



(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2014 005 230.2**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2014/005680**  
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2015/087485**  
(86) PCT-Anmeldetag: **12.11.2014**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **18.06.2015**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **18.08.2016**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **30.04.2025**

(51) Int Cl.: **H01L 21/66** (2006.01)  
**G01N 27/00** (2006.01)  
**G01N 27/04** (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

<p>(30) Unionspriorität: <b>2013/255250</b>      <b>10.12.2013</b>      <b>JP</b></p> <p>(73) Patentinhaber: <b>Shin-Etsu Handotai Co., Ltd., Tokyo, JP</b></p> <p>(74) Vertreter: <b>Wuesthoff &amp; Wuesthoff Patentanwälte und Rechtsanwalt PartG mbB, 81541 München, DE</b></p> <p>(72) Erfinder: <b>Kamada, Hiroyuki, Fukushima, JP; Hoshi, Ryoji, Fukushima, JP</b></p>	<p>(56) Ermittelter Stand der Technik:  <b>JP</b>      <b>2012- 199 299</b>      <b>A</b></p> <p><b>SIEMIENIEC, R: Irradiation-Induced Deep Levels in Silicon for Power Device Tailoring. In: Journal of The Electrochemical Society, Vol. 153, 2006, No. 2, S. G108-G118 - DOI: 10.1149/ 1.2137649</b></p>
---	---

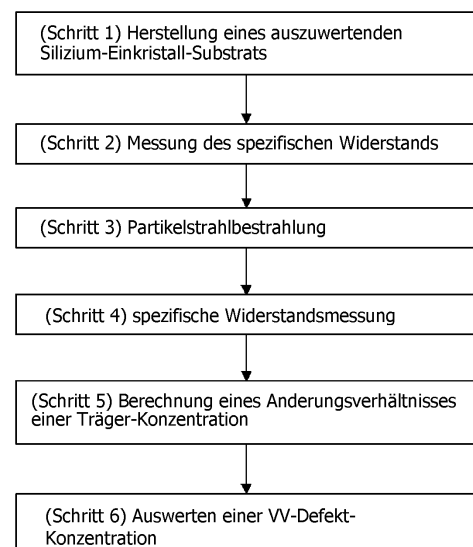
(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Auswertung der Konzentration eines Defekts in einem Silizium-Einkristall-Substrat**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Auswertung einer Konzentration eines Defekts in einem Silizium-Einkristall-Substrat, wobei der Defekt durch Partikelstrahlbestrahlung in dem Silizium-Einkristall-Substrat gebildet wird, umfassend die Schritte von:

Messen eines spezifischen Widerstands des Silizium-Einkristall-Substrats, gefolgt durch Bestrahlung des Silizium-Einkristall-Substrats mit dem Partikelstrahl, erneutes Messen des spezifischen Widerstands des Silizium-Einkristall-Substrats nach der Bestrahlung;

Bestimmen jeder Träger-Konzentration in dem Silizium-Einkristall-Substrat vor und nach der Bestrahlung auf der Basis der gemessenen Ergebnisse des spezifischen Widerstands vor und nach der Partikelstrahlbestrahlung, um ein Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration zu berechnen; und

Auswerten einer Konzentration eines W-Defekts auf der Basis des Änderungsverhältnisses der Träger-Konzentration, wobei der VV-Defekt aus einer Siliziumatomvakanze in einem Frenkel-Paar besteht, gebildet durch die Partikelstrahlbestrahlung in dem Silizium-Einkristall-Substrat und einer anderen Siliziumatomvakanze.



**Beschreibung**

## Technisches Gebiet

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Auswerten einer Konzentration eines Kristalldefekts, der in ein Silizium-Einkristall-Substrat durch Bestrahlung mit einem Teilchenstrahl bestehend aus einem Elektron, einem Ion, etc., eingeführt wurde.

## Stand der Technik

**[0002]** In dem Herstellungsverfahren von Halbleitervorrichtungen, so wie beispielsweise PN-Dioden oder IGBTs, kann Bestrahlung mit einem Elektronenstrahl oder unterschiedlichen Teilchenstrahlen, so wie beispielsweise einem Protonenstrahl und einem Helium-Ionenstrahl, durchgeführt werden, um deren Träger-Lebensdauer zu kontrollieren. Beispielsweise offenbart Patentdokument D1 eine PN-Diode, in der Kristalldefekte nahe der Grenzfläche zwischen dem PN-Übergang durch Implantieren von Protonen gebildet werden. Bestrahlung von Silizium-Kristallen mit einem Partikelstrahl führt Kristalldefekte ein und verringert die Träger-Lebensdauer entsprechend. Eine gewünschte Lebensdauer kann durch Kontrollieren der Bestrahlungsmenge erhalten werden.

**[0003]** Patentdokument 2 bezieht sich auf ein Verfahren zur Messung des Wertes der Lebensdauer eines Wafers nach der Elektronenstrahlbestrahlung und insbesondere auf ein Messverfahren zur einfachen Berechnung des Wertes der Lebensdauer nach der Elektronenstrahlbestrahlung.

**[0004]** Das Folgende ist ein Verfahren zum Bilden eines Defekts in einem Silizium-Einkristall mit Partikelstrahl-Bestrahlung. Zunächst, wenn Partikelstrahlen eingesetzt werden, springen Siliziumatome, die einen Kristall bilden, aus der Gitterposition, um interstitielle Siliziumatome (I) und Monovakanzen (V) zu bilden. Dieses Paar an interstitiellem Silizium und der Monovakanze wird als ein Frenkel-Paar bezeichnet.

**[0005]** Ein Teil der interstitiellen Siliziumatome wird durch ein Kohlenstoffatom Cs ersetzt, welches an der Gitterposition existiert, um einen interstitiellen Kohlenstoff Ci zu bilden. Dieser interstitielle Kohlenstoff ist instabil und bindet folglich an einen interstitiellen Sauerstoff oder einen anderen Ersatzkohlenstoff, um einen Kompositdefekt, wie beispielsweise einen CiOi bzw. CiCs, zu bilden. Es wird angenommen, dass der Rest der interstitiellen Siliziumatome durch Agglomerieren mit anderen interstitiellen Siliziumatomen Cluster bilden, in den Kristallen intakt bleiben, oder wiederum mit Monovakanzen binden, um wieder zu verschwinden.

**[0006]** Es ist bekannt, dass diese Defekte aufgrund interstitieller Kohlenstoffatome, so wie beispielsweise als CiOi bzw. CiCs durch Photolumineszenz (PL) oder Kathoden-Lumineszenz (CL) detekt werden können und durch die Sauerstoffkonzentration oder Kohlenstoffkonzentration in dem Kristall beeinflusst werden (Nicht-Patentdokument 1).

**[0007]** Andererseits wird angenommen, dass die Monovakanze in dem Frenkel-Paar in einen stabilen Zustand kommt, wenn sich die Monovakanze in einer bestimmten Position mit einer anderen Monovakanze befindet, und viele von diesen bilden W-Defekte, bestehend aus zwei Silizium-Atom-Vakanzen. Es gibt ein Beispiel zum Auswerten dieses Defekts durch Elektronen-Spin-Resonanz (ESR)-Analyse (Nicht-Patentdokument 2).

**[0008]** Nicht-Patentdokument 3 liefert eine Übersicht über die Eigenschaften von durch Bestrahlung verursachten Defekten, die für die Anpassung der Eigenschaften von Leistungsbauelementen wichtig sind.

## Zitatliste

## Patentliteratur

Patentdokument 1: Japanische ungeprüfte Patentveröffentlichung (Kokai) JP H08 - 102 545 A

Patentdokument 2: JP 2012- 199 299 A

Nicht-Patentdokument 1: M. Nakamura et al., J. Electrochem. Soc., Vol. 141, No. 12, 3576 (1994)

Nicht-Patentdokument 2: S. Ishino, „shousha sonshou“, University of Tokyo Press (1979), S. 178-183

Nicht-Patentdokument 3: SIEMIENIEC, R: Irradiation-Induced Deep Levels in Silicon for Power Device Tailoring, Journal of The Electrochemical Society, J. Electrochem. Soc. 153 (2), G108-G118, 2005, DOI: 10.1149/1.2137649.

## Zusammenfassung der Erfindung

### Technisches Problem

**[0009]** Wie oben beschrieben, wird der Kristalldefekt, aufgrund von Bestrahlung, zu einer Träger-Falle und spielt eine wichtige Rolle bei der Verringerung der Lebensdauer. Obwohl diese Mengen in Stromgeneratoren, etc. kontrolliert werden müssen, um die Lebensdauer auf einen angebrachten Wert einzustellen, gab es ein Problem dahingehend, dass die gebildete Menge an VV-Defekten schwer quantitativ ausgewertet werden kann im Vergleich zu den Defekten, die sich auf Kohlenstoff beziehen, welche zu einem gewissen Maße durch Auswertungsverfahren, so wie beispielsweise CL, quantifiziert werden können.

**[0010]** Die vorliegende Erfindung wurde im Hinblick auf die oben beschriebenen Probleme fertiggestellt. Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren bereitzustellen, welches eine Konzentration eines W-Defekts, gebildet durch Partikelstrahlbestrahlung in dem Silizium-Einkristall-Substrat, einfach auswertet.

### Lösung des Problems

**[0011]** Um die Probleme zu lösen, stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Auswerten einer Konzentration eines Defekts in einem Silizium-Einkristall-Substrat bereit, wobei der Defekt durch Partikelstrahlbestrahlung in dem Silizium-Einkristall-Substrat gebildet wurde, umfassend die Schritte von: Messen des spezifischen Widerstands des Silizium-Einkristall-Substrats, gefolgt von Bestrahlen des Silizium-Einkristall-Substrats mit dem Partikelstrahl, erneutes Messen des spezifischen Widerstands des Silizium-Einkristall-Substrats nach der Bestrahlung; Bestimmen jeder Träger-Konzentration in dem Silizium-Einkristall-Substrat vor und nach der Bestrahlung auf der Basis der gemessenen Ergebnisse des spezifischen Widerstands vor und nach der Partikelstrahlbestrahlung, um ein Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration zu berechnen; und Auswerten einer Konzentration eines W-Defekts auf der Basis des Änderungsverhältnisses der Träger-Konzentration, wobei der VV-Defekt aus einer Siliziumatomleerstelle besteht und durch die Partikelstrahlbestrahlung in dem Silizium-Einkristall-Substrat gebildet wird.

**[0012]** Wie oben beschrieben, kann die vorliegende Erfindung die VV-Defekt-Konzentration auf der Basis der Messung der spezifischen Widerstände vor und nach der Partikelstrahlbestrahlung und des Änderungsverhältnisses der Träger-Konzentration, erhalten durch die Messung der spezifischen Widerstände, auswerten und stellt folglich ein sehr einfaches Auswertungsverfahren dar. Des Weiteren ist es möglich, das Verhältnis der VV-Defektkonzentration zu einer Bestrahlungsmenge mit einem Laserstrahl oder einer Kristallqualität (so wie beispielsweise eine Sauerstoffkonzentration) aus dem Auswertungsergebnis zu erhalten.

**[0013]** Der Partikelstrahl zum Bestrahlen des Silizium-Einkristall-Substrats kann bestehen aus einem Elektron oder einem Ion.

**[0014]** Eine derartige Partikelstrahlbestrahlung ermöglicht die Bildung eines Frenkel-Paars und eines W-Defekts aufgrund einer Monovakanze V des Frenkelpaars in einem Silizium-Einkristall-Substrat.

**[0015]** Eine in dem Silizium-Einkristall-Substrat enthaltene Dotier-Verunreinigung, kann jegliche von Phosphor, Arsen und Antimon sein.

**[0016]** Unter Verwendung dieser Dotier-Verunreinigungen, von denen jede den gleichen oder einen größeren Atomradius im Vergleich zu Silizium aufweist und einen Komplex mit einer zu stabilisierenden Monovakanze bilden kann, kann die Auswertung der VV-Defektkonzentration unter Verwendung des Änderungsverhältnisses der Träger-Konzentration noch sicherer durchgeführt werden.

**[0017]** Es ist auch möglich, dass das erfindungsgemäße Verfahren weiterhin die Schritte umfasst von: Herstellen eines Silizium-Einkristall-Substrats für die Voruntersuchung mit einer vorausgewerteten Konzentration des W-Defekts separat von dem auszuwertenden Silizium-Einkristall-Substrat; Bestimmen einer Korrelation auf Basis der vorausgewählten Konzentration des W-Defekts und eines Änderungsverhältnisses der Träger-Konzentration vor und nach der Partikelstrahlbestrahlung hinsichtlich des Silizium-Einkristall-Substrats für

die Voruntersuchung; und Bestrahlen des auszuwertenden Silizium-Einkristall-Substrats mit dem Partikelstrahl, um die Konzentration des W-Defekts unter Verwendung der Korrelation auszuwerten.

**[0018]** Unter Verwendung eines Ergebnisses von einer derartigen Voruntersuchung, kann die relative Auswertung der VV-Defektkonzentration in dem Silizium-Einkristall-Substrat noch einfacher durchgeführt werden.

#### Vorteilhafte Effekte der Erfindung

**[0019]** Wie oben beschrieben, ist es durch die vorliegende Erfindung möglich, die Konzentration der W-Defekte aufgrund Partikelstrahlbestrahlung auf einfache Weise auszuwerten und das Verhältnis der VV-Defektkonzentration zu einer Bestrahlungsmenge des Partikelstrahls oder eine Kristallqualität zu erhalten. Diese ermöglicht es, eine erforderliche Bestrahlungsmenge oder eine Kristallqualität noch einfacher zu erfassen, um die Lebensdauer eines Silizium-Einkristall-Substrats auf einen bestimmten Wert hin zu kontrollieren.

#### Kurzbeschreibung der Zeichnungen

**Fig. 1** ist ein Fließschema, das ein Beispiel der Schritte des Verfahrens zum Auswerten einer Defektkonzentration in einem Silizium-Einkristall-Substrat der vorliegenden Erfindung zeigt;

**Fig. 2** ist ein Graph, der ein Verhältnis zwischen einem Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration und einer Sauerstoff-Konzentration zeigt;

**Fig. 3** ist ein Graph, der ein Verhältnis zwischen dem Änderungsverhältnis einer Träger-Konzentration und einer Bestrahlungsmenge mit einem Elektronenstrahl zeigt und

**Fig. 4** ist ein Fließschema, das ein anderes Beispiel der Schritte des Verfahrens zum Auswerten einer Defektkonzentration in einem Silizium-Einkristall-Substrat der vorliegenden Erfindung zeigt.

#### Beschreibung der Ausführungsformen

**[0020]** Die Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird im Nachfolgenden erklärt, jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht darauf beschränkt.

**[0021]** Zuerst wird beschrieben werden, wie die Erfinder die vorliegende Erfindung vervollständigt haben.

**[0022]** Wie oben beschrieben, wurde früher angenommen, dass viele der Vs (Monovakanzen) der Frenkel-Paare, die durch Partikelstrahlbestrahlung gebildet wurden, W-Defekte bilden. Jedoch haben die vorliegenden Erfinder sorgfältige Untersuchungen angestellt und herausgefunden, dass die Vs hauptsächlich drei Reaktionen mit sich bringen (1)  $V+O \rightarrow VO$ , (2)  $V+X \rightarrow VX$ , und (3)  $V+V \rightarrow VV$ . In diesen Formeln stellt O ein Sauerstoffatom dar, X stellt ein Dotieratom dar.

**[0023]** Hierin wird die Menge von jedem Verunreinigungselement und Defekt an einem N-Typ-Siliziumsubstrat bestimmt werden, wobei die Lebensdauer bezüglich IGBT kontrolliert wird. Die Sauerstoffkonzentration ist in einer Größenordnung von der 17. Potenz zu der 18. Potenz pro  $1 \text{ cm}^3$ , beispielsweise wenn durch ein CZ-Verfahren hergestellt; und sie ist näherungsweise am oberen Ende der 15. Potenz zu der 16. Potenz pro  $1 \text{ cm}^3$  in einem FZ-Verfahren, obwohl dies von der Sauerstoffkonzentration des Rohmaterials abhängt. Die Dotiermittelkonzentration wird  $5 \times 10^{14} \text{ Atome/cm}^3$  oder weniger der Phosphorkonzentration sein, beispielsweise wenn man annimmt, dass der Bereich für den spezifischen Widerstand, der im allgemeinen als IGBT verwendet wird  $10 \text{ } \Omega\text{cm}$  oder mehr sein wird. Obwohl sich die gebildete Menge an Monovakanzen stark unterscheidet basierend auf der Bestrahlungsmenge mit einem Partikelstrahl und schwierig auszuwerten ist, wird hierin ein Beispiel angenommen in einer Art, dass die Bestrahlung so durchgeführt wird, um näherungsweise  $1 \times 10^{13}$  bis  $1 \times 10^{15} / \text{cm}^3$  an Frenkel-Paaren in einem Kristall zu bilden.

**[0024]** Unter der vorgenannten Bedingung tritt die Reaktion von (1) vorzugsweise auf, da die Sauerstoffkonzentration ausreichend hoch ist bezüglich der Phosphorkonzentration [P] oder der V-Konzentration [V]. Die Reaktionen (2) und (3) treten in dem verbleibenden V auf. Das bedeutet, dass die Reaktion (1) geeigneterweise auftritt und, im Gegensatz dazu, die Reaktionen von (2) und (3) schwerlich auftreten, in einem Kristall mit einer hohen Sauerstoffkonzentration; in einem Kristall mit einer niedrigen Sauerstoffkonzentration treten die Reaktionen (2) und (3) geeigneterweise anstelle der Reaktion (1), welche unterdrückt ist, auf. In dem VP und dem VV, welche Produkte der Reaktionen (2) und (3) sind, wird angenommen, dass die Konzentrationen [VP] und [VV] bestimmt werden abhängig von der verbleibenden VV-Konzentration [verbleibend V] ([verblei-

bende V]  $\propto$  [VP], [verbleibende V]  $\propto$  [VV]), und deshalb ist es möglich, dies auf einfache Weise darzustellen als [verbleibende V]  $\propto$  [VP]  $\propto$  [VV].

**[0025]** Andererseits wird berichtet, dass VP bei einer Position von näherungsweise 0.45 eV einen Spiegel von unterhalb der Silizium-Leitungs-Bindung durch Analyse von DLTS (Kapazitäts-Transienten-Spektroskopie, Deep Level Transient Spectroscopy), und daher als N-Typ Dotiermittel nicht funktioniert. Das bedeutet, dass der spezifische Widerstand eines Siliziumsubstrats ansteigt, wenn die VP-Menge gebildet wird und folglich das [VP] durch Messung eines Änderungsverhältnisses der Träger-Konzentration vor und nach der Bestrahlung ausgewertet werden kann. Daher kann das [VV] auf einfache Weise ausgewertet werden als [VV]  $\propto$  [VP]  $\propto$  Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration.

**[0026]** Die vorliegenden Erfinder haben das vorangegangene herausgefunden und dadurch die vorliegende Erfindung zur Vollständigkeit gebracht.

**[0027]** Die vorliegende Erfindung wird genauer mit Bezug auf die Figuren nachfolgend beschrieben, jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht darauf beschränkt.

#### <Erste Ausführungsform>

**[0028]** Fig. 1 zeigt ein Beispiel der Schritte des Verfahrens zum Auswerten einer Defektkonzentration in einem Silizium-Einkristall-Substrat der vorliegenden Erfindung. (Schritt 1: Herstellung eines auszuwertenden Silizium-Einkristall-Substrats) Zuerst wird ein auszuwertendes Silizium-Einkristall-Substrat (gelegentlich der Einfachheit halber im Nachfolgenden bezeichnet als ein Wafer) hergestellt. Der Silizium-Einkristallingot als ein Rohmaterial des Wafers kann durch irgendeines der Verfahren von einem Floating-Zonen-Verfahren (FZ-Verfahren) und einem Czochralski-Verfahren (CZ-Verfahren) hergestellt werden. Die Dicke oder das Verfahren zur Oberflächenbehandlung des Wafers ist nicht besonders beschränkt.

**[0029]** Die Sauerstoffkonzentration des Wafers, obwohl sie nicht besonders limitiert ist, kann beispielsweise auf näherungsweise  $5 \times 10^{15}$  bis  $2 \times 10^{18}$  Atome/cm<sup>3</sup> eingestellt werden, was in einem Bereich eines Wafers liegt, der allgemein durch ein FZ-Verfahren oder ein CZ-Verfahren hergestellt wurde. In einem derartigen Bereich kann die erfindungsgemäße Auswertungsmethode effektiv verwendet werden, da der vorstehende Mechanismus der Defektbildung, der durch die vorliegende Erfinder gefunden wurde, dazu tendiert valide zu sein, obwohl er von der Dotiermittel-Konzentration und so weiter abhängt.

**[0030]** Der Leitfähigkeits-Typ des Siliziums kann ein N-Typ sein, dotiert mit beispielsweise irgendeinem von Phosphor, Arsen und Antimon, obwohl er nicht besonders limitiert ist. Die Dotiermittel-Konzentration in dem Kristall kann  $5 \times 10^{14}$  Atome/cm<sup>3</sup> oder weniger betragen. Diese entspricht dem mit einem spezifischen Widerstand von näherungsweise 10  $\Omega$ cm oder mehr im Fall von Phosphordotierung.

**[0031]** Bezüglich einer Reaktion einer Monovakanze mit einem Dotieratom bildet das Dotieratom einen Komplex mit der zu stabilisierenden Monovakanze, wenn der Atomradius gleich oder größer ist im Vergleich mit Silizium. Andererseits bildet es einen Komplex mit einem zu stabilisierenden interstitiellen Silizium, wenn der Atomradius kleiner als Silizium ist. Folglich kann das Dotieratom noch sicherer einen Komposit-Effekt mit der Monovakanze ausbilden in einem Fall der vorangegangenen Elemente, wie beispielsweise Phosphor, Arsen und Antimon, und der vorstehende Mechanismus neigt dazu aufzutreten im Vergleich zu einem Fall eines Elements mit einem relativen kleinen Atomradius, wie beispielsweise Bor.

**[0032]** Wie oben beschrieben, ist der Grund dafür, dass die vorstehenden Beispiele als eine Dotierspezies oder ein Bereich der Konzentration davon gelistet sind, dass der Mechanismus der Defektbildung dazu neigt noch gültiger zu sein wie bezüglich der vorstehenden Sauerstoffkonzentration erklärt. Im Nachfolgenden wird die Phosphordotierung als ein Beispiel erklärt werden.

**[0033]** Der Wafer kann mit Stickstoff dotiert sein oder auch nicht. Die Kohlenstoffkonzentration ist auch nicht besonders limitiert. Dies kommt daher, dass Stickstoff und Kohlenstoff angenommen werden nicht zu der Reaktion einer Monovakanze V von Si beizutragen. Jedoch ändert die Menge an Kohlenstoff die Defektmenge bezogen auf Kohlenstoff aufgrund eines interstitiellen Siliziums I. Folglich kann eine noch genauere Auswertung erhalten werden, falls dieser Einfluss berücksichtigt wird, wenn die erfindungsgemäße Defektauswertung auf die Vorrichtungseigenschaften bezogen wird.

## (Schritt 2: Messung des spezifischen Widerstands)

**[0034]** An dem vorstehenden Wafer wird der spezifische Widerstand gemessen. Jedoch kann ein thermischer Donor oder ein NO-Donor erzeugt werden, wenn Sauerstoff oder Stickstoff in dem Wafer enthalten ist. Um eine Abweichung des spezifischen Widerstands von dem intrinsischen Wert aufgrund des Donors zu verhindern, ist es vorher bevorzugt, eine Donor-Annihilations-Wärmebehandlung durchzuführen. Beispielsweise kann in einem Fall eines CZ-Wafers ohne Stickstoffdotierung der thermische Donor beispielsweise durch Anwenden einer Wärmebehandlung von 650 °C für ca. 20 Minuten ausreichend annihiliert werden.

**[0035]** Bezüglich des Verfahrens zur Messung des spezifischen Widerstands ist die Verwendung einer Vierpunkt-Sondenmethode einfach und bevorzugt, wenn ein Elektronenstrahl in der nachfolgenden Partikelstrahlbestrahlung verwendet wird, jedoch ist die Messmethode nicht darauf limitiert. Insbesondere in dem Fall der Verwendung eines Ionenstrahls der ein anderer als ein Elektronenstrahl ist, neigen die Defekte in einem Wafer aufgrund Bestrahlung dazu, sich in einer bestimmten Tiefe anzuordnen im Vergleich zu dem Fall der Verwendung eines Elektronenstrahls. In diesem Fall ist es bevorzugt, ein Messverfahren anzuwenden, welches die Verteilung entlang der Tiefenrichtung untersucht, so wie beispielsweise eine Ausbreitungswiderstands (spreading resistance, SR)-Messung nach einer Winkelpolierung. Wie oben beschrieben, kann das Messverfahren geeigneterweise bestimmt werden gemäß der Bestrahlungsbedingung und so weiter.

## (Schritt 3: Partikelbestrahlung)

**[0036]** Dann wird der Wafer mit einem Partikelstrahl bestrahlt. Der Partikelstrahl kann bestehen aus einem Elektron oder einem Ion. Diese Bestrahlung bildet Kristalldefekte (Frenkel-Paar und VV-Defekt aufgrund der Monovakanze davon, etc.) in dem Silizium-Einkristall. Die Bestrahlungsbedingung des Partikelstrahls ist nicht besonders limitiert und die Bestrahlungsmenge kann geeigneterweise derart angepasst werden, dass eine geeignete Menge an Frenkel-Paaren gebildet werden und der vorstehende Mechanismus gültig ist. Obwohl es schwierig ist, eine Vakanz-Konzentration aus der Bestrahlungsmenge zu berechnen, ist es bei einer Elektronenstrahlbestrahlung bevorzugt die Bestrahlungsmenge auf  $1 \times 10^{16} / \text{cm}^2$  oder weniger bei einer Beschleunigungsspannung von 2 MV einzustellen.

## (Schritt 4: Messung des spezifischen Widerstands)

**[0037]** Dann wird der spezifische Widerstand wiederum gemessen auf dem Wafer nach Bestrahlung mit einem Partikelstrahl.

**[0038]** Bei der tatsächlichen Verwendung als eine Vorrichtung, wird nach der Bestrahlung üblicherweise ein Tempern durchgeführt, um nutzlose Schäden zu entfernen. Jedoch ist die Wärmebehandlung in diesem Fall unnötig, da der Zweck die Evaluierung des Schadens ist. Jedoch ist es selbstverständlich, dass es auch möglich ist die Wärmebehandlung durchzuführen, falls Bedarf entsteht.

## (Schritt 5: Berechnung eines Änderungsverhältnisses der Träger-Konzentration)

**[0039]** Auf der Basis der spezifischen Widerstände vor und nach der Bestrahlung werden die Träger-Konzentrationen vor und nach der Bestrahlung unter Verwendung einer Irvin-Kurve und so weiter berechnet und des Weiteren das Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration berechnet. Das Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration kann beispielsweise durch die folgende Gleichung bestimmt werden.

$$\text{Änderungsverhältnis der Träger - Konzentration} = ([n]_f - [n]_i) / [n]_i \times 100$$

Hierbei ist  $[n]_i$  eine Träger-Konzentration vor der Bestrahlung und  $[n]_f$  ist eine Träger-Konzentration nach der Bestrahlung.

## (Schritt 6: Auswertung der VV-Defektkonzentration)

**[0040]** Unter Verwendung des Änderungsverhältnisses der Träger-Konzentration, wie oben beschrieben berechnet, wird die VV-Defektkonzentration ausgewertet.

**[0041]** Hierin wird ein Verhältnis zwischen dem Änderungsverhältnis einer Träger-Konzentration und einer Sauerstoffkonzentration oder einer Bestrahlungsmenge des Partikelstrahls zuerst erklärt.

**[0042]** Fig. 2 zeigt eine Korrelation zwischen einer Sauerstoffkonzentration und einem Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration. Dies ist das Ergebnis des Durchführens einer Bestrahlung mit einem Elektronenstrahl von  $6 \times 10^{14}$  /cm<sup>2</sup> von jedem der phosphordotierten N-Typ-Wafer (spezifischer Widerstand: näherungsweise 60  $\Omega$ cm) mit verschiedensten Sauerstoffkonzentrationen, hergestellt durch ein FZ-Verfahren und ein CZ-Verfahren.

**[0043]** Wie durch diese Fig. 2 gezeigt wird, wird das Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration kleiner, wenn die Sauerstoffkonzentration höher wird. Dies zeigt an, dass mehr Monovakanzen Vs durch Sauerstoff konsumiert werden, wenn die Sauerstoffkonzentration höher wird und folglich die Monovakanzen schwerlich den Komplex PV mit Phosphor bilden gemäß den vorstehenden Erwägungen durch die vorliegenden Erfinder.

**[0044]** Fig. 3 zeigt eine Korrelation zwischen einer Bestrahlungsmenge eines Elektronenstrahls und einem Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration. Alle Sauerstoffkonzentrationen der Wafer sind  $6 \times 10^{15}$  Atome/ cm<sup>3</sup>.

**[0045]** Basierend auf dieser Fig. 3 kann die Aussage gemacht werden, dass die Defektanzahl ansteigt und die Träger-Konzentration sich stärker ändert, wenn die Bestrahlungsmenge des Elektronenstrahls ansteigt.

**[0046]** Wie in Fig. 2 und Fig. 3 gezeigt, ändert sich die Bestrahlungsmenge des Teilchenstrahls in Abhängigkeit der Sauerstoffkonzentration und der Bestrahlungsmenge des Teilchenstrahls. Hierin wird angenommen, dass  $[VP] \propto [VV]$  wie oben beschrieben, und folglich kann indirekt verstanden werden, dass in einem Wafer mit einem größeren Änderungsverhältnis in der Träger-Konzentration mehr W-Defekte gebildet werden. Wie oben beschrieben, ist es möglich, die VV-Defektkonzentration auf einfache Weise unter Verwendung des Änderungsverhältnisses der Träger-Konzentration zu bestimmen. Obwohl der spezifische Wert für die VV-Defektkonzentration nicht bestimmt wird, kann eine relative VV-Defektkonzentration zwischen allen Proben ausgewertet werden.

**[0047]** Durch Erhalten von Daten im Voraus um eine Beziehung einer Sauerstoffkonzentration oder einer Bestrahlungsmenge eines Partikelstrahls mit einem Änderungsverhältnis einer Träger-Konzentration, die in Beziehung mit einer VV-Defektkonzentration steht, zu zeigen, ist es möglich ein Verhältnis davon mit der VV-Defektkonzentration zu erfassen. Dies ermöglicht es, auszuwerten wieviel Bestrahlungsmenge notwendig ist, um den Bestrahlungsschaden äquivalent zu machen, wenn die Sauerstoffkonzentration eines Wafers beispielsweise geändert wird.

**[0048]** Es wird angenommen, dass bestimmte Arten an Verunreinigungen die Bildung eines Bestrahlungsdefekts beeinflussen kann, wenn sie in den Wafer zusätzlich zu dem vorstehenden Beispiel von Kohlenstoff enthalten sind. Folglich ist es möglich, eine noch präzisere Auswertung durch Einschließen eines Schritts des Betrachtens des Einflusses dieser Verunreinigungen durchzuführen, falls Bedarf entsteht, wenn ein Wafer enthaltend eine hohe Konzentration an Verunreinigungen, welche in der vorangegangenen Ausführungsform nicht berücksichtigt werden oder ein Wafer mit einer hohen Verunreinigungskonzentration, welche sich unter den Proben stark unterscheidet, ausgewertet wird. Diese Betrachtung kann geeigneterweise gemäß der Auswertungspräzision, den Kosten, der Zeit und dem Aufwand durchgeführt werden.

#### <Zweite Ausführungsform>

**[0049]** Als eine andere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist es möglich, eine Voruntersuchung vor der Auswertung eines tatsächlich auszuwertenden Silizium-Einkristall-Substrats durchzuführen. Fig. 4 zeigt ein Beispiel der Schritte der zweiten Ausführungsform.

#### [Voruntersuchung]

(Schritt 1: Herstellung eines Silizium-Einkristall-Substrats für die Voruntersuchung)

**[0050]** Zuerst wird ein Silizium-Einkristall-Substrat für die Voruntersuchung (gelegentlich der Einfachheit halber im Nachfolgenden als Voruntersuchungs-Wafer bezeichnet) hergestellt. Als diesen Voruntersuchungs-Wafer kann man beispielsweise die gleiche Art eines Wafers wie der zu untersuchende Wafer, der später hergestellt wird, verwenden mit der Ausnahme, dass die VV-Defekt-Konzentration bereits untersucht wurde. Die Details, so wie beispielsweise Sauerstoffkonzentration, können wie beispielsweise in der ersten Ausführungsform bestimmt werden. Hierin wird dies durch Veranschaulichung eines Beispiels zur Herstellung einer Viel-

zahl von Voruntersuchungs-Wafern mit der gleichen Sauerstoffkonzentration, Dotiermittel-Spezies, spezifischen Widerstand, etc. mit einem auszuwertenden Wafer erklärt, jedoch ist die Zahl nicht besonders beschränkt.

(Schritt 1': Auswertung der VV-Defekt-Konzentration unter Verwendung des gleichen Silizium-Einkristall-Substrats als Voruntersuchung)

**[0051]** Es ist schwierig, die Menge der VV-Defekt-Konzentration direkt zu bestimmen. Dann ist es möglich, die VV-Defekt-Konzentration in dem Voruntersuchungs-Wafer vorher und indirekt auf der Basis der Erholungseigenschaft einer Diode, hergestellt in dem Herstellungsschritt durch Bestrahlen mit einem Partikelstrahl unter der gleichen Bedingung wie in dem Partikelstrahlbestrahlungsschritt von Schritt 3 in einer Voruntersuchung, wie später beschrieben, auszuwerten, unter Verwendung der gleichen Art des Wafers als einem Voruntersuchungs-Wafer. Da ein VV-Defekt in einem Wafer als Rekombinierungszentrum von Trägern dient, bewirken mehr VV-Defekt-Konzentration-Defekte eine kürzere Annihilierungszeit und eine verbesserte Erholungseigenschaft. Folglich wird angenommen, dass die Erholungseigenschaft die Menge an gebildeten VV-Defekten darstellt.

**[0052]** Hierin werden Dioden unter Ändern der Bestrahlungsmenge für eine Anzahl an Voruntersuchungs-Wafer hergestellt und in jeder dieser Dioden wird vorher eine Erholungseigenschaft bestimmt als ein Anzeichen der VV-Defekt-Konzentration in einem Voruntersuchungs-Wafer.

**[0053]** Es ist selbstverständlich möglich, andere Parameter als die Erholungseigenschaft zu verwenden, welche der VV-Defekt-Konzentration entsprechen.

(Schritt 2 bis Schritt 5: Spezifische Widerstandsmessung zur Berechnung des Änderungsverhältnisses der Träger-Konzentration)

**[0054]** An jedem Voruntersuchungs-Wafer werden eine spezifische Widerstandsmessung, eine Partikelstrahlbestrahlung und eine erneute Messung des spezifischen Widerstands durchgeführt, um die Träger-Konzentrationen in jedem Voruntersuchungs-Wafer vor und nach der Bestrahlung zu bestimmen und jedes Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration wird berechnet.

**[0055]** In Schritt 3 (Partikelstrahlbestrahlung) wird der Partikelstrahl in der gleichen Bedingung wie der Herstellungsschritt der Diode in dem vorangegangenen Schritt 1' bestrahlt. In diesem Fall unterscheidet sich die Bestrahlungsmenge für jeden Voruntersuchungs-Wafer. Die spezifischen Prozesse in diesen Schritten können beispielsweise auf die gleiche Weise wie in der ersten Ausführungsform durchgeführt werden.

(Schritt 6: Erfassung einer Korrelation)

**[0056]** Eine Korrelation zwischen der VV-Defekt-Konzentration (hierin Qualität einer Erholungseigenschaft einer Diode) und dem Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration in jedem Voruntersuchungs-Wafer, wie oben beschrieben berechnet, wird bestimmt. Dies ermöglicht die VV-Defekt-Konzentration (Qualität der Erholungseigenschaft der Diode) zu erhalten, welche jedem Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration entspricht, wenn die Sauerstoffkonzentration und so weiter die gleiche Bedingung sind.

[Hauptuntersuchung]

**[0057]** (Schritt 7 bis Schritt 11: Herstellung eines auszuwertenden Silizium-Einkristall-Substrats zur Berechnung eines Änderungsverhältnisses der Träger-Konzentration) Dann wird die Hauptuntersuchung durchgeführt. Das bedeutet, dass eine Auswertung eines tatsächlich auszuwertenden Wafers durchgeführt wird. Der auszuwertende Wafer wird hergestellt und einer spezifischen Widerstandsmessung, Partikelstrahlbestrahlung mit einer vorbestimmten Bestrahlungsmenge und erneutem Messen des spezifischen Widerstands unterzogen. Träger-Konzentrationen in dem auszuwertenden Wafer werden vor und nach der Bestrahlung bestimmt, um das Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration zu berechnen.

(Schritt 12: Auswertung der VV-Defekt-Konzentration unter Verwendung der Korrelation)

**[0058]** Die VV-Defekt-Konzentration des auszuwertenden Wafers (hierin Qualität einer Erholungseigenschaft der Diode) wird ausgewertet unter Verwendung des Änderungsverhältnisses der Träger-Konzentration, wie vorstehend beschrieben berechnet, und die Korrelation in der Voruntersuchung bestimmt. Das bedeutet,



dass das berechnete Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration auf die vorstehende Korrelation zur Bestimmung der entsprechenden VV-Defekt-Konzentration (der Qualität der Erholungseigenschaft) angewendet wird. Auf diese Weise ist es möglich auf einfache Weise eine relative Auswertung der VV-Defekt-Konzentration unter Verwendung der Voruntersuchung durchzuführen.

**[0059]** Im Übrigen ist es nicht notwendig die Voruntersuchung jedes Mal durchzuführen. Es ist möglich, frühere gesammelte Messwerte zu verwenden, um eine Korrelation zwischen dem Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration und der VV-Defekt-Konzentration zu zeigen. In diesem Fall können die Schritte, die für die Voruntersuchung erforderlich sind, weggelassen werden und die Auswertung kann noch einfacher erfolgen.

#### Beispiel

**[0060]** Die vorliegende Erfindung wird mit Bezug auf die Beispiele und Vergleichsbeispiel nachfolgend noch spezifischer beschrieben werden, jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht darauf beschränkt.

#### (Beispiel 1)

**[0061]** Unter Verwendung des CZ-Verfahrens bzw. FZ-Verfahrens wurde ein phosphordotierter Silizium-Einkristall-Ingot mit einem Durchmesser von 200 mm hergestellt. Die Sauerstoffkonzentrationen in den Kristallen, gemessen durch ein FT-IR-Verfahren waren  $3,5 \times 10^{17}$  Atome /  $\text{cm}^3$  in dem CZ-Kristall und  $0,3 \times 10^{17}$  Atome /  $\text{cm}^3$  in dem FZ-Kristall. Jeder der spezifischen Widerstände war näherungsweise 60  $\Omega\text{cm}$ . Im Übrigen wurden die Kohlenstoffkonzentrationen auf näherungsweise  $5 \times 10^{14}$  Atome/ $\text{cm}^3$  verringert, um das Auftreten von Defekten mit Bezug auf Kohlenstoff, welche die Vorrichtungseigenschaften beeinflussen, zu verringern.

**[0062]** Zuerst wurden polierte Wafer (PW) aus dem FZ-Kristall hergestellt. Nachfolgend wurden PN-Dioden aus diesen FZ-Wafern hergestellt. Aus diesen Dioden wurden jeweils Elektronenstrahlbestrahlungen bei 5 Leveln durchgeführt mit einer Beschleunigungsspannung von 2 MV in dem Herstellungsschritt.

**[0063]** Die Menge an gebildetem VV-Defekt wurde indirekt auf Basis einer wiedergewonnenen Eigenschaft der hergestellten Diode ausgewertet, da es schwierig ist, die Menge an gebildetem VV-Defekt, wie oben beschrieben, direkt zu messen. Es wird angenommen, dass die Qualität der Erholungseigenschaft das Ausmaß der VV-Defekt-Konzentration darstellt. Die Auswertungsergebnisse sind in Tabelle 1 gezeigt.

**[0064]** Andererseits wurden die Elektronenstrahlbestrahlungen bei 5 Level unter der gleichen Bedingung bei der Herstellung der Dioden auf die gleiche Art von PW wie das vorangegangene PW durchgeführt, und die spezifischen Widerstände vor und nach der Bestrahlung wurden mittels eines Vierpunkt-Sondenverfahrens bestimmt. Auf der Basis der Messung wurden die Träger-Konzentrationen vor und nach der Bestrahlung bestimmt. Das Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration, die davon berechnet wurde, ist auch in Tabelle 1 gezeigt.

[Tabelle 1]

Herstellungsverfahren eines Kristalls	Bestrahlungslevel	Bestrahlungsmenge [ $\text{cm}^2$ ]	Erholungseigenschaft	Änderungsverhältnis der Trägerkonzentration (%)
FZ	1	2E+14	nicht bestanden	17,7
FZ	2	5E+14	nicht bestanden	23
FZ	3	1E+15	Erfolg	28,8
FZ	4	2E+15	Erfolg	33,2
FZ	5	4E+15	Erfolg	41,3

**[0065]** Tabelle 1 hat die Korrelation zwischen der VV-Defekt-Konzentration (Qualität der Erholungseigenschaft) und dem Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration, wie oben beschrieben bestimmt, gezeigt. Es wurde auch gezeigt, dass die Erholungseigenschaft in einem Erfolg resultierte, wenn das Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration näherungsweise 29 % oder mehr betrug.

**[0066]** Die Auswertung der VV-Defekt-Konzentration (Auswertung der Erholungseigenschaft) und die Berechnung des Änderungsverhältnisses der Träger-Konzentration wurden an den CZ-Wafern, welche polierte Wafer (PB), hergestellt aus dem CZ-Kristall, sind, auf die gleiche Weise wie im Vorangegangenen, durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 gezeigt.

[Tabelle 2]

Herstellungsverfahren des Kristalls	Bestrahlungslevel	Bestrahlungsmenge [ $/\text{cm}^2$ ]	Erholungseigenschaft	Änderungsverhältnis der Trägerkonzentration (%)
CZ	1	2E+14	nicht bestanden	8,6
CZ	2	5E+14	nicht bestanden	11,2
CZ	3	1E+15	nicht bestanden	17,6
CZ	4	2E+15	nicht bestanden	22,9
CZ	5	4E+15	Erfolg	29,3

**[0067]** Wie aus Tabelle 2 gesehen werden kann, resultiert die Erholungseigenschaft in einem Erfolg, wie in dem Fall der FZ-Wafer, wenn das Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration näherungsweise 29 % oder mehr betrug.

**[0068]** Basierend auf dieser Tabelle 1 und Tabelle 2 kann gesagt werden, dass die Schadensmenge, ausgewertet auf der Basis des Änderungsverhältnisses der Träger-Konzentration ein effektives Anzeichen ist. Das heißt, es wurde herausgefunden, dass die Auswertung der VV-Defekt-Konzentration auf der Basis des Änderungsverhältnisses der Träger-Konzentration in der vorliegenden Erfindung ein effektives Verfahren ist. Des Weiteren ist es möglich, die Beziehung zwischen der Bestrahlungsmenge und der VV-Defekt-Konzentration in der Sauerstoffkonzentration und so weiter zu erfassen, in jedem der hergestellten CZ-Wafer und FZ-Wafer, wie in Tabelle 1 und Tabelle 2.

(Beispiel 2)

**[0069]** An jedem der FZ-Wafer und dem CZ-Wafer, welche separat von den Vorangegangenen hergestellt wurden (deren Sauerstoffkonzentration und so weiter waren die gleichen wie von denjenigen, hergestellt um Tabelle 1 und Tabelle 2 zu erzeugen), ein Elektronenstrahl wurde in einer Bestrahlungsmenge, die sich von den in Tabelle 1 und Tabelle 2 beschriebenen Bestrahlungsspiegeln unterscheidet, bestrahlt. Deren Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration wurde berechnet unter Berücksichtigung dieser Tabelle 1 und Tabelle 2 als die Ergebnisse der Voruntersuchung. Diese beiden Änderungsverhältnisse betrugen 29 % oder mehr. Folglich wurde jede Erholungseigenschaft, bei der Herstellung einer PN-Diode durch Bestrahlung der gleichen Art von Wafer, wie die Wafer, mit einem Elektronenstrahl mit der gleichen Bestrahlungsmenge, unter Berücksichtigung dieser Berechnungsergebnisse der Träger-Konzentrationen in Tabelle 1 und Tabelle 2 der Voruntersuchung, als Erfolg gewertet.

**[0070]** Wenn die PN-Dioden tatsächlich hergestellt wurden, waren die ausgewerteten Erholungseigenschaften ein Erfolg so wie es vorevaluiert worden ist.

(Vergleichsbeispiel)

**[0071]** FZ-Wafer und CZ-Wafer der gleichen Art wie in Beispiel 1 wurden hergestellt. Zuerst wurden die PN-Dioden durch einfaches Bestrahlen der FZ-Wafer mit Elektronenstrahl mit einer Bestrahlungsmenge, wie in Tabelle 1 beschrieben, hergestellt (Bestrahlungslevel 1 bis 5) ohne Durchführung von spezifischen Widerstandsmessungen und Berechnungen des Änderungsverhältnisses einer Träger-Konzentration anders als Beispiel 1 und das Verhältnis zwischen der Bestrahlungsmengen und Qualität der Erholungseigenschaften wurde berechnet. Diese Beziehung war ähnlich zu der in Tabelle 1 gezeigten.

**[0072]** Folglich wurde in dem Fall der Herstellung der PN-Dioden aus den CZ-Wafern, auf die gleiche Weise wie die FZ-Wafer, jede Qualität der Erholungseigenschaft der PN-Dioden, basierend auf den CZ-Wafern, bewertete die gleiche zu sein, wie in den FZ-Wafern mit der gleichen Bestrahlungsmenge.

**[0073]** Tatsächlich fiel jedoch die Beziehung zwischen der Bestrahlungsmenge und der Qualität der Erholungseigenschaft auf die in Tabelle 2 gezeigten Ergebnisse. Das bedeutet, wie beispielsweise durch die Ergebnisse der Bestrahlungslevel 3 und 4 bewiesen, dass die Ergebnisse in den CZ-Wafern, entgegen den Erwartungen, ein Fehlversuch waren, obwohl die Erholungseigenschaften ein Erfolg in den FZ-Wafern waren. Wie bei dem Vorangegangenen, kann sich die Vorrichtungseigenschaft in den Wafern mit unterschiedlichen Sauerstoffkonzentrationen aufgrund des Unterschieds von jedem Bestrahlungsschaden voneinander unterscheiden, selbst wenn die Bestrahlungsbedingungen gleich sind.

**[0074]** Wie von den Auswertungsergebnissen von diesem Vergleichsbeispiel gesehen werden kann, welches nur die Bestrahlungsbedingung berücksichtigt, im Vergleich mit der von Beispielen 1 und 2, welche die vorliegende Erfindung durchführe, ist die vorliegende Erfindung, welche das Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration beim Auswerten der VV-Defekt-Konzentration berücksichtigt, wie oben beschrieben, effektiv.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Auswertung einer Konzentration eines Defekts in einem Silizium-Einkristall-Substrat, wobei der Defekt durch Partikelstrahlbestrahlung in dem Silizium-Einkristall-Substrat gebildet wird, umfassend die Schritte von:

Messen eines spezifischen Widerstands des Silizium-Einkristall-Substrats, gefolgt durch Bestrahlung des Silizium-Einkristall-Substrats mit dem Partikelstrahl, erneutes Messen des spezifischen Widerstands des Silizium-Einkristall-Substrats nach der Bestrahlung;

Bestimmen jeder Träger-Konzentration in dem Silizium-Einkristall-Substrat vor und nach der Bestrahlung auf der Basis der gemessenen Ergebnisse des spezifischen Widerstands vor und nach der Partikelstrahlbestrahlung, um ein Änderungsverhältnis der Träger-Konzentration zu berechnen; und

Auswerten einer Konzentration eines W-Defekts auf der Basis des Änderungsverhältnisses der Träger-Konzentration, wobei der VV-Defekt aus einer Siliziumatomvakanze in einem Frenkel-Paar besteht, gebildet durch die Partikelstrahlbestrahlung in dem Silizium-Einkristall-Substrat und einer anderen Siliziumatomvakanze.

2. Das Verfahren zur Auswertung einer Konzentration eines Defekts in einem Silizium-Einkristall-Substrat gemäß Anspruch 1, wobei der Partikelstrahl zur Bestrahlung des Silizium-Einkristall-Substrats ein Elektronen- oder ein Ionen-Strahl ist.

3. Das Verfahren zur Auswertung einer Konzentration eines Defekts in einem Silizium-Einkristall-Substrat gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei eine Dotierverunreinigung enthalten in dem Silizium-Einkristall-Substrat, eine beliebige ist von Phosphor, Arsen und Antimon.

4. Das Verfahren zur Auswertung einer Konzentration eines Defekts in einem Silizium-Einkristall-Substrat gemäß irgendeinem der Ansprüche 1 bis 3, weiterhin umfassend die Schritte von:

Herstellen eines Silizium-Einkristall-Substrats zur Voruntersuchung mit einer vorausgewerteten Konzentration des W-Defekts, separat von dem auszuwertenden Silizium-Einkristall-Substrat;

Bestimmen einer Korrelation auf der Basis der vorausgewerteten Konzentration des W-Defekts und eines Änderungsverhältnisses der Träger-Konzentration vor und nach der Partikelstrahlbestrahlung hinsichtlich des Silizium-Einkristall-Substrats zur Voruntersuchung; und

Bestrahlung des auszuwertenden Silizium-Einkristall-Substrats mit dem Partikelstrahl um die Konzentration des W-Defekts unter Verwendung der Korrelation auszuwerten.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

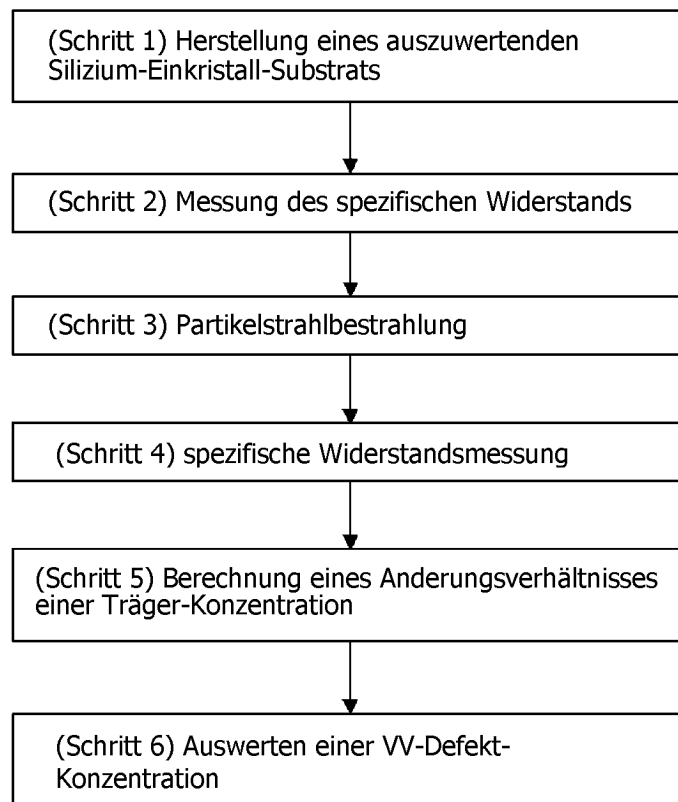


FIG. 2

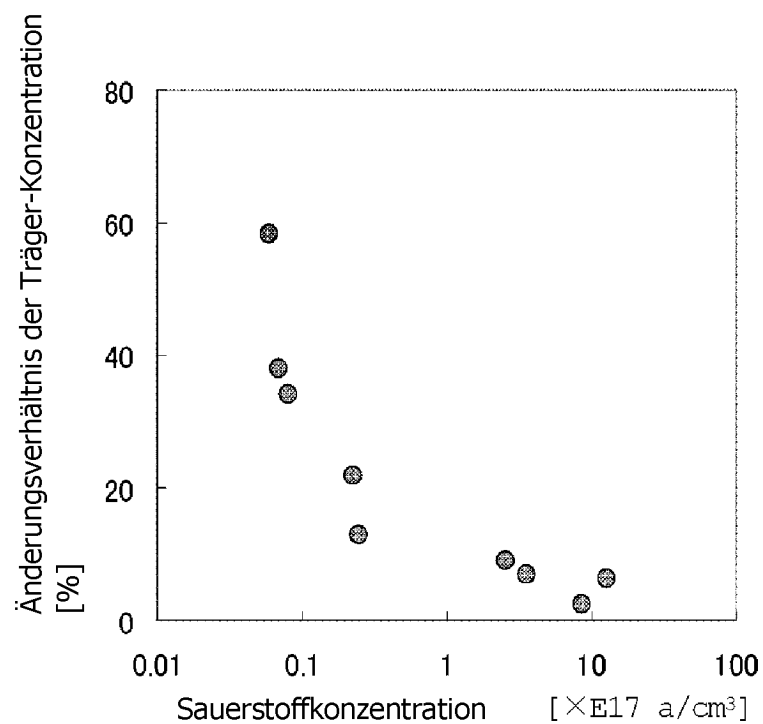


FIG. 3

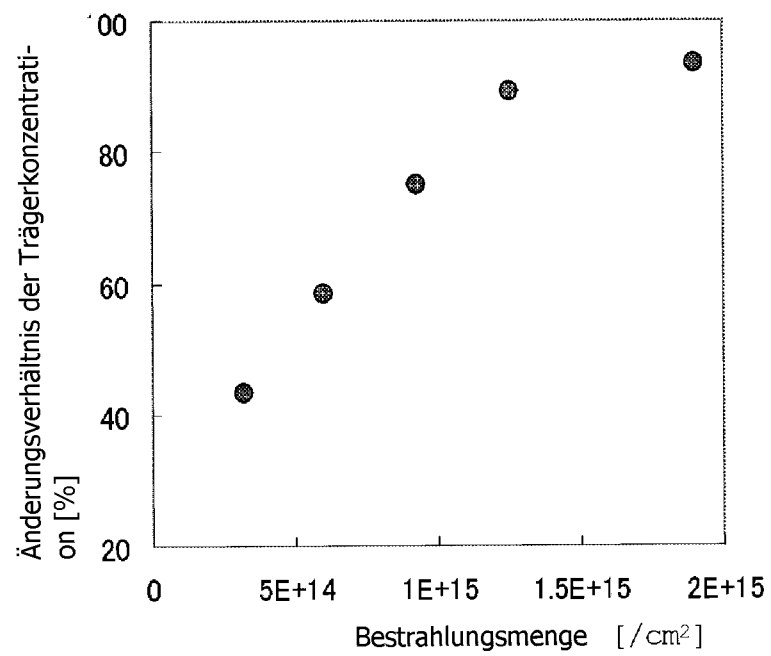


FIG. 4

