



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 024 504.0**
 (22) Anmeldetag: **23.05.2006**
 (43) Offenlegungstag: **29.11.2007**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **02.09.2010**

(51) Int Cl.⁸: **H01L 29/739** (2006.01)
H01L 29/06 (2006.01)
H01L 21/331 (2006.01)
H02M 1/00 (2006.01)

Innerhalb von drei 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).

(73) Patentinhaber:
Infineon Technologies Austria AG, Villach, AT

(74) Vertreter:
Schweiger & Partner, 80333 München

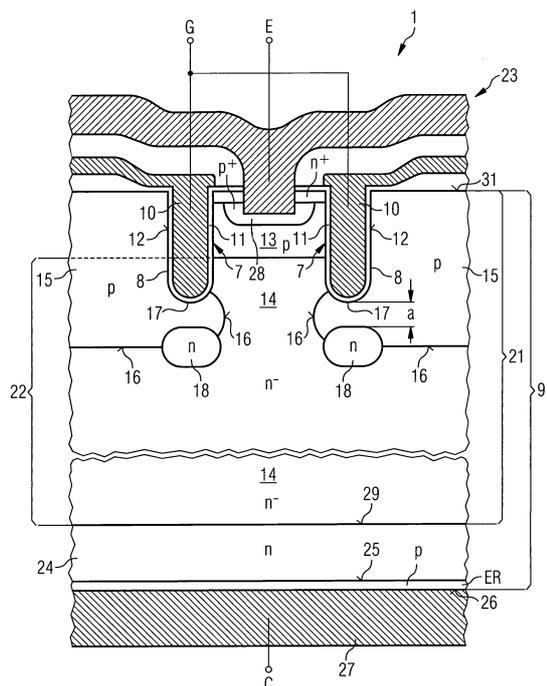
(72) Erfinder:
Mauder, Anton, Dr.-Ing., 83059 Kolbermoor, DE;
Schulze, Hans-Joachim, Dr., 85521 Otterbrunn, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

DE	100 85 054	B4
DE	100 05 772	A1
US	56 29 543	A
US	48 93 160	A

(54) Bezeichnung: **Leistungshalbleiterbauelement mit vertikaler Gatezone und Verfahren zur Herstellung desselben**

(57) Hauptanspruch: Leistungshalbleiterbauelement mit vertikalen Gatezonen (7), wobei die Gatezonen (7) in einer Grabenstruktur (8) eines Halbleiterkörpers (9) angeordnet sind und wobei die Gatezonen (7) eine Gateelektrode (10) und ein Gateoxid (11), welches die Wände (12) der Grabenstruktur (8) bedeckt, aufweisen, und wobei zwischen zwei Gatezonen (7) eine Bodyzone (13) eines ersten Leitungstyps angeordnet ist, an die sich vertikal eine Driftzone (14) eines zum ersten Leitungstyp komplementären Leitungstyps anschließt, wobei benachbart zu den Gatezonen (7) floatende Abschirmzonen (15) des ersten Leitungstyps angeordnet sind, die sich tiefer als die Grabenstruktur (8) der Gatezonen (7) in den Halbleiterkörper (9) erstrecken und einen pn-Übergang (16) zu der Driftzone (14) unterhalb der Grabenstruktur (8) aufweisen, und wobei im Raumladungsgebiet dieses pn-Übergangs (16) beabstandet vom Grabenboden (17) der Grabenstruktur (8) eine vergrabene Dotierstoffzone (18) gleichen Ladungstyps wie die Driftzone (14) mit höherer Störstellenkonzentration als die Driftzone (14) angeordnet ist, wobei die Grabenstruktur (8) einen mit Gateoxid...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Leistungshalbleiterbauelement mit vertikaler Gatezone, wobei die Gatezone in einer Grabenstruktur eines Halbleiterkörpers angeordnet ist. Die Gatezone weist eine Gateelektrode und ein Gateoxid auf. Dabei bedeckt das Gateoxid die Wände der Grabenstruktur. Außerdem ist bei den bekannten Leistungshalbleiterbauelementen mit vertikalen Gatezonen eine Bodyzone eines ersten Leitungstyps zwischen zwei Gatezonen angeordnet, an die sich vertikal eine Driftzone mit einem zum ersten Leitungstyp komplementären zweiten Leitungstyp anschließt. Benachbart zu den Gatezonen und der Driftzone weisen derartige Leistungshalbleiterbauelemente floatende Abschirmzonen vorzugsweise des ersten Leitungstyps auf.

[0002] Beim Abschalten von derartigen Leistungshalbleiterbauelementen steigt die Spannung am Bauelement aufgrund der stets vorhandenen Streuinduktivitäten einer elektronischen Schaltung. Die statisch anliegende zulässige Zwischenkreisspannung wird dabei deutlich überschritten. Besonders kritisch ist eine derartige Überspannungsspitze bei hohen Strömen, bzw. hohen Streuinduktivitäten bezogen auf den Strom. Dieses macht sich besonders negativ bei sogenannten IGBT-Modulen (insulated gate bipolar transistor) bemerkbar. Dabei ist das Abschalten hoher Ströme von besonderer Problematik, beispielsweise in Überlastfällen, wie beim Anfahren von Elektrogeräten oder Elektromotoren, oder bei Motorblockaden, beziehungsweise bei Kurzschluss in einer Anwendung, weil dadurch die Stromänderung di/dt und somit die Überspannungsspitze nachteilig ansteigt. Weitere besonders kritische Fälle für bekannte Leistungshalbleiterbauelemente des IGBT-Typs sind hohe Zwischenkreisspannungen, wie sie zum Beispiel beim Bremsbetrieb auftreten, weil dabei die nutzbare Spannungsreserve zur zulässigen Sperrspannung des Leistungshalbleiterbauelements absinkt.

[0003] Bisher werden derartige Leistungshalbleiterbauelemente, wie sie die [Fig. 5](#) zeigt, immer auf den kritischen Betriebsfall, wie zum Beispiel dem Überspannungsfall mit dem steilsten auftretenden di/dt bei der höchsten in der Anwendung auftretenden Zwischenkreisspannung dimensioniert. Durch diese Maßnahme werden IGBT-Leistungshalbleiterbauelemente dann derart gebremst abgeschaltet, dass die Überspannungsspitze noch im zulässigen Bereich liegt. Dies führt zu einem langsameren Abschalten und somit zu unnötig hohen Schaltverlusten im Normalbetrieb, in dem das gebremste Abschalten gar nicht erforderlich wäre.

[0004] Der Ansteuerungsaufwand für derartige bekannte Leistungshalbleiterbauelemente ist dadurch beim Kunden zum Teil beträchtlich, da für eine solche

Ansteuerung deutlich mehr als nur ein Ansteuerungstransistor und ein Gatevorwiderstand benötigt werden. Für das Abschalten aus dem Kurzschlussfall wird meist noch eine andere Ansteuerungsbedingung gewählt, als im normalen Schalt- bzw. Überlastbetrieb, was den Aufwand weiter beim Kunden erhöht. Die [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) verdeutlichen dieses Problem.

[0005] Dazu zeigt [Fig. 5](#) einen schematischen Querschnitt durch eine Zellenstruktur eines IGBT-Leistungshalbleiterbauelements **5** mit einer vertikalen Gatezone **7**, die innerhalb einer Grabenstruktur **8** eines Leistungshalbleiterchips **23** angeordnet ist. Der Leistungshalbleiterchip **23** weist einen Halbleiterkörper **9** mit einer Oberseite **31** und einer Unterseite **26** auf. Dieser Halbleiterkörper **9** weist eine Feldstoppzone **24** und eine niedrig dotierte Halbleiterschicht **21** auf, in der eine Driftstrecke **22** angeordnet ist. In die Driftstrecke **22** ragt die Gatezone **7** hinein und weist ein Gateoxid **11** und eine mit G gekennzeichnete Gateelektrode **10** auf, wobei das Gateoxid **11** auf den Grabenwänden **12** der Grabenstruktur **8** angeordnet ist. Zwischen zwei Gatezonen **7** ist eine p-leitende Bodyzone **13** angeordnet, die über einen hochdotierten p⁺-leitenden Bereich **28** mit einer metallischen Emittierelektrode E elektrisch verbunden ist. An die Bodyzone **13** schließt sich vertikal eine n⁻-leitende Driftzone **14** an, die von einem n⁻n-Übergang zu einer n-leitenden Feldstoppzone **24**, der als Feldstoppübergang **29** wirkt, zu einem weiteren pn-Übergang **25** einer p-leitenden Schicht **30** auf der Unterseite des Halbleiterkörpers **9** führt, die einen Rückseitenemitter ER darstellt, wobei auf der Unterseite **26** des Halbleiterkörpers **9** eine Kollektorelektrode C des IGBT angeordnet ist. Der entsprechend schwachdotierte n-leitende Feldstoppbereich des Substrats kann aufgrund eines Felddurchgriffes dynamisch einen zusätzlichen Strom beim Abschalten liefern und damit den Anstieg der Sperrspannung am Bauelement bremsen. Allerdings hängt diese Fähigkeit stark von der gerade anliegenden Zwischenkreisspannung ab, und besitzt somit kein ausreichend großes Fertigungsfenster, da der Leckstrom bzw. die statische Sperrspannung ebenfalls unter dem niedrig dotierten Feldstoppbereich leidet. Darüber hinaus ist die Zellstruktur aus Emitterbereich, Bodyzone, Gatezone und Driftstrecke im oberflächennahen Bereich des Halbleiterkörpers **9** von einer floatenden p-dotierten Abschirmzone **15** umgeben, wobei die Abschirmzone **15** tiefer in den Halbleiterkörper **9** hineinreicht als die sogenannte Trenchgatestruktur.

[0006] Die Druckschrift DE 100 85 054 B4 offenbart ein Leistungshalbleiterelement mit floatenden Abschirmzonen, die sich tiefer als die Grabenstruktur der Gatezonen in den Halbleiterkörper erstreckt.

[0007] [Fig. 6](#) zeigt eine alternative Lösung zur Ver-

besserung der Leistungshalbleiterbauelementcharakteristik, bei der die Grabenstruktur **8** mit ihrem Bodenbereich **17** tiefer in den Halbleiterkörper hineinragt, als die Abschirmzonen **15**. Bei diesem Leistungshalbleiterbauelement **6** des IGBT-Typs wird ein robustes Abschaltverhalten dadurch erreicht, dass der Grabenboden **17** nicht mehr von den floatenden p-dotierten Abschirmzonen **15** bedeckt ist. Vielmehr wird hier ein dynamischer Lawinendurchbrucheffect, auch dynamischer Avalanche genannt, genutzt, der an den frei liegenden, nicht von floatenden p-dotierten Abschirmzonen **15** bedeckten Grabenböden auftritt.

[0008] Wenn auch mit dieser Konstruktion ein robustes Abschaltverhalten erreicht wird, so kommt es dennoch durch den Lawineneffect, der sogenannten Avalanche-Multiplikation, direkt am Grabenboden **17** zu einer Injektion heißer Ladungsträger in das Oxid **11** des Grabenbodens **17**, was unabhängig von der Dicke dieses Oxids **11** zu einer Änderung der Einschaltigenschaften im Laufe der Lebensdauer des Leistungshalbleiterbauelements **6** führt, die sich somit langsam verschlechtern.

[0009] Das Einbringen eines tief reichenden hochdotierten p⁺-leitenden Gebiets **28** in der Mitte der p-leitenden Bodyzone **13** einer Zelle, wie es [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) zeigen, ließe zwar erwarten, dass sich die dynamische Begrenzung der Sperrspannung am Bauelement, auch "dynamic clamping"-Verhalten genannt, und die Schaltrobustheit ebenfalls verbessern. Jedoch führt eine solche p⁺-Nadel **28** in der p-leitenden Bodyzone **13** zu verstärktem Löcherabfluss im Durchlassfall, und somit zu einer deutlich geringeren Überschwemmung an der Oberseite, also zu deutlich erhöhten Durchlassverlusten, vor allem, wenn die p⁺-Nadel **28** tiefer reicht, als die p-dotierte Bodyzone **13** (nicht dargestellt).

[0010] Zusammenfassend führt die bisher bekannte Dimensionierung von Leistungshalbleiterbauelementen zu erhöhten Schaltverlusten und damit zu einer reduzierten Nutzbarkeit von beispielsweise IGBT-Schaltern und ist mit einem erheblichen Kosten- und Entwicklungsaufwand beim Kunden, sowohl für die Ansteuerung, als auch für den Leistungsteil verbunden.

[0011] Aufgabe der Erfindung ist es, die Nachteile im Stand der Technik zu überwinden und dabei die jeweilige Belastung durch Streuinduktivitäten bei der Bauelemententwicklung zu berücksichtigen. Dabei ist das Ziel, die Dynamik des Abschaltverhalten so zu gestalten, dass bei üblichen Werten der Streuinduktivität und dem größten Nennstrom in einem Gehäuse noch keine unzulässig hohen Überspannungen auftreten.

[0012] Gelöst wird diese Aufgabe durch den Gegen-

stand der unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0013] Erfindungsgemäß wird ein Leistungshalbleiterbauelement mit vertikalen Gatezonen bereitgestellt, wobei die Gatezonen in einer Grabenstruktur eines Halbleiterkörpers angeordnet sind. Die Gatezonen weisen ihrerseits Gateelektroden und ein Gateoxid auf, welches die Wände der Grabenstruktur bedeckt. Zwischen zwei Gatezonen ist eine Bodyzone eines ersten Leitungstyps angeordnet, an die sich vertikal eine Driftzone eines zum ersten Leitungstyp komplementären Leitungstyps anschließt. Benachbart zu den Gatezonen sind Abschirmzonen des ersten Leitungstyps angeordnet, die sich tiefer als die Grabenstruktur der Gatezonen in den Halbleiterkörper erstrecken und einen pn-Übergang zu der Driftzone unterhalb der Grabenstruktur aufweisen.

[0014] Dieses Leistungshalbleiterbauelement hat die nachfolgenden Vorteile. Im Raumladungsgebiet dieses pn-Übergangs zwischen Driftzone und Abschirmzone ist beabstandet vom Grabenboden der Grabenstruktur eine vergrabene Dotierstoffzone gleichen Ladungstyps wie die Driftzone angeordnet, und weist eine höhere Störstellenkonzentration als die Driftzone auf. Somit wird mit dieser Zellenstruktur ebenfalls ein dynamischer Avalanche-Effekt im Abschalten des Leistungshalbleiterbauelements zur aktiven Spannungsbegrenzung im Zellenfeld erreicht. Gleichzeitig wird die Sperrfähigkeit des Randes des Leistungshalbleiterbauelements nicht weiter reduziert, ferner wird der Last- bzw. der Avalanchestrom beim Abschalten auf eine große vergrabene Siliziumfläche gleichmäßig unterhalb der Grabenstruktur verteilt und somit eine deutlich verbesserte Schaltrobustheit des Leistungshalbleiterbauelements sichergestellt, wobei aber gleichzeitig nicht mehr heiße Ladungsträger durch Avalanche-Multiplikation in das Oxid im Bodenbereich der Grabenstruktur injiziert werden. Vielmehr erfolgt der Avalanchedurchbruch an den höherdotierten n-leitenden Dotierstoffzonen, die vergraben unterhalb des Grabenbodens angeordnet sind.

[0015] Um den Grabenboden und das Grabenoxid, das die Grabenwände bedeckt und gleichzeitig in dieser Ausführungsform der Erfindung das Gateoxid darstellt, vor heißen Ladungsträgern zu schützen, reicht bereits ein Abstand a zwischen der n-leitenden Dotierstoffzone und dem Bodenbereich der Grabenstruktur von 100 Nanometern bis zu wenigen 100 Nanometern vorzugsweise zwischen $100 \text{ nm} < a < 500 \text{ nm}$ aus. Solch ein Abstand kann durch eine Implantation einer zusätzlichen n-Dotierung in die Grabenböden mit hinreichend hoher Energie erreicht werden, da die Bragg'sche Abbremszone für implantierte Ionen, in der ein Maximum an Störstellen je nach Masse des Dotierstoffes in dem Halbleiterkörper un-

terhalb des Grabenbodens eingebaut wird, energieabhängig ist.

[0016] Durch die zusätzliche n-leitende Dotierung an der Grenze im Raumladungsgebiet zwischen p-leitenden Abschirmzonen und n⁻-leitender Driftzone, wird bei einer aufgebauten Raumladungszone entsprechend der Struktur, wie sie auch in [Fig. 1](#) gezeigt wird, eine Feldspitze unterhalb der Grabenstruktur im Bereich des Grabenbodens erzeugt, was beim Abschalten durch den abfließenden Löcherstrom zu vermehrtem Auftreten von Avalanche-Multiplikationen führt. Dieser dynamisch generierte Strom führt zu einem verlangsamten Abschalten und somit zu einer Spannungsbegrenzung, die genau passend für den gerade herrschenden Betriebsfall ist. Somit wird unabhängig von der Streuinduktivität und dem gerade abzuschaltenden Strom das Leistungshalbleiterbauelement so schnell wie möglich und mit den geringst möglichen Abschaltverlusten in vorteilhafter Weise ausgeschaltet. Gleichzeitig tritt auch kein zu rascher Anstieg der Sperrspannung auf, der zum Beispiel im Rand oder an der Gateelektrode zu einer lokalen Überlastung, und somit zu Leistungshalbleiterbauelementausfall führen könnte.

[0017] Im Gegensatz zu der in [Fig. 6](#) gezeigten Lösung findet der Avalanchedurchbruch nicht direkt an der Grenze zwischen Halbleitermaterial und Oxidmaterial der Gatestruktur statt, sondern stattdessen mitten im Halbleitermaterial. Es können also keine heißen Ladungsträger in das Oxid der Wände der Grabenstruktur injiziert werden, die zu einer Trappbildung im Oxid und somit zu Driftphänomenen führen würden.

[0018] Bevorzugt werden für diese n-Dotierstoffzellen Arsenatome verwendet, da sie bei den nachfolgenden Temperaturschritten deutlich weniger ausdifundieren, als beispielsweise Phosphoratome. Jedoch ist Phosphor auch geeignet und hat den Vorteil, dass er leichter ist und damit tiefer unterhalb der Grabenstruktur in den Halbleiterkörper implantiert werden kann. Dabei ist die Dosis der implantierten n-Dotierung am Grabenboden geringer als die Durchbruchladung. Natürlich kann bei der implantierten Dosis von n-leitenden Störstellenmaterial die zu kompensierende p-Dotierung der Abschirmzonen berücksichtigt werden.

[0019] Außerdem kann zusätzlich an den Grabenböden noch eine p-Dotierung mit geringer Energie implantiert werden, welche das Oxid vor einer Belastung und der hohen fließenden Löcherstromdichte zusätzlich abschirmt. Dieses wird vorzugsweise dadurch erreicht, dass die Grabenstruktur einen mit Gateoxid bedeckten Grabenboden aufweist, an den sich in den Halbleiterkörper hinein die Abschirmzone erstreckt, wobei sich an das Gateoxid im Bodenbereich der Grabenstruktur eine leitende Dotierstoffzo-

ne innerhalb der Abschirmzone mit erhöhter Störstellenkonzentration des ersten Leitungstyps anschließt, der auch in der Abschirmzone vorherrscht.

[0020] Eine weitere Variante, die eine zusätzliche n-Dotierung im Bereich des Grabens vorsieht, zielt auf eine Erhöhung der Einschaltgeschwindigkeit und damit auf eine Reduzierung der Einschaltverluste hin. Dazu wird vorzugsweise an dem Gateoxid im Bodenbereich der Grabenstruktur eine komplementär leitende zweite Dotierstoffzone vorgesehen, die von der Abschirmzone mit dem ersten Leitungstyp umgeben ist. Bei IGBTs mit hoher Überschwemmung im Vergleich zu ihrer Grunddotierung soll am Beginn des Einschaltens die Driftzone erst mit Ladungsträgern geflutet werden, bevor die Spannung sehr niedrige Werte annimmt. Die Einschaltverluste derartiger sogenannter geshrinkter IGBTs können nicht einfach reduziert werden. Deshalb wird in dieser weiteren Ausführungsform der Erfindung am Grabenboden diese zusätzliche n-Dotierstoffzone eingebracht, wie sie später noch mit [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) erläutert wird. Diese Dotierstoffzone ist entweder, wie in [Fig. 3](#) gezeigt, vollständig von Abschirmzonen umgeben, oder hat in Richtung zur p-leitenden Bodyzone einen Kontakt mit der n⁻-leitenden Driftzone, so dass die komplementär leitende zweite Dotierstoffzone unterhalb des Grabenbodens lateral von der Abschirmzone bis in die Driftzone hineinragt.

[0021] Diese Ausführungsform der Erfindung hat den Vorteil, dass sich beim Einschalten ein Kanal zwischen n⁺-Emitter und der zusätzlichen n-leitenden Dotierstoffzone am Grabenboden ausbildet. Dadurch liegt die n-Dotierstoffzone nahezu auf Emitterpotential, während die floatende p-dotierte Abschirmzone auf einem höheren Potential liegt. Es kommt zu einer Injektion von Elektronen aus der n-leitenden Dotierstoffzone in die Abschirmzone und somit analog zur Wirkung eines npn-Transistors in die n⁻-leitende Driftzone. Elektronen können also auch unterhalb der Grabenstruktur in die Driftzone injiziert werden und zum Rückseitenemitter befördert werden, der dadurch gleichmäßiger Löcher injiziert und somit den IGBT schneller flutet. Die vergrabene n-dotierte Dotierstoffzone, die eine dynamische Begrenzung der Sperrspannung des Bauelements ermöglicht, kann dabei zusätzlich, wie in [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) gezeigt, vorgesehen werden.

[0022] Vorzugsweise ist der Halbleiterkörper des Leistungshalbleiterelements ein Siliziumeinkristall und das Gate-Dielektrikum besteht aus einem thermischen Siliziumoxid. Dieses hat den Vorteil, dass das Siliziumoxid technologisch in hochreiner Form auf den Grabenwänden eines einkristallinen Siliziumkörpers erzeugt werden kann. Außerdem ist es vorgesehen, dass die komplementär leitenden Dotierstoffzonen unterhalb des Grabenbodens Arsenatome auf substitutionellen Siliziumgitterplätzen aufweisen.

Da Arsenatome einen niedrigeren Diffusionskoeffizienten im Siliziumgitter als Phosphor aufweisen, bleiben sie bei den nachfolgenden Hochtemperaturprozessen relativ unverändert in der einmal dotierten Dotierstoffzone erhalten. Dabei ist es von Vorteil, dass die Netto-Störstellendotierung der Arsenatome in der Dotierstoffzone beabstandet vom Grabenboden geringer als die Durchbruchladung eingehalten werden kann.

[0023] Ferner weist bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung die Gateelektrode kein Metall auf, sondern hochdotiertes, polykristallines Silizium. Dieses hat den Vorteil, dass es bei nachfolgenden Hochtemperaturprozessen ebenfalls seine Position beibehält und nicht in das Gateoxid hineindiffundiert oder Rekombinationszentren in dem Gateoxid in Form von Traps bildet.

[0024] Vorzugsweise ist das Leistungshalbleiterbauelement ein IGBT-Schalter und wird für Umrichter-Module mit Nennspannungen von typisch 500 V bis 6500 V eingesetzt.

[0025] Ein Verfahren zur Herstellung mehrerer Leistungshalbleiterbauelemente mit Dotierstoffzonen, beabstandet von einer vertikalen Grabenstruktur mit Gatezonen, weist die nachfolgenden Verfahrensschritte auf. Zunächst wird ein Halbleiterwafer mit niedrig dotierter Halbleiterschicht und mit einer Vielzahl in Zeilen und Spalten angeordneter Halbleiterchippositionen, in denen Driftstrecken mit einem zu Bodyzonen komplementären Leitungstyp und Abschirmzonen mit dem gleichen Leitungstyp wie die Bodyzonen angeordnet sind, hergestellt. In diese niedrig dotierte Halbleiterschicht wird eine Grabenstruktur für vertikale Gatezonen zwischen den Driftzonen und den Abschirmzonen eingebracht.

[0026] Nach Aufbau der Grabenstruktur kann eine nach Bedarf maskierte Ionenimplantation von Dotierstoffen durch den Grabenboden der Grabenstruktur für vom Grabenboden beabstandete Dotierstoffzonen mit komplementärem Leitungstyp zu den Abschirmzonen im Bereich des pn-Übergangs von Driftzonen zu Abschirmzonen erfolgen. Danach wird die Leistungshalbleiterbauelementstruktur in den Halbleiterchippositionen vervollständigt und schließlich der Halbleiterwafer in einzelne Leistungshalbleiterchips aufgetrennt. Abschließend erfolgt ein Häuten und Außenkontaktbildern der Leistungshalbleiterchips zu einzelnen Leistungshalbleiterbauelementen.

[0027] Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass Zwischenstufen, wie das Einbringen einer Grabenstruktur, was für ein Leistungshalbleiterbauelement mit vertikaler Grabenzone erforderlich ist, eingesetzt werden können, um die erfindungsgemäßen zusätzlichen vergrabenen Dotierstoffzonen unterhalb des Grabenbodens mittels Ionenimplantation zu erzeugen,

ohne dass zusätzliche Photolackmasken erforderlich sind. Ein Vorteil ist es außerdem, wenn der Randbereich der jeweiligen Halbleiterchippositionen auf dem Halbleiterwafer vor einem Eindringen der Störstellen, die für die Dotierstoffzonen erforderlich sind, geschützt wird, um von vorn herein die Spannungsfestigkeit der Randzonen nicht herabzusetzen.

[0028] Als Dotierstoff für die Dotierstoffzonen werden vorzugsweise Arsenionen durch den Grabenboden in den Halbleiterkörper hinein implantiert.

[0029] Wenn zwei Dotierstoffzonen implantiert werden, kann eine erste Dotierstoffzone beabstandet vom Grabenboden in den Halbleiterkörper eingebracht werden und eine zweite Dotierstoffzone mittels geringerer Ionenimplantationsenergie am Grabenboden direkt angeordnet werden. Auch hier kann der Zustand des Halbleiterwafers mit vorbereiteter Grabenstruktur verwendet werden, um diese beiden Dotierstoffzonen mit zwei Implantationsschritten einzubringen. Soll die Dotierstoffzone in unmittelbarer Nähe des Grabenbodens die Dotierung der Abschirmzonen aufweisen, so wird vorzugsweise Bor implantiert. Soll hingegen die Dotierstoffzone am Grabenboden dem Dotierstoff der Driftzonen entsprechen, so wird vorzugsweise Arsen implantiert und eventuell für eine zweite und damit tiefere Dotierstoffzone wird Phosphor eingesetzt. Dabei kann in einer bevorzugten Durchführung des Verfahrens für beide Dotierstoffe die gleiche Implantationsenergie eingesetzt werden, zumal Phosphor tiefer in den Kristall, aufgrund der geringeren Atommasse eindringt, als Arsen.

[0030] Somit ist es von Vorteil, im Fertigungsablauf die n-Implantation, nach der Abschirmzonendiffusion und nach einem thermischen Oxidationsprozess, wobei das aufgewachsene Opferoxid gleichzeitig als Streuoxid dienen kann, durchzuführen. Nach der Implantation kommen die Opferoxid-Ätzung und der Zellprozess zur Vollendung der IGBT-Struktur hinzu. Die Dosis der n-Implantation ist so gering, dass im Bereich der Zelle und der Abschirmzonen außerhalb der Grabenböden keine negativen Auswirkungen zu erwarten sind, da diese Dosis leicht überkompensiert wird. Von Vorteil ist es allerdings, wenn der Rand der Halbleiterchippositionen noch mit der sogenannten Grabenmaske versehen und geschützt ist, damit keine n-Implantation in die Randstruktur der Halbleiterchips erfolgt.

[0031] Es kann jedoch auch ein zusätzlicher Photolithographieschritt erforderlich werden, so dass es sinnvoll ist, den äußersten, zum Rand angrenzenden Zellreihen, vor der n-Implantation für die Dotierstoffzonen abzuschirmen, um diesen Bereich vor der zusätzlichen Avalanchebelastung zu schützen. Am Übergang zum Randabschluss sind beim Abschalten die abfließenden Löcherstromdichten besonders

hoch, was ebenfalls zu einem früheren Einsetzen des dynamischen Avalanche führen würde und deshalb durch einen Schutz der Ränder zu vermeiden ist.

[0032] Die Erfindung wird nun anhand der beigefügten Figuren näher erläutert.

[0033] [Fig. 1](#) zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine Zelle eines Leistungshalbleiterchips eines Leistungshalbleiterbauelements **1**, einer ersten Ausführungsform der Erfindung;

[0034] [Fig. 2](#) zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine Zelle eines Leistungshalbleiterchips eines Leistungshalbleiterbauelements **2**, einer zweiten Ausführungsform der Erfindung;

[0035] [Fig. 3](#) zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine Zelle eines Leistungshalbleiterchips eines Leistungshalbleiterbauelements **3**, einer dritten Ausführungsform der Erfindung;

[0036] [Fig. 4](#) zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine Zelle eines Leistungshalbleiterchips eines Leistungshalbleiterbauelements **4**, einer vierten Ausführungsform der Erfindung;

[0037] [Fig. 5](#) zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine Zelle eines Leistungshalbleiterchips eines Leistungshalbleiterbauelements **5**, gemäß einer ersten Version im Stand der Technik;

[0038] [Fig. 6](#) zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine Zelle eines Leistungshalbleiterbauelements **6**, einer weiteren Version im Stand der Technik.

[0039] [Fig. 1](#) zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine Zelle eines Leistungshalbleiterchips **23** eines Leistungshalbleiterbauelements **1**, einer ersten Ausführungsform der Erfindung. Der Aufbau der Zelle entspricht im Aufbau der Zelle gemäß dem Stand der Technik, wie er mit [Fig. 5](#) gezeigt wird. Komponenten mit gleichen Funktionen wie in [Fig. 5](#) werden in den [Fig. 1](#) bis [Fig. 4](#) mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet und nicht extra erörtert.

[0040] Der Unterschied der ersten Ausführungsform der Erfindung gegenüber der [Fig. 5](#) gemäß dem Stand der Technik liegt darin, dass innerhalb der Raumladungszone des pn-Übergangs **16** zwischen der Abschirmzone **15** und der Driftzone **14** unterhalb der vertikalen Grabenstruktur **8** mit Gatezonen **7**, und dort insbesondere unterhalb des Grabenbodens **17**, eine Dotierstoffzone **18** angeordnet ist, die n-leitend ist und eine höhere Störstellendotierung aufweist, als die n⁻-leitende Driftstrecke **14**.

[0041] Durch die höhere Störstellenkonzentration in der Dotierstoffzone **18** werden bei Überspannungs-

spitzen in der Ausschaltphase dieses Leistungshalbleiterbauelements **1**, welches die Struktur des in [Fig. 5](#) gezeigten Leistungshalbleiterbauelements **5** des Standes der Technik aufweist, Avalanchedurchbrüche bei Überspannung bewirkt, die ein gesichertes Umschalten auf den Sperrfall ermöglichen und gleichzeitig die Umschaltverluste gering halten. Außerdem sind die Avalanchedurchbrüche im Bereich der vergraben eingebrachten Dotierstoffzone **18** entfernt von der Grabenstruktur angeordnet, so dass keine heißen Ladungsträger in das Oxid **11** der Grabenstruktur **8** injiziert werden können und damit das Oxid **11** der Grabenstruktur **8** geschont wird. Dazu reicht bereits ein Abstand *a* von wenigen 100 Nanometern zum Grabenboden **17** aus.

[0042] [Fig. 2](#) zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine Zelle eines Leistungshalbleiterchips **23** eines Leistungshalbleiterbauelements **2**, einer zweiten Ausführungsform der Erfindung. Bei dieser zweiten Ausführungsform der Erfindung wird eine zusätzliche zweite Dotierstoffzone **19** im Bereich des Grabenbodens **17** durch Ionenimplantation angeordnet, wobei in dieser zweiten Ausführungsform der Erfindung der gleiche Leitungstyp implantiert wird, wie er in der Abschirmzone **15** vorherrscht. Mit dieser p-leitenden Dotierstoffzone **19** wird das Oxid **11** der Grabenstruktur **8** zusätzlich geschützt und vor dem Eindringen von heißen Elektronen abgeschirmt.

[0043] [Fig. 3](#) zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine Zelle eines Leistungshalbleiterchips **23** eines Leistungshalbleiterbauelements **3**, einer dritten Ausführungsform der Erfindung. In diesem Fall wurde im Bereich des Bodens **17** der Grabenstruktur **8** eine Dotierstoffzone **20** eingebracht, welche den gleichen Leitungstyp wie die Driftzone **14** aufweist. Zusätzlich ist eine vergrabene n-leitende Dotierstoffzone **18** beabstandet von dem Grabenboden **17** in dem Halbleiterkörper **9** angeordnet, welche im Abbau von Spannungsspitzen beim Umschalten durch Avalanche-Effekte dient.

[0044] Die zusätzliche n-Dotierung am Grabenboden der Dotierstoffzone **17** bewirkt beim Einschalten des Leistungshalbleiterbauelements, dass sich ein Kanal zwischen dem n⁺-Emitterbereich und der zusätzlichen n-Dotierung am Grabenboden ausbildet. Dadurch liegt die n-Dotierung der Dotierstoffzone nahezu auf Emitterpotential, während die Abschirmzone **15** auf einem höheren Potential liegt. Es kommt zu einer Injektion von Elektronen aus der n-Dotierstoffzone **18** in die Abschirmzone **15** und in die n⁻-Driftzone **14** analog einer Wirkungsweise eines npn-Transistors. Somit können Elektronen unterhalb der Grabenstruktur **8** in die Driftzone **14** injiziert werden, und zum Rückseitenemitter ER befördert werden, der dadurch gleichmäßiger Löcher injiziert und somit den IGBT schneller flutet.

[0045] **Fig. 4** zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine Zelle eines Leistungshalbleiterchips **23** eines Leistungshalbleiterbauelements **4**, einer vierten Ausführungsform der Erfindung. Der Unterschied der vierten Ausführungsform der Erfindung zur dritten Ausführungsform der Erfindung liegt darin, dass die n-leitende Dotierstoffzone **20** im Bereich des Grabenbodens **17** sich von der Abschirmzone **15** lateral in die Driftstrecke **14** hineinragt. Damit wird ebenfalls ein verbessertes Einschaltverhalten des Leistungshalbleiterbauelements erreicht, und gleichzeitig durch das Vorsehen einer vergrabenen Dotierstoffzone **18** wird eine Verbesserung des dynamischen Verriegelungsverhaltens und der Schaltrobustheit von dem gezeigten IGBT durch Einführen einer Feldspitze unterhalb der Grabenstruktur im Silizium beabstandet von einer Oxidgrenzschicht mittels einer zusätzlichen n-Dotierung erreicht.

[0046] Die **Fig. 5** und **Fig. 6** zeigen Ausführungsformen, die aus dem Stand der Technik bekannt sind. Zur Vermeidung von Wiederholungen werden die **Fig. 4** und **Fig. 5** nicht nochmals erörtert.

[0047] Die Halbleiterbauelemente werden typischerweise in Leistungshalbleitermodulen gehäust und für Umrichterapplikationen verwendet.

Bezugszeichenliste

1	Leistungshalbleiterbauelement (1. Ausführungsform)
2	Leistungshalbleiterbauelement (2. Ausführungsform)
3	Leistungshalbleiterbauelement (3. Ausführungsform)
4	Leistungshalbleiterbauelement (4. Ausführungsform)
5	Leistungshalbleiterbauelement (Stand der Technik)
6	Leistungshalbleiterbauelement (Stand der Technik)
7	vertikale Gatezone
8	Grabenstruktur
9	Halbleiterkörper
10	Gateelektrode
11	Gateoxid, Gate-Dielektrikum
12	Wand der Grabenstruktur (Grabenwand)
13	Bodyzone
14	Driftzone
15	Abschirmzone
16	pn-Übergang
17	Grabenboden bzw. Bodenbereich
18	erste vergrabene n-leitende Dotierstoffzone
19	zweite vergrabene p-leitende Dotierstoffzone
20	zweite komplementärleitende Dotierstoffzone
21	niedrig dotierte Halbleiterschicht
22	Driftstrecke
23	Leistungshalbleiterchip
24	Feldstoppzone

25	pn-Übergang
26	Unterseite des Halbleiterkörpers
27	Kollektorelektrode
28	p ⁺ -leitender Bereich des Bodygebiets
29	Feldstoppübergang
30	p-leitende Schicht auf der Unterseite des Halbleiterkörpers
31	Oberseite des Halbleiterkörpers
a	Abstand
C	Kollektorelektrode
E	Emittierelektrode
G	Gateelektrode
ER	Rückseitenemitter

Patentansprüche

1. Leistungshalbleiterbauelement mit vertikalen Gatezonen (7), wobei die Gatezonen (7) in einer Grabenstruktur (8) eines Halbleiterkörpers (9) angeordnet sind und wobei die Gatezonen (7) eine Gateelektrode (10) und ein Gateoxid (11), welches die Wände (12) der Grabenstruktur (8) bedeckt, aufweisen, und wobei zwischen zwei Gatezonen (7) eine Bodyzone (13) eines ersten Leitungstyps angeordnet ist, an die sich vertikal eine Driftzone (14) eines zum ersten Leitungstyp komplementären Leitungstyps anschließt, wobei benachbart zu den Gatezonen (7) floatende Abschirmzonen (15) des ersten Leitungstyps angeordnet sind, die sich tiefer als die Grabenstruktur (8) der Gatezonen (7) in den Halbleiterkörper (9) erstrecken und einen pn-Übergang (16) zu der Driftzone (14) unterhalb der Grabenstruktur (8) aufweisen, und wobei im Raumladungsgebiet dieses pn-Übergangs (16) beabstandet vom Grabenboden (17) der Grabenstruktur (8) eine vergrabene Dotierstoffzone (18) gleichen Ladungstyps wie die Driftzone (14) mit höherer Störstellenkonzentration als die Driftzone (14) angeordnet ist, wobei die Grabenstruktur (8) einen mit Gateoxid (11) bedeckten Grabenboden (17) aufweist, an den sich in den Halbleiterkörper (9) hinein die Abschirmzone (15) erstreckt, wobei sich an das Gateoxid (11) im Bodenbereich (17) der Grabenstruktur (8) eine leitende Dotierstoffzone (19) innerhalb der Abschirmzone (15) mit erhöhter Störstellenkonzentration des ersten Leitungstyps anschließt.

2. Leistungshalbleiterbauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich an das Gateoxid (11) im Bodenbereich (17) der Grabenstruktur (8) eine komplementär leitende zweite Dotierstoffzone (20) anschließt, die von der Abschirmzone (15) des ersten Leitungstyps umgeben ist.

3. Leistungshalbleiterbauelement nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand a der Abschirmzonen (15) von den Gatezonen (7) zwischen 100 nm < a < 500 nm ist.

4. Leistungshalbleiterelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

net, dass die komplementär leitende zweite Dotierstoffzone (20) unterhalb des Grabenbodens (17) von der Abschirmzone (15) bis in die Driftzone (14) hineinragt.

5. Leistungshalbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Leistungshalbleiterelement (1) einen Halbleiterkörper (9) aus einkristallinem Silizium aufweist und das Gateoxid ein thermisches Siliziumoxid ist.

6. Leistungshalbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die komplementär leitenden Dotierstoffzonen (18, 20) unterhalb des Grabenbodens (17) Arsenatome auf substitutionellen Siliziumgitterplätzen aufweisen.

7. Leistungshalbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Dosis der Netto-Störstellendotierung mit Arsenatomen in der Dotierstoffzone (18) beabstandet vom Grabenboden (17) geringer ist als die Durchbruchsladung.

8. Leistungshalbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Leistungshalbleiterbauelement ein IGBT (insulated gate bipolar Transistor)-Schalter ist.

9. Verfahren zur Herstellung mehrerer Leistungshalbleiterbauelemente (1) mit Dotierstoffzonen (18) beabstandet von einer vertikalen Grabenstruktur (8) mit Gatezonen (7):

- Herstellen eines Halbleiterwafers mit Epitaxieschicht (21) und mit einer Vielzahl in Zeilen und Spalten angeordneter Halbleiterchippositionen, in denen Driftstrecken (22) mit einem zu Bodyzonen komplementären Leitungstyp und floatenden Abschirmzonen (15) mit dem gleichen Leitungstyp wie die Bodyzonen angeordnet sind;
- Einbringen der Grabenstruktur (8) für vertikale Gatezonen (7) zwischen den Driftzonen (14) und den Abschirmzonen (15);
- Ionenimplantation von Dotierstoffen durch den Grabenboden (17) der Grabenstruktur (8) für vom Grabenboden (17) beabstandete Dotierstoffzonen (18) mit komplementärem Leitungstyp (15) zu den Abschirmzonen (15) im Bereich des pn-Übergangs (16) von Driftzonen zu Abschirmzonen (15);
- Ausheilprozess
- Vollenden der Leistungshalbleiterbauelementstruktur in den Halbleiterchippositionen;
- Auftrennen des Halbleiterwafers in einzelne Leistungshalbleiterchips (23);
- Häusen und Kontaktieren der Leistungshalbleiterchips (23) zu Leistungshalbleiterbauelementen (1).

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass als Dotierstoff Arsenionen implantiert werden.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Dotierstoffzonen (18, 20) implantiert werden, wobei eine erste Dotierstoffzone (18) beabstandet zum Grabenboden (17) in den Halbleiterkörper (9) eingebracht wird und eine zweite Dotierstoffzone (20) mittels geringerer Implantationsenergie am Grabenboden (17) angeordnet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 9 oder Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass als Dotierstoff der zweiten Dotierstoffzone (19) ein Dotierstoff der Abschirmzone (15), vorzugsweise Bor eingesetzt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 9 oder Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass als Dotierstoff der ersten und/oder zweiten Dotierstoffzone (18, 20) ein Dotierstoff der Driftzone, vorzugsweise Arsen oder Phosphor eingesetzt wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass als Dotierstoff der vom Grabenboden (17) beabstandeten ersten Dotierstoffzone (18) als Dotierstoff Phosphor und als Dotierstoff der zweiten Dotierstoffzone (20) Arsen eingesetzt wird.

15. Verwendung des Leistungshalbleiterbauelements nach einem der Ansprüche 1 bis 8 für Umrichter-Module mit Nennspannungen von 500 V bis 6500 V.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

FIG 2

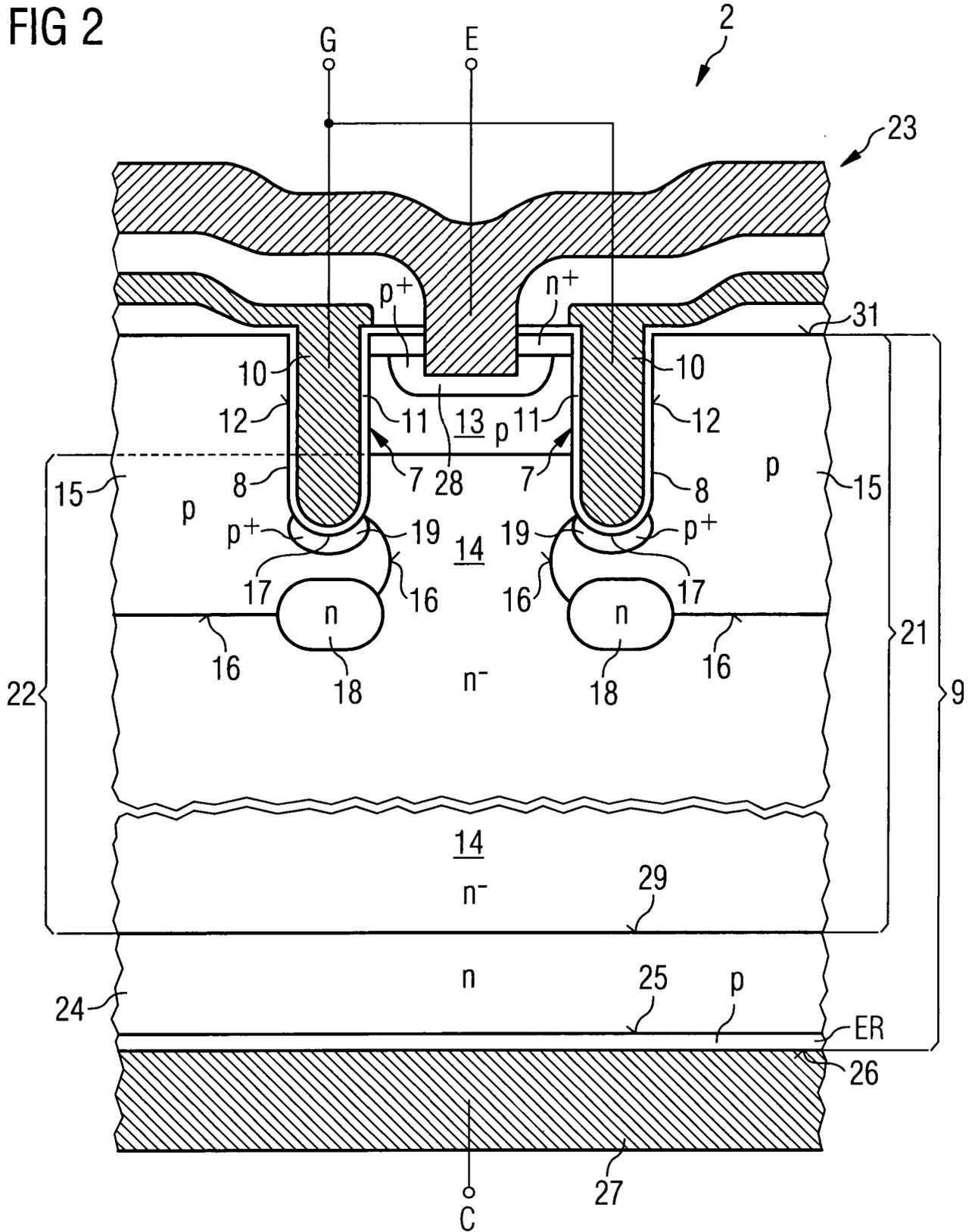


FIG 3

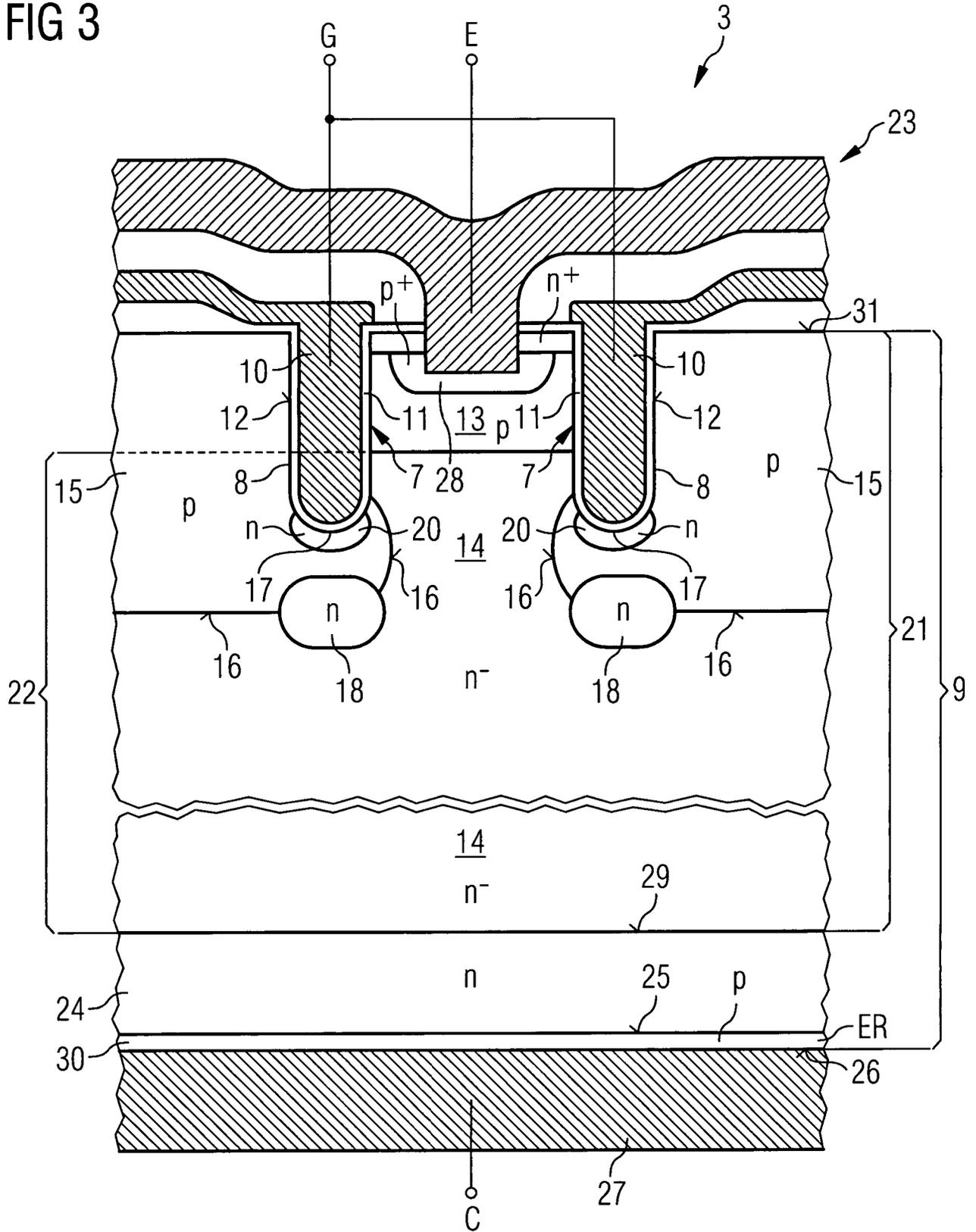


FIG 4

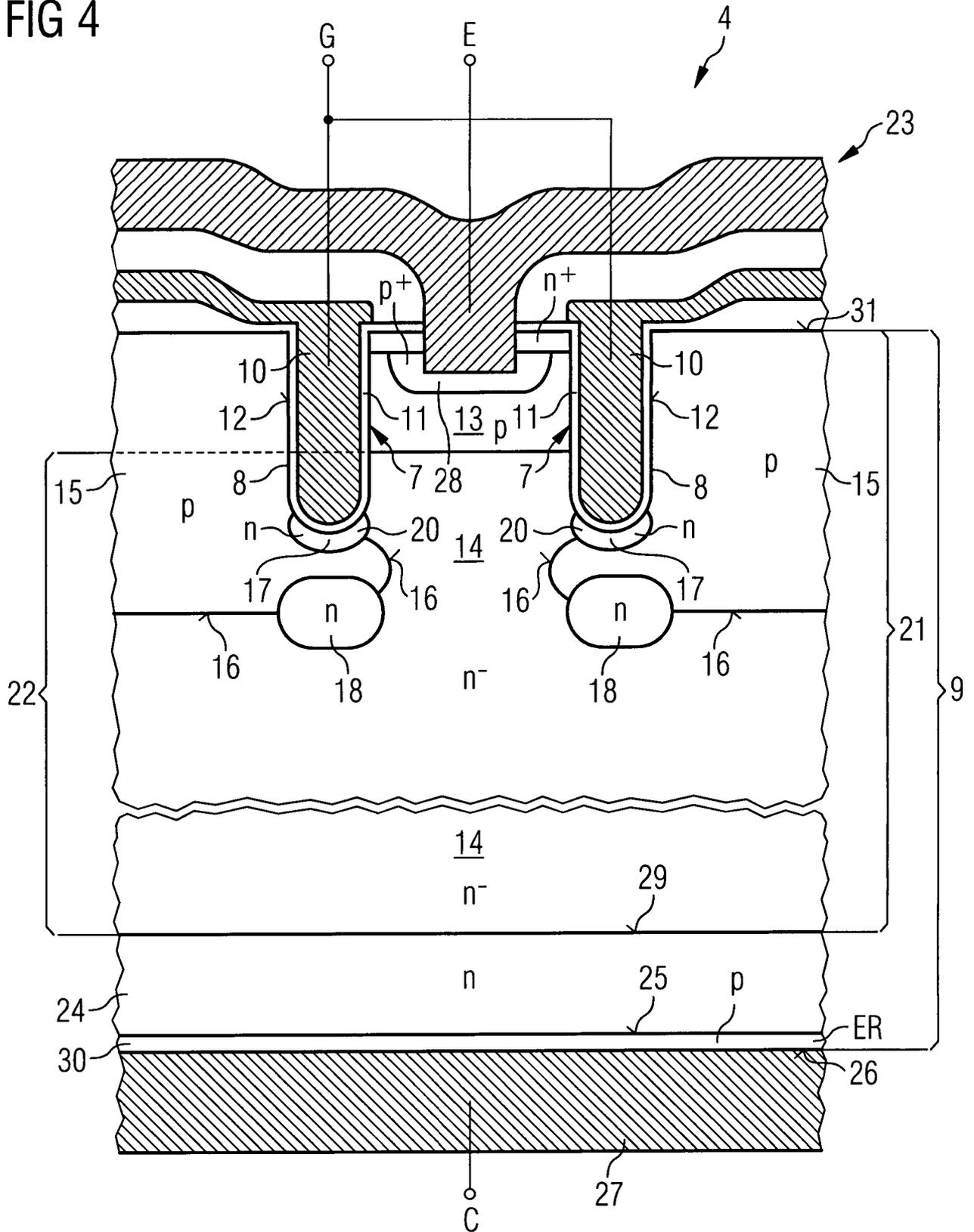
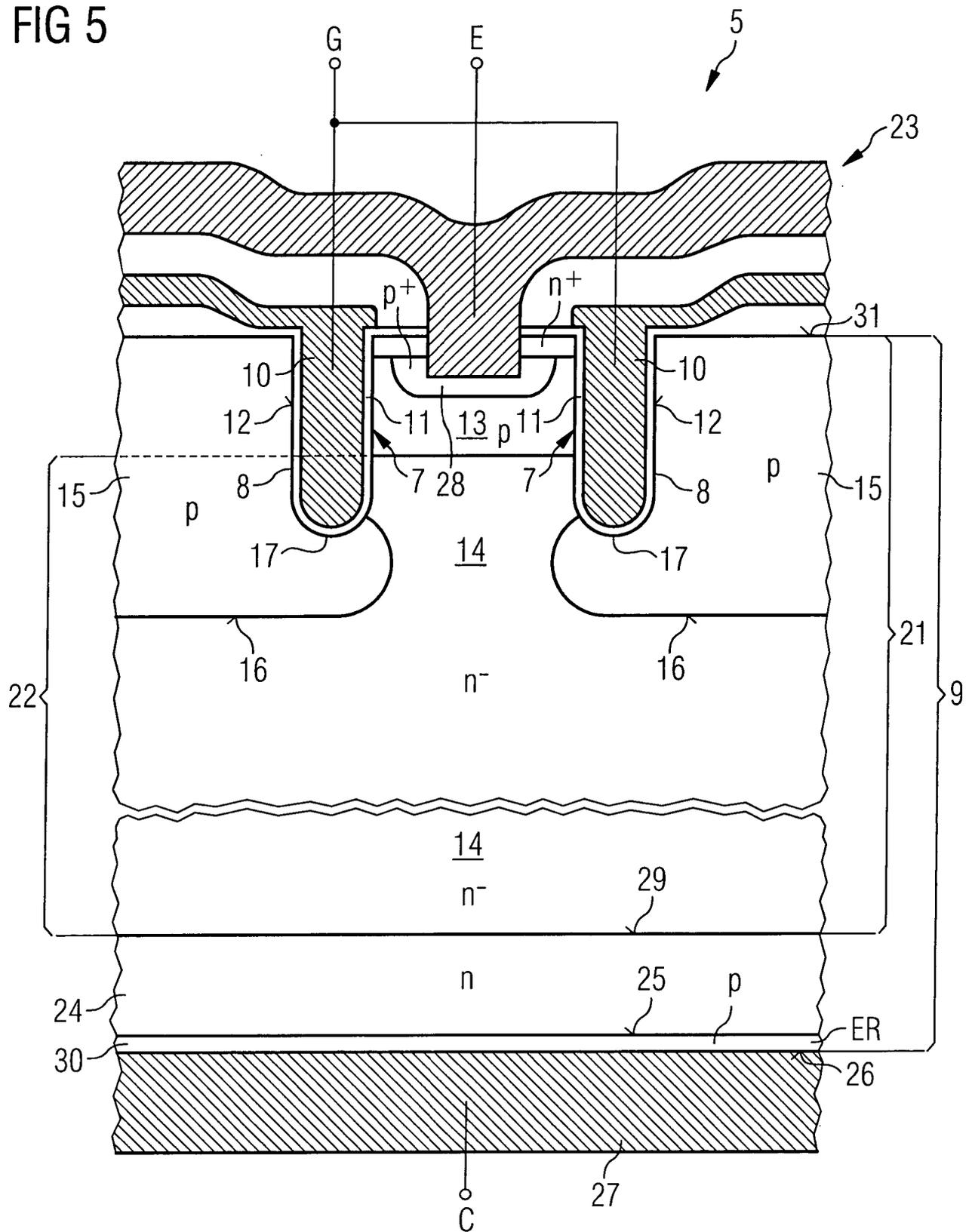
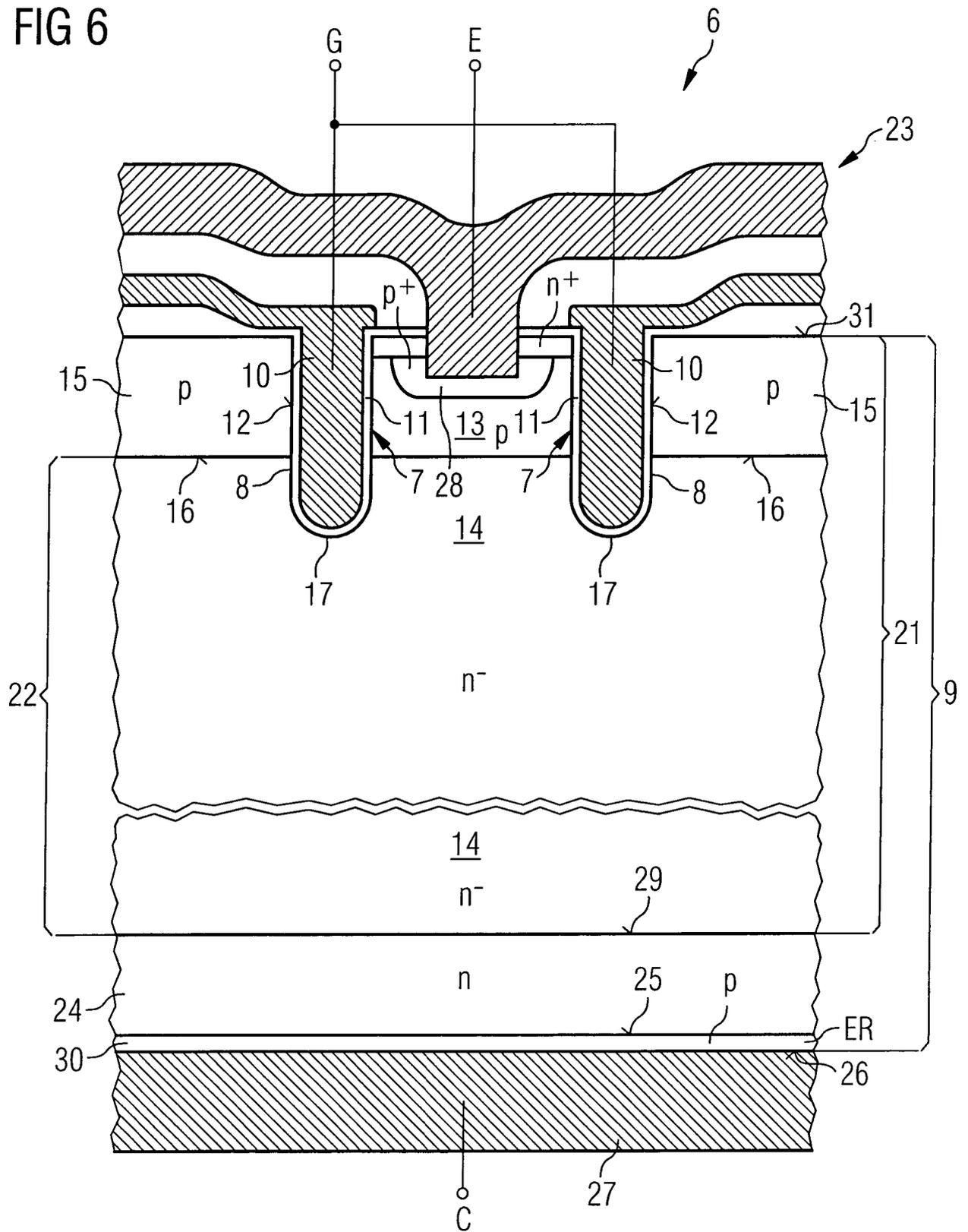


FIG 5



Stand der Technik

FIG 6



Stand der Technik