

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Zalewskiego na temat
“Ultrafast coherent photo-magnetic switching in ferrimagnetic garnets”**

Praca doktorska mgr. inż. Tomasza Zalewskiego dotyczy ultraszybkiego przełączania kierunku magnetyzacji w warstwach granatu itrowo-żelazowego dotowanego kobaltem (YIG:Co) pod wpływem impulsów światła. Zagadnienie to jest niezwykle ważne z punktu widzenia szybkiego i energooszczędnego zapisu informacji. Przy czym aspekt poznawczy związany z obserwacją i wyjaśnieniem dynamiki procesu przełączania i precesji magnetyzacji, któremu w dysertacji poświęcono wiele uwagi jest równie ważny.

Praca jest napisana w języku angielskim i ma typowy układ. We wprowadzeniu Doktorant wyjaśnia znaczenie rozwoju informatyki we współczesnym świecie oraz tłumaczy główne ograniczenia związane ze wzrostem gęstości zapisu informacji przy równoczesnym wzroście szybkości przetwarzania oraz przy możliwie jak najmniejszym zużyciu energii. Jedną ze szczególnie obiecujących metod realizacji tych celów jest, jego zdaniem, przełączanie magnetyzacji pod wpływem światła. Dlatego w tym kierunku prowadzone były badania prezentowane w rozprawie. W trzech pierwszych podrozdziałach wprowadzenia mgr Tomasz Zalewski wyjaśnia zalety tej metody przełączania, skrótowo przybliża zagadnienia związane z dynamiką procesu przemagnesowania i na przykładzie warstw Gd-Fe-Co omawia termiczny mechanizm przełączania kierunku magnetyzacji pod wpływem światła. Kolejny podrozdział dotyczy nietermicznego przełączania magnetyzacji w YIG:Co pod wpływem impulsów światła emitowanych przez laser. W opisie tego zjawiska Doktorant odnosi się do wcześniejszych prac, z których wiele zostało opublikowanych przez zespół Prof. Andrzeja Maziewskiego z UwB, w tym również przy znaczącym udziale Prof. Andrzeja Stupakiewicza, promotora recenzowanej dysertacji. Liczba tych prac, jak również ranga czasopism, w których zostały opublikowane jednoznacznie pokazuje, że Doktorant miał możliwość realizacji swoich badań w jednej z wiodących w tej dziedzinie placówek naukowych. Kończąc omawianie nietermicznego przełączania impulsami światła mgr Tomasz Zalewski zwraca uwagę na brak do tej pory badań wskazujących na możliwość nietermicznego przełączania bez konieczności zmian orientacji liniowo spolaryzowanego światła. Mimo, że uzyskanie takiego przełączania wydaje się niezwykle trudne, lub wręcz niemożliwe, jego weryfikacja stanowiła główną motywację badań prezentowanych w rozprawie doktorskiej. Wprowadzenie zawiera również określenie celu badań, którym jest zwiększenie efektywności przełączania kierunku magnetyzacji w YIG:Co, pod wpływem impulsów światła. Ponadto Autor rozprawy określa co jest treścią pozostałych rozdziałów.

Rozdział drugi mgr Tomasz Zalewski poświęcił opisowi struktury i właściwości magnetycznych ferrimagnetycznych warstw YIG:Co osadzanych na podłożu GGG o składzie $Gd_3Fe_5O_{12}$ i orientacji (001). Doktorant zwraca uwagę na atrakcyjne dla wielu zastosowań właściwości YIG, w szczególności dotyczy to możliwości modyfikowania anizotropii, co jest istotne z punktu widzenia procesów fotomagnetycznych. Z tego powodu materiał ten wzbudza, od ponad pięćdziesięciu lat, zainteresowanie wielu grup badawczych, w tym również zespołu, w którym realizowane były badania do recenzowanej pracy. Dlatego właściwości wykorzystywanych przez Doktoranta próbek YIG:Co o stosunkowo dużym tłumieniu były już wcześniej dobrze określone i zostały w pracy przedstawione w formie tabelarycznej. Badania realizowane były z wykorzystaniem dwóch typów próbek różniących się zastosowaniem do

wzrostu warstw YIG:Co podłoży wyciętych równolegle do płaszczyzny krystalograficznej lub pod pewnym kątem. Pierwsze z nich wykazywały symetrię kubiczną, w drugim przypadku ta symetria jest zaburzona. Przechodząc do zależności temperaturowych badanych warstw mgr Tomasz Zalewski podaje, iż oba rodzaje próbek wykazują taką samą temperaturę Curie (T_C) i nie wykazują punktu kompensacji. Natomiast, zmiany temperatur wywołują w nich silne zmiany anizotropii i zmianę orientacji kierunku łatwego magnesowania. Zaznacza również, że w przypadku femtosekundowych impulsów światła w warstwach tych mogą zachodzić silne zmiany anizotropii. Przechodząc do właściwości optycznych i magnetoptycznych Doktorant omówił zmiany absorpcji i współczynnika określającego skręcenie w efekcie Faradaya w funkcji długości fali światła.

Trzeci rozdział pracy doktorskiej mgr. Tomasza Zalewskiego obejmuje opis metod eksperymentalnych stosowanych w badaniach prezentowanych w trzech kolejnych rozdziałach. We wprowadzeniu do tego rozdziału Doktorant przedstawia zalety metod magnetoptycznych w porównaniu do innych technik. Ze względu na to, że warstwy YIG na podłożach GGG są, w badaniach magnetoptycznych wykorzystywany był efekt Faradaya. W opisie tego zjawiska Doktorant w bardzo ciekawy sposób przypomina jego znaczenie i historię odkrycia. Zwraca przy tym uwagę na korelację pomiędzy indukcją elektromagnetyczną i wpływem pola magnetycznego na światło przechodzące przez przezroczysty ośrodek. Przy okazji opisu efektu Faradaya wprowadza i krótko opisuje inne pokrewne efekty magnetoptyczne, jak efekt Kerr'a, magnetyczny dichroizm kołowy i liniowy oraz efekt Voigta. Dalej zwraca uwagę na to, że w materiałach przezroczystych wykazujących uporządkowanie magnetyczne efekt Faradaya obserwowany jest również przy braku zewnętrznego pola magnetycznego. Wyjaśnia także różnicę pomiędzy rotacją i eliptycznością liniowo spolaryzowanego światła.

Przechodząc do obrazowania magnetoptycznego Doktorant określa zalety tej metody, w tym możliwość rejestracji zmian struktury magnetycznej niezależnie dla składowej magnetyzacji w płaszczyźnie próbki, jak również składowej prostopadłej. Przypomina, że kontrast struktury domenowej nie jest związany ze zmianami intensywności lecz ze zmianami polaryzacji światła, które w wyniku zastosowania analizatora zapewniają kontrast intensywności. Wyjaśnia jakie czynniki mają wpływ na sygnał wyjściowy, który rejestrowany jest przez kamerę CCD. Określa związek pomiędzy namagnesowaniem w próbce, wyrażonym poprzez kąt Faradaya a intensywnością sygnału rejestrowanego przez kamerę CCD.

Ostatnia, najważniejsza część rozdziału trzeciego dotyczy techniki pomiarów ultraszybkich procesów rejestrowanych z dużą rozdzielczością czasową. Doktorant wyjaśnia, że urządzenia elektroniczne nie gwarantują rozdzielczości czasowej wymaganej w badaniach procesów szybkiego przełączania magnetyzacji. W związku z tym są one realizowane z wykorzystaniem laserów impulsowych. Stworzenie na UwB stanowiska umożliwiającego badanie procesów dynamiki szybkiego przełączania kierunku magnetyzacji pod wpływem pojedynczych impulsów światła z zachowaniem dużej rozdzielczości w funkcji czasu i położenia było bardzo ważnym zadaniem realizowanym przez mgr. Tomasza Zalewskiego w ramach pracy doktorskiej.

Ze względu na stopień złożoności zbudowanej aparatury mgr Tomasz Zalewski przedstawił szczegółowy jej opis. Pierwszy z podrozdziałów dotyczy ogólnej zasady działania laserów generujących femtosekundowe impulsy światła oraz bardziej szczegółowego opisu lasera, który był wykorzystany w jego aparaturze. Laser ten generuje trzy wiązki światła o różnych długościach fali, co zapewnia możliwość regulowania częstotliwości impulsów pompujących i próbkujących. W drugim podrozdziale Doktorant wyjaśnia na czym polega metoda pomiarów wykorzystująca impulsy pompujące (wzbudzające) i próbkujące. W tego typu pomiarach niezwykle ważna jest możliwość precyzyjnej regulacji wzajemnego czasowego przesunięcia impulsów (tzw. czas opóźnienia). Doktorant opisuje metody generowania pojedynczych impulsów, co jest szczególnie ważne w badaniach procesu przełączania z ich wykorzystaniem. Wyjaśnia również, że możliwe jest stosowanie impulsów powtarzanych z określoną częstotliwością, co zapewnia śledzenie zmian zachodzących w funkcji czasu. Istotnym elementem umożliwiającym uzyskanie dużej rozdzielczości czasowej było zastosowanie

różnicowego foto-detektora i wzmacniacza lock-in. Skuteczność takiego rozwiązania Doktorant zademonstrował pokazując zmiany sygnału próbkującego mierzone w różnym odstępie czasowym od impulsu pompującego. W tym bardzo ładnym eksperymencie wykorzystano możliwość regulacji czasowego przesunięcia pomiędzy impulsem pompującym i próbkującym.

Ostatnia część rozdziału poświęconego technice pomiarów stosowanych w badaniach Doktoranta dotyczy magnetoptycznego obrazowania, z dużą rozdzielczością czasową i przestrzenną, dynamiki magnetyzacji inicjowanej pojedynczym impulsem. W tym przypadku obrazowanie realizowano z wykorzystaniem kamery CCD, dla której impulsy pompujące pełniły funkcję stroboskopowego oświetlacza. Przy zastosowaniu pojedynczych impulsów o parametrach wystarczających do przełączenia kierunku magnetyzacji eksperyment nie był prowadzony w trybie stroboskopowym, a początkowy stan magnetyczny był realizowany poprzez impuls zewnętrznego pola magnetycznego.

Niezwykle ważne jest to, że wszystkie omówione przez Doktoranta warianty pomiarów mogą być realizowane na jednym stanowisku dzięki zastosowaniu obrotowych zwierciadeł zmieniających tor wiązki światła. Podstawowy opis tej unikatowej aparatury jest przedmiotem pracy opublikowanej w 2021 w *Review of Scientific Instruments* a jej autorami są T. Zalewski i A. Stupakiewicz.

Podsumowując ten bardzo ważny rozdział pracy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Zalewskiego chcę podkreślić, że opracowanie koncepcji, budowa i uruchomienie tego wielofunkcyjnego stanowiska pomiarowego wymagała wielkiego nakładu pracy, szczególnie w zakresie optymalnego wyboru podzespołów. Osiągnięcie tego nie byłoby możliwe bez gruntownego przeanalizowania różnych rozwiązań. O tym, że Doktorant doskonale opanował wiedzę w zakresie magnetoptycznych pomiarów realizowanych z dużą rozdzielczością czasową i przestrzenną w jednoznaczny sposób świadczy treść trzeciego rozdziału rozprawy.

Kolejne trzy rozdziały (4-6) dysertacji mgr. Tomasza Zalewskiego dotyczą różnych, wcześniej niezbadanych, aspektów przełączania magnetyzacji wyłącznie z wykorzystaniem impulsów światła.

We wprowadzeniu do czwartego rozdziału Doktorant przypomina, że YIG:Co wykazuje dominację anizotropii magnetokrystalicznej związanej z kubiczną strukturą. W związku z tym w temperaturze pokojowej w stanie remanencji namagnesowanie może być zorientowane w jednym z ośmiu kierunków, co odpowiada czterem różnym fazom magnetycznym. Równowaga pomiędzy tymi stanami jest zachwiana gdy YIG jest osadzany na podłożu wciętym pod kątem względem płaszczyzny krystalograficznej, co objawia się w strukturze domenowej wykazującej obecność małych i dużych domen. Dla takich warstw mgr Tomasz Zalewski w pierwszej kolejności omawia przełączanie pojedynczej domeny w YIG:Co. Ten eksperyment jest w zasadzie powtórzeniem wcześniejszego eksperymentu [Stupakiewicz i inni *Nature* 2017], jednak w tym przypadku większa czułość sygnału magnetoptycznego oraz rozdzielczość czasowa i przestrzenna pozwoliła Doktorantowi na zaobserwowanie nowych osobliwości tłumionej precesji magnetyzacji o różnej amplitudzie po przełączeniu jej kierunku. Ponadto, możliwe było przeprowadzenie analizy zmian zachodzących pod wpływem impulsu pompującego w funkcji położenia na próbce względem centrum tego impulsu.

W następnej kolejności Doktorant analizuje dynamikę procesu przemagnesowania indukowanego impulsem światła w obszarze występowania stanu wielodomenowego. Parametrem zmiennym eksperymentu była fluencja impulsów światła. Mgr Tomasz Zalewski wyróżnia trzy zakresy fluencji. Przy najmniejszych jej wartościach impulsy światła wywołują jedynie precesję magnetyzacji. Wzrost fluencji skutkuje wpięrowaniem przemagnesowaniem małych domen, a przy dalszym jej wzroście zachodzi przemagnesowanie dużych domen. W eksperymencie tym wyraźnie widać, zarówno dla dużych jak i małych domen, wzrost powierzchni przełączonego obszaru w funkcji fluencji.

Różnicę fluencji niezbędnej do przełączenia małych i dużych domen Doktorant wykorzystał do zademonstrowania możliwości przełączenia pojedynczej domeny cylindrycznej. Nie poprzestał jednak na wykazaniu, że przełączenie tak małego obiektu jest możliwe, lecz również zbadał dynamikę tego

procesu, zarówno dla położenia w centrum domeny cylindrycznej jak i w obszarze poza tą domeną. Zmierzone zależności rotacji kąta Faradaya pokazują, że zmiana kierunku prostopadłej składowej magnetyzacji zachodzi jedynie w obrębie domeny cylindrycznej, podczas gdy w obrębie poza tą domeną impuls światła o tej samej fluencji skutkuje jedynie tłumioną z czasem precesją. Należy tu odnotować, że procesy te zachodzą w skali ps. Tak szybka dynamika tak małych domen nie była dotychczas badana. Realizacja tego zadania możliwa była po optymalizacji fluencji impulsów pompujących oraz wykazaniu różnic w dynamice przełączenia struktury wielodomenowej.

Zaobserwowanie różnicy energii impulsu niezbędnej do przełączenia dużych i małych domen stanowiło dla Doktoranta punkt wyjścia do określenia trajektorii, po których zachodzi ruch magnetyzacji pod wpływem linowo spolaryzowanych impulsów światła w zależności od ich orientacji i początkowej orientacji magnetyzacji. Badania te, opisane w rozdziale piątym, Doktorant realizował dla dwóch obszarów próbki, różniących się orientacją namagnesowania w dużych i małych domenach oraz dla dwóch orientacji polaryzacji światła impulsów pompujących, których fluencja była poniżej wartości niezbędnej do uzyskania przełączenia. Wykazał, że wymuszona jedynie światłem precesja zachodzi w odmienny sposób w zależności od wyjściowej orientacji namagnesowania oraz polaryzacji impulsów pompujących. Powtarzając ten eksperyment dla fluencji wystarczającej do przełączenia magnetyzacji, określił czasowe zmiany jej orientacji pokazując, że również ten proces zachodzi odmiennie dla dużych i małych domen oraz dla wzajemnie ortogonalnych polaryzacji impulsów światła. Wykazał tym samym, że trajektorie ruchu są w obu przypadkach różne co skutkuje różnymi czasami przełączenia. W celu wyjaśnienia tych różnic mgr Tomasz Zalewski zarejestrowane czasowe zależności składowej prostopadłej magnetyzacji ($M_z(\Delta t)$) rozłożył na składowe parzystą i nieparzystą. Pozwoliło to na pokazanie, że składowa parzysta wykazuje przełączenie kierunku magnetyzacji zachodzące w czasie 100 ps, natomiast nieparzysta ma tłumiony oscylacyjny charakter, a tym samym jest odpowiedzialna za asymetrię przełączania pomiędzy poszczególnymi stanami. To pozwoliło Doktorantowi na sugestię, że jest to wynikiem konkurencji pomiędzy przełączaniem i koherentną dynamiką spinów.

Korzystając z opracowanego wcześniej rozszerzonego modelu LLG Doktorant przeprowadził symulacje trajektorii w procesie przełączania i precesji magnetyzacji dla YIG:Co w stanie wielodomenowym. Obliczone zależności $M_z(\Delta t)$ wykazują dobrą zgodność z wynikami pomiarów. Na podstawie analizy wyników symulacji i eksperymentów mgr Tomasz Zalewski wyjaśnia, że asymetria trajektorii fotomagnetycznego przełączania uwarunkowana jest dwoma czynnikami. Pierwszym jest precesyjny charakter przełączania. Drugim warunkiem jest określona symetria tensora fotomagnetycznej podatności, która wynika z kubicznej symetrii magnetokrystalicznej YIG. W końcowej części tego rozdziału Doktorant zwraca uwagę na potencjalne wykorzystanie w technologiach informatycznych asymetrycznego przełączania stanu wielodomenowego pojedynczymi impulsami światła.

Ostatnią część opisu wyników badań własnych (rozdział szósty) mgr Tomasz Zalewski poświęcił ultraszybkiemu nietermicznemu przełączaniu kierunku magnetyzacji impulsami światła. W tym przypadku eksperymenty realizowano z wykorzystaniem warstwy YIG:Co wykazującej symetrię sześcienną przy braku dystorsji spowodowanej w dotychczasowych badaniach niezerowym kątem odchylenia podłoża GGG od kierunku [001]. Dla takiej próbki Doktorant przeprowadził pomiary z pojedynczymi femtosekundowymi impulsami pompującymi. Wykazały one, że każdy kolejny impuls zmienia orientację składowej prostopadłej magnetyzacji. O końcowym stanie namagnesowania decyduje jego stan początkowy i liczba zastosowanych impulsów. Nieparzysta liczba impulsów powoduje przełączenie, podczas gdy parzysta liczba impulsów nie zmienia orientacji magnetyzacji. Co więcej, zmiana płaszczyzny polaryzacji światła skutkuje jakościowo takim samym przełączaniem. Wnioski te mają istotne znaczenie dla zastosowań w technologiach informatycznych.

W następnej kolejności mgr Tomasz Zalewski przeprowadził eksperymenty, w których stosował dwa następujące po sobie impulsy pompujące z regulowanym przesunięciem czasowym. Celem tych badań było sprawdzenie czy zastosowanie takiej procedury pozwoli na zwiększenie szybkości operacji

związanych z zapisem i kasowaniem bitów. Istotne jest, że badania te przeprowadzono dla tej samej polaryzacji obu impulsów pompujących, jak również dla wzajemnie ortogonalnej polaryzacji. Ich wyniki pozwoliły Doktorantowi wykazać, że procesy przełączania kierunku magnetyzacji odniesione do zapisu i mazania informacji, mogą być realizowane bez kontroli polaryzacji światła i możliwe jest osiągnięcie częstotliwości przetwarzania na poziomie 50 GHz.

Rozdział szósty mgr Tomasz Zalewski kończy badaniami dynamiki procesu przełączania, które realizował w zakresie temperatur 200 – 450 K. Polegały one na rejestracji zmian struktury domenowej w funkcji czasu od impulsu pompującego o fluencji wystarczającej do przełączenia magnetyzacji. Niezależnie, dla impulsów o mniejszej energii, przeprowadzone zostały pomiary rotacji kąta Faradaya podczas precesji magnetyzacji. Na podstawie tych dwóch niezależnych pomiarów Doktorant pokazał, że czas przełączania rośnie ze wzrostem temperatury. Analiza czasowych zmian kąta Faradaya zmierzonych dla różnych temperatur, wsparta symulacjami bazującymi na formalizmie LLG, pozwoliła Doktorantowi na: (i) określenie temperaturowych zależności amplitudy precesji i pokazanie, że wykazują one korelację z temperaturowymi zmianami namagnesowania, (ii) opracowanie mapy ilustrującej precesję magnetyzacji w funkcji czasu i temperatury oraz porównanie jej z mapą uzyskaną z symulacji, na której oś czasu zastąpiono zmianami stałej anizotropii. Porównanie obu map pokazuje, że wywołane zmianą temperatury zmiany stałej anizotropii są odpowiedzialne za temperaturowe zmiany precesji magnetyzacji.

W celu określenia skuteczności przełączania kierunku magnetyzacji mgr Tomasz Zalewski przeprowadził eksperymenty polegające na pomiarze obszaru przełączania w zależności od fluencji impulsów pompujących i temperatury. Pokazały one, że obszar ten rośnie wraz ze wzrostem energii impulsów, osiągając tym większe wartości im wyższa jest temperatura próbki. Pomiary pozwoliły również na wyznaczenie minimalnej fluencji zapewniającej przełączenie kierunku magnetyzacji. Ta krytyczna fluencja maleje ze wzrostem temperatury, natomiast czas przełączania ze wzrostem temperatury rośnie. Tak więc wybierając temperaturę próbki, możemy albo przyspieszyć proces przełączania kosztem wyższych strat, albo zmniejszyć straty kosztem wydłużenia czasu przełączania.

Rozprawę doktorską Tomasza Zalewskiego kończy podsumowanie, w którym w bardzo syntetycznej formie przedstawione są najważniejsze osiągnięcia zarówno w zakresie budowy aparatury, jak również wyników badań i ich interpretacji. Pozwalają one na zrozumienie mechanizmów i różnych scenariuszy ultraszybkiego przełączania fotomagnetycznego bez udziału ciepła w domieszkowanych warstwach YIG:Co o różnej anizotropii magnetycznej i strukturze domenowej. Poza wnioskami z przeprowadzonych badań ostatni rozdział pracy zawiera również uwagi Doktoranta dotyczące perspektyw kontynuacji tej tematyki badawczej.

Praca doktorska mgr. Tomasza Zalewskiego jest zredagowana bardzo starannie zarówno w zakresie tekstu, jak również szaty graficznej. Na wyróżnienie zasługuje wprowadzenie odnośników (linków), które są bardzo przydatne podczas czytania elektronicznej wersji rozprawy. W pracy znalazłem nieliczne błędy, które wymieniam z obowiązku spoczywającym na recenzencie:

- W ostatnim akapicie na str. 5 zawarta jest informacja, że częściowe podstawienie Tb w miejsce Gd, w stopie Gd-Co zapewnia silniejszą anizotropię ze względu na wyższą temperaturę Curie Tb niż Gd. W rzeczywistości dodatek Tb zwiększa anizotropię ale temperatura Curie dla Gd jest większa niż dla Tb.
- Pierwszy i trzeci akapit rozdziału 3.1. mają identyczną treść.
- W treści rozdziału szóstego powoływane są rozdziały 3.4.6. (str. 89 drugi i ostatni akapit) i 3.4.5. (str. 93, pierwszy akapit rozdziału 6.3), przy czym rozdziałów o takich numerach w rozprawie nie ma.

Wymienione powyżej uchybienia redakcyjne nie mają wpływu na zrozumienie pracy.

Podsumowanie recenzji wraz z uzasadnieniem wniosku o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Zalewskiego.

Praca doktorska mgr. Tomasza Zalewskiego jest przykładem bardzo dobrej pracy, obejmującej kilka ważnych elementów. Pierwszym jest utworzenie nowego stanowiska badawczego pozwalającego na magnetoptyczne rejestrowanie, z bardzo dużą rozdzielczością czasową i przestrzenną, procesów przemagnesowania i precesji magnetyzacji wzbudzonych impulsami światła. Realizacja tego zadania umożliwiła Doktorantowi przeprowadzenie szeregu eksperymentów, których interpretacja często była wspierana symulacjami. Do najważniejszych osiągnięć należy zaliczyć: (i) bardzo dokładny opis optycznego przełączenia magnetyzacji zarówno w stanie jednodomenowym jak i wielodomenowym, (ii) pokazanie, że przełączenie małych i dużych domen w stanie wielodomenowym zachodzi dla różnych energii impulsów pompujących, (iii) wykazanie asymetrycznej dynamiki przełączania magnetyzacji pod wpływem impulsów o wzajemnie ortogonalnej liniowej polaryzacji, (iv) zademonstrowanie, że kierunek magnetyzacji można zmieniać kolejnymi impulsami linowo spolaryzowanego światła bez zmiany kierunku polaryzacji, (v) pokazanie, że nietermiczne, zwrotne przełączanie kierunku magnetyzacji można realizować w szerokim zakresie temperatur, przy czym wzrost temperatury pozwala na obniżenie energii niezbędnej do przełączenia kosztem czasu przełączania. Wymienione osiągnięcia mają nie tylko znaczenie poznawcze ale również są ważne ze względu na potencjalne zastosowania w technologiach informatycznych. O ich randze świadczy dobitnie to, że są one prezentowane w pięciu artykułach, z których dwa są opublikowane w *Applied Physics Letters* (praca wyróżniona przez redakcję) i *Review of Scientific Instruments*, a pozostałe trzy są w archiwum arXiv i są w trakcie recenzji w redakcjach takich czasopism jak: *Phys. Rev. Let.*, *Phys. Rev. Appl.* i *Nature Comm.* We wszystkich publikacjach Tomasz Zalewski jest pierwszym autorem, a w trzech z nich również autorem wyznaczonym do korespondencji. Ponadto jest współautorem czternastu prezentacji konferencyjnych, w jedenastu z nich jest pierwszym autorem.

Uwzględniając osiągnięcia wymienione w recenzji stwierdzam, że praca doktorska mgr. Tomasza Zalewskiego pt. „Ultrafast coherent photo-magnetic switching in ferrimagnetic garnets” spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.). W związku z tym oraz wyjątkowym dotychczasowym dorobkiem naukowym, z pełnym przekonaniem wnioskuję o dopuszczenie mgr. inż. Tomasza Zalewskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego, jak również wnioskuję o wyróżnienie pracy doktorskiej.

F. Jabiecki