

## **Modelowanie oscylacji namagnesowania wzbudzanych przez spinowo spolaryzowany prąd w cienkich warstwach ferromagnetycznych**

Tematyka rozprawy doktorskiej obejmuje badania nad modelowaniem nanoelektronicznych urządzeń, działających w oparciu o prądy spinowe, znanych pod angielską nazwą Spin-Torque Oscillators (STO). W typowym przypadku, układy te zbudowane są z trzech cienkich warstw o grubości pojedynczych nanometrów (a więc kilkunastu monowarstw atomowych) umieszczonych jedna na drugiej i uformowanych w kształt nanodrutu o średnicy 30-100 nanometrów. Warstwa środkowa składa się z materiału izolującego i nie wykazującego znaczących własności magnetycznych (np. tlenku magnezu MgO), podczas gdy dwie pozostałe warstwy składają się z materiału przewodzącego prąd i wykazującego właściwości ferromagnetyczne (np. kobalt Co lub żelazo Fe). Gdy przez taki układ przepuszczony zostanie prąd elektryczny, wykazujący cechę tzw. polaryzacji spinowej, elektrony będą w stanie tunelować przez cienką warstwę MgO, transportując ze sobą swój wewnętrzny moment pędu (spin) i przekazując jego część do końcowej nanowarstwy żelaza, tym samym wprawiając jej wektor namagnesowania w wirujący ruch precesyjny. Odpowiednio dobierając parametry STO, można uzyskać namagnesowanie wirujące w takiej warstwie w sposób nieprzerwany oraz charakteryzujący się wysoką (rzędu GHz) i dającą się kontrolować częstotliwością. Ma to kluczowe znaczenie z punktu widzenia zastosowań w nanoelektronice, które obejmują m.in. pamięci na dyskach twardych, elementy mikrofalowe, precyzyjne i szybkie czujniki pola magnetycznego do zastosowań w technice lub medycynie.

W ramach pracy doktorskiej budowany jest teoretyczny model działania oscylatorów STO uwzględniający wiele efektów fizycznych jednocześnie, co pozwoli na szybkie i skuteczne przewidywanie zachowania takich urządzeń w różnych warunkach bez konieczności każdorazowego wykonywania kosztownych oraz pracochłonnych badań eksperymentalnych. Szczególny nacisk położony będzie na zagadnienie interakcji takiego układu z zewnętrznym polem magnetycznym, a zwłaszcza z polem silnie niejednorodnym przestrzennie, co jest typowe dla większości realistycznych zastosowań, a do tej pory nie zostało jeszcze opisane. Innym ważnym aspektem będzie uwzględnienie efektów termicznych związanych z pracą urządzenia w temperaturze pokojowej, które, choć niełatwe w modelowaniu, będą miały istotny wpływ na parametry oscylatora i na emitowanego przez niego sygnału. Dodatkowo, zbadane zostaną możliwości działania nowej klasy oscylatorów, które mogłyby pracować wykorzystując nowe efekty fizyczne, jakie wzbudziły duże zainteresowanie w ciągu ostatnich kilku lat. Przykładem takiego efektu jest spinowy efekt Halla, dzięki któremu prąd elektronowy przepuszczany przez strukturę warstwową o właściwościach spinowo-orbitalnych ulega konwersji na bezładunkowy prąd spinowy, co skutkuje ograniczeniem strat energii związanych z emisją ciepła i większą wydajnością urządzenia. Inną interesującą możliwością są oscylatory wykorzystujące nietrywialne topologiczne cechy nanowarstwy, powodujące, że jej namagnesowanie może układać się np. w kształt wirowy. Rozważania związane z topologią nano-układów są jednym z najważniejszych kierunków rozwoju współczesnej fizyki ciała stałego i były przedmiotem m.in. Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki przyznanej w roku 2016.

Duża ilość efektów fizycznych uwzględnianych jednocześnie przy tworzeniu realistycznego komputerowego modelu powoduje, że prace nad nim wymagają dostępu do bardzo dobrze wyposażonej infrastruktury obliczeniowej. Z tego powodu, badania realizowane będą przy pomocy superkomputera Prometheus zlokalizowanego w Centrum Komputerowym Cyfronet AGH. Prometheus posiada łączną moc obliczeniową przekraczającą 2,3 biliarda operacji na sekundę i jest najpotężniejszym superkomputerem w naszej części Europy. Oprogramowanie pomocnicze, którego stworzenie przewiduje się w ramach pracy doktorskiej, będzie przystosowywane do szybkich obliczeń równoległych prowadzonych przy użyciu komputerów AGH Cyfronet i udostępniane publicznie na zasadzie open-source, co potencjalnie przyczyni się do dalszego rozwoju technik obliczeniowych związanych z tą dziedziną badań.