

Celem projektu jest zaprojektowanie nowych struktur i analiza teoretyczna mechanizmów fizycznych szczególnie interesujących z punktu widzenia poboru mocy, efektu kluczowego w nowoczesnej „zielonej informatyce”. Aby osiągnąć ten cel wykorzystane zostaną zalety spintroniki, będącej gałęzią nanonauki skupiającej się na badaniach układów fizycznych, w których wykorzystywany jest nie tylko ładunek nośników prądu elektrycznego, ale również wewnętrzny moment magnetyczny zwany spinem. Co za tym idzie, w projekcie badane będą struktury zawierające warstwy ferromagnetyczne o grubościach sto razy mniejszych niż najmniejsze obiekty, jakie można dostrzec pod mikroskopem optycznym.

W projekcie badana będzie wzbudzana polem elektrycznym dynamika magnetyzacji i magnetorezystancji w magnetycznych złączach tunelowych (ang. Magnetic tunnel junctions, MTJs), które to mogą pełnić rolę zarówno nieulotnych elementów pamięci, jak i nanodetektorów mikrofalowych przy wykorzystaniu tzw. efektu spinowo-diodowego, polegającego na spinowo-zależnej konwersji zmiennego sygnału wejściowego na stały sygnał wyjściowy. Jednym z najbardziej interesujących parametrów złącza MTJ jest kierunek orientacji namagnesowania przy braku pola zewnętrznego zwany kierunkiem anizotropii magnetycznej. Wzbudzana polem elektrycznym zmiana anizotropii jest szczególnie interesującym rodzajem wzbudzania dynamiki magnetyzacji ze względu na niewielką ilość energii niezbędną do przeprowadzenia tego procesu. Jest tak ponieważ w wysokorezystancyjnych złączach tunelowych prąd płynie bardzo mały, a zatem wydziela się bardzo niewiele pasywnego ciepła. Wzbudzany napięciem rezonans ferromagnetyczny w złączach MTJ jest jednym z najbardziej obiecujących zjawisk z punktu widzenia projektowania elementów mikrofalowych przyszłości. Poprzez przyłożenie zmiennego napięcia do elementu spintronicznego o wysokiej rezystancji, można zaobserwować zmiany anizotropii prostopadłej, co może skutkować wywołaniem precesji magnetyzacji ze względu na zmianę położenia równowagi w układzie poddawającym go za zmianę napięcia wymuszającego. W tym samym momencie, efekty przepływu niewielkiego prądu (amplituda prądu może być optymalizowana poprzez technologię wykonania złącza) pozostają bez istotnego wpływu na magnetyzację. Sygnał może być mierzony jako stałe napięcie powstające z mieszania zmiennego prądu i rezystancji oscylującej wraz z magnetyzacją w MTJ.

Korzystając z międzynarodowej współpracy, naniesione zostaną próbki z wykorzystaniem metod rozpylania jonowego oraz epitaksji związki molekularnej, co pozwoli na badania szerokiego spektrum parametrów MTJ, a w szczególności anizotropii różniących się wartością i kierunkiem. Parametry materiałowe zostaną zoptymalizowane w celu uzyskania maksymalnego sygnału wyjściowego w skrajnej linii rezonansu ferromagnetycznego. Próbki zostaną nanostrukturyzowane przy użyciu trój krokowej litografii elektronowej dostępną w Akademickim Centrum Materiałów i Nanotechnologii AGH. Pomiary efektu spinowo-diodowego będą prowadzone w laboratorium SPIN-LAB w Katedrze Elektroniki AGH, które jest wyposażone w wyspecjalizowaną aparaturę do pomiarów mikrofalowych w zakresie temperatur od 14 K do 475 K oraz do przykładania zewnętrznego pola magnetycznego.

Pionierskim celem projektu będzie w szczególności badanie wzbudzanego polem elektrycznym efektu spinowo-diodowego w układach z anizotropią w płaszczyźnie złącza, na który to temat nie było jak dotychczas żadnych doniesień literaturowych, oraz badania nad wyłanianiem się nowo odkrytych kontrolowania mierzalnego sprężenia wymiennego za pomocą pola elektrycznego. Ta ostatnia może zaowocować stworzeniem nowej gałęzi urządzeń i otwarciem drogi ku nowym rodzajom eksperymentów w przyszłości.

W celu zarówno wspomaganie analizy wyników eksperymentalnych, jak i modelowania nowych zjawisk fizycznych, zostaną zastosowane symulacje mikromagnetyczne. W metodzie tej, materiał ferromagnetyczny jest modelowany jako łożysko lokalnych wektorów namagnesowania opisywaną poprzez równania różniczkowe. W celu przeprowadzenia obliczeń numerycznych, przestrzeń symulacji jest dyskretyzowana w siatkę prostokątnych komórek posiadających własne wektory namagnesowania. Następnie, uwzględniane są oddziaływania między wszystkimi komórkami oraz warunki zewnętrzne takie jak przyłożone pole elektryczne.

Wszystkie obliczenia będą wykonywane z wykorzystaniem infrastruktury PL-Grid na superkomputerze Prometheus, który to jest najnowszym i najmocniejszym superkomputerem w Polsce, dysponującym mocą obliczeniową odpowiadającą ponad 40 000 komputerom osobistym. Możliwość dostarczania przez infrastrukturę PL-Grid wykorzystane zostaną do przeprowadzenia w pełni zrównoległych obliczeń. Zastosowane będą zarówno poprzednio stworzone przez wnioskodawcę programy komputerowe oraz modele obliczeniowe, jak i nowe narzędzia informatyczne powstałe w trakcie projektu. W szczególności badany będzie przestrzenny rozkład drgań wektorów namagnesowania w dziedzinie czystotliwości, między innymi przy użyciu transformacji falkowej. Wszystkie badania teoretyczne będą poddawane ciągłej weryfikacji poprzez eksperymenty i pojawiające się publikacje naukowe.

Wyniki eksperymentalne, narzędzia programistyczne oraz metody obliczeniowe powstałe w trakcie trwania projektu pozwolą na wydajne modelowanie nanourządzeń spintronicznych i znacząco zwiększą możliwości zrozumienia złożonych wyników, a także zaprojektowanie struktur i optymalizowanie parametrów urządzeń przed ich wykonaniem. Projekt zatem będzie prowadził do redukcji czasu i kosztów wykonywania próbek w przyszłych badaniach w spintronice.

Wynikiem końcowym projektu będą projekty struktur łączących nieulotną informację charakterystyczną dla urządzeń magnetycznych oraz niski poziom poboru mocy i wydzielanego ciepła związane z urządzeniami sterowanymi polem elektrycznym, co będzie krokiem w stronę tańszej i bardziej wydajnej nanotechnologii przyszłości.