

# Streszczenie rozprawy doktorskiej

mgr. Krzysztofa Szulca

*pt: Wpływ oddziaływań między warstwami ferromagnetycznymi na dynamikę fal spinowych*

Materiały magnetyczne są znane od tysięcy lat. Dzięki ich szerokiemu zastosowaniu w urządzeniach takich jak silniki, sensory, komputery czy też nawet jako zwykłe magnesy na lodówkę, pełnią one istotną rolę w dzisiejszym świecie. Duże nadzieje aplikacyjne wiązane są z falami w ferromagnetykach, tj. falami spinowymi. Obecnie wykorzystywane jednostki obliczeniowe bazują głównie na urządzeniach elektronicznych, jednakże dalsza miniaturyzacja układów scalonych może być wkrótce niemożliwa ze względu na ograniczenia dotyczące wysokich gęstości mocy i napięć. Ogromną zaletą fal spinowych jest ich niska energia, która w połączeniu z długościami fal rzędu setek, a nawet dziesiątek nanometrów w zakresie częstotliwości mikrofalowych daje możliwość stworzenia urządzeń w nanoskali o dużo mniejszym zużyciu energii od urządzeń elektronicznych. W ostatnich dwóch dekadach naukowcy kładą duży nacisk na projektowanie podstawowych magnonicznych urządzeń logicznych takich jak sprzęgacz, dioda, tranzystor czy bramki logiczne, które mogłyby znaleźć zastosowanie w magnonicznych układach scalonych. W takich układach ważną jest kontrola oddziaływania pomiędzy elementami, aby następnie mieć możliwość wykorzystania pełnego potencjału fal spinowych.

W tej rozprawie doktorskiej badam ferromagnetyczne układy wielowarstwowe, które mogłyby znaleźć zastosowanie w układach magnonicznych. Rozprawę rozpoczynam od wprowadzenia do magnetyzmu. Dalej zostają wyjaśnione pojęcia mikromagnetyzmu, oddziaływania rządzące układami magnetycznymi, tekstury magnetyczne oraz fale spinowe, kończąc na obecnie intensywnie badanych kryształach magnonicznych i obliczeniach z wykorzystaniem fal spinowych. Następnie wyjaśniam metody numeryczne wykorzystane w pracy doktorskiej wraz ze szczegółowym przedstawieniem implementacji problemów. W pierwszej części badań pokazuję jak oddziaływania o nieodwracalnym charakterze mogą być wykorzystane do zaprojektowania urządzeń o asymetrycznym działaniu. Oddziaływanie Działoszynskiego-Moriya zostało wykorzystane do wyindukowania asymetrii w relacji dyspersji fal spinowych, co następnie posłużyło do zaprojektowania diody oraz cyrkulatora dla fal spinowych. W drugim badaniu, powierzchniowy charakter modów Damona-Eshbacha pochodzący od oddziaływań dipolowych został wykorzystany do stworzenia czteroportowego urządzenia, które w zależności od częstotliwości pełni różne funkcje takie jak cyrkulator, sprzęgacz czy reflektor. Kolejne badanie pokazuje jak oddziaływanie Działoszynskiego-Moriya wraz z prostopadłą anizotropią magnetyczną może przyczynić się do zaniku oddziaływania pomiędzy warstwami na dystansie zaledwie jednego nanometra, co może być wykorzystane do stworzenia układów nieoddziałujących falowodów. W trzeciej części skupiam się na wykorzystaniu oddziaływania pomiędzy warstwami do sprzężenia materiałów z teksturą magnetyzacji z materiałami o niskim tłumieniu fal spinowych w celu stworzenia kryształów magnonicznych. Pierwszym układem jest warstwa ze słabą prostopadłą anizotropią magnetyczną, w której indukują się domeny paskowe, które oddziałują z warstwą permaloju. Dzięki oddziaływaniu, tekstura domen paskowych nadrukowuje się na permaloju, dzięki czemu układ ma charakter kryształu magnonicznego, którego relacja ma charakter nieodwracalny i którą można kontrolować poprzez zmianę kierunku magnetyzacji permaloju. Drugim układem był falowód z permaloju, nad którym umieszczony został łańcuch dysków z oddziaływaniem Działoszynskiego-Moriya. W dyskach może być ustabilizowana konfiguracja jednodomenowa oraz skyrmion. Pokazuję, że relacja dyspersji zmienia się wraz ze zmianą konfiguracji w dysku. Ze względu na inny charakter wzbudzeń konfiguracji jednodomenowej oraz skyrmionu, układ ze skyrmionami może oddziaływać na niższych częstotliwościach. Ponadto pokazuję, że jedna część modów skyrmionowych hybrydyzuje z modami falowodowymi, czasem indukując dodatkowe przerwy pasmowe, zaś druga część nie oddziałuje, tworząc stany związane.