

Krzemowe warstwy epitaksjalne o zmiennym profilu rezystowności

1. WSTĘP

Proces epitaksji krzemu służy w technologii przyrządów półprzewodnikowych do otrzymywania monokrystalicznej warstwy krzemu o zadanej grubości, typie przewodnictwa i rezystywności, na podłożu z monokrystalicznego krzemu. Warstwa epitaksjalna ma taką samą orientację krystalograficzną jak podłoże, różni się jednak właściwościami elektrycznymi, które mogą być dobierane i regulowane przez zmianę warunków prowadzenia procesu.

Do produkcji wielu przyrządów półprzewodnikowych, takich jak: diody lawinowe, diody ładunkowe, werikapy oraz wysokonapięciowe tranzystory mocy, stosuje się warstwy epitaksjalne o zmiennym profilu rezystywności.

2. PARAMETRY WARSTW EPITAKSJALNYCH

Jako podłoże w tych przyrządach stosuje się płytki z krzemu monokrystalicznego typu n, domieszkowanego antymonem, o rezystywności około $0,01 \Omega \cdot \text{cm}$. Płytki podłożowe mają orientację $\langle 111 \rangle$ z dezorientacją $2^\circ 30'$, wprowadzoną w celu ułatwienia zarodkowania warstwy epitaksjalnej na powierzchni (111) .

Zadane parametry warstw epitaksjalnych są podane w tablicy 1 i 2.

Tabela 1

Profil rezystywności	Dioda BB 105 /G/	Dioda BB 105 /L/
obszar o stałej rezystywności	$d_1 = 2,5-3,0 \mu\text{m}$ $\rho_1 = 0,7-0,9 \Omega \cdot \text{cm}$ $N_1 = 6,1-8,2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$	$d_1 = 2,3-2,7 \mu\text{m}$ $\rho_1 = 0,9-1,1 \Omega \cdot \text{cm}$ $N_1 = 4,8-6,1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$
obszar o zmiennym profilu rezystywności	$d_2 = 1,2-1,5 \mu\text{m}$ ρ zmienia się od ρ_1 do ρ_3 wg krzywej Gaussa	$d_2 = 1,2-1,5 \mu\text{m}$ liniowo
obszar o stałej rezystywności	$d_3 = 0,3-0,5 \mu\text{m}$ $\rho_3 = 0,03-0,04 \Omega \cdot \text{cm}$ $N_3 = 4,1-7,0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$	$d_3 = 0,5-0,8 \mu\text{m}$ $\rho_3 = 0,09-0,11 \Omega \cdot \text{cm}$ $N_3 = 7,5-9,9 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

Parametry warstw epitaksjalnych do tranzystorów mocy

Tabela 2

Profil rezystywności	Tranzystor BU 326	Tranzystor BU 326 S
obszar o stałej rezystywności	$d_1 = 25-35 \mu\text{m}$ $\rho_1 = 3-5 \Omega \cdot \text{cm}$	$d_1 = 20-25 \mu\text{m}$ $\rho_1 = 10-15 \Omega \cdot \text{cm}$
obszar o liniowej zmianie profilu rezystywności	$d_{1-2} = 14-18 \mu\text{m}$ ρ zmienia się od ρ_1 do ρ_2	$d_{1-2} = 22-27 \mu\text{m}$
obszar o stałej rezystywności	$d_2 = 47-57 \mu\text{m}$ $\rho_2 = 30-45 \Omega \cdot \text{cm}$	$d_2 = 58-72 \mu\text{m}$ $\rho_2 = 50-80 \Omega \cdot \text{cm}$

3. CHARAKTERYSTYKA PROCESU EPITAKSJI

Warstwy epitaksjalne otrzymywano z fazy gazowej, w której gazem nośnym był wodór, źródłem krzemu - tetrochlorok krzemu / SiCl_4 /, a źródłem domieszki - fosforowodór / PH_3 / . Parametrami technologicznymi, od których zależy wzrost epitaksjalny są: temperatura podłoża, ciśnienie całkowite gazów w reaktorze oraz ciśnienia cząstkowe SiCl_4 i PH_3 .

Procesy były prowadzone w urządzeniu Epilogic 15-2 z firmy ASM /Holandia/ z reaktorem poziomym, w którym jest ciśnienie 1 atm.

Płytki podłożowe są układane na grzejniku grafitowym prostokątnym, nagrzewanym lampami halogenowymi podczerwieni. Kontrola i samoregulacja przepływu gazów reakcyjnych jest prowadzona za pomocą przepływomierzy masowych. Do kontroli temperatury grzejnika jest używana trzystrefowa termopara Pt-PtRh. Sterowanie urządzeniem jest prowadzone przez minikomputer oraz dodatkowy układ sterowania przepływem gazu domieszkującego /generator rampowy/.

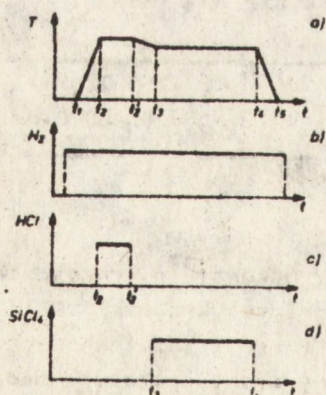
Epitaksjalny wzrost warstw do tranzystorów mocy, w których łączna grubość warstwy dochodzi do $100\mu\text{m}$, prowadzony był w temperaturze 1165°C z szybkością wzrostu ok. $1\mu\text{m}/\text{min}$.

Aby zmniejszyć wpływ domieszki z podłoża na rezystywność warstwy epitaksjalnej /samodomieszkowanie/ w stosunkowo cienkiej strukturze diody BB 105, zastosowano niższą temperaturę wzrostu - 1100°C , a dla zachowania dobrej perfekcji strukturalnej warstwy szybkość wzrostu obniżono do ok. $0,4\mu\text{m}/\text{min}$.

Szybkość wzrostu była regulowana przez dobór odpowiedniego ciśnienia cząstkowego SiCl_4 w fazie gazowej za pomocą źródła Tylan Source I.

Bezpośrednio przed rozpoczęciem wzrostu płytki podłożowe były trawione gazowym HCl w temperaturze 1200°C w celu usunięcia zanieczyszczeń z powierzchni.

Przebieg procesu epitaksji z zaznaczeniem charakterystycznych punktów zilustrowany jest na rys. 1.



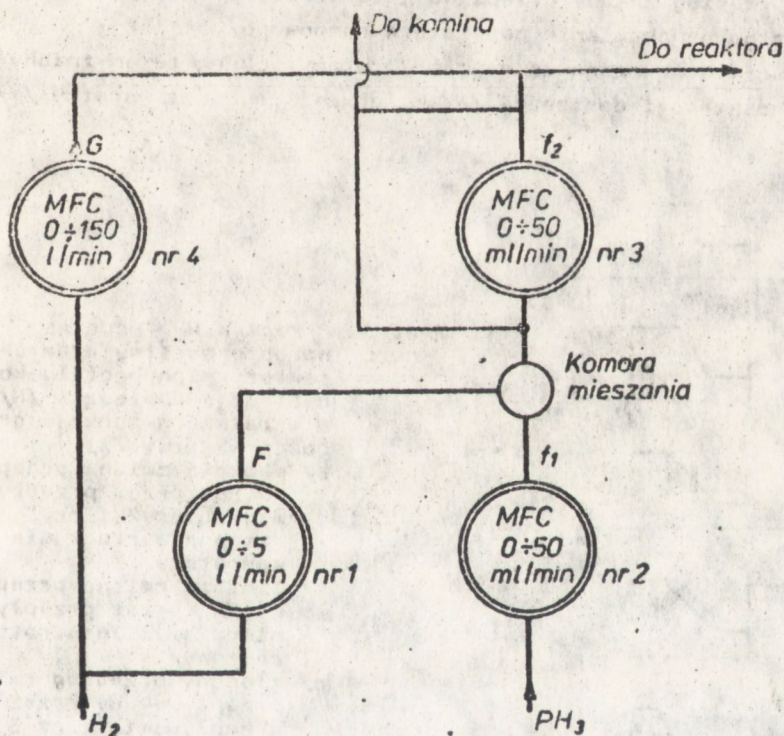
Rys. 1. Parametry procesu epitaksji
a/ temperatura grzejnika
b/ przepływ wodoru głównego
c/ przepływ HCl podczas trawienia płytek podłożowych
d/ przepływ SiCl_4 podczas wzrostu warstwy
Na osi czasu:
 t_1 - włączenie układu grzania
 t_2 - t_3 - trawienie płytek podłożowych
 t_3 - t_4 - wzrost epitaksjalny

Koncentracja fosforu w warstwie epitaksjalnej, a zatem rezystywność warstwy zależy od ciśnienia cząstkowego PH_3 w fazie gazowej. Na rys. 2 pokazany jest schemat układu domieszkującego w urządzeniu Epilogic 15-2. Ciśnienie cząstkowe PH_3 w reaktorze jest określone przez zależność:

$$P_{\text{PH}_3} = c \frac{f_1 \times f_2}{F + f_1} \times G \times 1 \text{ atm}$$

gdzie:

- c - stężenie PH_3 w H_2 w butli /vpm/,
- f_1 - przepływ przez MFC nr 2 PH_3 w H_2 z butli /ml/min/,
- f_2 - przepływ mieszanki po rozcieńczeniu przez MFC nr 3 /ml/min/,
- F - przepływ wodoru rozcieńczającego przez MFC nr 1 /ml/min/,
- G - przepływ wodoru głównego przez MFC nr 4 /ml/min/.



Rys. 2. Schemat układu domieszkującego
MFC - kontroler przepływu masy /Mass Flow Controller/

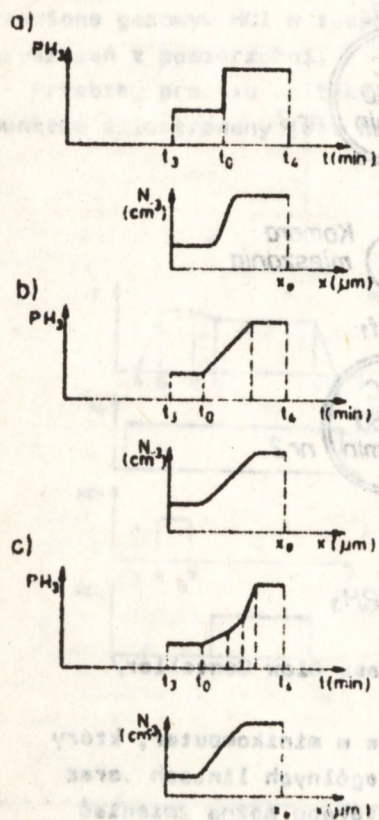
Urządzenie Epilogic 15-2 jest wyposażone w minikomputer, który steruje wielkością przepływu gazu w poszczególnych liniach oraz w dodatkowy generator rampowy, za pomocą którego można zmieniać

przepływ gazu przez przepływomierz nr 3. W procesach, w których poziom domieszkowania jest stały, minikomputer zadaje taki sam przepływ przez przepływomierze nr 2 i nr 3. W momencie włączenia generatora rampowego rozdzielają się rozkazy na te przepływomierze. Przepływomierz nr 2 utrzymuje poziom zadany przez komputer a przepływomierz nr 3 jest sterowany przez generator rampowy. Generator ten daje wzrost lub spadek sygnału napięciowego na przepływomierz z zadaną szybkością.

Za pomocą minikomputera i generatora rampowego można realizować następujące zmiany poziomu domieszkowania:

- skokową zmianę przepływu gazów przez przepływomierze nr 1, 2, 3 /minikomputer/,
- liniową zmianę przepływu gazu przez przepływomierz nr 3 /ramp generator/,
- złożony przebieg zmiany przepływu gazu przez przepływomierz nr 3 /wielokrotne uruchomienie generatora rampowego/.

Możliwości te pokazane są na rys. 3 wraz z charakterem zmiany profilu koncentracji domieszki /N/ w funkcji grubości warstwy /x/.



Rys. 3. Przepływ PH_3 podczas wzrostu warstwy oraz charakter zmian profilu koncentracji domieszki /N/ w warstwie w funkcji grubości warstwy /x/

- a/ skokowa zmiana przepływu PH_3 przez przepływomierze nr 2 i nr 3 /zmiana w programie komputera/
- b/ liniowa zmiana przepływu PH_3 przez przepływomierz nr 3 /generator rampowy/
- c/ złożony przebieg zmiany przepływu PH_3 przez przepływomierz nr 3 /wielokrotne uruchomienie generatora rampowego/

Na osi czasu:

- t_3-t_4 - wzrost epitakcyjny
- t_0 - zapoczątkowanie profilowanego odcinka warstwy

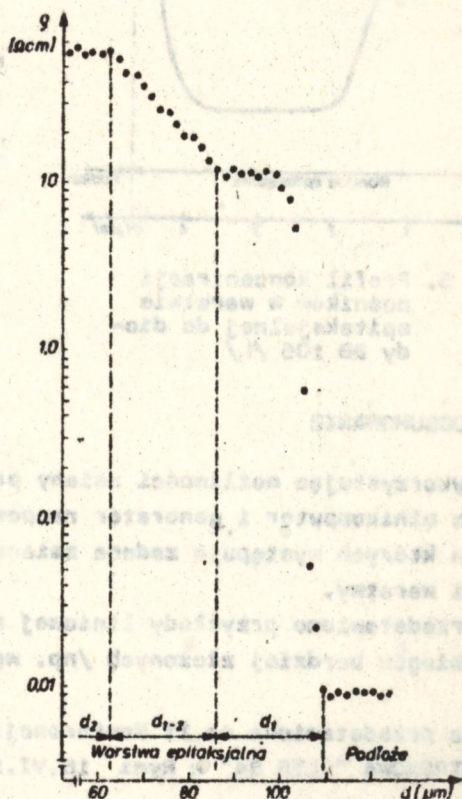
4. OKREŚLENIE PROFILU REZYSTYWNOCI W WARSTWIE EPITAKSJALNEJ

Stosowane były dwie metody pomiarowe:

- pomiar rezystywności na szlifie skośnym metodą oporu rozplýwu /spreading resistance - SR/ [1].
- pomiar koncentracji nośników większościowych w funkcji grubości warstwy metodą C-V [2].

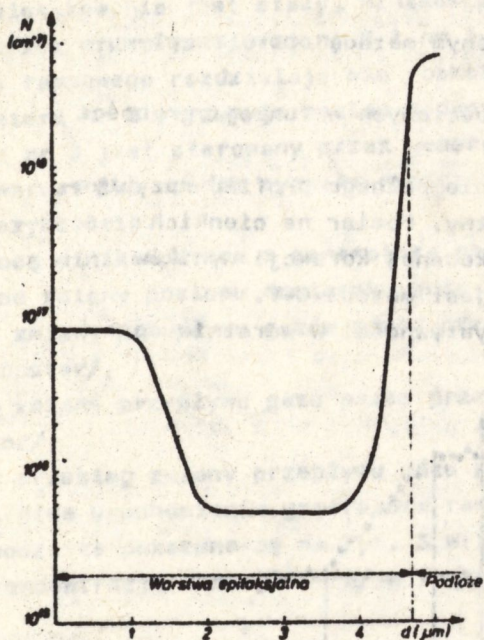
Pierwsza metoda pozwala na określenie pełnego profilu rezystywności, od podłoża do powierzchni warstwy. Pomiar na cienkich warstwach wymaga zastosowania skomplikowanej korekcji wyników i w tym przypadku bardziej przydatna jest metoda C-V.

Na rys. 4 pokazany jest profil rezystywności w warstwie epitaksjalnej do tranzystora BU 326 S.

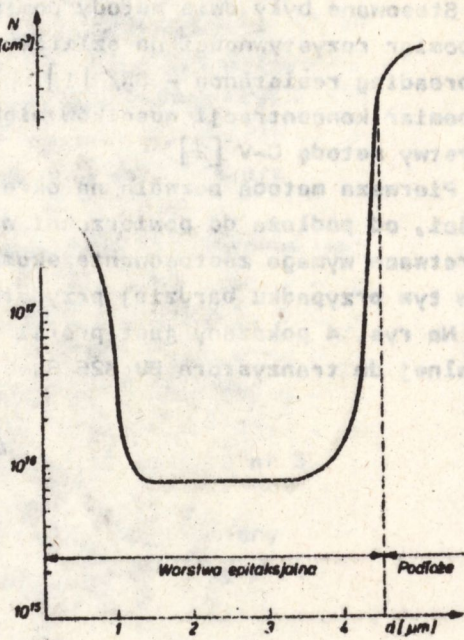


Rys. 4. Profil rezystywności w warstwie epitaksjalnej do tranzystora BU 326 S.

Na rys. 5 i 6 przedstawione są profile koncentracji nośników w warstwach do diody BB 105, odpowiednio ze zmianą liniową i wg krzywej Gaussa. Dla otrzymania pełnego profilu pomiar C-V wykonano wielokrotnie po stopniowym strawieniu warstwy.



Rys. 5. Profil koncentracji nośników w warstwie epitaksjalnej do diody BB 105 /L/



Rys. 6. Profil koncentracji nośników w warstwie epitaksjalnej do diody BB 105 /S/

5. PODSUMOWANIE

Wykorzystując możliwości zmiany przepływów gazu domieszkującego przez minikomputer i generator rampowy otrzymano warstwy epitaksjalne, w których występuje zadana zmiana rezystywności w funkcji grubości warstwy.

Przedstawiono przykłady liniowej zmiany rezystywności oraz przebiegów bardziej złożonych /np. wg krzywej Gaussa/.

Praca przedstawiona na II Konferencji Naukowej - TECHNOLOGIA ELEKTRONOWA "ELTE 84" w Ryni 16.VI.1984 r.

LITERATURA

1. Harrie B.L., Langer P.M.: Spreading Resistance Symposium Proceedings of a Symposium Held at NBS, Gaithersburg, Jun 13-14 /1974/
2. Brzozowski A., Szykiewicz A.: Materiały Elektroniczne 4, /1983/, 36