

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5845143号  
(P5845143)

(45) 発行日 平成28年1月20日 (2016. 1. 20)

(24) 登録日 平成27年11月27日 (2015. 11. 27)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/20 (2006. 01)

H O 1 L 21/20

H O 1 L 21/324 (2006. 01)

H O 1 L 21/324 X

H O 1 L 21/322 (2006. 01)

H O 1 L 21/322 Q

H O 1 L 21/205 (2006. 01)

H O 1 L 21/205

請求項の数 11 (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2012-146636 (P2012-146636)  
 (22) 出願日 平成24年6月29日 (2012. 6. 29)  
 (65) 公開番号 特開2014-11293 (P2014-11293A)  
 (43) 公開日 平成26年1月20日 (2014. 1. 20)  
 審査請求日 平成27年3月5日 (2015. 3. 5)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 302006854  
 株式会社 S U M C O  
 東京都港区芝浦一丁目2番1号  
 (73) 特許権者 000184713  
 S U M C O T E C H X I V 株式会社  
 長崎県大村市雄ヶ原町1324番地2  
 (74) 代理人 110000637  
 特許業務法人樹之下知的財産事務所  
 (72) 発明者 川島 正  
 長崎県大村市雄ヶ原町1324番地2 S  
 U M C O T E C H X I V 株式会社内  
 (72) 発明者 野中 直哉  
 長崎県大村市雄ヶ原町1324番地2 S  
 U M C O T E C H X I V 株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 エピタキシャルシリコンウェーハの製造方法、および、エピタキシャルシリコンウェーハ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

抵抗率が  $0.6 \text{ m} \cdot \text{cm}$  以上  $0.9 \text{ m} \cdot \text{cm}$  以下となるようにリンが添加されたシリコンウェーハの表面にエピタキシャル膜が設けられたエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法であって、

C Z 法により製造された単結晶インゴットから切り出されたシリコンウェーハの裏面に酸化膜を形成する裏面酸化膜形成工程と、

前記シリコンウェーハの外周部に存在する前記酸化膜を除去する裏面酸化膜除去工程と、

前記裏面酸化膜除去工程後の前記シリコンウェーハに対し、アルゴンガス雰囲気下において  $1200$  以上  $1220$  以下の温度で熱処理を行うアルゴンアニール工程と、

前記アルゴンアニール工程後の前記シリコンウェーハに対し、水素ガス雰囲気下において  $1050$  以上  $1200$  以下の温度で  $30$  秒以上  $300$  秒以下の熱処理を行う水素ベーク工程と、

前記水素ベーク工程後の前記シリコンウェーハの表面にエピタキシャル膜を成長させるエピタキシャル膜成長工程とを有することを特徴とするエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法において、

前記アルゴンアニール工程は、前記シリコンウェーハ中の酸素とリンとの結合により形

10

20

成されるクラスターを溶体化し、かつ、前記シリコンウェーハの表面のリンを外方拡散させるように、熱処理を行うことを特徴とするエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法。

【請求項 3】

請求項 2 に記載のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法において、

前記アルゴンアニール工程の熱処理時間は、30 分以上 120 分以下であることを特徴とするエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法。

【請求項 4】

請求項 3 に記載のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法において、

前記アルゴンアニール工程の熱処理時間は、60 分以上 120 分以下であることを特徴とするエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法。

10

【請求項 5】

請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項に記載のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法において、

前記単結晶インゴットから切り出された評価用のシリコンウェーハに対してピット評価用熱処理を行い、その表面にピットが観察された場合に、当該評価用のシリコンウェーハの切り出し位置を含む部分から切り出されるシリコンウェーハに対し、前記裏面酸化膜形成工程から前記エピタキシャル膜成長工程に至る全ての工程を行うことを特徴とするエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法。

【請求項 6】

20

請求項 1 から請求項 5 のいずれか一項に記載のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法において、

前記単結晶インゴットから切り出された評価用のシリコンウェーハに対してピット評価用熱処理を行い、その表面にピットが観察されない場合に、当該評価用のシリコンウェーハの切り出し位置を含む部分から切り出されるシリコンウェーハに対し、前記裏面酸化膜形成工程から前記エピタキシャル膜成長工程に至る工程のうち前記アルゴンアニール工程以外の工程を行うことを特徴とするエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法。

【請求項 7】

請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法において、

30

前記単結晶インゴットから切り出されたシリコンウェーハは、前記単結晶インゴットのうち当該単結晶インゴットの製造工程において  $570 \pm 70$  の範囲内で加熱された時間が 200 分を超える部分から切り出されたシリコンウェーハであることを特徴とするエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法。

【請求項 8】

請求項 1 から請求項 7 のいずれか一項に記載のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法において、

前記シリコンウェーハの抵抗率は、 $0.8 \text{ m} \cdot \text{cm}$  未満であることを特徴とするエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法。

【請求項 9】

40

請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に記載のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法において、

前記シリコンウェーハにおけるゲルマニウムの濃度が  $3.70 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$  以上  $2.93 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$  以下となるようにゲルマニウムを添加して、CZ 法により単結晶インゴットを製造する単結晶インゴット製造工程を有することを特徴とするエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法。

【請求項 10】

抵抗率が  $0.6 \text{ m} \cdot \text{cm}$  以上  $0.9 \text{ m} \cdot \text{cm}$  以下となるようにリンが添加されたシリコンウェーハの表面にエピタキシャル膜が設けられ、裏面に酸化膜のみが設けられ、かつ、前記シリコンウェーハの外周部に存在する前記酸化膜が除去されたエピタキシャルシ

50

リコンウェーハであって、前記エピタキシャル膜の表面において  $K L A - T e n c o r$  社製  $S P - 1$  の  $D C N$  モードで測定される  $90\text{ nm}$  サイズ以上の  $L P D$  (Light Point Defect) の平均個数が  $1\text{ 個} / \text{cm}^2$  以下であることを特徴とするエピタキシャルシリコンウェーハ。

【請求項 11】

請求項 10 に記載のエピタキシャルシリコンウェーハにおいて、  
前記エピタキシャル膜面内の抵抗率の均一性  $(\text{最大値} - \text{最小値}) / (2 \times \text{平均値}) \times 100\%$  が、 $9.6\%$  未満であることを特徴とするエピタキシャルシリコンウェーハ。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、エピタキシャルシリコンウェーハの製造方法、および、エピタキシャルシリコンウェーハに関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、パワー  $M O S$  トランジスタ用のエピタキシャルシリコンウェーハには、そのシリコンウェーハの基板抵抗率が非常に低いことが要求される。シリコンウェーハの基板抵抗率を十分に低くするために、シリコンウェーハの素材である単結晶のインゴット（以下、単結晶インゴットという）の引き上げ工程で（すなわち、シリコン結晶の育成時に）、  
溶融シリコンに抵抗率調整用の  $n$  型ドーパントとして砒素 ( $A s$ ) やアンチモン ( $S b$ ) をドーブする技術が知られている。しかし、これらのドーパントは非常に蒸発しやすいので、シリコン結晶中のドーパント濃度を十分に高くすることが難しく、要求される程度に低い抵抗率をもつシリコンウェーハを製造することが難しい。

20

そこで、砒素 ( $A s$ ) やアンチモン ( $S b$ ) より比較的揮発性の低い性質をもつ  $n$  型ドーパントとしてリン ( $P$ ) を高濃度にドーブした基板抵抗率が非常に低いシリコンウェーハが使用されつつある（例えば、特許文献 1 参照）。

【0003】

この特許文献 1 には、単結晶インゴット育成時に高濃度のリンとゲルマニウム ( $G e$ ) を一緒にドーブしたシリコンウェーハに、エピタキシャル膜を成長させると、積層欠陥（スタッキングフォルト、以下、 $S F$  という）がエピタキシャル膜に多数発生し、この  $S F$  が段差としてシリコンウェーハの表面に現れて、シリコンウェーハの表面の  $L P D$  (Light Point Defect: ライト・ポイント・デフェクト) レベルが大きく悪化することが記載されている。

30

このような不具合を解消するために、特許文献 1 には、シリコンウェーハに対して水素ガス雰囲気下でプレベーク処理を行った後、 $C V D$  法により  $1000 \sim 1090$  の低い温度でエピタキシャル膜を成長させることが開示されている。

【0004】

一方、エピタキシャルシリコンウェーハは、高温でエピタキシャル成長が行なわれるために、単結晶インゴットの育成段階で結晶内に形成された酸素析出物 ( $B M D$ ) や酸素析出核などが高温熱処理によって消滅してしまい、ゲッターリング能力が低いという問題がある。

40

ゲッターリング不足を解消するための対策としては、ポリバックシール ( $P B S$ ) 法をエピタキシャル成長処理前に行う技術が知られている。ポリバックシール法とは、シリコンウェーハの裏面にポリシリコン膜を形成して、シリコンウェーハとの界面などにできる歪み場や格子不整合を利用する  $E G$  (External Gettering) 法の一例である。

【0005】

特許文献 2 では、ゲッターリング能力の向上を目的に、単結晶インゴット育成時にリンとゲルマニウムをドーブしたシリコンウェーハにエピタキシャル膜を成長させる際、エピタキシャル膜を成長させる前にある特定の  $P B S$  条件でポリシリコン膜をシリコンウェーハ

50

の裏面に形成させることが開示されている。

具体的には、ポリシリコン膜をシリコンウェーハの裏面に形成した場合にも、S Fがエピタキシャル膜に多数発生し、そのS Fが段差としてシリコンウェーハの表面に現れて、シリコンウェーハの表面のLPDレベルが大きく悪化するという不具合があるため、シリコンウェーハの裏面に、600未満の温度でポリシリコン膜を形成することで、S Fの発生を効果的に抑制できることが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2010-153631号公報

10

【特許文献2】特開2011-9613号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ところで、近年、基板抵抗率が $0.9\text{ m}\cdot\text{cm}$ 以下のn型のシリコンウェーハのニーズが生じている。このようなニーズに対応するためには、単結晶インゴット育成時に赤リンが高濃度にドーブされたシリコンウェーハ上に、エピタキシャル膜を形成したエピタキシャルシリコンウェーハが必要となる。

そこで、このようなエピタキシャルシリコンウェーハを製造する際に、特許文献1, 2に記載のような方法を適用することが考えられる。

20

【0008】

しかしながら、本発明者らの実験によれば、上述のように $0.9\text{ m}\cdot\text{cm}$ 以下という基板抵抗率が非常に低い場合には、特許文献1, 2に記載の方法を適用しても、S Fの発生が抑制できず、高品質のエピタキシャルシリコンウェーハを製造できないという問題があることが明らかとなった。また、基板抵抗率が低くなることに伴い、エピタキシャル膜の成長時に赤リンがシリコンウェーハから飛び出して、成長したエピタキシャル膜に取り込まれる現象（オートドーブ）が発生し、エピタキシャル膜面内の抵抗率にばらつきが生じるという問題があることが明らかとなった。

【0009】

本発明の目的は、抵抗率が極めて低いシリコンウェーハを用いる場合でも、エピタキシャル膜へのS Fの発生低減とエピタキシャル膜面内の抵抗率の均一化を図れるエピタキシャルシリコンウェーハを製造可能なエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法、および、エピタキシャルシリコンウェーハを提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明者は、鋭意研究を重ねた結果、次の知見を見出した。

特許文献2に記載されているように、エピタキシャル成長後に発生しているS Fは、ポリシリコン膜を形成した基板においては、エピタキシャル成長前のシリコンウェーハ表面に存在する微小ピット（微小凹部）を起点に発生している、ということが確認されている。

40

この微小ピットは、p型ドーパントとしてボロン（B）を高濃度に添加したシリコンウェーハにブリベーク処理を施しても観察されず、ゲルマニウムの添加の有無に係わらず、n型ドーパントとしてリン（P）を添加したときのみ微小ピットが観察されることから、シリコンウェーハの結晶内に高濃度にドーブしたリンが関与している可能性が高いと考えられる。

【0011】

この微小ピットは以下のようなメカニズムで発生すると考えられる。すなわち、ポリシリコン膜形成前の段階では、シリコンウェーハの格子間には、酸素と赤リンが存在している。基板抵抗率を低くするために、シリコンウェーハ中の赤リンの濃度を高くすると、過飽和な赤リンが格子間に存在することとなる。

50

この状態から、ポリシリコン膜を形成するためにシリコンウェーハを加熱すると、酸素の拡散能が赤リンの拡散能よりも大きいため、酸素が格子間を移動して赤リンと結合し、酸素と赤リンのクラスター（微小析出物）が形成される。

通常、エピタキシャル工程ではエピタキシャル膜を成長させるに先立って、シリコンウェーハ表面に存在する自然酸化膜除去を目的に、水素ガス雰囲気下で1100以上の温度で30秒以上の熱処理（以下、「水素ベーク」という）が施される。

ところが、酸素と赤リンのクラスターが形成されたシリコンウェーハに対して、エピタキシャル工程で実施される水素ベークが施されると、シリコンウェーハの最表層の酸素と赤リンは外方拡散するが、クラスターは安定状態にあるため、最表層に残留する。そして、水素ガスによるエッチング作用により、シリコンウェーハの最表層とクラスターとのエッチング速度の違いから、クラスターが選択的にエッチングされ微小ピットとなる。

この微小ピットが形成されたシリコンウェーハに対してエピタキシャル成長を行うと、微小ピットが起源となってエピタキシャル膜内にSFとなって発生すると考えられる。

#### 【0012】

上述のように、SFの発生原因が、酸素と赤リンのクラスターに起因する微小ピットであると考えられることから、クラスター形成に関与する加熱が行われるポリバックシール法を適用しないことにより、SFの発生が抑制できると考えられる。ポリシリコン膜を無くすと、ゲッタリング能力が低くなるおそれがあるが、赤リンの濃度を高くすることでゲッタリング能力を維持することができる。このため、ポリシリコン膜を無くしても、ゲッタリング能力を低くすることなく、SFの発生を抑制できると考えられる。

しかしながら、基板抵抗率を $0.9\text{ m}\cdot\text{cm}$ 以下とするために、赤リンの濃度をさらに高くすると、ポリバックシール法を適用しただけでは、SFの発生が抑制できないことが分かり、これまでに想定し得ない結果となった。また、結晶の長さ方向のSF分布を、対応するエピタキシャルウェーハで詳細に調査したところ、図1に示すように、単結晶インゴットのうち、固化率が約60%より小さい部分では、直径200mmのシリコンウェーハ $1\text{ cm}^2$ あたりのSFの個数（以下、単に、SFの個数という）が10個以上であり、固化率が前記約60%より大きい部分（点線で囲まれる部分）では、SFの個数が0個となることが分かった。すなわち、SFの個数が単結晶インゴットの固化率に依存していることが分かった。

なお、固化率とは、最初に石英坩堝に貯留されたドーパント添加融液の初期チャージ重量に対する単結晶インゴットの引上げ重量の割合をいう。ここで、SFの個数は、レーザーテック社製Magicsで欠陥の実体観察を行い、個数を測定した。

#### 【0013】

しかし、1本の単結晶インゴットから、基板抵抗率が $0.9\text{ m}\cdot\text{cm}$ 以下の製品をより多く取れることが好ましい。本発明者は、固化率が約60%よりも小さい部分と大きい部分との相違点について検討を行った結果、結晶の受ける熱履歴が影響を与えている可能性があることに着目した。

そこで、本発明者は、固化率と熱履歴との相関を調べるための実験を行った。

#### 【0014】

<実験1：固化率と熱履歴およびSFの発生個数との相関調査>

通常の単結晶インゴットの製造条件では、種結晶に連続し直径が徐々に増加する肩部を形成する工程（肩部形成工程）と、肩部に連続して形成され直径が略均一の直胴部を形成する工程（直胴部形成工程）と、直胴部の下端に連続し直径が徐々に低下してゼロになるテール部を形成する工程（テール部形成工程）とを行う。そして、テール部形成工程が終了した後、単結晶インゴットを冷却する工程（冷却工程）を行い、単結晶インゴットを引き上げ装置から取り出す。

このような製造条件のため、単結晶インゴットの下端に近くなるほど（固化率が大きくなるほど）、ドーパント添加融液から出た後の時間が短くなると考えられる。

#### 【0015】

まず、上述の製造条件で単結晶インゴットを製造し、各固化率における各温度（500

10

20

30

40

50

$\pm 50$ 、 $700 \pm 50$ 、 $900 \pm 50$ 、 $1100 \pm 50$  )での滞在時間を調べた。その結果を図2に示す。なお、シリコンウェーハの基板抵抗率が $0.9 \text{ m} \cdot \text{cm}$ 以下となるように、ドーパントとして赤リンをシリコン融液に添加して、ドーパント添加融液を生成した。また、ドーパント添加融液のチャージ量を、通常と同じ $100 \text{ kg}$ とした。

図2に示すように、二点鎖線で囲まれる部分であって、固化率が60%より大きい部分では、固化率が60%より小さい部分と比べて、特に $500 \pm 50$ での滞在時間が極端に短いことが分かった。

また、この単結晶インゴットから複数の固化率に対応するシリコンウェーハを切り出して、エピタキシャルシリコンウェーハを製造し、各エピタキシャルシリコンウェーハのS Fの個数を調べた。その結果を図2に示す。

10

なお、この図2の結果は、シリコンウェーハの裏面にポリシリコン膜を設けずに、シリコンウェーハに対して水素ガス雰囲気中で $1200$ の温度で30秒間加熱する水素ベーク処理を施した後、後述する実験3のエピタキシャル成長条件と同じ条件でエピタキシャル膜を形成したときの結果である。

図2に示すように、S Fの個数は、単結晶インゴットの $500 \pm 50$ での滞在時間とほぼ相関があり、固化率が60%より大きい部分では0となることが分かった。

以上から、単結晶インゴットが $500 \pm 50$ となる時間を短くすれば、S Fの発生を抑制できることが分かった。また、S Fの発生原因であるクラスターは、単結晶インゴットの製造時の温度に依存して形成される可能性があることが分かった。

20

#### 【0016】

このことから、単結晶インゴットの広い範囲にわたって $500 \pm 50$ となる時間を短くすれば、S Fの発生を抑制できると考えられる。しかし、単結晶インゴットを長手方向に引き上げていく引き上げ法によって、前述のような温度制御を行うよりも、単結晶インゴットの製造後の処理を変更する方が容易であると考えられる。

そこで、本発明者は、単結晶インゴットの製造段階においてクラスターが形成されたとしても、その後の処理によってS Fの発生を抑制できる方法について検討を行った。

#### 【0017】

##### <実験2：LPDの発生状況調査>

まず、シリコンウェーハのLPDの評価と、シリコンウェーハに対してピット評価用熱処理を行った後のLPDの評価を行った。

30

具体的には、まず、以下の基板条件を満たし、S Fが発生する固化率での単結晶インゴット領域から得られた(S Fが発生する固化率に対応する)シリコンウェーハと、S Fが発生しない固化率に対応するシリコンウェーハとを準備した。

##### [基板条件]

直径： $200 \text{ mm}$

基板抵抗率： $0.8 \text{ m} \cdot \text{cm}$

(赤リン濃度： $9.47 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ )

次に、各シリコンウェーハの裏面(エピタキシャル膜の形成面と反対の面)に、以下のポリシリコン膜形成条件を満たすポリシリコン膜を形成した。

40

##### [ポリシリコン膜形成条件]

成膜方法：CVD法

成膜温度： $650$

ポリシリコン膜の厚さ： $800 \text{ nm}$

さらに、このポリシリコン膜上に、以下の裏面酸化膜形成条件を満たす裏面酸化膜を形成した。

##### [裏面酸化膜形成条件]

成膜方法：CVD法

裏面酸化膜の厚さ： $550 \text{ nm}$

そして、上記条件により形成されたポリシリコン膜および裏面酸化膜が形成された各シ

50

リコンウェーハから、当該シリコンウェーハの外周部のポリシリコン膜および裏面酸化膜を除去してLPD評価を行った。なお、LPDの評価は、以下のLPD評価条件で行った。

〔LPD評価条件〕

使用装置：表面検査装置（Tencor社製 SP-1）

観察モード：DCNモード

測定対象：90nm以上のLPD

図3に、SFが発生する固化率に対応するシリコンウェーハの測定結果を示す。なお、ここでは図示しないが、SFが発生しない固化率に対応するシリコンウェーハでの測定結果は、図3に示すものとほぼ同じであった。

10

【0018】

また、上記条件により、ポリシリコン膜および裏面酸化膜が形成されたシリコンウェーハに対して、以下の条件を満たすピット評価用熱処理を行った。このピット評価用熱処理条件は、エピタキシャル膜の形成工程において行われる水素ベーク熱処理条件を模擬したものである。

〔ピット評価用熱処理条件〕

雰囲気：水素ガス

熱処理温度：1200

熱処理時間：30秒

そして、上記条件でピット評価用熱処理を行った各シリコンウェーハのLPD評価を、当該実験2の上記LPD評価条件に基づいて行った。その結果を図4および図5に示す。

20

【0019】

図4に示すように、SFが発生する固化率に対応するシリコンウェーハ100では、ピット評価用熱処理後にLPD101が増加することが分かった。一方で、図5に示すように、SFが発生しない固化率に対応するシリコンウェーハ100では、ピット評価用熱処理前後でLPD101にほとんど変化がないことが分かった。

ここで、LPDが増加した図4に示すシリコンウェーハをAFM（Atomic Force Microprobe：原子間力顕微鏡）で観察したところ、図6に示すようなピットPであることが確認された。すなわち、ピット評価用熱処理後に発生するピットPを、KLA-Tencor社製SP-1のDCNモードで90nm以上のLPDとして測定できることが分かった。

30

【0020】

<実験3：エピタキシャル膜成長前後におけるLPDの発生状況調査>

上記実験2において、図4に示すような、SFが発生する固化率に対応するシリコンウェーハに以下の水素ベーク処理を行った後、当該シリコンウェーハの表面に、以下のエピタキシャル膜成長条件を満たすエピタキシャル膜を形成することで、エピタキシャルシリコンウェーハを製造した。

〔水素ベーク処理条件〕

雰囲気：水素ガス

熱処理温度：1200

熱処理時間：30秒

40

〔エピタキシャル膜成長条件〕

ドーパントガス：フォスフィン（ $\text{PH}_3$ ）ガス

原料ソースガス：トリクロロシラン（ $\text{SiHCl}_3$ ）ガス

キャリアガス：水素ガス

成長温度：1080

エピタキシャル膜の厚さ：3  $\mu\text{m}$

抵抗率（エピ膜抵抗率）：1  $\cdot \text{cm}$

（赤リン濃度： $4.86 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$ ）

そして、上記条件で製造したエピタキシャルシリコンウェーハのLPD評価を、実験2

50

のLPD評価条件に基づいて行った。また、このエピタキシャルシリコンウェーハのLPD評価結果と、図4に示す実験で得たピット評価用熱処理後（エピタキシャル膜成長前）のシリコンウェーハ表面のLPD評価結果とを重ね合わせて評価した。その結果を図7に示す。また、図7における二点鎖線で囲まれる領域を拡大した分布を図8に示す。

#### 【0021】

図7に示すように、エピタキシャルシリコンウェーハの外縁からの距離が約2cm～約6cmの間の円環状の領域A1全体にLPDが多く発生することが分かった。また、図8に示すように、エピタキシャル膜成長前後で、LPDの位置がほぼ一致することが分かった。

#### 【0022】

また、エピタキシャルシリコンウェーハにおけるLPDの発生位置のうち、エピタキシャル膜成長前にもLPDが発生している位置を、以下のLPD評価条件に基づいて評価した。

#### 〔LPD評価条件〕

使用装置：表面検査装置（レーザーテック社製M a g i c s）

その結果、上記評価位置には、平面視で四角形かつ断面視で三角形（すなわち、底面がエピタキシャル膜の表面と略同一面に位置し、頂点がシリコンウェーハ側に位置する略四角錐状）のフラットタイプのSFが発生していることが分かった。

#### 【0023】

<実験4：基板抵抗率とSFの発生個数との相関調査>

基板抵抗率が0.6m・cm、0.7m・cm、0.8m・cm、0.9m・cm、1.0m・cm、1.1m・cm、1.3m・cm、1.5m・cmのシリコンウェーハを準備した。そして、各シリコンウェーハに対して、上記実験2と同じ条件でポリシリコン膜、裏面酸化膜を形成した。この後、厚さを5μmにしたこと以外は、上記実験3と同じ条件でエピタキシャル膜を形成して、エピタキシャルシリコンウェーハを製造した。

このエピタキシャルシリコンウェーハのSFの個数を、表面検査装置（レーザーテック社製M a g i c s）で評価した。その結果を、図9に示す。

図9に示すように、基板抵抗率が1.0m・cm以上の場合、SFが10個/cm<sup>2</sup>未満であるが、0.9m・cm以下の場合、SFが20個/cm<sup>2</sup>以上と多くなることが分かった。

#### 【0024】

以上のことから、LPDを減らすためには、SFを減らす必要があると考えられる。特に、シリコンウェーハの基板抵抗率が0.9m・cm以下の場合には、SFを減らす対策が必要であると考えられる。

SFを減らすためには、水素ベーク処理後に発生する微小ピットを減らす必要があると考えられる。そして、微小ピットを減らすためには、クラスターが形成されている水素ベーク処理前の段階において、クラスターを無くすための処理を行う必要があると考えられる。

そこで、本発明者は、クラスターを溶体化して無くす、あるいは少なくすることで、SFを減らせるか否かについて検討を行った。

#### 【0025】

<実験5：アルゴンアニールによるSF低減の有効性調査>

基板抵抗率が0.8m・cmのシリコンウェーハの裏面に、ポリシリコン膜を形成せずに、上記実験2と同じ条件で裏面酸化膜を形成した。そして、このシリコンウェーハに対して、以下のアルゴンアニール条件でアルゴンアニールを行った。

#### 〔アルゴンアニール条件〕

雰囲気：アルゴンガス

熱処理温度：1200

熱処理時間：0分、30分、60分、90分、120分、180分の6水準



そして、上記条件でアルゴンアニールを行った6水準のシリコンウェーハの表面に対して、上記実験2の水素ベーク処理条件で熱処理を行った。この後、厚さを5  $\mu\text{m}$ にしたこと以外は、上記実験3と同じ条件でエピタキシャル膜を形成して、エピタキシャルシリコンウェーハを製造した。そして、上記実験4と同じ条件で、エピタキシャルシリコンウェーハのSFの個数を評価した。その結果を、図10に示す。

図10に示すように、1200 で60分以上のアルゴンアニール処理を行えば、SFの個数が1個/ $\text{cm}^2$ 以下となることが分かった。

【0026】

また、熱処理温度を1220 としたこと以外は、上記実験5と同じ条件でアルゴンアニールを行った6水準のエピタキシャルシリコンウェーハのSFの個数を評価した。その結果、図10とほぼ同様の効果が得られることが分かった。

また、熱処理温度を1180 とした場合についても同様の評価を行ったところ、熱処理時間に関係なく、SFの個数が1個/ $\text{cm}^2$ を超えることが分かった。

【0027】

以上のことから、水素ベーク処理前に1200 以上の熱処理温度で60分以上のアルゴンアニールを行うことにより、クラスターが溶体化して無くなり、あるいは少なくなると考えられる。このため、このクラスターが無くなった、あるいは少なくなったシリコンウェーハに、水素ベーク処理およびエピタキシャル膜の成長処理を行った場合、SFが減ると考えられる。

【0028】

<実験6：アルゴンアニールによるエピタキシャルシリコンウェーハの面内抵抗均一性への影響調査>

実験5において、1200 でアルゴンアニールを行ったエピタキシャルシリコンウェーハのうち、熱処理時間が0分、60分、120分のものについて、エピタキシャル膜面の抵抗分布を評価した。その結果を、図11に示す。

図11に示すように、熱処理時間が長くなるほど、エピタキシャル膜外周部での抵抗率が高くなり、面内での抵抗率が均一化することが分かった。

また、抵抗率の均一性  $(\text{最大値} - \text{最小値}) / (2 \times \text{平均値}) \times 100\%$  を評価したところ、以下の通りであった。

熱処理時間 0分：9.6%

熱処理時間 60分：1.9%

熱処理時間 120分：1.1%

【0029】

これは、アルゴンアニールを行わない場合、シリコンウェーハの表面の赤リンの濃度が高いままエピタキシャル成長が行われるため、裏面酸化膜で覆われていない当該表面からの赤リンのオートドーブ現象が発生し、抵抗分布の均一性が悪くなったと考えられる。一方で、アルゴンアニールを行う場合には、アルゴンアニールによってシリコンウェーハの表面の赤リンが外方拡散して赤リンの濃度が低くなるため、オートドーブ現象の発生が抑制され、抵抗分布の均一性が良くなったと考えられる。

本発明は、上述のような知見に基づいて完成されたものである。

【0030】

すなわち、本発明のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法は、抵抗率が0.6  $\text{m}\Omega \cdot \text{cm}$ 以上0.9  $\text{m}\Omega \cdot \text{cm}$ 以下となるようにリンが添加されたシリコンウェーハの表面にエピタキシャル膜が設けられたエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法であって、CZ法により製造された単結晶インゴットから切り出されたシリコンウェーハの裏面に酸化膜を形成する裏面酸化膜形成工程と、前記シリコンウェーハの外周部に存在する前記酸化膜を除去する裏面酸化膜除去工程と、前記裏面酸化膜除去工程後の前記シリコンウェーハに対し、アルゴンガス雰囲気下において1200 以上1220 以下の温度で熱処理を行うアルゴンアニール工程と、前記アルゴンアニール工程後の前記シリコンウェーハに対し、水素ガス雰囲気下において1050 以上1200 以下の温度で30秒以上3

10

20

30

40

50

00秒以下の熱処理を行う水素ベーク工程と、前記水素ベーク工程後の前記シリコンウェーハの表面にエピタキシャル膜を成長させるエピタキシャル膜成長工程とを有することを特徴とする。

また、本発明のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法では、前記アルゴンアニール工程は、前記シリコンウェーハ中の酸素とリンとの結合により形成されるクラスターを溶体化し、かつ、前記シリコンウェーハの表面のリンを外方拡散させるように、熱処理を行うことが好ましい。

さらに、本発明のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法では、前記アルゴンアニール工程の熱処理時間は、30分以上120分以下であることが好ましい。

また、本発明のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法では、前記アルゴンアニール工程の熱処理時間は、60分以上120分以下であることが好ましい。

#### 【0031】

本発明によれば、抵抗率が $0.9\text{ m}\cdot\text{cm}$ 以下のシリコンウェーハを用いた場合でも、上述のアルゴンアニール工程を行うことにより、クラスターを溶体化することができ、SFの個数が $1\text{個}/\text{cm}^2$ 未満という高品質のエピタキシャルシリコンウェーハを製造することができる。また、アルゴンアニール工程を行い、シリコンウェーハ表面の赤リンを外方拡散させることによって、当該表面に存在していた赤リンに起因するオートドープ現象の発生が抑制される。さらに、アルゴンガス雰囲気下で熱処理を行うため、水素ガスで熱処理を行う場合のように還元作用で酸化膜（裏面酸化膜）が除去されることがない。また、赤リンと酸素のクラスターが微小ピットとして顕在化することを抑制できる。

さらには、シリコンウェーハの裏面に酸化膜を形成するため、当該裏面に存在する赤リンに起因するオートドープ現象の発生が抑制される。また、シリコンウェーハ外周部の酸化膜を除去してからエピタキシャル膜を形成するため、当該外周部におけるノジュール（ポリシリコンの異常成長による微小な突起物）の生成を抑制できる。

さらに、裏面酸化膜除去工程を行ってからアルゴンアニール工程を行うため、以下の効果を奏することができる。すなわち、アルゴンアニール工程の後に裏面酸化膜除去工程を行う場合、アルゴンアニールを行うときにシリコンウェーハ外周部に酸化膜が残っているため、当該酸化膜で覆われた外周部の赤リンの外方拡散が抑制される。そして、この後に外周部の酸化膜を除去してエピタキシャル膜を形成すると、当該外周部に存在している赤リンに起因するオートドープ現象が発生してしまうおそれがある。一方、裏面酸化膜除去工程後にアルゴンアニール工程を行う場合、酸化膜で覆われていない外周部の赤リンを外方拡散させることができる。このため、この後にエピタキシャル膜を形成したときに、当該外周部からのオートドープ現象の発生を抑制することができる。

#### 【0032】

本発明のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法では、前記単結晶インゴットから切り出された評価用のシリコンウェーハに対してピット評価用熱処理を行い、その表面にピットが観察された場合に、当該評価用のシリコンウェーハの切り出し位置を含む部分から切り出されるシリコンウェーハに対し、前記裏面酸化膜形成工程から前記エピタキシャル膜成長工程に至る全ての工程を行うことが好ましい。

また、本発明のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法では、前記単結晶インゴットから切り出された評価用のシリコンウェーハに対してピット評価用熱処理を行い、その表面にピットが観察されない場合に、当該評価用のシリコンウェーハの切り出し位置を含む部分から切り出されるシリコンウェーハに対し、前記裏面酸化膜形成工程から前記エピタキシャル膜成長工程に至る工程のうち前記アルゴンアニール工程以外の工程を行うことが好ましい。

#### 【0033】

ここで、ピット評価用熱処理としては、前述したようにエピタキシャル工程で実施される水素ベーク熱処理条件を模擬した熱処理条件を採用することができ、代表的な条件として、水素ガス雰囲気下において1200の温度で30秒の熱処理条件を例示することができる。水素ベーク熱処理条件を模擬した熱処理条件とすることにより、単結晶インゴッ

トの製造段階においてクラスターが多く発生している単結晶インゴット部分から、評価用のシリコンウェーハを切り出し、当該評価用のシリコンウェーハに対してピット評価用熱処理を行うと、その表面に微小ピットが観察され、単結晶インゴットにおける当該評価用のシリコンウェーハを含む部分にも、クラスターが発生しているものと結論付けることができる。

一方、クラスターが発生していない部分の評価用のシリコンウェーハに対してピット評価用熱処理を行うと、その表面に微小ピットが観察されず、単結晶インゴットにおける当該評価用のシリコンウェーハを含む部分にも、クラスターが発生していないものと結論付けることができる。

なお、シリコンウェーハに発生した微小ピットをAFMで観察した結果、それぞれの径は、 $300\text{ nm} \sim 500\text{ nm}$ でほぼ同一であり、深さは、 $2.0\text{ nm} \sim 5.5\text{ nm}$ でほぼ同一であることが分かっている。また、微小ピットの個数は、SFの個数とほぼ同じであることが分かっている。

このことから、上述の「微小ピットが観察される」場合とは、径が $500\text{ nm}$ 以上の微小ピットの個数が $1\text{ 個}/\text{cm}^2$ 以上（ $200\text{ mm}$ のシリコンウェーハ1枚あたり314個以上）の場合を意味し、「微小ピットが観察されない」場合とは、前記条件を満たさない場合を意味するものとする。

本発明によれば、単結晶インゴットから評価用のシリコンウェーハを切り出して、ピット評価用熱処理を行うことにより、単結晶インゴットの製造段階において、クラスターが発生している部分を推定することができる。したがって、クラスターが発生していると推定される部分から得られるシリコンウェーハに対して、アルゴンアニール工程を含む全工程を行うことにより、SFの発生が抑制された高品質のエピタキシャルシリコンウェーハを製造することができる。

また、クラスターが発生していないと推定される部分から得られるシリコンウェーハに対して、アルゴンアニール工程以外の工程を行うことにより、SFの発生が抑制された高品質のエピタキシャルシリコンウェーハを効率よく製造することができる。

#### 【0034】

また、本発明者は、上述の実験1から、単結晶インゴットが $500$  となる時間を短くすればSFの発生を抑制できる、すなわち単結晶インゴットの製造段階におけるクラスターの発生を抑制できるという知見を得た。そこで、具体的にどのような温度条件で加熱された部分が、クラスターの発生が抑制されているのかを調査した。

#### 【0035】

##### <実験7：SFの発生を抑制可能な温度条件調査>

実験1と同様の条件で単結晶インゴットを製造した後、冷却工程に入らずに、テール部がドーパント添加融液から切れた状態で、かつ、テール部形成工程での加熱状態を維持したまま、単結晶インゴットの引き上げを10時間停止した。この停止状態において、各固化率での単結晶インゴット中心の温度分布は、図12に示すような分布であった。

そして、10時間経過後に単結晶インゴットを引き上げ装置から取り出し、実験1と同様の条件で（単結晶インゴットから得たシリコンウェーハに対して $1200$  の水素雰囲気中で30秒のプリベーク処理を施した後、エピタキシャル膜を形成する条件で）エピタキシャルシリコンウェーハを製造した。そして、直径 $200\text{ mm}$ の各エピタキシャルシリコンウェーハ1枚あたりのLPDの個数（以下、単にLPDの個数という）と固化率との関係を調べた。その結果を図13に示す。

ここで、LPDの個数は、KLA-Tencor社製SP-1のDCNモードで測定したが、そのときのLPDの測定対象を、 $90\text{ nm}$ 以上のものとした。また、ここでは、LPDの個数はSFの個数と良い相関があるため、LPDの個数でSF個数を代替した。

#### 【0036】

図13に示すように、LPDの個数は、固化率が約52%の部分から急激に増加し、約62%で最大となり、約70%を超えるとほぼ0となることがわかった。そして、固化率が約52%の部分の温度（LPD個数の急激な増加が開始する温度）は約 $470$  であり

10

20

30

40

50

、固化率が約 62 % の部分の温度 (LPD 個数が最大となる温度) は約 570 であり、固化率が約 70 % の部分の温度 (LPD 個数がほぼ 0 となる温度) は約 700 であることが分かった。

このことから、SF は、単結晶インゴットの温度が約 470 ~ 約 700 で長時間維持されたときに発生しやすく、特に、約 570 で長時間維持されたときに発生しやすいことが分かった。

#### 【0037】

次に、中心温度に対する許容幅を決定した。

具体的には、上記図 13 の実験結果に基づいて、各対応する固化率について、550、570、600 を中心にしたそれぞれ  $\pm 30$  の範囲での滞在時間を調べた。その結果を図 14 に示す。また、550、570、600 を中心にした  $\pm 50$  の範囲での滞在時間を図 15 に示し、 $\pm 70$  の範囲での滞在時間を図 16 に示す。

10

図 14 ~ 図 16 に示すように、 $\pm 70$  の範囲での滞在時間の上昇幅 (図中の横軸方向の長さ) と、LPD 個数の上昇幅 (図中の横軸方向の長さ) とがほぼ一致することが分かった。

このことから、LPD は、単結晶インゴットの温度が 570  $\pm 70$  の範囲内で長時間維持されたときに、発生しやすいことが分かった。

#### 【0038】

また、本発明者は、単結晶インゴットの温度が 570  $\pm 70$  の範囲内となる時間が、どのくらいの長さであれば、LPD が発生しないかを調べた。

20

まず、実験 1 と同様の条件でテール部形成工程まで行った後、通常の冷却工程では、図 17 の二点鎖線で示すように単結晶インゴットを急冷するところ、実線で示すように単結晶インゴットを急冷せずに徐冷した。なお、図 17 において、縦軸は、650  $\pm 50$  での滞在時間を表している。

そして、図 17 に実線で示す条件で製造した単結晶インゴットを用いて、実験 1 と同様の条件でエピタキシャルシリコンウェーハを製造し、各固化率における LPD 個数を調べた。各固化率における滞在時間と LPD 個数との関係を図 18 に示す。なお、図 18 において、縦軸は、570  $\pm 70$  での滞在時間を表している。

図 18 に示すように、固化率が約 66 % を超える場合に、LPD 個数が 0 となることが分かった。そして、このときの 570  $\pm 70$  での滞在時間が、約 200 分であることが分かった。

30

このことから、単結晶インゴットの温度が 570  $\pm 70$  の範囲内となる時間を 200 分以下とすることで、LPD の発生を抑制できる可能性があると推定した。

#### 【0039】

次に、図 18 の実験結果を検証するための実験を行った。

実験 1 と同様の条件でテール部形成工程まで行った後、通常通り図 17 の二点鎖線で示す冷却工程を行い、通常の条件で単結晶インゴットを製造した。そして、この単結晶インゴットを用いて、実験 1 と同様の条件でエピタキシャルシリコンウェーハを製造し、各固化率における LPD 個数を調べた。その結果を図 19 に示す。

図 19 に示すように、固化率が約 44 % よりも後ろの場合に、単結晶インゴットの温度が 570  $\pm 70$  の範囲内となる時間が 20 分以上 200 分以下となり、LPD 個数も少なくなることが分かった。

40

このことから、単結晶インゴットの温度が 570  $\pm 70$  の範囲内となる時間を 20 分以上 200 分以下とすることで、LPD の発生を抑制できることが分かった。すなわち、単結晶インゴットの温度が 570  $\pm 70$  の範囲内となる時間が 200 分を超える場合には、クラスターの発生を抑制できないため、LPD の発生を抑制できないことが分かった。

#### 【0040】

すなわち、本発明のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法では、前記単結晶インゴットから切り出されたシリコンウェーハは、前記単結晶インゴットのうち当該単結晶イ

50

ンゴットの製造工程において $570 \pm 70$  の範囲内で加熱された時間が200分を超える部分から切り出されたシリコンウェーハであることが好ましい。

本発明によれば、単結晶インゴットにおけるアルゴンアニール工程の対象となり得る部分と、なり得ない部分とを識別することができ、効率よく高品質のエピタキシャルシリコンウェーハを製造できる。

【0041】

本発明のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法では、前記シリコンウェーハの抵抗率は、 $0.8 \text{ m} \cdot \text{cm}$ 未満であることが好ましい。

【0042】

本発明のエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法では、前記シリコンウェーハにおけるゲルマニウムの濃度が $3.70 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以上 $2.93 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 以下となるようにゲルマニウムを添加して、CZ法により単結晶インゴットを製造する単結晶インゴット製造工程を有することが好ましい。

本発明によれば、シリコンウェーハとエピタキシャル膜との界面部分での赤リンの濃度差に起因する転位欠陥（ミスフィット転位）の発生を抑制できる。

【0043】

本発明のエピタキシャルシリコンウェーハは、抵抗率が $0.6 \text{ m} \cdot \text{cm}$ 以上 $0.9 \text{ m} \cdot \text{cm}$ 以下となるようにリンが添加されたシリコンウェーハの表面にエピタキシャル膜が設けられ、裏面に酸化膜のみが設けられ、かつ、前記シリコンウェーハの外周部に存在する前記酸化膜が除去されたエピタキシャルシリコンウェーハであって、前記エピタキシャル膜の表面においてKLA-Tencor社製SP-1のDCNモードで測定される90nmサイズ以上のLPD（Light Point Defect）の平均個数が $1 \text{ 個/cm}^2$ 以下であることを特徴とする。

本発明のエピタキシャルシリコンウェーハでは、前記エピタキシャル膜面内の抵抗率の均一性（ $= (\text{最大値} - \text{最小値}) / (2 \times \text{平均値}) \times 100\%$ ）が、9.6%未満であることが好ましい。

【図面の簡単な説明】

【0044】

【図1】本発明におけるエピタキシャルシリコンウェーハの製造条件を導くための実験の結果であり単結晶インゴットの固化率とSF個数との関係を示すグラフ。

【図2】前記製造条件を導くための実験1の結果であり固化率とSF個数および各温度での滞在時間との関係を示すグラフ。

【図3】前記実験2の結果でありピット評価用熱処理前のシリコンウェーハのLPDの発生状況を示す。

【図4】前記実験2の結果でありSFが発生する固化率に対応するシリコンウェーハのピット評価用熱処理後のLPDの発生状況を示す。

【図5】前記実験2の結果でありSFが発生しない固化率に対応するシリコンウェーハのピット評価用熱処理後のLPDの発生状況を示す。

【図6】前記実験2の結果でありシリコンウェーハのピット評価用熱処理後に増加したLPDのAFM観察結果を示す図。

【図7】前記製造条件を導くための実験3の結果でありエピタキシャル膜成長後のLPDの発生状況と図4での実験結果とを重ねて示す図。

【図8】前記実験3の結果であり図7の一部を拡大した図。

【図9】前記製造条件を導くための実験4の結果であり基板抵抗率とSFの発生個数との相関を示すグラフ。

【図10】前記製造条件を導くための実験5の結果でありアルゴンアニールの時間とSFの発生個数との相関を示すグラフ。

【図11】前記製造条件を導くための実験6の結果であり各アルゴンアニール条件におけるエピタキシャルシリコンウェーハの中心からの距離とエピタキシャル膜の抵抗率との相関を示すグラフ。

10

20

30

40

50

【図 1 2】前記製造条件を導くための実験 7 の結果であり固化率と結晶中心温度との関係を示すグラフ。

【図 1 3】前記実験 7 の結果であり単結晶インゴットにおける固化率と結晶中心温度および L P D 個数との関係を示すグラフ。

【図 1 4】前記実験 7 の結果であり温度幅が  $\pm 30$  の場合における固化率と各温度での滞在時間および L P D 個数との関係を示すグラフ。

【図 1 5】前記実験 7 の結果であり温度幅が  $\pm 50$  の場合における固化率と各温度での滞在時間および L P D 個数との関係を示すグラフ。

【図 1 6】前記実験 7 の結果であり温度幅が  $\pm 70$  の場合における固化率と各温度での滞在時間および L P D 個数との関係を示すグラフ。

10

【図 1 7】前記実験 7 の結果であり固化率と単結晶インゴットの滞在時間との関係を示すグラフ。

【図 1 8】前記実験 7 の結果であり固化率と各温度での滞在時間および L P D 個数との関係を示すグラフ。

【図 1 9】前記実験 7 の結果を検証するために行った実験の結果であり固化率と各温度での滞在時間および L P D 個数との関係を示すグラフ。

【図 2 0】本発明の一実施形態に係るエピタキシャルシリコンウェーハの製造方法を示すフローチャート。

【図 2 1】前記一実施形態におけるエピタキシャルシリコンウェーハの製造過程を示す模式図。

20

【図 2 2】前記一実施形態におけるエピタキシャルシリコンウェーハの製造過程を示す模式図。

【発明を実施するための形態】

【0045】

以下、本発明の実施形態を図面を参照して説明する。

図 2 0 に示すように、エピタキシャルシリコンウェーハの製造方法では、単結晶インゴット製造工程を行う（ステップ S 1）。

この単結晶インゴット製造工程では、図示しない引き上げ装置を用いた C Z 法（チョクラルスキー法）にて、n 型ドーパントとして赤リンを添加したシリコン融液から、図 2 1（A）に示すような単結晶インゴット 1 を製造する。この単結晶インゴット 1 は、直径が 200 mm であり、肩部 1 1 と、直胴部 1 2 と、テール部 1 3 とを備える。

30

ここで、単結晶インゴット 1 から切り出されたシリコンウェーハの抵抗率が  $0.6 \text{ m} \cdot \text{cm}$  以上  $0.9 \text{ m} \cdot \text{cm}$  以下となるように、以下の条件で単結晶インゴット 1 を製造した。

赤リン濃度： $8.29 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$  以上  $1.32 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$  以下

酸素濃度： $7 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$  以上  $12 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$  以下

なお、ミスフィット転位を抑制するために、 $3.70 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$  以上  $2.93 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$  以下の濃度のゲルマニウムを添加してもよい。

40

【0046】

この後、図 2 0 に示すように、ステップ S 1 で製造した単結晶インゴット 1 から、図 2 1（B）に示す評価用のシリコンウェーハ 1 4 1 を切り出す評価用ウェーハ切り出し工程を行う（ステップ S 2）。

この評価用ウェーハ切り出し工程では、図 2 1（A）に示すように、まず、単結晶インゴット 1 の直胴部 1 2 のうち、単結晶インゴット製造工程において、温度が  $570 \pm 70$  の範囲内であった時間が 200 分を超える部分を、円柱状のアニール候補ブロック 1 4 として切り出す。このアニール候補ブロック 1 4 は、上述のような温度条件で製造されているため、クラスターが発生している可能性が高い。

そして、このアニール候補ブロック 1 4 を分割して、3 個の円柱状の小ブロック 1 4 0

50

を得る。この後、この小ブロック 140 のテール部 13 側の端部から、評価用のシリコンウェーハ 141 を切り出す。

なお、小ブロック 140 の両端から評価用のシリコンウェーハ 141 を切り出してもよいし、肩部 11 側から切り出してもよい。

#### 【0047】

次に、図 20 に示すように、ステップ S2 で切り出した評価用のシリコンウェーハ 141 に対して評価アニール工程を行う（ステップ S3）。

この評価アニール工程では、例えば 1 回で複数の評価用のシリコンウェーハ 141 をアニール可能なバッチ炉を用いてピット評価用熱処理を行う。そして、このバッチ炉内で、評価用のシリコンウェーハ 141 を水素ガス雰囲気下において 1200 の温度で 30 秒間熱処理する。

10

#### 【0048】

この後、ステップ S3 で評価アニール工程を施した評価用のシリコンウェーハ 141 に対して、ピット観察工程を行う（ステップ S4）。このピット観察工程では、表面検査装置（レーザーテック社製 Magic s）を用いて、微小ピットを観察する。

次に、ステップ S4 において、微小ピットが観察されたか否かを判断する（ステップ S5）。

#### 【0049】

このステップ S5 において、微小ピットが観察された、すなわち径が 500 nm 以上の微小ピットが 1 個 /  $\text{cm}^2$  以上（200  $\mu\text{m}$  のシリコンウェーハ 1 枚あたり 314 個以上）観察されたと判定した場合、この評価用のシリコンウェーハ 141 を含む小ブロック 140 から、図 21（B）、（C）に示すように、製品用のシリコンウェーハ 142 を切り出す。そして、図 20 に示すように、この製品用のシリコンウェーハ 142 に対して、裏面酸化膜形成工程（ステップ S6）、裏面酸化膜除去工程（ステップ S7）、アルゴンアニール工程（ステップ S8）、水素ベーク工程（（エピタキシャル膜形成工程）ステップ S9）、エピタキシャル膜成長工程（（エピタキシャル膜形成工程）ステップ S10）の処理を行う。

20

すなわち、この製品用のシリコンウェーハ 142 にはクラスターが発生している可能性が高いため、アルゴンアニール工程を含む全ての工程を行う。

#### 【0050】

30

具体的には、ステップ S6 の裏面酸化膜形成工程では、連続式常圧 CVD 装置（天谷製作所製 AMAX 1200）を用いて以下の条件で処理を行い、図 22（D）に示すように、製品用のシリコンウェーハ 142 の裏面に酸化膜 16（以下、裏面酸化膜 16 という）を形成する。

原料ガス：モノシラン（ $\text{SiH}_4$ ）と酸素（ $\text{O}_2$ ）の混合ガス

裏面酸化膜の厚さ：550 nm（100 nm 以上 1500 nm 以下）

成膜温度：430（400 以上 450 以下）

このような裏面酸化膜 16 を設けることによって、オートドープ現象が抑制される。

#### 【0051】

また、ステップ S7 の裏面酸化膜除去工程では、研磨やエッチングなどの各種手法（例えば、特開 2003 - 273063 号公報、特開 2011 - 114210 号公報参照）を用いて、図 22（E）に示すように、製品用のシリコンウェーハ 142 の裏面外周部に存在する酸化膜 16 を除去する。ここで、酸化膜 16 の除去幅は、製品用のシリコンウェーハ 142 の外縁から 5 mm 未満であることが好ましい。

40

このように裏面酸化膜 16 の外周部を除去することによって、ノジュールの発生が抑制される。

#### 【0052】

また、ステップ S8 のアルゴンアニール工程では、1 回で複数の製品用のシリコンウェーハ 142 をアニール可能なバッチ炉を用い、以下の条件で熱処理を行う。

雰囲気：アルゴンガス

50

熱処理温度：1200 ～ 1220

熱処理時間：60分以上120分以下

このようなアルゴンアニール工程を行うことによって、製品用のシリコンウェーハ142に発生しているクラスターが溶体化して無くなる、あるいは少なくなる。

なお、アルゴンアニール工程において赤リンが外方拡散することで、製品用のシリコンウェーハ142の表面には、厚さが0.65 μm以上0.91 μm以下の外方拡散層が形成され、遷移領域幅が増大してしまう。しかし、その後のデバイス製造時における熱処理によって、濃度の高い位置から低い位置に赤リンが移動するため、問題とはならない。

【0053】

また、ステップS9の水素ベーク工程では、エピタキシャル装置内において、製品用のシリコンウェーハ142に対して以下の条件で熱処理を行う。

雰囲気：水素ガス

熱処理温度：1200（1050以上1200以下）

熱処理時間：30秒（30秒以上300秒以下）

すなわち、評価アニール工程のピット評価用熱処理とほぼ同じ条件で熱処理を行う。

このような水素ベーク工程を行うことによって、製品用のシリコンウェーハ142表面に付着した自然酸化膜やパーティクルが除去され、製品用のシリコンウェーハ142の清浄化を図ることができる。

【0054】

また、ステップS10のエピタキシャル膜成長工程では、水素ベーク工程を行った製品用のシリコンウェーハ142に対して以下の条件でエピタキシャル膜を成長させる。

ドーパントガス：フォスフィン（ $\text{PH}_3$ ）ガス

原料ソースガス：トリクロロシラン（ $\text{SiHCl}_3$ ）ガス

キャリアガス：水素ガス

成長温度：1080（1000以上1150以下）

エピタキシャル膜の厚さ：5 μm（1 μm以上10 μm以下）

抵抗率（エピ膜抵抗率）：1 · cm（0.01 · cm以上10 · cm以下）

（赤リン濃度： $4.86 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$ （ $4.44 \times 10^{14} \text{ atoms/cm}^3$ 以上 $4.53 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下）

このようなエピタキシャル膜成長工程を行うことによって、図22（F）に示すように、製品用のシリコンウェーハ142の表面にエピタキシャル膜17が形成されたエピタキシャルシリコンウェーハ2が製造される。

【0055】

ここで、裏面酸化膜形成工程前における製品用のシリコンウェーハ142にクラスターが発生していた場合でも、アルゴンアニール工程を行うことによって当該クラスターが無くなっているあるいは少なくなっているため、エピタキシャルシリコンウェーハ2に発生しているSFの個数が1個/cm<sup>2</sup>以下となる。また、1枚のエピタキシャルシリコンウェーハ2に発生しているLPDの個数が314個以下となる。したがって、高品質のエピタキシャルシリコンウェーハ2を製造することができる。

さらには、裏面酸化膜除去工程を行ってからアルゴンアニール工程を行うため、裏面酸化膜16で覆われていない外周部からの赤リンの外方拡散を促進させることができ、オートドーブ現象の発生を抑制できる。このため、エピタキシャル膜17面内の抵抗率の均一化を図れる。

【0056】

一方、図20に示すように、ステップS5において、微小ピットが観察されなかった、すなわち径が500 nm以上の微小ピットが1個/cm<sup>2</sup>以上（200 μmのシリコンウェーハ1枚あたり314個以上）観察されなかったと判定した場合、この評価用のシリコンウェーハ141を含む小ブロック140から切り出した製品用のシリコンウェーハ142に対して、ステップS6、S7、S9、S10とそれぞれ同じ条件で、裏面酸化膜形成工程（ステップS11）、裏面酸化膜除去工程（ステップS12）、水素ベーク工程（

10

20

30

40

50



エピタキシャル膜形成工程)ステップS 1 3)、エピタキシャル膜成長工程((エピタキシャル膜形成工程)ステップS 1 4)の処理を行う。

すなわち、この製品用のシリコンウェーハ 1 4 2 にはクラスターが発生している可能性が低いため、クラスターを溶体化するためのアルゴンアニール工程を行う必要がない。このような理由から、アルゴンアニール工程を除く全ての工程を行う。

そして、上述のステップS 1 1 ~ S 1 4 の処理を行うことによって、エピタキシャルシリコンウェーハ 2 に発生しているS F の個数が1個/cm<sup>2</sup>以下であって、1枚のエピタキシャルシリコンウェーハ 2 に発生しているL P D の個数が3 1 4 個以下の高品質のエピタキシャルシリコンウェーハ 2 を製造することができる。

【0057】

10

また、図21(A)に示すように、単結晶インゴット製造工程において、温度が570 ± 70 の範囲内であった時間が200分以下の部分(アニール候補ブロック14のテール部13側の部分)を、円柱状のアニール不要ブロック15として切り出す。このアニール不要ブロック15は、上述のような温度条件で製造されているため、クラスターが発生している可能性が極めて低い。

そして、このアニール不要ブロック15から製品用のシリコンウェーハを切り出して、上述のステップS 2 ~ S 1 0 の処理を行わずに、ステップS 1 1 ~ S 1 4 の処理のみを行うことによって、上述のような高品質のエピタキシャルシリコンウェーハ 2 を製造することができる。

【0058】

20

〔他の実施形態〕

なお、本発明は上記実施形態にのみ限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々の改良ならびに設計の変更などが可能である。

例えば、ステップS 2 ~ S 5 , S 1 1 ~ S 1 4 の処理を行わずに、直胴部12から切り出した製品用のシリコンウェーハ 1 4 2 の全てに対してステップS 6 ~ S 1 0 の処理を行ってもよい。

また、上記実施形態におけるアニール不要ブロック15をアニール候補ブロック14として切り出して、このアニール候補ブロック14に対してステップS 2 ~ S 1 4 の処理を行ってもよい。すなわち、単結晶インゴット製造工程での温度が570 ± 70 の範囲内であった時間の長さが200分以下か否かにかかわらず、ステップS 2 ~ S 1 4 の処理を行ってもよい。

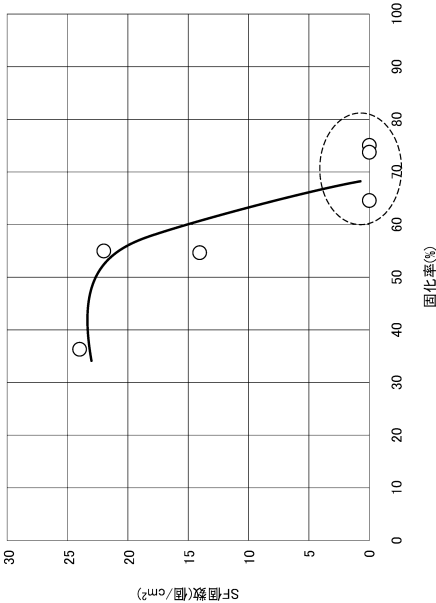
30

【符号の説明】

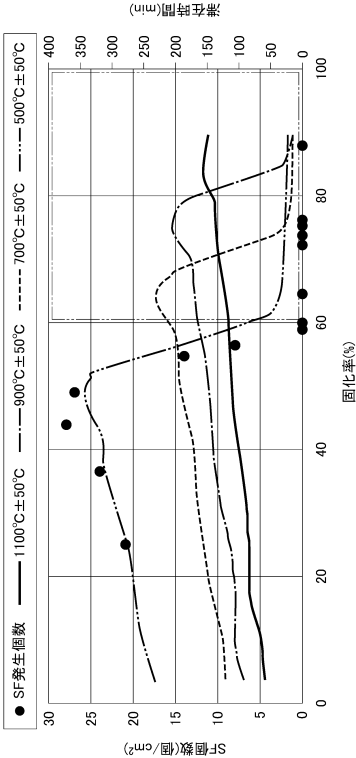
【0059】

- 1 ... 単結晶インゴット
- 2 ... エピタキシャルシリコンウェーハ
- 16 ... 裏面酸化膜
- 17 ... エピタキシャル膜
- 141, 142 ... シリコンウェーハ

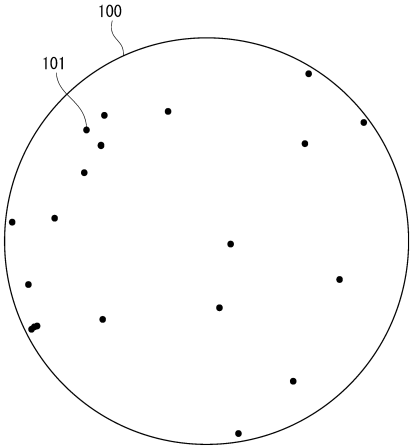
【図 1】



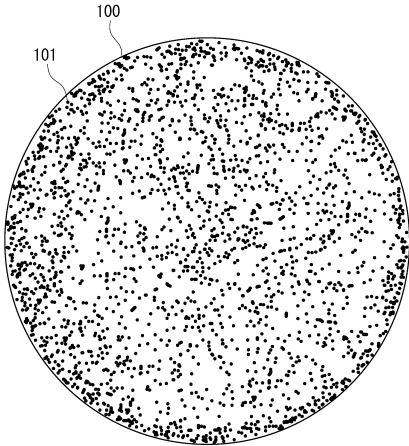
【図 2】



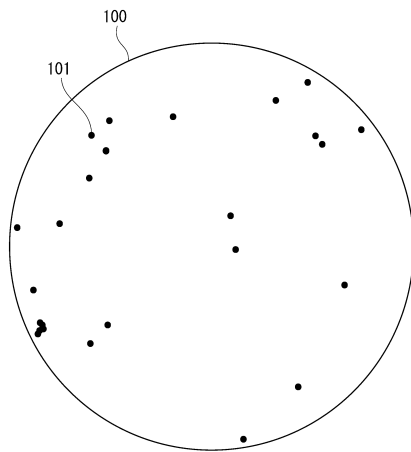
【図 3】



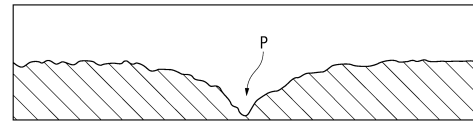
【図 4】



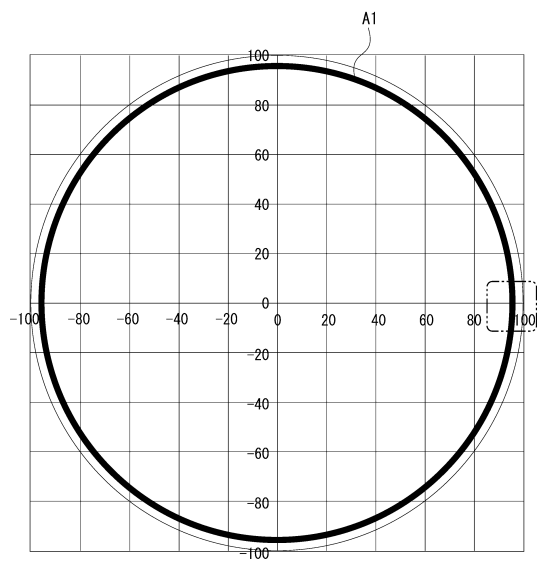
【図 5】



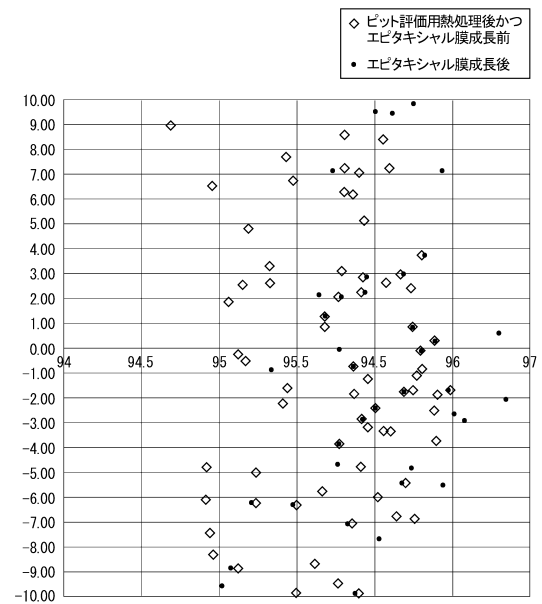
【図 6】



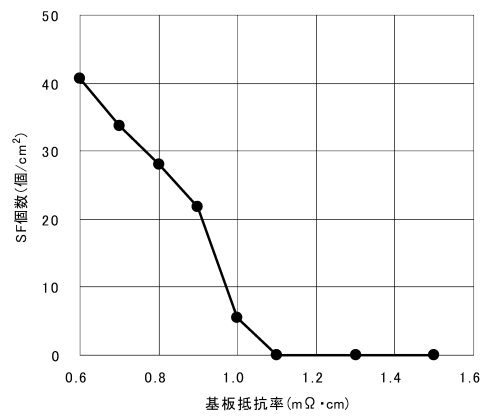
【図 7】



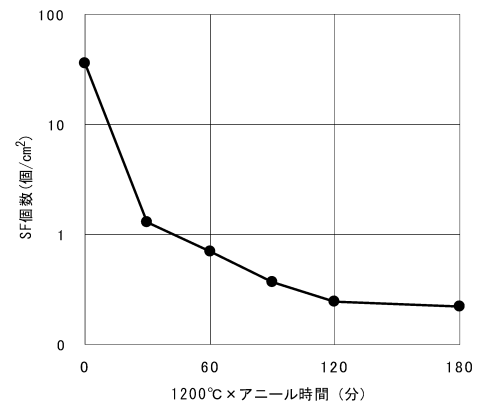
【図 8】



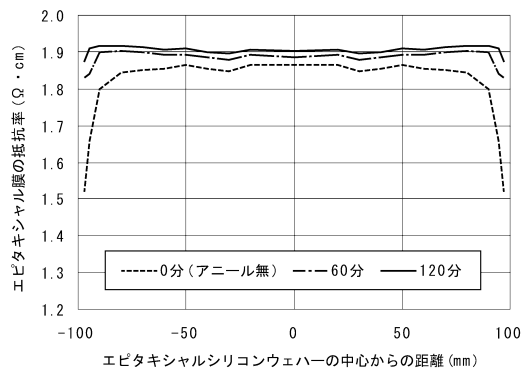
【図 9】



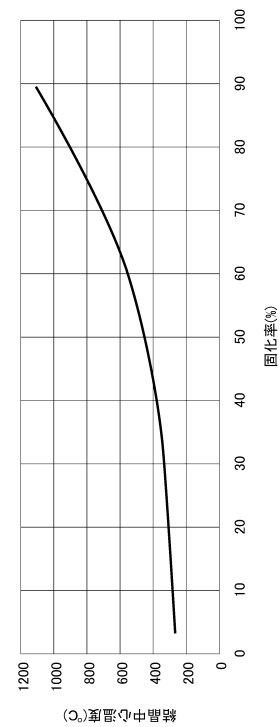
【図 10】



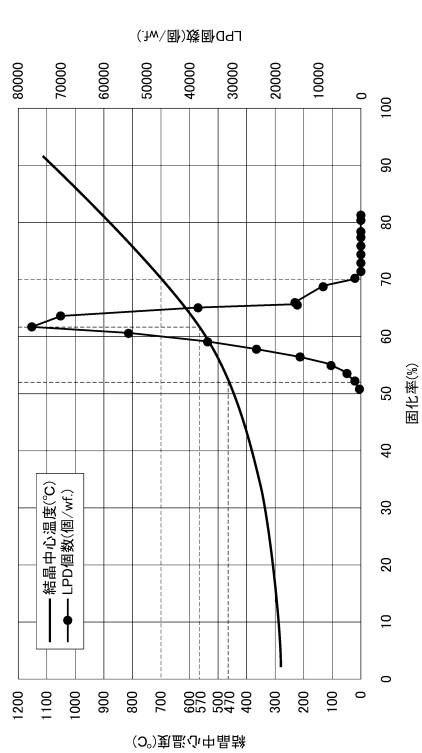
【図 11】



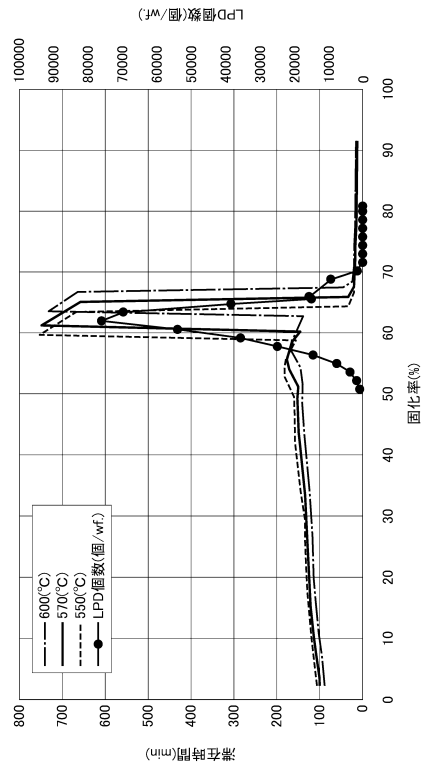
【図 12】



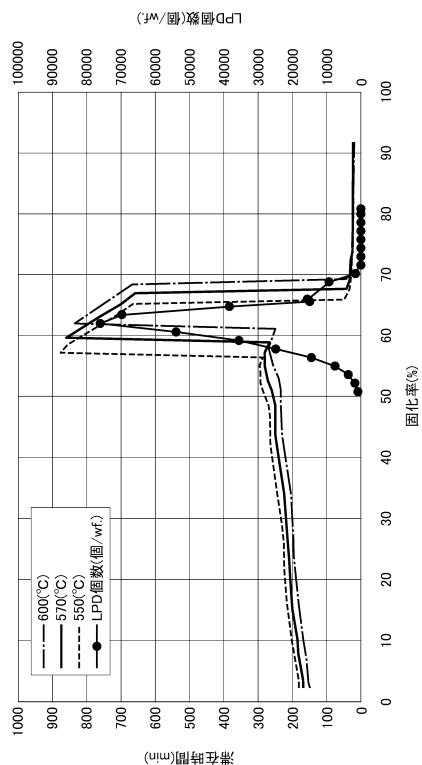
【図 1 3】



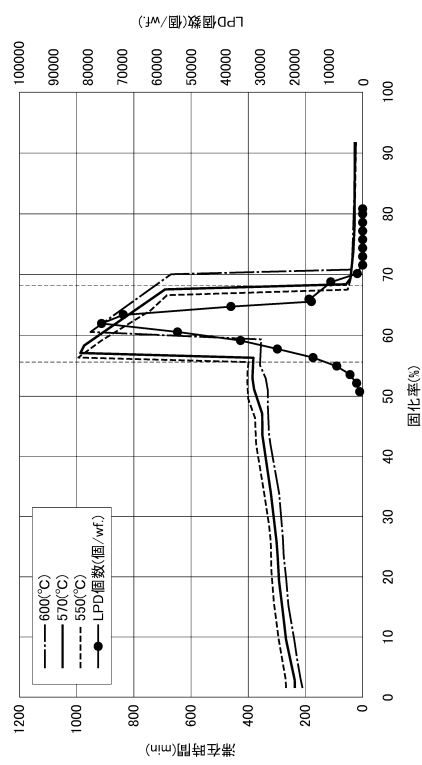
【図 1 4】



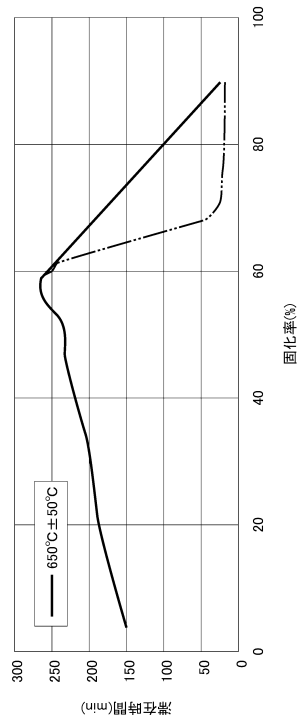
【図 1 5】



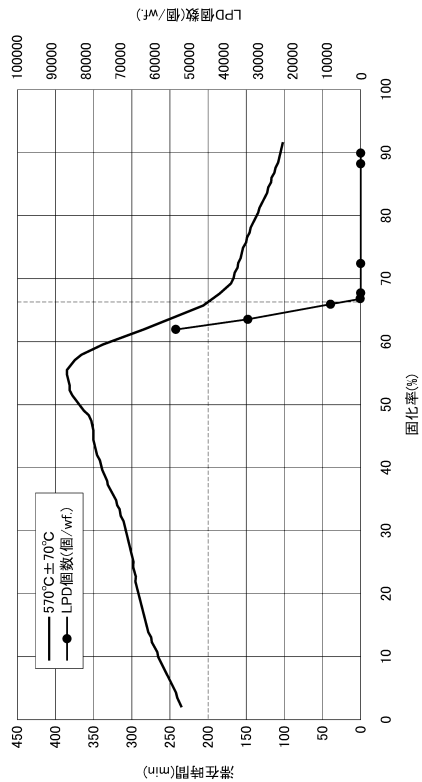
【図 1 6】



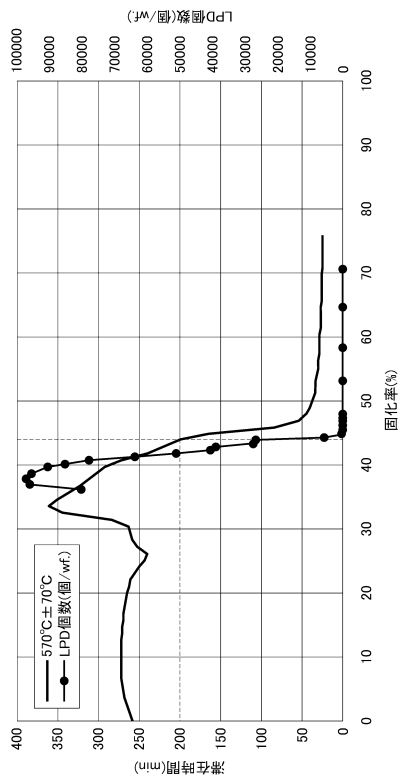
【図 17】



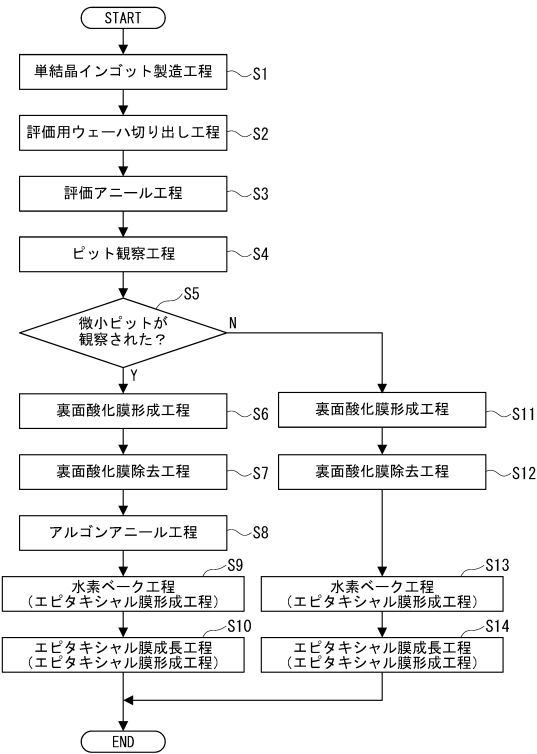
【図 18】



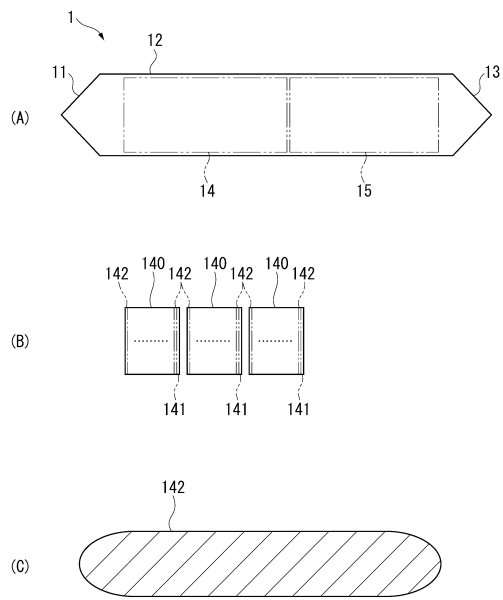
【図 19】



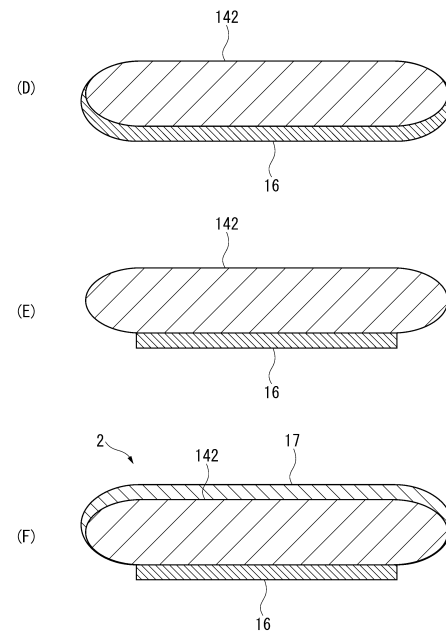
【図 20】



【図 2 1】



【図 2 2】



---

フロントページの続き

(72)発明者 品川 正行

長崎県大村市雄ヶ原町1324番地2 SUMCO TECHXIV株式会社内

(72)発明者 上園 剛

長崎県大村市雄ヶ原町1324番地2 SUMCO TECHXIV株式会社内

審査官 桑原 清

(56)参考文献 特開2010-153631(JP,A)

特開2006-186174(JP,A)

特開2011-009613(JP,A)

特開2009-224594(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/20

H01L 21/205

H01L 21/322

H01L 21/324