



(10) **DE 11 2008 001 201 T5** 2010.08.05

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2008/146443**
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2008 001 201.6**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2008/001029**
(86) PCT-Anmeldetag: **18.04.2008**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **04.12.2008**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **05.08.2010**

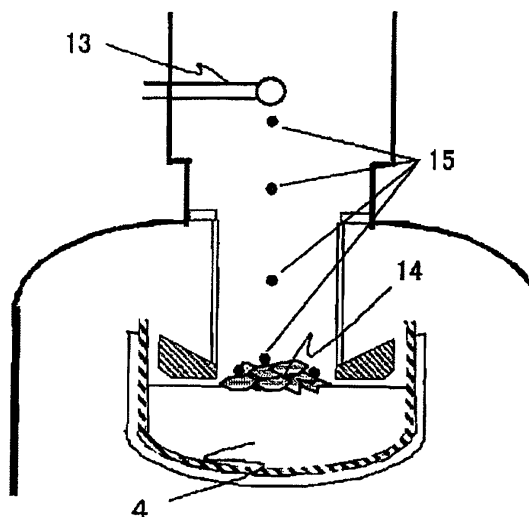
(51) Int Cl.⁸: **C30B 29/06** (2006.01)
C30B 15/04 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2007-142988 30.05.2007 JP
(71) Anmelder:
Shin-Etsu Handotai Co., Ltd., Tokyo, JP

(74) Vertreter:
**WUESTHOFF & WUESTHOFF Patent- und
Rechtsanwälte, 81541 München**
(72) Erfinder:
**Hoshi, Ryoji, Fukushima, JP; Sonokawa, Susumu,
Fukushima, JP**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Wachsenlassen eines Silizium-Einkristalls**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Wachsenlassen eines mit Kohlenstoff dotierten Silizium-Einkristalls, bei dem ein Silizium-Einkristall aus einer in einem Tiegel befindlichen Rohmaterialschmelze, der Kohlenstoff zugesetzt wurde, mittels des Czochralski-Verfahrens wachsen gelassen wird, wobei ein extrudiertes Material oder ein geformtes Material als Dotiermittel für die Zugabe des Kohlenstoffs zu einem Rohmaterial im Tiegel verwendet wird.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Wachsenlassen eines Silizium-Einkristalls, bei dem ein Siliziumwafer abgeschnitten wird, der als Substrat für ein Halbleiterbauteil, wie beispielsweise einen Speicher oder eine Zentraleinheit, verwendet wird, und insbesondere ein Verfahren zum Wachsenlassen eines Silizium-Einkristalls, bei dem Kohlenstoff dotiert wird, um eine BMD-Dichte zum Gettern von Kristallbauteilen und -verunreinigungen bei Verwendung auf einem höchsten entwickelten Gebiet zu steuern.

STAND DER TECHNIK

[0002] Ein Silizium-Einkristall, von dem ein Siliziumwafer abgeschnitten wird, der als Substrat für ein Halbleiterbauteil, wie beispielsweise einen Speicher oder eine Zentraleinheit, verwendet wird, wird hauptsächlich mittels des Czochralski-Verfahrens hergestellt (das nachfolgend als CZ-Verfahren bezeichnet wird).

[0003] Ein Silizium-Einkristall, der mittels des CZ-Verfahrens erzeugt wird, enthält Sauerstoffatome, und Siliziumatome und die Sauerstoffatome werden miteinander zu Oxidpräzipitaten (Bulk-Mikrodefekten; die nachfolgend als BMD bezeichnet sind) verbunden, wenn ein Siliziumwafer, der von dem Silizium-Einkristall abgeschnitten wird, zur Herstellung eines Bauteils verwendet wird. Es ist bekannt, dass die BMD die Fähigkeit zum IG (intrinsischen Gettering) besitzen, um verunreinigende Atome z. B. von einem Schwermetall im Wafer einzufangen und so die Eigenschaften des Bauteils zu verbessern, wodurch ein Bauteil mit höherer Leistung erhalten werden kann, da die BMD-Dichte in einem Hauptteil des Wafers steigt. Das bedeutet, dass eine große Menge an im Wafer gebildeten BMD dazu führt, dass ein Bauteil mit einer hohen Leistung realisiert wird.

[0004] Weiter ist es bekannt, dass eine Menge an BMD, die im Siliziumwafer gebildet werden, von der Sauerstoffkonzentration im Silizium-Einkristall, dem thermischen Verlauf während oder nach dem Aufziehen des Silizium-Einkristalls, der Kohlenstoffkonzentration im Silizium-Einkristall usw. abhängt.

[0005] Allerdings kann eine Menge an BMD durch das Ansteigen der Sauerstoffkonzentration erhöht werden, aber andererseits gibt es das Problem, dass die Tendenz für ein Auftreten von OSF (durch Oxidation hervorgerufene Stapelfehler), die ein Bauteil nachteilig beeinflussen, besteht. Wenn solche OSF in einem aktiven Bereich des Bauteils auf einem Siliziumwafer vorliegen, werden sie zu einem Faktor für Fehler, wie beispielsweise einem Ansteigen des

Leckstroms. Daher besteht ein Bedarf nach einem Silizium-Einkristallwafer, der eine ausgezeichnete IG-Fähigkeit und eine verringerte OSF-Dichte besitzt.

[0006] Das bewusste Dotieren des Silizium-Einkristalls mit Kohlenstoff zum Unterdrücken von OSF ist im Hinblick auf einen solchen Bedarf bekannt. Das bedeutet, dass aufgrund der Tatsache, dass ein Kristallgitter des Kohlenstoffs kleiner als ein Si-Kristallgitter ist, ein erzeugter Schaden absorbiert wird und das Ausfällen von interstitiellem Si unterdrückt werden kann, obwohl Sauerstoff im Wafer vorhanden ist. Weiter können, abgesehen von einem aktiven Bereich in der Nähe der Waferoberfläche, beim Dotieren mit Kohlenstoff Mikrodefekte in einem inneren Teil erzeugt werden, wodurch die IG-Fähigkeit verbessert wird. Daher ist in den letzten Jahren zum Vorsehen einer ausreichenden IG-Fähigkeit bei gleichzeitiger Kontrolle der OSF im Siliziumwafer das absichtliche Dotieren mit Kohlenstoff zur Herstellung des Silizium-Einkristalls durchgeführt worden.

[0007] Als Verfahren zum Dotieren mit Kohlenstoff in einem Einkristall sind das Gasdotieren (siehe japanische Offenlegungsschrift Nr. H11-302099), ein hochreines Kohlenstoffpulver (siehe japanische Offenlegungsschrift Nr. 2002-293691), eine Kohlenstoffagglomeration (siehe japanische Offenlegungsschrift Nr. 2003-146796) und andere vorgeschlagen worden. Allerdings gibt es dabei Probleme, zum Beispiel ist ein erneutes Schmelzen unmöglich, wenn ein Kristall im Falle einer Gasdotierung eine Fehlordnung besitzt, wird ein hochreines Kohlenstoffpulver z. B. aufgrund der Einführung eines Gases beim Schmelzen eines Rohmaterials im Falle eines hochreinen Kohlenstoffpulvers verstreut, lässt sich Kohlenstoff schwer lösen und unterliegt ein Kristall während des Wachstums im Falle einer Kohlenstoffagglomeration einer Fehlordnung.

[0008] Als Mittel zum Lösen solcher Probleme schlägt die japanische Offenlegungsschrift Nr. H11-312683 einen polykristallinen Siliziumbehälter mit einem darin untergebrachten Kohlenstoffpulver, einen Kohlenstoff enthaltenden Siliziumwafer, der einer Dampfphasenfilmbildung unterworfen wird, einen Siliziumwafer, der mit einem organischen Lösungsmittel, das Kohlenstoffkörner enthält, überzogen und gebacken wird oder ein Verfahren zum Dotieren eines Silizium-Einkristalls mit Kohlenstoff durch Einführen polykristallinen Siliziums, das eine vorbestimmte Menge an Kohlenstoff enthält, in einen Tiegel vor. Durch die Verwendung dieser Verfahren wird es möglich, die oben beschriebenen Probleme zu lösen. Allerdings umfassen diese Verfahren das Verarbeiten von polykristallinem Silizium, eine Wärmebehandlung zum Dotieren eines Wafers und so weiter. Demgemäß ist die Herstellung eines Kohlenstoff-Dotiermittels nicht leicht. Außerdem besteht die Möglichkeit der Kontamination durch eine Verunreinigung bei der

Verarbeitung zur Anpassung des Dotiermittels oder eine Wärmebehandlung des Wafers.

[0009] Darüber hinaus schlägt die japanische Offenlegungsschrift 2005-320203 als Mittel, durch das die oben beschriebenen Probleme gelöst werden können, ein Verfahren vor, bei dem ein Kohlenstoffpulver zwischen Wafern angeordnet wird. Gemäß diesem Verfahren kann zwar das Dotieren am Anfang durchgeführt werden, jedoch kann die Kohlenstoffkonzentration nicht geändert werden. Außerdem besteht bei diesem Verfahren, wenn mehrere Einkristalle aus einem einzelnen Tiegel gezogen werden, das Problem, dass ein Dotiermittel nicht zugegeben werden kann, wenn der zweite oder weitere Kristalle gezogen werden.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

[0010] Im Hinblick auf die oben beschriebenen Probleme besteht eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, ein Verfahren zum Wachsenlassen eines mit Kohlenstoff dotierten Silizium-Einkristalls zur Verfügung zu stellen, bei dem der Silizium-Einkristall kostengünstig ohne weiteres mit Kohlenstoff dotiert werden kann, der Silizium-Einkristall ohne Problem so erzeugt werden kann, dass er frei von Versetzungen ist, und eine Kohlenstoffkonzentration im Silizium-Einkristall präzise gesteuert werden kann. Eine weitere Aufgabe besteht darin, ein Verfahren zum Wachsenlassen eines mit Kohlenstoff dotierten Silizium-Einkristalls zur Verfügung zu stellen, mit dem die zusätzliche Dotierung von Kohlenstoff, die mit der herkömmlichen Technik schwierig zu erzielen ist, leicht durchgeführt werden kann.

[0011] Um die Aufgaben zu erzielen, stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Wachsenlassen eines mit Kohlenstoff dotierten Silizium-Einkristalls zur Verfügung, bei dem ein Silizium-Einkristall aus einer in einem Tiegel befindlichen Rohmaterialschmelze, der Kohlenstoff zugesetzt wird, durch das Czochralski-Verfahren wachsen gelassen wird, wobei ein extrudiertes Material oder ein geformtes Material als Dotiermittel für die Zugabe des Kohlenstoffs zu einem Rohmaterial im Tiegel verwendet wird.

[0012] Wenn das extrudierte Material und das geformte Material mit der Anisotropie als Dotiermittel verwendet werden, um den Kohlenstoff in das Rohmaterial im Tiegel zu geben und auf diese Weise den mit Kohlenstoff dotierten Silizium-Einkristall wachsen zu lassen, kann der Kohlenstoff im Silizium-Einkristall leicht kostengünstig dotiert werden, ohne dass die Einkristallisation des wachsen zu lassenden Kristalls negativ beeinflusst wird.

[0013] In diesem Fall ist es bevorzugt, dass das Dotiermittel, das aus dem extrudierten Material oder dem geformten Material besteht, durch Zerkleinern

eines extrudierten Materials oder eines geformten Materials zu Körnern erhalten wird.

[0014] Da das extrudierte Material und das geformte Material ziemlich brüchig sind, können sie leicht granuliert werden, und die Dotiermenge kann zur Dotierung des Silizium-Einkristalls mit Kohlenstoff präziser gesteuert werden; weiterhin kann die Dotierung leicht kostengünstig erfolgen, wenn das Material, das durch Zerkleinern des extrudierten Materials oder des geformten Materials zu Körnern erhalten wird, als Dotiermittel verwendet wird, um den mit Kohlenstoff dotierten Silizium-Einkristall wachsen zu lassen. In diesem Fall ist die Größe des Dotiermittels nicht speziell beschränkt, es ist aber bevorzugt, die Größe auf 0,1 bis 30 mm festzulegen.

[0015] Außerdem ist es bevorzugt, dass das Dotiermittel zusammen mit einem Silizium-Rohmaterial in den Tiegel gegeben wird und dann das Rohmaterial geschmolzen wird, um den Einkristall wachsen zu lassen.

[0016] Wenn das Dotiermittel, das zum Beispiel aus dem zerkleinerten extrudierten Material oder geformten Material gebildet ist, zusammen mit dem Silizium-Rohmaterial in den Tiegel gegeben und dann das Rohmaterial geschmolzen wird, um auf diese Weise den Einkristall wachsen zu lassen, kann der Silizium-Einkristall leicht mit Kohlenstoff kostengünstig dotiert werden, wodurch der mit Kohlenstoff dotierte Silizium-Einkristall, der frei von Versetzungen ist, erhalten wird. Darüber hinaus kann, wenn das Dotiermittel des extrudierten Materials oder des geformten Materials in Form von Körnern ausgebildet wird, das Wiegen einer gewünschten Menge erleichtert werden, und daher kann auch das Steuern einer Kohlenstoffkonzentration in der Rohmaterialschmelze auf eine gewünschte Konzentration erleichtert werden.

[0017] Zusätzlich kann das Dotiermittel von oben in den ein Silizium-Rohmaterial enthaltenden Tiegel oder die Schmelze gegeben werden, und dann kann der Einkristall wachsen gelassen werden.

[0018] Wenn das Dotiermittel, das zum Beispiel aus dem zerkleinerten extrudierten Material oder geformten Material gebildet ist, von oben in den ein Silizium-rohmaterial enthaltenden Tiegel oder die Schmelze gegeben und dann der Einkristall auf diese Weise wachsen gelassen wird, kann ein Dotiermittel während des Ziehens des zweiten oder der weiteren Einkristalle zugegeben werden, wenn mehrere Einkristalle aus dem einzelnen Tiegel gezogen werden. Eine solche zusätzliche Dotierung ist mit der herkömmlichen Technik sehr schwierig, und daher entfaltet die vorliegende Erfindung ihre Wirkung.

[0019] Es kann ein Verfahren zum Wachsenlassen eines mit Kohlenstoff dotierten Silizium-Einkristalls

gemäß der vorliegenden Erfindung zur Verfügung gestellt werden, mit dem der Kohlenstoff leicht kostengünstig in den Silizium-Einkristall dotiert werden kann, der Silizium-Einkristall ohne Problem so erzeugt werden kann, dass er frei von Versetzungen ist, und die Kohlenstoffkonzentration im Silizium-Einkristall präzise gesteuert werden kann, wenn der Silizium-Einkristall aus der im Tiegel befindlichen Rohmaterialsschmelze, der Kohlenstoff zugesetzt ist, mittels des Czochralski-Verfahrens wachsen gelassen wird. Weiterhin ermöglicht die Anwendung der vorliegenden Erfindung, dass das Dotiermittel zugesetzt wird, die ausgezeichnete Steuerbarkeit der Kohlenstoffkonzentration zur Verfügung gestellt werden kann und die vorliegende Erfindung sehr leicht kostengünstig durchgeführt werden kann.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0020] [Fig. 1](#) ist eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Ziehen eines Silizium-Einkristalls gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0021] [Fig. 2](#) ist eine Ansicht, die schematisch einen Zustand zeigt, in dem die Kohlenstoffkörner in einen Tiegel gegeben werden;

[0022] [Fig. 3](#) ist eine Ansicht, die schematisch einen Zustand zeigt, in dem Kohlenstoffkörner in den Tiegel gegeben werden;

[0023] [Fig. 4](#) ist eine Kurve, bei der jeder berechnete Wert einer Kohlenstoffkonzentration in einem Silizium-Einkristall, der im Beispiel 1 wachsen gelassen wurde, mit jedem Ist-Wert derselben verglichen wird; und

[0024] [Fig. 5](#) ist eine Kurve, bei der jeder berechnete Wert einer Kohlenstoffkonzentration in einem Silizium-Einkristall, der im Beispiel 2 wachsen gelassen wurde, mit jedem Ist-Wert derselben verglichen wird.

BESTE(S) METHODE(N) ZUM DURCHFÜHREN DER ERFINDUNG

[0025] Wie oben erläutert, gibt es bei der herkömmlichen Technik Probleme, zum Beispiel die Schwierigkeit beim erneuten Schmelzen, das Verstreuen des hochreinen Kohlenstoffpulvers, die Fehlordnung eines Kristalls während des Wachsens, die Schwierigkeit bei der Herstellung eines Kohlenstoff-Dotiermittels, die Möglichkeit einer Verunreinigung durch Fremdstoffe und andere. Weiterhin lässt sich die Kohlenstoffkonzentration nur schwer ändern. Demgemäß tritt das Problem auf, dass ein Dotiermittel nicht während des Ziehens des zweiten oder weiterer Kristalle zugegeben werden kann, wenn mehrere Einkristalle aus einem einzelnen Tiegel gezogen werden.

[0026] Hier wird als Kohlenstoffmaterial, das als Dotiermittel verwendet wird, ein mittels CIP (isotrop) gebildetes Material, das breite industrielle Anwendung in der herkömmlichen Halbleiterindustrie findet, eingesetzt. Das mittels CIP gebildete Material wird dadurch erhalten, dass fein gemahlenes Rohmaterial bei hydrostatischem Druck verfestigt wird, so dass es dichte und homogene Strukturen aufweist, allerdings besteht dabei das Problem, dass das mittels CIP gebildete Material in einer Siliziumschmelze nur schwer reagiert und wegen seiner Dichte nicht ohne weiteres geschmolzen werden kann.

[0027] Im Allgemeinen wird ein Graphitmaterial durch Kneten, Verformen, Sintern und Graphitisieren nach dem Mahlen eines Rohmaterials gebildet, und es wird in drei Arten unterteilt, nämlich das mittels CIP (isotrop) gebildete Material, ein extrudiertes Material und ein geformtes Material, je nach den Unterschieden beim Verformungsverfahren. Das mittels CIP gebildete Material von diesen Materialien besitzt dichte und homogene Strukturen, da ein fein gemahlenes Rohmaterial bei einem hydrostatischen Druck verfestigt wird, und es findet breite industrielle Anwendung in der Halbleiterindustrie. Allerdings besteht bei dem mittels CIP gebildeten Material das Problem, dass es nur schwer in einer Siliziumschmelze reagiert und wegen seiner Dichte nicht leicht geschmolzen werden kann.

[0028] Demgegenüber besitzen das extrudierte Material und das geformte Material, bei denen es sich um die Graphitmaterialien handelt, wie das mittels CIP (isotrop) gebildete Material Anisotropie, und sie weisen relativ große Bestandteilkörner und einen niedrigen Härtegrad auf. Weiterhin sind diese Materialien im Vergleich zu dem mittels CIP gebildeten Material porös. Daher haben die vorliegenden Erfinder berücksichtigt, dass das extrudierte Material und das geformte Material im Hinblick auf Silizium hohe reaktive Eigenschaften besitzen, und haben aktiv Experimente und Untersuchungen durchgeführt. Als Ergebnis haben die Erfinder festgestellt, dass das extrudierte Material und das geformte Material sehr leicht in einer Siliziumschmelze geschmolzen werden können.

[0029] Außerdem haben die vorliegenden Erfinder herausgefunden, dass Kohlenstoff leicht in einem Silizium-Einkristall kostengünstig dotiert werden kann, der Silizium-Einkristall ohne Problem so hergestellt werden kann, dass er frei von Versetzungen ist, und eine Kohlenstoffkonzentration in einem Silizium-Einkristall unter Verwendung des extrudierten Materials oder des geformten Materials als Dotiermittel präzise gesteuert werden kann, wobei das Dotiermittel zusammen mit einem Silizium-Rohmaterial in einen Tiegel gegeben wird und dann das Rohmaterial geschmolzen wird, um den Einkristall wachsen zu lassen. Außerdem kann, wenn das Dotiermittel in den

ein Silizium-Rohmaterial enthaltenden Tiegel oder die Schmelze von oben gegeben und dann der Einkristall wachsen gelassen wird, ein zusätzliches Dotieren, das mit der herkömmlichen Technik sehr schwierig ist, während des Ziehens des zweiten oder weiterer Einkristalle durchgeführt werden, wenn die mehreren Einkristalle aus dem einzelnen Tiegel gezogen werden.

[0030] Eine Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung wird nun ausführlicher nachfolgend erläutert. Die vorliegende Erfindung ist aber nicht darauf beschränkt.

[0031] Die [Fig. 1](#) zeigt ein Beispiel einer Vorrichtung zum Ziehen eines Einkristalls mittels des Czochralski-Verfahrens (das CZ-Verfahren), das verwendet wird, wenn ein Verfahren zum Herstellen eines mit Kohlenstoff dotierten Silizium-Einkristalls gemäß der vorliegenden Erfindung durchgeführt wird. In einer Hauptkammer 1 der Vorrichtung zum Ziehen eines Einkristalls werden ein Quarztiegel 5, der eine geschmolzene Rohmaterialschmelze 4 enthält, und ein Graphittiegel 6, der den Quarztiegel 5 trägt, zur Verfügung gestellt.

[0032] Polykristallines Silizium als Rohmaterial eines mit Kohlenstoff dotierten Silizium-Einkristalls und ein Kohlenstoff-Dotiermittel gemäß der vorliegenden Erfindung werden in den Quarztiegel gegeben. Bei dem Kohlenstoff-Dotiermittel, das in der vorliegenden Erfindung verwendet wird, handelt es sich um ein extrudiertes Material oder ein geformtes Material. Wie oben erläutert, ist, da das extrudierte Material und das geformte Material ausgezeichnete Reaktionseigenschaften im Hinblick auf das Silizium haben und ohne weiteres gelöst werden können, die Größe des in den Tiegel zu gebenden Dotiermittels nicht besonders beschränkt, aber eine Größe von 0,1 bis 30 mm ist wegen der Aspekte der Konzentrationssteuerbarkeit und Funktionsfähigkeit bevorzugt. Der Quarztiegel 5 ist in einem Ofen einer solchen Vorrichtung zum Ziehen eines Einkristalls vorgesehen, wie in der [Fig. 1](#) gezeigt, und das CZ-Verfahren wird angewendet, um einen Kristall wachsen zu lassen. Gemäß dem CZ-Verfahren werden der mit der Schmelze gefüllte Tiegel (5 und 6) und eine Heizeinrichtung 7, die so angeordnet ist, dass sie den Tiegel umgibt, eingesetzt. Ein Impfkristall wird in den Tiegel getaucht, und dann wird ein stabförmiger Einkristall 3 aus der Schmelze gezogen. Der Tiegel kann in axialer Richtung des Kristallwachstums nach oben und unten bewegt werden, und der Tiegel wird so nach oben bewegt, dass ein Flüssigkeitsniveau der Schmelze kompensiert wird, welches aufgrund der Kristallisation während des Kristallwachstums reduziert wurde. Als Ergebnis kann die Höhe des Flüssigkeitsniveaus der Schmelze immer konstant gehalten werden. Es ist zu beachten, dass ein Isoliermaterial 8, das an der Außenseite der Heizeinrichtung 7 vorgesehen ist, um

die Kammer zu schützen, und ein Gasstrom-Führungszylinder 11 sowie ein wärmeisolierendes Bauteil 12 vorgesehen sein können, um das Kühlen des Kristalls zu erleichtern.

[0033] In diesem Fall ist es bevorzugt, als Kohlenstoffdotiermittel, das in den Tiegel gegeben wird, wie zum Beispiel in der [Fig. 2](#) gezeigt, granuliert und gereinigte Kohlenstoffkörner 15 zusammen mit einem polykristallinen Silizium-Rohmaterial 14 in den Quarztiegel 5 zu geben.

[0034] Darüber hinaus wird nach dem Zugeben des Rohmaterials in den Quarztiegel 5 eine Vakuumpumpe (nicht gezeigt) betrieben, um ein Ar-Gas aus einem Gaseinlass 10 strömen zu lassen, der in der Ziehkammer 2 ausgebildet ist, während Abgas aus einem Gasauslass 9 ausgeleitet wird, wodurch die Innenatmosphäre durch eine Ar-Atmosphäre ersetzt wird.

[0035] Dann wird der Graphittiegel 6 durch die Heizeinrichtung 7 erwärmt, die so angeordnet ist, dass sie diesen Tiegel derart umgibt, dass das Rohmaterial geschmolzen wird, um eine Rohmaterialschmelze 4 zu erhalten. Jetzt werden die Kohlenstoffkörner 15 als Dotiermittel in der Schmelze 4 geschmolzen, um Kohlenstoff zuzusetzen. Da die Kohlenstoffkörner 15 sehr leicht schmelzen, werden sie schnell geschmolzen und in der Rohmaterialschmelze 4 vermischt. Wenn ein Körnerdurchmesser zum Beispiel auf 0,1 bis 30 mm festgelegt wird, können die Kohlenstoffkörner 15 in der Rohmaterialschmelze geschmolzen werden, ohne durch das Ar-Gas verstreut zu werden. Da der Kohlenstoff während des Schmelzens nicht verloren geht, wie oben erläutert, kann eine Kohlenstoffkonzentration in der Rohmaterialschmelze 4 präzise auf eine gewünschte Konzentration hin gesteuert werden.

[0036] Nachdem das Rohmaterial und das Dotiermittel geschmolzen sind, wird ein Impfkristall in die Rohmaterialschmelze 4 getaucht, und der Impfkristall wird unter Drehen gezogen, wodurch ein stabförmiger Silizium-Einkristall 3 wachsen gelassen wird. Auf diese Weise wird ein Silizium-Einkristall mit dem darin dotierten Kohlenstoff in der gewünschten Konzentration erzeugt.

[0037] Zusätzlich kann, wie in der [Fig. 3](#) gezeigt, eine gewünschte Menge an Kohlenstoffkörnern 15 als Dotiermittel von einem Eingabeelement 13 während oder nach dem Schmelzen des Rohmaterials in den Tiegel gegeben werden. Gemäß diesem Verfahren kann beispielsweise, wenn mehrere Einkristallblöcke in dem einzelnen Tiegel wachsen gelassen werden, bei Zugabe eines zusätzlichen Rohmaterials nach dem Wachsenlassen des ersten Blocks in den Tiegel das Dotiermittel von der oberen Seite zusammen mit dem zusätzlichen Material oder nach der Zu-

gabe des Rohmaterials in den Tiegel gegeben werden.

[0038] Die vorliegende Erfindung wird nun nachfolgend mit Bezug auf die Beispiele näher erläutert, ohne dass die vorliegende Erfindung darauf beschränkt ist.

[Beispiel 1]

[0039] Ein Quarztiegel mit einem Durchmesser von 22 Zoll (550 mm) wurde in einen Ofen einer Vorrichtung zum Ziehen eines Einkristalls gegeben, um einen Silizium-Einkristall mit einem Durchmesser von 8 Zoll (200 mm) unter Verwendung des CZ-Verfahrens wachsen zu lassen. Gemäß dem oben erwähnten CZ-Verfahren wurden ein polykristallines Silizium-Rohmaterial und Kohlenstoffkörner hergestellt, und die Kohlenstoffkörner wurden zusammen mit dem polykristallinen Silizium-Rohmaterial in den Quarztiegel gegeben. Zu diesem Zeitpunkt wurde festgelegt, dass die Kohlenstoffkörner ein solches Gewicht haben sollten, dass eine Kohlenstoffkonzentration in dem Silizium-Einkristall in einem geraden Körper von 0 cm bezogen auf einer Trennungsbeziehung 0,8 ppma wird. Als Kohlenstoffkörner wurde ein Material verwendet, das durch Zerkleinern eines geformten Materials auf einen Korndurchmesser von 3 bis 10 mm und durch Reinigen desselben erhalten wurde. Das polykristalline Silizium-Rohmaterial wurde zusammen mit den Kohlenstoffkörnern geschmolzen und dann wurde ein Einkristallkeim in eine Schmelze getaucht, wodurch ein Silizium-Einkristall mit einem Durchmesser von 8 Zoll (200 mm) wachsen gelassen wurde. Waferförmige Proben wurden von dem geraden Körper des Einkristallsiliziums an mehreren Stellen abgeschnitten, um die Kohlenstoffkonzentrationen basierend auf dem FT-IR-Verfahren zu messen. Die [Fig. 4](#) zeigt das Ergebnis.

(Vergleichsbeispiel 1)

[0040] Ein Silizium-Einkristall mit einem Durchmesser von 8 Zoll (200 mm) wurde unter denselben Bedingungen wie im Beispiel 1 wachsen gelassen, mit der Ausnahme, dass keine Kohlenstoffkörner in den Tiegel gegeben wurden. Waferförmige Proben wurden an denselben Stellen wie im Beispiel 1 abgeschnitten, und die Kohlenstoffkonzentrationen wurden basierend auf dem FT-IR-Verfahren gemessen. Als Ergebnis waren an allen Stellen die Kohlenstoffkonzentrationen gleich oder unterhalb 0,03 ppma, wobei es sich da um eine untere Messgrenze handelt.

[0041] Wie in der [Fig. 4](#) gezeigt, wurden die Kohlenstoffkonzentrationen, die gleich den berechneten Werten waren, im Beispiel 1 erhalten. Weiter wurde die Lebensdauer des Kristalls geprüft, und es wurde bestätigt, dass die Lebensdauer weitgehend gleich

der eines Silizium-Einkristalls ohne darin dotierten Kohlenstoff im Vergleichsbeispiel 1 ist, eine Verunreinigung zum Beispiel durch ein Schwermetall nicht auftrat, die Versetzung des Kristalls nicht erfolgte und der Silizium-Einkristall, der im Beispiel 1 erhalten wurde, so hergestellt wurde, dass er ohne Problem frei von Versetzungen war. Bezogen auf diese Tatsachen wurde nachgewiesen, dass die Dotierung der Kohlenstoffkörner es möglich macht, den Kohlenstoff, wie vorgesehen, in den Siliziumkristall aufzunehmen.

(Beispiel 2)

[0042] Ein Tiegel mit einem Durchmesser von 18 Zoll (450 mm) wurde in einem Ofen einer Vorrichtung zum Ziehen eines Einkristalls untergebracht, die um eine Größe kleiner als die im Beispiel 1 verwendete Vorrichtung zum Ziehen des Einkristalls ist, um ein Silizium-Rohmaterial zu schmelzen, und es wurde ein Silizium-Einkristall mit einem Durchmesser von 5 Zoll (125 mm) gezogen. Zu dieser Zeit wurde, wie in der [Fig. 3](#) gezeigt ist, ein Verfahren zum Zugeben von Kohlenstoffkörnern in den Tiegel von oben während des Schmelzens des polykristallinen Silizium-Rohmaterials ausprobiert. Als Kohlenstoffkörner wurde ein Material verwendet, das durch Zerkleinern eines geformten Materials auf einen Korndurchmesser von 3 bis 10 mm und Reinigen desselben erhalten wurde. Weiter wurde eine Dotiermenge auf eine Menge eingestellt, durch die eine Kohlenstoffkonzentration in dem Silizium-Einkristall 1,0 ppma wird, wenn ein gerader Körper eine Länge von 0 cm aufweist. Nachdem das polykristalline Silizium-Rohmaterial vollständig geschmolzen war, wurde ein Einkristallkeim in eine Schmelze getaucht, wodurch ein Silizium-Einkristall mit einem Durchmesser von 5 Zoll (125 mm) wachsen gelassen wurde. Waferförmige Proben wurden von dem geraden Körper des Silizium-Einkristalls an mehreren Stellen abgeschnitten und die Kohlenstoffkonzentrationen wurden basierend auf dem FT-IR-Verfahren gemessen. Als Ergebnis wurden Kohlenstoffkonzentrationen, die gleich den berechneten Werten waren, erhalten, wie in der [Fig. 5](#) gezeigt. Darüber hinaus wurde bestätigt, dass der erhaltene Silizium-Einkristall zum Beispiel nicht mit einem Schwermetall verunreinigt und so hergestellt war, dass der ohne Problem frei von Versetzungen war.

(Vergleichsbeispiel 2)

[0043] Ein Silizium-Einkristall mit einem Durchmesser von 5 Zoll (125 mm) wurde unter denselben Bedingungen wie im Beispiel 2 wachsen gelassen, mit der Ausnahme, dass ein Material, das durch geeignetes (ungefähr 1 bis 3 mm) Zerkleinern eines mittels CIP gebildeten Materials erhalten wurde, als Kohlenstoffdotiermittel verwendet wurde. Nach dem vollständigen Schmelzen eines Silizium-Rohmaterials

wurde ein Einkristallkeim in eine Schmelze getaucht und es wurde versucht, einen Kristall zu ziehen, aber der Kristall zeigte eine Fehlordnung und es konnte kein Einkristall voller Länge erhalten werden. Es wurden waferförmige Proben von einem einkristallisierten Teil abgeschnitten und die Kohlenstoffkonzentrationen auf der Grundlage des FT-IR-Verfahrens gemessen. Als Resultat waren die Kohlenstoffkonzentrationen niedriger als die berechneten Werte. Es kann davon ausgegangen werden, dass dieses Ergebnis erhalten wurde, weil das mittels CIP gebildete Material eine schlechte Löslichkeit besitzt und in der Siliziumschmelze nicht vollständig geschmolzen wurde und ein nicht geschmolzener Teil davon in der Schmelze als Fremdstoff verblieb, wodurch die Einkristallisation behindert wurde.

[0044] Das Ergebnis des Beispiels 2 hat gezeigt, dass der Kohlenstoff während des Verfahrens zugegeben werden kann, selbst wenn eine Kohlenstoffdotiermenge nicht in der Anfangsphase bestimmt wird, um dann einen Kristall wie im Beispiel 1 zu ziehen. Zum Beispiel ist, wenn mehrere Einkristalle aus einem einzelnen Tiegel gezogen werden, eine zusätzliche Dotierung erforderlich, und das Durchführen einer zusätzlichen Dotierung durch Verwendung dieses Verfahrens ermöglicht das Aufrechterhalten der Homogenität einer Kohlenstoffkonzentration. Darüber hinaus zeigte im Vergleichsbeispiel 2, bei dem das mittels CIP gebildete Material als Dotiermittel verwendet wurde, der Kristall eine Fehlordnung und es wurde kein Einkristall voller Länge erhalten, während im Beispiel 2 der Silizium-Einkristall, bei dem keine Verunreinigung z. B. durch ein Schwermetall auftrat und der frei von Versetzungen war, ohne Problem erhalten wurde, da das geformte Material als Dotiermittel verwendet wurde. Bezogen auf diese Tatsache wurde bestätigt, dass die Verwendung des geformten Materials und nicht des mittels CIP geformten Materials als Dotiermittel sehr effektiv ist, wenn der mit Kohlenstoff dotierte Silizium-Einkristall wachsen gelassen wird.

[0045] Bezogen auf die oben beschriebenen Ergebnisse ist deutlich gemacht worden, dass die Verwendung des Verfahrens zum Wachsenlassen eines Silizium-Einkristalls gemäß der vorliegenden Erfindung das leichte Dotieren von Kohlenstoff in einen Silizium-Einkristall kostengünstig ermöglicht, wodurch der Silizium-Einkristall ohne Problem frei von Versetzungen wird und die Kohlenstoffkonzentration im Silizium-Einkristall präzise gesteuert wird. Weiterhin kann das zusätzliche Dotieren des Kohlenstoffs, das in der herkömmlichen Technik schwierig ist, ohne weiteres durchgeführt werden.

[0046] Es ist zu beachten, dass die vorliegende Erfindung nicht auf die vorstehende Ausführungsform beschränkt ist. Bei der vorstehenden Ausführungsform handelt es sich nur eine Veranschaulichung,

und alle Beispiele, die weitgehend denselben Aufbau haben und dieselben Wirkungen wie die in dem technischen Konzept zeigen, das in den Ansprüchen der vorliegenden Erfindung beschrieben ist, sind vom technischen Umfang der vorliegenden Erfindung umfasst.

[0047] In den obigen Ausführungen sind die Beispiele angegeben worden, bei denen das geformte Material als Dotiermittel für die Zugabe des Kohlenstoffs verwendet wird, aber dieselben Ergebnisse sind auch bei Verwendung eines extrudierten Materials erhalten worden.

Zusammenfassung

[0048] Die vorliegende Erfindung stellt ein Verfahren zum Wachsenlassen eines mit Kohlenstoff dotierten Silizium-Einkristalls zur Verfügung, bei dem ein Silizium-Einkristall aus einer in einem Tiegel befindlichen Rohmaterialschmelze, der Kohlenstoff zugeetzt wurde, mittels des Czochralski-Verfahrens wachsen gelassen wird, wobei ein extrudiertes Material oder ein geformtes Material als Dotiermittel verwendet wird, um den Kohlenstoff zu einem Rohmaterial im Tiegel zu geben. Als Ergebnis kann das Verfahren zum Wachsenlassen eines mit Kohlenstoff dotierten Silizium-Einkristalls zur Verfügung gestellt werden, durch das der Silizium-Einkristall leicht mit dem Kohlenstoff kostengünstig dotiert werden kann und eine Kohlenstoffkonzentration im Silizium-Einkristall in einem Silizium-Einkristallziehverfahren mittels des Czochralski-Verfahrens präzise gesteuert werden kann.

ZITATE ENthalTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP 11-302099 [0007]
- JP 2002-293691 [0007]
- JP 2003-146796 [0007]
- JP 11-312683 [0008]
- JP 2005-320203 [0009]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Wachsenlassen eines mit Kohlenstoff dotierten Silizium-Einkristalls, bei dem ein Silizium-Einkristall aus einer in einem Tiegel befindlichen Rohmaterialschmelze, der Kohlenstoff zugesetzt wurde, mittels des Czochralski-Verfahrens wachsen gelassen wird, wobei ein extrudiertes Material oder ein geformtes Material als Dotiermittel für die Zugabe des Kohlenstoffs zu einem Rohmaterial im Tiegel verwendet wird.

2. Verfahren zum Wachsenlassen eines mit Kohlenstoff dotierten Silizium-Einkristalls nach Anspruch 1, wobei das Dotiermittel, das aus dem extrudierten Material oder dem geformten Material besteht, durch Zerkleinern eines extrudierten Materials oder eines geformten Materials zu Körnern erhalten wird.

3. Verfahren zum Wachsenlassen eines mit Kohlenstoff dotierten Silizium-Einkristalls nach den Ansprüchen 1 und 2, wobei das Dotiermittel zusammen mit einem Silizium-Rohmaterial in den Tiegel gegeben und dann das Rohmaterial geschmolzen wird, um den Einkristall wachsen zu lassen.

4. Verfahren zum Wachsenlassen eines mit Kohlenstoff dotierten Silizium-Einkristalls nach den Ansprüchen 1 und 2, wobei das Dotiermittel von oben in den ein Silizium-Rohmaterial oder die Schmelze enthaltenden Tiegel gegeben wird und dann der Einkristall wachsen gelassen wird.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

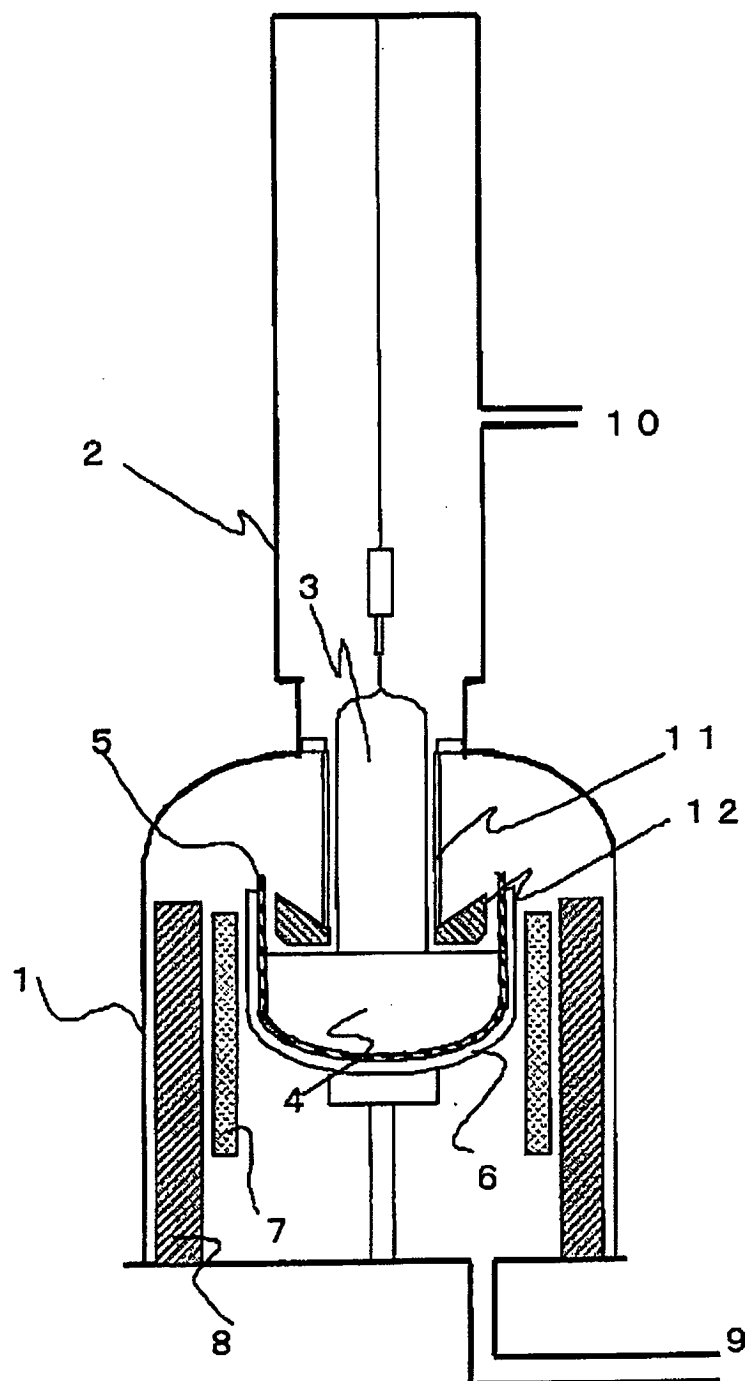


Fig. 2

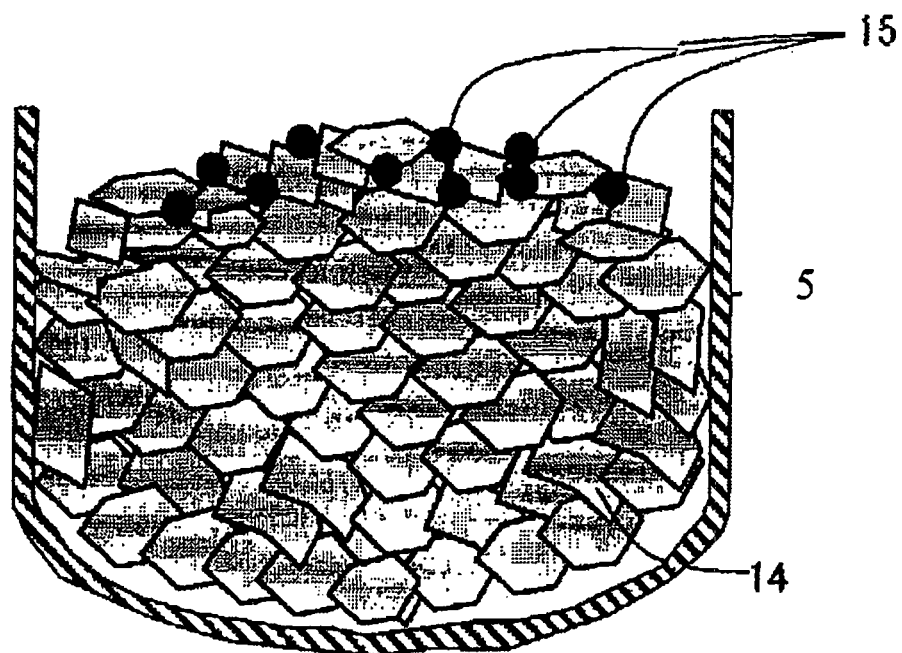


Fig. 3

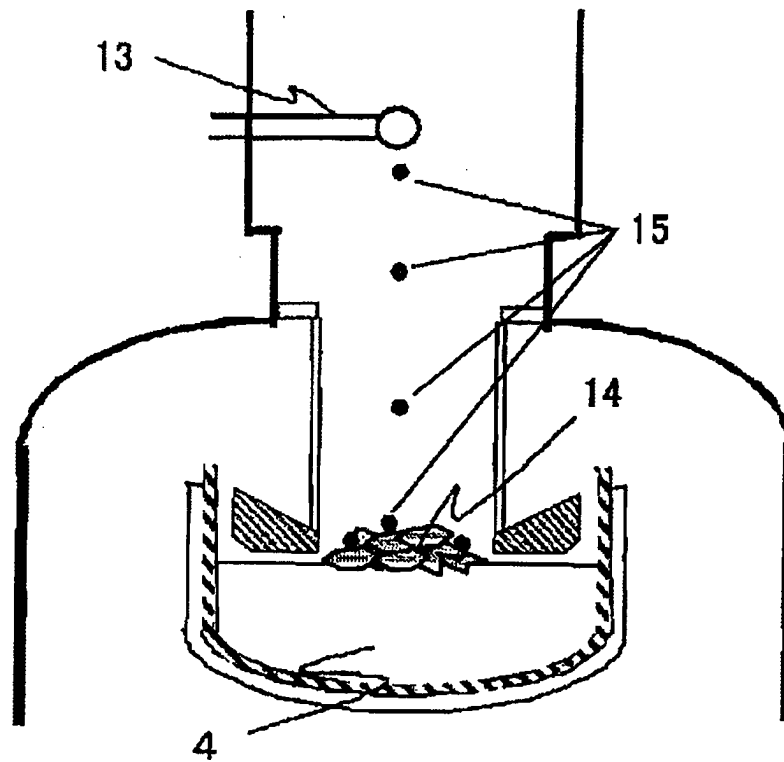
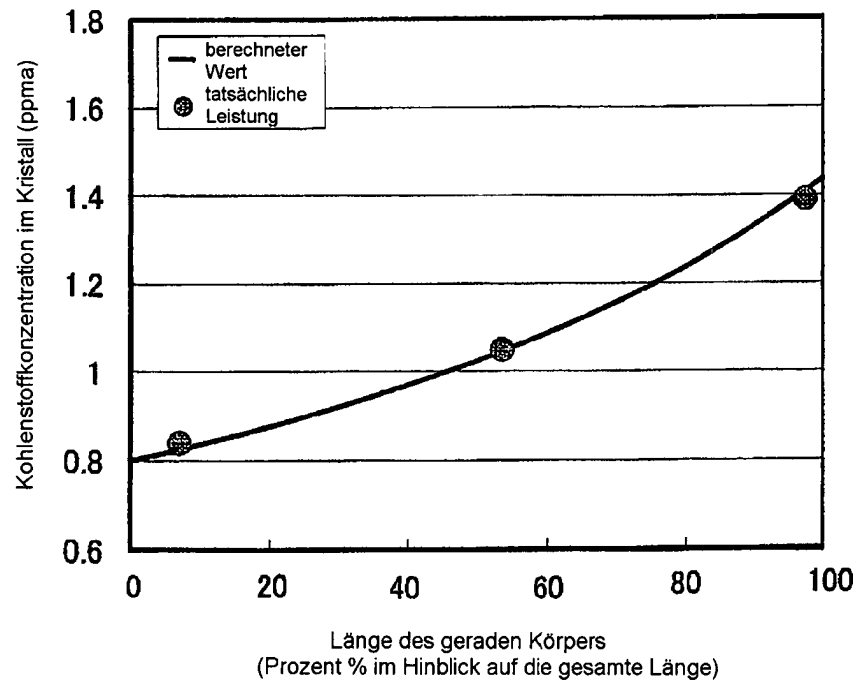


Fig. 4**Fig. 5**