



UNIwersytet  
Warszawski

Wydział Fizyki

Dr hab. Jacek Szczytko, prof. UW

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgra Tomasza Zalewskiego  
pt. *Ultrafast coherent photo-magnetic switching in ferrimagnetic garnets***

Praca doktorska pana mgra Tomasza Zalewskiego dotyczy fotomagnetycznego przełączania namagnesowania domen magnetycznych w warstwach granatów itrowo-żelazowych (yttrium-iron garnet YIG) domieszkowanych jonami kobaltu  $Y_2Ca_1Fe_{5-x-y}Co_xGe_yO_{12}$ . Praca została wykonana pod kierunkiem prof. dra hab. Andrzeja Stupakiewicza w Katedrze Fizyki Magnetyków na Wydziale Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku (UwB). Badane próbki zostały wyhodowane we współpracy międzynarodowej z Leibniz Institute of Photonic Technology (IPHT) w Jenie w Niemczech i w Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) w Meudon we Francji. Badania pana mgra Zalewskiego skupiły się na kontroli namagnesowania uzyskanej za pomocą ultrakrótkich impulsów laserowych na obszarze o średnicy kilkunastu lub kilkadziesiątu mikronów. Dzięki wykorzystaniu pomysłowego układu doświadczalnego udało się zaobserwować zależności przestrzenne i czasowe zmian namagnesowania powodowanych impulsami światła o kontrolowanej polaryzacji. Co warte podkreślenia rozmiary przestrzenne w skali kilkuset mikronów miały rozdzielczość pojedynczych mikronów, natomiast dokładność pomiarów czasowych sięgała pojedynczych femtosekund i obejmowała czasy powyżej 4 ns. Układ ten samodzielnie został zbudowany i oprogramowany przez Doktoranta w Laboratorium Spektroskopii Femtosekundowej na UwB.

Zagadnienia poruszone w rozprawie doktorskiej są bardzo aktualne – ilość prac naukowych poświęconych warwom YIG z ostatniej dekady przekracza 1000<sup>1</sup>, czyli co 3-4 dni pojawia się kolejna praca. Pan mgr Tomasz Zalewski skupił się na badaniu dynamiki namagnesowania, które było zaburzone ultrakrótkim impulsem światła. Kubiczna anizotropia krystaliczna granatów itrowo-żelazowych sprawiała, że spontaniczne namagnesowanie mogło pojawić się w 8 kierunkach tworząc 4 różne rodzaje domen. Dzięki odpowiedniej orientacji badanych kryształów, kontroli dezorientacji podłoży, na których były hodowane warstwy, dodatkowo można było kontrolować objętość domen obserwowanych na powierzchni próbki. Impuls światła zaburzał delikatną równowagę domen i lokalnie zmieniał moment magnetyczny tak, że ulegał on – w zależności od intensywności impulsu i jego polaryzacji – tłumionym

---

<sup>1</sup> Wyniki z serwisu Web of Science „yttrium-iron garnet film” w latach 2013-2024.

drżaniom wokół kierunku anizotropii krystalicznej albo pełnemu przemagnesowaniu. Układ eksperymentalny opracowany w ramach rozprawy doktorskiej pozwalał na pomiar zmian namagnesowania pojawiający się pod wpływem pojedynczego impulsu światła. Autorowi Rozprawy udało się po raz pierwszy zaobserwować precesję namagnesowania związaną z modem rezonansu ferromagnetycznego w przypadku pojedynczej domeny magnetycznej oraz w labiryntowej strukturze wielodomenowej (eksperyment omówiono w rozdziale 4). Obserwowana dynamika zachodziła w skali pikosekund, a jej obserwacja i analiza dowodzi kunsztu eksperymentalnego Doktoranta. Panu mgr Tomaszowi Zalewskiemu udało się także trwale przełączać pojedynczymi impulsami światła kierunek namagnesowania wykorzystując w tym celu odpowiednio spolaryzowane światło, a nie – jak to było wcześniej demonstrowane przez inne zespoły badawcze – podgrzewanie próbki (rozdział 6). Badania doświadczalne uzupełnia analiza teoretyczna zawarta w rozwiązaniach Landaua-Lifshitz-Gilberta (LLG), która daje wgląd w trajektorie fotoprzełączania kierunków namagnesowania badanych próbek. Jak wyczytałem w podziękowaniach rozprawy analiza teoretyczna i symulacje ewolucji namagnesowania były wykonane we współudziale dr Ilyii Razdolskiego i mgra Vladislava Ozerova.

Rozprawa doktorska mgra Tomasza Zalewskiego została napisana w języku angielskim, dzięki czemu – jeśli zostanie udostępniona na stronach internetowych Uniwersytetu w Białymstoku – ma szansę wejść do międzynarodowego obiegu naukowego. Praca zawiera 7 rozdziałów, z czego trzy pierwsze wprowadzają czytelnika w temat rozprawy i umiejscawiają ją w szerszym kontekście badań. Rozdziały 4, 5 i 6 to główne rozdziały rozprawy demonstrujące umiejętność Doktoranta w prowadzeniu wyrafinowanych eksperymentów fizycznych i ich analizy. Siódmy rozdział to krótkie podsumowanie. Praca jest bardzo starannie zredagowana. W polskim systemie oceny recenzent pracy doktorskiej nie ma wpływu na ostateczną postać pracy i niemożliwe są nawet drobne edytorskie poprawki. Jednak przyjęto się, że recenzja zawiera też listę niedociągnięć redaktorskich. Nie znalazłem ich wiele<sup>2</sup>. Niepotrzebnie został przeniesiony rysunek 3.13, który jest omawiany zaraz po 3.7, być może w wyniku jakiś „ostatnich” poprawek. Na stronie 48 są powtórzone zdania o obrazowaniu pojedynczych impulsów („single-shot imaging”) ze strony 41 (referencją [105]). Te drobne niedociągnięcia jednak nie psują ogólnie bardzo pozytywnego wrażenia na temat treści rozprawy.

Badania prowadzone w grupie prof. dr hab. Andrzeja Stupakiewicza mogą stanowić inspirację do kolejnych pytań związanych z dynamiką procesów zmiany namagnesowania warstw YIG pod wpływem impulsów światła. W trakcie rozprawy doktorskiej chciałbym zapytać o dobór optymalnych długości fali światła pompy i sondy. W pracy pompą było

---

<sup>2</sup> Str. 27 i 28 ostatni i pierwszy akapit: ta sama informacja o eksperymencie Kerra, Str. 51, to samo zdanie „two lenses with a focal length of 40 mm were employed”; Str. 93 powtórzone zdanie „Both of these results underline...”; na str. 77 powinno być pole  $H_{L,l}$ , a nie  $H_{L,l}$ , na str. 78 nie rozumiem oznaczeń  $W_u$  i  $W_c$  – chyba chodzi o te same parametry anizotropii jednoosiowej?

promieniowanie 1300 nm, a sonda to 650 nm lub 800 nm. Z wyników prezentowanych na wykresach 2.5 i 2.6 na str. 20 wynika moim zdaniem, że pompa 1300 nm wywołuje stosunkowo niewielką rotację Faradaya. Dlaczego wybrano akurat 1300 nm?

Chciałbym także zapytać o mechanizm oddziaływania spolaryzowanej fali elektromagnetycznej z kierunkami namagnesowania w YIG:Co. W rozprawie jest uczciwie napisane, że rozważa się mechanizm sprzężenia przejść optycznych w jonach kobaltu i ich wpływ na zmianę anizotropii magnetycznej i że ten mechanizm nie jest do końca poznany. Chętnie bym zatem poznał zdanie doktoranta na temat możliwych mikroskopowych mechanizmów prowadzących do zmiany kierunku namagnesowania poprzez oddziaływanie jonu kobaltu ze światłem. W jaki sposób kierunek, intensywność i polaryzacja światła wpływa na kierunki namagnesowania albo na anizotropię magnetyczną?

I mam jeszcze jedno pytanie – czy inna dezorientacja próbek nie byłaby wygodniejsza do badań? W jaki sposób przyjęto się, że akurat  $4^\circ$  i akurat odchylone w kierunku równoległym do boku komórki elementarnej, a nie np. w kierunku diagonalnej, jest najbardziej optymalne. Chodzi mi o rozważania minimalnej mocy potrzebnej do przemagnesowania „bitu” informacji zapisanej magneto optycznie: może inny kąt, lub inna dezorientacja podłoża dawałaby lepszą wydajność energetyczną?

Z załączonej do rozprawy notki dotyczącej dorobku naukowego wynika, że pan mgr Tomasz Zalewski jest współautorem łącznie 5 prac (jedna z nich na dzień dzisiejszy wciąż znajduje się recenzji) i we wszystkich jest pierwszym autorem. Jedna z prac opublikowana została w czasopiśmie specjalistycznym *Review of Scientific Instruments*, IF= 1,7, opis wyników został zawarty głównie w rozdziale 3 i 4 rozprawy doktorskiej. Drugą pracę opublikowano w bardzo renomowanym czasopiśmie tzw. głównego nurtu w fizyce *Applied Physics Letters* IF=3.7, wyniki zawarto w rozdziale 4. Rozdziały 5 i 6 zawierają wyniki zebrane w trzech kolejnych publikacjach, które zostaną opublikowane w doskonałych czasopismach: *Physical Review B* IF= 3,9 i *Physical Review Applied* IF=4,9, a jedna została wysłana do w czasopiśmie *Nature Communications* IF=17,7 i wierzę, że ma szansę na publikację w bardzo dobrym czasopiśmie.

Zgodnie z Art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* stwierdzam, że rozprawa doktorska pana mgra Tomasza Zalewskiego prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną w naukach fizycznych oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego precyzyjnego fotoprzełączania stanów namagnesowania w warstwach granatów itrowo-żelazowych domieszkowanych jonami kobaltu. Recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska zawiera wartościowe wyniki badań, które nie są przyczynkowe, a wnoszą nowe i istotne informacje o ultraszybkiej dynamice zjawisk magneto optycznych obecnych warstwach YIG. Na tej podstawie stwierdzam, że rozprawa doktorska spełnia wszystkie

wymagania ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* i zwracam się do Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu w Białymstoku z wnioskiem o dopuszczenie mgra Tomasza Zalewskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Ponadto uważam, że oryginalność metod i narzędzi badawczych rozprawy doktorskiej zasługuje na wyróżnienie, o co niniejszym wnioskuję.

Dr hab. Jacek Szczytko, prof. UW  
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego  
ul. Pasteura 5, 02-093 Warszawa  
[jacek.szczytko@fuw.edu.pl](mailto:jacek.szczytko@fuw.edu.pl)

Warszawa 14.02.2024 r.