



Lublin, 07 września 2014 r.

Ocena osiągnięcia naukowego pt. „*Struktura elektronowa materiałów spintronicznych wyznaczana przy pomocy spinowo- i kątowno rozdzielczej fotoemisji*” przedstawionego w celu uzyskania stopnia naukowego dra habilitowanego oraz ocena aktywności naukowej dra Łukasza Plucińskiego

Dr Łukasz Pluciński studiował na wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej. Studia ukończył w roku 1999. Już w roku 2002, na podstawie rozprawy na temat: „*Bulk and Surface Electronic Structure of Gallium Nitride and Zinc Selenide*”, otrzymał stopień doktora nadany przez Uniwersytet w Hamburgu. Staż podoktorski w latach 2002-2003 odbywał w Uniwersytecie w Hamburgu a następnie, jako współpracownik naukowy (research associate), pracował w latach 2003-2005 w Boston University, następnie, w latach 2005 – 2006, w University of Connecticut i przez 6 miesięcy w roku 2006 w Lawrence Berkeley Laboratory. Od roku 2006 jest zatrudniony na stanowisku Wissenschaftlicher Mitarbeiter w Forschungszentrum (FZ) Jülich.

Na cały dorobek naukowy składają się 42 oryginalne, recenzowane i rejestrowane w bazie Journal Citation Report prace w czasopiśmie, w tym 9 opublikowanych przed uzyskaniem stopnia doktora. Publikacje sprzed doktoratu dotyczyły różnych pokrewnych zagadnień, między innymi badania struktury elektronowej półprzewodników metodą kątowno-rozdzielczej fotoemisji, źródeł koherentnego promieniowania VUV i jonizacji atomów wodoru za pomocą promieniowania ultrafioletowego.

### **Ocena osiągnięcia naukowego**

Jako osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę o ubieganie się o stopień doktora habilitowanego Dr Łukasz Pluciński spośród pozostałych 33 prac wybrał 7 publikacji z okresu 2007-2013, pod wspólnym tytułem: „*Struktura elektronowa materiałów spintronicznych wyznaczana przy pomocy spinowo- i kątowno rozdzielczej fotoemisji*”.

H1: **L. Plucinski**, Yuan Zhao, E. Vescovo, and B. Sinkovic, *MgO/Fe(001) interface: A study of the electronic structure*, Phys. Rev. **B75**, 214411 (2007),

H2: **L. Plucinski**, Yuan Zhao, C. M. Schneider, B. Sinkovic, and E.Vescovo, *Surface electronic structure of ferromagnetic Fe(001)*, Phys. Rev. **B80**, 184430 (2009),

H3: J.-S. Lee, E. Vescovo, **L. Plucinski**, C. M. Schneider, and C.-C. Kao, *Electronic structure and Magnetic Properties of Epitaxial FeRh(001) ultra-thin films on W(100)*, Phys. Rev. **B82**, 224410 (2010),

- H4: **L. Plucinski**, G. Mussler, J. Krumrain, A. Herdt, S. Suga, D. Grützmacher, and C. M. Schneider, *Robust surface electronic properties of topological insulators: Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> films grown by molecular beam epitaxy*, Appl. Phys. Lett. **98**, 222503 (2011),
- H5: A. Herdt, **L. Plucinski**, G. Bihlmayer, G. Mussler, S. Döring, J. Krumrain, D. Grützmacher, S. Blügel, and C. M. Schneider, *On the nature of the spin polarization limit in the warped Dirac cone of the Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>*, Phys. Rev. **B87**, 035127 (2013),
- H6: **L. Plucinski**, A. Herdt, S. Fahrendorf, G. Bihlmayer, G. Mussler, S. Döring, J. Kampmeier, F. Matthes, D. E. Bürgler, D. Grützmacher, S. Blügel, and C. M. Schneider, *Electronic structure, surface morphology, and topologically protected surface states of Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> thin films grown on Si(111)*, J. Appl. Phys. **113**, 053706 (2013), IF: 2.210, doi: 10.1063/1.4789353.
- H7: **L. Plucinski** and C. M. Schneider, *The Electronic Structure of Spintronic Materials as Seen by Spin-Polarized Angle-Resolved Photoemission*, Journal Electron Spectroscopy and Related Phenomena **189**, 137 (2013),

Publikacje ukazały się w bardzo dobrych czasopismach: 4 w Phys. Rev. B i po jednej w J. Appl. Phys., Appl. Phys. Lett., J. Electron. Spectrosc. Relat. Phenom. i są wieloautorskie – od 2 autorów w przeglądowej pracy H7, do 9-ciu w H5 i H6. Habilitant deklaruje, że jego udział w pięciu z tych prac był nie mniejszy niż 50%. Także współautorzy złożyli odpowiednie oświadczenia, z których wynika, że ich udział w realizacji badań i przygotowaniu prac był niewielki.

Tytuł definiuje tematykę i zakres prac badawczych i dobrze odzwierciedla charakter badań opisanych w tych publikacjach. Publikacje łączy zagadnienie struktury elektronowej z uwzględnieniem polaryzacji spinu. Publikacje H1 i H2 dotyczą interfejsu struktury Fe/MgO, publikacja H3 poświęcona jest przejściu fazowemu ferromagnetyk – paramagnetyk w cienkich warstwach FeRh(001) na W(100) a w publikacjach H4-H6 badane są izolatory topologiczne. Publikacja H7 ma formę artykułu przeglądowego na temat spinowo- i kątowno rozdzielczej spektroskopii fotoemisyjnej (SARPES, ARPES).

Badane materiały należą do rodziny intensywnie badanych, w szczególności ze względu na nadzwyczaj ważną w nich, z punktu widzenia badań podstawowych, rolę spinu elektronów. Materiały są także interesujące z powodu obecnych i przyszłych zastosowań w nowoczesnych technologiach.

W świetle tych rozważań stwierdzam, że publikacje H1-H7 mogą być rozpatrywane jako podstawa do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego. W dalszej części recenzji omówione zostaną najważniejsze naukowe rezultaty badań opisanych w tych publikacjach.

*Publikacja H1.* Inspiracją podjęcia tematyki badań MgO/Fe(100) było zastosowanie układu w magnetycznych złączach tunelowych (MTJ) wykazujących tunelową magnetorezystancję (TMR) i w konsekwencji wykorzystanie w zaawansowanych głowicach odczytujących dysków magnetycznych. Habilitant postanowił szczegółowo doświadczalnie zbadać strukturę elektronową i spinową interfejsu metal/dielektryk pod wpływem zmian grubości MgO oraz wygrzewania. Stwierdzono brak niemagnetycznej warstwy na granicy Fe/MgO. Wyznaczona

metodą fotoemisji normalnej struktura elektronowa i spinowa miała właściwości oczekiwane od układów TMR. Źródłem promieniowania fotoelektronów był synchrotron (National Synchrotron Light Source, Brookhaven National Laboratory, USA). Prace opisane w publikacji potwierdziły teoretycznie przewidywane elektronowe i spinowe własności tych układów, pozostawiając nierozwiązane zagadnienia dokładnego opisu interfejsu układu do dalszych, tym razem mikroskopowych badań.

*Publikacja H2.* Ta publikacja ma charakter doświadczalny i teoretyczny. Habilitant zarówno wykonywał pomiary jak i obliczenia w ramach teorii DFT. Badania dotyczyły struktury elektronowej powierzchni Fe(001). Najważniejszym rezultatem badań było wykazanie, że w skład mniejszościowego stanu powierzchniowego w pobliżu energii Fermiego wchodzi dwa oddzielne pasma o różnej symetrii. Oprócz fotoemisji normalnej mierzona była także kątowno zależna fotoemisja z i bez rozdzielczości spinowej. Podobnie jak w publikacji H1 eksperymenty były prowadzone w Brookhaven National Laboratory.

*Publikacja H3.* W publikacji mierzono temperaturowe zależności magnetycznych własności ultracienkich warstw stopu FeRh(001) za pomocą metody magnetycznego liniowego dichroizmu. Pomiar natężenia fotoelektronów z rozdzielczością spinową pozwolił zaobserwować przejście ferromagnetyk – antyferromagnetyk. Pomiary fotoemisji wykonane zostały w Brookhaven National Laboratory.

*Publikacje H4, H5 i H6.* Przedmiotem badań tych publikacji były izolatory topologiczne  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  i  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ . W publikacji H4 podstawową metodę badawczą stanowiła fotoemisja z rozdzielczością kątową (ARPES) z konwencjonalnymi źródłami promieniowania w postaci lamp He i Kr. Rezultatem badań było stwierdzenie, że powierzchnia tych izolatorów topologicznych eksponowana w powietrzu atmosferycznym a następnie poddana procedurom oczyszczania jonami Ar w warunkach UHV odzyskuje charakter struktury elektronowej izolatorów topologicznych. W publikacji H5 do badania izolatorów topologicznych Autor wykorzystał ponownie metodę ARPES i metodę fotoemisji z rozdzielczością spinową (SARPES). Promieniowania dostarczył synchrotron w Dortmundzie ze źródłem liniowo spolaryzowanego promieniowania DELTA. W dwóch wybranych punktach strefy Brillouina wyznaczone zostały asymetrie składowych spinu - prostopadłej do płaszczyzny próbki i równoległej do płaszczyzny próbki i wyznaczono stopień polaryzacji. Doświadczalnie stwierdzono, że w badanym związku obydwie składowe spinu spełniają konieczny warunek izolatora topologicznego  $\sigma(\mathbf{k}) = -\sigma(-\mathbf{k})$ . Autorzy publikacji wskazują, że dla potrzeb spintroniki należy zwiększyć polaryzację spinu w  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  i sugerują sposób realizacji tego celu.

Podobne badania, tym razem dotyczące związku  $Sb_2Te_3$ , opisano w publikacji H6, gdzie dodatkowo przeprowadzono pomiary topografii powierzchni metodą STM i struktury elektronowej metodą STS.

*Publikacja H7.* Ta publikacja ma charakter przeglądu. Zawiera obszerny przegląd problemów i technik związanych ze spinowo rozdzielczą fotoemisją i ilustruje je kilkoma przykładami swoich badań zawartych w omawianych wyżej publikacjach. Zawiera także obszerną bibliografię składającą się z 90 pozycji.

Wszystkie poruszane w publikacjach naukowe zagadnienia mieszczą się w nurcie niezwykle aktualnych i ważnych problemów fizyki ciała stałego. Dotyczą zagadnień spintroniki i izolatorów topologicznych, dziedzin fizyki niezwykle bogatych w nowe zjawiska i spodziewane właściwości pożądane w przyszłościowej nanoelektronice. Rezultaty badań uzyskane przez habilitanta są istotne dla właściwego, teoretycznego opisu ich właściwości i podatności na modyfikacje w celu modelowania struktury elektronowej i spinowej.

Cechą charakterystyczną większości prac jest konfrontacja wyników doświadczalnych z obliczeniami, przy czym Habilitant samodzielnie wykonywał obliczenia w ramach teorii DFT. To rzadka cecha badacza, który nie tylko wykazuje biegłość w prowadzeniu skomplikowanych i czasochłonnych prac doświadczalnych, ale też może je natychmiast wykorzystywać do korekt założeń teorii. Wysoko oceniam taki sposób prowadzenia badań naukowych. Jest efektywny i służy spójności prezentowanych naukowych tez z metodologią badań, analizą wyników oraz z wnioskami.

Dorobek publikacyjny mierzony liczbą cytowań, wynoszącą 934 i indeksem Hirscha równym 15, jest duży, jednak trzeba zaznaczyć, że jak wspomina Habilitant, niemal 500 cytowań dotyczy trzech artykułów z lat 2002 i 2003 z wielką liczbą autorów. Te artykuły nie były wprost związane tematyką habilitacji, ale dotyczyły udziału Habilitanta w uruchamianiu lasera na swobodnych elektronach.

Publikacje tworzące habilitację były cytowane 61 razy (do września 2014, wraz z autocytowaniami). Mając na uwadze, że były publikowane w ostatnich latach, począwszy od 2007 r, a trzy z nich ukazały się w roku 2013, można uznać, że zostały zauważone przez liczną międzynarodową społeczność naukowców i na trwałe weszły w międzynarodowy obieg wymiany rezultatów badań.

#### Ocena pozostałej istotnej aktywności naukowej

Dr Łukasz Pluciński jest kierownikiem projektu pod nazwą „Spintronic properties of metal/metal-oxide monolayer superlattices” finansowanego przez FZ Julich, we współpracy z AGH w Krakowie. Bierze udział w realizacji projektu „DFG Schwerpunktprogramm (SPP) 1666

–Topologische Isolatoren” finansowanego przez DFD i brał udział w realizacji projektu „NRW Research School – Research with Synchrotron Radiation” w laboratorium synchrotronowym DELTA.

Wygłosił 9 referatów na międzynarodowych konferencjach. Pierwszy wygłoszony został w roku 2006 a ostatni w roku 2014. Miał ponadto 5 innych wystąpień/referatów w innych okolicznościach, na zagranicznych uniwersytetach. Na międzynarodowych konferencjach prezentował 15 prac w formie posterów. Wszystkie referaty i wystąpienia z posterami dotyczyły zagadnień naukowych opisanych w publikacjach tworzących habilitację i jest wśród nich tylko jeden poster o tematyce nie związanej z zagadnieniami fotoemisji i z habilitacją.

Chociaż miejsce prowadzenia badań (od roku 2006 Forschungszentrum Jülich) nie jest placówką dydaktyczną o charakterze uniwersytetu, to jednak miał okazję pełnić rolę opiekuna naukowego 2 studentów z Technische Universität Dortmund wykonujących prace magisterskie w laboratoriach synchrotronowych. Był także opiekunem naukowym trzech doktorantów wykonujących badania naukowe bądź przebywających na stażu w laboratorium DELTA. Był ponadto recenzentem projektu badawczego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka. Recenzował artykuły dla wysoko cenionych międzynarodowych czasopism, w tym 9 manuskryptów dla Physical Review Letters.

Dr Łukasz Pluciński jest bardzo aktywny we współpracy międzynarodowej. Wymienia 8 ośrodków naukowych, z którymi współpraca przyniosła wspólne publikacje i 3 zagraniczne ośrodki naukowe, z którymi współpracuje obecnie.

Uważam, że oprócz dużych osiągnięć naukowych udokumentowanych publikacjami H1 – H7 dr Łukasz Pluciński posiada osiągnięcia organizacyjne i inne o charakterze właściwym dla kandydata na stopień naukowy dra habilitowanego.

#### Podsumowanie.

Stwierdzam, że moim zdaniem, w świetle obowiązującej ustawy o stopniach i tytułach naukowych oraz stopniach i tytułach w zakresie sztuki, rozprawa habilitacyjna spełnia wymogi określone ustawą a dr Łukasz Pluciński zasługuje na to by być doktorem habilitowanym. Niniejszym stawiam wniosek o nadanie Jemu stopnia naukowego doktora habilitowanego.

Lublin, 07. 09. 2014 r.



prof. dr hab. Mieczysław Jałochowski