

Streszczenie

Autor: Tomasz Szczepański

Tytuł: Transport ładunku i spinu oraz akumulacja spinowa w magnetycznych złączach tunelowych.

W niniejszej pracy został zbadany mechanizm transportu nośników prądu elektrycznego oraz spinu w strukturach wielowarstwowych takich jak złącza półprzewodnikowe, rezonansowe diody tunelowe oraz kropki kwantowe. Głównym celem pracy jest określenie podstawowych własności przepływu prądu elektrycznego oraz spinowego przez tego rodzaju struktury. Praca ma charakter opracowania teoretycznego lecz nawiązuje do wyników badań prowadzonych nad omawianymi układami. Wyniki tych eksperymentów zostały opublikowane i odnośniki do tych prac znajdują się w spisie publikacji na końcu rozprawy.

W pracy znajduje się przegląd najważniejszych dokonań uzyskanych w badaniach poświęconych spintronice oraz rozwinięcie niektórych wyników odnoszących się do rezonansowych diod tunelowych. Przedstawiono główne cechy przepływu prądów tunelowych oraz kontaktowych dla wielowarstwowych złącz tunelowych, zawierających bariery potencjału oraz studnie potencjału ze skwantowanymi poziomami energetycznymi. Obliczenia prowadzone były analitycznie oraz numerycznie. Zbadana została zależność prawdopodobieństwa efektu tunelowego, decydującego o przepływie prądu w niniejszej strukturze, od natężenia pola magnetycznego obejmującego jedną warstwę zewnętrzną. Zbadano charakterystykę przepływu prądu przez diodę tunelową zawierającą poziom rezonansowy w warstwie studni potencjału, jak również wpływ parametrów geometrycznych takich jak grubość bariery potencjału na przepływ prądu. Ponadto wzięto pod uwagę możliwą polaryzację spinową prądu przepływającego przez układ oraz związaną z tym możliwość akumulacji spinowej ładunku w warstwie studni. Uwzględniono też magnetyzację wewnątrz studni indukowaną spinowym rozszczepieniem poziomu rezonansowego. Przedyskutowano wpływ wartości rezonansowego poziomu energetycznego na możliwość wystąpienia prądu tunelowego. W szczególności zbadany został proces magnetyzacji poziomu rezonansowego w obszarze studni potencjału, która sama nie znajduje się pod działaniem zewnętrznego pola magnetycznego. Uzyskane wyniki potwierdzają możliwość manipulacji przepływem spinu przez rezonansowe diody tunelowe, a zatem pozwalają traktować je jak filtry spinowe.

Przeanalizowane zostały właściwości transportowe struktur wielowarstwowych z niemagnetycznymi oraz magnetycznymi warstwami centralnymi pod kątem szumu śrutowego. Statystyczny charakter transportowanych ładunków z uwzględnieniem spinu jest uwzględniony za pośrednictwem czynników Fano, których wartości zostały obliczone w zależności od konfiguracji momentów magnetycznych w poszczególnych warstwach struktur. Tego typu analizy wskazują na istotną rolę ziarnistości ładunków i spinów na proces transportu, a co za tym idzie także własności elektroniczne materiałów z szumami śrutowymi. Przeanalizowano przypadek szumów w układach ze słabą oraz silną relaksacją spinową. Wyniki zostały porównane z danymi eksperymentalnymi. Wykazane zostało, że względne ustawienie przestrzenne momentów magnetycznych wpływa na zakres szumu śrutowego w domieszkowanych złączach magnetycznych. Silna relaksacja spinowa okazuje się mieć istotny wpływ na wartość czynnika Fano. Z analizy danych eksperymentalnych wynika, że czynnik Fano może ulegać zmianie poprzez dobór konfiguracji magnetycznej poszczególnych

warstw układu. Przeanalizowano wpływ możliwej asymetrii spinowej oraz prawdopodobieństw tunelowania przez różne poziomy energetyczne na wartość czynnika Fano. Wskazano na związek pomiędzy szumem śrutowym oraz zależnym od spinu efektem tunelowym.

Badanie roli szumów śrutowych na proces transportu nośników ładunku i spinu przez układy wielowarstwowe z molekularnymi poziomami energetycznymi w centralnej warstwie zawierającej związek organiczny lub kropkę kwantową było następnie kontynuowane z wykorzystaniem formalizmu statystyki pełnego zliczania. W rozprawie zbadano własności transportu przez układ z dwoma dyskretnymi poziomami energetycznymi, uwzględniając istnienie silnego oddziaływania kulombowskiego pomiędzy elektronami mogącymi obsadzać stany w takim układzie. Został opisany efekt kontroli oraz teoretycznego zrozumienia zjawisk szumu śrutowego i magnetooporu tunelowego we wszystkich czterech stanach magnetycznych dwubarierowych złącz tunelowych. Uogólnienie podejścia zaprezentowanego w dotychczasowych publikacjach poświęconych statystyce pełnego zliczania odnosi się do zależnego od spinu tunelowania elektronów poprzez warstwę molekularną znajdującą się pomiędzy złączami magnetycznymi. Jako metody obliczeniowej użyto rozwiązana równania fundamentalnego z wykorzystaniem prawdopodobieństw przebywania molekuł w jednym z możliwych stanów.

Uogólnienie modelu dwupoziomowego do przypadku struktury magnetycznej ma istotny wpływ na zakres szumów pojawiających się w układzie. W przypadku struktury niemagnetycznej i jednakowego prawdopodobieństwa tunelowania poprzez górny i dolny poziom energetyczny, potwierdziliśmy wartość czynnika Fano uzyskanego w pracach poprzedników. Ponadto przedyskutowaliśmy prawdopodobieństwo tunelowania obdarzonych spinem cząstek poprzez łańcuchy molekularne i relatywnie grube złącza tunelowe w sytuacji gdy energia poziomów różnych molekuł nie jest dokładnie taka sama. W takim przypadku czynnik Fano ma wartość odpowiadającą przypadkowi statystyki poissonowskiej.

W pracy przedstawiono przegląd wyników badań eksperymentalnych m. in. nad prądami spinowymi, szumami śrutowymi oraz tunelowym magnetooporem. Wyniki tych badań są w zgodzie z przewidywaniami teoretycznymi.

W podsumowaniu do rozprawy odniosłem się do perspektywy dalszych prac i możliwych kierunków badań nad elektroniką spinową, ze szczególnym uwzględnieniem możliwych zastosowań i korzyści płynących z wykorzystania przyszłych odkryć w tej dziedzinie.