



(10) **DE 10 2011 077 841 B4** 2020.12.24

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 077 841.1**

(22) Anmeldetag: **20.06.2011**

(43) Offenlegungstag: **29.12.2011**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **24.12.2020**

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

H01L 27/04 (2006.01)

H01L 29/739 (2006.01)

H01L 29/78 (2006.01)

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

(30) Unionspriorität:
2010-142241 23.06.2010 JP

(73) Patentinhaber:
Mitsubishi Electric Corp., Tokyo, JP

(74) Vertreter:
**Peterreins Schley Patent- und Rechtsanwälte
PartG mbB, 80331 München, DE**

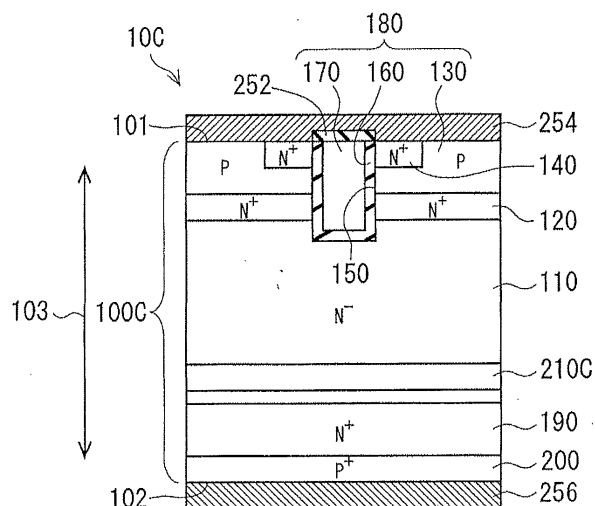
(72) Erfinder:
Hatori, Kenji, Tokyo, JP

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	103 60 574	A1
DE	10 2005 014 714	A1
DE	10 2005 029 263	A1
DE	10 2005 053 487	A1
EP	0 485 059	A2

(54) Bezeichnung: **Leistungshalbleitervorrichtungen**

(57) Hauptanspruch: Leistungshalbleitervorrichtung (10A, 10K, 10N) mit
einem Halbleitersubstrat (100A, 100K, 100N), in dem ein Strom in einer Dickenrichtung (103) des Halbleitersubstrats fließt,
wobei das Halbleitersubstrat eine Widerstandssteuerstruktur (300A, 300K) enthält, die so ausgelegt ist, dass ein Widerstand gegenüber dem Strom in einem Zentralabschnitt (41) des Halbleitersubstrats höher wird als in einem Randabschnitt (42) des Halbleitersubstrats, der den Zentralabschnitt des Halbleitersubstrats lateral umgibt,
wobei das Halbleitersubstrat enthält:
eine erste Halbleiterschicht (110) eines ersten Leitungstyps, und
eine zweite Halbleiterschicht (200A, 240) eines zweiten Leitungstyps, die der ersten Halbleiterschicht (110) in der Dickenrichtung gegenüberliegt, wobei die zweite Halbleiterschicht (200A, 240) eine niedrigere Dotierungskonzentration in dem Zentralabschnitt (41) aufweist als in dem Randabschnitt (42), und
die Widerstandssteuerstruktur die zweite Halbleiterschicht (200A, 240) enthält.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Leistungshalbleitervorrichtung.

[0002] Leistungshalbleitervorrichtungen, wie z.B. ein Bipolartransistor mit isoliertem Gate (IGBT), handhaben eine große Menge an Leistung und erzeugen als ein Ergebnis große Mengen an Wärme aufgrund des Leitungsverlustes. Folglich steigt die Temperatur eines Halbleitersubstrates stark an und variiert in großem Umfang während eines AN/AUS-(Schalt) Vorgangs.

[0003] Ein großer Temperaturanstieg, eine große Temperaturänderung oder dergleichen ziehen beispielsweise eine Ermüdung eines DrahtbondAbschnitts nach sich, was somit zu einer Verringerung der An-/Ausschalt-Lebensdauer führt. Es ist zu beachten, dass die An-/Ausschalt-Lebensdauer ein Indikator für die Zuverlässigkeit einer Leistungshalbleitervorrichtung ist, der die Lebensdauer anzeigt, die z.B. durch das Ablösen eines Drahtbondabschnitts aufgrund einer Temperaturänderung beeinflusst wird, die durch einen Betrieb ausgelöst wird.

[0004] Es wird berücksichtigt, dass bei einer Leistungshalbleitervorrichtung die Temperatur in einem Zentralabschnitt des Substrates höher wird als in einem Randabschnitt des Substrates und die Temperatur des gesamten Substrates durch die Temperatur des Zentralabschnitts des Substrates erhöht wird. Die japanische Patentoffenlegungsschrift JP 06-342876 A beschreibt eine Halbleitervorrichtung, die derart arbeitet, dass die Temperatur des Zentralabschnitts des Substrats erfasst wird zum Verhindern eines thermischen Risses aufgrund eines Temperaturanstiegs.

[0005] Speziell ist bei der Halbleitervorrichtung der japanischen Patentoffenlegungsschrift JP 06-342876 A in dem Zentralabschnitt eines Leistungstransistors (entsprechend dem Zentralabschnitt des Substrats), der auf dem Halbleitersubstrat ausgebildet ist, ein leerer Raum vorhanden zum Ausbilden eines Temperaturerfassungselementes, wie z.B. einem Temperaturerfassungstransistor, in dem leeren Raum. Der Leistungstransistor wird entsprechend der mit dem Temperaturerfassungselement erfassten Temperatur gesteuert.

[0006] In der Halbleitervorrichtung der japanischen Patentoffenlegungsschrift JP 06-342876 A muss jedoch der Bereich, in dem das Temperaturerfassungselement angeordnet ist, bereitgestellt werden, was zu einer Vergrößerung der Größe der Vorrichtung führt.

[0007] EP 0 485 059 A2 beschreibt eine Halbleitervorrichtung mit einer Pin-Diode mit einer hohen Durchbruchsspannung. Insbesondere wird in der

Emitterschicht eine Stromsperrschicht ausgebildet. Eine Kathodenseite hat einen Doppelschichtaufbau, bei dem in einer hochdotierten N-Schicht stark dotierte P-Inseln als Stromblockierschichten ausgebildet werden.

[0008] DE 10 2005 029 263 A1 beschreibt ein Halbleiterbauelement mit verbesserter dynamischer Belastbarkeit. Insbesondere wird eine dynamische Belastung eines Randbereichs eines Halbleiterbauelements dadurch reduziert, dass der Stromfluss mittels entsprechender Maßnahmen im Wesentlichen in einem Innenbereich des Halbleiterbauelements erfolgt.

[0009] DE 103 60 574 A1 beschreibt ein Leistungshalbleiterbauelement mit sanftem Abschaltverhalten. Eine vergrabene Dotierungsschicht ist unter einer Emitterschicht bzw. Diodenschicht im Innenbereich des Bauelements ausgebildet und so dotiert, dass sie eine Reduktion der Spannungsfestigkeit des Bauelements im Innenbereich bewirkt, so dass bei Anlegen einer großen Sperrspannung ein Spannungsdurchbruch im flächenmäßig wesentlich größeren Innenbereich auftritt.

[0010] DE 10 2005 014 714 A1 beschreibt eine Halbleitervorrichtung mit isoliertem Gate. Eine Ladungsträgerspeicherschicht hat unter dem Kanalbereich eine niedrigere Dotierungskonzentration als an einer anderen Stelle, an der kein Kanalbereich darüber vorhanden ist.

[0011] DE 10 2005 053 487 A1 offenbart einen Leistungs-IGBT mit erhöhter Robustheit. Das Bauelement weist dabei zwei unterschiedliche Zellenfeldabschnitte auf, in denen ein unterschiedlicher Emittewirkungsgrad eingestellt wird.

[0012] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Bereitstellung einer Leistungshalbleitervorrichtung, die in der Lage ist, einen Temperaturanstieg in einem Zentralabschnitt eines Substrats, welcher stark die Temperatur des gesamten Substrats beeinflusst, zu verhindern.

[0013] Die Aufgabe wird gelöst durch eine Leistungshalbleitervorrichtung nach einem der unabhängigen Ansprüche 1 bis 13.

[0014] Gemäß der Erfindung wird der durch das Halbleitersubstrat in der Dickenrichtung fließende Strom in dem Zentralabschnitt des Substrates im Vergleich zu dem Randabschnitt des Substrates kleiner. Folglich ist die Wärmeerzeugung aufgrund des Stroms in dem Zentralabschnitt des Substrats verringert, was einen Temperaturanstieg in dem Zentralabschnitt des Substrats verhindert. Die Temperatur des Zentralabschnitts des Substrats beeinflusst stark die Temperatur des gesamten Substrats und somit kann ein Temperaturanstieg für das gesamte Sub-

strat verhindert werden. Als ein Ergebnis ist es möglich, die Zuverlässigkeit im Hinblick auf eine An-/Aus-schalt-Lebensdauer (engl.: power cycle life) oder dergleichen zu verbessern. Weiterhin kann gemäß dem Aspekt ein Temperaturregulationseffekt erzielt werden ohne ein Temperaturerfassungselement zu verwenden und dadurch kann vermieden werden, dass die Größe der Vorrichtung zunimmt aufgrund des Einsatzes eines Temperaturerfassungselements.

[0015] Weitere Merkmale und Zweckmäßigkeiten der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen.

Fig. 1 ist eine Draufsicht, die in schematischer Weise einen IGBT gemäß einer ersten Ausführungsform zeigt.

Fig. 2 ist eine vertikale Querschnittsansicht, die in schematischer Weise den IGBT gemäß der ersten Ausführungsform zeigt.

Fig. 3 ist eine perspektivische Ansicht, die in schematischer Weise eine Kollektorschicht gemäß der ersten Ausführungsform zeigt.

Fig. 4 zeigt in schematischer Weise eine Verunreinigungskonzentrationsverteilung (Dotierungskonzentrationsverteilung) der Kollektorschicht gemäß der ersten Ausführungsform.

Fig. 5 zeigt in schematischer Weise einen IGBT gemäß einer zweiten Ausführungsform.

Fig. 6 ist eine perspektivische Ansicht, die in schematischer Weise eine Kollektorschicht gemäß der zweiten Ausführungsform zeigt.

Fig. 7 ist eine vertikale Querschnittsansicht, die in schematischer Weise einen IGBT gemäß einer dritten Ausführungsform zeigt.

Fig. 8 ist eine perspektivische Ansicht, die in schematischer Weise eine Lebensdauer-Steuerschicht gemäß der dritten Ausführungsform zeigt.

Fig. 9 zeigt in schematischer Weise die Konzentrationsverteilung eines Lebensdauerverkürzers (Lebensdauerkillers) der Lebensdauer-Steuerschicht gemäß der dritten Ausführungsform.

Fig. 10 zeigt in schematischer Weise einen IGBT gemäß einer vierten Ausführungsform.

Fig. 11 ist eine perspektivische Ansicht, die in schematischer Weise eine Lebensdauer-Steuerschicht gemäß der vierten Ausführungsform zeigt.

Fig. 12 ist eine vertikale Querschnittsansicht, die in schematischer Weise einen IGBT gemäß einer fünften Ausführungsform zeigt.

Fig. 13 ist eine perspektivische Ansicht, die in schematischer Weise eine Pufferschicht gemäß einer fünften Ausführungsform zeigt.

Fig. 14 zeigt in schematischer Weise eine Dotierungskonzentrationsverteilung der Pufferschicht gemäß der fünften Ausführungsform.

Fig. 15 zeigt in schematischer Weise einen IGBT gemäß einer sechsten Ausführungsform.

Fig. 16 ist eine perspektivische Ansicht, die in schematischer Weise eine Pufferschicht gemäß der sechsten Ausführungsform zeigt.

Fig. 17 ist eine vertikale Querschnittsansicht, die in schematischer Weise einen IGBT gemäß einer siebten Ausführungsform zeigt.

Fig. 18 ist eine perspektivische Ansicht, die in schematischer Weise eine Ladungsträgerspeicherschicht gemäß der siebten Ausführungsform zeigt.

Fig. 19 zeigt in schematischer Weise eine Dotierungskonzentrationsverteilung der Ladungsträgerspeicherschicht gemäß der siebten Ausführungsform.

Fig. 20 zeigt in schematischer Weise einen IGBT gemäß einer achten Ausführungsform.

Fig. 21 ist eine perspektivische Ansicht, die in schematischer Weise eine Ladungsträgerspeicherschicht gemäß der achten Ausführungsform zeigt.

Fig. 22 ist eine vertikale Querschnittsansicht, die in schematischer Weise einen IGBT gemäß einer neunten Ausführungsform zeigt.

Fig. 23 ist eine perspektivische Ansicht, die in schematischer Weise eine Basisschicht gemäß der neunten Ausführungsform zeigt.

Fig. 24 zeigt in schematischer Weise eine Dotierungskonzentrationsverteilung der Basisschicht gemäß der neunten Ausführungsform.

Fig. 25 ist eine vertikale Querschnittsansicht, die in schematischer Weise einen IGBT gemäß einer zehnten Ausführungsform zeigt.

Fig. 26 ist eine vertikale Querschnittsansicht, die in schematischer Weise einen Leistungs-MIS-FET gemäß einer elften Ausführungsform zeigt.

Fig. 27 ist eine perspektivische Ansicht, die in schematischer Weise eine Drainschicht gemäß der elften Ausführungsform zeigt.

Fig. 28 zeigt in schematischer Weise eine Dotierungskonzentrationsverteilung der Drainschicht gemäß der elften Ausführungsform.

Fig. 29 zeigt in schematischer Weise einen Leistungs-MISFET gemäß einer zwölften Ausführungsform.

Fig. 30 ist eine perspektivische Ansicht, die in schematischer Weise eine Drainschicht gemäß der zwölften Ausführungsform zeigt.

Fig. 31 ist eine vertikale Querschnittsansicht, die in schematischer Weise eine Leistungsdiode gemäß einer dreizehnten Ausführungsform zeigt.

Erste Ausführungsform

[0016] Bei einer ersten Ausführungsform wird ein IGBT als ein Beispiel einer Leistungshalbleitervorrichtung beschrieben. **Fig. 1** ist eine ebene Ansicht (mit anderen Worten eine Draufsicht) eines Halbleiterchips eines IGBT **10A** gemäß der ersten Ausführungsform. Der IGBT **10A** beinhaltet zumindest den Halbleiterchip und kann einen Bonddraht beinhalten, der mit dem Halbleiterchip verbunden ist, sowie ein isolierendes Substrat, auf dem der Halbleiterchip montiert ist oder dergleichen. Während die folgende Beschreibung für den Fall gegeben wird, dass in dem IGBT **10A** ein Halbleiterchip enthalten ist, kann der IGBT **10A** auch eine Mehrzahl von Halbleiterchips enthalten.

[0017] In dem Beispiel von **Fig. 1** kann der Halbleiterchip des IGBT **10A** grob in einen Elementabschnitt **31** und einen Abschlussabschnitt **32** unterteilt werden. Der Elementabschnitt **31** ist ein Bereich, in dem eine Mehrzahl von Leistungshalbleiterelementen (in diesem Fall eine Mehrzahl von IGBT-Einheits-elementen) beispielsweise in einer Matrix angeordnet ist. Der Abschlussabschnitt **32** ist ein Bereich, in dem eine Struktur (beispielsweise ein oder mehrere Schutzringe) zum Sicherstellen einer Durchbruchspannung der Leistungshalbleiterelemente des Elementabschnitts **31** ausgebildet ist. Obwohl es ebenfalls möglich ist, eine Struktur vorzusehen, die nicht den Abschlussabschnitt **32** aufweist, so wird der Abschlussabschnitt **32** vorzugsweise vorgesehen für Verbesserungen der Durchbruchspannung und dergleichen.

[0018] Der Elementabschnitt **31** ist ein Bereich, der einen Zentralabschnitt eines Chips (mit anderen Worten die Zentralposition eines Substrats) enthält und sich so erstreckt, dass er nicht einen äußeren Rand des Chips (mit anderen Worten einen äußeren Umfang des Substrats) erreicht. Der Abschlussabschnitt **32** ist ein Bereich von dem äußeren Rand (dem äußeren Umfang des Elementabschnitts **31**) zu dem äußeren Rand des Chips und hat eine Rahmengestalt, so dass er den Elementabschnitt **31** umgibt. Mit anderen Worten, der Abschlussabschnitt **32** ist eine rahmenförmige Region, die sich von dem äußeren Rand des Chips zu der Zentralposition des Chips hin erstreckt, und der Bereich innerhalb des rahmenförmigen Abschlussabschnitts **32** ist der Elementabschnitt **31**.

[0019] Weiterhin ist es möglich, den Halbleiterchip des IGBT **10A** grob in einen Zentralabschnitt **41** und

einen Randabschnitt **42** zu unterteilen. Der Zentralabschnitt **41** ist ein Bereich, der die zentrale Position (die Mitte) des Chips enthält und sich so ausdehnt, dass er nicht den äußeren Rand des Chips erreicht. Der Randabschnitt **42** ist ein Bereich von dem äußeren Rand des Zentralabschnitts **41** zu dem äußeren Rand des Chips und hat eine Rahmengestalt, so dass er den Zentralabschnitt **41** umgibt. Mit anderen Worten, der Randabschnitt **42** ist ein rahmenförmiger Bereich, der sich von dem äußeren Rand des Chips zu der Zentralposition des Chips (der Chipmitte) hin erstreckt und der Bereich innerhalb des rahmenförmigen Randabschnitts **42** ist der Zentralabschnitt **41**.

[0020] Hier ist der Zentralabschnitt **41** der Bereich, der so angeordnet ist, dass er sich nicht über den Elementabschnitt **31** hinaus ausdehnt. Aus diesem Grund ist der Elementabschnitt **31** in den Zentralabschnitt **41** und den Randabschnitt **42** unterteilt. In diesem Fall verläuft der Elementabschnitt **31** über den Zentralabschnitt und den Randabschnitt **42** hinweg und beinhaltet den gesamten Zentralabschnitt **41** und einen Teil des Randabschnitts **42**, der sich ohne Unterbrechung (kontinuierlich) an den Zentralabschnitt **41** anschließt. Der Randabschnitt **42** verläuft über den Abschlussabschnitt **32** und den Elementabschnitt **31** hinweg und beinhaltet den gesamten Abschlussabschnitt **32** und einen Teil des Elementabschnitts **31**, der sich an den Abschlussabschnitt **32** (kontinuierlich) anschließt.

[0021] Die oben erwähnten Abschnitte **31**, **32**, **41** und **42** sind in der ebenen Ansicht von **Fig. 1** als zweidimensionale Bereiche gezeigt, die jedoch ebenso dreidimensionale Bereiche sind, welche durch Projizieren der zweidimensionalen Bereiche in Richtung der Dicke des Chips (mit anderen Worten in Richtung der Dicke des Substrats) erhalten werden.

[0022] **Fig. 2** ist eine veranschaulichende vertikale Querschnittsansicht des Halbleiterchips des IGBT **10A**. **Fig. 2** veranschaulicht den Aufbau eines IGBT-Einheitselements.

[0023] Gemäß dem Beispiel von **Fig. 2** beinhaltet der Halbleiterchip ein Halbleitersubstrat (hier im Folgenden auch mit „Substrat“ abgekürzt) **100A** und eine Driftschicht **110** (entsprechend einer „ersten Halbleiterschicht“), eine Ladungsträgerspeicherschicht **120**, eine Basisschicht **130**, eine Emitterschicht **140**, eine Kerbe (mit anderen Worten einen Graben) **150**, einen Gateisolationsfilm **160**, eine Gateelektrode **170**, eine Pufferschicht **190** und eine Kollektorschicht **200A** (entsprechend einer „zweiten Halbleiterschicht“) sind in dem Halbleitersubstrat **100A** ausgebildet.

[0024] Das Halbleitersubstrat **100A** ist ein Substrat, das erhalten wird, indem ein Halbleitersubstrat (beispielsweise ein Siliciumsubstrat oder ein Silicium-

carbidsubstrat) als Ausgangsmaterial verschiedenen Behandlungen unterzogen wird.

[0025] Die Driftschicht **110** ist zwischen einer ersten Hauptoberfläche **101** und einer zweiten Hauptoberfläche **102** des Substrats **100A** (d.h. entfernt von der ersten und der zweiten Hauptoberfläche **101** und **102**) angeordnet und erstreckt sich in einer Dickenrichtung **103** des Substrats **100A**, welches eine Dickenrichtung der Driftschicht **110** ist. Hier wird der Fall als ein Beispiel beschrieben, in dem sich die Driftschicht **110** über das gesamte Substrat (senkrecht zur Dickenrichtung bzw. parallel zu den Hauptoberflächen) ausdehnt. Bei dem oben erwähnten Beispiel dehnt sich die Driftschicht **110** über eine Mehrzahl von IGBT-Einheitselementen aus, die in dem Elementabschnitt **31** vorhanden sind, wobei sich die Einheitselemente die Driftschicht **110** teilen. Zusätzlich hat in dem oben erwähnten Beispiel die Driftschicht **110** solch eine Gestalt, dass sie sich über den Zentralabschnitt **41** und den Randabschnitt **42** hinweg erstreckt.

[0026] Hier wird als ein Beispiel der Fall beschrieben, in dem der Leitungstyp der Driftschicht **110** der N-Typ ist. Spezieller ist dies der Fall, in dem die Driftschicht **110** eine N-Typ-Schicht (N-Typ-Schicht) ist, deren Dotierungskonzentration auf einen Bereich eingestellt ist, der typischerweise als ein Niedrigkonzentrationsbereich (Niedrigdotierungsbereich) bezeichnet wird. Weiterhin ist die Dotierungskonzentration der Driftschicht **110** in dem Zentralabschnitt **41** und dem Randabschnitt **42** gleich.

[0027] Es ist zu beachten, dass die Driftschicht in einigen Fällen ebenfalls als eine „Basisschicht“ bezeichnet wird und in diesen Fällen die Driftschicht **110** als eine „N-Basisschicht **110**“ bezeichnet wird, während eine weiter unten beschriebene Basisschicht **130** als eine „P-Basisschicht **130**“ bezeichnet wird, um dadurch die Schichten **110** und **130** voneinander zu unterscheiden.

[0028] Die Ladungsträgerspeicherschicht **120** ist zwischen der Driftschicht **110** und der ersten Hauptoberfläche **101** des Substrats **100A** angeordnet und erstreckt sich in der Substratdickenrichtung **103**, welches gleichzeitig die Dickenrichtung der Ladungsträgerspeicherschicht **120** ist. Mit anderen Worten, die Ladungsträgerspeicherschicht **120** ist auf der Seite der ersten Hauptoberfläche **101** bezüglich der Driftschicht **110** (mit der Driftschicht **110** als Bezugspunkt) in der Substratdickenrichtung **103** angeordnet und liegt der Driftschicht **110** in der Dickenrichtung **103** gegenüber. Die Ladungsträgerspeicherschicht **120** ist kontinuierlich zu der Driftschicht **110** (grenzt unmittelbar an diese an), ist jedoch von der ersten Hauptoberfläche **101** getrennt (entfernt). Hier wird der Fall als Beispiel beschrieben, in dem sich die Ladungsträgerspeicherschicht **120** über das gesam-

te Substrat (senkrecht zur Dickenrichtung **103**) erstreckt. In dem oben erwähnten Beispiel erstreckt sich die Ladungsträgerspeicherschicht **120** über die Mehrzahl von IGBT-Einheitselementen hinweg, die in dem Elementabschnitt **31** vorhanden sind, und die Einheitselemente teilen sich die Ladungsträgerspeicherschicht **120**. Zusätzlich hat in dem oben erwähnten Beispiel die Ladungsträgerspeicherschicht solch eine Gestalt, dass sie sich über den Zentralabschnitt **41** und den Randabschnitt **42** erstreckt.

[0029] Der Fall, in dem der Leitungstyp der Ladungsträgerspeicherschicht **120** der N-Typ ist, spezieller der Fall, in dem die Ladungsträgerspeicherschicht **120** eine N-Typ-Schicht (N⁺-Typ-Schicht) ist, deren Dotierungskonzentration höher ist als jene der Driftschicht **110** und so eingestellt ist, dass sie in einem Bereich liegt, der typischerweise als ein hochdotierter Bereich bezeichnet wird, wird hier als ein Beispiel beschrieben. Weiterhin ist die Dotierungskonzentration der Ladungsträgerspeicherschicht **120** in dem Zentralabschnitt **41** und dem Randabschnitt **42** gleich.

[0030] Die Basisschicht **130** ist zwischen der Ladungsträgerspeicherschicht **120** und der ersten Hauptoberfläche **101** des Substrats **100A** angeordnet und erstreckt sich in Substratdickenrichtung **103**, welches die Dickenrichtung der Basisschicht **130** ist. Mit anderen Worten, die Basisschicht **130** ist auf der Seite der ersten Hauptoberfläche **101** bezüglich der Driftschicht **110** und der Ladungsträgerspeicherschicht **120** in der Substratdickenrichtung **103** angeordnet und zeigt in der Dickenrichtung **103** mit der Ladungsträgerspeicherschicht **120** dazwischen zu der Driftschicht **110** hin (liegt dieser gegenüber). Die Basisschicht **130** grenzt unmittelbar an die Ladungsträgerspeicherschicht **120** und erreicht die erste Hauptoberfläche **101**. Es ist zu beachten, dass die Emitterschicht **140**, die unten beschrieben wird, in einem Teil der Basisschicht **130** ausgebildet ist. Hier wird als ein Beispiel der Fall beschrieben, in dem die Basisschicht **130** sich über das gesamte Substrat (senkrecht zur Dickenrichtung **103**) erstreckt. In dem oben erwähnten Beispiel erstreckt sich die Basisschicht **130** über die Mehrzahl von IGBT-Einheitselementen hinweg, die in dem Elementabschnitt **31** vorhanden sind, wobei sich die Einheitselemente die Basisschicht **130** teilen. Zusätzlich hat in dem oben erwähnten Beispiel die Basisschicht **130** solch eine Gestalt, dass sie sich über den Zentralabschnitt **41** und den Randabschnitt **42** hinweg erstreckt.

[0031] Hier wird als ein Beispiel der Fall beschrieben, in dem der Leitungstyp der Basisschicht **130** der P-Typ ist und die Dotierungskonzentration derselben in dem Zentralabschnitt **41** und dem Randabschnitt **42** die gleiche ist.

[0032] Es ist zu beachten, dass die Basisschicht **130** eine Halbleiterschicht ist, in der in einer unten

beschriebenen Metall-Isolator-Halbleiter(MIS)-Struktur ein Kanal ausgebildet wird. Somit kann die Basisschicht **130** als eine „Kanalausbildungs-Halbleiterschicht **130**“ bezeichnet werden.

[0033] Die Emitterschicht **140** ist als eine Wanne vorhanden, die einen Teilbereich der Basisschicht **130** einnimmt. Die Emitterschicht **140** ist ausgehend von der ersten Hauptoberfläche **101** des Substrats **100A** bis zu einer vorbestimmten Tiefe ausgebildet, wobei die Tiefe geringer ist als jene der Basisschicht **130** und folglich die Emitterschicht **140** von der Ladungsträgerspeicherschicht **120** beabstandet (getrennt) ist. In diesem Fall ist die Emitterschicht **140** auf der Seite der ersten Hauptoberfläche bezüglich der Driftschicht **110**, der Ladungsträgerspeicherschicht **120** und einem Teil der Basisschicht **130** in der Substratdickenrichtung **103** angeordnet und zeigt mit der Ladungsträgerspeicherschicht **120** und einem Teil der Basisschicht **130** dazwischen in der Dickenrichtung **103** zu der Driftschicht **110** (liegt dieser gegenüber). Die Emitterschicht **140** ist in jedem IGBT-Einheitselement des Elementabschnitts **31** einzeln vorhanden und ebenfalls sowohl in dem Zentralabschnitt **41** als auch dem Randabschnitt **42** vorhanden.

[0034] Hier wird als ein Beispiel der Fall beschrieben, in dem der Leitungstyp der Emitterschicht **140** der N-Typ ist. Spezieller wird der Fall beschrieben, in dem die Emitterschicht **140** verglichen mit der Driftschicht **110** eine höhere Dotierungskonzentration aufweist und eine N⁺-Typ-Schicht ist. Weiterhin ist die Dotierungskonzentration der Emitterschicht **140** des Zentralabschnitts **41** und der Emitterschicht **140** des Randabschnitts **42** gleich.

[0035] Ausgehend von der ersten Hauptoberfläche **101** des Substrats **100A** dringt die Kerbe **150** durch die Emitterschicht **140**, die Basisschicht **130** und die Ladungsträgerspeicherschicht **120** hindurch zu der Seite der zweiten Hauptoberfläche **102** hin, wobei die Kerbe **150** bis zu einer vorgegebenen Tiefe innerhalb der Driftschicht **110** ausgebildet ist. Die Kerbe **150** ist in jedem IGBT-Einheitselement des Elementabschnitts **31** einzeln vorhanden und ist ebenfalls sowohl in dem Zentralabschnitt **41** als auch in dem Randabschnitt **42** vorhanden.

[0036] Der Gateisolationfilm **160** ist auf einer Innenfläche (spezieller einer Seitenfläche und einer Bodenfläche) der Kerbe **150** vorhanden, füllt jedoch die Kerbe **150** nicht vollständig aus. Es ist möglich, den Gateisolationfilm **160** beispielsweise aus Siliciumoxid oder Siliciumnitrid auszubilden. Die Gateelektrode **170** ist auf dem Gateisolationfilm **160** angeordnet und füllt die Kerbe **150** aus. Mit anderen Worten, die Gateelektrode **170** ist in der Kerbe **150** vergraben, wobei sie in der Kerbe **150** von dem Gateisolationfilm **160** umgeben ist. Es ist möglich, die Gateelektrode **170** aus beispielsweise Polysilicium oder ver-

schiedenen Metallmaterialien auszubilden. Es ist zu beachten, dass die Gateelektrode **170** sich bis zu einer nicht gezeigten Position erstreckt und mit einer Gateanschlussfläche (nicht gezeigt) verbunden ist.

[0037] Die Pufferschicht **190** ist zwischen der Driftschicht **110** und der zweiten Hauptoberfläche **102** des Substrats **100A** angeordnet und erstreckt sich in der Substratdickenrichtung **103**, welche auch die Dickenrichtung der Pufferschicht **190** ist. Mit anderen Worten, die Pufferschicht **190** ist bezüglich der Driftschicht **110** in der Substratdickenrichtung **103** auf der Seite der zweiten Hauptoberfläche **102** angeordnet und zeigt in der Dickenrichtung **103** zu der Driftschicht **110** hin (liegt dieser gegenüber). Die Pufferschicht **190** ist kontinuierlich zu der Driftschicht **110** (grenzt unmittelbar an diese), ist jedoch von der zweiten Hauptoberfläche **102** beabstandet. Hier wird als ein Beispiel der Fall beschrieben, in dem sich die Pufferschicht **190** über das gesamte Substrat (senkrecht zur Substratdickenrichtung **103**) erstreckt. In dem oben erwähnten Beispiel dehnt sich die Pufferschicht **190** über die Mehrzahl von IGBT-Einheitselementen aus, die in dem Elementabschnitt **31** vorhanden sind, wobei sich die Einheitselemente die Pufferschicht **190** teilen. (Diese nicht separat für jedes Einheitselement angeordnet ist). Zusätzlich hat in dem oben erwähnten Beispiel die Pufferschicht **190** solch eine Gestalt, dass sie sich über den Zentralabschnitt **41** und den Randabschnitt **42** hinweg ausdehnt.

[0038] Hier wird als ein Beispiel der Fall beschrieben, in dem der Leitungstyp der Pufferschicht **190** der N-Typ ist. Spezieller wird der Fall beschrieben, in dem die Pufferschicht **190** eine Dotierungskonzentration aufweist, die höher ist als jene der Driftschicht **110**, und in dem die Pufferschicht **190** eine N⁺-Typ-Schicht ist. Weiterhin ist die Dotierungskonzentration der Pufferschicht **190** in dem Zentralabschnitt **41** und dem Randabschnitt **42** die gleiche.

[0039] Die Kollektorschicht **200A** ist zwischen der Pufferschicht **190** und der zweiten Hauptoberfläche **102** des Substrats **100A** angeordnet und erstreckt sich in der Substratdickenrichtung **103**, welches die Dickenrichtung der Kollektorschicht **200A** ist. In diesem Fall ist die Kollektorschicht **200A** bezüglich der Driftschicht **110** und der Pufferschicht **190** in der Substratdickenrichtung **103** auf der Seite der zweiten Hauptoberfläche **102** angeordnet und zeigt mit der Pufferschicht **190** dazwischen in der Dickenrichtung **103** zu der Driftschicht **110** hin (liegt dieser gegenüber). Die Kollektorschicht **200A** ist kontinuierlich zu der Pufferschicht **190** (grenzt unmittelbar an diese) und erreicht die zweite Hauptoberfläche **102**. Hier wird als ein Beispiel der Fall beschrieben, in dem die Kollektorschicht **200A** sich über das gesamte Substrat hinweg (in der Richtung senkrecht zur Dickenrichtung **103**) ausdehnt. In dem oben erwähnten Beispiel erstreckt sich die Kollektorschicht **200A** über die

Mehrzahl von IGBT-Einheitselementen, die in dem Elementabschnitt **31** vorhanden sind, und die Einheitselemente teilen sich die Kollektorschicht **200A**. Zusätzlich hat in dem oben erwähnten Beispiel die Kollektorschicht **200A** solch eine Gestalt, dass sie sich über den Zentralabschnitt **41** und den Randabschnitt **42** erstreckt.

[0040] Hier wird als ein Beispiel der Fall beschrieben, in dem der Leitungstyp der Kollektorschicht **200A** der P-Typ ist. Die Dotierungskonzentration der Kollektorschicht **200A** wird unten beschrieben.

[0041] Es ist zu beachten, dass es ebenfalls möglich ist, das Halbleitersubstrat **100A** dadurch abzuwandeln, dass zu den oben erwähnten Leitungstypen entgegengesetzte Leitungstypen in den entsprechenden Schichten verwendet werden. Solch eine Abwandlung kann auf die verschiedenen unten beschriebenen Strukturen angewandt werden.

[0042] In dem Beispiel von **Fig. 2** enthält der Halbleiterchip des IGBT **10A** weiterhin eine Isolationsschicht **252**, eine Emittierelektrode **254** und eine Kollektorelektrode **256**.

[0043] Die Isolationsschicht **252** ist so angeordnet, dass sie auf der ersten Hauptoberfläche **101** des Substrats **100A** nahe einer Öffnung der Kerbe **150** ist, und sie bedeckt die Gateelektrode **170**. Obwohl sich in dem Beispiel von **Fig. 2** die Isolationsschicht **252** nicht über die Emitterschicht **140** ausdehnt, kann sich die Isolationsschicht **252** über die Emitterschicht **140** ausdehnen.

[0044] Die Emittierelektrode **254** erstreckt sich über die erste Hauptoberfläche **101** des Substrats **100A** und ist in Kontakt zu der Basisschicht **130** und der Emitterschicht **140**. Die Emittierelektrode **254** erstreckt sich ebenfalls über die Isolationsschicht **252**. In diesem Beispiel erstreckt sich die Emittierelektrode **254** über die Mehrzahl von IGBT-Einheitselementen, die in dem Elementabschnitt **31** vorhanden sind, und die Einheitselemente teilen sich die Emittierelektrode **254**.

[0045] Die Kollektorelektrode **256** erstreckt sich über die zweite Hauptoberfläche **102** des Substrats **100A** und ist in Kontakt zu der Kollektorschicht **200A**. In dem oben erwähnten Beispiel erstreckt sich die Kollektorelektrode **256** über die Mehrzahl von IGBT-Einheitselementen, die in dem Elementabschnitt **31** vorhanden sind, und die Einheitselemente teilen sich die Kollektorelektrode **256**.

[0046] Als nächstes wird der Betrieb des IGBT **10A** behandelt.

[0047] Zunächst wird ein AN-Zustand des IGBT **10A** beschrieben. Der AN-Zustand wird dadurch erreicht,

dass eine vorgegebene Gatespannung ($V_{GE} > 0$) zwischen die Emittierelektrode **254** und die Gateelektrode **170** in dem Zustand angelegt wird, in dem eine vorgegebene Kollektorspannung ($V_{CE} > 0$) zwischen der Emittierelektrode **254** und der Kollektorelektrode **256** anliegt. Beim Anlegen der Spannung wird in der Basisschicht **130** in der Nähe der Gateelektrode **170** ein N-Typ-Kanal ausgebildet. Der Kanal wird zwischen der Emitterschicht **140** und der Ladungsträgerspeicherschicht **120** ausgebildet, wodurch Elektronen von der Emittierelektrode **254** durch den Kanal in die Driftschicht **110** injiziert werden. Die injizierten Elektronen liefern einen vorwärts gepolten Zustand zwischen der Driftschicht **110** und der Kollektorschicht **200A** und von der Kollektorschicht **200A** werden Löcher in die Driftschicht **110** injiziert. Als ein Ergebnis fließt der Strom (auch als Kollektorstrom, AN-Strom, Hauptstrom oder dergleichen bezeichnet) des IGBT **10A** zwischen der Kollektorelektrode **256** und der Emittierelektrode **254**, d.h. in der Dickenrichtung **103** des Substrats **100A**.

[0048] Als nächstes wird ein AUS-Zustand des IGBT beschrieben. Der AUS-Zustand wird dadurch eingestellt, dass die Gatespannung der Beziehung $V_{GE} \leq 0$ genügt. Beim Anlegen der Spannung verschwindet der Kanal, wodurch keine Elektronen von der Emittierelektrode **254** in die Driftschicht **110** injiziert werden. Da keine Elektronen injiziert werden, werden keine Löcher von der Kollektorschicht **200A** injiziert. Als ein Ergebnis fließt kein Strom.

[0049] Hier bildet der Schichtaufbau aus der Gateelektrode **170**, dem Gateisolationfilm **60** und der Basisschicht **130** (in der Querschnittsansicht von **Fig. 2** sind diese senkrecht zu der Substratdickenrichtung **103** geschichtet) eine sogenannte MIS-Struktur. Es ist zu beachten, dass die MIS-Struktur in dem Fall, in dem der Gateisolationfilm **60** ein Oxidfilm ist, speziell als eine Metall-Oxid-Halbleiter(MOS)-Struktur bezeichnet wird. Aus dem oben beschriebenen Betrieb ist ersichtlich, dass bei der MIS-Struktur ein Fließen des Stroms des IGBT **10A** bewirkt wird durch Ausbildung des Kanals in der Basisschicht **130** und eine Unterbrechung des Stroms bewirkt wird durch ein Verschwinden des Kanals. Dies bedeutet, ein Schaltelement **180** steuert das AN/AUS des Stroms des IGBT **10A**, in dem die MIS-Struktur ausgebildet ist.

[0050] Wie aus dem obigen Aufbau ersichtlich ist, ist das Schaltelement **180** einzeln für jedes IGBT-Einheitselement vorhanden. Die Gateelektroden **170** der Mehrzahl von Schaltelementen **180** sind an einer Position (nicht gezeigt) miteinander gemeinschaftlich verbunden (mit anderen Worten parallel geschaltet) und daher arbeiten die Schaltelemente **180** synchron zueinander.

[0051] Obwohl es möglich ist, einen Aufbau zu verwenden, bei dem nicht die Ladungsträgerspeicher-

schicht **120** vorhanden ist, ist die Ladungsträgerspeicherschicht **120** aus folgendem Grund vorzugsweise vorhanden: Die Ladungsträgerspeicherschicht **120** weist, wie oben beschrieben, eine höhere Dotierungskonzentration auf als die Driftschicht **110**. Dadurch ist ein eingebauter Potentialunterschied (built-in-Potential) an einem Übergang zwischen der Ladungsträgerspeicherschicht **120** und der Basischicht **130** höher als ein eingebauter Potentialunterschied an einem Übergang zwischen der Driftschicht **110** und der Basischicht **130** in dem Fall, in dem die Ladungsträgerspeicherschicht **120** nicht vorhanden ist. Solch ein hoher eingebauter Potentialunterschied wird zu einer Barriere für hindurchgehende Löcher, die von der Kollektorschicht **200A** zu der Emitterseite hin in die Driftschicht **110** injiziert wurden. Folglich werden die Löcher in der Ladungsträgerspeicherschicht **120** gespeichert. Als ein Ergebnis steigt die Ladungsträgerdichte auf der Emitterseite an, was den Widerstand gegenüber dem Strom im AN-Zustand (d.h. den AN-Widerstand) verringert. Zusätzlich ist die Kollektorspannung V_{CE} (d.h. die Spannung im AN-Zustand) verringert, wenn der Strom im AN-Zustand fließt.

[0052] Die Pufferschicht **190** ist vorhanden zum Verhindern eines Durchgriffsphänomens, bei dem eine Verarmungsschicht die Kollektorschicht **200A** in dem AUS-Zustand erreicht, d.h. der Durchbruchspannungs-Aufrechterhaltungszustand. **Fig. 2** veranschaulicht eine Durchgriffs-Struktur (PT-Struktur von englisch „punch through“). Es ist zu beachten, dass es ebenfalls möglich ist, eine Nicht-Durchgriffsstruktur (NPT-Struktur) zu verwenden, bei der die Pufferschicht **190** nicht vorhanden ist.

[0053] **Fig. 3** ist eine perspektivische Ansicht, die in schematischer Weise die Kollektorschicht **200A** zeigt. **Fig. 3** zeigt die Kollektorschicht **200A** verglichen mit dem Substrat **100A** vergrößert. Weiterhin zeigt **Fig. 4** in schematischer Weise die Dotierungskonzentrationsverteilung der Kollektorschicht **200A** in einem vertikalen Querschnitt, der durch den Zentralabschnitt **41** hindurchgeht.

[0054] Wie in **Fig. 3** und **Fig. 4** gezeigt, ist die Kollektorschicht **200A** grob in einen Teil **201**, der in dem Zentralabschnitt **41** vorhanden ist, und einen Teil **202**, der in dem Randabschnitt **42** vorhanden ist, unterteilt. Insbesondere ist die Dotierungskonzentration des Teils **201**, der dem Zentralabschnitt **41** entspricht, auf einen niedrigeren Wert gesetzt als die Dotierungskonzentration des Teils **202**, der dem Randabschnitt **42** entspricht (siehe **Fig. 4**). Dies bedeutet, die Dotierungskonzentration der Kollektorschicht **200A** ist in dem Zentralabschnitt **41** geringer als in dem Randabschnitt **42**.

[0055] Während **Fig. 4** die Verteilung in dem Fall veranschaulicht, in dem die Dotierungskonzentrationen

der Teile **201** und **202** sich abrupt ändern, können diese sich mit einer Steigung ändern. Obwohl der Fall beschrieben wurde, in dem der Teil **201** mit niedriger Konzentration und der Teil **202** mit hoher Konzentration P-Typ-Schichten (P⁺-Typ-Schichten) sind, deren Dotierungskonzentration auf einen Bereich eingestellt ist, der typischerweise als hochdotierter Bereich bezeichnet wird, ist es ebenfalls möglich, einen Konzentrationsbereich zu verwenden, bei dem der Teil **201** niedriger Konzentration vom P-Typ ist und der Teil **202** hoher Konzentration solch einen Konzentrationsbereich aufweist, dass es vom P⁺-Typ ist.

[0056] Die Kollektorschicht **200A** mit der oben erwähnten Dotierungskonzentrationsverteilung bewirkt einen Injektionswirkungsgrad der von der Kollektorschicht **200A** in die Driftschicht **110** injizierten Löcher, der in dem Zentralabschnitt **41** geringer ist als in dem Randabschnitt **42**. Als ein Ergebnis wird der Widerstand gegenüber dem in der Substratdickenrichtung **103** fließenden Strom in dem Zentralabschnitt **41** höher als in dem Randabschnitt **42**. Dies bedeutet, die Kollektorschicht **200A** bildet eine Widerstandssteuerstruktur **300A**, die den Widerstand gegenüber dem in der Substratdickenrichtung **103** fließenden Strom in dem Zentralabschnitt **41** höher macht als in dem Randabschnitt **42**.

[0057] Die Widerstandssteuerstruktur **300A** verringert den Strom (spezieller die Stromdichte), der in der Dickenrichtung **103** durch das Substrat **100A** in dem Zentralabschnitt **41** fließt, gegenüber dem Randabschnitt **42**. Deshalb ist die Wärmeenergieerzeugung aufgrund des Stroms in dem Zentralabschnitt **41** verringert und folglich ist ein Temperaturanstieg in dem Zentralabschnitt **41** verringert. Die Temperatur des Zentralabschnitts **41** beeinflusst stark die Temperatur des gesamten Substrats, wodurch es möglich ist, einen Temperaturanstieg des gesamten Substrats zu verringern. Als ein Ergebnis ist es möglich, die Zuverlässigkeit im Hinblick auf eine AN-/AUS-Schalt-Lebensdauer oder dergleichen zu verbessern. Weiterhin bewirkt die Widerstandssteuerstruktur **300A** eine Temperatursteuerwirkung ohne Verwendung eines Temperaturerfassungselements. Dadurch kann ein Anstieg der Vorrichtungsgröße, der durch die Verwendung eines Temperaturerfassungselements verursacht wird, vermieden werden.

[0058] Der IGBT **10A** kann unter Verwendung verschiedener bekannter Verfahrensschritte hergestellt werden. Beispielsweise ist es möglich, den oben erwähnten Aufbau des IGBT **10A** auszubilden, indem ein N-Typ-Halbleitersubstrat, welches letztendlich die Driftschicht **110** zur Verfügung stellt, als ein Startmaterial vorbereitet wird, woraufhin das Substrat verschiedenen Behandlungen, wie z.B. Ionenimplantationen, Epitaxieschichtausbildungen, Maskenschritten, Ätzschritten oder Oxidationsschritten unterzogen wird.

[0059] Beispielsweise ist es möglich, die Kollektorschicht **200A** so auszubilden, dass die Ionenimplantation an dem Zentralabschnitt **41** und dem Randabschnitt **42** gemeinsam zur gleichen Zeit durchgeführt wird und lediglich an dem Randabschnitt **42** selektiv (separat) eine Ionenimplantation durchgeführt wird. Alternativ kann die Kollektorschicht **200A** durch andere Techniken ausgebildet werden.

Zweite Ausführungsform

[0060] Fig. 5 zeigt in schematischer Weise einen IGBT **10B** gemäß einer zweiten Ausführungsform. Aus Gründen der Vereinfachung der Beschreibung zeigt der rechte Teil von Fig. 5 eine ebene Ansicht entsprechend jener von Fig. 1, der Teil oben links in Fig. 5 zeigt eine vertikale Querschnittsansicht des Zentralabschnitts **41** und der Teil unten links zeigt eine vertikale Querschnittsansicht des Randabschnitts **42**.

[0061] Der IGBT **10B** hat im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie der IGBT **10A** (siehe Fig. 1 und Fig. 2), mit der Ausnahme, dass der IGBT **10B** ein Halbleitersubstrat **100B** anstelle des Halbleitersubstrats **100A** (siehe Fig. 2) aufweist. Das Halbleitersubstrat **100B** hat im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie das Halbleitersubstrat **100A**, mit der Ausnahme, dass das Halbleitersubstrat **100B** eine Kollektorschicht **200B** anstelle der Kollektorschicht **200A** (siehe Fig. 2) aufweist.

[0062] Fig. 6 ist eine perspektivische Ansicht, die in schematischer Weise die Kollektorschicht **200B** zeigt. Fig. 6 zeigt die Kollektorschicht **200B** verglichen mit dem Substrat **100B** vergrößert. Wie aus Fig. 5 und Fig. 6 ersichtlich ist, hat die Kollektorschicht **200B** solch eine Form, dass sie in dem Randabschnitt **42** vorhanden ist, jedoch nicht in dem Zentralabschnitt **41** vorhanden ist. Es wird hier angenommen, dass die Dotierungskonzentration in der Kollektorschicht **200B** gleichförmig ist. Die übrigen Gegebenheiten für die Kollektorschicht **200B** sind im Wesentlichen die gleichen wie für die Kollektorschicht **200A** (siehe Fig. 2).

[0063] Es ist zu beachten, dass sich in dem Zentralabschnitt **41**, der nicht die Kollektorschicht **200B** aufweist, die Pufferschicht **190** bis zu der zweiten Hauptoberfläche **102** des Substrats **100B** erstreckt und die Kollektorelektrode **256** erreicht (siehe den Teil oben links in Fig. 5).

[0064] Aufgrund der Kollektorschicht **200A** mit der oben erwähnten Gestalt ist der Wirkungsgrad für die Injektion von Löchern, die von der Kollektorschicht **200B** in die Driftschicht **110** injiziert werden, in dem Zentralabschnitt **41** verglichen mit dem Randabschnitt **42** geringer. Als ein Ergebnis wird der Widerstand gegenüber einem Stromfluss in der Substrat-

dickenrichtung **103** in dem Zentralabschnitt **41** höher als in dem Randabschnitt **42**. Dies bedeutet, die Kollektorschicht **200B** bildet eine Widerstandssteuerstruktur **300B** (siehe Fig. 6), um den Widerstand gegenüber dem Stromfluss in der Substratdickenrichtung **103** in dem Zentralabschnitt **41** größer zu machen als in dem Randabschnitt **42**.

[0065] Durch die eben erwähnte Widerstandssteuerstruktur **300B** kann ebenfalls eine ähnliche Wirkung erhalten werden wie durch die Widerstandssteuerstruktur **300A** (siehe Fig. 3).

[0066] Es ist ebenfalls möglich, den IGBT **10B** durch verschiedene bekannte Techniken herzustellen. Beispielsweise ist es möglich, die Kollektorschicht **200B** dadurch auszubilden, dass lediglich der Randabschnitt **42** selektiv einer Ionenimplantation unterzogen wird. Alternativ kann die Kollektorschicht **200B** durch andere Techniken ausgebildet werden.

Dritte Ausführungsform

[0067] Fig. 7 ist eine vertikale Querschnittsansicht, die in schematischer Weise einen IGBT **10C** gemäß einer dritten Ausführungsform zeigt. Der IGBT **10C** hat im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie der IGBT **10A** (siehe Fig. 1 und Fig. 2), mit der Ausnahme, dass der IGBT **10C** ein Halbleitersubstrat **100C** anstelle des Halbleitersubstrats **100A** (siehe Fig. 2) enthält. Das Halbleitersubstrat **100C** hat im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie das Halbleitersubstrat **100A**, mit der Ausnahme, dass das Halbleitersubstrat **100C** eine Kollektorschicht **200** anstelle der Kollektorschicht **200A** (siehe Fig. 2) enthält und eine Lebensdauersteuerschicht **210C** hinzugefügt ist.

[0068] Die Kollektorschicht **200** weist in dem Zentralabschnitt **41** und dem Randabschnitt **42** die gleiche Dotierungskonzentration auf und die weiteren Verhältnisse sind ähnlich zu der Kollektorschicht **200A** (siehe Fig. 2).

[0069] Die Lebensdauersteuerschicht **210C** ist in der Driftschicht **110** vorhanden und erstreckt sich in der Substratdickenrichtung **103**, welche eine Dickenrichtung der Lebensdauersteuerschicht **210C** ist. Folglich ist die Lebensdauersteuerschicht **210C** bezüglich der Pufferschicht **190** und der Kollektorschicht **200** in der Substratdickenrichtung **103** auf der Seite der ersten Hauptoberfläche **101** angeordnet und zeigt mit der Pufferschicht **190** dazwischen in der Dickenrichtung **103** zu der Kollektorschicht **200** hin (liegt dieser gegenüber).

[0070] Die Lebensdauersteuerschicht **210C** ist in der Driftschicht **110** an einer Position weit entfernt von der Pufferschicht **190** und der Ladungsträgerspeicherschicht **120**, welche an die Driftschicht **110** angrenzen, vorhanden. In dem Beispiel von Fig. 7 ist die Le-

bensdauersteuerschicht **210C** in der Driftschicht **110** auf der Seite der Pufferschicht **190** vorhanden. Dies bedeutet, der Abstand zwischen der Lebensdauersteuerschicht **210C** und der Pufferschicht **190** ist geringer als der Abstand zwischen der Lebensdauersteuerschicht **210C** und der Ladungsträgerspeicherschicht **120**.

[0071] Hier wird als ein Beispiel der Fall beschrieben, in dem die Lebensdauersteuerschicht **210C** sich über das gesamte Substrat (senkrecht zur Substratdickenrichtung **103**) erstreckt. In diesem Beispiel erstreckt sich die Lebensdauersteuerschicht **210C** über die Mehrzahl von IGBT-Einheitselementen hinweg, die in dem Elementabschnitt **31** vorhanden sind, wobei sich die Einheitselemente die Lebensdauersteuerschicht **210C** teilen. Weiterhin hat in diesem Beispiel die Lebensdauersteuerschicht **210C** solch eine Gestalt, dass sie sich über den Zentralabschnitt **41** und den Randabschnitt **42** hinweg erstreckt.

[0072] Fig. 8 ist eine perspektivische Ansicht, die in schematischer Weise die Lebensdauersteuerschicht **210C** zeigt. Fig. 8 zeigt die Lebensdauersteuerschicht **210C** im Vergleich zu dem Substrat **100C** vergrößert. Weiterhin zeigt Fig. 9 in schematischer Weise die Konzentrationsverteilung der Lebensdauerverkürzer (Lebensdauerkiller) der Lebensdauersteuerschicht **210C** in dem Querschnitt, der durch den Zentralabschnitt **41** hindurchgeht.

[0073] Wie in Fig. 8 und Fig. 9 gezeigt, ist die Lebensdauersteuerschicht **210C** grob in einen Teil **211**, der in dem Zentralabschnitt **41** angeordnet ist, und einen Teil **212**, der in dem Randabschnitt **42** angeordnet ist, unterteilt. Insbesondere ist die Lebensdauerkillerkonzentration des Teils **211**, das dem Zentralabschnitt **41** entspricht, auf einen höheren Wert gesetzt als die Lebensdauerkillerkonzentration des Teils **212**, das dem Randabschnitt **42** entspricht (siehe Fig. 9). Dies bedeutet die Lebensdauerkillerkonzentration der Lebensdauersteuerschicht **210C** ist in dem Zentralabschnitt **41** höher als in dem Randabschnitt **42**.

[0074] Während Fig. 9 die Verteilung in dem Fall darstellt, in dem die Dotierungskonzentrationen in den Teilen **211** und **212** sich abrupt ändern, kann die Änderung derselben auch mit einer Steigung (allmählich) stattfinden.

[0075] Die Lebensdauersteuerschicht **210C** bewirkt eine Verringerung der typischen Schaltverluste sowie den folgenden Effekt, der aus dem Unterschied in der Lebensdauerkillerkonzentration resultiert.

[0076] Die Lebensdauersteuerschicht **210C** mit der oben erwähnten Lebensdauerverkürzerkonzentrationsverteilung bewirkt, dass die Dichte der von der Kollektorschicht **200** in die Driftschicht **110** injizier-

ten Löcher in dem Zentralabschnitt **41** geringer ist als in dem Randabschnitt **42**. Folglich wird der Widerstand gegenüber dem in der Substratdickenrichtung **103** fließenden Strom in dem Zentralabschnitt **41** größer als in dem Randabschnitt **42**. Dies bedeutet, die Lebensdauersteuerschicht **210C** bildet eine Widerstandssteuerstruktur **300C** (siehe Fig. 8), um den Widerstand gegenüber dem in der Substratdickenrichtung **103** fließenden Strom in dem Zentralabschnitt **41** höher zu machen als in dem Randabschnitt **42**.

[0077] Durch die soeben beschriebene Widerstandssteuerstruktur **300C** kann ebenfalls eine ähnliche Wirkung zu jener der Widerstandssteuerstruktur **300A** (siehe Fig. 3) erhalten werden.

[0078] Es ist ebenfalls möglich, den IGBT **10C** durch verschiedene bekannte Techniken herzustellen. Beispielsweise ist es möglich, die Lebensdauersteuerschicht **210C** dadurch auszubilden, dass die Driftschicht **110** einer Protonenbestrahlung, einer Elektronenbestrahlung oder dergleichen ausgesetzt wird, um dadurch die Lebensdauerkiller in die Driftschicht **110** einzubringen. In diesem Fall ist es beispielsweise möglich, die oben erwähnte Lebensdauerkillerkonzentrationsverteilung (siehe Fig. 9) dadurch zu realisieren, dass eine Bestrahlung an dem Zentralabschnitt **41** und dem Randabschnitt **42** gleichzeitig durchgeführt wird und eine Bestrahlung lediglich in dem Zentralabschnitt **41** selektiv durchgeführt wird. Alternativ kann die Lebensdauersteuerschicht **210C** durch andere Techniken ausgebildet werden.

Vierte Ausführungsform

[0079] Fig. 10 zeigt in schematischer Weise einen IGBT **10D** gemäß einer vierten Ausführungsform und ist ähnlich zu Fig. 5.

[0080] Der IGBT **10D** hat im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie der IGBT **10C** (siehe Fig. 7), mit der Ausnahme, dass der IGBT **10D** ein Halbleitersubstrat **100D** anstelle des Halbleitersubstrats **100C** (siehe Fig. 7) enthält. Das Halbleitersubstrat **100D** hat im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie das Halbleitersubstrat **100C**, mit der Ausnahme, dass das Halbleitersubstrat **100D** eine Lebensdauersteuerschicht **210D** anstelle der Lebensdauersteuerschicht **210C** (siehe Fig. 7) enthält.

[0081] Fig. 11 ist eine perspektivische Ansicht, die in schematischer Weise die Lebensdauersteuerschicht **210D** zeigt. Fig. 11 zeigt die Lebensdauersteuerschicht **210D** vergrößert gegenüber dem Substrat **100D**. Wie man anhand von Fig. 10 und Fig. 11 sieht, hat die Lebensdauersteuerschicht **210D** solch eine Form, dass sie in dem Zentralabschnitt **41** vorhanden ist, jedoch nicht in dem Randabschnitt **42** vorhanden ist. In Fig. 11 deutet eine mit Doppelpunkten gestrichelte Linie unterstützend für den Be-

trichter den Umriss des Randabschnitts **42** in einem Tiefenbereich an, in dem die Lebensdauersteuerschicht **210D** angeordnet ist. Es wird hier angenommen, dass die Lebensdauerkillerkonzentration in der Lebensdauersteuerschicht **210D** gleichförmig ist. Die weiteren Verhältnisse für die Lebensdauersteuerschicht **210D** sind im Wesentlichen gleich zu jenen für die Lebensdauersteuerschicht **210C** (siehe **Fig. 7**).

[0082] Aufgrund der Lebensdauersteuerschicht **210C** mit der oben erwähnten Gestalt wird die Dichte der von der Kollektorschicht **200** in die Driftschicht **110** injizierten Löcher in dem Zentralabschnitt **41** niedriger als in dem Randabschnitt **42**. Als ein Ergebnis wird der Widerstand gegenüber dem in der Substratdickenrichtung **103** fließenden Strom in dem Zentralabschnitt **41** höher als in dem Randabschnitt **42**. Dies bedeutet, die Lebensdauersteuerschicht **210D** bildet eine Widerstandssteuerstruktur **300D** (siehe **Fig. 11**), um den Widerstand gegenüber dem in der Substratdickenrichtung **103** fließenden Strom in dem Zentralabschnitt **41** höher zu machen als in dem Randabschnitt **42**.

[0083] Durch die oben erwähnte Widerstandssteuerstruktur **300D** kann ebenfalls eine ähnliche Wirkung zu jener der Widerstandssteuerstruktur **300A** (siehe **Fig. 3**) erhalten werden.

[0084] Es ist ebenfalls möglich, den IGBT **10D** durch verschiedene bekannte Techniken herzustellen. Beispielsweise ist es möglich, die Lebensdauersteuerschicht **210D** dadurch auszubilden, dass lediglich der Zentralabschnitt **41** selektiv einer Protonenbestrahlung oder dergleichen ausgesetzt wird. Die Lebensdauersteuerschicht **210D** kann durch andere Techniken ausgebildet werden.

Fünfte Ausführungsform

[0085] **Fig. 12** ist eine vertikale Querschnittsansicht, die in schematischer Weise einen IGBT **10E** gemäß einer fünften Ausführungsform zeigt. Der IGBT **10E** hat im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie der IGBT **10A** (siehe **Fig. 1** und **Fig. 2**), mit der Ausnahme, dass der IGBT **10E** ein Halbleitersubstrat **100E** anstelle des Halbleitersubstrates **100A** (siehe **Fig. 2**) aufweist. Das Halbleitersubstrat **100E** hat im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie das Halbleitersubstrat **100A**, mit der Ausnahme, dass das Halbleitersubstrat **100E** die Kollektorschicht **200** anstelle der Kollektorschicht **200A** (siehe **Fig. 2**) enthält und eine Pufferschicht **190E** anstelle der Pufferschicht **190** (siehe **Fig. 2**) enthält. Die Kollektorschicht **200** wurde in der dritten Ausführungsform (siehe **Fig. 7**) beschrieben und daher wird eine doppelte Beschreibung hier unterlassen.

[0086] **Fig. 13** ist eine perspektivische Ansicht, die in schematischer Weise die Pufferschicht **190E** zeigt.

Fig. 13 zeigt die Pufferschicht **190E** gegenüber dem Substrat **100E** vergrößert. Weiterhin zeigt **Fig. 14** in schematischer Weise die Dotierungskonzentrationsverteilung der Pufferschicht **190E** in dem Querschnitt, der durch den Zentralabschnitt **41** hindurchgeht.

[0087] Wie in **Fig. 13** und **Fig. 14** gezeigt, ist die Pufferschicht **190E** grob in einen Teil **191**, der in dem Zentralabschnitt **41** angeordnet ist, und einen Teil **192**, der in dem Randabschnitt **42** angeordnet ist, unterteilt. Insbesondere ist die Dotierungskonzentration des Teils **191**, das dem Zentralabschnitt **41** entspricht, auf einen höheren Wert gesetzt als die Dotierungskonzentration des Teils **192**, das dem Randabschnitt **42** entspricht (siehe **Fig. 14**). Dies bedeutet, die Dotierungskonzentration der Pufferschicht **190E** ist in dem Zentralabschnitt **41** höher als in dem Randabschnitt **42**. Die anderen Verhältnisse für die Pufferschicht **190E** sind im Wesentlichen gleich zu jenen für die Pufferschicht **190** (siehe **Fig. 2**).

[0088] Obwohl **Fig. 14** eine Verteilung darstellt, bei der sich die Dotierungskonzentrationen in den Teilen **191** und **192** abrupt ändern, kann die Änderung auch eine Steigung aufweisen (allmählich erfolgen). Weiterhin wird hier als ein Beispiel der Fall beschrieben, in dem der Teil **191** mit hoher Konzentration und der Teil **192** mit niedriger Konzentration beide vom N⁺-Typ sind. Es ist jedoch möglich, einen Konzentrationsbereich zu wählen, bei dem der Teil **192** niedriger Konzentration vom N-Typ ist und der Teil **191** hoher Konzentration vom N⁺-Typ ist.

[0089] Aufgrund der Tatsache, dass die Pufferschicht **190E** mit der oben erwähnten Dotierungskonzentrationsverteilung zwischen der Kollektorschicht **200** und der Driftschicht **110** vorhanden ist, ist der Wirkungsgrad für die Injektion der Löcher, die von der Kollektorschicht **200** in die Driftschicht **110** injiziert werden, in dem Zentralabschnitt **41** kleiner als in dem Randabschnitt **42**. Als ein Ergebnis wird der Widerstand gegenüber dem Stromfluss in der Substratdickenrichtung **103** in dem Zentralabschnitt **41** höher als in dem Randabschnitt **42**. Dies bedeutet, die Pufferschicht **190E** bildet eine Widerstandssteuerstruktur **300E** (siehe **Fig. 13**), um den Widerstand gegenüber dem Stromfluss in der Substratdickenrichtung **103** in dem Zentralabschnitt **41** höher zu machen als in dem Randabschnitt **42**.

[0090] Auch durch die soeben erwähnte Widerstandssteuerstruktur **300E** kann eine ähnliche Wirkung erzielt werden wie durch die Widerstandssteuerstruktur **300A** (siehe **Fig. 3**).

[0091] Es ist ebenfalls möglich, den IGBT **10E** durch verschiedene bekannte Techniken herzustellen. Beispielsweise ist es möglich, beim Ausbilden der Pufferschicht **190E** die Ionenimplantation in dem Zentralabschnitt **41** und dem Randabschnitt **42** gleichzeitig

durchzuführen und eine selektive Ionenimplantation lediglich an dem Zentralabschnitt **41** durchzuführen. Alternativ kann die Pufferschicht **190E** durch andere Verfahren ausgebildet werden.

Sechste Ausführungsform

[0092] Fig. 15 zeigt in schematischer Weise einen IGBT **10F** gemäß einer sechsten Ausführungsform und ist ähnlich zu Fig. 5.

[0093] Der IGBT **10F** hat im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie der IGBT **10E** (siehe Fig. 12), mit der Ausnahme, dass der IGBT **10F** ein Halbleitersubstrat **100F** anstelle des Halbleitersubstrats **100E** (siehe Fig. 12) aufweist. Das Halbleitersubstrat **100F** hat im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie das Halbleitersubstrat **100E**, mit der Ausnahme, dass das Halbleitersubstrat **100F** eine Pufferschicht **190F** anstelle der Pufferschicht **190E** (siehe Fig. 12) beinhaltet.

[0094] Fig. 16 ist eine perspektivische Ansicht, die in schematischer Weise die Pufferschicht **190F** zeigt. Fig. 16 zeigt die Pufferschicht **190F** gegenüber dem Substrat **100F** vergrößert. Wie in Fig. 15 und Fig. 16 ersichtlich ist, hat die Pufferschicht **190F** solch eine Gestalt, dass sie in dem Zentralabschnitt **41** vorhanden ist, jedoch nicht in dem Randabschnitt **42** vorhanden ist. In Fig. 16 deutet eine doppelt gestrichelte Linie unterstützend den Umriss des Randabschnitts **42** in einem Tiefenbereich, in dem die Pufferschicht **190** angeordnet ist, an. Es wird hier angenommen, dass die Dotierungskonzentration in der Pufferschicht **190F** gleichförmig ist. Die weiteren Verhältnisse sind für die Pufferschicht **190F** im Wesentlichen gleich jenen für die Pufferschichten **190** und **190E** (siehe Fig. 2 und Fig. 12).

[0095] In dem Randabschnitt **42**, der nicht die Pufferschicht **190F** aufweist, erstreckt sich die Driftschicht **110** bis zu der Kollektorschicht **200** (siehe den unteren linken Teil von Fig. 15).

[0096] Aufgrund der Tatsache, dass die Pufferschicht **190F** mit der oben erwähnten Gestalt zwischen der Kollektorschicht **200** und der Driftschicht **110** vorhanden ist, wird der Wirkungsgrad für die Injektion der Löcher, die von der Kollektorschicht **200** in die Driftschicht **110** injiziert werden, in dem Zentralabschnitt **41** niedriger als in dem Randabschnitt **42**. Als ein Ergebnis ist der Widerstand gegenüber dem Stromfluss in der Substratdickenrichtung **103** in dem Zentralabschnitt **41** höher als in dem Randabschnitt **42**. Dies bedeutet, die Pufferschicht **190F** bildet eine Widerstandssteuerstruktur **300F** (siehe Fig. 16), um den Widerstand gegenüber dem Stromfluss in der Substratdickenrichtung **103** in dem Zentralabschnitt **41** höher zu machen als in dem Randabschnitt **42**.

[0097] Auch durch die oben erwähnte Widerstandssteuerstruktur **300F** kann eine ähnliche Wirkung erhalten werden wie durch die Widerstandssteuerstruktur **300A** (siehe Fig. 3).

[0098] Es ist ebenfalls möglich, den IGBT **10F** durch verschiedene bekannte Behandlungen herzustellen. Beispielsweise ist es möglich, die Pufferschicht **190F** dadurch auszubilden, dass lediglich der Zentralabschnitt **41** selektiv einer Ionenimplantation unterzogen wird. Alternativ kann die Pufferschicht **190F** auch durch andere Techniken ausgebildet werden.

Siebte Ausführungsform

[0099] Fig. 17 ist eine vertikale Querschnittsansicht, die in schematischer Weise einen IGBT **10G** gemäß einer siebten Ausführungsform zeigt. Der IGBT **10G** hat im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie der IGBT **10A** (siehe Fig. 1 und Fig. 2), mit der Ausnahme, dass der IGBT **10G** ein Halbleitersubstrat **100G** anstelle des Halbleitersubstrats **100A** (siehe Fig. 2) beinhaltet. Das Halbleitersubstrat **100G** hat im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie das Halbleitersubstrat **100A**, mit der Ausnahme, dass das Halbleitersubstrat **100G** die Kollektorschicht **200** anstelle der Kollektorschicht **200A** (siehe Fig. 2) beinhaltet und eine Ladungsträgerspeicherschicht **120G** anstelle der Ladungsträgerspeicherschicht **120** (siehe Fig. 2) beinhaltet. Die Kollektorschicht **200** wurde in der dritten Ausführungsform (siehe Fig. 7) beschrieben und daher wird hier eine doppelte Beschreibung unterlassen.

[0100] Fig. 18 ist eine perspektivische Ansicht, die in schematischer Weise die Ladungsträgerspeicherschicht **120G** zeigt. Fig. 18 zeigt die Ladungsträgerspeicherschicht **120G** vergrößert gegenüber dem Substrat **100G**. Zusätzlich zeigt Fig. 19 in schematischer Weise die Dotierungskonzentrationsverteilung der Ladungsträgerspeicherschicht **120G** in dem Querschnitt, der durch den Zentralabschnitt **41** hindurchgeht.

[0101] Wie in Fig. 18 und Fig. 19 gezeigt, ist die Ladungsträgerspeicherschicht **120G** grob in einen Teil **121**, der in dem Zentralabschnitt **41** angeordnet ist, und einen Teil **122**, der in dem Randabschnitt **42** angeordnet ist, unterteilt. Insbesondere ist die Dotierungskonzentration des Teils **121**, das dem Zentralabschnitt **41** entspricht, auf einen niedrigeren Wert gesetzt als die Dotierungskonzentration des Teils **122**, das dem Randabschnitt **42** entspricht (siehe Fig. 19). Dies bedeutet, die Dotierungskonzentration der Ladungsträgerspeicherschicht **120G** ist in dem Zentralabschnitt **41** niedriger als in dem Randabschnitt **42**. Die weiteren Verhältnisse für die Ladungsträgerspeicherschicht **120G** sind im Wesentlichen gleich jenen für die Ladungsträgerspeicherschicht **120** (siehe Fig. 2).

[0102] Obwohl **Fig. 19** eine Verteilung zeigt, bei der die Dotierungskonzentration sich zwischen den Teilen **121** und **122** abrupt ändert, ist ebenfalls eine Änderung mit einer Steigung (allmähliche Änderung) möglich. Weiterhin wird hier als ein Beispiel der Fall beschrieben, in dem der Teil **121** mit niedrigerer Dotierungskonzentration und der Teil **122** mit höherer Dotierungskonzentration beide vom N⁺-Typ sind. Es ist jedoch möglich, solch einen Konzentrationsbereich für der Teil **121** mit niedrigerer Konzentration zu wählen, dass der Teil **121** mit niedrigerer Konzentration vom N-Typ ist und solch einen Konzentrationsbereich für der Teil **122** mit höherer Konzentration zu wählen, dass der Teil **122** mit höherer Konzentration vom N⁺-Typ ist.

[0103] Aufgrund der Ladungsträgerspeicherschicht **120G** mit der soeben erwähnten Dotierungskonzentrationsverteilung wird der Ladungsträgerspeichereffekt, bei dem von der Kollektorschicht **200** in die Driftschicht **110** injizierte Löcher in der Ladungsträgerspeicherschicht **120G** gespeichert werden, in dem Zentralabschnitt **41** kleiner als in dem Randabschnitt **42**. Der Widerstand gegenüber dem Stromfluss in der Substratdickenrichtung **103** steigt an, wenn der Ladungsträgerspeichereffekt kleiner wird. Deshalb wird der Widerstand in dem Zentralabschnitt **41** höher als in dem Randabschnitt **42**. Dies bedeutet, die Ladungsträgerspeicherschicht **120G** bildet eine Widerstandssteuerstruktur **300G** (siehe **Fig. 18**), um den Widerstand gegenüber dem Stromfluss in der Substratdickenrichtung **103** in dem Zentralabschnitt **41** höher zu machen als in dem Randabschnitt **42**.

[0104] Auch durch die soeben erwähnte Widerstandssteuerstruktur **300G** kann eine ähnliche Wirkung erzielt werden wie durch die Widerstandssteuerstruktur **300A** (siehe **Fig. 3**).

[0105] Es ist ebenfalls möglich, den IGBT **10G** durch verschiedene bekannte Verfahren herzustellen. Beispielsweise ist es möglich, bei der Ausbildung der Ladungsträgerspeicherschicht **120G** eine Ionenimplantation gleichzeitig in dem Zentralabschnitt **41** und dem Randabschnitt **42** durchzuführen und eine Ionenimplantation selektiv lediglich in dem Randabschnitt **42** durchzuführen. Alternativ kann die Ladungsträgerspeicherschicht **120G** durch andere Techniken ausgebildet werden.

Achte Ausführungsform

[0106] **Fig. 20** zeigt in schematischer Weise einen IGBT **10H** gemäß einer achten Ausführungsform und ist ähnlich zu **Fig. 5**.

[0107] Der IGBT **10H** hat im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie der IGBT **10G** (siehe **Fig. 17**), mit der Ausnahme, dass der IGBT **10H** ein Halbleitersubstrat **100H** anstelle des Halbleitersubstrats **100G**

(siehe **Fig. 17**) aufweist. Das Halbleitersubstrat **100H** hat im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie das Halbleitersubstrat **100G**, mit der Ausnahme, dass das Halbleitersubstrat **100H** eine Ladungsträgerspeicherschicht **120H** anstelle der Ladungsträgerspeicherschicht **120G** (siehe **Fig. 17**) enthält.

[0108] **Fig. 21** ist eine perspektivische Ansicht, die in schematischer Weise die Ladungsträgerspeicherschicht **120H** zeigt. **Fig. 21** zeigt die Ladungsträgerspeicherschicht **120H** vergrößert gegenüber dem Substrat **100H**. Wie anhand von **Fig. 20** und **Fig. 21** zu sehen ist, hat die Ladungsträgerspeicherschicht **120H** solch eine Gestalt, dass sie in dem Randabschnitt **42** angeordnet ist, jedoch nicht in dem Zentralabschnitt **41** angeordnet ist. Es wird hier angenommen, dass die Dotierungskonzentration in der Ladungsträgerspeicherschicht **120H** gleichförmig ist. Die weiteren Verhältnisse für die Ladungsträgerspeicherschicht **120H** sind im Wesentlichen die gleichen wie für die Ladungsträgerspeicherschichten **120** und **120G** (siehe **Fig. 2** und **Fig. 17**).

[0109] In dem Zentralabschnitt **41**, der nicht die Ladungsträgerspeicherschicht **120H** aufweist, erstreckt sich die Driftschicht **110** bis zu der Basisschicht **130** (siehe den Teil oben links in **Fig. 20**).

[0110] Aufgrund der Ladungsträgerspeicherschicht **120H** mit der oben erwähnten Gestalt wird der Ladungsträgerspeichereffekt, bei dem die von der Kollektorschicht **200** in die Driftschicht **110** injizierten Löcher in der Ladungsträgerspeicherschicht **120H** gespeichert werden, in dem Zentralabschnitt **41** kleiner als in dem Randabschnitt **42**. Der Widerstand gegenüber dem Stromfluss in der Substratdickenrichtung **103** wächst an, wenn der Ladungsträgerspeichereffekt geringer wird. Daher wird der Widerstand in dem Zentralabschnitt **41** höher als in dem Randabschnitt **42**. Dies bedeutet, die Ladungsträgerspeicherschicht **120H** bildet eine Widerstandssteuerstruktur **300H** (siehe **Fig. 21**), um den Widerstand gegenüber dem Stromfluss in der Substratdickenrichtung **103** in dem Zentralabschnitt **41** höher zu machen als in dem Randabschnitt **42**.

[0111] Auch durch die soeben erwähnte Widerstandssteuerstruktur **300H** kann eine ähnliche Wirkung erhalten werden wie durch die Widerstandssteuerstruktur **300A** (siehe **Fig. 3**).

[0112] Es ist ebenfalls möglich, den IGBT **10H** durch verschiedene bekannte Behandlungen herzustellen. Beispielsweise ist es möglich, die Ladungsträgerspeicherschicht **120H** durch selektive Ionenimplantation lediglich in dem Randabschnitt **42** auszubilden. Alternativ kann die Ladungsträgerspeicherschicht **120H** durch andere Techniken ausgebildet werden.

Neunte Ausführungsform

[0113] **Fig. 22** ist eine vertikale Querschnittsansicht, die in schematischer Weise einen IGBT **10J** gemäß einer neunten Ausführungsform zeigt. Der IGBT **10J** hat im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie der IGBT **10A** (siehe **Fig. 1** und **Fig. 2**), mit der Ausnahme, dass der IGBT **10J** ein Halbleitersubstrat **100J** anstelle des Halbleitersubstrats **100A** (siehe **Fig. 2**) enthält. Das Halbleitersubstrat **100J** hat im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie das Halbleitersubstrat **100A**, mit der Ausnahme, dass das Halbleitersubstrat **100J** die Kollektorschicht **200** anstelle der Kollektorschicht **200A** (siehe **Fig. 2**) enthält und eine Basisschicht **130J** anstelle der Basisschicht **130** (siehe **Fig. 2**) enthält. Die Kollektorschicht **200** wurde bei der dritten Ausführungsform (siehe **Fig. 7**) beschrieben und daher wird eine sich wiederholende Beschreibung hier unterlassen.

[0114] **Fig. 23** ist eine perspektivische Ansicht, die in schematischer Weise die Basisschicht **130J** zeigt. **Fig. 23** zeigt die Basisschicht **130J** gegenüber dem Substrat **100J** vergrößert. Weiterhin zeigt **Fig. 24** in schematischer Weise die Dotierungskonzentrationsverteilung der Basisschicht **130J** in dem Querschnitt, der durch den Zentralabschnitt **41** hindurchgeht.

[0115] Wie in **Fig. 23** und **Fig. 24** gezeigt, ist die Basisschicht **130J** grob in einen Teil **131**, der in dem Zentralabschnitt **41** angeordnet ist, und einen Teil **132**, der in dem Randabschnitt **42** angeordnet ist, unterteilt. Insbesondere ist die Dotierungskonzentration des Teils **131**, der dem Zentralabschnitt **41** entspricht, auf einen höheren Wert gesetzt als die Dotierungskonzentration des Teils **132**, der dem Randabschnitt **42** (siehe **Fig. 24**) entspricht. Dies bedeutet, die Dotierungskonzentration der Basisschicht **130J** ist in dem Zentralabschnitt **41** höher als in dem Randabschnitt **42**. Die weiteren Verhältnisse für die Basisschicht **130J** sind im Wesentlichen die gleichen wie für die Basisschicht **130** (siehe **Fig. 2**).

[0116] Während **Fig. 24** eine Verteilung zeigt, bei der die Dotierungskonzentrationen sich zwischen den Teilen **131** und **132** abrupt ändern, kann die Änderung auch eine Steigung aufweisen (allmählich vonstatten gehen). Weiterhin wird hier als ein Beispiel der Fall beschrieben, in dem der Teil **131** mit der höheren Konzentration und der Teil **132** mit der niedrigeren Konzentration beide vom P-Typ sind. Es ist jedoch möglich, in dem Teil **132** mit niedrigerer Konzentration einen Konzentrationsbereich vom P-Typ zu wählen, der typischerweise als Niedrigkonzentrationsbereich bezeichnet wird, und in dem Teil mit der höheren Konzentration **131** den Konzentrationsbereich so zu wählen, dass der Teil **131** mit höherer Konzentration den P-Typ aufweist.

[0117] Aufgrund der Basisschicht **130J** (mit anderen Worten der Kanalausbildungs-Halbleiterschicht **130J**) mit der oben erwähnten Dotierungskonzentrationsverteilung wird eine Schwellenspannung des MIS-Schaltelements **180** in dem Zentralabschnitt **41** höher als in dem Randabschnitt **42**. Mit anderen Worten, der Kanalwiderstand des MIS-Schaltelements **180** wird bei Anlegen der gleichen Spannung in dem Zentralabschnitt **41** höher als in dem Randabschnitt **42**. Dies resultiert in einem höheren Widerstand gegenüber dem Stromfluss in der Substratdickenrichtung **103** in dem Zentralabschnitt **41** gegenüber dem Randabschnitt **42**. Dies bedeutet, die Basisschicht **130J** bildet eine Widerstandssteuerstruktur **300J** (siehe **Fig. 23**), um den Widerstand gegenüber dem Stromfluss in der Substratdickenrichtung **103** in dem Zentralabschnitt **41** höher zu machen als in dem Randabschnitt **42**.

[0118] Auch durch die soeben erwähnte Widerstandssteuerstruktur **300J** kann eine ähnliche Wirkung erhalten werden wie durch die Widerstandssteuerstruktur **300A** (siehe **Fig. 3**).

[0119] Es ist ebenfalls möglich, den IGBT **10J** durch verschiedene bekannte Behandlungsverfahren herzustellen. Beispielsweise ist es möglich, die Basisschicht **130J** so auszubilden, dass eine gleichzeitige Ionenimplantation in dem Zentralabschnitt **41** und dem Randabschnitt **42** durchgeführt wird und eine selektive Ionenimplantation lediglich in dem Zentralabschnitt **41** durchgeführt wird. Alternativ kann die Basisschicht **130J** durch andere Techniken ausgebildet werden.

Zehnte Ausführungsform

[0120] Es ist möglich, die verschiedenen Komponenten, die die oben erwähnte Widerstandssteuerstruktur **300A** und die weiteren Widerstandssteuerstrukturen ausbilden, in einer Vielzahl von Weisen zu kombinieren. Beispielsweise enthält in dem IGBT **10K**, der in der vertikalen Querschnittsansicht von **Fig. 25** veranschaulicht ist, ein Halbleitersubstrat **100K** die oben erwähnte Kollektorschicht **200A** und die Lebensdauersteuerschicht **210C**.

[0121] Dies bedeutet, eine Widerstandssteuerstruktur **300K** des IGBT **10K** enthält die Kollektorschicht **200A** und die Lebensdauersteuerschicht **210C**. Auch durch die soeben erwähnte Widerstandssteuerstruktur **300K** kann eine ähnliche Wirkung erzielt werden wie durch die Widerstandssteuerstruktur **300A** (siehe **Fig. 3**). Alternativ ist es ebenfalls möglich, drei oder mehr der verschiedenen Komponenten, die die oben erwähnte Widerstandssteuerstruktur **300A** und die weiteren Widerstandssteuerstrukturen ausbilden, zu kombinieren.

[0122] Es ist zu beachten, dass in dem Fall, in dem die Widerstandssteuerstruktur durch zumindest eine der Kollektorschichten **200A** und **200B**, der Lebensdauersteuerschichten **210C** und **210D**, der Pufferschichten **190E** und **190F** ausgebildet wird, die Konfiguration auf der Seite des Schaltelementes **180** im Zentralabschnitt **41** und im Randabschnitt **42** gleich ist, wodurch es möglich ist, eine lokale Konzentration des Stroms beim Schalten zu verhindern.

Elfte Ausführungsform

[0123] Der IGBT wurde oben als ein Beispiel einer Leistungshalbleitervorrichtung beschrieben. Bei der elften und zwölften Ausführungsform wird ein Leistungs-MIS-Feldeffekttransistor (FET) als ein weiteres Beispiel für die Leistungshalbleitervorrichtung gezeigt. Es ist zu beachten, dass ein MISFET in einem Fall, in dem ein Gateisolationsfilm ein Oxidfilm ist, speziell als MOSFET bezeichnet wird.

[0124] Fig. 26 ist eine vertikale Querschnittsansicht, die in schematischer Weise einen Leistungs-MISFET (hier im Folgenden als „MISFET“ abgekürzt) **10L** gemäß der elften Ausführungsform zeigt. Der MISFET **10L** hat im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie der IGBT **10A** (siehe Fig. 1 und Fig. 2), mit der Ausnahme, dass der MISFET **10L** ein Halbleitersubstrat **100L** anstelle des Halbleitersubstrats **100A** (siehe Fig. 2) enthält. Das Halbleitersubstrat **100L** hat im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie das Halbleitersubstrat **100A** mit der Ausnahme, dass das Halbleitersubstrat **100L** nicht die Kollektorschicht **200A** und die Ladungsträgerspeicherschicht **120** enthält, jedoch eine Drainschicht **220L** (entsprechend der „dritten Halbleiterschicht“) anstelle der Pufferschicht **190** enthält.

[0125] Hier werden entsprechend dem Korrespondieren der Komponenten von IGBT und MISFET die Emitterschicht **140**, die Emitterelektrode **254** und die Kollektorelektrode **256** in dem IGBT in dem MISFET als eine Sourceschicht **140**, eine Sourceelektrode **254** und eine Drainelektrode **256** bezeichnet.

[0126] Es ist zu beachten, dass die Kollektorschicht **200A** (siehe Fig. 2) nicht vorhanden ist, wie oben beschrieben wurde. Somit erstreckt sich die Drainschicht **220L** von der Driftschicht **110** zu der zweiten Hauptoberfläche **102** des Substrats **100L**, so dass sie in Kontakt zu der Drainelektrode **256** ist. Weiterhin ist, wie oben beschrieben wurde, die Ladungsträgerspeicherschicht **120** (siehe Fig. 2) nicht vorhanden. Somit sind die Driftschicht **110** und die Basisschicht **130** in Kontakt miteinander.

[0127] Die Drainschicht **220L** ist zwischen der Driftschicht **110** und der zweiten Hauptoberfläche **102** des Substrats **100L** angeordnet und erstreckt sich in der Substratdickenrichtung **103**, welches eine Di-

ckenrichtung der Drainschicht **220L** ist. Mit anderen Worten, die Drainschicht **220L** ist bezüglich der Driftschicht **110** in der Substratdickenrichtung **103** auf der Seite der zweiten Hauptoberfläche **102** angeordnet und zeigt in der Dickenrichtung **103** zu der Driftschicht **110** (liegt dieser gegenüber). Die Drainschicht **220L** ist kontinuierlich zu der Driftschicht **110** (grenzt unmittelbar an diese) und erreicht die zweite Hauptoberfläche **102**. Der Fall, in dem sich die Drainschicht **220L** über das gesamte Substrat (senkrecht zur Substratdickenrichtung **103**) ausdehnt, wird hier als ein Beispiel beschrieben. Bei diesem Beispiel erstreckt sich die Drainschicht **220L** über eine Mehrzahl von MISFET-Einheitselementen, die in dem Elementabschnitt **31** vorhanden sind, wobei sich die Einheits-elemente die Drainschicht **220L** teilen. Weiterhin hat bei diesem Beispiel die Drainschicht **220L** solch eine Gestalt, dass sie sich über den Zentralabschnitt **41** und den Randabschnitt **42** erstreckt.

[0128] Hier wird als ein Beispiel der Fall beschrieben, in dem der Leitungstyp der Drainschicht **220L** der N-Typ ist. Spezieller wird der Fall beschrieben, in dem die Drainschicht **220L** eine Dotierungskonzentration aufweist, die höher ist als jene der Driftschicht **110** und bei dem die Drainschicht **220L** eine N⁺-Schicht ist.

[0129] Fig. 27 ist eine perspektivische Ansicht, die in schematischer Weise die Drainschicht **220L** zeigt. Fig. 27 zeigt die Drainschicht **220L** gegenüber dem Substrat **100L** vergrößert. Weiterhin zeigt Fig. 28 in schematischer Weise die Dotierungskonzentrationsverteilung der Drainschicht **220L** in dem vertikalen Querschnitt, der durch den Zentralabschnitt **41** hindurchgeht.

[0130] Wie in Fig. 27 und Fig. 28 gezeigt, ist die Drainschicht **220L** grob in einen Teil **221**, der in dem Zentralabschnitt **41** angeordnet ist, und einen Teil **222**, der in dem Randabschnitt **42** angeordnet ist, unterteilt. Insbesondere ist die Dotierungskonzentration des Teils **221**, der dem Zentralabschnitt **41** entspricht, auf einen niedrigeren Wert gesetzt als die Dotierungskonzentration des Teils **222**, der dem Randabschnitt **42** entspricht (siehe Fig. 28). Dies bedeutet, die Dotierungskonzentration der Drainschicht **220L** ist in dem Zentralabschnitt **41** geringer als in dem Randabschnitt **42**.

[0131] Obwohl Fig. 28 eine Verteilung zeigt, bei der sich die Dotierungskonzentrationen in den Teilen **221** und **222** abrupt ändern, kann die Änderung allmählich erfolgen (mit einer Steigung). Weiterhin wird hier als ein Beispiel der Fall gezeigt, in dem der Teil mit der niedrigeren Konzentration **221** und der Teil mit der höheren Konzentration **222** beide vom N⁺-Typ sind. Es ist jedoch möglich, solch einen Konzentrationsbereich zu wählen, dass der Teil mit der niedrigeren Konzentration **221** vom N-Typ ist und solch einen

Konzentrationsbereich zu wählen, dass der Teil mit der höheren Konzentration **222** vom N⁺-Typ ist.

[0132] In der Drainschicht **220L** mit der oben erwähnten Dotierungskonzentration wird der Widerstand gegenüber dem Stromfluss in der Substratdickenrichtung **103** in dem Zentralabschnitt **41** höher als in dem Randabschnitt **42**. Dies bedeutet, die Drainschicht **220L** bildet eine Widerstandssteuerstruktur **300L** (siehe Fig. 27), um den Widerstand gegenüber dem Stromfluss in der Substratdickenrichtung **103** in dem Zentralabschnitt **41** höher zu machen als in dem Randabschnitt **42**.

[0133] Auch durch die soeben erwähnte Widerstandssteuerstruktur **300L** kann eine ähnliche Wirkung erhalten werden wie durch die Widerstandssteuerstruktur **300A** (siehe Fig. 3).

[0134] Es ist ebenfalls möglich, den MISFET **10L** durch verschiedene bekannte Behandlungen herzustellen. Beispielsweise ist es möglich, die Drainschicht **220L** so auszubilden, dass eine Ionenimplantation in dem Zentralabschnitt **41** und dem Randabschnitt **42** gleichzeitig durchgeführt wird und lediglich in dem Randabschnitt **42** selektiv eine Ionenimplantation durchgeführt wird. Alternativ kann die Drainschicht **220L** durch andere Techniken ausgebildet werden.

[0135] Es ist zu beachten, dass es ebenfalls möglich ist, die Widerstandssteuerstruktur durch eine Kombination der Drainschicht **220L** und der oben erwähnten Basisschicht **130J** (siehe Fig. 22) auszubilden.

Zwölfte Ausführungsform

[0136] Fig. 29 zeigt in schematischer Weise einen Leistungs-MOSFET **10M** gemäß der zwölften Ausführungsform und ist ähnlich zu Fig. 5.

[0137] Der MISFET **10M** hat im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie der MISFET **10L** (siehe Fig. 26) mit der Ausnahme, dass der MISFET **10M** ein Halbleitersubstrat **100M** anstelle des Halbleitersubstrats **100L** (siehe Fig. 26) enthält. Das Halbleitersubstrat **100M** hat im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie das Halbleitersubstrat **100L** mit der Ausnahme, dass das Halbleitersubstrat **100M** eine Drainschicht **220M** anstelle der Drainschicht **220L** (siehe Fig. 26) enthält.

[0138] Fig. 30 ist eine perspektivische Ansicht, die die Drainschicht **220M** schematisch zeigt. Fig. 30 zeigt die Drainschicht **220M** gegenüber dem Substrat **100M** vergrößert. Wie man anhand von Fig. 29 und Fig. 30 sehen kann, hat die Drainschicht **220L** solch eine Gestalt, dass sie in dem Randabschnitt **42** angeordnet ist, jedoch nicht in dem Zentralabschnitt **41** angeordnet ist. Es wird hier angenommen, dass die Dotierungskonzentration in der Drainschicht

220M gleichförmig ist. Die weiteren Verhältnisse für die Drainschicht **220M** sind im Wesentlichen die gleichen wie für die Drainschicht **220L** (siehe Fig. 26).

[0139] In dem Zentralabschnitt **41**, in dem die Drainschicht **220M** nicht angeordnet ist, erstreckt sich die Driftschicht **110** bis zu der zweiten Hauptoberfläche **102** des Substrats **100M**, so dass sie in Kontakt mit der Drainelektrode **256** ist (siehe den oberen linken Teil von Fig. 29).

[0140] In der Drainschicht **220M** mit der oben erwähnten Gestalt wird der Widerstand gegenüber dem Stromfluss in der Substratdickenrichtung **103** in dem Zentralabschnitt **41** höher als in dem Randabschnitt **42**. Dies bedeutet, die Drainschicht **220M** bildet eine Widerstandssteuerstruktur **300M** (siehe Fig. 30), um den Widerstand gegenüber dem Stromfluss in der Substratdickenrichtung **103** in dem Zentralabschnitt **41** höher zu machen als in dem Randabschnitt **42**.

[0141] Auch durch die soeben erwähnte Widerstandssteuerstruktur **300M** kann eine ähnliche Wirkung erzielt werden wie durch die Widerstandssteuerstruktur **300A** (siehe Fig. 3).

[0142] Es ist ebenfalls möglich, den MISFET **10M** durch verschiedene bekannte Behandlungen herzustellen. Beispielsweise ist es möglich, die Drainschicht **220M** dadurch auszubilden, dass lediglich der Randabschnitt **42** selektiv einer Ionenimplantation unterzogen wird. Alternativ kann die Drainschicht **220M** durch andere Techniken ausgebildet werden.

[0143] Es ist zu beachten, dass es beispielsweise möglich ist, für die Widerstandssteuerstruktur solch eine Konfiguration zu wählen, dass die Drainschicht **220M** und die oben erwähnte Basisschicht **130J** (siehe Fig. 22) miteinander kombiniert werden.

Abwandlungen der ersten bis zwölften Ausführungsform

[0144] Es wurden als Beispiele die Fälle beschrieben, in denen das Schaltelement **180** vom sogenannten Graben-Gate-Typ ist. Abweichend davon ist es ebenfalls möglich, das Schaltelement **180** zu einer Struktur abzuwandeln, bei der der Gateisolationfilm **160** und die Gateelektrode **170** ohne Verwendung des Grabens **150** bei einem sogenannten Schaltelement vom Planargate-Typ auf der ersten Hauptoberfläche **101** geschichtet sind. Die oben erwähnten unterschiedlichen Wirkungen können ebenfalls beim Anwenden des Planargate-Typ-Schaltelements erhalten werden.

Dreizehnte Ausführungsform

[0145] Der IGBT und der Leistungs-MISFET wurden als Beispiele einer Leistungshalbleitervorrich-

tung beschrieben. In einer dreizehnten Ausführungsform wird als ein weiteres Beispiel der Leistungshalbleitervorrichtung eine Leistungsdiode (hier im Folgenden auch als „Diode“ abgekürzt) beschrieben.

[0146] Fig. 31 ist eine vertikale Querschnittsansicht, die in schematischer Weise eine Diode 10N gemäß der dreizehnten Ausführungsform zeigt. Mit Bezugnahme auf Fig. 31 enthält die Diode 10N ein Halbleitersubstrat 100N, eine Kathodenelektrode 264 und eine Anodenelektrode 266. Weiterhin sind in dem Halbleitersubstrat 100N die Driftschicht 110 (entsprechend der „ersten Halbleiterschicht“), eine Kathodenschicht 230 (entsprechend der „dritten Halbleiterschicht“) und eine Anodenschicht 240 (entsprechend der „zweiten Halbleiterschicht“) ausgebildet. Es ist zu beachten, dass die Driftschicht 110 gemäß der ersten Ausführungsform (siehe Fig. 2) vorhanden ist. Somit wird eine sich wiederholende Beschreibung hier unterlassen.

[0147] Die Kathodenschicht 230 ist zwischen der Driftschicht 110 und der ersten Hauptoberfläche 101 des Substrats 100N angeordnet und erstreckt sich in der Substratdickenrichtung 103, welches eine Dickenrichtung der Kathodenschicht 230 ist. Mit anderen Worten, die Kathodenschicht 230 ist bezüglich der Driftschicht 110 in der Substratdickenrichtung 103 auf der Seite der ersten Hauptoberfläche 101 angeordnet und zeigt in der Dickenrichtung 103 zu der Driftschicht 110 (liegt dieser gegenüber). Die Kathodenschicht 230 grenzt unmittelbar an die Driftschicht 110 und erreicht die erste Hauptoberfläche 101. Hier wird als ein Beispiel der Fall beschrieben, bei dem der Leitungstyp der Kathodenschicht 230 ein N-Typ ist. Spezieller wird der Fall beschrieben, bei dem die Kathodenschicht 230 eine Dotierungskonzentration aufweist, die höher als jene der Driftschicht 110 ist, und eine N⁺-Typ-Schicht ist.

[0148] Die Anodenschicht 240 ist zwischen der Driftschicht 110 und der zweiten Hauptoberfläche 102 des Substrats 100N angeordnet und erstreckt sich in der Substratdickenrichtung 103, welches eine Dickenrichtung der Anodenschicht 240 ist. Mit anderen Worten, die Anodenschicht 240 ist bezüglich der Driftschicht 110 in der Substratdickenrichtung 103 auf der Seite der zweiten Hauptoberfläche 102 angeordnet und liegt der Driftschicht 110 in der Dickenrichtung 103 gegenüber (zeigt zu dieser hin). Die Anodenschicht 240 grenzt unmittelbar an die Driftschicht 110 und erreicht die zweite Hauptoberfläche 102. Hier wird als ein Beispiel der Fall beschrieben, bei dem der Leitungstyp der Anodenschicht 240 ein P-Typ ist. Spezieller wird der Fall beschrieben, bei dem die Anodenschicht 240 eine P⁺-Typ-Schicht ist.

[0149] Die Kathodenelektrode 264 ist auf der ersten Hauptoberfläche 101 des Substrats 100N angeordnet und in Kontakt zu der Kathodenschicht 230. Wei-

terhin ist die Anodenelektrode 266 auf der zweiten Hauptoberfläche 102 des Substrats 100N angeordnet und in Kontakt zu der Anodenschicht 240.

[0150] Bei der oben beschriebenen Diode 10N ist es möglich, eine Widerstandssteuerstruktur mit der Anodenschicht 240 auszubilden, indem die Dotierungskonzentrationsverteilung der oben erwähnten Kollektorschicht 200A (siehe Fig. 2 bis Fig. 4) oder die Gestalt der oben erwähnten Kollektorschicht 200B (siehe Fig. 5 und Fig. 6) bei der Anodenschicht 240 angewendet werden.

[0151] Alternativ ist es möglich, eine Widerstandssteuerstruktur auszubilden, indem die oben erwähnte Lebensdauersteuerschicht 210C (siehe Fig. 7 bis Fig. 9) oder die oben erwähnte Lebensdauersteuerschicht 210D (siehe Fig. 10 und Fig. 11) bei der Driftschicht 110 angewendet werden.

[0152] Bei einer weiteren Alternative ist es möglich, eine Widerstandssteuerstruktur auszubilden, indem die oben erwähnte Pufferschicht 190E (siehe Fig. 12 bis Fig. 14) oder die oben erwähnte Pufferschicht 190F (siehe Fig. 15 und Fig. 16) zwischen der Driftschicht 110 und der Anodenschicht 240 hinzugefügt werden.

[0153] Bei noch einer weiteren Alternative können die Dotierungskonzentrationsverteilung der oben erwähnten Ladungsträgerspeicherschicht 120G (siehe Fig. 17 bis Fig. 19) oder die Gestalt der oben erwähnten Ladungsträgerspeicherschicht 120H (siehe Fig. 20 und Fig. 21) bei der Kathodenschicht 230 angewendet werden. Bei solch einem Beispiel ist es möglich, eine Widerstandssteuerstruktur durch die Kathodenschicht 230 auszubilden.

[0154] Es ist zu beachten, dass die oben bei den unterschiedlichen Ausführungsformen beschriebenen verschiedenen Komponenten miteinander kombiniert werden können zum Ausbilden einer Widerstandssteuerstruktur in der Leistungsdiode 10N.

[0155] Es ist ebenfalls möglich, die Leistungsdiode 10N durch verschiedene Behandlungsverfahren herzustellen. In diesem Fall kann beispielsweise das Verfahren zum Ausbilden der oben erwähnten Kollektorschicht 200A oder ein ähnliches Verfahren angewendet werden.

Abwandlungen der ersten bis dreizehnten Ausführungsform

[0156] Es ist zu beachten, dass die entsprechenden Ausführungsformen, die oben beschrieben wurden, in geeigneter Weise miteinander kombiniert werden können, solange dies nicht zu Inkonsistenzen führt.

Patentansprüche

1. Leistungshalbleitervorrichtung (10A, 10K, 10N) mit

einem Halbleitersubstrat (100A, 100K, 100N), in dem ein Strom in einer Dickenrichtung (103) des Halbleitersubstrats fließt,

wobei das Halbleitersubstrat eine Widerstandssteuerstruktur (300A, 300K) enthält, die so ausgelegt ist, dass ein Widerstand gegenüber dem Strom in einem Zentralabschnitt (41) des Halbleitersubstrats höher wird als in einem Randabschnitt (42) des Halbleitersubstrats, der den Zentralabschnitt des Halbleitersubstrats lateral umgibt,

wobei das Halbleitersubstrat enthält:

eine erste Halbleiterschicht (110) eines ersten Leitungstyps, und

eine zweite Halbleiterschicht (200A, 240) eines zweiten Leitungstyps, die der ersten Halbleiterschicht (110) in der Dickenrichtung gegenüberliegt, wobei die zweite Halbleiterschicht (200A, 240) eine niedrigere Dotierungskonzentration in dem Zentralabschnitt (41) aufweist als in dem Randabschnitt (42), und die Widerstandssteuerstruktur die zweite Halbleiterschicht (200A, 240) enthält.

2. Leistungshalbleitervorrichtung (10B, 10N) mit einem Halbleitersubstrat (100B, 100N), in dem ein Strom in einer Dickenrichtung (103) des Halbleitersubstrats fließt,

wobei das Halbleitersubstrat eine Widerstandssteuerstruktur (300B) enthält, die so ausgelegt ist, dass ein Widerstand gegenüber dem Strom in einem Zentralabschnitt (41) des Halbleitersubstrats höher wird als in einem Randabschnitt (42) des Halbleitersubstrats, der den Zentralabschnitt des Halbleitersubstrats lateral umgibt,

wobei das Halbleitersubstrat aufweist:

eine erste Halbleiterschicht (110) eines ersten Leitungstyps, und

eine zweite Halbleiterschicht (200B, 240) eines zweiten Leitungstyps, die der ersten Halbleiterschicht (110) in der Dickenrichtung gegenüberliegt, wobei die zweite Halbleiterschicht (200B, 240) eine Kollektorschicht (200B) eines Bipolartransistors mit isoliertem Gate (IGBT) oder eine Anodenschicht (240) einer Diode ist,

wobei die zweite Halbleiterschicht (200B, 240) solch eine Gestalt aufweist, dass sie in dem Randabschnitt (42) angeordnet ist, aber nicht in dem Zentralabschnitt (41) angeordnet ist,

wobei die zweite Halbleiterschicht (200B, 240) sich über den gesamten Randabschnitt (42) erstreckt und wobei die Widerstandssteuerstruktur die zweite Halbleiterschicht (200B, 240) enthält.

3. Leistungshalbleitervorrichtung (10C, 10N) mit einem Halbleitersubstrat (100C, 100N), in dem ein Strom in einer Dickenrichtung (103) des Halbleitersubstrats fließt,

wobei das Halbleitersubstrat eine Widerstandssteuerstruktur (300C) enthält, die so ausgelegt ist, dass ein Widerstand gegenüber dem Strom in einem Zentralabschnitt (41) des Halbleitersubstrats höher wird als in einem Randabschnitt (42) des Halbleitersubstrats, der den Zentralabschnitt des Halbleitersubstrats lateral umgibt,

wobei das Halbleitersubstrat enthält:

eine erste Halbleiterschicht (110) eines ersten Leitungstyps,

eine zweite Halbleiterschicht (200, 200A, 200B, 240) eines zweiten Leitungstyps, die der ersten Halbleiterschicht (110) in der Dickenrichtung gegenüberliegt, und

eine Lebensdauersteuerschicht (210C), die in der ersten Halbleiterschicht (110) vorhanden ist und der zweiten Halbleiterschicht (200, 200A, 200B, 240) in der Dickenrichtung gegenüberliegt, wobei sich die Lebensdauersteuerschicht (210C) lateral so ausdehnt, dass sie sich über den Zentralabschnitt (41) und den Randabschnitt (42) hinweg erstreckt,

wobei die Lebensdauersteuerschicht (210C) eine höhere Lebensdauerkillerkonzentration in dem Zentralabschnitt (41) aufweist als in dem Randabschnitt (42), und

wobei die Widerstandssteuerstruktur die Lebensdauersteuerschicht (210C) enthält.

4. Leistungshalbleitervorrichtung (10D, 10N) mit einem Halbleitersubstrat (100D, 100N), in dem ein Strom in einer Dickenrichtung (103) des Halbleitersubstrats fließt,

wobei das Halbleitersubstrat eine Widerstandssteuerstruktur (300D) enthält, die so ausgelegt ist, dass ein Widerstand gegenüber dem Strom in einem Zentralabschnitt (41) des Halbleitersubstrats höher wird als in einem Randabschnitt (42) des Halbleitersubstrats, der den Zentralabschnitt des Halbleitersubstrats lateral umgibt,

wobei das Halbleitersubstrat aufweist:

eine erste Halbleiterschicht (110) eines ersten Leitungstyps,

eine zweite Halbleiterschicht (200, 200A, 200B, 240) eines zweiten Leitungstyps, die der ersten Halbleiterschicht in der Dickenrichtung gegenüberliegt, und

eine Lebensdauersteuerschicht (210D), die in der ersten Halbleiterschicht (110) vorhanden ist und der zweiten Halbleiterschicht (200, 200A, 200B, 240) in der Dickenrichtung gegenüberliegt, wobei die Lebensdauersteuerschicht (210D) solch eine Gestalt hat, dass sie in dem Zentralabschnitt (41) vorhanden ist, aber nicht in dem Randabschnitt (42) vorhanden ist,

wobei sich die Lebensdauersteuerschicht (210D) über den gesamten Zentralabschnitt (41) erstreckt und

wobei die Widerstandssteuerstruktur die Lebensdauersteuerschicht (210D) enthält.

5. Leistungshalbleitervorrichtung (10E, 10N) mit

einem Halbleitersubstrat (100E, 100N), in dem ein Strom in einer Dickenrichtung (103) des Halbleitersubstrats fließt,

wobei das Halbleitersubstrat eine Widerstandssteuerstruktur (300E) enthält, die so ausgelegt ist, dass ein Widerstand gegenüber dem Strom in einem Zentralabschnitt (41) des Halbleitersubstrats höher wird als in einem Randabschnitt (42) des Halbleitersubstrats, der den Zentralabschnitt des Halbleitersubstrats lateral umgibt,

wobei das Halbleitersubstrat aufweist:

eine erste Halbleiterschicht (110) eines ersten Leitungstyps,

eine zweite Halbleiterschicht (200, 200A, 200B, 240) eines zweiten Leitungstyps, die der ersten Halbleiterschicht (110) in der Dickenrichtung gegenüberliegt, und

eine Pufferschicht (190E) des ersten Leitungstyps, die zwischen der ersten Halbleiterschicht (110) und der zweiten Halbleiterschicht (200, 200A, 200B, 240) vorhanden ist und eine höhere Dotierungskonzentration aufweist als die erste Halbleiterschicht (110), wobei die Pufferschicht (190E) in Kontakt mit der ersten Halbleiterschicht (110) und der zweiten Halbleiterschicht (200, 200A, 200B, 240) ist und sich lateral so ausdehnt, dass sie sich über den Zentralabschnitt (41) und den Randabschnitt (42) hinweg erstreckt, wobei die Pufferschicht (190E) eine höhere Dotierungskonzentration in dem Zentralabschnitt (41) aufweist wie in dem Randabschnitt (42), und wobei die Widerstandssteuerstruktur die Pufferschicht (190E) enthält.

6. Leistungshalbleitervorrichtung (10F, 10N) mit einem Halbleitersubstrat (100F, 100N), in dem ein Strom in einer Dickenrichtung (103) des Halbleitersubstrats fließt,

wobei das Halbleitersubstrat eine Widerstandssteuerstruktur (300F) enthält, die so ausgelegt ist, dass ein Widerstand gegenüber dem Strom in einem Zentralabschnitt (41) des Halbleitersubstrats höher wird als in einem Randabschnitt (42) des Halbleitersubstrats, der den Zentralabschnitt des Halbleitersubstrats lateral umgibt,

wobei das Halbleitersubstrat aufweist:

eine erste Halbleiterschicht (110) eines ersten Leitungstyps,

eine zweite Halbleiterschicht (200, 200A, 200B, 240) eines zweiten Leitungstyps, die der ersten Halbleiterschicht (110) in der Dickenrichtung gegenüberliegt, und

eine Pufferschicht (190F) des ersten Leitungstyps, die zwischen der ersten Halbleiterschicht (110) und der zweiten Halbleiterschicht (200, 200A, 200B, 240) vorhanden ist und eine höhere Dotierungskonzentration aufweist als die erste Halbleiterschicht (110), wobei die Pufferschicht (190F) in Kontakt mit der ersten Halbleiterschicht (110) und der zweiten Halbleiterschicht (200, 200A, 200B, 240) ist,

wobei die Pufferschicht (190F) solch eine Gestalt aufweist, dass sie in dem Zentralabschnitt (41) vorhanden ist, aber nicht in dem Randabschnitt (42) vorhanden ist,

wobei sich die Pufferschicht (190F) über den gesamten Zentralabschnitt (41) erstreckt und

wobei die Widerstandssteuerstruktur die Pufferschicht (190F) enthält.

7. Leistungshalbleitervorrichtung (10G) mit einem Halbleitersubstrat (100G), in dem ein Strom in einer Dickenrichtung (103) des Halbleitersubstrats fließt,

wobei das Halbleitersubstrat eine Widerstandssteuerstruktur (300G) enthält, die so ausgelegt ist, dass ein Widerstand gegenüber dem Strom in einem Zentralabschnitt (41) des Halbleitersubstrats höher wird als in einem Randabschnitt (42) des Halbleitersubstrats, der den Zentralabschnitt des Halbleitersubstrats lateral umgibt,

wobei das Halbleitersubstrat aufweist:

eine erste Halbleiterschicht (110) eines ersten Leitungstyps,

eine zweite Halbleiterschicht (200, 200A, 200B) eines zweiten Leitungstyps, die der ersten Halbleiterschicht (110) in der Dickenrichtung gegenüberliegt, und

eine Ladungsträgerspeicherschicht (120G) des ersten Leitungstyps, die auf der Seite der ersten Halbleiterschicht (110) angeordnet ist, welche in der Dickenrichtung jener Seite der ersten Halbleiterschicht (110), auf der die zweite Halbleiterschicht (200, 200A, 200B) angeordnet ist, gegenüber liegt und eine höhere Dotierungskonzentration aufweist als die erste Halbleiterschicht (110), wobei sich die Ladungsträgerspeicherschicht (120G) lateral so ausdehnt, dass sie sich über den Zentralabschnitt (41) und den Randabschnitt (42) hinweg erstreckt,

wobei die Ladungsträgerspeicherschicht (120G) eine niedrigere Dotierungskonzentration in dem Zentralabschnitt (41) aufweist wie in dem Randabschnitt (42), und

wobei die Widerstandssteuerstruktur die Ladungsträgerspeicherschicht (120G) enthält.

8. Leistungshalbleitervorrichtung (10H) mit einem Halbleitersubstrat (100H), in dem ein Strom in einer Dickenrichtung (103) des Halbleitersubstrats fließt,

wobei das Halbleitersubstrat eine Widerstandssteuerstruktur (300H) enthält, die so ausgelegt ist, dass ein Widerstand gegenüber dem Strom in einem Zentralabschnitt (41) des Halbleitersubstrats höher wird als in einem Randabschnitt (42) des Halbleitersubstrats, der den Zentralabschnitt des Halbleitersubstrats lateral umgibt,

wobei das Halbleitersubstrat aufweist:

eine erste Halbleiterschicht (110) eines ersten Leitungstyps,

eine zweite Halbleiterschicht (200, 200A, 200B) eines zweiten Leitungstyps, die der ersten Halbleiterschicht (110) in der Dickenrichtung gegenüberliegt, und eine Ladungsträgerspeicherschicht (120H) des ersten Leitungstyps, die der ersten Halbleiterschicht (110) auf einer Seite gegenüber der zweiten Halbleiterschicht (200, 200A, 200B) in der Dickenrichtung gegenüberliegt, und eine höhere Dotierungskonzentration aufweist als die erste Halbleiterschicht (110), wobei die Ladungsträgerspeicherschicht (120H) solch eine Gestalt aufweist, dass sie in dem Randabschnitt (42) vorhanden ist, aber nicht in dem Zentralabschnitt (41) vorhanden ist, wobei sich die Ladungsträgerspeicherschicht (120H) über den gesamten Randabschnitt (42) erstreckt und wobei die Widerstandssteuerstruktur die Ladungsträgerspeicherschicht (120H) enthält.

9. Leistungshalbleitervorrichtung (10L) mit einem Halbleitersubstrat (100L), in dem ein Strom in einer Dickenrichtung (103) des Halbleitersubstrats fließt, wobei das Halbleitersubstrat eine Widerstandssteuerstruktur (300L) enthält, die so ausgelegt ist, dass ein Widerstand gegenüber dem Strom in einem Zentralabschnitt (41) des Halbleitersubstrats höher wird als in einem Randabschnitt (42) des Halbleitersubstrats, der den Zentralabschnitt des Halbleitersubstrats lateral umgibt, wobei das Halbleitersubstrat aufweist: eine erste Halbleiterschicht (110) eines ersten Leitungstyps, und eine dritte Halbleiterschicht (220L) des ersten Leitungstyps, die der ersten Halbleiterschicht (110) in der Dickenrichtung gegenüberliegt und eine höhere Dotierungskonzentration aufweist als die erste Halbleiterschicht (110), wobei die erste Halbleiterschicht (110) und die dritte Halbleiterschicht (220L) eine Driftschicht und eine Drainschicht eines MISFET bilden, wobei die Drainschicht in Kontakt mit der Driftschicht und einer Kollektorelektrode (256) ist, wobei sich die Drainschicht lateral so ausdehnt, dass sie sich über den Zentralabschnitt (41) und den Randabschnitt (42) hinweg erstreckt, wobei die Drainschicht eine niedrigere Dotierungskonzentration in dem Zentralabschnitt (41) aufweist wie in dem Randabschnitt (42), und wobei die Widerstandssteuerstruktur die Drainschicht enthält.

10. Leistungshalbleitervorrichtung (10M) mit einem Halbleitersubstrat (100M), in dem ein Strom in einer Dickenrichtung (103) des Halbleitersubstrats fließt, wobei das Halbleitersubstrat eine Widerstandssteuerstruktur (300M) enthält, die so ausgelegt ist, dass ein Widerstand gegenüber dem Strom in einem Zentralabschnitt (41) des Halbleitersubstrats höher wird als in einem Randabschnitt (42) des Halbleitersub-

strats, der den Zentralabschnitt des Halbleitersubstrats lateral umgibt, wobei das Halbleitersubstrat aufweist: eine erste Halbleiterschicht (110) eines ersten Leitungstyps, und eine dritte Halbleiterschicht (220M) des ersten Leitungstyps, die in der Dickenrichtung der ersten Halbleiterschicht (110) gegenüberliegt und eine höhere Dotierungskonzentration aufweist als die erste Halbleiterschicht (110), wobei die erste Halbleiterschicht (110) und die dritte Halbleiterschicht (220M) eine Driftschicht und eine Drainschicht eines MISFET bilden, wobei die Drainschicht in Kontakt mit der Driftschicht und einer Kollektorelektrode (256) ist, wobei die Drainschicht solch eine Gestalt aufweist, dass sie in dem Randabschnitt (42) vorhanden ist, aber nicht in dem Zentralabschnitt (41), wobei sich die Drainschicht über den gesamten Randabschnitt (42) erstreckt und wobei die Widerstandssteuerstruktur die Drainschicht enthält.

11. Leistungshalbleitervorrichtung (10J) mit einem Halbleitersubstrat (100J), in dem ein Strom in einer Dickenrichtung (103) des Halbleitersubstrats fließt, wobei das Halbleitersubstrat eine Widerstandssteuerstruktur (300J) enthält, die so ausgelegt ist, dass ein Widerstand gegenüber dem Strom in einem Zentralabschnitt (41) des Halbleitersubstrats höher wird als in einem Randabschnitt (42) des Halbleitersubstrats, der den Zentralabschnitt des Halbleitersubstrats lateral umgibt, wobei das Halbleitersubstrat eine Mehrzahl von Schaltelementen (180) mit einem MIS-Aufbau aufweist, die einen Strom anschalten/ausschalten, wobei der MIS-Aufbau eine Kanalausbildungs-Halbleiterschicht (130J) aufweist, welches eine Halbleiterschicht ist, in der ein Kanal ausgebildet wird, wobei sich die Kanalausbildungs-Halbleiterschicht (130J) lateral so ausdehnt, dass sie sich über den Zentralabschnitt (41) und den Randabschnitt (42) hinweg erstreckt und eine höhere Dotierungskonzentration in dem Zentralabschnitt (41) aufweist als in dem Randabschnitt (42), und wobei die Widerstandssteuerstruktur die Kanalausbildungs-Halbleiterschicht (130J) aufweist.

12. Leistungshalbleitervorrichtung (10N) mit einem Halbleitersubstrat (100N) mit einer ersten Hauptoberfläche (101) und einer zweiten Hauptoberfläche (102), in dem ein Strom in einer Dickenrichtung (103) des Halbleitersubstrats fließt, wobei das Halbleitersubstrat eine Widerstandssteuerstruktur enthält, die so ausgelegt ist, dass ein Widerstand gegenüber dem Strom in einem Zentralabschnitt (41) des Halbleitersubstrats höher wird als in einem Randabschnitt (42) des Halbleitersubstrats,

der den Zentralabschnitt des Halbleitersubstrats lateral umgibt,
 wobei das Halbleitersubstrat aufweist:
 eine erste Halbleiterschicht (110) eines ersten Leitungstyps,
 eine zweite Halbleiterschicht (240) eines zweiten Leitungstyps, welche bezüglich der ersten Halbleiterschicht (110) in der Dickenrichtung (103) auf der Seite der ersten Hauptoberfläche (101) angeordnet ist, und
 eine dritte Halbleiterschicht (230) des ersten Leitungstyps, welche bezüglich der ersten Halbleiterschicht (110) in der Dickenrichtung (103) auf der Seite der zweiten Hauptoberfläche (102) der zweiten Halbleiterschicht (240) gegenüberliegt und eine höhere Dotierungskonzentration aufweist als die erste Halbleiterschicht (110), wobei die zweite Halbleiterschicht (240) und die dritte Halbleiterschicht (230) eine Anodenschicht und eine Kathodenschicht einer Diode bilden,
 wobei sich die Kathodenschicht lateral so ausdehnt, dass sie sich über den Zentralabschnitt (41) und den Randabschnitt (42) hinweg erstreckt,
 wobei die Kathodenschicht eine niedrigere Dotierungskonzentration in dem Zentralabschnitt (41) aufweist als in dem Randabschnitt (42), und
 wobei die Widerstandssteuerstruktur die Kathodenschicht aufweist.

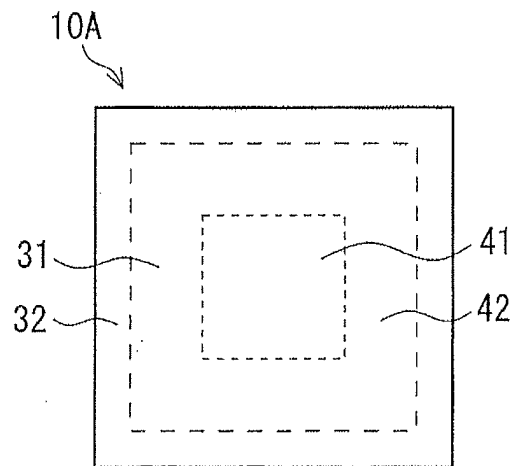
wobei die Kathodenschicht solch eine Gestalt hat, dass sie in dem Randabschnitt (42) vorhanden ist, jedoch nicht in dem Zentralabschnitt (41) vorhanden ist, und
 wobei sich die Kathodenschicht über den gesamten Randabschnitt (42) erstreckt,
 wobei die Widerstandssteuerstruktur die Kathodenschicht aufweist.

Es folgen 18 Seiten Zeichnungen

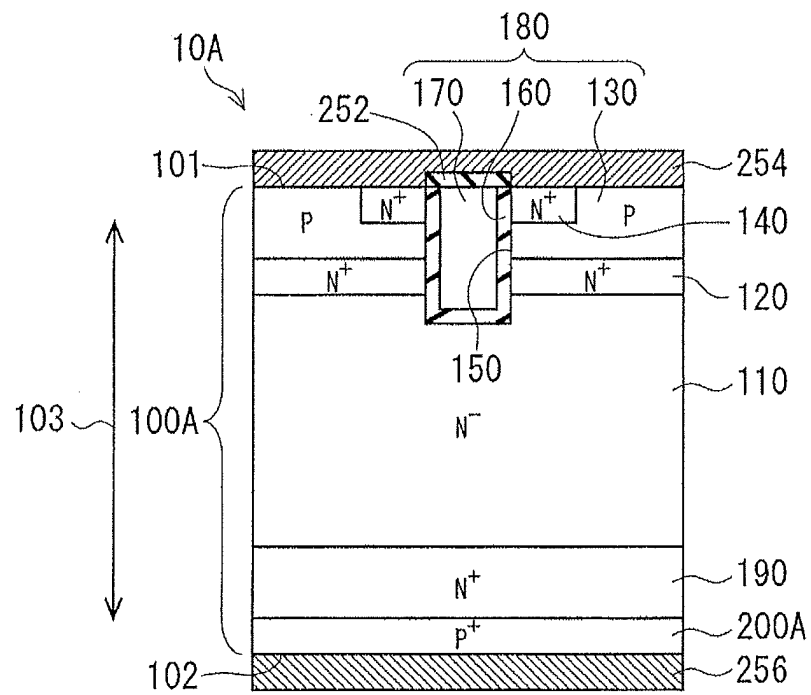
13. Leistungshalbleitervorrichtung (10N) mit einem Halbleitersubstrat (100N) mit einer ersten Hauptoberfläche (101) und einer zweiten Hauptoberfläche (102), in dem ein Strom in einer Dickenrichtung (103) des Halbleitersubstrats fließt,
 wobei das Halbleitersubstrat eine Widerstandssteuerstruktur enthält, die so ausgelegt ist, dass ein Widerstand gegenüber dem Strom in einem Zentralabschnitt (41) des Halbleitersubstrats höher wird als in einem Randabschnitt (42) des Halbleitersubstrats, der den Zentralabschnitt des Halbleitersubstrats lateral umgibt,
 wobei das Halbleitersubstrat aufweist:
 eine erste Halbleiterschicht (110) eines ersten Leitungstyps,
 eine zweite Halbleiterschicht (240) eines zweiten Leitungstyps, welche bezüglich der ersten Halbleiterschicht (110) in der Dickenrichtung (103) auf der Seite der ersten Hauptoberfläche (101) angeordnet ist, und
 eine dritte Halbleiterschicht (230) des ersten Leitungstyps, welche bezüglich der ersten Halbleiterschicht (110) in der Dickenrichtung (103) auf der Seite der zweiten Hauptoberfläche (102) der zweiten Halbleiterschicht (240) gegenüberliegt und eine höhere Dotierungskonzentration aufweist als die erste Halbleiterschicht (110), wobei die zweite Halbleiterschicht (240) und die dritte Halbleiterschicht (230) eine Anodenschicht und eine Kathodenschicht einer Diode bilden,

Anhängende Zeichnungen

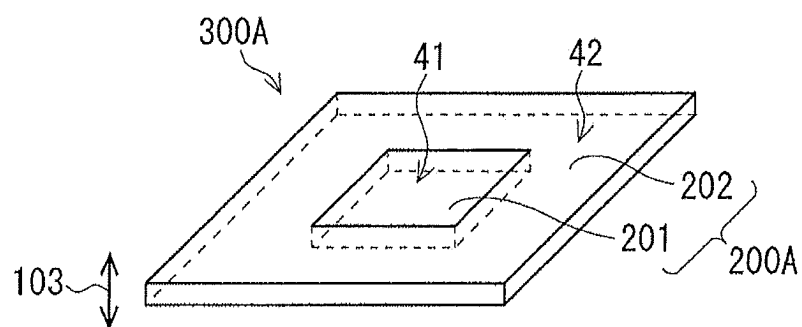
F I G . 1



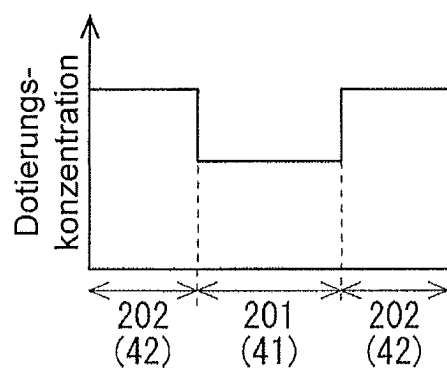
F I G . 2



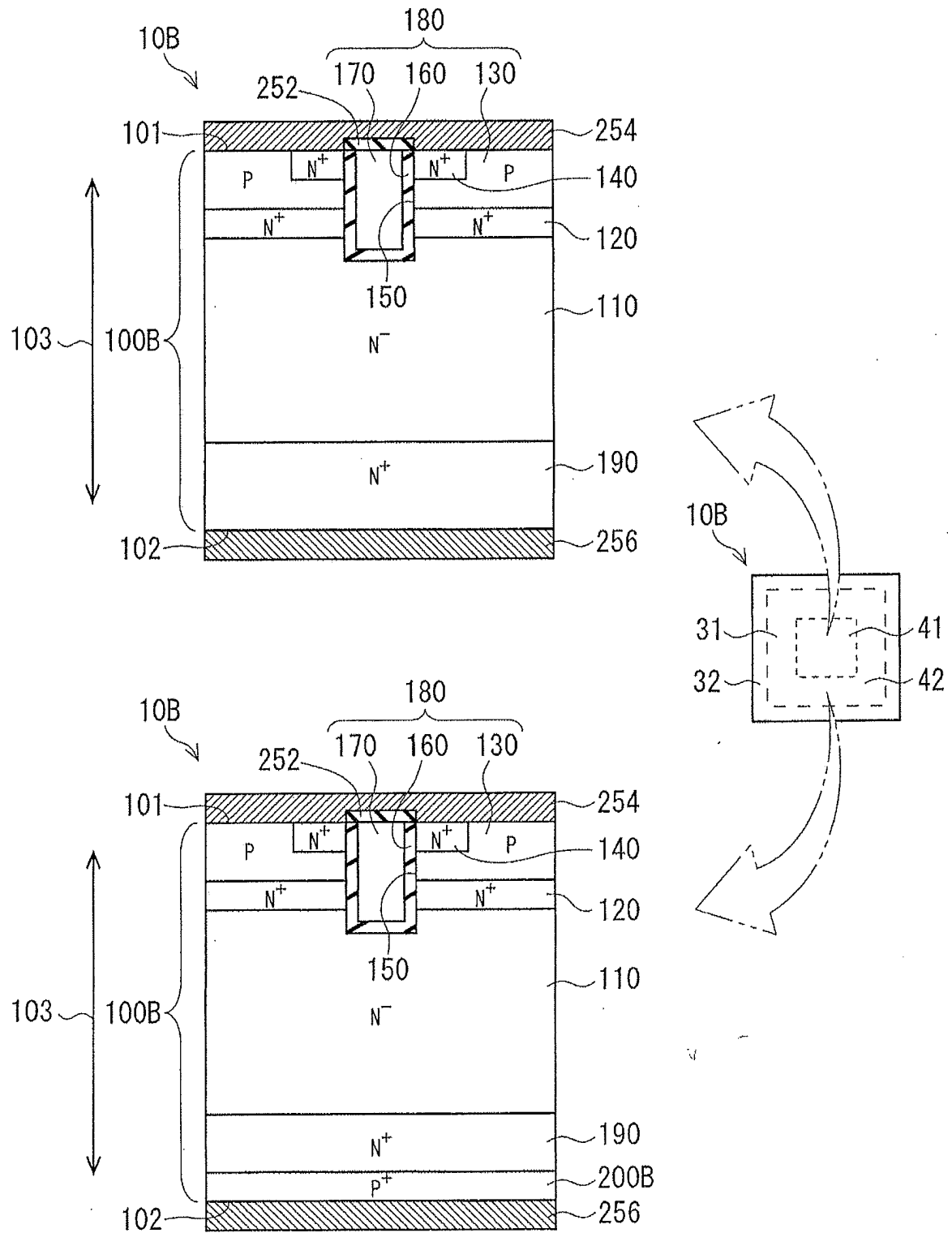
F I G . 3



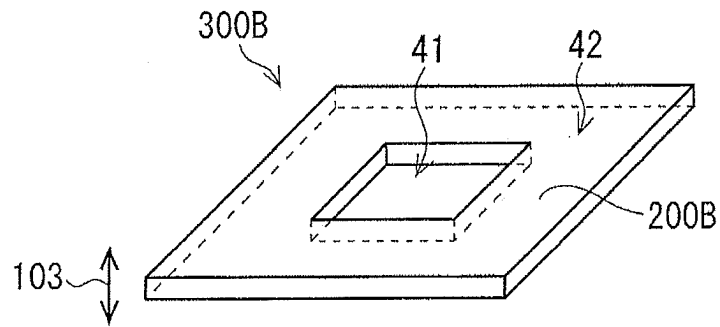
F I G . 4



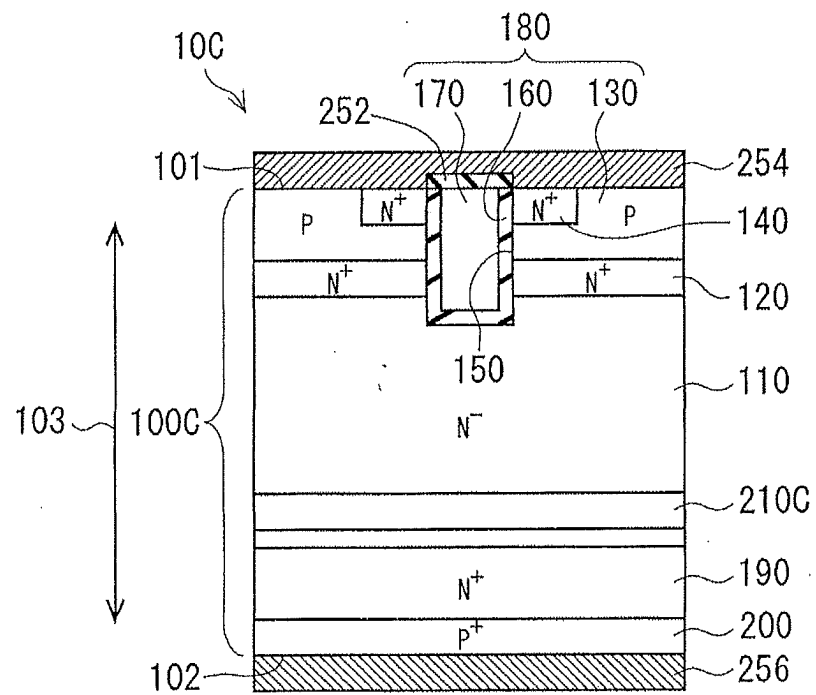
F I G . 5



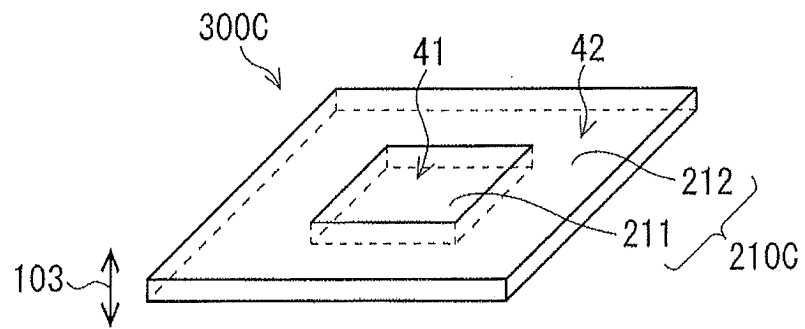
F I G . 6



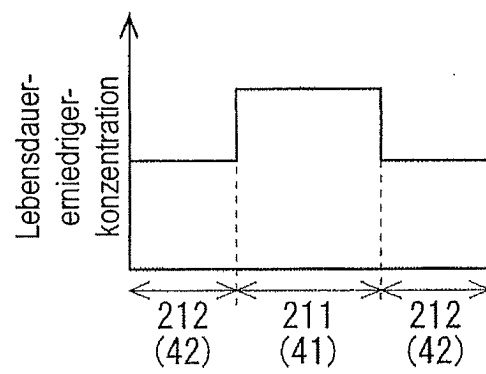
F I G . 7



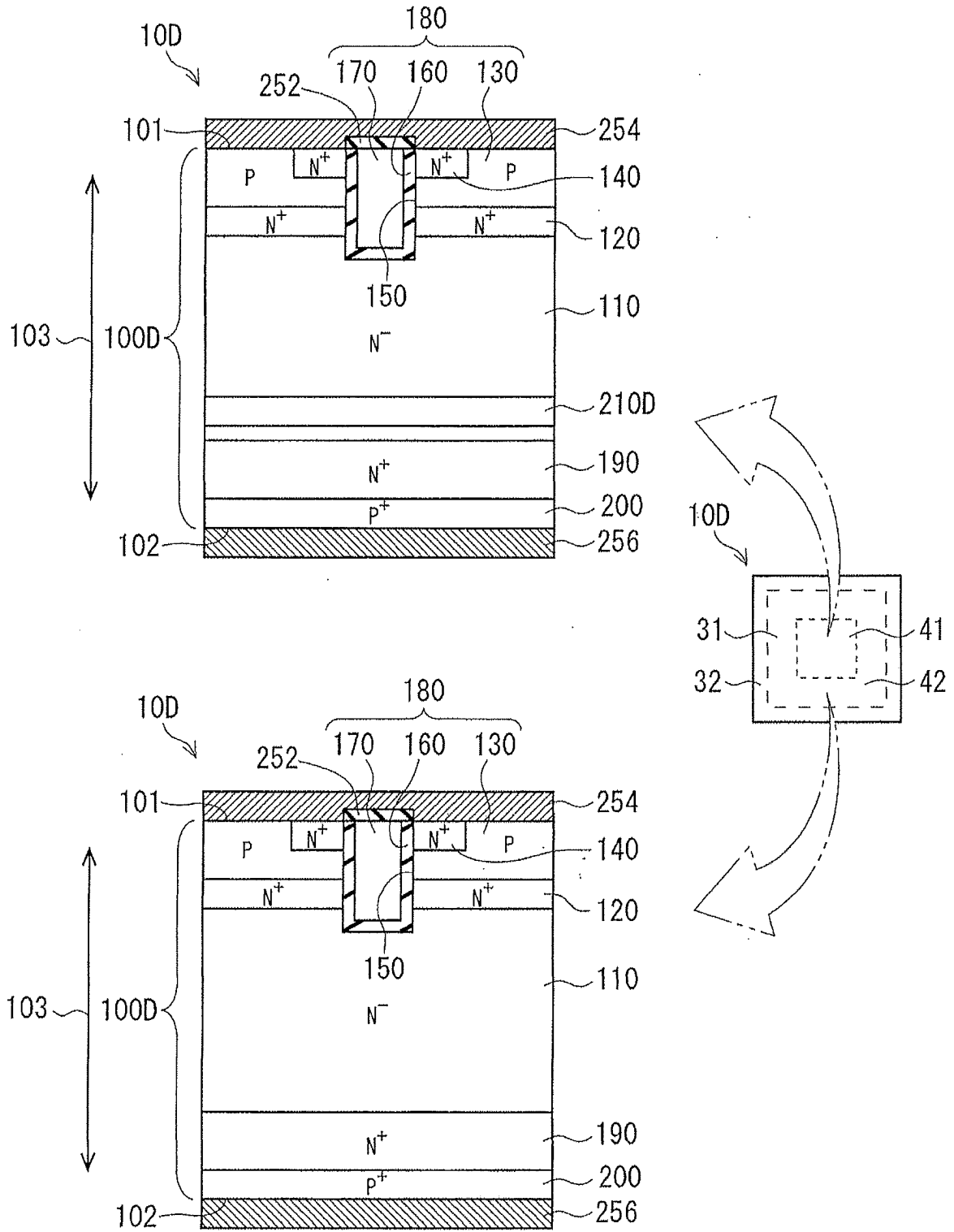
F I G . 8



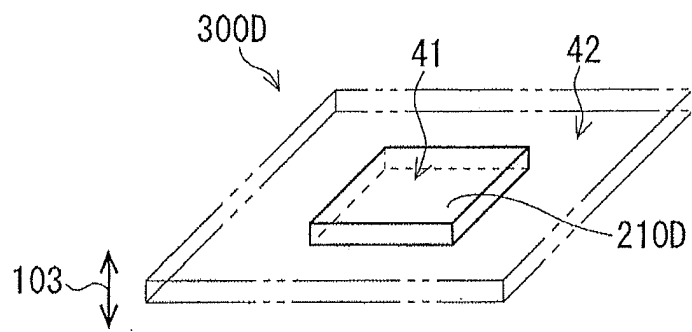
F I G . 9



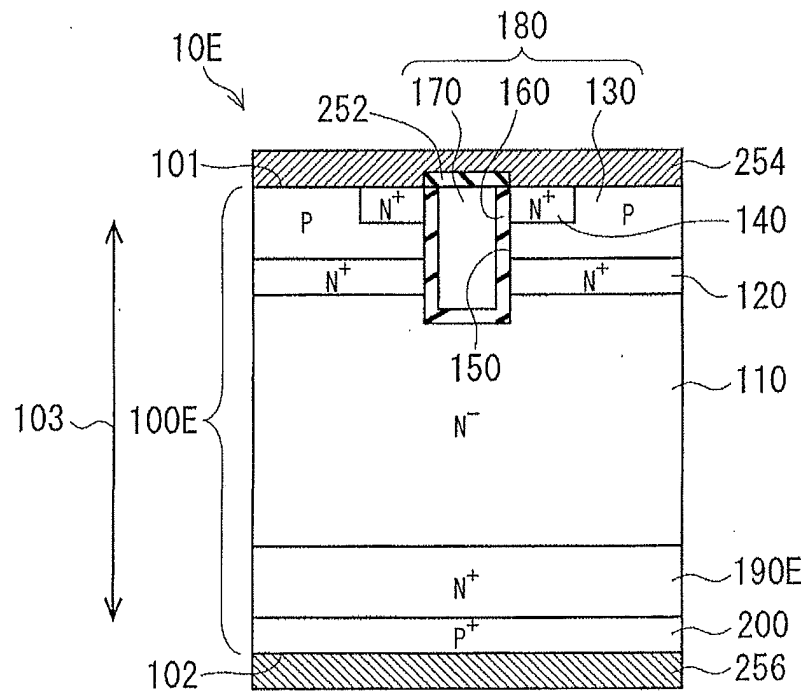
F I G . 1 0



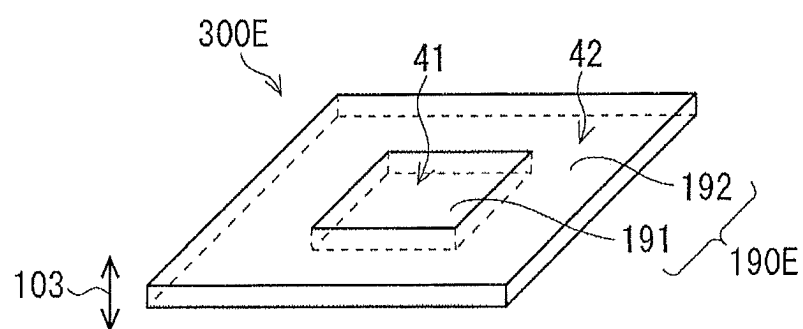
F I G . 1 1



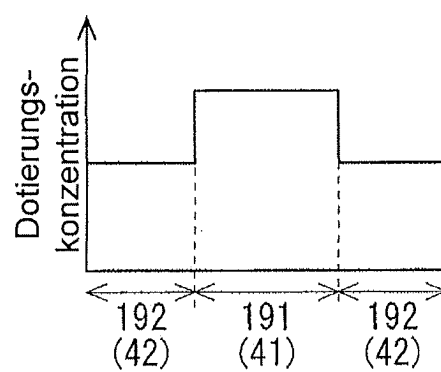
F I G . 1 2



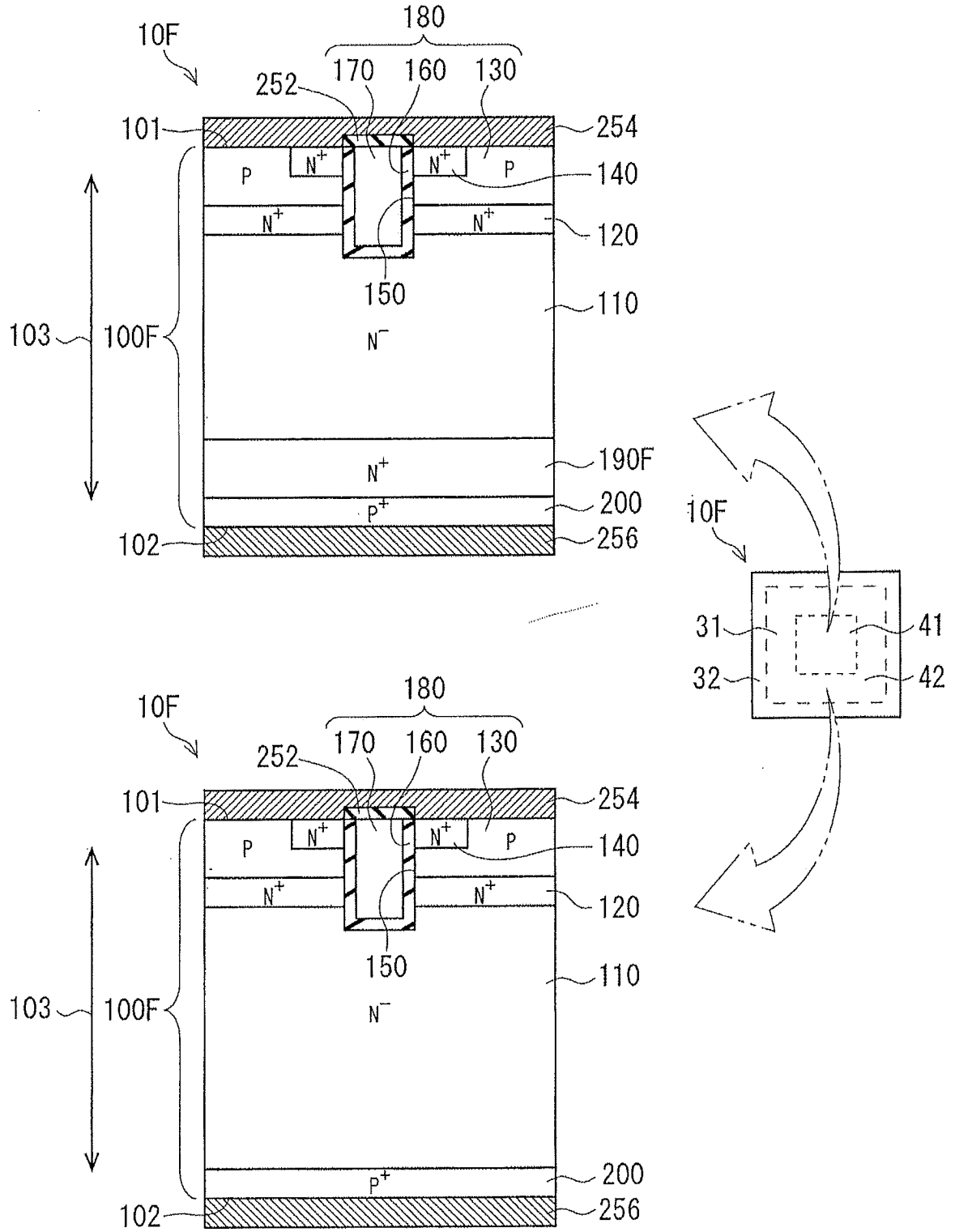
F I G . 1 3



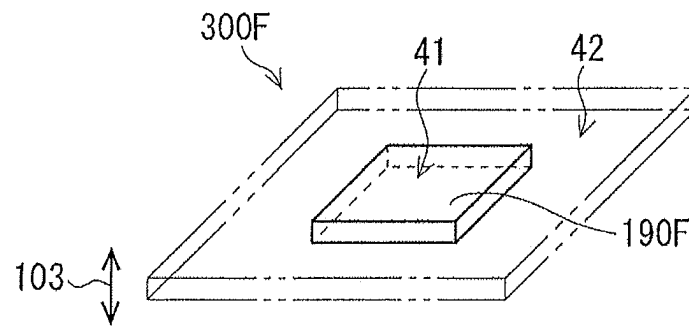
F I G . 1 4



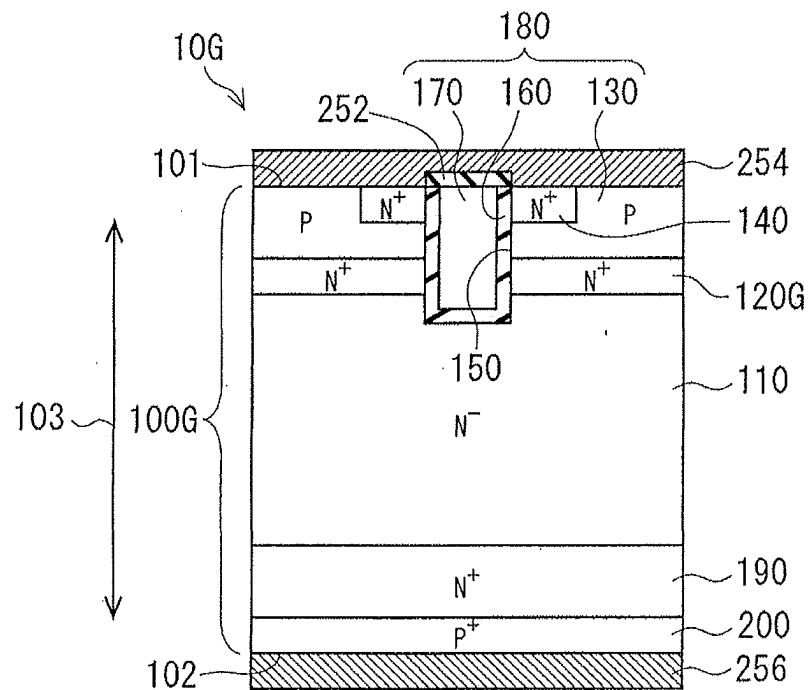
F I G . 1 5



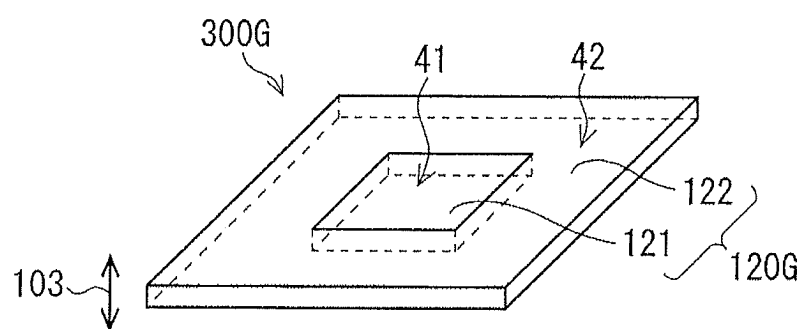
F I G . 1 6



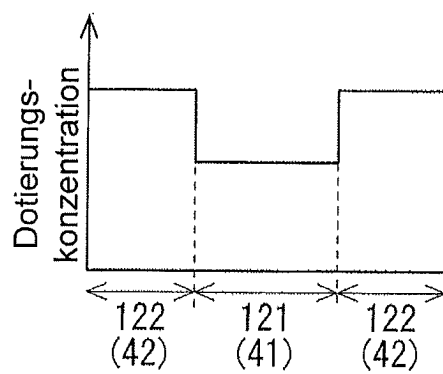
F I G . 1 7



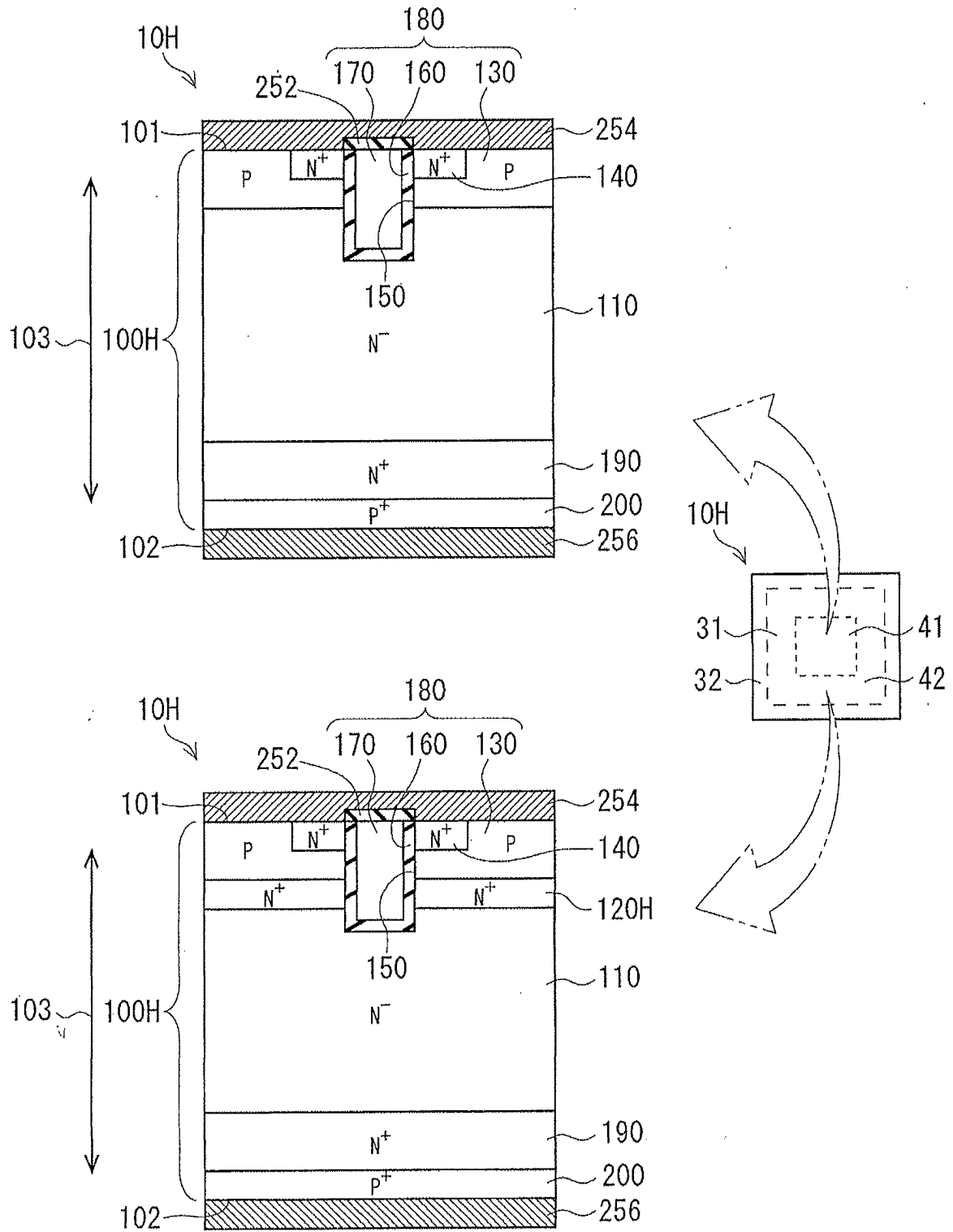
F I G . 1 8



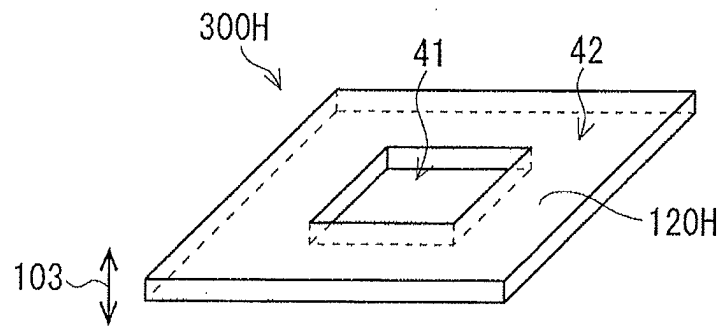
F I G . 1 9



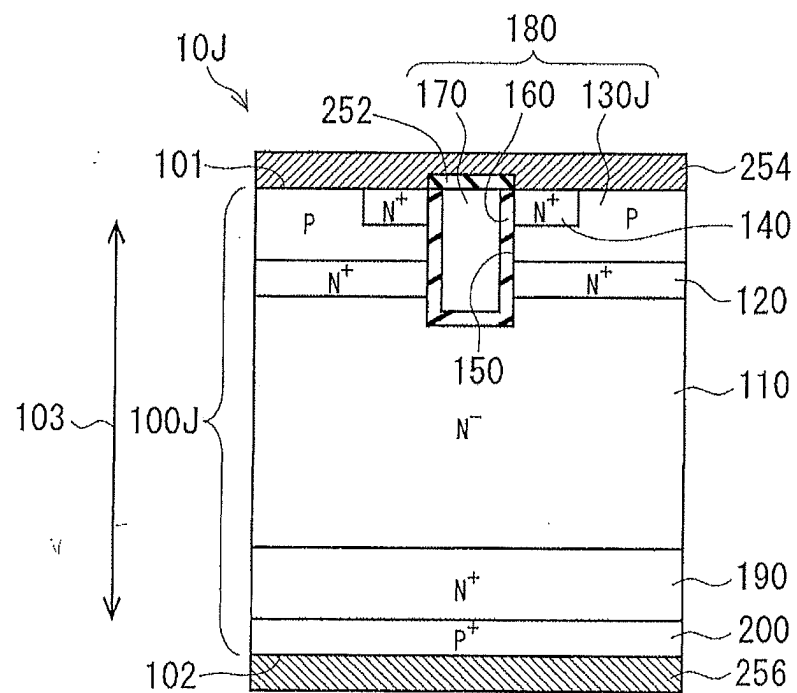
F I G . 2 0



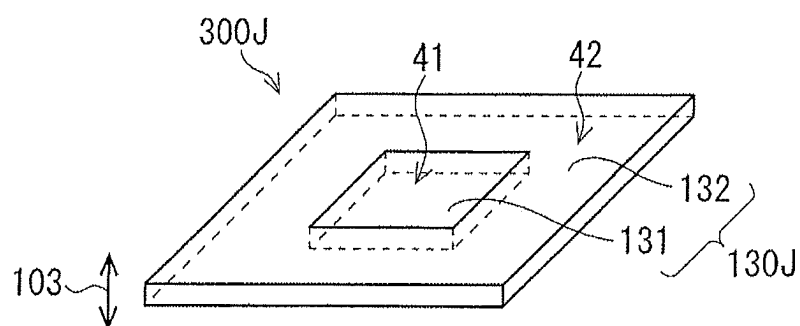
F I G . 2 1



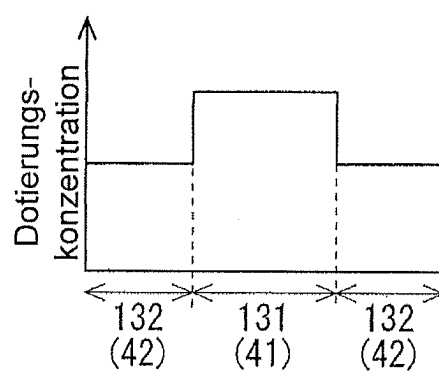
F I G . 2 2



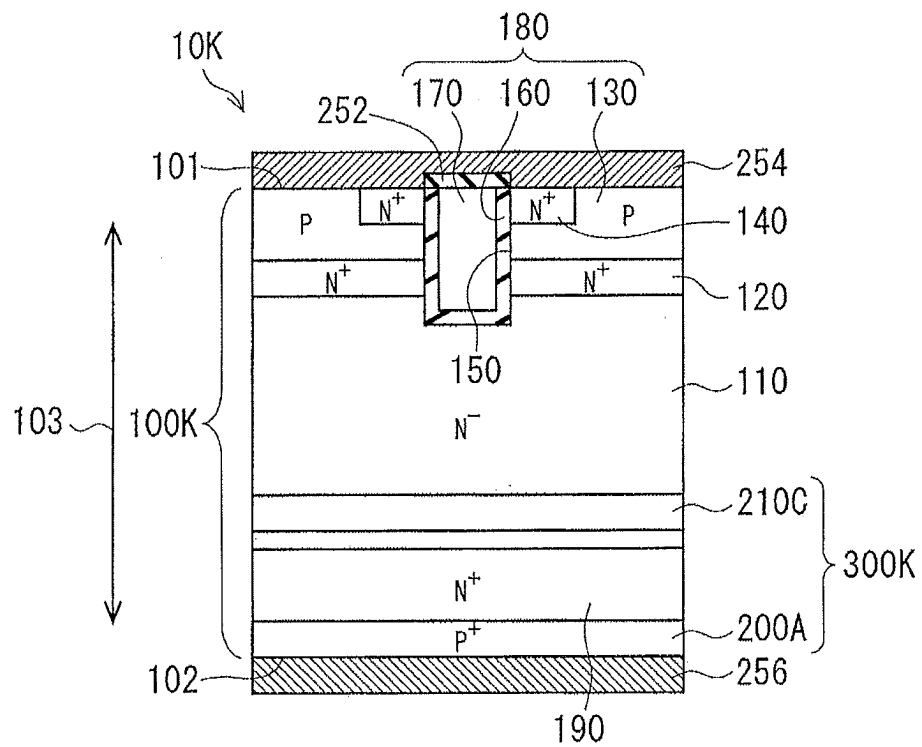
F I G . 2 3



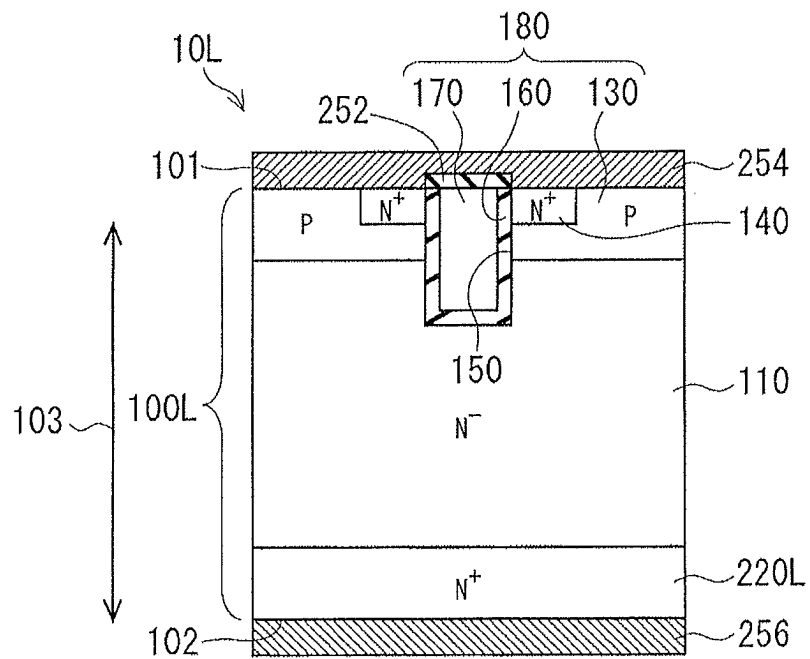
F I G . 2 4



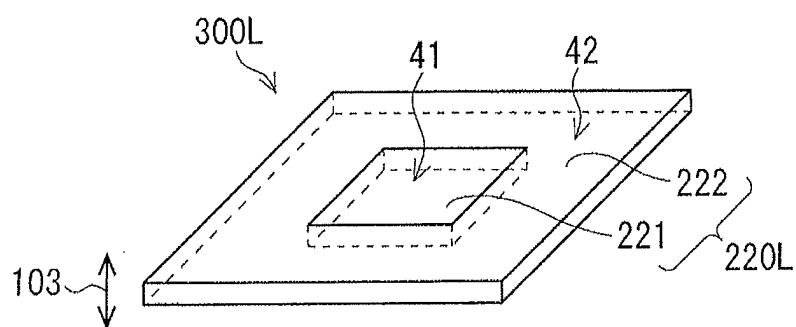
F I G . 2 5



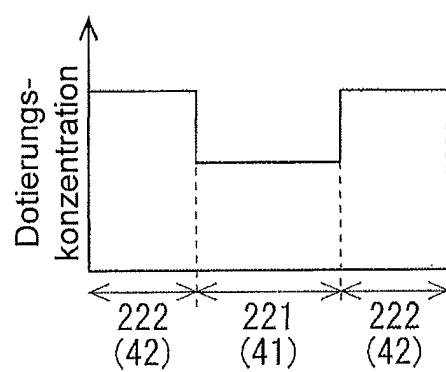
F I G . 2 6



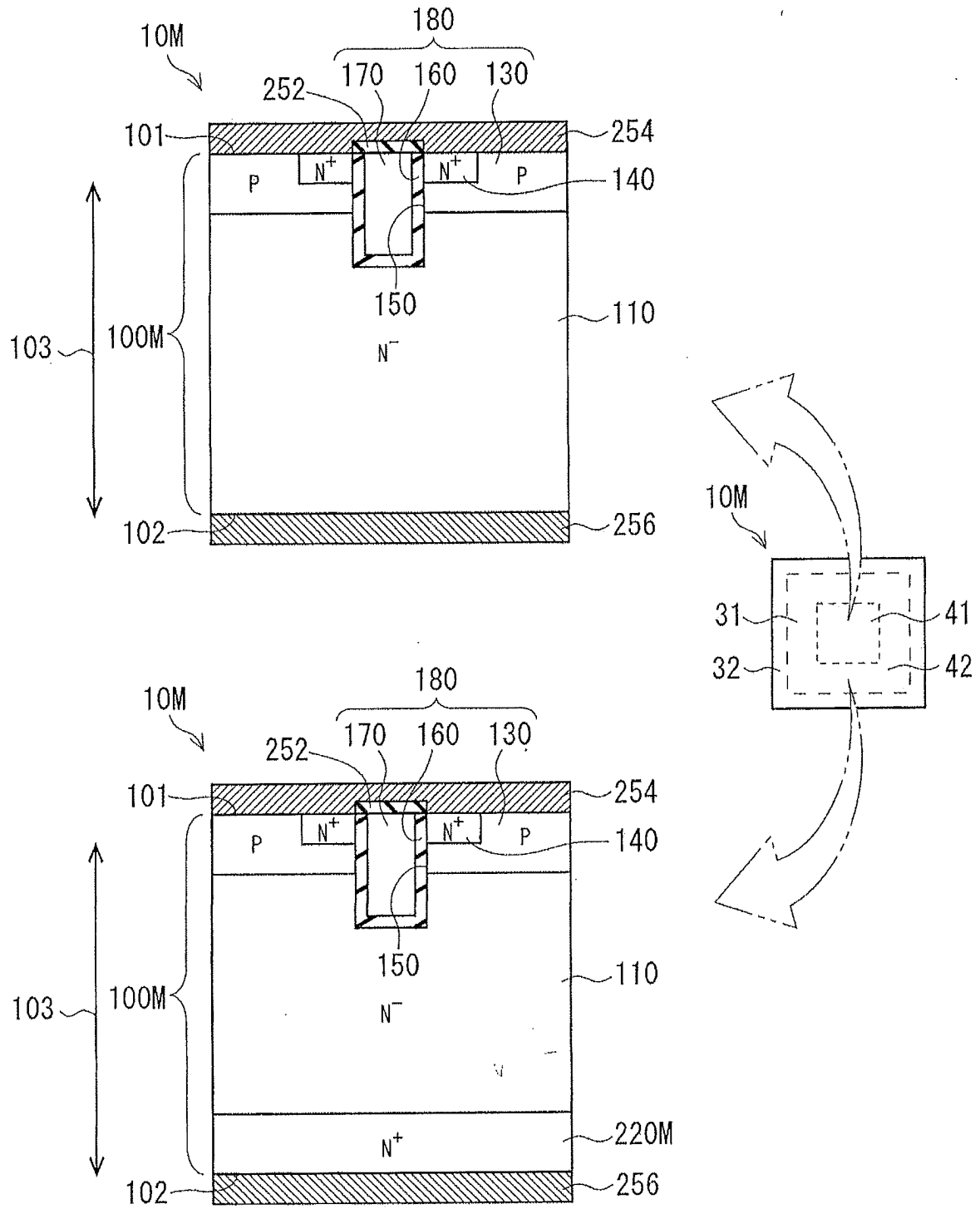
F I G . 2 7



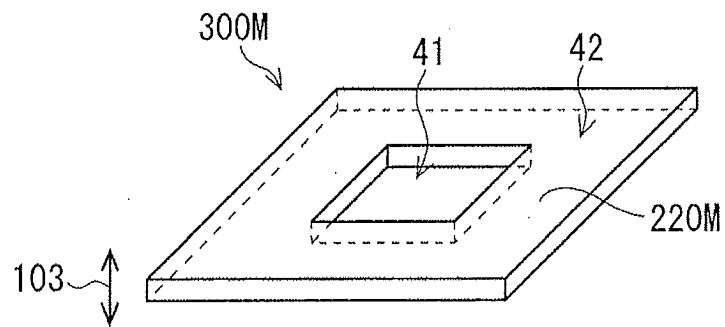
F I G . 2 8



F I G . 2 9



F I G . 3 0



F I G . 3 1

