



Patent dodatkowy
do patentu nr _____

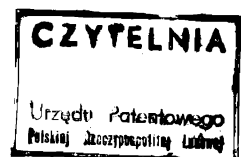
Zgłoszono: 03. 11. 78 (P. 210 682)

Pierwszeństwo: 03. 11. 77 Stany Zjednoczone
Ameryki

Zgłoszenie ogłoszono: 16. 07. 79

Opis patentowy opublikowano: 02. 01. 1983

Int. Cl.² H01L 27/04
H01L 29/76



Twórcy wynalazku: James Theodore Clemens, Dinesh Ashvinikumar Mehta, James Thomas Nelson, Charles Walter Pearce, Robert Ching-I Sun

Uprawniony z patentu: Western Electric Company, Nowy Jork (Stany Zjednoczone Ameryki)

Przyrząd pamięciowy MOS z kanałem typu n

1

Przedmiotem wynalazku jest przyrząd pamięciowy typu MOS z kanałem typu n, zawierający wiele przyrządów MOS, z których każdy zawiera co najmniej jeden obszar typu n zawarty w półprzewodnikowym materiale krzemowym typu p.

Znana jest z opisu patentowego Stanów Zjednoczonych 4 012 757 pamięć MOS o dostępie bezpośrednim. Konstrukcja układu pamięci tego typu jest taka, że prądy upływowe powodują zanikanie magazynowanych ładunków. Ładunki te reprezentują dane wprowadzone do pojemnościowych komórek pamięciowych. W związku z tym w celu zachowania danych wprowadzonych do komórek pamięciowych przez długi okres czasu, konieczne jest zastosowanie okresowych impulsów odczytu i regeneracji.

Pamięci poddawane oddziaływaniu takich okresowych impulsów odczytu i regeneracji są omawiane jako dynamiczne pamięci o dostępie bezpośrednim czyli dynamiczne układy RAM. Ze względu na to, że struktura dynamicznego przyrządu RAM jest prostsza niż struktura statycznego przyrządu RAM i dlatego bardziej pożądana, przy wytwarzaniu takiego dynamicznego układu RAM jest również pożądanym zmniejszenie do minimum zanikania magazynowanych ładunków.

Dłuższy czas zaniku umożliwia zmniejszenie częstotliwości impulsów regeneracji. Dłuższy czas zaniku powoduje również zmniejszenie prawdopodobieństwa utraty danych zapamiętanych podczas

2

okresu pomiędzy dwoma kolejnymi impulsami regeneracji. Wówczas, gdy szybkość zaniku zapamiętanych danych zależy od prądu upływowego w przyrządzie przy polaryzacji w kierunku zaporowym, staje się pożądanym zmniejszenie tego prądu upływowego.

W opisie patentowym Stanów Zjednoczonych nr 3 997 368 jest ujawnione zmniejszenie prądów upływowych złącza p-n w wyniku tłumienia powstawania defektów struktury krystalicznej w pobliżu złącza p-n w materiale półprzewodnikowym poprzez proces pochłaniania. Pochłanianie obejmuje wprowadzenie zniekształcenia sieci krystalicznej w wyniku utworzenia warstwy z naprężeniami na tylnej powierzchni płytki.

Warstwa jest następnie wyżarzana w czasie i temperaturze właściwych do wywołania dyfuzji miejsc powstawania zarodków krystalizacji, stanowiących błędy ułożenia, do obszaru w pobliżu tylnej powierzchni płytki. Dyfuzja miejsc powstawania zarodków krystalizacji w kierunku tylnej powierzchni powoduje tłumienie powstawania błędów ułożenia w przyrządzie.

Procesy pochłaniania podobne do ujawnionych w opisie patentowym Stanów Zjednoczonych nr 3 997 368 były stosowane przy wytwarzaniu zwykłych pamięci dynamicznych. Określono, że dla takich pamięci typowe czasy przechowywania danych leżą w zakresie od 6 do 40 milisekund przy temperaturze złącza 85°C. Określenie „czas prze-

chowywania" odnosi się do okresu czasu, w którym impulsy regeneracji mogą być dostarczane bez utraty informacji z komórek pamięciowych.

Oczywiście dla dowolnej liczby pamięci badane czasy przechowywania zmieniają się w tym zakresie. Przez określenie „typowe” odnoszące się do wartości czasu przechowywania należy rozumieć wartości, które dzielą dowolną liczbę przyrządów na dwie w zasadzie równe grupy przyrządów, jedna grupa z dłuższymi, a druga z krótszymi czasami przechowywania. W związku z tym okazuje się pożądanym wytwarzanie pamięci dynamicznych z typowymi czasami przechowywania, korzystnie powyżej wymaganego minimalnego czasu przechowywania.

W celu uzyskania zadawalającej wydajności przy wytwarzaniu przyrządów pamięciowych, pożądanym jest, żeby w zasadzie wszystkie takie przyrządy spełniały warunek wymaganego minimalnego czasu przechowywania.

Jak przedstawiono w opisie patentowym Stanów Zjednoczonych nr 4 012 757, pamięci MOS o bezpośrednim dostępie mogą być wytworzone w podłożu półprzewodnikowym, które zawiera część, na której nastąpił wzrost warstwy epitaksjalnej, w której są wytworzone czynne komórki pamięci. Jednakże nie są znane takie pamięci, które stałyby się powszechne.

Uważa się, że ten przypadek ma miejsce, ponieważ dotychczas żadne racjonalnie oczekiwane korzyści takiej struktury nie mogły przeważać dodatkowego skomplikowania i kosztów procesu w związku z dodaniem warstwy epitaksjalnej do podłoża krzemowego.

Znane dynamiczne układy RAM z kanałem typu n były wytwarzane przy zastosowaniu konwencjonalnych technik wytwarzania na jednej powierzchni krzemowej płytki domieszkowej typu p.

Znane jest na przykład, że istnieje związek pomiędzy czasem życia nośników mniejszościowych w materiale półprzewodnikowym i ostatecznymi czasami przechowywania komórek pamięciowych utworzonych na jednej powierzchni płytki półprzewodnikowej. Dla przykładu, w przypadku znanej struktury układu pamięciowego, czasy życia nośników mniejszościowych w krzemowym materiale podłoża, rzędu 10 do 50 mikrosekund, odpowiadają w przybliżeniu typowym czasom przechowywania w ukończonych pamięciach, rzędu dwie do dziesięciu milisekund. Etapy wytwarzania takiej znanej pamięci zawierają etapy pochłaniania, podobne do etapów ujawnionych w opisie patentowym Stanów Zjednoczonych nr 3 997 368.

Według wynalazku przyrząd pamięciowy MOS zawiera obszary typu n leżące w warstwie epitaksjalnej typu p wytworzonej na podłożu półprzewodnikowym typu p, przy czym podłoże półprzewodnikowe ma znacznie większą koncentrację domieszek niż warstwa epitaksjalna.

Według wynalazku złącza obszarów typu n z warstwą epitaksjalną typu p są przystosowane do zachowania zubożonego obszaru podczas działania i warstwa epitaksjalna ma grubość, która jest ograniczona dla obejmowania głębokości złącz i obejmowania w zasadzie nie mniej niż grubość zubo-

żonego obszaru w warstwie, gdy złącza są całkowicie spolaryzowane w kierunku zaporowym.

Według wynalazku warstwa epitaksjalna ma taką własność, że droga dyfuzji elektronów w warstwie jest co najmniej 500 mikrometrów. Grubość warstwy epitaksjalnej jest równa nie więcej niż jedna trzydziesta drogi dyfuzji elektronów w warstwie.

W przyrządzie według wynalazku prąd upływowy przy polaryzacji w kierunku zaporowym złącza podczas działania przy temperaturach powyżej 50°C jest przewyższony przez dyfuzję nośników mniejszościowych. Koncentracja domieszek w podłożu półprzewodnikowym jest co najmniej 100 razy większa niż koncentracja warstwy epitaksjalnej.

Podłoże półprzewodnikowe ma koncentrację domieszek równą co najmniej 10^{16} atomów domieszki typu p na centymetr sześcienny i warstwa epitaksjalna ma koncentrację domieszek zawartą w zakresie 10^{14} do 10^{16} atomów domieszki typu p na centymetr sześcienny. Warstwa epitaksjalna jest warstwą uzyskaną przez wzrost w wyniku ogrzewania półprzewodnika w grafitowym elemencie susceptancyjnym pokrytym warstwą krzemu.

Prądy upływowe przy polaryzacji w kierunku zaporowym w układach półprzewodnikowych, takich jak dynamiczne pamięci MOS o dostępie bezpośrednim, mogą zostać zmniejszone, gdy w układach zaczną dominować prądy dyfuzji przy normalnych temperaturach roboczych. Wówczas staje się możliwe ograniczenie prawdopodobieństwa wystąpienia nośników mniejszościowych, które dyfundują przez materiał i poprzez złącza spolaryzowane w kierunku zaporowym bez szkodliwego wpływu na pożądaną charakterystyki złącza.

Według wynalazku przyrząd półprzewodnikowy o charakterystykach prądów upływowych przy polaryzacji w kierunku zaporowym, mających korzystnie małe wartości, w złączach p-n zawiera pojedyncze, krzemowe podłoże krystaliczne. Podłoże ma część o stosunkowo dużej koncentracji domieszki (np. więcej niż 10^{16} domieszek typu p na centymetr sześcienny). Na części podłoża została wytworzona warstwa epitaksjalna o stosunkowo mniejszych koncentracjach domieszek (np. zwykle 2×10^{15} domieszek typu p na centymetr sześcienny). Warstwa epitaksjalna ma grubość równą części drogi dyfuzji nośników mniejszościowych w strukturze warstwowej.

Struktura warstwowa jest zwykle przygotowana tak, że występujące w niej nośniki mniejszościowe mają średnią drogę dyfuzji równą co najmniej około 500 mikrometrów (1 mikrometr jest równy 10^{-6} metra), która odpowiada skutecznemu czasowi życia dla takich nośników mniejszościowych, równemu około 500 mikrosekund.

Ponadto warstwa epitaksjalna ma tę własność że względu na miejsce wytwarzania nośników mniejszościowych liczba takich miejsc jest tak mała, że w dziedzinie wytworzonej w warstwie epitaksjalnej przeważa w zasadzie prąd dyfuzji w zakresie normalnych temperatur roboczych przyrządów w podłożu.

Złącze p-n całkowicie wytworzone w warstwie epitaksjalnej będzie miało bardzo mały wsteczny

prąd upływowy. Zgodnie z tym zapewniona jest dynamiczna komórka pamięciowa o dostępie bezpośrednim, wytworzona w warstwie epitaksjalnej, z zaskakująco długim czasem przechowywania, co wymaga ważnych dodatkowo wysiłków przy procesie.

Ponadto, jeżeli złącza p-n takiej komórki są ograniczone do obszaru w pobliżu powierzchni warstwy i całkowicie wewnątrz tej warstwy, charakterystyki przebicia i pojemności takich złączy pozostają w zasadzie charakterystykami zwykle odpowiadającymi mniej domieszkowanej warstwie zamiast charakterystyk związanych z koncentracjami domieszki w części podłoża.

Wynalazek jest szczególnie korzystny z punktu widzenia dynamicznych pamięci MOS o dostępie bezpośrednim. Wynalazek zostanie opisany odnośnie przyrządu półprzewodnikowego tego typu. Jednakże nie oznacza to, że wynalazek nie ma szerszego zastosowania.

Ogólnie wynalazek dotyczy różnych elementów półprzewodnikowych, które wymagają, żeby prąd upływowy w złączach p-n spolaryzowanych w kierunku zaporowym utrzymywał stosunkowo małą wartość.

Możliwa jest struktura półprzewodnikowa, która powoduje wyraźny, stopniowy wzrost czasów przechowywania dla komórek pamięciowych dynamicznego układu RAM. Jednakże ten wzrost okazuje się osiągalny jedynie wówczas, gdy materiał półprzewodnikowy, w którym są umieszczone komórki pamięciowe, ma własność właściwą do ograniczenia dowolnych wstecznych prądów upływowych, co jest znane jako „składowa dyfuzji” prądów.

Wymagana „własność” czyli cała krystaliczna struktura jest strukturą o najniższym poziomie substancji zanieczyszczających lub szkodliwych domieszek, który jest osiągalny przy pomocy obecnych technik wytwarzania i urządzeń. Te szkodliwe domieszki zawierają na przykład takie elementy, jak żelazo, nikiel, miedź, wapń i złoto.

Szkodliwe domieszki w przypadku tego wynalazku to takie, które mają poziom energetyczny w przybliżeniu w połowie pomiędzy pasmem walencyjnym i pasmem przewodzenia krzemu. W wyniku występowania ich w sieci krystalicznej powstają miejsca wytwarzania nośników mniejszościowych.

Uważa się również, że powodują one powstawanie błędów ułożenia i innych defektów krystalicznych, które są znane jako zwiększające wsteczne prądy upływowe, gdy pojawiają się one w pobliżu złącza p-n.

Przy braku takich szkodliwych domieszek okazuje się, że dyfuzja nośników mniejszościowych, np. elektronów w materiale typu p, staje się mechanizmem sterującym, w wyniku którego mogą pojawić się wsteczne prądy upływowe. To zjawisko, mianowicie występowanie struktury półprzewodnikowej, w której przeważa najczęściej prąd dyfuzji w zakresie temperatur roboczych wytworzonego w niej przyrządu, jest ważnym aspektem tego wynalazku.

Prądy dyfuzji nośników mniejszościowych są wysoce zależne od temperatury. Ostry wzrost wstecz-

nych prądów upływowych na złączach diodowych był rozpatrywany w przeszłości jako zjawisko w wysokiej temperaturze. Zmiana zależności temperaturowej wstecznego prądu upływowego jest uważana za przejście od wytwarzania przeważającego prądu do dyfuzji przeważającego prądu upływowego, gdy temperatura badanego przyrządu wzrasta.

Jednakże gdy przyrząd jest wykonany według tego wynalazku, prąd upływowy przy polaryzacji w kierunku zaporowym złącza p-n korzystnie wykazuje zależność temperaturową mechanizmu prądu dyfuzji w części rozpatrywanego zakresu temperatur roboczych, zawierającej wysokie temperatury. Temperatury robocze mogą być zawarte w zakresie od normalnej temperatury pokojowej do temperatury ponad 90°C.

W przypadku omawiania części wysokotemperaturowej zakresu temperatur, rozumie się przez nią zwykle temperatury wyższe niż 70°C. Zwykle część wysokotemperaturowa zakresów temperatur jest od 70°C do 90°C. Jednakże w czystych strukturach krystalicznych może już przeważać prąd upływowy przy polaryzacji w kierunku zaporowym w wyniku prądów dyfuzji przy temperaturach powyżej 40°C. Taka struktura z przeważającym prądem dyfuzji wymaga, żeby szkodliwe domieszki były w zasadzie usunięte ze struktury, w której jest wytworzony przyrząd.

Zalecane wykonanie wynalazku jest dynamicznym przyrządem pamięciowym o dostępie bezpośrednim z kanałem typu n, który to przyrząd jest wytworzony w epitaksjalnym podłożu krzemowym typu p. Podłoże jest wykonane z materiału, który jest korzystnie domieszkowany borem (bor jest domieszką typu p) aż do stosunkowo dużej koncentracji, korzystnie 10^{19} atomów domieszki na centymetr sześcienny.

Na podłożu krzemowym jest wytworzona warstwa epitaksjalna, również z krzemu domieszkowanego borem. Jednakże w zalecanym wykonaniu warstwa epitaksjalna jest domieszkowana jedynie do koncentracji około 2×10^{15} atomów domieszki na centymetr sześcienny. W tej właśnie warstwie epitaksjalnej są wytwarzane elementy komórek pamięciowych.

W przypadku gdy w opisanej strukturze przyrządu epitaksjalnego przeważa prąd dyfuzji, charakterystyki złączy, takie jak charakterystyki pojemności, napięcie progowe i przebicia, dla elementów komórek pamięciowych są określone przez poziom domieszkowania w warstwie epitaksjalnej.

Z drugiej strony wsteczne prądy upływowe w złączach w elementach są ograniczone w wyniku zmniejszonego prawdopodobieństwa występowania nośników mniejszościowych, np. elektronów, na jednej drodze dyfuzji od złącza, w wysoce domieszkowanym podłożu. Pamięć w takiej strukturze w wyniku tego ma optymalne charakterystyki pojemności, napięcie progowe i przebicia oraz ponadto charakterystyki wstecznych prądów upływowych o małych wartościach, które odpowiadają korzystnie długim czasom przechowywania dla każdej z poszczególnych komórek w pamięci.

Jednakże korzystne wyniki uzyskane w opisanej strukturze znikają gdy poziom szkodliwych domie-

szek jest taki, że przyrząd, np. pamięć w warstwie epitaksjalnej, jest w znacznym stopniu sterowany z punktu widzenia jego charakterystyk wstępnego prądu upływowego przez nośniki mniejszościowe wytwarzane w pobliżu złącz.

W związku z tym staje się ważne wytworzenie pamięci w materiale mającym opisaną „własność” np. poziom szkodliwych domieszek, który jest tak mały, że poziom domieszek jest trudny do pomiaru, nawet przy zastosowaniu obecnych technik. Okazuje się jednakże, że zalety struktury uzupełniają się nawzajem tak, że struktura ma charakterystyki, które przyczyniają się do pochłonięcia szkodliwych domieszek w podłożu krzemowym, tak że materiał epitaksjalny dąży do osiągnięcia korzystnie małego poziomu takich szkodliwych domieszek.

Przedmiot wynalazku jest przedstawiony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia przekrój poprzeczny części płytki półprzewodnikowej, pokazujący warstwę epitaksjalną na podłożu o grubości proporcjonalnej względem podłoża, przydatny do wyjaśnienia wynalazku, fig. 2 — powiększony widok części epitaksjalnej, pokazanej na fig. 1 i wskazujący różne obszary domieszkowane dla utworzenia złącz p-n o małym prądzie upływowym, według wynalazku, fig. 3 — schemat ilustrujący elektryczne działanie struktury z fig. 2, fig. 4 — schemat ilustrujący zalecane koncentracje boru w materiale półprzewodnikowym płytki z fig. 1, fig. 5 — inną i obecnie zalecaną strukturę, w której wynalazek jest zastosowany w celu uzyskania korzystnych charakterystyk wstępnego prądu upływowego i fig. 6 — schemat blokowy korzystnych etapów procesu wytwarzania przyrządu półprzewodnikowego według zalecanego wykonania wynalazku.

Zostanie teraz opisane podłoże półprzewodnikowe.

Na figurze 1 jest pokazana część płytki półprzewodnikowej, która jest oznaczona ogólnie numerem 11. Płytkę 11 jest pokazana w przekroju poprzecznym w celu pokazania względnych grubości podłoża 12 płytki 11 i warstwy epitaksjalnej 14, która jest wytworzona na jednej powierzchni płytki. Podłoże krzemowe 12 ma grubość w przybliżeniu 500 mikrometrów (500×10^{-6} metra).

W porównaniu z podłożem krzemowym 12 grubość warstwy epitaksjalnej jest korzystnie równa jedynie dziesięciu do piętnastu mikrometrów. W wyniku tego fig. 1 pokazuje w znacznie powiększonej skali przybliżone proporcje grubości podłoża krzemowego do grubości warstwy epitaksjalnej płytki 11.

Początkowy materiał podłoża 12 płytki 11 jest materiałem krzemowym typu p+ o orientacji krystalograficznej (100). Domieszkowanie typu p+ jest domieszkowaniem boru przy poziomie co najmniej 10^{18} atomów na centymetr sześcienny. Poziom domieszkowania dla materiału początkowego, równy co najmniej 10^{18} atomów boru na centymetr sześcienny, okazał się granicą progową w celu uzyskania pełnych korzyści z wynalazku w związku z domieszkowaniem warstwy epitaksjalnej 14.

W przypadku, gdy podłoże krzemowe 12 było domieszkowane do co najmniej takiego poziomu, warstwa epitaksjalna 14 mogła wzrastać przy niemożli-

wych do pomiaru małych koncentracjach tych szkodliwych domieszek, takich jak żelazo, nikiel, miedź, wapń lub złoto.

Z drugiej strony, gdy poziom domieszkowania boru spadał poniżej 10^{18} atomów na centymetr sześcienny, okazało się, że warstwa epitaksjalna wykazywała oznaki wzrastająco większych koncentracji szkodliwych domieszek. Większe koncentracje szkodliwych domieszek są wywołane przez odpowiednio krótsze, skuteczne czasy życia nośników mniejszościowych.

W wyniku tego możliwe jest w bardzo czystym procesie uniknięcie w rzeczywistości wprowadzania dowolnej ze szkodliwych domieszek do struktury półprzewodnikowej w celu uzyskania tych samych charakterystyk o długim skutecznym czasie życia nawet przy mniejszym poziomie domieszkowania niż 10^{18} atomów na centymetr sześcienny w podłożu.

W zalecanym wykonaniu koncentracja boru w podłożu krzemowym 12 jest w wyniku tego około 10^{18} atomów na centymetr sześcienny. Uważa się, że przy tym poziomie domieszkowania w opisanym procesie, podłoże krzemowe działa jako bariera lub pułapka dla szkodliwych domieszek dyfundujących przez płytkę 11.

Okazuje się, że wysoce domieszkowane podłoże krzemowe ma zwiększoną pojemność do wyłapywania dowolnych szkodliwych domieszek. Wyjaśnienie takiej zwiększonej pojemności do wyłapywania domieszek nie jest udowodnione. Jednakże zaproponowano kilka teorii, które mogą dać pewien pogląd.

Jeden mechanizm takiej bariery może być wynikiem prawdopodobnych wiązań jonowych pomiędzy szkodliwymi domieszkami i innymi atomami w domieszkowanej, półprzewodnikowej strukturze krystalicznej. Uważa się, że takie wiązania tłumaczą co najmniej częściowo zatrzymywanie szkodliwych domieszek w podłożu krzemowym 12, gdy dyfundują one przez strukturę. Jednakże takie wiązanie jonowe, w wyniku którego domieszki dążą do zatrzymania się w wysoce domieszkowanej strukturze podłoża krzemowego, może być jednym z kilku mechanizmów wywołujących pochłanianie szkodliwych domieszek.

Uważa się, że inny mechanizm wywołuje odkształcenie sieci krystalicznej, które zostało wykryte przy powierzchni pomiędzy podłożem krzemowym 12 i warstwą epitaksjalną 14. Odkształcenie jest wynikiem różnych poziomów domieszkowania w podłożu krzemowym 12 i warstwie epitaksjalnej 14.

Różne poziomy domieszkowania powodują różnice w odległościach w sieci krystalicznej podłoża krzemowego 12 i warstwy epitaksjalnej, w wyniku czego pojawiają się dyslokacje niedopasowania przy odkształceniu sieci krystalicznej. Uważa się, że te dyslokacje niedopasowania przyczyniają się do wyłapywania lub pochłaniania szkodliwych domieszek z warstwy epitaksjalnej.

Znane jest pochłanianie jako wynik dyslokacji niedopasowania, wprowadzanych na jednej powierzchni płytki. Jednakże w strukturze płytki według wynalazku płaszczyzna dyslokacji niedopasowania jest usytuowana przy powierzchni pomiędzy

podłożem krzemowym 12 i warstwą epitaksjalną 14.

Uważa się, że sąsiedztwo dyslokacji niedopasowania czynnych złącz p-n w warstwie epitaksjalnej 14 wpływa na skuteczność pochłaniania podczas wszystkich etapów termicznych procesu. Uważa się, że ten wpływ istnieje większy niż w procesie pochłaniania z tylnej powierzchni.

Należy jednakże rozumieć, że wynalazek nie jest oparty na żadnym z mechanizmów lub teorii, które były tutaj omawiane. Teorie te są jedynie zaproponowane jako prawdopodobne wyjaśnienia wyników.

Przy takiej obserwowanej zwiększonej pojemności utrzymującej szkodliwe domieszki w podłożu krzemowym, gdy znajdują się one w płytce i przy różnych środkach ostrożności wprowadzonych w celu zapobiegania dyfuzji szkodliwych domieszek do płytki 11 podczas procesu wytwarzania przyrządów półprzewodnikowych, warstwa epitaksjalna 14 zostaje w zasadzie pozbawiona takich domieszek. W wyniku tego struktura warstwowa czyli płytka 11 ma charakterystyki o stosunkowo długich czasach życia nośników mniejszościowych.

Warstwa epitaksjalna wzrasta w celu osiągnięcia poziomu domieszkowania około 2×10^{15} atomów boru na centymetr sześcienny. Poziom domieszkowania określa na przykład pojemność dowolnych złącz w materiale.

Zwykle przy powierzchni pomiędzy warstwą epitaksjalną i pierwotnym podłożem występuje obszar o stopniowej koncentracji spowodowanej dyfuzją boru na zewnątrz z podłoża do warstwy epitaksjalnej podczas wzrostu warstwy epitaksjalnej. Jednakże w warstwie epitaksjalnej o grubości około 10 do 15 mikrosekund, takiej jaka jest typowa w zalecanym wykonaniu, to zjawisko jest bez znaczenia.

Okazuje się, że wytworzona struktura warstwowa opisanego podłoża krzemowego i warstwy epitaksjalna zwykle mają czas życia elektronów co najmniej 500 mikrosekund. Taka wartość odpowiada drodze dyfuzji nośników mniejszościowych, mianowicie elektronów, o wartości około 500 mikrometrów. Grubość warstwy epitaksjalnej 14 jest w związku z tym nie większa niż jedna trzydziesta drogi dyfuzji elektronów.

Należy zgodnie z tym ocenić, że w objętości, w której można oczekiwać dyfuzji wolnych elektronów poprzez złącze prostujące jako skutecznego prądu upływowego takiego złącza, materiał jest w wielkiej mierze wysoce domieszkowanym materiałem podłoża. W tym wysoce domieszkowanym podłożu krzemowym wolnych elektronów jest kilka w porównaniu z nieznacznie domieszkowaną warstwą epitaksjalną, w której wolne elektrony są bardziej liczne, będąc odwrotnie proporcjonalnymi do poziomu domieszkowania.

Tak więc w warstwie epitaksjalnej pozbawionej defektów mierzone czasy życia wytwarzanych nośników odzwierciedlają własności ograniczania prądu dyfuzji struktury. Jednakże w tym samym czasie złącze jest umieszczone w końcowym, nieznacznie domieszkowanym materiale. Jest to ten nieznacznie domieszkowany materiał, który określa

korzystne charakterystyki przebicia i małą pojemność elementów MOS typu n w warstwie.

Zostanie teraz opisana struktura przyrządu. Omawiając fig. 2, jest na niej pokazana w powiększonej skali część warstwy epitaksjalnej 14 wraz z częścią sąsiedniego podłoża krzemowego 12. Do warstwy epitaksjalnej 14, do obszarów przeciwnych, są wprowadzone donory, czyli domieszki typu n, takie jak atomy fosforu lub arsenu, na stosunkowo małą głębokość (w przybliżeniu 0,5 do 2 mikrometry).

Selektywna przewaga domieszek typu n przyczynia się do wytworzenia obszarów 22, 23 i 24 typu n przy powierzchni warstwy epitaksjalnej 14 i powoduje powstanie złącz p-n odpowiednio 25, 26 i 27. Selektownie wytworzone warstwy tlenków i dodatkowe elementy przewodzące naniesione na dielektryczne warstwy tlenkowe tworzą czynne przyrządy MOS opisanego tutaj dynamicznego układu RAM z kanałem typu n.

W szczególności są pokazane tranzystory 28 i 29 z fig. 3. Przyrządy te i ich struktury połączeń wzajemnych mogą być wytworzone zgodnie ze znanymi etapami procesu. Ważne jest jednakże zaznaczenie, że żadna z czynnych struktur MOS, zawierających złącza p-n, nie rozciąga się poza obszary bliskie górnej powierzchni krzemowej warstwy epitaksjalnej. Cała struktura przyrządu każdej komórki pamięciowej jest umieszczona w pobliżu górnej powierzchni warstwy epitaksjalnej 14.

W rzeczywistości optymalna grubość warstwy epitaksjalnej 14 ma wartość, która przekracza jedynie nieznacznie głębokość złącza p-n od górnej powierzchni warstwy, dodaną do oczekiwanej głębokości zubożonego obszaru wokół złącza. Określenie głębokości zubożonego obszaru jest dobrze znane. Zależy ono oczywiście od domieszkowania materiału półprzewodnikowego, np. warstwy epitaksjalnej 14 oraz od maksymalnego napięcia polaryzacji w kierunku zaporowym, które ma być dostarczane do złącza. Taka grubość warstwy 14 nadal umożliwia to, że złącze ma charakterystyki nieznacznie domieszkowanej warstwy 14, podczas gdy równocześnie zwiększa ona do maksimum oddziaływanie podłoża krzemowego wraz z jego wolnymi elektronami o znacznie zmniejszonej liczbie.

Tranzystory 28 i 29 z fig. 3 należą do dwóch sąsiednich komórek pamięciowych, które są oznaczone ogólnie numerami 30 i 31 na fig. 2 i 3. Drugi element każdej z komórek 30 i 31 jest kondensatorem, odpowiednio 32 i 33 z fig. 3.

Płytki 34 kondensatora 32 z fig. 3 jest częścią warstwy epitaksjalnej 14. Podobnie płytka 35 kondensatora 33 jest krzemową warstwą epitaksjalną 14, w pobliżu obszaru 24. Płytki 36 i 37 poszczególnych kondensatorów 32 i 33 są oddzielone od warstwy epitaksjalnej 14 przez cienkie warstwy 38 i 39 tlenku krzemu.

Płytki 36 i 37 są korzystnie wytworzone z krzemu polikrystalicznego wraz z łączącymi przedłużeniami 41 i 42 dochodzącymi do wspólnej płaszczyzny o stałym napięciu. Elektrody sterujące 43 i 44 tranzystorów 26 i 27 są również wytworzone z krzemu polikrystalicznego. Elektrody sterujące 43 i 44 są również, podobnie jak płytki 36 i 37, oddzielone

od krzemowej warstwy epitaksjalnej 14 przez cienkie warstwy 46 i 47 tlenku krzemu.

Grubości cienkich warstw 38, 39, 46 i 47 są dobrane tak, by miały wartości leżące w zakresie od około 200 Å do 2000 Å. Zwykle są obecnie zalecane grubości około 900 Å. Grubości takich cienkich warstw tlenku są w związku z tym równe jedynie około jednej dziesiątej grubości grubszych warstw tlenkowych 48, których wartości korzystnie leżą w zakresie 1 mikrometra.

Porównując głębokości złącz uzyskanych przy dyfuzjach typu n leżą również około 0,8 mikrometrów poniżej górnej powierzchni warstwy epitaksjalnej 14.

Elektrody sterujące 43 i 44 tworzą integralnie linie selekcji słów, które rozciągają się prostopadle do fragmentu z fig. 2. Przedłużenia 41 i 42 prowadzą dalej w celu realizacji wyprowadzeń z komórek pamięciowych 30 i 31, oddzielonych od warstwy epitaksjalnej 14 przez warstwy tlenkowe 48.

Układ metalizacji 49 drugiego poziomu, korzystnie z glinu jest oddzielony od elektrod sterujących i płytek kondensatorów przez warstwę dielektryczną 50. Selektywne otwory 51 w warstwie 50 umożliwiają stykanie się układu 49 z obszarem 23.

Jak można zobaczyć na fig. 2, poprzez każdy otwór stykają się dwie komórki pamięciowe 30 i 31. Przewody układu metalizacji 49 tworzą linie wyznaczania bitów przyrządu pamięciowego. Górna powierzchnia komórek 30 i 31 jest pasywowana przez górną warstwę dielektryczną 52.

Figura 4 przedstawia typowy przebieg koncentracji w warstwie epitaksjalnej 14, podłożu krzemowym 12 i obszarze łączącym pomiędzy warstwą epitaksjalną i podłożu krzemowym.

W przypadku gdy warstwa epitaksjalna 14 wrażliwa na gorze wysoce domieszkowanego krzemu, wykrywa się pewną dyfuzję domieszek borowych na zewnątrz z podłoża krzemowego. Bor dyfunduje do warstwy epitaksjalnej, jednakże szybkość wzrostu warstwy epitaksjalnej przekracza szybkość dyfuzji boru na zewnątrz z podłoża krzemowego. W wyniku tego koncentracja boru w warstwie epitaksjalnej szybko ustala się na wymaganej wartości w przybliżeniu równej 2×10^{15} atomów boru na centymetr sześcienny.

Trzy porównaniu przebiegu koncentracji domieszek z naniesioną częścią płytki 11, zawierającą jeden z wysoce domieszkowanych obszarów typu n w celu odniesienia, jest widoczne, że czynne obszary i złącza p-n są wytworzone całkowicie w krzemie posiadającym jednorodną koncentrację domieszek.

Figura 5 odnosi się do odmiennej pamięci, w której może być korzystnie zastosowany wynalazek. Upřednio omawiany opis patentowy nr 4 012 757 ujawnia na przykład połączone dren i obszar kondensatora. Fig. 5 przedstawia również wykonanie pamięci z połączonymi drenem i obszarem kondensatora 34 lub 35. Takie wykonanie przyczynia się do zaoszczędzenia przestrzeni w układzie komórek pamięciowych 30 i 31. Okazuje się, że pamięci o większej pojemności np. 16384 bitowe w porównaniu z 4096 bitowymi są szczególnie korzystne przy wykorzystaniu niniejszego wynalazku, gdy

fizyczne zaprojektowanie komórek na przykład ze zmniejszoną pojemnością pamięciową powoduje skrócenie czasów przechowywania.

Wykonanie z fig. 5 reprezentuje taką pamięć. Oznaczenia numerowe określające podobne elementy funkcjonalne pozostały takie same jak na fig. 2 i 3.

Jednakże fragment z fig. 5 z przekrojem poprzez dwie komórki pamięciowe 30 i 31 różni się od fragmentu z fig. 2 ze względu na przesunięty układ sąsiednich komórek 30 i 31.

Ponadto obszar 23, uzyskany w wyniku implantacji arsenu, rozciąga się prostopadle do płaszczyzny tego fragmentu w celu działania jako linia 49 selekcji bitów. Elektrody sterujące 43 i 44 są wytworzone z krzemu polikrystalicznego, lecz ich wspólne przedłużenie w postaci linii 55 selekcji słów jest teraz wytworzone z glinu. Styk linii 55 selekcji słów z elektrodą sterującą 44 nie jest pokazany, ponieważ występuje on w położeniu przesuniętym względem płaszczyzny przekroju. Poszczególne płytki 36 i 37 kondensatora leżą prostopadle do fragmentu przedłużeń 41 i 42 prowadzących do wspólnego źródła stałego napięcia.

Warstwy dielektryczne 56 i 57 oddzielają płytki 36 i 37 kondensatora od sąsiednich przewodów elektrod sterujących, odpowiednio 43 i 44.

Sposób działania struktur pamięciowych, podobnych do ujawnionych tutaj struktur, jest dobrze znany w stanie techniki. Wzrost czasów życia komórek okazuje się wyraźnym odchyleniem, gdy opisana struktura pamięciowa może działać jako struktura ze sterowanym prądem dyfuzji. W tym sposobie działania prądu upływowe stają się odwrotnie proporcjonalne do koncentracji domieszek w materiale półprzewodnikowym, w którym są umieszczone badane złącza.

Zostanie teraz opisane, w jaki sposób jest przeprowadzane usuwanie szkodliwych domieszek.

Odkryto, że pojemność podłoża krzemowego 12 wysoce domieszkowanego dla wyłapywania szkodliwych domieszek, przy zastosowaniu ulepszonego, naniesionego, mniej domieszkowanego materiału jest mimo to ograniczona.

Jest w związku z tym pożądane zmniejszenie do minimum od początku poziomu szkodliwych domieszek, które są wprowadzane do płytki krzemowej 11. Podczas procesu wzrostu warstwy epitaksjalnej 14, szkodliwe domieszki są wprowadzane do układu poprzez zanieczyszczone gazy. Jednakże poziom szkodliwych domieszek wprowadzanych z doprowadzanych gazów jest mały.

Ogólnie doprowadzane gazy są wystarczająco czyste tak, że mogą być one przeważnie jako źródło zanieczyszczeń lub szkodliwych domieszek.

Jednakże może być przedstawione więcej znaczące, prawdopodobne źródło szkodliwych domieszek. Odkryto, że w przypadku, gdy płytki 11 są ogrzewane w celu naniesienia warstwy epitaksjalnej 14, domieszki mogą łatwo wędrować od elementu susceptancyjnego 63, pokazanego na fig. 1, przez obszar łączący 64 pomiędzy płytką 11 i elementem przewodzącym 63. Jest w związku z tym pożądane wyeliminowanie dyfuzji szkodliwych domieszek z elementu susceptancyjnego 52. Odkryto na przykład, że elementy susceptancyjne pewnych

typów są bardziej podatne na zachowywanie szkodliwych domieszek niż inne.

Elementy susceptancyjne, które okazały się szczególnie korzystne, są wykonane z grafitu pyrolitycznego. Poziomy domieszek w elementach susceptancyjnych z grafitu były wystarczająco małe dla umożliwienia ich wykorzystania w celu uzyskania typowych czasów życia w strukturze warstwowej, większych niż 500 mikrosekund.

Przenoszenie szkodliwych domieszek z elementu susceptancyjnego 63 do płytek 11 następuje w wyniku bezpośredniego styku pomiędzy płytkami 11 i elementem susceptancyjnym 63 podczas wzrostu warstwy epitaksjalnej 14 na każdej z płytek 11.

Przed wzrostem warstwy epitaksjalnej 14 o wymaganej koncentracji boru 2×10^{15} atomów na centymetr sześcienny, samodomieszkowanie powinno być korzystnie ograniczone. To samodomieszkowanie jest zjawiskiem, w wyniku którego warstwa epitaksjalna 14 przyjmuje domieszki z podłoża krzemowego poprzez otoczenie gazowe płytek 11. Elementy boru dyfundują na zewnątrz z podłoża krzemowego do atmosfery gazowej reaktora i następnie są ponownie osadzone w strukturze krystalicznej warstwy krystalicznej 14 każdej z płytek.

W celu sterowania dyfuzją domieszek boru na zewnątrz z podłoża krzemowego 12, warstwa 66 krzemu polikrystalicznego o dużej czystości jest korzystnie nanoszona na powierzchnię elementu susceptancyjnego 63 aż do uzyskania grubości w przybliżeniu dwa do trzech mikrometrów. Płytki 11 są następnie utrzymywane na powierzchni pokrytego elementu susceptancyjnego 63.

Na figurze 6 jest pokazany schemat blokowy korzystnych etapów procesu wytwarzania przyrządu półprzewodnikowego według zalecanego wykonania wynalazku. Najpierw następuje etap 1 nanoszenia elementu susceptancyjnego.

Podczas etapu 2 ogrzewania wstępnego płytek, płytki 11 są ogrzewane do temperatury w przybliżeniu 1100°C w atmosferze wodoru. W tej temperaturze bor dąży do wyparowania z powierzchni płytki i następnie jest wprowadzany kwas chlorowodorowy w postaci gazu na okres czasu równy pięć minut i podczas etapu 3 trawienia zostaje wytrawione z jego powierzchni w przybliżeniu 0,5 mikrometra materiału krzemowego. Trawienie następuje znacznie szybciej niż parowanie atomów boru z krzemu. Etap trawienia jest wprowadzony w celu udoskonalenia. Doświadczenia wykazały, że bez etapu trawienia, w warstwie epitaksjalnej pojawia się duża liczba defektów.

Wówczas, gdy płytki pozostają na elemencie susceptancyjnym, w reaktorze jest przeprowadzany etap 4 ochładzania płytek, temperatura jest wolno obniżana do około 1040°C podczas okresu czasu w przybliżeniu jedna do dwóch minut. Po tym okresie zaczyna się etap 5 epitaksji w postaci procesu dwuchlorosilanowego wzrostu warstwy epitaksjalnej. Głównym gazem nośnym jest wodór z gazami domieszkowymi wprowadzonymi w bardzo małych ilościach.

Jest pożądana regulacja tych ilości w celu uzyskania dokładnych poziomów domieszkowania w warstwach epitaksjalnych. Nawet w idealnych wa-

runkach dyfuzja na zewnątrz z wysoce domieszkowanego podłoża krzemowego 12 ma pewien wpływ na poziom domieszkowania warstwy epitaksjalnej.

Dalszy etap 6 wytwarzania przyrządu dotyczy wytwarzania komórek pamięciowych MOS 30 i 31 w warstwie epitaksjalnej 14. W warstwie epitaksjalnej 14 obszary 22, 23 i 24 o przeciwnym typie przewodnictwa są wytwarzane albo przy zastosowaniu techniki dyfuzji albo techniki implantacji jonów. Selektywne poddawanie oznaczonych obszarów powierzchni warstwy epitaksjalnej 14 działaniu domieszek o przeciwnym typie przewodnictwa jest uzyskiwane w wyniku selektywnego maskowania tlenkowego zgodnie ze znanymi technikami. Dalsze etapy obejmują wytworzenie i naniesienie cienkiej warstwy tlenkowej oraz określenie krzemu polikrystalicznego. Zostają wytworzone warstwy dielektryczne, po czym następuje naniesienie glinu na linie wyczuwające bity. Te etapy procesu mogą być zrealizowane zgodnie z technikami dobrze znanymi ze stanu techniki.

Podczas tych etapów procesu szkodliwe domieszki mogą być wprowadzone przy różnych poziomach, zarówno przy przepłukiwaniu wodą jak i przy przenoszeniu do górnej powierzchni płytki 11. W związku z tym przed wytworzeniem układów metalizacji jest realizowany końcowy etap pochłaniania fosforu przez okienko.

Jednakże uważa się, że ciągle pochłanianie szkodliwych domieszek przez wysoce domieszkowane podłoża krzemowe 14 ma miejsce w różnych etapach wytwarzania przyrządu w celu zmniejszenia do minimum defektów krystalicznych w czynnych obszarach warstwy epitaksjalnej 14, gdy przyrządy zostają wytworzone na jej powierzchni.

Przy wytwarzaniu pamięci MOS według niniejszego wynalazku, ma ciągle znaczenie wyłączenie źródeł szkodliwych domieszek podczas różnych etapów procesu. Należy jednakże zaznaczyć, że w zasadzie w czystym otoczeniu czynne wyłączenie takich domieszek jest rzadziej spotykane. Ma to miejsce szczególnie ze względu na występujący mechanizm wyłapywania domieszek.

W związku z tym mogą być dokonane różne zmiany opisanych tutaj procesu i struktur bez oddalania się od zakresu i istoty niniejszego wynalazku.

Zastrzeżenia patentowe

1. Przyrząd pamięciowy MOS z kanałem typu n, zawierający wiele przyrządów MOS, z których każdy zawiera co najmniej jeden, zawarty w obszarze typu n, krzemowy półprzewodnik typu p, **znamienny tym**, że zawiera obszary (22, 23, 24) typu n leżące w warstwie epitaksjalnej typu p wytworzonej na podłożu półprzewodnikowym typu p, przy czym podłożo półprzewodnikowe (12) ma znacznie większą koncentrację domieszek niż warstwa epitaksjalna (14).

2. Przyrząd według zastrz. 1, **znamienny tym**, że łączy obszary typu n z warstwą epitaksjalną typu p są przystosowane do zachowania zubożonego obszaru podczas działania i warstwa epitaksjalna ma grubość, która jest ograniczona dla obejmowania

głębokości złącz i obejmowania w zasadzie nie mniej niż grubość zubożonego obszaru w warstwie, gdy złącza są całkowicie spolaryzowane w kierunku zaporowym.

3. Przyrząd według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że warstwa epitaksjalna ma taką własność, że droga dyfuzji elektronów w warstwie jest co najmniej 500 mikrometrów.

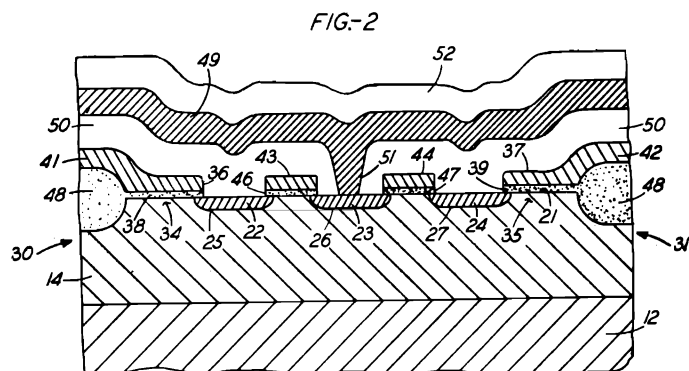
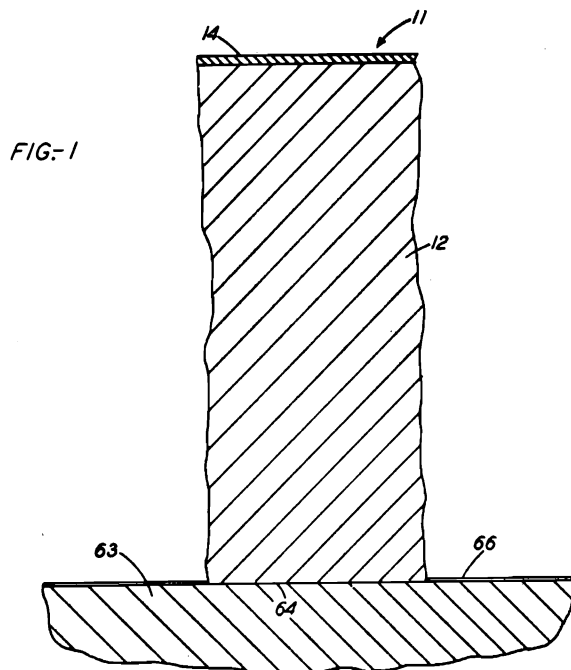
4. Przyrząd według zastrz. 3, **znamienny tym**, że grubość warstwy epitaksjalnej jest równa nie więcej niż jedna trzydziesta (1/30) drogi dyfuzji elektronów w warstwie.

5. Przyrząd według zastrz. 4, **znamienny tym**, że prąd upływowy przy polaryzacji w kierunku zaporowym złącz podczas działania przy temperaturach powyżej 50°C jest przewyższany przez dyfuzję nośników mniejszościowych.

6. Przyrząd według zastrz. 5, **znamienny tym**, że koncentracja domieszek w podłożu półprzewodnikowym jest co najmniej 100 razy większa niż koncentracja warstwy epitaksjalnej.

7. Przyrząd według zastrz. 6, **znamienny tym**, że podłoże półprzewodnikowe ma koncentrację domieszek równą co najmniej 10^{18} atomów domieszki typu p na centymetr sześcienny i warstwa epitaksjalna ma koncentrację domieszek zawartą w zakresie 10^{14} do 10^{16} atomów domieszki typu p na centymetr sześcienny.

8. Przyrząd według zastrz. 7, **znamienny tym**, że warstwa epitaksjalna jest warstwą uzyskaną przez wzrost przy ogrzewaniu półprzewodnika w grafitowym elemencie susceptancyjnym (63) pokrytym warstwą (66) krzemu w atmosferze gazowej.



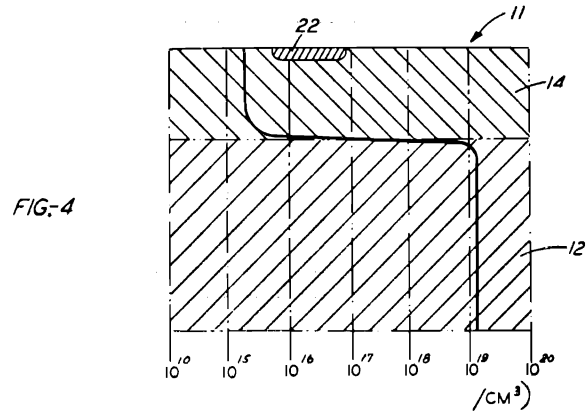
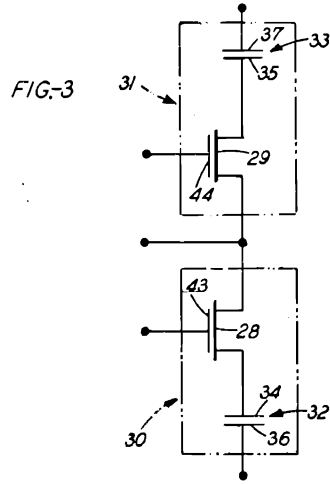


FIG-5

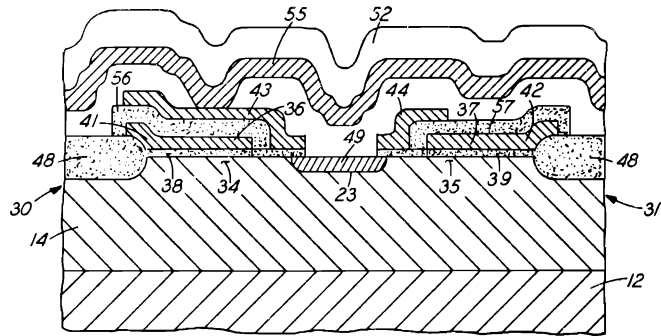


FIG-6

