

Recenzja – ocena pracy habilitacyjnej dr inż. Ewy Młyńczak
Fundamentalne właściwości elektronowe epitaksjalnych warstw Fe(001)
osadzanych na Au(001) w przedmiocie spełnienia przez osiągnięcia naukowe
dr inż. Ewy Młyńczak wymagań, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt 2 i 3
Prawa o szkolnictwie wyższym i nauce.

Dr inż. Ewa Młyńczak ukończyła studia magisterskie na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie w 2009 roku zdobywając tytuł zawodowy magistra inżyniera fizyki technicznej, a następnie w roku 2013, w Instytucie Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera Polskiej Akademii Nauk, obroniła rozprawę zatytułowaną „Surface and Interface Properties of Metal-Oxide Magnetic Nanostructures” uzyskując stopień doktora chemii. Promotorem doktoratu był prof. dr hab. Józef Korecki, a praca doktorska była realizowana w ramach programu Międzynarodowych Projektów Doktoranckich MPD ”Krakow Interdisciplinary PhD - Project in Nanoscience and Advanced Nanostructures”. W tymże roku została zatrudniona na stanowisku asystenta naukowego w Katedrze Ciała Stałego Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica. Habilitantka pracowała w AGH do 2018 roku. W okresie 01.11.2013 – 30.04.2015 przebywała na stypendium w Peter Grünberg Institute (PGI-6), Forschungszentrum Jülich (Niemcy) kierowanym przez prof. Clausa M. Schneidera. Następnie objęła stanowisko adiunkta w Instytucie Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera Polskiej Akademii Nauk gdzie pracuje do dziś. Jednocześnie, w okresie 01.05.2015 – 31.12.2020, podczas urlopu naukowego, była zatrudniona na stanowisku pracownika naukowego w Peter Grünberg Institute (PGI-6), Forschungszentrum Jülich (Niemcy). Na marginesie, w dostarczonej mi dokumentacji okres pracy w Jülich przedstawiony jest w „Autoreferacie” jako 2015-2020 i podobnie w oryginalnym dokumencie potwierdzającym pobyt (01.05.2015 – 31.12.2020), natomiast w „Wykazie osiągnięć naukowych” – 05.2015 – 05.2019. Oczywiście pozostaje to bez znaczenia dla oceny aktywności naukowej Habilitantki. Wyniki badań przeprowadzonych w Jülich stały się podstawą osiągnięcia naukowego przedłożonego przez dr inż. Ewę Młyńczak w procedurze habilitacyjnej i przekazanego mi do oceny. Ma ono formę cyklu opublikowanych artykułów naukowych zatytułowanego *Fundamentalne właściwości elektronowe epitaksjalnych warstw Fe(001) osadzanych na Au(001)*. W dostarczonej mi dokumentacji sprawy nie ma żadnej wzmianki o uprzednim ubieganiu się przez dr inż. Ewę Młyńczak o nadanie stopnia doktora habilitowanego, przyjmuję więc, że fakt taki nie miał miejsca.

Przedłożone osiągnięcie naukowe, wraz z pozostałymi przesłanymi dokumentami, oceniam zgodnie z zasadami ustanowionymi w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późniejszymi zmianami – tekst jednolity Dz. U. 2023 poz. 742), w szczególności na podstawie art. 219 i 221, z uwzględnieniem poradników Rady Doskonałości Naukowej *Postępowania dotyczące nadawania stopnia doktora habilitowanego* (2021) i *Recenzje w postępowaniach o awans naukowy* (2022), a także Uchwał Senatu AGH nr 146/2019 i nr 91/2021, w konsekwencji także według zapisów „Umowy o dzieło na wykonanie recenzji osiągnięcia naukowego w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego z przeniesieniem praw autorskich” zawartej przeze mnie z Akademią Górniczo-Hutniczą im. Stanisława Staszica w Krakowie.

W art. 221 ust. 8 Ustawy zapisano

„8. Recenzenci, w terminie 8 tygodni od dnia doręczenia im wniosku, oceniają, czy osiągnięcia naukowe osoby ubiegającej się o stopień doktora habilitowanego odpowiadają wymaganiom określonym w art. 219 ust. 1 pkt 2, i przygotowują recenzje.”

Wymagania określone w art. 219 ust.1 pkt. 2 to

„Art. 219. 1. Stopień doktora habilitowanego nadaje się osobie, która:

...

2) posiada w dorobku osiągnięcia naukowe albo artystyczne, stanowiące znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny, w tym co najmniej:

a) 1 monografię naukową wydaną przez wydawnictwo, które w roku opublikowania monografii w ostatecznej formie było ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. a, lub

b) 1 cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b, lub

c) 1 zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne lub artystyczne;”

Wspomniany Poradnik RDN *Recenzje w postępowaniach o awans naukowy* podsumowuje to na str. 13 następująco:

„Z powyższego przepisu wynika jednoznacznie, że sformułowanie konkluzji opinii recenzenta, pozytywnej albo negatywnej, może być podyktowane wyłącznie oceną osiągnięć naukowych wskazanych przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora habilitowanego jako mających stanowić znaczący wkład w rozwój określonej dyscypliny.”

i dalej:

„Brak jest natomiast podstaw, by recenzenci – formułując ostateczną konkluzję swoich opinii – mogli brać pod uwagę inne aspekty niż wyżej wskazane. W konsekwencji tego na przedmiotową opinię nie powinna wpływać ocena, czy osoba ubiegająca się o nadanie stopnia doktora habilitowanego wykazuje się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej, jak i ocena osiągnięć dydaktycznych, organizacyjnych, czy też popularyzujących naukę.”

Niemniej Umowa, na podstawie której sporządzam tę recenzję, zobowiązuje mnie, w par. 2 ust. 5, do zawarcia w niej zestawu informacji i opinii dających szerszy obraz aktywności naukowej Habilitantki, co oczywiście spełniam, ze świadomością, że na ostateczną konkluzję mojej recenzji może mieć wpływ tylko ocena wskazanego przez Habilitantkę osiągnięcia naukowego i jego znaczenia jako wkładu w rozwój dyscypliny naukowej.

Przedłożone osiągnięcie naukowe zatytułowane *Fundamentalne właściwości elektronowe epitaksjalnych warstw Fe(001) osadzanych na Au(001)* stanowi część dorobku naukowego Habilitantki obejmującego 23 artykuły w czasopiśmie, zadeklarowane w przesłanych materiałach (według mojego sprawdzenia 4.08.2023 – 24 artykuły). Sześć z nich zostało opublikowanych przed uzyskaniem przez Habilitantkę stopnia doktora. Wszystkie publikacje są wieloautorskie, w ośmiu Habilitantka jest pierwszą autorką, przy nie alfabetycznym porządku autorów. Wszystkie prace zostały opublikowane w cenionych czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym, istotna część w czasopiśmie uznawanych za prestiżowe o wysokim i bardzo wysokim „impact factor” (IF) wśród czasopiśmie fizycznych. Najwięcej - osiem - zostało opublikowanych w Physical Review B (aktualny IF=3.7) powszechnie uznawanym za jedno z najważniejszych czasopiśmie naukowych w dziedzinie fizyki materii skondensowanej. Kolejne cztery - w Nature Communications (IF=16.6), prestiżowym czasopiśmie o zasięgu

interdyscyplinarnym. Trzy artykuły ukazały się w Journal of Applied Physics (IF=3.2) – cenionym czasopiśmie w dziedzinie badań stosowanych. Pozostałe publikacje ukazały się w Physical Review X (IF=12.5), Nano Letters (IF=10.8), Applied Surface Science (IF=6.7) NPJ Quantum Materials (IF=5.7), Scientific Reports (IF=4.6), Physical Review Research (IF=4.2), Applied Physics Letters (IF=4.0), Surface Science (IF=1.9). Ta lista czasopism nie pozostawia żadnych wątpliwości, że publikacje współautorstwa dr inż. Ewy Młyńczak ukazywały się w wysokiej klasy czasopismach o szerokim międzynarodowym zasięgu. Sumaryczny IF wszystkich publikacji to 162.7, średni IF to 7.4, sumaryczna liczba punktów MEiN wynosi 3110. Publikacje Habilitantki zebrały, według przesłanej dokumentacji, 441 cytowań (477 cytowań - wg mojego sprawdzenia 04.08.2023), bez autocytowań – 422 (458). Prace opublikowane przed doktoratem zebrały 118 cytowań. Dr inż. Ewa Młyńczak wygłosiła 15 ustnych prezentacji konferencyjnych i seminaryjnych (10 po uzyskaniu stopnia doktora), w tym dwukrotnie na Konferencji Niemieckiego Towarzystwa Fizycznego (2016, 2017), raz na Konferencji Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego (2017) i raz podczas *European Conference Physics of Magnetism* (2021). Przedstawiła też 5 konferencyjnych prezentacji plakatowych (4 po uzyskaniu stopnia doktora). Jest zatem oczywiste, że zasadniczy wzrost dorobku naukowego dr inż. Ewy Młyńczak nastąpił po uzyskaniu stopnia doktora, w czasie gdy prowadziła badania samodzielnie m.in. poza macierzystą instytucją. Indeks Hirscha publikacji Habilitantki wynosi 13. Moim zdaniem takie dane naukometryczne zdecydowanie uzasadniają ubieganie się o stopień doktora habilitowanego. Warto zwrócić uwagę, że średnia liczba cytowań na publikację to 19.9, a z 23 publikacji wymienionych w przedstawionej dokumentacji zaledwie 7 zebrało mniej niż 10 cytowań, w tym 4 z lat 2021-2022, te prawdopodobnie zostaną jeszcze niejednokrotnie zacytowane. Najwyżej cytowana praca (73 cytowania) to P9: M. Eschbach, E. Młyńczak, J. Kellner, J. Kampmeier, M. Lanus, E. Neumann, C. Weyrich, M. Gehlmann, P. Gospodarič, S. Döring, G. Mussler, N. Demarina, M. Luysberg, G. Bihlmayer, T. Schäpers, L. Plucinski, S. Blügel, M. Morgenstern, C. M. Schneider, D. Grützmacher, Nature Comm. 6, 8816 (2015): *Realization of a vertical topological p-n junction in epitaxial Sb₂Te₃ / Bi₂Te₃ heterostructures*. Habilitantka jest jej drugą autorką. Widać więc, że prace, które powstały przy udziale dr inż. Ewy Młyńczak wniosły istotny wkład do wiedzy o badanych układach, zostały zauważone przez społeczność naukową, a na liście jej publikacji nie ma prac przyczynkarskich, które w ogóle nie zostały zacytowane.

Na cykl habilitacyjny mający spełnić wymagania określone w art. 219 ust. 1 pkt 2 wymienionej wyżej Ustawy składa się pięć publikacji:

- 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*.

Czasopisma, w których opublikowano prace składające się na cykl habilitacyjny muszą spełniać formalny warunek następująco opisany w Poradniku RDN *Recenzje w postępowaniach o awans naukowy* (str. 13):

„...w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b, z zastrzeżeniem, że w skład przedmiotowego cyklu mogą być zaliczone także artykuły naukowe opublikowane w czasopismach naukowych lub recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, ujętych w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b tej ustawy, przed dniem ogłoszenia tego wykazu lub opublikowane przed dniem 1 stycznia 2019 r. - w czasopismach naukowych, które były ujęte w części A albo C wykazu czasopism naukowych ustalonego na podstawie przepisów wydanych na podstawie art. 44 ust. 2 ustawy uchylanej w art. 169 pkt 4 i ogłoszonego komunikatem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 25 stycznia 2017 r. albo były ujęte w części B tego wykazu, przy czym artykułom naukowym w nich opublikowanym przyznanych było co najmniej 10 punktów,...”

Czasopisma, w których opublikowano prace A3-A5 w latach 2021 i 2022, *Physical Review B* i *Nature Communications* figurują w wykazie MEiN z Uniwersalnym Identyfikatorem Czasopisma 16086 i 14814, odpowiednio, oraz punktacją w roku publikacji 140 i 200 pkt. Prace A1 i A2 zostały opublikowane w latach 2018 i 2016 w *Physical Review B* i *Physical Review X*, niemniej *Physical Review X* również figuruje w aktualnym wykazie z Uniwersalnym Identyfikatorem Czasopisma 16096 (200 pkt.). Oba czasopisma figurują też w części A wykazu czasopism naukowych ogłoszonego komunikatem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 25 stycznia 2017 r. – pod numerami 9447 i 9454.

Wszystkie prace są wieloautorskie, a przedłożone do recenzji dokumenty zawierają zalecane w dokumentach RDN oświadczenia współautorów wskazujące na ich merytoryczny wkład w powstanie każdej pracy. Wkład Habilitantki jest opisany w dokumencie „Wykaz osiągnięć naukowych”. W czterech z nich (A2-A5) dr inż. Ewa Młyńczak jest pierwszą autorką przy nie alfabetycznym porządku autorów. W jednej – A1 – drugą, przy czym pierwszą autorką jest doktorantka przygotowująca pracę pod opieką naukową Habilitantki. Przy wszystkich publikacjach dr inż. Ewa Młyńczak była autorką korespondującą. Według oświadczenia Habilitantki, w pracach A1, A3-A5 była odpowiedzialna za część eksperymentalną projektu, od organizacji czasu pomiarowego w laboratorium synchrotronowym, przez nadzór nad eksperymentem i udział w nim, do analizy zebranych danych. W pracy A2 uczestniczyła w przygotowaniu próbek i analizowała dane ARPES. We wszystkich pracach Habilitantka koordynowała dyskusje ze współautorami, w szczególności z teoretykami współtworzącymi prace, pisała manuskrypty i koordynowała dyskusję nad nimi. Oświadczenia współautorów są konsyistentne z deklaracjami Habilitantki. Spośród dwudziestu trzech współautorów stosowne oświadczenia złożyło dwudziestu z nich. Wkład trzech pozostałych (doktoranta i dwóch „postdoców” nieosiągalnych w chwili przygotowywania dokumentacji habilitacyjnej) opisała dr inż. Ewa Młyńczak – dwóch uczestniczyło w obliczeniach teoretycznych, a jeden w przygotowaniu próbek i pomiarach fotoemisyjnych. Pozostali współautorzy to głównie osoby wykonujące obliczenia teoretyczne (9 osób) oraz uczestniczące w eksperymentach, szczególnie na synchrotronie Elettra (8 osób). Udział tych osób jest w pełni uzasadniony i naturalny w projektach opartych na eksperymentach realizowanych w dużej instalacji badawczej (w laboratorium synchrotronowym Elettra) oraz na interpretacji wyników drogą ich konfrontacji z rezultatami zaawansowanych obliczeń struktury pasmowej, a co więcej także symulacji wyników badań fotoemisyjnych. Dr Pika Gospodarič, pracując jako doktorantka pod opieką naukową dr inż. Ewy Młyńczak, w pracy A1 uczestniczyła w planowaniu i wykonywaniu eksperymentów, analizie danych oraz przygotowała pierwszą i ostateczną wersję manuskryptu. W pozostałych pracach uczestniczyła przy zbieraniu danych i dyskusowaniu ich interpretacji. Wkład prof. dr. Clausa

M. Schneidera Dyrektora Instytutu Petera Grünberga (PGI-6), w którym Habilitantka pracowała, polegał na nadzorowaniu doświadczalnej części projektów, udziale w dyskusjach nad interpretacją wyników oraz tworzeniu manuskryptów. Dr Łukasz Pluciński, w którego laboratorium dr inż. Ewa Młyńczak prowadziła badania, w pracy A2 wykonał wstępne obliczenia teoretyczne, nadzorował zbieranie danych doświadczalnych, uczestniczył w ich analizie oraz pisaniu manuskryptu, zaś w pracach A1, A3-A5 uczestniczył w analizie danych doświadczalnych oraz pisaniu manuskryptu. Podsumowując, załączone deklaracje stanowią podstawę mojego przekonania, że wkład Habilitantki był decydujący dla powstania i ostatecznego kształtu publikacji, szczególnie w części eksperymentalnej, ale też istotny w aspekcie interpretacji wyników na podstawie obliczeń teoretycznych realizowanych przez współpracowników, co w pełni uzasadnia ich włączenie do osiągnięcia habilitacyjnego.

Praca **A1**, chociaż chronologicznie późniejsza od pracy A2, merytorycznie stanowi wprowadzenie do pozostałej części osiągnięcia habilitacyjnego przez analizę warunków wzrostu, morfologii i struktury warstw epitaksjalnych Fe na podłożach Au(001) otrzymywanych metodą MBE. Zastosowano metody o mikrometrowej rozdzielczości: mikroskopię i dyfrakcję niskoenergetycznych elektronów (LEEM, LEED) jak również mikroskopię fotoelektronów (PEEM) i rentgenowską spektroskopię fotoelektronów (XPS). Zidentyfikowano mechanizm segregacji Au na powierzchnię warstw Fe przez pęknięcia pojawiające się podczas wygrzewania w temperaturach powyżej 200 °C, określono grubość pojawiających się powierzchniowych warstw Au. Wyniki tych badań oraz zrelacjonowanych wcześniej w pracy A2 stanowiły podstawę procedury przygotowywania wysokiej jakości struktur Fe(001)/Au(001), których elektronowa struktura pasmowa była badana w pracach A2-A5.

Głównym tematem pracy **A2** jest doświadczalna obserwacja przerw energetycznych w elektronowej strukturze pasmowej związanych z oddziaływanie spin-orbita i pojawiających się поблизу poziomu Fermiego. Zjawisko to, jak też szczegóły powierzchni Fermiego, były modyfikowane za pomocą zmiany kierunku magnetyzacji warstwy Fe. Oprócz dostarczenia doświadczalnej ewidencji pojawiania się przerw spin-orbitalnych w objętościowej strukturze pasmowej Fe (stosunkowo lekkiego metalu przejściowego), zidentyfikowano też wpływ obecności powierzchni na obniżenie symetrii przypowierzchniowych stanów Fe i wskazano analogię do zjawiska Rashby. Uzyskanie nietrywialnych wyników tej pracy było możliwe dzięki przygotowaniu wysokiej jakości struktur, wykonaniu bardzo precyzyjnych pomiarów ARPES przy zmienianej magnetyzacji próbki, a wreszcie interpretowaniu wyników pomiarów przez porównanie nie tylko z obliczoną strukturą pasmową układu, ale też symulacjami rozkładów natężenia fotoemisji w odpowiednich przekrojach przestrzeni k. Pozwoliło to w szczególności zidentyfikować charakter stanów końcowych i przejść optycznych decydujących o obserwowanych wynikach ARPES. Znaczenie wyników pracy A2 podkreśla zacytowanie tej pracy 22 razy (najwięcej wśród prac składających się na osiągnięcie habilitacyjne).

Praca **A3** poświęcona jest zidentyfikowaniu w obrazach struktury pasmowej Fe(001), otrzymanych metodą spinowo- i kątownorozdzielczej spektroskopii fotoemisyjnej, przejawów wielociałowych wzbudzeń, prawidłowemu ich opisaniu i zinterpretowaniu. Wykazano, że załamanie („kink”) pasm elektronowych, obserwowane przy zaskakująco wysokiej energii wiązania 1.5 eV, jest przejawem wielociałowego stanu złożonego z mniejszościowej fotodziury i pary elektron-dziura o przeciwnym spinie (skorelowane wzbudzenie z odwróceniem spinu). Obserwowane wcześniej w ferromagnetykach tego typu anomalie pasm elektronowych występowały przy kilkukrotnie mniejszych energiach wiązania i były interpretowane jako skutek sprzężenia z magnonami. Precyzyjne pomiary z wykorzystaniem mikroskopu fotoemisyjnego z rozdzielczością pędową na linii NanoESCA w laboratorium

Elettra oraz współpraca z teoretykami, którzy przeprowadzili obliczenia *ab initio* uwzględniające wielociałowy charakter układu, ze spektrum wzbudzeń obejmującym magnony i wzbudzenia Stonera, pozwoliły na skuteczną obserwację zjawiska i jego wyjaśnienie. Praca została opublikowana w czasopiśmie *Nature Communications*, służącym rozpowszechnianiu wyników szczególnie wysokiej jakości badań o wyróżniającym się znaczeniu dla reprezentowanych dziedzin – od nauk przyrodniczych, przez matematyczne do stosowanych i inżynierskich. Artykuł zacytowano 10 razy.

Praca A4 przedstawia wyniki badań cienkich warstw Fe (20 i 40 ML) osadzonych na złocie. Precyzyjne pomiary przeprowadzone ponownie za pomocą mikroskopu fotoemisyjnego z rozdzielczością pędową na linii NanoESCA w laboratorium Elettra, także z rozdzielczością spinową, oraz w laboratorium w Jülich przy energii fotonów 8.4 eV pozwoliły zaobserwować skwantowane ze względu na ograniczenie rozmiarowe stany w studni kwantowej oraz ich zmiany wywołane zmianami kierunku magnetyzacji układu. Interpretacja wyników została oparta na symulacjach map fotoemisyjnych wykonanych na podstawie struktury pasmowej obliczonej *ab initio*. Symulacja uwzględniała spinowy stopień swobody i nieoznaczoność wektora k prostopadłego do powierzchni ze względu na skończony zasięg stanów końcowych w warstwie. Subiektywnie, uważam tę pracę za szczególnie interesującą za względu na wykonanie niezwykle dokładnych, wielostronnych eksperymentów fotoemisyjnych z precyzją pozwalającą zidentyfikować stany elektronowe skwantowane ze względu na ograniczenie rozmiarowe oraz wyczerpującą analizę danych wspartą obliczeniami nie tylko struktury pasmowej ale też symulacją odpowiednich map fotoemisji zaprogramowaną z gruntownym zrozumieniem procesu fotoemisyjnego. Publikacja została na razie – od 2021 roku – zacytowana 5 razy.

Praca A5 konfrontuje fotoemisyjne wyniki eksperymentalne dla Fe(001) z symulacjami widm i map fotoemisyjnych wykonanymi na podstawie struktur pasmowych stanów początkowych obliczonych *ab initio* w trzech różnych podejściach - teorii funkcjonału gęstości (DFT) w przybliżeniu lokalnej gęstości (LDA), uogólnionego przybliżenia gradientowego (GGA) i GGA skorygowanego wielociałowym rachunkiem zaburzeń w przybliżeniu GW. Wykazano, że to ostatnie podejście najlepiej opisuje fotoemisyjne wyniki eksperymentalne. Korzystając z tych trzech podejść obliczono też zależność wewnętrznego anomalnego zjawiska Halla od położenia poziomu Fermiego i ponownie stwierdzono dla ostatniego podejścia najlepszą zgodność z dostępnymi wynikami pomiarów magnetotransportowych. Wskazano na wagę właściwego wyboru opisu struktury pasmowej, weryfikowanego w tym przypadku badaniami fotoemisyjnymi, dla opisu zjawisk transportowych w Fe, ale też magnetycznych czy nietrywialnej topologii. Artykuł zacytowano od 2022 roku 3 razy.

Podsumowując, przedstawiony przez dr inż. Ewę Młyńczak cykl artykułów obejmuje prace o niekwestionowanej wartości naukowej, opublikowane w bardzo dobrych czasopismach o szerokim zasięgu międzynarodowym, zawierające zasób znaczących, oryginalnych wyników naukowych. O spójności cyklu decyduje konsekwentne badanie kolejnych aspektów pasmowej struktury elektronowej układu epitaksjalnego Fe(001)/Au(001). Parametry układu, dobierane są do celu badań, od cienkich warstw (20-40 ML) przy obserwacji stanów skwantowanych ograniczeniem rozmiarowym do 100 ML do badań spin-orbitalnych przerw w objętościowej strukturze pasmowej. Dodatkowo, spójność metod badawczych w zaprezentowanych pracach jest już konsekwencją spójnej tematyki badawczej. Cykl wnosi istotny wkład od fizyki materiałów ferromagnetycznych, ale też szerzej rozumianych badań elektronowej struktury pasmowej materiałów krystalicznych. Wystarczy wymienić najważniejsze oryginalne wyniki cyklu habilitacyjnego:

- doświadczalna obserwacja pojawiania się przerw spin-orbitalnych w objętościowej strukturze pasmowej Fe i manipulacja nimi za pomocą zmiany kierunku magnetyzacji,

- zaobserwowanie i zinterpretowanie anomalii dyspersji pasma elektronowego Fe jako przejawu wielociałowego stanu złożonego z mniejszościowej fotodziury i pary elektron-dziura o przeciwnym spinie,
- doświadczalne zaobserwowanie w cienkich warstwach Fe, skwantowanych pod wpływem ograniczenia rozmiarowego, stanów elektronowych o położeniach zależnych od magnetyzacji warstwy,
- zidentyfikowanie mechanizmu segregacji Au na powierzchnię warstw Fe przez pęknięcia pojawiające się podczas wygrzewania i opracowanie procedury przygotowywania wysokiej jakości struktur Fe(001)/Au(001) bez złota na powierzchni.

Przedstawione wyniki wnoszą nowy, oryginalny wkład do wiedzy o roli oddziaływań spin-orbitalnych w ferromagnetycznym metalu „3d”, fizyce oddziaływań elektron-magnon, strukturze rozmiarowo skwantowanych stanów elektronowych w cienkiej warstwie metalu ferromagnetycznego i jej zależności od magnetyzacji układu, mechanizmie wzrostu warstw epitaksjalnych Fe na Au. Pierwsze trzy aspekty są szczególnie istotne z punktu widzenia badań podstawowych, a wszystkie cztery dla zastosowań badanych układów m.in. w spintronice.

Prace te stanowią też przykład wzorowego zastosowania rozwiniętej spektroskopii fotoelektronów, zarówno w wersji kątorozdzielczej jak i spinorozdzielczej, także w konfiguracji mikroskopowej, w badaniach epitaksjalnych struktur metalicznych. Ich wyniki zostały precyzyjnie zinterpretowane przez porównanie z rezultatami rozbudowanych obliczeń teoretycznych. Nie ograniczono się jednak do porównań z samą strukturą pasmową, co jest często stosowaną procedurą, ale symulowano widma i mapy fotoemisyjne, uwzględniając aspekty procesu fotoemisyjnego, które istotnie wpływają na kształt wyników doświadczalnych. Znacznie podniosło to wartość tych prac, a zapewnienie sobie współpracy kompetentnych teoretyków wskazuje na dojrzałość naukową i umiejętność pracy zespołowej Habilitantki.

Aktywność naukowa i dorobek naukowy dr inż. Ewy Młyńczak znacznie wykraczają poza opisane powyżej osiągnięcia habilitacyjne. Część jej prac stanowi, pod względem tematyki, kontynuację badań, które zaowocowały pracą doktorską Habilitantki, a dotyczy właściwości cienkowarstwowych struktur metali (głównie żelaza) i tlenków (CoO, NiO) osadzanych na podłożu z MgO. Układy ferromagnetyk/antyferromagnetyk skupiają uwagę m.in. ze względu na zastosowania spintroniczne. Badano w szczególności wpływ struktury międzywierzchni metal/tlenek na właściwości magnetyczne układu. W większości artykułów Habilitantka była pierwszą i korespondującą autorką. Odpowiadała za przygotowanie próbek, pomiary, interpretację wyników oraz sporządzenie manuskryptu. Prace były realizowane głównie w Instytucie Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera Polskiej Akademii Nauk przy współpracy z Akademią Górniczo-Hutniczą.

Kolejnym polem aktywności naukowej dr inż. Ewy Młyńczak były badania izolatorów topologicznych, temat bardzo aktualny, intensywnie eksploatowany w skali światowej, a więc też w Peter Grünberg Institute (PGI-6), Forschungszentrum Jülich. Prace, których współautorką jest Habilitantka, poświęcone były badaniu właściwości „kanonicznych” izolatorów topologicznych Bi₂Te₃, Bi₂Se₃ (oraz struktur z nich utworzonych) ale też Bi₁Te₁. Habilitantka uczestniczyła w pomiarach metodami ARPES, spektroskopii augerowskiej, analizie wyników i powstawaniu manuskryptów.

Badania izolatorów topologicznych, podobnie jak osiągnięcia habilitacyjne to część dorobku Habilitantki zgromadzonego w czasie pracy poza macierzystą instytucją. Już podczas pracy nad doktoratem dr inż. Ewa Młyńczak odbyła (jako element programu Międzynarodowych Projektów Doktoranckich) półroczny staż naukowy w National Research

Center on nanoStructures and bioSystems at Surfaces (S3) CNR-INFM w Modenie (Włochy). W tym czasie prowadziła eksperymentalne badania struktur epitaksjalnych NiO/Fe uwieńczone publikacją E. Młyńczak, P. Luches, S. Valeri, J. Korecki, J. Appl. Phys. 113, 234315 (2013): *NiO/Fe (001): Magnetic anisotropy, exchange bias, and interface structure*. Brała również udział w kilku eksperymentach w szwajcarskim laboratorium synchrotronowym Swiss Light Source w Instytucie Paula Scherrera w Villigen. Czasowo był tam testowany fotoemisyjny mikroskop elektronowy (PEEM), który potem został zainstalowany w polskim synchrotronie Solaris w Krakowie.

Następnie, już jako doktor, Habilitantka uzyskała stypendium w ramach Jülich International PostDoc Bursary and Grant Programme i rozpoczęła pracę eksperymentalną w grupie zajmującej się katoworozdzielczą spektroskopią fotoemisyjną ARPES (prowadzonej przez dr. Łukasza Plucińskiego) w Peter Grünberg Institute (PGI-6), Forschungszentrum Jülich kierowanym przez prof. Clausa M. Schneidera. Stypendium przyznano na pół roku, a następnie dwukrotnie przedłużano je o 6-miesięczne okresy. Dr inż. Ewa Młyńczak uczestniczyła w badaniach o bardzo aktualnej, „gorącej” tematyce: badania struktury elektronowej materii topologicznej, dwuwymiarowych materiałów z grupy dichalkogenków metali przejściowych oraz nad właściwościami elektronowymi ferromagnetyków. W czasie stażu podoktorskiego w Jülich Habilitantka poszerzała swoje doświadczenie w stosowaniu promieniowania synchrotronowego w spektroskopii ciała stałego, tym razem w brytyjskim *Diamond Light Source* mieszczącym się w Harwell Science and Innovation Campus w Oxfordshire. Współpracowała z grupą prof. Charlesa S. Fadleya.

W 2015 roku Habilitantka otrzymała grant z programu Helmholtz Postdoc finansowanego przez Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren. Umożliwił on jej zatrudnienie się jako pracownik naukowy w Peter Grünberg Institute (PGI-6), Forschungszentrum Jülich. Wtedy powstały prace składające się na osiągnięcie habilitacyjne, ale też dr inż. Ewa Młyńczak uczestniczyła w badaniach materiałów topologicznych, które zaowocowały kilkoma bardzo wartościowymi publikacjami.

Należy podkreślić przemyślany i konsekwentny rozwój naukowy Habilitantki dobrze wsparty kilkuletnimi pobytami poza macierzystą instytucją, w laboratorium wyspecjalizowanym w bardzo zaawansowanej spektroskopii fotoemisyjnej, a równolegle praktyką w laboratoriach synchrotronowych. Publikacje składające się na dorobek dr inż. Ewy Młyńczak, w szczególności osiągnięcie habilitacyjne, świadczą, że bardzo dobrze wykorzystwała możliwość współpracy z tak wyjątkowo kompetentnymi i doświadczonymi specjalistami w dziedzinie spektroskopii fotoemisyjnej jak dr Łukasz Pluciński i prof. Claus M. Schneider czy wręcz klasyk tej dziedziny prof. Charles S. Fadley.

Habilitantka wykazała się też umiejętnością zdobycia finansowania dla projektów i kierowania nimi:

- Projekt EpiSpin PD-210 finansowany przez Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren w ramach programu Helmholtz Postdoc (300 000 euro),
- Kilka projektów badań synchrotronowych w laboratoriach Elettra i Solaris,
- Złożony we wrześniu 2022 projekt w ramach konkursu NCN Sonata bis *Topology meets magnetism: Sn-containing compounds for magnetization-driven topological phase transitions (TopoTin)* - wg danych ze strony www NCN – zakwalifikowany do finansowania (2 790 696 zł).

Dzięki stażom zagranicznym dr inż. Ewa Młyńczak zdobyła też pewne doświadczenie dydaktyczne, które jest trudno osiągalne w czasie pracy w instytucie Polskiej Akademii Nauk. W letnim semestrze 2019 roku odpowiadała za ćwiczenia dla studentów studiów magisterskich na Uniwersytecie w Duisburgu do przedmiotu *Fundamentals of Surface Physics* wykładanego przez prof. Clausa M. Schneidera. W ramach tego kursu wygłosiła też

wykład *Topografie powierzchni, procesy wzrostu, interfejsy*. W latach 2015-2019 była opiekunem naukowym doktorantki Piki Gospodarič, która obroniła doktorat na Uniwersytecie w Duisburgu w czerwcu 2019 roku. W grudniu 2022 roku wygłosiła wykład *Spinowo-spolaryzowana fotoemisja* dla studentów Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule w Akwizgranie, w ramach kursu *Photoelectron Spectroscopy* prowadzonego przez dr Łukasza Plucińskiego.

Opis aktywności naukowej Habilitantki dopełnia 14 recenzji manuskryptów w czasopismach naukowych. Jest to dorobek zauważalny, zwłaszcza jeśli wziąć pod uwagę poziom czasopism, m.in. 7 recenzji w *Physical Review B*, a kolejna w *Physical Review Letters*.

Formułując, zgodnie z wymaganiami ustawowymi, ostateczną konkluzję mojej recenzji stwierdzam, że osiągnięcia naukowe dr inż. Ewy Młyńczak, ubiegającej się o stopień doktora habilitowanego, bez żadnych wątpliwości odpowiadają wymaganiom określonym w art. 219 ust. 1 pkt 2 Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Osiągnięcie habilitacyjne zawiera oryginalny wkład w rozwój dyscypliny nauk fizycznych, w szczególności do wiedzy o fizyce materiałów ferromagnetycznych, o roli oddziaływań spin-orbitalnych w ferromagnetycznym metalu „3d”, fizyce oddziaływań elektron-magnon, strukturze rozmiarowo skwantowanych stanów elektronowych w cienkiej warstwie metalu ferromagnetycznego. Dwa pozostałe cykle prac przedstawionych przez Habilitantkę, nie wchodzące do cyklu habilitacyjnego, również zawierają ważne wyniki dotyczące układu ferromagnetyk/antyferromagnetyk (ważnego dla zrozumienia fizyki złożonych układów magnetycznych) oraz materiałów topologicznych (szybko rozwijającej się tematyki o znaczeniu wykraczającym poza fizykę ciała stałego, a w której badania metodą ARPES mają szczególne znaczenie). Wagę prac Habilitantki potwierdza fakt, że zostały zaakceptowane do publikacji w bardzo dobrych recenzowanych czasopismach o szerokim zasięgu międzynarodowym i zostały zauważone przez środowisko naukowe, o czym świadczą liczby cytowań, z reguły przekraczające 10. Wnoszę więc o dopuszczenie dr inż. Ewy Młyńczak do kolejnych etapów postępowania habilitacyjnego.

Pozostałe aspekty dorobku naukowego Habilitantki opisanego w przesłanej dokumentacji także utwierdzają mnie w przekonaniu, że dr inż. Ewa Młyńczak jest samodzielnym, dojrzałym naukowcem o rozpoznawalnym dorobku w dziedzinie badań struktury elektronowej układów z materiałów magnetycznych.

Biorąc pod uwagę naukowe znaczenie badanych problemów i osiągniętych wyników, tworzących istotny wkład do fizyki materiałów ferromagnetycznych, szczegółowo opisany powyżej, wysoki standard naukowego rzemiosła publikacji stworzonych na podstawie tych wyników, wysoką międzynarodową klasę czasopism, w których zostały one opublikowane (m.in. *Nature Commun.*, *Phys. Rev. X*, *Phys. Rev. B*), i znaczącą liczbę cytowań tych prac świadczącą o zauważeniu ich przez środowisko naukowe wnoszę o rozważenie wyróżnienia osiągnięć naukowych dr inż. Ewy Młyńczak.

B Kowalski

