

mgr inż. Jakub Chęciński

Streszczenie rozprawy doktorskiej pt.  
*Modeling of magnetization dynamics in spintronic oscillators*

Oscylatory spintroniczne stanowią klasę urządzeń spintronicznych zdolnych do emisji lub detekcji sygnału o wysokiej częstotliwości (w przedziale od setek MHz do pojedynczych THz) dzięki istnieniu stabilnych energetycznie oscylacji namagnesowania. W zależności od rodzaju uporządkowania magnetycznego materiału oraz od mechanizmu fizycznego stabilizującego oscylacje, mogą one zostać podzielone na kilka grup, takich jak oscylatory oparte na zjawisku tzw. spin-transfer torque, oscylatory oparte na spinowym efekcie Halla oraz oscylatory antyferromagnetyczne. Każda z nich cechuje się odmiennymi wadami i zaletami w kontekście zastosowań w nanotechnologii i elektronice oraz wymaga odmiennego podejścia teoretycznego w celu opisanie dynamiki układu oraz jego interakcji z sygnałami zewnętrznymi.

W niniejszej rozprawie zawarte są wyniki przeprowadzonych badań dotyczących dynamiki oscylatorów ferromagnetycznych, dynamiki oscylatorów antyferromagnetycznych oraz wytworzonych narzędzi modelowania i symulacji. Wykazano, że oscylator oparty na zjawisku spin-transfer torque może służyć jako czujnik pola magnetycznego i tym samym stanowić część składową głowicy odczytowej dysku twardego. Zbadany został ilościowy wpływ niejednorodności zewnętrznego pola na działanie takiego urządzenia. Zaproponowano metodę jednoczesnego odczytu dwóch niezależnych pól magnetycznych przy zachowaniu wysokiego stosunku sygnału do szumu, możliwą dzięki wykorzystaniu głowicy opartej o oscylator typu spin-transfer torque. Przetestowano możliwości realizacji obliczeń neuromorficznych przy użyciu sieci połączonych ze sobą oscylatorów opartych na spinowym efekcie Halla, demonstrując przykładową implementację tzw. pamięci stowarzyszonej oraz algorytmu detekcji krawędzi. Przeanalizowano zachowanie oscylatorów antyferromagnetycznych w kontekście ich interakcji z zewnętrznym polem magnetycznym, zarówno na poziomie ogólnego rozwiązania równania dynamiki, jak i wybranych typowych przypadków szczególnych. Wykazano, że wprowadzenie zewnętrznego pola magnetycznego może prowadzić do jakościowo nowych zjawisk w dynamice oscylatora, takich jak m.in. obecność przesunięcia fazowego zależnego od właściwości materiałowych w odpowiedzi na sygnał sinusoidalny lub możliwość rezonansowego wzmocnienia amplitudy obserwowanych oscylacji.

Narzędzie typu open-source, ułatwiające przygotowywanie plików konfiguracyjnych symulacji mikromagnetycznych oraz późniejszej analizy danych, zostało opracowane w ramach przygotowania do przeprowadzenia opisanych w pracy badań. Na potrzeby przyszłego użytkownika udokumentowana

została konstrukcja programu i typowe przypadki użycia, wraz z przykładową symulacją magnetycznego złącza tunelowego. Dodatkowo, przedstawiono fenomenologiczną metodę szacowania poziomów szumu termicznego w magnetorezystywnych złączach tunelowych, która wykorzystuje jedynie kilka łatwo mierzalnych wielkości pomiarowych. Otrzymane rezultaty, porównane z wynikami eksperymentów, wskazują, że informacja o rezystancji, objętości i czułości polowej jest wystarczająca w celu przewidzenia zarówno mocy szumu białego, jak i mocy szumu typu  $1/f$  w typowym czujniku opartym o magnetyczne złącze tunelowe mierzonym przy pomocy prądu elektrycznego o dowolnej amplitudzie.