



Lublin, 14 września 2023 r.

Recenzja

**w związku z postępowaniem w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
dr inż. Ewie Młyńczak
w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne**

Przebieg pracy zawodowej i naukowej

Dr inż. Ewa Młyńczak tytuł magistra inżyniera fizyki technicznej otrzymała w 2009 r. studiując na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. W 2010 r., po ukończeniu Międzywydziałowej Szkoły Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej, otrzymała tytuł inżyniera inżynierii biomedycznej.

Stopień doktora chemii został jej nadany w 2013 r. przez Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera Polskiej Akademii Nauk na podstawie rozprawy doktorskiej *Surface and Interface Properties of Metal-Oxide Magnetic Nanostructures*. Promotorem był prof. dr hab. Józef Korecki a recenzentami byli prof. dr hab. Feliks Stobiecki i prof. dr hab. Henryk Szymczak.

W latach 2013 – 2018 r. dr inż. Ewa Młyńczak była zatrudniona na stanowisku asystenta naukowego w Katedrze Ciała Stałego Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH a od 2018 r. jest zatrudniona na stanowisku adiunkta w Instytucie Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN w Krakowie. W okresie od 2015 r. do 2020 r. była także zatrudniona w Instytucie Petera Grünberga (PGI-6) Forschungszentrum Jülich na stanowisku asystenta naukowego.

Wniosek jest oceniany pod kątem spełnienia przesłanek określonych w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*.

Osiągnięcia naukowe

Dr inż. Ewa Młyńczak wybrała do oceny cykl prac z okresu od 2018 r. do 2022 r. zatytułowany: *Fundamentalne właściwości elektronowe epitaksjalnych warstw Fe(001) osadzanych na Au(001)*.

Cykl tworzą następujące publikacje (zachowana jest numeracja taka jak w Autoreferacie):

A1. P. Gospodarič, **E. Młyńczak**, M. Eschbach, M. Gehlmann, G. Zamborlini, V. Feyer, L. Plucinski, C. M. Schneider, *Phys. Rev. B.* 97, 085409 (2018), *Localized segregation of gold in ultrathin Fe films on Au(001)*,

A2. **E. Młyńczak**, M. Eschbach, S. Borek, J. Minár, J. Braun, I. Aguilera, G. Bihlmayer, S. Döring, M. Gehlmann, P. Gospodarič, S. Suga, L. Plucinski, S. Blügel, H. Ebert, C. M.

Schneider, Phys. Rev. X 6, 041048 (2016), *Fermi Surface Manipulation by External Magnetic Field Demonstrated for a Prototypical Ferromagnet*,

A3. E. Młyńczak, M.C.T.D. Müller, P. Gospodarič, T. Heider, I. Aguilera, G. Bihlmayer, M. Gehlmann, M. Jugovac, G. Zamborlini, C. Tusche, S. Suga, V. Feyer, L. Plucinski, C. Friedrich, S. Blügel, C.M. Schneider, Nature Comm. 10, 505 (2019), *Kink far below the Fermi level reveals new electron-magnon scattering channel*,

A4. E. Młyńczak, I. Aguilera, P. Gospodarič, T. Heider, M. Jugovac, G. Zamborlini, C. Tusche, S. Suga, V. Feyer, S. Blügel, L. Plucinski, C.M. Schneider, Phys. Rev. B 103 (2021), *Spin-polarized quantized electronic structure of Fe(001) with symmetry breaking due to the magnetization direction*,

A5. E. Młyńczak, I. Aguilera, P. Gospodarič, T. Heider, M. Jugovac, G. Zamborlini, J.-P. Hanke, C. Friedrich, Y. Mokrousov, C. Tusche, S. Suga, V. Feyer, S. Blügel, L. Plucinski, C.M. Schneider, Phys. Rev. B 105, 115135 (2022), *Fe(001) angle-resolved photoemission and intrinsic anomalous Hall conductivity in Fe by different ab initio approaches: LDA and GGA versus GW*,

Publikacje w formie artykułów są wieloautorskie (kolejno 8, 15, 16, 12 i 15 współautorów) i we wszystkich Habilitantka pełni rolę autora korespondującego, a stosowne oświadczenia współautorów nie podważają Jej wiodącej roli w raportowanych badaniach. Najważniejsze konkluzje wynikające z opisanych badań są następujące:

1. W publikacji **A1** przedstawione są zaawansowane badania właściwości strukturalnych i morfologicznych warstw Fe na monokryształe Au(001). Stosując techniki badawcze w postaci mikroskopii XPIM, LEEM a także spektroskopii XPS, Habilitantka przeprowadza szczegółową analizę zmian widm XPS oraz zmian obrazów XPEEM i LEEM w funkcji grubości warstwy Au i w zależności temperatury wygrzewania warstw Fe na Au, na podstawie czego stwierdza, że następuje segregacja Au na powierzchni Fe w obszarach, gdzie na płaskiej powierzchni (001) monokryształu Au zgromadzone są stopnie atomowe (z ang. *step bunches*). Zauważa, że efekt jest związany ze specyficzną geometrią układu próbka – źródło Fe w której strumień atomów pada pod kątem 16° w stosunku do powierzchni próbki. Sądzi, że z tego powodu warstwa Fe na ścianach kryształu utworzonych przez stopnie atomowe jest cieńsza i te obszary są źródłami swobodnego wyciekania atomów Au na powierzchnię Fe. Chociaż taka interpretacja zjawiska wydaje się być słuszna to jednak warto zauważyć, że brakuje potwierdzenia, że takie zjawisko nie występuje na ścianach stopni atomowych nachylonych w przeciwnym kierunku (jeśli takie są), albo po zmianie kąta azymutalnego kryształu względem źródła Fe o 180° . Z drugiej strony, podobny eksperyment ale na Co(3ML)/Pd(2.5ML)/W(110) [MacCallum Robertson, Wu Yizheng, Andreas K. Schmid, Chen Gong, *Ultramicroscopy*, 200,180 (2019)] potwierdził prawdziwość scenariusza zależności grubości nanoszonej warstwy od geometrii próbka-źródło w mikroskopie SPLEEM. Pomijając ten nie do końca wyjaśniony aspekt (w przypadku Fe

na Au) należy przyznać, że zasadniczy cel badań, polegający na opanowaniu technologii wytwarzania atomowo czystych cienkich warstw Fe na monokryształy Au(001) został osiągnięty poprzez nanoszenie Fe w temperaturze 77K i wygrzanie w temperaturach poniżej 300°C.

2. Technologia wytwarzania warstw Fe opisana w publikacji **A1** została wykorzystana w kolejnych pracach cyklu habilitacyjnego. Praca **A2** przedstawia wyniki badań struktury elektronowej Fe z wykorzystaniem metody fotoemisji ARPES i metod teoretycznych DFT-GGA (*generalized gradient approximation*). Obserwacja subtelnych zmian struktury elektronowej przy powierzchni Fe(001) pod wpływem pól magnetycznych o różnych orientacjach względem powierzchni i ich porównanie z teorią pozwoliły wykazać istnienie efektu przelączania przerwy energetycznej pochodzącej od sprzężenia spin-orbita (*spin-orbit gap*) a także efektów wywołanych bliskością powierzchni. Wysoko oceniam ten fragment badań dr inż. Ewy Młyńczak. W chwili pisania recenzji (wrzesień 2023) publikacja była cytowana 23 razy, co ze względu na wysoce specjalistyczny naukowy problem uważam za bardzo dobry wynik.
3. W pracy **A3** opisane zostały badania w warstwach Fe(001) zjawiska oddziaływania elektronów z magnonami. Podobnie jak w publikacji **A2** (a także w publikacjach **A4** i **A5**), wyniki eksperymentów fotoemisyjnych były interpretowane za pomocą zaawansowanych metod obliczeniowych struktury elektronowej. Fakt wykrycia subtelnych zmiany kształtu krzywej dyspersji (tzw. *kink*) elektronów został wyjaśniony występowaniem wielociałowego kanału rozpraszania związanego ze wzbudzeniem typu *spin-flip*. W tej publikacji na podkreślenie zasługuje bardzo staranna analiza wyników doświadczalnych oraz krytyczna dyskusja zalet i niedostatków przybliżeń metod obliczeniowych. Silnie skondensowana forma publikacji została uzupełniona obszernym omówieniem w postaci *Supplementary Information*. Podobnie jak publikacja **A2**, ta publikacja także wnosi elementy nowości do opisu i zrozumienia zjawisk elektronowych w ferromagnetycznym materiale.
4. W kolejnym artykule (**A4**) Habilitantka wraz ze współpracownikami zamieszcza wyniki pomiarów ARPES w epitaksjalnych warstwach Fe(001) o grubościach 20 i 40 ML na powierzchni Au(001) i rejestruje obecność podpasem studni kwantowej. O obserwacjach kwantowego efektu rozmiarowego w warstwach Fe wielokrotnie donoszono wcześniej jednak w publikacji **A4** po raz pierwszy zarejestrowano i wyjaśniono przesunięcie energii podpasem wywołane zmianą kierunku namagnesowania. Cechą charakterystyczną tej pracy jest doskonale osadzenie wyników eksperymentalnych w opisie i obliczeniach teoretycznych i ich porównanie z symulowanymi widmami fotoemisji.
5. Jeszcze więcej uwagi różnym wariantom obliczeń struktury pasmowej poświęca dr inż. Ewa Młyńczak w publikacji **A5**. Konsekwentnie, tak jak w poprzednich publikacjach, obiektem badań jest warstwa Fe(001) i ich widma fotoemisyjne ARPES. Wyniki doświadczalne zostały porównane z widmami symulowanymi dla różnych struktur pasmowych stanu początkowego co pozwoliło na wskazania, która z metod obliczeniowych zapewnia

najlepszą zgodność z doświadczeniem. Takie same schematy obliczeniowe zostały wykorzystane do obliczenia przewodnictwa elektrycznego anomalnego wewnętrznego efektu Halla co, jak się okazało, prowadziło do istotnie różnych wyników.

Omówione pokrótce publikacje tworzą spójny cykl artykułów zawierających detaliczny opis struktury elektronowej Fe(001) na podłożu Au(001). Na podkreślenie zasługuje fakt, że każda z kolejnych publikacji poszerza opis zjawisk charakterystycznych dla Fe(001) i na każdym etapie wyniki prac teoretycznych są porównywane i rygorystycznie konfrontowane z wynikami doświadczalnymi. Łatwo można zauważyć, że Habilitantka uznaje bezwzględny prymat wyników badań doświadczalnych nad przewidywaniami wynikającymi z obliczeń teoretycznych. Uważam, że taki sposób prowadzenia i badań i zaprezentowana w publikacjach krytyczna analiza wyników charakteryzują doświadczonego naukowca i za takiego/taką uznaję dr inż. Ewę Młyńczak.

Stwierdzam także, że Jej wkład w rozwój nauk fizycznych, polegający na wyjaśnieniu istoty zjawisk wpływu namagnesowania na strukturę elektronową warstw Fe(001), jest znaczący.

Ocena pozostałego dorobku naukowego i aktywności naukowej

Jako pozostały dorobek Habilitantka wymienia cztery publikacje tworzące listę **B** i sześć publikacji listy **C**. Publikacje ukazały się w renomowanych czasopismach i są wieloautorskie, z liczbą współautorów odpowiednio w serii **B** 12, 16, 20 i 19-tu współautorów oraz 5, 7, 4, 6, 7 i 9-ciu współautorów w serii **C**.

Pozostały dorobek naukowy stanowiący osiągnięcia nie wchodzące w skład cyklu habilitacyjnego dotyczy dwu ciekawych i ważnych zagadnień najnowszej fizyki ciała stałego. Lista **C** w autoreferacie zawiera 4 publikacje z 2013 r. i po jednej z 2014 i 2017 r. Te z roku 2013 i 2014 były prawdopodobnie efektem prac nad doktoratem. Tematycznie są one sobie bliskie i dotyczą właściwości magnetycznych nanostruktur metal-tlenek. Te badania były prowadzone w Instytucie Katalizy i Fizykochemii Powierzchni z wykorzystaniem metod doświadczalnych LEED, spektroskopii elektronów konwersji Mössbauera (CEMS), magnetoptycznego efektu Kerr'a i magnetometrii z wibrującą próbką. Dwie publikacje zostały ukazały się w Journal Applied Physics, trzy w Physical Review B i jedna w Applied Surface Physics. W czterech publikacjach Habilitantka pełniła rolę autora korespondującego. Co znamienne, w publikacjach listy **C** nie ma mowy o eksperymentach z wykorzystaniem spektroskopii ARPES.

Publikacje z listy **B** dotyczą modyfikacji i badania struktury elektronowej oraz właściwości transportowych warstw izolatorów topologicznych $(\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x)_2\text{Te}_3$, BiSbTe_3 , Sb_2Te_3 i Bi_1Te_1 . Podstawową metodą badawczą jest spektroskopia ARPES. Chociaż Habilitantka nie jest w tych publikacja autorem korespondującym to występuje w nich zarówno jako wykonawca pomiarów fotoemisyjnych i jako wysoce aktywna współautorka. Pierwsza publikacja z listy **B** pojawia się w 2015 r. co zbiega się z rokiem zatrudnienia w Instytucie Petera Grünberga (PGI-6) Forschungszentrum Jülich na stanowisku asystenta naukowego. Od tego momentu głównym

narzędziem badawczym dr inż. Ewy Młyńczak staje się spektroskopia ARPES z wykorzystaniem wysokiej klasy klasycznej aparatury z tradycyjnymi źródłami promieniowania a w przypadku spinowo-rozdzielczej spektroskopii takim narzędziem staje się synchrotron w Dortmundzie.

Zarówno publikacje **B** jak i **C** ukazały się w dobrych i bardzo dobrych, wiodących w obszarze omawianej tematyki czasopismach. Nie mam wątpliwości, że również tzw. pozostały dorobek także stanowi istotny wkład w rozwój nauk fizycznych. Ilościowe wskaźniki całej aktywności publikacyjnej są bardzo dobre: *Indeks Hirscha* wynosił 13 (Web of Science, 19.12.2022) a liczba cytowań (bez auto-cytowań) wynosiła 422 (Web of Science, 19.12.2022). Sumaryczny *Impact Factor* wszystkich publikacji wynosił wtedy 162,7 a sumaryczna liczba punktów MNiSW była równa 3110.

Habilitantka recenzowała 7 artykułów w *Physical Review B* i po jednym w *Physical Review Letters*, *Scientific Reports*, *Science China Technological Sciences*, *Materials Letters*, *Journal of Applied Physics*, *Journal of Materials Chemistry C* i *Journal of Crystal Growth*, co wskazuje na Jej uznaną i cenioną pozycję w naukowym środowisku przedmiotu zainteresowań.


Dr inż. Ewa Młyńczak miała liczne wystąpienia konferencyjne. Przed uzyskaniem stopnia doktora wystąpień ustnych było 5, w tym 2 poza granicami Kraju a po doktoracie 6 na konferencjach zagranicznych i cztery na konferencjach i seminariach w Kraju. Miała także 6 konferencyjnych wystąpień posterowych.

Wyrazem aktywności naukowej Habilitantki były liczne wyjazdy zagraniczne w celu realizacji badań własnych oraz wynikających z realizacji naukowych projektów. Już w drugim roku studiów doktoranckich spędziła 6 miesięcy we Włoskim narodowym Centrum NanoStruktur i BioSystemów na Powierzchniach w Modenie, w grupie prof. Sergio Valeri. Także podczas studiów doktoranckich brała udział w eksperymentach synchrotronowych w *Swiss Light Source (SLS)* w Szwajcarii. Po doktoracie otrzymała stypendium w ramach *Jülich International PostDoc Bursary and Grant Program* na badania w instytucie *Petera Grünberga* w *Forschungszentrum Jülich*. Prowadziła tam badania fotoemisyjne przez 18 miesięcy. Owocem tego pobytu są, między innymi, publikacje **B1** – **B4**. Brała udział w eksperymentach fotoemisyjnych przy synchrotronie *Diamond Light Source* w *Oxfordzie*. Otrzymała dofinansowanie badań z programu *Helmholtz Postdoc* finansowanego przez Stowarzyszenie Niemieckich Centrów Badawczych im. Helmholtza. Fundusz grantu wynosił 300 000 Euro a dr inż. Ewa Młyńczak pełniła funkcję kierownika. Dzięki grantowi została zatrudniona jako pracownik naukowy w *Forschungszentrum Jülich*. Dodatkowo, otrzymała finansowanie stanowiska doktoranckiego i została opiekunem naukowym mgr inż. P. Gospodarič. Doktorat zakończył się publiczną obroną pracy doktorskiej pt. *Current-induced magnetization switching in a model epitaxial Fe/Au bilayer* w czerwcu 2019 r., na Uniwersytecie w Duisburgu.

Ostatnio, w 2023 r. otrzymała grant NCN Sonata Bis 12 p. t. *Topology meets magnetism: Sn-containing compounds for magnetization-driven topological phase transitions (TopoTin)*. Budżet grantu wynosi 2 790 696 zł.

Chociaż dr inż. Ewa Młyńczak pracowała w instytutach badawczych, gdzie kontakt ze studentami jest drugoplanowy, to jednak wśród różnych jej aktywności można znaleźć także takie jak prowadzenie ćwiczeń do przedmiotu Podstawy Fizyki Powierzchni dla studentów studiów magisterskich na Uniwersytecie w Duisburgu, miała także wykład dla tamtejszych studentów, i dla studentów Uniwersytetu w Akwizgranie a w latach 2015-2019 była opiekunem naukowym doktorantki.

W podsumowaniu recenzji stwierdzam, że osiągnięcie naukowe dr inż. Ewy Młyńczak stanowi znaczny wkład w rozwój wiedzy w obszarze fundamentalnych właściwości elektronowych warstw Fe na kryształach Au w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne i spełnia w całej rozciągłości wymagania art. 219 ust.1 pkt 2 i 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) W świetle powyżej przedstawionych faktów stawiam wniosek do Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne AGH o dopuszczenie dr inż. Ewy Młyńczak do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.



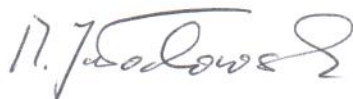
Prof. dr hab. Mieczysław Jałochowski

Wniosek o wyróżnienie osiągnięcia naukowego

Niniejszym wnioskuję do Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne AGH o wyróżnienie osiągnięć naukowych dr inż. Ewy Młyńczak zatytułowanych *Fundamentalne właściwości elektronowe epitaksjalnych warstw Fe(001) osadzanych na Au(001)*.

Uzasadnienie

Cykl publikacji *Fundamentalne właściwości elektronowe epitaksjalnych warstw Fe(001) osadzanych na Au(001)* przedstawia duże osiągnięcie naukowe polegające na odkryciu i udokumentowaniu zarówno doświadczalnym jak i teoretycznym zjawisk wpływu pól magnetycznych na zachowania struktury elektronowej w cienkich warstwach ferromagnetyka. Cykl publikacji stanowi bardzo dobry przykład umiejętnego wykorzystania wysoce zaawansowanych metod doświadczalnych i obliczeń teoretycznych. Za wysoce skuteczne uważam zaangażowanie dr inż. Ewy Młyńczak we współpracę z wiodącymi ośrodkami naukowymi w Europie oraz Jej osiągnięcia w staraniach o fundusze na prowadzenie badan.



Prof. dr hab. Mieczysław Jałochowski

Lublin, 14. 09. 2023.