

Celem projektu jest badanie nanooscylatora zasilanego spinowo spolaryzowanym prądem (ang. Spin-torque oscillator, STO) w dowolnym polu magnetycznym. Oscylator STO jest nowoczesnym urządzeniem nanoelektronicznym, którego główną cechą jest bardzo cienka (o grubości rzędu pojedynczych nanometrów) warstwa magnetyczna. Prąd elektryczny płynący przez taką warstwę może być spolaryzowany spinowo, co oznacza, że wiązki składających się na niego elektronów posiada spin zorientowany zgodnie z pewnym określonym kierunkiem. W takim wypadku, jeżeli tylko prąd elektryczny jest dostatecznie silny, jego przepływ doprowadzi do powstania stabilnej precesji momentów magnetycznych w cienkiej nanowarstwie, które będą zachowywały się w sposób podobny do obrotów dobrze znanego białka dziecięcego. W rezultacie otrzymujemy w pełni funkcjonalne urządzenie STO, które może zostać użyte np. w układach elektronicznych jako źródło sygnału wysokiej częstotliwości, przyczyniając się do powstania nowoczesnych urządzeń oraz rozwoju nanotechnologii w przyszłości.

Innym interesującym cechem oscylatora STO jest jego zdolność do wykrywania szybkich zmian pola magnetycznego. W zależności od parametrów technologicznych urządzenia, jego częstotliwość oscylacji może mocno zmieniać się w zależności od kierunku i amplitudy zewnętrznego pola magnetycznego. W rezultacie jest możliwe skonstruowanie bardzo małego, a mimo to bardzo precyzyjnego sensora pola magnetycznego przy użyciu technologii bazującej na STO. Monitorując zmiany w częstotliwości oscylacji, można odtworzyć zmiany przebiegu zewnętrznego pola magnetycznego, co znajduje zastosowanie choćby w trakcie odczytu danych z magnetycznego dysku twardego (ang. hard disk drive, HDD), kluczowego elementu występującego w wiązce współczesnych komputerów.

W ciągu ostatnich kilku lat, wprowadzenie technologii SSD (od angielskiego solid state drive) stworzyło nowe standardy dla szybkości pracy dysku, których dyski typu HDD prawdopodobnie nie będą w stanie osiągnąć w najbliższej przyszłości. Średni koszt przechowywania jednego bitu danych pozostaje jednak znacznie wyższy w przypadku dysków SSD niż w przypadku dysków HDD, co powoduje, że te ostatnie w dalszym ciągu są kluczowe dla rozwoju przemysłu komputerowego. Oprócz tego, należy zwrócić uwagę na rosnące zainteresowanie technologiami dysków hybrydowych, które zaprojektowane są tak, aby łączyć najważniejsze zalety dysków HDD i SSD poprzez użycie części SSD jako swego rodzaju pamięci tymczasowej dla danych przechowywanych na wydajnej i oszczędniejszej części HDD. Dlatego też, dalsze badania nad technikami zapisu i odczytu danych z dysków HDD pozostają bardzo ważne dla wszelkich gałęzi nauki i gospodarki bazujących na przechowywaniu informacji.

Inną gałąź elektroniki, która może odnieść korzyści z realizacji projektu, jest wykrywanie defektów w procesie produkcji obwodów elektronicznych, w szczególności ich wysoko zminiaturyzowanych układów scalonych. Szybkie i precyzyjne nanosensory pola magnetycznego mogłyby być użyte do badania rozkładu prądów i tym samym uszkodzeń w urządzeniu, w szczególności jeżeli są w stanie dobrze pracować z niejednorodnym polem magnetycznym, co jest kluczowymi cechami badań w projekcie.

Projekt stworzy teoretyczne podstawy oraz oprogramowanie dla symulacji STO w obecności dowolnego pola magnetycznego, wykorzystując tak zwane podejście mikromagnetyczne, które posiada tę przewagę nad tradycyjnie używanymi modelami, że umożliwia wprowadzanie dowolnych niejednorodności pola magnetycznego do obliczeń. Cechą tą jest kluczowa z punktu widzenia dynamiki oscylatora STO, w szczególności ich w kontekście ekstremalnie małych magnetycznych domen istniejących w nowoczesnych twardych dyskach. Wszelkie stworzone oprogramowanie będzie opierało się na zasadzie open-source i będzie kompatybilne z istniejącym obecnie i popularnym w symulacjach mikromagnetycznych środowiskiem Object-Oriented Micromagnetic Framework.

Innym istotnym celem projektu będzie badanie nad materiałami, parametrami geometrycznymi oraz technologicznymi oscylatora STO prowadzone w celu znalezienia układu najlepszego z punktu widzenia detekcji pola magnetycznego. Szczególnie należy wykonać badania zwracając uwagę na czułość oscylacji na zewnętrzne pole oraz zdolność układu do produkcji czystego, wyraźnego sygnału, pozbawionego dużych zakłóceń ze strony szumów. Dodatkowo, projekt przeanalizuje wpływ dodatkowych elementów głowicy odczytowej, np. tarcz magnetycznych ekranujących oscylator przed wpływem pola pochodzącego od sąsiednich domen, na jakością otrzymywanych wyników. Podjęta zostanie próba zmaksymalizowania szybkości odczytu, co jest istotne z punktu widzenia konstrukcji coraz szybszych komputerów w przyszłości. Wreszcie, zbadany zostanie ważny czynnik w procesie detekcji pola magnetycznego, jakim jest temperatura i powodowane przez nią szumy termiczne.

Symulacje będą przeprowadzone przy użyciu superkomputera Prometheus zlokalizowanego w Akademickim Centrum Komputerowym Cyfronet AGH, który jest obecnie najpotężniejszym superkomputerem w Polsce i jednym z 30 najpotężniejszych komputerów na świecie oraz 12 w Europie. Posiada on ponad 40 000 procesorów marki Intel Haswell i zapewni użytkownikom łącznie ok. 216 terabajtów pamięci RAM, a także 10 petabajtów pamięci dla celów przechowywania plików, z szybkim dostępnym dochodzącym do 180 GB/s. Dzięki wykorzystaniu najnowszych systemów bezpośredniego chłodzenia wodnego, Prometheus oferuje ogromne oszczędności w zużyciu energii w porównaniu z architekturami centrów komputerowych używanymi jeszcze kilka lat temu, co prowadzi do większej wydajności przy mniejszych kosztach i przy mniejszym obciążeniu dla środowiska. Dzięki możliwościom stworzonym przez Prometheusa, będziemy w stanie wielokrotnie zwiększyć tempo obliczeń poprzez użycie wielu procesorów jednocześnie na potrzeby jednej symulacji.

Eksperymentalne pomiary szumu termicznego będą przeprowadzone w zespole Magnetycznych Układów Wielowarstwowych i Elektroniki Spinowej w Katedrze Elektroniki AGH przez badaczy specjalizujących się w tematyce szumów w sensorach magnetycznych. Użyjemy wysoko wyspecjalizowanych elementów pozwalających na szybkie i precyzyjne gromadzenie danych. Próbkę zostanie przygotowane w Akademickim Centrum Materiałów i Nanotechnologii, w pomieszczeniach wysokiej czystości (klasa ISO 5) przy użyciu zaawansowanych metod litografii elektronowej. Dane zebrane tą metodą będą użyte do skalibrowania modelu szumów termicznych. W celu wydajnej analizy różnych rodzajów modeli, użyjemy specjalistycznych metod obliczeniowych opartych na sztucznej inteligencji takich jak sztuczne sieci neuronowe czy hierarchiczne algorytmy genetyczne.