



Patent dodatkowy
do patentu

Zgłoszono: 11. II. 1964 (P 103 683)

Pierwszeństwo: 29. III. 1963 Holandia

Opublikowano: 15. XI. 1965

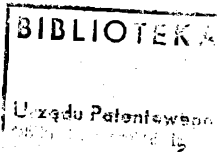
Kl. 21 g, 11/02

MKP H 01 I

UKD

17/64

Właściciel patentu: N. V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven
(Holandia)



Sposób wytwarzania przyrządu półprzewodnikowego

1

Wynalazek dotyczy wytwarzania przyrządu półprzewodnikowego z elementem półprzewodnikowym, który pokryty jest warstwą o bardzo dobrym przewodnictwie, która powstała przez rekrytalizację materiału kontaktu stopionego z elementem, a na której to warstwie znajduje się jeden z kontaktów (kontakt emitera lub bazy), przy czym ta warstwa rekrytalizacyjna przynajmniej na powierzchni elementu leży w pobliżu drugiej warstwy, o dobrym przewodnictwie uzyskanym przez wprowadzenie czynnych domieszek, która to warstwa w pewnej odległości od warstwy rekrytalizacyjnej połączona jest elektrycznie z drugim kontaktem. Wynalazek dotyczy również przyrządu półprzewodnikowego oraz specjalnych odmian jego wykonania, które zostały wytworzone przez zastosowanie sposobu według wynalazku.

Opisana powyżej budowa przyrządu półprzewodnikowego znajduje zastosowanie w tak zwanych tranzystorach dyfuzyjnych, w których kontakt (mogą być również stosowane nazwy elektroda lub złącze) stopowy oraz przynależna do niego warstwa rekrytalizacyjna posiadają taki typ przewodnictwa, który jest przeciwny do przewodnictwa warstwy powierzchniowej, utworzonej w elemencie półprzewodnikowym przez dyfuzję.

Znane są np. germanowe tranzystory dyfuzyjne typu p-n-p, w których warstwa dyfuzyjna typu n stanowi obszar bazy tranzystora a powstała

2

przez dyfuzję donoru np. arsenu, do elementu wyjściowego typu p. Na warstwie dyfuzyjnej typu n umieszczony jest w określonym miejscu emiter, powstały przez natapianie materiału zawierającego akceptor, tworząc w ten sposób kontakt stopowy. Pod tym kontaktem, przy ochładzaniu powstaje warstwa rekrytalizacyjna typu p, która przenika do warstwy n tylko do pewnej jej głębokości i dlatego na powierzchni leży w otoczeniu warstwy dyfuzyjnej typu n, która w pewnym odstępie od emitera zaopatrzona jest w odpowiednie odprowadzenie bazy.

Znane są również tranzystory krzemowe typu n-p-n, które są wytwarzane w ten sposób, że na elemencie wyjściowym typu n kolejno lub jednocześnie, zostaje umieszczona warstwa dyfuzyjna typu p, a na powierzchni tej ostatniej, warstwa dyfuzyjna typu n. Odprowadzenie bazy połączone z obszarem bazy, który stanowi głębiej leżąca warstwa typu p, uzyskuje się w ten sposób, że na warstwę typu n, która przynajmniej częściowo stanowi obszar emitera, natapia się przez krótki okres czasu w niższej temperaturze materiał, zawierający akceptor np. w postaci pierścienia. Warstwa rekrytalizacyjna typu p pod tym pierścieniowym kontaktem bazy przenika poprzez warstwę n aż do obszaru bazy typu p i otacza w ten sposób część warstwy dyfuzyjnej typu n, zamkniętej przez ten pierścień, która stanowi obszar emitera, na którym umieszczony jest

jeszcze kontakt omowy, stanowiący odprowadzenie emitera.

Jako materiał takiej elektrody stopowej, stosuje się w tych wypadkach często aluminium, które ze względu na dobrą rozpuszczalność, w tranzystorach typu p-n-p zapewnia wysoką przewodność w rekrytalizacyjnym obszarze emitera oraz dużą moc emitera, a w tranzystorach typu n-p-n zapewnia niską oporność bazy. Dyfuzja donoru i natapianie akceptora przeprowadzane są w tej właśnie kolejności jako oddzielne operacje, gdyż dla dyfuzji potrzebna jest o wiele wyższa temperatura i dłuższy czas niż przy natapianiu. Czas trwania natapiania jest możliwie krótki a temperaturę dobiera się tak niską, że w praktyce dyfuzja nie występuje.

Znane jest też, że przy wytwarzaniu tranzystora germanowego typu p-n-p dyfuzję obszaru bazy przeprowadza się jednocześnie z natapianiem akceptora. W tym wypadku, jako materiał zawierający akceptor stosuje się stop ołowiu i bizmutu z kilkoma procentami galu lub aluminium. Podczas natapiania donor dyfunduje np. z otoczenia lub z natapianego stopu, poprzez roztopioną substancję do leżącego pod nim germanu oraz do powierzchni germanu wokół natopionego stopu, tworząc obszar bazy typu n, na którym przy ochładzaniu, wskutek segregacji akceptora, rekrytalizuje obszar emitera z odpowiednim kontaktem omowym emitera. W pewnym odstępnie od tego kontaktu emitera, jednocześnie lub później, umieszcza się na powierzchniowej warstwie typu n kontakt omowy bazy. Część obszaru bazy, leżąca w otoczeniu stopowego kontaktu emitera powstaje przez dyfuzję domieszki donorowej z natapianego stopu.

Opisane powyżej sposoby wytwarzania wykazują różne wady. Aby uzyskać nadające się do zastosowania własności elektryczne złącza p-n, w szczególności dostatecznie wysoką wartość napięcia przebicia między graniczącymi ze sobą warstwami typu p i n, a jednocześnie uniknąć zakłócających zjawisk tunelowych oraz zwarć, w tych znanych sposobach, gęstość donorów lub akceptorów w jednej z dwu warstw, w szczególności przy powierzchni elementu półprzewodnikowego, dobiera się mniejszą niż 10^{15} atomów/cm³ przy elemencie germanowym a mniejszą niż 10^{19} atomów/cm³ przy elemencie krzemowym. Ponieważ przewodność warstwy rekrytalizacyjnej jest często duża wskutek dużej gęstości około 10^{18} atomów/cm³ a często znacznie większej od 10^{19} atomów/cm³, przy czym ta gęstość domieszek w warstwie rekrytalizacyjnej jest trudna do regulowania więc w praktyce wynika stąd warunek, że gęstość czynnych domieszek na powierzchni warstwy dyfuzyjnej, nie może być wybrana wyższa od wymienionej wyżej wartości, a zwykle wybierana jest znacznie niższa.

Jeżeli ta dyfuzyjna warstwa powierzchniowa służy jako obszar bazy, jak to ma miejsce w tranzystorach typu p-n-p, to prowadzi to do stosunkowo wysokiej oporności bazy, co jest szczególnie niekorzystne dla dużego zakresu częstotliwości oraz dla dużych mocy. Podobna wada

występuje również, gdy dyfuzyjna warstwa powierzchniowa czynna jest jako obszar emitera, jak to ma miejsce w tranzystorach typu n-p-n, gdyż tam dla odpowiedniej mocy emitera, oporność właściwa obszaru bazy musi być większa a także powiększona musi być oporność emitera. W pewnych przypadkach zwiększone gęstości domieszek mogłyby być dopuszczalne ale wtedy konieczne jest głębsze wytrawianie przy złączu aby zapobiec połączeniu się obu warstw przynajmniej na powierzchni o dużej przewodności. Powoduje to dalsze komplikacje, gdyż własności złącza p-n w dużym stopniu zależą od głębokości przenikania środka wytrawiającego, a właściwą głębokość — trudno jest zapewnić w sposób powtarzalny, przy czym to głębokie i wąskie wytrawienie powoduje również zwiększenie oporności bazy.

Próbowano obniżyć oporność bazy w ten sposób, że przez zastosowanie oddzielnej dyfuzji wstępnej wykonywano większą grubość tej części dyfuzyjnej warstwy powierzchniowej, która leży obok rekrytalizacyjnego obszaru emitera, po czym uzyskana gruba warstwa dyfuzyjna usuwana jest w pewnym miejscu, a w tak powstałe wydrążenie wtapia się lub nanosi przez dyfuzję cienki obszar bazy i obszar emitera. Ta dodatkowa obróbka utrudnia jednak technikę wytwarzania. Poza tym przed umieszczeniem kontaktu stopowego na dyfuzyjnej warstwie powierzchniowej, próbowano obniżyć wysoką gęstość domieszki na powierzchni, przez częściowe wydyfundowanie w próżni. Sposób ten ma jednak tę wadę, że usuwa się właśnie tę część warstwy powierzchniowej, która najbardziej przyczynia się do obniżenia oporności szeregowej.

Wynalazek stawia sobie za zadanie rozwiązanie problemu występującego nie tylko przy tranzystorach, a polegającego na umieszczeniu warstwy powierzchniowej o bardzo dużej gęstości domieszki, w bardzo bliskiej odległości od kontaktu (elektrody) stopowego, bez spowodowania zakłóceń własności elektrycznych złącza między tym kontaktem z jego warstwą rekrytalizacyjną a elementem półprzewodnikowym, przy czym zadanie to rozwiązuje się w ten sposób, że jako materiał kontaktu stopowego, używa się materiał o zdolnościach pochłaniających domieszki warstwy powierzchniowej, który to materiał przy dostatecznej temperaturze ogrzewany jest dostatecznie długo, aby znaczna część czynnej domieszki w bezpośredniej bliskości kontaktu zdołała osiągnąć ten pochłaniający materiał.

W ten sposób, w bezpośredniej bliskości kontaktu stopowego na bardzo małej odległości np. 0,1 do 1μ, która zależy od temperatury lub od czasu trwania procesu, można spowodować znaczne zmniejszenie gęstości domieszki, w szczególności również i na powierzchni półprzewodnika, przy czym w pewnych warunkach można zrobić użytek również z dużej szybkości dyfuzji powierzchniowej.

Przy zastosowaniu sposobu według wynalazku, materiał kontaktu posiadający własności pochłaniania domieszek wspomnianej drugiej warstwy powierzchniowej, a który ma utworzyć wspom-

nianą warstwę rekrytalizacyjną, jest natapiany na element półprzewodnikowy i graniczy z powierzchnią o gęstości domieszek wynoszącej co najmniej 3×10^{18} atomów/cm³, w szczególności 10^{19} atomów/cm³, które to domieszki utworzyły wspomnianą warstwę powierzchniową, przy czym temperatura i czas trwania natapiania względnie dalszego ogrzewania tak są dobrane, że wskutek pochłaniania działającego natapianego materiału kontaktu, w czasie natapiania i dalszego ogrzewania w bezpośredniej bliskości natapianego materiału, następuje zmniejszenie gęstości domieszek powodujące zmniejszenie miejscowej przewodności.

Pod pojęciem zdolności pochłaniania materiału kontaktu rozumie się tu, że materiał ten po wtopieniu w materiał półprzewodnika, przy wspomnianej podwyższonej temperaturze pochłania i zatrzymuje te domieszki z graniczącej warstwy powierzchniowej które docierają do materiału kontaktu wskutek dyfuzji do elementu półprzewodnikowego lub przez częściową dyfuzję wzdłuż powierzchni elementu. Te zdolności pochłaniania polegają na fizyko-chemicznych lub chemicznych wzajemnych oddziaływaniach np. na większej rozpuszczalności czynnych domieszek w natapianym materiale kontaktu, lub na tworzeniu stopów lub związków chemicznych, jak to ma na przykład miejsce przy materiałach donorowych dla germanu i krzemu z piątej kolumny okresowego układu pierwiastków lub przy materiałach akceptorowych z trzeciej kolumny okresowego układu, które tworzą ze sobą połączenia jak np. arsenek aluminium.

Jeżeli działanie pochłaniające jest dostatecznie wysokie już przy temperaturze niższej od temperatury stapiania, to dalsze ogrzewanie może być przeprowadzane przy temperaturze niższej od temperatury stapiania materiału, stanowiącego natapiany kontakt. Czas trwania ogrzewania dla uzyskania zamierzonego spadku gęstości, jest wtedy znacznie dłuższy, gdyż czynne domieszki przy niższej temperaturze uzyskują znacznie niższą szybkość dyfuzji i dlatego wymagają dłuższego czasu aby dotrzeć do materiału kontaktu.

Można zastosować również dalsze ogrzewanie, przy którym materiał kontaktu znajduje się w stanie roztopionym. W tym wypadku dalsze ogrzewanie może zachodzić w wyższej temperaturze niż przy natapianiu. Dalsze ogrzewanie w wyższej temperaturze przy którym materiał kontaktu znajduje się w stanie roztopionym daje tę korzyść, że zdolność pochłaniania materiału oraz prędkość dyfuzji domieszek, jest znacznie wyższa a również odprowadzanie od brzegu do reszty materiału elektrody może przebiegać szybciej. Przy dalszym ogrzewaniu cały element może zostać ogrzany do żądanej temperatury, np. w piecu, w którym następuje natapianie.

Podczas dalszego ogrzewania przez złącze od warstwy rekrytalizacyjnej do warstwy powierzchniowej może być przepuszczany prąd, w postaci impulsów prądowych. Ten przepływ prądu, który nie powinien być za duży aby nie spowodować niepożądanych zmian w strukturze

elementu i kontaktów, może przyczynić się do dalszego ogrzewania oraz szczególnie przy złączu typu p-n, spowodować zwiększenie prędkości dyfuzji. Przy postępującym zmniejszaniu się gęstości domieszek przy złączu i związanym z nim zwiększeniem się oporności, odprowadzanie ciepła koncentruje się głównie w otoczeniu złącza, co ułatwia selektywne obniżenie gęstości przy złączu.

Sposób według wynalazku nadaje się szczególnie do wytwarzania przyrządów półprzewodnikowych, w których rodzaj przewodnictwa warstwy rekrytalizacyjnej i materiału kontaktu (elektrody) jest taki sam jak graniczącej warstwy powierzchniowej, przy czym sposobem według wynalazku można wytworzyć między warstwą rekrytalizacyjną i graniczącą warstwą powierzchniową, bardzo wąską przestrzeń obszaru półprzewodnika o zmniejszonej przewodności. Obszar ten może znaleźć zastosowanie jako światłoczuła część komórki fotoelektrycznej o bardzo małym odstępnie między elektrodami, w której warstwa rekrytalizacyjna z kontaktem stopowym stanowi jedną elektrodę a warstwa powierzchniowa z drugim kontaktem omowy stanowi drugą elektrodę.

Sposób według wynalazku nadaje się szczególnie do wytwarzania przyrządów półprzewodnikowych ze złączem p-n. W tym wypadku materiał kontaktu składa się przynajmniej częściowo z domieszki, której typ przewodnictwa jest przeciwny do przewodnictwa leżącej obok drugiej warstwy powierzchniowej tak, że po stopieniu między warstwą rekrytalizacyjną i wspomnianą warstwą powierzchniową tworzy się złącze p-n. Wynalazek jest szczególnie ważny przy wytwarzaniu takich przyrządów półprzewodnikowych, w których złącze p-n między warstwą rekrytalizacyjną a drugą warstwą powierzchniową ma pracować przynajmniej częściowo w kierunku przewodzenia. Zmniejszenie przewodności, które przez zastosowanie wynalazku następuje na bardzo małej odległości od kontaktu stopowego pozwala uniknąć niekorzystnych efektów tunelowych oraz zwać, podczas gdy reszta warstwy powierzchniowej utrzymuje zaletę szczególnie dużej gęstości.

Materiał kontaktu może oczywiście sam zawierać czynne domieszki, chodzi tylko o to, aby przez jednoczesne ich wydelfundowanie nie zniweczył zamierzonego efektu zmniejszenia gęstości czynnych domieszek w warstwie powierzchniowej, oraz zamierzonego uzyskania miejscowego spadku przewodności. W tym celu materiał kontaktu zawiera domieszki o znacznie mniejszej szybkości dyfuzji, niż szybkość dyfuzji domieszek w drugiej warstwie powierzchniowej tak, że działanie pochłaniające w praktyce nie jest zakłócone przez proces wydelfundowania. Zupełne uniknięcie tego procesu jest bardzo trudne i nie ma potrzeby o to zabiegać jak długo spadek przewodności wskutek działania pochłaniającego przynajmniej w części zostaje zachowany. Możliwe jest jednak również zastosowanie w określonych wypadkach materiału kontaktu z domieszkami, których prędkość dyfuzji jest większa, je-

żeli np. doprowadza się je dopiero przy końcu procesu pochłaniania, lub gdy stosuje się materiał kontaktu, który te domieszki w takim stopniu wiąże, że wydyfundowanie ograniczone jest tak, iż spadek przewodności nie jest całkowicie zlikwidowany.

Jeżeli domieszka materiału kontaktu jest przeciwnego typu, to przy niewielkim wydyfundowaniu w określonych warunkach, może się ona przyczynić do dalszego spadku przewodności. Tak więc dla utworzenia złącza p-n można użyć materiału o domieszce donorowej, który tworzy warstwę rekrytalizacyjną typu n, natomiast w graniczącej warstwie powierzchniowej stosuje się domieszkę akceptorową dla utworzenia warstwy powierzchniowej typu p.

Dla utworzenie złącza p-n można zastosować również materiał kontaktu, który przynajmniej częściowo zawiera domieszki akceptorowe dla utworzenia rekrytalizacyjnej warstwy typu p, natomiast w graniczącej warstwie powierzchniowej stosuje się domieszki donorowe dla utworzenia warstwy powierzchniowej typu n. Ten ostatni sposób, w przypadku najczęściej stosowanych półprzewodników germanowych, posiada tę zaletę, że materiały akceptorowe, w szczególności aluminium i ind, posiadają działanie pochłaniające względem domieszek donorowych; dyfuzja tych akceptorów, przynajmniej w germanie, może nie być brana pod uwagę w porównaniu z prędkością dyfuzji donoru.

Warstwa powierzchniowa o dużej gęstości może być wytworzona wcześniej na elemencie i może się składać z warstwy półprzewodnika, uzyskanej przez narastanie z fazy ciekłej lub parowej, przy czym w czasie tego procesu wprowadzane są domieszki. Warstwa powierzchniowa może być również wytworzona przez dyfuzję domieszki do elementu. Jeżeli materiał kontaktu (elektrody) ma tak duże własności pochłaniania, że stanowi on jednocześnie miejscową warstwę maskującą, która dostatecznie długo blokuje dyfuzję domieszki przez materiał kontaktu do położonego pod nim półprzewodnika, to warstwa powierzchniowa może być utworzona dopiero podczas natapiania materiału kontaktu, przez dyfuzję domieszki z otoczenia do elementu, co możliwe jest przy materiale kontaktu posiadającym dostatecznie dużą koncentrację aluminium, który nadaje się do utworzenia w germanie warstwy rekrytalizacyjnej typu p, a jednocześnie posiada działanie maskujące i pochłaniające dla donorów antymonu i arsenu. Dyfuzja warstwy powierzchniowej podczas natapiania materiału kontaktu daje tę korzyść, że proces natapiania, dalsze ogrzewanie w celu pochłaniania oraz nanoszenie warstwy powierzchniowej, mogą być dokonane w jednym cyklu roboczym, gdyż podczas dyfuzji warstwy powierzchniowej materiał kontaktu ma dostatecznie dużo czasu, aby wywrzeć swe działanie pochłaniające.

Dyfuzja warstwy powierzchniowej może być przeprowadzona przed natapianiem materiału kontaktu. Materiał ten nie musi być wtedy tak długo i tak intensywnie poddawany działaniu dy-

fundujących domieszek. W ten sposób można stosować materiały o słabszych zdolnościach pochłaniających, które nie nadawałyby się do celów maskowania. Poza tym materiał kontaktu może pochłonać mniejszą ilość domieszki a czas trwania wzajemnego oddziaływania między tym materiałem a domieszkami jest krótszy przez co nie zachodzą w materiale kontaktu żadne reakcje wymiany, które mogłyby utrudnić umocowanie przewodów doprowadzeniowych na materiale kontaktu stopowego np. przez połączenie cieplno ciśnieniowe.

Aby zapobiec zmniejszeniu się gęstości lub jeszcze bardziej ją powiększyć, może być korzystnym w przypadku uprzednio naniesionej warstwy powierzchniowej, aby w czasie natapiania i dalszego ogrzewania, doprowadzić do powierzchni półprzewodnika domieszkę tego samego typu co warstwa powierzchniowa, w szczególności czynną domieszkę samej warstwy powierzchniowej, przy czym doprowadza się tę domieszkę z otoczenia w postaci pary, np. z oddzielnego źródła umieszczonego w tym otoczeniu. Jeżeli przy panujących warunkach natapiania oraz dalszego ogrzewania nie występuje żadne zakłócające zmniejszenie się gęstości domieszki, to z tego dodatkowego doprowadzania można zrezygnować.

Warstwa rekrytalizacyjna wytrąca się z natapianego materiału po zakończeniu procesu natapiania, a na tej warstwie reszta materiału kontaktu koaguluje się jako warstwa metaliczna. Do tej metalicznej warstwy, umocowuje się doprowadzenie do warstwy rekrytalizacyjnej. W ramach wynalazku można również usunąć warstwę metaliczną a doprowadzenie umocować bezpośrednio do warstwy rekrytalizacyjnej, co może być korzystne w tych wypadkach, kiedy umocowanie doprowadzenia do metalicznej warstwy jest trudniejsze niż do warstwy rekrytalizacyjnej.

Temperatura i czas trwania natapiania oraz dalszego ogrzewania muszą być dostatecznie duże ze względu na skuteczności procesu pochłaniania, tak aby domieszki mogły dyfundować do do materiału kontaktu, a przy złączeniu warstwy rekrytalizacyjnej nastąpił spadek przewodności, a jednocześnie nie mogą one być tak duże, aby niekorzystnie wpływały na inne parametry struktury elementu półprzewodnikowego, np. na grubość warstwy bazy tranzystora.

Okazało się, że w praktyce korzystnym jest, gdy przy wytwarzaniu tranzystora dyfuzyjnego, część dyfuzji obszaru emitera lub obszaru bazy przeprowadza się podczas natapiania i dalszego ogrzewania. Poza tym w pewnych warunkach czynne domieszki warstwy powierzchniowej mogą się poruszać wzdłuż powierzchni półprzewodnika, przy swej drodze do pochłaniającego go materiału natapianego kontaktu, przy czym prędkość dyfuzji jest tu na ogół większa niż w samym elemencie. Temperatura i czas trwania procesu zależą więc także od prędkości dyfuzji, od istniejącej uprzednio gęstości iżądanego jej zmniejszenia, od odstępu na którym ma nastą-

pić to zmniejszenie oraz od zdolności pochłaniania materiału kontaktu.

Pod pojęciem skutecznego spadku przewodności, rozumie się takie zmniejszenie gęstości, że dla danego przyrządu półprzewodnikowego daje się to odczuć w praktyce, np. w przypadku fotokomórki, omawianym poprzednio, przez zwiększenie oporności między elektrodami. W przypadku złącza p-n między warstwą rekrytalizacyjną i warstwą powierzchniową, temperatura i czas trwania natapiania oraz dalszego ogrzewania są tak dobrane, że nie występują zwarcia i zjawiska tunelowe pomimo nie stosowania dodatkowego wytrawiania lub przy bardzo niewielkim dodatkowym wytapianiu, przy czym uzyskuje się napięcie przebicia w kierunku wstecznym co najmniej 0,1 V a nawet 0,2 V.

Takie wartości lub znacznie większe, można uzyskać sposobem według wynalazku nawet przy dużej gęstości domieszek, wynoszącej np. 7×10^{19} atomów/cm³, często bez stosowania dodatkowego wytrawiania. W pewnych wypadkach może być korzystne lekkie dodatkowe wytrawianie, przy którym ewentualne resztki metalu zostają usunięte z powierzchni. Również w przypadkach lekkiego wytrawiania, a tym bardziej, gdy według wynalazku jest ono zbyt duże, uzyskuje się znaczną poprawę w stosunku do znanych sposobów, przy których nawet, przy znacznie niższej gęstości domieszki konieczne było wytrawienie znacznej części powierzchni.

Według wynalazku w wielu wypadkach nie stosuje się dodatkowego wytrawiania lub wystarczy bardzo lekkie wytrawianie jednak uzyskaną w ten sposób korzystną wartość napięcia przebicia można jeszcze podwyższyć przez zastosowanie dodatkowego wytrawiania.

Jeżeli w czasie natapiania i dalszego ogrzewania warstwa powierzchniowa dyfunduje nadal do elementu, to temperatura i czas trwania procesu są oczywiście dostateczne dla skutecznego działania pochłaniającego. Dla uzyskania właściwego działania pochłaniającego, temperatura i czas trwania natapiania i dalszego ogrzewania muszą być tak dobrane aby iloczyn $D \times t$ wynosił co najmniej 10^{-11} cm², gdzie D stanowi stałą dyfuzji domieszki warstwy powierzchniowej w półprzewodniku, przy zastosowanej temperaturze, a t oznacza czas trwania procesu w sekundach. Gdy temperatura ulega zmianie to należy uwzględnić całą z tego iloczynu obliczoną w przedziale czasowym. W tym względzie, a szczególnie przez zastosowanie większej gęstości, sposób według wynalazku różni się znacznie od znanych sposobów, gdzie proces natapiania zachodzi przy niskiej temperaturze i w czasie tak krótkim, że dyfuzja praktycznie nie występuje.

Przy zastosowaniu sposobu według wynalazku można dobrać gęstość domieszki większą niż 10^{19} atomów/cm³, na przykład 2×10^{19} atomów/cm³ lub nawet wyższą niż 5×10^{19} atomów/cm³. Użytkuje się w praktyce dodatnie wyniki np. przy gęstości 7×10^{19} atomów/cm³ dla arsenu, przy elemencie germanowym oraz materiale natapianego kontaktu zawierającym aluminium.

Sposób według wynalazku oraz opisane rodzaje jego wykonywania znajdują szczególne zastosowanie przy wytwarzaniu tranzystorów dla bardzo wysokich częstotliwości np. o częstotliwości granicznej powyżej 500 MHz, oraz przy wytwarzaniu tranzystorów mocy o dużym zakresie częstotliwości. W takich tranzystorach, które dotychczas wykonywane były najczęściej jako tranzystory dyfuzyjne i w których na tej samej stronie elementu półprzewodnikowego leży obszar emitera obok powierzchniowej warstwy stanowiącej obszar bazy, przez zastosowanie sposobu według wynalazku, można jeden z tych obszarów utworzyć przez rekrytalizację natapianego materiału o zdolnościach pochłaniania, a drugi obszar wytwarza się przez wspomnianą dużą gęstość domieszki, przy czym następuje to przez narastanie z fazy parowej lub ciekłej lub przez dyfuzję. Przez narastanie lub przez dyfuzję ciał stałych można z dużą dokładnością uzyskać bardzo cienkie warstwy np. kilku mikronów lub cieńsze co jest konieczne dla bardzo wielkich częstotliwości w odniesieniu do obszaru bazy tranzystora.

Szczególnie przy tak niewielkich grubościach warstwy a także przy dużych mocach oporności szeregowych w tych warstwach np. oporności bazy, stanowią ograniczenie dla szerokości zakresu częstotliwości, gdyż te oporności powodują znaczne zmniejszenie wzmocnienia i zwiększenie poziomu szumów. Sposób według wynalazku stanowi tu szczególnie cenne uzupełnienie znanych technik, gdyż umożliwia w prosty sposób nanoszenie obok siebie na powierzchni półprzewodnika dwóch warstw o bardzo dużej gęstości domieszek, odległych od siebie o bardzo małą odległość którą można regulować w prosty sposób, za pomocą temperatury i czasu trwania procesu, przy czym oporności szeregowie i ich ujemne skutki ulegają znacznemu zmniejszeniu.

Sposób według wynalazku oraz opisane wyżej odmiany jego wykonania w odniesieniu do dyfuzji, są więc korzystne przy wytwarzaniu znanych tranzystorów dyfuzyjnych typu p-n-p, w których na powierzchni elementu półprzewodnikowego typu p, nanosi się przez dyfuzję donoru warstwę typu n stanowiącą obszar bazy, a w pewnym jej miejscu wtapia się rekrytalizacyjny obszar emitera. Przy zastosowaniu sposobu według wynalazku, przez natapianie materiału stanowiącego kontakt z materiałem tego tworzy się wskutek rekrytalizacji obszar emitera typu p, natomiast przez dyfuzję domieszki donorowej przynajmniej do części powierzchni obszaru bazy położonego obok materiału, tworzy się druga warstwa o dużej gęstości.

Ta duża gęstość domieszki może być wytworzona w czasie dyfuzji obszaru bazy. Dyfuzję tę można przeprowadzić przed natapianiem materiału kontaktu mającego utworzyć obszar emitera. Można również dyfuzję obszaru bazy przeprowadzić dwustopniowo, przy czym najpierw dokonuje się dyfuzji obszaru bazy przy niskiej gęstości przed umieszczeniem i natapianiem materiału kontaktu a w czasie natapiania i dalszego ogrze-

wania dyfunduje się wspomnianą dużą gęstość do powierzchni elementu. Przez natapianie i dalsze ogrzewanie na przejściu między materiałem kontaktu i warstwą powierzchniową, tworzy się wskutek działania pochłaniającego żądane zmniejszenie gęstości donoru.

Sposób według wynalazku oraz opisane powyżej odmiany jego wykonania w odniesieniu do dyfuzji drugiej warstwy powierzchniowej, nadają się szczególnie do wytwarzania tranzystora dyfuzyjnego typu n-p-n, w którym element półprzewodnikowy zawierający warstwę typu p jako obszar bazy, naniesiony np. przez dyfuzję domieszki donorowej np. indu, lub wytworzoną przez przyrost z fazy parowej, przy czym w warstwie stanowiącej obszar bazy, w pewnym jej miejscu, wtopiona jest warstwa rekrytalizacyjna typu p dla umożliwienia dołączenia doprowadzenia do obszaru bazy, natomiast w części graniczącej z obszarem bazy nanosi się przez dyfuzję donoru warstwę typu n stanowiącą obszar emitera.

Przy zastosowaniu sposobu według wynalazku rekrytalizacyjna warstwa typu p jest utworzona przez natapianie i rekrytalizację z wspomnianego materiału stanowiącego kontakt, natomiast obszar emitera typu n utworzony jest przez dyfuzję donoru z wspomnianą dużą gęstością domieszki. Dyfuzyjna warstwa typu n może być później ograniczona do żądanej powierzchni np. za pomocą znanego procesu wytrawiania, przy którym element półprzewodnikowy, z wyjątkiem części, które mają być usunięte, pokryty jest warstwą materiału odpornego, na środek wytrawiający. W szczególności materiał kontaktu mający utworzyć warstwę rekrytalizacyjną, nakładany jest w ten sposób, że otacza wolną część powierzchni półprzewodnika, np. w kształcie pierścienia lub elipsy, a obszar emitera zostaje wytworzony przez dyfuzję w tej otoczonej wolnej części powierzchni półprzewodnika.

Części warstwy dyfuzyjnej typu n leżące na zewnątrz warstwy rekrytalizacyjnej mogą być później usunięte przez wytrawianie tak, że powierzchnia obszaru emitera jest ograniczona do powierzchni otoczonej przez warstwę rekrytalizacyjną. Taki sposób wytwarzania ma tę zaletę, że oporność bazy jest bardzo mała, a przez kształt nałożonego materiału ustalony jest również kształt obszaru emitera. Jeżeli materiał tworzący kontakt ma tak silne działanie pochłaniające, że zachodzi dostateczne działanie maskujące przed dyfuzją donoru poprzez ten materiał, to dyfuzja obszaru emitera może nastąpić całkowicie w czasie procesu natapiania i dalszego ogrzewania tego materiału, przez doprowadzenie donoru z otoczenia, przy czym czas ten jest dostateczny aby materiał natapianego kontaktu mógł w czasie dyfuzji wywrzeć swoje działanie pochłaniające.

Korzystnym jest, gdy jako obszar emitera przed nałożeniem i zatopieniem kontaktu, przynajmniej częściowo naniesiona jest warstwa typu n, przez dyfuzję do obszaru typu p, np. jednocześnie z dyfuzją obszaru bazy lub w oddzielnym procesie po dyfuzji obszaru bazy, po czym

materiał kontaktu nakłada się na warstwę typu n i przez natapianie poprzez warstwę n dociera on aż do obszaru bazy typu p. Podczas tego procesu natapiania i dalszego ogrzewania, w razie potrzeby doprowadza się z otoczenia donor do powierzchni półprzewodnika, aby powiększyć gęstość domieszki w obszarze emitera lub zapobiec znacznemu jej zmniejszeniu.

Przez zastosowanie sposobu według wynalazku można uzyskać dużą przewodność zarówno w warstwie rekrytalizacyjnej jak i w graniczącej bezpośrednio warstwie dyfuzyjnej, a wskutek działania pochłaniającego, w czasie natapiania i dalszego ogrzewania można uzyskać znaczny spadek gęstości na bardzo wąskim obszarze przejściowym, co jest korzystne dla wysokiej oporności bazy.

Jako materiał natapianego kontaktu zawierający akceptor i posiadający własności pochłaniające, nadaje się szczególnie materiał o dostatecznej koncentracji aluminium wynoszącej co najmniej 30% ilości atomów, a często korzystnym jest użycie materiału składającego się głównie z aluminium, do którego dodano niewielkie ilości indu, dla uzyskania równomierności stopu. Również ind oraz stopy indu z galem nadają się do tego celu, chociaż aluminium w wielu wypadkach jest lepsze z powodu mniejszej prędkości dyfuzji powierzchniowej, szczególnie przy stopie z germanem.

Sposób według wynalazku można stosować również przy innych półprzewodnikach np. przy krzemie, gdzie np. z aluminium jako materiałem kontaktu dają się uzyskać podobnie dodatnie zjawiska, jednak szczególnie korzystne jest zastosowanie sposobu według wynalazku przy wytwarzaniu przyrządów półprzewodnikowych z elementem półprzewodnikowym z germanu. Przy germanie oraz materiale kontaktu złożonym z aluminium i indu jako czynne domieszki warstwy powierzchniowej, stosuje się ze specjalnie korzystnym skutkiem donory takie jak arsen i antymon, a w szczególności arsen ze względu na jego dobrą rozpuszczalność w germanie.

Wynalazek dotyczy również przyrządu półprzewodnikowego w szczególności tranzystora, który może być wykonany przez zastosowanie sposobu według wynalazku.

Sposób według wynalazku oraz jego odmiany zostaną wyjaśnione na podstawie przykładów uwidocznionych na rysunku.

Na fig. 1, 2, 4, 5 i 6 są przedstawione w przekroju poprzecznym kolejne stadia elementu półprzewodnikowego, przy wytwarzaniu tranzystora typu n-p-n sposobem według wynalazku, na fig. 3 — widok z góry półprzewodnika z fig. 4, a na fig. 7 jest przedstawiony w przekroju poprzecznym element półprzewodnikowy w stadium wytwarzania tranzystora typu p-n-p sposobem według wynalazku.

Przy wytwarzaniu sposobem według wynalazku tranzystorów germanowych typu n-p-n dla wysokich częstotliwości wychodzi się np. z płytki germanowej typu n 1 o oporności wła-

ściwej około $0,5\Omega$ cm i o wymiarach np. 10 mm x 10 mm x 100μ tak, że na płytce wykonuje się jednocześnie sto takich tranzystorów. Płytką 1, jako domieszkę określającą rodzaj przewodnictwa zawiera antymon o gęstości (koncentracji) około 3×10^{15} atomów/cm³, który dyfunduje szybko do germanu (fig. 1).

Do płytki 1 typu n zostaje wdyfundowana warstwa 2 typu p o grubości około $1,6\mu$ w taki sposób, że płytka pokryta proszkiem germanowym zawierającym 4×10^{13} atomów indu na 1 cm³, ogrzewana jest przez dwie godziny w atmosferze wodoru przy temperaturze około 800°C. Ponieważ ind jest domieszką wolno dyfundującą, więc szybko dyfundujący antymon ma dość czasu aby wydyfundować tak, że warstwa 2 typu p stanowiąca obszar bazy przechodzi przez złącze p-n 3 w warstwę przejściową o zmniejszonej gęstości donoru, również przez wyrównanie w wewnętrznej części elementu posiadającej uprzednio przewodnictwo typu n i stanowiącej obszar kolektora. Jeszcze korzystniejsze jest złącze typu p—n—n⁺ od obszaru bazy do kolektora, które przyczynia się do uzyskania niskiej pojemności i oporności kolektora, jeżeli zostało wykonane przez narastanie z fazy parowej na podkładzie typu n lub przez kombinację narastania i dyfuzji.

Górną stronę płytki 1 pokrywa się następnie warstwą wosku odpornego na wytrawianie, a z jej dolnej strony zostaje wytrawiona warstwa o grubości 5μ (łącznie z warstwą 2 na dolnej stronie) według kreskowanej linii 6, przy czym dokonuje się tego przez zanurzenie w kąpieli trawiącej, składającej się z 10 objętościowych części HF ((50%)), 14-tu takich części HNO₃ ((65%)), 1-ej części H₂O i 0,5 objętościowych części alkoholu. Następnie płytka jest ogrzewana przez pięć minut w atmosferze arsenu przy temperaturze 650°C, przy czym jako źródło dyfuzji stosuje się czysty arsen ogrzany do temperatury 440°C. Całość procesu przeprowadza się w atmosferze czystego wodoru (H₂).

Podczas tego ogrzewania w elemencie (fig. 2) ze wszystkich jego stron tworzy się warstwa 13 typu n o grubości $0,4\mu$, której gęstość przy powierzchni wynosi 7×10^{19} atomów/cm³ i która stanowi obszar emitera. Na górnej stronie, na warstwie 13 typu n zostają naparowane w znany sposób przez odpowiednią maskownicę, pierścienie 4 składające się z aluminium, przy czym rozmieszczone są w dziesięciu rzędach po dziesięć w każdym rzędzie a odległość między nimi wynosi 0,9 mm. Na fig. 2 jest przedstawiony przekrój poprzeczny płytki w miejscu rzędu dziesięciu takich pierścieni. Następnie przeprowadza się stapianie aluminium i dalsze ogrzewanie.

Jedno i drugie zostanie objaśnione bliżej na podstawie fig. 3 i 4, które pokazują w powiększonej skali w rzucie z góry względnie w przekroju poprzecznym część płytki według fig. 1, mianowicie tę część, która znajduje się między kreskowanymi liniami 7 fig. 2 i odpowiada jednemu tranzystorowi. Również na dalszych figurach 4 do

6 dla uproszczenia rysunku przedstawiona jest tylko obróbka tej części płytki 1, gdyż obróbka pozostałych 99 części (przynajmniej do fig. 5), następuje jednocześnie i w ten sam sposób.

Na fig. 3 jest przedstawiony dokładniej w rzucie z góry kształt pierścienia 4, który posiada obejmowane przez niego wydrążenie 10 położone asymetrycznie względem pierścienia i pozostawiające wolną powierzchnię warstwy 13 typu n. Pierścień ma średnicę zewnętrzną około 60 mikronów, a kształt wydrążenia 10 odpowiada półokręgowi posiadającemu ten sam środek co obwód pierścienia, oraz promień około 20 do 25μ . Taki kształt wydrążenia daje dodatkową zaletę korzystnej kombinacji niskiej oporności bazy i małej pojemności kolektora a pomimo to daje możliwość łatwego uzyskania kontaktu. Grubość naparowanego pierścienia przed stopieniem wynosi około $0,4\mu$.

Przez stapianie powstaje warstwa rekrytalizacyjna 5, która w praktyce ma ten sam kształt co pierścień 4. Warstwa rekrytalizacyjna 5, która wskutek dużej zawartości aluminium posiada przewodnictwo typu p, przenika do płytki, aż na niewielką odległość od złącza p—n 3. Jeżeli oporność właściwa warstwy 1 typu n nie jest zbyt niska lub gdy nie stawia się zbyt dużych wymagań względem pojemności kolektora, to warstwa rekrytalizacyjna 5 może dotrzeć aż do elementu typu n.

Pierścień 4 przy naparowaniu składa się z aluminium z pewną zawartością indu, np. 6% objętościowo. Najpierw naparowuje się ind a następnie aluminium. Dodatek indu ułatwia równomierny stop z germanem.

Aluminium 4 posiada zdolność pochłaniania donorów arsenu. Stapianie aluminium 4 oraz dalsze ogrzewanie stanowi kombinowany proces temperaturowy, przy którym całość zostaje ogrzana w piecu do 700°C w ten sposób, że w czasie 50 sekund temperatura wzrasta od 500°C do 700°C, następnie przez około 2 sekundy utrzymywana jest temperatura 700°C a w końcu w ciągu 90 sekund następuje ochłodzenie z 700°C do 500°C. W temperaturach 500°C, 600°C i 700°C stała dyfuzji arsenu wynosi odpowiednio 2×10^{-15} cm²/sek., $1,1 \times 10^{-13}$ cm²/sek i $2,6 \times 10^{-12}$ cm²/sek przy gęstości arsenu przy powierzchni 7×10^{19} atomów/cm³. Scałkowany iloczyn $D \times t$ takiego działania temperaturowego wynosi co najmniej 3×10^{-11} cm².

Stałą dyfuzji poniżej 500°C można nieuwzględniać. W czasie tego procesu temperaturowego arsen z powierzchniowej warstwy 13 może dyfundować do aluminium 4 i powstałego z niego stopu tak, że aluminium ma tu działanie pochłaniające. Wskutek tego na brzegu pierścienia 4 i warstwy rekrytalizacyjnej 5 typu p, na niewielkiej odległości 0,1 do 1 mikrona tworzy się obszar 6 o zmniejszonej koncentracji arsenu. Po ochłodzeniu, ze stopu aluminium 4, który wskutek rozpuszczenia się w germanie przeniknął w warstwę 2 aż do linii 8 przez warstwę 13 typu n (fig. 5) wydzieliła się warstwa rekrytalizacyjna 5 typu p oraz kontakt omowy 4 tak, że na powierzchni elementu znajduje się silnie domieszkowana warstwa rekrytalizacyjna 5 typu p z kontaktem 4 obok sil-

nie domieszkowanej części powierzchni utworzonej przez warstwę dyfuzyjną 13 typu n. Pomimo tego unika się zwarć i zakłócających efektów tunelowych oraz uzyskuje się korzystne napięcie przebicia dla złącza emitera wynoszące około 0,2 do 0,4 V i to często bez dodatkowego wytrawiania, cc jest rezultatem niespodziewanym.

Na fig. 4 do 6 jest więc przedstawione, że złącze emitera 9 przecina powierzchnię półprzewodnika w niewielkiej odległości od stopu 12 względnie od pierścienia kontaktu bazy 4. Działanie ssące roztopionego materiału może być tak intensywne, że gęstość donoru na tej niewielkiej odległości zmniejsza się tak bardzo, że między stopem 12 i dyfuzyjną warstwą typu n pozostaje cienka warstwa 6 typu p stanowiąca część dawnej warstwy 2. Tak wielkie zmniejszenie gęstości donoru, pomimo, że o to właściwie chodziło, nie jest konieczne, gdyż poprawę napięcia przebicia uzyskuje się również wtedy, gdy dyfuzyjna warstwa 13 typu n, o zmniejszonej gęstości donoru, graniczy z rekrytalizacyjną warstwą 5 i kontaktem omowym bazy 4.

Części warstwy 13 typu n oraz warstwy 2 typu p leżące na zewnątrz pierścienia 4, są następnie wystawiane wzdłuż kreskowanej linii 15 (fig. 5). W tym celu dolna strona płytki pokrywa się maskującą warstwą wosku odpornego na wytrawianie jak również, taką samą warstwą maskującą 17 nakłada się na pierścień 4 i wydrążenie 10 co np. wykonuje się na drodze fotograficznej lub przez naparowanie poprzez odpowiednią maskownicę. Całość zanurza się następnie w kąpeli wytrawiającej, składającej się, biorąc objętościowo z 10 części HF (50%), 14 części HNO₃ (65%), 1 części H₂O i 0,5 części alkoholu i wytrawia aż do odległości około 5μ od kreskowanych linii 15, po czym warstwy maskującego wosku zostają usunięte.

Cała płytka według fig. 1 podlegała tej samej obróbce. Obecnie płytka zostaje podzielona na sto oddzielnych tranzystorów. Dolną stronę każdego tranzystora (fig. 6) przylutowuje się w temperaturze 500°C do położonej płytki 20 z warstwą złota 21.

Pierścień 4 z warstwą rekrytalizacyjną 5 służące jako omowe połączenie bazy, otaczają emiter 13, w bardzo małej odległości, dającej się automatycznie powtarzać przy wytwarzaniu tak, że unika się trudności związanych z umieszczeniem kontaktu bazy w niewielkiej odległości od obszaru emitera. Na obszarze emitera 13 oraz na szerokiej stronie pierścienia 4 umieszcza się następnie w znany sposób przez szybkie nagrzanie miejsca styku, złote druczki 22 względnie 23 o grubości około 7μ. W razie potrzeby całość wytrawia się lekko w 10%-owym H₂O₂ w temperaturze pokojowej, aby usunąć z powierzchni ewentualne resztki metalu.

Tranzystor jest teraz na tyle gotowy, że można go w zwykły sposób umieścić w osłonie. Taki tranzystor typu n-p-n wykonany sposobem według wynalazku posiada bardzo dobre własności, a wytwarzanie go jest proste i łatwo powtarzalne. Wzmocnienie takiego tranzystora przy 800 MHz wynosi jeszcze 13 do 16 decybeli, a napięcie przebicia emitera 0,12 do 0,4 Volta. Częstotliwość gra-

niczna jest wyższa od 2000 MHz. Współczynnik szumów może być bardzo niski rzędu 5 db do 6 db, a oporność bazy rzędu 25 do 30 Ω przy grubości obszaru bazy około 1μ. Możliwe jest również, aby dyfuzyję warstwy 13 przeprowadzać zupełnie lub częściowo, po umieszczeniu aluminiowych pierścieni 4, to znaczy w czasie ich natapiania, przy czym stop aluminiowo germanowy obok własności pochłaniających posiada też wystarczające własności maskujące. Czas trwania natapiania jest w tym wypadku odpowiednio dłuższy, aby można było uzyskać żadaną głębokość przeniknięcia warstwy 13.

Opisany wyżej przykład, w którym dyfuzyja warstwy 13 następuje w zasadzie przed umieszczeniem aluminiowych pierścieni 4, ma jednak tę zaletę, że przewód doprowadzeniowy 23 łatwiej i mocniej można wtedy przymocować do pierścienia 4 prawdopodobnie dlatego, że stop aluminiowo germanowy krócej jest poddawany działaniu arsenu.

Następne przykłady są dowodem, że jako materiały tworzące natapiany kontakt mogą być użyte również materiały nie składające się głównie z aluminium. Doświadczalnie stwierdzono, że np. materiał kontaktu z aluminium, złota i niklu (0,1 μ Al, 0,1 μ Au, 0,1 μ Ni) oraz z aluminium i ołowiu (0,1 μ Al, 0,1 μ Pb, 0,1 μ Al) posiada również własności pochłaniania arsenu. Napięcie przebicia w obu przypadkach, po lekkim wytrawieniu, wynosi około 0,3 V. Podobnie dodatnie wyniki uzyskuje się z indem oraz stopem indu z galem, np. 0,5% Ga.

Poniższe przykłady dowodzą, że działanie pochłaniające oraz częściowo maskujące, może być zrealizowane również przy zastosowaniu warstwy dyfuzji wstępnej.

Do płytki germanowej o oporności właściwej około 0,5 Ω cm wdyfundowuje się przy temperaturze 650°C w ciągu trzech minut, arsen o gęstości 7×10^{19} atomów/cm³ (źródło arsenu w temperaturze 440°C), przy czym powstaje warstwa typu n o grubości 0,6μ. Na tę warstwę naparowuje się pierścień aluminiowo indowy o tych samych wymiarach i tym samym składzie jak na fig. 3 do 6, i wtapia się go wstępnie na głębokość 1 μ przy temperaturze 700°C. Następnie stosuje się dalszą, znaczną dyfuzyję arsenu przez okres czterech minut przy temperaturze 650°C, przy czym pierścień stapia się ponownie, a arsen dochodzi przy gęstości 7×10^{19} atomów/cm³. Całkowita grubość warstwy dyfuzyjnej wynosi 0,9 μ, a pod stopem lub pod powstałą z niego warstwą rekrytalizacyjną typu p nie występuje dyfuzyja donoru lub przynajmniej nie powstaje warstwa typu n. Napięcie przebicia wynosi, najczęściej bez dodatkowego wytrawiania lub po lekkim wytrawianiu, około 0,3 Volta.

Na podstawie przykładu według fig. 7 zostanie wyjaśniony sposób wytwarzania według wynalazku tranzystora germanowego typu n-p-n.

Element wyjściowy stanowi płytka germanowa 41 typu n o oporności właściwej np. 1 Ω cm. Do płytki tej wdyfunduje się arsen o dużej gęstości 2×10^{19} atomów/cm³. W czasie dyfuzji płytka 41 jest ogrzewana do temperatury 750°C,

przy czym tworzy się warstwa dyfuzyjna 42 typu n o grubości około 2 μ . W warstwie dyfuzyjnej 42, w sposób zwykły przy dyfuzji, gęstość przy powierzchni ma wspomnianą wyżej wysoką wartość podczas gdy głębiej silnie maleje. Warstwa o wysokiej wartości gęstości oznaczona jest schematycznie cyfrą 45. Na warstwę 45 naparowuje się pasmo ze stopu aluminium i indu 43 (7% objętościowo indu) o grubości 0,3 μ , długości 100 μ i szerokości 25 μ , a następnie wtapia się je przy temperaturze 650°C, przy czym głębokość wniknięcia czoła stopu 44 wynosi około 0,7 μ . Proces natapiania przeprowadza się tak długo, aż wystąpi silne zjawisko pochłaniania.

Przy ochładzaniu ze stopu wydziela się warstwa rekrytalizacyjna. 46 oraz metaliczny kontakt 43. W czasie natapiania w praktyce, nie występuje dyfuzja donoru z otoczenia poprzez czoło stopu 44, a wskutek działania pochłaniającego, pomimo dużej gęstości przy powierzchni, uzyskuje się korzystną wartość napięcia przebicia między warstwą emitera 43 a warstwą bazy 42, 45. Jednocześnie lub później warstwy 42, 45 można wyposażyć w znany sposób w kontakty bazy np. w postaci dwóch pasków jednakowej wielkości 47 ze stopu złota i srebra (2% Sb.) tak, że uzyskuje się połączenie z bazą o niskiej oporności poprzez silnie domieszkowaną warstwę powierzchniową bazy 42.

Poddany takiej obróbce element według fig. 7 może być obrabiany nadal w zwykły sposób, w celu wytworzenia tranzystora typu p-n-p. W tym celu ograniczone zostaje złącze kolektora 48 przez wytrawianie wzdłuż kreskowanych linii 49, przy jednoczesnym maskowaniu elementu w miejscu pasków 46 i 47 oraz między nimi, przy czym warstwy 42 i 45 na dolnej stronie zostają usunięte przez wytrawianie, aby można było uzyskać cmowe połączenie z obszarem kolektora 41. Dyfuzję warstwy bazy 42, wskutek maskującego działania aluminium, można wykonać w dwóch operacjach.

Najpierw, przed umieszczeniem i natapianiem aluminium 46, tworzy się warstwę 42 typu n o grubości 1,5 μ , przy niskiej gęstości arsenu np. 10^{16} atomów/cm³. W czasie natapiania oraz dalszego ogrzewania aluminium 46 stosuje się gęstość domieszki rzędu 7×10^{19} atomów/cm³, tak, że na powierzchni warstwy 42 typu n tworzy się warstwa o grubości kilku dziesiątych mikrona o wysokiej przewodności. Wskutek działania pochłaniającego, w bezpośredniej bliskości brzegu warstwy 46 pozostaje niższa gęstość domieszkowania.

Dyfuzja w dwóch stopniach, przy czym ten drugi stopień przeprowadza się w czasie natapiania, daje jeszcze tę korzyść, że gradient gęstości donoru w części obszaru bazy położonej pod warstwą rekrytalizacyjną 46 może być dobrany niezależnie od dużej gęstości domieszki występującej na powierzchni.

W poprzednich przykładach jako domieszka stosowany był zawsze arsen. Podobne wyniki można jednak uzyskać z innymi donorami jak np. anty-

mon, przy czym arsen przy dużych gęstościach ponad 10^{19} atomów/cm³ jest lepszy.

W końcu należy zauważyć, że dla fachowca możliwe są różne zmiany w ramach sposobu według wynalazku. Tak na przykład tranzystory według fig. 7 mogą być ulepszone, jeżeli w miejsce jednorodnego elementu wyjściowego typu p, użyć elementu o budowie p—p[±], przy czym część p[±] stanowi podkład na którym narasta z fazy parowej p. Omawiana dyfuzja donoru może być po tym przeprowadzona do warstwy p.

W wykonaniach według fig. 1 do 6 mogą być zastosowane inne kształty podłużne wydrążenia, lub też kontakt bazy może mieć kształt pierścienia i obejmować wydrążenie koncentryczne. Obraz emitera może być również wykonany jako warstwa podłużna obok podłużnego pasma kontaktu bazy lub może być umieszczony między dwoma parkami stanowiącymi kontakt bazy. Przy wykonaniu według fig. 7 można zastosować również emiter pierścieniowy, a wewnątrz tego pierścienia lub na zewnątrz umieścić jeden lub kilka kontaktów bazy.

Sposób według wynalazku można stosować również do wytwarzania w elemencie półprzewodnikowym obwodu, w którym znajdują się przyrządy półprzewodnikowe opisanego wyżej rodzaju. Przy odpowiednim doborze materiału, o dostatecznych właściwościach pochłaniania, można również używać inne półprzewodniki, przy stosowaniu sposobu według wynalazku. Tak więc przy połączeniach typu A_{III}B_V akceptory z drugiej kolumny układu periodycznego mogą stanowić połączenia z donorami z VI-ej kolumny układu periodycznego, przez co występuje działanie pochłaniające elementu jednej kolumny dla elementu drugiej kolumny.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób wytwarzania przyrządu półprzewodnikowego z elementem półprzewodnikowym, który pokryty jest przynajmniej jedną warstwą rekrytalizacyjną z materiału kontaktu stopionego z tym elementem, wyposażoną w jedno odprowadzenie, przy czym warstwa ta przynajmniej na powierzchni elementu leży w pobliżu drugiej powierzchniowej warstwy o wysokiej przewodności, która powstała przez wprowadzenie czynnej domieszki, a warstwa ta w pewnym odstępie od warstwy rekrytalizacyjnej połączenia jest elektrycznie z drugim odprowadzeniem, **znamienny tym**, że na element półprzewodnikowy natapia się i dalej ogrzewa materiał kontaktu, który posiada zdolność pochłaniania w stosunku do czynnych domieszek wspomnianej drugiej warstwy powierzchniowej, a który służy do utworzenia wspomnianej warstwy rekrytalizacyjnej, przy czym natapianie następuje w łączności z czynnymi domieszkami przyłożonymi do granicznej powierzchni, przy gęstości domieszki co najmniej 3×10^{18} atomów/cm³ a w szczególności 10^{19} atomów/cm³, a temperatura i czas trwania natapiania oraz dalszego ogrzewania tak są dobrane, że wskutek

- działania pochłaniającego materiału kontaktu w czasie natapiania i dalszego ogrzewania, w bezpośrednim otoczeniu natapianego materiału, uzyskuje się zmniejszenie gęstości wspomnianej czynnej domieszki, co powoduje miejscowe zmniejszenie przewodności. 5
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że dalsze ogrzewanie przynajmniej częściowo przeprowadza się przy temperaturze niższej od temperatury stapiania natapianego materiału. 10
 3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że podczas dalszego ogrzewania materiał kontaktu znajduje się w stanie roztopionym.
 4. Sposób według zastrz. 1 do 3, **znamienny tym**, że w czasie dalszego ogrzewania przez warstwę rekrytalizacyjną przepuszcza się prąd elektryczny np. w postaci impulsów. 15
 5. Sposób według zastrz. 1 do 4, **znamienny tym**, że typ przewodnictwa warstwy rekrytalizacyjnej i materiału kontaktu jest taki sam jak graniczącej warstwy powierzchniowej. 20
 6. Sposób według zastrz. 1 do 4 wytwarzania przyrządu półprzewodnikowego ze złączem p-n, **znamienny tym**, że materiał kontaktu przynajmniej częściowo składa się z czynnej domieszki, której typ przewodnictwa jest przeciwny do wspomnianej drugiej warstwy powierzchniowej tak, że po stopieniu między warstwą rekrytalizacyjną i warstwą powierzchniową, tworzy się złącze p-n. 25
 7. Sposób według zastrz. 6, **znamienny tym**, że złącze p-n w przyrządzie półprzewodnikowym może pracować w zasadzie w kierunku przewodzenia. 30
 8. Sposób według zastrz. 1 do 9, **znamienny tym**, że czynne domieszki materiału kontaktu mają znacznie mniejszą prędkość dyfuzji niż czynne domieszki w drugiej warstwie powierzchniowej. 35
 9. Sposób według zastrz. 6 do 8, **znamienny tym**, że materiał kontaktu składa się przynajmniej częściowo z domieszki donorowej dla utworzenia warstwy rekrytalizacyjnej typu n, natomiast w graniczącej warstwie powierzchniowej stosuje się domieszki akceptorowe w celu utworzenia warstwy powierzchniowej typu p. 40
 10. Sposób według zastrz. 1 do 8, **znamienny tym**, że materiał kontaktu, przynajmniej częściowo składa się z domieszki akceptorowej, dla utworzenia warstwy rekrytalizacyjnej typu p, natomiast w warstwie powierzchniowej, stosuje się domieszki donorowe dla utworzenia warstwy powierzchniowej typu n. 45
 11. Sposób według zastrz. 1 do 10, **znamienny tym**, że warstwa powierzchniowa narasta na elemencie półprzewodnikowym z fazy parowej lub ciekłej, a w czasie narastania doprowadza się czynne domieszki o dużej gęstości. 50
 12. Sposób według zastrz. 1 do 11, **znamienny tym**, że warstwa powierzchniowa umieszczona jest na elemencie przez dyfuzję domieszki. 55
 13. Sposób według zastrz. 12, **znamienny tym**, że 60

- materiał kontaktu posiada również własności maskujące a warstwa powierzchniowa wytwarzana jest przez dyfuzję dopiero w czasie natapiania materiału kontaktu i dalszego ogrzewania.
14. Sposób według zastrz. 12, **znamienny tym**, że dyfuzję warstwy powierzchniowej przynajmniej częściowo przeprowadza się przed umieszczeniem i natapianiem materiału kontaktu. 65
 15. Sposób według zastrz. 12, **znamienny tym**, że dyfuzję warstwy powierzchniowej przeprowadza się przynajmniej w większej części przed umieszczeniem i natapianiem materiału kontaktu. 70
 16. Sposób według zastrz. 1 do 4, i 6 do 15, wytwarzania przyrządu półprzewodnikowego ze złączem p-n między warstwą rekrytalizacyjną i warstwą powierzchniową, **znamienny tym**, że temperatura i czas trwania natapiania oraz dalszego ogrzewania tak są dobrane, że unika się zwarć i występowania ujemnych zjawisk opornościowych w charakterystyce w kierunku przewodzenia oraz uzyskuje się napięcie przebicia w kierunku wstecznym co najmniej 0,1 Volta. 75
 17. Sposób według zastrz. 1 do 16, **znamienny tym**, że przy natapianiu i dalszym ogrzewaniu stosuje się taką temperaturę oraz czas trwania procesu, że ich iloczyn wynosi co najmniej 10^{-11} cm². 80
 18. Sposób według zastrz. 1 do 17, **znamienny tym**, że na powierzchni wytworzona jest gęstość domieszki wynosząca co najmniej 2×10^{19} a nawet więcej niż 5×10^{19} atomów/cm³. 85
 19. Sposób według zastrz. 1 do 4 i 6 do 13 wytwarzania tranzystora, w którym na jednej stronie elementu półprzewodnikowego znajdują się obok siebie warstwa emitera oraz warstwa powierzchniowa obszaru bazy, **znamienny tym**, że jedną z tych warstw tworzy się przez natapianie i rekrytalizację z wspomnianego materiału kontaktu o własnościach pochłaniających, natomiast do drugiej z tych warstw wprowadza się domieszkę o dużej gęstości przy powierzchni. 90
 20. Sposób według zastrz. 1 do 4 i 6 do 19, wytwarzania tranzystora typu p-n-p, w którym na powierzchni elementu typu p umieszczona jest warstwa bazy typu n przez dyfuzję donoru a w pewnym miejscu tej warstwy bazy umieszczona jest przez stapianie warstwa emitera typu p, **znamienny tym**, że warstwa emitera typu p, tworzy się przez natapianie wspomnianego materiału kontaktu, przez rekrytalizację z tego stopu, a przynajmniej w leżącej obok części powierzchni bazy umieszczona jest wspomniana warstwa powierzchniowa o dużej gęstości domieszki wytworzonej przez dyfuzję. 95
 21. Sposób według zastrz. 20, **znamienny tym**, że warstwa bazy oraz wspomniana warstwa powierzchniowa o dużej gęstości domieszki nanieszone są przed umieszczeniem i natapianiem materiału kontaktu. 100

22. Sposób według zastrz. 20, **znamienny tym**, że dyfuzję warstwy bazy przeprowadza się w dwóch stopniach, przy czym najpierw, przed umieszczeniem i natopieniem materiału kontaktu wdyfundowany zostaje obszar bazy z niższą gęstością domieszki, a w czasie natapiania i dalszego ogrzewania wdyfundowana zostaje w powierzchnię domieszka o wspomnianej dużej gęstości.
23. Sposób według zastrz. 1 do 4 i 6 do 19 wytwarzania tranzystora dyfuzyjnego typu n-p-n, w którym w elemencie półprzewodnikowym posiadającym warstwę typu p, jako obszar bazy, w tę warstwę bazy wtopiona jest w pewnym miejscu warstwa rekrytalizacyjna typu p łącząc warstwę bazy z jej kontaktem do którego dołącza się doprowadzenie a w części graniczącej z obszarem bazy umieszczona jest warstwa emitera typu n przez dyfuzję donoru, **znamienny tym**, że warstwę rekrytalizacyjną typu p wytwarza się przez stapianie i rekrytalizację z wspomnianego materiału kontaktu, a warstwa emitera typu n tworzy się przez dyfuzję donoru o wspomnianej dużej gęstości przy powierzchni.
24. Sposób według zastrz. 23, **znamienny tym**, że materiał przeznaczony do utworzenia warstwy rekrytalizacyjnej umieszcza się w ten sposób, że otacza on wolną część powierzchni półprzewodnika, a warstwę emitera tworzy się przez dyfuzję na tej wolnej części powierzchni.
25. Sposób według zastrz. 23 i 24, **znamienny tym**, że dyfuzję warstwy emitera przeprowadza się całkowicie w czasie natapiania i dalszego ogrzewania materiału kontaktu.

26. Sposób według zastrz. 23 i 24, **znamienny tym**, że warstwa emitera typu n częściowo lub w większej części, nanoszona jest przed nałożeniem i stopieniem materiału kontaktu na obszarze bazy typu p, po czym materiał ten nakłada się na warstwę typu n i wtapia się aż do obszaru bazy typu p.
27. Sposób według zastrz. 1 do 26, **znamienny tym**, że w czasie natapiania i dalszego ogrzewania z otoczenia doprowadza się czynną domieszkę tego typu co warstwa powierzchniowa, aby przeciwdziałać spadkowi gęstości względnie ją podwyższyć.
28. Sposób według zastrz. 1 do 27, **znamienny tym**, że stosuje się materiał kontaktu składający się przynajmniej częściowo z aluminium, w szczególności zawierający co najmniej 3% atomów aluminium.
29. Sposób według zastrz. 28, **znamienny tym**, że materiał kontaktu składa się głównie z aluminium.
30. Sposób według zastrz. 28, **znamienny tym**, że materiał kontaktu zawiera małą domieszkę indu.
31. Sposób według zastrz. 1 do 27, **znamienny tym**, że materiał kontaktu składa się z indu lub stopu indu z galem.
32. Sposób według zastrz. 1 do 31, **znamienny tym**, że jako czynną domieszkę donorową warstwy powierzchniowej stosuje się antymon lub arsen, w szczególności arsen.
33. Sposób według zastrz. 1 do 32, **znamienny tym**, że stosuje się element półprzewodnikowy z germanu.

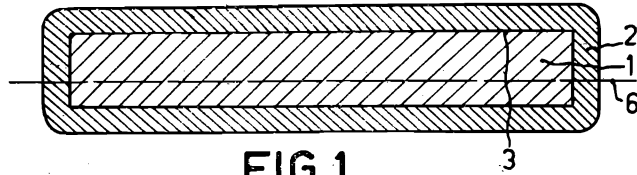


FIG. 1

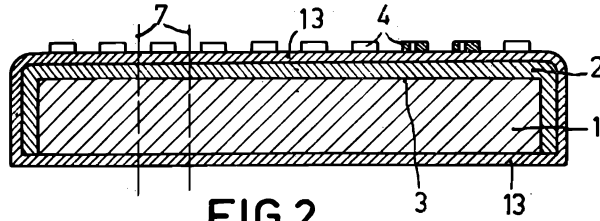


FIG. 2

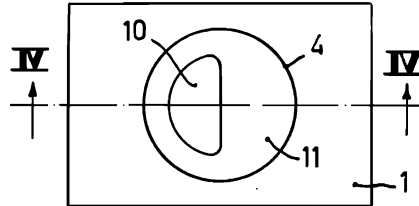


FIG. 3

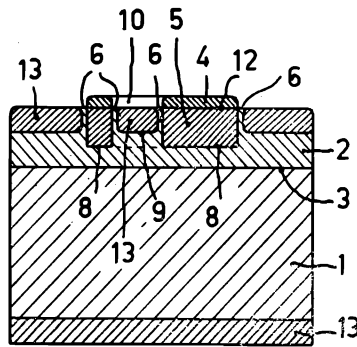


FIG. 4

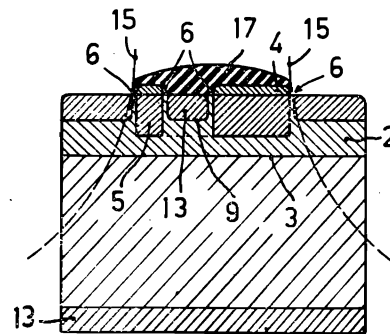


FIG. 5

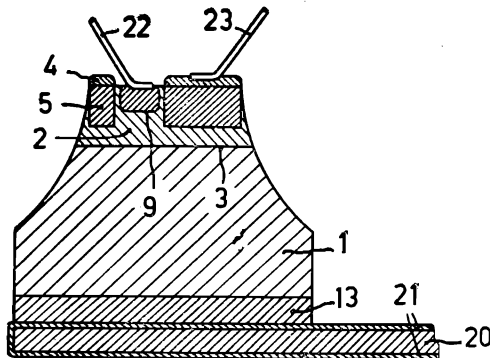


FIG. 6

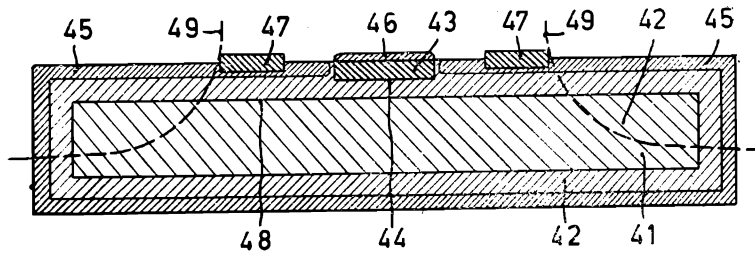


FIG. 7