

POLSKA
RZECZPOSPOLITA
LUDOWA



URZĄD
PATENTOWY
PRL

OPIS PATENTOWY

119 597

Patent dodatkowy
do patentu _____

Zgłoszono: 20.07.79 (P. 217279)

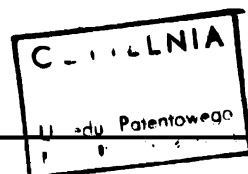
Pierwszeństwo: 24.07.78 Holandia

Zgłoszenie ogłoszono: 11.08.80

Opis patentowy opublikowano: 30.11.1984

Int. Cl.³

H01L 29/76



Twórca wynalazku: _____

Uprawniony z patentu: N.V. Philips Gloeilampenfabrieken,
Eindhoven (Holandia)

Przyrząd półprzewodnikowy

Przedmiotem wynalazku jest przyrząd półprzewodnikowy z półprzewodnikowym korpusem, mającym zasadniczo płaską powierzchnię, zawierający przynajmniej jeden tranzystor polowy, posiadający źródło, dren, obszar kanałowy pomiędzy źródłem a drenem oraz bramkę przyległą do obszaru kanałowego dla oddziaływania, za pomocą napięcia przyłożonego do bramki na strefę zubożenia w celu kontrolowania przepływu nośników ładunku pomiędzy źródłem a drenem, przy czym ten tranzystor polowy zawiera ukształtowany w postaci warstwy pierwszy obszar o przewodności pierwszego rodzaju, który to obszar wraz z leżącym pod nim drugim obszarem o przewodności drugiego rodzaju tworzy pierwsze złącze p-n, rozciągające się zasadniczo równoległe do tej powierzchni, przez co przynajmniej w trakcie pracy część ukształtowanego wysepkowo pierwszego obszaru jest przynajmniej częściowo ograniczona bocznie poprzez drugie złącze p-n z towarzyszącą strefą zubożenia, utworzoną pomiędzy pierwszym obszarem a trzecim obszarem o przewodności drugiego rodzaju, który przylega do pierwszego obszaru, zaś drugie złącze p-n ma niższe napięcie przebicia niż pierwsze złącze p-n, przy czym do części ukształtowanego wysepkowo pierwszego obszaru przylega przynajmniej bramka, zaś pomiędzy drugim obszarem a obszarem kontaktowym tranzystora polowego, przynależącym do źródła, drenu i bramki i tworzącym nieprostujący styk z częścią ukształtowanego wysepkowo pierwszego obszaru, jest przyłożone napięcie w kierunku wstecznym.

Tego rodzaju przyrząd półprzewodnikowy jest znany przykładowo z amerykańskiego opisu patentowego nr 3 586 931.

Oddziaływanie strefy zubożenia dla sterowania przepływem nośników ładunku należy rozumieć w obecnym zgłoszeniu jako zwężanie lub rozszerzanie kanału prądowego, ograniczonego przez strefę zubożenia, za pomocą zmian grubości tej strefy zubożenia, lub też zmianę przepływu nośników ładunku przechodzących przez strefę zubożenia za pomocą zmiany rozkładu potencjałów w strefie zubożenia.

Tranzystor polowy może mieć różnorodną strukturę w zależności od postaci źródła, drenu i bramki. Przykładowo, elektrody te mogą mieć postać warstw metalu, tworzących na powierzchni półprzewodnikowej odporowe styki źródła i drenu, oraz jedną lub więcej bramek prostujących z kontaktami Schottky.

W alternatywnym rozwiązaniu źródło, dren i bramka mogą być utworzone w postaci warstw metalu przylegających do półprzewodnikowych stref elektrodowych, które wraz z sąsiednią częścią półprzewodnikowego korpusu tworzą złącza p-n (w przypadku bramek) lub złącza nieprostujące (w przypadku źródła i drenu). Ponadto, bramki mogą mieć postać warstwy przewodzącej, która jest oddzielona od powierzchni półprzewodnikowej poprzez warstwę izolującą i za pomocą której jest utworzona w obszarze kanałowym strefa zubożenia, tak jak na przykład w tranzystorze polowym o tak zwanym „głębokim zubożeniu”.

Odpowiednio do tego, jeżeli w zgłoszeniu występują odniesienia do źródła, drenu i bramki, to obejmują one strefy elektrodowe i odpowiednio, warstwy izolujące, mogące towarzyszyć tym elektrodom.

W znanych opisanych tranzystorach polowych zasadniczo nie można przykładać dużych napięć do pierwszego i drugiego złącza p-n. Jest to między innymi wynikiem tego, że na długo zanim zostanie osiągnięte napięcie przebicia na pierwszym złączu p-n, przewidywane teoretycznie na bazie profilu domieszkowania, występuje przebicie na drugim złączu p-n jako skutek niekorzystnego rozkładu pola przy tym złączu. Przebicie to występuje zwykle przy, lub w bezpośredniej bliskości powierzchni. Korzystny rozkład pola może być spowodowany dużym stężeniem domieszkowania w trzecim obszarze i/lub dużym gradientem domieszkowania blisko drugiego złącza p-n a także, przykładowo, poprzez miejscową dużą krzywiznę drugiego złącza p-n.

W celu zwiększenia dopuszczalnego napięcia, można redukować stężenie domieszkowania w pierwszym obszarze a także dla utworzenia przestrzeni dla strefy zubożenia zachodzącej w pierwszy obszar, można zwiększyć jego grubość. Jednakże z tego względu, że przewodność kanału jest proporcjonalna do grubości, lecz napięcie odcięcia jest proporcjonalne do kwadratu grubości obszaru kanałowego, zatem przy długości i szerokości kanału pozostających bez zmian, oraz przy tym samym napięciu odcięcia kanału, przewodność kanału ulega zmniejszeniu.

Faktycznie, dla napięcia odcięcia V_p stwierdzono, że $V_p = \frac{a^2 qN}{2 \xi}$, zaś dla przewodności kanału stwierdzono, że

$$G = \frac{Wq \mu Na}{L}, \text{ gdzie } a \text{ jest grubością obszaru kanałowego odciętego przez bramkę, } N \text{ stanowi stężenie domiesz-$$

kowania obszaru kanałowego, W stanowi szerokość a L – długość obszaru kanałowego, μ stanowi ruchliwość nośników ładunku, q stanowi ładunek elektronowy, zaś ξ jest stałą dielektryczną materiału półprzewodnikowego, Gdy N jest zredukowane do wartości $N = \frac{N}{\beta}$ ($\beta > 1$), wówczas stwierdzono (dla wartości napięcia odcięcia kanału V_p pozostającej bez zmian, że

$$a' = \sqrt{\frac{2 \epsilon \beta V_p}{qN}} = a \sqrt{\beta}$$

i

$$G' = \frac{Wq \mu Na}{L\sqrt{\beta}} = \frac{G}{\sqrt{\beta}} < G.$$

Ogólnie jednakże, tego rodzaju redukcja przewodności kanału jest bardzo szkodliwa ze względu na prawidłową pracę tranzystora polowego.

Celem wynalazku jest otrzymanie przyrządu półprzewodnikowego z płaską powierzchnią, zawierającego tranzystor polowy o nowej strukturze, który to przyrząd będzie mógł być wykorzystywany przy znacznie wyższych napięciach niż w przypadku opisanych tu znanych tranzystorów polowych, bez potrzeby redukcji przewodności kanału.

Wynalazek jest oparty między innymi na stwierdzeniu faktu, że w przeciwieństwie do tego, czego można się było spodziewać, cel ten może być osiągnięty nie poprzez zwiększenie grubości pierwszego obszaru, ale poprzez jej zmniejszenia.

A zatem, przyrząd półprzewodnikowy według wynalazku charakteryzuje się tym, że stężenie domieszkowania N w atomach na cm^3 i grubość d w cm części ukształtowanego wysepkowo obszaru spełniają warunek

$$2,6 \cdot 10^2 \epsilon E \sqrt{\frac{VB}{L}} \leq N \cdot d \leq 5,1 \cdot 10^5 \epsilon E,$$

gdzie ϵ stanowi względną stałą dielektryczną a E stanowi krytyczne natężenie pola w Voltach/cm, przy którym występuje lawinowe zwielokrotnienie w półprzewodnikowym materiale pierwszego obszaru, L stanowi odległość

w cm od wspomnianego obszaru kontaktowego do drugiego złącza p-n, a V_B stanowi obliczoną jednowymiarowo wartość napięcia przebicia pierwszego złącza p-n w Voltach.

Jeżeli warunek ten jest spełniony, wówczas produkt stężenia domieszkowania i grubość pierwszego obszaru jest tego rodzaju, że przy przyłożeniu napięcia wstecznego strefa zubożenia, przynajmniej pomiędzy obszarem kontaktowym a drugim złączem p-n, sięga od pierwszego złącza p-n poprzez grubość części obszaru ukształtowanego wysepkowo, przy napięciu które jest niższe niż napięcie przebicia drugiego złącza p-n.

Wspomniany obszar kontaktowy może stanowić elektroda lub strefa elektrodowa, która jest bezpośrednio podłączona do źródła tego napięcia wstecznego, lecz może też alternatywnie stanowić, przykładowo strefę półprzewodnikową, która sama nie jest wyposażona w przewód połączeniowy, ale jest utrzymywana na pożądanym potencjale w inny sposób, na przykład poprzez sąsiednią strefę półprzewodnikową.

Ponieważ część ukształtowanego wysepkowo obszaru o konduktywności pierwszego rodzaju pomiędzy wspomnianym obszarem kontaktowym a drugim złączem p-n jest już całkowicie zubożona przy napięciu niższym niż napięcie przebicia drugiego złącza p-n, zatem natężenie pola przy powierzchni jest zredukowane do takiego zakresu, że napięcie przebicia nie jest już wyznaczane zasadniczo w całości przez drugie złącze p-n, lecz w znacznym stopniu jest wyznaczane przez pierwsze złącze p-n, przebiegające równoległe do powierzchni.

W ten sposób pomiędzy pierwszym i drugim obszarem można uzyskać bardzo wysokie napięcie przebicia, które w niektórych przypadkach może być zbliżone do wysokiego napięcia przewidywanego teoretycznie na podstawie domieszkowania pierwszego i drugiego obszaru.

Zachowanie warunku według wynalazku nie dopuszcza także do tego, aby skutek wzrostu napięcia pomiędzy pierwszym a drugim obszarem wystąpiło zbyt wcześnie za wysokie natężenie pola przy powierzchni pomiędzy obszarem kontaktowym a drugim złączem p-n jako skutek wnikania strefy zubożenia z drugiego złącza p-n do tego obszaru kontaktowego. Optymalny rozkład pola uzyskuje się przez to, że dla produktu $N \cdot d$ według wynalazku maksymalne wartości natężenia pola, występujące przy drugim złączu p-n i przy krawędzi obszaru kontaktowego mają także w przybliżeniu tę samą wartość.

Ponadto gdy warunki są tak dobrane, że $N \cdot d$ jest zasadniczo równe $3,0 \cdot 10^5 \epsilon E$ i $L \geq 1,4 \cdot 10^{-5} V_B$, wówczas jest pewne, że maksymalne natężenie pola przy pierwszym złączu p-n będzie zawsze większe niż wspomniane powyżej wartości maksymalne występujące przy powierzchni, przez co przebicie występuje zawsze przy pierwszym złączu p-n, a nie przy powierzchni.

W celu możliwości gromadzenia głównej części ładunku w obszarze zubożonym drugiego obszaru, redukując w ten sposób minimalną grubość pierwszego obszaru, zaleca się często, aby drugi obszar przynajmniej przyległy do pierwszego obszaru posiadał stężenie domieszkowania niższe niż pierwszy obszar.

Jakkolwiek w wielu przypadkach strefa zubożenia pierwszego złącza p-n może sięgać bez szkodliwych skutków poprzez grubość drugiego obszaru, to w innych przypadkach korzystnie stosuje się taką grubość drugiego obszaru, aby przy napięciu przebicia pierwszego złącza p-n strefa zubożenia zachodziła w drugi obszar na odległość mniejszą niż grubość tego obszaru. W tym przypadku jest pewne, że grubość drugiego obszaru nie będzie wpływała przeciwnie na napięcie wsteczne.

Chociaż opisana struktura półprzewodnikowa może być również ukształtowana odmiennie, to zaleca się między innymi ze względów technologicznych konstrukcję, w której pierwszy obszar jest uformowany jako warstwa epitaksjalna o przewodności pierwszego rodzaju, utworzona na drugim obszarze. Trzeci obszar sąsiadujący z pierwszym obszarem nie musi sięgać poprzez grubość pierwszego obszaru. Wystarczające jest, że przynajmniej w warunkach pracy towarzysząca strefa zubożenia rozciąga się nad całą grubością pierwszego obszaru i przynajmniej częścią obwodu ogranicza jego wysepkowo ukształtowaną część.

Korzystne jest, jeżeli ukształtowana wysepkowo część pierwszego obszaru jest ograniczona z boku w całości przez drugie złącze p-n, jakkolwiek czasami mogą być korzystne inne struktury, w których wspomniana część pierwszego obszaru jest ograniczona z boku, przykładowo częściowo przez drugie złącze p-n, a w pozostałej części w inny sposób, na przykład przez wgłębiony materiał izolujący, lub przez rowek wypełniony przykładowo szkłem pasywowującym.

Wynalazek ma szczególne zastosowanie w przypadku bocznych tranzystorów polowych, w których prąd pomiędzy źródłem a drenem przepływa zasadniczo równoległe do powierzchni. Z tego względu zalecane rozwiązanie charakteryzuje się tym, że źródło i dren po obu stronach bramki tworzą nieprostujące styki z pierwszym obszarem, przy czym ten obszar kontaktowy stanowi dren tranzystora. W tym przypadku bramka jest połączona zwykle z drugim obszarem, który następnie służy jako druga bramka, chociaż nie jest to konieczne.

W niektórych przypadkach będzie zalecane rozwiązanie, a którym dren jest zasadniczo całkowicie otoczony przez bramkę, a ta ostatnia jest otoczona zasadniczo całkowicie przez źródło. Szczególnie korzystne rozwiązanie charakteryzuje się tym, że warstwa półprzewodnikowa o przewodności drugiego rodzaju występuje na

pierwszym obszarze, zaś źródło i dren posiadają strefy elektrodowe i przewodności pierwszego rodzaju, a bramka posiada strefę elektrodową o przewodności drugiego rodzaju, przy czym wszystkie wspomniane strefy elektrodowe rozciągają się poprzez grubość tej warstwy półprzewodnikowej w dół do pierwszego obszaru. To ostatnie zalecane rozwiązanie umożliwia ułożenie obok siebie w tej samej płytce półprzewodnikowej tranzystorów polowych złącza dopełniającego, to znaczy tranzystorów polowych z kanałem n i kanałem p, jak będzie opisane poniżej.

Poza bocznymi złączonymi tranzystorami polowymi, można także zastosować korzystnie wynalazek w przypadku złączowych tranzystorów polowych o tak zwanym typie pionowym.

W związku z tym zalecane rozwiązanie charakteryzuje się tym, że tranzystor polowy jest typu pionowego, dren tworzy styk nieprostujący z drugim obszarem, źródło tworzy styk prostujący z pierwszym obszarem, a bramka zawiera strefę elektrodową o przewodności pierwszego rodzaju, która to strefa otacza przynajmniej jedną część pierwszego obszaru, połączoną z obszarem kanałowym i tworzy wspomniany obszar kontaktowy.

Przedmiot wynalazku zostanie objaśniony szczegółowo w przykładach wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia znany przyrząd półprzewodnikowy częściowo w przekroju a częściowo w widoku perspektywicznym, fig. 2 – przyrząd półprzewodnikowy według wynalazku częściowo w przekroju a częściowo w widoku perspektywicznym, fig. 3 – drugi przykład przyrządu półprzewodnikowego według wynalazku, fig. 4 i 5 – następne przykłady przyrządu półprzewodnikowego według wynalazku, fig. 6 – przyrząd półprzewodnikowy z pionowym tranzystorem polowym, fig. 7 – tranzystor polowy o głębokim zubożeniu, fig. 8A do E – rozkład pola przy rozmaitych wymiarach i domieszkowaniach, a fig. 9 – przedstawia wzajemną zależność pomiędzy domieszkowaniem a wymiarami pierwszego obszaru dla korzystnego rozwiązania.

Figury przedstawione na rysunku są schematyczne i dla przejrzystości nie są wykonane w określonej skali. Odpowiadające sobie elementy posiadają te same odnośniki cyfrowe. Obszary półprzewodnikowe o przewodności tego samego rodzaju są zakreskowane w tym samym kierunku.

We wszystkich rozwiązaniach jako materiał półprzewodnikowy został wybrany krzem. Jednakże wynalazek nie ulega w ten sposób ograniczeniu, ale może być zastosowany przy wykorzystywaniu jakiegokolwiek innego materiału półprzewodnikowego, na przykład germanu lub tak zwanego związku III – V, na przykład Ga–As.

Na fig. 1 jest przedstawiony znany przyrząd półprzewodnikowy częściowo w przekroju a częściowo w widoku perspektywicznym. Przyrząd ten zawiera półprzewodnikowy korpus z tranzystorem polowym, posiadającym źródło i dren z towarzyszącymi strefami elektrodowymi 12 i 14, usytuowany pośrodku obszar kanałowy 1 oraz bramkę z towarzyszącą strefą elektrodową 13, sąsiadującą z obszarem kanałowym 1. Bramka służy do oddziaływania na strefę zubożenia za pomocą napięcia bramki, przyłożonego do bramki dla kontrolowania przepływu nośników ładunku, w tym przykładzie przepływu elektronów, pomiędzy elektrodą źródłową 12, a drenem 4.

W przykładzie tym źródło, dren i bramka składają się ze strefy półprzewodnikowej i warstwy metalowej na tej strefie, która to warstwa tworzy kontakt oporowy z towarzyszącą strefą elektrodową, a nie jest pokazana na rysunku ze względu, na przejrzystość. Obszar kanałowy 1 ma w tym przykładzie przewodnictwo typu n, strefy elektrodowe 12 i 14 mają przewodnictwo typu n z domieszkowaniem wyższym niż obszar kanałowy 1, zaś strefa elektrodowa bramki 13 ma przewodnictwo typu p i tworzy z obszarem kanałowym 1 prostujące złącze p–n 7.

Jak uwidoczniło na fig. 1, tranzystor polowy zawiera ukształtowany warstwowo pierwszy obszar 1 o przewodności pierwszego rodzaju, w tym przypadku przewodności typu n. Pierwszy obszar 1, który w tym przypadku stanowi również obszar kanałowy sąsiadujący z bramką, tworzy wraz z leżącym pod spodem drugim obszarem 2, o przewodności typu n pierwsze złącze p–n 5, usytuowane zasadniczo równoległe do powierzchni 8. Ukształtowana wysepkowo część obszaru 1 jest ograniczona z boku przez drugie złącze p–n 6 z towarzyszącą strefą zubożenia. To drugie złącze p–n 6 jest utworzone pomiędzy pierwszym obszarem 1 a trzecim obszarem 3 o przewodności typu p, który sięga pomiędzy drugim obszarem 2 a powierzchnią 8 i który ma wyższe stężenie domieszkowania niż drugi obszar 2. Złącze p–n 6 ma tym samym napięcie przebicia niższe niż pierwsze złącze p–n 5. Bramka sąsiaduje z ukształtowaną wysepkowo częścią obszaru 1.

Jak pokazano na fig. 1, bramka jest połączona z podłożem (w tym przypadku z drugim obszarem 2), jakkolwiek nie jest to konieczne. Po przyłożeniu napięcia V_D pomiędzy zaciski S i D źródła i drenu, elektrony przepływają przez obszar 1 ze strefy 12 do strefy 4. Poprzez przyłożenie napięcia w kierunku wstecznym pomiędzy strefą elektrodową 13 bramki a obszarem 1 i pomiędzy drugim obszarem 2 a obszarem 1, tworzy się strefy zubożenia, których granice (9, 10, 14) są pokazane przerywanymi liniami na fig. 1. Te strefy zubożenia są pokazane jako niezakreskowane.

W opisanym powyżej znanym przyrządzie stężenie domieszkowania i wymiary są tego rodzaju, że przy napięciu przebicia złącza p-n 6 obszar 1 blisko drenu 4 nie jest zubożony. Napięcie w kierunku wstecznym w poprzek złączy p-n 6 i 7 które jest najwyższe w pobliżu drenu 4, powoduje podmienienie rozkładu natężenia pola, przy którym maksymalna wartość natężenia pola występuje w pobliżu miejsca, gdzie złącza p-n 6 i 7 przecinają powierzchnię 8, to jest w pobliżu powierzchni przy której występuje ostateczne przebicie przy napięciu znacznie wyższym niż napięcie przebicia złącza p-n 5 w obrębie objętości półprzewodnikowego korpusu.

Na fig. 2 jest przedstawiony przyrząd półprzewodnikowy według wynalazku. Przyrząd ten w dużym stopniu jest podobny do znanego przyrządu z fig. 1.

Jednakże, według wynalazku, w przyrządzie pokazanym na fig. 2 stężenie domieszkowania i grubość pierwszego obszaru 1 są tak małe, że po przyłożeniu napięcia w kierunku wstecznym pomiędzy drugim obszarem 2 a obszarem kontaktowym należącym do źródła, drenu i bramki (w tym przykładzie drenu 4) i utworzeniu nieprostującego styku z ukształtowanym wysepkowo obszarem, strefa zubożenia przynajmniej pomiędzy drenem 4 a drugim złączem p-n 6 sięga od pierwszego złącza p-n 5 poprzez grubość ukształtowanego wysepkowo obszaru 1 przy napięciu niższym niż napięcie przebicia drugiego złącza p-n 6. Na fig. 2 jest przedstawiony stan, w którym obszar 1 pomiędzy strefami 7 i 4 jest w pełni zubożony aż do złącza p-n 6. Napięcie w poprzek złączy p-n 5, 6 i 7 jest obecnie w całości pobierane przez związaną strefę zubożenia sięgającą od strefy drenu 4 aż do granicy 9.

W wyniku tego natężenie pola przy powierzchni jest znacznie zredukowane. Napięcie przebicia jest w konsekwencji wyznaczone przynajmniej w znacznym stopniu przez własności złącza p-n 5, przebiegającego w obrębie półprzewodnikowego korpusu. To napięcie przebicia może być bardzo wysokie i może się zbliżać do napięcia przebicia przewidywanego teoretycznie na podstawie domieszkowania obszarów 1 i 2.

Dla uzyskania opisanego efektu będącego celem wynalazku, w przyrządzie pokazanym na fig. 2, posiadającym krzemowy korpus półprzewodnikowy, zastosowano następujące domieszkowania i wymiary: Strefy 4 i 12: grubość $1 \mu\text{m}$; Obszar 1: typ n, stężenie domieszkowania $1,5 \cdot 10^{15}$ atomów/cm³; grubość $5 \mu\text{m}$; Obszar 2: typ p, stężenie domieszkowania $1,7 \cdot 10^{14}$ atomów/cm³; grubość $250 \mu\text{m}$; Strefa 13: typ p, grubość $2,5 \mu\text{m}$; Odległość L od drenu 4 aż do złącza p-n 6: $50 \mu\text{m}$.

W tym przypadku wyliczone jednowymiarowo napięcie przebicia V_B pierwszego złącza p-n wynosiło 1270V. Aktualne, stwierdzone napięcie przebicia wynosiło 700 V. Przy danych grubościach i stężeniach domieszkowania strefa zubożenia w obszarze 2 sięga poza grubość; która jest mniejsza niż grubość obszaru 2, oraz uniknięto także dotarcia strefy zubożenia złącza p-n 6 do strefy 4 przy wartości napięcia mniejszej niż napięcia przebicia złącza p-n 6, wzięte samo (wobec braku złącza p-n 5). Zastosowanie wspomnianych wartości $N \cdot d$ i V_B w tym przykładzie dla krzemu ($\epsilon = 11,7$, $E = 2,5 \cdot 10^5$ Vdt/cm) sprawia, że warunek $2,6 \cdot 10^2 \epsilon \sqrt{\frac{V_B}{L}} \leq N \cdot d \leq 5,1 \cdot 10^5 \epsilon E$ jest spełniony.

W przyrządzie półprzewodnikowym pokazanym na fig. 2 pierwszy obszar 1 jest utworzony przez warstwę epitaksjalną, znajdującą się na drugim obszarze 2. W przykładzie tym ukształtowana wysepkowo część pierwszego obszaru jest w całości ograniczona bocznie poprzez drugie złącze p-n 6. Jakkolwiek możliwe są inne ukształtowania, jak będzie uwidocznione powyżej, to jednak tego rodzaju konfiguracja jest najprostszą ze względów technologicznych. Ukształtowana wysepkowo część obszaru może, przykładowo, być ograniczona wzdłuż części swego obwodu w rozmaity sposób, na przykład przez wpuszczony wzornik tlenkowy lub przez rowek wypełniony przykładowo szkłem pasywnującym.

W przyrządach pokazanych na fig. 1 i 2 bramka tworzy styk prostujący, zaś źródło i dren tworzą styki nieprostujące z obszarem 1 za pomocą domieszkowanych stref powierzchniowych 12, 4 i 13.

Jednakże występowanie tych stref powierzchniowych nie jest zdecydowanie konieczne. Zamiast stref półprzewodnikowych 12 i 4 można zastosować oporowe styki metal - półprzewodnik, zaś zamiast strefy 13 na obszarze 1 może być zastosowany prostujący styk metal - półprzewodnik (styk Schottky'ego). Zamiast bramki ze złączem prostującym może być również zastosowana warstwa przewodząca, oddzielona warstwa izolująca od powierzchni półprzewodnikowej 8, za pomocą której w warstwie epitaksjalnej 1 jest utworzona strefa zubożenia, przykładowo tak jak w przypadku tranzystora o głębokim zubożeniu.

Na fig. 3 jest uwidocznione, w jaki sposób można wykorzystać wynalazek do otrzymania w tym samym monolitycznym układzie scalonym umieszczonych obok siebie tranzystorów polowych złączonych (IFET) z kanałem p i z kanałem n.

Tranzystor polowy z kanałem p, który w zasadzie odpowiada tranzystorowi polowemu opisanemu w odniesieniu do fig. 2, lecz w którym rodzaju przewodności wszystkich odpowiednich stref półprzewodnikowych są przeciwne do przedstawionych na fig. 2, jest oznaczony jako I. Ponadto „drugi obszar” 2 tego tranzystora jest

utworzony przez warstwę epitaksjalną typu n, znajdującą się na podłożu 34 typu p. Domieszkowana w wysokim stopniu zagrzebana warstwa 36 typu n jest umieszczona pomiędzy warstwą epitaksjalną 2 a podłożem 34, tak aby nie dopuścić do wnikania strefy zubożenia, towarzyszącej złączu p-n 5, w dół do podłoża 34.

Drugi złączowy tranzystor polowy II znajduje się obok tranzystora polowego I. Jest to także tranzystor polowy według wynalazku. Ten drugi tranzystor II także zawiera ukształtowaną wysepkowo część 32, która jest utworzona przez część tej samej warstwy epitaksjalnej, z której jest utworzony obszar 2 tranzystora I.

Strefa źródła 22 typu n, strefa krzemu 24 typu n i strefa bramki 23 typu p sięgają poprzez grubość warstwy półprzewodnikowej 21 typu p, występującej na wysepce 32, od której obszar 1 tranzystora I został także utworzony wgłąb do obszaru 32 typu n. Strefy źródła 22 i drenu 24 tworzą z obszarem 21 złącza p-n 26 i 26A, a obszary 21 i 32 tworzą złącze p-n 39. W tym drugim tranzystorze polowym obszar kanałowy jest utworzony przez obszar 32. W celu wzajemnego odizolowania tranzystorów I i II jest wprowadzona wysoce domieszkowana strefa 33 typu p, która otacza obszar 2 i obszar 32 w całości i która tworzy wraz z obszarem 32 złącze p-n 38.

Po przyłożeniu pomiędzy źródłem 22 a drenem 24 odpowiedniego napięcia, elektrony poruszają się od źródła do drenu przez obszar 32. Ten przepływ elektronów może być wywołany przez przyłożenie napięcia bramki w kierunku wstecznym pomiędzy strefą 23 a obszarami 32 (i możliwe także przez napięcie wsteczne pomiędzy obszarami 32 i 34).

Podobnie jak w przykładzie z fig. 2 stężenie domieszkowania i grubość warstwy 2, 32 dobrano według wynalazku, tak że na długo przed wystąpieniem przebicia, obszar 1 jest całkowicie zubożony przynajmniej pomiędzy drenem 4 a złączem p-n 6, zaś obszar 32 jest całkowicie zubożony przynajmniej pomiędzy drenem 24 a złączem p-n 27.

W wyniku tego natężenie pola przy powierzchni 8, a w tranzystorze II natężenie pola przy powierzchni 39 pomiędzy obszarami 21 a 32 jest znacznie zredukowane, a napięcie przebicia znacznie wzrasta.

Na fig. 3, podobnie jak na fig. 2 nie są pokazane warstwy izolująca (tlenkowe) oraz warstwy kontaktowe przy powierzchni. Połączenia źródła, drenu i bramki są oznaczone schematycznie jako S, D i G.

Na fig. 4 jest pokazane następne zmodyfikowane rozwiązanie przyrządu półprzewodnikowego według wynalazku. Tak jak w drugim tranzystorze polowym II z fig. 3, dren 44 typu n jest otoczony strefą bramki 43 typu p, a ta z kolei strefą źródła 42 typu n. Wszystkie strefy elektrodowe znajdują się w obrębie pierwszego obszaru 1, który tworzy wraz z leżącym pod spodem drugim obszarem 2 typu p pierwsze złącze p-n 5, a z wysoce domieszkowanym obszarem 47 typu p złącze p-n 48, kończące się przy powierzchni 8. Strefy elektrodowe źródła 42, drenu 44 i bramki 43 sięgają tylko poza część grubości pierwszego obszaru 1. Tranzystor polowy może być uruchamiany w ten sam sposób jak tranzystory poprzednie. Granice 49 i 40 strefy zubożenia, pokazane na rysunku, zostały zaznaczone dla napięcia wstecznego pomiędzy obszarami 1 i 2, które jest niższe niż napięcie przebicia. Obszar 1 jest w pełni zubożony pomiędzy strefą bramki 43 a strefą drenu 44. Tak jak w tranzystorze polowym II z fig. 3, ukształtowana wysepkowo część pierwszego obszaru jest otoczona bramką, która w tym przypadku spełnia funkcję „trzeciego obszaru”. Złącze p-n 46 pomiędzy strefą bramki a obszarem 1 tworzy „drugie” złącze p-n. Ponieważ domieszkowanie i grubość pierwszego obszaru 1 została dobrana według wynalazku, tak że ten obszar jest w pełni zubożony przy wzrastającym napięciu bramka – dren przed wystąpieniem przebicia złącza p-n 6, zatem może być zastosowany tranzystor polowy przy bardzo dużym napięciu pomiędzy elektrodą kontrolną a drenem.

Ponadto, przyrząd pokazany na fig. 4 jest bardzo interesujący z tego względu, że przy małej odmianie może być użyty jako dioda impulsowa dla wysokich napięć. Tego rodzaju dioda impulsowa jest pokazana na fig. 5. Struktura półprzewodnikowa tego typu przyrządu może odpowiadać strukturze pokazanej na fig. 4 z tą jedynie różnicą, że w tym przypadku strefa 42 nie musi się stykać i z tego względu może być pokryta wszędzie warstwą izolującą 41 i że pomiędzy obszarem 47 a obszarem 42 jest zapewnione małe napięcie przebicia. Dla uzyskania tego, obszar 42 znajduje się w małej odległości od obszaru 47, możliwie nawet obok obszaru 47, lub wnikając w obszar 47. Na złączu p-n 5 jest przyłożone napięcie V_1 w kierunku wstecznym przez oporowe styki na strefach 44 i 2. Impedancja, w tym przykładzie rezystor R, jest połączona szeregowo ze źródłem napięcia V_1 . Do złącza p-n 46 jest przyłożone zmienne napięcie V_2 w kierunku wstecznym.

Na fig. 5 jest przedstawiony stan, w którym napięcie V_1 jest ciągle niewielkie i w którym do bramki jest przyłożone tak duże napięcie V_2 , że towarzysząca strefa zubożenia (granica 45) osiągnęła granicę 40 strefy zubożenia złącza p-n 5. W tych okolicznościach ukształtowana wysepkowo część 1A jest otoczona strefami zubożenia i jest odcięta od pozostałej części pierwszego obszaru 1.

Napięcie V_1 może obecnie być podnoszone do bardzo dużych wartości, ponieważ ukształtowana wysepkowo część 1A jest w pełni zubożona od złącza p-n 5 aż do powierzchni 8 już przy stosunkowo małym napięciu

V_1 , a gdy napięcie V_1 wzrasta, wówczas napięcie przebicia nie jest już dłużej wyznaczane przez stosunkowo niskie napięcie przebicia złącza p-n 46, ale przez napięcie przebicia płaskiego złącza p-n 5, nie wynurzającego się przy powierzchni. Z tego względu również w tym przypadku funkcję wspomnianego powyżej „trzeciego obszaru” spełnia strefa bramki 43, a nie obszar 47.

Wysokie napięcie V_1 występuje obecnie zasadniczo w całości w poprzek strefy zubożenia pomiędzy powierzchnią 8 a granicą 49, a strefa zubożenia sięga w przybliżeniu tak jak pokazano na fig. 4.

Zasadniczo na impedancji R nie ma spadku napięcia, ponieważ przepływa przez nią tylko mały prąd upływu i jest ona tak dobrana, że jest znacznie mniejsza niż impedancja zablokowanego przyrządu półprzewodnikowego, połączonego szeregowo z impedancją R.

Gdy napięcie kontrolne V_2 jest zredukowane do takiej wartości, że strefa zubożenia nie odcina dłużej obszaru 1 pomiędzy strefą bramki 43 a złączem p-n 5, wówczas jest utworzone pole dryftu, w wyniku którego strefa źródła 42 zmierza do osiągnięcia potencjału strefy drenu 44. Jednakże na długo zanim to może nastąpić, pomiędzy obszarami 47 a 42 występuje przebicie, tak że napięcie na przyrządzie półprzewodnikowym znika zasadniczo całkowicie, a napięcie V_1 przechodzi zasadniczo w całości na impedancję R.

W ten sposób napięcie na impedancji R może być przełączone pomiędzy niską a wysoką wartością za pomocą napięcia kontrolnego V_2 .

Na fig. 6 jest przedstawiony schematycznie widok w przekroju pionowego tranzystora polowego według wynalazku. Tranzystor ten składa się z ukształtowanego wysepkowo obszaru 1, który w tym przykładzie ma przewodność typu p. W tym przypadku obszar 1 stanowi część warstwy epitaksjalnej typu p, posiadającej grubość $4 \mu\text{m}$ i stężenie domieszkowania $1,3 \cdot 10^{15}$ atomów/cm³, która znajduje się na podłożu 2 typu n, posiadającym grubość $250 \mu\text{m}$ i stężenie domieszkowania $3,2 \cdot 10^{14}$ atomów/cm³. Ukształtowany wysepkowo obszar 1 jest ograniczony bocznie przez strefę dyfuzyjną 3 typu n. W obrębie wysepkowego obszaru 1 znajduje się wzornik z tlenku krzemu 50, zagłębiony częściowo w materiale półprzewodnikowym i nałożony w postaci warstwy tlenku przez selektywne utlenianie termiczne, przy czym otwory w tej warstwie są w całości otoczone przez tlenek. W obrębie materiału półprzewodnikowego tlenek 50 jest ograniczony cienką, wysoce domieszkowaną strefą 54 typu p, która stanowi styk na zewnątrz izolującego wzornika 50 i tworzy strefę bramki. Najkrótsza odległość pomiędzy strefą 54 a złączem p-n 5 wynosi $2,5 \mu\text{m}$.

Ponadto na powierzchni i stykach znajduje się wysoce domieszkowana warstwa 52 typu n z polikrystalicznego krzemu, usytuowana pomiędzy zagłębionymi częściami tlenkowego wzornika 50, przy czym półprzewodnikowa powierzchnia przy strefach powierzchniowych 53 jest uzyskana przez dyfuzję z warstwy 52. Na warstwie 52 znajduje się metalowa warstwa 51, podczas gdy obszar 2 styka się z wysoce domieszkowaną warstwą kontaktową 55 i metalową warstwą 56. Połączenia źródła, drenu i bramki są oznaczone schematycznie przez S, D i G. W stanie pracy do drenu D jest przyłożone napięcie, które jest dodatnie względem źródła S. Na bramce G występuje napięcie, które jest przynajmniej tak ujemne względem drenu, że strefa zubożenia sięga do złącza p-n 5 pomiędzy obszarami 1 i 2 aż do powierzchni, tak że obszar 1 jest zupełnie zubożony. Przepływ elektronów, które poruszają się od źródła do drenu w zasadzie nie jest hamowany przez zubożony obszar 1. Rozkład potencjałów w obrębie zubożonego obszaru 1 może być zmieniany poprzez zmianę napięcia przy bramce, a przykładowo próg potencjału może tak być uformowany, że przepływ elektronów od źródła do drenu przez zubożony obszar 1 może być kontrolowany. Ponieważ obszar 1 jest zupełnie zubożony przy napięciu niższym niż napięcie przebicia złącza p-n 6, zatem można otrzymać pionowy tranzystor polowy na bardzo wysokie napięcie, a to z tego względu, że w wyniku opisanej wyżej zasady, napięcie, przy którym występuje przebicie pomiędzy obszarami 1 i 2, może być bardzo wysokie.

Pokazany na fig. 6 przyrząd półprzewodnikowy może być wytworzony w następujący sposób. Materiałem wyjściowym jest podłoże 2 typu n, posiadające epitaksjalną warstwę typu p o wspomnianych wyżej domieszkowaniach i grubościach. Wysepkowa strefa izolacyjna 3 jest wytworzona znanymi metodami dyfuzyjnymi, przykładowo na drodze dyfuzji fosforowej. Równocześnie na stronie spodniej jest rozproszona wysoce domieszkowana warstwa kontaktowa 55 typu n. Następnie nakłada się maskę przeciwutleniającą a jednocześnie maskę implantacyjną, która zawiera azotek krzemu i która będzie określona poniżej jako maska azotkowa, przy czym maska ta ma postać kwadratowej ramki, zbudowanej z maskujących pasków o szerokości $4 \mu\text{m}$, oddalonych jeden od drugiego o $10 \mu\text{m}$. Następnie jest wpajany bor w ilości 10^{15} jonów/cm² z energią 60 KeV. Stosowany do trawienia maski fotolakier pozostaje i również służy jako osłona przed wpajaniem.

W ten sposób jest wytwarzana warstwa 54 typu p. Następnie fotolakier jest usuwany i po wyżarzeniu przy 900°C przez 30 minut otrzymuje się w drodze utleniania termicznego wzornik tlenkowy o grubości przykładowo $1 \mu\text{m}$. Technologie wytwarzania wgłębionego wzornika tlenkowego w drodze selektywnego utleniania są opisane szczegółowo w „Philips Research Reports”, tom 25, 1970, strony 118–132. Po usunięciu maski azotkowej

nakłada się warstwę 52 polikrystalicznego krzemu o grubości $0,5 \mu\text{m}$ i o domieszkowaniu typu n, przykładowo poprzez implantację fosforową. Następnie przeprowadza się ogrzewanie przy 1050°C przez 30 minut w azocie, przez co tworzą się obszary kanałowe 53 wskutek dyfuzji z warstwy 52. Następnie ma miejsce metalizacja aluminiowa (51, 56, 57) w drodze osadzania pary i maskowania (w razie potrzeby po wprowadzeniu dodatkowej domieszki typu p dla rozciągnięcia warstwy 54 w zasięg jej okienka kontaktowego) i przyrząd może być zamontowany w osłonie.

Odległość L (patrz fig. 6) wynosi w tym przykładzie $70 \mu\text{m}$. Wyliczone jednowymiarowo napięcie przebicia V_B struktury P + P - N - (54, 1, 2) wynosi około 688 Voltów. Dla krzemu przy $\epsilon = 11,7$ i $E = 2,5 \cdot 10^7$ Volt/cm jest spełniony warunek:

$$2,6 - 10^2 \epsilon E \sqrt{\frac{V_B}{L}} \leq N \cdot d \leq 5,1 \cdot 10^5 \epsilon E$$

Jeżeli obszar 53 jest słabo domieszkowany, wówczas może występować również kontrolowanie prądu pomiędzy źródłem a drenem, ponieważ złącze p-n pomiędzy obszarami 54 i 53 tworzy strefę zubożenia w obszarze 52, która poprzez zmianę napięcia bramki powoduje zróżnicowanie przekroju poprzecznego drogi prądu przez obszar 53. W niektórych okolicznościach mogą odgrywać rolę zarówno tlen jak i wspomniany wyżej mechanizm działania.

Wynalazek nie jest ograniczony do tranzystorów polowych posiadających złącze p-n lub złącze Schottky'ego. Przykładowo bramka może być oddzielona od powierzchni półprzewodnikowej za pomocą warstwy izolującej. Na fig. 7 jest przedstawiony jako przykład schematyczny widok w przekroju tranzystora o głębokim zubożeniu, który jest równoznaczny w całości ze względu na strukturę i działanie z tranzystorem pokazanym na fig. 2 z tą jedną różnicą, że strefa zubożenia bramki (granica 14) nie jest tworzona przez złącze p-n, lecz przez bramkę, zbudowaną z warstwy elektrodowej 60, która jest oddzielona od powierzchni półprzewodnikowej za pomocą warstwy izolującej (przykładowo warstwy tlenkowej) 61. Ponadto, w przyrządzie pokazanym na fig. 7 mogą być zastosowane te same stężenia domieszkowania i wymiary oraz ten sam sposób przełączania jak w przyrządzie pokazanym na fig. 2.

Wspomniane wyżej zalecane stężenie domieszkowania i wymiary będą wyjaśnione poniżej w odniesieniu do fig. 8A do E i fig. 9.

Fig. 8A do E stanowią schematyczne widoki w przekroju pięciu różnych możliwości rozkładu pola w diodzie, która odpowiada ukształtowanej wysepkowo części pierwszego obszaru w poprzednich przykładach. Dla przejrzystości jest pokazana tylko połówka diody, zakłada się że dioda ta jest symetryczna obrotowo wokół osi oznaczonej przez E_s . Obszar 1 odpowiada ukształtowanej wysepkowo „części pierwszego obszaru” w każdym z poprzednich przykładów, złącze p-n 5 odpowiada „pierwszemu złączu p-n” a złącze p-n 6 odpowiada „drugiemu złączu p-n”. Na rysunkach zakłada się, że obszar 1 ma przewodność typu n a obszar 2 ma przewodność typu p, jednakże rodzaje przewodności mogą również być odwrotne. Stężenie domieszkowania obszaru 2 jest takie samo na wszystkich fig. 8 A - 8 E.

Jeżeli pomiędzy obszarem N^{-1} (przez obszar kontaktowy N^+4) a obszarem P 2 zostanie przyłożone napięcie w kierunku wstecznym na złączach p-n 5 i 6, wówczas wystąpi zmiana rozkładu natężenia pola E_s wzdłuż powierzchni według linii S, podczas gdy w kierunku pionowym natężenie pola E_b zmienia się według linii B.

Na fig. 8A jest przedstawiony przypadek, w którym przy napięciu przebicia nie nastąpiło jeszcze pełne zubożenie warstwy 1.

Duża wartość maksymalna natężenia pola E_s występuje na powierzchni przy złączu p-n 6, która wskutek dużego domieszkowania obszaru P 3 jest większa niż wartość maksymalna natężenia pola E_b , występującego przy złączu p-n 5, patrząc w kierunku pionowym. Gdy jest przekroczone krytyczne natężenie pola E wynoszące dla krzemu około $2,5 \cdot 10^5$ Voltów/cm i nieznacznie zależne od domieszkowania, wówczas występuje przy powierzchni niedaleko złącza 6 przebicie, zanim strefa zubożenia pokazana przerywanymi liniami na fig. 8A i oznaczona odnośnikami 9 i 10 sięgnie w kierunku pionowym od złącza 5 aż do powierzchni.

Na fig. 8B do 8E są przedstawione przypadki, w których stężenie domieszkowania N i grubość d warstwy 1 są tego rodzaju, że przed wystąpieniem przebicia powierzchniowego przy złączu 6 warstwa 1 jest całkowicie zubożona od złącza 5 aż do powierzchni. Poza częścią drogi pomiędzy obszarami 3 i 4 natężenie pola E_s wzdłuż powierzchni ma wartość stałą, podczas gdy zarówno przy powierzchni złącza p-n 6 jak i przy powierzchni złącza N^+N przy krawędzi obszaru 4 tworzy się piki natężenia pola (jako wynik zakrzywienia krawędzi złącza N^+N).

W przypadku pokazanym na fig. 8B wartość szczytowa jest najwyższa przy złączu 6 i większa niż maksymalna wartość E_b przy złączu 5, przez co przebicie nastąpi przy tej powierzchni ale przy stosunkowo większych

wartościach niż w przypadkach z fig. 8A, ponieważ rozkład natężenia pola przy powierzchni jest bardziej jednorodny, przez co wartość maksymalna będzie mniejsza.

Przypadek przedstawiony na fig. 8B może być uzyskany z przypadku przedstawionego na fig. 8A, przykładowo poprzez zmniejszenie grubości d warstwy 1 przy takim samym domieszkowaniu.

Na fig. 8C jest przedstawiony przypadek odwrotny do pokazanego na fig. 8B. W tym przypadku pik natężenia pola przy krawędzi obszaru 4 jest znacznie wyższy niż przy złączu p-n 6. Tego rodzaju przypadek może wystąpić, przykładowo, wówczas gdy warstwa 1 posiada bardzo dużą rezystywność, a obszar 1 jest zubożony zanim wystąpi napięcie przebicia. W takim przypadku może wystąpić przebicie przy krawędzi obszaru 4, gdy maksymalne natężenie pola przy tej krawędzi jest większe niż natężenie pola przy złączu p-n 5.

Korzystniejszy jest przypadek pokazany na fig. 8D.

W tym przypadku jest zapewnione, że stężenie domieszkowania i grubość obszaru 1 są takie, że piki natężenia pola przy powierzchni są zasadniczo równe. Jakkolwiek, przebicie przy powierzchni będzie stale występowało wówczas, gdy jak pokazano na fig. 8D, maksymalne natężenie pola E_b przy złączu p-n 5 jest mniejsze niż wartość maksymalna przy powierzchni, przy czym maksymalne natężenie pola przy powierzchni staje się w tym przypadku mniejsze przez utworzenie symetrycznego rozkładu natężenia pola S przy tej powierzchni, niż w przypadku symetrycznego rozkładu natężenia pola, tak że przebicie występuje przy wyższym napięciu.

Na fig. 8E pokazany jest przypadek, w którym maksymalne natężenie pola przy powierzchni i przy dowolnym napięciu wstecznym jest niższe niż maksymalne natężenie pola przy złączu p-n 5 wskutek skutecznego doboru domieszkowania i grubości warstwy 1, i poprzez zwiększenie odległości L przy danym stężeniu domieszkowania obszaru 2. W rezultacie tego przebicie będzie występowało w tym przypadku zawsze w obrębie półprzewodnikowego korpusu przy złączu p-n 5 a nie przy powierzchni.

Ponadto należy zauważyć, że przy zbyt małej wartości odległości L będzie wzrastać natężenie pola przy powierzchni (w rzeczywistości całkowite napięcie pomiędzy obszarami 3 i 4 wyznacza przestrzeń pomiędzy krzywą S a linią $E_s = 0$) tak, że przebicie przy powierzchni występuje przy napięciu niższym.

Na podstawie obliczeń, okazało się, że najbardziej korzystne wartości napięcia przebicia uzyskuje się przy obszarze zaznaczonym na fig. 9 liniami A i B. Na fig. 9 produkt o stężeniu domieszkowania N w atomach na cm^3 i o grubości d w cm obszaru 1 jest zaznaczony graficznie na osi poziomej dla krzemu jako półprzewodnika, zaś wartość $10^6 \frac{L}{V_B}$, gdzie L jest w cm, a V_B w Voltach jest zaznaczona graficznie na osi pionowej. V_B stanowi obliczoną jednowymiarowo wartość napięcia przebicia złącza p-n 5, to znaczy napięcia przebicia struktury $N^+N^-P^-$ na fig. 8A do E przy założeniu, że stężenie domieszkowania obszarów 1 i 2 są jednorodne, tak że złącze p-n 5 jest strome, że obszar N^+ 4 posiada zasadniczo nieistotną rezystancję szeregową, i że struktura $N^+N^-P^-$ ciągnie się nieskończenie daleko we wszystkich kierunkach prostopadłych do osi E_s .

To fikcyjne napięcie przebicia może być bardzo prosto obliczone przy wspomnianych przebiciach. W tym celu należy przykładowo, wziąć pod uwagę publikację S.M Sze, Physics of Semiconductor Devices, Wiley & Sons, Nowy Jork, 1969, rozdział 5.

W przypadku, gdy jako materiał półprzewodnikowy jest wybrany krzem, wynika, że dla wartości $N \cdot d$ leżących pomiędzy liniami A i B, to znaczy dla

$$7,6 \cdot 10^8 \sqrt{\frac{V_B}{L}} \leq N \cdot d \leq 1,5 \cdot 10^{12}$$

jest zrealizowany stan pokazany na fig. 8D (symetryczny rozkład pola przy powierzchni).

Jeżeli także ma być zrealizowany stan przedstawiony na fig. 8E (symetryczny rozkład pola przy powierzchni, z przebiciem przy złączu p-n 5), wówczas powinny być dobrane te wartości L , N i d , które leżą na linii C lub blisko tej linii z fig. 9. Dla $\frac{L}{V_B} \leq 1,4 \cdot 10^{-5}$ oznacza to zasadniczo, że $N \cdot d = 9 \cdot 10^{11} \text{ cm}^2$.

Jak już wspomniano, wartości z fig. 9 odnoszą się do krzemu, który posiada krytyczne natężenie pola E o wartości około $2,5 \cdot 10^5$ Voltów na cm i stałą dielektryczną ϵ_0 wartości około 11,7. W zasadzie, dla materiałów półprzewodnikowych posiadających względną stałą dielektryczną ϵ i krytyczne natężenie pola E pomiędzy liniami A i B występuje $2,6 \cdot 10^2 \epsilon \sqrt{\frac{V_B}{L}} \leq N \cdot d \leq 5,1 \cdot 10^5 \epsilon E$ a dla linii C: $N \cdot d$ jest zasadniczo równe $3 \cdot 10^5 \epsilon E$ i w tym przypadku również

$$\frac{L}{V_B} \leq 1,4 \cdot 10^{-5}$$

Wartości ϵ i E można znaleźć w odpowiedniej literaturze.

Przykładowo, krytyczne natężenie pola można odnaleźć we wspomnianej publikacji S.M. Sze. *Physics of Semiconductor Devices*, Wiley & Sons, Nowy York, 1969, strona 117, fig. 25.

Na podstawie powyższego opisu w odniesieniu do fig. 8A do 8E i fig. 9 fachowcy z tej dziedziny mogą dobrać domieszkowanie i wymiary, które są najbardziej korzystne w danych okolicznościach dla wszystkich struktur półprzewodnikowych, opisanych w poprzednich przykładach. Nie zawsze będzie konieczne lub pożądane unikanie przebicia powierzchniowego we wszystkich okolicznościach (fig. 9, krzywa C) dopóki parametry mieszczą się w obrębie linii A i B z fig. 9 lub leżą na tych liniach.

Wynalazek nie jest ograniczony do rozwiązań opisanych powyżej. Przykładowo, można stosować materiały półprzewodnikowe inne niż krzem, warstwy izolujące inne niż tlenek krzemu, na przykład azotek krzemu, tlenek aluminium, oraz warstwy metalowe inne niż aluminium.

W każdym rozwiązaniu mogą również być zastąpione podane rodzaje przewodności rodzajami przeciwnymi. Należy podkreślić, że jakkolwiek w podanych przykładach trzeci obszar 3 jest zawsze silniej domieszkowany niż drugi obszar 2, to jednak ten trzeci obszar może również posiadać to samo stężenie domieszkowania co obszar drugi, tworząc przedłużenie drugiego obszaru.

W tego rodzaju przypadkach mniejsze napięcie przebicia drugiego złącza p-n 6 jest spowodowane silnym zakrzywieniem obszaru przejściowego pomiędzy pierwszym złączem p-n 5 a drugim złączem p-n 6.

Zastrzeżenia patentowe

1. Przyrząd półprzewodnikowy z półprzewodnikowym korpusem mającym zasadniczo płaską powierzchnię, zawierający przynajmniej jeden tranzystor polowy, posiadający źródło, dren, obszar kanałowy pomiędzy źródłem a drenem oraz bramkę, przyległą do obszaru kanałowego dla oddziaływania, za pomocą napięcia bramki przyłożonego do bramki, na strefę zubożenia w celu kontrolowania przepływu nośników ładunku pomiędzy źródłem a drenem, przy czym ten tranzystor polowy zawiera ukształtowany w postaci warstwy pierwszy obszar o przewodności pierwszego rodzaju, który to obszar wraz z leżącym pod nim drugim obszarem o przewodności drugiego rodzaju tworzy pierwsze złącze p-n, rozciągające się zasadniczo równoległe do tej powierzchni, przez co przynajmniej w trakcie pracy część ukształtowanego wysepkowo pierwszego obszaru jest przynajmniej częściowo ograniczona bocznie poprzez drugie złącze p-n z towarzyszącą strefą zubożenia, utworzoną pomiędzy pierwszym obszarem a trzecim obszarem o przewodności drugiego rodzaju, który przylega do pierwszego obszaru, zaś drugie złącze p-n ma napięcie przebicia niższe niż pierwsze złącze p-n, przy czym do części ukształtowanego wysepkowo pierwszego obszaru przylega przynajmniej bramka, zaś pomiędzy drugim obszarem a obszarem kontaktowym tranzystora polowego, przynależącego do źródła, drenu i bramki i tworzącym nieprostujący styk z częścią ukształtowanego wysepkowo pierwszego obszaru, jest przyłożone napięcie w kierunku wstecznym, z n a m i e n n y t y m, że stężenie domieszkowania N w atomach/cm³ i grubość (d) w cm części ukształtowanego wysepkowo obszaru spełniają warunek

$$2,6 \cdot 10^2 \epsilon E \sqrt{\frac{V_B}{L}} \leq N \cdot d \leq 5,1 \cdot 10^5 \epsilon E,$$

gdzie ϵ stanowi względną stałą dielektryczną, zaś E jest krytycznym natężeniem pola w Voltach/cm, przy którym w materiale półprzewodnikowym pierwszego obszaru występuje lawinowe zwielokrotnienie, L stanowi odległość w cm od obszaru kontaktowego aż do drugiego złącza p-n, a V_B jest obliczoną jednowymiarowo wartością napięcia przebicia pierwszego złącza p-n w Voltach.

2. Przyrząd według zastrz. 1, z n a m i e n n y t y m, że wartość $N \cdot d$ jest zasadniczo równa $3,0 \cdot 10^5 \epsilon E$, a $L \geq 1,4 \cdot 10^{-5} V_B$.

3. Przyrząd według zastrz. 2, z n a m i e n n y t y m, że stężenie domieszkowania w przynajmniej części drugiego obszaru, przyległego do pierwszego obszaru, jest niższe niż stężenie domieszkowania pierwszego obszaru.

4. Przyrząd według zastrz. 3, z n a m i e n n y t y m, że drugi obszar ma taką grubość, że przy napięciu przebicia pierwszego złącza p-n strefa zubożenia zachodzi w drugi obszar na odległość mniejszą niż grubość tego obszaru.

5. Przyrząd według zastrz. 4, z n a m i e n n y t y m, że pierwszy obszar jest utworzony przez warstwę epitaksjalną o przewodności pierwszego rodzaju, umieszczoną na drugim obszarze.

6. Przyrząd według zastrz. 5, z n a m i e n n y t y m, że ukształtowana wysepkowo część pierwszego obszaru jest ograniczona bocznie w całości przez drugie złącze p-n.

7. Przyrząd według zastrz. 6, z n a m i e n n y t y m, że bramka zawiera półprzewodnikową strefę elektrody bramki, która tworzy złącze p-n z sąsiadującą częścią obszaru kanałowego.

8. Przyrząd według zastrz. 6, z n a m i e n n y t y m, że bramka zawiera metalową warstwę, która tworzy prostujące złącze metal - półprzewodnik (złącze Schottky'ego) z sąsiadującą częścią obszaru kanałowego.

9. Przyrząd według zastrz. 6, z n a m i e n n y t y m, że bramka zawiera warstwę przewodzącą, która jest oddzielona od sąsiadującej części obszaru kanałowego za pomocą warstwy izolującej.

10. Przyrząd według zastrz. 7 lub 8 lub 9, z n a m i e n n y t y m, że tranzystor polowy jest typu bocznego, a źródło i dren, znajdujące się po każdej stronie bramki, tworzą nieprostujące styki z pierwszym obszarem, który to obszar kontaktowy jest utworzony przez dren.

11. Przyrząd według zastrz. 10, z n a m i e n n y t y m, że bramka jest podłączona do drugiego obszaru.

12. Przyrząd według zastrz. 11, z n a m i e n n y t y m, że dren jest otoczony zasadniczo całkowicie przez bramkę, a bramka jest otoczona zasadniczo całkowicie przez źródło.

13. Przyrząd według zastrz. 12, z n a m i e n n y t y m, że warstwa półprzewodnikowa o przewodności drugiego rodzaju występuje na pierwszym obszarze, a ponadto źródło i dren zawierają strefy elektrodowe o przewodności pierwszego rodzaju, a bramka zawiera strefę o przewodności drugiego rodzaju, zaś wszystkie strefy elektrodowe sięgają poprzez grubość warstwy półprzewodnikowej w dół do pierwszego obszaru.

14. Przyrząd według zastrz. 12, z n a m i e n n y t y m, że źródło zawiera strefę elektrodową o przewodności pierwszego rodzaju, która to strefa nie jest podłączona do napięcia zewnętrznego, zaś z boku strefy źródła z dala od bramki występuje wysoce domieszkowana strefa o przewodności drugiego rodzaju, która sięga od powierzchni w dół do drugiego obszaru i jest umieszczona tak blisko strefy źródła, że napięcie przebicia pomiędzy tymi dwiema strefami jest znacznie niższe niż napięcie przebicia pierwszego złącza p-n, przy czym dren i drugi obszar są podłączone do źródła napięcia, które jest podłączone w szereg z impedancją obciążeniową i które dostarcza napięcie wsteczne w poprzek pierwszego złącza p-n, zaś bramka jest podłączona do źródła napięcia, które dostarcza zmienne napięcie wsteczne pomiędzy bramką a pierwszym obszarem, tak że ukształtowana wysepkowo część pierwszego obszaru otoczonego bramką i towarzysząca strefa zubożenia mogą być chwilowo odcinane elektrycznie od pozostałej części pierwszego obszaru.

15. Przyrząd według zastrz. 7 lub 8 lub 9, z n a m i e n n y t y m, że tranzystor polowy jest typu pionowego oraz że dren tworzy nieprostujący styk z drugim obszarem, a źródło tworzy styk prostujący z pierwszym obszarem, przy czym bramka zawiera strefę elektrodową o przewodności pierwszego rodzaju, która to strefa otacza przynajmniej jedną część pierwszego obszaru, towarzyszącego obszarowi kanałowemu, i tworzy wspomniany obszar kontaktowy.

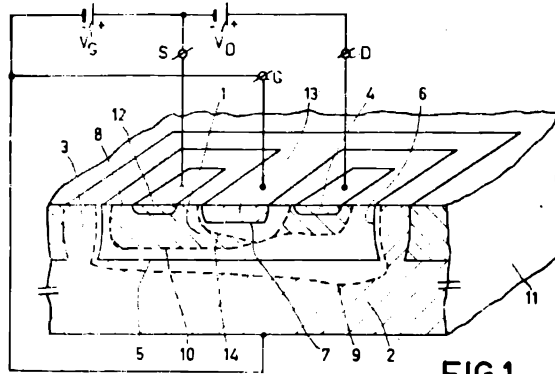


FIG. 1

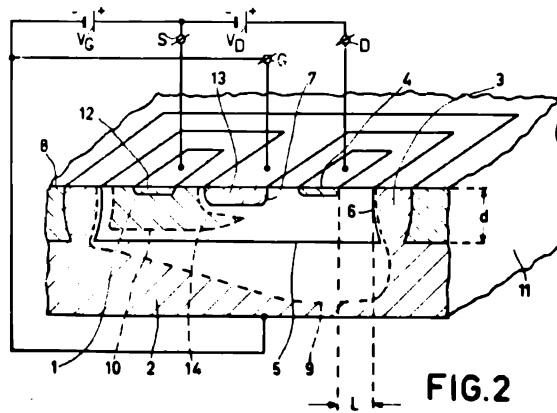


FIG. 2

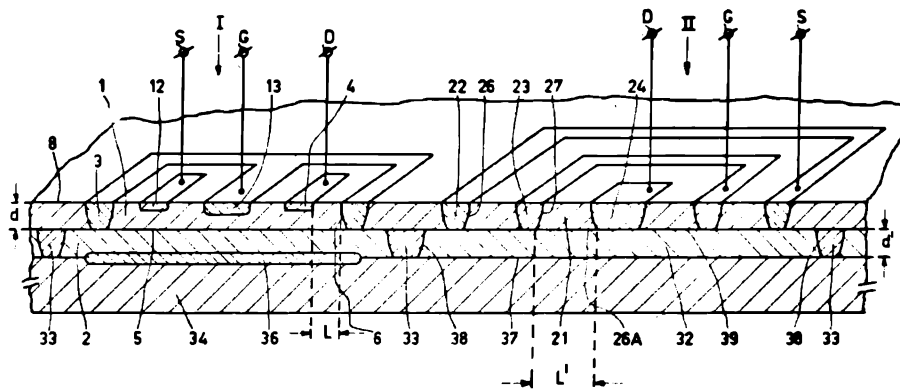


FIG. 3

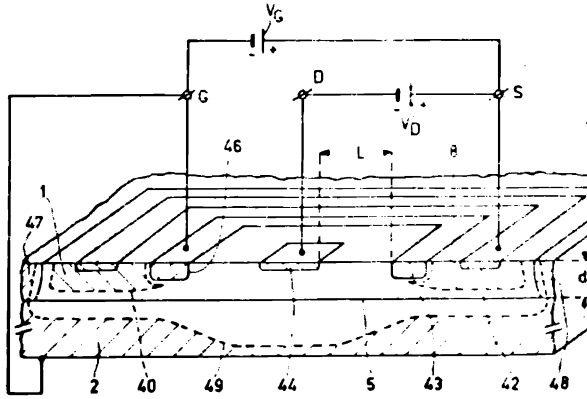


FIG. 4

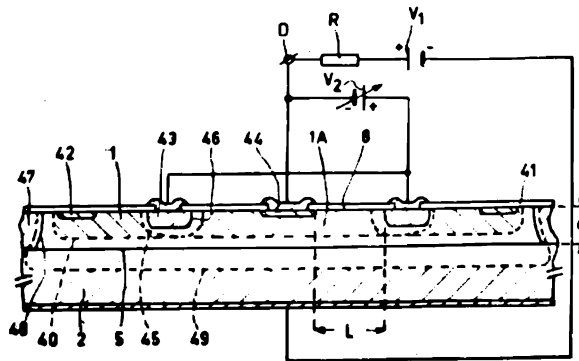


FIG. 5

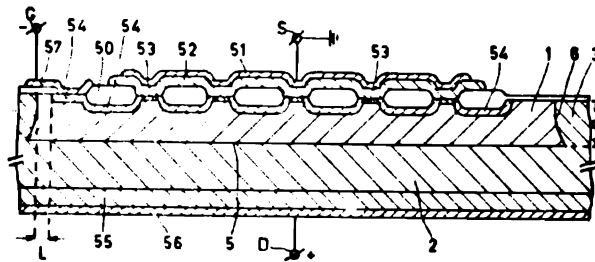


FIG. 6

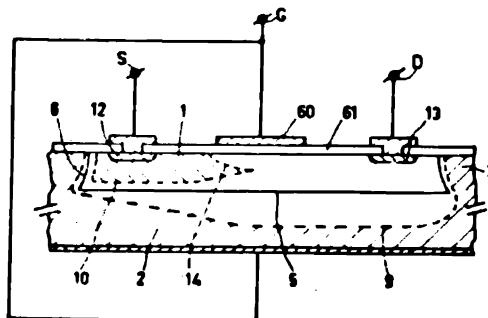


FIG. 7

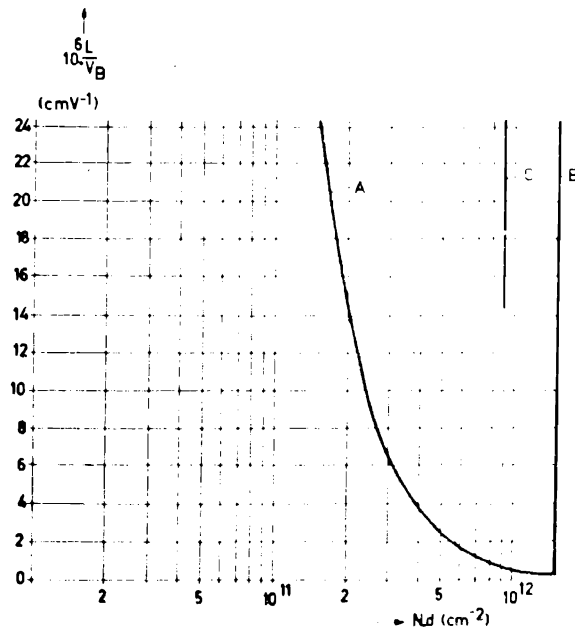
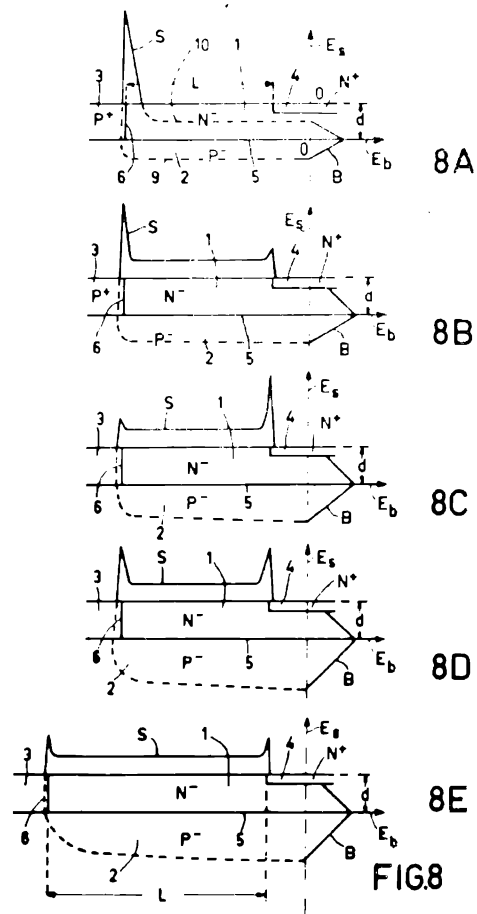


FIG.9