

Krzysztof WACZYŃSKI

OCENA WPLYWU RODZAJU ŹRÓDŁA DOMIESZKI DONOROWEJ
NA PARAMETRY ZŁĄCZA P-N

Streszczenie. W artykule przedstawiono porównanie parametrów warstw domieszkowych wytworzonych poprzez domieszkowanie krzemu ze stałych płytkowych źródeł domieszek donorowych (fosforu i arsenu) oraz z ciekłego źródła fosforu - POCl_3 .

Wstęp

Jednym z podstawowych procesów w technologii półprzewodnikowej jest domieszkowanie krzemu domieszkami donorowymi. W celu wytworzenia warstw dyfuzyjnych w objętości krzemu materiał ten poddaje się wygrzewaniu w odpowiedniej atmosferze domieszkującej. Atmosferę tę, czyli źródło pośrednie dyfuzji, stanowi mieszanina par związku domieszki, gazu, neutralnego i tlenu. Parametry warstwy dyfuzyjnej oraz złącza p-n w istotny sposób zależą od jakościowych i ilościowych parametrów źródła pośredniego. Te z kolei w sposób zasadniczy zależą od rodzaju użytego źródła domieszki. Od 1976 roku pojawiły się publikacje [1], [2], [3] donoszące o wytworzeniu, wygodnych w użyciu, stałych płytkowych źródeł domieszek donorowych. Źródła tego typu wytworzono również w Instytucie Fizyki Politechniki Śląskiej w oparciu o krajowe materiały o czym donoszono w publikacjach [4], [5]. Technika domieszkowania z płytkowych źródeł polega na umieszczeniu w obszarze wysokiej stabilizowanej temperatury pieca dyfuzyjnego kasety saladowanej na przymian płytkami źródłowymi i krzemowymi ułożonymi prostopadle do kierunku przepływu strumienia gazu nośnego przez co zapewnione jest maksymalne wykorzystanie pieca dyfuzyjnego oraz zagwarantowane, że każda płytka krzemowa otrzymuje identyczną dosę domieszki jednorodnie rozłożoną na całej powierzchni płytki (rys. 1). Posa tym znacznie skrócona jest droga źródło-powierzchnia krzemu przez co układ staje się mniej wrażliwy na przypadkowe fluktuacje. Cały proces domieszkowania przebiega w atmosferze gazu obojętnego (N_2 lub Ar), którego zadaniem jest wytworzenie ochronnej atmosfery wokół kasety z płytkami.

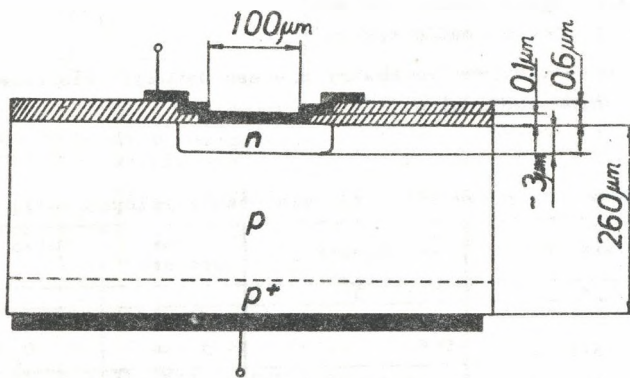
W procesie wytwarzania stałych płytkowych źródeł domieszek donorowych materiał źródłowy styka się z różnymi substancjami, (np.: podczas rodrabniania, przesiewania czy formowania) mogącymi wprowadzić niepożądane domieszki do źródła. Domieszki te, będące przeważnie metalami, uwolnione w

Zależy od koncentracji centrów rekombinacyjnych N_{tt} przekroju skutecznego na wychwyty σ_n i σ_p oraz energii aktywacji ΔE .

Dla krzemowego złącza p-n wartość parametru rekombinacyjnego zawiera się w granicach 1 do 2. Wartość parametru rekombinacyjnego wzrasta wraz ze wzrostem koncentracji centrów rekombinacyjnych N_{tt} , zwiększaniem przekroju skutecznego na wychwyty σ_n i σ_p oraz spadkiem energii aktywacji ΔE . Jest to równoznaczne z pogarszaniem się jakości wytworzonego złącza p-n.

Wytworzenie planarnej struktury diodowej

Wpływu technologii domieszkiwania oraz rodzaju źródła na właściwości złącza p-n oceniano w oparciu o analizę charakterystyk I-V planarnej struktury diodowej wykonanej według technologii podanej w tabeli 1 i przedstawionej na rys. 3.



Rys. 3. Diiodowa struktura planarna ($s = 3,14 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$)

Tabela 1

Technologia wykonania planarnej struktury diodowej
materiał wyjściowy krzem typ p <111> $\rho = 9 \Omega \text{ cm}$ $\phi = 38 \text{ mm}$

Nr	Proces
1	Mycie podłoża
2	Utlenianie metodą Hydrox $T = 1100^\circ\text{C}$ $t = 60 \text{ min}$ $d_{\text{SiO}_2} = 0,6 \mu\text{m}$
3	Fotolitografia
4	Dyfuzja Boru, źródło BN, $T = 1100^\circ\text{C}$, $t = 60 \text{ min}$, N_2
5	Utlenianie II Hydrox $T = 1100^\circ\text{C}$, $t = 60 \text{ min}$
6	Fotolitografia II
7	Dyfuzja arsenu lub fosforu
8	Fotolitografia III

od. tabeli 1

Nr	Proces
9	Metalizacja Rozpylanie platyny $d_{pt} = 0,1 \mu m$ Wtapienie platyny $T = 600^{\circ}C$, $t = 5 \text{ min}$, N_2 Rozpylanie wolframu Parowanie złota
10	Fotolitografia IV

Wykonano jednolitą technologią kilka serii planarnych struktur diodowych różniących się między sobą jedynie parametrami procesu dyfuzji domieszki donorowej. Umożliwiło to porównanie uzyskanych parametrów złącz p-n domieszkowanych z różnych typów źródeł.

Domieszkowanie przeprowadzono w standardowym piecu dyfuzyjnym. Stosowano następujące rodzaje źródeł domieszek donorowych:

- FOSFOR - źródło ciekłe $POCl_3$,
 - stałe płytkowe źródło fosforu¹⁾
 ARSEN - stałe płytkowe źródło arsenu¹⁾.

W tabeli 2 przedstawiono parametry procesu dyfuzji stosowane przy wykonaniu określonych serii diod.

Tabela 2

Parametry procesu dyfuzji dla poszczególnych serii

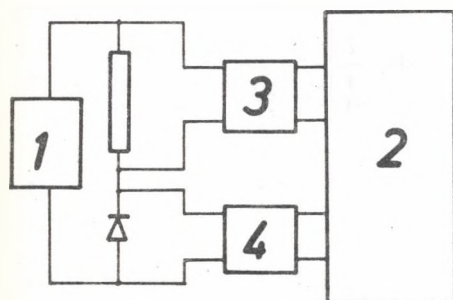
Nr serii	Domieszka	Proces	Czas procesu	Skład atmosfery gazu
1	2	3	4	5
I	Fosfor źródło ciekłe $POCl_3$ $T = 1000^{\circ}C$	utlenianie wstępne	5 min	$O_2 + N_2$
		predyfuzja temp. saturatora $POCl_3$ $T = 18^{\circ}C$	60 min	$O_2 + N_2 + POCl_3$
		redyfuzja utlenianie	200 min	$O_2 V_o = 30 \text{ l/h}$
II	Fosfor Stale płytkowe SiP_2O_7 $T = 1000^{\circ}C$	predyfuzja	20	$N_2 V_N = 1 \text{ l/min}$
		redyfuzja utlenianie	200	$O_2 V_o = 30 \text{ l/h}$

¹⁾ Wytworzone w Instytucie Fizyki Politechniki Śląskiej.

od. tabeli 2

1	2	3	4	5
III	Arsen Stałe płytkowe $T = 1100^{\circ}\text{C}$	predyfuzja	120 min	$N_2 = 1 \text{ l/min}$
		redyfuzja utlenianie	40 min	$\text{O}_2\text{V}_0 = 30 \text{ l/h}$

Pomiary



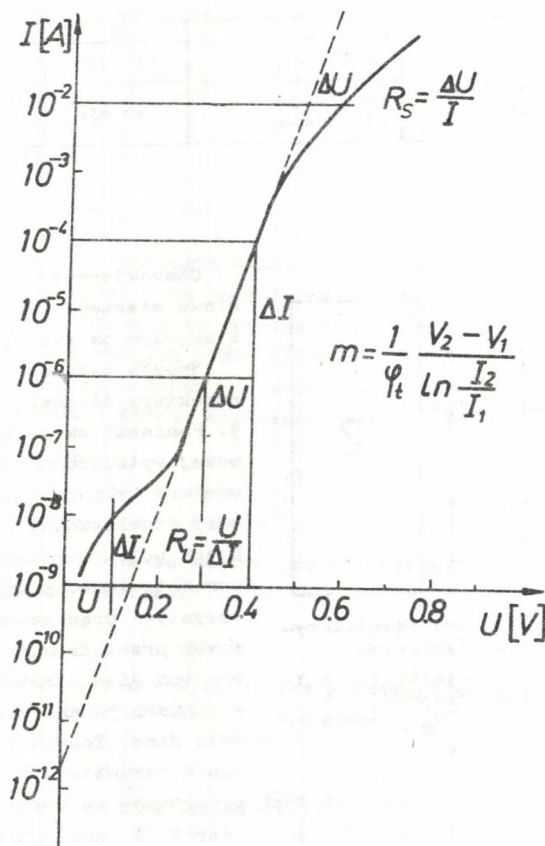
Rys. 4. Układ do pomiaru charakterystyk prądowo-napięciowych

1 - zasilacz, 2 - rejestrator X-Y, 3 - przystawka logarytmująca, 4 - wzmacniacz napięciowy, R_N - rezystor wzorcowy

gólnych serii, przy czym wartości tych parametrów są średnimi arytmetycznymi wartości $I = f(U)$ 5 diod z danej serii. W tabeli 3 dwa pierwsze parametry oznaczają rezystywność powierzchniową, R_s - zmierzono sondą ostrokostrzową oraz głębokość położenia słojka, x_j - wyznaczona metoda barwienia krzemu na szlifie sferycznym. Wielkości te zmierzono w płytce krzemowej po przeprowadzeniu wszystkich operacji termicznych (predyfuzji, redystrybucji, utleniania, wtapienia platyny). Następnym parametrem jest współczynnik nachylenia charakterystyki m (parametr rekombinacyjny).

Najlepszy współczynnik nachylenia charakterystyki $m = 1,34$ uzyskano dla diod serii I i III. W seriach tych domieszkowano krzem arsenem ze stałego płytkowego źródła oraz fosforem ze ciekłego źródła (POCl_3). W serii II, w której krzem domieszkowano fosforem ze stałego płytkowego źródła parametr rekombinacyjny m wynosił 1,58. Wszystkie struktury charakteryzują się dość dużą rezystancją szeregową rzędu kilkadziesiątu omów. Wynika to z konstrukcji diodowej struktury planarnej.

Najmniejszą gęstość prądu nasycenia ($J_R = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ A/m}^2$) miały diody domieszkowane arsenem ze stałego płytkowego źródła zaś największą ($J_R = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ A/m}^2$) diody domieszkowane fosforem ze stałego płytkowego źródła.

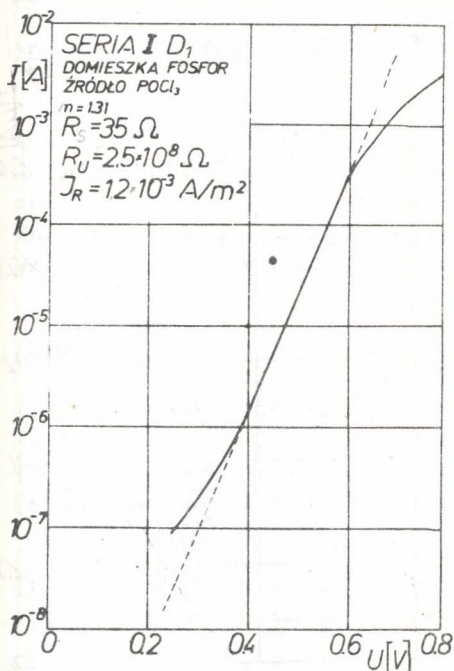


Rys. 5. Charakterystyka prądowo-napięciowa struktury diodowej - kierunek przewodzenia. Sposób wyznaczania parametrów struktury diodowej

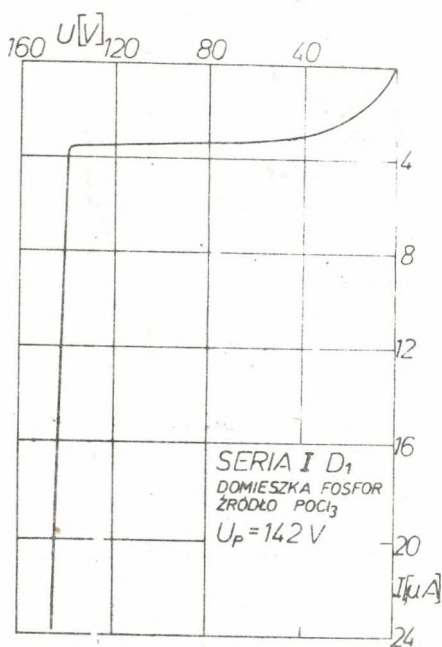
R_s - rezystancja szeregową, R_u - rezystancja upływu, m - parametr rekombinacyjny

Wartość napięcia przebicia (U_p) wszystkich struktur domieszkowanych fosforem wynosi około 140 V. Zgadza się to z wartością napięcia przebicia tego typu materiału półprzewodnikowego.

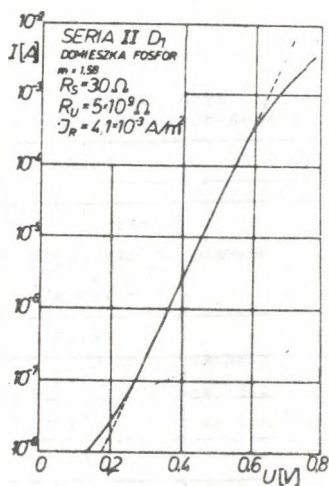
Nieco mniejszą wartość napięcia przebicia ($U_p = 95$ V) mają diody domieszkowane arsenem.



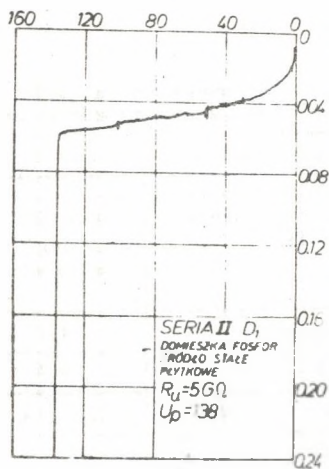
Rys. 6. Charakterystyka prądowo-napięciowa struktury diodowej, kierunek przewodzenia. Linia ciągła - charakterystyka rzeczywistego złącza p-n



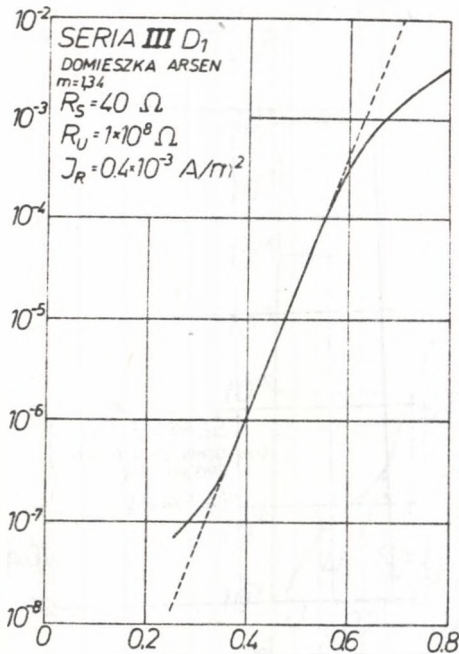
Rys. 7. Charakterystyka prądowo-napięciowa struktury diodowej, kierunek zaporowy



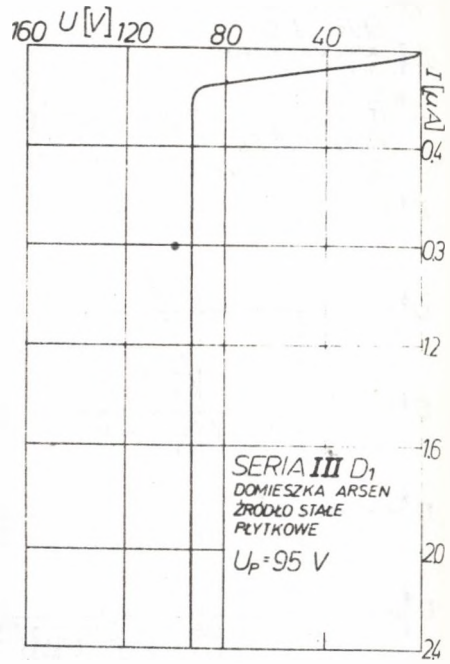
Rys. 8. Charakterystyka prądowo-napięciowa struktury diodowej, kierunek przewodzenia. Linia ciągła - charakterystyka rzeczywistego złącza p-n



Rys. 9. Charakterystyka prądowo-napięciowa struktury diodowej, kierunek zaporowy



Rys. 10. Charakterystyka prądowo-napięciowa struktury diodowej, kierunek przewodzenia. Linia ciągła - charakterystyka rzeczywistego złącza p-n



Rys. 11. Charakterystyka prądowo-napięciowa struktury diodowej, kierunek zaporowy

Tabela 3

Porównanie parametrów diod i warstw dyfuzyjnych uzyskanych przez domieszkowanie krzemu z różnych typów źródeł domieszek donorowych

Nr serii	Seria I	Seria II	Seria III
1	2	3	4
Parametry procesu dyfuzji	Fosfor POCl_3 $T = 1000^\circ\text{C}$ $t = 60 \text{ min}$	Fosfor Stałe płytkowe $T = 1000^\circ\text{C}$ $t = 2^\circ \text{C min}$	Arsen Stałe płytkowe $T = 1100^\circ\text{C}$ $t = 120 \text{ min}$
$R_{\square} (\Omega/\square)$	11,6	3,5	21,5
$X_j (\mu\text{m})$	2,4	0,87	1,2
m	1,34	1,58	1,34
$R_s (\Omega)$	35	30	40
$R_u (\Omega)$	$2,5 \cdot 10^8$	5×10^9	1×10^8
$J_R (\frac{\text{A}}{\text{m}^2})$	$1,2 \times 10^{-3}$	$4,1 \times 10^{-3}$	$0,4 \times 10^{-3}$
$U_p (\text{V})$	142	138	95

Wnioski

Porównanie parametrów warstw domieszkowych oraz parametrów złącz p-n wykonanych trzema różnymi sposobami pozwala stwierdzić, że stałe płytkowe źródła domieszek donorowych (arsenu i fosforu) mogą być użyte zamiast źródła klasycznego $POCl_3$. Źródła płytkowe, pozwalając na uzyskanie podobnych parametrów, upraszczają proces domieszkowania. Ponadto są to źródła, które mogą być wytworzone w kraju.

LITERATURA

- [1] J. Monkowski, J. Stach: Solid State Technology 19. 1976. 38.
- [2] J. Monkowski, J. Stach: Insul Circuits APRIL, 1976.
- [3] J. Jones: J. Electrochemical Society 123. 1976. 1565.
- [4] I. Flakus, S. Kończak, K. Waczyński: Materiały elektroniczne. 1 (25) 1979.
- [5] T. Dobiech, S. Kończak, K. Waczyński: Materiały elektroniczne w druku
- [6] A.G. Milnes: DEEP Impurities in semiconductors. 1973.
- [7] D.V. Morgan, P. Ashburn: Solid State Electronics. 1975. 18.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТИПА ИСТОЧНИКА ДОНОРНОЙ ПРИМЕСИ
НА ПАРАМЕТРЫ P-N ПЕРЕХОДА

Р е з ю м е

В работе представлено сравнение параметров примесных пленок изготовленных через легирование кремния из пластинных источников донорных примесей (фосфора и мышьяка) и из жидкого источника фосфора - $POCl_3$.

ESTIMATION OF INFLUENCE OF KIND DONOR DOPING SOURCE
ON P-N JUNCTION PARAMETERS

S u m m a r y

In this paper a comparison between the parameters of diffusion layers which have been obtained in arsenic and phosphorus diffusion from solid planar source and classical liquid phosphorus source - $POCl_3$ has been presented.

Recenzent: Prof. dr hab. Benedykt Licznarski

Wpłynęło: 21.09.1982 r.