



(10) **DE 11 2012 002 192 T5** 2014.03.13

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2012/160872**
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2012 002 192.4**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2012/058527**
(86) PCT-Anmeldetag: **30.03.2012**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **29.11.2012**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **13.03.2014**

(51) Int Cl.: **C30B 29/36** (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2011-113341 **20.05.2011** **JP**

(71) Anmelder:
Sumitomo Electric Industries, Ltd., Osaka, JP

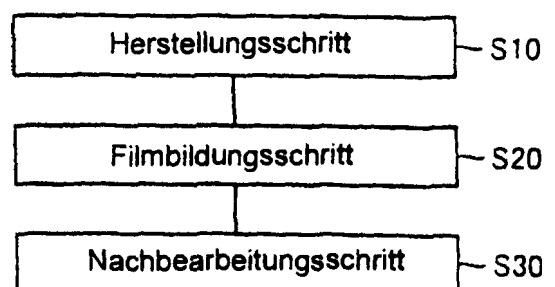
(74) Vertreter:
**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &
Schwanhäusser, 80802, München, DE**

(72) Erfinder:
**Sasaki, Makoto, Itami-shi, Hyogo, JP; Nishiguchi,
Taro, Itami-shi, Hyogo, JP**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Siliziumcarbidsubstrat, Ingot aus Siliziumcarbid, und Verfahren zur Herstellung eines Siliziumcarbidsubstrats und eines Ingots aus Siliziumcarbid**

(57) Zusammenfassung: Es werden ein Siliziumcarbidsubstrat und ein Ingot aus Siliziumcarbid mit sehr gleichförmigen Eigenschaften und Verfahren zur Herstellung des Siliziumcarbidsubstrats und des Ingots aus Siliziumcarbid bereitgestellt. Das Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid umfasst einen Herstellungsschritt (S10) zur Herstellung eines Trägersubstrats, das aus einem Siliziumcarbideinkristall hergestellt ist und einen Versatzwinkel von 0,1° oder mehr und 10° oder weniger in eine Versatzwinkelrichtung aufweist, die entweder eine <11-20> Richtung oder eine <1-100> Richtung relativ zu einer (0001) Ebene umfasst; und einen Filmbildungsschritt (S20) zum Aufwachsen einer Siliziumcarbidschicht auf einer Oberfläche des Trägersubstrats. In dem Filmbildungsschritt (S20) ist ein Gebiet mit einer (0001) Facette 5, das auf einer Oberfläche der aufgewachsenen Siliziumcarbidschicht an einem Endabschnitt auf einer stromaufwärts gelegenen Seite gebildet, wobei die stromaufwärts gelegene Seite eine Seite ist, an der ein Schnittpunktwinkel zwischen einer <0001> Richtungsachse des Trägersubstrats und der Oberfläche des Trägersubstrats (1) in der Versatzwinkelrichtung einen spitzen Winkel aufweist.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Siliziumcarbidsubstrat, einen Ingot aus Siliziumcarbid, und Verfahren zur Herstellung des Siliziumcarbidsubstrats und des Ingots aus Siliziumcarbid, und insbesondere ein Siliziumcarbidsubstrat und einen Ingot aus Siliziumcarbid mit geringen Schwankungen in den Eigenschaften, wie beispielsweise der Verunreinigungskonzentration, und Verfahren zur Herstellung des Siliziumcarbidsubstrats und des Ingots aus Siliziumcarbid.

Stand der Technik

[0002] Siliziumcarbid (SiC) wurde herkömmlich als ein Halbleitermaterial der nächsten Generation als Ersatz für Silizium (Si) untersucht. Es ist ein herkömmliches Verfahren zur Herstellung eines Substrats aus Siliziumcarbid bekannt, in dem ein Siliziumcarbideinkristall auf einem Impfsubstrat zur Bildung eines Ingots aus Siliziumcarbid gezüchtet wird, und der Ingot aus Siliziumcarbid zur Herstellung des Substrats geschnitten wird. In diesem Verfahren wird ein Impfkristall mit einer (0001) Ebene (der sogenannten c-Oberfläche) oder einer kristallografischen Ebene mit einem Versatzwinkel von 10% oder weniger relativ zu der c-Oberfläche als eine Wachstumsoberfläche hergestellt und ein Siliziumcarbideinkristall wird auf einer Wachstumsoberfläche des Impfkristalls (siehe beispielsweise die japanische Patentoffenlegungsschrift Nr. 2004-323348 (im Nachfolgenden als Patentdokument 1 bezeichnet)) gewachsen. Während des Wachsens des Siliziumcarbideinkristalls auf der Wachstumsoberfläche eines derartigen Impfkristalls, bildet sich eine (0001) Facette in der Mitte eines mittleren Abschnitts einer Oberfläche des gewachsenen Siliziumcarbideinkristalls.

[0003] In dem Patentdokument 1 wird zur Vermeidung der Bildung eines heterogenen polymorphen Kristalls oder eines Kristalls mit unterschiedlicher Oberflächenorientierung und zur Vermeidung der Bildung von Schraubenversetzungen ein Versetzungsprüfungsimpfkristall hergestellt, der ein Gebiet aufweist, das Schraubenversetzungen erzeugen kann, und ein Siliziumcarbideinkristall wird auf dem Versetzungsprüfungsimpfkristall gewachsen. Ferner wird in einem Schritt des Wachsens des Siliziumcarbideinkristalls in dem Patentdokument 1 eine c-Oberflächenfacette auf einer Oberfläche des Siliziumcarbideinkristalls gebildet, und der Siliziumcarbideinkristall wird so gewachsen, dass die (0001) Facette das Schraubenversetzungserzeugungsgebiet überlappt. Gemäß dem Patentdokument 1 kann die Bildung eines heterogenen polymorphen Kristalls oder eines Kristalls mit unterschiedlicher Oberflächenorientierung und die Erzeugung von Schraubenverset-

zungen in dem Siliziumcarbideinkristall durch Wachsen des Siliziumcarbideinkristalls in der zuvor beschriebenen Art und Weise unterdrückt werden. Das Patentdokument 1 schlägt auch das Einstellen einer Position (0001) Facette zur Überlappung des Schraubenversetzungserzeugungsgebiets vor, indem die Konzentrationsverteilung von reaktivem Gas oder die Temperaturverteilung des Impfkristalls in dem Schritt des Wachsens des Siliziumcarbideinkristalls gesteuert wird.

Situationsliste

Patentliteratur

[0004]

PTL 1: Japanische Patentoffenlegungsschrift Nr. 2004-323348

Zusammenfassung der Erfindung

Technisches Problem

[0005] Stickstoff (N) ist relativ einfacher in die (0001) Facette auf der Oberfläche des Siliziumcarbideinkristalls während des Kristallwachstums einzubringen als in einen übrigen Abschnitt der Oberfläche. Folglich wird während des Wachstums des Siliziumcarbideinkristalls ein Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration, das eine höhere Stickstoffkonzentration als das übrige Gebiet aufweist, in einem Abschnitt unterhalb der Oberfläche, auf der die (0001) Facette gebildet wurde, gebildet. Es ist wünschenswert, dass eine Stickstoffkonzentration in dem Siliziumcarbid in einem Ingot und in einem aus dem Ingot gebildeten Substrat möglichst gleichmäßig ist, da dies einen Einfluss auf Eigenschaften wie die elektrische Leitfähigkeit und die Lichtdurchlässigkeitsbeschaffenheit des Siliziumcarbideinkristalls hat. In einem mit einem herkömmlichen Verfahren hergestellten Siliziumcarbidingot sind jedoch die Anordnung und die Größe der (0001) Facette nicht besonders angepasst, um einen Ingot und ein Substrat mit gleichmäßigen Stickstoffkonzentrationen zu erhalten. Somit wird in dem resultierenden Ingot aus Siliziumcarbid, während die (0001) Facette in einer Position nahe einem Endabschnitt des Ingots angeordnet werden kann, das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration mit einer bestimmten Größe im Inneren des Ingots gebildet. Demzufolge wird das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration in einem Gebiet mit einer gleichmäßigen Stickstoffkonzentration (d. h. einem anderen Gebiet als das Gebiet mit der hohen Stickstoffkonzentration) in einem aus dem Ingot geschnittenen Substrat angeordnet. Es war nämlich herkömmlich schwierig, ein Gebiet mit einer gleichmäßigen Stickstoffkonzentration als ein großes Gebiet, das ein Substratmittelgebiet in einem Siliziumcarbidsubstrat aufweist, zu bilden.

[0006] Die vorliegende Erfindung wurde zur Lösung derartiger Probleme geschaffen, und es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Siliziumcarbidsubstrat und einen Ingot aus Siliziumcarbid mit sehr gleichförmigen Eigenschaften, und Verfahren zur Herstellung des Siliziumcarbidsubstrats und des Ingots aus Siliziumcarbid bereitzustellen.

Lösung des Problems

[0007] Die Erfinder haben die vorliegende Erfindung auf Grundlage detaillierter Untersuchungen des Siliziumcarbidkristallwachstums durchgeführt. Das heißt, dass die Erfinder herausgefunden haben, dass durch Verwenden eines Siliziumcarbidsubstrats mit einem Versatzwinkel von $0,1^\circ$ oder mehr und 10° oder weniger, bevorzugter noch 1° oder mehr und 10° oder weniger, in einer vorgeschriebenen Richtung (Versatzwinkelrichtung) relativ zu der (0001) Ebene als ein Trägersubstrat (Impfsubstrat), und durch Wachsen eines Siliziumcarbideinkristalls auf einer Oberfläche des Trägersubstrats, die (0001) Facette, die auf einer Wachstumsoberfläche des gewachsenen Siliziumcarbideinkristalls gewachsen ist, an einem Endabschnitt der Wachstumsoberfläche gebildet werden kann, und ferner die (0001) Facette mit ausreichend kleiner Größe, verglichen zu einer ebenflächigen Größe des Trägersubstrats, gebildet werden kann, indem die Versatzwinkelrichtung und der Versatzwinkel des Trägersubstrats und ferner die Verarbeitungsbedingungen in einem Kristallwachstumsschritt eingestellt werden. Auf Grundlage dieser Ergebnisse, umfasst ein Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid gemäß der vorliegenden Erfindung die Schritte des Herstellens eines Trägersubstrats, das aus einem Siliziumcarbideinkristall hergestellt ist und einen Versatzwinkel von $0,1^\circ$ oder mehr und 10° oder weniger, noch bevorzugter 1° oder mehr und 10° oder weniger, in einer Versatzwinkelrichtung aufweist, die entweder eine $\langle 11\text{-}20 \rangle$ Richtung oder eine $\langle 1\text{-}100 \rangle$ Richtung relativ zu einer (0001)-Ebene ist, und des Aufwachsens einer Siliziumcarbidschicht auf einer Oberfläche des Trägersubstrats. In dem Schritt zum Aufwachsen einer Siliziumcarbidschicht wird ein Gebiet mit einer (0001) Facette auf einer Oberfläche der aufgewachsenen Siliziumcarbidschicht an einem Endabschnitt auf einer stromaufwärts gelegenen Seite gebildet, wobei die stromaufwärts gelegene Seite eine Seite ist, an der ein Schnittpunktwinkel zwischen einer $\langle 0001 \rangle$ Richtungsachse des Trägersubstrats und der Oberfläche des Trägersubstrats in der Versatzwinkelrichtung ein spitzer Winkel ist.

[0008] Durch Ausbilden der (0001) Facette, in die auf diese Weise Stickstoff leicht an dem Endabschnitt des Ingots aufgenommen wird, kann ein Gebiet mit einer relativ hohen Stickstoffkonzentration (ein unter der (0001) Facette angeordnetes Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration) an dem Endbereich des

Ingots aus Siliziumcarbid angeordnet werden. Somit kann ein Gebiet mit einer relativ niedrigen Stickstoffkonzentration (ein anderes Gebiet als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration) als großes Gebiet, das den mittleren Abschnitt des Ingots aus Siliziumcarbid aufweist, gebildet werden. Wenn somit ein Siliziumcarbidsubstrat aus dem Ingot geschnitten wird, kann das Siliziumcarbidsubstrat, in dem das Gebiet mit einer relativ niedrigen Stickstoffkonzentration in einem großen Gebiet, das den Substratmittelabschnitt aufweist, gebildet ist, auf einfache Weise erhalten werden. Da auf diese Weise das Gebiet mit einer relativ niedrigen Stickstoffkonzentration (ein Gebiet mit einer stabilen Stickstoffkonzentration mit wenig darin aufgenommenem Stickstoff) in einem großen den Substratmittelabschnitt aufweisenden Gebiet gebildet werden kann, kann auf effiziente Weise eine Halbleitervorrichtung auf der Oberfläche des Substrats erzeugt werden.

[0009] Wenn ein Siliziumcarbidsubstrat aus dem Ingot aus Siliziumcarbid geschnitten wird, der ein Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration einer bestimmten Größe, die in dessen mittlerem Abschnitt gebildet ist, aufweist, umgibt beispielsweise ein Gebiet mit einer niedrigen Stickstoffkonzentration (Gebiet mit niedriger Konzentration von Stickstoff) das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration auf der Oberfläche des Siliziumcarbidsubstrats. Durch Bilden einer Vorrichtung auf der Oberfläche des Siliziumcarbidsubstrats in dem Gebiet mit einer relativ niedrigen Stickstoffkonzentration, wird somit die Vorrichtung in einem anderen Gebiet als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration gebildet (d. h. die Vorrichtung wird in einem anderen Gebiet als dem Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration und einem Grenzgebiet zwischen dem Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration und dem Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration gebildet), wodurch eine verringerte Nutzungseffizienz des Substrats erzielt wird.

[0010] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist jedoch das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration an dem Endabschnitt des Siliziumcarbidsubstrats angeordnet, und somit ist das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration in dem mittleren Abschnitt der Oberfläche des Siliziumcarbidsubstrats ausgebildet. Die Vorrichtung kann nur in dem Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration gebildet werden, wodurch das Substrat effizient genutzt wird.

[0011] Ein Ingot aus Siliziumcarbid gemäß der vorliegenden Erfindung wird mit dem Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid, wie zuvor beschrieben, hergestellt. In diesem Fall kann das Gebiet mit einer relativ niedrigen Stickstoffkonzentration (ein anderes Gebiet als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration) als ein großes den mittleren Abschnitt des Ingots aus Siliziumcarbid aufweisendes Gebiet gebildet werden. Wenn somit ein Silizi-

umcarbidsubstrat aus dem Ingot aus Siliziumcarbid geschnitten wird, kann das Siliziumcarbidsubstrat, in dem das Gebiet mit einer relativ niedrigen Stickstoffkonzentration in einem großen den Substratmittelabschnitt aufweisenden Gebiet gebildet ist, erhalten werden.

[0012] Das Verfahren zur Herstellung eines Siliziumcarbidsubstrats gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst die Schritte des Herstellens eines Ingots aus Siliziumcarbid unter Verwendung des zuvor beschriebenen Verfahrens zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid, und des Schneidens des Ingots aus Siliziumcarbid.

[0013] In diesem Fall kann in dem Ingot aus Siliziumcarbid das Gebiet mit einer relativ niedrigen Stickstoffkonzentration (ein anderes Gebiet als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration) als ein großes den mittleren Abschnitt des Ingots aus Siliziumcarbid aufweisendes Gebiet gebildet werden. Wenn somit in dem Schneideschritt ein Siliziumcarbidsubstrat aus dem Ingot aus Siliziumcarbid geschnitten wird, kann das Siliziumcarbidsubstrat, in dem das Gebiet mit einer relativ niedrigen Stickstoffkonzentration in einem großen den Substratmittelabschnitt aufweisenden Gebiet gebildet ist, auf einfache Weise erhalten werden.

[0014] Ein Siliziumcarbidsubstrat gemäß der vorliegenden Erfindung ist mit dem zuvor beschriebenen Verfahren zur Herstellung eines Siliziumcarbidsubstrats hergestellt. Folglich kann ein Siliziumcarbidsubstrat, in dem das Gebiet mit einer relativ niedrigen Stickstoffkonzentration in einem großen den Substratmittelabschnitt aufweisenden Gebiet gebildet ist, einfach erzielt werden.

[0015] Ein Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst die Schritte des Herstellens eines Trägersubstrats, das aus einem Siliziumcarbideinkristall hergestellt ist, und einen Versatzwinkel von $0,1^\circ$ oder mehr oder 10° oder weniger, noch bevorzugter 1° oder mehr und 10° oder weniger, in einer Versatzwinkelrichtung aufweist, die entweder eine $\langle 11\text{-}20 \rangle$ Richtung oder eine $\langle 1\text{-}100 \rangle$ Richtung relativ zu einer (0001) Ebene ist, und des Wachsens einer Siliziumcarbidschicht auf einer Oberfläche des Trägersubstrats. In dem Schritt zum Aufwachsen einer Siliziumcarbidschicht wird ein Gebiet mit einer (0001) Facette auf einer Oberfläche der gewachsenen Siliziumcarbidschicht an einem Endabschnitt auf einer stromaufwärts gelegenen Seite gebildet, wobei die stromaufwärts gelegene Seite eine Seite ist, an der ein Schnittwinkel zwischen einer (0001) Richtungsachse des Trägersubstrats und der Oberfläche des Trägersubstrats in der Versatzwinkelrichtung ein spitzer Winkel ist. In der Siliziumcarbidschicht ist nach dem Schritt zum Aufwachsen einer Siliziumcarbidschicht

eine Lichtdurchlässigkeit mit einer Wellenlänge von 450 nm oder mehr oder 500 nm oder weniger pro Dickeeinheit durch einen unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette angeordneten Abschnitt niedriger als eine Durchlässigkeit desselben Lichts pro Dickeeinheit durch einen anderen Abschnitt in der Siliziumcarbidschicht als den unter dem Gebiet mit der (0001) Facette angeordneten Abschnitt.

[0016] Durch Ausbilden der (0001) Facette, in die auf diese Weise Stickstoff leicht in dem Endabschnitt des Ingots aufgenommen wird, ist ein Gebiet mit einer verringerten Lichtdurchlässigkeit aufgrund des von der Facette darin aufgenommenen Stickstoffs während des Wachstums der Siliziumcarbidschicht an dem Endabschnitt des Ingots angeordnet (Gebiet unter der (0001) Facette). Somit kann der übrige Abschnitt, der den mittleren Abschnitt des Ingots aus Siliziumcarbid aufweist, als ein Gebiet mit einer relativ hohen Lichtdurchlässigkeit ausgebildet werden. Wenn folglich ein Siliziumcarbidsubstrat aus dem Ingot geschnitten wird, kann das Siliziumcarbidsubstrat, in dem das Gebiet mit einer relativ hohen Lichtdurchlässigkeit in einem großen den Substratmittelabschnitt aufweisenden Gebiet gebildet ist, auf einfache Weise erhalten werden. Da auf diese Weise das Gebiet mit einer relativ hohen Lichtdurchlässigkeit (ein Gebiet mit stabiler Stickstoffkonzentration und Durchlässigkeit mit wenig darin aufgenommenem Stickstoff) in einem großen den Substratmittelabschnitt aufweisenden Gebiet gebildet werden kann, kann auf effiziente Weise eine Halbleitervorrichtung auf der Oberfläche des Substrats hergestellt werden.

[0017] Ein Ingot aus Siliziumcarbid gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst ein Trägersubstrat, das aus einem Siliziumcarbideinkristall hergestellt ist und das einen Versatzwinkel von $0,1^\circ$ oder mehr und 10° oder weniger in einer Versatzwinkelrichtung aufweist, die entweder eine $\langle 11\text{-}20 \rangle$ Richtung oder eine $\langle 1\text{-}100 \rangle$ Richtung relativ zu einer (0001) Ebene ist, und eine Siliziumcarbidschicht, die auf einer Oberfläche des Trägersubstrats gebildet ist. Ein Gebiet mit einer (0001) Facette ist auf einer Oberfläche der gewachsenen Siliziumcarbidschicht an dem Endabschnitt auf einer stromaufwärts gelegenen Seite gebildet, wobei die stromaufwärts gelegene Seite eine Seite ist, an der ein Schnittwinkel zwischen einer (0001) Richtungsachse des Trägersubstrats und der Oberfläche des Trägersubstrats in der Versatzwinkelrichtung einen spitzen Winkel aufweist.

[0018] In der zuvor beschriebenen Siliziumcarbidschicht des Ingots aus Siliziumcarbid kann ein unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette angeordnetes Gebiet ein Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration sein, die eine Stickstoffkonzentration aufweist, die höher ist als ein anderes Gebiet in der Silizium-

carbidschicht als das unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette angeordnete Gebiet.

[0019] Durch Ausbilden der (0001) Facette, in die auf diese Weise Stickstoff leicht an dem Endabschnitt des Ingots aufgenommen wird, kann ein Gebiet mit einer relativ hohen Stickstoffkonzentration (ein Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration, das unterhalb der (0001) Facette angeordnet ist) an dem Endabschnitt des Ingots aus Siliziumcarbid angeordnet werden. Somit kann ein Gebiet mit einer relativ niedrigen Stickstoffkonzentration (ein anderes Gebiet als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration) als ein großes den mittleren Bereich des Ingots aus Siliziumcarbid aufweisendes Gebiet gebildet werden. Wenn somit ein Siliziumcarbid aus dem Ingot geschnitten wird, kann das Siliziumcarbidsubstrat, in dem Gebiet mit einer relativ niedrigen Stickstoffkonzentration in einem großen den Substratmittelabschnitt aufweisenden Gebiet gebildet ist, auf einfache Weise erhalten werden. Da das Gebiet mit einer relativ niedrigen Stickstoffkonzentration (ein Gebiet mit einer stabilen Stickstoffkonzentration mit wenig darin aufgenommenem Stickstoff) in einem großen den Substratmittelabschnitt aufweisenden Gebiet gebildet werden kann, kann auf effiziente Weise eine Halbleitervorrichtung auf der Oberfläche des Substrats hergestellt werden.

[0020] Ein Siliziumcarbidsubstrat gemäß der Erfindung wird, wie zuvor beschrieben, durch Schneiden des Ingots aus Siliziumcarbid erhalten. Folglich wird das Siliziumcarbidsubstrat, in dem ein Gebiet mit relativ niedriger Stickstoffkonzentration in einem großen den Substratmittelabschnitt aufweisenden Gebiet gebildet ist, auf einfache Weise erhalten werden.

[0021] Ein Siliziumcarbidsubstrat gemäß der vorliegenden Erfindung wird erhalten durch Schneiden des Ingots aus Siliziumcarbid, nachdem das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration von dem Ingot aus Siliziumcarbid entfernt wurde. Indem auf diese Weise das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration (ein Gebiet mit einer niedriger Lichtdurchlässigkeit) vorab entfernt wird, wird das Siliziumcarbidsubstrat unter Verwendung des Ingots aus Siliziumcarbid gebildet, der lediglich das Gebiet mit einer Stickstoffkonzentration, die niedriger ist als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration, aufweist (ein Gebiet mit einer höheren Lichtdurchlässigkeit als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration). Folglich kann das Siliziumcarbidsubstrat mit geringeren Schwankungen in der Stickstoffkonzentration und der Lichtdurchlässigkeit erhalten werden.

[0022] Ein Siliziumcarbidsubstrat gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst ein Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration, das eine relativ höhere Stickstoffkonzentration als in dem übrigen Abschnitt, der an

einem Endabschnitt in entweder einer <11-20> Richtung oder einer <1-100> Richtung gebildet ist, aufweist. Das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration kann an einem Endabschnitt auf einer stromaufwärts gelegenen Seite ausgebildet sein, wobei die stromaufwärts gelegene Seite eine Seite ist, bei der ein Schnittpunktswinkel zwischen einer (0001) Richtungsachse des Siliziumcarbidsubstrats und der Oberfläche des Siliziumcarbidsubstrats in entweder die <11-20> Richtung oder die <1-100> Richtung (Versatzwinkelrichtung) einen spitzen Winkel darstellt. Durch derartiges Steuern der Anordnung der (0001) Facette während des Züchtens eines Ingots aus Siliziumcarbid zur Bildung eines Siliziumcarbidsubstrats kann das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration auf einfache Weise an einem Endabschnitt des Siliziumcarbidsubstrats angeordnet werden.

Vorteilhafte Wirkungen der Erfindung

[0023] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein Ingot aus Siliziumcarbid und ein Siliziumcarbidsubstrat mit sehr gleichmäßigen Eigenschaften, wie beispielsweise in der Stickstoffkonzentration, erhalten.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0024] Fig. 1 zeigt ein Flussdiagramm zur Erläuterung eines Verfahrens zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0025] Fig. 2 zeigt ein Flussdiagramm zur Erläuterung eines Verfahrens zur Herstellung eines Siliziumcarbidsubstrats gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0026] Fig. 3 zeigt ein schematisches Diagramm zur Erläuterung eines in der Fig. 1 gezeigten Beispiels eines Filmbildungsschritts.

[0027] Fig. 4 zeigt eine schematische Draufsicht des Ingots aus Siliziumcarbid gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0028] Fig. 5 zeigt eine schematische Querschnittsansicht entlang der in der Fig. 4 gezeigten Linie V-V.

[0029] Fig. 6 zeigt eine schematische Draufsicht, die ein Siliziumcarbidsubstrat darstellt, das aus dem in den Fig. 4 und Fig. 5 gezeigten Ingot aus Siliziumcarbid geschnitten wurde.

[0030] Fig. 7 zeigt eine schematische Querschnittsansicht einer Kristallwachstumsvorrichtung zur Durchführung des in der Fig. 1 gezeigten Filmbildungsschritts.

[0031] Fig. 8 zeigt eine schematische Draufsicht, die ein weiteres Beispiel des Siliziumcarbidsubstrats gemäß der vorliegenden Erfindung darstellt.

[0032] Fig. 9 zeigt eine schematische Draufsicht, die eine erste Variante des Ingots aus Siliziumcarbid der vorliegenden Erfindung darstellt.

[0033] Fig. 10 zeigt eine schematische Draufsicht, die ein Siliziumcarbidsubstrat zeigt, das aus dem in der Fig. 9 gezeigten Ingot aus Siliziumcarbid geschnitten wurde.

[0034] Fig. 11 zeigt eine schematische Draufsicht, die eine Variante des in der Fig. 10 gezeigten Siliziumcarbidsubstrats darstellt.

[0035] Fig. 12 ist eine schematische Draufsicht, die eine zweite Variante des Ingots aus Siliziumcarbid gemäß der vorliegenden Erfindung darstellt.

[0036] Fig. 13 ist eine schematische Draufsicht, die ein Siliziumcarbidsubstrat zeigt, das aus dem in der Fig. 12 gezeigten Ingot aus Siliziumcarbid geschnitten wurde.

[0037] Fig. 14 ist eine schematische Draufsicht, die eine Variante des in der Fig. 13 gezeigten Siliziumcarbidsubstrats darstellt.

[0038] Fig. 15 ist eine schematische Draufsicht, die eine dritte Variante des Ingots aus Siliziumcarbid gemäß der vorliegenden Erfindung darstellt.

[0039] Fig. 16 zeigt eine schematische Draufsicht, die ein Siliziumcarbidsubstrat zeigt, das aus dem in der Fig. 15 gezeigten Ingot aus Siliziumcarbid geschnitten wurde.

[0040] Fig. 17 ist eine schematische Draufsicht, die eine Variante des in der Fig. 16 gezeigten Siliziumcarbidsubstrats darstellt.

Beschreibung der Ausführungsformen

[0041] Im Nachfolgenden werden Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung mit Bezug auf die Zeichnungen beschrieben. Es wird angemerkt, dass gleiche oder entsprechende Teile in den folgenden Zeichnungen mit den gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet sind, und deren Beschreibung nicht wiederholt wird.

[0042] Bezug nehmend auf die Fig. 1 bis Fig. 8 werden Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid und eines Siliziumcarbidsubstrats gemäß der vorliegenden Erfindung beschrieben.

[0043] Wie in der Fig. 1 gezeigt, wird in dem Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid (im Nachfolgenden auch als Ingot bezeichnet) gemäß der vorliegenden Erfindung zunächst ein Herstellungsschritt (S10) durchgeführt. Insbesondere ist ein Halteelement 2, wie in der Fig. 3 gezeigt, in einem

Verarbeitungsbehälter für eine Kristallwachstumsvorrichtung zur Bildung des Ingots angeordnet, und ein Trägersubstrat 1, das als Impfsubstrat zur Bildung des Ingots dient, ist auf dem Halteelement 2 befestigt. Das Trägersubstrat 1 weist eine kreisförmige ebene Form auf. Das Trägersubstrat 1 ist ein Siliziumcarbid (SiC) Substrat, das eine Hauptoberfläche mit einem auf $0,1^\circ$ oder mehr und 10° oder weniger, noch bevorzugter $0,5^\circ$ oder mehr und 8° oder weniger, eingestellten Versatzwinkel relativ zu einer (0001) Ebene aufweist. In der vorliegenden Beschreibung ist eine einzelne Ebenenorientierung mit (hkil) und eine gemeinsame Ebenenorientierung, einschließlich (hkil), und deren entsprechender Ebenenorientierung in Bezug auf Kristallgeometrie mit {hkil} angegeben. Eine einzelne Richtung ist mit [hkil] und eine Richtung, einschließlich [hkil], und deren entsprechende Richtung in Bezug auf Kristallgeometrie mit <hkil> angegeben. Obwohl ein "–" (Balken) üblicherweise über einer Zahl angeordnet ist, die einen Negativindex in Bezug auf Kristallgeometrie angibt, ist ein negatives Vorzeichen (–) vor einer Zahl angegeben, die einen Index in der vorliegenden Beschreibung angibt.

[0044] Als nächstes wird ein Filmbildungsschritt (S20) durchgeführt. Insbesondere wird nach Einstellen eines Drucks und einer Atmosphäre in dem Verarbeitungsbehälter der Kristallwachstumsvorrichtung auf vorgegebene Bedingungen ein Siliziumcarbideinkristall auf einer Oberfläche 4 des Trägersubstrats 1 anhand eines Sublimationsrekristallisationsverfahrens oder ähnliches gewachsen, während das Trägersubstrat 1 erhitzt wird. Auf diese Weise wird ein Ingot aus Siliziumcarbid 10, wie in den Fig. 3 bis Fig. 5 gezeigt, gebildet. In diesem Filmbildungsschritt (S20) wird eine (0001) Facette 5 (im Nachfolgenden auch als Facette 5 bezeichnet) auf einer Oberfläche des Ingots 10 gebildet. Die Verarbeitungsbedingungen für den Filmbildungsschritt (S20) sind derart eingestellt, dass die Facette 5 von einer oberen Oberfläche des Ingots 10 aus gesehen, wie in der Fig. 4 gezeigt, an einem äußeren Umfangsendabschnitt angeordnet ist. Die Verarbeitungsbedingungen werden später beschrieben.

[0045] Ein unter der Facette 5 beginnendes Gebiet ist ein Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration 6, das eine höhere Stickstoffkonzentration als ein übriges Gebiet aufweist, aufgrund einer größeren, aus der Facette 5 darin aufgenommenen Stickstoffmenge als in dem übrigen Gebiet. Das heißt, während des Wachstums von Siliziumcarbid zur Bildung des Ingots 10 wird eine relativ große Stickstoffmenge aus der Facette 5 auf der Oberfläche des gewachsenen Siliziumcarbids in das Siliziumcarbid als in das übrige Gebiet aufgenommen, wobei das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration 6 eine relativ höhere Stickstoffkonzentration aufweist als ein Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration 7, das das übrige Gebiet darstellt.

[0046] Die Facette **5** ist an dem Endbereich in einer mit einem Pfeil **26** angezeigten Versatzwinkelrichtung angeordnet. Jedes Verfahren (Verarbeitungsbedingungen) kann verwendet werden, um die Facette **5** auf diese Weise in dem Endabschnitt des Ingots **10** anzuordnen. Beispielsweise wird in einer Kristallwachstumsvorrichtung mit einem Schmelztiegel **11** und Heizspulen **12**, wie in der **Fig. 17** gezeigt, der Ingot **10** derart gewachsen, dass eine oberste Wachstumsoberfläche des Ingots **10** (die Oberfläche des Ingots **10** in **Fig. 7** gegenüber einer Oberfläche, auf der das Trägersubstrat **1** angeordnet ist, oder die Oberfläche des Ingots **10** gegenüberliegend einer mit einem Pfeil **13** in **Fig. 7** dargestellten Richtung, in die ein Quellgas zugeführt wird), der auf Oberfläche des Trägersubstrats **1** gewachsen wird, immer flach ist (so dass die Oberfläche des Trägersubstrats **1** und die oberste Wachstumsoberfläche des Ingots **10** zueinander parallel sind). Vorzugsweise ist die Hauptoberfläche des Trägersubstrats **1**, das als Impfs substrat dient (die Oberfläche, auf der ein Kristall zur Bildung des Ingots **10** gewachsen wird), um 1° oder mehr und 10° oder weniger in eine $\langle 11-20 \rangle$ Richtung oder eine $\langle 1-100 \rangle$ Richtung relativ zu der (0001) Ebene geneigt. Der Neigungswinkel der Hauptoberfläche kann auf 1° oder mehr und 10° oder weniger eingestellt werden. Unter Verwendung eines derartigen Trägersubstrats **1** wird die (0001) Facette **5** nur in einem kleinen Gebiet am Endabschnitt des Ingots **10**, wie in der **Fig. 7** gezeigt, erzeugt. Obwohl das in der **Fig. 3** gezeigte Trägerelement **2** nicht dargestellt ist und das Trägersubstrat **1** direkt an einer inneren Wand des Schmelztiegels **11** in der Kristallwachstumsvorrichtung angeordnet ist, wie in der **Fig. 7** gezeigt, ist das Trägerelement **2** auf dem Basissubstrat **1**, wie in der **Fig. 3** gezeigt, anordenbar und das Trägersubstrat **1** ist an der inneren Wand des Schmelztiegels **11** mit dem dazwischen angeordneten Trägerelement **2** befestigbar.

[0047] In diesem Fall ist die Herstellung einer möglichst flachen obersten Wachstumsoberfläche des Ingots **10** (beispielsweise indem die oberste Wachstumsoberfläche veranlasst wird, sich in eine Richtung rechtwinklig zu der Kristallwachstumsrichtung zu erstrecken) eine Bedingung für die Erzeugung einer möglichst kleinen (0001) Facette **5** in dem Endabschnitt des Ingots **10**. Für die Herstellung der flachen obersten Wachstumsoberfläche sind die Temperaturen eines mittleren Abschnitts **14**, eines Endabschnitts **15** und eines äußersten Randabschnitts **16** auf der obersten Wachstumsoberfläche des Ingots **10**, wie in der **Fig. 7** gezeigt, wichtig. Der Endabschnitt **15** liegt in einem Endabschnittsgebiet des Ingots **10** und ist mit einem Abstand von weniger als 10% eines Durchmessers des Ingots **10** von der inneren Wand des Schmelztiegels **11** angeordnet. Wenn die Temperatur des mittleren Abschnitts **14** als T_a , die Temperatur des Endabschnitts **15** als T_b und die Temperatur des äußersten Randabschnitts **16** als

T_c dargestellt werden, erfüllt vorzugsweise die Beziehung zwischen diesen Temperaturen einen Vergleichsausdruck $T_c > T_b > T_a$, und ein Temperaturgradient zwischen der Temperatur T_b und der Temperatur T_a ((absoluter Wert der Differenz zwischen der Temperatur T_a und der Temperatur T_b)/(Entfernung zwischen dem mittleren Abschnitt **14** und dem Endabschnitt **15**)) beträgt $10^\circ\text{C}/\text{cm}$ oder weniger.

[0048] Zur Erfüllung dieser Temperaturbedingungen ist es notwendig, die Temperaturverteilung auf einer hinteren Oberflächenseite des Trägersubstrats **1** (das heißt, die obere Oberflächenseite des Schmelztiegels **11** in **Fig. 7**) zu verringern (die Temperaturschwankungen zu verkleinern). Insbesondere wird vorzugsweise eine Struktur verwendet, in der beispielsweise eine Wärmeverteilungsöffnung, die in der oberen Oberflächenseite des Schmelztiegels **11** gebildet ist, einen größeren Durchmesser als die Breite des Ingots **10** aufweist. Ferner kann ein Krümmungsradius zwischen dem mittleren Abschnitt **14** und dem Endabschnitt **15** auf der Oberfläche des Ingots **10** gleich dem oder mehr als das Dreifache des Radius des Ingots **10** sein. Der Krümmungsradius wird beispielsweise wie folgt berechnet. Zunächst wird die Höhe des Ingots **10** (die Entfernung von der Oberfläche des Trägersubstrats **1** zu der Oberfläche des Ingots **10**) in einem 5 mm Abstand zwischen dem mittleren Abschnitt **14** und dem Endabschnitt **15** gemessen. Dann werden aus der Differenz der Höhen zwischen den Abständen die Bogenradien entsprechend der Oberfläche des Ingots **10** zwischen den Abständen berechnet. Danach wird ein Mindestradius der Bogenradien, die zwischen den Abständen zwischen dem mittleren Abschnitt **14** und dem Endabschnitt **15** berechnet wurden, als der Krümmungsradius definiert.

[0049] Die Ebenheit der Oberfläche des Ingots **10** wird anhand des folgenden Messverfahrens gemessen. Das heißt, es wird die Höhe der Oberfläche des Ingots **10** von einer Bezugsfläche an einer Vielzahl von Positionen (Messpunkten), die mit einem Abstand von 5 mm in kreuz und quer verlaufender Richtung (vorzugsweise in einer Matrix mit einem 5 mm Abstand) von der Mitte der Oberfläche des Ingots **10** angeordnet sind, gemessen. Danach werden die Höhenunterschiede zwischen benachbarten Messpunkten gemessen. Ferner wird von einer Tangente ($\tan$) aus den Höhendifferenzen und dem Abstand zwischen den Messpunkten ein Winkel entsprechend der Neigung der Oberfläche des Ingots **10** zwischen den benachbarten Messpunkten bestimmt. Vorzugsweise beträgt eine derart bestimmte Vielzahl von Winkeln im Durchschnitt 10° oder weniger. Ferner betragen vorzugsweise alle gemessenen Winkel 10° oder weniger. Die Messpunkte sind nicht in einem, das sich in einem Abstand von weniger als 10% des Durchmessers des Ingots **10** von dem äußersten Randabschnitt des Ingots **10** befindet, angeordnet.

[0050] In Hinblick auf die Beziehung zwischen der Temperatur T_c und der Temperatur T_b beträgt vorzugsweise ein absoluter Wert der Differenz zwischen der Temperatur T_b und der Temperatur T_c 1°C oder mehr und 50°C oder weniger (insbesondere soll die Temperatur T_c höher als die Temperatur T_b sein, wobei der Unterschied zwischen der Temperatur T_b und der Temperatur T_c 1°C oder mehr und 50°C oder weniger beträgt). Sollte der absolute Wert der Differenz weniger als 1°C betragen, setzt sich wahrscheinlich ein Polykristall aus Siliziumcarbid an der inneren Randoberfläche des Schmelztiegels **11** aus Graphit ab und wächst an diesem, um das Wachstum des Einkristallingots zu verhindern. Sollte die Differenz mehr als 50°C betragen, steigen auch die Temperaturen in dem Endoberflächenbereich des Ingots **10** aufgrund der Strahlungswärmewirkung und dergleichen des Schmelztiegels **11**. Somit erhöht sich der Temperaturunterschied zwischen dem mittleren Abschnitt **14** und dem Endabschnitt **15**, wodurch die Ebenheit der Oberfläche des Ingots **10** nicht aufrecht erhalten werden kann.

[0051] Durch Züchten des Kristalls unter derartigen Bedingungen wird die Oberfläche des Ingots **10** flach ausgebildet und die (0001) Facette **5** wird lediglich an dem Endabschnitt des Ingots **10** erzeugt. Vorzugsweise ist eine Breite der (0001) Facette **5** (die Breite des Trägersubstrats **1** in einer Versatzrichtung) gleich oder weniger als 10% des Durchmessers des Ingots **10**.

[0052] Für die Anordnung der (0001) Facette **5** an dem Endabschnitt des Ingots **10**, wie zuvor beschrieben, wird eine Umgebung ohne Temperaturverteilung in radialer Richtung des Ingots **10** (der Zustand, in dem die Temperaturdifferenz in radialer Richtung klein ist) während des gesamten Wachstumsprozesses des Ingots **10** bevorzugt. Zu diesem Zweck muss die Temperatur wie folgt während eines Temperaturerhöhungsschritts sowie während einer jeweiligen mittleren und späten Wachstumsphase, außer einer anfänglichen Wachstumsphase, vorsichtig gesteuert werden.

[0053] Wird beispielsweise ein gemeinsamer Hochfrequenz-Heiztiegel als Heiztiegel **11** verwendet, wird eine Seitenfläche des Tiegels **11** erhitzt. Somit wird in dem Temperaturerhöhungsschritt die Temperaturverteilung eher in der radialen Richtung des Ingots **10** erzeugt. Dementsprechend wird in dem Fall, in dem die Temperatur auf einer Bodenfläche des Tiegels **11** in einer Stunde (oder) weniger 2000°C oder mehr über Raumtemperatur erreicht, der Schmelztiegel vorzugsweise für fünf Minuten oder mehr unter einem atmosphärischen Druck von 40 kPa oder mehr und 100 kPa oder weniger und auf einer vorbestimmten Wachstumstemperatur gehalten, um eine gleichmäßige Temperaturverteilung zu erzielen,

und anschließend der atmosphärische Druck auf einen vorbestimmten Wachstumsdruck reduziert.

[0054] Während der mittleren und späten Wachstumsphase wird der Ingot **10** auf eine Höhe von 1 cm oder mehr gewachsen, und somit wird die Temperatur der äußersten Wachstumsoberfläche höher als während der anfänglichen Wachstumsphase. Folglich wird ein Temperaturgradient zwischen der obersten Wachstumsoberfläche des Ingots **10** und der Quelle weniger steil. Dies führt zu einer Änderung der Umgebungstemperatur am Endabschnitt **15** und am äußersten Randabschnitt **16** von dem Zustand während der anfänglichen Wachstumsphase, die eine Umkehr der Größenbeziehung zwischen der Temperatur T_b des Endabschnitts **15** und der Temperatur T_c des äußersten Randabschnitts **16** umfassen kann. In diesem Zustand wird der Ingot **10** eine konkave Form aufweisen, wodurch die (0001) Facette **5** von dem Endabschnitt in Richtung des mittleren Abschnitts des Ingots **10** bewegt wird.

[0055] Deshalb ist es während der mittleren und späten Wachstumsphase notwendig, immer eine Umgebung, die die Bedingung Temperatur $T_c >$ Temperatur T_b erfüllt, aufrecht zu erhalten, indem die Temperatur der Seitenoberfläche des Schmelztiegels **11** höher gemacht wird als während der anfänglichen Wachstumsphase, oder indem die Wärmemenge, die aus der oberen Seite des Schmelztiegels **11** abgeführt wird, erhöht wird. Da die konkave Oberflächenform des Ingots **10** die Möglichkeit des Auftretens eines Risses erhöht, weist darüber hinaus der Ingot **10** vorzugsweise eine flache oder eine leicht konvexe Oberflächenform auf. Es wird ferner bevorzugt, eine oberste Oberfläche der Quelle des Ingots **10** vorab flach auszubilden, um Veränderungen in der Fülltiefe der Quelle zu verhindern.

[0056] Der anhand des zuvor beschriebenen Verfahrens gebildete Ingot **10** gemäß der vorliegenden Erfindung weist die (0001) Facette **5** mit kleiner Größe und eine sehr flache Oberfläche auf. Somit ist die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Versetzungen im Wesentlichen quer über der Oberfläche des Ingots **10** gleich und nimmt einheitlich während der Ingot **10** wächst, ab. Das heißt, dass in dem Ingot **10** gemäß der vorliegenden Erfindung die Versetzungen im Wesentlichen in dem gesamten Gebiet verringert werden können.

[0057] Ein alternatives Verfahren zur Erzeugung der Facette lediglich an dem Endabschnitt des Ingots **10** umfasst, die Temperatur in dem Gebiet, in dem die Facette erzeugt werden soll, höher zu machen als in dem übrigen Gebiet. Das heißt, vorzugsweise erfüllt eine Temperatur T_d eines Endabschnitts **17** auf der Facettenseite und eine Temperatur T_e eines äußersten Randabschnitts **18** auf der Facettenseite, wie in der **Fig. 7** gezeigt, eine Beziehung $T_e >$

T_d , wobei der Temperaturunterschied zwischen dem Endabschnitt **17** auf der Facettenseite und dem äußersten Randabschnitt **18** auf der Facettenseite (das heißt, $T_e - T_d$) 20°C oder mehr und 100°C oder weniger beträgt. Da außerdem ein großer Temperaturunterschied zwischen dem mittleren Abschnitt **14** und dem Endabschnitt **15** das Facettengebiet vergrößert, wird vorzugsweise ein Temperaturgradient zwischen dem mittleren Abschnitt **14** und dem Endabschnitt **15** auf $20^\circ\text{C}/\text{cm}$ oder weniger eingestellt.

[0058] Vorzugsweise wird ein relativ großer Temperaturunterschied nur zwischen dem Endabschnitt **17** auf der Facettenseite und dem äußersten Randabschnitt auf der Facettenseite erzeugt, während der Temperaturunterschied zwischen dem Endabschnitt **15** und dem äußersten Randabschnitt **16** auf 20°C oder weniger in dem übrigen Gebiet des äußeren Umfangsgebiets des Ingots **10** eingestellt ist. Um dies zu erreichen, kann beispielsweise nur ein Gebiet, in dem die Facette **5** gebildet werden soll, erhitzt werden. Wird beispielsweise der Schmelztiegel **11** anhand einer Induktionsheizvorrichtung erhitzt, kann eine derartige Erwärmung durchgeführt werden, indem eine Mittellinie des Schmelztiegels **11** von einer Mittellinie der für die Erwärmung verwendeten Spulen **12** um eine vorbestimmte Strecke (beispielsweise etwa 1 mm oder mehr und 5 mm oder weniger) zu der Seite, an der die (0001) Facette **5** gebildet werden soll, verschoben wird. Darüber hinaus kann, unabhängig von einem Heizverfahren, die Dicke eines wärmeisolierenden Materials um den Schmelztiegel **11** nur in einem Abschnitt nahe dem Gebiet, in dem die Facette **5** gebildet werden soll, erhöht werden, im Vergleich zu der Dicke des übrigen Gebiets (sie kann in etwa um 2 mm oder mehr und in etwa 10 cm oder weniger gegenüber der Dicke des wärmeisolierenden Materials des übrigen Gebiets erhöht werden). Ein alternatives Verfahren umfasst das Füllen einer Öffnung, die zur Hitzeverteilung (Hitzeverteilungsöffnung) in dem oberen Abschnitt des Schmelztiegels **11** in einem Gebiet, das dem Gebiet, in dem Facette **5** gebildet werden soll, gegenüberliegt, gebildet ist.

[0059] Ein alternatives Verfahren zum Anordnen der Facette **5** in dem Endabschnitt des Ingots **10** umfasst das Anordnen eines Temperaturregulierungselements **3** in dem Trägerelement **2**, wie in der **Fig. 3** gezeigt, und das Ändern einer Heiztemperatur des Gebiets, in dem die Facette **5** gebildet werden soll (Endabschnitt des Trägersubstrats **1**), im Vergleich zu dem übrigen Gebiet. Ein derartiges Temperaturregulierungselement **3** kann durch ein Heizelement, wie beispielsweise eine elektrische Heizung, realisiert sein. Ein alternatives Verfahren zum Anordnen der Facette **5** an dem Endabschnitt des Ingots **10** umfasst das Zuführen eines Quellgases zum Wachsen von Siliziumcarbid auf dem Trägersubstrat **1** ausschließlich in dem Gebiet, in dem die Facette **5** gebildet werden soll, und ein Höhermachen einer Silizium-

carbidwachstumsrate in dem Gebiet, in dem die Facette **5** gebildet werden soll, als in dem übrigen Gebiet, indem beispielsweise eine Entladeeinheitanordnung zum Entladen der Gasquelle für die Züchtung des Siliziumcarbids im Inneren des Verarbeitungsbehälters eingestellt wird.

[0060] Als nächstes wird ein Nachbearbeitungsschritt (S30) durchgeführt. Insbesondere wird der so gebildete Ingot **10** aus dem Verarbeitungsbehälter entfernt und eine notwendige Nachbearbeitung, wie beispielsweise Schleifen einer Oberfläche, Ausbilden einer Markierung auf dem Ingot **10** zum Anzeigen einer Kristallorientierung des Ingots **10** und ferner Trennen des Trägersubstrats **1** von dem Ingot **10**, durchgeführt.

[0061] Mit Bezug auf eine oberste Oberfläche **9** (siehe **Fig. 5**) eines Abschnitts, in dem der Siliziumcarbidkristall des Ingots **10** gewachsen wurde, ist vorzugsweise ein maximaler Krümmungsradius im Querschnitt, wie in der **Fig. 5** gezeigt, gleich dem oder mehr als das Dreifache des Umkreisradius der ebenflächigen Form des in der **Fig. 4** gezeigten Ingots **10** (der Kreis, der einen Außenumfang der ebenflächigen Form des Ingots **10** bildet, wenn der Ingot **10** eine kreisförmige ebene Form aufweist, wie in der **Fig. 4** gezeigt).

[0062] Das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** ist auf einer stromaufwärts gelegenen Seite in der mit Pfeil **26** gezeigten Versatzwinkelrichtung angeordnet. Die Versatzwinkelrichtung ist eine Richtung, in der der Versatzwinkel des Trägersubstrats **1** festgesetzt ist und umfasst beispielsweise entweder die $\langle 11-20 \rangle$ Richtung oder die $\langle 1-100 \rangle$ Richtung. Wenn eine (0001) Richtungsachse des Trägersubstrats **1** die Oberfläche **4** des Trägersubstrats **1** schneidet, wird eine Richtung, in der die (0001) Richtungsachse relativ zu einer Normalen der Oberfläche **4** geneigt ist, als die stromaufwärts gelegene Seite definiert, und eine gegenüber der stromaufwärts gelegenen Seite liegende Richtung wird als eine stromabwärts gelegene Seite definiert. Eine Stickstoffkonzentration in dem Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** ist gleich der oder mehr als das 1,1fache der Stickstoffkonzentration in dem Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**. Die Stickstoffkonzentration kann beispielsweise mittels SIMS bewertet werden.

[0063] Darüber hinaus ist eine Lichtdurchlässigkeit mit einer Wellenlänge von 450 nm oder mehr und 500 nm oder weniger pro Dickeeinheit durch das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** niedriger als eine Durchlässigkeit desselben Lichts pro Dickeeinheit durch das andere Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** als durch das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** in Ingot **10**. Die Lichtdurchlässigkeit kann beispielsweise mittels FTIR (Fourier-Transformations-Infrarot-Spektrometrie) gemessen werden.

[0064] Beispielsweise ist die Dicke eines Substrats **20** auf 400 µm einstellbar und die Lichtdurchlässigkeit mit der zuvor erwähnten Wellenlänge durch das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** des Substrats **20** in eine Dickerichtung des Substrats **20** und die Lichtdurchlässigkeit mit der zuvor erwähnten Wellenlänge durch das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** des Substrats **20** in die Dickerichtung des Substrats **20** kann anhand eines Spektrometers für sichtbares Licht gemessen werden.

[0065] Da das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** mit einer relativ hohen Stickstoffkonzentration, gemäß diesem Ingot **10**, an dem Endabschnitt des Ingots **10** angeordnet ist, kann das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** mit einer relativ niedrigen Stickstoffkonzentration als ein großes den mittleren Abschnitt des Ingots **10** aufweisendes Gebiet ausgebildet werden. Wenn das Siliziumcarbidsubstrat **20** aus dem Ingot **10** geschnitten wird, kann somit das Siliziumcarbidsubstrat **20**, in dem das Gebiet mit relativ niedriger Stickstoffkonzentration **7** in einem großen den Substratmittelabschnitt aufweisenden Gebiet gebildet ist, auf einfache Weise erhalten werden.

[0066] Als nächstes wird der so erhaltene Ingot **10** verwendet, um das in der **Fig. 6** gezeigte Siliziumcarbidsubstrat **20** mittels eines in der **Fig. 2** gezeigten Prozesses herzustellen. Bezugnehmend auf die **Fig. 2** wird ein Verfahren zur Herstellung des Siliziumcarbidsubstrats **20** genauer beschrieben.

[0067] In dem Verfahren zu Herstellung eines Siliziumcarbidsubstrats gemäß der vorliegenden Erfindung wird zunächst ein Ingot-Herstellungsschritt (S40), wie in der **Fig. 2** gezeigt, durchgeführt. In diesem Schritt (S40) wird der Ingot **10**, der aus Siliziumcarbidschicht besteht und durch Durchführen der in der **Fig. 1** gezeigten Schritte erhalten wird, hergestellt.

[0068] Als nächstes wird ein Schneideschritt (S50) durchgeführt. Insbesondere wird in dem Schritt (S50) der Ingot **10** auf beliebige Art und Weise geschnitten. Das Schneiden kann beispielsweise mit einer Drahtsäge oder mit einem Schneideelement mit harten auf dessen Oberfläche angeordneten Schleifkörnern, wie beispielsweise Diamant (beispielsweise eine Innenlochsäge), durchgeführt werden. Der Ingot **10** kann in eine beliebige Richtung, beispielsweise in eine Richtung entlang der Oberfläche **4** des Trägersubstrats **1** (die Richtung entlang einer geraden Linie **8** in der **Fig. 5**) geschnitten werden. In diesem Fall kann das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** in dem Endabschnitt des Siliziumcarbidsubstrats **20**, das geschnitten wurde, angeordnet sein. Wahlweise kann der Ingot **10** entlang einer Ebene, die durch die Versatzwinkelrichtung des Trägersubstrats **1** und der Normalen an der Oberfläche des Trägersubstrats **1** definiert ist (das heißt, so, dass der Querschnitt des in

Fig. 5 gezeigten Ingots **10** eine Hauptoberfläche des Siliziumcarbidsubstrats **20** ist), geschnitten werden.

[0069] Als nächstes wird ein Nachbearbeitungsschritt (S60) durchgeführt. Insbesondere wird eine Oberfläche und/oder eine hintere Oberfläche des Substrats, die durch das Schneiden erhalten wurde, zur Feinbearbeitung der Oberfläche in einen beliebigen Oberflächenzustand, wie beispielsweise zu einer Hochglanzoberfläche, geschliffen und poliert. Folglich wird das in der **Fig. 6** gezeigte Siliziumcarbidsubstrat **20** erhalten. In dem Siliziumcarbidsubstrat **20** wird das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** in einem großen einen mittleren Abschnitt der Hauptoberfläche umfassenden Abschnitt gebildet und das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** ist an dem Endabschnitt angeordnet. Wie in der **Fig. 8** gezeigt, kann das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** durch Schleifen oder dergleichen zur Ausbildung einer Vertiefung **21** in einem Außenumfang des Siliziumcarbidsubstrats **20** entfernt werden. In diesem Fall wird das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** im Wesentlichen auf der gesamten Oberfläche des Siliziumcarbidsubstrats **20** gebildet, wodurch das Siliziumcarbidsubstrat **20** mit gleichförmigen Eigenschaften erhalten wird.

[0070] Gemäß diesem Siliziumcarbidsubstrat **20** kann eine epitaktische Schicht aus Siliziumcarbidschicht mit sehr gleichmäßigen Eigenschaften auf einfache Weise auf der Oberfläche des Siliziumcarbidsubstrats **20** gebildet werden.

[0071] Wird das Verfahren zur Herstellung eines in der **Fig. 2** gezeigten Siliziumcarbidsubstrats nach dem Entfernen des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration **6** in dem in der **Fig. 1** gezeigten Nachbearbeitungsschritt (S30) von dem Ingot **10** durch Schleifen oder dergleichen durchgeführt, kann das Siliziumcarbidsubstrat **20** ohne das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration, wie beispielsweise in der **Fig. 8** gezeigt, das heißt, das Siliziumcarbidsubstrat **20** mit dem auf der gesamten Oberfläche ausgebildeten Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration, erhalten werden. Das in der **Fig. 8** gezeigte Siliziumcarbidsubstrat **20** weist im Grunde eine ähnliche Struktur wie das in der **Fig. 6** gezeigte Siliziumcarbidsubstrat **20** auf, mit der Ausnahme, dass das in der **Fig. 6** gezeigte Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** entfernt wurde. Folglich weist das in der **Fig. 8** gezeigte Siliziumcarbidsubstrat **20** die Vertiefung **21** auf, die teilweise in dem äußeren Umfangsendabschnitt, in dem das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** angeordnet war, ausgebildet ist. Wenn dieses Siliziumcarbidsubstrat **20** durch Schneiden des Ingots **10** in die Richtung entlang der geraden Linie **8** in **Fig. 5** erhalten wird, ist die Vertiefung **21** an dem Endabschnitt in die Versatzwinkelrichtung des Siliziumcarbidsubstrats **20** angeordnet.

[0072] Obwohl ein Substrat mit einer kreisförmigen ebenen Form als Trägersubstrat **1** in dem Verfahren zur Herstellung des Ingots **10** und des Siliziumcarbidssubstrats **20**, wie zuvor beschrieben, verwendet wird, kann auch ein Substrat mit einer anderen beliebigen Form als Trägersubstrat **1** verwendet werden. Wird beispielsweise ein Substrat mit einer quadratischen ebenen Form als Trägersubstrat **1** verwendet, kann der Ingot **10** mit einer im Wesentlichen quadratischen ebenen Form, wie in der **Fig. 9** gezeigt, erhalten werden. Auch in diesem Fall kann die Facette **5** bei zweidimensionaler Betrachtung des Ingots **10** an dem Endabschnitt durch Steuern der Prozessbedingungen in dem in der **Fig. 1** gezeigten Filmbildungsschritt (S20) angeordnet werden. Ein Querschnitt entlang der Linie V-V in der **Fig. 9** ist ähnlich dem in der **Fig. 5** gezeigten. Vorzugsweise ist der maximale Krümmungsradius der obersten Oberfläche des erhaltenen Ingots **10** (der maximale Krümmungsradius der obersten Oberfläche **9** in der **Fig. 5**) gleich dem oder mehr als das Dreifache des Umkreisradius **25** der ebenflächigen Form des in der **Fig. 9** gezeigten Ingots **10**.

[0073] Auch in diesem Fall kann durch Schneiden des Ingots **10** in die Richtung parallel zu der Oberfläche **4** des Trägersubstrats **1** (das heißt, die durch die gerade Linie **8** in der **Fig. 5** gezeigte Richtung) das Siliziumcarbidssubstrat **20** mit einer ebenen Form, wie in der **Fig. 10** gezeigt, erhalten werden. Auch in dem in der **Fig. 10** gezeigten Siliziumcarbidssubstrat **20** ist das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** in dem Endabschnitt angeordnet und das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** ist in dem übrigen Gebiet vorgesehen. Das Siliziumcarbidssubstrat **20** erzielt einen ähnlichen Effekt wie das in der **Fig. 6** gezeigte Siliziumcarbidssubstrat **20**.

[0074] Darüber hinaus kann durch Entfernen des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration von dem in der **Fig. 10** gezeigten Siliziumcarbidssubstrat **20** durch Schleifen oder dergleichen das Siliziumcarbidssubstrat **20** mit dem Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**, das auf der gesamten Oberfläche der Form gebildet ist, wie in der **Fig. 11** gezeigt, erhalten werden. Das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration kann vorab in dem Schritt zum Ausbilden des Ingots **10** (insbesondere der in der **Fig. 1** gezeigte Nachbearbeitungsschritt (S30)) von dem Ingot **10** entfernt werden. Dieses Siliziumcarbidssubstrat **20** weist ein ähnliches Ergebnis wie das in der **Fig. 8** gezeigte Siliziumcarbidssubstrat **20** auf.

[0075] Alternativ kann zur Ausbildung des Ingots **10** ein Substrat, das aus einem Siliziumcarbideinkristall gebildet ist und eine rechteckige ebene Form, wie in der **Fig. 12** gezeigt, aufweist, als Trägersubstrat **1** verwendet werden. Auch in diesem Fall kann der Ingot **10** mit der ebenflächigen Form, wie in der **Fig. 12** gezeigt, mit dem Verfahren zur Herstellung eines in

der **Fig. 1** gezeigten Ingots gebildet werden. Eine Querschnittsform entlang der Linie V-V des Ingots **10** in der **Fig. 12** ist im Grunde ähnlich jener des in der **Fig. 5** gezeigten Ingots **10**. Vorzugsweise ist der maximale Krümmungsradius der obersten Oberfläche **9** (siehe **Fig. 5**) des in der **Fig. 12** gezeigten Ingots **10** gleich dem oder mehr als das Dreifache des Umkreisradius **25** der ebenen Form des in der **Fig. 12** gezeigten Ingots **10**.

[0076] Indem der in **Fig. 12** gezeigte Ingot **10** geschnitten und der Ingot **10** der Nachbearbeitung mit dem in der **Fig. 2** gezeigten Verfahren unterzogen wird, kann dann das Siliziumcarbidssubstrat **20** mit einer rechteckigen ebenen Form, wie in der **Fig. 13** gezeigt, erhalten werden. Das Schneiden wird in eine Richtung parallel zu einer Zeichnungsebene der **Fig. 12** (die Richtung entlang der Oberfläche des Trägersubstrats) durchgeführt. Auch in diesem Siliziumcarbidssubstrat **20** wird das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** an dem Endabschnitt gebildet und das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** wird in dem großen übrigen Gebiet gebildet. Dieses Siliziumcarbidssubstrat **20** erzielt ein ähnliches Ergebnis wie das in der **Fig. 6** gezeigte Substrat.

[0077] Ferner kann durch Entfernen des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration **6** von dem in der **Fig. 3** gezeigten Siliziumcarbidssubstrat **20** das Siliziumcarbidssubstrat **20** mit einem auf der gesamten Oberfläche davon ausgebildeten Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**, wie in der **Fig. 14** gezeigt, erhalten werden. In diesem Fall wird das in der **Fig. 14** gezeigte Siliziumcarbidssubstrat **20** durch Entfernen des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration **6** von dem Ingot **10** in dem Schritt zum Bilden des in der **Fig. 12** gezeigten Ingots **10** und anschließendem Schneiden des Ingots **10** erhalten.

[0078] Alternativ kann ein Substrat mit einer hexagonalen ebenen Form als Trägersubstrat **1** verwendet werden. Wird ein derartiges Substrat als Trägersubstrat **1** verwendet, wird der Ingot **10** mit einer hexagonalen ebenen Form, wie in der **Fig. 15** gezeigt, erhalten. Auch in diesem Ingot **10** ist die (0001) Facette **5** an dem Endabschnitt der obersten Oberfläche **9** (siehe **Fig. 5**), auf der der Kristall des Ingots **10** gewachsen wurde, angeordnet. Eine Querschnittsansicht entlang der Linie V-V des in der **Fig. 15** gezeigten Ingots ist ähnlich der in der **Fig. 5** gezeigten. Vorzugsweise ist der maximale Krümmungsradius der obersten Oberfläche **9** des erhaltenen Ingots **10** (der maximale Krümmungsradius der obersten Oberfläche **9** in **Fig. 5**) gleich dem oder mehr als das Dreifache des Umkreisradius **25** der ebenflächigen Form des in der **Fig. 15** gezeigten Ingots **10**.

[0079] Durch Schneiden und Verarbeiten des in der **Fig. 15** gezeigten Ingots **10** mittels des in der **Fig. 2** gezeigten Verfahrens wird dann das Siliziumcarbids-

substrat **20** mit einer hexagonalen ebenen Form, wie beispielsweise in der **Fig. 16** gezeigt, erhalten. Das Schneiden wird in eine Richtung parallel zu der Zeichnungsebene der **Fig. 15** (die Richtung entlang der Oberfläche des Trägersubstrats **1**) durchgeführt. Auch in diesem Siliziumcarbidsubstrat **20** ist das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** an dem Endabschnitt angeordnet und das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** ist in dem übrigen Gebiet gebildet. Dieses Substrat weist ein ähnliches Ergebnis wie das in der **Fig. 6** gezeigte Substrat auf.

[0080] Ferner kann durch Entfernen des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration **6** von dem in der **Fig. 16** gezeigten Siliziumcarbidsubstrat **20** durch Schleifen oder dergleichen das Siliziumcarbidsubstrat **20** mit dem auf dessen gesamter Oberfläche gebildeten Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** erhalten werden, wie in der **Fig. 17** gezeigt. In diesem Fall wird das in der **Fig. 17** gezeigte Siliziumcarbidsubstrat **20** durch Entfernen des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration **6** von dem Ingot **10** in dem Schritt zum Bilden des in der **Fig. 15** gezeigten Ingots **10** und anschließendem Schneiden des Ingots **10** erhalten.

[0081] Während einige bereits in obigen Ausführungsformen erläutert wurden, werden im Nachfolgenden die charakteristischen Merkmale der vorliegenden Erfindung beschrieben.

[0082] Wie in der **Fig. 1** gezeigt, umfasst das Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid **10** gemäß der vorliegenden Erfindung die Schritte des Herstellens eines Trägersubstrats **1**, das aus einem Siliziumcarbideinkristall hergestellt ist und einen Versatzwinkel von $0,1^\circ$ oder mehr und 10° oder weniger, noch bevorzugter 1° oder mehr und 10° oder weniger, in eine Versatzwinkelrichtung aufweist, die entweder eine $\langle 11-20 \rangle$ Richtung oder eine $\langle 1-100 \rangle$ Richtung relativ zu einer (0001) Ebene umfasst (Herstellungsschritt (S10)), und des Aufwachsens einer Siliziumcarbidschicht auf einer Oberfläche des Trägersubstrats **1** (Filmbildungsschritt (S20)). In dem Filmbildungsschritt (S20) wird ein Gebiet mit einer (0001) Facette **5** auf einer Oberfläche der aufgewachsenen Siliziumcarbidschicht an einem Endabschnitt auf einer stromaufwärts gelegenen Seite gebildet, wobei die stromaufwärts gelegene Seite eine Seite ist, bei der ein Schnittpunktwinkel zwischen einer (0001) Richtungsachse des Trägersubstrats **1** und der Oberfläche **4** des Trägersubstrats **1** in der Versatzwinkelrichtung einen spitzen Winkel aufweist.

[0083] Durch Ausbilden der (0001) Facette **5**, in die auf diese Weise Stickstoff leicht in dem Endabschnitt des Ingots **10** aufgenommen wird, wird ein Gebiet mit einer relativ hohen Stickstoffkonzentration (ein unter der (0001) Facette angeordnetes Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6**) in dem Endabschnitt

des Ingots **10** aus Siliziumcarbid **10** angeordnet. Somit wird ein Gebiet mit einer relativ niedrigen Stickstoffkonzentration (ein anderes Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration) als ein großes den mittleren Abschnitt des Ingots aus Siliziumcarbid **10** umfassendes Gebiet gebildet. Demgemäß wird, wenn das Siliziumcarbidsubstrat **20** von dem Ingot **10** abgeschnitten wird, das Siliziumcarbidsubstrat **20**, in dem das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** in einem großen den Substratmittelabschnitt aufweisenden Gebiet gebildet ist, auf einfache Weise erhalten. Da auf diese Weise das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** (das heißt, das Gebiet mit einer stabilen Stickstoffkonzentration mit wenig darin aufgenommenen Stickstoff) in einem großen den Substratmittelabschnitt aufweisenden Gebiet gebildet werden kann, kann auf effiziente Weise eine Halbleitervorrichtung auf der Oberfläche des Siliziumcarbidsubstrats **20** mit verbesserter Nutzungseffizienz des Substrats hergestellt werden.

[0084] In dem zuvor beschriebenen Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid kann in der Siliziumcarbidschicht nach dem Schritt zum Wachsen einer Siliziumcarbidschicht (Filmbildungsschritt (S20)) ein unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette **5** angeordneter Abschnitt das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** sein, das eine höhere Stickstoffkonzentration aufweist als ein anderer Abschnitt (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als der unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette angeordnete Abschnitt in der Siliziumcarbidschicht.

[0085] In diesem Fall wird das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette **5** gebildet und das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**, das eine niedrigere Stickstoffkonzentration als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** aufweist, ist in dem übrigen Abschnitt, der den mittleren Ingotabschnitt umfasst, gebildet. Demgemäß kann auf einfache Weise das Siliziumcarbidsubstrat **20** mit dem Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**, das in einem großen den Oberflächenzentralabschnitt aufweisenden Gebiet gebildet ist, durch Schneiden dieses Ingots aus Siliziumcarbid **10** erhalten werden.

[0086] In dem zuvor beschriebenen Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid ist eine Breite des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration **6** in der Versatzwinkelrichtung (der Richtung entlang des in der **Fig. 3** gezeigten Pfeils **26**) gleich oder weniger als $1/10$ einer Breite des Basissubstrats **1** in der Versatzwinkelrichtung. In diesem Fall ist die Größe des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration **6** bezogen auf den gesamten Ingot aus Siliziumcarbid **10** hinreichend klein. Somit kann die durch das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** besetzte Fläche

auf der Oberfläche (Hauptoberfläche) des Siliziumcarbids substrats **20**, das aus dem Ingot aus Siliziumcarbidsubstrat **10** erhalten wird, verringert werden. Folglich kann das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** (mit einer stabilen Stickstoffkonzentration) mit einer ausreichend großen Größe auf der Oberfläche des Siliziumcarbids substrats **20** ausgebildet werden. Außerdem ist das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** in dem Schritt zum Schleifen und Formen des Außenumfangs des Ingots **10** aus Siliziumcarbidsubstrat **10** auf einfache Weise entfernbar, wodurch eine Erhöhung des Zeitaufwands, der für die Verarbeitung des Ingots aus Siliziumcarbidsubstrat **10** erforderlich ist, verhindert wird.

[0087] Das zuvor erwähnte Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbidsubstrat kann ferner den Schritt Entfernen des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration umfassen (Nachbearbeitungsschritt (S30) in **Fig. 1**). In diesem Fall kann das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** in einem großen Abschnitt des Ingots aus Siliziumcarbidsubstrat **10** gebildet werden. Folglich kann das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** auf der gesamten Oberfläche des Siliziumcarbids substrats **20**, das von dem Ingot aus Siliziumcarbidsubstrat **10** geschnitten wurde, vorgesehen sein, wodurch das Siliziumcarbidsubstrat **20** mit einer stabilen Stickstoffkonzentration und hoher Gleichförmigkeit erhalten wird.

[0088] In dem zuvor beschriebenen Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbidsubstrat ist eine Lichtdurchlässigkeit mit einer Wellenlänge von 450 nm oder mehr und 500 nm oder weniger pro Dickenheit durch das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** niedriger als eine Durchlässigkeit desselben Lichts pro Dickenheit durch den anderen Abschnitt (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration in der Siliziumcarbidschicht (die auf dem Trägersubstrat **1** gewachsene Siliziumcarbidschicht).

[0089] Die obige Lichtdurchlässigkeit durch den Ingot aus Siliziumcarbidsubstrat **10** nimmt tendenziell ab, während die Stickstoffkonzentration zunimmt. Somit weisen das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** und das andere Gebiet (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration unterschiedliche Werte auch im Hinblick auf die Lichtdurchlässigkeitsbeschaffenheit auf. Gemäß der vorliegenden Erfindung kann somit, da das Gebiet mit relativ niedriger Lichtdurchlässigkeit (das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6**) an dem Endabschnitt des Ingots aus Siliziumcarbidsubstrat **10** angeordnet ist, das Gebiet mit relativ hoher Lichtdurchlässigkeit (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als ein großes den mittleren Bereich des Ingots aus Siliziumcarbidsubstrat **10** umfassendes Gebiet auch im Hinblick auf die Lichtdurchlässigkeitseigenschaft gebildet werden. Wenn somit das Silizium-

carbids substrat **20** aus dem Ingot aus Siliziumcarbidsubstrat **10** geschnitten wird, kann das Siliziumcarbidsubstrat **20**, in der das Gebiet mit einer relativ hohen Lichtdurchlässigkeit in einem großen, den Substratmittelschnitt aufweisenden Gebiet gebildet ist, auf einfache Weise erhalten werden.

[0090] In dem zuvor beschriebenen Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbidsubstrat **10** ist eine Mikroröhrchendichte des Abschnitts (das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6**), der sich unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette **5** befindet, größer als eine Mikroröhrchendichte des anderen Abschnitts (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als des Abschnitts in der Siliziumcarbidschicht, der sich unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette befindet. Da in diesem Fall das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** mit einer relativ hohen Mikroröhrchendichte an dem Endabschnitt des Ingots aus Siliziumcarbidsubstrat **10** angeordnet ist, kann das Gebiet mit einer relativ niedrigen Mikroröhrchendichte (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als ein großes Gebiet, das den mittleren Abschnitt des Ingots aus Siliziumcarbidsubstrat **10** aufweist, auch im Hinblick auf die Mikroröhrchendichte eigenschaft gebildet werden. Wenn somit das Siliziumcarbidsubstrat **20** aus dem Ingot aus dem Siliziumcarbidsubstrat **10** geschnitten wird, kann das Siliziumcarbidsubstrat **20**, in dem das Gebiet mit relativ niedriger Mikroröhrchendichte (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) in einem großen, den Substratmittelschnitt aufweisenden Gebiet gebildet ist, auf einfache Weise erhalten werden.

[0091] In dem zuvor beschriebenen Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbidsubstrat **10** ist der maximale Krümmungsradius der Oberfläche (die in der **Fig. 5** gezeigte oberste Oberfläche **9**) der Siliziumcarbidschicht nach dem Schritt des Aufwachsens einer Siliziumcarbidschicht (Filmbildungsschritt (S20)) gleich dem oder mehr als das Dreifache des Umkreisradius **25** der ebenflächigen Form des Trägersubstrats **1**. Vorzugsweise ist der maximale Krümmungsradius der Oberfläche (die oberste Oberfläche **9** in der **Fig. 5**) der Siliziumcarbidschicht der maximale Krümmungsradius eines Gebiets (oberste Oberfläche), das einen Abschnitt umfasst, der von der Oberfläche des Trägersubstrats **1** in der Siliziumcarbidschicht am weitesten entfernt ist.

[0092] In diesem Fall kann die auf dem Trägersubstrat **1** ausgebildete Siliziumcarbidschicht ein ausreichend großes Volumen zur Gewährleistung eines hinreichend großen Volumens des Ingots aus Siliziumcarbidsubstrat **10** aufweisen. Wenn somit das Siliziumcarbidsubstrat **20** aus dem Ingot aus Siliziumcarbidsubstrat **10** geschnitten wird, kann auf effiziente Weise das Siliziumcarbidsubstrat **20** mit einer großen Fläche erhalten werden. Die Siliziumcarbidschicht (epitaktische Wachstumsschicht aus Siliziumcarbidsubstrat mit dem Ge-

biet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** und dem Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) ist mit einer ebenflächigen Form ausbildbar, die größer ist als die ebenflächige Form des Trägersubstrats **1** (so dass beispielsweise die ebene Form mit zunehmenden Abstand von dem Trägersubstrat **1** oder mit einer nach außen geneigten Seitenwand mit zunehmenden Abstand von dem Trägersubstrat größer wird).

[0093] Der Ingot aus Siliziumcarbid **10** gemäß der vorliegenden Erfindung wird anhand des zuvor beschriebenen Verfahrens zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid **10** hergestellt. In diesem Fall ist das Gebiet mit einer relativ niedrigen Stickstoffkonzentration (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als ein großes, den mittleren Abschnitt des Ingots aus Siliziumcarbid **10** umfassendes Gebiet vorgesehen. Wenn somit das Siliziumcarbidsubstrat **20** aus dem Ingot aus Siliziumcarbid **10** geschnitten wird, kann das Siliziumcarbidsubstrat **20**, in dem das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** mit einer relativ niedrigen Stickstoffkonzentration in einem großen, den Substratmittelabschnitt aufweisenden Gebiet gebildet ist, auf einfache Weise erhalten werden.

[0094] Wie in der **Fig. 2** gezeigt, umfasst das Verfahren zur Herstellung eines Siliziumcarbidsubstrats **20** gemäß der vorliegenden Erfindung den Schritt des Herstellens eines Ingots aus Siliziumcarbid (Ingot-Herstellungsschritt (S40)), unter Verwendung des zuvor beschriebenen Verfahrens der Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid **10**, und des Schneidens des Ingots aus Siliziumcarbid **10** (Schneideschritt (S50)).

[0095] In diesem Fall ist in dem Ingot aus Siliziumcarbid **10** das Gebiet mit einer relativ niedrigen Stickstoffkonzentration (das andere Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration) als ein großes, den mittleren Abschnitt des Ingots aus Siliziumcarbid **10** umfassendes Gebiet ausgebildet. Wenn somit das Siliziumcarbidsubstrat **20** aus dem Ingot aus Siliziumcarbid **10** in dem Schneideschritt (S50) geschnitten wird, kann das Siliziumcarbidsubstrat **20**, in dem das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** mit einer relativ niedrigen Stickstoffkonzentration in einem großen, den Substratmittelabschnitt aufweisenden Gebiet gebildet ist, auf einfache Weise erhalten werden.

[0096] In dem Schritt zum Herstellen eines Ingots aus Siliziumcarbid (Ingot-Herstellungsschritt (S40)) in dem zuvor beschriebenen Verfahren zur Herstellung eines Siliziumcarbidsubstrats kann ein Abschnitt in der Siliziumcarbidschicht nach dem Schritt des Aufwachsens einer Siliziumcarbidschicht (Filmbildungsschritt (S20)), der unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette angeordnet ist, das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** sein, das eine höhere Stick-

stoffkonzentration aufweist als ein anderer Abschnitt (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als der Abschnitt, der in der Siliziumcarbidschicht unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette angeordnet ist. Das zuvor beschriebene Verfahren zur Herstellung eines Siliziumcarbidsubstrats kann vor dem Schneideschritt (S50) zum Schneiden des Ingots aus Siliziumcarbid **10** ferner den Schritt des Entferns des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration **6** von dem Ingot aus Siliziumcarbid **10** umfassen (beispielsweise den Schritt zum Entfernen des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration **6** durch Schleifen, der in dem in der **Fig. 1** gezeigten Nachbearbeitungsschritt (S30) vorgesehen ist).

[0097] Aus anderer Sicht, wie in der **Fig. 2** gezeigt, umfasst das Verfahren zur Herstellung eines Siliziumcarbidsubstrats **20** gemäß der vorliegenden Erfindung den Schritt des Herstellens eines Ingots aus Siliziumcarbid (Ingot-Herstellungsschritt (S40)) unter Verwendung des zuvor beschriebenen Verfahrens zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid **10**. In dem Schritt zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid (Ingot-Herstellungsschritt (S40)) kann in der Siliziumcarbidschicht nach dem Schritt des Aufwachsens einer Siliziumcarbidschicht (Filmbildungsschritt (S20)) ein unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette angeordneter Abschnitt das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** sein, das eine höhere Stickstoffkonzentration aufweist als ein anderer Abschnitt (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als der unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette angeordneter Abschnitt in der Siliziumcarbidschicht. Das Verfahren umfasst ferner die Schritte des Entferns des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration von dem Ingot aus Siliziumcarbid **10** (zum Beispiel den Schritt des Entferns des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration **6** durch Schleifen, der in dem in der **Fig. 1** gezeigten Nachbearbeitungsschritt (S30) vorgesehen ist) und des Schneidens des Ingots aus Siliziumcarbid **10** (Schneideschritt (S50)) nach dem Durchführen des Schritts, in dem das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** entfernt wird.

[0098] In diesem Fall wird das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration von dem Ingot aus Siliziumcarbid **10**, aus dem das Siliziumcarbidsubstrat **20** geschnitten wird, entfernt, wodurch die Gleichförmigkeit in der Stickstoffkonzentration, die Durchlässigkeit und dergleichen in dem Ingot aus Siliziumcarbid **10** verbessert wird.

[0099] Das Siliziumcarbidsubstrat **20** gemäß der vorliegenden Erfindung wird anhand des zuvor beschriebenen Verfahrens zur Herstellung eines Siliziumcarbidsubstrats hergestellt.

[0100] Folglich ist ein Siliziumcarbidsubstrat **20**, in dem das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** mit einer relativ niedrigen Stickstoffkonzentration

in einem großen, den Substratmittelabschnitt aufweisenden Gebiet gebildet ist, auf einfache Weise realisierbar.

[0101] Das Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst die Schritte des Herstellens eines Trägersubstrats **1**, das aus einem Siliziumcarbideinkristall hergestellt ist und einen Versatzwinkel von $0,1^\circ$ oder mehr oder 10° oder weniger, noch bevorzugter 1° oder mehr und 10° oder weniger, in eine Versatzwinkelrichtung aufweist (die Richtung, die in der **Fig. 3** mit dem Pfeil **26** angegeben ist), die entweder eine $\langle 11-20 \rangle$ Richtung oder eine $\langle 1-100 \rangle$ Richtung relativ zu einer (0001) Ebene (Herstellungsschritt (S10)) umfasst, und des Aufwachsens einer Siliziumcarbidschicht auf einer Oberfläche eines Trägersubstrats **1** (Filmbildungsschritt (S20)). In dem Filmbildungsschritt (S20) wird ein Gebiet mit einer (0001) Facette auf einer Oberfläche der aufgewachsenen Siliziumcarbidschicht an einem Endabschnitt auf einer stromaufwärts gelegenen Seite gebildet, wobei die stromaufwärts gelegene Seite eine Seite ist, an der ein Schnittpunktwinkel zwischen einer (0001) Richtungsachse des Trägersubstrats **1** und der Oberfläche **4** des Trägersubstrats **1** in der Versatzwinkelrichtung einen spitzen Winkel aufweist. In der Siliziumcarbidschicht ist nach dem Filmbildungsschritt (S20) eine Lichtdurchlässigkeit mit einer Wellenlänge von 450 nm oder mehr und 500 nm oder weniger pro Dickenheit durch einen Abschnitt (das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6**), der unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette **5** angeordnet ist, niedriger als eine Durchlässigkeit desselben Lichts pro Dickenheit durch einen anderen Abschnitt (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als das Gebiet, das unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette **5** in der Siliziumcarbidschicht angeordnet ist.

[0102] Durch Ausbilden der (0001) Facette **5**, in die auf diese Weise in dem Endabschnitt des Ingots aus Siliziumcarbid **10** Stickstoff leicht aufgenommen wird, ist ein Gebiet mit einer verringerten Lichtdurchlässigkeit aufgrund des aus der (0001) Facette darin aufgenommenen Stickstoffs während des Wachstums der Siliziumcarbidschicht (das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6**) in dem Endabschnitt des Ingots aus Siliziumcarbid **10** (der Abschnitt unterhalb der (0001) Facette **5**) angeordnet. Somit ist das übrige Gebiet (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**), das den mittleren Abschnitt des Ingots aus Siliziumcarbid **10** umfasst, als ein Gebiet mit einer relativ hohen Lichtdurchlässigkeit ausbildbar. Dementsprechend kann, wenn das Siliziumcarbidsubstrat **20** von dem Ingot aus Siliziumcarbid **10** geschnitten wird, das Siliziumcarbidsubstrat **20**, in dem das Gebiet mit einer relativ erhöhten Lichtdurchlässigkeit (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) in einem großen, den Substratmittelabschnitt aufweisenden Gebiet gebildet ist, auf einfache Weise erhalten werden.

Da das Gebiet mit relativ hoher Lichtdurchlässigkeit (das Gebiet mit stabiler Stickstoffkonzentration und Durchlässigkeit mit wenig darin aufgenommenem Stickstoff) auf diese Weise in einem großen, den Substratmittelabschnitt umfassenden Gebiet ausbildbar ist, kann eine Halbleitervorrichtung auf der Oberfläche des Substrats effizient hergestellt werden.

[0103] Der Ingot aus Siliziumcarbid **10** gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst das Trägersubstrat **1**, das aus einem Siliziumcarbideinkristall hergestellt ist und einen Versatzwinkel von $0,1^\circ$ oder mehr und 10° oder weniger, noch bevorzugter 1° oder mehr und 10° oder weniger, in eine Versatzwinkelrichtung aufweist, die entweder eine $\langle 11-20 \rangle$ Richtung oder eine $\langle 1-100 \rangle$ Richtung relativ zu einer (0001) Ebene umfasst, und eine Siliziumcarbidschicht, die auf einer Oberfläche des Trägersubstrats **1** gebildet ist. Ein Gebiet mit einer (0001) Facette **5** ist auf einer Oberfläche der aufgewachsenen Siliziumcarbidschicht an einem Endabschnitt auf einer stromaufwärts gelegenen Seite gebildet, wobei die stromaufwärts gelegene Seite eine Seite darstellt, an der ein Schnittpunktwinkel zwischen einer (0001) Richtungsachse des Trägersubstrats und der Oberfläche **4** des Trägersubstrats **1** in der Versatzwinkelrichtung einen spitzen Winkel aufweist.

[0104] In der Siliziumcarbidschicht des Ingots aus Siliziumcarbid **10** kann ein unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette **5** angeordneter Abschnitt das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** sein, das eine höhere Stickstoffkonzentration aufweist als ein anderer Abschnitt (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als der unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette **5** angeordnete Abschnitt in der Siliziumcarbidschicht.

[0105] Durch Ausbilden der (0001) Facette **5**, in die auf diese Weise in den Endabschnitt des Ingots **10** Stickstoff leicht aufgenommen wird, kann das Gebiet mit einer relativ hohen Stickstoffkonzentration (das unterhalb der (0001) Facette **5** angeordnete Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6**) an dem Endabschnitt des Ingots aus Siliziumcarbid **10** angeordnet werden. Somit ist das Gebiet mit einer relativ niedrigen Stickstoffkonzentration (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als ein großes, den mittleren Abschnitt des Ingots aus Siliziumcarbid **10** umfassendes Gebiet ausbildbar. Dementsprechend kann, wenn das Siliziumcarbidsubstrat **20** von dem Ingot geschnitten wird, das Siliziumcarbidsubstrat **20**, in dem das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** in einem großen, den Substratmittelabschnitt aufweisenden Gebiet gebildet ist, auf einfache Weise erhalten werden.

[0106] In dem Ingot aus Siliziumcarbid **10** kann eine Stickstoffkonzentration in dem Gebiet mit hoher

Stickstoffkonzentration **6** gleich der oder mehr als das 1,1fache der Stickstoffkonzentration in dem anderen Abschnitt (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als in dem unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette **5** angeordneten Abschnitt sein.

[0107] In diesem Fall können das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** und das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** auf einfache Weise durch die Stickstoffkonzentration, die Lichtdurchlässigkeit und dergleichen voneinander unterschieden werden. Demgemäß kann, wenn das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** durch Schleifen von dem Ingot aus Siliziumcarbid **10** entfernt wird oder wenn das Siliziumcarbidsubstrat **20** von Ingot aus Siliziumcarbid **10** geschnitten wird, zur Ausbildung einer Vorrichtung auf einer Oberfläche des Siliziumcarbidsubstrats **20**, die Vorrichtung auf einfache Weise in einem anderen Gebiet als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** gebildet werden (oder sie ist nicht über einem Randabschnitt zwischen dem Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** und dem Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** gebildet werden).

[0108] In dem Ingot aus Siliziumcarbid **10** ist eine Breite des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration **6** in der Versatzwinkelrichtung gleich oder weniger als 1/10 einer Breite des Trägersubstrats **1** in der Versatzwinkelrichtung. In diesem Fall ist die Größe des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration **6** klein, wodurch eine ausreichend große Größe des anderen Gebiets (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** gewährleistet ist.

[0109] In dem Ingot aus Siliziumcarbid **10** ist eine Lichtdurchlässigkeit mit einer Wellenlänge von 450 nm oder mehr und 500 nm oder weniger pro Dickenheit durch das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** niedriger als eine Durchlässigkeit desselben Lichts pro Dickenheit durch den anderen Abschnitt (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration in der Siliziumcarbidschicht.

[0110] In diesem Fall kann das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** und das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** auf einfache Weise durch die Lichtdurchlässigkeit voneinander unterschieden werden. Demgemäß kann das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** auf einfache Weise durch Schleifen von dem Ingot aus Siliziumcarbid **10** entfernt werden.

[0111] In dem Ingot aus Siliziumcarbid **10** ist die Durchlässigkeit durch das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** um 5% oder mehr niedriger als die Durchlässigkeit durch das andere Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration in der Siliziumcarbidschicht.

dschicht. In diesem Fall können das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** und das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** durch die Durchlässigkeitsdifferenz auf einfache Weise voneinander unterschieden werden.

[0112] In dem Ingot aus Siliziumcarbid **10** ist eine Mikroröhrchendichte des unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette angeordneten Abschnitts (das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6**) größer als eine Mikroröhrchendichte des anderen Abschnitts (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als des unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette angeordneten Abschnitts in der Siliziumcarbidschicht. In diesem Fall ist der andere Abschnitt (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**, das eine relativ niedrige Mikroröhrchendichte aufweist) als der unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette angeordnete Abschnitt als ein großes Gebiet, das den mittleren Abschnitt des Ingots aus Siliziumcarbid **10** aufweist, ausgebildet. Wenn somit das Siliziumcarbidsubstrat **20** aus dem Ingot geschnitten wird, kann das Siliziumcarbidsubstrat **20**, in dem das Gebiet mit einer relativ niedrigen Mikroröhrchendichte in einem großen, den Substratmittelschnitt aufweisenden Gebiet gebildet ist, auf einfache Weise erhalten werden.

[0113] In dem Ingot aus Siliziumcarbid **10** kann die Mikroröhrchendichte des unterhalb des Gebiets der (0001) Facette **5** angeordneten Abschnitts (das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6**) gleich der oder mehr als das 1,2fache der Mikroröhrchendichte des anderen Abschnitts (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als des unterhalb des Gebiets der (0001) Facette **5** angeordneten Abschnitts in der Siliziumcarbidschicht sein.

[0114] In diesem Fall weist das andere Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** als der unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette **5** angeordnete Abschnitt folglich eine relativ niedrige Mikroröhrchendichte auf. Somit kann der Ingot aus Siliziumcarbid **10** mit einer verringerten Mikroröhrchendichte in dem großen, den mittleren Abschnitt aufweisenden Gebiet erhalten werden.

[0115] In dem Ingot aus Siliziumcarbid **10** ist der maximale Krümmungsradius der Oberfläche (die in der **Fig. 5** gezeigte oberste Oberfläche **9**) der Siliziumcarbidschicht gleich dem oder mehr das 3fache des Umkreisradius **25** der ebenflächigen Form des Trägersubstrats **1**. In diesem Fall kann die Siliziumcarbidschicht, die auf dem Trägersubstrat gebildet ist, ein ausreichend großes Volumen aufweisen, wodurch sichergestellt ist, dass der Ingot aus Siliziumcarbid **10** ein hinreichend großes Volumen aufweist.

[0116] Das Siliziumcarbidsubstrat **20** gemäß der vorliegenden Erfindung wird durch Schneiden des In-

gots aus Siliziumcarbid **10** erhalten. Folglich kann das Siliziumcarbidsubstrat **20**, in dem das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration mit einer relativ niedrigen Stickstoffkonzentration (oder das Gebiet mit einer hohen Lichtdurchlässigkeit) in einem großen den Substratmittelabschnitt umfassenden Gebiet gebildet ist, auf einfache Weise erhalten werden.

[0117] Das Siliziumcarbidsubstrat **20** gemäß der vorliegenden Erfindung kann durch Schneiden des Ingots aus Siliziumcarbid **10** nach dem Entfernen des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration **6** von dem Ingot aus Siliziumcarbid **10** erhalten werden. Folglich wird, da das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** (das Gebiet mit einer niedrigen Lichtdurchlässigkeit) vorab entfernt wird, das Siliziumcarbidsubstrat **20** unter Verwendung des Ingots aus Siliziumcarbid **10** gebildet, wobei das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**, das eine niedrigere Stickstoffkonzentration als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** (das Gebiet mit einer höheren Lichtdurchlässigkeit als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration) aufweist, in einem großen Gebiet davon gebildet (oder wobei lediglich das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration gebildet wird). Dementsprechend kann das Siliziumcarbidsubstrat **20** mit geringeren Schwankungen in der Stickstoffkonzentration und der Lichtdurchlässigkeit erhalten werden.

[0118] In dem Siliziumcarbidsubstrat **20** kann die Stickstoffkonzentration von einem Mittelwert um 10% oder weniger als 10% abweichen. In diesem Fall ist die Schwankung in der Stickstoffkonzentration hinreichend klein, um sich nicht nachteilig auf die Eigenschaften des Siliziumcarbidsubstrats auszuwirken, wodurch gewährleistet wird, dass das Siliziumcarbidsubstrat gleichmäßige Eigenschaften aufweist.

[0119] In dem Siliziumcarbidsubstrat **20** kann die Versetzungsdichte von einem Mittelwert um oder weniger als 80% abweichen. Ferner kann die Versetzungsdichte in dem Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** von einem Mittelwert um oder weniger als 80% abweichen. Mit derartigen Schwankungen in der Versetzungsdichte kann eine Veränderung in den Eigenschaften in der Hauptoberfläche des Siliziumcarbidsubstrats verhindert werden, so dass keine Probleme in der Praxis auftreten.

[0120] In dem Siliziumcarbidsubstrat **20** gemäß der vorliegenden Erfindung ist das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration mit einer relativ höheren Stickstoffkonzentration als in dem übrigen Abschnitt an einem Endabschnitt in entweder der <11-20> Richtung oder <1-100> Richtung gebildet. Das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration kann an dem Endabschnitt auf einer stromaufwärts gelegenen Seite gebildet sein, wobei die stromaufwärts gelegene Seite eine Seite darstellt, an der ein Schnittpunktwinkel zwischen der (0001) Richtungsachse des Silizi-

umcarbidsubstrats **20** und der Oberfläche des Siliziumcarbidsubstrats **20** in entweder der <11-20> Richtung oder der <1-100> Richtung (Versatzwinkelrichtung) einen spitzen Winkel umfasst. Folglich kann beim Wachsen des Ingots aus Siliziumcarbid **10**, der zur Bildung des Siliziumcarbidsubstrats **20** verwendet wird, das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** auf einfache Weise an dem Endabschnitt des Siliziumcarbidsubstrats **20** durch Steuern der Anordnung der (0001) Facette **5** angeordnet werden.

[0121] Das Siliziumcarbidsubstrat **20** kann eine Größe (beispielsweise die maximale Breite bei zweidimensionaler Betrachtung) 4 Zoll oder mehr betragen. Die vorliegende Erfindung kann eine deutliche Auswirkung insbesondere in Hinblick auf Produktionseffizienz einer Vorrichtung haben, wenn diese auf das Siliziumcarbidsubstrat **20** mit einer Größe von 4 Zoll oder mehr angewendet wird.

[0122] In dem Siliziumcarbidsubstrat **20** kann eine Stickstoffkonzentration in dem Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** gleich der oder mehr als das 1,1fache der Stickstoffkonzentration in dem übrigen Abschnitt sein. In diesem Fall kann das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** und der andere Abschnitt (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration anhand der Durchlässigkeit oder dergleichen auf einfache Weise voneinander unterschieden werden.

[0123] In dem Siliziumcarbidsubstrat **20** kann die Breite des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration **6** in entweder der <11-20> Richtung oder der <1-100> Richtung gleich der oder weniger als 1/10 der Breite des Siliziumcarbidsubstrats **20** in der gleichen Richtung sein. In diesem Fall ist die Größe des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration klein, wodurch eine hinreichend große Größe des anderen Gebiets (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** gewährleistet wird.

[0124] In dem Siliziumcarbidsubstrat **20** kann eine Lichtdurchlässigkeit mit einer Wellenlänge von 450 nm oder mehr und 500 nm oder weniger pro Dickeinheit durch das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** niedriger als eine Lichtdurchlässigkeit mit einer Wellenlänge von 450 nm oder mehr und 500 nm oder weniger pro Dickeinheit durch den anderen Abschnitt (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration sein. Ferner kann die Durchlässigkeit durch das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** um 5% oder mehr niedriger als die Durchlässigkeit durch den anderen Abschnitt (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration sein.

[0125] In diesem Fall kann das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** und das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7** durch die Lichtdurchlässigkeit auf einfache Weise voneinander unterschieden werden. Dementsprechend kann beim Ausbilden einer Vorrichtung auf der Oberfläche des Siliziumcarbidsubstrats **20** die Vorrichtung auf einfache Weise in einem anderen Gebiet als dem Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** gebildet werden (oder sie kann nicht über einen Randabschnitt zwischen dem Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** und dem übrigen Gebiet vorgesehen sein).

[0126] In dem Siliziumcarbidsubstrat **20** kann eine Mikroröhrchendichte des Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration **6** höher sein als eine Mikroröhrchendichte des anderen Abschnitts (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration.

[0127] Ferner kann in dem Siliziumcarbidsubstrat **20** die Mikroröhrchendichte des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration **6** gleich der oder mehr das 1,2fache der Mikroröhrchendichte des anderen Abschnitts (das Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**) als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration sein.

[0128] In diesem Fall ist die Mikroröhrchendichte in dem Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration **7**, das einen großen Abschnitt des Siliziumcarbidsubstrats einnimmt, verringert. Wenn somit eine epitaktische Schicht aus Siliziumcarbid auf der Oberfläche des Siliziumcarbidsubstrats **20** gewachsen wird, kann das Auftreten von Defekten aufgrund der Mikroröhrchen in dem Siliziumcarbidsubstrat **20** in der epitaktischen Schicht aus Siliziumcarbid verhindert werden.

[0129] In dem Siliziumcarbidsubstrat weicht die Stickstoffkonzentration von einem Durchschnittswert um 10% oder weniger als 10% ab. In diesem Fall ist die Schwankung in der Stickstoffkonzentration hinreichend klein, um die Eigenschaften des Siliziumcarbidsubstrats nicht nachteilig zu beeinflussen, wodurch sichergestellt wird, dass das Siliziumcarbidsubstrat gleichförmige Eigenschaften aufweist.

[0130] In dem Siliziumcarbidsubstrat kann die Versetzungsdichte von einem Durchschnittswert um oder weniger als 80% abweichen. Ferner kann die Versetzungsdichte in dem Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration von einem Durchschnittswert um oder weniger als 80% abweichen. Mit derartigen Schwankungen in der Versetzungsdichte kann eine Änderung in den Eigenschaften in der Hauptoberfläche des Siliziumcarbidsubstrats verhindert werden, um keine Probleme in der Praxis hervorzurufen.

[0131] Wie zuvor beschrieben, kann gemäß dem Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Silizium-

carbid der vorliegenden Erfindung die Facette an einem Endabschnitt des Ingots aus Siliziumcarbid **10** angeordnet sein. In diesem Fall kann nur durch Schleifen des Endabschnitts des Ingots **10** und anschließendem Schneiden des Ingots **10** das Substrat **20** ohne eine Facette auf der gesamten Oberfläche erhalten werden. Die Facette und das andere Gebiet als die Facette unterscheiden sich in der dotierten Stickstoffmenge und den Hauptversetzungen voneinander. Während das Substrat mit einer Größe von weniger als 4 Zoll nicht wesentlich durch den Unterschied beeinflusst wird, ist das Substrat mit einer Größe von 4 Zoll oder mehr erheblich beeinflusst, wodurch die Wirkung der folgenden Erfindung besonders deutlich wird.

[0132] Wird das Substrat **20** einem Polierschritt unterzogen, beeinflusst die Stickstoffmenge, die in das Siliziumcarbidsubstrat dotiert ist, eine CMP-Polierrate. Somit ist die in das Substrat **20** dotierte Stickstoffmenge vorzugsweise gleichförmig. Weist das Substrat eine Größe von 4 Zoll oder mehr auf, vergrößert sich auch die Wölbung und die TTV des Substrats **20** mit zunehmender Substratgröße. Die Auswirkung der dotierten Stickstoffmenge wird ebenso beachtlich. Das heißt, wird die Schwankung auf gleicher Ebene der in das Substrat dotierten Stickstoffmenge klein, wird die Schwankung in der Verteilung der inneren Verspannung aufgrund einer Verunreinigung, wie Stickstoff, kleiner, um das Wölben und die TTV zu verbessern.

[0133] Ferner ist auch der Schritt des Ausbildens einer Vorrichtung (beispielsweise ein Wärmebehandlungsschritt) durch die dotierte Stickstoffmenge und dergleichen beeinflusst. Das heißt, unterschiedliche Stickstoffdotierstoffmengen ändern die Lichtabsorptionsfähigkeit des Substrats, wodurch eine lokale Temperaturdifferenz beim Erhitzen des Substrats erzeugt wird. Das Substrat **20** mit einer kleinen Größe ist aufgrund der Wirkung der Wärmeleitung nicht signifikant durch diesen Temperaturunterschied beeinflusst. Weist das Substrat jedoch einen großen Durchmesser von 4 Zoll oder mehr auf, wird der Effekt der Wärmeleitung bei zunehmender Temperatur kleiner und somit tritt wahrscheinlich in dem Substrat **20** eine Temperaturverteilung auf. Folglich unterscheiden sich die Temperaturbedingungen in der Ebene des Substrats, wodurch kein einheitlicher Film auf der Substratoberfläche gebildet werden kann. Das Auftreten eines derartigen Problems kann aufgrund der sehr gleichmäßigen Stickstoffdotierstoffmenge in dem aus dem Ingot **10** erhaltenen Substrat gemäß der vorliegenden Erfindung verhindert werden.

[0134] Die dotierte Stickstoffmenge (Stickstoffkonzentration) kann anhand von SIMS gemessen werden. In dem Ingot **10** aus Siliziumcarbid gemäß der vorliegenden Erfindung ist beispielsweise die Stickstoffkonzentration in einem Abschnitt mit einer hohen

Stickstoffdotierstoffmenge gleich der oder mehr als das 1,5fache der Stickstoffkonzentration in dem übrigen Gebiet.

[0135] Wenn das von dem Ingot **10** geschnittene Substrat **20** gemäß der vorliegenden Erfindung eine Dicke von 400 µm aufweist, erfüllt eine Lichtdurchlässigkeit einer Wellenlänge von 400 nm oder mehr und 500 nm oder weniger durch das Substrat **20** vorzugsweise die folgenden Bedingungen. Das heißt, wird die Lichtdurchlässigkeit an einer Vielzahl von Abschnitten (beispielsweise 10 Abschnitte einschließlich eines mittleren Abschnitts) des Substrats **20** mit einem Spektrometer für sichtbares Licht gemessen, beträgt eine durchschnittliche Lichtdurchlässigkeit vorzugsweise 20% oder mehr und 65% oder weniger. Vorzugsweise beträgt in einem großen Abschnitt der Hauptoberfläche des Substrats (ein Gebiet gleich oder mehr als 70% im Flächenverhältnis) eine lokale Durchlässigkeit weniger als $\pm 20\%$ der Durchschnittsdurchlässigkeit. Vorzugsweise weist das Substrat **20** einen Brechungsindex von 2,5 oder mehr und 2,8 oder weniger auf.

[0136] Die Versetzungsdichte des Substrats wurde durch Bearbeiten der Substratoberfläche durch einen Ätzprozess mit Salzsäure KOH als Ätzlösung zur Sichtbarmachung der Versetzungen gemessen. Insbesondere wurde die Salzsäure KOH auf 500°C erhitzt und das Substrat **20** wurde in die Lösung aus Salzsäure KOH für etwa 1 bis 10 Minuten eingetaucht. Als Folge davon wurden Grübchen entsprechend der Versetzungen in der Oberfläche des Substrats **20** gebildet. Dann wurde die Anzahl der Grübchen mit einem Nomarski-Differential-Interferenz-Mikroskop gezählt und die Fläche des Messbereichs dividiert, um die Anzahl der Grübchen pro Flächeneinheit (das heißt, die Anzahl der Versetzungen pro Flächeneinheit) zu berechnen.

[0137] Wird die Anzahl der Versetzungen für das durch Schneiden des Ingots **10** erhaltene Substrat **20** gemäß der vorliegenden Erfindung an einer Position in einem Abstand von 20 mm von dem Trägersubstrat **1** mit einer Mikroröhrchendichte (MPD) von 10 bis 100 cm⁻² und einer Ätzgrübchendichte (EPD) von 1 bis 5 E4 cm⁻² als Versetzungsdichten des Trägersubstrats **1** gemessen, nehmen die Mikroröhrchendichte und die Ätzgrübchendichte zwischen etwa 1/2 und etwa 1/20 bezogen auf jene des Trägersubstrats **1** ab.

(Beispiele)

[0138] Um Effekte der vorliegenden Erfindung zu bestätigen, wurden Ingots und Substrate wie folgt hergestellt und deren Eigenschaften gemessen.

(Proben)

[0139] Proben eines Ingots aus Siliziumcarbid und eines Siliziumcarbidsubstrats, das durch Schneiden des Ingots aus Siliziumcarbid erhalten wird, wurden in einem Beispiel und einem Vergleichsbeispiel der vorliegenden Erfindung wie folgt hergestellt.

<Trägersubstratproben des Beispiels und des Vergleichsbeispiels der vorliegenden Erfindung>

[0140] Zur Herstellung von Ingots aus Siliziumcarbid wurden Einkristallsubstrate aus Siliziumcarbid mit den folgenden Bedingungen als Trägersubstrate hergestellt. Insbesondere wurden bei der Herstellung des Ingots gemäß der vorliegenden Erfindung sechs 4H-SiC Einkristallsubstrate (drei für das Beispiel und drei für das Vergleichsbeispiel) als Trägersubstrate **1** hergestellt. Die Trägersubstrate **1** wiesen einen Durchmesser von 50 bis 180 mm und eine Dicke von 100 bis 2000 µm auf. Die Trägersubstrate **1** wiesen eine Dicke von 800 µm auf. Hauptoberflächen der Trägersubstrate wiesen einen Versatzwinkel von 4° in die <11-20> Richtung bezogen auf die (0001) Ebene auf. Zumindest eine Oberfläche eines jeden Trägersubstrats **1**, auf dem ein Kristall zu wachsen war, wurde einer Hochglanzpolitur unterzogen. Die Trägersubstrate **1** wiesen eine Mikroröhrchendichte (MPD) von 10 bis 100 cm⁻² und eine Ätzgrübchendichte (EPD) von 1 bis 5 E4 cm⁻² als Versetzungsdichten auf. Diese Versetzungsdichten wurden wie folgt gemessen.

[0141] Das heißt, nach dem Eintauchen von jedem Trägersubstrat **1** für 1 bis 10 Minuten in KOH-Schmelze durch Erhitzen derselben auf 500°C, wurde die Anzahl der Grübchen durch Beobachtung der Oberfläche des Trägersubstrats mit einem Nomarski-Differential-Interferenz-Mikroskop gezählt. Anschließend wurde die Anzahl der Grübchen pro Flächeneinheit aus der Fläche des betrachteten Gebiets und der gezählten Anzahl berechnet.

(Versuchsvorgehen)

Herstellen von Ingots:

<Ingots des Beispiels>

[0142] Ein Ingot aus Siliziumcarbid in dem Beispiel wurde durch Bilden einer epitaktischen Schicht aus Siliziumcarbid auf einer Oberfläche eines jeden Trägersubstrats in dem Beispiel hergestellt. Insbesondere wurden das Trägersubstrat **1** und SiC, in Form von Pulver, das ein Ausgangsmaterial des Trägersubstrats **1** ist, in einem Schmelztiegel aus Graphit eingebracht. Ein Abstand zwischen dem Ausgangsmaterial und dem Trägersubstrat wurde in einem Bereich von 10 mm bis 100 mm eingestellt. Es wurde ein herkömmliches Wachstumsverfahren, wie beispiels-

weise ein Sublimationsverfahren oder ein verbessertes Rayleigh-Verfahren, für die Herstellung verwendet. Insbesondere wurde dieser Tiegel in einen Heitziegel angeordnet und erhitzt. Während des Temperaturanstiegs wurde ein atmosphärischer Druck innerhalb eines Bereichs von 50 kPa bis Atmosphärendruck eingestellt. Während des Kristallwachstums wurde eine Temperatur eines unteren Abschnitts des Tiegels innerhalb eines Bereichs von 2200°C oder mehr bis 2500°C oder weniger eingestellt und eine Temperatur eines oberen Abschnitts des Tiegels wurde in einem Bereich von 2000°C oder mehr bis 2350°C oder eingestellt. Die Temperatur des unteren Abschnitts des Tiegels wurde höher als jene des oberen Abschnitts des Tiegels eingestellt. Der atmosphärische Druck wurde innerhalb eines Bereichs von 0, 1 bis 20 kPa gesteuert, nachdem die Temperatur für das Kristallwachstum erhöht wurde. Es wurde eines von He, Ar, N₂ oder ein Mischgas, das zwei oder mehr von He, Ar, N₂ umfasst, als ein atmosphärisches Gas verwendet. In diesem Fall wurde ein Ar + N₂-Gas als das atmosphärische Gas verwendet. Während des Kühlvorgangs wurde der atmosphärische Druck auf den Bereich zwischen 50 kPa bis Atmosphärendruck erhöht, bevor die Temperatur des Heitziegels verringert wurde.

[0143] Während des Kristallwachstums wurde der Ingot **10** so gewachsen, dass ein äußerste Wachstumsoberfläche des Ingots **10** (Oberfläche des Ingots **10** in **Fig. 7** gegenüber einer Oberfläche, auf der das Trägersubstrat **1** angeordnet ist, oder die Oberfläche des Ingots **10** gegenüber einer mit einem Pfeil **13** in der **Fig. 7** angezeigten Richtung, in die das Quellgas zugeführt wird), der auf der Oberfläche des Trägersubstrats gewachsen wird, immer flach ausgebildet war, wie in der **Fig. 7** gezeigt. Insbesondere wurde, wie mit Bezug auf die **Fig. 7** beschrieben, wenn die Temperatur des mittleren Abschnitts **14** des Ingots **10** in **Fig. 7** als Ta, die Temperatur des Endabschnitts **15** als Tb und die Temperatur des äußersten Randabschnitts Tc dargestellt sind, der Kristall so gewachsen, dass die Beziehung zwischen diesen Temperaturen den Vergleichsausdruck $T_c > T_b \geq T_a$ erfüllt und dass der Temperaturgradient zwischen der Temperatur Tb und der Temperatur Ta ((absoluter Wert der Differenz zwischen Temperatur Ta und Temperatur Tb)/(Entfernung zwischen dem mittleren Abschnitt **14** und Endabschnitt **15**)) 10°C/cm oder weniger betrug. Insbesondere wurde der Durchmesser einer Wärmeverteilungsöffnung in einem Filz, der an der oberen Oberflächenseite des Tiegels angeordnet ist, größer als der Durchmesser des Ingots **10** gemacht. Der Ingot aus Siliziumcarbid, der auf diese Weise auf dem Trägersubstrat gewachsen wurde, wurde entfernt.

<Ingots des Vergleichsbeispiels>

[0144] Ein Ingot aus Siliziumcarbid des Vergleichsbeispiels wurde durch Ausbilden einer epitaktischen

Schicht aus Siliziumcarbid auf einer Oberfläche eines jeden Trägersubstrats in dem Vergleichsbeispiel hergestellt. Der Ingot in dem Vergleichsbeispiel wurde im Grund auf ähnliche Weise hergestellt wie der Ingot in dem zuvor beschriebenen Beispiel, mit der Ausnahme, dass ein Filz direkt auf der oberen Oberfläche des Tiegels angeordnet wurde, wobei eine Hitzeverteilungsöffnung mit einem Durchmesser von 20 mm in einem mittleren Bereich des Filzes ausgebildet ist. Folglich war der Hitzeverteilungseffekt nur in der Nähe der Hitzeverteilungsöffnung größer, wodurch ein Temperaturgradient von 10°C/cm oder mehr zwischen dem mittleren Abschnitt **14** und dem Endabschnitt **15** des gebildeten Ingots erhalten wurde. Der Ingot aus Siliziumcarbid, der auf diese Weise in dem Vergleichsbeispiel gewachsen wurde, wurde entfernt.

Messung der Ebenheit der obersten Oberflächen der Ingots:

[0145] Die Ebenheit der Oberflächen wurde für die Ingots des Beispiels und des Vergleichsbeispiels gemessen. Die Ebenheit jedes Ingots wurde durch Messen der Ingot-Höhe (der Abstand von der Oberfläche des Trägersubstrats zu der Oberfläche des Ingots) in einem anderen (mittleren) Gebiet als ein Bereich innerhalb eines Bereichs von 10%, bezogen auf den Durchmesser des Ingots an der Außenumfangsseite, bestimmt. Obwohl eine Höhenverteilung quer über die Oberfläche des Ingots bevorzugt ist, ist es lediglich erforderlich, die Höhe des Ingots in einem 1 bis 5 mm Abstand in einer kreuz und quer verlaufenden Richtung von der Mitte des Ingots zu messen.

[0146] Die Ebenheit in kreuz und quer verlaufender Richtung wird wie folgt gemessen. Das heißt, die Höhe der Oberfläche des Ingots **10** wird an einer Vielzahl von Positionen (Messpunkten) gemessen, die in kreuz und quer verlaufender Richtung in einem Abstand von 5 mm (vorzugsweise eine Matrix mit einem 5 mm Abstand) von der Mitte der Oberfläche des Ingots **10** angeordnet ist. Danach wird die Höhendifferenz zwischen benachbarten Messpunkten berechnet. Ferner wird von einer Tangente (tan) aus der Differenz der Höhen und des Abstands zwischen den Messpunkten ein Winkel entsprechend einer Neigung der Oberfläche des Ingots (Neigungswinkel) zwischen benachbarten Messpunkten bestimmt.

Herstellung der Substrate:

[0147] Nach der zuvor beschriebenen Messung der Oberflächenformen wurden die Ingots des Beispiels und des Vergleichsbeispiels zylindrisch ausgebildet. Danach wurde jeder Ingot mit einer Drahtsäge in einer Richtung entlang der Oberfläche des Trägersubstrats geschnitten, um ein Siliziumcarbidsubstrat herzustellen. Das Substrat wies eine Dicke von 400 µm bis 500 µm auf. Nach dem Schneiden wurden beide

Oberflächen des Siliziumcarbidssubstrats einer Hochglanzpolitur unterzogen. Folglich wies das Siliziumcarbidssubstrat eine Dicke von 350 µm bis 420 µm auf.

(Ergebnisse)

Bezüglich der Ingots:

Messung der Stickstoffkonzentration:

[0148] Für die so hergestellten Substrate wurden die Stickstoffkonzentrationen in einem Gebiet, das unterhalb der (0001) Facette des Ingots angeordnet ist und eine relativ hohe Stickstoffkonzentration aufweist (das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration), und in dem übrigen Gebiet gemessen. Die Messungen wurden anhand einer SIMS (Sekundär-Ionen-Massen-Spektroskopie) durchgeführt. Eine gemessene Dicke wurde auf 10 µm eingestellt, um Messschwankungen zu verhindern.

Messung der Durchlässigkeit:

[0149] Für die so hergestellten Substrate wurden die Lichtdurchlässigkeiten durch das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration und durch das übrige Gebiet gemessen. Eine Lichtdurchlässigkeit mit einer Wellenlänge innerhalb eines Bereiches von 400 nm bis 500 nm durch jedes Gebiet wurde mit einem Spektrometer für sichtbares Licht gemessen.

Messung der Versetzungsdichte:

[0150] Für die so hergestellten Substrate wurde die Versetzungsdichte der Oberfläche gemessen. Insbesondere wurde die Messung wie folgt durchgeführt. Zunächst wurde das Siliziumcarbidssubstrat für 1 bis 10 Minuten in einer Salzsäurelösung KOH, die auf 500°C erhitzt wurde, eingetaucht. Anschließend wurde die Anzahl der gebildeten Grübchen durch Beobachtung der Oberfläche des Siliziumcarbidssubstrats mit einem Nomarski-Differential-Interferenz-Mikroskop gezählt. Vorzugsweise wird die Anzahl durch Erstellen einer Abbildung der gesamten Oberfläche gezählt, die Gesamtgrübchenanzahl gezählt und die Durchschnittsdichte pro Flächeneinheit berechnet. Wird beispielsweise ein Siliziumcarbidssubstrat mit einem Durchmesser von 2 Zoll verwendet, kann eine Durchschnittsgrübchendichte an 5 oder mehr Messpunkten als eine Grübchendichte übernommen werden, indem beispielsweise die Anzahl der Grübchen pro Flächeneinheit an insgesamt fünf Punkten einschließlich des mittleren Abschnitts des Substrats und Positionen in einem Abstand von etwa 18 mm von dem mittleren Abschnitt in eine kreuz und quer verlaufende Richtung gezählt und gemittelt wird. Jedes der ausgewerteten Siliziumcarbidssubstrate war ein Substrat an einer Position in einem Abstand von 20 mm von der obersten Oberfläche des Trägersubstrats der hergestellten Ingots und es wurde ein Vergleich mit den Daten des Trägersubstrats erstellt.

[0151] In den Ingots des Beispiels wurde eine (0001) Facette der obersten Oberfläche an dem Endabschnitt (dem Endabschnitt auf der stromaufwärts gelegenen Seite) in der Versatzwinkelrichtung des Trägersubstrats angeordnet. Die Breite der (0001) Facette in der Versatzwinkelrichtung betrug bei zweidimensionaler Betrachtung 12,5 mm mit einem Ingot-Durchmesser von 163 mm, 11 mm mit einem Ingot-Durchmesser von 115 mm, und 5,5 mm mit einem Ingot-Durchmesser von 63 mm. Ein Durchschnittswert der Höhe des Ingots betrug 13 mm mit einem Ingot-Durchmesser von 163 mm, 8 mm mit einem Ingot-Durchmesser von 115 mm, und 4 mm mit einem Ingot-Durchmesser von 63 mm. Der Neigungswinkel, der die Ebenheit der Oberfläche angibt, war im Durchschnitt in jedem Fall gleich oder weniger als 10°, der somit einen hinreichenden Grad an Ebenheit aufwies.

[0152] In den Ingots des Vergleichsbeispiels wurde andererseits eine (0001) Facette in dem mittleren Abschnitt der obersten Oberfläche des Ingots gebildet. Die Breite der (0001) Facette in der Versatzwinkelrichtung lag in einem Bereich von 12% bis 45% des Ingot-Durchmessers. Der Neigungswinkel, der die Ebenheit der Oberfläche angibt, betrug durchschnittlich mehr als 10°.

Bezüglich der Substrate:

[0153] In den aus den Ingots geschnittenen Substraten des Beispiels wurde ein Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration mit einer relativ hohen Stickstoffkonzentration in einem Gebiet, das unterhalb der (0001) Facette (das Gebiet, das an dem Endabschnitt des Substrats angeordnet ist) angeordnet ist, gebildet. Die Position des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration war im Wesentlichen dieselbe wie die Position der Facette. Die Breite des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration, die in einer Höhenrichtung des Ingots verteilt ist, lag in einem Bereich von 3 bis 9,5% bezogen auf den Ingot-Durchmesser.

[0154] In den aus den Ingots geschnittenen Substraten des Vergleichsbeispiels wurde auch das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration in einem Gebiet, das unterhalb der (0001) Facette (das Gebiet, das in dem mittleren Abschnitt des Substrats angeordnet ist) angeordnet ist, gebildet. Die Position des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration war im Wesentlichen auch in dem Vergleichsbeispiel dieselbe wie die Position der Facette. Die Größe des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration war in die Höhenrichtung des Ingots verteilt, und die Breite des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration lag in einem Bereich von 5 bis 45% bezogen auf den Ingot-Durch-

messer. Die Breite (Größe) des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration war gleich oder betrug weniger als 10% des Ingot-Durchmessers auch in dem Vergleichsbeispiel, jedoch nur in einem Gebiet in einem Abstand von 5 mm oder weniger von der Oberflächenposition des Trägersubstrats. Dies liegt daran, dass die Ebenheit der Oberfläche des gewachsenen Siliziumcarbid verhältnismäßig erhalten bleibt, da die Gesamtmenge des gewachsenen Siliziumcarbids noch immer klein ist, und dies ist ein anderes Ergebnis als das des Beispiels, in dem die Ebenheit während des Kristallwachstums immer erhalten bleibt.

Bezüglich der Stickstoffkonzentration:

[0155] In den Substraten des Beispiels wies das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration eine Stickstoffkonzentration von $1,2 \text{ E19 cm}^{-3}$ auf und das übrige Gebiet wies eine Stickstoffkonzentration von 8 E18 bis 1 E19 cm^{-3} auf. Die Stickstoffkonzentration an beliebigen fünf Punkten in einem anderen Gebiet als dem Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration lag in einem Bereich von 20% bezogen auf eine Durchschnittskonzentration dieser fünf Punkte.

[0156] In den Substraten des Vergleichsbeispiels wies das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration eine Stickstoffkonzentration von $1,2 \text{ E19 cm}^{-3}$ und das übrige Gebiet eine Stickstoffkonzentration von 8 E18 bis 1 E19 cm^{-3} auf.

Bezüglich der Durchlässigkeit:

[0157] In den Substraten des Beispiels und des Vergleichsbeispiels betrug die Lichtdurchlässigkeit mit einer Wellenlänge von 400 nm bis 500 nm durch das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration 10 bis 20%. Die Durchlässigkeit durch das übrige Gebiet in den Substraten betrug 25 bis 35%. In einem aus einem Ingot geschnittenen Siliziumcarbidsubstrat mit leicht dotiertem Stickstoff, das sich von jenem des vorliegenden Experiments unterscheidet, betrug die Durchlässigkeit durch das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration 35 bis 45% und die Durchlässigkeit durch das übrige Gebiet betrug 45 bis 65%. Ein Brechungsindex eines jeden Siliziumcarbidsubstrats, der durch Berechnung aus Wellenlängencharakteristiken der Durchlässigkeit erhalten wurde, betrug in beiden Beispielen 2,5 bis 2,8.

Bezüglich der Versetzungsdichte:

[0158] Messungen wurden an den Substraten durchgeführt, die durch Schneiden der Ingots an einer Position in einem Abstand von 20 mm von dem Trägersubstrat erhalten wurden. Wies das Trägersubstrat eine Mikroröhrchendichte (MPD) von 10 bis 100 cm^{-2} und eine Ätzgrübchendichte (EPD) von 1 bis 5 E4 cm^{-2} als die Versetzungsdichten auf, konn-

ten in den Substraten des Beispiels sowohl die MPD als auch die EPD auf zwischen $1/2$ und $1/20$ bezogen auf jene des Trägersubstrats in dem anderen Gebiet als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration verringert werden.

[0159] In den Substraten des Vergleichsbeispiels erhöhte sich oder verringerte sich die MPD und EPD innerhalb eines Bereichs von $1/2$ bis 2,5.

[0160] Es sollte verstanden werden, dass die hierin offenbarten Ausführungsformen und Beispiel in jeder Hinsicht beispielhaft und nicht einschränkend sind. Der Umfang der vorliegenden Erfindung wird durch den Wortlaut der Ansprüche anstatt der Beschreibung definiert und soll alle Modifikationen innerhalb des Umfangs und der Bedeutung entsprechend des Wortlauts der Ansprüche umfassen.

Gewerbliche Anwendbarkeit

[0161] Die vorliegende Erfindung wird besonders vorteilhaft auf Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid und eines Siliziumcarbidsubstrats angewendet.

Bezugszeichenliste

1	Basissubstrat
2	Trägerelement
3	Temperaturregulierungselement
4	Oberfläche
5	Facette
6	Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration
7	Gebiet mit niedriger Stickstoffkonzentration
8	gerade Linie
9	oberste Oberfläche
10	Ingot
11	Schmelztiegel
12	Spule
13	Pfeil
14	mittlerer Abschnitt
15	Endabschnitt
16	äußerster Randabschnitt
17	oberer Endabschnitt auf der Facettenseite
18	äußerster Randabschnitt auf der Facettenseite
20	Siliziumcarbidsubstrat
21	Vertiefung
25	Umkreis
26	Pfeil

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid, umfassend die Schritte:
Herstellen eines Trägersubstrats (**1**), das aus einem Siliziumcarbideinkristall hergestellt ist und einen Versatzwinkel von $0,1^\circ$ oder mehr und 10° oder weniger in eine Versatzwinkelrichtung aufweist, die entweder

eine $\langle 11\text{-}20 \rangle$ Richtung oder eine $\langle 1\text{-}100 \rangle$ Richtung relativ zu einer (0001) Ebene umfasst (S10); und Aufwachsen einer Siliziumcarbidsschicht auf einer Oberfläche des Trägersubstrats (1) (S20), wobei in dem Schritt zum Aufwachsen einer Siliziumcarbidsschicht (S20), ein Gebiet mit einer (0001) Facette auf einer Oberfläche der aufgewachsenen Siliziumcarbidsschicht an einem Endabschnitt auf einer stromaufwärts gelegenen Seite gebildet wird, wobei die stromaufwärts gelegene Seite eine Seite ist, an der ein Schnittpunktswinkel zwischen einer $\langle 0001 \rangle$ Richtungsachse des Trägersubstrats und der Oberfläche des Trägersubstrats in der Versatzwinkelrichtung einen spitzen Winkel aufweist.

2. Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid nach Anspruch 1, wobei nach dem Schritt des Aufwachsens einer Siliziumcarbidsschicht (S20), ein unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette angeordneter Abschnitt in der Siliziumcarbidsschicht ein Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration (6) ist, das eine Stickstoffkonzentration aufweist, die höher als in einem anderen Abschnitt (7) als in dem unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette angeordneten Abschnitt in der Siliziumcarbidsschicht ist.

3. Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid nach Anspruch 2, wobei eine Breite des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration (6) in der Versatzwinkelrichtung gleich oder weniger als 1/10 einer Breite des Basissubstrats (1) in der Versatzwinkelrichtung ist.

4. Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid nach Anspruch 2 oder 3, das ferner den Schritt des Entferns des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration (6) umfasst (S30).

5. Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei eine Lichtdurchlässigkeit mit einer Wellenlänge von 450 nm oder mehr und 500 nm oder weniger pro Dickenheit durch das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration (6) niedriger als eine Durchlässigkeit des Lichts pro Dickenheit durch den anderen Abschnitt (7) als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration in der Siliziumcarbidsschicht ist.

6. Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei eine Mikroröhrendichte des unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette angeordneten Abschnitts (6) größer als eine Mikroröhrendichte des anderen Abschnitts (7) als des unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette angeordneten Abschnitts in der Siliziumcarbidsschicht ist.

7. Verfahren zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei nach dem Schritt des Aufwachsens einer Silizi-

umcarbidsschicht (S20) ein maximaler Krümmungsradius der Oberfläche der Siliziumcarbidsschicht gleich dem oder mehr als das Dreifache des Umkreisradius einer ebenen Form des Basissubstrats (1) ist.

8. Verfahren zur Herstellung eines Siliziumcarbidsubstrats, umfassend die Schritte:

Herstellen eines Ingots aus Siliziumcarbid (10) (S40) unter Verwendung des Verfahrens zur Herstellung eines Ingots aus Siliziumcarbid nach Anspruch 1, wobei

in dem Schritt des Herstellens eines Ingots aus Siliziumcarbid (10) (S40), nach dem Schritt des Aufwachsens einer Siliziumcarbidsschicht (S20), ein unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette angeordneter Abschnitt in der Siliziumcarbidsschicht ein Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration (6) ist, das eine Stickstoffkonzentration aufweist, die höher als in einem anderen Abschnitt (7) als in dem unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette angeordneten Abschnitt in der Siliziumcarbidsschicht ist, wobei das Verfahren ferner die Schritte umfasst:

Entfernen des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration (6) von dem Ingot aus Siliziumcarbid (10), und Schneiden des Ingots aus Siliziumcarbid (10) (S50) nach dem Durchführen des Schritts des Entferns des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration (6).

9. Ingot aus Siliziumcarbid, umfassend: ein Trägersubstrat (1), das aus einem Siliziumcarbid-einkristall hergestellt ist und einen Versatzwinkel von $0,1^\circ$ oder mehr und 10° oder weniger in eine Versatzwinkelrichtung aufweist, die entweder eine $\langle 11\text{-}20 \rangle$ Richtung oder eine $\langle 1\text{-}100 \rangle$ Richtung relativ zu einer (0001) Ebene umfasst (S10); und eine Siliziumcarbidsschicht auf einer Oberfläche (4) des Trägersubstrats (1), ein Gebiet mit einer (0001) Facette (5), das auf einer Oberfläche der aufgewachsenen Siliziumcarbidsschicht an einem Endabschnitt auf einer stromaufwärts gelegenen Seite ausgebildet ist, wobei die stromaufwärts gelegene Seite eine Seite ist, an der ein Schnittpunktswinkel zwischen einer $\langle 0001 \rangle$ Richtungsachse des Trägersubstrats und der Oberfläche (4) des Trägersubstrats (1) in der Versatzwinkelrichtung einen spitzen Winkel aufweist.

10. Ingot aus Siliziumcarbid nach Anspruch 9, wobei ein unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette angeordneter Abschnitt in der Siliziumcarbidsschicht ein Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration (6) ist, das eine Stickstoffkonzentration aufweist, die höher als in einem anderen Abschnitt (7) als in dem unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette angeordneten Abschnitt in der Siliziumcarbidsschicht ist.

11. Ingot aus Siliziumcarbid nach Anspruch 10, wobei eine Breite des Gebiets mit hoher Stickstoffkonzentration (6) in der Versatzwinkelrichtung gleich

oder weniger als 1/10 einer Breite des Basissubstrats (1) in der Versatzwinkelrichtung ist.

12. Ingot aus Siliziumcarbid nach Anspruch 10 oder 11, wobei eine Lichtdurchlässigkeit mit einer Wellenlänge von 450 nm oder mehr und 500 nm oder weniger pro Dickeinheit durch das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration (6) niedriger als eine Durchlässigkeit des Lichts pro Dickeinheit durch den anderen Abschnitt (7) als das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration in der Siliziumcarbidschicht ist.

13. Ingot aus Siliziumcarbid nach einem der Ansprüche 9 bis 12, wobei eine Mikroröhrchendichte des unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette angeordneten Abschnitts (6) größer als eine Mikroröhrchendichte des anderen Abschnitts (7) als des unterhalb des Gebiets mit der (0001) Facette angeordneten Abschnitts in der Siliziumcarbidschicht ist.

14. Ingot aus Siliziumcarbid nach einem der Ansprüche 9 bis 13, wobei ein maximaler Krümmungsradius der Oberfläche der Siliziumcarbidschicht gleich dem oder mehr als das Dreifache des Umkreisradius einer ebenen Form des Basissubstrats (1) ist.

15. Siliziumcarbidsubstrat, das durch Schneiden des Ingots aus Siliziumcarbid (10) nach Anspruch 9 erhalten wird.

16. Siliziumcarbidsubstrat, das durch Schneiden des Ingots aus Siliziumcarbid (10) nach Anspruch 10 erhalten wird, nachdem das Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration (6) von dem Ingot aus Siliziumcarbid entfernt wurde.

17. Siliziumcarbidsubstrat nach Anspruch 16, wobei eine Stickstoffkonzentration von einem Durchschnittswert um 10% oder weniger abweicht.

18. Siliziumcarbidsubstrat nach Anspruch 16, wobei eine Versetzungsdichte von einem Durchschnittswert um 80% oder weniger abweicht.

19. Siliziumcarbidsubstrat mit einem Gebiet mit hoher Stickstoffkonzentration (6), das eine Stickstoffkonzentration aufweist, die relativ höher als in einem übrigen Abschnitt ist, der an einem Endabschnitt entweder in einer <11-20> Richtung oder einer <1-100> Richtung vorgesehen ist.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

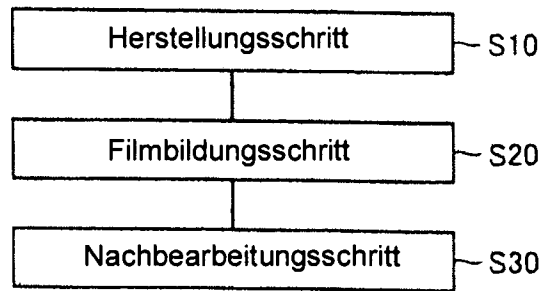


FIG.2

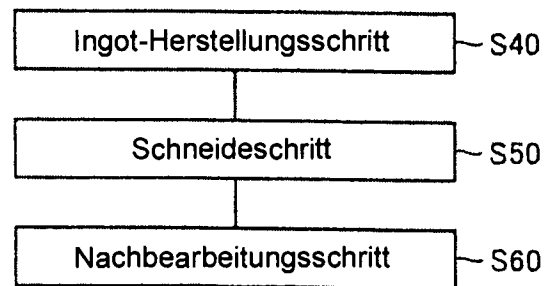


FIG.3

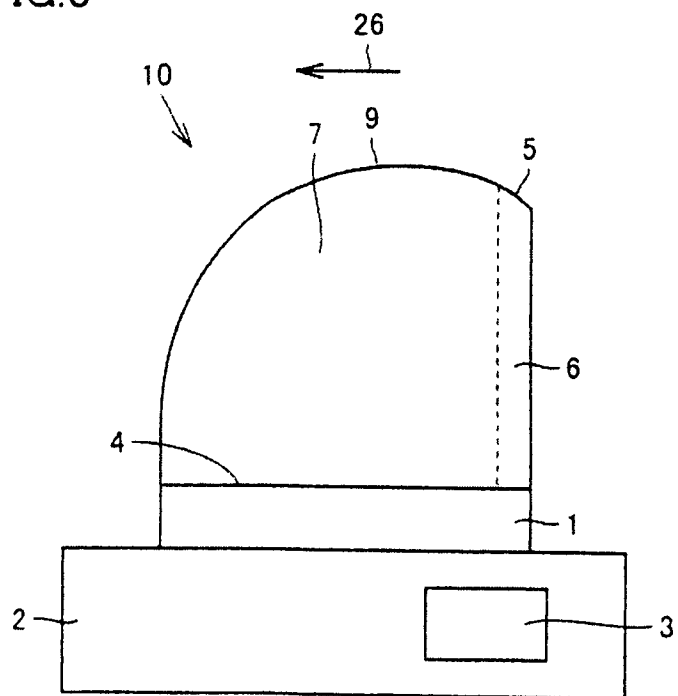


FIG.4

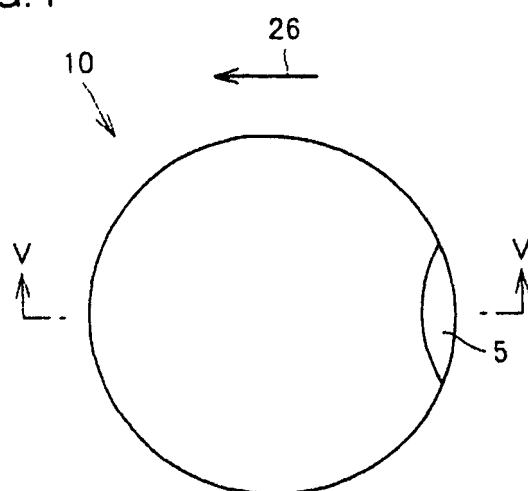


FIG.5

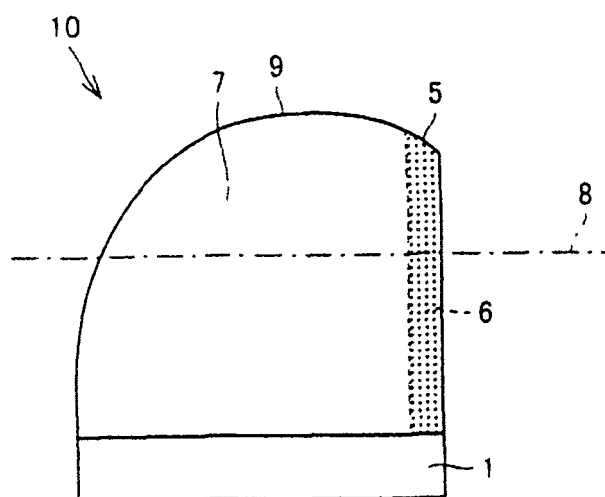


FIG.6

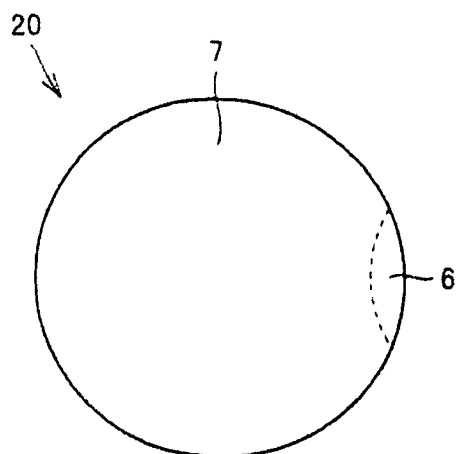


FIG.7

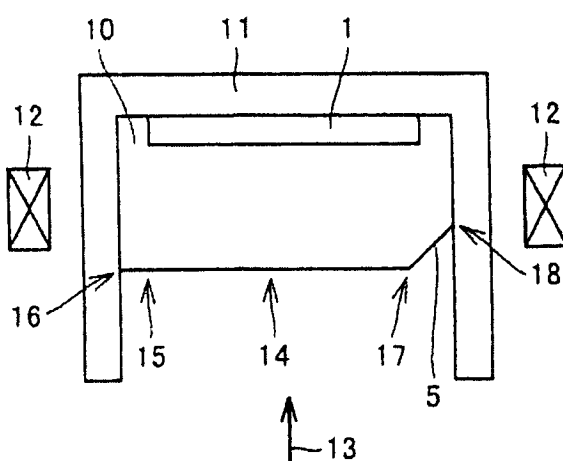


FIG.8

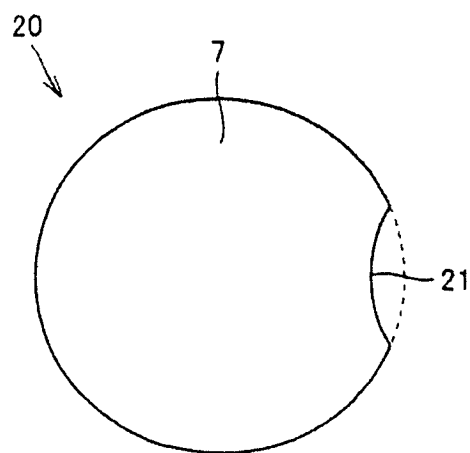


FIG.9

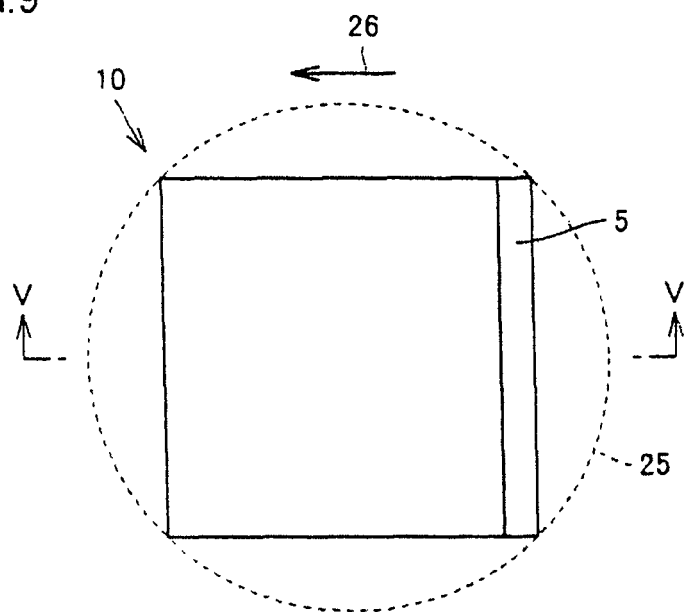


FIG.10

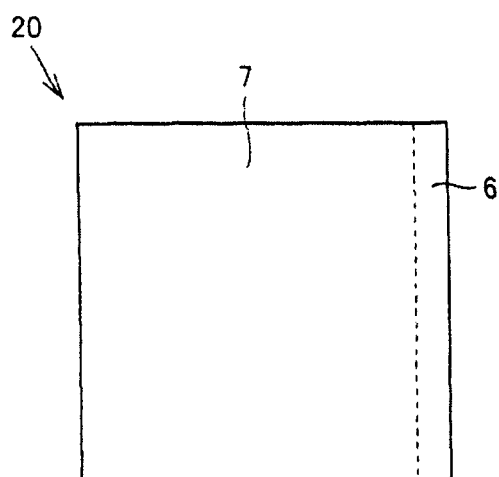


FIG.11

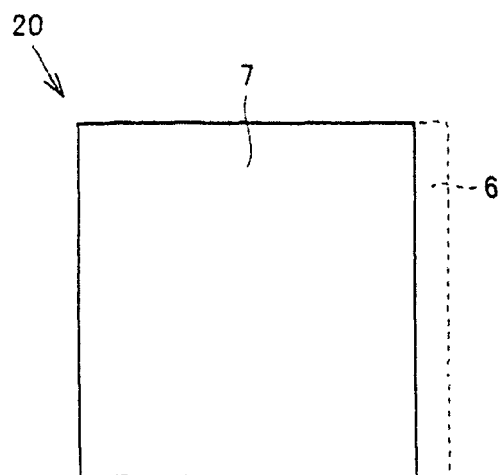


FIG.12

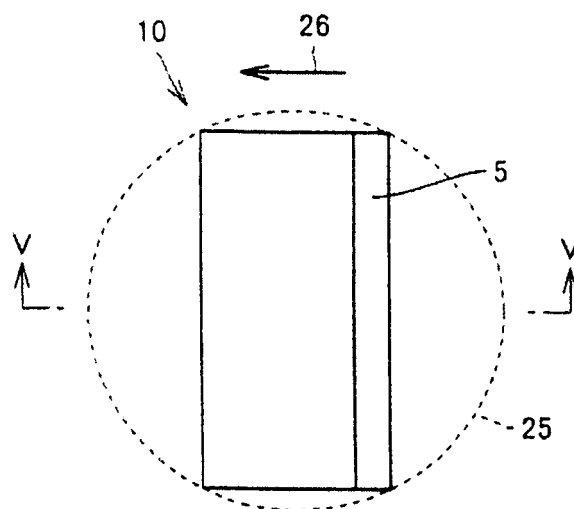


FIG.13

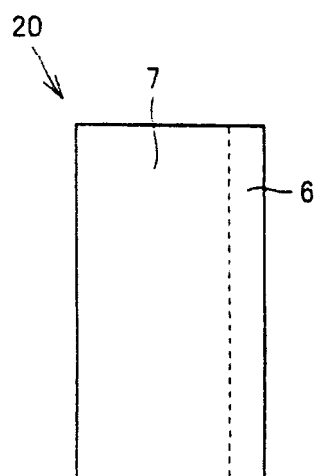


FIG.14

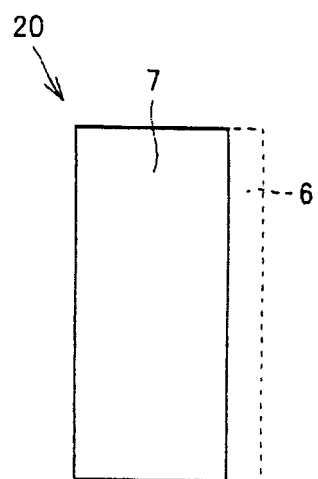


FIG.15

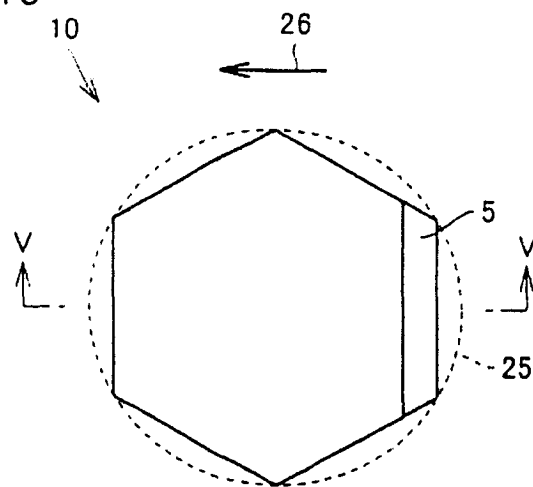


FIG.16

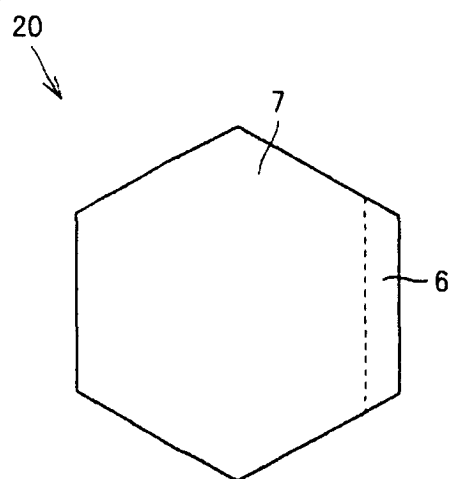


FIG.17

