

Postęp w nanotechnologii ma znaczący wpływ na nasze życie, a badania naukowe w obszarze nanoskali wciąż trwają. Jednak świat kurczących się nanourządzeń rządzi się prawami mechaniki kwantowej, które różnią się od naszych codziennych doświadczeń i stwarzają dla badaczy wiele nowych wyzwań. Na przykład elektron, składnik atomów, ma kwantową cechę zwaną spinem, która powoduje, że elektron zachowuje się jak mały magnes. Spin elektronu jest wykorzystywany w spintronice. Jest to gałąź nanotechnologii badająca rolę spinu elektronu, w połączeniu z jego ładunkiem elektrycznym, w zjawiskach przewodnictwa elektrycznego w urządzeniach półprzewodnikowych, molekułach lub pojedynczych atomach. Spintronika stała się ważną częścią badań zarówno z fundamentalnego punktu widzenia, jak i zastosowań, ponieważ ma duży potencjał w zakresie nowoczesnych technologii.

Spiny jądrowe są już wykorzystywane do rutynowo przeprowadzanych obrazowań metodą rezonansu magnetycznego (MRI) w medycynie do celów diagnostycznych. Konwencjonalny elektronowy rezonans spinowy (ESR) zwykle wykrywa makroskopową liczbę atomów z niesparowanymi elektronami. Uzyskane ostatnio przełomowe osiągnięcia w spinowo spolaryzowanej skaningowej mikroskopii tunelowej (SP STM) umożliwiają badanie dynamiki spinów poszczególnych atomów, izolowanych lub zintegrowanych w strukturach spinowych w nano skali. Grupa badawcza IBM połączyła wysoką rozdzielczość konwencjonalnego elektronowego rezonansu spinowego ze skaningową mikroskopią tunelową (STM-ESR), aby zmierzyć rezonans spinowy elektronów dla poszczególnych atomów umieszczonych na warstwie tlenku magnezu. Aby uzyskać widma ESR, eksperymetatorzy zmieniali częstotliwość napięcia elektrycznego przykładanego między igłą STM a próbką. Następnie monitorowali średni prąd tunelowy, który przy rezonansie wzrastał. Pomimo tych osiągnięć zaskakujące jest to, że wciąż pozostaje wiele otwartych pytań dotyczących mechanizmu prowadzącego do w pełni elektrycznego sygnału ESR, który oznacza, że moment magnetyczny reaguje rezonansowo na zmienne pole elektryczne. Dzięki temu w badanym układzie nie jest konieczne stosowanie zewnętrznego zmiennego pola magnetycznego, jak w konwencjonalnych pomiarach ESR. Jeden z celów badawczych tego projektu jest związany z tymi pytaniami.

Pokażemy, że również stałe zewnętrzne pole magnetyczne można zastąpić polem wymiany, kontrolowanym przez lokalne napięcie elektryczne bramki. W tym celu dostosowujemy model kropki kwantowej (atomu) sprzężonej tunelowo z elektrodą ferromagnetyczną (spinowo spolaryzowana igła STM) oraz z elektrodą normalną (podłoże ze srebra z cienką warstwą izolacyjną MgO, która tworzy drugą barierę tunelową). Będziemy badać wpływ procesów wymiany wirtualnych cząstek, które skutkują efektywnym magnetycznym polem wymiany, a które nie były uwzględnione w poprzednich modelach. Naszym zdaniem przyłożone zmienne napięcie elektryczne może generować zmienne magnetyczne pole wymiany, co może pozwolić na w pełni elektryczne zjawisko ESR. Zbadamy magnetyczne oddziaływania wymiany w obecności zmiennych napięć przyłożonych do tego układu i przetestujemy hipotezę, czy takie napięcie może powodować zmienne magnetyczne pole wymiany. Takie magnetyczne pole wymiany sterowane napięciem może być użyteczne, ponieważ pozwoliłoby na uniknięcie generowania silnych pól magnetycznych, co jest technicznie trudne w nanourządzeniach i umożliwi skalowanie tej technologii. Może to otworzyć nową drogę wykorzystania spinu w nanoelektronice.

Cel projektu jest zgodny z obecnym światowym kierunkiem badań związanym z rozwojem obliczeń kwantowych i technologii kwantowych. Technologie kwantowe to nowo powstający obszar, który może mieć podobny wpływ na nasze społeczeństwo, jak klasyczna technologia układów scalonych. W 2016 r. podczas otwarcia konferencji Quantum Europe w Amsterdamie zaprezentowano „Manifest kwantowy”. Manifest ten wzywa państwa członkowskie i Komisję Europejską do odważnych inwestycji strategicznych, aby doprowadzić do drugiej rewolucji kwantowej. Planowane badania teoretyczne dostarczą nowych wyników, które można wykorzystać w spintronice, pomiarach ESR pojedynczych obiektów lub obliczeniach kwantowych i kwantowej komunikacji. Potencjał techniki ESR dla pojedynczego spinu nie został w pełni odkryty i dlatego konieczne są jego dalsze badania.