

Ograniczenie zjawiska samodomieszkowania w epitaksji krzemu

1. WSTĘP

Przenoszenie domieszki z płytki podłożowej do rosnącej warstwy epitaksjalnej krzemu powoduje zmniejszenie gradientu koncentracji na granicy podłoże-warstwa epitaksjalna. Zjawisko to, zwane samodomieszkowaniem, jest szczególnie silne w przypadku osadzania warstw wysokorezystywnych oraz stosowania jako podłoża krzemu monokrystalicznego silnie domieszkowanego As.

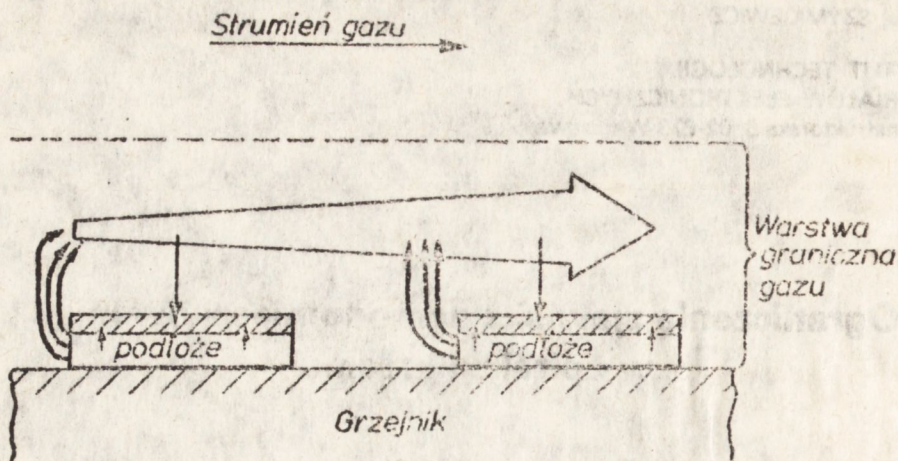
2. ZJAWISKO SAMODOMIESZKOWANIA

Mechanizm przenoszenia domieszki z podłoża do wzrastającej warstwy epitaksjalnej zilustrowany jest na rys. 1.

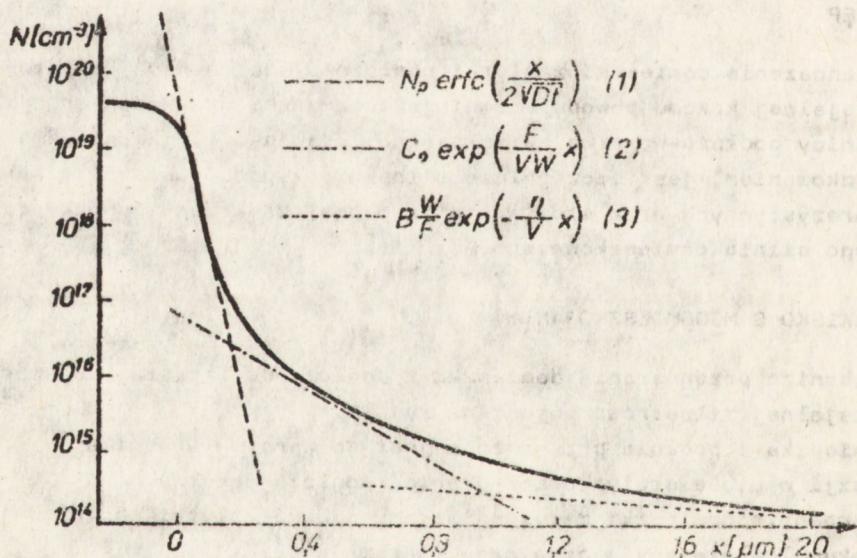
Domieszka z podłoża przenoszona jest do warstwy w wyniku:

- dyfuzji w ciele stałym przez granicę podłoże-warstwa,
- odparowanie domieszki z tylnej strony i boków płytki podłożowej i zakumulowanie jej w granicznej warstwie gazu,
- zaadsorbowanie na powierzchni płytki atomów domieszki podczas wstępnego wygrzewania i trawienia płytek podłożowych,
- uwalnianie domieszki zaadsorbowanej na ściankach rury i na grzejniku.

W rezultacie otrzymuje się w warstwie profil koncentracji domieszki przedstawiony na rys. 2. Udział poszczególnych czynników opisany jest podanyymi na tym rysunku wyrażeniami:



Rys. 1. Mechanizm przenoszenia domieszki z podłoża do wzrastającej warstwy epitakajalnej



Rys. 2. Wynikowy profil koncentracji domieszki w warstwie epitakajalnej [1]

Oznaczenia: N_p - koncentracja domieszki w podłożu, x - grubość warstwy epitakajalnej, C_0 - koncentracja domieszki w fazie gazowej, F - szybkość przepływu gazu przez koronę, W - objętość komory reaktora, B - stała doświadczalna, v - szybkość wzrostu warstwy, D - współczynnik dyfuzji w ciele stałym, t - czas

- dyfuzja w ciele stałym /1/,
- wbudowywanie domieszki uwalnianej z podłoża /2/,
- tżo wnoszone przez desorpcję domieszki ze ścianek reaktora i grzejnika /3/

Intensywność zjawiska samodomieszkowania zależy od rodzaju domieszki w podłożu i nasila się w szeregu $Sb < P < B < As$.

3. SPOSOBY OGRANICZANIA ZJAWISKA SAMODOMIESZKOWANIA

Do znanych od dawna sposobów zmniejszenia samodomieszkowania należy zamaskowanie tylnej strony płytki podłożowej oraz obniżenia temperatury procesu epitaksji. W przypadku osadzania warstw wysoko-rezystywnych oraz bardzo cienkich warstw epitaksjalnych na podłożu domieszkowanym As, zabieg ten nie wystarcza do otrzymania złącza o dużym gradiencie koncentracji.

Do wytwarzania submikronowych warstw na podłożu silnie domieszkowanym arsenem, przeznaczonych do mikrofalowych diod Schottky'ego, wprowadzono wieloetapowy wzrost epitaksjalny. W pierwszym etapie zostaje osadzana maskująca cienka warstwa epitaksjalna domieszkowana fosforem, o koncentracji zbliżonej do koncentracji arsenu w podłożu. Warstwa ta jest pod względem elektrycznym przedłużeniem podłoża. W następnych etapach prowadzi się wzrost warstwy o zadanej grubości i koncentracji fosforu.

W celu zmniejszenia wpływu domieszki z podłoża na profil koncentracji nośników w warstwie zwykle dąży się do wypłukania jej z warstwy granicznej gazu. Ponieważ płukanie prowadzi się w wysokiej temperaturze, jest ono mało skuteczne.

Zastosowano bardzo powolny wzrost warstwy /ok. $0,1 \mu\text{m}/\text{min}/$ w pierwszym etapie osadzania, w celu związania domieszki zakumulowanej w warstwie granicznej gazu oraz zaadsorbowanej na powierzchni płytki podłożowej, w jak najcieńszej warstwie krzemu. Tą metodą uzyskano znaczną poprawę profilu koncentracji nośników w warstwach submikronowych oraz w grubych warstwach o dużej rezystywności.

4. PRZYKŁADY PROCESÓW EPITAKSJI

Przykład 1. Warstwy epitaksjalne do diod z barierą Schottky'ego o parametrach: grubość - $0,54 \mu\text{m}$, koncentracja nośników - $2,1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$.

Proces prowadzony w urządzeniu z reaktorem poziomym, chłodzonym powietrzem, z grzaniem indukcyjnym.

Jako podłoża użyto krzemu monokrystalicznego domieszkowanego arsenem do koncentracji $1,5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$.

Sposób prowadzenia procesu wieloetapowego:

etap I - osadzenie 0.1 μm warstwy domieszkowanej silnie fosforem
/ 10^{19} cm^{-3} /,

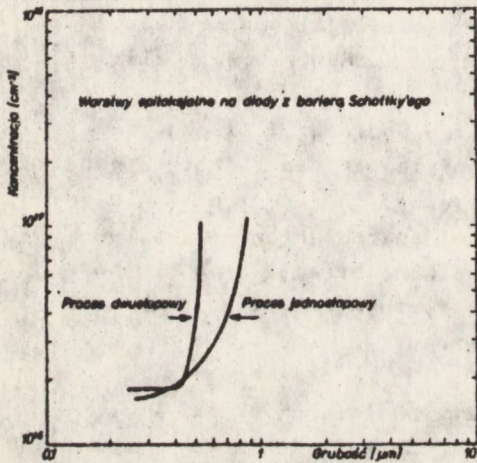
etap II - osadzenie 0.1 μm warstwy z bardzo małą szybkością wzrostu,

etap III - kontynuowanie wzrostu w obniżonej temperaturze 1080°C
do uzyskania warstwy o grubości 0.54 μm .

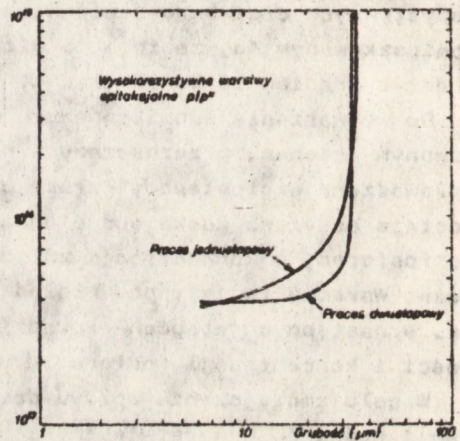
Sposób prowadzenia procesu jednoetapowego:

Wzrost warstwy z szybkością 0.45 $\mu\text{m}/\text{min}$ w obniżonej temperaturze
do 1080°C.

Uzyskane profile koncentracji nośników pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Profil koncentracji nośników w warstwie epitaksjalnej do diody Schottky'ego



Rys. 4. Profil koncentracji nośników w wysoko-rezystywnych warstwach epitaksjalnych typu p/p⁺

Przykład 2. Wysokorezystywne warstwy epitaksjalne p/p⁺ o parametrach: grubość - 34 μm , koncentracja nośników - $4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$.

Proces prowadzono w urządzeniu z reaktorem typu "pancake", chłodzonym powietrzem, z grzaniem indukcyjnym,

Jako podłoża użyto krzemu monokrystalicznego domieszkowanego borem do koncentracji $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$.

Sposób prowadzenia procesu dwuetapowego:

etap I - osadzenie 1.7 μm warstwy z małą szybkością wzrostu 0.17 $\mu\text{m}/\text{min}$ w temperaturze 1140°C,

etap II - kontynuowanie wzrostu z szybkością ok. 1 $\mu\text{m}/\text{min}$ do uzyskania warstwy o grubości 34 μm .

Sposób prowadzenia procesu jednoetapowego:

Wzrost warstwy z szybkością $1 \mu\text{m}/\text{min}$ w temperaturze 1140°C .

Profile koncentracji nośników pokazano na rys. 4.

Profile koncentracji nośników mierzono metodą C-V z zastosowaniem sondy rtęciowej.

5. PODSUMOWANIE

Opracowano sposoby wieloetapowego prowadzenia procesu epitaksji, które ograniczają przenoszenie domieszki z podłoża i jej wbudowywanie się do warstwy epitaksjalnej. Podano przykłady rozwiązań i profile koncentracji nośników na granicy podłoża-warstwa epitaksjalna.

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

LITERATURA

1. Carl O. Soxler: J. Electrochem. Soc. v122, 1705 /1975/