

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2010年2月25日(25.02.2010)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2010/021272 A1

- (51) 国際特許分類:  
C30B 29/06 (2006.01) C30B 15/04 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/064172
- (22) 国際出願日: 2009年8月11日(11.08.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2008-209876 2008年8月18日(18.08.2008) JP  
特願 2009-023774 2009年2月4日(04.02.2009) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): SUMCO TECHXIV株式会社(SUMCO TECHXIV CORPORATION) [JP/JP]; 〒8568555 長崎県大村市雄ヶ原町1324番地2 Nagasaki (JP). 株式会社SUMCO (SUMCO CORPORATION) [JP/JP]; 〒1058634 東京都港区芝浦1丁目2番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 川添 真一(KAWAZOE, Shinichi) [JP/JP]; 〒8568555 長崎県大村市雄ヶ原町1324番地2 SUMCO TECHXIV株式会社内 Nagasaki (JP). 久保田 利通(KUBOTA, Toshimichi) [JP/JP]; 〒8568555 長崎県大村市雄ヶ原町1324番地2 SU

MCO TECHXIV株式会社内 Nagasaki (JP). 小川 福生(OGAWA, Fukuo) [JP/JP]; 〒8568555 長崎県大村市雄ヶ原町1324番地2 SUMCO TECHXIV株式会社内 Nagasaki (JP). 鳴嶋 康人(NARUSHIMA, Yasuhito) [JP/JP]; 〒8568555 長崎県大村市雄ヶ原町1324番地2 SUMCO TECHXIV株式会社内 Nagasaki (JP).

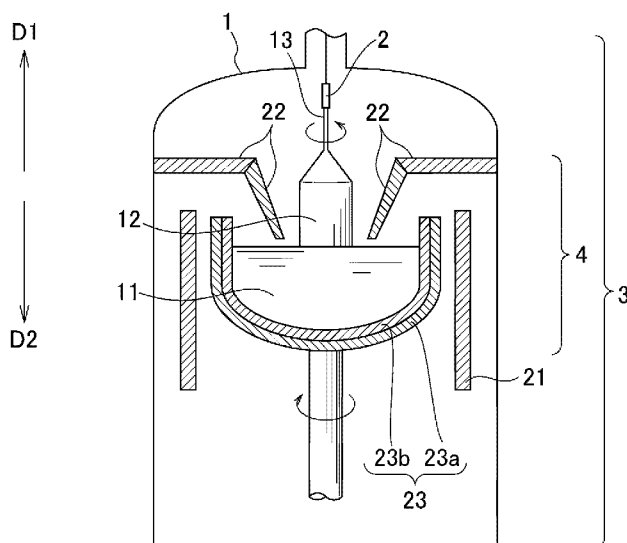
- (74) 代理人: 正林 真之, 外(SHOBAYASHI, Masayuki et al.); 〒1700013 東京都豊島区東池袋1丁目25番8号 タカセビル本館 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア

[続葉有]

(54) Title: PROCESSES FOR PRODUCTION OF SILICON INGOT, SILICON WAFER AND EPITAXIAL WAFER, AND SILICON INGOT

(54) 発明の名称: シリコンインゴット、シリコンウェーハ及びエピタキシャルウェーハの製造方法、並びにシリコンインゴット

[図1]



(57) Abstract: A process for production of a silicon ingot, by which a silicon ingot exhibiting a low resistivity even in the top portion can be produced. The process for the production of a silicon ingot comprises withdrawing a silicon seed crystal (13) from a silicon melt (11) to grow a silicon single crystal (12), with the silicon seed crystal (13) and the silicon melt (11) containing dopants of the same kind. The process comprises the dipping step of dipping a silicon seed crystal (13) containing a dopant in a specific concentration in a silicon melt (11) in such a manner that the temperature difference between both falls within the range of 50 to 97K, and the growing step of growing a silicon single crystal (12) withdrawn after the dipping to form a silicon ingot, the growing step being conducted by using a single crystal puller provided with a thermal shield plate (22) for shielding against radiant heat emitted from the silicon melt (11) and controlling the distance between the thermal shield plate (22) and the silicon melt (11) within a specific range.

(57) 要約:

[続葉有]



(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ  
(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,  
GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL,  
NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,  
CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,  
TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

トップ部分から低抵抗率であるシリコンインゴットを得る製造方法等を提供すること。シリコン種結晶 1 3 を引き上げてシリコン単結晶 1 2 を成長させることによりシリコンインゴットを製造する方法であって、シリコン種結晶 1 3 及びシリコン融液 1 1 は同じ種類のドーパントを含有しており、シリコン融液 1 1 に特定の濃度範囲のドーパントを含有するシリコン種結晶 1 3 を両者の温度差が 5 0 ~ 9 7 K になるように着液させる着液工程と、前記着液工程を経て引き上げられたシリコン単結晶 1 2 を成長させてシリコンインゴットを得る成長工程と、を備え、さらに、前記成長工程において、シリコン融液 1 1 からの輻射熱を遮蔽する熱遮蔽板 2 2 を備える単結晶引き上げ装置を用い、熱遮蔽板 2 2 とシリコン融液 1 1 との間の距離が特定の範囲となるシリコンインゴットの製造方法を使用する。

## 明 細 書

発明の名称：

シリコンインゴット、シリコンウェーハ及びエピタキシャルウェーハの製造方法、並びにシリコンインゴット

### 技術分野

[0001] 本発明は、シリコンインゴット、シリコンウェーハ及びエピタキシャルウェーハの製造方法並びに当該製造方法により製造されるシリコンインゴットに関する。

### 背景技術

[0002] 近年、携帯電話機等の小型機器が広く普及するようになった。こうした小型機器では、長時間携行して使用可能なことが強く求められており、小型機器に内蔵するバッテリーの大容量化や、小型機器自体の消費電力を低減する取り組みがなされている。小型機器自体の消費電力を低減させるには、小型機器の内部に搭載される半導体デバイスの消費電力を低減させることが必要である。例えば、小型機器の電力用デバイスとして使用される低耐圧パワーMOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) は、Onとなったときにその内部にある一定の抵抗を有するので、低耐圧パワーMOSFETに流れる電流に応じてそれ自身が電力を消費する。したがって、低耐圧パワーMOSFETがOnとなったときの内部抵抗を小さくすることができれば、小型機器の消費電力を低減させることが可能となる。そのような背景から、低耐圧パワーMOSFETがOnとなったときの抵抗を小さくするために、低抵抗率のN型単結晶が強く求められている。

[0003] 低抵抗率のN型単結晶を得るには、通常、N型のドーパントである砒素やリンを多くドーブした高ドーブ品を作製すればよい。しかし、N型ドーパントを高濃度に添加してチョクラルスキー法によりインゴットの引き上げを行った場合、ドーパントを大量に入れることによる凝固点降下度が非常に大き

くなり、組成的過冷却現象が生じてしまう。そして、組成的過冷却が大きい場合、結晶成長界面でシリコン成長面とは異なる成長が始まり、異常成長（C e l l 成長）を起こしてしまう。この異常成長がインゴット成長段階で生じた場合、単結晶化が阻害されるという問題がある。

[0004] ここで、G a A s、I n P等の化合物半導体の分野においては、この組成的過冷却について検討し、半導体の融液側の温度勾配と引き上げ速度との関係から、組成的過冷却の発生条件を規定したものが知られている（例えば、特許文献1を参照）。しかし、N型ドーパントを高濃度に添加したシリコン単結晶の組成的過冷却現象については、十分な検討がなされていないため、異常成長を防止する改善方法を提供することができないという問題がある。

[0005] また、特許文献2によれば、砒素をドーパントとしたN型のシリコンウェーハにおいて、抵抗率が $10\Omega\text{cm}\sim 1\text{m}\Omega\text{cm}$ となるような低抵抗品が提案されている。しかし、同特許文献の記載によれば、最も低い抵抗率であっても $3\text{m}\Omega\text{cm}$ のシリコンウェーハまでしか得られていない。

[0006] また、特許文献3によれば、砒素をドーパントとしたN型のシリコンウェーハにおいて、抵抗率が $2\text{m}\Omega\text{cm}$ 以下となるような低抵抗品が得られたことが記載されている。確かに、チョクラルスキー法によりインゴットの引き上げを行うと、引き上げ初期の単結晶に含まれるドーパントの量は少なく、引き上げ末期付近で単結晶に含まれるドーパントの量が多くなる偏析現象が起こる。このような現象により、インゴットのボトム付近の限られた領域で低抵抗率のシリコンウェーハを得ることも可能だが、これでは1本のインゴットから採取できる低抵抗率ウェーハに限りがあるので、コスト面あるいは生産効率の面から難しい。さらに、上記の偏析現象に関しても、揮発性の高い砒素ドーパントはシリコン融液の表面より随時蒸発しているため、インゴットに含まれるドーパント濃度が偏析現象により期待された濃度よりも低くなってしまう傾向もあり、この点からも低抵抗率のウェーハを得るのは難しいといえる。実際、特許文献2に記載のウェーハでは、 $2\text{m}\Omega\text{cm}$ 以下のウェーハが得られる領域は1本のインゴット中で最大でも62%であり、イン

ゴットのトップ部分から抵抗率が $2\text{ m}\Omega\text{ cm}$ 以下のシリコンウェーハが得られるわけではない。また、特許文献2には、抵抗率が $2\text{ m}\Omega\text{ cm}$ 以下のシリコンウェーハが得られたとの記載はあるものの、その具体的な抵抗率についての記載はない。

## 先行技術文献

## 特許文献

[0007] 特許文献1：特開昭61-31382号公報

特許文献2：特開2003-124219号公報

特許文献3：特開2005-314213号公報

## 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

[0008] そこで本発明は、トップ部分から低抵抗率であるシリコンインゴットを得る方法、そのような方法で得られたトップ部分から低抵抗率であるシリコンインゴット、そのようなシリコンインゴットをスライスして低抵抗率のシリコンウェーハとするシリコンウェーハの製造方法、及びそのようなシリコンウェーハの表面にエピタキシャル層を形成するエピタキシャルウェーハの製造方法を提供することを課題とする。

## 課題を解決するための手段

[0009] 本発明者らは、チョクラルスキー法を使用してシリコン単結晶を成長させる際に使用する種結晶に特定濃度のドーパントを添加するとともに、シリコン単結晶成長中に、単結晶引き上げ装置におけるホットゾーンに備えられた熱遮蔽板と坩堝に收容された融液表面との間隔を特定の範囲とすることによって、上記課題を解決できることを見出し、本発明を完成するに至った。

[0010] (1) 本発明のシリコンインゴットの製造方法は、種結晶を融液に着液させ、前記種結晶を引き上げてシリコン単結晶を成長させることによりシリコンインゴットを製造する方法であって、

前記種結晶及び前記融液は同じ種類のドーパントを含有しており、

前記融液に前記種結晶を着液させる着液工程と、

前記着液工程を経て引き上げられたシリコン単結晶を成長させてシリコンインゴットを得る成長工程と、を備え、

前記種結晶に含有されるドーパントの濃度は、ドーパントが砒素の場合には  $2.0 \times 10^{19} \sim 4.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 、ドーパントがリンの場合には  $5.0 \times 10^{19} \sim 7.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 、ドーパントがリン及びゲルマニウムの場合にはリン  $5.0 \times 10^{19} \sim 7.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$  かつゲルマニウム  $4.0 \times 10^{19} \sim 8.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$  であり、

前記着液工程において、前記種結晶を前記融液に着液させる際の前記種結晶と前記融液の温度差が  $50 \sim 97 \text{ K}$  であり、

さらに、前記成長工程において、前記融液からの輻射熱を遮蔽する熱遮蔽板と前記融液を収容する坩堝とをホットゾーンに備える単結晶引き上げ装置を用い、

前記成長工程のうちシリコンインゴットの直胴部分を成長させる期間の開始時点において、前記熱遮蔽板と前記融液の表面との距離が  $20 \sim 30 \text{ mm}$  であり、

前記成長工程のうちシリコンインゴットの肩部分と直胴部分との境界部分からシリコンインゴットの引き上げ方向と反対方向に  $200 \text{ mm}$  離れた位置以降の直胴部分を成長させる期間において、前記熱遮蔽板と前記融液の表面との距離が  $6 \sim 15 \text{ mm}$  である。

[0011] (2) 本発明のシリコンインゴットの製造方法は、直径  $200 \text{ mm}$  以上のシリコンインゴットの製造方法であることが好ましい。

[0012] (3) 本発明のシリコンインゴットは、(2) 項記載のシリコンインゴットの製造方法によって製造され、次の条件 A～条件 C のいずれかを満たす直径  $200 \text{ mm}$  以上のシリコンインゴットである。

前記条件 A はシリコンインゴットのドーパントが砒素で、当該シリコンインゴットのうち、固化率が  $5 \sim 15 \%$  である領域の抵抗率が  $1.6 \sim 2.0$

mΩ cmであり、

前記条件Bはシリコンインゴットのドーパントがリンで、当該シリコンインゴットのうち、固化率が5～15%である領域の抵抗率が0.95～1.1 mΩ cmであり、

前記条件Cはシリコンインゴットのドーパントがリン及びゲルマニウムで、当該シリコンインゴットのうち、固化率が5～15%である領域の抵抗率が1.0～1.2 mΩ cmである。

[0013] (4) 本発明のシリコンインゴットは、さらに次の条件D～条件Fのいずれかを満たすことが好ましい。

前記条件Dはシリコンインゴットのドーパントが砒素で、当該シリコンインゴットのうち、固化率が80～90%である領域の抵抗率が1.3～1.6 mΩ cmであり、

前記条件Eはシリコンインゴットのドーパントがリンで、当該シリコンインゴットのうち、固化率が80～90%である領域の抵抗率が0.70～0.80 mΩ cmであり、

前記条件Fはシリコンインゴットのドーパントがリン及びゲルマニウムで、当該シリコンインゴットのうち、固化率が80～90%である領域の抵抗率が0.70～0.90 mΩ cmである。

[0014] (5) 本発明のシリコンインゴットは、直径200 mmで、ドーパントが砒素であり、抵抗率が1.6 mΩ cm以下となる領域の長さが長手方向に200 mm以上である。

[0015] (6) 本発明のシリコンインゴットは、直径が200 mmで、ドーパントがリンであり、抵抗率が0.8 mΩ cm以下となる領域の長さが長手方向に100 mm以上である。

[0016] (7) 本発明のシリコンインゴットは、直径が200 mmで、ドーパントがリン及びゲルマニウムであり、抵抗率が0.8 mΩ cm以下となる領域の長さが長手方向に50 mm以上である。

[0017] (8) 本発明のシリコンウェーハの製造方法は、(1) 項又は(2) 項記

載のシリコンインゴットの製造方法で製造されたシリコンインゴットをスライスしてシリコンウェーハとする製造方法である。

- [0018] (9) 本発明のエピタキシャルウェーハの製造方法は、(8) 項記載のシリコンウェーハの製造方法で製造されたシリコンウェーハの表面にエピタキシャル層を形成してエピタキシャルウェーハとする製造方法である。

### 発明の効果

- [0019] 本発明によれば、トップ部分から低抵抗率であるシリコンインゴットを得る方法、そのような方法で得られたトップ部分から低抵抗率であるシリコンインゴット、そのようなシリコンインゴットをスライスして低抵抗率のシリコンウェーハとするシリコンウェーハの製造方法、及びそのようなシリコンウェーハの表面にエピタキシャル層を形成するエピタキシャルウェーハの製造方法が提供される。

### 図面の簡単な説明

- [0020] [図1] 本発明のシリコンインゴットの製造方法の一実施形態で使用されるシリコン単結晶引き上げ装置を模式的に示す断面図である。
- [図2] 図1に示すシリコン単結晶引き上げ装置の部分拡大断面図である。
- [図3] 本発明のシリコンインゴットの製造方法の一実施態様で製造されるシリコンインゴットを示す図である。
- [図4] ドーパントとして砒素を使用した場合の固化率に対する抵抗率のグラフである。
- [図5] ドーパントとしてリンを使用した場合の固化率に対する抵抗率のグラフである。
- [図6] ドーパントとしてリン及びゲルマニウムを使用した場合の固化率に対する抵抗率のグラフである。
- [図7] ドーパントとして砒素を使用した場合の固化率に対する抵抗率のグラフである。
- [図8] ドーパントとしてリンを使用した場合の固化率に対する抵抗率のグラフである。

[図9] ドーパントとしてリン及びゲルマニウムを使用した場合の固化率に対する抵抗率のグラフである。

### 発明を実施するための形態

#### [0021] <シリコンインゴットの製造方法>

以下、本発明のシリコンインゴットの製造方法の一実施態様について図面を参照しながら説明する。図1は、本発明のシリコンインゴットの製造方法の一実施形態で使用されるシリコン単結晶引き上げ装置を模式的に示す断面図である。図2は、図1に示すシリコン単結晶引き上げ装置の部分拡大断面図である。図3は、本発明のシリコンインゴット製造方法の一実施態様で製造されるシリコンインゴットを示す図である。

[0022] 本発明のシリコンインゴットの製造方法の一実施態様は、図1及び図2に示すように、融液11からの輻射熱を遮蔽する熱遮蔽板22と融液11を収容する坩堝23とをホットゾーン4に備える単結晶引き上げ装置3を用いて実施される。本実施態様のシリコンインゴットの製造方法は、シリコン種結晶（以下、単に「種結晶」ともいう）13をシリコン融液（以下、単に「融液」ともいう）11に着液させ、前記種結晶13を引き上げてシリコン単結晶（以下、単に「単結晶」ともいう）12を成長させることによりシリコンインゴットを製造するものである。なお、図1～図3において、「D1」はシリコン単結晶12の引き上げ方向を示し、「D2」はシリコン単結晶12の引き上げ方向と反対の方向を示す。

#### [0023] [シリコンインゴットの形状の概要]

まず、本実施形態により製造されるシリコンインゴットの形状について、図3を参照しながら簡単に説明する。シリコンインゴットは、種結晶13の部分からやや径の細いネック部分14を経て、徐々に拡径する肩部分15と、一定の径を有する直胴部分16と、徐々に縮径するテール部分17とを有する。直胴部分16はボディ部分とも呼ばれる。なお、シリコンインゴットにおいて肩部分15から直胴部分16に変わる部分（境界）をボディトップ部分16aと呼び、直胴部分16からテール部分17に変わる部分（境界）

をボディボトム部分 16b と呼ぶ。したがって、ボディトップ部分 16a とは、引き上げ方向 D1 について直胴部分 16 の先端から 0mm の位置を意味する。

[0024] [シリコン単結晶引き上げ装置の概要]

次に、本実施態様を実施する上で使用されるシリコン単結晶引き上げ装置について説明する。シリコン単結晶引き上げ装置 3 のホットゾーン 4 は、図 1 及び図 2 に示すように、チャンバ 1 の内部に、坩堝 23、熱遮蔽板 22、ヒータ 21などを備えて構成される。

[0025] 坩堝 23 は、チャンバ 1 の中心に自ら回転すると共に昇降自在に設置されている。この坩堝 23 は、その外側が黒鉛坩堝 23a からなり、その内側が石英坩堝 23b からなるものである。熱遮蔽板 22 は、一般的にはカーボン部材で構成され、シリコン融液 11 等からの熱輻射を遮蔽することによってシリコン単結晶 12 の側面の温度調整を行うものである。ヒータ 21 は、円筒状であり、坩堝 23 を取り囲むように設けられている。ヒータ 21 は、原料を加熱溶解して、シリコン融液 11 とすることができる。シードホルダ 2 は、種結晶 13 を取り付けることができる。

[0026] 坩堝 23 は昇降自在に構成されており、坩堝 23 を昇降させることにより熱遮蔽板 22 と融液 11 の表面との距離 d を調整することができる。したがって、単結晶 12 を引き上げるのに伴って融液 11 の液面が低下した場合には、熱遮蔽板 22 と融液 11 の表面との距離 d を一定に保つために坩堝 23 を上昇させればよい。このような作業は、例えば、引き上げた単結晶 12 の質量と坩堝 23 の形状から融液 11 の位置を算出し、当該算出結果から坩堝 23 の上昇量を算出するプログラムなどを使用して自動制御させてもよい。また、単結晶 12 の引き上げ中に熱遮蔽板 22 と融液 11 の表面との距離 d を適宜変更してもよい。

[0027] シリコン単結晶引き上げ装置においては、以下のようにシリコン単結晶 12 を成長させる。まず、石英坩堝 23b に塊状の多結晶シリコンを装填し、ヒータ 21 によって原料を加熱溶解してシリコン融液 11 とする。そして、

シードホルダ 2 に取り付けられた種結晶をシリコン融液 1 1 に浸漬し、シードホルダ 2 及び坩堝 2 3 を互いに同方向又は逆方向に回転しつつシードホルダ 2 を引き上げて、シリコン単結晶 1 2 を所定の直径及び長さ成長させる。

[0028] 本実施態様のシリコンインゴットの製造方法において、種結晶 1 3 及び融液 1 1 は同じ種類のドーパントを含有する。また、本実施態様の製造方法は、融液 1 1 に種結晶 1 3 を着液させる着液工程と、前記着液工程を経て引き上げられた単結晶 1 2 を成長させてシリコンインゴットを得る成長工程と、を備える。また、種結晶 1 3 に含有されるドーパントの濃度、種結晶 1 3 を融液 1 1 に着液させる際の種結晶 1 3 と融液 1 1 の温度差、成長工程における種結晶 1 3 の引き上げ条件などを所定の範囲に設定する。以下、それぞれの技術内容について説明する。

[0029] [着液工程]

まず、着液工程について説明する。この工程は、種結晶 1 3 を融液 1 1 に着液させる工程である。

[0030] 着液工程で使用される種結晶 1 3 は、融液 1 1 と同じ種類のドーパントを含む。なお、種結晶 1 3 に添加されるドーパントの濃度は、融液 1 1 に添加されるドーパントの濃度と必ずしも一致する必要はない。種結晶 1 3 のドーパントの濃度は、ドーパントが砒素の場合には  $2.0 \times 10^{19} \sim 4.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$  である。同じくドーパントがリンの場合には  $5.0 \times 10^{19} \sim 7.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$  である。さらに同じくドーパントがリン及びゲルマニウムの場合にはリン  $5.0 \times 10^{19} \sim 7.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$  かつゲルマニウム  $4.0 \times 10^{19} \sim 8.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$  であり、リン  $6.0 \times 10^{19} \sim 7.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$  かつゲルマニウム  $6.0 \times 10^{19} \sim 8.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$  が好ましい。いずれのドーパントを用いる場合であっても、種結晶 1 3 に含まれるドーパントの濃度は、狙いとする抵抗率を有するインゴットと同じとすることが好ましいが、上記範囲にあればよい。

[0031] このように種結晶 1 3 に融液 1 1 と同じ種類のドーパントを添加する理由

は、種結晶 1 3 を融液 1 1 に着液する際、種結晶 1 3 中に転位が導入されないようにするためである。すなわち、種結晶 1 3 と融液 1 1 との間には温度差が存在するが、両者の温度差がある一定の範囲（許容温度差）を超えると、種結晶 1 3 が融液 1 1 に接触したときに種結晶 1 3 中に熱ショック転位が導入される。また、種結晶 1 3 と融液 1 1 との間で、含まれるドーパントの濃度に大きな差があると、この濃度差によって育成される単結晶 1 2 にミスフィット転位が導入される。このような熱ショック転位やミスフィット転位が高密度に種結晶 1 3 や単結晶 1 2 に導入されると、その後にネッキング加工を施しても転位を除去できず、単結晶 1 2 がその成長中に多結晶化する。この場合、低い抵抗率を有するシリコンインゴットを得るのが困難になる。種結晶 1 3 中にドーパントを予め添加しておく、温度差による熱ショック転位や濃度差によるミスフィット転位の発生を抑制できるので、種結晶 1 3 や育成される単結晶 1 2 に転位が導入されることが防止、低減される。したがって、単結晶 1 2 の成長中の多結晶化が抑制されるので、低い抵抗率を有するシリコンインゴットを得ることができるようになる。

[0032] また、種結晶 1 3 を融液 1 1 に着液させる際、両者の温度差は 50～97 K の範囲に設定することが必要である。種結晶 1 3 と融液 1 1 との温度差が 50 K よりも小さい条件で種結晶 1 3 を融液 1 1 に着液させることは、石英坩堝の軟化による倒れこみ、融液 1 1 の沸騰、種結晶 1 3 の溶解等の問題を生じるため、現実的に不可能である。また、種結晶 1 3 と融液 1 1 との温度差が 97 K を超えると、種結晶 1 3 にドーパントを添加していたとしても、着液時に種結晶 1 3 に熱ショック転位が導入され、無転位のシリコンインゴットを作製することが困難になる。より好ましい両者の温度差の範囲は 50～70 K である。

[0033] なお、シリコン融液 1 1 の中のドーパント濃度は、ドーパントが砒素の場合には  $1.5 \times 10^{20} \sim 2.0 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$  が好ましく、 $1.7 \times 10^{20} \sim 2.0 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$  がより好ましく、 $1.8 \times 10^{20} \sim 2.0 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$  が最も好ましい。ここで、砒素は揮

発性ドーパントであることから、シリコン融液中のドーパント濃度は時間と共に低下する。したがって、砒素が揮発する分を見込んで濃度を高めに設定することにより、所望とする低抵抗率結晶が得られる。同じくドーパントがリンの場合には $1.9 \times 10^{20} \sim 2.3 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ が好ましく、 $2.0 \times 10^{20} \sim 2.3 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ がより好ましく、 $2.1 \times 10^{20} \sim 2.3 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ が最も好ましい。さらに同じくドーパントがリン及びゲルマニウムの場合にはリン $1.7 \times 10^{20} \sim 2.1 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ かつゲルマニウム $8.5 \times 10^{19} \sim 1.6 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ が好ましく、リン $1.9 \times 10^{20} \sim 2.1 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ かつゲルマニウム $1.0 \times 10^{20} \sim 1.6 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ がより好ましく、リン $2.0 \times 10^{20} \sim 2.1 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ かつゲルマニウム $1.4 \times 10^{20} \sim 1.6 \times 10^{20}$ が最も好ましい。

[0034] [成長工程]

次に、成長工程について説明する。この工程は、上記種結晶 13 を引き上げて単結晶 12 を成長させる工程である。

[0035] この工程では、上述の単結晶引き上げ装置を用い、熱遮蔽板 22 と融液 11 の表面との間の距離  $d$  が所定の範囲となるような条件のもとで種結晶 13 を引き上げて、単結晶 12 を成長させる。なお、以降の説明において、成長工程の中でもインゴットのネック部分 14 から肩部分 15 を成長させる期間のことを特に「成長初期工程」と呼び、成長初期工程を過ぎ、インゴットの直胴部分 16 を成長させる期間のことを特に「直胴工程」と呼ぶ。

[0036] 熱遮蔽板 22 と融液 11 との距離  $d$  について図 2 を用いて説明する。

成長初期工程（ネック～肩）における熱遮蔽板 22 と融液 11 の表面との距離  $d$  は、 $20 \sim 30 \text{ mm}$  が好ましく、 $24 \sim 27 \text{ mm}$  がより好ましい。熱遮蔽板 22 と融液 11 の表面との距離  $d$  が  $20 \text{ mm}$  よりも小さい場合、砒素のような揮発性ドーパントを添加した場合に、シリコン融液 11 の表面からドーパントの蒸発が促進される傾向がある。その結果、シリコン融液 11 の

中のドーパント濃度が減少し、成長中の単結晶 12 の抵抗率が上昇してしまうおそれがある。また、距離  $d$  が 30 mm よりも大きい場合、シリコン蒸気等の蒸発物が効率よく排気できず、インゴットが単結晶となるのを阻害する可能性がある。

[0037] 本実施態様では、シリコンインゴットの直胴部分 16 を成長させる期間である直胴工程の開始時点において、熱遮蔽板 22 と融液 11 の表面との距離  $d$  を、一般的に設定されている 30 ~ 35 mm よりも小さい 20 ~ 30 mm に設定する。また、シリコンインゴットの肩部分 15 と直胴部分 16 との境界部分（ボディトップ部分 16 a）からシリコンインゴットの引き上げ方向と反対方向 D2 に 200 mm 離れた位置 16 c より以降の直胴部分 16 を成長させる期間（以下、「直胴工程の後半期間」ともいう。）において、熱遮蔽板 22 と融液 11 の表面との距離  $d$  を、一般的に設定されている 20 ~ 30 mm よりも小さい 6 ~ 15 mm に設定する。

[0038] なお、上記「シリコンインゴットの肩部分 15 と直胴部分 16 との境界部分からシリコンインゴットの引き上げ方向と反対方向 D2 に 200 mm 離れた位置 16 c より以降の直胴部分 16」とは、直胴工程において引き上げられるシリコンインゴットの直胴部分 16 のうち、最初に引き上げられる 200 mm の部分を除いた直胴部分 16 という意味である。つまり、上記「直胴工程の後半期間」は、直胴工程開始後に直胴部分 16 を 200 mm 引き上げた後の期間をいう。

[0039] 上述のように、熱遮蔽板 22 は、融液 11 等からの熱輻射を遮蔽することによって単結晶 12 の側面の温度調整を行うものである。したがって、距離  $d$  を小さくすればするほど、融液 11 と単結晶 12 との間の温度勾配を大きくすることができる。この温度勾配を大きくすることにより、シリコンインゴットの直胴部分 16 での異常成長（C e l l 成長）が抑制されるので、融液 11 の中のドーパント濃度を高くしても異常成長が発生しにくくなる。言い換えると、熱遮蔽板 22 と融液 11 の表面との距離  $d$  を上記範囲に規定することによってドーパントを多量に使用した場合の異常成長が抑制されるの

で、多量のドーパントを含む低抵抗率のインゴットを作製することができる。また、温度勾配が大きくなることに伴って、インゴットの引上げ速度を大きくすることができるので、低抵抗率の単結晶の生産性を向上させることもできる。

[0040] 直胴工程の開始時点において距離  $d$  を 30 mm 以下、かつ直胴工程の後半期間において距離  $d$  を 15 mm 以下とすることにより、融液 11 と単結晶 12 との間の温度勾配を十分大きくすることができ、シリコンインゴットの異常成長を効果的に抑制することができる。また、直胴工程の開始時点において距離  $d$  を 20 mm 以上、かつ直胴工程の後半期間において距離  $d$  を 6 mm 以上とすることにより、融液 11 の表面からのドーパントの蒸発を抑制することができる。

[0041] なお、「直胴工程の開始時点」において距離  $d$  が 20 ~ 30 mm であればよいので、直胴工程を開始した後に距離  $d$  を徐々に減少しても差し支えない。例えば、直胴工程の後半期間の開始時点で距離  $d$  が 6 ~ 15 mm となるように、直胴工程を開始した後から距離  $d$  を徐々に減少して行ってもよい。これに対して、直胴工程の後半期間では、この期間の開始時点から終了時点まで、距離  $d$  を 6 ~ 15 mm に維持する必要がある。

[0042] [本実施態様のシリコンインゴットの製造方法による効果]

本発明のシリコンインゴットの製造方法によれば、融液 11 にドーパントを多量に添加しても異常成長が抑制されるので、ドーパントが多く添加された低抵抗率のシリコンインゴットを作製することができる。そして、このようにして得られたシリコンインゴットは、ボディトップ部分から低い抵抗率を示すので、そのシリコンインゴットをスライスすることにより、抵抗率の低いシリコンウェーハを効率良く得ることができる。さらに、得られたシリコンインゴットの抵抗率は、ドーパントの蒸発現象のため、理論偏析曲線の抵抗率までは低下しないが、ボディボトム部分に近づくほどドーパントの濃度が高くなるので、本実施態様のシリコンインゴットの製造方法によれば、ボディボトム付近からはこれまで存在しなかったような低い抵抗率を示すシ

リコンウェーハを得ることができる。

[0043] なお、本発明のシリコンインゴットの製造方法は、直径200mm、300mm、450mmといった直径200mm以上のシリコンインゴットの生産に好ましく適用される。その理由を以下に説明する。

[0044] 本発明のシリコンインゴットの製造方法では、低い抵抗率のシリコンインゴットを得るために、融液11に多量のドーパントを添加する。ところで、ドーパントとなる物質は、シリコンとは異なる元素であるため、融液11に添加されると融液11の凝固点を降下させる。そして、その凝固点の降下の程度は、融液11へのドーパントの添加量が増加するほど大きくなる。したがって、多量のドーパントが融液11に添加されると、融液11の凝固点が大きく下がることになり、組成的過冷却現象を引き起こす原因となる。組成的過冷却現象が起こると、シリコン単結晶の成長面において局所的にシリコンが樹状に凝固する現象（C e l l 成長と呼ばれる異常成長）が見られるようになり、こうした異常成長によってシリコン単結晶が容易に多結晶化し、多くの欠陥を内部に含むようになる。多くの欠陥を内部に含むシリコン単結晶は、半導体デバイスの材料としては使用することができない。

[0045] 近年、直径200mm以上のシリコン単結晶が生産されるようになったが、このようなシリコン単結晶は、従来生産されてきた直径150mm以下のシリコン単結晶に比べて熱容量が増加するので、単結晶の育成時における結晶軸方向の温度勾配が低下する。このため、特に多量のドーパントがシリコンの融液に含まれるような場合には、組成的過冷却現象を回避するためのマージンが狭くなり、組成的過冷却現象による異常成長が発生しやすくなる。したがって、後に説明するような低い抵抗率を示す直径200mm以上のシリコンインゴットは従来生産することができなかった。もっとも、直径150mm等、直径200mm未満のシリコンインゴットにおいて、このような低い抵抗率のものが生産されてきたことは事実である。しかし、これは、直径200mm未満のシリコンインゴットを生産する場合に、直径200mm以上のシリコンインゴットを生産する場合よりも温度勾配を大きく保つこと

が容易だったためである。この点、本発明のシリコンインゴットの生産方法によれば、直胴工程の開始時点及び直胴工程の後半期間において、熱遮蔽版 22 と融液 11 の表面との距離  $d$  をそれぞれ特定の範囲とすることにより、直径 200 mm 以上のシリコンインゴットの生産における結晶軸方向の温度勾配を高く維持している。したがって、本発明のシリコン単結晶の生産方法は、直径 200 mm、300 mm、450 mm といった直径 200 mm 以上のシリコンインゴットの生産に好ましく適用される。また、後に説明するような低い抵抗率を示す直径 200 mm 以上のシリコンインゴットは、本発明のシリコンインゴットの生産方法によって初めて得られるものである。

[0046] <シリコンインゴット>

次に、本発明のシリコンインゴットの一実施形態について説明する。本実施形態のシリコンインゴットは、上記シリコンインゴットの製造方法で作製されるものであり、次の条件 A～条件 C のいずれかを満たしている。そして、前記条件 A はドーパントが砒素で、シリコンインゴットのうち固化率が 5～15% である領域の抵抗率が  $1.6 \sim 2.0 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$  である。前記条件 B はドーパントがリンで、シリコンインゴットのうち固化率が 5～15% である領域の抵抗率が  $0.95 \sim 1.1 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$  である。前記条件 C はドーパントがリン及びゲルマニウムで、シリコンインゴットのうち固化率が 5～15% である領域の抵抗率が  $1.0 \sim 1.2 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$  である。以下、これらの技術内容について説明する。なお、固化率とは、坩堝 23 に投入した原料シリコンの全質量に対する、単結晶として引き上げた質量の割合を表す。例えば、固化率が 5% とは、原料として坩堝 23 に投入したシリコンの質量のうち、5% が既に単結晶として引き上げられたことを意味する。

[0047] 上記の通り、上記実施形態のシリコンインゴットの製造方法によれば、融液 11 にドーパントを多量に添加しても異常成長が抑制されるので、ドーパントの濃度を高く設定することができ、それにより低い抵抗率のシリコンインゴットを得ることができる。

[0048] 本実施形態のシリコンインゴットは、種結晶 13 の部分からやや径の細い

ネック部分 14 を経て、徐々に拡径する肩部分 15 と、一定の径を有する直胴部分 16 と、徐々に縮径するテール部分 17 とを有する。ネック部分 14 は、種結晶 13 が融液 11 に接触した際に種結晶 13 へ導入された転位を除去するために意図的に径を絞るネッキング加工が施されてもよいが、上記シリコンインゴットの製造方法によれば種結晶 13 が融液 11 に接触した際の転位の導入が抑制されるので、必ずしもネッキング加工が施される必要はない。

[0049] 本実施形態のシリコンインゴットにおいては、ドーパントが砒素の場合に固化率が 5 ～ 15 % である領域の抵抗率が 1.6 ～ 2.0 mΩ cm であり、ドーパントがリンの場合に固化率が 5 ～ 15 % である領域の抵抗率が 0.95 ～ 1.1 mΩ cm であり、ドーパントがリン及びゲルマニウムの場合に固化率が 5 ～ 15 % である領域の抵抗率が 1.0 ～ 1.2 mΩ cm である。これまで、低い抵抗率を示すシリコンウェーハが切望されていたにも拘わらず、固化率の小さい領域であるボディトップ部分 16 a 付近から、このように低い抵抗率を示すシリコンインゴットは存在しなかった。こうしたシリコンインゴットは、上記本発明のシリコンインゴットの製造方法によって初めてもたらされるものであり、シリコンインゴットの直胴部分 16 の全域に亘って低い抵抗率を有するシリコンウェーハを取得することができる。

[0050] また、本実施形態のシリコンインゴットは、次の下記条件 D ～ 条件 F のいずれかを満たすことが好ましい。前記条件 D は、ドーパントが砒素で、シリコンインゴットのうち固化率が 80 ～ 90 % である領域の抵抗率が 1.3 ～ 1.6 mΩ cm である。前記条件 E は、ドーパントがリンで、シリコンインゴットのうち固化率が 80 ～ 90 % である領域の抵抗率が 0.70 ～ 0.80 mΩ cm である。前記条件 F は、ドーパントがリン及びゲルマニウムで、シリコンインゴットのうち固化率が 80 ～ 90 % である領域の抵抗率が 0.70 ～ 0.90 mΩ cm である。

[0051] 上記シリコンインゴットの製造方法の一実施態様の説明で述べたように、単結晶 12 を引き上げるにつれて融液 11 中のドーパント濃度が高くなる偏

析現象が起こるので、シリコンインゴットのボディボトム側 16 b の抵抗率はボディトップ側 16 a よりも低くなる。このため、固化率の大きな領域であるボディボトム側 16 b 付近に、上記のような低い抵抗率を示すシリコンインゴットを取得することも可能である。例えばドーパントが砒素の場合、このようなシリコンインゴットのボディボトム部分付近から切り出されたシリコンウェーハは、抵抗率が  $1.6 \text{ m}\Omega \text{ cm}$  以下であり、これまでに無いような低い抵抗率を示す。

[0052] <シリコンウェーハ>

次に、本発明のシリコンインゴットの製造方法で製造されたシリコンインゴットから切り出されるシリコンウェーハについて説明する。本発明のシリコンインゴットの製造方法で製造されたシリコンインゴットをスライスし、シリコンウェーハとするシリコンウェーハの製造方法もまた、本発明の一つである。

[0053] 上述のように、本発明のシリコンインゴットの一実施形態は、ボディトップ部分 16 a 付近から低い抵抗率を示すので、ボディ（直胴）部分全域から低い抵抗率を示すシリコンウェーハを切り出すことができる。例えば、このような低い抵抗率を示すシリコンウェーハを使用した低耐圧パワー MOS FET などの電力用半導体デバイスは、 $O_n$  抵抗率を小さくでき、消費電力を小さくすることができるという特徴を有する。

[0054] 本発明のシリコンインゴットから切り出されたシリコンウェーハは、ドーパントを含むシリコンウェーハであり、例えば、前記ドーパントが砒素の場合には抵抗率が  $2.0 \text{ m}\Omega \text{ cm}$  以下、好ましくは  $1.6 \text{ m}\Omega \text{ cm}$  以下、前記ドーパントがリンの場合には抵抗率が  $1.1 \text{ m}\Omega \text{ cm}$  以下、好ましくは  $0.80 \text{ m}\Omega \text{ cm}$  以下、前記ドーパントがリン及びゲルマニウムの場合には抵抗率が  $1.2 \text{ m}\Omega \text{ cm}$  以下、好ましくは  $0.90 \text{ m}\Omega \text{ cm}$  以下となる。

[0055] 上述の通り、本発明のシリコンインゴットの一実施形態は、ボディトップ部分 16 a 付近での抵抗率を、ドーパントが砒素である場合には  $1.6 \sim 2.0 \text{ m}\Omega \text{ cm}$ 、ドーパントがリンである場合には  $0.95 \sim 1.1 \text{ m}\Omega \text{ cm}$

、ドーパントがリン及びゲルマニウムである場合には $1.0 \sim 1.2 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ とすることができ、ボディボトム部分16b付近での抵抗率を、ドーパントが砒素である場合には $1.3 \sim 1.6 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 、ドーパントがリンである場合には $0.70 \sim 0.80 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 、ドーパントがリン及びゲルマニウムである場合には $0.70 \sim 0.90 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ とすることができる。そこで、そのようなシリコンインゴットからシリコンウェーハを切り出せば、上記のような低い抵抗率を示すシリコンウェーハを得ることができる。このように低い抵抗率を示すシリコンウェーハはこれまで知られていない。そして、これらのシリコンウェーハを使用することにより、例えば、低耐圧パワーMOSFETなどの電力用デバイスを、より一層 $O_n$ 抵抗率を小さくでき、消費電力を小さくすることができる。

[0056] <エピタキシャルウェーハ>

次に、上記シリコンウェーハの表面にエピタキシャル層を形成して製造されるエピタキシャルウェーハについて説明する。上記本発明のシリコンウェーハの製造方法で製造されたシリコンウェーハの表面に、エピタキシャル層を形成してエピタキシャルウェーハとするエピタキシャルウェーハの製造方法もまた、本発明の一つである。

[0057] 低耐圧パワーMOSFETは、上記のようなエピタキシャルウェーハに作製され、エピタキシャル層にソース及びゲート電極が、シリコンウェーハ基板（以下、基板としてのシリコンウェーハを「シリコンウェーハ基板」ともいう。）にドレイン電極が、それぞれ形成される。このため、デバイスの $O_n$ 抵抗であるソースドレイン間の抵抗は、チャンネル抵抗、エピタキシャル層の抵抗及びシリコンウェーハ基板の抵抗の総和になる。

[0058] ここで、低耐圧パワーMOSFETは、定格電圧が低くなるほど、上記ソースドレイン間の抵抗のうちシリコンウェーハ基板の抵抗成分の比率が大きくなるという特徴を有する。したがって、低耐圧パワーMOSFETを含むデバイスの $O_n$ 抵抗を小さくして消費電力を小さくするためには、低耐圧パワーMOSFETを含むデバイスの作製に使用されるシリコンウェーハ基

板自体の抵抗率を小さくすることが重要となる。

[0059] この点、本発明のシリコンインゴットの製造方法で製造されたシリコンインゴットから切り出されたシリコンウェーハは、上記の通り、抵抗率が小さいという特徴を有する。したがって、このシリコンウェーハの表面にエピタキシャル層を成長させることにより作製されたエピタキシャルウェーハは、低耐圧パワーMOSFET等といった定格電圧の低い半導体デバイスの作製用として特に優れるということができる。

[0060] 以上、本発明のシリコンインゴットの製造方法の実施態様、本発明のシリコンインゴットの実施形態、本発明のシリコンウェーハの製造方法の実施態様、及び本発明のエピタキシャルウェーハの製造方法の実施態様について説明したが、本発明はこれらの実施形態及び実施態様に何ら限定されるものではなく、本発明の目的の範囲内において、適宜変更を加えて実施することができる。

## 実施例

[0061] 以下、実施例をもって本発明をさらに具体的に説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

[0062] [シリコンインゴットの作製]

砒素（As）、リン（P）、又はリン及びゲルマニウム（P+Ge）をドーパントとして使用して、チョクラルスキー法により表1の条件で実施例1～15及び比較例1～6のシリコンインゴット（直径200mm）を作製した。いずれのシリコンインゴットも、チャンバ内の圧力を60～42.7kPa（450～320Torr）とし、雰囲気ガスとしてアルゴンガスを流量200～100SL/minにて流通させる条件で作製した。なお、SLというのは、293K（20℃）におけるリットルという意味である。また、熱遮蔽板と融液表面との距離において「9.5→13」等と記載しているのは、直胴工程の後半期間の初期では熱遮蔽板と融液表面との距離を9.5mmに設定し、その後の期間では熱遮蔽板と融液表面との距離を13mmに設定した、という意味である。

上記のようにシリコンインゴットを作製した結果、本発明における所定の条件のもとで作製された実施例 1 ～ 15 のシリコンインゴットは、無転位のものであることが確認された。しかし、本発明における所定の条件のもとで作製されなかった比較例 1 ～ 6 のシリコンインゴットは、有転位化することが確認された。

[0063] [表1]

|        | ドーパント  | 種結晶中の<br>ドーパント濃度<br>(atoms/cm <sup>3</sup> )        | 着液時の種<br>結晶と融液と<br>の温度差(K) | 融液中の<br>ドーパント濃度<br>(atoms/cm <sup>3</sup> )           | 熱遮蔽板と融液表面<br>との距離d(mm) |               |
|--------|--------|-----------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------|---------------|
|        |        |                                                     |                            |                                                       | 直胴工程の<br>開始時点          | 直胴工程の<br>後半期間 |
| 実施例 1  | As     | $3.0 \times 10^{19}$                                | < 92                       | $1.43 \times 10^{20}$                                 | 27                     | 6             |
| 実施例 2  | As     | $3.0 \times 10^{19}$                                | < 92                       | $1.59 \times 10^{20}$                                 | 27                     | 6             |
| 実施例 3  | As     | $4.0 \times 10^{19}$                                | < 92                       | $1.57 \times 10^{20}$                                 | 27                     | 9.5 → 13      |
| 実施例 4  | As     | $2.0 \times 10^{19}$                                | < 92                       | $2.31 \times 10^{20}$                                 | 27                     | 9.5 → 13      |
| 実施例 5  | As     | $3.0 \times 10^{19}$                                | < 92                       | $1.26 \times 10^{20}$                                 | 27                     | 9.5 → 13      |
| 実施例 6  | P      | $6.0 \times 10^{19}$                                | < 92                       | $2.09 \times 10^{20}$                                 | 27                     | 10.5 → 15     |
| 実施例 7  | P + Ge | P: $6.0 \times 10^{19}$<br>Ge: $5.5 \times 10^{19}$ | < 92                       | P: $1.90 \times 10^{20}$<br>Ge: $1.61 \times 10^{20}$ | 27                     | 10.5 → 15     |
| 実施例 8  | As     | $3.0 \times 10^{19}$                                | 97                         | $1.60 \times 10^{20}$                                 | 27                     | 9.5 → 13      |
| 実施例 9  | P      | $6.0 \times 10^{19}$                                | 97                         | $2.00 \times 10^{20}$                                 | 27                     | 10.5 → 15     |
| 実施例 10 | P + Ge | P: $6.0 \times 10^{19}$<br>Ge: $5.5 \times 10^{19}$ | 97                         | P: $1.90 \times 10^{20}$<br>Ge: $1.60 \times 10^{20}$ | 27                     | 10.5 → 15     |
| 実施例 11 | As     | $3.0 \times 10^{19}$                                | 97                         | $1.30 \times 10^{20}$                                 | 27                     | 8 → 10        |
| 実施例 12 | P      | $6.0 \times 10^{19}$                                | 97                         | $2.15 \times 10^{20}$                                 | 27                     | 8 → 10        |
| 実施例 13 | P      | $6.0 \times 10^{19}$                                | 97                         | $2.20 \times 10^{20}$                                 | 27                     | 8 → 10        |
| 実施例 14 | P + Ge | P: $6.0 \times 10^{19}$<br>Ge: $5.5 \times 10^{19}$ | 97                         | P: $1.70 \times 10^{20}$<br>Ge: $1.60 \times 10^{20}$ | 27                     | 8 → 10        |
| 実施例 15 | P + Ge | P: $6.0 \times 10^{19}$<br>Ge: $5.5 \times 10^{19}$ | 97                         | P: $2.10 \times 10^{20}$<br>Ge: $1.60 \times 10^{20}$ | 27                     | 8 → 10        |
| 比較例 1  | As     | 0                                                   | 130                        | $1.07 \times 10^{20}$                                 | 35                     | 31            |
| 比較例 2  | P      | 0                                                   | < 92                       | $1.58 \times 10^{20}$                                 | 35                     | 31            |
| 比較例 3  | P + Ge | 0                                                   | 130                        | P: $1.52 \times 10^{20}$<br>Ge: $1.61 \times 10^{20}$ | 35                     | 31            |
| 比較例 4  | As     | $3.0 \times 10^{19}$                                | 130                        | $1.60 \times 10^{20}$                                 | 27                     | 9.5 → 13      |
| 比較例 5  | P      | $6.0 \times 10^{19}$                                | 130                        | $2.00 \times 10^{20}$                                 | 27                     | 10.5 → 15     |
| 比較例 6  | P + Ge | P: $6.0 \times 10^{19}$<br>Ge: $5.5 \times 10^{19}$ | 130                        | P: $1.90 \times 10^{20}$<br>Ge: $1.60 \times 10^{20}$ | 27                     | 10.5 → 15     |

[0064] [シリコンインゴットの抵抗率の測定]

実施例 1 ～ 10 及び比較例 1 ～ 3 のシリコンインゴットについて、固化率 (%) に対する抵抗率 (mΩ cm) を測定した。抵抗率の測定は R G - 15 D 型抵抗率測定器 (ナプソン株式会社製) を使用した。結果を図 4 ～ 図 6 に

示す。

[0065] 図4は、ドーパントとして砒素を使用した場合の固化率に対する抵抗率のグラフである。実施例1～5及び8はいずれも、従来の製法による比較例1よりも低い抵抗率を示し、本発明の効果が確認された。特に、熱遮蔽板22と融液11の表面との距離を本発明で規定する範囲にした実施例1～5及び8では抵抗率低下の効果が大きいことがわかる。中でも、融液11中のドーパント濃度を $1.50 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 以上とした実施例2～実施例4では、シリコンインゴットのボディトップ部分から $2.0 \text{ m}\Omega\text{cm}$ 以下の抵抗率を示しているほか、実施例3や実施例4ではボディボトム部分の抵抗率が $1.6 \text{ m}\Omega\text{cm}$ 以下となっており、極めて有用である。実施例4では、シリコンインゴットのほぼ全域で $1.6 \text{ m}\Omega\text{cm}$ 以下の抵抗率を示すが、これは単結晶12の成長中における異常成長を抑制する本発明のシリコンインゴットの製造方法を採用することにより、融液11中のドーパントの濃度を $2.30 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 以上という極めて高濃度下でも単結晶化できた結果であり、本発明の有用性が示された。

[0066] 図5はドーパントとしてリンを使用した場合の固化率に対する抵抗率のグラフであり、図6はドーパントとしてリン及びゲルマニウムを使用した場合の固化率に対する抵抗率のグラフである。これらも上記砒素をドーパントとした場合と同様に、本発明の製造方法を採用した実施例6や実施例7はそれぞれ、本発明の製造方法を採用していない比較例2や比較例3よりも低い抵抗率を示しており、リンやリン及びゲルマニウムをドーパントとして使用した場合でも本発明は有効であることが確認された。

[0067] 図7～9は、上記実施例の一部について、縦軸である抵抗率の範囲を変更してプロットした固化率(%)に対する抵抗率( $\text{m}\Omega\text{cm}$ )のグラフである。図7に示すように、ドーパントが砒素の場合、固化率が5～15%である領域(斜線部)においてシリコンインゴットの抵抗率がおよそ $1.6 \sim 2.0 \text{ m}\Omega\text{cm}$ の範囲となることがわかる。このため、本発明のシリコンインゴットの製造方法で得られたシリコンインゴットは、ボディトップ部付近から

低い抵抗率のシリコンウェーハを切り出すことが可能であると理解される。また、同じく図7に示すように、ドーパントが砒素の場合、固化率が80～90%である領域（斜線部）においてシリコンインゴットの抵抗率がおおよそ1.3～1.6 mΩ cmの範囲となることがわかる。このため、本発明のシリコンインゴットの製造方法で得られたシリコンインゴットは、1.6 mΩ cm以下という極めて低い抵抗率のシリコンウェーハをボディボトム部付近から切り出すことが可能であると理解される。

[0068] また、図8に示すように、ドーパントがリンの場合、固化率が5～15%である領域（斜線部）においてシリコンインゴットの抵抗率がおおよそ0.95～1.1 mΩ cmの範囲となり、固化率が80～90%である領域（斜線部）においてシリコンインゴットの抵抗率が0.70～0.80 mΩ cmの範囲となることがわかる。さらに、図9に示すように、ドーパントがリン及びゲルマニウムの場合、固化率が5～15%である領域（斜線部）においてシリコンインゴットの抵抗率がおおよそ1.0～1.2 mΩ cmの範囲となり、固化率が80～90%である領域（斜線部）において0.70～0.90 mΩ cmの範囲となることがわかる。以上のことから、本発明のシリコンインゴットの製造方法によれば、ドーパントの種類によらず、低い抵抗率のシリコンインゴットを作製することが可能であることが理解される。

[0069] 次に、実施例1～5及び比較例1のシリコンインゴット（ドーパント：砒素）について、1.6 mΩ cm以下という極めて低い抵抗率の領域がどれほどの長さに亘って存在するかを調査した。その結果を表2に示す。同様に、実施例6、12及び13並びに比較例2のシリコンインゴット（ドーパント：リン）について、0.8 mΩ cm以下である抵抗率の領域の長さを表3に、実施例7、14及び15並びに比較例3（ドーパント：リン+ゲルマニウム）について、0.8 mΩ cm以下の領域の長さを表4にそれぞれ示す。なお、抵抗率の測定はRG-15D型抵抗率測定器（ナプソン株式会社製）を使用した。

[0070]

[表2]

ドーパント：砒素

|      | 1. 6mΩ cm以下である領域の長さ(mm) |
|------|-------------------------|
| 実施例1 | 0                       |
| 実施例2 | 0                       |
| 実施例3 | 450                     |
| 実施例4 | 800                     |
| 実施例5 | 200                     |
| 比較例1 | 0                       |

[0071] [表3]

ドーパント：リン

|       | 0. 8mΩ cm以下である領域の長さ(mm) |
|-------|-------------------------|
| 実施例6  | 200                     |
| 実施例12 | 100                     |
| 実施例13 | 400                     |
| 比較例2  | 0                       |

[0072] [表4]

ドーパント：リン+ゲルマニウム

|       | 0. 8mΩ cm以下である領域の長さ(mm) |
|-------|-------------------------|
| 実施例7  | 0                       |
| 実施例14 | 50                      |
| 実施例15 | 300                     |
| 比較例3  | 0                       |

- [0073] 表2に示すように、例えば、実施例5（ドーパント：砒素）は、抵抗率が1. 6mΩ cm以下となる領域が200mm存在することがわかった。直径200mmのシリコンインゴットにおいて、砒素をドーパントとし、抵抗率1. 6mΩ cm以下の領域が200mm以上存在するものはこれまで存在しない。同様に、実施例3及び4（ドーパント：砒素）のシリコンインゴットについても、抵抗率1. 6mΩ cm以下の領域が、それぞれ450mm及び800mm存在する。これらのことから、本発明の製造方法によれば、ドーパントが砒素の場合に、抵抗率1. 6mΩ cm以下の領域が200～800mm存在するシリコンインゴットを作製できることが理解される。抵抗率1. 6mΩ cm以下の領域が200mm以上存在するこれらのシリコンインゴットによれば、低い抵抗率のシリコンウェーハを効率良く生産することが可能となる。

[0074] 同様に、表 3 によれば、実施例 12（ドーパント：リン）は、抵抗率が  $0.8 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$  以下となる領域が  $100 \text{ mm}$  存在することが理解され、実施例 6 及び 13 の結果も考慮すれば、ドーパントがリンの場合に、抵抗率  $0.8 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$  以下の領域が  $100 \sim 400 \text{ mm}$  存在するシリコンインゴットを作製できることが理解される。さらに、表 4 によれば、実施例 14（ドーパント：リン+ゲルマニウム）は、抵抗率が  $0.8 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$  以下となる領域が  $50 \text{ mm}$  存在することが理解され、実施例 15 の結果も考慮すれば、ドーパントがリン及びゲルマニウムの場合に、抵抗率が  $0.8 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$  以下の領域が  $50 \sim 300 \text{ mm}$  存在するシリコンインゴットを作製できることが理解される。これらのシリコンインゴットによれば、低い抵抗率のシリコンウェーハを効率良く生産することが可能となる。

#### 符号の説明

- [0075]
- 1      チャンバ
  - 2      シードホルダ
  - 3      単結晶引き上げ装置
  - 4      ホットゾーン
  - 11    シリコン融液
  - 12    シリコン単結晶
  - 13    シリコン種結晶
  - 14    ネック部分
  - 15    肩部分
  - 16    直胴部分
  - 17    テール部分
  - 21    ヒータ
  - 22    熱遮蔽板
  - 23    るつぼ
  - d     熱遮蔽板 22 とシリコン融液 11 の表面との距離

## 請求の範囲

### [請求項1]

種結晶を融液に着液させ、前記種結晶を引き上げてシリコン単結晶を成長させることによりシリコンインゴットを製造するシリコンインゴットの製造方法であって、

前記種結晶及び前記融液は同じ種類のドーパントを含有しており、  
前記融液に前記種結晶を着液させる着液工程と、

前記着液工程を経て引き上げられたシリコン単結晶を成長させてシリコンインゴットを得る成長工程と、を備え、

前記種結晶に含有されるドーパントの濃度は、ドーパントが砒素の場合には  $2.0 \times 10^{19} \sim 4.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 、ドーパントがリンの場合には  $5.0 \times 10^{19} \sim 7.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 、ドーパントがリン及びゲルマニウムの場合にはリン  $5.0 \times 10^{19} \sim 7.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$  かつゲルマニウム  $4.0 \times 10^{19} \sim 8.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$  であり、

前記着液工程において、前記種結晶を前記融液に着液させる際の前記種結晶と前記融液の温度差が  $50 \sim 97 \text{ K}$  であり、

さらに、前記成長工程において、前記融液からの輻射熱を遮蔽する熱遮蔽板と前記融液を収容する坩堝とをホットゾーンに備える単結晶引き上げ装置を用い、

前記成長工程のうちシリコンインゴットの直胴部分を成長させる期間の開始時点において、前記熱遮蔽板と前記融液の表面との距離が  $20 \sim 30 \text{ mm}$  であり、

前記成長工程のうちシリコンインゴットの肩部分と直胴部分との境界部分からシリコンインゴットの引き上げ方向と反対方向に  $200 \text{ mm}$  離れた位置以降の直胴部分を成長させる期間において、前記熱遮蔽板と前記融液の表面との距離が  $6 \sim 15 \text{ mm}$  であるシリコンインゴットの製造方法。

### [請求項2]

直径  $200 \text{ mm}$  以上のシリコンインゴットの製造方法である請求項

1 記載のシリコンインゴットの製造方法。

[請求項3]

請求項2 記載のシリコンインゴットの製造方法によって製造され、下記条件A～条件Cのいずれかを満たす直径200mm以上のシリコンインゴット。

条件A：前記ドーパントが砒素であり、前記シリコンインゴットのうち固化率が5～15%である領域の抵抗率が1.6～2.0mΩcmである。

条件B：前記ドーパントがリンであり、前記シリコンインゴットのうち固化率が5～15%である領域の抵抗率が0.95～1.1mΩcmである。

条件C：前記ドーパントがリン及びゲルマニウムであり、前記シリコンインゴットのうち固化率が5～15%である領域の抵抗率が1.0～1.2mΩcmである。

[請求項4]

さらに下記条件D～条件Fのいずれかを満たす請求項3 記載のシリコンインゴット。

条件D：前記ドーパントが砒素であり、前記シリコンインゴットのうち、固化率が80～90%である領域の抵抗率が1.3～1.6mΩcmである。

条件E：前記ドーパントがリンであり、前記シリコンインゴットのうち、固化率が80～90%である領域の抵抗率が0.70～0.80mΩcmである。

条件F：前記ドーパントがリン及びゲルマニウムであり、前記シリコンインゴットのうち、固化率が80～90%である領域の抵抗率が0.70～0.90mΩcmである。

[請求項5]

直径が200mmで、ドーパントが砒素であり、抵抗率が1.6mΩcm以下となる領域の長さが長手方向に200mm以上であるシリコンインゴット。

[請求項6]

直径が200mmで、ドーパントがリンであり、抵抗率が0.8m

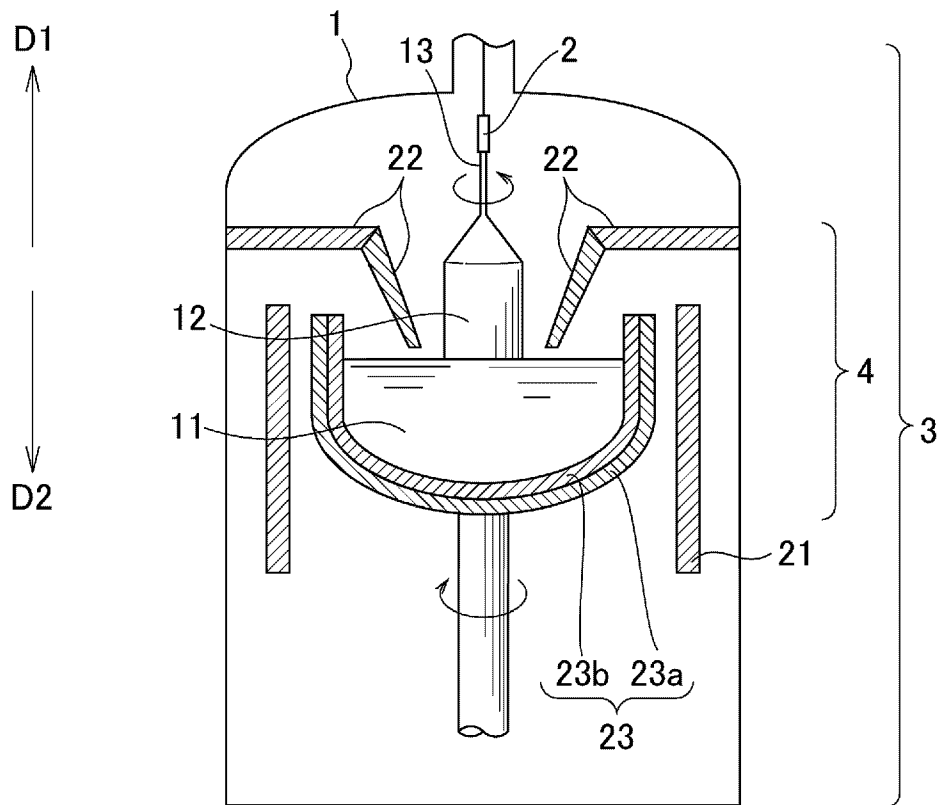
$\Omega \cdot \text{cm}$ 以下となる領域の長さが長手方向に100mm以上であるシリコンインゴット。

[請求項7] 直径が200mmで、ドーパントがリン及びゲルマニウムであり、抵抗率が $0.8 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 以下となる領域の長さが長手方向に50mm以上であるシリコンインゴット。

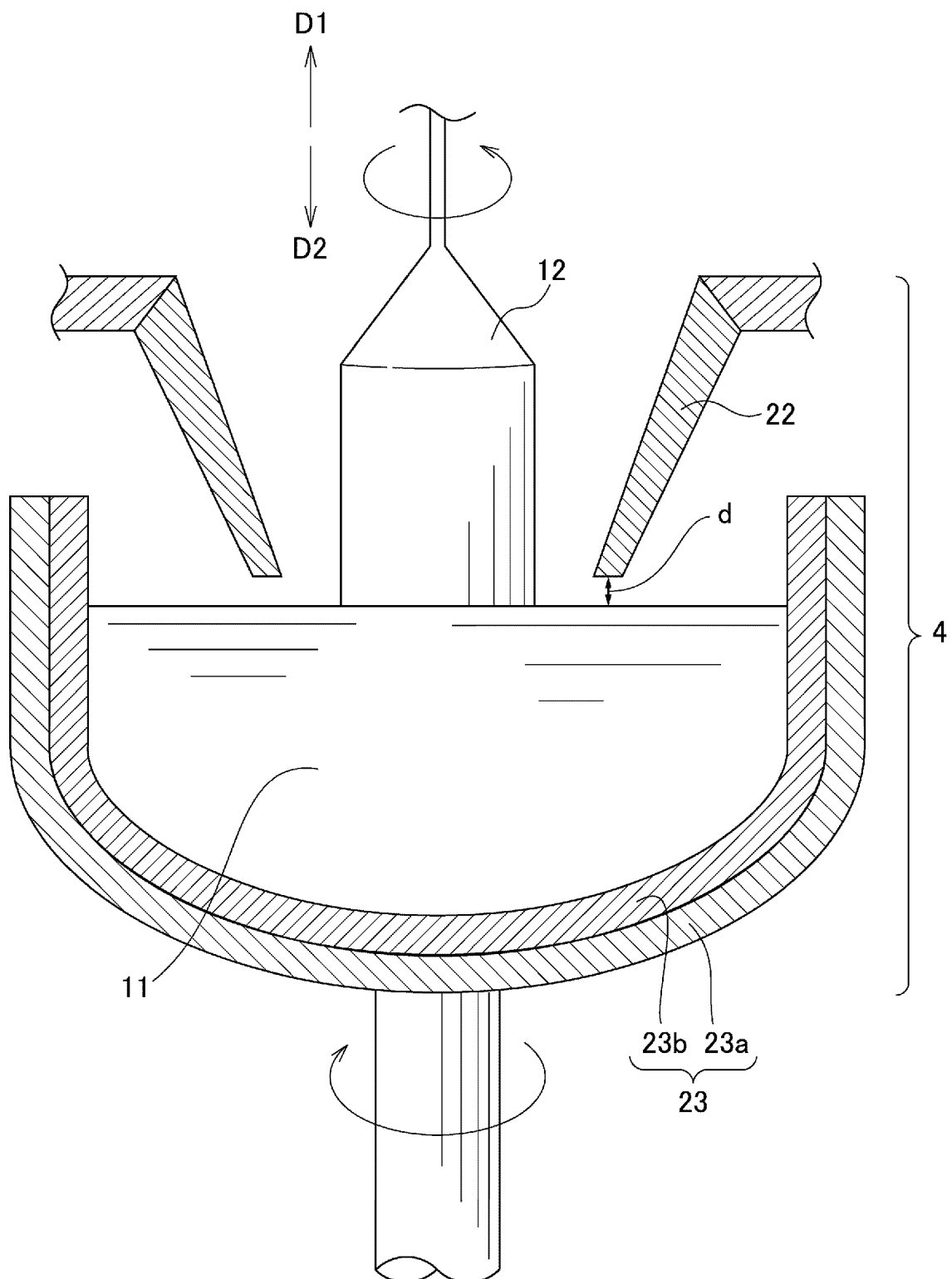
[請求項8] 請求項1又は2記載のシリコンインゴットの製造方法で製造されたシリコンインゴットをスライスしてシリコンウェーハとするシリコンウェーハの製造方法。

[請求項9] 請求項8記載のシリコンウェーハの製造方法で製造されたシリコンウェーハの表面にエピタキシャル層を形成してエピタキシャルウェーハとするエピタキシャルウェーハの製造方法。

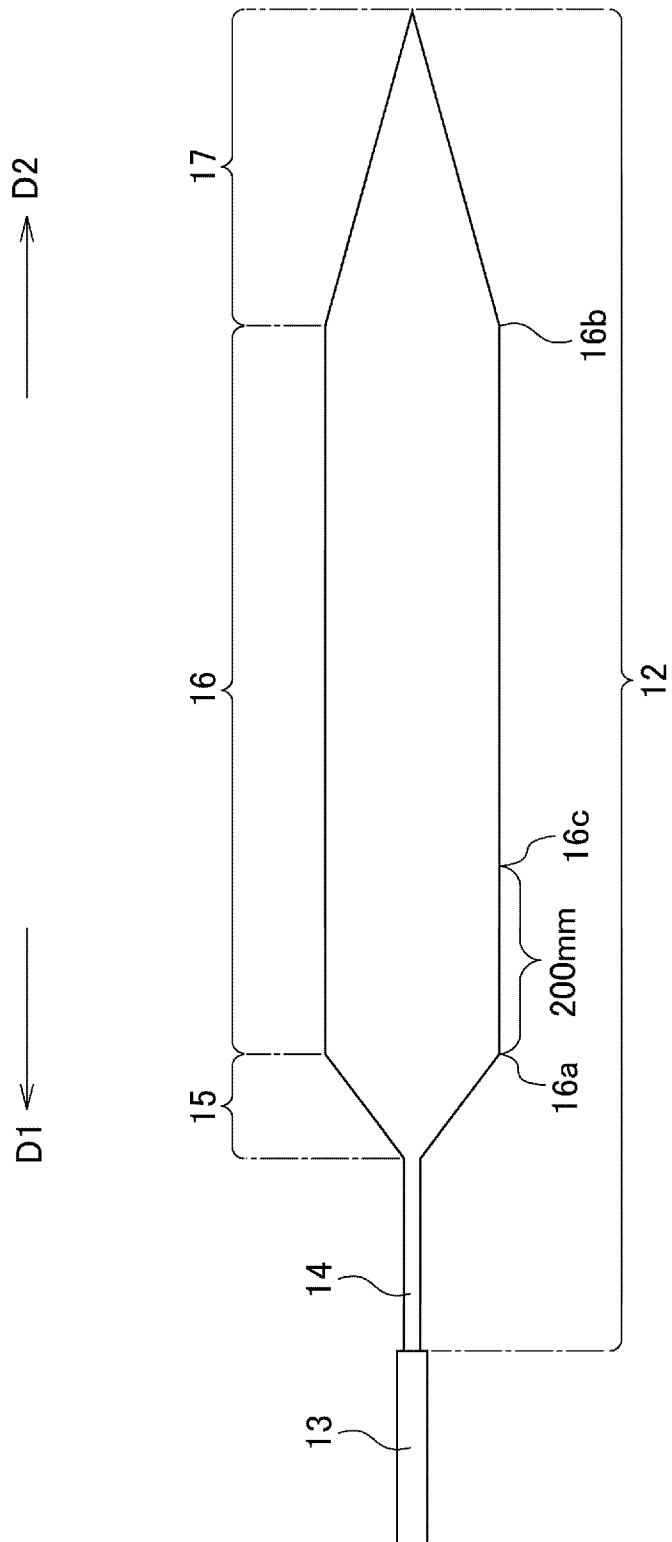
[図1]

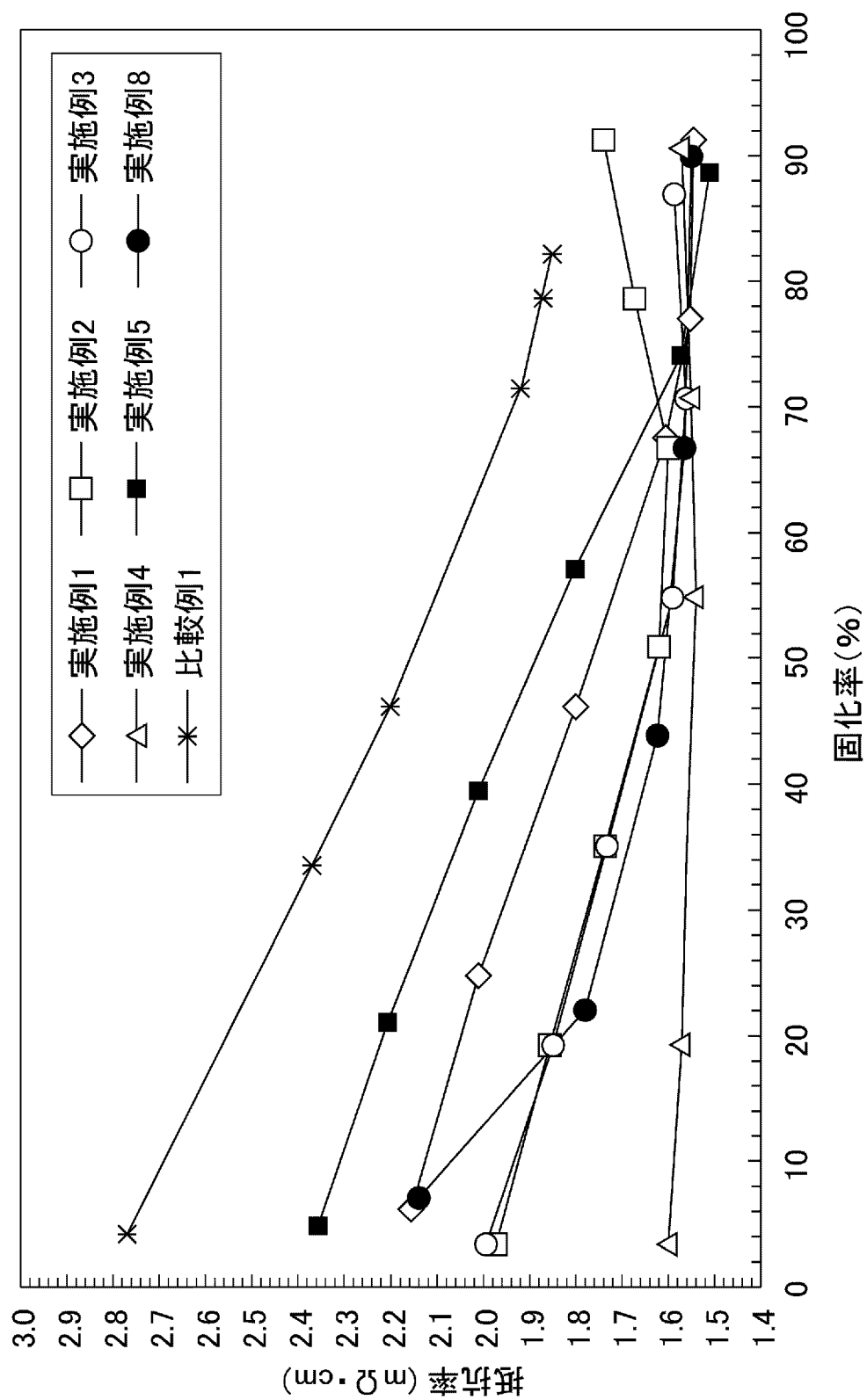


[図2]

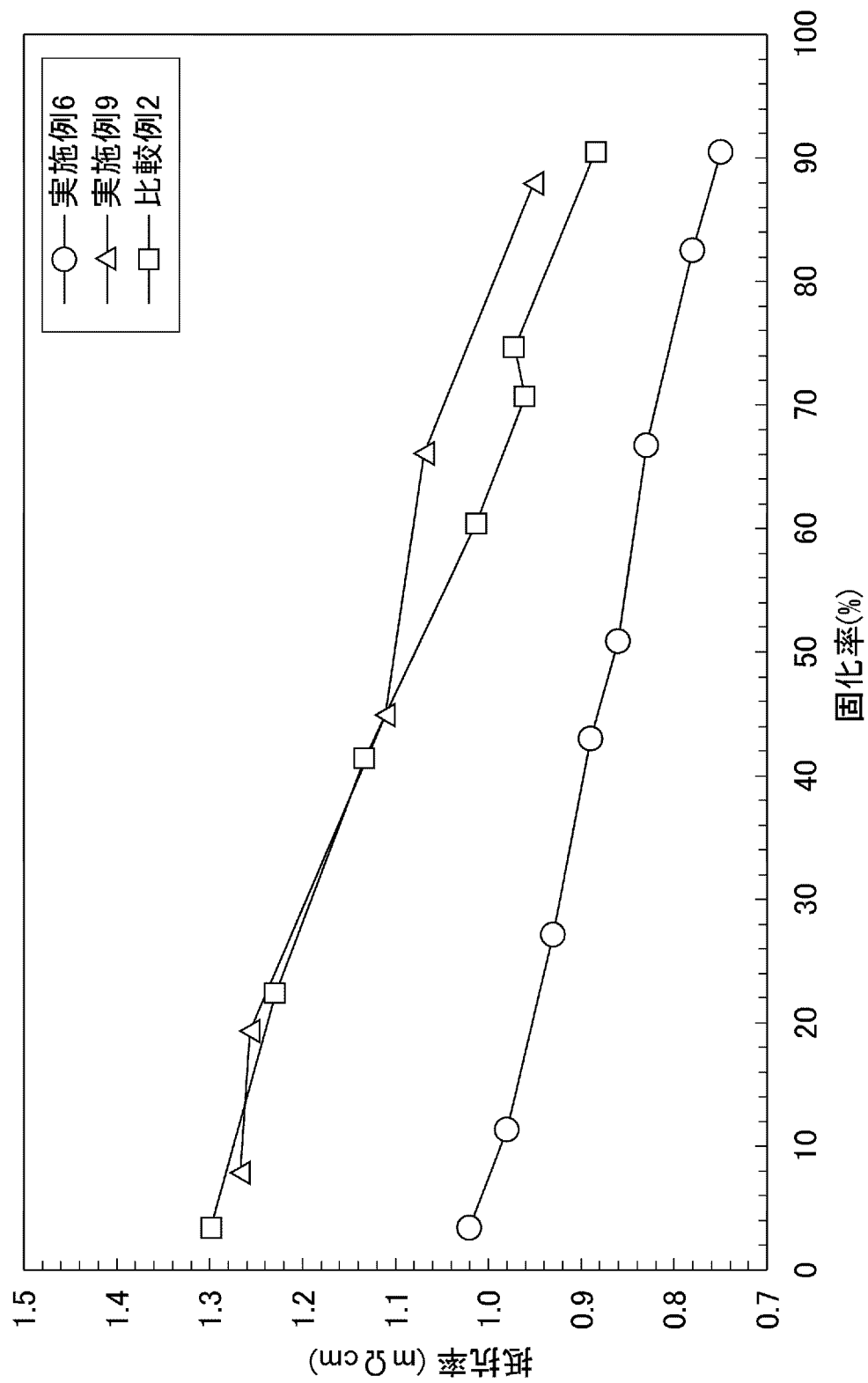


[図3]

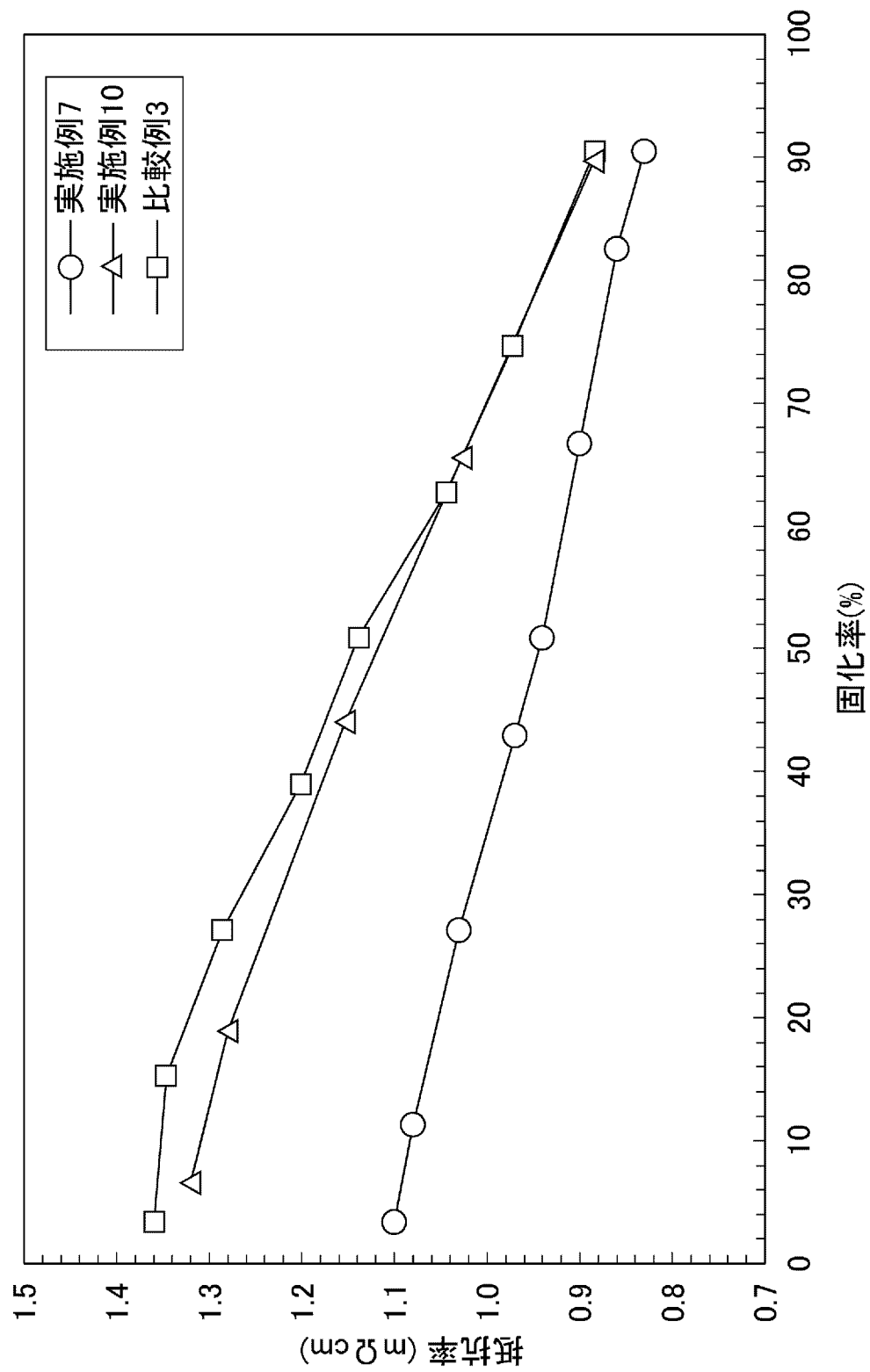




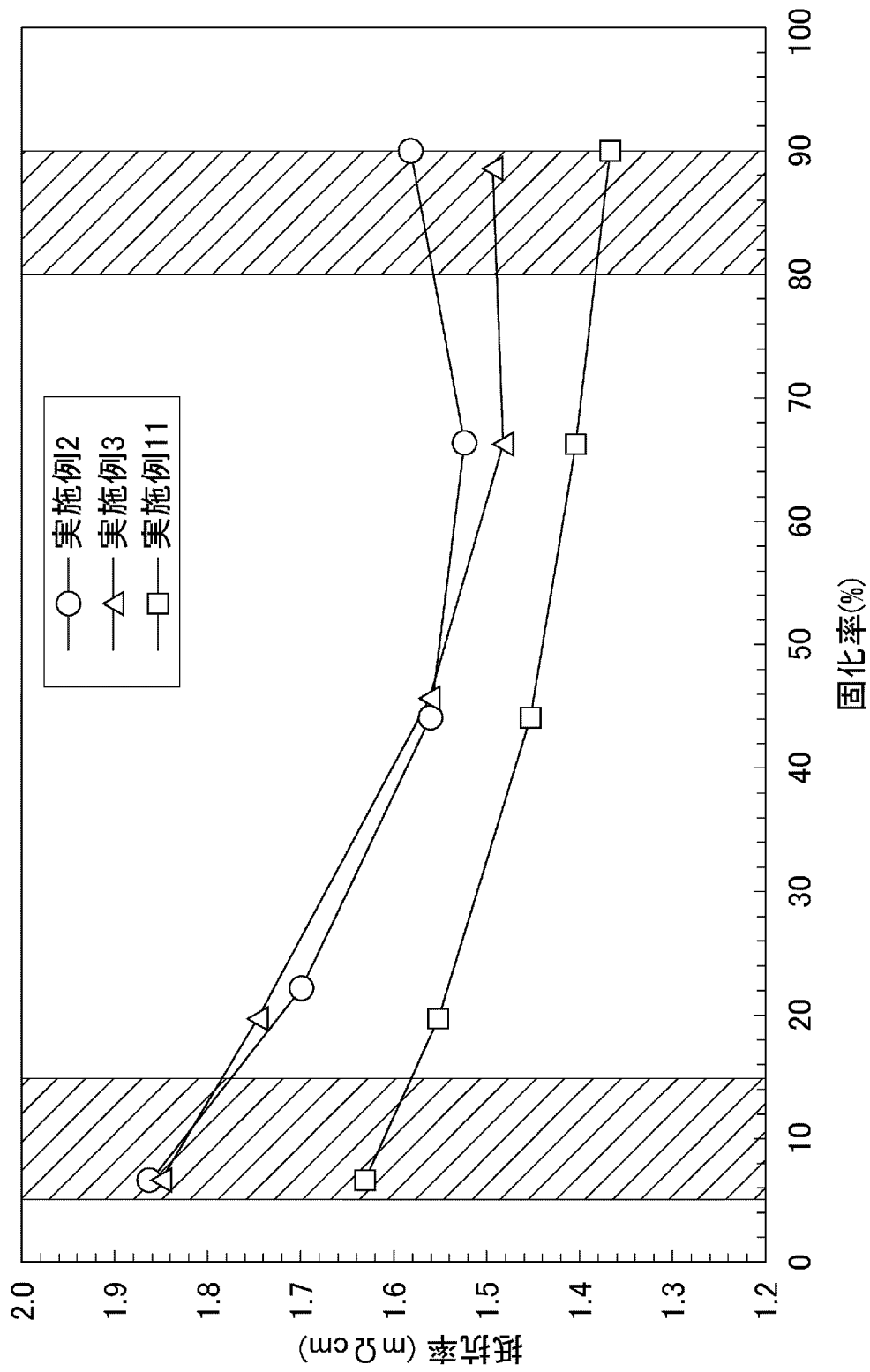
[図5]



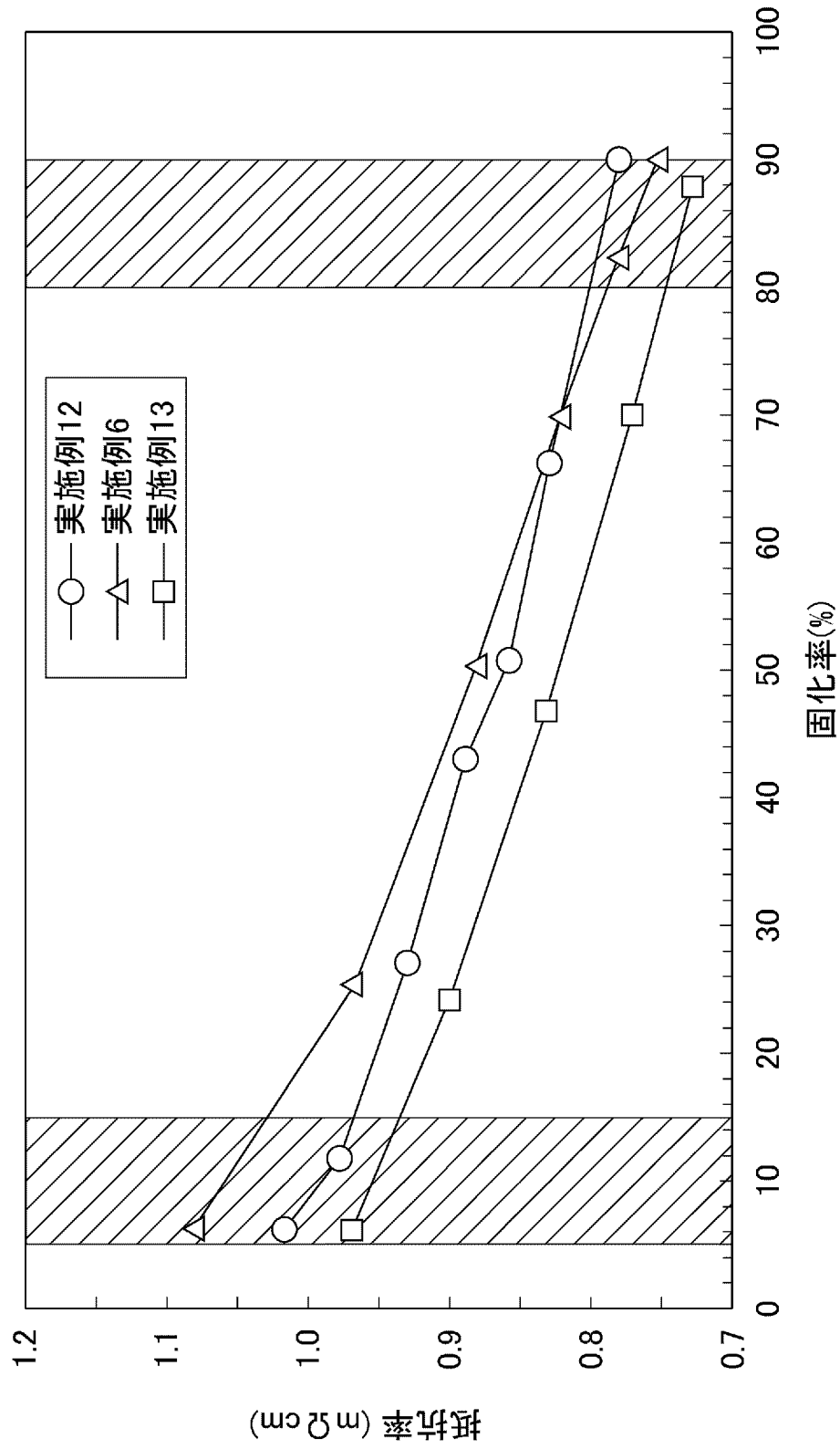
[図6]



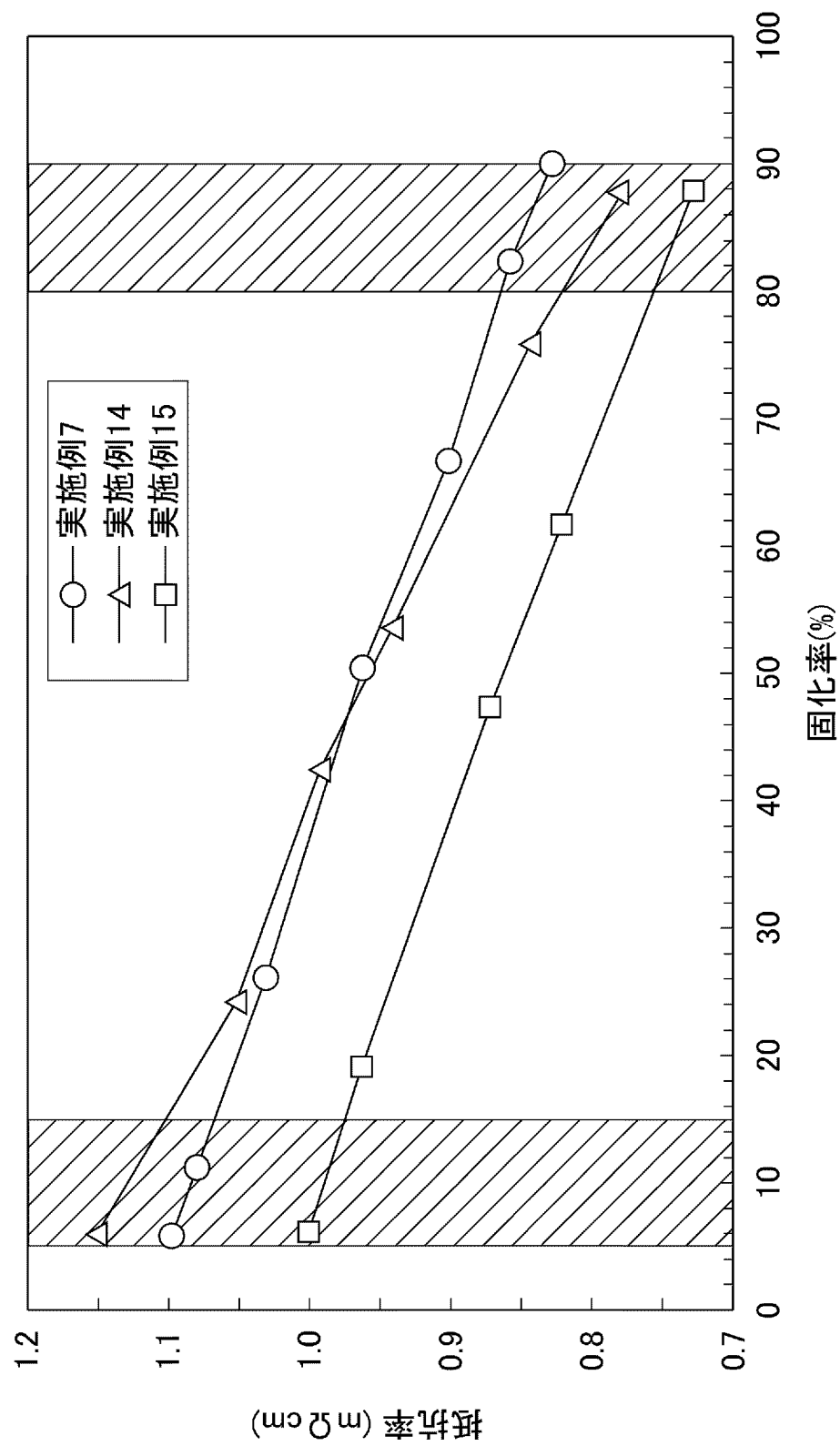
[図7]



[図8]



[図9]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/064172

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C30B29/06(2006.01) i, C30B15/04(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C30B29/06, C30B15/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2009

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2009 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2009

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                             | Relevant to claim No. |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | JP 09-315882 A (Komatsu Electronic Metals Co., Ltd.),<br>09 December 1997 (09.12.1997),<br>claim 1<br>& US 5900059 A           | 1-4, 8, 9             |
| Y<br>X    | JP 2001-342094 A (Komatsu Electronic Metals Co., Ltd.),<br>11 December 2001 (11.12.2001),<br>claim 1; fig. 6<br>(Family: none) | 1-4, 8, 9<br>5        |
| Y         | JP 2006-052133 A (Siltronic AG.),<br>23 February 2006 (23.02.2006),<br>claims 8, 15<br>& US 2006/0035448 A1                    | 1-4, 8, 9             |



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
19 October, 2009 (19.10.09)Date of mailing of the international search report  
10 November, 2009 (10.11.09)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2009/064172

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                 | Relevant to claim No. |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | JP 07-206583 A (Komatsu Electronic Metals Co., Ltd.),<br>08 August 1995 (08.08.1995),<br>claim 1<br>(Family: none) | 1-4, 8, 9             |

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/064172

## Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

## Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The special technical features of claims 1-4, 8, 9 (hereinafter referred to as "Main invention") are use of a seed crystal containing arsenic in a concentration of  $2.0 \times 10^{19}$  to  $4.0 \times 10^{19}$  atoms/cm<sup>3</sup> and control of the temperature difference between the seed crystal and the melt and the distance between the thermal shield plate and the surface of the melt, while the special technical feature of claim 5 (hereinafter referred to as "Second invention") is a 200-mm-diameter arsenic-doped silicon ingot wherein the zone exhibiting resistivity of 1.6Ωm or below has a length of 200mm or above. In view of the fact that the resistivity of a silicon ingot depends also on the dopant concentration of a melt, (continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☒ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:  
  
1-5, 8, 9
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

### Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2009/064172

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet (2)

the process of Main invention, which is specified only in the dopant concentration of a seed crystal, is not one process particularly suitable for the production of the silicon ingot of Second invention.

It is therefore not considered that there is a technical relationship between Main invention and Second invention involving one or more of the same or corresponding special technical features. The same applies to claims 6,7.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. C30B29/06 (2006.01)i, C30B15/04 (2006.01)i

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. C30B29/06, C30B15/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

|             |                     |
|-------------|---------------------|
| 日本国実用新案公報   | 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1 9 7 1 - 2 0 0 9 年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1 9 9 6 - 2 0 0 9 年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1 9 9 4 - 2 0 0 9 年 |

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                    | 関連する<br>請求項の番号 |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Y               | JP 09-315882 A (コマツ電子金属株式会社) 1997. 12. 09, 請求項 1 & US 5900059 A                      | 1-4, 8, 9      |
| Y<br>X          | JP 2001-342094 A (コマツ電子金属株式会社) 2001. 12. 11, 請求項 1、図 6 (ファミリーなし)                     | 1-4, 8, 9<br>5 |
| Y               | JP 2006-052133 A (ジルトロニック アクチエンゲゼルシャフト) 2006. 02. 23, 請求項 8, 15 & US 2006/0035448 A1 | 1-4, 8, 9      |

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 9 . 1 0 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

1 0 . 1 1 . 2 0 0 9

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

中村 善子

4 G

4 1 4 1

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 1 6

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                             |                |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------|----------------|
| 引用文献の<br>カテゴリー*       | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                           | 関連する<br>請求項の番号 |
| Y                     | JP 07-206583 A (コマツ電子金属株式会社) 1995.08.08, 請求項 1<br>(ファミリーなし) | 1-4, 8, 9      |

## 第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。  
つまり、
2. ☐ 請求項 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

請求項1-4, 8, 9（以下、「主発明」）の特別な技術的特徴は、砒素を $2.0 \times 10^{19} \sim 4.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$  含む種結晶を用いて、種結晶と融液の温度差、熱遮蔽板と融液の表面との距離を調整することである。

一方、請求項5（以下、「第2発明」）の特別な技術的特徴は、砒素がドーピングされ、抵抗率が $1.6 \Omega \text{ m}$  以下となる領域の長さが200mm 以上である、直径200mm のシリコンインゴットである。シリコンインゴットの抵抗率は、融液中のドーパント濃度等にも依存することを考慮すると、種結晶のドーパント濃度のみを特定した主発明のシリコンインゴットを製造する方法は、第2発明のシリコンインゴットの製造のために特に適した一の方法ではない。

したがって、主発明と第2発明との間に一又は二以上の同一又は対応する特別な技術的特徴を含む技術的な関係が存在するとは認められない。請求項6, 7 についても同様である。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。  
  
請求項 1-5, 8, 9
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

## 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。