結晶を模式的に示している。

【図6】図6は、本発明の例示的実施形態に従つたリボン結晶を形成するプロセスの一部分を示している。

【発明を実施するための形態】

【0014】

(例示的実施形態の記述)

本発明の例示的実施形態は、図1に示されたように、薄いネック領域のないリボン結晶を形成する。従つて、リボン結晶は、その大体の領域においては、破断しにくい。それを目的として、様々な実施形態が対流冷却技術を使用し、リボン結晶成長の1つ以上の特定の領域を局所的に冷却する。様々な実施形態の詳細は、以下で議論される。

【0015】

図2は、本発明の例示的実施形態に従つて構成されたリボン結晶10Bを模式的に示している。他のリボン結晶と同様な方法で、このリボン結晶10Bは、概ね長方形の形状と、その前面および後面に比較的大きな表面領域とを有している。例えば、リボン結晶10Bは、約3インチの幅、および6インチの長さを有し得る。当業者には公知のように、長さは、作業者が、成長中にリボン結晶10Bのどこを切断したいのかに依存して、大きく変化し得る。加えて、幅は、その2つの糸14(図3)の分離に依存して変化し得る。従つて、具体的な長さおよび幅の議論は、例示的であり、本発明の様々な実施形態を限定す

10

20

30

40

50

る意図ではない。さらに、リボン結晶 10B の厚さは、変化し、その長さおよび幅の大きさに比べて非常に薄い。

【0016】

より具体的には、図3は、図2の3-3で横切るリボン結晶10Bの断面図を模式的に示している。事前準備として、図3は、正確な縮尺では描かれていないことに注意が必要である。そうではなく、記述目的のみの模式図であると見なされるべきである。特に、リボン結晶10Bは、シリコン（例えば、ポリシリコン）によってカプセル化された1対の糸14から形成されている。シリコンによって囲まれてはいるが、糸14および糸14の外周のシリコンは、概ね、リボン結晶10Bの縁を形成する。

【0017】

リボン結晶10Bは、また、3つの隣接した部分、つまり、それを通る第1の糸14を有する第1端セクション16、中間セクション18、およびそれを通る第2の糸14を有する第2端セクション20を有していると見なされる。例示的実施形態では、中間セクション18は、リボン結晶10Bの全長の75%を構成する。第1および第2端セクション16および20は、従って、合わせてリボン結晶10Bの全長の約25%を構成する。

【0018】

示されたように、リボン結晶10Bの厚さは、第1端セクション16の端から、第1セクション16と中間セクション18との境界へ横断する場合、一般に増加する。厚さは、その後、中間セクション18の概ね中心まで減少を始め、その後、中間セクション18と第2端セクション20との境界まで増加する。第1端セクション16と同様に、リボン結晶10Bの厚さは、第2端セクション20の縁から、第2端セクション20と中間セクション18との境界に横断する場合、一般に増加する。結果として、図1に示されたように、どちらの端セクション16または20も脆弱なネック12を有しない。

【0019】

例として、リボン結晶10Bは、図3の矢印A-Aの間（つまり、第1セクション内）に概ね識別される第1の部分、および、同様に図3の矢印B-Bの間（つまり、中間セクション18内）に識別される内側部分を有していると見なされる。縁と内側部分B-Bとの間にある第1の部分A-Aは、内側部分B-Bよりも大きい厚さを有する。例えば、第1の部分A-Aは、約250ミクロンの厚さを有し得、一方、内側部分B-Bは、約200ミクロンの厚さを有し得る。もちろん、リボン結晶10Bの異なる部分は、部分A-AとB-Bとの間の関係と同様な関係を有し得る。例えば、リボン結晶縁に近い他の部分は、いくらか内側の部分よりも大きい厚さを有し得る。

【0020】

相対的な厚さ、寸法、サイズの議論は、例示的であり、本発明のすべての実施形態を限定するものではないことに注意すべきである。例えば、中間セクション18は増加する一方で、端セクション16および20の厚さは、実質的に一定である。他の例として、製造許容範囲を主題として、厚さは、リボン結晶10B全体にわたって実質的に均一であり得、あるいは、厚さは、セクション16、18、20のうちの1つの内で、あるいは、セクション16、18、20のうちの2つ以上の内で、大きかったり小さかったりし得る。さらに他の実施形態では、中間セクション18が、リボン結晶10Bの全長の半分より小さい部分を構成する一方で、2つの端セクションは、合わせてリボン結晶10Bの全長の半分より大きい部分を構成し得る。

【0021】

例示的実施形態は、図2および3に示されたリボン結晶10Bを生成するために、図4に示された炉22を使用し得る。図4は、使用中のこの炉を模式的に示しており、従って、溶融シリコンおよび、溶融シリコンから引き上げられているリボン結晶10Bを示している。具体的には、図4に示された炉22は、上記溶融シリコンを収容するつぼ26を支持する支持構造24を有している。加えて、炉22は、また、いくらかの放射冷却効果を提供する複数の冷却バー28を有する。冷却バー28は、選択的であり、従って、炉22から省かれてもよい。

【0022】

るつぼ26は、2つの高温糸14を受容する1対の糸穴30（そのうちの1つのみが示されている）を形成し、高温糸は、基本的に、成長中のシリコンリボン結晶10Bの縁領域を形成する。いくつかの実施形態では、るつぼ26は、複数対の糸穴30（例えば、4対の糸穴30）を有し、複数のリボン結晶10Bを同時に成長する。

【0023】

るつぼ26は、グラファイトから形成され得、好ましくは、溶融シリコンをその融点より上に維持できる温度まで抵抗加熱される。さらに、図4に示されたるつぼ26は、その幅よりもずっと大きい長さを有している。例えば、るつぼ26の長さは、その幅の3倍以上大きくあり得る。もちろん、いくつかの実施形態では、るつぼ26は、この方法で細長くされてはいない。例えば、るつぼ26は、ある程度、正方形形状を有し得るか、あるいは、非長方形形状を有し得る。

10

【0024】

例示の実施形態によると、炉22は、図1に関して上述した脆弱なネック12の問題を実質的に排除する方法で、成長中のリボン結晶10Bを冷却する性能を有する。具体的には、炉22は、成長中のリボン結晶10B（例えば、第1および/または、第2端セクション16および20）の特定部分を冷却する冷却装置を有し、従って、それらの領域のその厚さを効果的に増加する。

【0025】

その目的に対して、本発明者は、対流冷却技術がこのゴールを達成するために採用され得ることを発見して驚いた。より具体的には、溶融シリコンは、一般に、約1420を超える温度のような、非常に高い温度に維持されている。例えば、溶融シリコンは、1420と1440との間の温度に維持され得る。発明者の理解としては、当業者は、概して、それらの温度に近づくなにかを冷却するためには、対流冷却を使用しないであろう。

20

【0026】

発明者らは、しかしながら、数ある理由で特に、各冷却装置が成長中のリボン結晶10Bの非常に小さい部分のみを冷却するので、この場合には対流冷却で足りることを発見して驚いた。そのような小領域に対応する総質量は、非常に小さく、また、その厚さに比べて、比較的大きな表面積を有している。従って、所与のこれらの条件で、発明者は、対流冷却が所望の応用に対して十分であることを発見した。

30

【0027】

従って、その目的のために、図4に示された実施形態は、成長中のリボン結晶10Bのはっきりと区別できる部分に向かってガスを概ね向ける出口を有する、複数のガスジェット32を有する。示されたように、それぞれの成長中のリボン結晶10Bは、ガスジェット32の2つの関連した対を有する。ガスジェット32の1つの対は、リボン結晶10Bの第1端セクション16を冷却し、ガスジェット32の第2の対は、リボン結晶10Bの第2端セクション20を冷却する。対の各ジェット32は、例示的にリボン結晶10Bの実質的に同じ部分の反対側を冷却する。従って、図4に示された各対のジェット32は、概ね平行であるが逆方向にガス流を向ける。例えば、対の中の一方のジェット32のガス流は、その対の他方のジェット32によって生成されたガス流と、概ね同軸であり得る（2つの流れは、成長中のリボン結晶10Bによって提供される分離のために、混ざらない）。

40

【0028】

冷却機能の制御を改善するために、ガスジェット32は、実質的に円柱状のガス流をリボン結晶10Bに好ましくは提供する。その目的のために、例示的実施形態は、その内側ボアの内径に比べて、比較的長い管を使用する。例えば、管の長さの内径に対する比は、10あるいはより大きいオーダであり得る。管は、従って、約1ミリメータの実質的に一定の内径および約12ミリメータの長さを有し得る。

【0029】

50

例示的ガスの流れは、それぞれ、リボン結晶の比較的小さい部分に直接当たる。実際、この比較的小さい部分は、冷却されることを意図された全体のセクション／部分よりずっと小さい（第1の端セクション16のように）。例えば、柱状のガスの流れの概ね中心は、結晶縁から約1ミリメータ縦に、かつ、溶融シリコンと成長中のリボン結晶の界面の上で約1ミリメータ水平において、リボン結晶10Bに接触するように狙いを付けられ得る（以下で議論され、参考番号34によって識別される）。この比較的小さい部分との接触は、しかしながら、ガスの温度をある範囲で上昇し得るが、必ずしもその後の冷却効果を除くものではない。従って、リボン結晶10Bのこの小さい領域に当たった後に、ガスは移動し、リボン結晶10Bの他の部分に接触し、従って、また、計画によって、その他の部分を冷却する。結局は、ガスは消散し、残っているガスは、もはやリボン結晶10Bを冷却する能力を有さない温度にまで加熱する。ガスは、このようにして、リボン結晶10Bに接触するので、冷却勾配を形成すると見なされる。従って、例示の方法によって、ガスジェット32は、リボン結晶10Bの第1端セクション16全体を、この一次および二次冷却効果の両方で実質的に冷却する。

【0030】

冷却されている領域の全サイズは、いくつかの異なるファクタに依存する。とりわけ、そのようなファクタは、ガス流量、ガス種、ジェット32のサイズ、成長中の結晶10Bのスピード、溶融シリコンの温度、および、ガスジェット32の位置を含み得る。

【0031】

例示的実施形態は、いくつかのガス種および流量のどれでも使用でき、成長中のリボン結晶10Bの局所厚さを制御する。例えば、いくつかの実施形態は、毎分40リッターまでの流量で流れるアルゴンガスを使用する。流量は、ジェット32の出口から成長中のリボン結晶10Bへの距離、リボン結晶10Bの所望の冷却領域、成長中のリボン結晶10Bの質量、およびガスの温度を含む、いくつかのファクタに基づいて決定されるべきである。しかしながら、流量が、成長中のリボン結晶10Bに損傷を与えるほどには高くなことを確証することを、心に留めておくべきである。従って、高い流量は冷却を改善するが、リボン結晶10Bに損傷を与える可能性がある。

【0032】

さらに、上の例では、アルゴンガスが、100から400の温度（例えば、200）でジェット32から放射され得る。もちろん、他の特性を有する他のガスが使用され得る。従って、アルゴンおよび具体的な温度の議論は、本発明の様々な態様を限定すべきではない。

【0033】

成長中のリボン結晶10Bを対流的に冷却することに加えて、ガスジェット32は、また、放射冷却のソースとしても働く。具体的には、例示的実施形態において、ガスジェット32は、ヒートシンクとして効果的に働く材料から形成される。例えば、ガスジェット32は、グラファイトから形成され得る。従って、成長中のリボン結晶10Bに比較的近い近位に配置された場合、ガスジェット材料は、局所的に熱を吸収し、従って、成長リボン結晶10Bの所望の部分への冷却効果を進める。それぞれのガスジェット32は、従つて、2つの冷却ソース、つまり対流冷却と放射冷却、を提供しているように見なされ得る。

【0034】

代替の実施形態では、しかしながら、ガスジェット32は、成長中のリボン結晶10Bを放射的に冷却できる材料から形成されてはいない。代わりに、ジェット32は、成長中のリボン結晶10Bへの無視できる冷却効果と同程度の効果を提供する材料から作られ得る。

【0035】

具体的なガスジェット32は、任意の数の異なる位置に配置され得ることに注意が必要である。例えば、それらを冷却部分、つまり、第1および第2の端セクション16および20のすべてに配置するより（あるいは、それに加えて）、ガスジェット32は、また、

10

20

30

40

50

冷却部分、つまり、中間セクション 18 のすべてに配置され得る。他の例として、炉 22 はリボン結晶 10B の一方の側に、リボン結晶 10B の他方の側よりも多くのガスジェット 32 を有し得る。応用の性質がこのように、ガスジェット 32 の数および位置を指図する。

【0036】

るつぼ 26 は、炉 22 から除去可能であり得る。そうするために、炉がシャットダウンされる場合、作業者は、るつぼ 26 を、炉 22 から縦方向に単に持ち上げればよい。除去を簡単にするために、ガスジェット 32 は、好ましくは、るつぼ 26 の垂直面から水平に距離をおき、その除去を容易にしている。例えば、るつぼ 26 が約 4 センチメータの幅を有している場合ならば、所与の対のガスジェット 32 は、約 4 センチメータより大きく離間しており、従って、容易なるつぼの除去のための十分なクリアランスを提供している。10

【0037】

さらに、それぞれのガスジェット 32 の垂直位置は、リボン結晶 10B の厚さに影響する。具体的には、背景として、成長中のリボン結晶 10B が溶融シリコンを出会う点は、しばしば、界面と呼ばれる。図 5 に示されたように、界面 34 は、溶融シリコンの最上面から垂直に上方に延びているメニスカスの頂部を、実効的に形成する。メニスカスの高さは、リボン結晶の厚さに影響する。特に、高いメニスカスは、短いメニスカスの頂部の厚さに比較した場合、その頂部に非常に薄い厚さを有している。

【0038】

当業者には公知のように、この領域での、あるいはこの領域近くでの厚さは、成長中のリボン結晶 10B の厚さを決定する。言い換えれば、成長中のリボン結晶 10B の厚さは、界面 34 の位置あるいは高さの関数である。当業者には公知のように、メニスカス周りの領域の温度は、メニスカス / 界面 34 の高さを制御する。具体的には、その領域の温度が冷たい場合、メニスカス / 界面 34 は、温度が暖かい場合よりも低くなるであろう。20

【0039】

従って、ガスジェット 32 の冷却効果は、メニスカスの高さを直接制御し、結果として、成長中のリボン結晶 10B の厚さを制御する。炉 22 は、従って、ガス流量、ガスが流れる温度、ガスジェット 32 の間隔等のような、システムパラメータを制御し、界面 34 の高さを制御するように構成されている。これは、成長の間、あるいは成長プロセスを始める前のいずれでも変化し得、界面 34 の位置を変化する。30

【0040】

いくつかの実施形態では、ガスジェット 32 は、可動であり得る。例えば、ガスジェット 32 は、固定的に配置され得るが、枢動可能であり得る。他の例では、ガスジェット 32 は、炉 22 に沿って水平に動くように、スライド可能に接続され得る。

【0041】

図 6 は、リボン結晶 10B を形成する、部分的な、単純化したプロセスを示す。第 1 のステップの前に、るつぼ 26 は溶融シリコンで満たされる。このように、プロセスはステップ 600 で始まり、ステップ 600 は、るつぼ 26 中の糸穴 30 を通って糸 14 を通す。これらが溶融シリコンから現れるとき、これらの糸 14 は、成長中のリボン結晶 10B を実効的に形成する。40

【0042】

プロセスは、ステップ 602 に続き、成長中のリボン結晶 10B の 1 つ以上の部分を冷却する。上に注解したように、プロセスは、対流冷却のみ、あるいは、対流冷却および放射冷却の両方で冷却する。

【0043】

従って、成長中のリボン結晶 10B を対流的に冷却することによって、例示的実施形態は、上記のネックによって起こされる破断問題を実質的に和らげる。これは、同様な目的のために追加されたコンポーネントのための作業者の徹底的な洗浄作業の必要なしで、歩留りを向上する。

【0044】

50

上の議論は本発明の様々な例示的実施形態を開示しているが、当業者が、本発明の真の範囲から外れることなく、本発明の利点のいくつかを達成する様々な修正を行い得ることは明白である。

【図1】

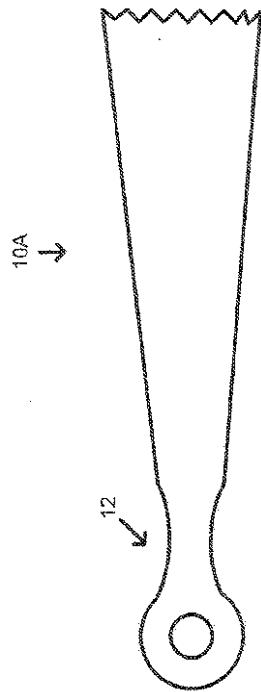


Fig. 1 ~ 従来技術

【図2】

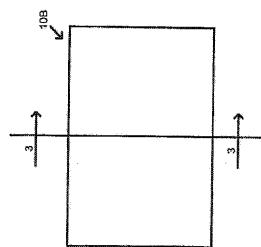


Fig. 2

【図3】

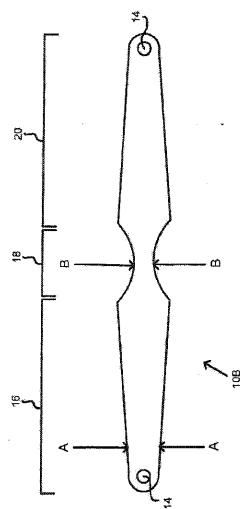


Fig. 3

【図4】

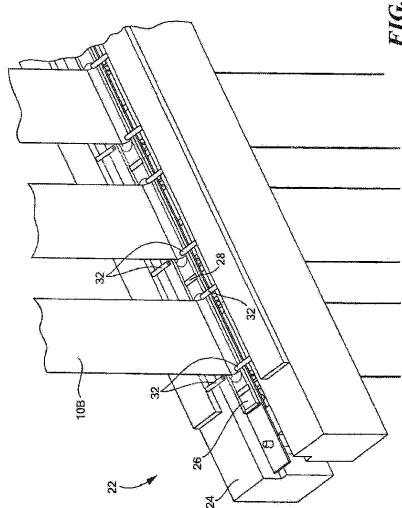


FIG. 4

【図5】

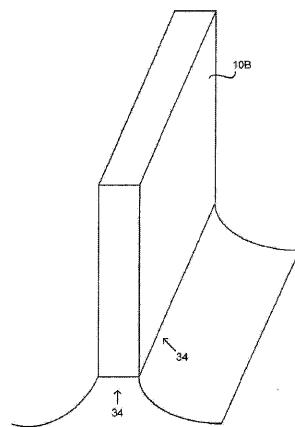


Fig. 5

【図6】

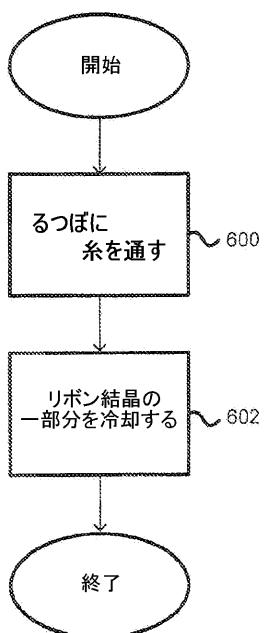


Fig. 6

フロントページの続き

(72)発明者 ハン , ウェイドン
アメリカ合衆国 マサチューセッツ 01720 , アクトン , デイビス ロード 9 , アパートメント シー 15

(72)発明者 ハーベイ , デイビッド
アメリカ合衆国 マサチューセッツ 01886 , ウエストフォード , ノース ストリート 19

(72)発明者 ウオレス , リチャード
アメリカ合衆国 マサチューセッツ 01720 , アクトン , ナショバ ロード 51

(72)発明者 レイツマ , スコット
アメリカ合衆国 マサチューセッツ 01545 , シュリューズバリー , サウス ストリート 112

審査官 田中 則充

(56)参考文献 特開2001-122696 (JP, A)
特開昭63-233093 (JP, A)
特開昭63-144187 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

C30B 1/00 - 35/00
C01B 33/02