



DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK
AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

PATENTSCHRIFT 140 944

Wirtschaftspatent

Ertelt gemäß § 5 Absatz 1 des Änderungsgesetzes zum Patentgesetz

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

Int. Cl.³

(11) 140 944 (44) 02.04.80 3(51) H 01 L 29/74
(21) WP H 01 L / 209 955 (22) 20.12.78

(71) siehe (72)

(72) Paul, Reinhold, Prof. Dr.-Ing.habil. Dipl.-Ing., DD

(73) siehe (72)

(74) VE Institut für Mikroelektronik Dresden, 808 Dresden,
Königsbrücker Landstraße 159, Haus 337

(54) Feldeffektgesteuerte Halbleiter-Vierschicht-Anordnung

(57) Halbleiter-Vierschicht-Anordnung mit vielseitiger Anwendungsmöglichkeit auf den Gebieten der Leistungs- und Mikroelektronik sowie in der Informationstechnik, die im Gegensatz zu bisherigen Lösungen den Steuerleistungsbedarf zur Realisierung des Zündens grundsätzlich vermeidet und insbesondere einen hochohmigen Eingang der Steuerstrecke hat. Die Anordnung kann ferner durch eine ausreichende Ladung auf der Feldelektrode dynamisch gezündet werden.
- Fig.4 -

12 Seiten



209 955 -1-

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung bezieht sich auf feldeffektgesteuerte Halbleiter-Vierschicht-Anordnungen als

- Leistungsschalter unter Verwendung von Halbleiterbauelementen in der Energie-, Steuer- und Antriebselektronik
- Schaltstufen zur Signalverarbeitung und Verknüpfung in der Informationselektronik, Rechentechnik und Mikroelektronik
- regelbare Verstärkerelemente im Kleinsignalbetrieb als Multiplikator, Amplitudenmodulator und regelbarer negativer Widerstand
- Elemente für integrierbare Speicher in der Mikroelektronik.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Halbleiter-Vierschicht-Anordnungen mit Zonen abwechselnd entgegengesetzten Leitungstyps, z. B. der Folge pnpn aus einkristallinen Halbleitern (Si, GaAs) mit je ohmisch kontaktierten äußeren Zonen und ohne bzw. einen ohmschen Kontakt an einer oder beiden Mittelzonen, sind als diskrete oder integrierte Elemente in breitem Einsatz in der Elektronik.

Ihnen gemeinsam ist, daß sie zwischen den beiden äußeren Kontakten - üblicherweise Anode und Katode genannt - von einem hochohmigen Zustand

in einen niederohmigen Zustand übergehen (Zünden), wenn die Minoritätsdichte in einem/beiden Zwischengebieten ausreichend erhöht wurde. Das erfolgt beispielsweise durch Lawinenvervielfachung in der mittleren Sperrschicht oder Einleitung eines Zündstromes in eine/oder beide Zwischenschicht/Zwischenschichten aus einem geeignet bemessenen Zündkreis.

Nachteilig an diesem Zündprinzip ist die Notwendigkeit des Zündstromes, die üblicherweise noch mindestens einen Vorwiderstand im Zündkreis erfordert, und damit einer Zündleistung.

Als weiterer Nachteil wird im wesentlichen nur die Stromabhängigkeit der Stromverstärkungen A_{Nnpn} , A_{Npnp} der beiden Mittelschichtanordnungen mit jeweils einer Außenschicht ausgenutzt und zwar zur Einleitung der Zündung zunächst nur der jeweils vom Steuerstrom durchflossenen Sperrschicht. Dadurch entsteht ein relativ schlechtes Einschaltverhalten.

Applikativ nachteilig ist ferner die niederohmige Steuerstrecke in Form eines flußgepolten pn-Überganges. Dadurch besitzt die Einleitung des Zündvorganges die typischen Merkmale (Spannungs- und Strompegel) bipolarer Schaltkreistechniken, die gewöhnlich nicht mit den Spannungspegeln der MIS-Technik kompatibel sind.

Letztens schließlich hängt der Durchbruchmechanismus wohl vom Lawinendurchbruch der mittleren Sperrschicht und den Stromverstärkungen A_{Nnpn} und A_{Npnp} ab, doch hat die Veränderung der Stromverstärkung vor und im Verlauf des Durchbruchs praktisch keine Rückwirkung auf den Lawinendurchbruchmechanismus dieser Sperrschicht. Die bisher bekannten steuerbaren Halbleiter-Vierschicht-Anordnungen vermeiden diese Nachteile in ihrer Gesamtheit nicht.

Ziel der Erfindung

Es ist Ziel der Erfindung, die bei der Darstellung des Standes der Technik aufgezeigten Hauptnachteile des Thyristors, wie relativ hoher Leistungsbedarf zur Steuerung, lange Ein-

schaltzeiten und hohe Strom- und Spannungspegel zur Steuerung zu beheben und somit eine breitere Anwendung der Feldeffekt-Vierschicht-Anordnungen zu ermöglichen.

Dadurch ergeben sich folgende Vorteile

- Vereinfachte Auslegung des Zündkreises
- Realisierung eines extrem hochohmigen Zündstreckeneinganges (Eingangswiderstand $> 10^{10} \Omega$) bei sehr geringer Kapazität. So liegt eine ladungsempfindliche Zündung vor.
- Die Einleitung der Zündung durch eine auf die Zündelektrode aufgebrachte Ladung, die z. B. einem angeschalteten Kondensator entstammen kann (dynamisches Zündprinzip)
- Einsatzvorteile für schaltungsgebundene Speicherkonzepte und logische Strukturen der Mikroelektronik
- keine Notwendigkeit neuartiger, außer den in der Planar-Epitaxietechnik üblichen Prozeßschritten bei der Realisierung der Strukturen.

Darstellung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei Anwendung der Planar-Epitaxie-Technik und in Kompatibilität zu MIS-Bau-elementen eine solche Halbleiter-Vierschicht-Anordnung zu finden, die insbesondere eine leistungslose Steuerung ermöglicht und die oben genannten Nachteile beseitigt.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die Oberfläche einer Halbleiter-Vierschicht-Anordnung mit Zonen abwechselnd entgegengesetzten Leitungstyps mit je ohmisch kontaktierten äußeren Zonen, aber nicht kontaktierten Mittelzonen zur Steuerung ihres Strom-Spannungsverhaltens zwischen den ohmischen Kontakten ganz oder teilweise einem veränderlichen elektrischen Feld ausgesetzt ist. Dazu wird die pnpn-Struktur mit Zonen wechselnder Leitfähigkeit und ohmischen Kontakten sowie mit einem die pn-Übergänge überdeckenden Isolator, üblicherweise eine SiO_2 -Schicht oder einem relevanten Isoliermaterial ausreichender Dicke, mittels üblicher Verfahren der Planar-Epitaxietechnik versehen.

- Auf die Isolieroberfläche werden eine oder mehrere Feldelektroden derart isoliert aufgebracht, daß sie im
- Falle einer Feldelektrode den pn-Übergang zwischen den mittleren Zonen symmetrisch oder asymmetrisch flächenhaft überdeckt (Fig. 1) oder zwei benachbarte pn-Übergänge flächenhaft überdeckt,
 - als zwei getrennte Feldelektroden (Fig. 2) je zwei benachbarte Sperrschichten überdecken. Insbesondere überdeckt dabei die eine Feldelektrode das Teilsystem der ersten drei aufeinanderfolgenden Halbleiterzonen, die andere Elektrode das Teilsystem der zweiten bis vierten Halbleiterzone.

Die Feldelektroden können als Metall- oder polykristalline bzw. amorphe Halbleiterschicht ausreichender Leitfähigkeit ausgeführt werden. Die Feldelektroden werden mit einer oder zwei geeigneten Spannungen - der Zündspannung - bezüglich der Kontakte Anode und Katode versehen.

Die Anordnung mit nur einer Feldelektrode heißt Feldeffektthyristor, die Anordnung mit zwei Feldelektroden Feldeffektthyristor-Tetrode.

Bei geeigneter Zündspannung an der Feldelektrode kann dann der Zündvorgang zufolge der isolierten Feldelektrode leistungslos eingeleitet werden. Er erfolgt im ersten Fall (Fig. 1) im wesentlichen über die Steuerung der Durchbruchsspannung im oberflächennahen Teil des pn-Überganges. Damit ist der Zündeinsatzpunkt durch die Zündspannung an der Feldelektrode leistungslos steuerbar.

Im zweiten Fall (Fig. 2) entsteht z. B. bei Überdeckung zweier benachbarter pn-Übergänge bei geeigneter Vorspannung der Feldelektrode bezüglich der Katode oder Anode ein oberflächennaher Inversionskanal. Durch ihn fließt ein Zündstrom aus dem Bereich der ersten Leitfähigkeitszone nach der dritten und setzt die Zündspannung herab durch

- Steuerung der Stromverstärkung A_{Nnpn} der Zonenfolge der ersten drei aufeinanderfolgenden Zonen der Halbleitergebiete (z. B. über Oberflächenrekombination und Basisbreitensteuerung)
- Beeinflussung der Durchbruchsspannungen des jeweils von der Feldelektrode überdeckten pn-Überganges zwischen benachbarten Halbleiterzonen
- Steuerung der Stromverstärkung A_{Nnpn} der Zonenfolge der Halbleitergebiete zwei bis vier durch den Zündstrom.
Überdeckt die isoliert angebrachte Feldelektrode beispielsweise die pn-Übergänge zwischen den ersten drei Halbleiterzonen und wird durch ihre geeignete Spannungsbeaufschlagung an der Halbleiteroberfläche der drei Halbleiterzonen ein p-leitender Inversionskanal zwischen den beiden äußeren geschaffen, so fließt der zur Zündung erforderliche Strom von der Anode über die unmittelbar angrenzende Halbleiterzone, den Oberflächeninversionskanal auf der folgenden Halbleiterzone nach der wiederum folgenden Halbleiterzone und leitet dort - wie der Zündstrom des bisherigen Thyristors - die Injektion über den nachfolgenden pn-Übergang ein. Letztere beeinflusst die Stromverstärkung A_{Nnpn} .

Durch Oberflächenkanalbildung wird die zugehörige Stromverstärkung A_{Nnpn} der ersten bis dritten Halbleiterzone zusätzlich beeinflusst, ebenso wie die Durchbruchsspannung des pn-Überganges zwischen der zweiten und dritten Halbleiterzone durch Veränderungen der oberflächennahen Raumladungs- und Feldverteilung. Durch einen derartigen Zündmechanismus ergeben sich kürzere Schaltzeiten während des Umschaltverhaltens im Vergleich zu dem mit Gatestromzündung arbeitenden üblichen Thyristor. So erhält man eine Strom-Spannungs-Kemlinie zwischen den Kontakten Anode und Katode mit der Feldelektrodenspannung als Parameter. Besitzt die Anordnung zwei Feldelektroden, so können insbesondere beide Feldelektroden gleichzeitig eingeschaltet werden.

Ausführungsbeispiel

Nachfolgend wird anhand der beigelegten Zeichnungen die Erfindung näher beschrieben.

Es zeigen

Fig. 1: Die Prinzipausführung der erfindungsgemäßen Halbleiteranordnung mit nur einer Feldelektrode

Fig. 2: Die Prinzipausführung mit zwei Feldelektroden

Fig. 3: Einen erfindungsgemäßen Feldeffektthyristor mit einer Feldelektrode

Fig. 4: Einen erfindungsgemäßen Feldeffektthyristor mit zwei Steuerelektroden.

Fig. 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Feldeffektthyristors mit einer Feldelektrode. Mit den üblichen Verfahren der Epitaxie-Planartechnologie werden der Reihe nach die Halbleiterzonen 1 ... 4 aufeinanderfolgend ausgeführt und durch die Metallschichten 5, 6 ohmisch kontaktiert. Letztere ergeben den Katodenanschluß 6 bzw. den Anodenanschluß 5. Die elektrische Bemessung der Halbleiterschichten erfolgt entsprechend der Thyristoranforderungen nach den üblichen Regeln für Halbleiterbauelemente. Anschließend versieht man die Halbleiteroberfläche mit einer Isolatorschicht, z. B. thermisch gewachsenem SiO_2 . Auf diese Schicht wird eine Feldelektrode 8 erfindungsgemäß so angebracht, daß sie die Raumladungszone 11 zwischen den Halbleitergebieten 2 und 3 an der Oberfläche zum Isolator überdeckt oder die Gebiete 2, 3, 4 insgesamt. Durch Anlegen einer Steuerspannung U_{GK} , dargestellt durch die Spannungsquelle 12, zwischen Feldelektrode 8 und Katode 6 kann dann die Stromspannungskennlinie $I_{AK} = f(U_{AK})$ zwischen den Kontakten 5 und 6 leistungslos und insbesondere die Zündspannung bei geeigneter Polung von U_{GK} abhängig von der Anordnung und Auslegung der Gateelektrode und Präparation der Halbleiteroberfläche und Isolatoreigenschaften beeinflusst werden.

Ein Beispiel für die Anwendung zweier Steuerelektroden wird anhand der Feldeffektthyristor-Tetrode gemäß Fig. 4 gegeben. Hier ist z. B. das System der Halbleiterzone 1 ... 3 als Vertikal-, das System der Halbleiterzone 2, 3, 4 als Lateral-system (sog. Vertikal- und Lateraltransistor) ausgeführt. Dazu wird die Halbleiterzone 1, z. B. ringförmig in die Oberfläche des Gebietes 2, in einem solchen Abstand von 3 eingebracht, daß das System 1, 2, 3 noch eine ausreichende Stromverstärkung A_{NPNP} besitzt. Die Halbleiterzone 2 umschließt die Halbleiterzone 3 ebenfalls ringförmig. Man versieht die Oberfläche mit einer Isolatorschicht 7. Auf sie werden Feldelektroden 8, 9 gebracht und zwar so, daß

- Feldelektrode 9 die Halbleiterzonen 2, 3, 4 zu dem Anteil überdeckt, für den
- Feldelektrode 8 die Halbleiterzonen 1, 2, 3 nicht überdeckt.

Durch anteilige Aufteilung der überdeckten Flächen der jeweiligen Transistoren lassen sich Unterschiede der Stromverstärkungen und damit Unterschiede der Zündspannungen in gewissen Grenzen ausgleichen. Die zur Zündung erforderliche Spannung der Feldelektroden 8, 9 werden z. B. in der hier vereinfacht dargestellten Weise durch die Spannungen 12, 13 realisiert, (wenn die jeweiligen oberflächennahen Bereiche der Halbleiterzonen 1, 2, 3 und 2, 3, 4 im Anreicherungsmodus arbeiten).

Die Anordnung kann auch als integrierte Struktur, z. B. in einer p-Isolationswanne 14 realisiert werden.

Die Bemessung der Zündstrecke, Spannungspolarität der Zündspannung und Steuerart (Verarmungs-, Anreicherungssteuerung) werden weitgehend durch die üblichen Gesetzmäßigkeiten oberflächenfeldeffektgesteuerten Halbleiteranordnungen (z. B. MIS-Anordnungen) bestimmt.

Größe und Vorzeichen der Zündspannung in bezug auf eine der beiden Elektroden Anode und Katode hängen von den Isolatoreigenschaften, der Halbleiter-Isolatorgrenzfläche, dem Halbleitersubstrat, der verwendeten Feldelektrode und der Geometrie in der für Metall-Isolator-Halbleiter-Anordnungen typischen Weise ab.

Die Zündspannung kann z. B. realisiert werden

- durch eine extreme Hilfsspannung,
- durch Anlegen der Feldelektrode bzw. beide unmittelbar an Anode bzw. Katode (Einschalten ohne äußere Hilfsspannung), wenn die Feldelektrodenanordnung geeignet bemessen wird,
- durch Aufbringen einer zur Zündung ausreichenden Ladung auf die betreffende Feldelektrode, (z. B. durch Anschalten eines geladenen Kondensators, dynamisches Einschaltprinzip), was durch dieses leistungslose Steuerprinzip möglich ist.

Die Realisierung eines Inversionskanals 10 an der Halbleiteroberfläche kann je nach der Auslegung der Gebiete Halbleiteroberfläche - Isolator 7, Feldelektrode 8 erfolgen:

- nach dem Anreicherungsmodus: Mit steigendem Steuerfeld entsteht der Inversionskanal 10. In diesem Fall zündet der dargelegte Feldeffektthyristor bzw. die Tetrode erst durch Anlegen einer geeigneten Zündspannung.
- nach dem Verarmungsprinzip: Dabei ist der Inversionskanal 10 bereits ohne Zündspannung, z. B. durch die Halbleiter-Metall-Austrittsarbeit oder eine einimplantierte Halbleiterzone 15 vorhanden. Deshalb kann die Anordnung nur durch eine geeignete Hilfsspannung an der Feldelektrode in ausgeschaltetem Zustand gehalten werden, bei deren Wegnahme die Halbleiter-Vierschicht-Struktur zündet.

Erfindungsanspruch

1. Halbleiter-Vierschicht-Anordnung mit Zonen abwechselnd entgegengesetztem Leitungstyps, z. B. der Folge pnpn, beispielsweise ein Feldeffektthyristor bzw. eine Feldeffektthyristor-Tetrode, gekennzeichnet dadurch, daß zur Steuerung des Strom-Spannungs-Verhaltens, insbesondere zur Einleitung des Überganges aus einem hochohmigen in einen niederohmigen Widerstand zwischen den Kontakten (5), (6) der äußeren Halbleiterzonen, die ganze Halbleiteroberfläche oder ein Teil derselben einem unabhängig veränderlichen elektrischen Feld ausgesetzt ist.
2. Halbleiter-Vierschicht-Anordnung nach Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß zur Erzeugung des elektrischen Steuerfeldes über einem oder mehreren Sperrschichtbereichen eine oder mehrere mit einer oder mehreren Spannungen oder Ladungen beaufschlagte Feldelektroden (8), (9) isoliert auf der Halbleiteroberfläche angeordnet sind.
3. Feldeffektgesteuerte Halbleiter-Vierschicht-Anordnung nach Punkt 1 und 2, gekennzeichnet dadurch, daß die isoliert aufgebrachten Feldelektroden (8), (9) als Metallschicht ausgebildet sind.
4. Halbleiteranordnung nach Punkt 1 bis 3, gekennzeichnet dadurch, daß die isoliert aufgebrachten Feldelektroden (8), (9) als amorphe bzw. polykristalline Halbleiterschichten ausgebildet sind.
5. Halbleiter-Vierschicht-Anordnung nach Punkt 1 bis 4, gekennzeichnet dadurch, daß zur Einleitung der Zündung eine oder mehrere Feldelektroden (8), (9) an eine oder gleichzeitig mehrere äußere Hilfsspannungen angeschlossen sind.

6. Halbleiter-Vierschicht-Anordnung nach Punkt 1 bis 5, gekennzeichnet dadurch, daß zur Erzeugung des Steuerfeldes für die Einleitung der Zündung eine oder mehrere Feldelektroden (8), (9) an die Anschlußklemmen (5), (6) der Vierschichtanordnung angeschlossen sind.

7. Halbleiter-Vierschicht-Anordnung nach Punkt 1 bis 6, gekennzeichnet dadurch, daß in oberflächennahen Bereichen unter den Feldelektroden (8), (9) zwischen zwei Halbleiterzonen gleichen Leitungstyps ohne äußere Spannung an der zugehörigen Feldelektrode eine Verarmungssteuerung der Halbleiteranordnung realisiert ist.

8. Halbleiter-Vierschicht-Anordnung nach Punkt 1 bis 6, gekennzeichnet dadurch, daß in oberflächennahen Bereichen unter den Feldelektroden (8), (9) zwischen zwei Halbleiterzonen gleichen Leitungstyps eine Verarmungssteuerung durch eine zusätzlich eingebrachte Halbleiterzone (15) des gleichen Leitungstyps der beiden angrenzenden Halbleitergebiete (1), (2) realisiert wird.

Hierzu / Seite Zeichnung

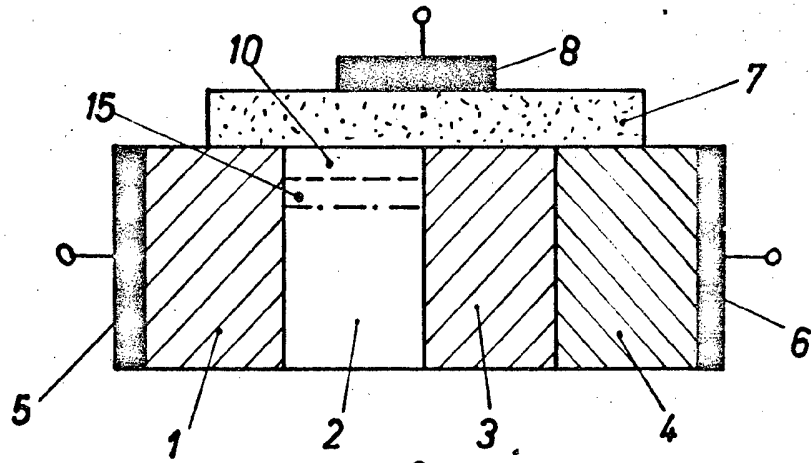


Fig. 1

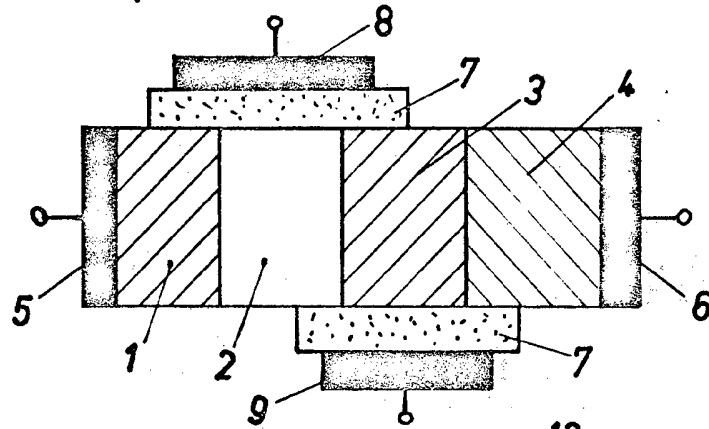


Fig. 2

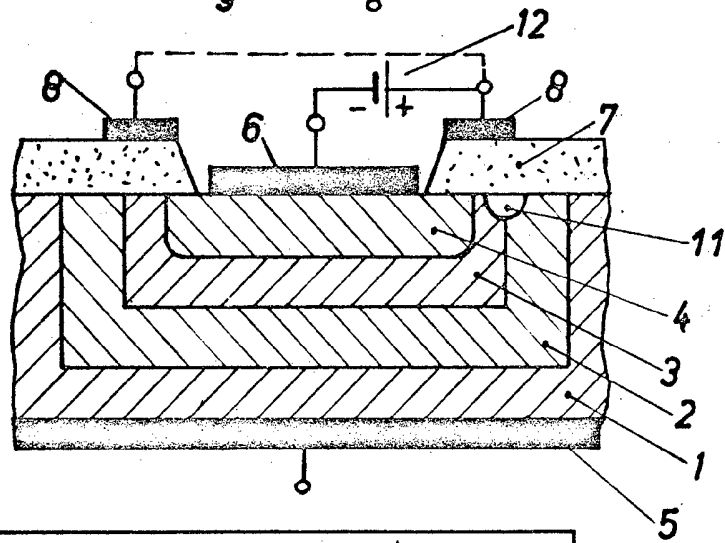


Fig. 3

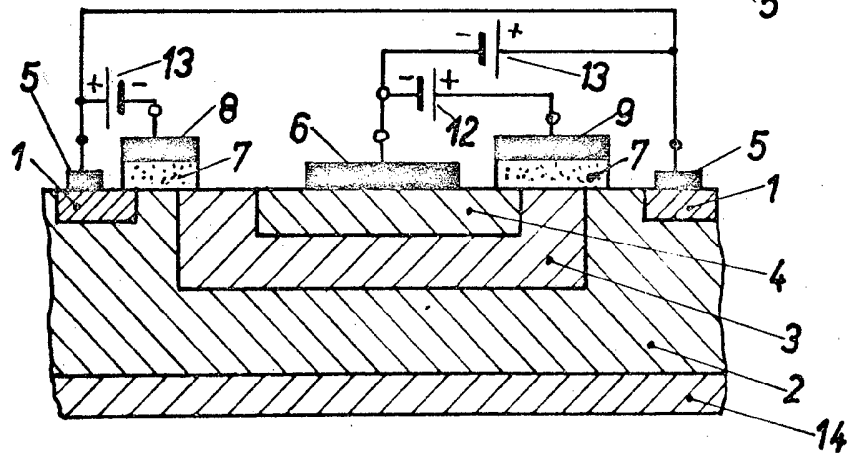


Fig. 4