

mgr inż. Elżbieta Strzałka

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Streszczenie rozprawy doktorskiej pt. *Modelowanie obrazowania ładunku uwięzionego w planarnych kropkach kwantowych z wykorzystaniem mikroskopii bramki skanującej*

Inspiracją dla niniejszej rozprawy doktorskiej jest technika mikroskopii bramki skanującej (SGM) i jej zastosowanie do badania zamkniętych nanostruktur półprzewodnikowych, podlegających blokadzie kulombowskiej. Praca jest oparta o obliczenia numeryczne opisujące warunki laboratoryjne eksperymentów SGM, w których metalizowane ostrze mikroskopu skaningowego wprowadza lokalne zaburzenie potencjału i wpływa na przewodność układu. Dzięki temu technika bramki skanującej może być stosowana do eksperymentów związanych ze znoszeniem blokady kulombowskiej (tzw. mikroskopia blokady kulombowskiej).

Dużą część rozprawy stanowi dyskusja możliwości obrazowania gęstości elektronowej związanej w dwuwymiarowych kropkach kwantowych przez określenie zmiany, jaką tip wywiera na układ. W celu obliczenia map energii układu w zależności od położenia ostrza rozwiązano kilkuelektronowe równanie Schrödingera metodą oddziaływania konfiguracji. Potencjał indukowany przez tip modelowano głównie krótkozasięgową funkcją. Na podstawie równania całkowitego pochodzącego z rachunku zaburzeń odtwarzano gęstość elektronową i porównywano ją z dokładną gęstością ładunku zgromadzonego w kropce. Obliczenia wykonano dla kropek kwantowych o różnych rozmiarach i kształtach oraz przy różnych wartościach zewnętrznego pola magnetycznego, aż do zakresu ułamkowego kwantowego efektu Halla. Szczególną uwagę poświęcono molekułom Wignera. Jednoelektronowe wyspy ładunku, powstające w kropkach o niskiej symetrii, okazały się być stosunkowo łatwe do odtworzenia z mapy potencjałów chemicznych. Jednocześnie dla potencjałów uwięzienia, dla których istnieje kilka równoważnych konfiguracji klasycznych ładunków punktowych minimalizujących potencjał, odpychające ostrze silnie zaburza stan układu i utrudnia odwzorowanie oryginalnej gęstości ładunku. Zauważono także, że w małych kropkach kwantowych w obecności pola magnetycznego, odpowiadającego całkowitemu współczynnikowi wypełnienia najniższego poziomu Landaua, gęstość o właściwościach cieczy elektronowej daje się z powodzeniem odtworzyć.

W dalszej części rozprawy przeprowadzono badania nad formą efektywnego potencjału indukowanego przez ostrze. Aby opisać jego kształt w dokładny sposób, w modelu uwzględniono ekranowanie dalekozasięgowego potencjału tipu przez ładunki dwuwymiarowego gazu elektronowego, którego rezerwuary pozostają w słabym sprzężeniu z kropką/kropkami kwantowymi. Zaproponowano samouzgodniony, iteracyjny algorytm wielu rachunków DFT, wykonywanych osobno dla każdej części układu. Zaimplementowana metoda pozwoliła uzyskać linie ładowania kropki kwantowej, jak również oszacować wpływ potencjału ostrza na poszczególne części układu oraz jego faktyczny kształt. Pokazano, że efektywnie potencjał tipu staje się krótkozasięgowy, asymetryczny i silnie zależny od położenia ostrza.

Rezultaty ostatnich badań, opisane w rozprawie, dotyczyły propozycji wykorzystania mikroskopii bramki skanującej w eksperymencie elektrycznego dipolowego rezonansu spinowego. Interesowano się szczególnie podwójnymi kropkami kwantowymi w warunkach blokady Pauliego. Ostrze mikroskopu wprowadzając zmienne pole elektryczne może powodować obrót spinu, a w konsekwencji zniesienie blokady. Zaimplementowano rachunek ewolucji czasowej układu, jako bazę wykorzystując stacjonarne stany własne, obliczone metodą oddziaływania konfiguracji. Obserwowano przejścia z trypletu T_+ do stanów, w których przepływ prądu przez układ jest możliwy: do trypletu T_0 lub singletu S . Tempo przejść spinowych okazało się silnie zależne od położenia tipu. Tempo jest zgodne z elementami macierzowymi, dzięki czemu można uzyskać informacje o funkcjach falowych uwięzionego układu.