

Elektronika spinowa jest dziedziną techniki, która do przechowywania i przetwarzania informacji cyfrowej wykorzystuje nie tylko ładunek elektronu, ale również jego spin. Spin (czyli moment pędu elektronu) związany jest z magnetyzmem materii. Uporządkowany kierunek spinów atomowych wzajemnie sprzężonych siłami wymiany objawia się istnieniem wewnątrz pola magnetycznego zwanego namagnesowaniem, które charakteryzuje stan ferromagnetyczny.

W ramach projektu badane będą cienkie (o grubości rzędu 1 nm, czyli kilku warstw monoatomowych) warstwy magnetyczne w siedztwie tzw. metali ciężkich (takich jak wolfram, iryd, tantal, platyna). Właśnie ci bardzo cienkie warstwy są istotne i zaskakujące w stosunku do tych znanych z mikroelektroniki. W szczególności, dla cienkich warstw magnetycznych możemy zmieniać (i kontrolować) tzw. anizotropię magnetyczną, czyli preferowany kierunek namagnesowania przy pomocy spinowo-spolaryzowanego prądu, lub pola elektrycznego. Dodatkowo, wykorzystując cienkie warstwy metaliczne i przepuszczające prąd ładunkowy wzdłuż takiej warstwy, w pewnych materiałach można wytworzyć prąd spinowy (czyli przepływ spinu elektronu, a nie jego ładunku) w kierunku prostopadłym do warstwy (i do przepływu prądu ładunkowego). Stwarza to unikalne własności wpływające na magnetyzm siedzący tego z przewodnikiem układu magnetycznego, który może być wykorzystany do zapisu i przechowywania informacji.

Warunkiem wytworzenia relatywnie dużych prądów spinowych jest wykorzystanie materiałów z dużym oddziaływaniem spinowo-orbitalnym. W najprostszym rozumieniu, to sprzężenie charakterystyczne dla danego pierwiastka jest miarą energii, która wiąże obracający się wokół jądra elektron (z podstaw fizyki, ruchomy ładunek wytwarza pole magnetyczne) z jego spinem, który też objawia się zewnętrznym polem magnetycznym. W ten sposób materiał nie będzie ferromagnetykiem, czyli np. wolfram może być źródłem spinowo-spolaryzowanego prądu, który będzie wpływał na magnetyzm innych, siedzących warstw.

Ów prąd spinowy może również wzbudzić tzw. precesję (rotację) magnetyzacji. Typowa częstotliwość precesji namagnesowania to około 1 GHz czyli zakresu interesującego z punktu widzenia transmisji sygnałów, telekomunikacji itp. Tym właśnie planujemy zająć się w ramach proponowanego projektu. Celem projektu jest wytworzenie i badanie elementów elektroniki spinowej o rozmiarach nanometrowych pod kątem dynamiki indukowanej prądami spinowymi w zakresie mikrofalowym.

Prace zostały zainicjowane przez wiodące grupy zajmujące się spintroniką na Uniwersytecie Cornell w Stanach Zjednoczonych. W publikacji: L. Liu et al. Science 336, 555 (2012) pokazano, że warstwa platyny w siedztwie cienkiej warstwy stopu Co i Fe może być wykorzystana do sterowania magnetyzmem tej drugiej. Ta pionierska praca zainicjowała szereg badań nad magnetyzmem indukowanym przez prąd spinowy pochodzące ze sprzężenia spin-orbita w metalach ciężkich. Autor projektu planuje skupić się na materiałach o wysokim sprzężeniu spinowo-orbitalnym, takich jak: wolfram, iryd, tantal, w celu maksymalizacji udziałów prądów spinowych do ładunkowych. Dodatkowo planowane są badania dynamicznych własności namagnesowania, poprzez wzbudzenia fal spinowych, tzw. efekt rezonansu ferromagnetycznego (FMR), który może być wykorzystany w praktyce w urządzeniach telekomunikacyjnych w postaci lokalnych oscylatorów i detektorów mikrofalowych. Badania będą prowadzone we współpracy międzynarodowej z renomowanym Instytutem japońskim AIST z Tsukuby, który dysponuje unikalną aparaturą do nanoszenia ultra-cienkich warstw metalicznych, izolacyjnych i ferromagnetycznych, z którą autorowi udało się współpracować podczas odbywania stażu podoktorskiego.

Dodatkowo w celu detekcji sygnału wykorzystane będą efekty: tunelowej- (TMR), gigantycznej- (GMR), a także anizotropowej – (AMR) magnetorezystancji. Za odkrycie gigantycznej magnetorezystancji dwóch naukowców: A. Fert oraz P. Grunberg zostali uhonorowani nagrodą Nobla w 2007 roku. Wykorzystując wymienione zjawiska planujemy zbudować nowe rodzaje urządzeń mikrofalowych, umożliwiających detekcję i generację fal elektromagnetycznych w zakresie przydatnym m.in. w telekomunikacji. W celu realizacji planów badawczych planujemy skupić się na następujących zadaniach: wytworzenie i optymalizacja struktur warstwowych pod kątem maksymalizacji udziałów prądów spinowych, statyczne i dynamiczne pomiary transportu elektrycznego w wytworzonych mikro- i nanoukładach, modelowanie teoretyczne dynamicznych układów indukowanych prądami spinowymi.

Część eksperymentalna projektu będzie zawierała zarówno projektowanie i wytworzenie nano-struktur cienkowarstwowych, jak również badanie własności strukturalnych i magnetycznych na poziomie cienkich warstw. Systematyczne badania nad różnymi materiałami w siedztwie warstwy CoFe zostały zainicjowane wraz z partnerem z AIST i opisane w publikacji: W. Skowronski et al. Phys. Rev. B 91, 184410 (2015). Następnie, optymalne układy będą poddane zaawansowanym metodom litograficznym, czego efektem będzie stworzenie spintronicznych nanoelementów wykazujących odpowiednie własności elektryczne. Nanolitografia zostanie przeprowadzona w Akademickim Centrum Materiałów i Nanotechnologii AGH, które dysponuje linią technologiczną w pomieszczeniach wysokiej klasy czystości (ISO5).

Układy będą poddane kompleksowej charakteryzacji pod kątem własności statycznych i dynamicznych, takich jak wartości magnetorezystancji, stosunek prądów spinowych do ładunkowych (kąt Halla), efekt diody spinowej, sterowanie rezonansem ferromagnetycznym przy pomocy pola elektrycznego. Na każdym etapie projektu proponowane rozwiązania będą wspierane obliczeniami teoretycznymi i symulacjami.

W ramach projektu badawczego planujemy wykorzystać efekty spinowe w celu realizacji nowej klasy układów dynamicznych. Do nowatorskich rozwiązań należy wykorzystanie efektów spinowo-orbitalnych w metalach ciężkich do indukowania dynamiki w siedzącej warstwie ferromagnetycznej. Następnie planujemy rozwinąć prototypowe urządzenie trójterminalowe, które wykorzystuje dodatkowy wpływ napięcia na anizotropię magnetyczną w celu stworzenia oscylatora mikrofalowego sterowanego napięciem. Zaletą urządzeń trójterminalowych i wykorzystania układów ze sprzężeniem spin-orbita jest możliwość separacji prądów ładunkowych i spinowych co wpływa na niskie zużycie mocy układów i zmniejsza niebezpieczeństwo przebicia tunelowych elementów.

Wykorzystując urządzenia elektroniki spinowej, można zminimalizować udział prądów ładunkowych na rzecz prądów spinowych, które umożliwiają zredukowanie ciepła wydzielanego w układzie. Na dodatek, wykorzystanie mikrofalowych własności układów spintronicznych może przyczynić się do dalszej redukcji poboru mocy np. urządzeń transmitujących sygnały wysokiej częstotliwości ze względu na potencjalnie lepszą sprawność układów i mniejsze rozmiary urządzeń, które do pracy nie wymagają elementów indukcyjnych o dużych rozmiarach. Pozwoliłoby to na wydłużenie czasu pracy urządzeń mobilnych pracujących przy użyciu zasilania bateryjnego.