(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 038 487 A1** 2008.02.21

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 038 487.3**
(22) Anmeldetag: **16.08.2006**
(43) Offenlegungstag: **21.02.2008**

(51) Int Cl.[8]: ***H01L 29/86*** (2006.01)

(71) Anmelder:
Universität Bremen, 28359 Bremen, DE

(74) Vertreter:
Fay und Kollegen, 89073 Ulm

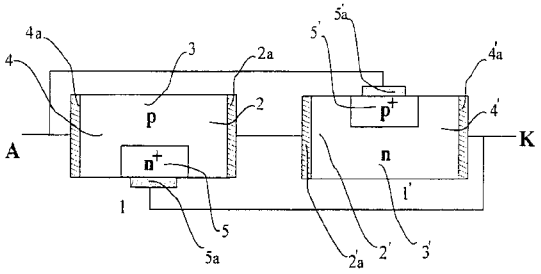
(72) Erfinder:
Silber, Dieter, Prof. Dr., 63179 Obertshausen, DE;
Rosensaft, Boris, Dipl.-Ing., 28219 Bremen, DE;
Vemulapati, Umamaheswara Reddy, M. Sc., 28329 Bremen, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Halbleitergleichrichter**

(57) Zusammenfassung: Der Halbleitergleichrichter ist gekennzeichnet durch eine Serienschaltung von zwei normal leitenden Transistoren mit wenigstens einer Steuerelektrode. Bei in Sperrichtung am Halbleitergleichrichter angelegter Spannung wird die über dem ersten Transistor (1) auftretende/abfallende Spannung der Steuerelektrode des zweiten Transistors zugeführt und führt zu einer Erhöhung der am zweiten Transistor auftretenden/abfallenden Spannung. In gleicher Weise wird die über dem zweiten Transistor (1') auftretende/abfallende Spannung der Steuerelektrode des ersten Transistors (1) zugeführt und führt zu einer Erhöhung der am ersten Transistor (1) auftretenden/abfallenden Spannung.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Halbleitergleichrichter.

[0002] Die in der Halbleitertechnik entwickelten Gleichrichterdioden haben alle schematisch eine Kennlinie nach Bild 1. In Sperrichtung fließt unvermeidlich ein möglichst niedriger Sperrstrom. In Durchlassrichtung fließt ein Strom (I), der als Funktion der Durchlassspannung (U) meistens exponentiell ansteigt. In den praktischen Einsatzfällen definiert man oft eine Schleusenspannung(Us), unterhalb derer der Strom näherungsweise als Null angesetzt wird, außerdem definiert man für den Arbeitspunkt A eine Ersatzgerade G.

[0003] Die Schleusenspannung(Us) ist für den Einsatz der Dioden in der Leistungselektronik nachteilig, weil diese zusätzliche Verluste verursacht. Dies ist besonders kritisch, wenn die Diode in niedrigen Spannungsbereichen (z.B. 12V Batteriespannung) eingesetzt wird. Daher setzt man bei diesen Anwendungen häufig Metall-Halbleiterdioden (Schottky-Diode) ein, weil deren Schleusenspannung nur etwa halb so groß wie die von Sperrschichtdioden ist. Ein bekannter Nachteil von Schottky-Dioden ist jedoch der hohe Sperrstrom. Er reduziert den zulässigen Temperaturbereich erheblich. Es gibt Schottkydioden mit integrierten Gitterstrukturen, in denen dieser Nachteil abgemildert ist, aber trotzdem bleibt der Einsatz bei erhöhten Temperaturen eingeschränkt. Ein besonderer Vorteil der Schottkydioden ist das gute Schaltverhalten. Bipolare Dioden enthalten dagegen bei Stromfluss eine Speicherladung, die dynamische Verluste verursacht.

[0004] Es gibt Sychrongleichrichter, bei denen die Schleusenspannung vermieden wird und deren Sperrverhalten demjenigen einer Sperrschicht-Diode entspricht. Auch diese Gleichrichter enthalten keine Speicherladung.

[0005] In Bild 2 ist die Funktion dieser Gleichrichter dargestellt. Sie sind Leistungs-MOSFETs, die im dritten Quadranten (QIII) betrieben werden, also mit positiv gepoltem Source-Kontakt und negativem Drain-Kontakt als Durchlass-Richtung. Ohne Ansteuersignal (Gate positiv) haben sie wesentlich verbesserte Durchlass-Eigenschaften. Die Nachteile dieser Technik sind jedoch:

- Es ist eine Ansteuerschaltung mit Hilfsenergie-Versorgung notwendig.
- Der Einsatz ist nur möglich wenn der Eintritt in den Sperrzustand bekannt ist, weil die Gate-Ansteuerung vor diesem Eintritt den Sperrzustand bestellen muss. Ein zu frühes Abschalten des Gatesignals würde das Bauelement in einen Zustand mit erhöhter Speicherladung bringen. Dies verursacht erhebliche Schaltverluste, weil die Diode jetzt ein bipolares Bauelement ist. Daher sind Synchrongleichrichter nur für Anwendungen geeignet, die eine präzise Synchronsteuerung zulassen.

[0006] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine speicherladungsfreie, also unipolare Diode zu schaffen, deren Schleusenspannung sehr gering ist oder vollständig verschwindet, und die keine externe synchrone Ansteuerung oder Hilfsenergie benötigt.

[0007] Die Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst. Weitergehende vorteilhafte Ausgestaltungen finden sich in den weiteren Ansprüchen.

[0008] Im folgenden wird die Erfindung anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen naher her erläutert, es zeigen:

[0009] Fig. 1 die IU-Eigenschaften von üblichen Dioden,

[0010] Fig. 2 die IU-Eigenschaften von Sychrongleichrichtern,

[0011] Fig. 3 ein Ausführungsbeispiel nach der Erfindung als Serienschaltung zweier Feldeffekttransistoren,

[0012] Fig. 4 die typische Charakteristik der Bauelemente nach Fig. 3

[0013] Fig. 5 eine Ausführungsform mit Feldeffekt-Transistoren als normal-leitende MOS-Transistoren,

[0014] Fig. 6 die typische Charakteristik der Schaltung nach Fig. 5,

[0015] **Fig.** 7 die Serienschaltung zweier Feldeffekttransistoren mit MOS-Gates,

[0016] Fig. 8 eine Schaltungsanordnung für höhere Sperrfähigkeit

[0017] **Fig.** 9 eine Schaltungsanordnung mit zwei Feldeffekttransistoren und zusätzlicher Schottkydiode,

[0018] Fig. 10 die typische Charakteristik der Bauelemente nach **Fig.** 9,

[0019] **Fig.** 11 eine Serienschaltung zweier Feldeffekttransistoren mit Schottkydiode,

[0020] Fig. 12(i) eine monolithisch integrierte Serienschaltung,

[0021] Fig. 12(ii) eine schematische Darstellung der Schaltung nach Fig. 12(i)

[0022] Die Fig. 3 der Zeichnung zeigt schematisch die Serienschaltung zweier Feldeffekttransistoren vom "normal-leitenden Typ" mit entgegen gesetztem Kanal-Leitfähigkeitstyp.

[0023] Der Transistor **1** besteht aus dem Source-Bereich **2**, dem Kanalbereich **3** und dem Drainbereich **4**, alle vom p-Leitfähigkeitstyp. Die Ansteuerung erfolgt durch den n-dotieren Gatebereich **5**. Es sind drei Elektroden zur Kontaktierung vorgesehen, **2a** für den Source- Bereich, **4a** für den Drainbereich und **5a** für den Gatebereich. Entsprechend besteht der komplementäre Transistor **1'** aus dem Sourcebereich, Kanalbereich und Drainbereich **2'**, **3'**, **4'** und dem Gatebereich **5'**, die entsprechenden Anschlüsse sind **2'a**, **4'a**, **5'a**.

[0024] Die Source-Elektroden **2a**, **2'a** sind miteinander galvanisch verbunden. Die Gate-Elektrode **5a** ist mit der Drain-Elektrode **4'a**, die Gate-Elektrode **5'a** mit der Drain-Elektrode **4a** galvanisch verbunden.

[0025] Die Schaltung hat die Funktion einer Diode, wobei der Anschluss **4a** als Anode, der Anschluss **4'a** als Kathode der Diode dient. Die Funktion der Diode wird anhand der Funktionen der beiden Transistoren erläutert:
Bei positiver Polung der Anode zur Kathode sind beide Kanalbereiche leitend. Die Durchlassspannung des Transistors **1** überträgt sich als positive Gate-Source-Spannung auf den Transistor **1'**, so dass dessen Kanalwiderstand vermindert wird. Entsprechend wirkt die Durchlassspannung von Transistor **1'** als aufsteuernde Spannung für den Transistor **1**. Solange die Gate-Source-Spannungen den Absolutbetrag von 0,6V nicht überschreiten (bei 300K), bleiben die Transistoren im unipolaren Leistungsmechanismus.

[0026] Wenn eine Spannung in entgegen gesetzter Richtung angelegt wird, fließt ein Rückstrom, dessen Durchlassspannung im Transistor **1** als abschnürende Steuerspannung auf den Transistor **1'** übertragen wird – das gleiche gilt umgekehrt. Dadurch ist bei geringen Rückwärtsspannungen (bei ca. 1V) ein Rückwärtsstrom vorhanden; bei höheren Rückwärtsspannungen verschwindet er bis auf einen sehr geringen Sperrstrom.

[0027] Erst bei Überschreitung einer kritischen Spannung erfolgt ein Durchbruch des Elements durch Stoßionisation oder Source-Drain-Durchgriff. Die Kennlinie ist schematisch in Fig. 4 dargestellt. Sie zeigt die Teilbereiche A (bipolarer Betrieb eines oder beider Transistoren), B (unipolarer Durchlassbereich), C (Bereich des nicht abgeschnürten Rückwärtsstroms, D (Bereich Abschnürung des Rückstroms) und Bereich E (Überschreitung der Rückwärts-Sperrfähigkeit).

[0028] Es ist möglich, die Feldeffekt-Transistoren als normal-leitende MOS-Transistoren auszuführen. Dies ist in Fig. 5 dargestellt. Der Transistor **10** mit p-leitendem Kanal besteht aus dem Source-Bereich **20**, dem Kanalbereich **30**, den Drainbereich **40**, einem als "Body" bezeichneten Bereich entgegengesetzter Dotierung **50**, dem Gateoxid **60** und der Gate-Elektrode **70**. Die Elektroden zur Kontaktierung sind entsprechend Fig. 3 mit **20a**, **40a**, **50a** bezeichnet.

[0029] Komplementär aufgebaut ist der normal-leitende MOS-Feldeffektor **10'** mit den analog zum Transistor **10** bezeichneten Bereichen.

[0030] In der Abb. 5 sind die "Body" Bereiche **50**, **50'** über ihre Anschlüsse **50a**, **50'a** mit den jeweiligen Source-Bereichen Anschlüsse **20**, **20'** verbunden. Die MOS-Gate-Elektrode **70** ist mit dem Drain-Anschluss **40'a**, die Gate-Elektrode **70'** mit dem Drain-Anschluss **40a** verbunden. Die Charakteristik des Bauelements entspricht weitgehend derjenigen der Abb. 4, allerdings entfällt der Kennlinienbereich A, weil über das MOS-Gate keine bipolare Ansteuerung möglich ist (Abb. 6).

[0031] In Fig. 7(i) sind die gleichen Transistoren wie in Fig. 5 dargestellt, allerdings ist die Verschaltung anders. Die "Bulk"-Bereiche **50**, **50'** sind über ihre Anschlüsse **50a**, **50a'** mit den MOS-Elektroden **70**, **70'** des jeweiligen Transistors verbunden. Dies ist sehr vorteilhaft bezüglich der Kanalleitfähigkeit, weil dadurch höhere Kanalleitwerte zugelassen werden können. Das Durchlassverhalten im unipolaren Bereich B der schematischen Kennlinie in Fig. 4 wird dadurch sehr verbessert. Der Bereich A mit bipolarem Leitfähigkeitsmechanismus ist in dieser Version vorhanden.

[0032] Fig. 7(ii) zeigt die gleiche Bauelemente-Kombination wie Fig. 7(i), jedoch wird die den Transistor **1** steuernde Spannung nicht vom Anschluss **40'a**, sondern einem gesondertem Anschluss **45'** abgenommen, an dem im Sperrfall nur ein Teil der Spannung des Transistor **10'** anliegt. Diese Anordnung hat den Vorteil, dass der Einsatz einer bipolaren Funktion (Kennlinienbereich A in Fig. 4) zu höheren Durchlass-Spannung (Z.B 0.75V) verschoben wird.

[0033] Für Transistoren mit höherer Sperrfähigkeit ist es günstig, einen zusätzlichen normal-leitenden Transistor vorzusehen, der in der Funktion einer Kaskodenschaltung gemäß den **Abb.** 7 oder Abb. 8 zugeschaltet wird. Der Transistor **100** ist für höhere Sperrfähigkeiten ausgelegt und enthält daher neben den Gebieten **200**, **300**, **400**, **500** für Source, Kanal,

Drain und Gate noch den Drainbereich **800**, der schwächer dotiert ist und daher den Transistor in bekannter Weise für höhere Sperrfähigkeiten geeignet macht. Dieser Transistor ist dem n-Kanal-Transistor in Serie zugeschaltet, sein Gateanschluss **500a** ist entweder mit dem Sourceanschluss **2a'** oder dem Drainanschluss **4a** verbunden. Durch die an den Transistoren **1**, **1'** entstehende Spannung wird der Hochspannungs-Transistor **100** gesperrt.

[0034] In Sperrrichtung haben alle diese Schaltungen die Eigenschaft, bei kleinen Sperrspannungen einen Rückstrom zuzulassen; bei höheren Sperrspannungen wird dieser auf sehr kleine Werte reduziert. Bei hohen Temperaturen ist der Sperrstrom zwar relativ stark erhöht, jedoch immer noch wesentlich niedriger als derjenige von Schottkydioden und MPS Gleichrichter. Das gefürchtete "thermische Weglaufen" durch Selbstaufheizung wird dadurch weitgehend verhindert.

[0035] Wenn der bei 1V auftretende Rückstrom nicht zulässig ist und wenn es wesentlich auf gute Sperrcharakteristik ankommt, kann die hier vorgeschlagene Schaltung mit einer Metall-Halbleiter-Diode kombiniert werden. Die Schaltungen sind in **Fig.** 9 dargestellt. Alle Bezugszeichen haben die gleiche Bedeutung wie in Fig. 3, und alle Transistorkombinationen bis Fig. 8 können sinngemäß eingesetzt werden. In **Fig.** 9, (i)-(iii), ist die Schottkydiode (DS) in Serie zu den Feldeffekt-Transistoren geschaltet. Die an der Diode DS abfallende Sperrspannung wird zum gegenseitigen Blockieren der Transistoren eingesetzt. In Durchlassrichtung ist nun zwar zusätzlich die Schleusenspannung der Schottkydiode DS zu überwinden; es kann jedoch eine Diode mit sehr geringer Schleusenspannung (0,25V) Anwendung finden.

[0036] Weitere Versionen der erfindungsgemäßen Bauelemente sind in **Fig.** 11 (i, ii) dargestellt. Hier ist eine zusätzliche Schottkydiode dem Bauelement parallel geschaltet. Diese Diode DS ist als separates Bauelement dargestellt, kann jedoch auf bekannte Weise monolithisch integriert werden, wenn die beiden Transistoren **1**, **1'** monolithisch integriert sind. Der Vorteil dieser Anordnung besteht darin, dass eine bipolare Überschwemmung der Transistoren durch Durchflußpolung der pn-Übergänge **5**, **3** bzw. **5'**, **3'** erst bei sehr hohem Strom erfolgt, weil die Schottkydiode überwiegend den Strom übernimmt. Allerdings ist jetzt der Sperrstrom durch das ungünstigere Sperrverhalten von DS dominiert. Es ist daher vorteilhaft, eine Diode vom Typ "Merged Rectifyer" einzusetzen. Die in **Fig.** 11 dargestellte monolithische oder hybride Kombination hat aber weiterhin der Vorteil eines verbesserten Durchlaßverhaltens bei kleinen Durchlass-Spannungen.

[0037] Fig. 12(i) zeigt eine monolithisch integrierte Schaltung ähnlich derjenigen in Fig. 7(ii), bei der jedoch beim n-Kanal Transistor der Bulk-Bereich **50'** mit dem Source-Bereich **20** kurzgeschlossen ist. Die Schaltung ist in Fig. 12(ii) noch einmal Schematisch dargestellt. Die Spannung zwischen dem Anschluss **45'** und dem anodenseitigen Anschluss **40a** ist dadurch begrenzt, dass die Raumladungszone, die sich in die n-Zone **40'** ausdehnt, das Potential am Kontakt **45'** begrenzt.

[0038] Das Bauelement kann in monolithisch integrierter Weise, aber auch ab schaltungstechnische Kombination von Bauelementen eingesetzt werden.

[0039] Der Vorteil, keine Schleusenspannung zu benötigen, ist insbesondere bei Halbleitern mit großem Bandabstand, z.B. SiC oder GaN, von Vorteil.

[0040] In diesen Materialen können mit besonderem Vorteil auch Metall-Halbleiter-Transistoren (MESFETs) anstelle der Sperrschicht-Feldeffekt-Transistoren eingesetzt werden.

Patentansprüche

1. Halbleitergleichrichter, gekennzeichnet durch eine Serienschaltung von zwei normal leitenden Transistoren mit wenigstens einer Steuerelektrode, bei welchem bei in Sperrichtung angelegter Spannung die über dem ersten Transistor (**1**) auftretende/abfallende Spannung der Steuerelektrode des zweiten Transistors zugeführt wird und zu einer Erhöhung der am zweiten Transistor auftretenden/abfallenden Spannung führt, und dass in gleicher Weise die über dem zweiten Transistor (**1'**) auftretende/abfallende Spannung der Steuerelektrode des ersten Transistors zugeführt wird und zu einer Erhöhung der am ersten Transistor auftretenden/abfallenden Spannung führt.

2. Halbleitergleichrichter in hybrider oder monolithisch integrierter Schaltungstechnik, dadurch gekennzeichnet, daß die Transistoren von zwei komplementären normal-leitenden Feldeffekttransistoren (**1**, **1'**) gebildet sind, wobei die Source-Elektroden (**2a**, **2'a**) miteinander galvanisch verbunden und die die Steuerelektroden bildenden Gateanschlüsse (**5a**, **5'a**) mit den Drainanschlüssen (**4'a**, **4a**) des jeweils anderen Transistors galvanisch verbunden sind, und wobei der Drain-Kontakt (**4a**) des p-Kanal-Transistors den Anodenanschluss und der Drain- Kontakt (**4'a**) des n-Kanal-Transistors den Kathodenanschluss des Halbleitergleichrichters darstellt.

3. Halbleitergleichrichter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass beide Transistoren Sperrschicht-Feldeffekttransistoren sind.

4. Halbleitergleichrichter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest einer der beiden Transistoren ein selbstleitender MOS-Feldef-

fekttransistor ist.

5. Halbleitergleichrichter nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass bei dem MOS-Feldeffekt Transistor mit "Bulk"-Anschluss (**50a**, **50'a**) dieser mit dem eigenen Source- Anschluss (**20**, **20'**) galvanisch verbunden ist.

6. Halbleitergleichrichter nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass bei dem MOS-Feldeffekt Transistor mit "Bulk"-Anschluss (**50a**, **50'a**) dieser mit dem eigenen MOS-Gate (**70**, **70'**) galvanisch verbunden ist

7. Halbleitergleichrichter nach den Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerspannung für die Transistoren **1** bzw. **10** an einem Teilspannungs-Kontakt (**45'**) des Transistors (**1'**) bzw. (**10'**) abgegriffen wird.

8. Halbleitergleichrichter nach den Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Schaltungsanordnung ein weiterer normal-leitender Transistor (**100**) in Serie geschaltet ist, dessen Gate-Anschluss (**500a**) mit dem Drain-Anschluss (**4a**) des Transistors (**1**) verbunden ist.

9. Halbleitergleichrichter nach den Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Schaltungsanordnung ein weiterer normal-leitender Transistor (**100**) in Serie geschaltet ist, dessen Gate-Anschluss mit den Source-Anschlüssen (**2a**, **2'a**) der Transistoren (**1**, **1'**) verbunden ist.

10. Halbleitergleichrichter nach den Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Source-Anschlüsse (**2a**, **2'a**) der beiden Transistoren durch eine in Serie geschaltete Metall-Halbleiter-Diode DS miteinander verbunden sind.

11. Halbleitergleichrichter nach den Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass in Serie mit den Transistoren eine Metall-Halbleiter-Diode (Ds) geschaltet ist und diese Diode zwischen dem Drain-Anschluss **4a** oder **4'a** und dem Anschluss der Gateelektroden (**5'a**) bzw. (**5a**) angeordnet ist.

12. Halbleitergleichrichter nach den Ansprüchen 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest einer der beiden Transistoren ein Metall-Halbleiter-Feldeffekttransistor ist.

13. Halbleitergleichrichter nach den Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Anodenanschluß (**4a**) und dem Kathodenanschluß (**4'a**) eine Metall-Halbleiter-Diode (Schottkydiode) DS in monolithisch integrierter oder hybrider Weise parallel geschaltet ist.

14. Halbleitergleichrichter nach den Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine Metall-Halbleiter-Diode DS dem p-kanal Transistor (**1**) oder n-kanal Transistor (**1'**) parallel geschaltet ist.

15. Halbleitergleichrichter nach den Ansprüchen 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest einer der beiden Transistoren ein Transistor aus SiC ist.

16. Halbleitergleichrichter nach den Ansprüchen 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest einer der beiden Transistoren ein Transistor aus GaN ist.

17. Verwendung einer Serienschaltung von zwei normal leitenden Transistoren mit wenigstens einer Steuerelektrode, bei welchem bei in Sperrichtung angelegter Spannung die über dem ersten Transistor (**1**) auftretende/abfallende Spannung der Steuerelektrode des zweiten Transistors zugeführt wird und zu einer Erhöhung der am zweiten Transistor auftretenden/abfallenden Spannung führt, und dass in gleicher Weise die über dem zweiten Transistor (**1'**) auftretende/abfallende Spannung der Steuerelektrode des ersten Transistors zugeführt wird und zu einer Erhöhung der am ersten Transistor auftretenden/abfallenden Spannung führt, als halbleitender Gleichrichter.

18. Verwendung einer Serienschaltung nach Anspruch 17 mit den Merkmalen nach den Ansprüchen 2 bis 16 als halbleitender Gleichrichter.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

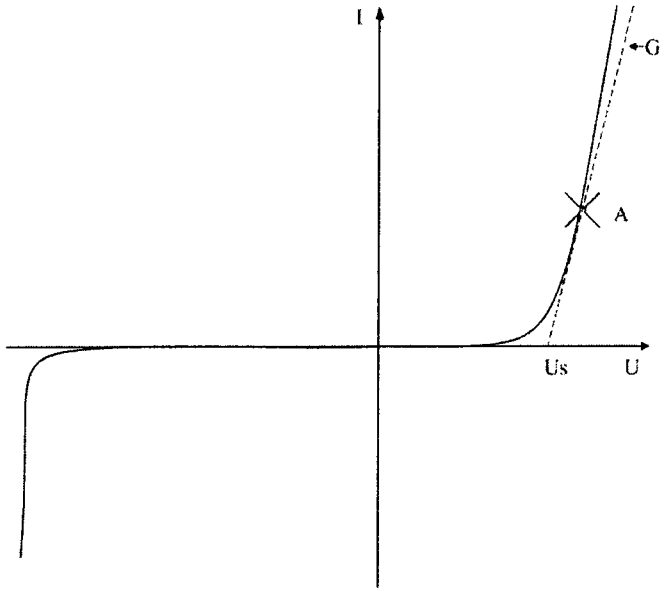


Fig. 1

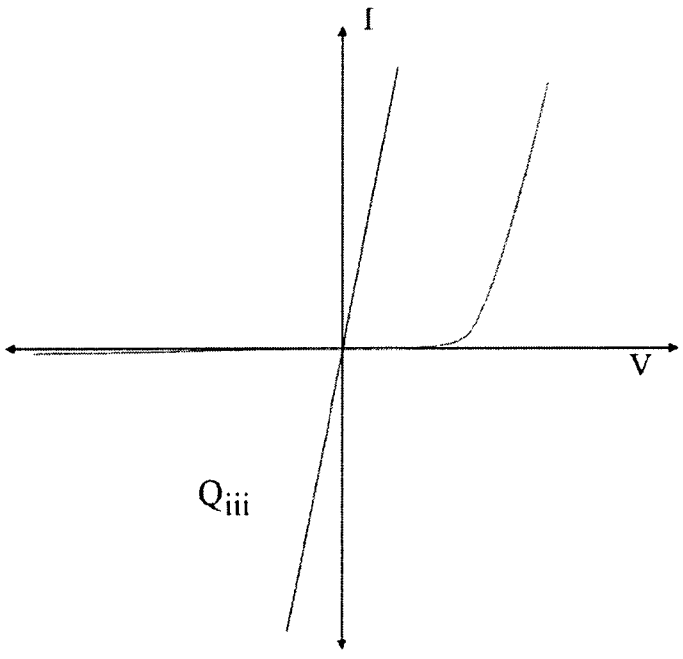


Fig. 2

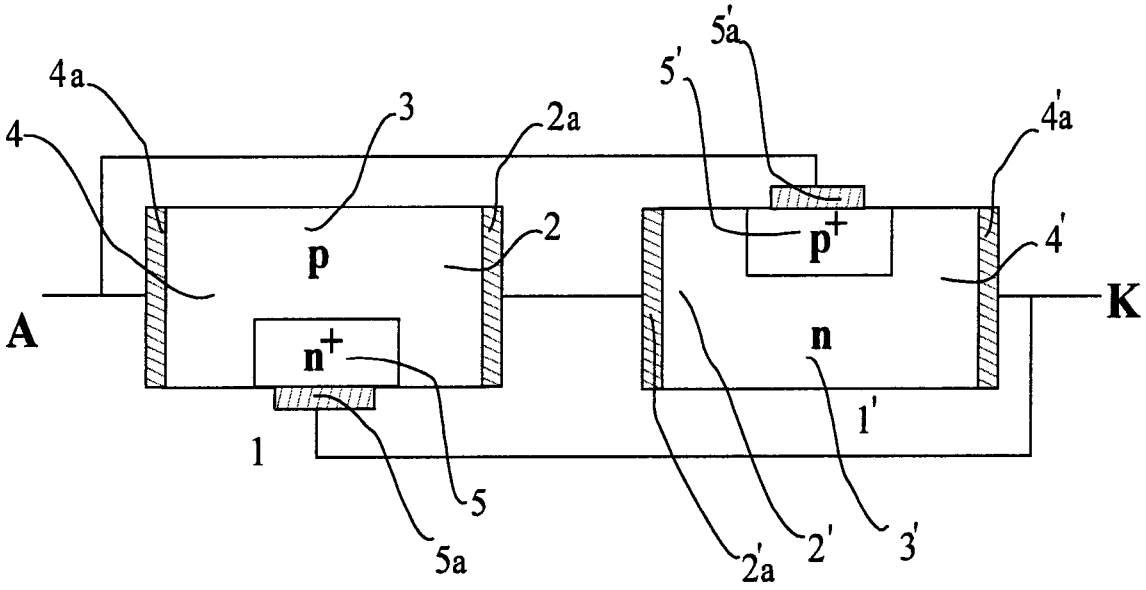

4a
4
3
2a
5'
5'a
4'a
2
4'
A
p
p+
K
n+
n
1
1'
5
5a
2'a
2'
3'

Fig. 3

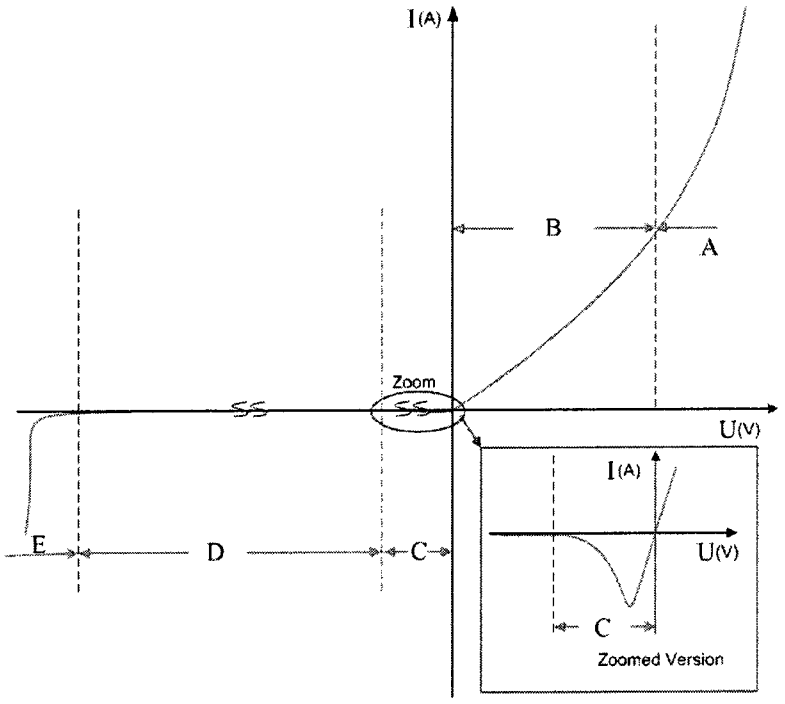

I(A)
B
A
Zoom
U(V)
E
D
C
I(A)
U(V)
C
Zoomed Version

Fig. 4

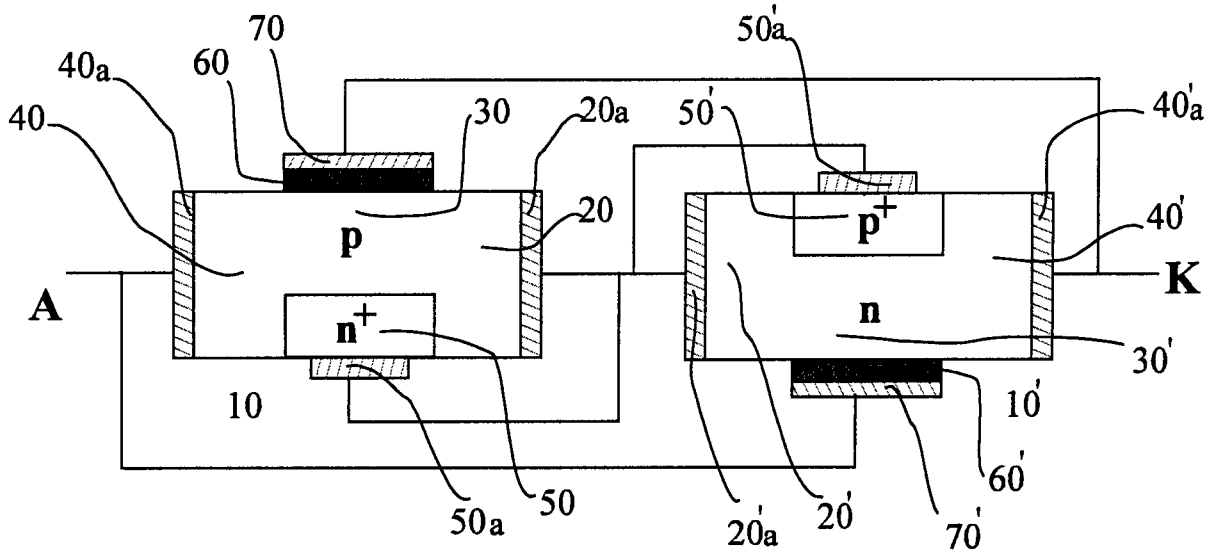

70
40a
60
50'a
40
30
20a
50'
40'a
20
p
p+
40'
A
K
n+
n
30'
10
10'
60'
50a
50
20'a
20'
70'

Fig. 5

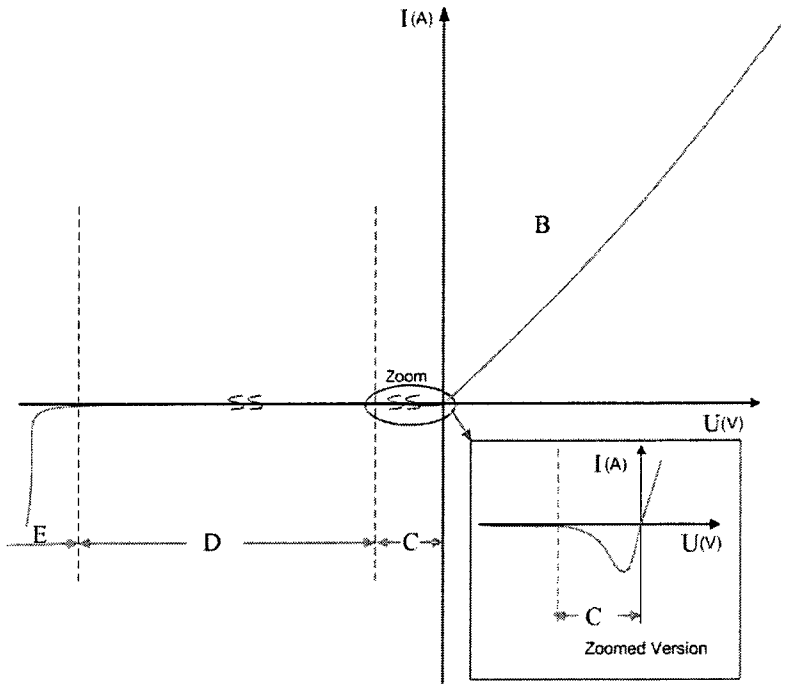

I(A)
B
Zoom
U(V)
I(A)
U(V)
E
D
C
C
Zoomed Version

Fig. 6

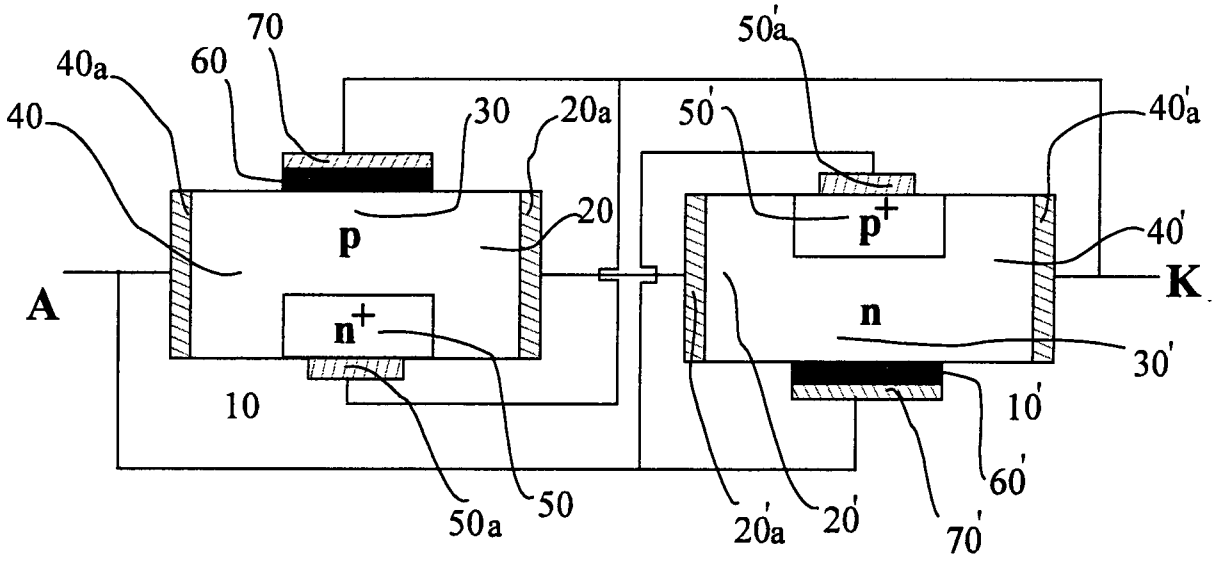


Fig. 7 (i)

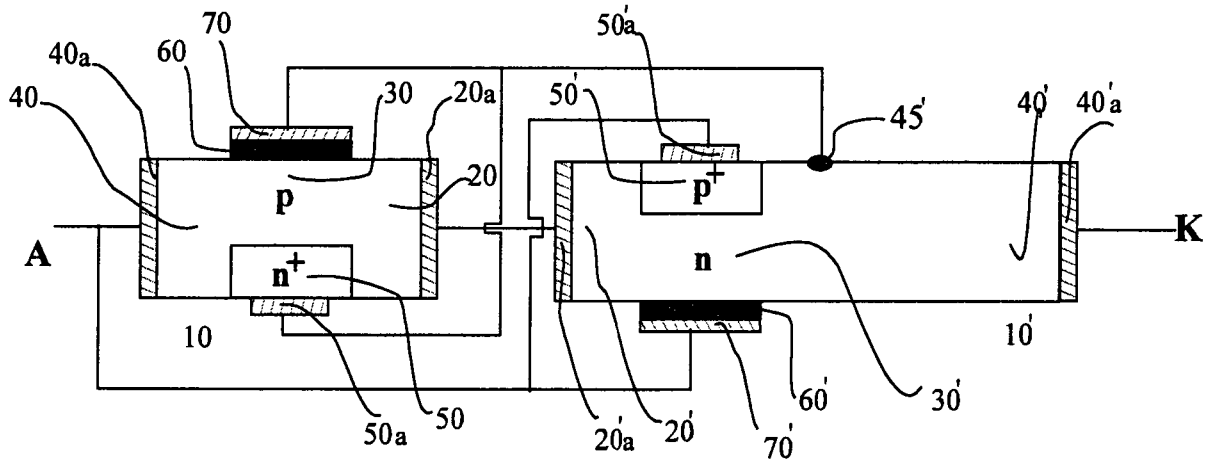


Fig. 7 (ii)

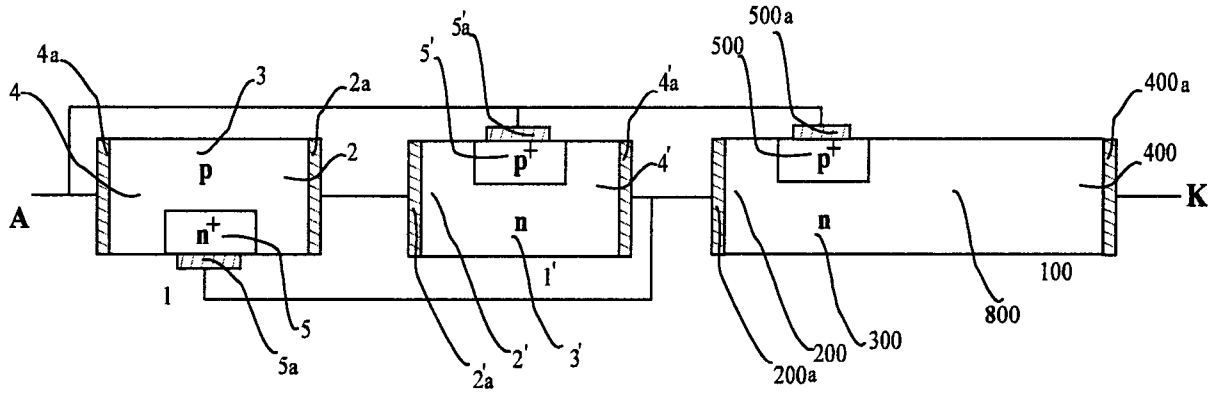


Fig. 8

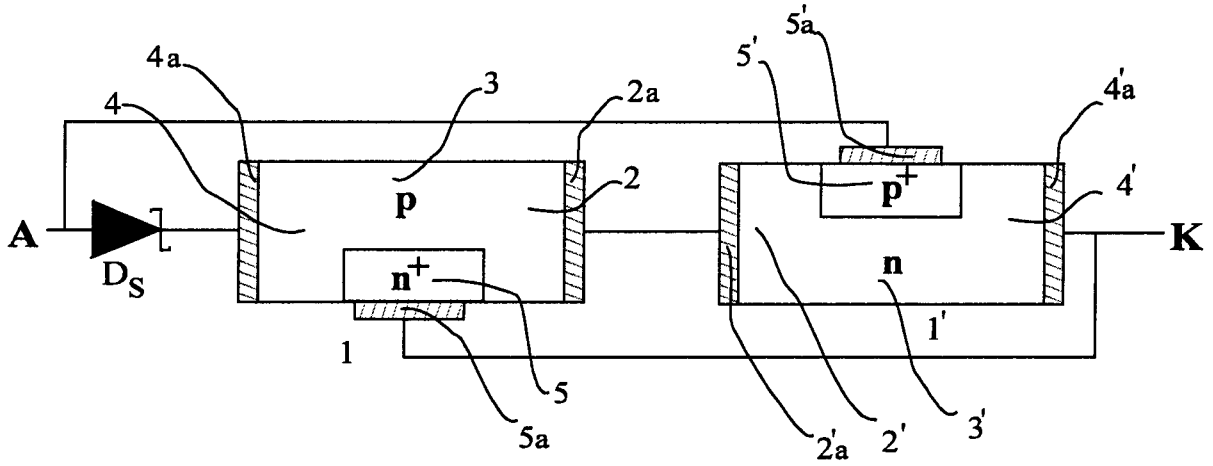


Fig. 9 (i)

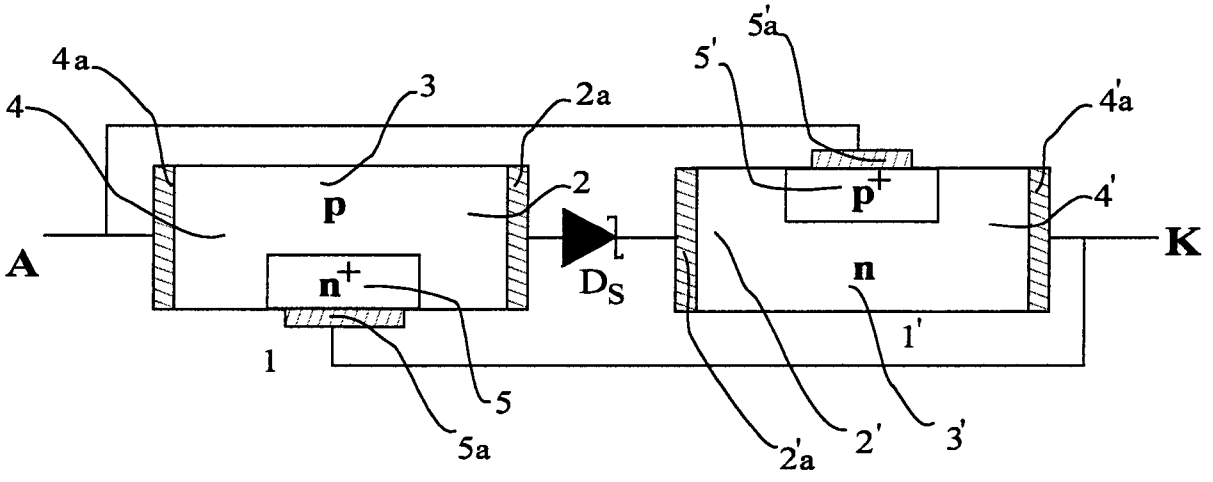


Fig. 9 (ii)

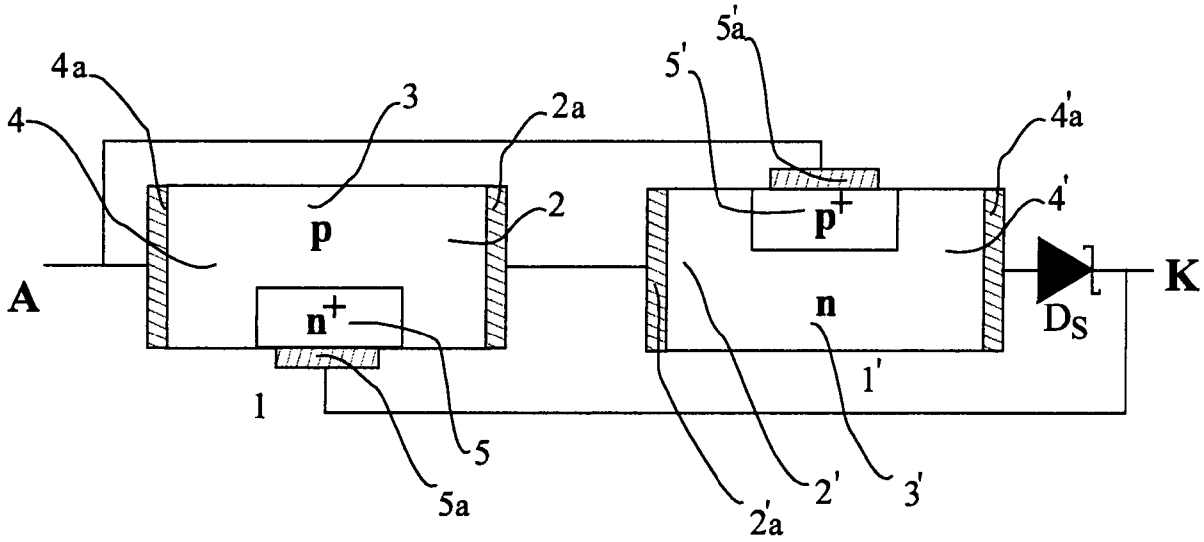


Fig. 9 (iii)

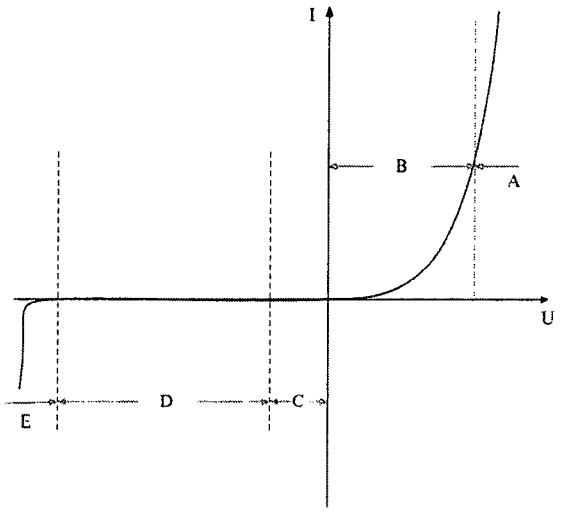


Fig. 10

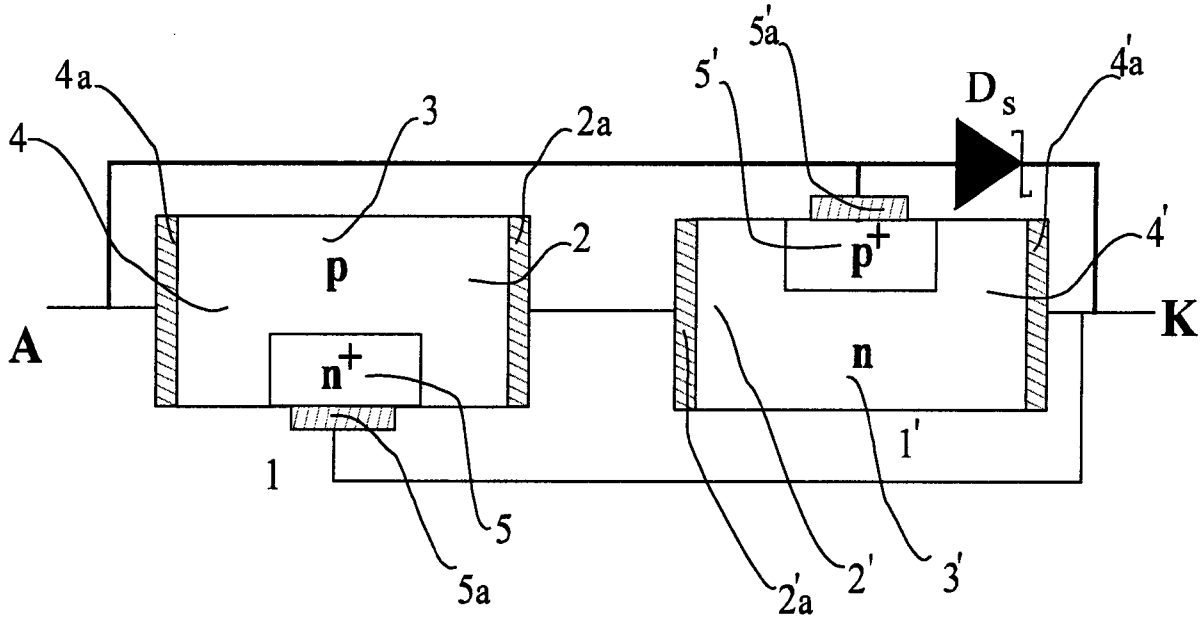


Fig. 11 (i)

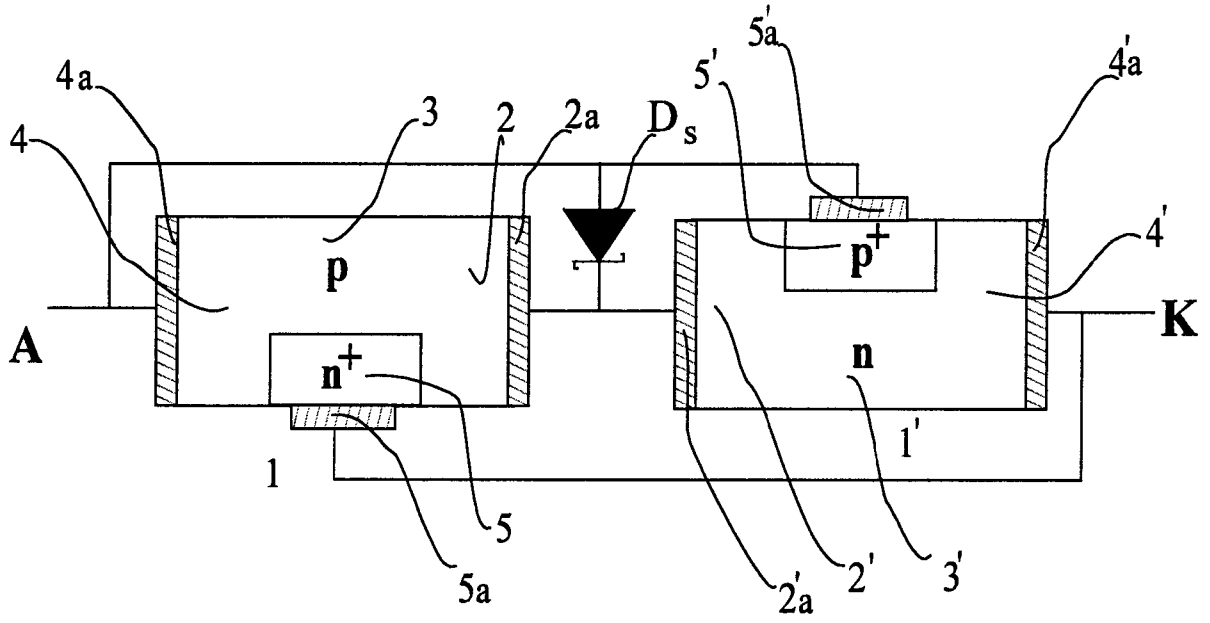


Fig. 11 (ii)

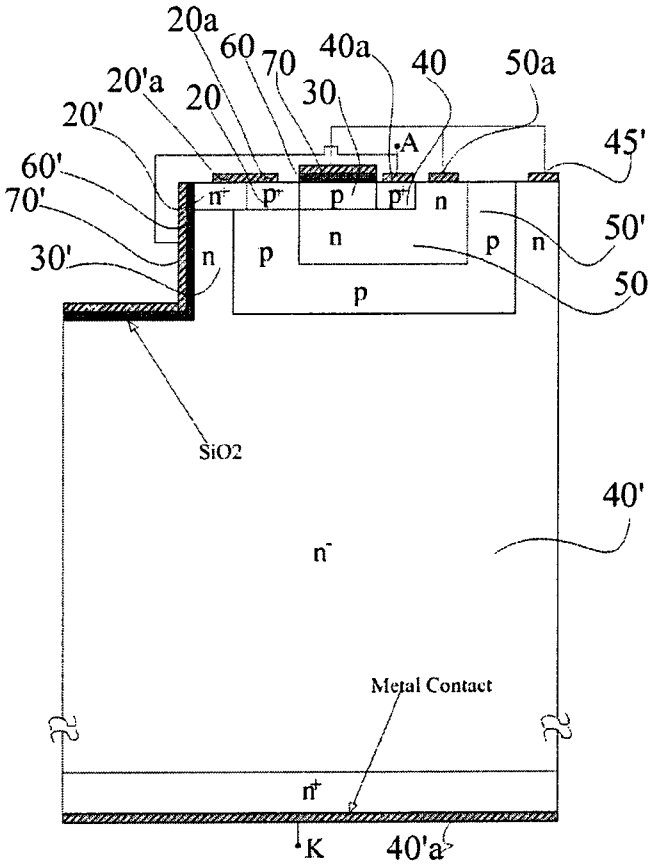


Fig. 12 (i)

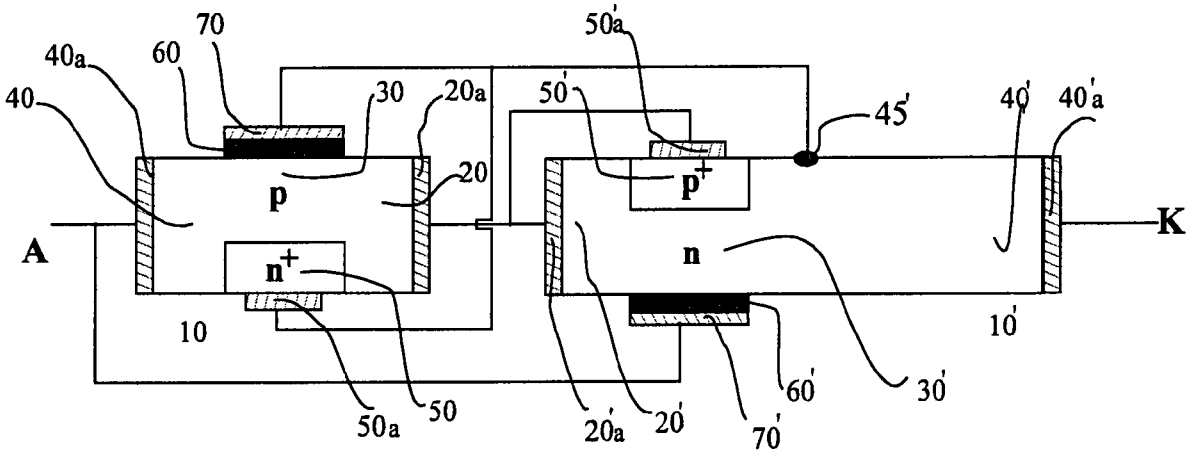


Fig. 12 (ii)