(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2021 000 205 T5** 2022.08.18

(12) # Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2022/014623**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜbkG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2021 000 205.8**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2021/026375**
(86) PCT-Anmeldetag: **13.07.2021**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **20.01.2022**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung in deutscher Übersetzung: **18.08.2022**

(51) Int Cl.: ***H01L 29/739*** (2006.01)
H01L 29/06 (2006.01)
H01L 23/62 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2020-121285 **15.07.2020** **JP**

(71) Anmelder:
FUJI ELECTRIC CO., LTD., Kawasaki-shi, Kanagawa, JP

(74) Vertreter:
MERH-IP Matias Erny Reichl Hoffmann Patentanwälte PartG mbB, 80336 München, DE

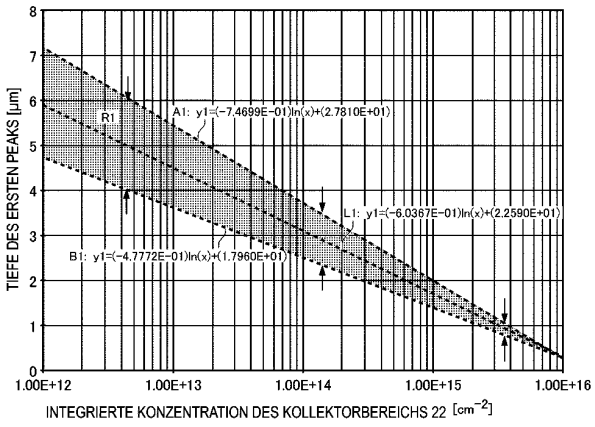
(72) Erfinder:
Agata, Yasunori, Kawasaki-shi, Kanagawa, JP;
Shirakawa, Tohru, Kawasaki-shi, Kanagawa, JP

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Halbleitervorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Eine Halbleitervorrichtung umfasst einen Driftbereich eines ersten Leitfähigkeitstyps, der auf einem Halbleitersubstrat angeordnet ist; einen Feldstoppbereich eines ersten Leitfähigkeitstyps, der unter dem Driftbereich angeordnet ist und einen oder mehr Peaks aufweist; und einen Kollektorbereich eines zweiten Leitfähigkeitstyp, der unter dem Feldstoppbereich angeordnet ist, wobei, wenn eine integrierte Konzentration des Kollektorbereichs x [cm^{-2}] beträgt, eine Tiefe eines ersten Peaks, der aus einem oder mehr Peaks ein untiefster von der Rückenfläche des Halbleitersubstrats ist, y1 [µm] beträgt, Linie A1:y1 = ($-7{,}4699\times10^{-1}$)ln(x) + ($2{,}7810\times10^{1}$), und Linie B1: y1 = ($-4{,}7772\times10^{-1}$)ln(x) + ($1{,}7960\times10^{1}$), liegen eine Tiefe des ersten Peaks und die integrierte Konzentration in einem Bereich zwischen einer Linie A1 und einer Linie B1.



Beschreibung

TECHNISCHER HINTERGRUND

1. TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Halbleitervorrichtung.

2. STAND DER TECHNIK

[0002] Herkömmlicher Weise ist eine Halbleitervorrichtung mit einem Feldstoppbereich bekannt (siehe z.B. Patentdokument 1).

[0003] Patentdokument 1: Japanische Patentanmeldung Nr. 2015-135954

TECHNISCHE AUFGABE

[0004] Es ist wünschenswert, die Zerstörung eines Bauteils durch eine Überspannung beim Abschalten des Stroms zu verhindern.

ALLGEMEINE OFFENBARUNG

[0005] Gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Halbleitervorrichtung bereitgestellt, umfassend einen Driftbereich eines ersten Leitfähigkeitstyps, der auf einem Halbleitersubstrat angeordnet ist; einen Feldstoppbereich eines ersten Leitfähigkeitstyps, der unter dem Driftbereich angeordnet ist und einen oder mehr Peaks aufweist; und einen Kollektorbereich eines zweiten Leitfähigkeitstyp, der unter dem Feldstoppbereich angeordnet ist, wobei, wenn eine integrierte Konzentration des Kollektorbereichs x [cm^{-2}] beträgt, eine Tiefe eines ersten Peaks, der aus einem oder mehr Peaks ein untiefster von der Rückenfläche des Halbleitersubstrats ist, y1 [µm] beträgt,

$$y1 = \left(-7{,}4699 \times 10^{-1}\right)\ln(x) + \left(2{,}7810 \times 10^{1}\right)$$

Linie A1:

$$y1 = \left(-4{,}7772 \times 10^{-1}\right)\ln(x) + \left(1{,}7960 \times 10^{1}\right)$$

Linie B1:

liegen eine Tiefe des ersten Peaks und die integrierte Konzentration in einem Bereich zwischen einer Linie A1 und einer Linie B1.

[0006] Die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs kann $8{,}00 \times 10^{15}$ cm^{-2} oder weniger betragen.

[0007] Die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs kann $3{,}00 \times 10^{14}$ cm^{-2} oder weniger betragen.

[0008] Die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs kann $2{,}00 \times 10^{14}$ cm^{-2} oder weniger betragen.

[0009] Die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs kann $1{,}00 \times 10^{14}$ cm^{-2} oder weniger betragen.

[0010] Die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs kann $5{,}00 \times 10^{13}$ cm^{-2} oder weniger betragen.

[0011] Die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs kann $3{,}00 \times 10^{13}$ cm^{-2} oder weniger betragen.

[0012] Die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs kann $1{,}00 \times 10^{13}$ cm^{-2} oder weniger betragen.

[0013] Die Tiefe des ersten Peaks kann 0,5 µm oder mehr und 7,2 µm oder weniger betragen.

[0014] Die Tiefe des ersten Peaks kann 2,0 µm oder mehr und 7,2 µm oder weniger betragen.

[0015] Wenn eine Tiefe eines zweiten Peaks, der aus einem oder mehr Peaks ein zweit untiefster von der Rückenfläche des Halbleitersubstrats ist, y2 [µm] beträgt,

$$y2 = \left(-3{,}1095\right)\ln(x) + \left(1{,}1416 \times 10^{2}\right)$$

Linie A2:

$$y2 = \left(-1{,}9239\right)\ln(x) + \left(7{,}1030 \times 10^{1}\right)$$

Linie B2:

können eine Tiefe des zweiten Peaks und die integrierte Konzentration in einem Bereich zwischen einer Linie A2 und einer Linie B2 liegen.

[0016] Eine Tiefe des zweiten Peaks kann 3,5 µm oder mehr und 28 µm oder weniger betragen.

[0017] Wenn eine Schwimminduktivität Ls eines mit der Halbleitervorrichtung verbundenen Schaltkreises Xc [nH] ist und eine Kollektorstromabnahmerate dIce/dt Yc [A/µs] ist, und

$$Yc = 10000Xc^{=1}$$

Linie C1:

können die Schwimminduktivität Ls und die Kollektorstromabnahmerate dIce/dt innerhalb eines Bereichs liegen, der größer als eine Linie C1 ist.

[0018] Ein Dotierstoff des einen oder der mehreren Peaks kann Wasserstoff sein.

[0019] Ein aktiver Bereich ist auf dem Halbleitersubstrat angeordnet; und ein äußerer Randbereich, der in einer äußeren Umgebung des aktiven Bereich

in Draufsicht des Halbleitersubstrats angeordnet ist, können vorgesehen sein.

[0020] Ein Basisbereich eines zweiten Leitfähigkeitstyp, der oberhalb des Driftbereichs angeordnet ist; ein Emitterbereich eines ersten Leitfähigkeitstyps, der oberhalb des Basisbereichs angeordnet ist, und dessen Dotierungskonzentration höher als die des Driftbereichs ist; ein Kontaktbereich eines zweiten Leitfähigkeitstyps, der oberhalb des Basisbereichs angeordnet ist, und dessen Dotierungskonzentration höher als die des Basisbereichs ist; und eine Vielzahl von Gatter-Grabenabschnitten, die auf dem Halbleitersubstrat angeordnet sind, können vorgesehen sein.

[0021] Eine Dotierungskonzentration in einer Grenze zwischen dem Feldstoppbereich und dem Kollektorbereich kann 10^{16} cm^{-3} oder weniger betragen.

[0022] Eine Dotierungskonzentration in einer Grenze zwischen dem Feldstoppbereich und dem Kollektorbereich kann 5×10^{15} cm^{-3} oder weniger betragen.

[0023] Eine Dotierungskonzentration in einer Grenze zwischen dem Feldstoppbereich und dem Kollektorbereich kann 2×10^{15} cm^{-3} oder weniger betragen.

[0024] Eine chemische Wasserstoffkonzentration in einer Grenze zwischen dem Feldstoppbereich und dem Kollektorbereich kann 1×10^{18} cm^{-3} oder weniger betragen.

[0025] Eine chemische Wasserstoffkonzentration in einer Grenze zwischen dem Feldstoppbereich und dem Kollektorbereich kann 1×10^{17} cm^{-3} oder weniger betragen.

[0026] Eine chemische Wasserstoffkonzentration in einer Grenze zwischen dem Feldstoppbereich und dem Kollektorbereich kann 1×10^{15} cm^{-3} oder mehr betragen.

[0027] Eine chemische Wasserstoffkonzentration in einer Grenze zwischen dem Feldstoppbereich und dem Kollektorbereich kann 1×10^{16} cm^{-3} oder mehr betragen.

[0028] Die Zusammenfassung beschreibt nicht notwendigerweise alle notwendigen Merkmale der Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung. Die vorliegende Erfindung kann auch eine Unterkombination der oben beschriebenen Merkmale sein.

Figurenliste

Fig. 1A ist ein Beispiel einer Draufsicht einer Halbleitervorrichtung 100.

Fig. 1B ist ein Beispiel einer Draufsicht der Halbleitervorrichtung 100, die dem Bereich A in **Fig. 1A** entspricht.

Fig. 1C ist ein Schaubild, das ein Beispiel im Querschnitts b-b' in **Fig. 1B** zeigt.

Fig. 1D ist ein Schaubild, das ein Beispiel einer Verteilung der Dotierungskonzentration in Tiefenrichtung an der Position der Linie c-c' in **Fig. 1C** illustriert.

Fig. 1E ist eine vergrößerte Ansicht eines Feldstoppbereichs 20 und eines Kollektorbereichs 22 in **Fig. 1D**.

Fig. 1F ist ein Schaubild, das ein Beispiel von Verteilungen einer Netto-Dotierungskonzentration in Tiefenrichtung und einer chemischen Wasserstoffkonzentration in einem ersten Konzentrationspeak und dem Kollektorbereich 22 zeigt.

Fig. 1G ist ein Beispiel einer Draufsicht der Halbleitervorrichtung 100, die dem Bereich B in **Fig. 1A** entspricht.

Fig. 1H ist ein Schaubild, das ein Beispiel im Querschnitts a-a' in **Fig. 1A** zeigt.

Fig. 2A ist ein Beispiel eines Schaltkreises bei einem Überlasttoleranztest der Halbleitervorrichtung 100.

Fig. 2B ist ein Schaubild zum Beschreiben der Klemmenergie der Halbleitervorrichtung 100.

Fig. 3A zeigt eine Beziehung zwischen der Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 und der Klemmenergie.

Fig. 3B zeigt eine Beziehung zwischen der Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 und der Durchbruchspannung eines Bauteils.

Fig. 4A zeigt ein Beispiel der Strom/Spannungs-Eigenschaft der Halbleitervorrichtung 100 gemäß dem Ausführungsbeispiel.

Fig. 4B zeigt ein Beispiel der Strom/Spannungs-Eigenschaft der Halbleitervorrichtung 500 gemäß dem Vergleichsbeispiel.

Fig. 5A zeigt eine Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe eines ersten Peaks P1.

Fig. 5B zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des ersten Peaks P1.

Fig. 5C zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des ersten Peaks P1.

Fig. 6A zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des ersten Peaks P1.

Fig. 6B zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des ersten Peaks P1.

Fig. 6C zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des ersten Peaks P1.

Fig. 6D zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des ersten Peaks P1.

Fig. 6E zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des ersten Peaks P1.

Fig. 6F zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des ersten Peaks P1.

Fig. 7A zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe eines zweiten Peaks P2.

Fig. 7B zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des zweiten Peaks P2.

Fig. 7C zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des zweiten Peaks P2.

Fig. 8A ist ein Schaubild zum Beschreiben einer Beziehung zwischen Schwimminduktivität Ls und Kollektorstromabnahmerate dIce/dt.

Fig. 8B ist ein Schaubild zum Beschreiben einer Beziehung zwischen vergleichbarer Streuinduktivität Ls·A und Stromdichte dJce/dt.

Fig. 9 ist ein Schaubild zum Beschreiben einer Beziehung zwischen vergleichbarer Streuinduktivität Ls·A und vergleichbarem Gatterwiderstand Rg·A.

BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0029] Im Folgenden wird die vorliegende Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen der Erfindung beschrieben, wobei die folgenden Ausführungsbeispiele die beanspruchte Erfindung nicht einschränken. Außerdem sind nicht alle Kombinationen von Merkmalen, die in den Ausführungsbeispielen beschrieben werden, essenziell für die erfindungsgemäße Lösung.

[0030] In der vorliegenden Beschreibung wird eine Seite in Richtung parallel zur Tiefenrichtung eines Halbleitersubstrats als eine „obere“ Seite und die andere Seite als „untere“ Seite bezeichnet. Eine Oberfläche von zwei Hauptflächen eines Substrats, eine Schicht oder ein anderes Element wird als eine obere Oberfläche und die andere Oberfläche als eine untere Oberfläche bezeichnet. Die „obere“, „untere“, „vordere“ und „hintere“ Richtungen sind nicht auf die Richtung der Schwerkraft oder die Richtung des Befestigens am Substrat oder dergleichen zum Zeitpunkt des Montierens der Halbleitervorrichtung beschränkt.

[0031] In der vorliegenden Beschreibung können technische Sachverhalte unter Verwendung orthogonaler Koordinatenachsen X, Y und Z beschrieben werden. Die orthogonalen Koordinatenachsen bezeichnen lediglich relative Positionen von Komponenten und schränken nicht auf eine bestimmte Richtung ein. Beispielsweise ist die Z-Achse nicht ausschließlich auf die Höhenrichtung relativ zum Boden beschränkt. Eine +Z-Richtung und eine -Z-Richtung sind einander entgegengesetzte Richtungen. Wenn die Z-Achsen-Richtung ohne Vorzeichen beschrieben wird, wird auf eine Richtung parallel zur +Z-Achse und zur -Z-Achse Bezug genommen.

[0032] In der vorliegenden Beschreibung wird eine zur oberen Oberfläche des Halbleitersubstrats parallele Oberfläche als die XY-Oberfläche bezeichnet und eine orthogonale Achse parallel zur oberen Oberfläche und zur unteren Oberfläche des Halbleitersubstrats wird als die X-Achse und die Y-Achse bezeichnet. Außerdem wird eine Achse senkrecht zur oberen Oberfläche und zur unteren Oberfläche des Halbleitersubstrats als die Z-Achse bezeichnet. Die Tiefenrichtung eines Halbleitersubstrats kann als die Z-Achse bezeichnet werden. Außerdem wird in der vorliegenden Beschreibung die Ansicht des Halbleitersubstrats in Z-Achsenrichtung als Draufsicht bezeichnet. Außerdem kann in der vorliegenden Beschreibung eine Richtung parallel zur oberen Oberfläche und zur unteren Oberfläche des Halbleitersubstrats als eine horizontale Richtung, einschließlich einer X-Achse und einer Y-Achse, bezeichnet werden.

[0033] In jedem Ausführungsbeispiel wird ein Beispiel, in dem ein erster Leitfähigkeitstyp N-artig und ein zweiter Leitfähigkeitstyp P-artig ist, beschrieben. Der erste Leitfähigkeitstyp kann jedoch auch P-artig sein und der zweite Leitfähigkeitstyp kann N-artig sein. In diesem Fall sind Leitfähigkeitstypen von Substraten, Schichten, Bereichen und dergleichen in jedem Ausführungsbeispiel jeweils von gegensätzlicher Polarität.

[0034] In der vorliegenden Beschreibung können die Begriffe „gleich“ oder „selbe“ einen Fall bezeichnen, bei dem ein Fehler aufgrund eine Abweichung bei der Herstellung oder dergleichen enthalten ist. Der Fehler beträgt beispielsweise bis zu 10%.

[0035] In der vorliegenden Beschreibung wird eine Leitfähigkeitsart eines Dotierungsbereichs, wo eine Dotierung mit einer Verunreinigung durchgeführt wurde, als p-artig oder n-artig bezeichnet. In der vorliegenden Beschreibung kann sich die Verunreinigung insbesondere auf einen beliebigen N-artigen Donator oder einen P-artigen Akzeptor beziehen und kann als Dotierstoff beschrieben werden. In der vorliegenden Beschreibung ist mit Dotierung das Einbringen des Donators oder des Akzeptors in ein Halbleitersubstrat zum Bilden eines Halbleiters mit einem N-artigen Leitfähigkeitstyp oder einem P-artigen Leitfähigkeitstyp gemeint.

[0036] In der vorliegenden Beschreibung bezeichnet eine Dotierungskonzentration eine Konzentration des Donators oder eine Konzentration des Akzeptors in einem thermisch Gleichgewichtszustand. In der vorliegenden Beschreibung bezeichnet eine Netto-Dotierungskonzentration eine Netto-Konzentration, die durch Hinzufügen der Donatorenkonzentration als Konzentration positiver Ionen zur Akzeptorenkonzentration als Konzentration negativer Ionen erhalten wird, einschließlich der Polaritäten der Ladungen. Wenn beispielsweise N_D die Donatorenkonzentration ist und N_A die Akzeptorenkonzentration, wird die Netto-Dotierungskonzentration an einer beliebigen Position durch $N_D - N_A$ angegeben.

[0037] Der Donator hat die Funktion, Elektronen an einen Halbleiter bereitzustellen. Der Akzeptor hat die Funktion, Elektronen vom Halbleiter zu empfangen. Der Donator und der Akzeptor sind nicht auf die Verunreinigungen selbst beschränkt. Beispielsweise dient ein VOH-Defekt, der eine Kombination aus einer Leerstelle (V), Sauerstoff (O) und Wasserstoff (H) ist, die im Halbleiter vorliegen, als der Donator, der Elektronen bereitstellt. Ein VOH-Defekt kann einfach als Wasserstoffdonator bezeichnet werden.

[0038] In der vorliegenden Beschreibung bedeuten die Bezeichnungen P^+-artig oder N^+-artig eine höhere Dotierungskonzentration als die Bezeichnungen P-artig oder N-artig, und die Bezeichnungen P-artig oder N-artig beziehen sich auf eine niedrigere Dotierungskonzentration als die Bezeichnungen P-artig oder N-artig. Außerdem bedeuten in der vorliegenden Beschreibung die Bezeichnungen P^{++}-artig oder N^{++}-artig, dass die Dotierungskonzentration größer ist als die von P^+-artig oder N^+-artig.

[0039] Eine chemische Konzentration in der vorliegenden Beschreibung bezieht sich auf atomare Dichte einer Verunreinigung, die unabhängig von einem elektrischen Aktivierungszustand gemessen wird. Die chemische Konzentration kann beispielsweise durch Sekundärionen-Massenspektrometrie (SIMS) gemessen werden. Die oben beschriebene Netto-Dotierungskonzentration kann durch Spannungs-Kapazitäts-Profilierung (CV-Profilierung) gemessen werden. Ferner kann eine durch ein Ausbreitungswiderstands-Verfahren („Spreading Resistance“, SRP-Verfahren) gemessene Ladungsträgerkonzentration als die Dotierungskonzentration verwendet werden. Die durch die CV-Profilierung oder das SRP-Verfahren gemessene Ladungsträgerkonzentration kann ein Wert im thermischen Gleichgewichtszustand sein. Ferner ist die Donatorenkonzentration in einem N-artigen Bereich ausreichend größer als die Akzeptorenkonzentration, so dass die Ladungsträgerkonzentration des Bereichs als die Donatorenkonzentration verwendet werden kann. In ähnlicher Weise kann die Ladungsträgerkonzentration eines P-artigen Bereichs als die Akzeptorenkonzentration festgelegt sein. Jede Konzentration in der vorliegenden Beschreibung kann ein Wert bei Raumtemperatur sein. Für die Raumtemperatur kann beispielsweise ein Wert von 300 K (Kelvin) (ungefähr 26,9 °C) verwendet werden.

[0040] Wenn außerdem eine Konzentrationsverteilung des Donators, Akzeptors oder der Netto-Dotierung einen Peak in einem Bereich aufweist, kann der Spitzenwert auf die Konzentration des Donators, Akzeptors oder der Netto-Dotierung im Bereich eingestellt sein. In einem Fall, wo die Konzentration des Donators, Akzeptors oder Nettodotierung in einem Bereich im Wesentlichen gleichförmig oder dergleichen ist, kann ein Mittelwert der Konzentration des Donators, Akzeptors oder Nettodotierung im Bereich als die Konzentration des Donators, Akzeptors oder Nettodotierung verwendet werden.

[0041] Die durch das SRP-Verfahren gemessene Ladungsträgerkonzentration kann kleiner als die Konzentration des Donators oder des Akzeptors sein. In einem Bereich, wo ein Strom beim Messen eines Ausbreitungswiderstands fließt, kann die Ladungsträgermobilität des Halbleitersubstrats niedriger sein als ein Wert in einem Kristallzustand. Die Reduzierung der Ladungsträgermobilität tritt auf, wenn Ladungsträger aufgrund von Unordnung (Unordnung) einer Kristallstruktur aufgrund von Gitterdefekten oder dergleichen gestreut werden.

[0042] Die aus der mittels der CV-Profilierung oder dem SRP-Verfahren gemessenen Ladungsträgerkonzentration berechnete Konzentration des Donators oder des Akzeptors kann niedriger als eine chemische Konzentration eines Elements sein, welches den Donator oder den Akzeptor bildet. Beispielsweise beträgt eine Donatorenkonzentration von Phosphor oder Arsen, die als Donator dienen, oder eine Akzeptorenkonzentration von Bor, der als Akzeptor dient, in einem Silizium-Halbleiter ungefähr 99% von deren chemischen Konzentration. Andererseits beträgt eine Donatorenkonzentration von Wasserstoff, der als Donator dient, in einem Silizium-Halbleiter beispielsweise ungefähr 0,1% bis 10% der chemischen Konzentration von Wasserstoff.

[0043] Wenn nicht anders angegeben, wird hier ein SI-Einheitensystem als Einheitensystem verwendet. Obwohl eine Einheit der Länge in cm oder dergleichen angegeben sein kann, können verschiedene Berechnungen nach Konvertieren in Meter (m) durchgeführt werden.

[0044] Der Begriff Dotierungskonzentration bezeichnet hier eine Konzentration eines Donators oder eines akzeptierten Dotierstoffs. Die Einheit ist daher /cm^3. Ein Unterschied von Konzentrationen eines Donators und eines Akzeptors (d.h. eine Netto-Dotierungskonzentration) kann hierin als die Dotierungskonzentration genommen werden. In diesem Fall kann die Dotierungskonzentration mit einem SRP-Verfahren gemessen werden. Außerdem kann auch eine chemische Konzentration des Donators und des Akzeptors als die Dotierungskonzentration eingestellt sein. In diesem Fall kann die Dotierungskonzentration mit einem SIMS-Verfahren gemessen werden. Falls nicht ausdrücklich darauf beschränkt, kann eine beliebige der oben genannten als eine Dotierungskonzentration verwendet werden. Wenn nicht gesondert festgelegt, kann ein Spitzenwert der Verteilung der Dotierungskonzentration in einem Dotierungsbereich als die Dotierungskonzentration in dem Dotierungsbereich verwendet werden.

[0045] Außerdem bezeichnet hier der Begriff Dosierung die Anzahl von Ionen, die pro Flächeneinheit in einen Wafer implantiert werden, wenn Ionen implantiert werden. Die Einheit ist daher /cm^2. Man beachte, dass eine Dosierung eines Halbleiterbereichs als eine integrierte Konzentration bezeichnet werden kann, welche sich durch Integrieren von Dotierungskonzentrationen über den Halbleiterbereich in Tiefenrichtung ergibt. Die Einheit der integrierten Konzentration ist /cm^2. Daher kann die Dosierung als dasselbe wie die integrierte Konzentration betrachtet werden. Die integrierte Konzentration kann auch ein integrierter Wert innerhalb der Halbwertsbreite sein. Im Falle eines Überlappens des Spektrums mit einem anderen Halbleiterbereich, kann die integrierte Konzentration ohne den Einfluss eines anderen Halbleiterbereichs abgeleitet werden.

[0046] Daher kann der Pegel der Dotierungskonzentration in der vorliegenden Beschreibung auch als der Pegel der Dosierung verstanden werden. Das heißt, falls die Dotierungskonzentration eines Bereichs höher als die Dotierungskonzentration eines anderen Bereichs ist, kann dies so verstanden werden, dass die Dosierung dieses einen Bereichs höher als die Dosierung des anderen Bereichs ist.

[0047] **Fig. 1A** ist ein Beispiel einer Draufsicht einer Halbleitervorrichtung 100. Die Halbleitervorrichtung 100 umfasst einen aktiven Bereich 110, einen äußeren Randbereich 120 und einen Anschlussflächenbereich 130. Die Halbleitervorrichtung 100 ist ein Halbleiterchip, der einen Transistorabschnitt 70 und einen Diodenabschnitt 80 aufweist. Die Halbleitervorrichtung 100 umfasst einen Temperaturmessabschnitt 76 und kann auf einem Modul, wie z.B. einem IPM („Intelligent Power Module“, intelligentes Leistungsmodul) montiert sein.

[0048] Der Transistorabschnitt 70 umfasst einen Transistor, wie z.B. einen IGBT (Bipolartransistor mit isolierter Gatterelektrode). Der Diodenabschnitt 80 umfasst eine Diode, wie z.B. eine Freilaufdiode (FWD). Die Halbleitervorrichtung 100 des vorliegenden Beispiels ist ein rückwärtsleitender IGBT (RC-IGBT) mit einem Transistorabschnitt 70 und einem Diodenabschnitt 80 auf demselben Chip. Im vorliegenden Beispiel ist der Transistor des Transistorabschnitts 70 ein IGBT.

[0049] Das Halbleitersubstrat 10 kann ein Siliziumsubstrat, ein Siliziumkarbidsubstrat, ein Nitrid-Halbleitersubstrat oder dergleichen wie z.B. Galliumnitrid sein. Das Halbleitersubstrat 10 im vorliegenden Beispiel ist ein Siliziumsubstrat. Die Halbleitervorrichtung 10 umfasst einen aktiven Bereich 110, einen äußeren Randbereich 120.

[0050] Der Transistorabschnitt 70 und der Diodenabschnitt 80 können abwechselnd nebeneinander in der XY-Ebene angeordnet sein. Die Halbleitervorrichtung 100 des vorliegenden Beispiels umfasst jeweils eine Vielzahl von Transistorabschnitten 70 und eine Vielzahl von Diodenabschnitten 80. Der Transistorabschnitt 70 und der Diodenabschnitt 80 des vorliegenden Beispiels haben Grabenabschnitte, die sich in Y-Achsenrichtung erstrecken. Der Transistorabschnitt 70 und der Diodenabschnitt 80 können jedoch Grabenabschnitte aufweisen, die sich in X-Achsenrichtung erstrecken.

[0051] Ein Temperaturmessabschnitt 76 ist über einem aktiven Bereich 110 angeordnet. Der Temperaturmessabschnitt 76 kann aus monokristallinem oder polykristallinem Silizium ausgebildet sein.

Wenn sich die Temperatur der Halbleitervorrichtung 100 ändert, ändert sich die Durchlassspannung eines Stroms, der im Temperaturmessabschnitt 76 fließt. Auf Grundlage der Änderung der Durchlassspannung, kann die Temperatur der Halbleitervorrichtung 100 gemessen werden.

[0052] Der aktive Bereich 110 umfasst den Transistorabschnitt 70 und den Diodenabschnitt 80. Der aktive Bereich 110 ist ein Bereich, wo der Hauptstrom zwischen der Frontfläche und der Rückenfläche des Halbleitersubstrats 10 fließt, wenn die Halbleitervorrichtung 100 in einen EIN-Zustand versetzt wird. Das heißt, es ist ein Bereich, in dem der Strom durch das Innere des Halbleitersubstrats 10 von der Frontfläche zur Rückfläche oder von der Rückfläche zur Frontfläche des Halbleitersubstrats 10 in Tiefenrichtung fließt. In der vorliegenden Beschreibung können die Transistorabschnitte 70 und die Diodenabschnitte 80 jeweils als ein Bauteilabschnitt oder ein Bauteilbereich bezeichnet werden.

[0053] Außerdem wird ein in Draufsicht durch zwei Bauteilabschnitte eingeschlossener Bereich als ein aktiver Bereich 110 bezeichnet. Im vorliegenden Beispiel ist ein Bereich, wo ein Gatterläufer 51 durch Bauteilabschnitte eingeschlossen angeordnet ist, im aktiven Bereich 110 enthalten.

[0054] Der Gatterläufer 51 kann ein von der Gatter-Anschlussfläche 131 eines Anschlussbereichs bereitgestelltes Gatterpotenzial an einen Gatter-Leitungsabschnitt des Transistorabschnitts 70 bereitstellen. Der Gatterläufer 51 ist in Draufsicht entlang der äußeren Umgebung des aktiven Bereichs 110 angeordnet. Der Gatterläufer 51 kann in Draufsicht im Bereich zwischen dem Transistorabschnitt 70 und dem Diodenabschnitt 80 angeordnet sein.

[0055] Der äußere Randbereich 120 ist in Draufsicht um einen Endabschnitt des Halbleitersubstrats 10 angeordnet, so dass er den aktiven Bereich 110 und den Anschlussbereich130 umgibt. Es ist ein Bereich zwischen dem aktiven Bereich 110 und dem Anschlussbereich 130 und der äußeren Randkante des Halbleitersubstrats 10. Der äußere Randbereich 120 ist in Draufsicht um den aktiven Bereich 110 herum angeordnet. Der Randbereich 120 kann einen Randabschlussstrukturabschnitt aufweisen. Die Randabschlussstrukturabschnitt reduziert die elektrische Feldstärke auf der Seite der Frontfläche des Halbleitersubstrats 10. Beispielsweise hat der Randabschlussstrukturabschnitt eine Struktur eines Schutzrings, einer Feldplatte, eines RESURF und einer Kombination davon.

[0056] Der Anschlussbereich 130 umfasst eine Gatter-Anschlussfläche 131, einen Abtast-IGBT 132, eine Abtastemitter-Anschlussfläche 133, eine Anoden-Anschlussfläche 134 und eine Kathoden-Anschlussfläche 135. Im vorliegenden Beispiel sind eine Kathoden-Anschlussfläche 135, eine Anoden-Anschlussfläche 134, eine Gatter-Anschlussfläche 131, ein Abtast-IGBT 132 und eine Abtastemitter-Anschlussfläche 133 der Reihe nach in X-Achsenrichtung in dieser Reihenfolge angeordnet. Jede Anschlussfläche kann eine Elektroden-Anschlussfläche sein, die Gold (Au), Silber (Ag), Kupfer (Cu), Aluminium (AI) oder dergleichen umfasst.

[0057] Die Gatter-Anschlussfläche 131 ist über einen Gatterläufer 51 elektrisch mit einem Gatter-Leitungsabschnitt des Transistorabschnitts 70 verbunden. Die Gatter-Anschlussfläche 131 wird auf ein Gatter-Potenzial eingestellt.

[0058] Der Abtast-IGBT 132 ist ein IGBT zum Messen eines Hauptstroms, der im Transistorabschnitt 70 fließt. Im Abtast-IGBT 132 fließt ein Strom, der proportional zum Hauptstrom ist, der im Transistorabschnitt 70 fließt. Durch Einspeisen des im Abtast-IGBT 132 fließenden Abtaststroms in eine außerhalb der Halbleitervorrichtung 100 vorgesehene Steuerschaltung kann der Hauptstrom des Transistorabschnitts 70 erfasst werden. Die Abtastemitter-Anschlussfläche 133 des vorliegenden Beispiels hat dasselbe Potenzial wie der Emitter des Abtast-IGBT 132. Der Abtaststrom kann von der Abtastemitter-Anschlussfläche 133 über den Abtast-IGBT 132 in die oben beschriebene Steuerschaltung eingespeist werden. Die Steuerschaltung kann den Hauptstrom auf Grundlage des Abtaststroms erfassen, um einen im Transistorabschnitt 70 fließenden Strom abzuschalten, wenn ein Überstrom im Transistorabschnitt 70 fließt.

[0059] Eine Anoden-Anschlussfläche 134 ist elektrisch mit dem Temperaturmessabschnitt 76 verbunden und auf das Anodenpotential des Temperaturmessabschnitts 76 eingestellt. In ähnlicher Weise ist eine Kathoden-Anschlussfläche 135 elektrisch mit dem Temperaturmessabschnitt 76 verbunden und auf das Kathodenpotenzial des Temperaturmessabschnitts 76 eingestellt. Die Verwendung der Anoden-Anschlussfläche 134 und der Kathoden-Anschlussfläche 135 ermöglicht das Erfassen von Potenzialunterschieden zwischen der Anode und der Kathode des Temperaturmessabschnitts 76.

[0060] **Fig. 1B** ist ein Beispiel einer Draufsicht der Halbleitervorrichtung 100, die dem Bereich A in **Fig. 1A** entspricht. Das heißt, **Fig. 1B** zeigt eine vergrößerte Ansicht des Endabschnitts des aktiven Bereichs 110.

[0061] Der Transistorabschnitt 70 ist ein Bereich, wo der auf der Rückseite des Halbleitersubstrats 10 angeordnete Kollektorbereich 22 auf eine Frontfläche des Halbleitersubstrats 10 projiziert ist. Der Kollektorbereich 22 ist vom zweiten Leitfähigkeitstyp.

Der Kollektorbereich 22 des vorliegenden Beispiels ist beispielsweise P^+-artig. Der Transistorabschnitt 70 umfasst einen Grenzabschnitt 90, der in einer Grenze zwischen dem Transistorabschnitt 70 und dem Diodenabschnitt 80 angeordnet ist.

[0062] Der Diodenabschnitt 80 ist ein Bereich, wo der auf der Rückseite des Halbleitersubstrats 10 angeordnete Kathodenbereich 82 auf die Frontfläche des Halbleitersubstrats 10 projiziert ist. Der Kathodenbereich 82 hat den ersten Leitfähigkeitstyp. Der Kathodenbereich 82 des vorliegenden Beispiels ist beispielsweise N^+-artig.

[0063] Die Halbleitervorrichtung 100 des vorliegenden Beispiels umfasst einen Gatter-Grabenabschnitt 40, einen Dummy-Grabenabschnitt 30, einen Emitterbereich 12, einen Basisbereich 14, einen Kontaktbereich 15 und einen Senkenbereich 17 auf der Frontfläche des Halbleitersubstrats 10. Außerdem umfasst die Halbleitervorrichtung 100 des vorliegenden Beispiels eine Emitterelektrode 52 und eine Gatter-Metallschicht 50, die oberhalb der Frontfläche des Halbleitersubstrats 10 angeordnet sind.

[0064] Die Emitterelektrode 52 ist oberhalb des Gatter-Grabenabschnitts 40, des Dummy-Grabenabschnitts 30, des Emitterbereichs 12, des Basisbereichs 14, des Kontaktbereichs 15 und des Senkenbereichs 17 angeordnet. Außerdem ist die Gatter-Metallschicht 50 oberhalb des Senkenbereichs 17 und des Gatterläufers 51 angeordnet. Die Emitterelektrode 52 des vorliegenden Beispiels ist auf ein Emitterpotenzial des Transistorabschnitts 70 eingestellt.

[0065] Die Gatter-Metallschicht 50 ist elektrisch mit dem Gatter-Leitungsabschnitt des Transistorabschnitts 70 verbunden und liefert eine Gatterspannung an den Transistorabschnitt 70. Die Gatter-Metallschicht 50 ist elektrisch mit der Gatter-Anschlussfläche 131 verbunden. Die Gatter-Metallschicht 50 ist in Draufsicht entlang der äußeren Umgebung des aktiven Bereichs 110 angeordnet. Die Gatter-Metallschicht 50 kann in Draufsicht im Bereich zwischen dem Transistorabschnitt 70 und dem Diodenabschnitt 80 angeordnet sein.

[0066] Das Gatterläufer 51 verbindet die Gatter-Metallschicht 50 mit einem Gatter-Leitungsabschnitt innerhalb des Gatter-Grabenabschnitts 40. Der Gatterläufer 51 ist nicht mit einem Dummy-Leitungsabschnitt im Dummy-Grabenabschnitt 30 verbunden. Beispielsweise ist der Gatterläufer 51 aus Polysilizium, das mit einer Verunreinigung dotiert ist, oder ähnlichem ausgebildet.

[0067] Die Emitterelektrode 52 und die Gatter-Metallschicht 50 sind aus einem Material ausgebildet, das Metall enthält. Beispielsweise kann zumindest ein Teilbereich der Emitterelektrode 52 aus Aluminium, einer Aluminium-Silizium-Legierung oder einer Aluminium-Silizium-Kupfer-Legierung gebildet sein. Die Emitterelektrode 52 kann eine Metallbarriere aus Titan, einem Titanverbundstoff oder dergleichen aufweisen, die unter dem Bereich aus Aluminium und dergleichen ausgebildet ist. Die Emitterelektrode 52 und die Gatter-Metallschicht 50 sind voneinander beabstandet angeordnet.

[0068] Die Emitterelektrode 52 und die Gatter-Metallschicht 50 sind oberhalb des Halbleitersubstrats 10 angeordnet mit einem dielektrischen Zwischenschichtfilm 38 dazwischen. Der dielektrische Zwischenschichtfilm 38 wurde in **Fig. 1B** weggelassen. Ein Kontaktloch 54, ein Kontaktloch 55 und ein Kontaktloch 56 sind durch den dielektrischen Zwischenschichtfilm 38 vorgesehen.

[0069] Das Kontaktloch 55 verbindet die Gatter-Metallschicht 50 mit dem Gatterläufer 51. Im Kontaktloch 55 kann ein Stecker aus Wolfram oder dergleichen ausgebildet sein. Das Kontaktloch 55 kann entlang dem Gatterläufer 51 angeordnet sein.

[0070] Das Kontaktloch 56 verbindet die Emitterelektrode 52 mit einem Dummy-Leitungsabschnitt in einem Dummy-Grabenabschnitt 30. Im Kontaktloch 56 kann ein Stecker aus Wolfram oder dergleichen ausgebildet sein.

[0071] Ein Verbindungsabschnitt 25 verbindet die Emitterelektrode 52 elektrisch mit einem Stecker im Inneren des Kontaktlochs 56. Der Verbindungsabschnitt 25 umfasst ein leitendes Material wie z.B. Polysilizium, das mit Verunreinigungen dotiert ist. Der Verbindungsabschnitt 25 des vorliegenden Beispiels ist eine Polysiliziumschicht, die mit N-artigen Verunreinigungen dotiert ist. Der Verbindungsabschnitt 25 bedeckt in Draufsicht einen Bereich, der größer als das Kontaktloch 56 ist. Der Verbindungsabschnitt 25 ist über einen dielektrischen Film wie z.B. einen Oxidfilm oder dergleichen oberhalb der Frontfläche des Halbleitersubstrats 10 angeordnet.

[0072] Der Gatter-Grabenabschnitt 40 ist in einem vorgegebenen Intervall entlang einer vorgegebenen Anordnungsrichtung (im vorliegenden Beispiel die X-Achsenrichtung) angeordnet. Der Gatter-Grabenabschnitt 40 kann im vorliegenden Beispiel zwei Erstreckungsabschnitte 41 aufweisen, die sich entlang der Erstreckungsrichtung (im vorliegenden Beispiel die Y-Achsenrichtung) erstrecken, die parallel zur Frontfläche des Halbleitersubstrats 10 und senkrecht zur Anordnungsrichtung verläuft, sowie einen Verbindungsabschnitt 43, der die beiden Erstreckungsabschnitte 41 verbindet.

[0073] Zumindest ein Teil des Verbindungsabschnitts 43 ist vorzugsweise in einer gebogenen

Form ausgebildet. Durch Verbinden von Endabschnitten der zwei Erstreckungsabschnitte 41 der Gatter-Grabenabschnitte 40, kann eine elektrische Feldstärke an den Endabschnitten der Erstreckungsabschnitte 41 reduziert werden. Im Verbindungsabschnitt 43 des Gatter-Grabenabschnitts 40 kann der Gatterläufer 51 mit dem Gatter-Leitungsabschnitt verbunden sein.

[0074] Der Dummy-Grabenabschnitt 30 ist ein Grabenabschnitt, der elektrisch mit der Emitterelektrode 52 verbunden ist. Der Dummy-Grabenabschnitt 30 ist ähnlich wie der Gatter-Grabenabschnitt 40 in einem vorgegebenen Intervall entlang einer vorgegebenen Anordnungsrichtung (im vorliegenden Beispiel die X-Achsenrichtung) angeordnet. Der Dummy-Grabenabschnitt 30 des vorliegenden Beispiels kann ähnlich wie der Gatter-Grabenabschnitt 40 eine U-Form auf der Frontfläche des Halbleitersubstrats 10 aufweisen. Das heißt, der Dummy-Grabenabschnitt 30 kann zwei Erstreckungsabschnitte 31 aufweisen, die sich entlang der Erstreckungsrichtung erstrecken, und einen Verbindungsabschnitt 33, der die zwei Erstreckungsabschnitte 31 verbindet.

[0075] Der Senkenbereich 17 ist ein Bereich eines zweiten Leitfähigkeitstyps, der näher an der Frontfläche des Halbleitersubstrats 10 als der Driftbereich 18 angeordnet ist, was im Folgenden beschrieben wird. Der Senkenbereich 17 ist ein Beispiel für den Senkenbereich, der auf der Kantenseite der Halbleitervorrichtung 100 angeordnet ist. Der Senkenbereich 17 ist beispielsweise P^+-artig. Der Senkenbereich 17 ist innerhalb eines vorgegebenen Bereichs vom Endabschnitt des aktiven Bereichs 110 ausgebildet, auf der Seite, wo die Gatter-Metallschicht 50 angeordnet ist. Eine Diffusionstiefe des Senkenbereichs 17 kann tiefer sein als Tiefen des Gatter-Grabenabschnitts 40 und des Dummy-Grabenabschnitts 30. Teilbereiche des Gatter-Grabenabschnitts 40 und des Dummy-Grabenabschnitts 30 auf der Seite der Gatter-Metallschicht 50 sind im Senkenbereich 17 ausgebildet. Die Unterseiten am Ende der Erstreckungsrichtung des Gatter-Grabenabschnitts 40 und des Dummy-Grabenabschnitts 30 können durch den Senkenbereich 17 bedeckt sein.

[0076] Das Kontaktloch 54 ist oberhalb jedes Bereichs des Emitterbereichs 12 und des Kontaktbereichs 17 im Transistorabschnitt 70 ausgebildet. Auch das Kontaktloch 54 ist über dem Basisbereich 14 im Diodenabschnitt 80 angeordnet. Das Kontaktloch 54 ist über dem Kontaktbereich 15 im Grenzabschnitt 90 angeordnet. Kein Kontaktloch 54 ist oberhalb des Senkenbereichs 17 angeordnet, der an beiden Enden in der Erstreckungsrichtung angeordnet ist. Auf diese Weise werden ein oder mehr Kontaktlöcher 54 im dielektrischen Zwischenschichtfilm 38 ausgebildet. Ein oder mehrere Kontaktlöcher 54 können so angeordnet sein, dass sie sich in Erstreckungsrichtung erstrecken.

[0077] Der Grenzabschnitt 90 ist ein Bereich, der im Transistorabschnitt 70 und neben dem Diodenabschnitt 80 angeordnet ist. Der Grenzabschnitt 90 umfasst den Kontaktbereich 15. Der Grenzabschnitt 90 des vorliegenden Beispiels weist keinen Emitterbereich 12 auf. Der Grenzabschnitt 90 des vorliegenden Beispiels ist so angeordnet, dass beide Enden in Anordnungsrichtung zu Dummy-Grabenabschnitten 30 werden.

[0078] Der Mesaabschnitt 71, der Mesaabschnitt 91 und der Mesaabschnitt 81 sind Mesaabschnitte, die neben den Grabenabschnitten in einer Ebene parallel zur Frontfläche des Halbleitersubstrats 10 angeordnet sind. Der Mesaabschnitt kann ein Abschnitt des Halbleitersubstrats 10 sein, der zwischen zwei benachbarten Grabenabschnitten eingeschlossen ist, der sich von der Frontfläche des Halbleitersubstrats 10 bis in die Tiefe des tiefsten Bodenabschnitts jedes Grabenabschnitts befindet. Die Erstreckungsabschnitte jedes Grabenabschnitts können ein Grabenabschnitt sein. Das heißt, ein Bereich, der zwischen den beiden Erstreckungsabschnitten eingeschlossen ist, kann ein Mesaabschnitt sein.

[0079] Der Mesaabschnitt 71 ist neben mindestens einem Dummy-Grabenabschnitt 90 oder Gatter-Grabenabschnitt 40 im Transistorabschnitt 70 angeordnet. Der Mesaabschnitt 71 weist den Senkenbereich 17, den Emitterbereich 12, den Basisbereich 14 und den Kontaktbereich 15 in der Frontfläche des Halbleitersubstrats 10 auf. Im Mesaabschnitt 71 sind der Emitterbereich 12 und der Kontaktbereich 15 abwechselnd in Erstreckungsrichtung angeordnet.

[0080] Der Mesaabschnitt 91 ist im Grenzabschnitt 90 angeordnet. Der Mesaabschnitt 91 hat auf der Frontfläche des Halbleitersubstrats 10 einen Basisbereich 14, einen Kontaktbereich 15 und einen Senkenbereich 17. Obwohl beide Enden des Mesaabschnitts 91 des vorliegenden Beispiels in Anordnungsrichtung mit dem Dummy-Grabenabschnitt 30 verbunden sind, kann mindestens ein Ende mit dem Gatter-Grabenabschnitt 40 verbunden sein. Obwohl im vorliegenden Beispiel ein Mesaabschnitt 91 vorgesehen ist, kann eine Vielzahl von Mesaabschnitten 91 vorgesehen sein.

[0081] Der Mesaabschnitt 81 ist in einem Bereich angeordnet, der zwischen den nebeneinander im Diodenabschnitt 80 angeordneten Dummy-Grabenabschnitten 30 eingeschlossen ist. Der Mesaabschnitt 81 hat auf der Frontfläche des Halbleitersubstrats 10 einen Basisbereich 14 und einen Senkenbereich 17.

[0082] Der Basisbereich 14 ist ein Bereich des zweiten Leitfähigkeitstyps, der im Transistorabschnitt 70 und im Diodenabschnitt 80 auf der Seite der Frontfläche des Halbleitersubstrats 10 angeordnet ist. Der Basisbereich 14 ist beispielsweise P-artig. Der Basisbereich 14 kann in der Frontfläche des Halbleitersubstrats 10 an beiden Endabschnitten in Erstreckungsrichtung des Mesaabschnitts 71 und des Mesaabschnitts 91 angeordnet sein. Außerdem zeigt **Fig. 1B** nur einen Endabschnitt in Erstreckungsrichtung des Basisbereichs 14.

[0083] Der Emitterbereich 12 ist ein Bereich des ersten Leitfähigkeitstyps, der eine höhere Dotierungskonzentration aufweist als die des Driftbereichs 18. Der Emitterbereich 12 des vorliegenden Beispiels ist beispielsweise N^+-artig. Ein Beispiel für einen Dotierstoff des Emitterbereichs 12 ist Arsen (As). Der Emitterbereich 12 ist in Kontakt mit dem Gatter-Grabenabschnitt 40 auf der Frontfläche des Mesaabschnitts 71 angeordnet. Der Emitterbereich 12 kann sich in Anordnungsrichtung erstreckend von einem Grabenabschnitt zum anderen Grabenabschnitt von zwei Grabenabschnitten, die den Mesaabschnitt 71 einschließen, angeordnet sein. Der Emitterbereich 12 ist auch unter dem Kontaktloch 54 angeordnet.

[0084] Außerdem kann der Emitterbereich 12 mit dem Dummy-Grabenabschnitt 30 verbunden sein oder nicht. Der Emitterbereich 12 im vorliegenden Beispiel ist mit dem Dummy-Grabenabschnitt 30 verbunden. Der Emitterbereich 12 kann nicht im Mesaabschnitt 91 des Grenzabschnitts 90 angeordnet sein.

[0085] Der Kontaktbereich 15 ist ein Bereich des zweiten Leitfähigkeitstyps, der eine höhere Dotierungskonzentration aufweist als die des Basisbereichs 14. Der Kontaktbereich 15 des vorliegenden Beispiels ist beispielsweise P^+-artig. Der Kontaktbereich 15 des vorliegenden Beispiels ist auf Frontflächen des Mesaabschnitts 71 und des Mesaabschnitts 91 angeordnet. Der Kontaktbereich 15 kann in Anordnungsrichtung von einem Grabenabschnitt zum anderen Grabenabschnitt von zwei Grabenabschnitten, die den Mesaabschnitt 71 oder de Mesaabschnitt 91 einschließen, angeordnet sein. Der Kontaktbereich 15 kann mit dem Gatter-Grabenabschnitt 40 verbunden sein oder nicht. Außerdem kann der Kontaktbereich 15 mit dem Dummy-Grabenabschnitt 30 verbunden sein oder nicht. Im vorliegenden Beispiel ist der Kontaktbereich 15 mit dem Dummy-Grabenabschnitt 30 und dem Gatter-Grabenabschnitt 40 verbunden. Der Kontaktbereich 15 ist auch unter dem Kontaktloch 54 angeordnet. Ferner kann der Kontaktbereich 15 auch im Mesaabschnitt 81 angeordnet sein.

[0086] **Fig. 1C** ist ein Schaubild, das ein Beispiel im Querschnitts b-b' in **Fig. 1B** zeigt. Der Querschnitt b-b' ist eine XZ-Ebene im Transistorabschnitt 70, welche durch den Emitterbereich 12 geht. Die Halbleitervorrichtung 100 des vorliegenden Beispiels weist im Querschnitt b-b' das Halbleitersubstrat 10, den dielektrischen Zwischenschichtfilm 38, die Emitterelektrode 52 und die Kollektorelektrode 24 auf. Die Emitterelektrode 52 ist oberhalb des Halbleitersubstrats 10 und des dielektrischen Zwischenschichtfilms 38 ausgebildet.

[0087] Der Driftbereich 18 ist ein Bereich des ersten Leitfähigkeitstyps, der im Halbleitersubstrat 10 angeordnet ist. Der Driftbereich 18 des vorliegenden Beispiels ist beispielsweise N^--artig. Der Driftbereich 18 kann ein verbleibender Bereich sein, wo kein anderer Dotierungsbereich im Halbleitersubstrat 10 ausgebildet ist. Das heißt, die Dotierungskonzentration des Driftbereichs 18 kann eine Dotierungskonzentration des Halbleitersubstrats 10 sein.

[0088] Der Feldstoppbereich 20 ist ein Bereich des ersten Leitfähigkeitstyps, der unter dem Driftbereich 18 angeordnet ist. Der Feldstoppbereich 20 des vorliegenden Beispiels ist beispielsweise N-artig. Die Dotierungskonzentration des Feldstoppbereichs 20 ist höher als eine Dotierungskonzentration des Driftbereichs 18. Der Feldstoppbereich 20 verhindert, dass eine sich von der unteren Oberfläche des Basisbereichs 14 ausbreitende Verarmungsschicht den Kollektorbereich 22 des zweiten Leitfähigkeitstyps und den Kathodenbereich 82 des ersten Leitfähigkeitstyps erreicht.

[0089] Der Feldstoppbereich 20 kann einen oder mehrere Peaks aufweisen. Der Feldstoppbereich 20 des vorliegenden Beispiels weist vier Peaks vom ersten Peak P1 zum vierten Peak P4 auf. Der Dotierstoff eines oder mehrerer Peaks kann Wasserstoff sein.

[0090] Der erste Peak P1 bis zum vierten Peak P4 sind in dieser Reihenfolge von der Rückenfläche 23 aus angeordnet. Das heißt, der erste Peak P1 ist ein Peak, welchem am nächsten an der Rückenfläche 23 liegt. Die Dotierungskonzentration des ersten Peaks P1 kann höher sein als die Dotierungskonzentration der anderen Peaks sein. Dadurch kann eine Verarmungsschicht beim Anlegen einer Spannung langsam und sicher gestoppt werden.

[0091] Der Sammelbereich 22 ist im Transistorabschnitt 70 unter dem Feldstoppbereich 20 angeordnet. Der Kathodenbereich 82 ist im Diodenabschnitt 80 unter dem Feldstoppbereich 20 angeordnet. Die Grenze zwischen dem Kollektorbereich 22 und dem Kathodenbereich 82 ist eine Grenze zwischen dem Transistorabschnitt 70 und dem Diodenabschnitt 80.

[0092] Die Kollektorelektrode 24 ist auf der Rückfläche 23 des Halbleitersubstrats 10 ausgebildet. Die

Kollektorelektrode 24 ist aus einem leitenden Material wie beispielsweise Metall ausgebildet.

[0093] Der Basisbereich 14 ist ein Bereich des zweiten Leitfähigkeitstyps, der über dem Basisbereich 14 im Mesaabschnitt 71, im Mesaabschnitt 91 und im Mesaabschnitt 81 angeordnet ist. Der Basisbereich 14 ist verbunden mit dem Gatter-Grabenabschnitt 40 angeordnet. Der Basisbereich 14 ist mit dem Dummy-Grabenabschnitt 30 verbunden.

[0094] Der Emitterbereich 12 ist im Mesaabschnitt 71 zwischen dem Basisbereich 14 und der Frontfläche 21 angeordnet. Der Emitterbereich 12 ist verbunden mit dem Gatter-Grabenabschnitt 40 angeordnet. Der Emitterbereich 12 kann mit dem Dummy-Grabenabschnitt 30 verbunden sein oder nicht. Außerdem kann kein Emitterbereich 12 im Mesaabschnitt 91 angeordnet sein.

[0095] Der Kontaktbereich 15 ist über dem Basisbereich 14 im Mesaabschnitt 91 angeordnet. Der Kontaktbereich 15 ist mit dem Gatter-Grabenabschnitt 40 im Mesaabschnitt 91 verbunden. In einem anderen Querschnitt kann der Kontaktbereich 15 auf der Frontfläche 21 im Mesaabschnitt 71 angeordnet sein.

[0096] Ein Akkumulationsbereich 16 ist ein Bereich des ersten Leitfähigkeitstyps, der näher an der Frontfläche 21 des Halbleitersubstrats 10 als der Driftbereich 18 angeordnet ist. Der Akkumulationsbereich 16 des vorliegenden Beispiels ist beispielsweise N^+-artig. Der Sammelbereich 16 ist im Transistorabschnitt 70 und im Diodenabschnitt 80 angeordnet. Der Sammelbereich 16 des vorliegenden Beispiels ist auch im Grenzabschnitt 90 angeordnet.

[0097] Außerdem ist der Akkumulationsbereich 16 verbunden mit dem Gatter-Grabenabschnitt 40 angeordnet. Der Sammelbereich 16 kann mit dem Dummy-Grabenabschnitt 30 verbunden sein oder nicht. Die Dotierungskonzentration des Sammelbereichs 16 ist höher als die Dotierungskonzentration des Driftbereichs 18. Anordnen des Akkumulationsbereichs 16 kann den Verstärkungseffekt der Ladungsträgerinjektion („Injection Enhancement“, IE-Effekt) erhöhen, um die EINSpannung des Transistorabschnitts 70 zu verringern.

[0098] Ein oder mehrere Gatter-Grabenabschnitte 40 und ein oder mehrere Dummy-Grabenabschnitte 30 sind auf der Frontfläche 21 angeordnet. Jeder Grabenabschnitt ist von der Frontfläche 21 zum Driftbereich 18 angeordnet. In dem Bereich, wo mindestens einer des Emitterbereichs 12, des Basisbereichs 14, des Kontaktbereichs 15 und des Akkumulationsbereichs 16 angeordnet ist, durchdringt jeder Grabenabschnitt auch diese Bereiche, um den Driftbereich 18 zu erreichen. Der Aufbau des in den Dotierungsbereich eindringenden Grabenabschnitts ist nicht darauf beschränkt, dass die Herstellung in der Reihenfolge des Bildens des Dotierungsbereichs und dann Bilden des Grabenabschnitts erfolgt. Der Aufbau des in den Dotierungsbereich eindringenden Grabenabschnitts umfasst auch einen Aufbau des Dotierungsbereichs, der nach dem Ausbilden des Grabenabschnitts zwischen den Grabenabschnitten ausgebildet wird.

[0099] Der Gatter-Grabenabschnitt 40 weist einen Gattergraben, einen dielektrischen Gatterfilm 42 und einen Gatter-Leitungsabschnitt 44 auf, die auf der Frontfläche 21 ausgebildet sind. Der dielektrische Gatterfilm 42 ist ausgebildet, eine innere Wand des Gattergrabens zu bedecken. Der dielektrische Gatterfilm 42 kann durch Oxidieren oder Nitrieren eines Halbleiters auf der inneren Wand des Gattergrabens ausgebildet werden. Der dielektrische Gatterfilm 42 ist im Inneren des Gattergrabens ausgebildet und der Gatter-Leitungsabschnitt 44 ist im dielektrischen Gatterfilm 42 ausgebildet. Der dielektrische Gatterfilm 42 isoliert den Gatter-Leitungsabschnitt 44 vom Halbleitersubstrat 10. Der Gatter-Leitungsabschnitt 44 ist aus einem leitenden Material wie beispielsweise Polysilizium ausgebildet. Der Gatter-Grabenabschnitt 40 wird auf der Frontfläche 21 vom dielektrischen Zwischenschichtfilm 38 bedeckt.

[0100] Der Gatter-Leitungsabschnitt 44 umfasst einen Bereich, der dem benachbarten Basisbereich 14 auf der Seite des Mesaabschnitt 71 gegenüberliegt, durch Einschließen des dielektrischen Gatterfilms 42 in der Tiefenrichtung des Halbleitersubstrats 10. Wenn eine vorgegebene Spannung an den leitenden Gatterabschnitt 40 angelegt wird, wird ein Kanal als Inversionsschicht aus Elektronen in der Schnittstellen-Oberflächenschicht des Basisbereichs 14 ausgebildet, der den Gattergraben berührt.

[0101] Der Dummy-Grabenabschnitt 30 kann denselben Aufbau wie der des Gatter-Grabenabschnitts 40 haben. Der Dummy-Grabenabschnitt 30 weist einen Dummygraben, einen dielektrischen Dummyfilm 32 und einen Dummy-Leitungsabschnitt 34 auf, die auf der Seite der Frontfläche 21 ausgebildet sind. Der dielektrische Dummyfilm 32 ist eine innere Wand des Dummygrabens bedeckend ausgebildet. Der Dumme-Leitungsabschnitt 34 ist im Inneren des Dummygrabens ausgebildet und im dielektrischen Dummyfilm 32 ausgebildet. Der dielektrische Dummyfilm 32 isoliert den Dummy-Leitungsabschnitt 34 vom Halbleitersubstrat 10. Der Dummy-Grabenabschnitt 30 wird auf der Frontfläche 21 vom dielektrischen Zwischenschichtfilm 38 bedeckt.

[0102] Der dielektrische Zwischenschichtfilm 38 ist auf der Frontfläche 21 angeordnet. Die Emitterelektrode 52 ist oberhalb des dielektrischen Zwischen-

schichtfilms 38 angeordnet. Im dielektrischen Zwischenschichtfilm 38 sind ein oder mehrere Kontaktlöcher 54 angeordnet, um die Emitterelektrode 52 elektrisch mit dem Halbleitersubstrat 10 zu verbinden. Das Kontaktloch 55 und das Kontaktloch 56 können auch durch den dielektrischen Zwischenschichtfilm 38 gehend angeordnet sein.

[0103] Fig. 1D ist ein Schaubild, das ein Beispiel einer Verteilung der Dotierungskonzentration in Tiefenrichtung an der Position der Linie c-c' in **Fig. 1B** illustriert. Die Linie c-c' im Transistorabschnitt 70 geht durch vom Emitterbereich 12 zum Kollektorbereich 22. Die senkrechte Achse in **Fig. 1D** ist eine logarithmische Achse. Obwohl im vorliegenden Beispiel eine Verteilung der Dotierungskonzentration des Feldstoppbereichs 20 im Transistorabschnitt 70 beschrieben wird, kann der Feldstoppbereich 20 im Diodenabschnitt 80 auch eine ähnliche Verteilung der Dotierungskonzentration aufweisen.

[0104] Eine Dotierungskonzentration des Driftbereichs 18 des vorliegenden Beispiels ist eine Volumendonatorenkonzentration Db. Ein Volumendonator des ersten Leitfähigkeitstyps (N-artig) ist im gesamten Halbleitersubstrat 10 des vorliegenden Beispiels verteilt. Der Volumendonator ist ein Dotierstoff-Donator, der im Wesentlichen gleichmäßig in einem Ingot enthalten ist während der Herstellung des Ingots, aus dem das Halbleitersubstrat 10 gemacht ist. Der Volumendonator des vorliegenden Beispiels ist ein von Wasserstoff verschiedenes Element. Obwohl der Dotierstoff des Volumendonators beispielsweise Phosphor, Antimon, Arsen, Selen oder Schwefel ist, ist er nicht hierauf beschränkt. Der Volumendonator des vorliegenden Beispiels ist Phosphor. Der Hauptdonator ist auch im P-artigen Bereich enthalten. Das Halbleitersubstrat 10 kann ein Wafer sein, der aus einem Halbleiteringot herausgeschnitten wurde, oder ein Chip, der durch Schneiden eines Wafers in einzelne Teile hergestellt wird. Der Halbleiteringot kann entweder nach einem Chokralsky-Verfahren (CZ-Verfahren), einem Chokralsky-Verfahren mit angelegtem Magnetfeld (MCZ-Verfahren) oder einem Float-Zone-Verfahren (FZ-Verfahren) hergestellt werden. Der Ingot im vorliegenden Beispiel wird durch das MCZ-Verfahren hergestellt. Als eine Gesamtdotierungskonzentration Db kann eine chemische Konzentration eines Donators, der durch das gesamte Halbleitersubstrat 10 verteilt ist, verwendet werden und es kann ein Wert zwischen 90% und 100% der chemischen Konzentration sein.

[0105] Im vorliegenden Beispiel wird ein Fall beschrieben, dass eine Verteilung der Dotierungskonzentration im Feldstoppbereich 20 vier Konzentrationspeaks P1, P2, P3, P4 an verschiedenen Positionen in Tiefenrichtung aufweist. Die Anzahl der Konzentrationspeaks ist jedoch nicht hierauf beschränkt. Ein Konzentrationspeak im vorliegenden Beispiel ist ein Peak der Donatorenkonzentration. Eine Vielzahl von Konzentrationspeaks kann durch Implantieren von Verunreinigungen, wie z.B. Wasserstoff oder Phosphor, an einer Vielzahl von Tiefenpositionen des Feldstoppbereichs 20 gebildet werden. Beispielsweise wird die Position von P1 für Phosphor verwendet und an P2 bis P4 kann Wasserstoff als Donator verwendet werden. Im vorliegenden Beispiel wird für alle der P1 bis P4 Wasserstoff als Donator verwendet. Der Feldstoppbereich 20 kann die Konzentrationspeaks der Verunreinigungen wie Wasserstoff oder Phosphor an den Positionen aufweisen, die einem Konzentrationspeak entsprechen. Der Konzentrationspeak der Verunreinigungen ist ein Peaks in der Verteilung der chemischen Konzentration der Verunreinigungen. Das Anordnen der Vielzahl von Konzentrationspeaks kann die Verarmungsschicht besser daran hindern, den Kollektorbereich 22 zu erreichen.

[0106] Fig. 1E ist eine vergrößerte Ansicht einer Verteilung der Dotierungskonzentration im Feldstoppbereich 20 und eines Kollektorbereichs 22 in **Fig. 1C**. Die senkrechte Achse in **Fig. 1E** ist eine logarithmische Achse. In **Fig. 1E** sind die Spitzenwerte der Dotierungskonzentrationen einer Vielzahl von Konzentrationspeaks P1, P2, P3, P4 jeweils d1, d2, d3, d4. Auch die Tiefe eines pn-Übergangs zwischen dem Kollektorbereich 22 und dem Feldstoppbereich 20 wird auf J1 eingestellt.

[0107] Eine Vielzahl der Konzentrationspeaks umfasst den flachsten Peak, der am nächsten bei der Rückenfläche 23 des Halbleitersubstrats 10 liegt. Im vorliegenden Beispiel entspricht der Konzentrationspeak P1 dem untiefsten Peak. Der Konzentrationspeak P1 des vorliegenden Beispiels ist ein Konzentrationspeak, der am nächsten am Kollektorbereich 22 liegt. Im Feldstoppbereich 20 des Diodenabschnitts 80 ist der Konzentrationspeak P1 ein Konzentrationspeak, der am nächsten am Kathodenbereich 82 liegt. Der Kathodenbereich 82 kann durch Implantieren von Verunreinigungen gebildet werden, die sich von den Konzentrationspeak unterscheiden. Beispielsweise umfasst der Kathodenbereich 82 einen Konzentrationspeak einer Verunreinigung, wie z.B. Phosphor, und der Feldstoppbereich 20 umfasst Konzentrationspeaks von Verunreinigungen, wie z.B. Wasserstoff.

[0108] Eine Vielzahl von Konzentrationspeaks umfasst Hochkonzentrationspeaks, die an Positionen liegen, die weiter von der Rückenfläche 23 entfernt sind als der untiefste Peak (der Konzentrationspeak P1). Der Hochkonzentrationspeak kann ein Konzentrationspeak P2 sein, der am nächsten am untiefsten Peak liegt, oder kann ein anderer Konzentrationspeak sein. Im Beispiel der **Fig. 1E** entspricht der Konzentrationspeak P2, der am nächsten beim

Konzentrationspeak P1 liegt, dem Hochkonzentrationspeak.

[0109] Eine Vielzahl von Konzentrationspeaks umfasst Niedrigkonzentrationspeaks, die an Positionen liegen, die weiter von der Rückenfläche 23 entfernt sind als die Hochkonzentrationspeaks, und deren Spitzenwerte der Dotierungskonzentration 1/5 oder weniger der Spitzenwerte der Hochkonzentrationspeaks betragen. Der Niedrigkonzentrationspeak kann der tiefste Peak (im vorliegenden Beispiel der Konzentrationspeak P4) sein, der unter einer Vielzahl von Konzentrationspeaks am weitesten von der Rückenfläche 23 entfernt angeordnet ist. Der Niedrigkonzentrationspeak kann ein Konzentrationspeak sein, der nicht der tiefste Peak ist. Das heißt, der Niedrigkonzentrationspeak kann ein Konzentrationspeak zwischen den Hochkonzentrationspeaks und dem tiefsten Peak sein.

[0110] Auch können zwei oder mehr Niedrigkonzentrationspeaks vorhanden sein. Der Niedrigkonzentrationspeak ist vorzugsweise in Tiefenrichtung nebeneinander angeordnet. Unter einer Vielzahl von Konzentrationspeaks können zwei oder mehr Konzentrationspeaks, die am weitesten von der Rückenfläche 23 entfernt angeordnet sind, die Niedrigkonzentrationspeaks sein. Im Beispiel von **Fig. 1E** sind der Konzentrationspeak P4, welcher der tiefste Peak ist, der Konzentrationspeak P3, der in einer Position angeordnet ist, die nach dem tiefsten Peak in Richtung der Rückenfläche 23 von der Rückenfläche 23 am weitesten entfernt ist, und der Konzentrationspeak P2, der nach P3 der Rückenfläche 23 am nächsten liegt, niedrige Konzentrationspeaks. Ein Konzentrationspeak, der sich vom Konzentrationspeak, der am nächsten an der Rückenfläche 23 liegt, kann als ein Niedrigkonzentrationspeak festgelegt sein. Im Beispiel der **Fig. 1E** betragen entweder der Spitzenwert d3 einer Dotierungskonzentration des Konzentrationspeaks P3 oder der Spitzenwert d4 einer Dotierungskonzentration des Konzentrationspeaks P4 1/5 oder weniger als der Spitzenwert d1 einer Dotierungskonzentration des Konzentrationspeaks P1. Der Konzentrationspeak d2 bis d4 der Niedrigkonzentrationspeaks P2 bis P4 kann 1/10 oder weniger des Spitzenwerts d1 des Konzentrationspeaks P1 betragen. Ferner ist im vorliegenden Beispiel der Spitzenwert d3 von P3 niedriger als der Spitzenwert d4 von P4. Der Spitzenwert d3 von P3 kann höher als der Spitzenwert d4 von P4 sein. Das heißt, Spitzenwerte von P2 bis P4 können zur Frontfläche 21 hin abfallen.

[0111] In einem Kurzschlusszustand oder dergleichen, bei dem zwei in Reihe geschaltete Halbleitervorrichtungen 100 zur selben Zeit in einen EIN-Zustand geschaltet werden, kann eine Hochspannung zwischen einem Emitter und einem Kollektor der Halbleitervorrichtungen 100 angelegt werden. In diesem Fall konzentrieren sich elektrische Felder in der Umgebung des niedrigsten Peaks (im vorliegenden Beispiel der Konzentrationspeak P4) im Feldstoppbereich 20. Falls somit eine Dotierungskonzentration in der Umgebung des tiefsten Peaks wie im Konzentrationspeak P3 und im Konzentrationspeak P4 und dergleichen ansteigt, fördert es eine Konzentration elektrischer Felder. Falls sich elektrische Felder konzentrieren, schwingt die Gatterspannung, wenn die Halbleitervorrichtung 100 ausschaltet oder dergleichen.

[0112] Der Konzentrationspeak des vorliegenden Beispiels liefert Niedrigkonzentrationspeaks, deren Dotierungskonzentration ausreichend klein ist, an einer Position, die tiefer als der Hochkonzentrationspeak (der Konzentrationspeak P1) ist. Somit kann eine elektrische Feldstärke an tiefen Positionen des Feldstoppbereichs 20 reduziert werden. Wie oben beschrieben kann es einen oder mehrere Niedrigkonzentrationspeaks und eine Vielzahl davon geben. Dies erlaubt es dem Feldstoppbereich 20 mit relativ niedriger Konzentration entlang der Seite auf der Seite des Driftbereichs 18 ausgebildet zu werden. Obwohl der Feldstoppbereich 20 im Beispiel der **Fig. 1E** drei Niedrigkonzentrationspeaks aufweist, kann der Feldstoppbereich 20 in einem anderen Beispiel vier oder mehr Niedrigkonzentrationspeaks aufweisen. Außerdem kann der tiefste Peak auf der Seite der Frontfläche 21 des Halbleitersubstrats 10 angeordnet sein. Durch Ausbilden eines Bereichs mit niedriger Konzentration, der sich in Tiefenrichtung erstreckt, während die Seite des Driftbereichs 18 des Feldstoppbereichs 20 ein Bereich mit niedriger Konzentration ist, wird es einfach, die Feldstoppfunktion aufrechtzuerhalten und gleichzeitig die elektrische Feldstärke zu reduzieren.

[0113] Die Spitzenwerte der Dotierungskonzentrationen von Niedrigkonzentrationspeaks kann 1/5 oder weniger von Spitzenwerten von Dotierungskonzentrationen von Hochkonzentrationspeaks betragen oder kann 1/10 oder weniger oder ein 1/20 oder weniger betragen. Durch Verringern der Dotierungskonzentration des Niedrigkonzentrationspeaks kann eine elektrische Feldstärke weiter reduziert werden.

[0114] Außerdem sind die Spitzenwerte der Dotierungskonzentrationen von Niedrigkonzentrationspeaks höher als eine Volumendonatorenkonzentration Db. Die Spitzenwerte von Dotierungskonzentrationen von Niedrigkonzentrationspeaks können das 50-fache oder weniger der Volumendonatorenkonzentration Db des Halbleitersubstrats 10 betragen. Die Dotierungskonzentration des Driftbereichs 18 kann als eine Volumendonatorenkonzentration Db verwendet werden. Die Spitzenwerte von Dotierungskonzentrationen von Niedrigkonzentrationspeaks können das 20-fache oder weniger, das Zehnfache oder weniger, das Achtfache

oder weniger, das Fünffache oder weniger, das Dreifache oder weniger oder das Zweifache oder weniger einer Volumendonatorenkonzentration Db betragen.

[0115] Außerdem kann ein Minimalwert einer Dotierungskonzentration zwischen Peaks von Niedrigkonzentrationspeaks höher als eine Volumendonatorenkonzentration Db sein oder kann das Fünffache oder weniger, das Dreifache oder weniger oder das Zweifache oder weniger einer Volumendonatorenkonzentration Db betragen. Das Verhältnis von lokalen Minimalwerten zwischen Peaks für eine der Spitzenkonzentrationen nebeneinander liegender Niedrigkonzentrationspeaks kann 0,8 oder weniger, 0,5 oder weniger, 0,2 oder weniger, 0,1 oder mehr, 0,2 oder mehr oder 0,5 oder mehr betragen.

[0116] Die Positionen in Tiefenrichtung der Konzentrationspeaks P1, P2, P3, P4 sind jeweils Z1, Z2, Z3, Z4. Der Abstand zwischen dem Konzentrationspeak P4 und dem Konzentrationspeak P2 in Tiefenrichtung ist Z4-Z2. Auch ist der Abstand zwischen dem Konzentrationspeak P1 und dem Konzentrationspeak P2 in Tiefenrichtung Z2-Z1. Der Abstand Z4-Z2 kann größer als der Abstand Z2-Z1 sein. Außerdem ist der Abstand zwischen dem Konzentrationspeak P3 und dem Konzentrationspeak P4 Z4-Z3. Der Abstand zwischen dem Konzentrationspeak P3 und dem Konzentrationspeak P2 in Tiefenrichtung ist Z3-Z2. Der Abstand Z4-Z3 kann größer als der Abstand Z3-Z2 sein. Auch kann der Abstand Z4-Z3 größer als der Abstand Z2-Z1 sein.

[0117] Außerdem kann der Spitzenwert der Dotierungskonzentration des Konzentrationspeaks P4 1/5 oder weniger von Spitzenwerten von Dotierungskonzentrationen der Hochkonzentrationspeaks betragen oder kann 1/10 oder weniger oder ein 1/20 oder weniger betragen. Der Spitzenwert der Dotierungskonzentration des Konzentrationspeaks P4 ist höher als eine Volumendonatorenkonzentration Db. Der Mittelwert des Konzentrationspeaks P4 und ein Spitzenwert der Dotierungskonzentration des Konzentrationspeaks P3 kann das 50-fache oder weniger, das 20-fache oder weniger, das Zehnfache oder weniger, das Achtfache oder weniger, das Fünffache oder weniger, das Dreifache oder weniger oder das Zweifache oder weniger einer Volumendonatorenkonzentration Db betragen. Indem der Mittelwert der Dotierungskonzentration der zwei tiefsten Konzentrationspeaks klein gehalten wird, kann die elektrische Feldstärke im Feldstoppbereich 20 in der Umgebung des Driftbereichs 18 reduziert werden.

[0118] Im vorliegenden Beispiel kann eine Donatorenkonzentration oder eine Akzeptorenkonzentration im pn-Übergang J1 zwischen dem Kollektorbereich 22 und dem Feldstoppbereich 20 $1\times10^{16}/cm^3$ oder weniger, $5\times10^{15}/cm^3$ oder weniger oder $2\times10^{15}/cm^3$ oder weniger betragen.

[0119] **Fig. 1F** ist ein Schaubild, das ein Beispiel der Verteilungen einer Netto-Dotierungskonzentration in Tiefenrichtung und einer chemischen Wasserstoffkonzentration in einem ersten Konzentrationspeak und dem Kollektorbereich 22 zeigt. Die durchgezogene Linie bezeichnet ein Beispiel einer Verteilung einer Netto-Dotierungskonzentration und die gestrichelte Linie bezeichnet ein Beispiel einer Verteilung einer chemischen Wasserstoffkonzentration. Die senkrechte Achse in **Fig. 1F** ist eine logarithmische Achse. Hier sind die diagonal schraffierten Bereiche in **Fig. 1F** eine integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 im vorliegenden Beispiel. Das heißt, in der vorliegenden Beschreibung bedeutet die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 eine Konzentration, die sich durch Integrieren der Netto-Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 von der Rückenfläche bis zur Position J1 des pn-Übergangs des Feldstoppbereichs 20 in Tiefenrichtung des Halbleitersubstrats 10 ergibt. Außerdem kann die chemische Wasserstoffkonzentration Dh im pn-Übergang J1 zwischen dem Kollektorbereich 22 und dem Feldstoppbereich 20 $1\times10^{18}/cm^3$ oder weniger, $1\times10^{17}/cm^3$ oder weniger, $1\times10^{16}/cm^3$ oder weniger oder $1\times10^{15}/cm^3$ oder weniger betragen.

[0120] **Fig. 1G** ist ein Beispiel einer Draufsicht der Halbleitervorrichtung 100, die dem Bereich B in **Fig. 1A** entspricht. Im vorliegenden Beispiel zeigt **Fig. 1G** eine vergrößerte Ansicht des Endabschnitts des aktiven Bereichs 110. Der Bereich B ist ein Bereich, der den Transistorabschnitt 70 und den Gatterläufer 51 des aktiven Bereichs 110 umfasst. Die Halbleitervorrichtung 100 des vorliegenden Beispiels umfasst den Dummy-Grabenbereich 60 und den Senken-Kontaktbereich 65.

[0121] Der Dummy-Grabenbereich 60 ist ein Bereich, der nur den Dummy-Grabenabschnitt 20 als Grabenabschnitt aufweist. Der Dummy-Grabenbereich 60 ist in Anordnungsrichtung zwischen dem Gatter-Grabenabschnitt 40, der am nächsten am äußeren Randbereich 120 liegt, und dem äußeren Randbereich 120 angeordnet. Der Dummy-Grabenbereich 60 umfasst eine Vielzahl von Dummy-Grabenabschnitten 30, die in Anordnungsrichtung durch einen gegebenen Abstand beabstandet sind.

[0122] Der Senken-Kontaktbereich 65 ist in einem Teil des Senkenbereichs 17 angeordnet und der Senken-Kontaktbereich 65 extrahiert ein vom Kollektorbereich 22 in die Emitterelektrode 52 injiziertes Loch. Der Senken-Kontaktbereich 65 umfasst die Kontaktbereiche 15. Das Kontaktloch 54 ist über dem Kontaktbereich 15 des Senken-Kontaktbereichs 65 angeordnet. Der Kontaktbereich 15 ist über eine Vielzahl von Kontaktlöchern 54 elektrisch mit der Emitterelektrode 52 verbunden. Außerdem kann die Halbleitervorrichtung 100 keinen Senken-Kontaktbereich 65 aufweisen.

[0123] Im Mesaabschnitt 61 sind der Basisbereich 14, der Kontaktbereich 15 und der Senkenbereich 17 angeordnet. Der Kontaktbereich 15 ist in dem Mesaabschnitt 61 von einem der in Anordnungsrichtung benachbarten Dummy-Grabenabschnitte 30 zu den anderen Dummy-Grabenabschnitten 30 angeordnet. Da der Mesaabschnitt 61 des vorliegenden Beispiels einen Kontaktbereich 15 aufweist, wird es einfach, ein Loch zu extrahieren, im Vergleich zu dem Fall ohne den Kontaktbereich 15. Dies verhindert die Zerstörung der Halbleitervorrichtung 100 durch die Konzentration eines Lawinenstroms im Endabschnitt des Senkenbereichs 17.

[0124] Die Emitterelektrode 52 ist über dem Dummy-Grabenbereich 60 und dem Senken-Kontaktbereich 65 angeordnet. Die Emitterelektrode 52 ist über das Kontaktloch 54 elektrisch mit der Frontfläche 21 des Halbleitersubstrats 10 verbunden in jedem Dummy-Grabenbereich 60, Senken-Kontaktbereich 65 und Transistorabschnitt 70.

[0125] Der Senkenbereich 17 ist in Draufsicht um die Seite der äußeren Umgebung des aktiven Bereichs 110 herum angeordnet. Der innere Endabschnitt des Senkenbereichs 17 wird durch eine gestrichelte Linie angezeigt.

[0126] Der Sammelbereich 16 erstreckt sich vom Transistorabschnitt 70 zum Dummy-Grabenabschnitt 60. Der Sammelbereich 16 des vorliegenden Beispiels erstreckt sich vom Transistorabschnitt 70 zum Mesaabschnitt 61 auf halbem Weg des Gatter-Grabenabschnitts 60. Durch Vorsehen des Sammelbereichs 16, der sich vom Transistorabschnitt 70 zum Dummy-Grabenbereich 60 erstreckt, wird die Auswirkung auf den im Transistorabschnitt 70 gebildeten Sammelbereich 16 gering, selbst wenn es zu Verschiebungen in den Masken zum Bilden des Sammelbereichs 16 kommt. Dies kann die Ungleichmäßigkeit einer Gatter-Schwellenspannung (Vth) und die Ungleichmäßigkeit eines Sättigungsstroms unterdrücken. Der äußere Endabschnitt des Sammelbereichs 16 wird durch eine gestrichelte Linie angezeigt.

[0127] **Fig. 1H** ist ein Schaubild, das ein Beispiel im Querschnitts a-a' in **Fig. 1A** zeigt. Im vorliegenden Beispiel ist eine Schnittansicht eines Bereich gezeigt, der mit dem aktiven Bereich 110 und dem äußeren Randbereich 120 überlappt. Der äußere Randbereich 120 des vorliegenden Beispiels umfasst eine Schutzringstruktur und eine Kanalstopperstruktur.

[0128] Ein Schutzring kann eine Vielzahl von Schutzringabschnitten 92 aufweisen. Die Schutzringstruktur des vorliegenden Beispiels umfasst fünf Schutzringabschnitte 92. Jeder Schutzringabschnitt 92 kann so angeordnet sein, dass er den aktiven Abschnitt 110 und den Anschlussbereich 130 auf der Frontfläche 21 umgibt.

[0129] Eine Schutzringstruktur kann dazu dienen, die im aktiven Abschnitt 110 erzeugte Verarmungsschicht auf eine Außenseite des Halbleitersubstrats 10 auszudehnen. Dies kann eine elektrische Feldstärke im inneren des Halbleitersubstrats 10 verhindern. Daher ist es möglich, die Durchbruchspannung der Halbleitervorrichtung 100 zu verbessern, im Vergleich mit dem Fall, in dem die Schutzringstruktur nicht vorgesehen ist.

[0130] Der Schutzringabschnitt 92 ist ein P^+-artiger Halbleiterbereich, der durch Ionenimplantation in der Nähe der Frontfläche 21 gebildet wird. Der Schutzringabschnitt 92 ist elektrisch mit der Elektrodenschicht 94 verbunden. Die Elektrodenschicht 94 kann dasselbe Material wie die Gatter-Metallschicht 50 oder die Emitterelektrode 52 aufweisen.

[0131] Eine Vielzahl von Schutzringabschnitten 92 ist durch dielektrische Zwischenschichtfilme 38 elektrisch gegeneinander isoliert. Eine Tiefe am Bodenabschnitt des Schutzringabschnitts 92 kann dieselbe Tiefe sein wie ein Bodenabschnitt des Senkenbereichs 17. Die Tiefe des Bodenabschnitts des Schutzringabschnitts 92 kann tiefer sein als Tiefen des Gatter-Grabenabschnitts 40 und des Dummy-Grabenabschnitts 30.

[0132] Eine Kanalstopperstruktur umfasst einen Kanalstopperbereich 96 und eine Elektrodenschicht 94. Der Kanalstopperbereich 96 ist über eine Öffnung des dielektrischen Zwischenschichtfilms 38 elektrisch mit der Elektrodenschicht 94 verbunden. Der Leitfähigkeitstyp des Kanalstopperbereichs 96 kann der erste Leitfähigkeitstyps oder der zweite Leitfähigkeitstyps sein. Der Leitfähigkeitstyp des Kanalstopperbereichs 96 des vorliegenden Beispiels ist N^+-artig. Der Kanalstopperbereich 96 hat die Funktion, eine im aktiven Abschnitt 110 am äußeren Ende des Halbleitersubstrats 10 erzeugte Verarmungsschicht zu vernichten.

[0133] Der Senkenbereich 17 kann in Anordnungsrichtung über den Senken-Kontaktbereich 65 hinaus gehen, um sich weiter nach außen zu erstrecken. Der Senkenbereich 17 des vorliegenden Beispiels kann so angeordnet werden, dass der Abstand zwischen dem innersten Schutzringabschnitt 92 im äußeren Randbereich 120 und dem äußeren Ende des Senkenbereich 17 nahe beieinander liegt. In Abwandlung des vorliegenden Beispiels kann anstelle des Senkenbereichs 17 auch der Basisbereich 14 angeordnet werden, indem er bis in die Nähe des innersten Schutzringabschnitts 92 verlängert wird. Außerdem kann oberhalb des Senkenbereichs 17 eine Oxidschicht 39 zwischen dem Kontaktbereich 15 und dem Gatterläufer 51 vorgesehen

werden. Die Oxidschicht 39 kann im selben Vorgang wie der des dielektrischen Dummyfilms 32 oder des dielektrischen Gatterfilms 42 ausgebildet werden. Ersatzweise kann die Oxidschicht 39 in einem Vorgang wie z.B. Feldoxid mit größerer Schichtdicke hergestellt werden.

[0134] Fig. 2A ist ein Beispiel eines Schaltkreises bei einem Überlasttoleranztest der Halbleitervorrichtung 100. Eine Gatterspannung Vg wird über einen vorgegebenen Gatterwiderstand Rg an eine Gatterklemme der Halbleitervorrichtung 100 angelegt. Beim Klemmen-Überlasttoleranztest wird ein Nennstrom Ic durch eine vorgegebene Versorgungsspannung Vcc geschaltet. Die Versorgungsspannung Vcc kann ungefähr 60% der Nennspannung betragen.

[0135] Die Schwimminduktivität Ls ist eine Schwimminduktivität einer Schaltung, an die die Halbleitervorrichtung 100 angeschlossen ist. Da die Schwimminduktivität Ls zum Aufrechterhalten des Stroms geneigt ist, kommt es beim Abschalten des Stroms zu einem Spannungsüberschuss. Durch Erhöhen der Schwimminduktivität Ls bei jedem Schaltvorgang von einem vordefinierten Anfangswert aus wird die Halbleitervorrichtung 100 ausgeschaltet. Wenn die Schwimminduktivität Ls zunimmt, steigt die Abreißspannung ΔV. Durch Erhöhen der Schwimminduktivität Ls nimmt die elektrische Feldstärke im Inneren der Halbleitervorrichtung 100 zu, so dass ein Bauteil mit hoher Wahrscheinlichkeit beschädigt werden kann. In diesem Fall wird ein Ergebnis einer Prüfung, die eine Prüfung vor der Prüfung liegt, bei der das Bauteil beschädigt wird, als Klemmenergie (Durchbruchfestigkeit) festgelegt.

[0136] Fig. 2B ist ein Schaubild zum Beschreiben der Klemmenergie der Halbleitervorrichtung 100. Diese Abbildung zeigt die Bewegungen des Kollektor-Emitter-Stroms Ice beim Ausschalten und die Kollektor-Emitter-Spannung Vce. Das Diagramm des vorliegenden Beispiels zeigt eine Wellenform unmittelbar vor der Wellenform der Schwimminduktivität Ls, in der ein Bauteil nach wiederholtem Abschalten beschädigt wird, während die Schwimminduktivität Ls in einem Klemmen-Überlasttoleranztest erhöht wird. Beim Ausschalten der Halbleitervorrichtung 100 bricht die Kollektor-Emitter-Spannung Vce ab, und die Spannung wird für eine bestimmte Zeit konstant gehalten. Der Zeitraum, während dem die Spannung konstant ist, ist ein Klemmenzeitraum.

[0137] Die Klemmenergie ist ein ganzzahliger Wert, bei dem der Strom multipliziert mit der Spannung im Bereich von 0 oder mehr liegt, und zwar in der Zeitspanne, bis sich die Spannung von einem Abriss der Kollektor-Emitter-Spannung Vce auf die Versorgungsspannung Vcc einpendelt. Das heißt, die Klemmenergie wird durch einen integrierten Wert von Jlce × Vce dt (also einen Energiewert) angegeben. Die größere Klemmenergie bedeutet eine größere Durchbruchfestigkeit beim Ausschalten.

[0138] Fig. 3A zeigt eine Beziehung zwischen der Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 und der Klemmenergie. Die senkrechte Achse bezeichnet die Klemmenergie [mJ] und die horizontale Achse bezeichnet einen integrierten Wert der Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 über die Tiefe von der Rückenfläche 23 zum PN-Übergang zwischen dem Kollektorbereich 22 und dem Feldstoppbereich 20 [cm^{-2}] (im Folgenden als integrierter Wert der Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 bezeichnet). Ein schwarzes Quadrat bezeichnet den Fall, dass die Beschleunigungsenergie des Protons 400 keV beträgt. Ein weißes Quadrat bezeichnet den Fall, dass die Beschleunigungsenergie des Protons 300 keV beträgt. Protonen sind eine Art von Wasserstoffionen. Beispielsweise durch die Ionenimplantation von Protonen in ein Halbleitersubstrat wird ein Wasserstoffdonator ausgebildet.

[0139] Je kleiner die Beschleunigungsenergie der Protonen ist, desto kleiner ist die Gesamtdosierung der Protonen, wodurch die Klemmenergie mit größerer Wahrscheinlichkeit ansteigt. Wenn die Gesamtdosis an Protonen gering ist, steigt auch die Konzentration der von der Rückenfläche 23 bei einem Lawinendurchbruch injizierten Löcher, wodurch ein Lawinendurchbruch eher auf der Seite des aktiven Bereichs 110 erzeugt wird. Wenn die Klemmendurchbruchspannung des aktiven Bereichs 110 niedriger ist als die Klemmendurchbruchspannung des äußeren Randbereichs 120, kann die sofortige Zerstörung im äußeren Randbereichs 120 leichter verhindert werden, wie unten beschrieben. Eine sofortige Zerstörung ist beispielsweise die Zerstörung eines Bauteils, bevor der Strom beim Ausschalten abgeschaltet wird.

[0140] Falls beispielsweise die Beschleunigungsenergie des Protons 300 keV beträgt, beträgt der integrierte Wert der Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 ungefähr $1{,}00\times10^{14}$ [cm^{-2}], was zum Maximalwert der Klemmenergie führt. In diesem Fall beträgt die Protonenreichweite des ersten Peaks beispielsweise 3,13 µm.

[0141] Falls zudem die Beschleunigungsenergie des Protons 400 keV beträgt, beträgt der integrierte Wert der Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 ungefähr $1{,}00\times10^{13}$ [cm^{-2}], was zum Maximalwert der Klemmenergie führt. In diesem Fall beträgt die Protonenreichweite beispielsweise 4,52 µm.

[0142] Darüber hinaus ist der integrierte Wert der Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 im Wesentlichen gleich der implantierten Dosis von

Bor an der Rückenfläche, so dass die implantierte Dosis auf den integrierten Wert der Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 festgelegt werden kann.

[0143] Die Halbleitervorrichtung 100 des vorliegenden Beispiels macht die Klemmendurchbruchspannung des aktiven Bereichs 110 kleiner als die Klemmendurchbruchspannung des äußeren Randbereichs 120, indem es die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 und die Spitzentiefe des Feldstoppbereichs 20 steuert. Dies erlaubt es der Klemmenergie der Halbleitervorrichtung 100, sich zu verbessern.

[0144] Fig. 3B zeigt eine Beziehung zwischen der Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 und der Durchbruchspannung eines Bauteils. Die senkrechte Achse bezeichnet die Durchbruchspannung eines Bauteils und die horizontale Achse bezeichnet die Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 [cm^{-3}]. Der Kollektorbereich 22 umfasst eine Verteilung der Dotierungskonzentration mit Peaks. In diesem Fall kann die Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 ein Spitzenwert der Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 sein. Im vorliegenden Beispiel wird ein Fall beschrieben, dass der Feldstoppbereich 20 vier Peaks aufweist.

[0145] Das Diagramm G1 bezeichnet das aktive Modell und Randmodell, wenn der Feldstoppbereich 20 vier Peaks aufweist. Das aktive Modell und das Randmodell sind Simulationsmodelle, die sowohl den aktiven Bereich 110 als auch den äußeren Randbereich 120 berücksichtigen. Das Diagramm G2 bezeichnet das aktive Modell, wenn der Feldstoppbereich 20 vier Peaks aufweist. Das aktive Modell ist ein Simulationsmodell, das den äußeren Randbereich 120 nicht berücksichtigt, sondern nur den aktiven Bereich 110.

[0146] Durch Verringern der Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 fällt die Durchbruchspannung des aktiven Bereichs 110 niedriger aus als die Durchbruchspannung des äußeren Randbereichs 120. Das heißt, die Durchbruchspannung eines Bauteils wird zur Durchbruchspannung des aktiven Bereichs 110. Wenn die Durchbruchspannung eines Bauteils im aktiven Bereich 110 ermittelt wird, steigt die Klemmenergie.

[0147] Andererseits steigt durch Erhöhen der Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 die Durchbruchspannung des aktiven Bereichs 110 stärker als die Durchbruchspannung des äußeren Randbereichs 120. Das heißt, die Durchbruchspannung eines Bauteils wird zur Durchbruchspannung des äußeren Randbereichs 120. Wenn die Durchbruchspannung eines Bauteils im äußeren Randbereich 120 ermittelt wird, sinkt die Klemmenergie. Um die Klemmenergie zu erhöhen kann die Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 entsprechend 6×10^{17} (/cm^3) oder weniger oder 5×10^{17} (/cm^3) oder weniger betragen.

[0148] Fig. 4A zeigt ein Beispiel der Strom/Spannungs-Eigenschaft der Halbleitervorrichtung 100 gemäß dem Ausführungsbeispiel. Die senkrechte Achse bezeichnet einen Kollektor-Emitter-Strom Ice [A] und eine Kollektor-Emitter-Spannung Vce [V] und die horizontale Achse bezeichnet die Zeit [s]. In einer Schnittansicht der Halbleitervorrichtung 100 sind die Bereiche, in denen die Elektronenstromdichte hoch ist, durch gestrichelte Linien zum Zeitpunkt T1 bzw. zum Zeitpunkt T2 gekennzeichnet. Die Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 des vorliegenden Beispiels in **Fig. 3B** ist so eingestellt, dass sie in einem Bereich liegt, in dem die Klemmendurchbruchspannung im aktiven Bereich 110 bestimmt wird.

[0149] Die Zeit T1 ist eine Zeit, wenn die Halbleitervorrichtung 100 abschaltet, wodurch eine Kollektor-Emitter-Spannung Vce ansteigt. Zum Zeitpunkt T1 konzentriert sich ein Elektronenstrom im Bereich des aktiven Bereichs 110, der durch die gestrichelte Linie gekennzeichnet ist. Das heißt, ein Teil des aktiven Bereichs 110, der durch die gestrichelte Linie gekennzeichnet ist, bildet den Spitzenbereich der Elektronenstromdichte.

[0150] Die Zeit T2 bezeichnet eine Zeit, wenn eine Kollektor-Emitter-Spannung Vce ansteigt und bei ungefähr 800 V geklemmt wird. Zum Zeitpunkt T2 steigt die Temperatur eines Teils, wo sich der Lawinendurchbruch ereignet. Eine höhere Temperatur verstärkt die Gitterschwingungen, wodurch die Elektronen gestreut werden. Wenn ein Strom aufgrund der Streuung der Elektronen weniger leicht fließt, können sich die Spitzenbereiche der Elektronenstromdichte vom aktiven Bereich 110 in Richtung eines Endabschnitts der Seite des äußeren Randbereichs 120 des Senkenbereichs 17 verschieben.

[0151] Wenn die Durchbruchspannung des aktiven Bereichs 110 kleiner ist als die Durchbruchspannung des äußeren Randbereichs 120, bewegen sich die Spitzenbereiche der Elektronenstromdichte, die auf der Seite des aktiven Bereichs 110 gebildet werden, zur Seite des äußeren Randbereichs 120. Dies senkt die Temperatur des aktiven Bereichs 110 vorübergehend ab. Wenn sich die Spitzenbereiche der Elektronenstromdichte bei einem Lawinendurchbruch auf die Seite des äußeren Randbereichs 120 verschieben, sinkt auch die Leistung (d.h. Ice × Vce). Dementsprechend kann die erhöhte Temperatur der Halbleitervorrichtung 100 reduziert werden, um eine sofortige Zerstörung zu verhindern.

[0152] Fig. 4B zeigt ein Beispiel der Strom/Spannungs-Eigenschaft der Halbleitervorrichtung 500 gemäß dem Vergleichsbeispiel. Die senkrechte Achse bezeichnet einen Kollektor-Emitter-Strom Ice [A] und eine Kollektor-Emitter-Spannung Vce [V] und die horizontale Achse bezeichnet die Zeit [s]. Im vorliegenden Beispiel sind die Spitzenbereiche der Elektronenstromdichte durch gestrichelte Linien zum Zeitpunkt T3 bzw. zum Zeitpunkt T4 gekennzeichnet. Die Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 des vorliegenden Beispiels in **Fig. 3B** ist so eingestellt, dass sie in einem Bereich liegt, in dem die Klemmendurchbruchspannung im äußeren Randbereich 120 bestimmt wird.

[0153] Die Halbleitervorrichtung 500 umfasst die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22, so dass die Durchbruchspannung des äußeren Randbereichs 120 kleiner als die Durchbruchspannung des aktiven Bereichs 110 ist. Abschaltungen führen zu einem Lawinendurchbruch auf der Seite des äußeren Randbereichs 120 des Senkenbereichs 17, wodurch die Spitzenbereiche der Elektronenstromdichte in dem durch die gestrichelte Linie gekennzeichneten Teil entstehen. Von Zeitpunkt T3 bis T4 ist die Leistung hoch, und die Spitzenbereiche der Elektronenstromdichte bleiben in der durch die gestrichelte Linie angezeigten Position. Daher führt eine Stromverdichtung dazu, dass die Temperatur weiter ansteigt. Auf diese Weise wird ein Bauteil in der Halbleitervorrichtung 500 leichter beschädigt und die Klemmen-Überlast kann nicht verbessert werden.

[0154] Im äußeren Randbereich 120 neigt ein Lawinendurchbruch zum Auftreten, weil Ladungsträger dazu neigen, sich zusätzlich zum verstärkten Lawinendurchbruch gemäß dem Locheinspeiseeffizienz des Kollektorbereichs 22 in einer Kontaktlochkante der Seite des äußeren Randbereichs 120 zu konzentrieren. Ein Anstieg der Konzentration von Löchern auf der Seite der Rückenfläche 23 verstärkt einen Lawinendurchbruch beim Klemmen.

[0155] Die Halbleitervorrichtung 100 des vorliegenden Beispiels verringert die Locheinspeiseeffizienz des Kollektorbereichs 22, indem die Tiefe des ersten Peaks P1 der Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 auf eine geeignete Tiefe eingestellt wird, so dass die Klemmendurchbruchspannung des aktiven Bereichs 110 kleiner als die Klemmendurchbruchspannung des äußeren Randbereichs 120 ist. Dadurch kann eine sofortige Zerstörung unterdrückt werden, da sich ein Lawinendurchbruch in den äußeren Randbereich 120 verlagert, nachdem ein Lawinendurchbruch im aktiven Bereich 110 stattgefunden hat. Die Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 und die Tiefe des ersten Peaks P1 können so eingestellt werden, dass die Klemmenergie maximal wird. Ein angemessener Bereich der Dotierungskonzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des ersten Peaks P1 wird unten beschrieben.

[0156] Wenn die Durchbruchspannung größer sein soll als der Spannungsüberschuss (d.h. der Spitzenwert der Spannung), der die Zerstörung des Bauteils beim Abschalten des Stroms verhindern soll, muss die Dicke des Halbleitersubstrats 10 in Tiefenrichtung erhöht oder das Gebiet des äußeren Randbereichs 120 vergrößert werden. Um die Chipkosten zu senken, kann die Durchbruchspannung eines Bauteils so ausgelegt werden, dass sie eine Überspannung oder weniger beträgt. Die Halbleitervorrichtung 100 des vorliegenden Beispiels ermöglicht es, die Zerstörung von Bauteilen zu verhindern und gleichzeitig die Chipkosten zu senken, indem im aktiven Bereich 110 beim Abschalten ein Lawinendurchbruch verursacht wird.

[0157] Außerdem kann die Gesamtdosis des Feldstoppbereichs 20 und die Gesamtdosis des Kollektorbereichs 22 so festgelegt werden, dass die Durchbruchspannung des aktiven Bereichs 110 kleiner wird als die Durchbruchspannung des äußeren Randbereichs 120. Beispielsweise kann die Gesamtdosis des Feldstoppbereichs 20 das Zehnfache oder weniger der Gesamtdosis des Kollektorbereichs 22 betragen, oder das Fünffache oder weniger der Gesamtdosis des Kollektorbereichs 22.

[0158] Fig. 5A zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des ersten Peaks P1. Die senkrechte Achse bezeichnet die Tiefe des ersten Peaks P1, y1 [µm], und die horizontale Achse bezeichnet die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22, × [cm^{-2}].

[0159] Hier wird die folgende Grundlinie L1 anhand der in **Fig. 3A** erhaltenen Beschleunigungsenergie im untiefsten Teil von Protonen und der Daten an den zwei Punkten, wo die Klemmenergie maximal wird berechnet.

$$y1 = \left(-6{,}0367 \times 10^{-1}\right)\ln(x) + \left(2{,}2590 \times 10^{1}\right),$$

Grundlinie L1:

[0160] Das heißt, die Grundlinie L1 beschreibt eine Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22, in dem die Klemmenergie maximal wird und der Tiefe des ersten Peaks P1, wo die Klemmenergie maximal wird.

[0161] Bereich R1 bezeichnet den Bereich im Bereich von ±15% um die Grundlinie L1. Der Bereich R1 des vorliegenden Beispiels ist ein Bereich zwischen der Linie A1 und der Linie B1. Die Linie A1 und die Linie B1 des vorliegenden Beispiels werden durch die folgende Gleichung beschrieben.

$$y1 = \left(-7{,}4699 \times 10^{-1}\right)\ln(x) + \left(2{,}7810 \times 10^{1}\right)$$

Linie A1:

$$y1 = \left(-4{,}7772 \times 10^{-1}\right)\ln(x) + \left(1{,}7960 \times 10^{1}\right)$$

Linie B1:

[0162] In diesem Fall gehören die Tiefe des ersten Peaks P1 und die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 zum Bereich R1. Falls im Bereich R1, kann die Locheinspeiseeffizienz des Kollektorbereichs 22 unterdrückt werden, um die Klemmen-Durchbruchspannung des äußeren Randbereichs 120 kleiner als die KlemmenDurchbruchspannung des aktiven Bereichs 110 zu machen. Die integrierte Konzentration des zweiten Kollektorbereichs 22 kann $1{,}00 \times 10^{16} cm^{-2}$ oder weniger und $8{,}00 \times 10^{15}$ cm^{-2} oder weniger betragen. Die Tiefe des ersten Peaks P1 kann 0,5 µm oder mehr und 7,2 µm oder weniger betragen.

[0163] Die Halbleitervorrichtung 100 des vorliegenden Beispiels kann einen Lawinendurchbruch beim Klemmen auf der Seite des aktiven Bereichs 110 verursachen, indem die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 und die Tiefe des ersten Peaks P1 so eingestellt werden, dass sie im Bereich R1 liegen. Die verbessert eine Klemmendurchbruchspannung.

[0164] Fig. 5B zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des ersten Peaks P1. Der Bereich R1 des vorliegenden Beispiels bezeichnet einen Bereich, der ±10% der Grundlinie Linie L1 entspricht.

[0165] Die Grundlinie L1 und die Grundlinie L1 in **Fig. 5A** sind identisch. Die Linie A1 und die Linie B1 des vorliegenden Beispiels werden durch die folgende Gleichung beschrieben.

$$y1 = \left(-6{,}9487 \times 10^{-1}\right)\ln(x) + \left(2{,}5930 \times 10^{1}\right)$$

Linie A1:

$$y1 = \left(-5{,}2115 \times 10^{-1}\right)\ln(x) + \left(1{,}9540 \times 10^{1}\right)$$

Linie B1:

[0166] Ebenso können in diesem Fall die Tiefe des ersten Peaks P1 und die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 als dem Bereich R1 zugehörig eingestellt werden.

[0167] Fig. 5C zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des ersten Peaks P1. Der Bereich R1 des vorliegenden Beispiels bezeichnet einen Bereich, der ±5% der Grundlinie Linie L1 entspricht.

[0168] Die Grundlinie L1 und die Grundlinie L1 in **Fig. 5A** sind identisch. Die Linie A1 und die Linie B1 des vorliegenden Beispiels werden durch die folgende Gleichung beschrieben.

$$y1 = \left(-6{,}4710 \times 10^{-1}\right)\ln(x) + \left(2{,}4190 \times 10^{1}\right)$$

Linie A1:

$$y1 = \left(-5{,}6458 \times 10^{-1}\right)\ln(x) + \left(2{,}1130 \times 10^{1}\right)$$

Linie B1:

[0169] Ebenso können in diesem Fall die Tiefe des ersten Peaks P1 und die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 als dem Bereich R1 des vorliegenden Beispiels zugehörig eingestellt werden.

[0170] Fig. 6A zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des ersten Peaks P1. Die Grundlinie L1, die Linie A und die Linie B sind mit jeder Linie in **Fig. 5A** identisch. Das heißt, sie bezeichnet einen Bereich, der ±15% um die Grundlinie L1 entspricht. Der Bereich R1 des vorliegenden Beispiels bezeichnet jedoch einen Bereich, wo die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 $3{,}00 \times 10^{14}$ cm^{-2} oder weniger beträgt. Die Tiefe des ersten Peaks P1 kann 2,0 µm oder mehr und 7,2 µm oder weniger betragen. Die Tiefe des ersten Peaks P1 und die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 können als dem Bereich R1 des vorliegenden Beispiels zugehörig eingestellt werden.

[0171] Fig. 6B zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des ersten Peaks P1. Die Grundlinie L1, die Linie A und die Linie B sind mit jeder Linie in **Fig. 5A** identisch. Das heißt, sie bezeichnet einen Bereich, der ±15% um die Grundlinie L1 entspricht. Der Bereich R1 des vorliegenden Beispiels bezeichnet jedoch einen Bereich, wo die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 $2{,}00 \times 10^{14}$ cm^{-2} oder weniger beträgt. Die Tiefe des ersten Peaks P1 kann 2,2 µm oder mehr und 7,2 µm oder weniger betragen. Die Tiefe des ersten Peaks P1 und die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 können als dem Bereich R1 des vorliegenden Beispiels zugehörig eingestellt werden.

[0172] Fig. 6C zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des ersten Peaks P1. Die Grundlinie L1, die Linie A und die Linie B sind mit jeder Linie in **Fig. 5A** identisch. Das heißt, sie bezeichnet einen Bereich, der ±15% um die Grundlinie L1 entspricht. Der Bereich R1 des vorliegenden Beispiels bezeichnet jedoch einen Bereich,

wo die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 $1{,}00\times10^{14}$ cm^{-2} oder weniger beträgt. Die Tiefe des ersten Peaks P1 kann 2,5 µm oder mehr und 7,2 µm oder weniger betragen. Die Tiefe des ersten Peaks P1 und die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 können als dem Bereich R1 des vorliegenden Beispiels zugehörig eingestellt werden.

[0173] Fig. 6D zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des ersten Peaks P1. Die Grundlinie L1, die Linie A und die Linie B sind mit jeder Linie in **Fig. 5A** identisch. Das heißt, sie bezeichnet einen Bereich, der ±15% um die Grundlinie L1 entspricht. Der Bereich R1 des vorliegenden Beispiels bezeichnet jedoch einen Bereich, wo die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 $5{,}00\times10^{13}$ cm^{-2} oder weniger beträgt. Die Tiefe des ersten Peaks P1 kann 3,0 µm oder mehr und 7,2 µm oder weniger betragen. Die Tiefe des ersten Peaks P1 und die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 können als dem Bereich R1 des vorliegenden Beispiels zugehörig eingestellt werden.

[0174] Fig. 6E zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des ersten Peaks P1. Die Grundlinie L1, die Linie A und die Linie B sind mit jeder Linie in **Fig. 5A** identisch. Das heißt, sie bezeichnet einen Bereich, der ±15% um die Grundlinie L1 entspricht. Der Bereich R1 des vorliegenden Beispiels bezeichnet jedoch einen Bereich, wo die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 $3{,}00\times10^{13}$ cm^{-2} oder weniger beträgt. Die Tiefe des ersten Peaks P1 kann 3,2 µm oder mehr und 7,2 µm oder weniger betragen. Die Tiefe des ersten Peaks P1 und die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 können als dem Bereich R1 des vorliegenden Beispiels zugehörig eingestellt werden.

[0175] Fig. 6F zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des ersten Peaks P1. Die Grundlinie L1, die Linie A und die Linie B sind mit jeder Linie in **Fig. 5A** identisch. Das heißt, sie bezeichnet einen Bereich, der ±15% um die Grundlinie L1 entspricht. Der Bereich R1 des vorliegenden Beispiels bezeichnet jedoch einen Bereich, wo die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 $1{,}00\times10^{13}$ cm^{-2} oder weniger beträgt. Die Tiefe des ersten Peaks P1 kann 3,6 µm oder mehr und 7,2 µm oder weniger betragen. Die Tiefe des ersten Peaks P1 und die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 können als dem Bereich R1 des vorliegenden Beispiels zugehörig eingestellt werden.

[0176] Außerdem kann der Bereich einer integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 auch für **Fig. 5B** und **Fig. 5C**, ähnlich wie in **Fig. 6A** bis **Fig. 6F**, beschränkt sein. Beispielsweise kann der Bereich R1 in **Fig. 5B** und **Fig. 5C** ein Bereich mit der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 von $1{,}00\times10^{14}$ cm^{-2} oder weniger, ein mit Bereich mit der von $5{,}00\times10^{13}$ cm^{-2} oder weniger, ein Bereich mit der von $3{,}00\times10^{13}$ cm^{-2} oder weniger oder ein Bereich mit der von $1{,}00\times10^{13}$ cm^{-2} oder weniger sein.

[0177] Fig. 7A zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe eines zweiten Peaks P2. Die senkrechte Achse bezeichnet die Tiefe des zweiten Peaks P2, y2 [µm], und die horizontale Achse bezeichnet die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22, x [cm^{-2}].

[0178] Hier wird die folgende Grundlinie L2 anhand der in **Fig. 3A** erhaltenen Beschleunigungsenergie im untiefsten Teil von Protonen und der Daten an den zwei Punkten, wo die Klemmenergie maximal wird berechnet.

$$y2 = (-2{,}4885)\ln(x) + \left(9{,}1580\times10^{1}\right),$$

Grundlinie L2:

[0179] Das heißt, die Grundlinie L2 beschreibt eine Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22, in dem die Klemmenergie maximal wird und der Tiefe des zweiten Peaks P2, wo die Klemmenergie maximal wird.

[0180] Bereich R2 bezeichnet den Bereich im Bereich von ±15% um die Grundlinie L2. Der Bereich R2 des vorliegenden Beispiels ist ein Bereich zwischen der Linie A2 und der Linie B2. Die Linie A2 und die Linie B2 des vorliegenden Beispiels werden durch die folgende Gleichung beschrieben.

$$y2 = (-3{,}1095)\ln(x) + \left(1{,}1416\times10^{2}\right)$$ Linie A2:

$$y2 = (-1{,}9239)\ln(x) + \left(7{,}1030\times10^{1}\right)$$ Linie B2:

[0181] In diesem Fall gehören die Tiefe des zweiten Peaks P2 und die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 zum Bereich R2. Falls im Bereich R2, wird die Klemmenergie ausreichend hoch. Die Tiefe des zweiten Peaks P2 kann 3,5 µm oder mehr und 28 µm oder weniger betragen.

[0182] Fig. 7B zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des zweiten Peaks P2. Der Bereich R2 des vorliegenden Beispiels bezeichnet einen Bereich, der ±10% der Grundlinie Linie L2 entspricht.

[0183] Die Grundlinie L2 und die Grundlinie L2 in **Fig. 7A** sind identisch. Die Linie A2 und die Linie B2

des vorliegenden Beispiels werden durch die folgende Gleichung beschrieben.

$$y2 = (-2{,}8924)\ln(x) + (1{,}0629 \times 10^{2}) \quad \text{Linie A2:}$$

$$y2 = (-2{,}1020)\ln(x) + (7{,}7530 \times 10^{1}) \quad \text{Linie B2:}$$

[0184] Ebenso können in diesem Fall die Tiefe des zweiten Peaks P2 und die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 als dem Bereich R2 des vorliegenden Beispiels zugehörig eingestellt werden.

[0185] Fig. 7C zeigt ein weiteres Beispiel einer Beziehung zwischen der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 und der Tiefe des zweiten Peaks P2. Der Bereich R2 des vorliegenden Beispiels bezeichnet einen Bereich, der ±5% der Grundlinie Linie L2 entspricht.

[0186] Die Grundlinie L2 und die Grundlinie L2 in **Fig. 7A** sind identisch. Die Linie A2 und die Linie B2 des vorliegenden Beispiels werden durch die folgende Gleichung beschrieben.

$$y2 = (-2{,}4885)\ln(x) + (9{,}1580 \times 10^{1}) \quad \text{Linie A2:}$$

$$y2 = (-2{,}2931)\ln(x) + (8{,}4470 \times 10^{1}) \quad \text{Linie B2:}$$

[0187] Ebenso können in diesem Fall die Tiefe des zweiten Peaks P2 und die integrierte Konzentration des Kollektorbereichs 22 als dem Bereich R2 des vorliegenden Beispiels zugehörig eingestellt werden.

[0188] Außerdem kann der Bereich einer integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 auch für **Fig. 7A** bis **Fig. 7C**, ähnlich wie in **Fig. 6A** bis **Fig. 6F**, beschränkt sein. Beispielsweise kann der Bereich R2 in **Fig. 7A** bis **Fig. 7C** ein Bereich mit der integrierten Konzentration des Kollektorbereichs 22 von $1{,}00\times10^{14}$ cm^{-2} oder weniger, ein mit Bereich mit der von $5{,}00\times10^{13}$ cm^{-2} oder weniger, ein Bereich mit der von $3{,}00\times10^{13}$ cm^{-2} oder weniger oder ein Bereich mit der von $1{,}00\times10^{13}$ cm^{-2} oder weniger sein.

[0189] Fig. 8A ist ein Schaubild zum Beschreiben einer Beziehung zwischen einer Schwimminduktivität Ls und einer Kollektorstromabnahmerate dIce/dt. Die Schwimminduktivität Ls beträgt Xc [nH] und die Kollektorstromabnahmerate dIce/dt beträgt Yc [A/µs]. Die Linie C1 wird durch die folgende Gleichung beschrieben.

$$Yc = 10000\,Xc^{-1} \quad \text{Linie C1:}$$

[0190] Die Schwimminduktivität Ls und die Kollektorstromabnahmerate dIce/dt sind auf den Bereich eingestellt, der größer als die Linie C1 ist. Der Bereich, der größer als die Linie C1 ist, bezeichnet einen Bereich, der im Diagramm, das eine Beziehung zwischen der Schwimminduktivität Ls und der Kollektorstromabnahmerate dIce/dt beschreibt, über der Linie C1 angeordnet ist. Der Bereich, der größer als die Linie C1 ist, ist ein Bereich, der von einem Muster ausgefüllt wird.

[0191] Die Schwimminduktivität Ls und die Kollektorstromabnahmerate dIce/dt können auf den Bereich eingestellt sein, der größer als die Linie C2 ist. Die Linie C2 wird durch die folgende Gleichung beschrieben.

$$Yc = 20000\,Xc^{-1} \quad \text{Linie C2:}$$

[0192] Die Schwimminduktivität Ls und die Kollektorstromabnahmerate dIce/dt können auf den Bereich eingestellt sein, der größer als die Linie C3 ist. Die Linie C3 wird durch die folgende Gleichung beschrieben.

$$Yc = 50000\,Xc^{-1} \quad \text{Linie C3:}$$

[0193] Je größer die Schwimminduktivität Ls hier wird, desto leichter wird es, einen Strom beizubehalten, so dass ein Spannungsüberschuss beim Abschalten eines Stroms abnimmt. Je größer die Kollektorstromabnahmerate dIce/dt ist, desto größer ist auch der Spannungsüberschuss beim Abschalten des Stroms. Wenn somit die Schwimminduktivität Ls und die Kollektorstromabnahmerate dIce/dt auf einen Bereich eingestellt sind, der größer ist als eine der Linien C1 bis C3, neigt der Spannungsüberschuss zum Abreißen. Die Halbleitervorrichtung 100 des vorliegenden Beispiels kann eine sofortige Zerstörung verhindern, selbst wenn die Schwimminduktivität Ls und die Kollektorstromabnahmerate dIce/dt auf einen Bereich eingestellt sind, der größer ist als eine der Linien C1 bis C3, neigt der Spannungsüberschuss zum Abreißen.

[0194] Fig. 8B ist ein Schaubild zum Beschreiben einer Beziehung zwischen vergleichbarer Streuinduktivität Ls·A und Stromdichte dJce/dt. Die vergleichende Streuinduktivität Ls·A beträgt Xd [nH cm^2], und die Stromdichte dJce/dt beträgt Yd [A/(cm^2µs)].

[0195] Die vergleichende Streuinduktivität Ls·A ist ein bestimmter Wert, der sich aus Multiplizieren der Streuinduktivität Ls mit der Fläche A des aktiven Bereichs 110 (cm^2) ergibt. Die Stromdichte dJce/dt ist ein Wert, der sich ergibt, wenn man die Kollektorstromabnahmerate dIce/dt durch die Fläche A des aktiven Bereichs 110 (cm^2) teilt.

[0196] Die vergleichende Streuinduktivität Ls·A und die Stromdichte dJce/dt sind auf den Bereich eingestellt sein, der größer als die Linie D1 ist. Die Linie D1 wird durch die folgende Gleichung beschrieben.

$Yd = 10000Xd^{=1}$ Linie D1:

[0197] Die vergleichende Streuinduktivität Ls·A und die Stromdichte dJce/dt können auf den Bereich eingestellt sein, der größer als die Linie D2 ist. Die Linie D2 wird durch die folgende Gleichung beschrieben.

$Yd = 20000Xd^{=1}$ Linie D2:

[0198] Die vergleichende Streuinduktivität Ls·A und die Stromdichte dJce/dt können auf den Bereich eingestellt sein, der größer als die Linie D3 ist. Die Linie D3 wird durch die folgende Gleichung beschrieben.

$Yd = 50000Xd^{=1}$ Linie D3:

[0199] Je größer hier die vergleichende Streuinduktivität Ls·A oder die Stromdichte dJce/dt sind, desto größer wird der Spannungsüberschuss beim Abschalten eines Stroms. Wenn somit die vergleichende Streuinduktivität Ls·A und die Stromdichte dJce/dt auf den Bereich eingestellt sind, der größer als oder gleich einer der Linien D1 bis D3 ist, neigt der Spannungsüberschuss zum Abreißen. Die Halbleitervorrichtung 100 des vorliegenden Beispiels kann eine sofortige Zerstörung verhindern, selbst wenn die Schwimminduktivität Ls und die Kollektorstromabnahmerate dIce/dt auf einen Bereich eingestellt sind, der größer ist als eine der Linien D1 bis D3, neigt der Spannungsüberschuss zum Abreißen.

[0200] Fig. 9 ist ein Schaubild zum Beschreiben einer Beziehung zwischen der vergleichbaren Streuinduktivität Ls·A und dem vergleichbaren Gatterwiderstand Rg·A. Die vergleichende Streuinduktivität Ls·A beträgt Xe [nH cm^2], der vergleichende Gatterwiderstand Rg·A beträgt Ye [Ωcm^2]. Der vergleichende Gatterwiderstand Rg·A ist ein bestimmter Wert, der sich aus Multiplizieren des Gatterwiderstands Rg einer Treiberschaltung der Halbleitervorrichtung 100 mit der Fläche A des aktiven Bereichs 110 (cm^2) ergibt.

[0201] Die Kollektorstromabnahmerate dIce/dt wird zusätzlich zur Schwimminduktivität Ls durch den Gatterwiderstand Rg einer Treiberschaltung der Halbleitervorrichtung 100 verändert. Falls der Gatterwiderstand Rg abnimmt, tendiert die Kollektorstromabnahmerate dIce/dt zum Ansteigen.

[0202] Die vergleichende Streuinduktivität Ls·A und der vergleichende Gatterwiderstand Rg·A können auf den Bereich der Linie E1 oder weniger eingestellt werden. Die Linie E1 wird durch die folgende Gleichung beschrieben.

$Ye = \left(4{,}000 \times 10^{-1}\right)Xe$ Linie E1:

[0203] Die vergleichende Streuinduktivität Ls·A und der vergleichende Gatterwiderstand Rg·A können auf den Bereich der Linie E2 oder weniger eingestellt werden. Die Linie E2 wird durch die folgende Gleichung beschrieben.

$Ye = \left(2{,}000 \times 10^{-1}\right)Xe$ Linie E2:

[0204] Die vergleichende Streuinduktivität Ls·A und der vergleichende Gatterwiderstand Rg·A können auf den Bereich der Linie E3 oder weniger eingestellt werden. Die Linie E3 wird durch die folgende Gleichung beschrieben.

$Ye = \left(8{,}000 \times 10^{-2}\right)Xe$ Linie E3:

[0205] Je kleiner hier der vergleichende Gatterwiderstand Rg·A ist, desto größer wird der Spannungsüberschuss beim Abschalten eines Stroms. Wenn somit die vergleichende Streuinduktivität Ls·A und der vergleichende Gatterwiderstand Rg·A auf den Bereich eingestellt sind, der niedriger als oder gleich einer der Linien E1 bis E3 ist, neigt der Spannungsüberschuss zum Abreißen. Die Halbleitervorrichtung 100 des vorliegenden Beispiels kann eine sofortige Zerstörung verhindern, selbst wenn die vergleichende Streuinduktivität Ls·A und der vergleichende Gatterwiderstand Rg·A auf einen Bereich eingestellt sind, der kleiner als oder gleich einer der Linien E1 bis E3 ist.

[0206] Während die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beschrieben wurden, ist der technische Umfang der vorliegenden Erfindung nicht auf die oben beschriebenen Ausführungsformen beschränkt. Für den Fachmann ist es offensichtlich, dass zu den oben beschriebenen Ausführungsformen verschiedene Änderungen oder Verbesserungen hinzugefügt werden können. Aus dem Schutzbereich der Ansprüche ergibt sich auch, dass die mit solchen Änderungen oder Verbesserungen hinzugefügten Ausführungsformen in den technischen Umfang der vorliegenden Erfindung einbezogen werden können.

[0207] Die Vorgänge, Prozeduren, Schritte und Stufen jedes Prozesses, die von einer Vorrichtung, einem System, einem Programm und einem Verfahren durchgeführt werden, die in den Ansprüchen, Ausführungsbeispielen oder Zeichnungen dargestellt sind, können in beliebiger Reihenfolge ausgeführt werden, solange die Reihenfolge nicht durch „vorher“, „vor“ oder ähnlichen Begriffen angegeben ist und solange die Ausgabe eines vorhergehenden Prozesses nicht in einem späteren Prozess verwendet wird. Selbst wenn der Prozessablauf in den Ansprüchen, Ausführungsbeispielen oder Figuren durch Begriffe wie „erste“ oder „nächste“ beschrieben wird, bedeutet dies nicht unbedingt, dass der

Prozess in dieser Reihenfolge durchgeführt werden muss.

Bezugszeichenliste

10	Halbleitersubstrat
12	Emitterbereich
14	Basisbereich
15	Kontaktbereich
16	Sammelbereich
17	Senkenbereich
18	Driftbereich
20	Feldstoppbereich
21	Frontfläche
22	Kollektorbereich
23	Rückenfläche
24	Kollektorelektrode
25	Verbindungsabschnitt
30	Dummy-Grabenabschnitt
31	Erstreckungsabschnitt
32	dielektrischer Dummyfilm
33	Verbindungsabschnitt
34	Dummy-Leitungsabschnitt
38	dielektrischer Zwischenschichtfilm
39	Oxidschicht
40	Gatter-Grabenabschnitt
41	Erstreckungsabschnitt
42	dielektrischer Gatterfilm
43	Verbindungsabschnitt
44	Gatter-Leitungsabschnitt
50	Gatter-Metallschicht
51	Gatterläufer
52	Emitterelektrode
54	Kontaktloch
55	Kontaktloch
56	Kontaktloch
60	Dummy-Grabenbereich
61	Mesaabschnitt
65	Senken-Kontaktbereich
70	Transistorabschnitt
71	Mesaabschnitt
76	Temperaturmessabschnitt
80	Diodenabschnitt
81	Mesaabschnitt
82	Kathodenbereich
90	Grenzabschnitt
91	Mesaabschnitt
92	Schutzringabschnitt,
94	Elektrodenschicht
96	Kanalstopperbereich,
100	Halbleitervorrichtung
110	aktiver Bereich
120	äußerer Randbereich
130	Anschlussbereich
131	Gatter-Anschlussfläche
132	Abtast-IGBT
133	Abtastemitter-Anschlussfläche
134	Anoden-Anschlussfläche
135	Kathoden-Anschlussfläche
500	Halbleitervorrichtung

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Zitierte Patentliteratur

- JP 2015135954 [0003]

Patentansprüche

1. Halbleitervorrichtung, umfassend:
einen Driftbereich eines ersten Leitfähigkeitstyps, der auf einem Halbleitersubstrat angeordnet ist;
einen Feldstoppbereich eines ersten Leitfähigkeitstyps, der unter dem Driftbereich angeordnet ist und einen oder mehr Peaks aufweist; und
einen Kollektorbereich eines zweiten Leitfähigkeitstyp, der unter dem Feldstoppbereich angeordnet ist,
wobei, wenn eine integrierte Konzentration des Kollektorbereichs x [cm^{-2}] beträgt, eine Tiefe eines ersten Peaks, der aus einem oder mehr Peaks ein untiefster von einer Rückenfläche des Halbleitersubstrats ist, y1 [µm] beträgt,

$$y1 = \left(-7{,}4699 \times 10^{-1}\right)\ln(x) + \left(2{,}7810 \times 10^{1}\right), \text{und}$$

Linie A1:

$$y1 = \left(-4{,}7772 \times 10^{-1}\right)\ln(x) + \left(1{,}7960 \times 10^{1}\right),$$

Linie B1:

liegen eine Tiefe des ersten Peaks und die integrierte Konzentration in einem Bereich zwischen einer Linie A1 und einer Linie B1.

2. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, wobei eine integrierte Konzentration des Kollektorbereichs $8{,}00 \times 10^{15}$ cm^{-2} oder weniger beträgt.

3. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, wobei eine integrierte Konzentration des Kollektorbereichs $3{,}00 \times 10^{14}$ cm^{-2} oder weniger beträgt.

4. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, wobei eine integrierte Konzentration des Kollektorbereichs $2{,}00 \times 10^{14}$ cm^{-2} oder weniger beträgt.

5. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, wobei eine integrierte Konzentration des Kollektorbereichs $1{,}00 \times 10^{14}$ cm^{-2} oder weniger beträgt.

6. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, wobei eine integrierte Konzentration des Kollektorbereichs $5{,}00 \times 10^{13}$ cm^{-2} oder weniger beträgt.

7. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, wobei eine integrierte Konzentration des Kollektorbereichs $3{,}00 \times 10^{13}$ cm^{-2} oder weniger beträgt.

8. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, wobei eine integrierte Konzentration des Kollektorbereichs $1{,}00 \times 10^{13}$ cm^{-2} oder weniger beträgt.

9. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei eine Tiefe des ersten Peaks 0,5 µm oder mehr und 7,2 µm oder weniger beträgt.

10. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei eine Tiefe des ersten Peaks 2,0 µm oder mehr und 7,2 µm oder weniger beträgt.

11. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei, wenn eine Tiefe eines zweiten Peaks, der aus einem oder mehr Peaks ein zweit untiefster von der Rückenfläche des Halbleitersubstrats ist, y2 [µm] beträgt,

$$y2 = \left(-3{,}1095\right)\ln(x) + \left(1{,}1416 \times 10^{2}\right), \text{und}$$

Linie A2:

$$y2 = \left(-1{,}9239\right)\ln(x) + \left(7{,}1030 \times 10^{1}\right),$$

Linie B2:

liegen eine Tiefe des zweiten Peaks und die integrierte Konzentration in einem Bereich zwischen einer Linie A2 und einer Linie B2.

12. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 11, wobei eine Tiefe des zweiten Peaks 3,5 µm oder mehr und 28 µm oder weniger beträgt.

13. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
wobei, wenn eine Schwimminduktivität Ls eines mit der Halbleitervorrichtung verbundenen Schaltkreises Xc [nH] ist und eine Kollektorstromabnahmerate dIce/dt Yc [A/µs] ist, und

$$Yc = 10000Xc^{=1},$$

Linie C1:

liegen die Schwimminduktivität Ls und die Kollektorstromabnahmerate dIce/dt innerhalb eines Bereichs, der größer als eine Linie C1 ist.

14. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei ein Dotierstoff des einen oder der mehreren Peaks Wasserstoff ist.

15. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, umfassend:
einen aktiven Bereich, der auf dem Halbleitersubstrat angeordnet ist; und
einen äußeren Randbereich, der in einer äußeren Umgebung des aktiven Bereich in Draufsicht des Halbleitersubstrats angeordnet ist.

16. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, umfassend:
einen Basisbereich eines zweiten Leitfähigkeitstyp, der oberhalb des Driftbereichs angeordnet ist;
einen Emitterbereich eines ersten Leitfähigkeitstyps, der oberhalb des Basisbereichs angeordnet ist, und dessen Dotierungskonzentration höher als die des Driftbereichs ist;
einen Kontaktbereich eines zweiten Leitfähigkeitstyps, der oberhalb des Basisbereichs angeordnet

ist, und dessen Dotierungskonzentration höher als die des Basisbereichs ist; und
eine Vielzahl von Gatter-Grabenabschnitten, die auf dem Halbleitersubstrat angeordnet ist.

17. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, wobei eine Dotierungskonzentration in einer Grenze zwischen dem Feldstoppbereich und dem Kollektorbereich 1×10^{16} cm^{-3} oder weniger beträgt.

18. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, wobei eine Dotierungskonzentration in einer Grenze zwischen dem Feldstoppbereich und dem Kollektorbereich 5×10^{15} cm^{-3} oder weniger beträgt.

19. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 18, wobei eine Dotierungskonzentration in einer Grenze zwischen dem Feldstoppbereich und dem Kollektorbereich 2×10^{15} cm^{-3} oder weniger beträgt.

20. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 19, wobei eine chemische Wasserstoffkonzentration in einer Grenze zwischen dem Feldstoppbereich und dem Kollektorbereich 1×10^{18} cm^{-3} oder weniger beträgt.

21. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 20, wobei eine chemische Wasserstoffkonzentration in einer Grenze zwischen dem Feldstoppbereich und dem Kollektorbereich 1×10^{17} cm^{-3} oder weniger beträgt.

22. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 21, wobei eine chemische Wasserstoffkonzentration in einer Grenze zwischen dem Feldstoppbereich und dem Kollektorbereich 1×10^{15} cm^{-3} oder mehr beträgt.

23. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 22, wobei eine chemische Wasserstoffkonzentration in einer Grenze zwischen dem Feldstoppbereich und dem Kollektorbereich 1×10^{16} cm^{-3} oder mehr beträgt.

Es folgen 29 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

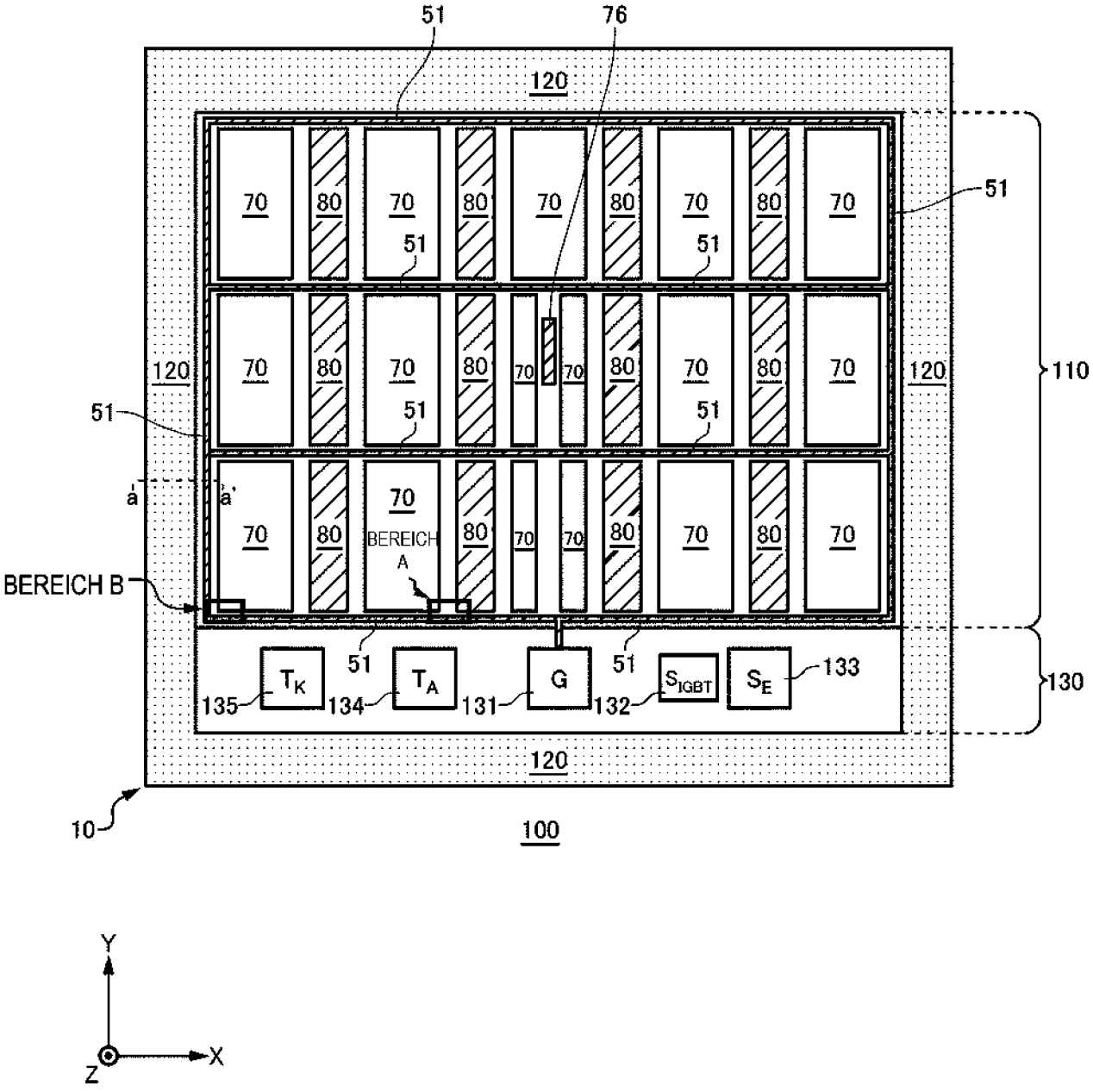


FIG.1A

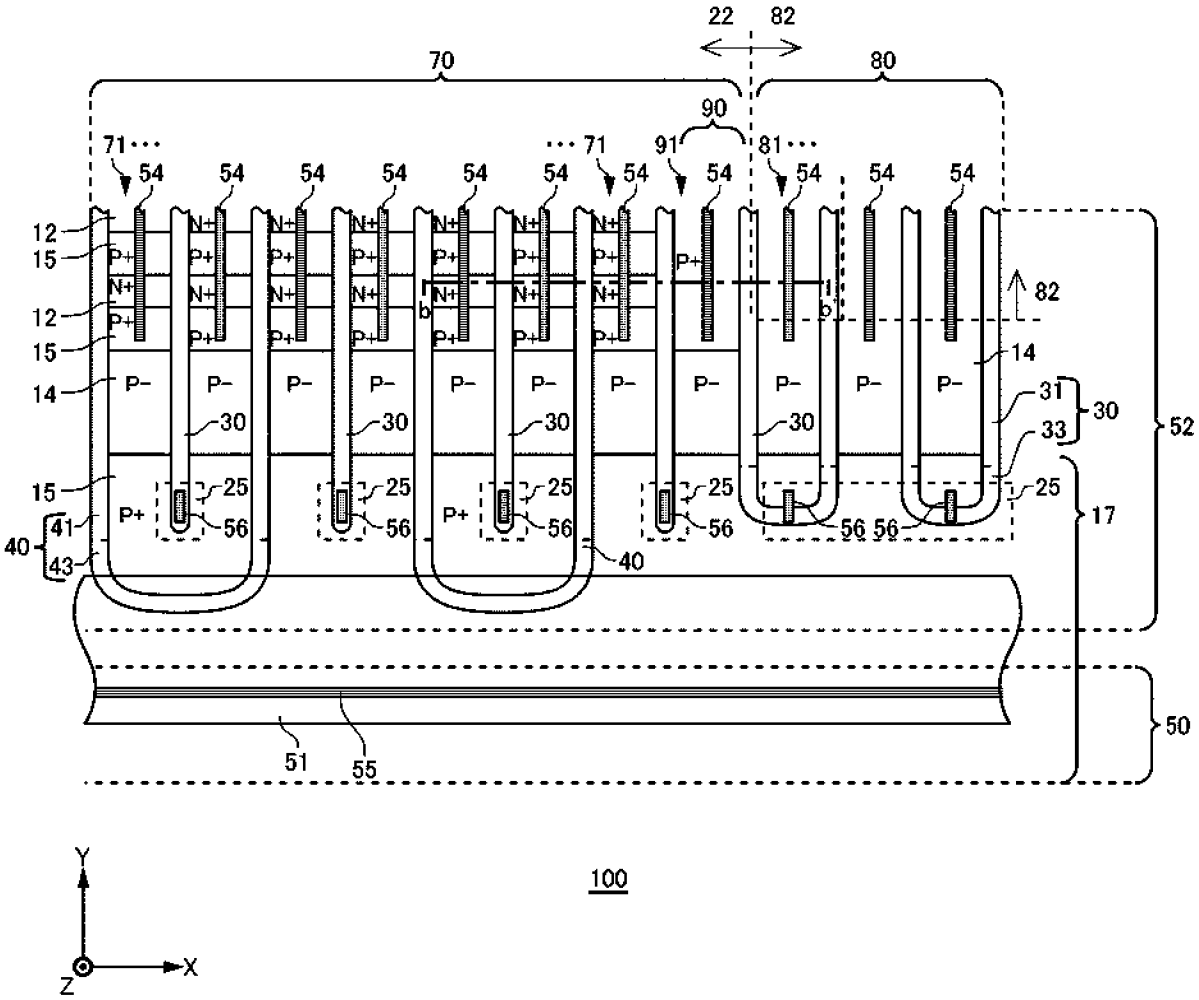

22
82
70
80
90
71
91
81
54
12
15
14
N+
P+
P−
30
31
33
25
56
40
41
43
52
17
50
51
55
82
b
b'
100
Y
X
Z

FIG.1B

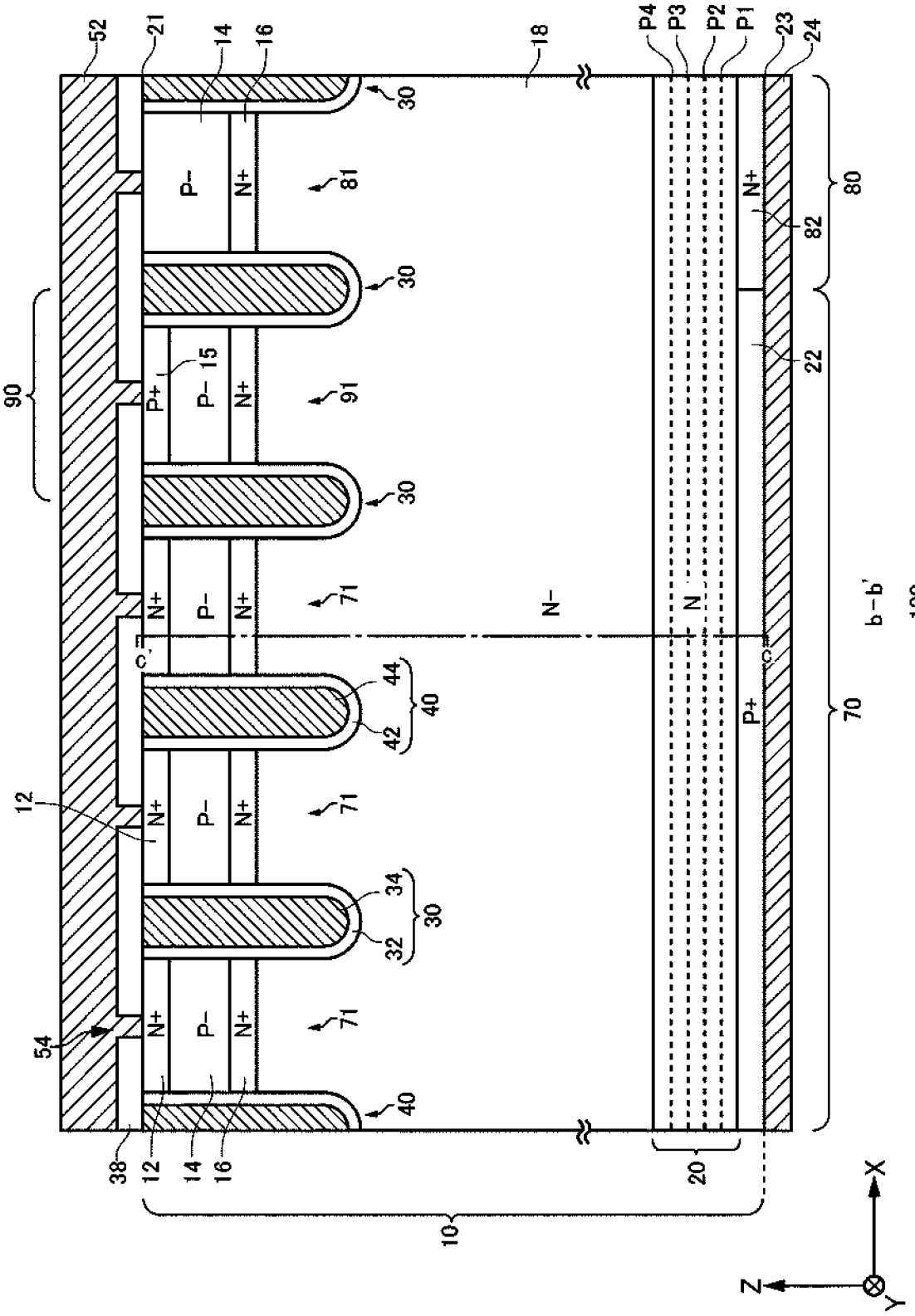

52
21
14
16
18
P4
P3
P2
P1
23
24
30
P−
N+
81
80
82
90
P+
15
91
22
71
N−
N
b−b'
100
44
42
40
70
12
34
32
54
38
20
10
X
Y
Z

FIG.1C

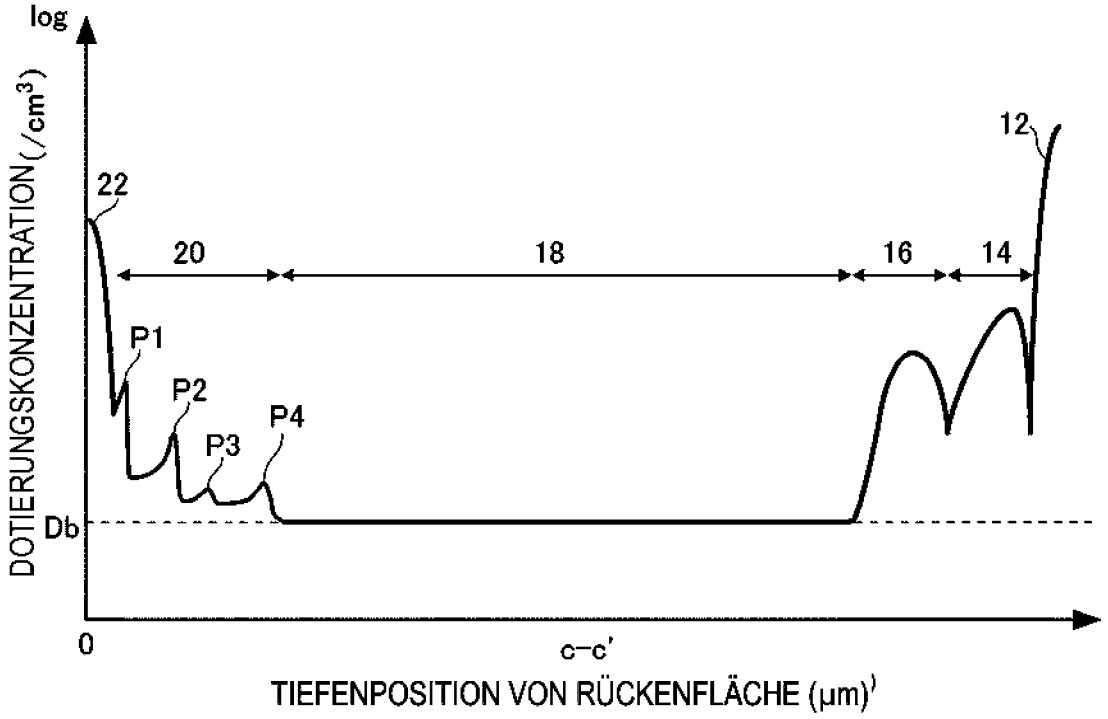

log
DOTIERUNGSKONZENTRATION (/cm³)
22
12
20
18
16
14
P1
P2
P3
P4
Db
0
c–c'
TIEFENPOSITION VON RÜCKENFLÄCHE (μm)

FIG.1D

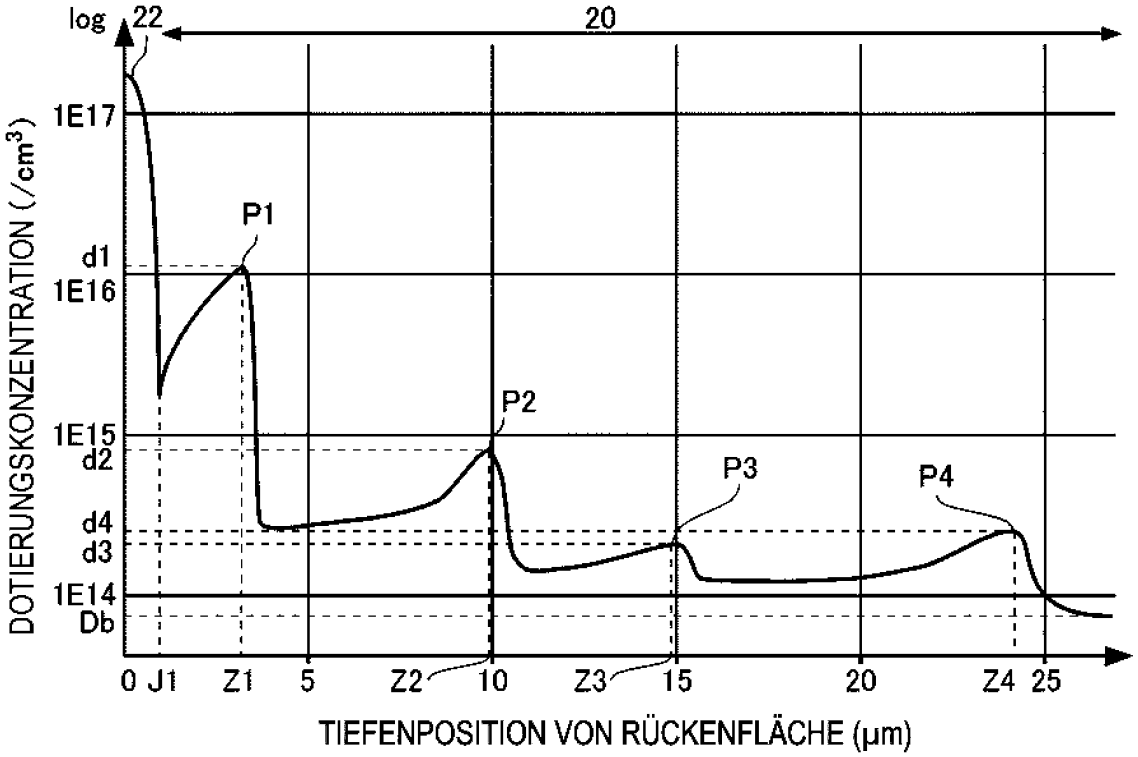

log
22
20
1E17
P1
d1
1E16
P2
1E15
d2
P3
P4
d4
d3
1E14
Db
DOTIERUNGSKONZENTRATION (/cm³)
0 J1 Z1 5 Z2 10 Z3 15 20 Z4 25
TIEFENPOSITION VON RÜCKENFLÄCHE (μm)

FIG.1E

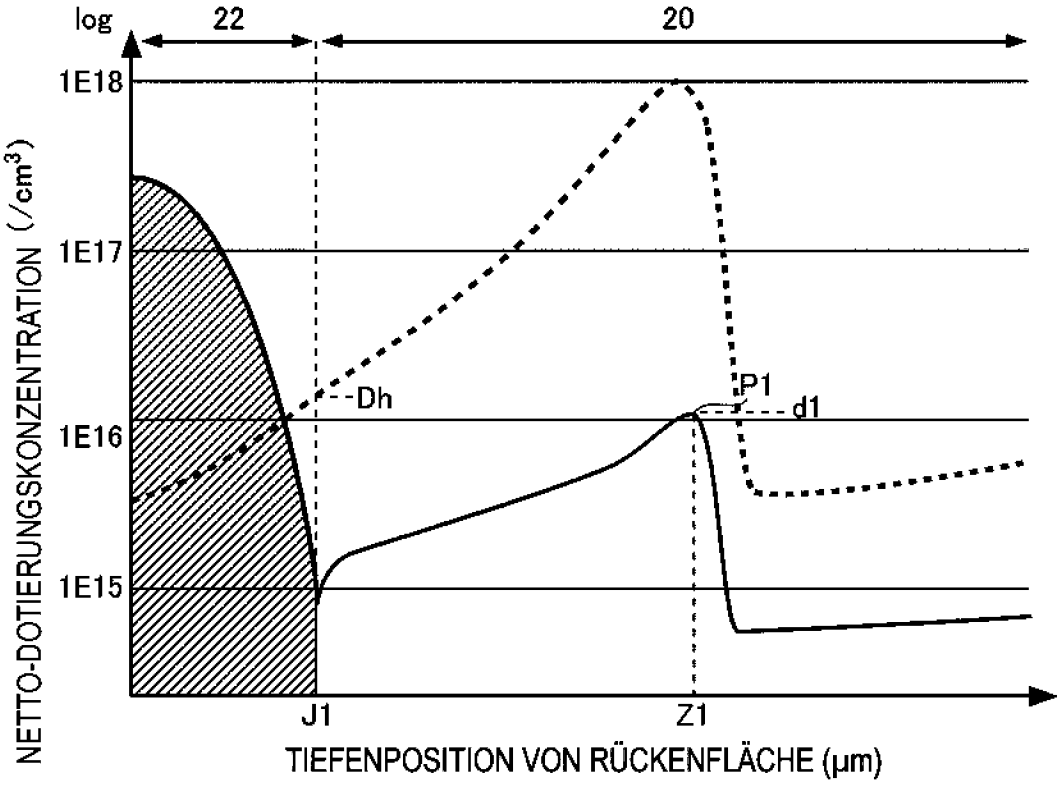

log
22
20
1E18
1E17
1E16
1E15
NETTO-DOTIERUNGSKONZENTRATION (/cm³)
Dh
P1
d1
J1
Z1
TIEFENPOSITION VON RÜCKENFLÄCHE (µm)

FIG.1F

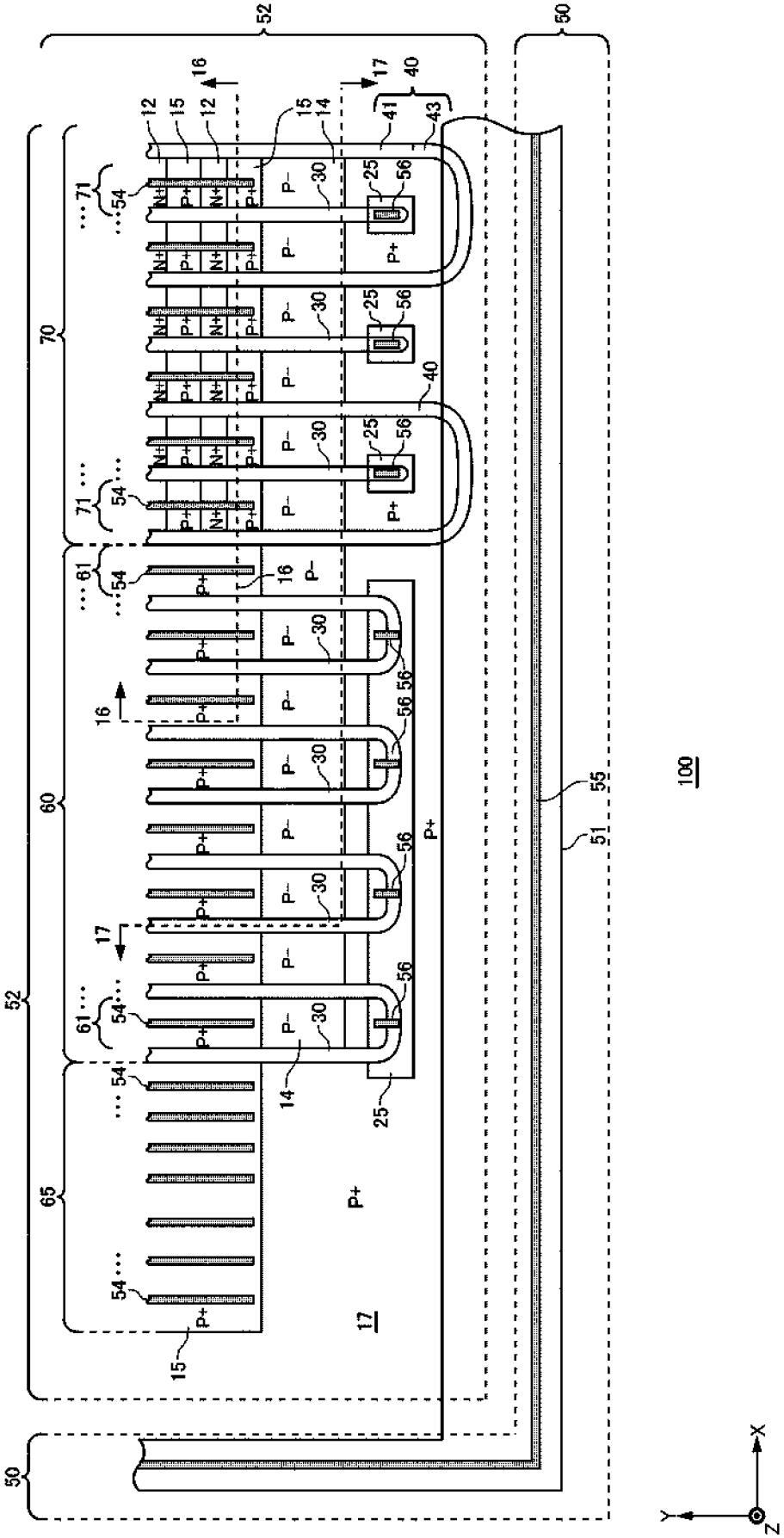

52
50
16
17
40
12
15
14
41
43
71
54
70
61
60
65
30
25
56
P+
P−
N+
55
51
100
X
Y
Z

FIG.1G

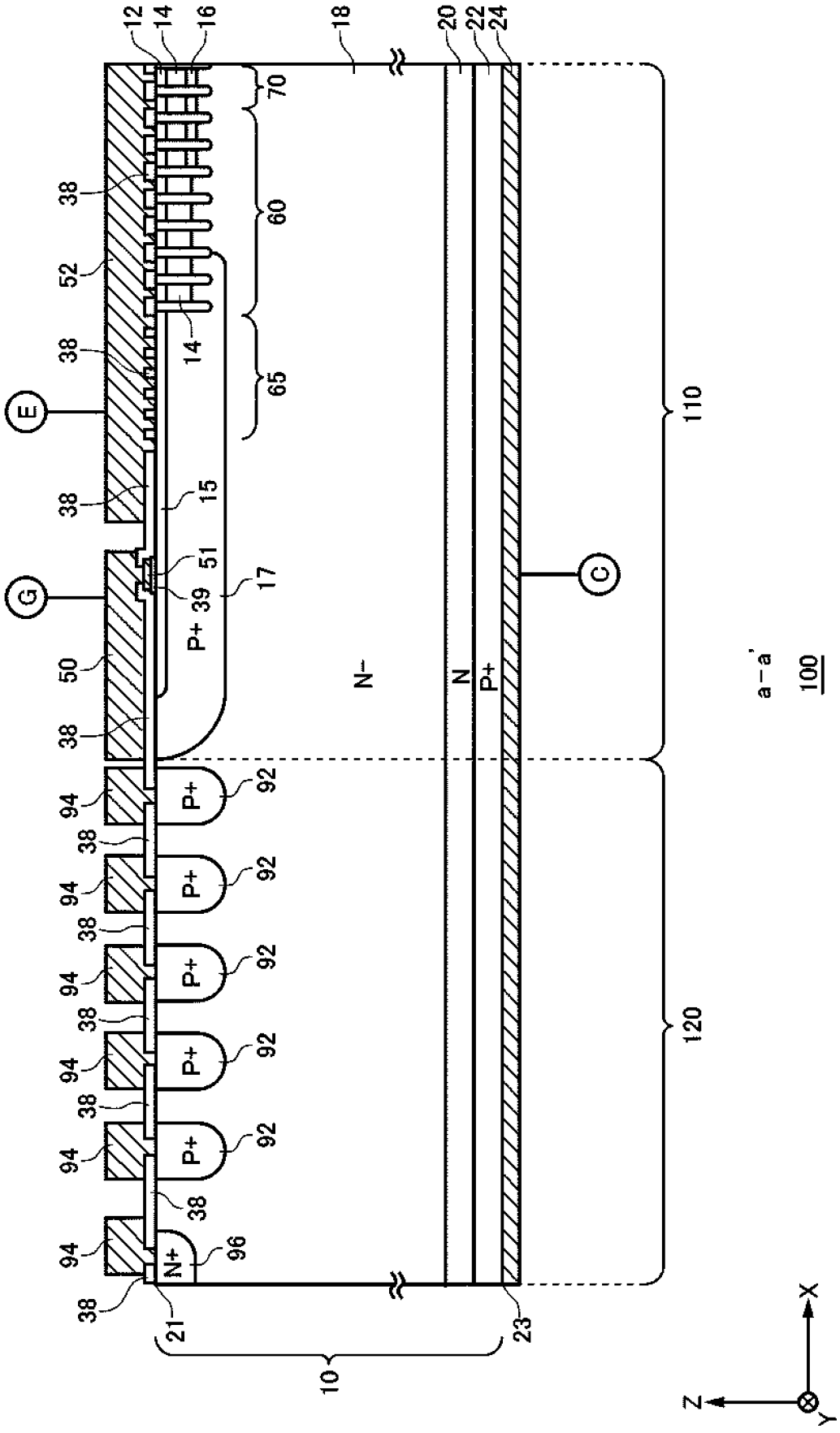

12
14
16
18
20
22
24
70
60
65
38
52
14
E
15
G
51
39
17
C
50
P+
N-
N
P+
110
120
94
92
96
N+
21
23
10
a-a'
100
X
Z
Y

FIG.1H

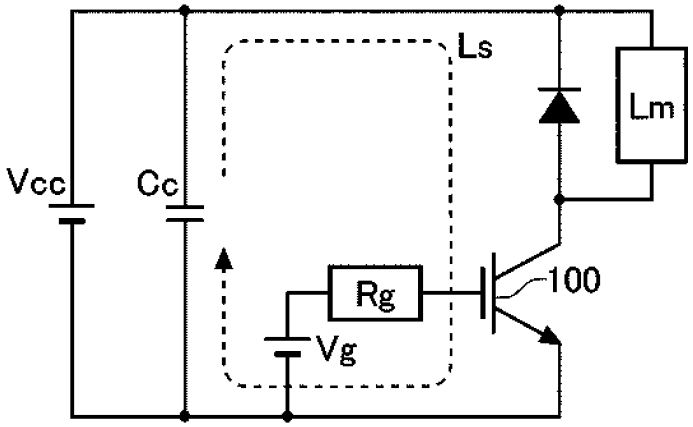


FIG.2A

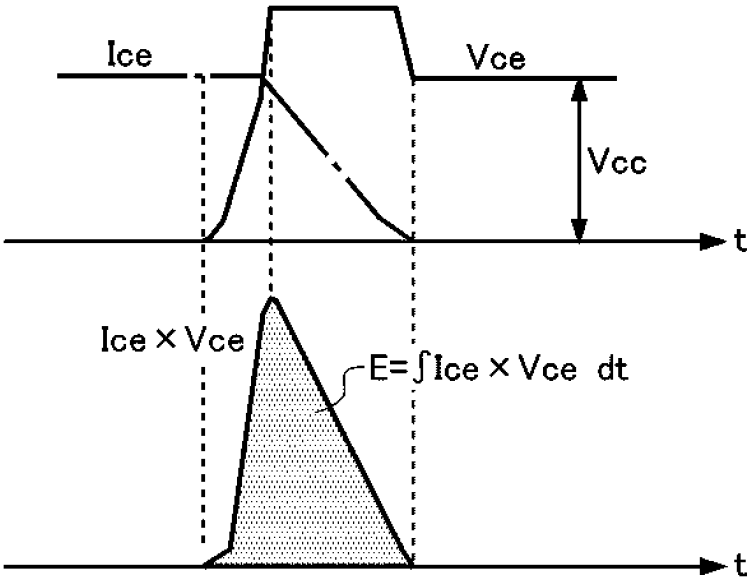


FIG.2B

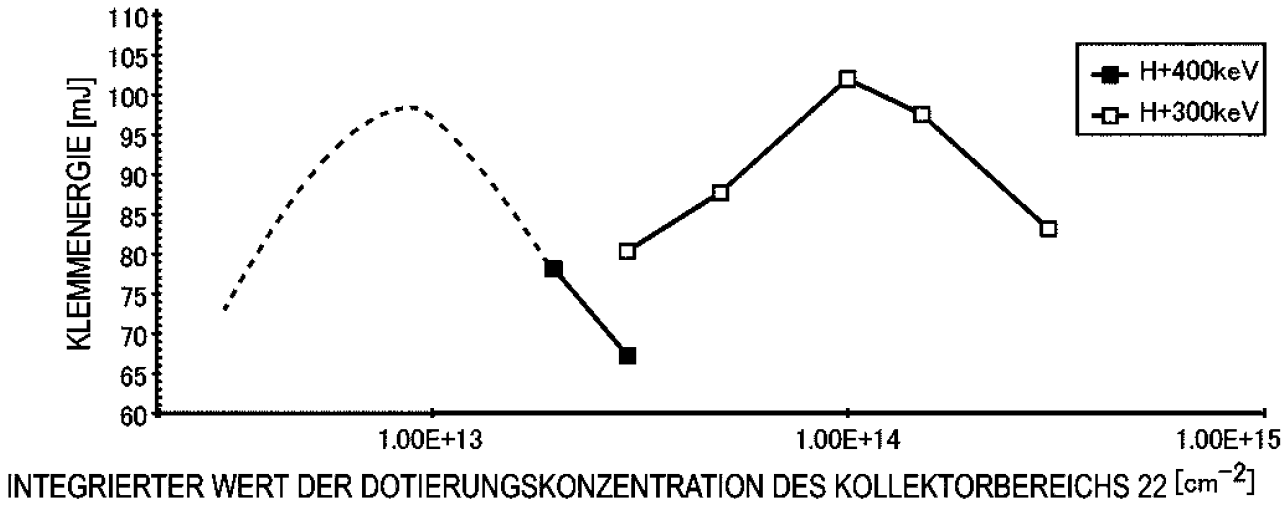

KLEMMENERGIE [mJ]
110
105
100
95
90
85
80
75
70
65
60
1.00E+13
1.00E+14
1.00E+15
H+400keV
H+300keV
INTEGRIERTER WERT DER DOTIERUNGSKONZENTRATION DES KOLLEKTORBEREICHS 22 [cm^{-2}]

FIG.3A

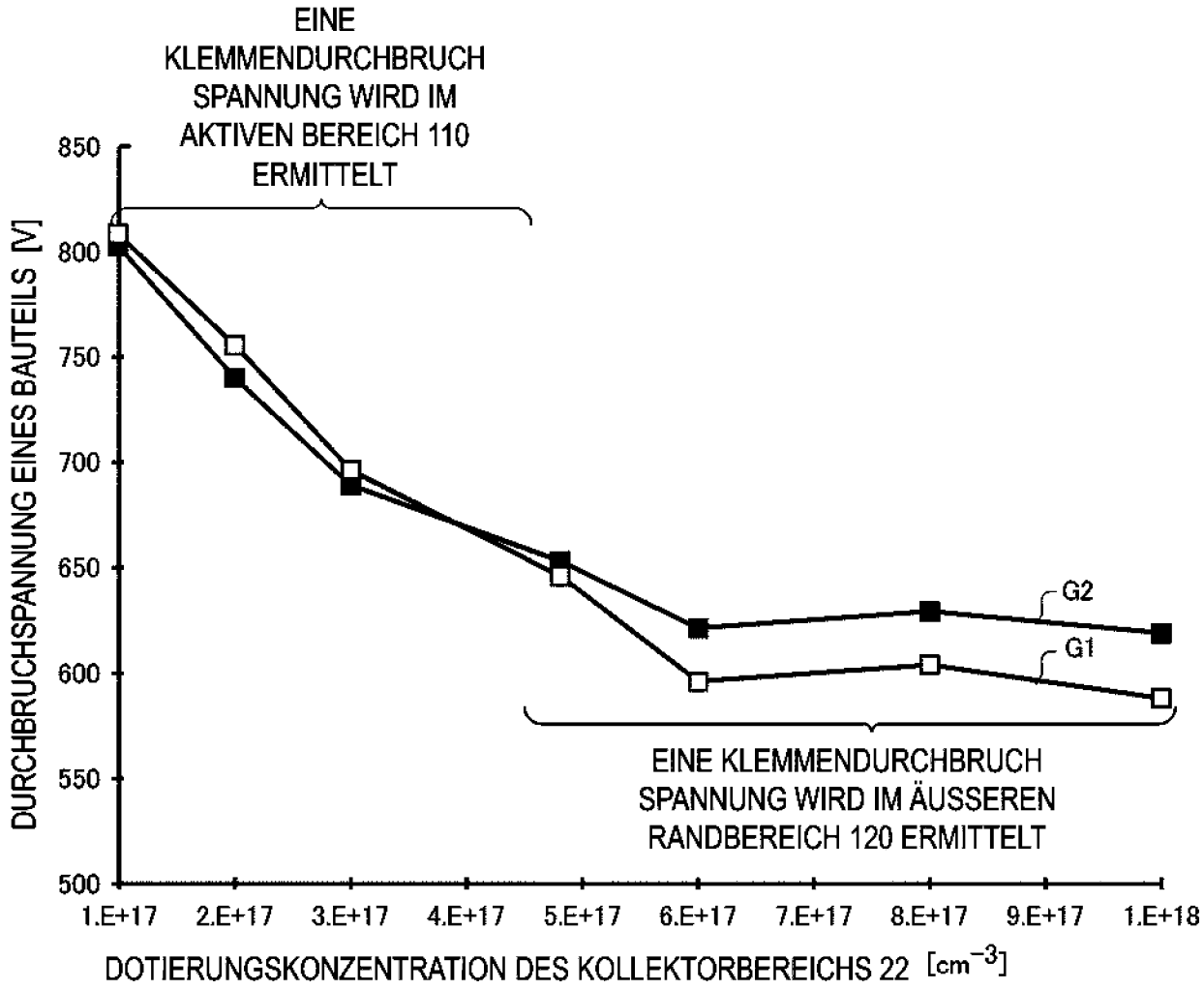

EINE
KLEMMENDURCHBRUCH
SPANNUNG WIRD IM
AKTIVEN BEREICH 110
ERMITTELT
DURCHBRUCHSPANNUNG EINES BAUTEILS [V]
850
800
750
700
650
600
550
500
G2
G1
EINE KLEMMENDURCHBRUCH
SPANNUNG WIRD IM ÄUSSEREN
RANDBEREICH 120 ERMITTELT
1.E+17
2.E+17
3.E+17
4.E+17
5.E+17
6.E+17
7.E+17
8.E+17
9.E+17
1.E+18
DOTIERUNGSKONZENTRATION DES KOLLEKTORBEREICHS 22 [cm^{-3}]

FIG.3B

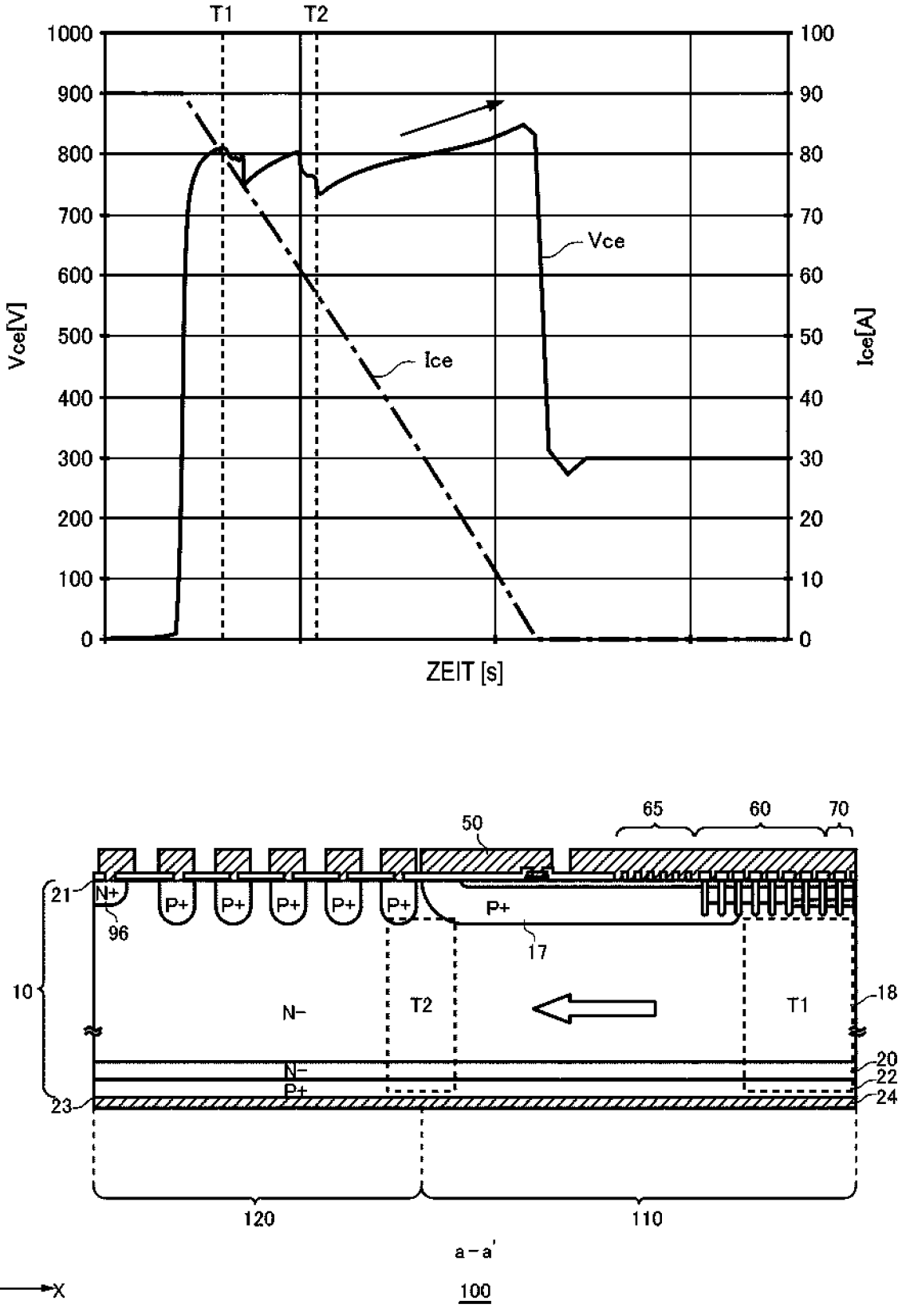

T1
T2
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Vce[V]
Ice[A]
Vce
Ice
ZEIT [s]
65
60
70
50
21
N+
96
P+
P+
P+
P+
P+
P+
17
10
N-
T2
T1
18
20
N-
22
P+
23
24
120
110
a-a'
100
Z
X
Y

FIG.4A

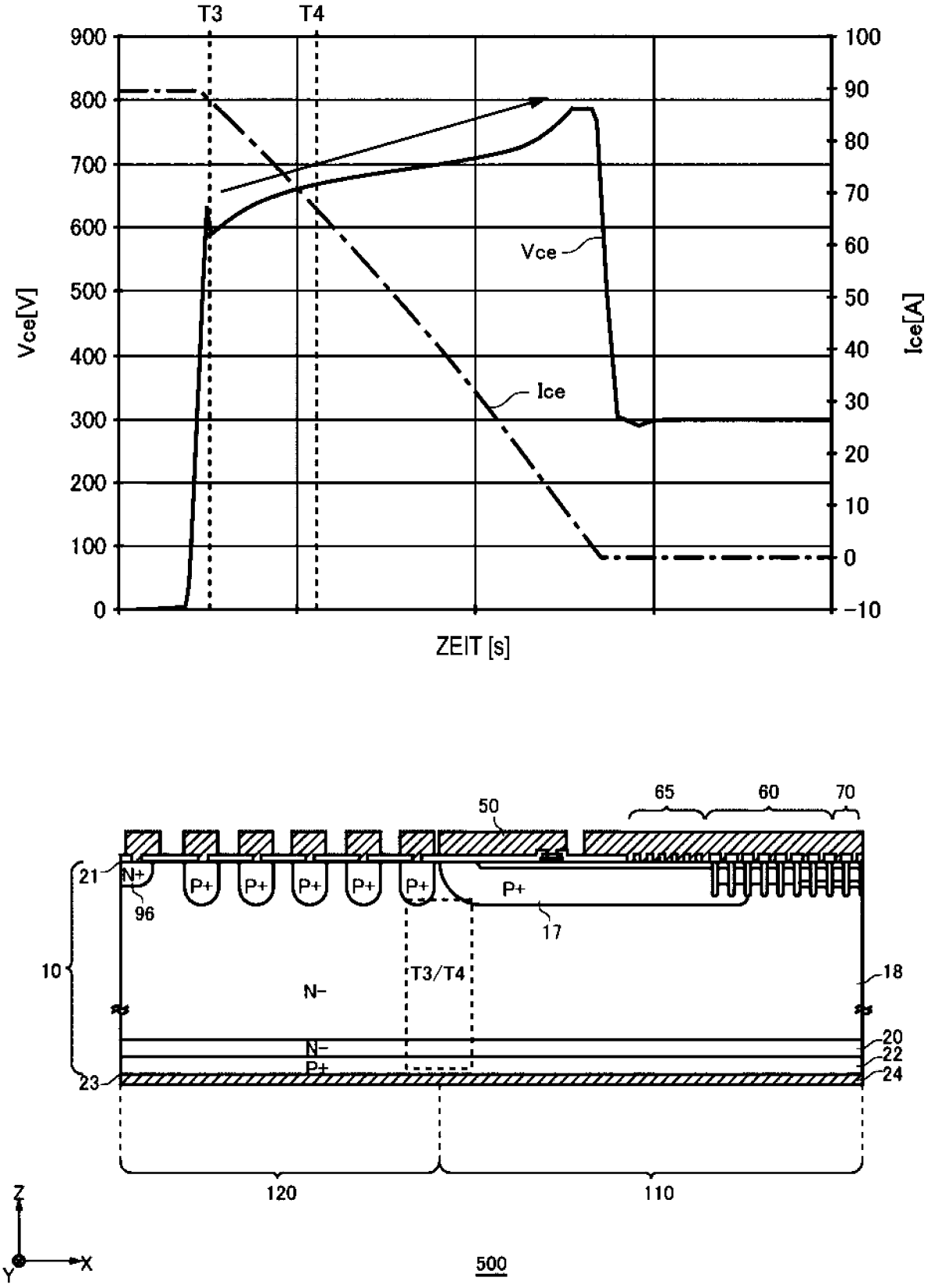

T3
T4
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
−10
Vce
Ice
Vce[V]
Ice[A]
ZEIT [s]
65
60
70
50
21
N+
96
P+
P+
P+
P+
P+
P+
17
10
T3/T4
N−
18
N−
P+
20
22
24
23
120
110
Z
X
Y
500

FIG.4B

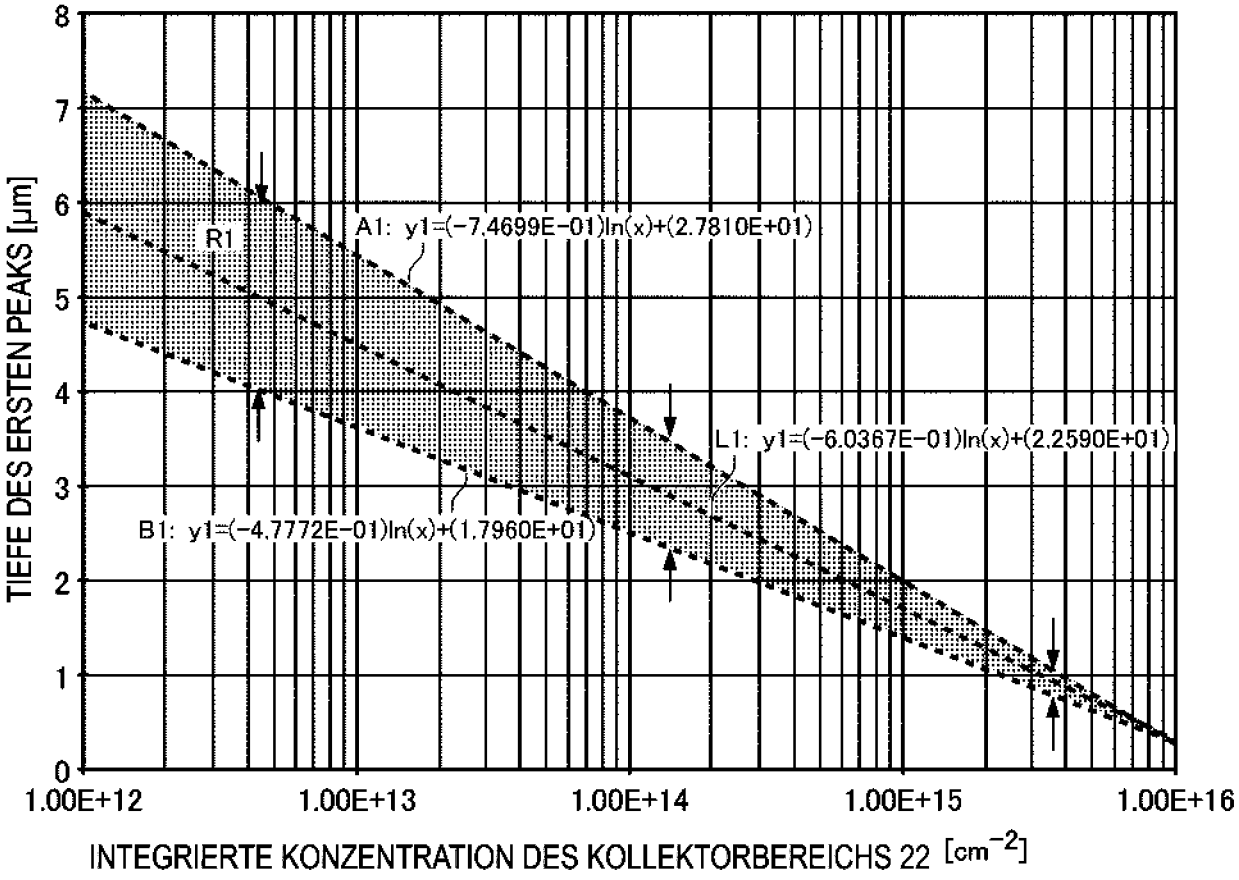

TIEFE DES ERSTEN PEAKS [µm]
INTEGRIERTE KONZENTRATION DES KOLLEKTORBEREICHS 22 [cm^{-2}]
R1
A1: y1=(−7.4699E−01)ln(x)+(2.7810E+01)
L1: y1=(−6.0367E−01)ln(x)+(2.2590E+01)
B1: y1=(−4.7772E−01)ln(x)+(1.7960E+01)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
1.00E+12
1.00E+13
1.00E+14
1.00E+15
1.00E+16

FIG.5A

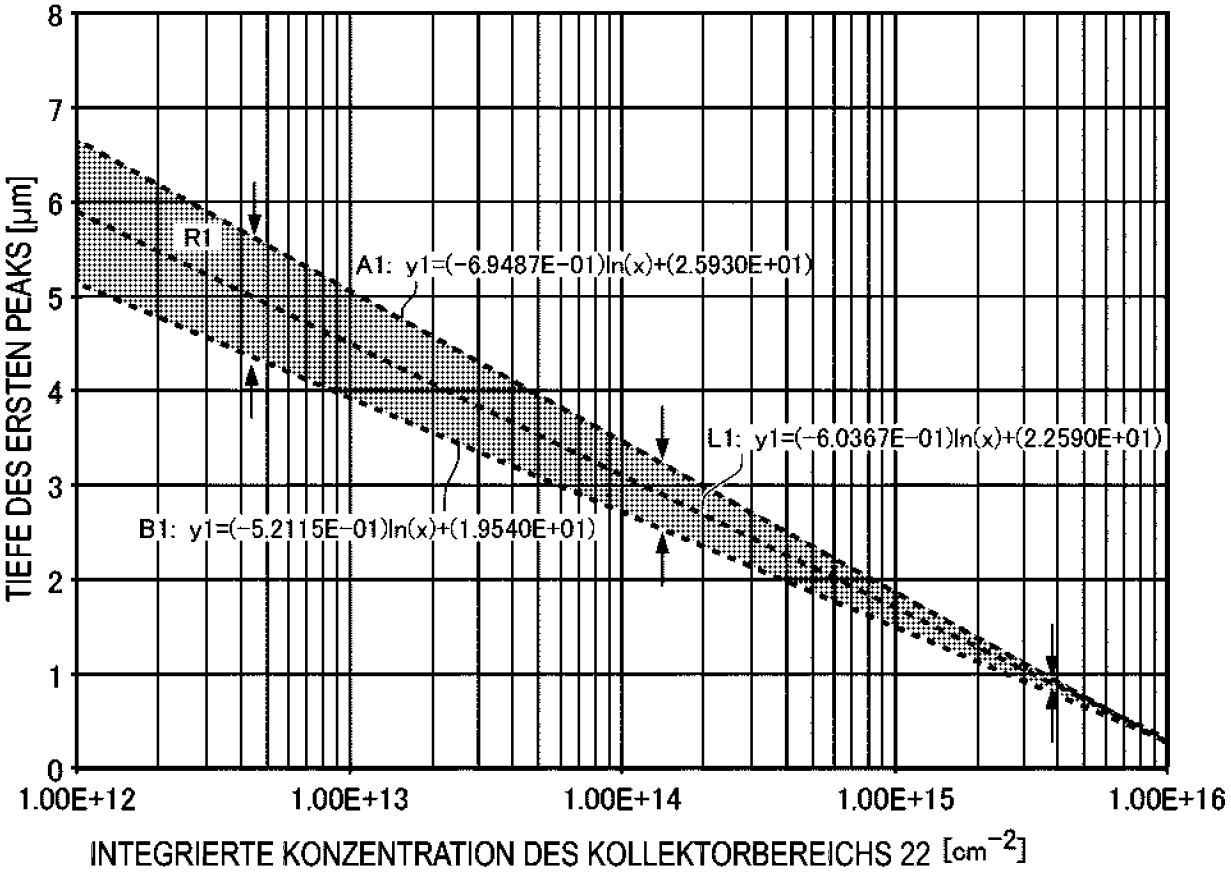

8
7
6
5
4
3
2
1
0
TIEFE DES ERSTEN PEAKS [µm]
R1
A1: y1=(−6.9487E−01)ln(x)+(2.5930E+01)
L1: y1=(−6.0367E−01)ln(x)+(2.2590E+01)
B1: y1=(−5.2115E−01)ln(x)+(1.9540E+01)
1.00E+12
1.00E+13
1.00E+14
1.00E+15
1.00E+16
INTEGRIERTE KONZENTRATION DES KOLLEKTORBEREICHS 22 [cm−2]

FIG.5B

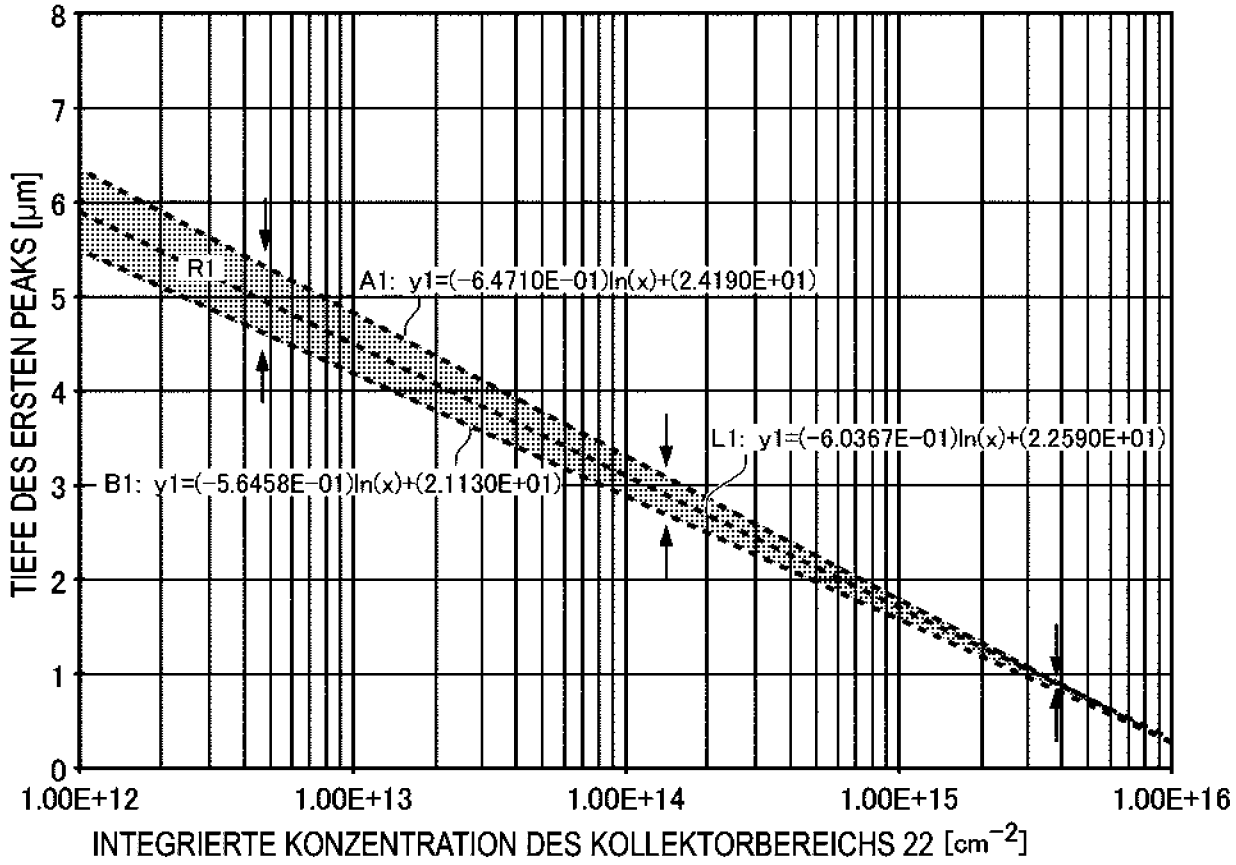

TIEFE DES ERSTEN PEAKS [µm]
INTEGRIERTE KONZENTRATION DES KOLLEKTORBEREICHS 22 [cm^{-2}]
R1
A1: y1=(−6.4710E−01)ln(x)+(2.4190E+01)
L1: y1=(−6.0367E−01)ln(x)+(2.2590E+01)
B1: y1=(−5.6458E−01)ln(x)+(2.1130E+01)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
1.00E+12
1.00E+13
1.00E+14
1.00E+15
1.00E+16

FIG.5C

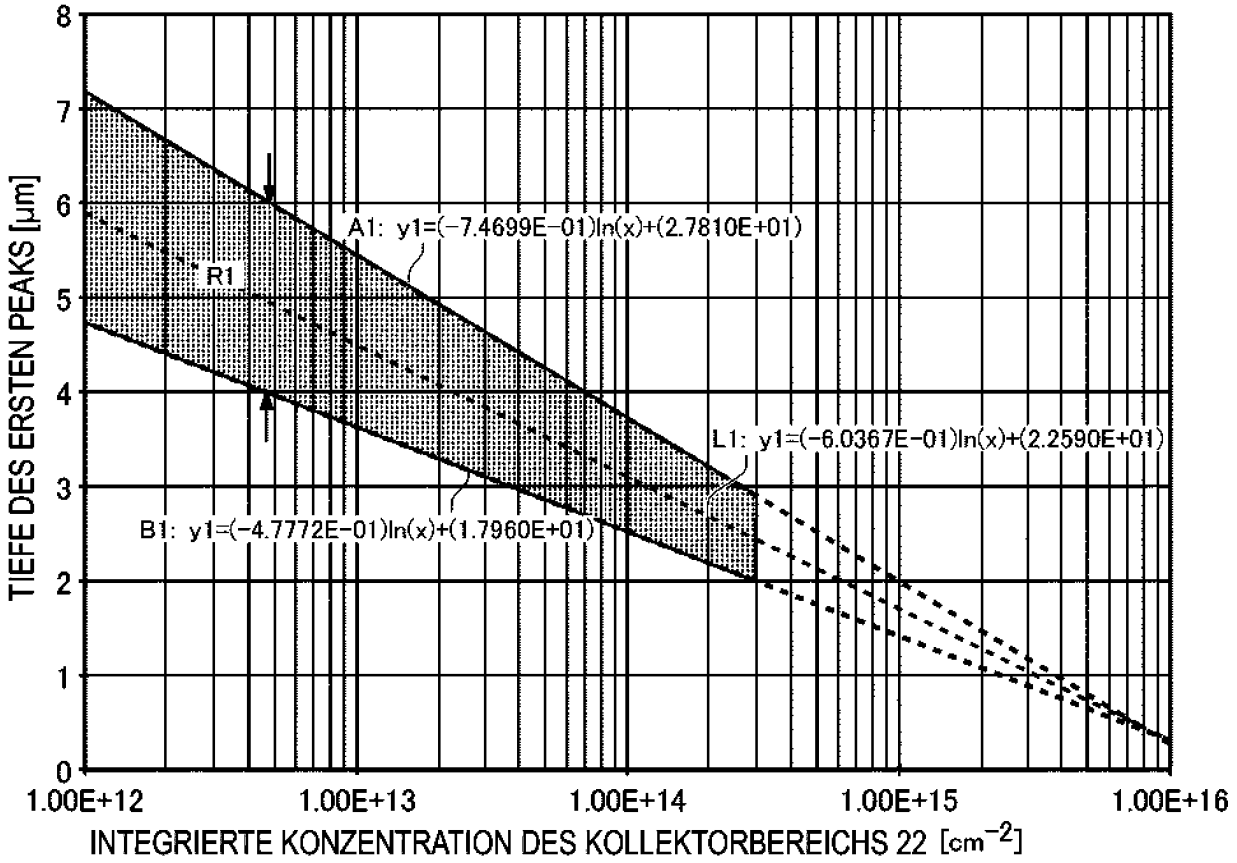

8
7
6
5
4
3
2
1
0
TIEFE DES ERSTEN PEAKS [µm]
A1: y1=(−7.4699E−01)ln(x)+(2.7810E+01)
R1
L1: y1=(−6.0367E−01)ln(x)+(2.2590E+01)
B1: y1=(−4.7772E−01)ln(x)+(1.7960E+01)
1.00E+12
1.00E+13
1.00E+14
1.00E+15
1.00E+16
INTEGRIERTE KONZENTRATION DES KOLLEKTORBEREICHS 22 [cm−2]

FIG.6A

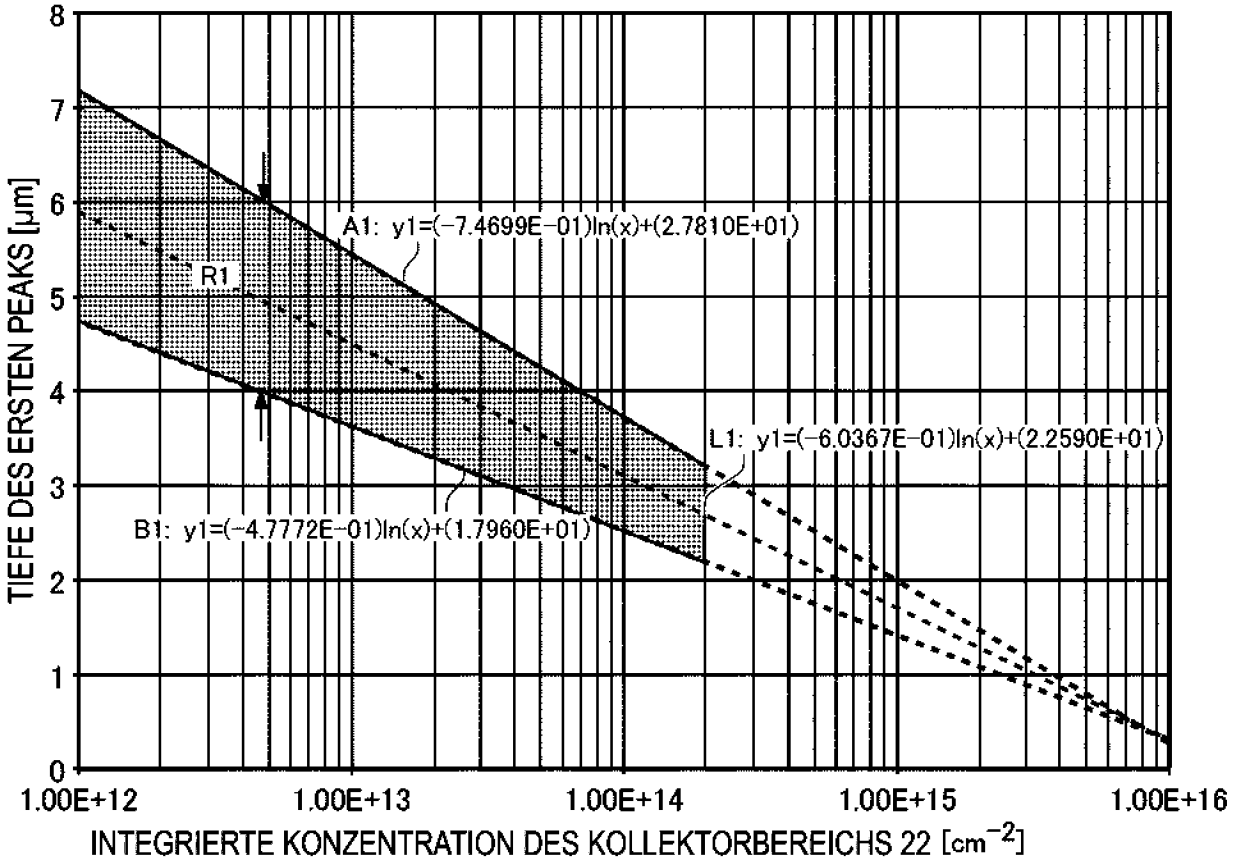

8
7
6
5
4
3
2
1
0
TIEFE DES ERSTEN PEAKS [µm]
A1: y1=(−7.4699E−01)ln(x)+(2.7810E+01)
R1
L1: y1=(−6.0367E−01)ln(x)+(2.2590E+01)
B1: y1=(−4.7772E−01)ln(x)+(1.7960E+01)
1.00E+12
1.00E+13
1.00E+14
1.00E+15
1.00E+16
INTEGRIERTE KONZENTRATION DES KOLLEKTORBEREICHS 22 [cm^{-2}]

FIG.6B

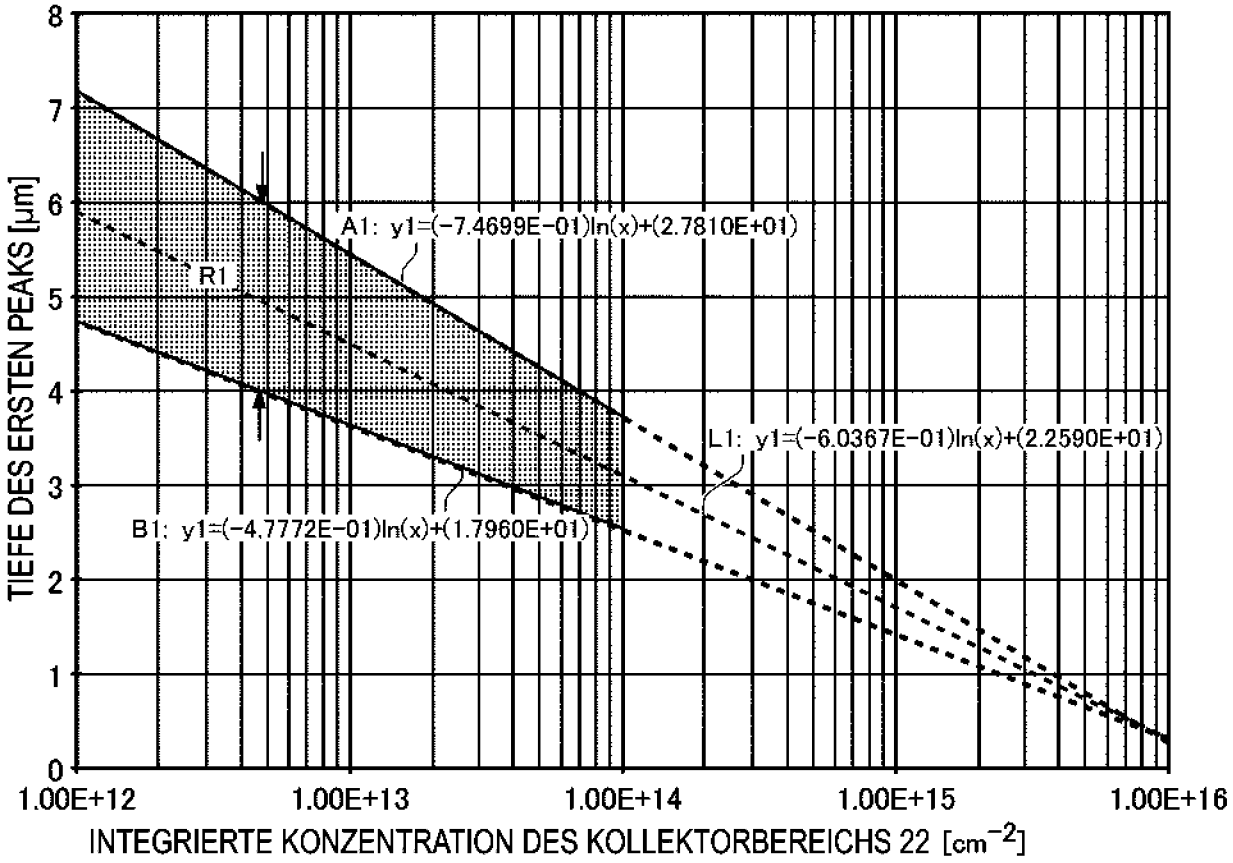

TIEFE DES ERSTEN PEAKS [µm]
INTEGRIERTE KONZENTRATION DES KOLLEKTORBEREICHS 22 [cm^{-2}]
A1: y1=(-7.4699E-01)ln(x)+(2.7810E+01)
B1: y1=(-4.7772E-01)ln(x)+(1.7960E+01)
L1: y1=(-6.0367E-01)ln(x)+(2.2590E+01)
R1
0
1
2
3
4
5
6
7
8
1.00E+12
1.00E+13
1.00E+14
1.00E+15
1.00E+16

FIG.6C

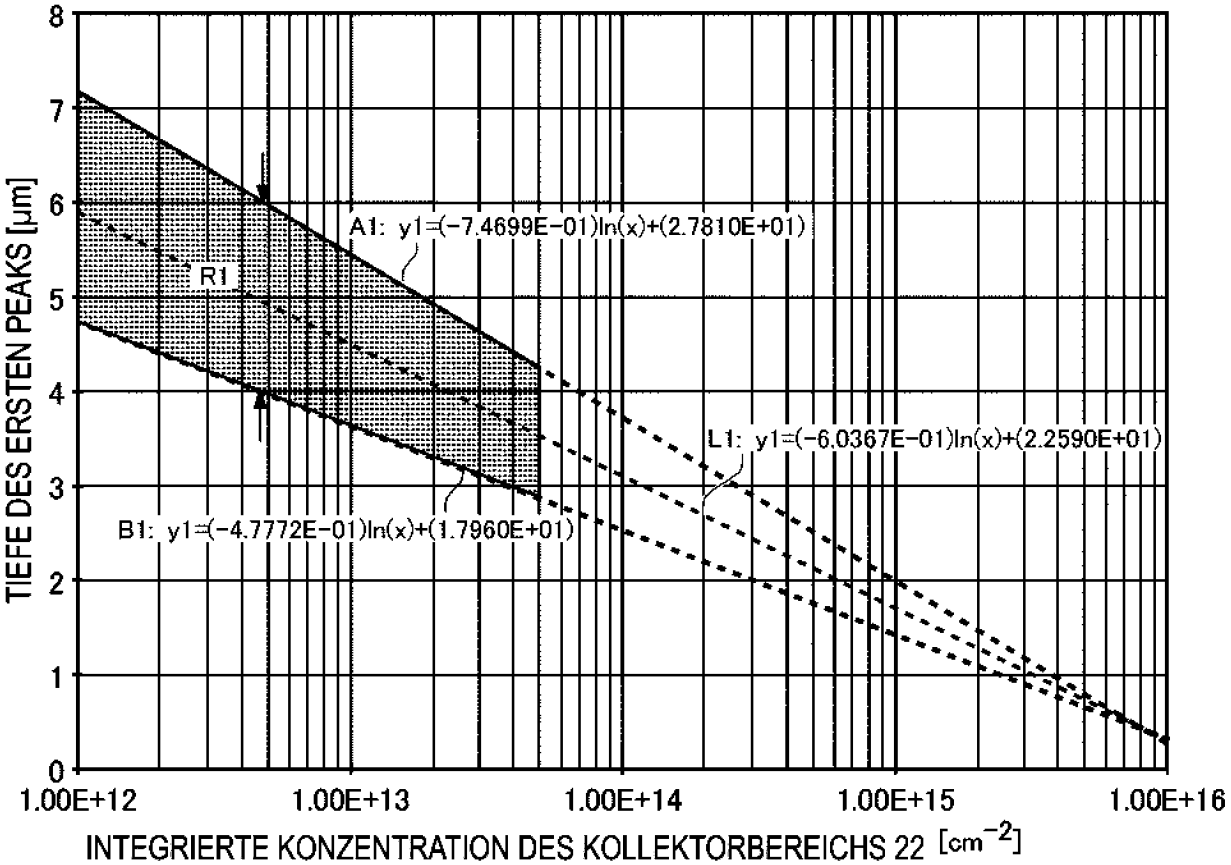

8
7
6
5
4
3
2
1
0
TIEFE DES ERSTEN PEAKS [µm]
A1: y1=(−7.4699E−01)ln(x)+(2.7810E+01)
R1
L1: y1=(−6.0367E−01)ln(x)+(2.2590E+01)
B1: y1=(−4.7772E−01)ln(x)+(1.7960E+01)
1.00E+12
1.00E+13
1.00E+14
1.00E+15
1.00E+16
INTEGRIERTE KONZENTRATION DES KOLLEKTORBEREICHS 22 [cm−2]

FIG.6D

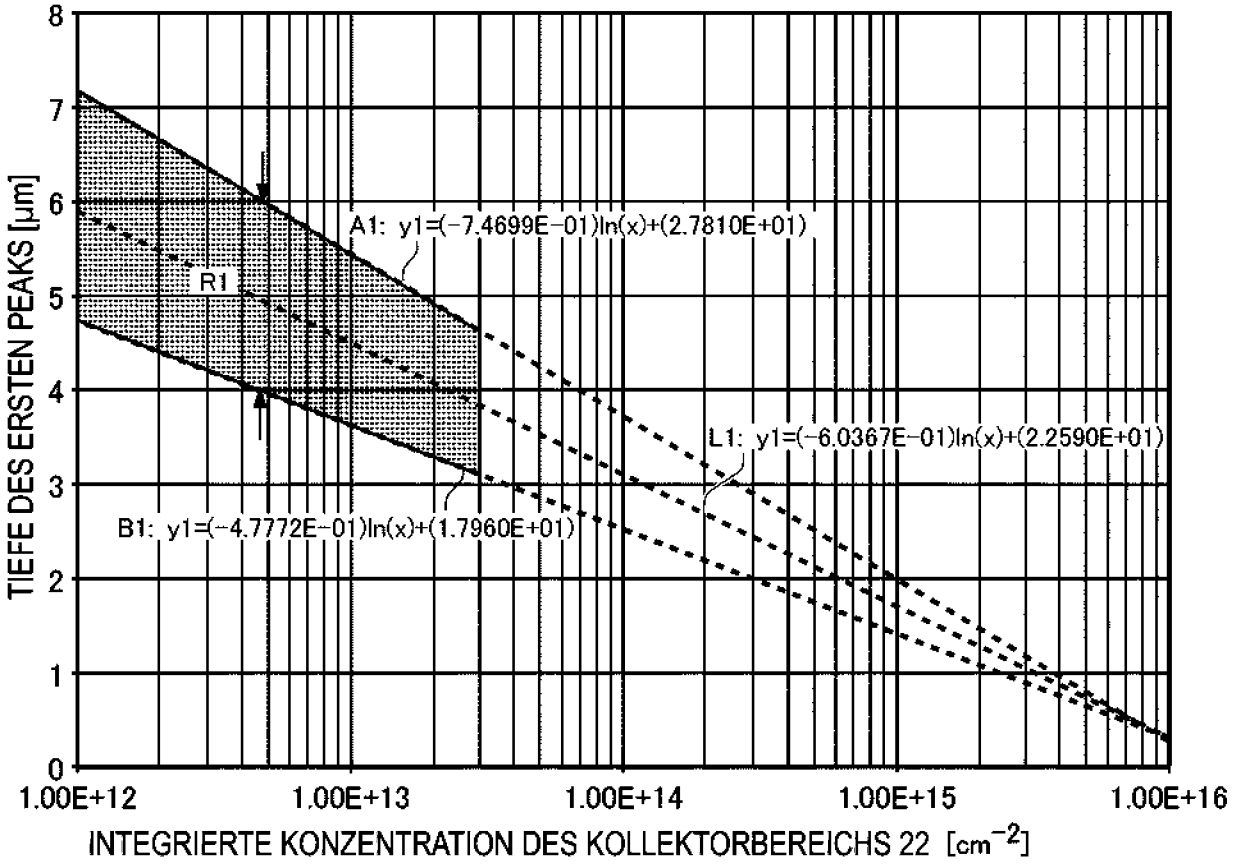

8
7
6
5
4
3
2
1
0
TIEFE DES ERSTEN PEAKS [µm]
A1: y1=(−7.4699E−01)ln(x)+(2.7810E+01)
R1
L1: y1=(−6.0367E−01)ln(x)+(2.2590E+01)
B1: y1=(−4.7772E−01)ln(x)+(1.7960E+01)
1.00E+12
1.00E+13
1.00E+14
1.00E+15
1.00E+16
INTEGRIERTE KONZENTRATION DES KOLLEKTORBEREICHS 22 [cm^{-2}]

FIG.6E

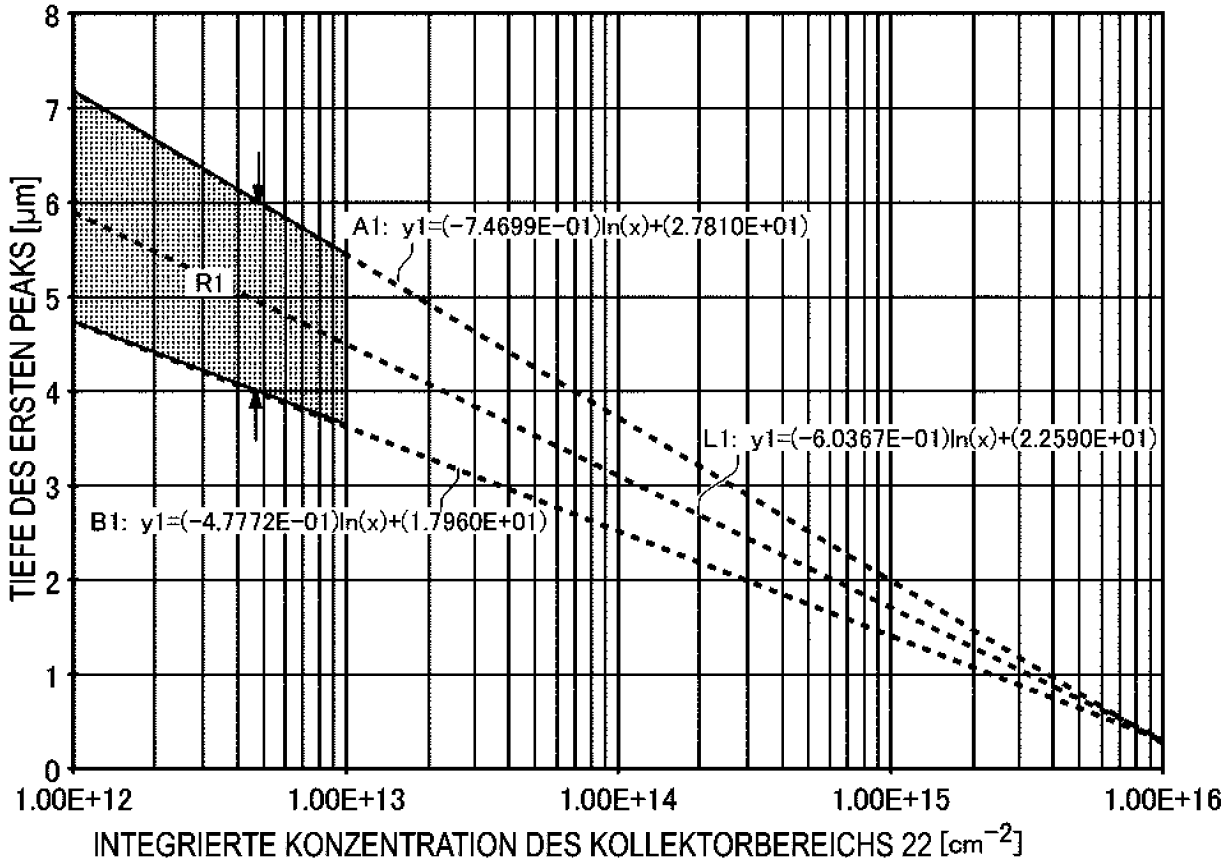

TIEFE DES ERSTEN PEAKS [µm]
INTEGRIERTE KONZENTRATION DES KOLLEKTORBEREICHS 22 [cm^{-2}]
A1: y1=(−7.4699E−01)ln(x)+(2.7810E+01)
L1: y1=(−6.0367E−01)ln(x)+(2.2590E+01)
B1: y1=(−4.7772E−01)ln(x)+(1.7960E+01)
R1
0
1
2
3
4
5
6
7
8
1.00E+12
1.00E+13
1.00E+14
1.00E+15
1.00E+16

FIG.6F

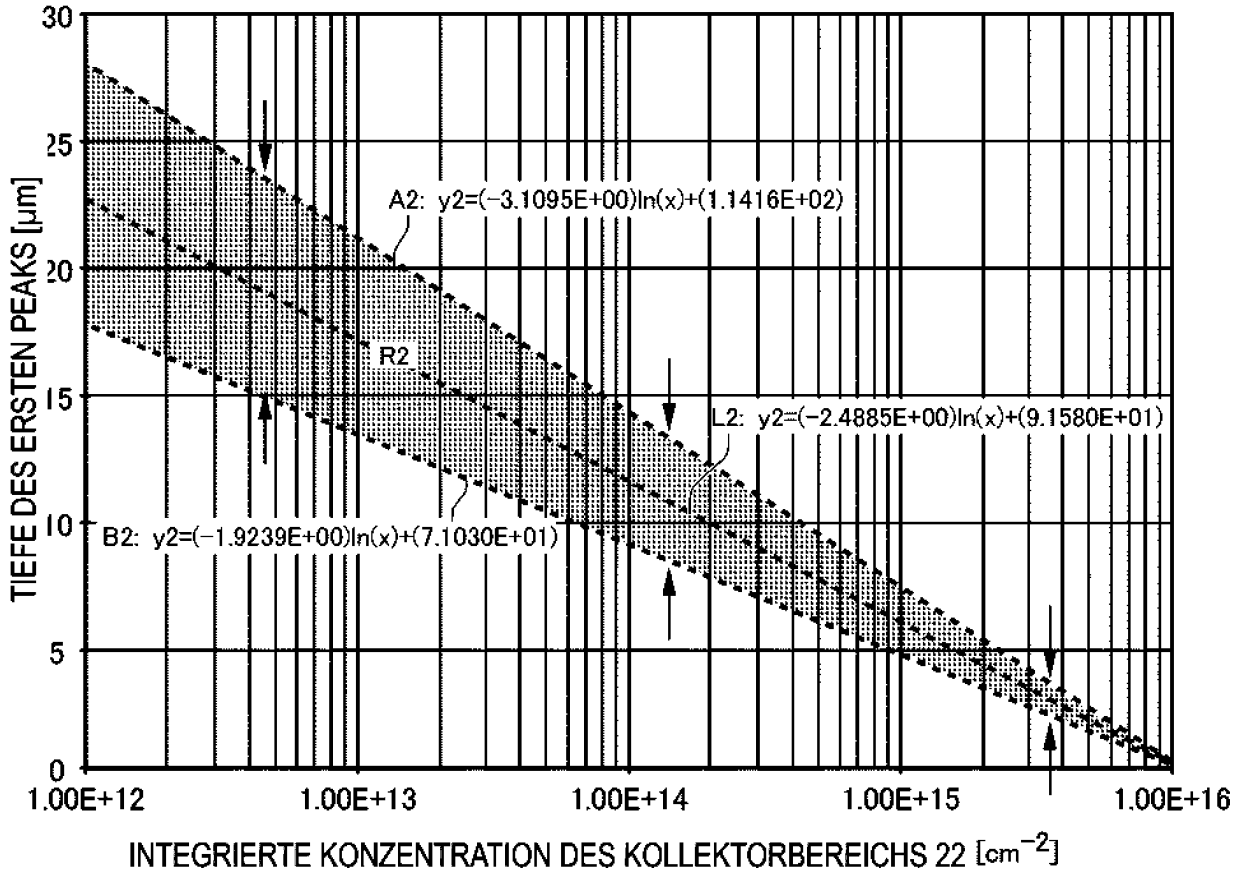

30
25
20
15
10
5
0
TIEFE DES ERSTEN PEAKS [µm]
A2: y2=(−3.1095E+00)ln(x)+(1.1416E+02)
R2
L2: y2=(−2.4885E+00)ln(x)+(9.1580E+01)
B2: y2=(−1.9239E+00)ln(x)+(7.1030E+01)
1.00E+12
1.00E+13
1.00E+14
1.00E+15
1.00E+16
INTEGRIERTE KONZENTRATION DES KOLLEKTORBEREICHS 22 [cm−2]

FIG.7A

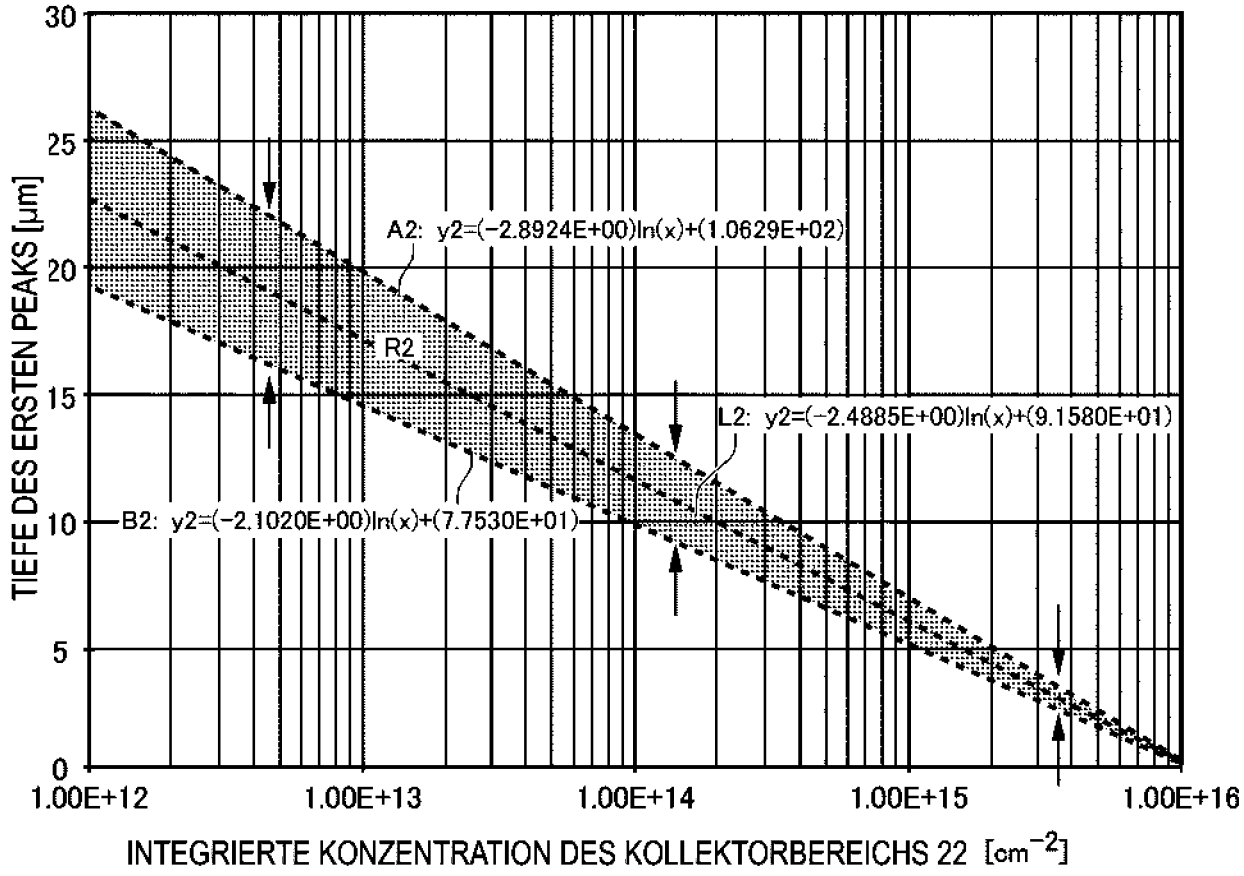

30
25
20
15
10
5
0
TIEFE DES ERSTEN PEAKS [µm]
A2: y2=(−2.8924E+00)ln(x)+(1.0629E+02)
R2
L2: y2=(−2.4885E+00)ln(x)+(9.1580E+01)
B2: y2=(−2.1020E+00)ln(x)+(7.7530E+01)
1.00E+12
1.00E+13
1.00E+14
1.00E+15
1.00E+16
INTEGRIERTE KONZENTRATION DES KOLLEKTORBEREICHS 22 [cm−2]

FIG.7B

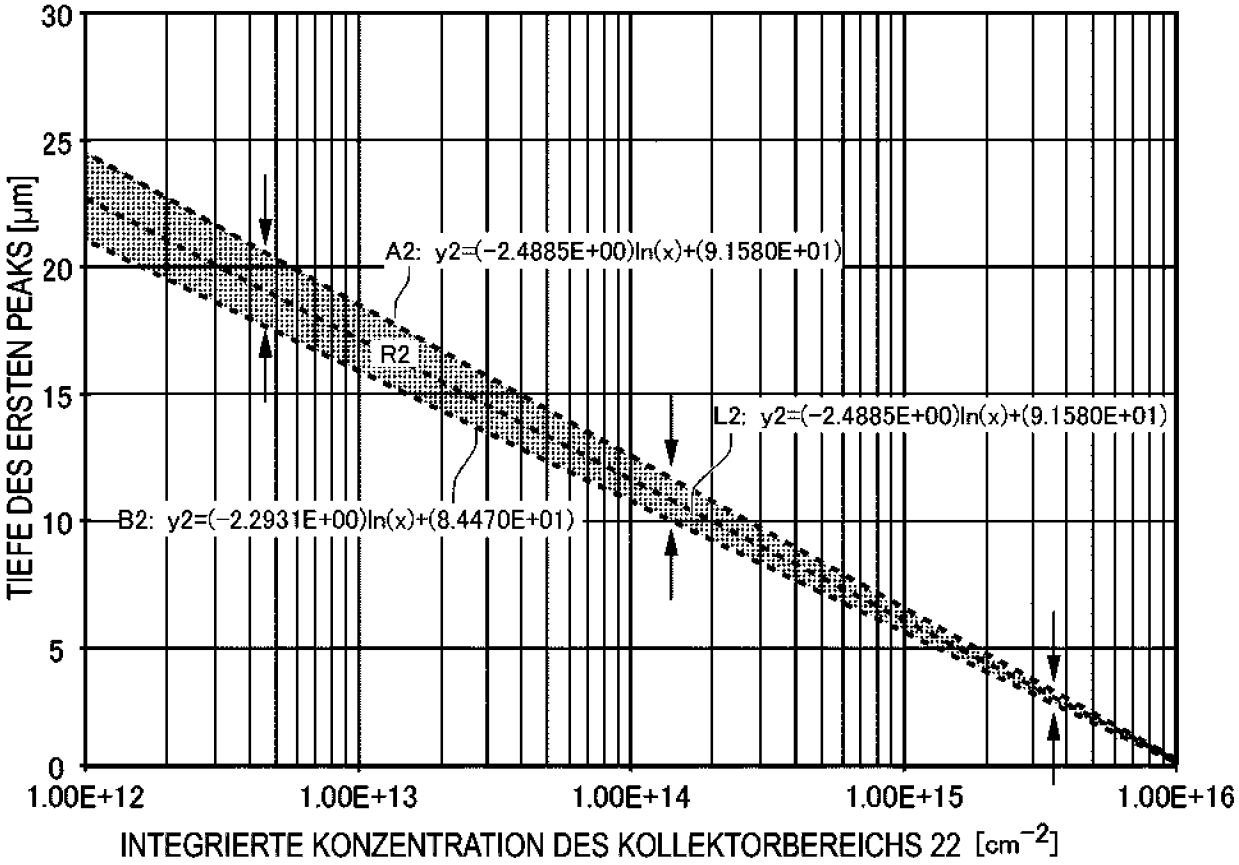

30
25
20
15
10
5
0
TIEFE DES ERSTEN PEAKS [µm]
A2: y2=(−2.4885E+00)ln(x)+(9.1580E+01)
R2
L2: y2=(−2.4885E+00)ln(x)+(9.1580E+01)
B2: y2=(−2.2931E+00)ln(x)+(8.4470E+01)
1.00E+12
1.00E+13
1.00E+14
1.00E+15
1.00E+16
INTEGRIERTE KONZENTRATION DES KOLLEKTORBEREICHS 22 [cm−2]

FIG.7C

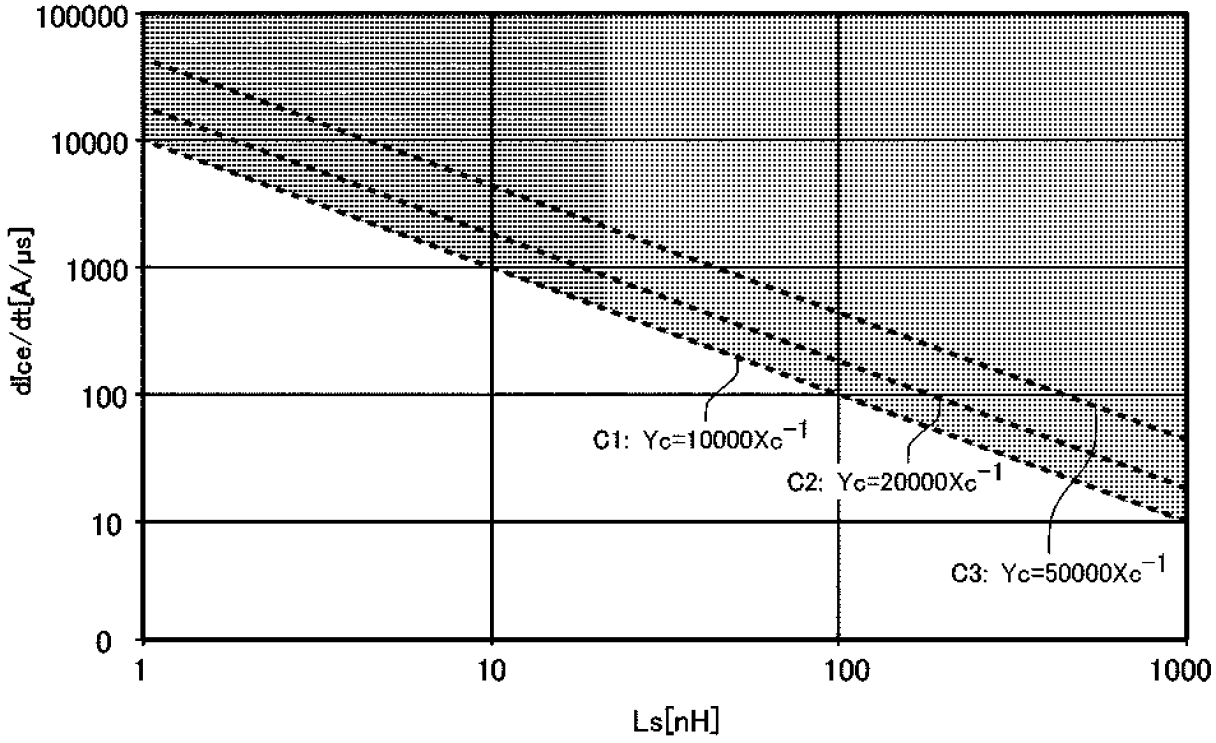

100000
10000
1000
100
10
0
dIce/dt[A/μs]
1
10
100
1000
Ls[nH]
C1: Yc=10000Xc^{-1}
C2: Yc=20000Xc^{-1}
C3: Yc=50000Xc^{-1}

FIG.8A

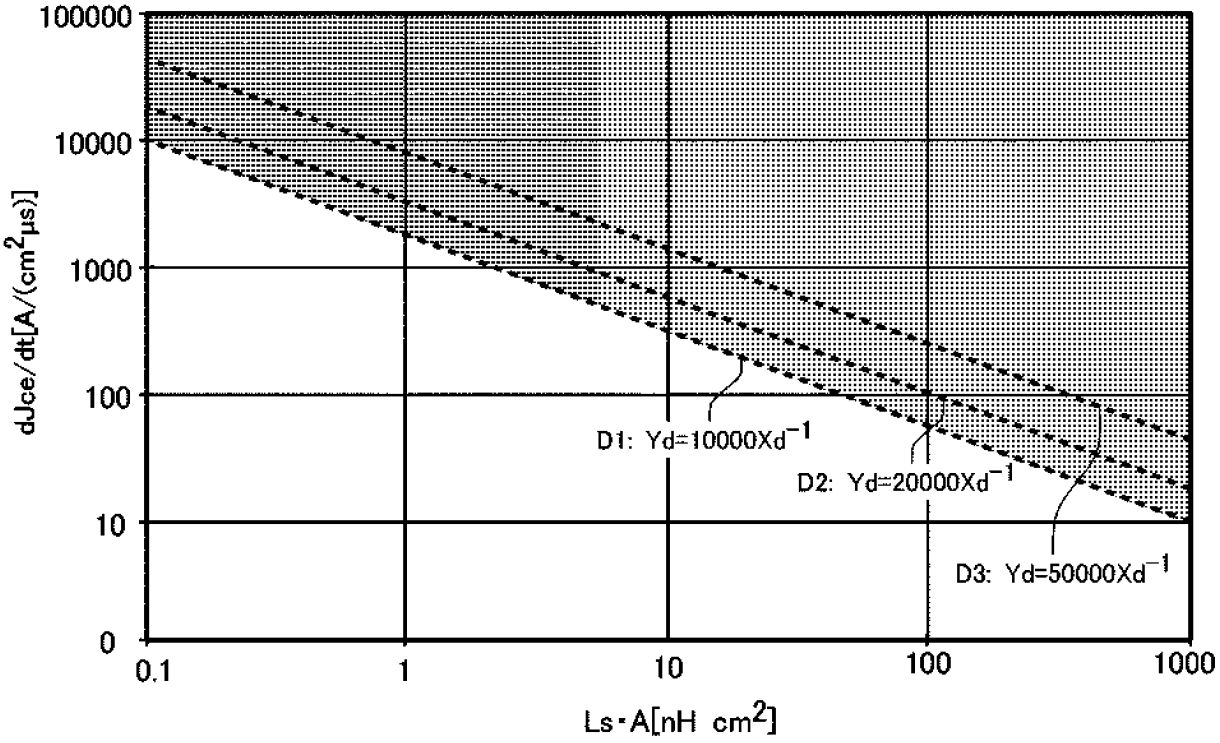

100000
10000
1000
100
10
0
dJce/dt[A/(cm2μs)]
0.1
1
10
100
1000
Ls・A[nH cm2]
D1: Yd=10000Xd-1
D2: Yd=20000Xd-1
D3: Yd=50000Xd-1

FIG.8B

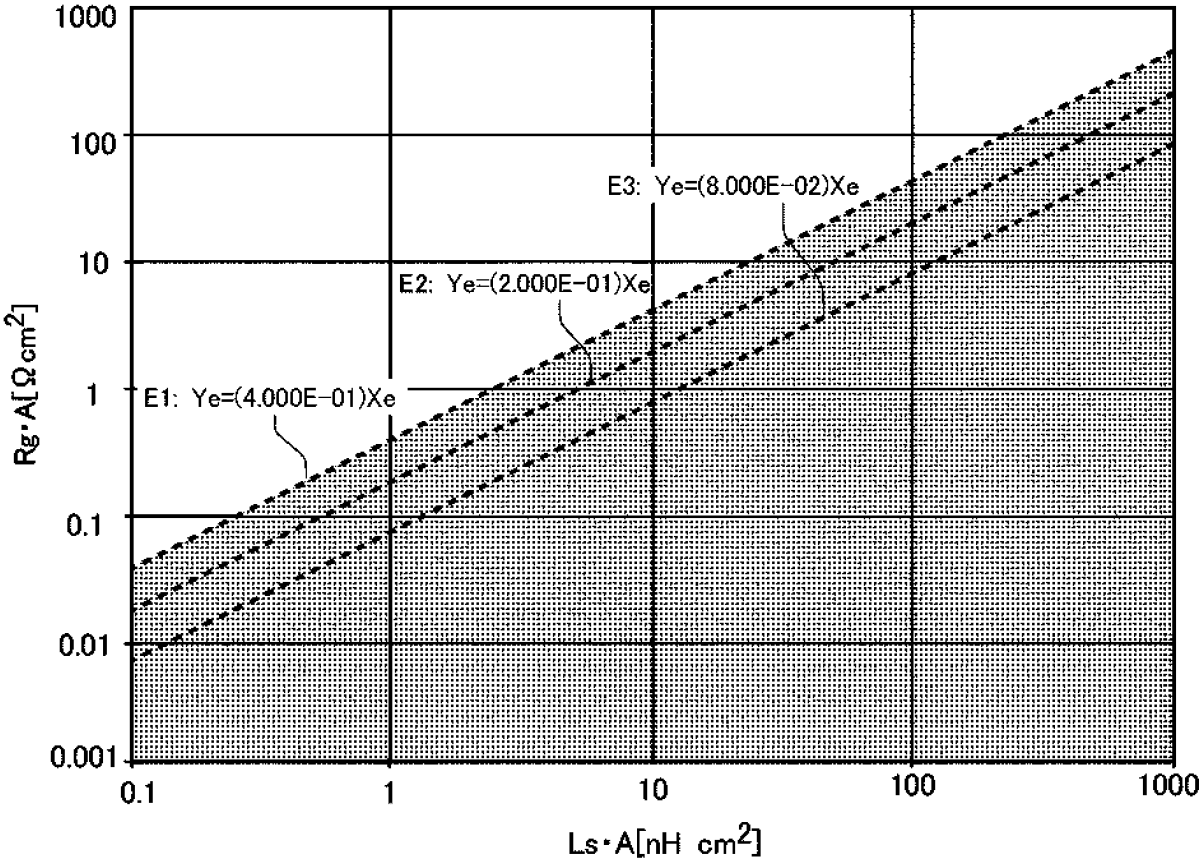

1000
100
10
1
0.1
0.01
0.001
0.1
1
10
100
1000
Rg・A[Ω cm2]
Ls・A[nH cm2]
E1: Ye=(4.000E-01)Xe
E2: Ye=(2.000E-01)Xe
E3: Ye=(8.000E-02)Xe

FIG.9