

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7200921号

(P7200921)

(45)発行日 令和5年1月10日(2023.1.10)

(24)登録日 令和4年12月26日(2022.12.26)

(51)国際特許分類

F I

C 3 0 B 29/06 (2006.01)

C 3 0 B

29/06

B

C 3 0 B 33/04 (2006.01)

C 3 0 B

33/04

請求項の数 5 (全11頁)

(21)出願番号 特願2019-230388(P2019-230388)
(22)出願日 令和1年12月20日(2019.12.20)
(65)公開番号 特開2021-98621(P2021-98621A)
(43)公開日 令和3年7月1日(2021.7.1)
審査請求日 令和3年12月20日(2021.12.20)

(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
(74)代理人 100147485
弁理士 杉村 憲司
(74)代理人 230118913
弁理士 杉村 光嗣
(74)代理人 100165696
弁理士 川原 敬祐
(72)発明者 黒川 篤史
東京都港区芝浦一丁目2番1号 株式会
社 S U M C O 内
(72)発明者 田中 英樹
東京都港区芝浦一丁目2番1号 株式会
社 S U M C O 内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 シリコンインゴットへの中性子照射方法、シリコンインゴットの製造方法およびシリコンウェーハの製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

単結晶シリコンインゴットを、筒部と底部とからなる円筒状の容器本体と蓋部とを有するアルミニウム製の収納容器に収納した状態で、前記インゴットの側面側から前記インゴットに中性子を照射する方法において、

前記中性子の照射は、前記容器本体内の前記底部にシリコンからなる円柱状のダミーブロック材を配置し、前記ダミーブロック材の上に前記インゴットを配置した状態で行うことを特徴とするシリコンインゴットへの中性子照射方法。

【請求項2】

前記中性子の照射は、前記インゴットの上に、シリコンからなる円柱状の別のダミーブロック材をさらに配置した状態で行う、請求項1に記載のシリコンインゴットへの中性子照射方法。

【請求項3】

前記中性子の照射は、前記中性子の照射に用いる中性子照射装置について、予め、前記中性子照射装置における鉛直方向の中性子照射範囲よりも長い評価用のシリコンインゴットを前記容器本体内に前記ダミーブロック材を配置せずに前記収納容器内に収容し、前記中性子照射装置から前記評価用インゴットに対して中性子の照射を行って、所望とする抵抗率範囲から外れる前記評価用インゴットの長手方向の領域を特定しておき、特定された前記領域が配置されていた前記容器本体内の領域に、前記ダミーブロック材を配置した状態で行う、請求項2に記載のシリコンインゴットへの中性子照射方法。

10

20

【請求項 4】

所定の方法で得られたシリコンインゴットに対して、請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載のシリコンインゴットへの中性子照射方法によって、前記インゴットに対して中性子を照射することを特徴とするシリコンインゴットの製造方法。

【請求項 5】

請求項 4 に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たシリコンインゴットに対してウェーハ加工処理を施し、シリコンウェーハを得ることを特徴とするシリコンウェーハの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、シリコンインゴットへの中性子照射方法、シリコンインゴットの製造方法およびシリコンウェーハの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、電力用途向けのスイッチングデバイスとして、サイリスタやバイポーラトランジスタ、MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ (IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor) などが盛んに開発されている。中でも、IGBTは、MOSFETの高速性とバイポーラトランジスタの低飽和電圧特性とを兼ね備えたデバイスであり、ハイブリッド車や電気自動車の動力モータ用電源のように、大容量、高耐圧、高速スイッチングが求められる用途において注目を集めている。

20

【0003】

IGBTは、シリコンウェーハの表面側に形成されたゲート電極およびエミッタ電極と、裏面側に形成されたコレクタ電極とを有するゲート電圧駆動型のスイッチングデバイス (「縦型 IGBT」とも言う。) であり、スイッチング電流は、表面側のエミッタと裏面側のコレクタとの間のシリコンウェーハ全体を流れる。従って、シリコンウェーハ全体に対して、高い品質が要求される。

【0004】

例えば、シリコンウェーハの抵抗率のウェーハ面内方向のばらつきが大きい場合には、シリコンウェーハ上に形成されたデバイスの特性のばらつきに繋がる。そのため、抵抗率のばらつきが小さいことが必要である。

30

【0005】

上記抵抗率のウェーハ面内方向のばらつきを評価する指標の 1 つとして、RRG (Radial Resistivity Gradient) が挙げられる。RRGは、四探針抵抗測定器などを用いてウェーハ面内の抵抗率を例えば所定の間隔で測定し、測定された抵抗率から下記の式 (1) を用いて求めることができる。

$$RRG(\%) = ((R_{max} - R_{min}) / R_{min}) \times 100 \quad (1)$$

ここで、 R_{max} は測定された抵抗率の最大値、 R_{min} は測定された抵抗率の最小値を表す。

40

【0006】

上記抵抗率のばらつきが低減された n 型シリコンウェーハを得る技術として、中性子照射ドーピング (Neutron Transmutation Doping, NTD) 技術がある。NTD 技術は、シリコンに含まれる同位体の 1 つである ^{30}Si に熱中性子を衝突させると、 ^{30}Si が最終的に ^{31}P になることを利用した技術である。

【0007】

シリコンには、質量数が異なる 3 つの同位体 ^{28}Si 、 ^{29}Si および ^{30}Si がそれぞれ 92.23%、4.67%、3.10% の存在比で存在する。こうしたシリコンに中性子を照射して熱中性子が ^{30}Si に衝突すると、 γ 線を放射して熱中性子が陽子に置き換わり、 ^{31}Si となる。

50

【0008】

生成された ^{31}Si は、半減期2.62時間と極めて不安定であるため、 β 崩壊して β 線を放射し、 ^{31}Si はリン(^{31}P)となる。 ^{30}Si はシリコン中に均一に存在するため、原理的には、中性子の照射によってリンをシリコン中に均一に分布させることができ、抵抗率のばらつきの小さなn型シリコンウェーハが得られる。

【0009】

図1は、中性子照射装置の一例の模式図を示している。図1に示した中性子照射装置1は、中性子を放射するコア11と、シリコンインゴットIを収納して保持する収納容器12とを備える。収納容器12は、その内部に収納されたインゴットIに対して中性子が均一に照射されるように、回転可能に構成されている。

10

【0010】

図2は、収納容器12の一例を示している。図2に示した収納容器12は、筒部13aと底部13bとを有し、インゴットIを収納する円筒状の容器本体13と、容器本体13の上部の開口部に配置される蓋部14とを有する。収容容器12は、例えばアルミニウムなどの適切な金属で構成される。

【0011】

インゴットIを収納容器12に収納する際、インゴットIは、1本の状態で収納容器12に収納してもよいが、取り扱いなどの点から、複数のブロック部(図2においては、3つのブロック部 I_1 、 I_2 、 I_3)に分割した状態で収納してもよい。また、搬送時および中性子の照射時には、収納容器12の内部には水が充填され、また中性子の照射時には、中性子照射装置1内部の収納容器12の周囲にも水が張られる。

20

【0012】

こうした状態で、収容容器12を回転させつつ、コア11から中性子をインゴットIの側面側(延在(長手)方向に垂直な方向)からインゴットIに照射する。これにより、インゴットI中の ^{30}Si を ^{31}P に変化させて、抵抗率の径方向のばらつきが小さなn型シリコンインゴットI、ひいては抵抗率のウェーハ面内方向のばらつきの小さなn型シリコンウェーハが得られる。

【0013】

上記NTD技術を用いて、抵抗率のウェーハ面内方向のばらつきが少ないシリコンウェーハを得る様々な技術が提案されている。例えば、特許文献1には、チョクラルスキー(Czochralski、CZ)法によって格子間酸素濃度と、サイズおよび密度が所定の範囲に調整されたCOP(Crystal Originated Particle)発生領域を含むシリコン単結晶を引き上げ、得られたシリコン単結晶に中性子を照射することによって、RRGが5%未満のシリコンウェーハを得る技術が記載されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0014】

【文献】特開2010-265143号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0015】

上記特許文献1などの技術によって、抵抗率のウェーハ面内方向のばらつきが小さなシリコンウェーハを得ることができる。しかしながら、本発明者らによる検討の結果、中性子照射後のインゴットIの上下端部から採取されたシリコンウェーハの抵抗率のウェーハ面内方向のばらつき(具体的には、RRG)が、インゴットIの中央部から採取されたものに比べて大きいことが判明した。つまり、中性子照射後のインゴットIの長手方向において、抵抗率の径方向のばらつきが、中央部よりも上下両端部の方が大きくなることが分かった。

【0016】

本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、中性子照射

50

後のシリコンインゴットの長手方向において、抵抗率の径方向のばらつきが、中央部よりも上下両端部の方が大きくなるのを抑制することができるシリコンインゴットへの中性子の照射方法を提案することにある。

【課題を解決するための手段】

【0017】

上記課題を解決するための本発明は、以下の通りである。

〔1〕単結晶シリコンインゴットを、筒部と底部とからなる円筒状の容器本体と蓋部とを有するアルミニウム製の収納容器に収納した状態で、前記インゴットの側面側から前記インゴットに中性子を照射する方法において、

前記中性子の照射は、前記容器本体内の前記底部にシリコンからなる円柱状のダミーブロック材を配置し、前記ダミーブロック材の上に前記インゴットを配置した状態で行うことを特徴とするシリコンインゴットへの中性子照射方法。

10

【0018】

〔2〕前記中性子の照射は、前記インゴットの上に、シリコンからなる円柱状の別のダミーブロック材をさらに配置した状態で行う、前記〔1〕に記載のシリコンインゴットへの中性子照射方法。

【0019】

〔3〕前記中性子の照射は、前記中性子の照射に用いる中性子照射装置について、予め、前記中性子照射装置における鉛直方向の中性子照射範囲よりも長い評価用のシリコンインゴットを前記容器本体内に前記ダミーブロック材を配置せずに前記収納容器内に収容し、前記中性子照射装置から前記評価用インゴットに対して中性子の照射を行って、所望とする抵抗率範囲から外れる前記評価用インゴットの長手方向の領域を特定しておき、特定された前記領域が配置されていた前記容器本体内の領域に、前記ダミーブロック材を配置した状態で行う、前記〔2〕に記載のシリコンインゴットへの中性子照射方法。

20

【0020】

〔4〕所定の方法で得られたシリコンインゴットに対して、前記〔1〕～〔3〕のいずれか一項に記載のシリコンインゴットへの中性子照射方法によって、前記インゴットに対して中性子を照射することを特徴とするシリコンインゴットの製造方法。

【0021】

〔5〕前記〔4〕に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たシリコンインゴットに対してウェーハ加工処理を施し、シリコンウェーハを得ることを特徴とするシリコンウェーハの製造方法。

30

【発明の効果】

【0022】

本発明によれば、中性子照射後のシリコンインゴットの長手方向において、抵抗率の径方向のばらつきが、中央部よりも上下両端部の方が大きくなるのを抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】中性子照射装置の一例の模式図である。

【図2】中性子照射対象のシリコンインゴットを収納する収納容器の一例を示す図である。

40

【図3】本発明において中性子照射対象のシリコンインゴットを収納容器に収納する例を説明する図である。

【図4】本発明において中性子照射対象のシリコンインゴットを収納容器に収納する別の例を説明する図である。

【図5】シリコンウェーハのシリコンインゴットからの採取位置に対するシリコンウェーハのRRGの値との関係を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

(シリコンインゴットへの中性子照射方法)

以下、図面を参照して、本発明の実施形態について説明する。本発明によるシリコンイ

50

ンゴットへの中性子照射方法は、単結晶シリコンインゴットを、筒部と底部とからなる円筒状の容器本体と蓋部とを有するアルミニウム製の収納容器に収納した状態で、上記インゴットの側面側から上記インゴットに中性子を照射する方法である。ここで、上記中性子の照射は、容器本体内の底部にシリコンからなる円柱状のダミーブロック材を配置し、ダミーブロック材の上に上記インゴットを配置した状態で行うことを特徴とする。

【 0 0 2 5 】

上述のように、図 2 に示したアルミニウム製の収納容器 1 2 にシリコンインゴット I を収納し、図 1 に示した中性子線照射装置 1 を用いてインゴット I に中性子線を照射したところ、中性子照射後のインゴットの上下端部から採取されたシリコンウェーハの抵抗率のウェーハ面内方向のばらつきが、インゴット I の中央部から採取されたものに比べて大きく
10

【 0 0 2 6 】

本発明者らは、上記抵抗率の径方向のばらつきが上述のようになった原因は、収納容器 1 2 を構成するアルミニウムと、中性子照射対象のインゴット I を構成するシリコンとで、中性子の吸収率が異なることによるものと推察した。

【 0 0 2 7 】

すなわち、中性子の吸収率は、シリコンよりもアルミニウムの方が大きい。そして、図 2 に示した収納容器 1 2 においては、インゴット I の上端部付近にはアルミニウム製の蓋部 1 4 が配置され、また下端部はアルミニウム製の容器本体 1 3 の底部 1 3 b の上に配置
20

【 0 0 2 8 】

本発明者らは、コア 1 1 から中性子が照射されると、インゴット I の上端部付近では中性子が蓋部 1 4 に引き寄せられて吸収される一方、インゴット I の下端部付近では、中性子が容器本体 1 3 の底部 1 3 b に引き寄せられて吸収されるのではないかと考えた。そして、本発明者らは、インゴット I の上下端部では外周部には中性子が十分に到達するものの、中心部まで十分に到達せず、その結果、抵抗率が中心部で相対的に高くなって抵抗率のばらつきが大きくなったのではないかと考えた。

【 0 0 2 9 】

そこで本発明者らは、上記推察に基づいて、図 2 に示したようなアルミニウム製の収納容器 1 2 にインゴット I を収納した状態で、インゴット I の側面側からインゴット I に中
30

性子を照射した際に、中性子照射後のインゴット I の長手方向において、抵抗率の径方向のばらつきが、中央部よりも上下両端部の方が大きくなるのを抑制する方途について鋭意検討した。

【 0 0 3 0 】

その結果、図 3 に示すように、中性子の照射を、収納容器 1 2 内の底部にシリコンからなる円柱状のダミーブロック材 B₁ を配置し、該ダミーブロック材 B₁ の上にインゴット I を配置した状態で行うことが極めて有効であることを見出し、本発明を完成させた。以下、本発明の各要件について説明する。

【 0 0 3 1 】

中性子照射対象の単結晶シリコンインゴット I としては、CZ 法や浮遊溶融帯 (Floating Zone、FZ) 法によって得られたものとすることができる。

【 0 0 3 2 】

単結晶シリコンインゴット I の直径は特に限定されず、150 mm、200 mm、300 mm、450 mm などとすることができる。また、抵抗率のばらつきをより低減する観点からは、単結晶シリコンインゴット I は、電気抵抗率を調整するためのドーパントを添加せずに育成した単結晶シリコンインゴットを使用することが望ましい。なお、抵抗率のばらつきに影響を与えない範囲で微量の p 型ドーパントや n 型ドーパントが添加された単結晶シリコンインゴットを使用してもよい。

【 0 0 3 3 】

10

20

30

40

50

収納容器 1 2 内の底部に配置するダミーブロック材 B₁としては、シリコンからなる円筒状のものであれば特に限定されず、単結晶シリコン、多結晶シリコン、アモルファスシリコンなどからなる部材を採用することができる。また、抵抗率や酸素濃度などが規格外のシリコンインゴットから切り出したシリコンブロック材などをダミーブロック材 B₁として用いることができる。

【 0 0 3 4 】

上記ダミーブロック材 B₁を容器本体 1 3 内の底部 1 3 b に配置すること自体によって、容器本体 1 3 の底部 1 3 b を構成するアルミニウムによる中性子吸収の影響を抑制することができ、中性子照射後のシリコンインゴット I の下端部にて、抵抗率の径方向のばらつきを低減することができる。

10

【 0 0 3 5 】

なお、抵抗率のウェーハ面内方向のばらつきを抑制する点では、図 3 に示すように、インゴット I と蓋部 1 4 との間に、インゴット I の上端部の抵抗率が蓋部 1 4 による中性子吸収の影響を受けないような十分な空間を設ければ、インゴット I の上にダミーブロック材を必ずしも配置する必要はない。しかし、上述のように、搬送時および中性子の照射時には、収納容器 1 2 の内部に水が充填される。そのため、インゴット I には浮力が働き、搬送時に蓋部 1 4 とインゴット I とが接触したり、インゴット I を複数に分割して収納している場合には、ブロック部同士が接触したりして、インゴット I が破損するおそれがある。

【 0 0 3 6 】

20

そこで、図 4 に示すように、インゴット I の上に別のダミーブロック材 B₂を配置することが好ましい。これにより、搬送時に蓋部 1 4 とインゴット I とが接触したり、インゴット I を複数に分割して収納している場合には、ブロック部同士が接触したりするのを抑制して、インゴット I が破損するのを抑制することができる。

【 0 0 3 7 】

また、中性子の照射は、中性子の照射に用いる中性子照射装置 1 について、予め、中性子照射装置 1 における鉛直方向の中性子照射範囲よりも長い評価用のシリコンインゴットを容器本体 1 3 内にダミーブロック材 B₁、B₂を配置せずに収納容器 1 2 内に収納し、中性子照射装置 1 から評価用インゴットに対して中性子の照射を行って、所望とする抵抗率範囲から外れる評価用インゴットの長手方向の領域を特定しておき、特定された領域が配置されていた容器本体 1 3 内の領域に、ダミーブロック材 B₁、B₂を配置した状態で行うことが好ましい。これにより、全ての領域において所望の抵抗率範囲を満たすインゴット I を得ることができる。

30

【 0 0 3 8 】

インゴット I の抵抗率は、中性子の照射時間で調整することができる。上述のようにシリコンには³⁰Si が 3 . 1 0 % 含まれており、理論的にはリン原子を 1.0×10^{21} atoms / cm³ 程度まで含ませることができ、デバイス作製の基板としてのシリコンウェーハに要求される抵抗率範囲に調整することができる。

【 0 0 3 9 】

(シリコンインゴットの製造方法およびシリコンウェーハの製造方法)

40

本発明によるシリコンインゴットの製造方法は、所定の方法で得られた中性子照射対象のシリコンインゴットに対して、上述した本発明によるシリコンインゴットへの中性子照射方法によって、中性子照射対象のシリコンインゴット I に対して中性子を照射することを特徴とする。

【 0 0 4 0 】

上述した本発明によるシリコンインゴットへの中性子照射方法によって、中性子の照射後に、抵抗率の径方向のばらつきが中心部よりも上下両端部の方が大きくなるのを抑制されたインゴット I を製造することができる。

【 0 0 4 1 】

そして、上述のように製造されたインゴット I に対してウェーハ加工処理を施すことに

50

よって得られたシリコンウェーハは、インゴット I の上下端部から採取されたものと、中央部から採取されたものとの間における抵抗率のウェーハ面内方向のばらつきが抑制されたものである。

【実施例】

【0042】

以下、本発明の実施例について説明するが、本発明は実施例に限定されない。

【0043】

(試験例1)

使用する中性子照射装置の中性子照射ばらつきを調べるため、以下の実験を行った。

CZ法により、ドーパントを添加せずに単結晶シリコンインゴットを育成し、単結晶シリコンインゴットを切断・外周研削加工して、中性子照射を施すための、直径200mm、長さ600mmの単結晶シリコンブロックを作製した。

次に、作製した単結晶シリコンブロックをアルミニウム製収納容器内の底部上に載置し、図1に示した中性子照射装置を用いて単結晶シリコンブロックの抵抗率が $150\Omega\cdot\text{cm}$ となるように中性子照射を行った。その後、中性子照射を行った単結晶シリコンブロックに対してウェーハ加工処理を施して複数枚のシリコンウェーハを得た。

続いて、四探針抵抗測定器を用いて各シリコンウェーハそれぞれの抵抗率を測定し、前述した式(1)を用いてRRGを求めた。

【0044】

図5は、中性子照射を行った単結晶シリコンブロックから切り出した各シリコンウェーハの採取位置に対する各シリコンウェーハのRRGの値との関係を示している。ここで、横軸のゼロの位置は、図1に示した中性子照射装置1のコア11における最も低い高さ位置に設けられた中性子照射孔の高さ位置に対応している。図5から、シリコンインゴットの上下端部から採取されたシリコンウェーハのRRGの値は、中央部から採取されたシリコンウェーハのRRGの値に比べて大きいことが分かる。

【0045】

(発明例1)

CZ法により、単結晶シリコンインゴットを育成し、育成した単結晶シリコンインゴットを切断・外周研削加工して、直径200mm、長さ300mmの単結晶シリコンブロックを作製した。単結晶シリコンインゴットの育成・加工条件はすべて試験例1と同一条件で行った。

次に、直径200mm、高さ150mmの単結晶シリコンからなる円柱状のダミーブロック材を試験例1で使用したアルミニウム製収納容器の底部に配置し、このダミーブロック材上に単結晶シリコンブロックを載置し、更にこの単結晶シリコンブロック上に直径200mm、高さ150mmの単結晶シリコンからなるダミーブロック材を配置した。なお、単結晶シリコンブロックの上端、下端に配置したダミーブロック材は、製品インゴットの規格を満たさない廃材シリコンインゴットを加工して製造したものである。

その後、単結晶シリコンブロックに中性子照射を行った後、中性子照射を行った単結晶シリコンブロックに対してウェーハ加工処理を施して複数枚のシリコンウェーハを得た。続いて、試験例1と同様に、四探針抵抗測定器を用いて各シリコンウェーハそれぞれの抵抗率を測定した。中性子照射条件、ウェーハ加工条件および抵抗率測定条件は、いずれも試験例1と同じ条件で行った。

その結果、得られたシリコンウェーハのRRGは、全て5%以下であった。

【0046】

(発明例2)

発明例1と同様に、単結晶シリコンブロックに対して中性子を照射した。ただし、単結晶シリコンブロックの長さを200mmとし、円柱状のダミーブロック材の高さを200mmとした。その他の条件は、発明例1と全て同じである。中性子照射後の各シリコンウェーハのRRGを測定したところ、全て4.5%以下であった。

【産業上の利用可能性】

10

20

30

40

50

【 0 0 4 7 】

本発明によれば、中性子照射後のシリコンインゴットの長手方向において、抵抗率の径方向のばらつきが、中央部よりも上下両端部の方が大きくなるのを抑制することができるため、半導体ウェーハ製造業において有用である。

【符号の説明】

【 0 0 4 8 】

- 1 中性子照射装置
- 1 1 コア
- 1 2 収納容器
- 1 3 容器本体
- 1 3 a 筒部
- 1 3 b 底部
- 1 4 蓋部
- B₁ , B₂ ダミーブロック材
- I シリコンインゴット
- I₁ , I₂ , I₃ ブロック部
- N 中性子

10

20

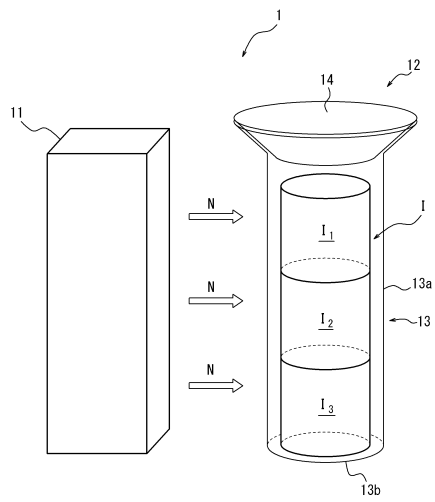
30

40

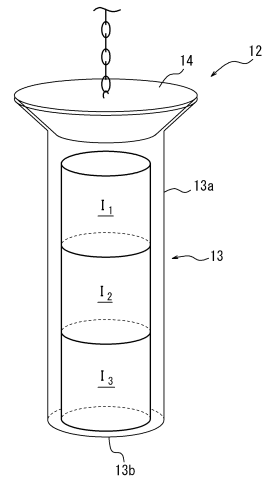
50

【図面】

【図 1】



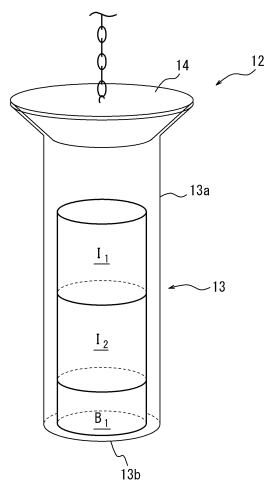
【図 2】



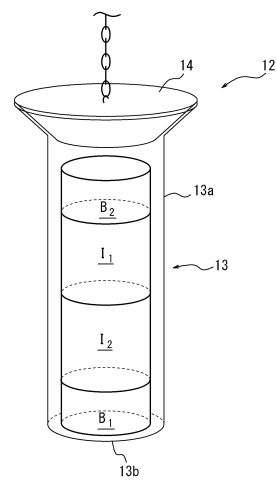
10

20

【図 3】



【図 4】

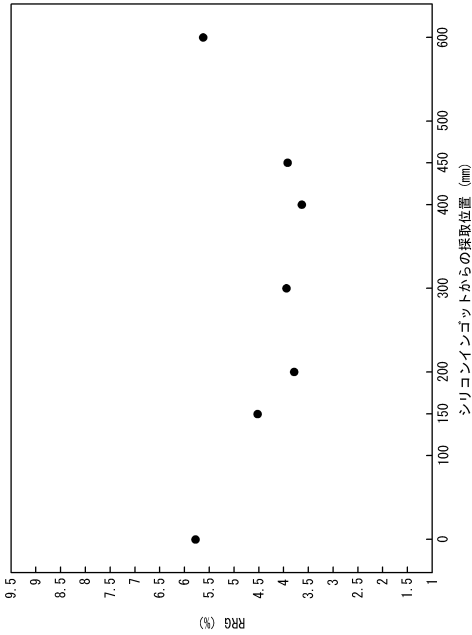


30

40

50

【図 5】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 松隈 伸
東京都港区芝浦一丁目2番1号 株式会社SUMCO内
- 審査官 有田 恭子
- (56)参考文献 特表平05-504868(JP,A)
特開昭51-042466(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
C30B 1/00 - 35/00