



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑤① Int. Cl.³: H 01 L 29/743
H 01 L 29/90



Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑪

633 907

⑳ Gesuchsnummer: 10478/78

㉔ Inhaber:
BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie.,
Baden

㉒ Anmeldungsdatum: 10.10.1978

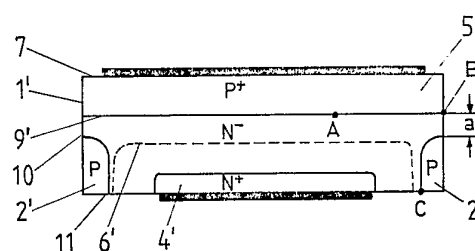
㉔ Patent erteilt: 31.12.1982

㉔ Patentschrift
veröffentlicht: 31.12.1982

㉒ Erfinder:
Dr. Roland Sittig, Umiken

㉔ Leistungshalbleiterbauelement mit Zonen-Guard-Ringen.

㉔ Bei Halbleiterbauelementen mit planaren PN-Übergängen und den Übergängen zugeordneten Zonen-Guard-Ringen wird einerseits die Sperrfestigkeit des jeweiligen Überganges durch seine Krümmung herabgesetzt und andererseits benötigen die Guard-Ringe bei Sperrspannungen $> 1,5$ kV einen relativ grossen Anteil der Halbleiterfläche. Die vorliegende Erfindung beseitigt diese Nachteile dadurch, dass der jeweilige Zonenübergang (9') von der Randfläche (10) des Bauelementes begrenzt wird und dass jeweils der erste dem Zonenübergang (9') zugeordnete Guard-Ring (2') durch die Randfläche (10) und durch die Oberfläche (11) des Bauelementes begrenzt wird.



PATENTANSPRÜCHE

1. Leistungshalbleiterbauelement mit mindestens einem Zonenübergang und mit Zonen-Guard-Ringen, die eine Verbesserung des Sperrverhaltens dieses Zonenüberganges bewirken sollen, dadurch gekennzeichnet, dass der Zonenübergang (9', 20) bis an die Randfläche (10) des Bauelementes reicht, und dass der jeweils erste dem Zonenübergang (9', 20) zugeordnete Guard-Ring (2', 18) durch die Randfläche (10) und durch eine der übrigen Oberflächen (11) des Bauelementes begrenzt wird.

2. Leistungshalbleiterbauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (a) zwischen dem Zonenübergang (9', 20) und dem jeweils ersten Guard-Ring (2', 18) so gewählt ist, dass der Bereich des Halbleiterbauelementes zwischen Zonenübergang (9', 20) und Guard-Ring (2', 18) spätestens dann von Ladungsträgern entleert ist, wenn die an dem Zonenübergang (9', 20) liegende Sperrspannung bis auf die Hälfte der maximalen Sperrspannung angestiegen ist.

3. Leistungshalbleiterbauelement nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei dem Bauelement um eine Avalanche-Diode mit $P^+N^-N^+$ -Struktur handelt, wobei die N^+ -Zone (4') im Hinblick auf die kathodenseitige Oberfläche (11) planar angeordnet ist, dass der Zonen-Guard-Ring (2', 18) durch einen in die N^- -Zone (3) eingebrachten P-Bereich gebildet wird, und dass der Gradient der Ladungsträgerkonzentration der P^+ -Zone (5'') entlang der Randfläche (10) geringer ist als im aktiven Teil (5'') des Bauelementes.

4. Leistungshalbleiterbauelement nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei dem Bauelement um einen rückwärts nicht sperrenden Thyristor mit $N^+PN^-P^+$ -Struktur handelt, bei dem die Emitterzonen (15, 16) im Hinblick auf die jeweilige Oberfläche (7, 11) planar angeordnet sind, dass der Zonen-Guard-Ring (18) durch einen in die N^- -Basiszone (19) eingebrachten P-Bereich gebildet wird und dass der Gradient der Ladungsträgerkonzentration der P-Basiszone (17) entlang der Randfläche (10) geringer ist als im aktiven Teil des Bauelementes.

5. Leistungshalbleiterbauelement nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Guard-Ring (2', 18) und der jeweils an die kathodenseitige Oberfläche (11) grenzenden planaren Zone (4', 16) ein weiterer Guard-Ring (14) und/oder ein Ätzgraben (13) vorgesehen ist, der durch die kathodenseitige Oberfläche (11) begrenzt wird.

6. Leistungshalbleiterbauelement nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (a) zwischen dem Zonenübergang (9', 20) und dem jeweils ersten Guard-Ring (2', 18) so gewählt ist, dass der Bereich des Halbleiterbauelementes zwischen Zonenübergang (9', 20) und Guard-Ring (2', 18) von Ladungsträgern entleert ist, sofern die an dem Zonenübergang (9', 20) liegende Sperrspannung etwa auf ein Drittel der maximalen Sperrspannung angestiegen ist.

Die Erfindung bezieht sich auf Leistungshalbleiterbauelemente, insbesondere auf Avalanche-Dioden und rückwärtsleitende Thyristoren, mit mindestens einem Zonenübergang und mit Zonen-Guard-Ringen, die eine Verbesserung des Sperrverhaltens dieses Zonenüberganges bewirken sollen.

Bei Leistungshalbleiterbauelementen für Spannungen über 1000 V ist es bekannt, das Sperrverhalten der Zonenübergänge dadurch zu verbessern, dass dort, wo die Übergänge die Randflächen des Bauelementes erreichen, eine wohldefinierte Randkontur erzeugt wird. Dieses wird etwa durch entsprechende Randanschrägungen erreicht (vgl. z. B. IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. E D 20, 1973, pp. 347-352). Die Herstellung dieser Strukturen ist indessen technologisch sehr aufwen-

dig und führt beispielsweise im Fall negativer Winkel zu erheblichen Flächenverlusten.

Um derartige Randanschrägungen zu vermeiden, ist es beispielsweise aus dem Buch von Blicher «Thyristor Physics», Springer, New York 1976, pp. 231-241 bekannt, den Zonenübergang nicht mehr bis zum Rand des Bauelementes zu führen, sondern eine planare Struktur mit zusätzlichen Zonen-Guard-Ringen zu verwenden. Diese Guard-Ringe befinden sich in einem vorgesehenen Abstand von dem entsprechenden planaren Übergang. Zonenübergang und die Guard-Ringe werden durch die gleiche Oberfläche des Bauelementes begrenzt. Durch die Guard-Ringe wird die Feldverteilung des in Sperrrichtung gepolten Zonenüberganges in mehrere Bereiche geteilt, wobei die maximal an der Oberfläche noch zulässige Feldstärke in keinem Bereich überschritten wird. Derartige Leistungshalbleiterbauelemente besitzen jedoch einerseits den Nachteil, dass durch die planare Struktur der Zonenübergänge Krümmungen entstehen, die ihrerseits die Sperrspannungsfestigkeit der Bauelemente begrenzen. Andererseits sind bei Sperrspannungen > 1,5 kV in der Regel mehrere Guard-Ringe erforderlich, so dass ein entsprechend grosser Teil als Aktivfläche für die eigentliche Funktion des Bauelementes verloren geht.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, Halbleiterbauelemente mit Guard-Ring-Strukturen zu schaffen, bei denen eine möglichst grosse aktive Fläche zur Verfügung steht und bei denen die durch die gekrümmten pn-Übergänge bedingt nachteilige Wirkung entfällt.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Anspruchs 1 gelöst. Die abhängigen Patentansprüche enthalten besonders vorteilhafte Ausgestaltungen dieser Merkmale.

Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den folgenden anhand von Zeichnungen näher erläuterten Ausführungsbeispielen.

Es zeigt:

Fig. 1 schematisch den Querschnitt einer Halbleiterdiode mit bekannter Guard-Ring-Struktur,

Fig. 2 den Querschnitt einer entsprechenden Diode mit einer Guard-Ring-Struktur nach der Erfindung,

Fig. 3 bis 6 weitere Ausführungsbeispiele mit der erfindungsgemässen Guard-Ring-Struktur,

Fig. 7 einen Teilausschnitt einer Avalanche-Diode für 6 kV mit einem Guard-Ring nach Fig. 2 und

Fig. 8 einen Teilausschnitt eines rückwärtsleitenden Thyristors für Sperrspannung in Vorwärtsrichtung bis 1,8 kV ebenfalls mit einem Guard-Ring nach Fig. 2.

Bei der zum Stand der Technik gehörenden Halbleiterdiode 1 nach Fig. 1 ist der Guard-Ring mit 2, die N-Basiszone mit 3, die an die untere Oberfläche 11 grenzende N^+ -Zone mit 4 und die an die obere Oberfläche 7 grenzende planare P^+ -Zone mit 5 bezeichnet. Die zwecks Kontaktierung der N^+ - und P^+ -Zone vorgesehenen Metallisierungen sind durch die Buchstaben K_1 und K_2 gekennzeichnet. Der Guard-Ring 2 bewirkt bei in Sperrrichtung gepolter Diode eine Aufweitung der Raumladungszonen 6 entlang der Oberfläche 7 (vgl. auch die eingangs zitierte Arbeit von Blicher). Bei diesen bekannten Dioden verursacht die Krümmung 8 des planaren PN-Überganges 9 eine Herabsetzung der maximalen Sperrspannung.

Die in Fig. 2 dargestellte Diode 1' weist keine gekrümmten Zonenübergänge mehr auf. Vielmehr verläuft der PN-Übergang 9' bis an die Randflächen 10. Bei in Sperrrichtung gepolter Diode erfolgt wiederum eine zusätzliche Aufweitung der Raumladungszonen 6' durch den Guard-Ring 2'. Dieser grenzt aber erfindungsgemäss nicht mehr an die Oberfläche 7, wie bei den bekannten Halbleiterbauelementen, sondern liegt zwischen der Randfläche 10 und der unteren Oberfläche 11. Der Abstand a zwischen dem PN-Übergang 9' und dem Guard-

Ring 2' wird dabei vorzugsweise so gewählt, dass der entsprechende Halbleiterbereich spätestens bei der Hälfte der vorgesehenen Sperrspannung von Ladungsträgern entleert ist; und damit die Raumladungszone 6' bei dieser Spannung bis zum Guard-Ring 2' reicht. Bei einer derartigen Dimensionierung beträgt die maximale Feldstärke im Punkt B und im Punkt C nur etwa 70% der Feldstärke wie im Punkt A. Eine solche Erniedrigung der Oberflächenfeldstärke reicht im allgemeinen aus, um für einen definierten Lawinen-Durchbruch im Innern der Diode beim Erreichen der Durchbruchspannung zu sorgen.

Eine weitere Herabsetzung der Oberflächenfeldstärke kann – wie aus Fig. 3 ersichtlich – durch Herabsetzung der Ladungsträgerkonzentration der P⁺-Zone in der Nähe des Randes 10 etwa durch nachträgliche Kompensationsdiffusion erreicht werden. Man erhält dann die P⁺-Zone 5'' und die ins Innere des Bauelementes vorgeschobene P-Zone 5''' . Die dabei zusätzlich entstehende Krümmung 12 stört nicht, weil durch die geringe Ladungsträgerkonzentration der P-Zone 5''' in der Nähe dieser Krümmung deren die Durchbruchspannung beeinflussende Wirkung kompensiert wird. Es hat sich allerdings als vorteilhaft erwiesen, darauf zu achten, dass die Krümmung 12 nicht genau derjenigen des Guard-Ringes 2' gegenüberliegt. Vielmehr sollte die Krümmung 12 bei Projektion auf den Guard-Ring 2' auf dem geraden Teil dieses Ringes liegen.

Um eine unter Umständen erwünschte noch weitere Herabsetzung der Oberflächenfeldstärke zu erhalten, kann – wie Fig. 4 zeigt – die Randfläche 10' angeschrägt werden. Auch der in Fig. 5 mit 13 bezeichnete Ätzgraben oder der in Fig. 6 mit 14 bezeichnete weitere Guard-Ring verbessern das Sperrverhalten der Halbleiterdiode. Bei Verwendung des Ätzgrabens 13 (Fig. 5) wird die Höhe der Feldstärke am Punkt C beschränkt. Es tritt ein drittes Feldstärkemaximum am Punkt D auf. Wenn solche zusätzlichen Massnahmen zur Reduktion der Feldstärke an der Oberfläche 11 vorgesehen werden, wird vorteilhafterweise auch das Feldstärkemaximum bei B an der Randfläche 10 durch Verringerung von a herabgesetzt. So hat es sich bei einigen derartigen Dioden bewährt, wenn der Abstand a so gewählt wird, dass der zwischen dem PN-Übergang und dem Guard-Ring liegende Halbleiterbereich bereits bei einem Drittel der maximalen Sperrspannung des PN-Überganges von Ladungsträgern entleert ist.

In Fig. 7 ist ein Teilausschnitt einer Avalanche-Diode für 6 kV wiedergegeben, für die sich folgende Strukturparameter ergeben:

Dicke des gesamten Bauelementes	d	= 600 µm
der P ⁺ -Zone	5''	d _p = 15 µm
der P-Zone	5'''	d _p = 110 µm
der N ⁺ -Zone	4'	d _n = 30 µm
des Guard-Ringes	2'	d _G = 110 µm
Breite der P-Zone	5'''	b _p = 160 µm
der Guard-Zone	2'	b _G = 410 µm

Die mittlere Dotierungskonzentration der N⁻-Basiszone 3 beträgt etwa $2 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ (als Ausgangsmaterial wurde N-Neutronensilizium verwandt), während die Oberflächenkonzentration sowohl der P⁺ als auch der N⁺-Zone 5'' und 4' $5 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ und diejenige der P-Zone 5''' und des Guard-Ringes 2' etwa 10^{16} cm^{-3} beträgt. Bei einer Sperrspannung von 2,5 kV ist die

N⁻-Basiszone 3 an der Oberfläche vollständig von freien Ladungsträgern entleert. Die Feldstärke beträgt dann am Punkt A: $1,26 \cdot 10^5 \text{ V/cm}$ und bei B: $1,18 \cdot 10^5 \text{ V/cm}$. Bei 4,9 kV erreicht die Raumladungszone das N⁺-Gebiet 4'. Bei weiter steigender Spannung kann auf der Anodenseite die Feldstärke im Bereich D bis B nicht weiter anwachsen. Auf der Kathodenseite tritt bei E ein drittes Feldstärkemaximum auf, so dass diese Struktur bei P-I-N-Dioden besonders günstig wird. Bei 6 kV Sperrspannung beträgt die Feldstärke bei A etwa $2 \cdot 10^5 \text{ V/cm}$ und bei B und C etwa $1,2 \cdot 10^5 \text{ V/cm}$.

Für Avalanche-Dioden hat diese Struktur den zusätzlichen Vorteil, dass auch bei völlig homogen dotiertem Ausgangsmaterial (Neutronensilizium) der Durchbruch nur im Zentrum des Bauelementes stattfindet. Diese Struktur ist daher auch geeignet zur Herstellung billiger Spannungsableiter.

Die vorstehend beschriebene Erfindung ist selbstverständlich nicht auf Halbleiterdioden beschränkt, sondern kann bei einer Vielzahl anderer Halbleiterbauelemente mit Zonenübergängen verwandt werden. In Fig. 8 ist beispielsweise ein Ausschnitt aus einem rückwärts nicht sperrenden Thyristor wiedergegeben, bei dem sich die Erfindung besonders bewährt hat. Das Bauelement besitzt folgende Strukturparameter:

Dicke des gesamten Bauelementes	d	= 350 µm
der Kathodenzone 15	d _k	= 15 µm
der Anodenzone 16	d _A	= 15 µm
der P-Basiszone 17 in der Umgebung der Kathodenzone	d _B	= 50 µm
der P-Basiszone 17' in der Umgebung der Randfläche	d _{B'}	= 130 µm
des Guard-Ringes 18	d _G	= 130 µm
Breite der P-Basiszone 17'	b _{B'}	= 230 µm
der Guard-Zone 18	b _G	= 360 µm

Die mittlere Dotierungskonzentration der N⁻-Basiszone 19 beträgt $1,05 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, während die in die Basiszone 19 hineindiffundierte Kathoden- und Anodenzone 15 und 16 jeweils eine Oberflächenkonzentration von etwa $5 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ aufweisen. Die Dotierungskonzentration der P-Basiszone in der Umgebung der Kathodenzone beträgt an der Oberfläche etwa $3,2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ und in der Nähe des Randes ebenso wie auch die Guard-Zone 18 etwa 10^{16} cm^{-3} .

Die P-Basiszone 17 im elektrisch aktiven Bereich ist dünner gewählt als bei herkömmlichen Thyristoren, was zu besseren Zünd- und Durchlasseigenschaften beiträgt. Die grosse Eindringtiefe d_{B'} am Rand führt dazu, dass die Feldstärke am PN-Übergang 20 bei B gegenüber A herabgesetzt wird. Bei einer Spannung von 920 Volt beträgt die Feldstärke bei A etwa $1,63 \cdot 10^5 \text{ V/cm}$, bei B aber etwa nur $1,48 \cdot 10^5 \text{ V/cm}$. In Punkt E ist sie infolge der Krümmung des PN-Überganges etwas höher und besitzt etwa den gleichen Wert wie A. Bei weiterer Erhöhung der Sperrspannung steigt die Feldstärke bei B und E aber nicht weiter an, da sich die Raumladungszone dort nicht weiter ausdehnen kann. Bei 1800 V beträgt die Feldstärke bei A: $2,33 \cdot 10^5 \text{ V/cm}$. Bei C hat sich ein zweites Maximum der Feldstärke an der Oberfläche gebildet, das etwa den gleichen Wert wie dasjenige bei B erreicht. Da mit zunehmender Spannung sich die Raumladungszone weiter ausgedehnt hat, kann sich auch hier die Krümmung des PN-Überganges nicht auswirken.

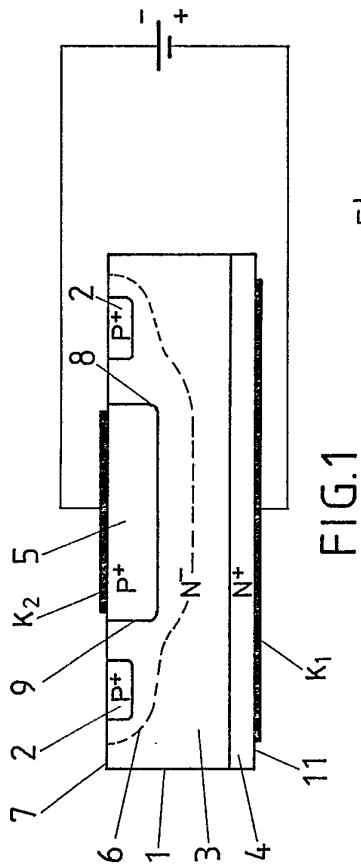


FIG. 1

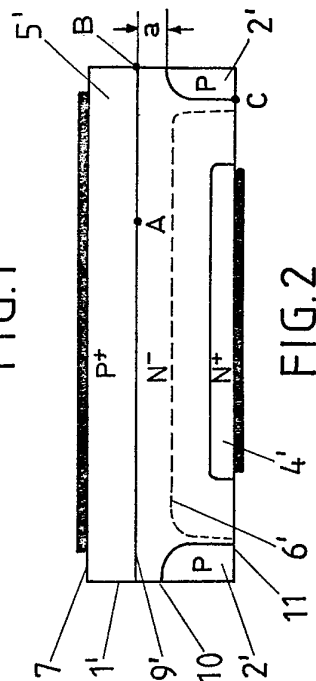


FIG. 2

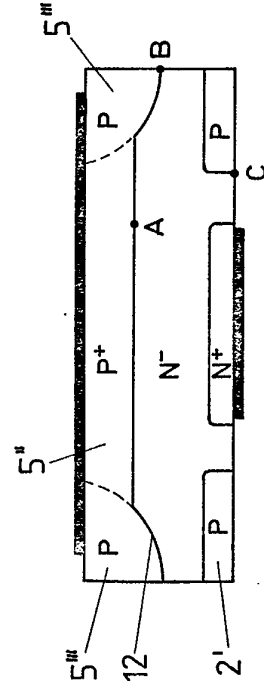


FIG. 3

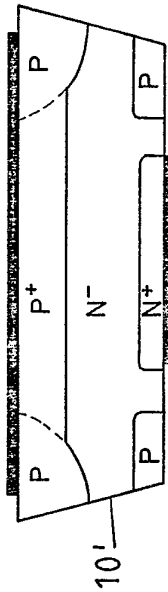


FIG. 4

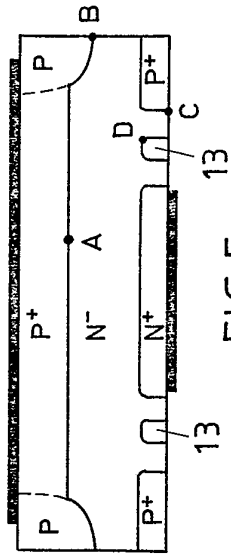


FIG. 5

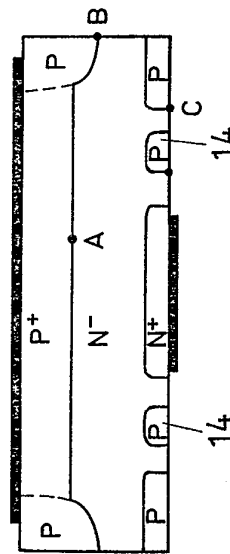


FIG. 6

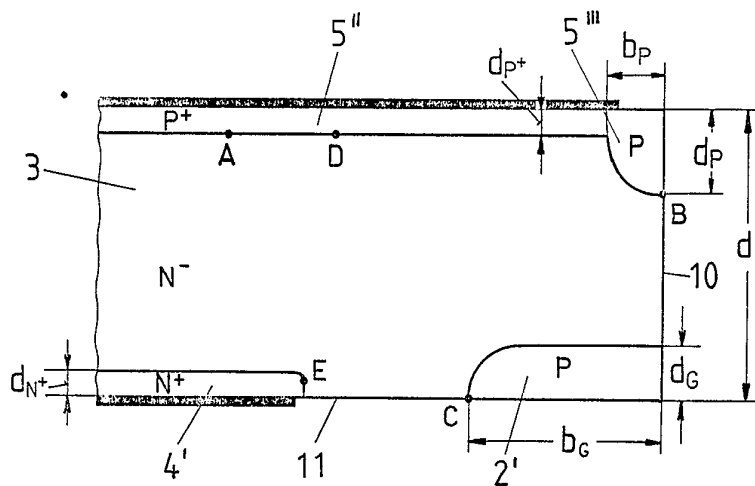


FIG. 7

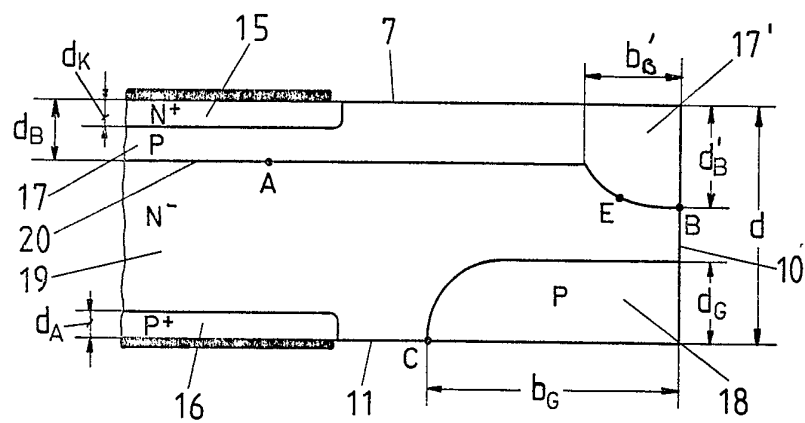


FIG. 8