



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 61 136 B4 2005.10.27**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 61 136.3**
 (22) Anmeldetag: **23.12.2003**
 (43) Offenlegungstag: **21.07.2005**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **27.10.2005**

(51) Int Cl.7: **H01L 29/861**
H01L 29/739, H01L 29/06

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. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Infineon Technologies AG, 81669 München, DE

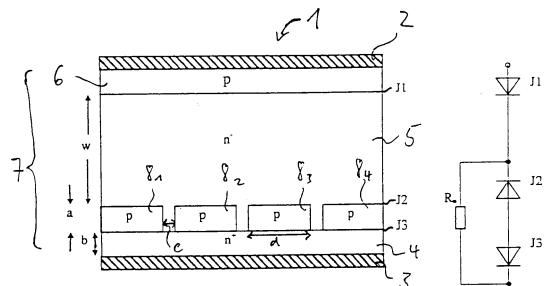
(74) Vertreter:
Müller - Hoffmann & Partner Patentanwälte, 81667 München

(72) Erfinder:
Mauder, Anton, 83059 Kolbermoor, DE; Schulze, Hans-Joachim, 85521 Ottobrunn, DE; Pfirsch, Frank, 81545 München, DE; Falck, Elmar, 85521 Ottobrunn, DE; Lutz, Josef, 09126 Chemnitz, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 198 43 659 A1
DE 198 23 944 A1
US 62 39 466 B1

(54) Bezeichnung: **Halbleiterdiode und IGBT**

(57) Zusammenfassung: Eine Halbleiterdiode (1, 1') weist eine Anode (2), eine Kathode (3) und ein zwischen Anode (2) und Kathode (3) vorgesehene Halbleitervolumen (7) auf. In dem Halbleitervolumen (7) sind mehrere Halbleiterzonen (8, bis 8₄) ausgebildet, die gegenüber ihrer unmittelbaren Umgebung invers dotiert, voneinander beabstandet und in der Nähe der Kathode (3) vorgesehen sind. Die Halbleiterzonen sind gegenüber der Kathode (3) beabstandet.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Halbleiterdiode sowie einen IGBT.

[0002] Auf dem Gebiet der Leistungs-Halbleitertechnik ist man bestrebt, Halbleiterbauteile mit Schutzmechanismen zu versehen, damit selbst unter Extrembedingungen einer Zerstörung der Halbleiterbauteile vorgebeugt werden kann.

[0003] Derartige Extrembedingungen können unter anderem beim Abkommutieren von Leistungs-Halbleiterdioden auftreten: Während des Abkommutiervorgangs liegen beispielsweise am $n\text{-}n$ -Übergang einer $p\text{-}n\text{-}n$ -Halbleiterdiode hohe elektrische Felder an, was zu einer lawinenartigen Ladungsträgererzeugung am $n\text{-}n$ -Übergang führt. Zum gleichen Zeitpunkt treten am $p\text{-}n$ -Übergang der $p\text{-}n\text{-}n$ -Halbleiterdiode hohe elektrische Feldstärken auf, die zu einer lawinenartigen Ladungsträgererzeugung am $p\text{-}n$ -Übergang führen. Die abrupte, lawinenartige Erzeugung von Ladungsträgern (so genannter „Avalanche-Effekt“) bewirkt, dass im n -dotierten Mittelgebiet der Halbleiterdiode ein für das Sperrvermögen der Halbleiterdiode notwendiges hohes elektrisches Feld nicht mehr aufrechterhalten werden kann. Die Halbleiterdiode verliert somit ihr Sperrvermögen und wird zerstört, falls nicht externe Maßnahmen zur Strom- und Leistungsbegrenzung vorgenommen wurden.

[0004] Um eine Zerstörung der Halbleiterdiode zu vermeiden, musste der Abkommutiervorgang der Diode bislang hinreichend langsam erfolgen. Wurden derartige Halbleiterdioden innerhalb von IGBT-Halbleitermodulen eingesetzt, musste dadurch jedoch eine Erhöhung der Einschaltverluste des IGBT in Kauf genommen werden.

[0005] Eine weitere Möglichkeit, der Zerstörung der Halbleiterdiode vorzubeugen, besteht darin, die Chipdicke der Halbleiterdiode zu erhöhen bzw. die Menge der Überschwemmungsladung an der Anode zu verringern und gleichzeitig die Überschwemmungsladung an der Kathode zu erhöhen. Derartige Maßnahmen ziehen jedoch erhöhte Durchlass- bzw. Schaltverluste nach sich.

[0006] Bei IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) – Halbleiterbauteilen (insbesondere bei Feldstopp-IGBTs und PT („punch through“)-IGBTs) treten Extrembedingungen vor allem beim Abschalten hoher Ströme und bei Kurzschlüssen auf. Beim Abschalten hoher Ströme muss darauf geachtet werden, dass entsprechende Stromabfälle innerhalb des IGBT-Halbleiterbauteils nicht zu steil ausfallen, was insbesondere dann der Fall ist, wenn bei einer benötigten Sperrspannung keine oder zu wenig Überschwemmungsladung im rückseitigen Teil des IGBT-Halbleiterbauteils vorliegt und infolgedessen der

Laststrom abreißt. Bei Kurzschlüssen kann aufgrund des starken Elektronenflusses durch den im IGBT-Halbleiterbauteil induzierten Kanal der Zustand eintreten, dass die höchste elektrische Feldstärke innerhalb des IGBT-Halbleiterbauteils nicht an den $p\text{-}n$ -Übergängen nahe der Vorderseite, sondern am rückseitigen $n\text{-}n^+$ -Übergang zur Feldstoppschicht bzw. Pufferschicht hin auftritt. Dies kann wiederum dazu führen, dass am $n\text{-}n^+$ -Übergang eine lawinenartige Erzeugung von Ladungsträgern bewirkt wird, die zum Abbau eines elektrischen Felds innerhalb des IGBT-Halbleiterbauteils und damit zu einem Verlust der Sperrfähigkeit des Bauteils führt. In beiden Fällen kann das IGBT-Halbleiterbauteil zerstört werden.

[0007] Bei NPT („non-punch through“)-IGBTs können die oben beschriebenen Probleme prinzipiell nicht auftreten, da in diesen Halbleiterbauteilen eine ausreichend dicke neutrale Zone verbleibt beziehungsweise keine Feldstoppschicht vorhanden ist. Da das elektrische Feld innerhalb des NPT-IGBTs aufgrund der erhöhten Dicke des Halbleiterbauteils sich praktisch nie im gesamten Halbleitervolumen ausbildet, steht während eines Stromabschaltvorgangs immer eine ausreichende Menge an Ladungsträgern für einen Stromtransport zur Verfügung, so dass der Laststrom nicht abreißen kann. Bei Kurzschlüssen führt eine höhere Elektronenstromdichte zu einem flacheren Gradienten des elektrischen Feldes und somit zu einer Annäherung der Raumladungszone an den Rückseitenemitter (beispielsweise p -dotiert), der aufgrund dessen mehr Löcher in das Halbleiterbauteil injiziert. Diese zusätzliche positive Ladung führt wiederum zu einem Aufsteilen des elektrischen Feldes und somit zur Stabilisierung desselben. Damit kann die Sperrfähigkeit des IGBTs aufrechterhalten werden.

[0008] Nachteilig an NPT-IGBTs ist jedoch deren gegenüber Feldstopp- bzw. PT-IGBTs erhöhte Chipdicke, was Schalt- und Durchlassverluste entsprechend erhöht. Es ist daher versucht worden, die Feldstoppschicht zu unterbrechen bzw. inselförmig auszugestalten und/oder niedrig zu dotieren. Dies hat wiederum den Nachteil, dass ein Kompromiss zwischen der statischen Sperrfähigkeit des Halbleiterbauteils und der Softness bzw. Kurzschlussfestigkeit gefunden werden muss. Zwar ist es möglich, durch Erhöhen der Dotierung des Rückseitenemitters die Softness bzw. Kurzschlussfestigkeit des Halbleiterbauteils zu verbessern. Jedoch führt dies zu einer starken Ladungsträgerüberschwemmung auch unter normalen Bedingungen, was unerwünscht ist, da sich hieraus erhöhte Schaltverluste ergeben.

Stand der Technik

[0009] In der Druckschrift DE 198 43 659 A1 ist eine Halbleiterdiode offenbart, die eine Anode, eine Kathode und ein zwischen Anode und Kathode vorgese-

henes Halbleitervolumen aufweist. In dem Halbleitervolumen sind mehrere Halbleiterzonen ausgebildet, die gegenüber ihrer unmittelbaren Umgebung invers dotiert sind, voneinander beabstandet sind und in der Nähe der Kathode vorgesehen, jedoch von dieser beabstandet sind.

[0010] In der Druckschrift US 6,239,466 B1 ist ein IGBT offenbart, der einen Vorderseitenkontakt, einen Rückseitenkontakt und ein zwischen Vorderseitenkontakt und Rückseitenkontakt vorgesehenes Halbleitervolumen aufweist. In dem Halbleitervolumen ist eine Feldstoppschicht vorgesehen, in der mehrere Halbleiterzonen ausgebildet sind, die gegenüber ihrer unmittelbaren Umgebung invers dotiert und voneinander beabstandet sind. Bezüglich Halbleiterdioden sei weiterhin auf die Druckschrift DE 198 23 944 A1 verwiesen.

Aufgabenstellung

[0011] Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe ist, eine Halbleiterdiode bzw. einen IGBT anzugeben, die in ihren Abmessungen möglichst kompakt ausgestaltet sind und gleichzeitig eine Zerstörung der Halbleiterbauteile unter Extrembedingungen ausschließen.

[0012] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Halbleiterdiode gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Ferner stellt die Erfindung einen IGBT gemäß Patentanspruch 6 bereit. Vorteilhafte Ausgestaltungen bzw. Weiterbildungen des Erfindungsgedankens finden sich in jeweiligen Unteransprüchen.

[0013] Die erfindungsgemäße Halbleiterdiode weist eine Anode, eine Kathode, und ein zwischen Anode und Kathode vorgesehenes Halbleitervolumen auf. In dem Halbleitervolumen sind mehrere Halbleiterzonen ausgebildet, die gegenüber ihrer unmittelbaren Umgebung invers dotiert, voneinander beabstandet, und in der Nähe der Kathode vorgesehen sind. Die Halbleiterzonen sind hierbei auch gegenüber der Kathode beabstandet, grenzen also nicht direkt an diese an.

[0014] Das Halbleitervolumen weist eine erste, zweite, dritte und vierte Halbleiterschicht auf, die in dieser Reihenfolge auf der Kathode angeordnet sind. Die erste Halbleiterschicht ist hierbei n^+ -dotiert, die zweite Halbleiterschicht n -dotiert, die dritte Halbleiterschicht n^- -dotiert und die vierte Halbleiterschicht p -dotiert. Die Halbleiterzonen sind als p -dotierte Zonen innerhalb der zweiten Halbleiterschicht ausgebildet und grenzen an einen Übergang zwischen der ersten und der zweiten Halbleiterschicht an. Die Halbleiterzonen sind also wenigstens teilweise durch die, n -dotierte Halbleiterschicht umgeben.

[0015] Die Halbleiterzonen sind vorzugsweise insel-

förmig (rechteckig, rund bzw. andere beliebige Formen) ausgestaltet und werden, um eine regelmäßige elektrische Feldstärkenstruktur zu erzielen, vorteilhafterweise äquidistant zueinander angeordnet. Die Dicke der Halbleiterzonen sollte hierbei in einem Bereich von 3 bis 20 μm liegen, die Breite in einem Bereich von 2 bis 200 μm und der Abstand zwischen den Halbleiterzonen in einem Bereich von 5 bis 200 μm liegen. Die Halbleiterzonen sind in ihren Abmessungen vorzugsweise identisch ausgestaltet. Die Erfindung ist jedoch nicht auf diese Wertebereiche beschränkt.

[0016] Generell gilt die Faustregel, dass 1/10 der Sperrspannung einer Halbleiterdiode (in Volt gerechnet) der Dicke der Halbleiterdiode (in μm gerechnet) entsprechen sollte. In der ersten beschriebenen Ausführungsform, deren Halbleitervolumen aus drei Halbleiterschichten besteht, ist analog der Abstand zwischen den Halbleiterzonen und der dritten Halbleiterschicht damit beispielsweise für ein Bauelement mit einer Sperrspannung > 2 kV vorzugsweise größer als 200 μm . In der zweiten Ausführungsform, deren Halbleitervolumen aus vier Halbleiterschichten besteht, ist analog der Abstand zwischen den Halbleiterzonen und der vierten Halbleiterschicht vorzugsweise größer als 200 μm . Weiterhin beträgt in der zweiten Ausführungsform der Abstand zwischen den Halbleiterzonen und dem Übergang zwischen der zweiten und der dritten Halbleiterschicht zwischen 10 μm bis 25 μm . Die Dicke der Halbleiterzonen sollte in einem Bereich von 0,2 μm bis 20 μm liegen. Die Erfindung ist nicht auf die oben angegebenen Bereiche beschränkt.

[0017] Der erfindungsgemäße IGBT weist einen Vorderseitenkontakt, einen Rückseitenkontakt und ein zwischen Vorderseitenkontakt und Rückseitenkontakt vorgesehenes Halbleitervolumen auf. Im Halbleitervolumen ist eine Feldstoppschicht zur räumlichen Begrenzung eines in dem Halbleitervolumen ausbildbaren elektrischen Feldes vorgesehen, wobei in der Feldstoppschicht mehrere Halbleiterzonen ausgebildet sind, die gegenüber ihrer unmittelbaren Umgebung invers dotiert und voneinander beabstandet sind.

[0018] Das Halbleitervolumen weist eine erste, zweite, dritte und vierte Halbleiterschicht auf, die in dieser Reihenfolge auf dem Rückseitenkontakt angeordnet sind, wobei die erste Halbleiterschicht eine p -dotierte Emitterschicht, die zweite Halbleiterschicht ein n -dotierter Teil der Feldstoppschicht, die dritte Halbleiterschicht ein schwach n -dotierter Teil der Feldstoppschicht, und die vierte Halbleiterschicht ein n -dotiertes Basisgebiet ist. Die p -dotierten Halbleiterzonen sind in dieser Ausführungsform in dem schwach n -dotierten Teil der Feldstoppschicht ausgebildet und grenzen an einen Übergang zwischen der zweiten Halbleiterschicht und der dritten Halbleiter-

schicht an. Das Halbleitervolumen weist demnach eine schwach n-dotierte Schicht auf, die die Halbleiterzonen wenigstens teilweise umgibt.

[0019] Üblicherweise sind in das obere Ende der dritten Halbleiterschicht (erste Ausführungsform) bzw. in das obere Ende der vierten Halbleiterschicht (zweite Ausführungsform) p-dotierte Körpergebiete eingelassen. Da auch hier analog die Faustregel gilt, dass $1/10$ der Sperrspannung eines IGBT (in Volt gerechnet) der Dicke der IGBT (in μm gerechnet) entsprechen sollte, beträgt beispielsweise für ein Bauelement mit einer Sperrspannung > 2 kV der Abstand zwischen den Halbleiterzonen und den p-dotierten Körpergebieten in beiden Fällen vorzugsweise mehr als $200 \mu\text{m}$. In der zweiten Ausführungsform sollte ferner der Abstand zwischen den Halbleiterzonen und dem Übergang zwischen der dritten und vierten Halbleiterschicht in einem Bereich von $10 \mu\text{m}$ bis $25 \mu\text{m}$ liegen. Die Anwendung der beschriebenen Faustformel ist nicht zwingend erforderlich, es kann auch ein anderer funktioneller Zusammenhang bestehen.

[0020] Die Dicke der Halbleiterzonen liegt vorzugsweise in einem Bereich von $0,2 \mu\text{m}$ bis $20 \mu\text{m}$, die Breite der Halbleiterzonen vorzugsweise in einem Bereich von $2 \mu\text{m}$ bis $200 \mu\text{m}$, und der Abstand zwischen den Halbleiterzonen in einem Bereich von 5 bis $200 \mu\text{m}$.

[0021] Sämtliche beschriebenen Wertebereiche sind lediglich bevorzugte Ausführungsformen und stellen keine Einschränkung der Erfindung dar. Alle im Anmeldungstext beschriebenen Ausführungsformen können invers dotiert sein, d. h., n-Gebiete und p-Gebiete können miteinander vertauscht werden.

[0022] Die Erfindung wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Figuren in beispielsweise Ausführungsform näher erläutert. Es zeigen:

[0023] [Fig. 1](#) eine bekannte Ausführungsform einer Halbleiterdiode samt zugehörigem Ersatzschaltbild.

[0024] [Fig. 2](#) eine bevorzugte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Halbleiterdiode.

[0025] [Fig. 3](#) eine Ausführungsform eines herkömmlichen IGBTs mit zugehöriger vertikaler E-Feldverteilung.

[0026] [Fig. 4](#) eine bekannte Ausführungsform eines IGBTs mit zugehöriger vertikaler E-Feldverteilung. Der Schnitt verläuft hierbei durch eine der p-Inseln.

[0027] [Fig. 5](#) eine bevorzugte Ausführungsform eines Abschnitts eines erfindungsgemäßen IGBTs.

[0028] In den Figuren sind identische bzw. einander entsprechende Bauteile bzw. Bauteilgruppen mit den

gleichen Bezugsziffern gekennzeichnet.

[0029] In [Fig. 1](#) ist eine bekannte Ausführungsform 1 einer Halbleiterdiode gezeigt. Die Halbleiterdiode 1 weist eine Anode 2, eine Kathode 3, eine erste Halbleiterschicht 4, eine zweite Halbleiterschicht 5 und eine dritte Halbleiterschicht 6 auf, wobei die erste Halbleiterschicht 4 n⁺-dotiert, die zweite Halbleiterschicht 5 n⁻-dotiert und die dritte Halbleiterschicht 6 p-dotiert ist. Die erste, zweite und dritte Halbleiterschicht 4, 5 und 6 bilden zusammen ein Halbleitervolumen 7, das zwischen der Anode 2 und der Kathode 3 vorgesehen ist. Innerhalb der zweiten Halbleiterschicht 5 sind mehrere Halbleiterzonen 8₁ bis 8₄ vorgesehen, die in dieser Ausführungsform einen rechteckförmigen Querschnitt aufweisen und äquidistant voneinander beabstandet sind. Die Halbleiterzonen 8₁ bis 8₄ sind auf gleicher vertikaler Höhe angeordnet, wobei deren jeweilige Unterseiten direkt an die erste Halbleiterschicht 4 angrenzen.

[0030] In dieser Ausführungsform beträgt die Dicke b der ersten Halbleiterschicht 4 $0,2$ bis $30 \mu\text{m}$, die Dicke a der Halbleiterzonen 8₁ bis 8₉ 3 bis $20 \mu\text{m}$, und der Abstand w zwischen den Halbleiterzonen 8₁ bis 8₄ und der dritten Halbleiterschicht 6 mehr als $200 \mu\text{m}$. Die Breite d der Halbleiterzonen 8₁ bis 8₄ beträgt jeweils 2 bis $200 \mu\text{m}$, der Abstand e zwischen den Halbleiterzonen 8₁ bis 8₄ beträgt 5 bis $200 \mu\text{m}$. Die Dotierung der Halbleiterzonen 8₁ bis 8₄ beträgt maximal $1\text{E}15$ bis $5\text{E}16 \text{ cm}^{-3}$. Die Halbleiterdiode 1 ist auf Spannungen von >2000 V bis 8000 V ausgelegt. Die Erfindung ist nicht auf diese Wertebereiche beschränkt. Die oben genannten Werte hängen, wie bereits erwähnt wurde, von der gewünschten Spannungs-kategorie des Halbleiterbauteils ab ("Faustformel") und sind daher nicht als Einschränkung, sondern lediglich als Beispiel zu verstehen.

[0031] Der Übergang zwischen der ersten Halbleiterschicht 4 und den Halbleiterzonen 8₁ bis 8₉ ist mit J3, der Übergang zwischen den Halbleiterzonen 8₁ bis 8₄ und der zweiten Halbleiterschicht 5 ist mit J2, und der Übergang zwischen der zweiten und dritten Halbleiterschicht 5, 6 mit J1 bezeichnet.

[0032] Im Folgenden wird die Funktionsweise der Halbleiterdiode 1 näher erläutert.

[0033] Bei Kommutierung der Halbleiterdiode in den Sperrzustand ist J2 in Durchlassrichtung, J1 und J3 in Sperrrichtung gepolt. J1 ist auf 2000 bis 8000 V ausgelegt. J3 ist auf 10 bis 100 V ausgelegt. Entsteht am Hauptübergang J1 ein dynamischer "Avalanche", so ist J3 ebenfalls im Zustand des Avalanche.

[0034] Während dieses Zustands befindet sich in der Mittelzone der Diode noch der Ladungsträgerberg. J3 injiziert jetzt Löcher in den Ladungsträgerberg. Damit wird verhindert, dass sich der Ladungs-

trägerberg vom Übergang J3 ablöst. Die injizierten Löcher kompensieren die durch dynamischen Avalanche vom Übergang J1 kommenden Elektronen. Es kann sich somit keine durch die freien Elektronen getragene Raumladungszone zwischen Ladungsträgerberg und n⁺-Zone (erste Halbleiterschicht **4**) aufbauen.

[0035] Die durch die Halbleiterzonen **8₁–8₄** gebildete p-Zone ist unterbrochen, was im Ersatzschaltbild durch den Widerstand R dargestellt ist. Bei einer durchgehenden p-Zone würde der Übergang J2 sperren, wenn die Diode in Durchlassrichtung betrieben werden würde. Durch den Widerstand R finden kleine Ströme in Durchlassrichtung einen Nebenschluss. Bei typischen Betriebsströmen wird die pn-Struktur durchgesteuert, d.h. eingeschaltet und mit Ladungsträgern überschwemmt. R sollte nicht zu klein sein: Bei Kommutierung muss am Übergang J3 eine Spannung aufgebaut werden, die zu einem Avalanche führt.

[0036] Es entsteht also auf der Kathodenseite ein dynamischer Avalanche an einem pn-Übergang, was zur Stabilisierung des elektrischen Felds führt. Zusätzlich verbessert sich, durch das Festhalten des Ladungsträgerbergs an der Kathodenseite der Diode bedingt, auch das "Soft-Recovery-Verhalten".

[0037] Erreicht bei Anlegen der statischen Sperrspannung die Raumladungszone die vorgelagerten p-Zonen, so entsteht durch den npn-Transistor mit offener Basis ein erhöhter Sperrstrom. Allerdings geht die Sperrfähigkeit nicht verloren. In einem Experiment wurde eine Stufe im Sperrstrom gefunden, die dem Erreichen des p-Gebiets entspricht. Der Sperrstrom stieg von >100 µA bis 1 µA auf 1 mA bis 5 mA bei 25 °C.

Ausführungsbeispiel

[0038] **Fig. 2** zeigt eine bevorzugte Ausführungsform **1'** einer erfindungsgemäßen Halbleiterdiode. Die Halbleiterdiode **1'** weist eine Anode **2**, eine Kathode **3**, eine erste Halbleiterschicht **4**, eine zweite Halbleiterschicht **5'**, eine dritte Halbleiterschicht **6'** und eine vierte Halbleiterschicht **9** auf, wobei die erste Halbleiterschicht **4** n⁺-dotiert, die zweite Halbleiterschicht **5'** n-dotiert, die dritte Halbleiterschicht **6'** n-dotiert und die vierte Halbleiterschicht **9** p-dotiert ist. Gegenüber der in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsform **1** ist also eine zusätzliche Halbleiterschicht **5'** vorgesehen, die n-dotiert ist und die die Halbleiterzonen **8₁** bis **8₄** wenigstens teilweise umgibt. Die Dotierung der als Puffer für die Ausdehnung der Raumladungszone dienenden zweiten Halbleiterschicht **5'** liegt zwischen 5E14 und 5E15 cm⁻³, der Abstand c zwischen den Oberseiten der Halbleiterzonen **8₁** bis **8₄** und dem Übergang zwischen der zweiten Halbleiterschicht **5'** und der dritten Halbleiterschicht **6'** be-

trägt zwischen 10 und 25 µm. Durch Hinzufügen der zweiten Halbleiterschicht **5'** kann die Stufe im Sperrstromverlauf zu höheren Spannungen verschoben werden. Die restlichen Wertebereiche entsprechen denen der ersten Ausführungsform. Die Erfindung ist nicht auf diese Wertebereiche beschränkt.

[0039] Der Puffer (die zweite Halbleiterschicht **5'**) setzt außerdem die Sperrfähigkeit des Übergangs J2 herab, das Einschalten der Diode wird erleichtert.

[0040] Bei geeigneter Dimensionierung des Anteils der Flächen der Halbleiterzonen **8₁–8₄** (p-Fläche), der Größe der einzelnen Halbleiterzonen **8₁–8₄** (p-Inseln) und ihrer Abstände voneinander bzw. von der Kathode kann die Überschwemmung des Bauelements mit Ladungsträgern auch örtlich unterschiedlich moduliert werden: Je größer der Anteil an p-Fläche ist, desto geringer ist die Ladungsträgerdichte der Überschwemmungsladung im vorgelagerten n-Gebiet. Dadurch können die Durchlassspannung und Schaltverluste gezielt reduziert werden.

[0041] Erfindungsgemäß reichen die in die n-Emitter integrierten p-Inseln nicht bis an die Kathodenmetallisierung. Eine solche Ausgestaltung würde zu einem sehr späten und abrupten Einsetzen der Injektion von Löchern führen. Eine Dimensionierung der Dotiergebiete, um gleichermaßen softes Schaltverhalten bzw. die Verhinderung von hohen Feldstärken am nn⁺-Übergang zu bewirken, wäre nicht möglich. Die geforderten Dynamik-Eigenschaften hinsichtlich der unterschiedlichen im praktischen Betrieb vorkommenden Vorstromdichten und Zwischenkreispannungen könnten nicht erfüllt werden, denn entweder besitzt die Diode bei kleinen Stromdichten und/oder hohen Spannungen nicht mehr genügend Sperrfähigkeit, oder bei hohen Stromdichten und/oder niedrigen Spannungen erfolgt keine Injektion von Löchern mehr.

[0042] Ein wesentlicher Aspekt der Erfindung ist also, bei einer Hochvolt-Diodenstruktur die Kommutier-Festigkeit durch stabilisierenden dynamischen Avalanche an der Kathode beim Schalten zu verbessern. Die erfindungsgemäßen Halbleiterdioden-Ausführungsformen **1**, **1'** ermöglichen die Vermeidung zerstörerischer elektrischer Felder an einem nn⁺-Übergang, ohne dass die Halbleiterdiode eine solch große Mittelzonendicke aufweisen müsste, dass ein dynamischer „Avalanche“ am pn-Übergang der Halbleiterdiode beendet wird, bevor sich ein elektrisches Feld am nn⁺-Übergang ausbilden kann.

[0043] In **Fig. 3** ist eine herkömmliche Ausführungsform **20** eines erfindungsgemäßen IGBTs gezeigt. Diese Ausführungsform weist einen Rückseitenkontakt **21** und einen Vorderseitenkontakt **29** auf, zwischen denen ein Halbleitervolumen **30** vorgesehen ist. Das Halbleitervolumen **30** weist eine erste Halb-

leiterschicht **22**, eine zweite Halbleiterschicht **23** und eine dritte Halbleiterschicht **24** auf. Die erste Halbleiterschicht **22** ist hierbei eine p-Emitterschicht, die zweite Halbleiterschicht **23** eine n-Feldstoppschicht, und die dritte Halbleiterschicht **24** ein n-Basisgebiet. In die dritte Halbleiterschicht **24** sind ein erstes und ein zweites p-dotiertes Körpergebiet **25₁** und **25₂** eingelassen, in welche wiederum jeweils ein n-dotiertes Sourcegebiet **26₁**, **26₂** eingebracht ist. Weiterhin ist ein Gate **27** vorgesehen, das von der dritten Halbleiterschicht **24** und dem Vorderseitenkontakt **29** mittels einer Oxidschicht **28** isoliert ist, die das Gate **27** gegenüber dem Source-Potential elektrisch isoliert. In **Fig. 3** ist außerdem die Stärke eines elektrischen Felds gezeigt, das innerhalb des Halbleitervolumens **30** ausbildbar ist. Die Funktionsweise eines derartigen IGBTs ist bekannt und soll hier nicht erläutert werden.

[0044] Die in **Fig. 4** gezeigte Ausführungsform **20'** eines bekannten IGBTs unterscheidet sich von der in **Fig. 3** gezeigten Ausführungsform lediglich dadurch, dass in der zweiten Halbleiterschicht **23**, d. h. in der n-dotierten Feldstoppschicht, p-dotierte Halbleiterzonen **31₁** bis **31₃** ausgebildet sind.

[0045] In **Fig. 4** ist ferner der vertikale Feldstärkeverlauf gezeigt, der sich innerhalb des Halbleitervolumens **30** ausbildet. Der Schnitt verläuft durch eine der p-Inseln. Deutlich zu sehen ist, dass durch die Halbleiterzonen **31₁** bis **31₃** eine Feldspitze **32** innerhalb des E-Feldstärkeverlaufs erzeugt wird, die zu einer gewünschten lawinenartigen Ladungsträgererzeugung führt. Der in **Fig. 4** gezeigte Feldstärkeverlauf des elektrischen Feldes tritt bei Abschaltprozessen oder im Falle von Kurzschlüssen auf.

[0046] **Fig. 5** stellt eine schematische Darstellung eines Abschnitts einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen IGBTs dar, der als Modifikation des in **Fig. 4** gezeigten IGBTs **20'** interpretierbar ist. In der in **Fig. 5** gezeigten Ausführungsform ist die zweite Halbleiterschicht **23** in einen ersten n-dotierten Teil **33** und einen zweiten schwachdotierten Teil **34** aufgespalten. Die Halbleiterzonen **31₁** bis **31₄** sind innerhalb des zweiten Teils **34** der Feldstoppschicht **23** ausgebildet, wobei deren Unterseiten an einen Übergang zwischen dem ersten Teil **33** und dem zweiten Teil **34** der Feldstoppschicht **23** angrenzen. Das Zellenfeld an der Vorderseite kann selbstverständlich auch anders ausgeführt sein, beispielsweise mit Feldplattentrenches.

[0047] Die Dotierung der p-dotierten Halbleiterzonen **31₁** bis **31₄** beträgt maximal $1\text{E}15$ bis $1\text{E}18\text{ cm}^{-3}$, vorzugsweise $1\text{E}16$ bis $5\text{E}16\text{ cm}^{-3}$. Der Abstand w zwischen den p-dotierten Körpergebieten **25₁** und **25₄** und den p-dotierten Halbleiterzonen **31₁** und **31₃** hängt von der gewünschten Sperrfähigkeit ab und beträgt in diesem Beispiel vorzugsweise mehr als

$200\text{ }\mu\text{m}$, der Abstand c zwischen den Halbleiterzonen **31₁** und **31₄** und dem Übergang zwischen der zweiten und dritten Halbleiterschicht **23**, **24** beträgt vorzugsweise $10\text{ }\mu\text{m}$ bis $25\text{ }\mu\text{m}$, die Dicke a der Halbleiterzonen **31₁** und **31₄** beträgt vorzugsweise $0,5$ bis $20\text{ }\mu\text{m}$, die Breite d derselben vorzugsweise 2 bis $200\text{ }\mu\text{m}$, und der Abstand e zwischen den Halbleiterzonen **31₁** und **31₃** vorzugsweise 5 bis $200\text{ }\mu\text{m}$. Die Erfindung ist jedoch nicht auf diese Bereiche beschränkt.

[0048] In der folgenden Beschreibung sollen weitere Aspekte des erfindungsgemäßen IGBTs diskutiert werden.

[0049] Eine sehr wirkungsvolle Methode, während des Abschaltvorgangs oder während eines Kurzschlusses eine gezielte Injektion von Löchern in die Basiszone des IGBTs zu induzieren, besteht darin, in die Feldstoppzonen p-dotierte Inseln zu integrieren. Die Stärke der Löcherinjektion und auch deren zeitlicher Verlauf kann hierbei über das Design dieser Inseln gesteuert werden, also z. B. über die Breite in lateraler Richtung und auch über ihre Dotierungskonzentration. Die Injektion sollte hierbei einerseits so hoch gewählt werden, dass die gewünschte Weichheit des Abschaltens speziell unter harten Schaltbedingungen resultiert, andererseits aber auch nicht zu hoch, um die Abschaltverluste unter normalen Schaltbedingungen so gering wie möglich zu halten. Insbesondere dürfen die p-dotierten Inseln keinen Kontakt zur Rückseitenmetallisierung oder zum rückseitigen p-Emitter haben, sondern müssen davon durch ein n-Gebiet getrennt sein.

[0050] Der schematische Querschnitt einer solchen Struktur (rückseitiger p-Emitter und genaue Darstellung der Zellen auf der Vorderseite nicht dargestellt) ist in **Fig. 5** gezeigt. Die Realisierung der in der Feldstoppzonen vergrabenen p-dotierten Schichten kann z. B. mittels einer Hochenergie-Ionenimplantation oder auch mittels der Anwendung von Waferbonding-Techniken oder Epitaxie erfolgen. Die Dotierung der p-dotierten Inseln beträgt im Maximum zwischen $1\text{E}15$ und $1\text{E}18\text{ cm}^{-3}$, vorzugsweise zwischen $1\text{E}16$ und $5\text{E}16\text{ cm}^{-3}$. Eine vollständige IGBT-Struktur gemäß der Erfindung ist in **Fig. 4** bzw. **Fig. 5** dargestellt. Natürlich kann die planare Zellenstruktur auf der Vorderseite auch durch eine Trenchzellen-Struktur ersetzt werden.

[0051] Die durch die p-Inseln verursachte Injektion der Löcher wird dadurch verursacht, dass zwischen der p-Isel und der angrenzenden n-Dotierung beim Abschalten oder beim Kurzschluss eine Spannung auftritt, die die Sperrspannung des pn-Übergangs $J3$ übersteigt. Der durch Avalanche erzeugte Strom wird als Löcherstrom injiziert und dient zum weichen Abschalten bzw. Stabilisieren des elektrischen Feldes im Kurzschlussfall.

[0052] Durch Einbringen einer Feldstoppschicht mit erhöhter n-Dotierung ergibt sich ein weiterer Freiheitsgrad, um die Spannung zu bestimmen, ab der die p-Inseln überhaupt injizieren können. Dadurch kann bei niedrigen Zwischenkreisspannungen bzw. Applikationen mit niedriger Streuinduktivität und entsprechend niedrigen Überspannungsspitzen beim Schalten die Injektion und die damit verbundene Erhöhung der Abschaltverluste vermieden werden.

[0053] Ein wesentlicher Aspekt der Erfindung liegt somit in der Erzeugung eines zusätzlichen Stroms durch Avalanche unter kritischen Betriebsbedingungen, der als Löcherstrom injiziert wird und zum weicheren Abschalten bzw. Stabilisieren des elektrischen Felds im Kurzschluss führt.

[0054] Die p-Inseln können im Querschnitt polygon- oder kreisförmig sein oder auch als Streifen ausgelegt werden. Die p-Inseln können justiert oder unjustiert zur Vorderseite eingebracht werden. Das Raster der p-Inseln kann zu dem Raster der Vorderseitenstruktur (Raster der Zellen des Zellenfeldes) in einem einfachen ganzzahligen Verhältnis stehen, d.h. pro Zelle ein, zwei, ... ,p-Inseln.

[0055] Die in die n-Feldstoppzone vor den p-Inseln (zwischen p-Inseln und n-Gebiet) eingebrachte n-Dotierung hat eine Dosis zwischen $2E11/cm^2$ und $2E12/cm^2$ und kann, um diese Dosis möglichst genau einstellen zu können, mittels Implantation in Kombination mit einem oder mehreren nachfolgenden Eindiffusionsschritten eingebracht werden.

29	Vorderseitenkontakt
30	Halbleitervolumen
31 ₁ bis 31 ₃	Halbleiterzonen
32	Feldspitze
33	Erster Teil der Feldstoppschicht
34	Zweiter Teil der Feldstoppschicht
a	Dicke der Halbleiterzonen
b	Dicke der n ⁺ -Emitterschicht bzw. des ersten Teils der Feldstoppschicht
c	Abstand zwischen den Halbleiterzonen und dem Übergang zwischen der zweiten/dritten bzw. vierten/zweiten Halbleiterschicht
d	Breite der Halbleiterzonen
e	Abstand zwischen den Halbleiterzonen
w	Abstand zwischen den Halbleiterzonen und den vorderseitigen p-Gebieten/dem Übergang zwischen zweiter und dritter Halbleiterschicht w
J1	Übergang
J2	Übergang
J3	Übergang
1	

Patentansprüche

1. Halbleiterdiode (1, 1'), mit einer Anode (2), einer Kathode (3), und einem zwischen Anode (2) und Kathode (3) vorgesehenen Halbleitervolumen (7), wobei in dem Halbleitervolumen (7) mehrere Halbleiterzonen (8₁-8₄) ausgebildet sind, die – gegenüber ihrer unmittelbaren Umgebung invers dotiert sind, – voneinander beabstandet sind, und – in der Nähe der Kathode (3) vorgesehen, jedoch gegenüber dieser beabstandet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Halbleitervolumen (7) eine erste, zweite, dritte und vierte Halbleiterschicht (4, 5', 6', 9) aufweist, die in dieser Reihenfolge auf der Kathode (3) angeordnet sind, wobei die erste Halbleiterschicht (4) n⁺-dotiert, die zweite Halbleiterschicht (5') n-dotiert, die dritte Halbleiterschicht (6') n⁻-dotiert und die vierte Halbleiterschicht (9) p-dotiert ist, – wobei die Halbleiterzonen (8₁-8₄) als p-dotierte Zonen innerhalb der zweiten Halbleiterschicht (5') ausgebildet sind und an einen Übergang zwischen der ersten und der zweiten Halbleiterschicht (4, 5') angrenzen.

2. Halbleiterdiode (1, 1') nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (w) zwischen den Halbleiterzonen (8₁-8₉) und der vierten Halbleiterschicht (9) größer als 200 µm ist.

3. Halbleiterdiode (1, 1') nach Anspruch 1 oder 2,

Bezugszeichenliste

1	Erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Halbleiterdiode
1'	Zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Halbleiterdiode
2	Anode
3	Kathode
4 bis 6	Erste bis dritte Halbleiterschicht
7	Halbleitervolumen
8 ₁ bis 8 ₄	Halbleiterzonen
9	Vierte Halbleiterschicht
20	Herkömmliche Ausführungsform eines IGBT-Halbleiterbauteils
20'	Erfindungsgemäße Ausführungsform eines IGBT-Halbleiterbauteils
21	Rückseitenkontakt
22 bis 24	Erste bis dritte Halbleiterschicht
25 ₁ , 25 ₂	Körpergebiete
26 ₁ , 26 ₂	Sourcegebiete
27	Gate
28	Oxidschicht

dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (c) zwischen den Halbleiterzonen (8_1-8_9) und dem Übergang zwischen der zweiten und der dritten Halbleiterschicht ($5'$, $6'$) in einem Bereich von 10 μm bis 25 μm liegt.

4. Halbleiterdiode (1 , $1'$) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke (a) der Halbleiterzonen (8_1-8_4) in einem Bereich von 3 μm bis 20 μm liegt.

5. Halbleiterdiode (1 , $1'$) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke (b) der ersten Halbleiterschicht (4) in einem Bereich von 0,2 μm bis 12 μm liegt.

6. IGBT ($20'$), mit einem Vorderseitenkontakt (29), einem Rückseitenkontakt (21), und einem zwischen Vorderseitenkontakt (29) und Rückseitenkontakt (21) vorgesehenen Halbleitervolumen (30), in dem eine Feldstoppschicht (23) zur räumlichen Begrenzung eines in dem Halbleitervolumen (30) ausbildbaren elektrischen Feldes vorgesehen ist, wobei in der Feldstoppschicht (23) mehrere Halbleiterzonen (31_1-31_4) ausgebildet sind, die gegenüber ihrer unmittelbaren Umgebung invers dotiert und voneinander beabstandet sind, dadurch gekennzeichnet, dass das Halbleitervolumen (30) eine erste, zweite, dritte und vierte Halbleiterschicht (22 , 33 , 34 , 24) aufweist, die in dieser Reihenfolge auf dem Rückseitenkontakt (21) aufgebracht sind, wobei die erste Halbleiterschicht eine p-dotierte Emitterschicht (22), die zweite Halbleiterschicht (33) ein n-dotierter Teil der Feldstoppschicht (23), die dritte Halbleiterschicht (34) ein schwach n-dotierter Teil der Feldstoppschicht (23), und die vierte Halbleiterschicht (24) ein n-dotiertes Basisgebiet ist, wobei die p-dotierten Halbleiterzonen (31_1-31_4) in dem n-dotierten Teil (34) der Feldstoppschicht ausgebildet sind und an einen Übergang (J3) zwischen der zweiten Halbleiterschicht und der dritten Halbleiterschicht (33 , 34) angrenzen.

7. IGBT ($20'$) nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass in der vierten Halbleiterschicht (24) p-dotierte Körpergebiete (25_1 , 25_2) ausgebildet sind, wobei der Abstand (w) zwischen den Halbleiterzonen (31_1-31_9) und den p-dotierten Körpergebieten größer als 200 μm ist.

8. IGBT ($20'$) nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (c) zwischen den Halbleiterzonen (31_1-31_4) und dem Übergang zwischen der zweiten und der dritten Halbleiterschicht (33 , 34) in einem Bereich von 10 μm bis 25 μm liegt.

9. IGBT ($20'$) nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke (a) der Halbleiterzonen (31_1-31_4) in einem Bereich von 0,5

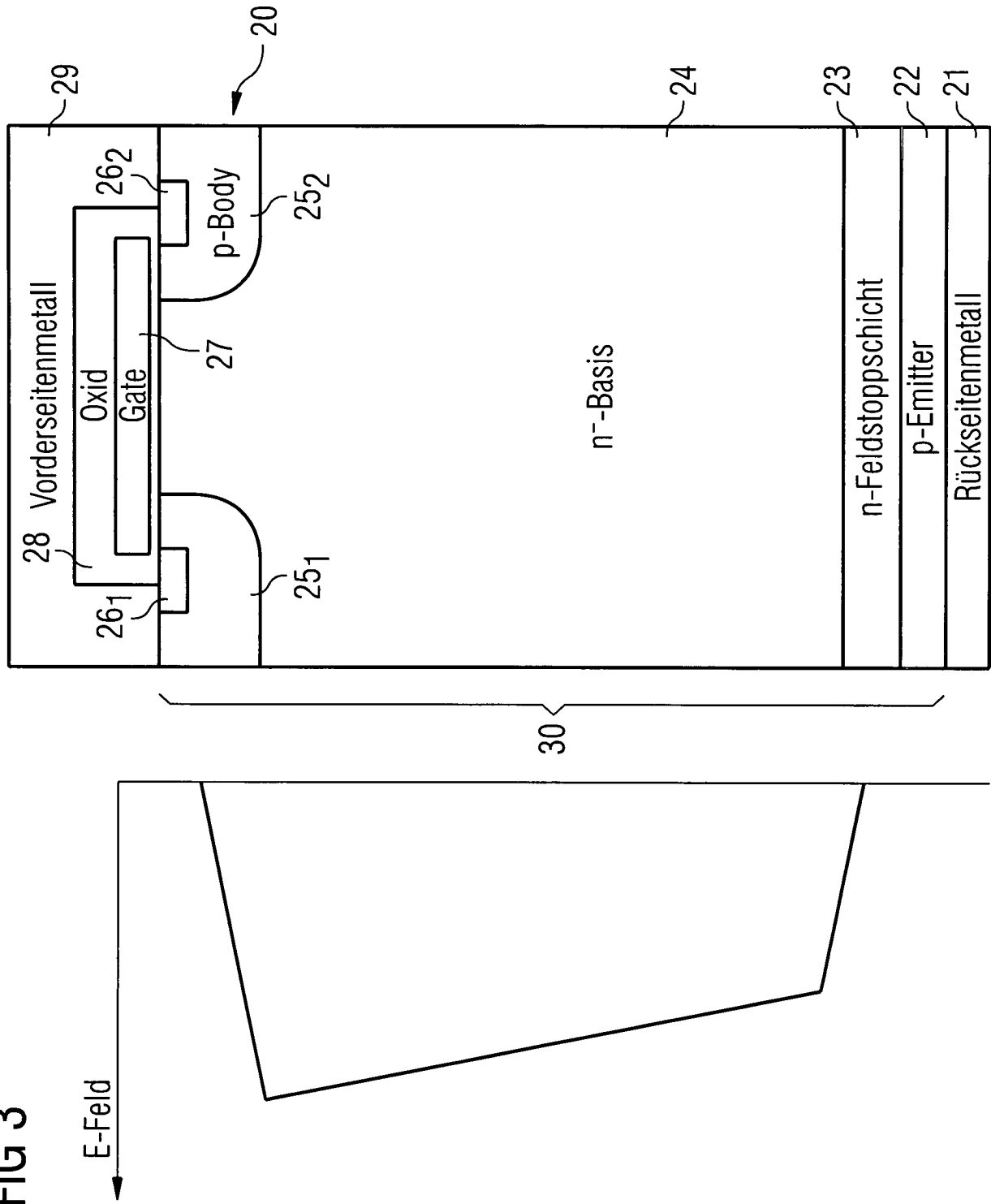
μm bis 20 μm liegt.

10. Halbleiterbauteil (1 , $1'$, $20'$) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Breite (d) der Halbleiterzonen (31_1-31_4 , 8_1-8_9) in einem Bereich von 2 μm bis 200 μm liegt.

11. Halbleiterbauteil (1 , $1'$, $20'$) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (e) zwischen den Halbleiterzonen (8_1-8_9 , 31_1-31_4) in einem Bereich von 5 μm bis 200 μm liegt.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

FIG 3



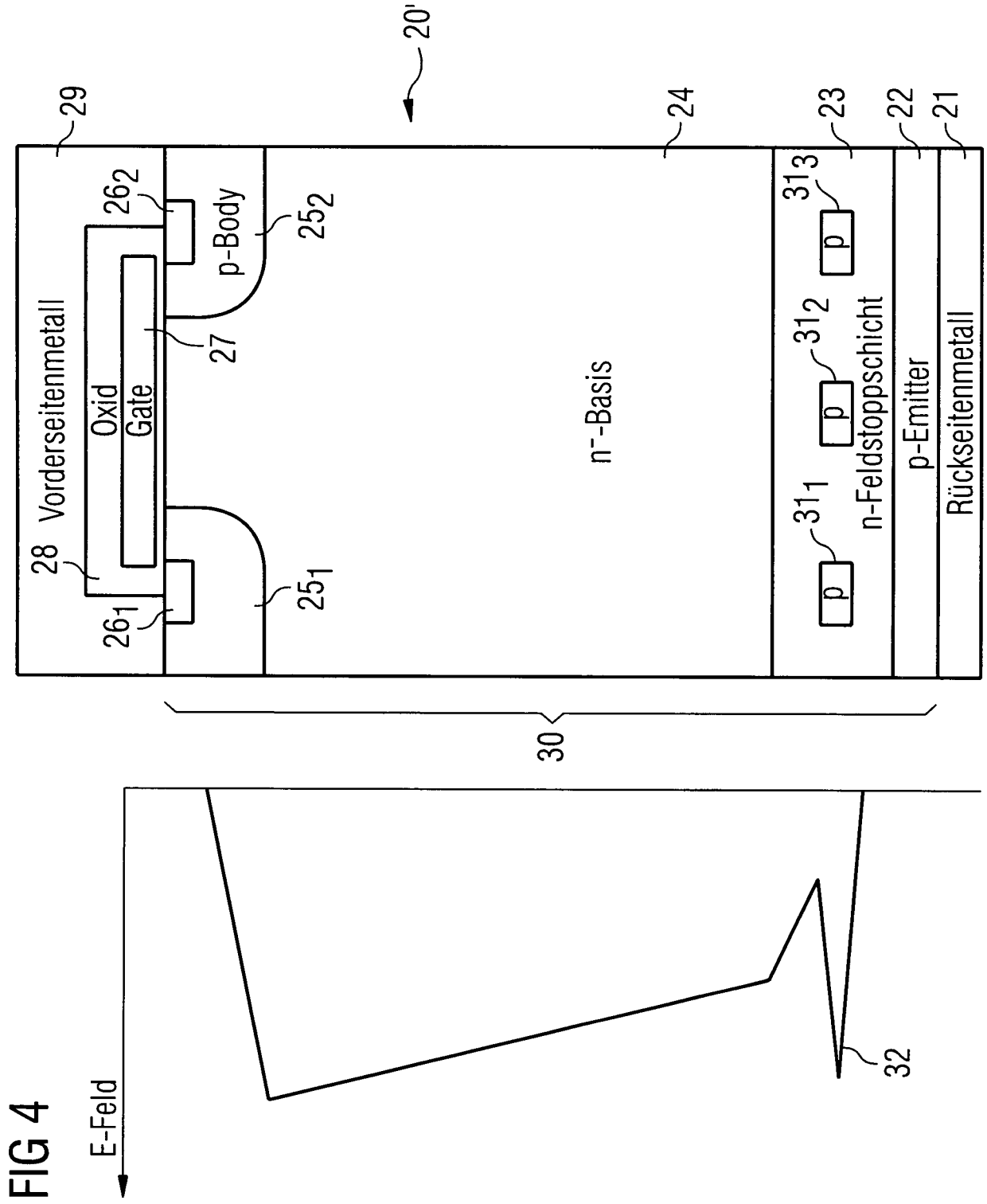


FIG 5

