

Gliwice, 7-10-2022

OPINIA

o pracy doktorskiej mgr inż. Pawła Steblińskiego

pt. „Analiza dynamiki przemagnesowania ferromagnetycznych struktur nisko wymiarowych pod kątem zastosowań w układach pamięciowych i przetwarzania informacji”

Praca doktorska kandydata dotyczy analizy zachowania się ferromagnetycznych obiektów o rozmiarach rzędu nanometrów pod kątem zastosowań w magnetoelektronice z wykorzystaniem wykonanego symulatora mikromagnetycznego. W pracy sformułowano następującą tezę:

„W mikromagnetycznych modelach urządzeń nanomagnetycznych, zmienny w czasie i przestrzeni rozkład temperatury i namagnesowania, zadany poprzez użycie odpowiednich równań dla nieustalonych stanów temperaturowych i namagnesowania, w tym poprzez równania Landaua - Lifshitz - Blocha (LLB), umożliwia określenie optymalnych warunków dla pracy urządzeń pamięciowych o jak najkrótszym czasie przetwarzania informacji oraz o jak największej gęstości zapisu”.

Mgr inż. Paweł Stebliński zrealizował zasadnicze elementy pracy doktorskiej pod moją opieką w latach 2018-2022, chociaż nasza współpraca naukowa rozpoczęła się jeszcze kilka lat wcześniej w Politechnice Śląskiej, z czego wynika obecny, znaczący dorobek publikacyjny. W ostatnim czasie Kandydat prowadził swoje prace badawcze będąc związanym z Wydziałem Elektroniki i Informatyki Politechniki Koszalińskiej, będąc uczestnikiem studiów doktoranckich. Biorąc pod uwagę

wcześniejsze osiągnięcia zawodowe kandydata, mogę stwierdzić, że posiada on bardzo bogate doświadczenie w zakresie symulacji i modelowania zjawisk występujących w urządzeniach elektronicznych, posiada również ogromną wiedzę w zakresie prowadzenia obliczeń równoległych oraz zdolność do głębokiej analizy problemów naukowych w oparciu źródła literaturowe o zasięgu międzynarodowym. Przeprowadzone bowiem badania, nawiązują do najnowszych trendów w rozwoju spintroniki – elektroniki spinu elektronowego, w szczególności korzystają z analizy mikromagnetycznej dynamiki przemagnesowania nanostruktur, co przełożyło się na zakres tematyczny obecnej pracy doktorskiej.

Materiały magnetoelektroniczne to nowa grupa materiałów, które wykorzystane są do budowy urządzeń nanoelektronicznych, opartych na zjawiskach transportu dodatkowego stopnia swobody, jakim jest spin elektronu. Badane te są intensywnie rozwijane przez wiodące ośrodki naukowe na całym świecie oraz w kraju. Szybki rozwój nanotechnologii przyczynił się do praktycznej realizacji takich rozwiązań, jak zawory spinowe, magnetyczne złącza tunelowe, komórki pamięci MRAM, czy głowice odczytujące klasycznych dysków twardych, oparte w swym działaniu na efekcie oddziaływania wymiennego na granicy materiału ferromagnetycznego i antyferromagnetycznego.

Równorzędnym i efektywnym narzędziem badawczym, poza stosunkowo drogimi technikami próżniowymi, są symulacje mikromagnetyczne. Metoda ta opiera się na dokładnym odtworzeniu kształtu badanych struktur, z wykorzystaniem metody elementów skończonych, a następnie zadaniu realnych parametrów fizycznych i materiałowych oraz na rozwiązywaniu równania ewolucji czasowo-przestrzennej dla wektora magnetyzacji w każdym węźle sieci, uśrednianiu informacji oraz na odpowiedniej prezentacji graficznej wyników. Na rynku istnieje kilka komercyjnych i niekomercyjnych symulatorów mikromagnetycznych. Jeszcze kilka lat temu dominowały takie, w których symulacje prowadzono w uproszczonym reżimie temperatury zera bezwzględnego ($T=0$), przy założeniu oddziaływania tylko z zewnętrznym przyłożonym polem magnetycznym.

Dla uzasadnienia postawionej w pracy tezy, kandydat zaprojektował i wykonał uniwersalny symulator mikromagnetyczny, który wychodzi znacząco poza standardowe równanie Landaua-Lifshitz-Gilberta (LLG) dla $T=0$. W symulatorze wprowadzono możliwość przełączania wybranych obszarów z wykorzystaniem prądu spinowo-spolaryzowanego (tzw. wyraz Słonczewskiego),

oddziaływanie typu Działoszyńskiego-Moryi (DMI), ale przede wszystkim wprowadzono możliwość prowadzenia obliczeń w realnych temperaturach, również bardzo wysokich, na granicy przejścia fazowego ferromagnetyk-paramagnetyk. Oznacza to implementację tzw. równania Landaua-Lifshitz-Blocha (LLB) w połączeniu z równaniem transportu ciepła w rozważanych nanostrukturach. Z technologicznego punktu widzenia zakres prac badawczych obejmował struktury warstwowe oraz kropkowe typu bit-patterned media (BPM) oraz analizę zjawisk cieplnych towarzyszących przełączaniu stanu magnetycznego typu Heat Assisted Magnetization Control (HAMS).

Wynikiem przeprowadzonych prac badawczych są następujące rezultaty:

- 1) Wytworzono uniwersalny symulator mikromagnetyczny z wprowadzonym przez autora, oryginalnym podejściem numerycznym, polegającym na uproszczeniu procesu dyskretyzacji, co znacznie przyspieszyło obliczenia prowadzone równolegle. Symulator został przetestowany i porównany z danymi literaturowymi i wykazuje pełną zgodność w zakresie otrzymanych wyników,
- 2) Zaprojektowano i przetestowano jednobitową komórkę pamięci magnetycznej o zoptymalizowanych rozmiarach, której stan jest kontrolowany przez odpowiednio dobrany – w sensie zmienności czasowej, stanu polaryzacji spinowej oraz warunków termicznych – transport elektronów w materiale.

Szczególnie ważnym wynikiem pracy jest analiza wielostanowej komórki pamięci magnetycznej oraz koncepcja procesora spintronicznego zamieszczone pod koniec pracy.

Mogę jednoznacznie stwierdzić, że Kandydat do stopnia doktora jest przykładem wybitnego i naprawdę unikalnego specjalisty w zakresie prowadzonych równolegle symulacji mikromagnetycznych, nawiązujących do najnowszych, światowych trendów badawczych w zakresie spintroniki.

W mojej ocenie, przedstawiona praca spełnia wymagania określone w Ustawie o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki z dnia 14.03.2003 r. (Dz. U. poz. 595 z 2003 roku z późniejszymi zmianami) i jest zgodna z Rozporządzeniem Ministra Nauki

i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 roku w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora. Wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora nauk technicznych, w mojej opinii zostały spełnione, wobec czego wnoszę o przyjęcie pracy i dopuszczenie mgr inż. Pawła Steblińskiego do kolejnych etapów przewodu doktorskiego.



Tomasz Błachowicz