

SPRĘŻENIE MAGNON-FONON W 2D MAGNETYCZNYCH HETEROSTRUKTURACH PRZY BRAKU I W OBECNOŚCI SIECI SKYRMIONÓW

W urządzeniach elektronicznych informacja przenoszona jest przez ładunki elektryczne, co powoduje wydzielanie ciepła Joule'a i straty energii, co istotnie ogranicza gęstość upakowania elementów logicznych. W związku z tym, jest duże zapotrzebowanie na alternatywną technologię, na przykład opartą na falach. Materiały ferromagnetyczne mają stały moment magnetyczny, ponieważ spiny elektronów na sąsiednich węzłach są ustawione równolegle do siebie. Zaburzenie jednego spinu może wywołać kolektywny ruch precesyjny, czyli falę spinową (FS). Podobnie w materiałach krystalicznych, które składają się z okresowo rozmieszczonych atomów, przy zaburzeniu grupy atomów można spowodować drgania rozprzestrzeniające się wewnątrz ciała, jako fale akustyczne. W przypadku cienkich warstw, fale akustyczne mogą rozchodzić się po powierzchni i są wtedy zwane powierzchniowymi falami akustycznymi (PFA). Kwazicząstki związane z FS i PFA są znane jako magnony i fonony. Podobnie jak fale elektromagnetyczne, FS i PFA mogą być wykorzystywane do przenoszenia informacji zakodowanej w ich amplitudzie, fazie, długości fali czy częstotliwości. FS mogą rozprzestrzeniać się w materiałach magnetycznych bez przemieszczania ładunku elektrycznego, co eliminuje niepożądane rozgrzewanie. Typowe częstotliwości FS mieszczą się w zakresie od kilku do setek GHz, a ich odpowiednie długości fal zawierają się w zakresie od setek do kilkudziesięciu nanometrów. To sprawia, że FS nadają się do projektowania zminiaturyzowanych urządzeń do przetwarzania informacji, działających przy wysokich częstotliwościach mikrofalowych. By zniwelować słabe strony magnonów, warto je sprząć z fononami. Tutaj, jednym z podstawowych wyzwań jest zwiększenie wydajności sprzężenia między magnonami i fononami, tak aby informacja mogła być wymieniana tam i z powrotem z wysoką efektywnością. Jednocześnie pożądane są efekty podobne do tych występujących w diodach, tj. jednokierunkowa propagacja FS i PFA. Kolejnym kluczowym zadaniem jest wybór odpowiedniego materiału, tak aby można było kontrolować właściwości FS i PFA, a rozmiar urządzenia zmniejszyć do kilku nanometrów. Pod tym względem, pojedyncza magnetyczna warstwa atomowa, zwana dwuwymiarowym materiałem magnetycznym (M2DM) i oparte o nią heterostrukтуры (M2DH) są bardzo obiecujące. Jednakże, właściwości magnonów i fononów w M2DM, jak i ich heterostrukturach, nie zostały dotychczas zbadane. Inną cechą cienkich materiałów ferromagnetycznych jest występowanie konfiguracji skyrmionowej, czyli stabilnej, spiralnej orientacji spinów w heterostrukturach cienkowarstwowych. Ponieważ rozmiar skyrmionu może wynosić dziesiątki nanometrów, to ma on ogromny potencjał do tworzenia urządzeń do przechowywania danych o dużej gęstości zapisu. Oprócz tego, obecność skyrmionów może umożliwić dodatkowe sterowanie FS, charakterystyką fononów czy sprzężeniem magnon-fonon. Zatem, podejmujemy zadania, by zbadać i opracować metody kontroli, zoptymalizować właściwości magnonów, fononów i skyrmionów, tak by wzmocnić sprzężenie magnon-fonon i łamanie wzajemności w M2DH, mając na celu rozwój hybrydowych urządzeń magnonicznych, które ostatecznie przekroczą ograniczenia prędkości, wydajności, funkcjonalności i gęstości upakowania występujące w obecnie stosowanej technologii CMOS.

Będziemy starać się odpowiedzieć na cztery kluczowe pytania: (1) Czy możemy dostrajać właściwości magnonów i fononów zmieniając właściwości M2DH? (2) Czy możemy osiągnąć silne sprzężenie magnon-fonon? Jeśli tak, to jak i jakie są tego konieczne elementy? (3) Czy możliwe jest osiągnięcie dużej niewzajemności dla magnonów, fononów, a tym samym dla sprzężenia magnon-fonon? Jeśli tak, to w jaki sposób? (4) Jakie są zalety sieci skyrmionów jako kryształów magnonicznych i czy sprzężenie magnon-fonon można wzmocnić poprzez skyrmiony, czy nie?

Głównym celem projektu jest zbadanie sprzężenia magnon-fonon w M2DH. Materiały M2DM będą wytwarzane metodą mechanicznej eksfoliacji i chemicznego osadzania z fazy gazowej, a urządzenia będą wytwarzane konwencjonalnymi technikami nanolitografii. M2DH zostaną przygotowane przez hybrydyzację M2DM z różnymi magnetycznymi, niemagnetycznymi materiałami 2D i cienkimi warstwami. FS i PFA będą wzbudzone termicznie w temperaturze pokojowej lub elektrycznie przez przetworniki mikrofalowe. Magnony, fonony i zjawiska sprzężenia magnon-fonon będą badane za pomocą spektroskopii Brillouina lub metody elektrycznej detekcji FS. Zbadamy, jak właściwości M2DH mogą wpływać na FS, PFA, skyrmiony i sprzężenie magnon-fonon. Skyrmiony będą badane przy wykorzystaniu mikroskopu elektronowego lub optycznego mikroskopu Kerra. Podejścia analityczne i numeryczne zostaną wykorzystane do analizy właściwości M2DH, magnonów, fononów, skyrmionów i ich sprzężenia.

Otrzymane wyniki będą miały wpływ na rozwój wielu dziedzin badawczych i przyszłych technologii. Zbadanie właściwości międzywierzchniowych w funkcji różnych parametrów, z pewnością poprawi ogólne zrozumienie zjawisk interfejsowych w M2DH, w tym podstawowych mechanizmów fizycznych. Badanie magnonów, fononów, skyrmionów i kontrolowanie ich właściwości, pomoże pogłębić ogólną wiedzę o charakterystyce różnych kwazicząstek w M2DM. W ramach projektu zostanie zademonstrowane tworzenie sieci skyrmionów na różne sposoby oraz kontrola sprzężenia magnon-fonon. Natomiast zbadanie magnonów i fononów przy braku wzajemności i jego wpływ na sprzężenie, będą miały ścisły związek z praktycznymi zastosowaniami w diodach czy cyrkulatorach.