

Projekt 4: Wyznaczanie charakterystyki prądowo-napięciowej diody rezonansowo-tunelowej (RTD) oraz zastosowanie przybliżenia adiabatycznego do wyznaczenia zjawiska kwantyzacji konduktancji w kwantowym kontakcie punktowym (QPC).

Kacper Połuszejko, 412183

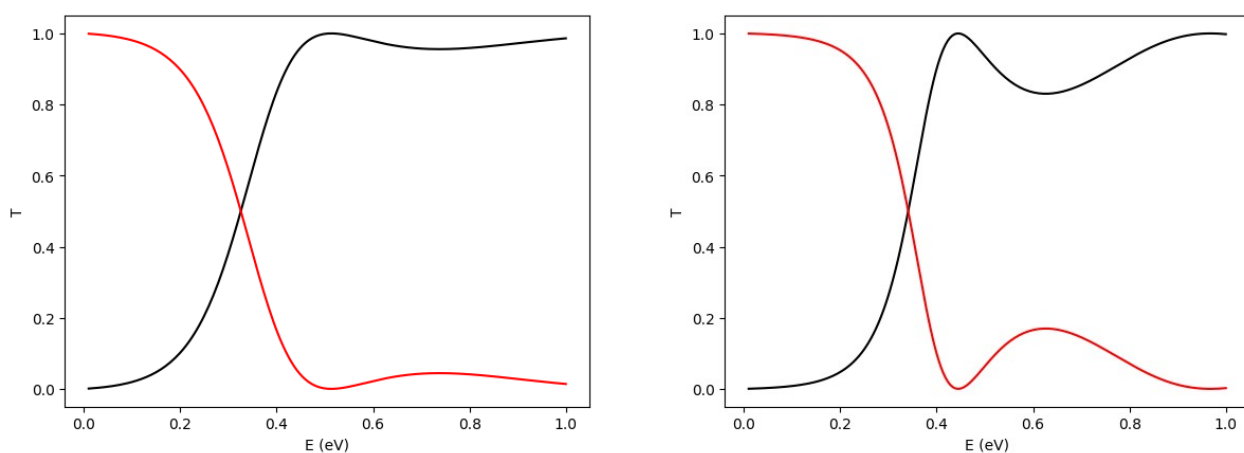
Wstęp

Celem ćwiczenia było zaimplementowanie metody macierzy transferu dla kilku przypadków. Najpierw obliczono transmitancję oraz reflektancję przez pojedynczą barierę. Następnie przez dwie bariery oddzielone przerwą. Następnie obliczono charakterystykę prądowo napięciową za pomocą formuły Tsu-Esakiego.

W drugiej części ćwiczenia obliczono konduktancję w kwantowym kontakcie punktowym (QPC) przy założeniu przybliżenia adiabatycznego.

1 Metoda macierzy transferu

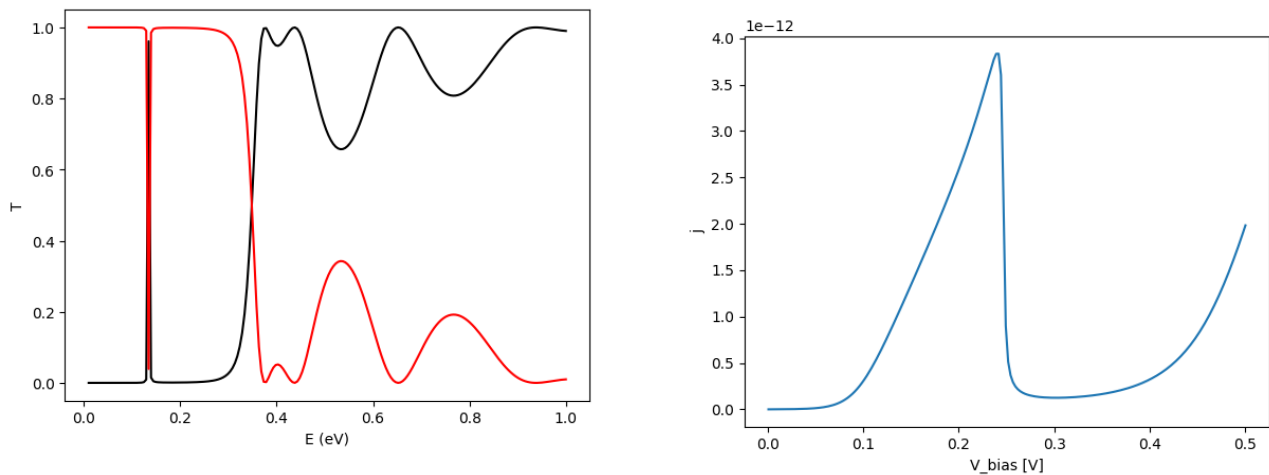
W pierwszym zadaniu obliczono transmitancję i reflektancję elektronu przechodzącego przez prostą barierę potencjału. Bariera zbudowana jest z $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$, a jej wysokość wynosi 0,27 eV. Efektywna masa elektronu w materiale GaAs wynosi 0,067, natomiast w obrębie bariery – 0,0879. Porównano dwa przypadki: stałą masę efektywną oraz masę efektywną zależną od materiału.



Rys. 1: Transmitancja i refleksja elektronu przechodzącego przez barierę dla przypadku gdy efektywna masa jest stała (po lewej) oraz zmienna (po prawej).

Uwzględnienie zmiennej masy efektywnej wpływa na wartości transmitancji i refleksyjności. Przede wszystkim obserwujemy, że pierwsze maksimum transmitancji przesuwają się w kierunku niższych energii, co oznacza, że elektron potrzebuje mniejszej energii do przejścia przez barierę – niemal 100% transmitancji osiągane jest przy niższej energii niż w przypadku stałej masy. W obu przypadkach widoczne są jednak straty transmitancji wynikające z oscylacji elektronów wewnątrz bariery. Straty te są bardziej wyraźne w przypadku zmiennej masy efektywnej.

2 Dioda rezonansowo tunelowa



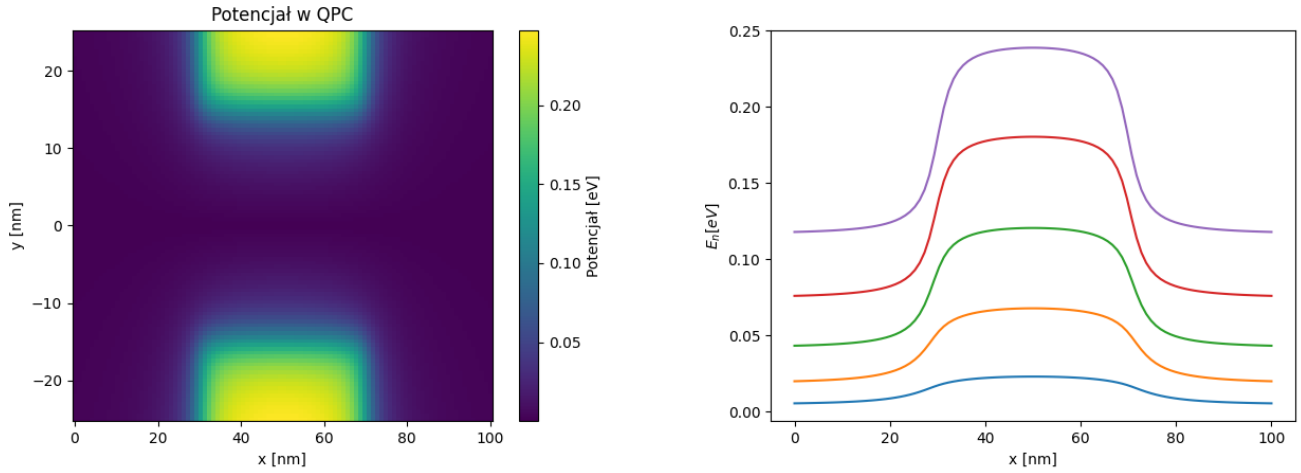
Rys. 2: Transmitancja i refleksja elektronu przechodzącego przez podwójną barierę (po lewej). Charakterystyka prądowo napięciowa diody rezonansowo tunelowej (po prawej).

W drugim zadaniu przeprowadzono obliczenia dla podwójnej bariery potencjału. Obliczono transmitancję i refleksję.

Pojawia się bardzo charakterystyczny punkt przy energii elektronów mniejszej niż wysokość bariery – punkt, w którym transmitancja wynosi 1. Jest to zjawisko związane z podwójną barierą: wewnątrz studni potencjału (pomiędzy barierami) tworzy się przerwa energetyczna, w której zachodzi rezonans elektronowy. Skutkuje to wysoką transmitancją w wąskim przedziale energetycznym.

W drugiej części tego zadania wykorzystano wzór Tsu-Esakiego do obliczenia charakterystyki prądowo-napięciowej. Wcześniej wprowadzono zmianę potencjału w urządzeniu – poprzez przyłożenie napięcia zewnętrznego potencjał zmienia się, liniowo malejąc.

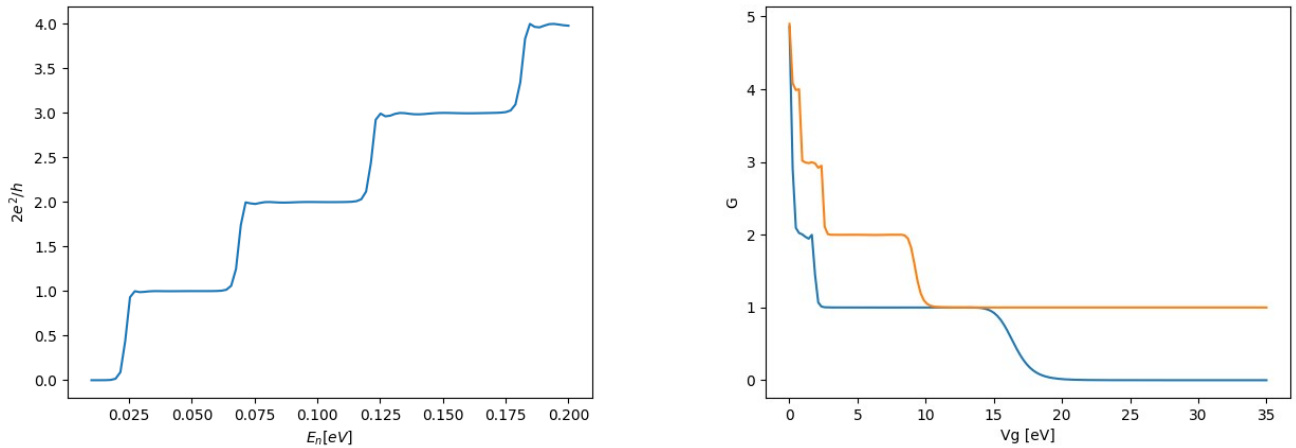
3 Kwantowy kontakt punktowy



Rys. 3: Rozkład potencjału w QPC (po lewej). Efektywny potencjał działający na elektron dla 5 najniższych stanów.

Korzystając z pierwszych pięciu stanów, obliczono przewodność QPC jako funkcję energii.

Zaobserwowano charakterystyczną kwantyzację konduktancji – jeden kwant konduktancji odpowiada wartości $\frac{2e}{h}$. W ostatnim etapie przeanalizowano przewodność w funkcji napięcia bramki dla dwóch energii (50 meV i 100 meV).



Rys. 4: Konduktancja w funkcji energii (po lewej). Konduktancja w funkcji napięcia na bramce dla energii Fermiego równej 50 meV i 100 meV.