

Metody Obliczeniowe w Mikroelektronice

Przykładowe zadania

Przedstawione zadania rozwiązujemy w programie Matlab, ewentualnie korzystamy z innego narzędzia uzgodnionego z prowadzącym zajęcia. Ćwiczenie jest oceniane na podstawie sprawozdania w formacie PDF oraz załączonych plików źródłowych.

Stałe fizyczne i inne parametry:

- ładunek elementarny $q = 1,602177335 \times 10^{-19} \text{ C}$,
- przenikalność elektryczna próżni $\epsilon_0 = 8,854187817 \times 10^{-12} \text{ F/m}$,
- przenikalność elektryczna dwutlenku krzemu $\epsilon_{\text{ox}} = 3,9 \epsilon_0$,
- przenikalność elektryczna krzemu $\epsilon_{\text{Si}} = 11,7 \epsilon_0$,
- stała Boltzmanna $k_B = 1,380658 \times 10^{-23} \text{ J/K}$,
- koncentracja samoistna nośników w krzemie $n_i = 1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$,
- temperatura $T = 300 \text{ K}$.

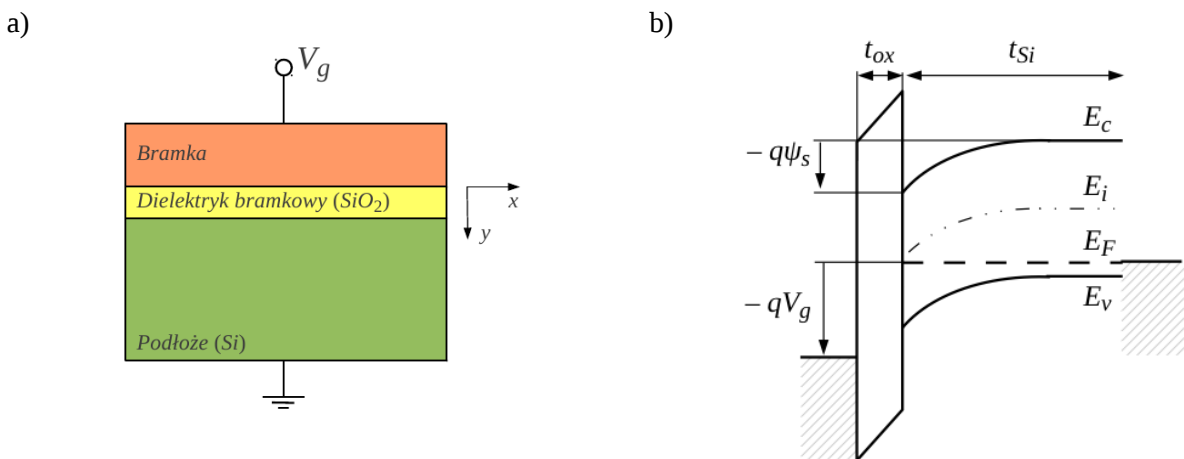
Zadanie 1

Dany jest krzemowy kondensator MOS jak na Rys. 1a. Jego parametry to:

- koncentracja domieszki akceptorowej w podłożu $N_A = 4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$,
- grubość tlenku bramkowego $t_{ox} = 1,25 \text{ nm}$,
- grubość podłoża $t_{Si} \gg t_{ox}$,
- bramka metalowa (brak zagięcia pasm); różnica prac wyjścia bramka-podłoże $\Phi_{MS} = 0$.

Proszę stworzyć jednowymiarowy opis tej struktury w kierunku y prostopadłym do powierzchni tlenku (Rys. 1b). Korzystając z metody różnic skończonych i algorytmu Newtona wyznaczyć w tym przekroju rozkład potencjału elektrostatycznego $\psi(y)$ w półprzewodniku dla napięcia bramki $V_g = 1,2 \text{ V}$ i uziemionego podłoża. W sprawozdaniu podać przyjęte przybliżenie początkowe wektora $\psi(y)$ – warto poeksperymentować z kilkoma. Następnie:

- Wykreślić na wspólnym rysunku rozkład potencjału $\psi(y)$ dla kilku – niekoniecznie kolejnych – iteracji metody Newtona. Wykres powinien obejmować warstwę krzemu aż do głębokości, na której pole elektryczne jest pomijalnie małe. Jeśli po uzyskaniu zbieżności przy kontakcie podłoża występuje znaczący gradient potencjału, to znaczy, że należy zwiększyć grubość podłoża i powtórzyć dotychczasowe eksperymenty.
- Zaproponować miarę pozwalającą szacować na bieżąco odległość rozwiązania w danej iteracji od rozwiązania „dokładnego”. Wykreślić wartość tej miary w funkcji liczby iteracji. Na tej podstawie zaproponować kryterium zatrzymania algorytmu Newtona. Mile widziane jest porównanie wpływu przybliżenia początkowego $\psi(y)$ na kształt uzyskanej krzywej.
- Rozwiązać analitycznie równanie Poissona w podłożu przy założeniu całkowitego zubożenia, tj. $d^2\psi/dy^2 = qN_A/\epsilon_{Si}$ przy warunkach brzegowych $d\psi/dy|_{y=y_d} = 0$, $\psi(y_d) = 0$, $\psi(0) = \psi_s$, gdzie y_d to głębokość zubożenia (zostanie ona wyznaczona podczas rozwiązywania równania – stąd aż trzy warunki brzegowe dla równania różniczkowego drugiego rzędu). Jako ψ_s użyć wartości potencjału powierzchniowego (na granicy Si-SiO₂) wyznaczonej w poprzedniej części zadania. Następnie wykreślić uzyskaną krzywą $\psi(y)$ na tle rozwiązania numerycznego i przedyskutować przyczynę różnicy między krzywymi. Obliczenia zamieścić w sprawozdaniu.



Rys. 1. Kondensator MOS analizowany w Zadaniu 1 (a) i jego struktura pasmowa w przekroju wzdłuż osi Y dla $V_g > 0$ (b)

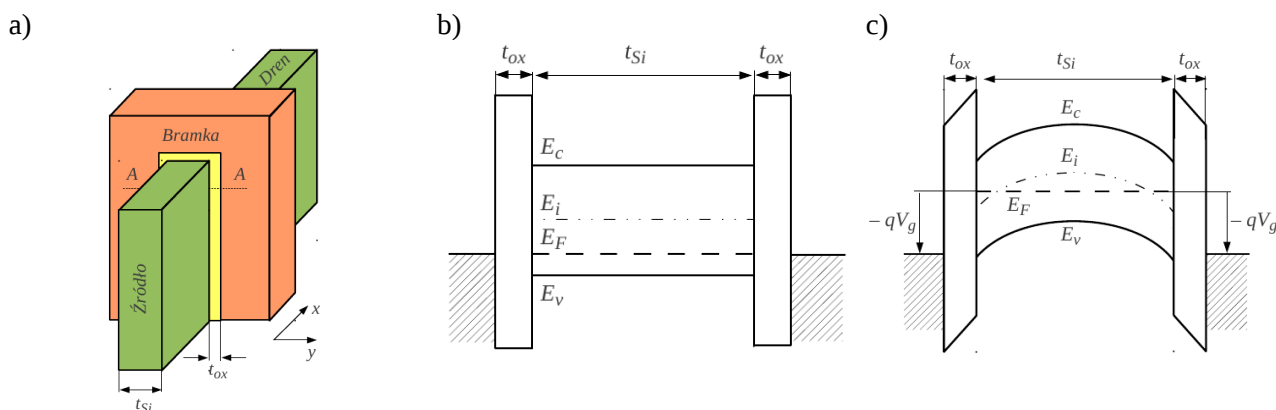
Zadanie 2

Dany jest dwubramkowy krzemowy tranzystor MOS jak na Rys. 2a. Strukturę pasmową w przekroju A–A łączącym lewą i prawą stronę bramki ilustrują Rys. 2b i c. Tranzystor ma następujące parametry:

- koncentracja domieszki akceptorowej w obszarze aktywnym $N_A = 4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$,
- grubość tlenku bramkowego $t_{ox} = 1,25 \text{ nm}$,
- grubość obszaru aktywnego (krzemu) $t_{Si} = 16 \text{ nm}$,
- bramka metalowa (brak zagięcia pasm); różnica prac wyjścia bramka-podłoże $\Phi_{MS} = 0$.

Proszę stworzyć jednowymiarowy opis tej struktury w tym przekroju. Korzystając z metody różnic skończonych i algorytmu Newtona wyznaczyć rozkład potencjału elektrostatycznego $\psi(y)$ w półprzewodniku dla napięcia bramki $V_g = 0,8 \text{ V}$. W sprawozdaniu podać przyjęte przybliżenie początkowe wektora $\psi(y)$ – warto poeksperymentować z kilkoma. Następnie:

- Wykreślić na wspólnym rysunku rozkład potencjału $\psi(y)$ w krzemie dla kilku – niekoniecznie kolejnych – iteracji metody Newtona.
- Zaproponować miarę pozwalającą szacować na bieżąco odległość rozwiązania w danej iteracji od rozwiązania „dokładnego”. Wykreślić wartość tej miary w funkcji liczby iteracji. Na tej podstawie zaproponować kryterium zatrzymania algorytmu Newtona. Mile widziane jest porównanie wpływu przybliżenia początkowego $\psi(y)$ na kształt uzyskanej krzywej.



Rys. 2. Dwubramkowy tranzystor MOS analizowany w Zadaniu 2 (a), jego struktura pasmowa w przekroju A–A dla $V_g = 0$ (b) oraz dla $V_g > 0$ (c)

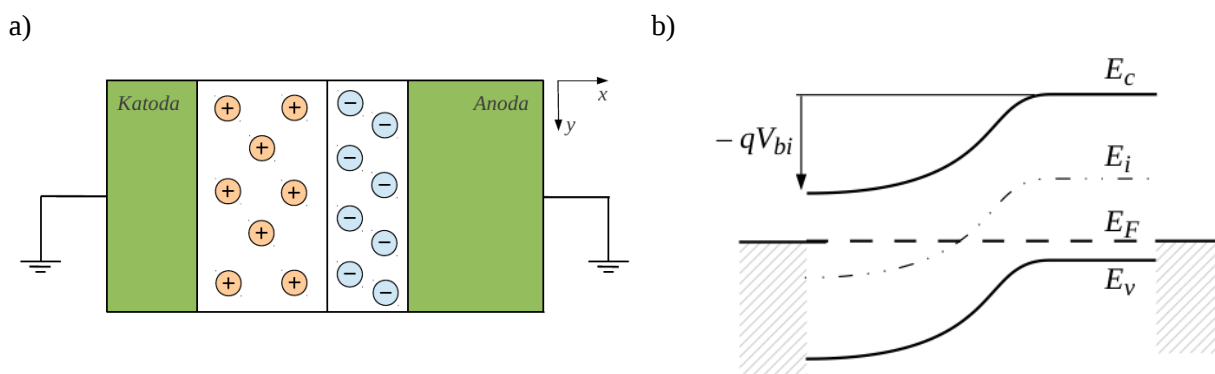
Zadanie 3

Dana jest dioda krzemowa jak na Rys. 3a ze złączem skokowym o następujących parametrach:

- koncentracja domieszki akceptorowej w obszarze typu p (anodzie) $N_A = 8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$,
- koncentracja domieszki donorowej w obszarze typu n (katodzie) $N_D = 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$,
- długość obszarów n i p – kilkakrotnie dłuższa od głębokości obszarów zubożonych dla braku polaryzacji,
- brak polaryzacji zewnętrznej (anoda zwarta z katodą).

Proszę stworzyć jednowymiarowy opis tej struktury w kierunku x prostopadłym do płaszczyzny złącza (Rys. 3b). Korzystając z metody różnic skończonych wyznaczyć w tym przekroju rozkład potencjału elektrostatycznego $\psi(x)$ i wypadkowej gęstości nieskompensowanego ładunku domieszek: w katodzie $\rho(x) = q[N_D(x) - n(x) + p(x)]$ i w anodzie $\rho(x) = -q[N_A(x) + n(x) - p(x)]$. W sprawozdaniu podać przyjęte przybliżenie początkowe wektora $\psi(x)$ – można eksperymentować z kilkoma. Następnie:

- Wykreślić na wspólnym rysunku rozkład $\psi(x)$ dla kilku – niekoniecznie kolejnych – iteracji algorytmu Newtona. Jeśli po uzyskaniu zbieżności przy którymś kontakcie występuje znaczący gradient potencjału, to znaczy, że należy zwiększyć grubość odpowiedniego obszaru i powtórzyć dotychczasowe eksperymenty.
- Zaproponować miarę pozwalającą szacować na bieżąco odległość rozwiązania w danej iteracji od rozwiązania „dokładnego”. Wykreślić wartość tej miary w funkcji liczby iteracji. Na tej podstawie zaproponować kryterium zatrzymania algorytmu Newtona. Mile widziane jest porównanie wpływu przybliżenia początkowego $\psi(x)$ na kształt uzyskanej krzywej.
- Wykreślić ostateczny profil potencjału $\psi(x)$ oraz lokalnej gęstości nieskompensowanego ładunku domieszek $\rho(x)$. Na wykresie $\rho(x)$ zaznaczyć granice warstwy zaporowej obliczone analitycznie przy założeniu zupełnego zubożenia. Obliczenia zamieścić w sprawozdaniu.



Rys. 3. Dioda analizowana w Zadaniu 3 (a) i jej struktura pasmowa w przekroju wzdłuż osi X (b)