

mgr inż. Alina Mreńca-Kolasińska

Streszczenie rozprawy doktorskiej pt. *Symulacje transportu kwantowego w układach grafenowych ze złączami n-p*

Grafen jest dwuwymiarową odmianą alotropową węgla z atomami ułożonymi w strukturze heksagonalnej. W klasyfikowanym jako półmetal grafenie, ze względu na brak przerwy energetycznej, możliwe jest kontrolowanie typu przewodnictwa (elektronowego lub dziurowego) poprzez zewnętrzne potencjały elektrostatyczne, w przeciwieństwie do np. nanostruktur półprzewodnikowych III-V, w których możliwe to jest tylko przez domieszkowanie.

Cecha ta pozwala na wytwarzanie złącz n-p przez potencjały elektrostatyczne przyłożone do zewnętrznych bramek. Rozmiar oraz geometria złącz mogą być formowane dowolnie. Opis teoretyczny zachowania nośników ładunku na indukowanych elektrostatycznie złączach n-p oraz jego konsekwencje dla własności elektrycznych próbki jest głównym przedmiotem tej rozprawy.

W pracy rozważane są między innymi złącza n-p indukowane z wykorzystaniem metody mikroskopii bramki skanującej (ang. scanning gate microscopy, SGM). Technika ta polega na wprowadzeniu do układu zewnętrznego, lokalnego potencjału poprzez zbliżenie do powierzchni próbki naładowanego ostrza mikroskopu sił atomowych (ang. atomic force microscope, AFM) i pomiarze zmian przewodności w funkcji położenia ostrza.

Cechą charakterystyczną nośników ładunku w grafenie jest ich zdolność do pokonywania barier potencjału przez tzw. tunelowanie Kleina. Ze względu na transparentność barier dla nośników odpowiedź układu na zaburzenie potencjału wprowadzone techniką SGM jest innej natury niż w nanostrukturach półprzewodnikowych typu III-V, co jest przedmiotem badań opisanych w rozprawie.

Szczególne uwagę w rozprawie poświęcono złączom n-p w zewnętrznym polu magnetycznym. W warunkach kwantowego efektu Halla prądy ładunkowe płyną wzdłuż krawędzi próbki. Prąd krawędziowy napotyka na złącze n-p zaczyna przepływać wzdłuż złącza, co klasycznie można wytłumaczyć tym, że na nośniki ładunku w sąsiadujących regionach o różnym typie przewodnictwa działa siła Lorentza o przeciwnym zwrocie dla elektronów i dziur. Po obydwu stronach złącza siła Lorentza działa w kierunku złącza, co w ujęciu klasycznym powoduje powstawanie orbit węzowych, a istotnie powoduje, iż złącze działa jak falowod dla nośników ładunku. Własność ta pozwala na kontrolę przepływu prądu poprzez zastosowanie bramek indukujących określony profil potencjału.

Badania opisane w rozprawie wykorzystują podejście Landauera z rozwiązaniem kwantowomechanicznego problemu rozproszeniowego dla nośników z poziomu Fermiego do wyliczenia własności transportowych próbek. Kwantowy problem rozproszeniowy rozwiązywany jest dla atomistycznego Hamiltonianu ciasnego wiązania. W rozprawie określamy możliwości mapowania gęstości elektronów w grafenie przy pomocy techniki sondy skanującej w kontekście tunelowania Kleina. Proponujemy technikę detekcji stanów rezonansowych uwięzionych w indukowanym bramką złącza n-p przez pomiar zmiany energii, przy której rezonans występuje. Badamy odpowiedź układu na zaburzenie przez ostrze mikroskopu prostych układów wytworzonych z grafenu: wstęp oraz kontaktów punktowych o różnych geometriach. Analizujemy także interferometr Halla oparty na zamkniętym złączu n-p indukowanym przez ostrze mikroskopu bramki skanującej. Ponadto, rozprawa zawiera opis teoretyczny przewodności złącz n-p-n w formie kwantowych kontaktów punktowych z modulowanym przestrzennie współczynnikiem zapełnienia. Uwzględnienie efektów dekoherencji w warunkach kwantowego efektu Halla dla układów o rozmiarach mezoskopowych pozwoliło na odtworzenie doświadczalnie obserwowanej ułamkowej kwantyzacji oporu oraz na interpretację wyników doświadczenia.