

Prof. dr hab. inż. Feliks Stobiecki
Instytut Fizyki Molekularnej PAN

POLITECHNIKA POZNAŃSKA WYDZIAŁ INŻYNIERII MATERIALOWEJ I FIZYKI TECHNICZNEJ		
DNIA	18-12-2023	DNIA
WPLYNĘŁO		

Poznań 7 grudnia 2023 r.

DF-63/142/2023

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Marty Izabeli Przychodniej na temat
„Preparation and characterization of two-dimensional surface alloys of rare earth
metals on Pt(111)”**

Praca doktorska mgr inż. Marty Izabeli Przychodniej, której tematyka dotyczy preparatyki i charakteryzacji dwuwymiarowych (2D) stopów powierzchniowych metali ziem rzadkich na Pt(111) jest napisana w języku angielskim. W pracy tej omówione są bardzo ważne i aktualne zagadnienia związane z procesem wytwarzania i zbadaniem struktury oraz wybranych właściwości 2D stopów REM-Pt (REM – metal ziemi rzadkiej). Układ rozprawy jest typowy. Spośród siedmiu rozdziałów najważniejszy jest rozdział szósty, w którym Doktorantka omawia wyniki badań własnych. Ta część rozprawy poprzedzona jest rozdziałami wprowadzającymi w tematykę oraz omawiającymi stosowane metody badawcze.

We wprowadzeniu, które jest pierwszym rozdziałem, mgr inż. Marta Przychodnia określa motywację do podjęcia badań w zakresie określonym w tytule pracy. W szczególności zwraca uwagę na właściwości metali ziem rzadkich oraz możliwości modyfikowania struktury i właściwości (magnetycznych i elektronowych) jakie zapewnia inżynieria materiałowa w zakresie struktur 2D. Podaje również argumenty przemawiające za wyborem Pt jako podłoża, a równocześnie materiału, z którym REM tworzy stop. Następnie określa co zawierają poszczególne rozdziały jej dysertacji.

W rozdziale drugim Doktorantka skupiła się na dwóch zagadnieniach, ważnych z punktu widzenia tematyki pracy. Pierwsze dotyczy oddziaływań magnetycznych, jakie mogą być istotne przy interpretacji wyników badań własnych. Drugie natomiast przybliży czytelnikowi proces wzrostu cienkich warstw osadzanych metodami fizycznymi. W końcowym akapicie tego rozdziału mgr inż. Marta Przychodnia słusznie stwierdza, że wzrost warstw może być kontrolowany poprzez temperaturę podłoża i szybkość osadzania. W tym kontekście dziwi mnie to, że podczas omawiania własnych wyników (rozdział 6.) szybkość osadzania nie została nigdzie określona.

Rozdział trzeci poświęcony jest zaprezentowaniu stanu wiedzy w zakresie dotyczącym stopów REM-NM (NM – metal szlachetny). We wprowadzeniu do tego rozdziału Doktorantka zwraca uwagę na silną zależność właściwości fizycznych tych stopów od ich rozmiarów (grubości warstw). Dlatego w pierwszej kolejności (rozdział 3.1.) mgr inż. Marta Przychodnia omawia wyniki wcześniejszych badań dotyczących powierzchniowych stopów REM-NM. Spośród nich najwięcej danych dotyczy stopu GdAu₂. Omawiając jego strukturę Doktorantka określiła najważniejsze parametry jakie będzie stosowała, w dalszych częściach rozprawy, przy opisie powierzchniowych struktur REM-NM₂ i REM-NM₅. Wyjaśniła również jak powstaje i jak jest opisywana superstruktura moiré, podając przy tym co wpływa na parametry jej zafalowania.

Ponadto zwraca uwagę na to, że wynik pomiaru tej struktury, z wykorzystaniem STM, może zależeć od parametrów procesu (napięcia polaryzacji). Podaje też, na podstawie literatury, informacje o właściwościach magnetycznych stopu GdAu_2 , który w postaci stopu objętościowego wykazuje właściwości antyferromagnetyczne, natomiast gdy jest to stop utworzony na powierzchni monokryształu Au właściwości ferromagnetyczne z $T_C \approx 19\text{K}$.

W dalszej części tego rozdziału Doktorantka omawia strukturę i parametry wzrostu innych powierzchniowych stopów typu NM-REM, gdzie NM=Au, Ag, Cu, REM=La, Ce, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, a dla niektórych z nich również podaje ich właściwości magnetyczne (H_C , T_C) i elektryczne (praca wyjścia).

Drugą część trzeciego rozdziału (rozdział 3.2.) Doktorantka poświęciła stopom REM-Pt. We wprowadzeniu do tej części opracowania mgr inż. Marta Przychodnia zwraca uwagę na to, że w przeciwieństwie do omawianych wcześniej stopów, zastosowanie Pt jako NM może mieć istotny wpływ na właściwości magnetyczne stopu NM-REM ze względu na polaryzację spinową Pt, co może istotnie zmieniać oddziaływania (np. typu RKKY) pomiędzy momentami magnetycznymi atomów REM. Inną istotną właściwością Pt jest silne sprzężenie spin-orbita, które może wpływać na właściwości magnetyczne (poprzez oddziaływanie Dzialoshinsky-Moriya) i elektryczne. Ważnym aspektem atrakcyjności stopów Pt-REM są również ich właściwości katalityczne co jest ważne dla wielu zastosowań.

Omówienie struktur i właściwości magnetycznych stopów REM-Pt mgr inż. Marta Przychodnia zaczyna od stopów objętościowych Gd-Pt o różnym stosunku Gd:Pt, w tym głównie faz Gd-Pt_2 i GdPt_5 , które są szczególnie ważne ze względu na porównanie ze stopami powierzchniowymi Gd-Pt, dla których wyniki są prezentowane w rozdziale 6. W przypadku objętościowych stopów Dy-Pt krótko omawia właściwości stopu DyPt_2 .

W dalszej kolejności mgr inż. Marta Przychodnia przechodzi do stopów REM-Pt w postaci cienkich warstw. Prezentuje syntetyczną analizę wyników badań struktury warstw Ce-Pt (ten układ spośród REM-Pt był najczęściej badany) oraz Gd-Pt o różnych grubościach i osadzanych w różnych warunkach. Z analizy tej wynika, że rezultaty prezentowane w poszczególnych pracach wykazują istotne różnice i dlatego trudno na ich podstawie przedstawić jeden spójny model wzrostu i struktury takich warstw. Ten wniosek utwierdził Doktorantkę w tym, że dalsze badania tej grupy dwuwymiarowych stopów są w pełni uzasadnione.

Kolejne dwa rozdziały (czwarty i piąty) rozprawy doktorskiej mgr inż. Marty Przychodniej obejmują opis stosowanych przez nią metod badawczych i stanowisk, z wykorzystaniem których realizowała swoje pomiary. Wybrane metody eksperymentalne to: skaningowa mikroskopia tunelowa (STM), spektroskopia tunelowa, dyfrakcja elektronów niskiej energii (LEED), spektroskopia elektronów Auger (AES), spektroskopowe metody wykorzystujące promieniowanie synchrotronowe (ze szczególnym uwzględnieniem pomiarów magnetycznych wykorzystujących efekt magnetycznego dichroizmu kołowego (XMCD)). Opis metod doświadczalnych kończy wprowadzenie do teorii funkcjonału gęstość (DFT), którą Doktorantka wykorzystywała do pełniejszej interpretacji wyników eksperymentalnych.

Opis każdej z omawianych metod doświadczalnych zawiera, moim zdaniem, wszystkie istotne informacje wyjaśniające podstawy fizyczne i tym samym umożliwia czytelnikowi zrozumienie zasady działania poszczególnych metod. Świadczy to o tym, że mgr inż. Marta Przychodnia bardzo dobrze opanowała wiedzę związaną z tymi technikami badawczymi i potrafi ją

przekazać, co z kolei jest ważną umiejętnością w pracy nauczyciela akademickiego. Za bardzo cenne uważam również włączenie do opisów metod badawczych informacji o historii ich wdrożenia i twórcach, którym opracowanie tych metod zawdzięczamy.

Przechodząc do opisu stosowanej w badaniach aparatury badawczej (rozdział 5.) Doktorantka zwraca uwagę na konieczność prowadzenia procesów technologicznych i badań w warunkach ultrawysokiej próżni (UHV). Jest to niezwykle istotny problem w badaniach układów o ograniczonej wymiarowości. Dodatkowo, ze względu na silne powinowactwo REM do tlenu, zapewnienie warunków UHV ma jeszcze większe znaczenie. W pierwszych dwóch podrozdziałach Doktorantka opisuje aparatury UHV wyposażone w zmiennie-temperaturowy STM, LEED/AES oraz wyposażenie do preparatyki próbek. Jedno z tych stanowisk mgr inż. Marta Przychodnia miała do dyspozycji podczas stażu na Uniwersytecie w Hamburgu (w grupie Prof. Rolanda Wiesendangera). Drugie stanowisko, z którego korzystała, jest zlokalizowane na jej macierzystej uczelni. Mgr inż. Marta Przychodnia brała udział w rozbudowie tej aparatury, dlatego jej opis jest dokładniejszy. Poza prezentacją budowy i funkcji poszczególnych elementów zawiera on również szczegółowy opis wielozadaniowej głowicy STM, stosowanego kriostatu jak również układu chłodzenia w obiegu zamkniętym.

Ostatnie dwa podrozdziały mgr inż. Marta Przychodnia poświęciła opisowi stanowisk pomiarowych, z wykorzystaniem których prowadziła głównie pomiary magnetyczne. W obu przypadkach dotyczy to pomiarów wykorzystujących efekt XMCD i promieniowanie synchrotronowe. W pierwszym z nich Doktorantka realizowała pomiary korzystając z synchrotronu SLS (Szwajcaria), w drugim natomiast korzystając z synchrotronu ALBA (Hiszpania). Przedstawione opisy zawierają podstawowe informacje dotyczące samych synchrotronów, wiązki promieniowania, stacji końcowej i jej wyposażenia w zakresie preparatyki próbek i pomiarów uzupełniających. W obu przypadkach najważniejsze parametry procesu badawczego są zebrane w tabelach.

Prezentację wyników własnych mgr inż. Marta Przychodnia zaczyna od opisu przygotowania monokryształu Pt(111) do procesu osadzania REM. Stosuje ona klasyczną metodę polegającą na przemienne prowadzonym procesie wygrzewania i rozpylania, a skuteczność stosowanej procedury kontrolowała poprzez pomiary STM, PTS (punktowa spektroskopia tunelowa), AES, LEED. Na podstawie pomiarów z wykorzystaniem STM Doktorantka pokazała, że powierzchnia monokryształu Pt wykazuje obecność tarasów o wysokości odpowiadającej odległości międzypłaszczyznowej $d(111)$, a rozkład atomów na powierzchni jest heksagonalny. Pomiary z wykorzystaniem metody LEED wskazują na rekonstrukcję powierzchni typu (1×1) . Doktorantka pokazuje również wyniki pomiarów struktury elektronowej (zależności $dI/dU(V_{Bias})$ uzyskane z wykorzystaniem PTS oraz widma AES. Pomiary struktury elektronowej prowadzone w różnych miejscach próbki wykazują pewne różnice, jednak ich charakter jest zbliżony. Szkoda, że zabrakło informacji jak duże były odległości pomiędzy miejscami poszczególnych pomiarów oraz jaka była odległość od krawędzi tarasu.

Przechodząc do omówienia preparatyki próbek mgr inż. Marta Przychodnia podaje dwie metody osadzania stopów powierzchniowych (i) osadzanie na podłoże o pokojowej temperaturze, a następnie wygrzewanie, (ii) osadzanie na podłoże o podwyższonej temperaturze. Drugą z tych metod, którą nazywa metodą reaktywną Doktorantka stosowała w swoich badaniach ze względu na to, że pozwala ona uzyskać stop o większym stopniu uporządkowania strukturalnego. Sam proces osadzania REM ($REM=Gd$ lub Dy) prowadzono,

w warunkach UHV (ciśnienie poniżej 10^{-10} mbar), poprzez odparowanie z tygli wolframowych z wykorzystaniem wiązki elektronowej. Mgr inż. Marta Przychodnia przeprowadziła systematyczne badania wzrostu warstw w funkcji temperatury podłoża, co pozwoliło określić temperaturę, dla której zachodzi tworzenie powierzchniowego stopu dla Gd-Pt i Dy-Pt.

Kolejne dwa rozdziały dotyczą kolejno powierzchniowego stopu Gd-Pt i Dy-Pt. We wprowadzeniu do pierwszego z nich Marta Przychodnia charakteryzuje właściwości magnetyczne Gd oraz określa jakie oddziaływania mogą zachodzić w stopie Gd-Pt. W następnej kolejności omawia wyniki badań własnych obejmujących strukturę, właściwości elektronowe, diagram fazowy, właściwości magnetyczne powierzchniowego stopu Gd-Pt o grubościach nie przekraczających dwóch monowarstw stopu.

Badania strukturalne prowadzone z wykorzystaniem STM pozwoliły na identyfikację trzech typów struktury: monowarstwa stopu GdPt_2 , monowarstwa stopu GdPt_5 , dwuwarstwa stopu GdPt_5 uzyskiwanych przy różnych grubościach pokrycia. Doskonała jakość, zmierzonych z wykorzystaniem STM w dwóch różnych skalach struktur powierzchniowych pozwoliła Doktorantce na precyzyjny opis i graficzne przedstawienie uporządkowania atomów w poszczególnych typach struktury. Pomiaru te jednoznacznie wskazują na obecność zarówno uporządkowania bliskiego jak i dalekiego zasięgu. Mimo tego, wyznaczenie periodyczności struktury moiré nie było możliwe ze względu na liczne defekty, których źródłem, jak wyjaśniła Doktorantka, są naprężenia wywołane różnicami stałych sieci. Wyniki pomiarów struktury uzyskane z wykorzystaniem STM zostały potwierdzone w pomiarach LEED wspartych symulacjami rozkładu plamek dyfrakcyjnych. Pomiaru te pozwoliły również na identyfikację w stopie 2L GdPt_5 koegzystencji domen wykazujących superstrukturę o zbliżonej stałej sieci, z których jedne wykazują skrócenie względem struktury podłoża o około 30° .

Strukturę elektronową mgr inż. Marta Przychodnia badała z wykorzystaniem pomiarów spektroskopowych umożliwiających mapowanie konduktancji tunelowej. Pomiaru te zostały porównane z obliczeniami DFT. Na ich podstawie Doktorantka wykazała, że właściwości elektronowe silnie zależą od struktury powierzchniowej (rozkładu atomów terminujących). Pokazała również, że struktura elektronowa jest modulowana poprzez strukturę moiré w wyniku zmian hybrydyzacji podłoża ze stopem Gd-Pt.

Diagram fazowy pokazujący udział poszczególnych struktur (nieuporządkowanej fazy Gd-Pt, 1LGdPt_2 , 1LGdPt_5 i 2LGdPt_5) w zależności od pokrycia Pt(111) warstwą Gd i od temperatury podłoża, został opracowany na podstawie badań wielu próbek i uśrednieniu wyników wielu pomiarów. W efekcie Doktorantka pokazała, że kontrolując zmieniane parametry procesu osadzania można, w szerokich granicach, regulować powierzchniowe stężenie poszczególnych faz.

Właściwości magnetyczne stopów 1LGdPt_5 i 2LGdPt_5 Doktorantka określiła na podstawie pomiarów XMCD zrealizowanych na synchrotronie ALBA. Próbki były osadzane w komorze preparacyjnej, gdzie również weryfikowana była struktura z wykorzystaniem LEED. Następnie próbki transferowano w warunkach UHV do kriostatu pomiarowego. Pomiaru prowadzono dla dwóch polaryzacji kołowo spolaryzowanego promieniowania padającego na próbkę wzdłuż normalnej i pod małym kątem względem płaszczyzny. Energia promieniowania była dopasowana do progu absorpcji Gd (M4,5). W przypadku struktur 1LGdPt_5 i 2LGdPt_5 efekt magnetycznego dichroizmu kołowego zarejestrowano dla obu kątów padania wiązki promieniowania synchrotronowego. Wyniki pomiarów XMCD pozwoliły Doktorantce

wyznaczyć orbitalny (bliski zera) i spinowy ($\approx 6\mu_B$ dla obu badanych struktur) moment magnetyczny. Uzyskane wartości spinowego momentu magnetycznego dla Gd są mniejsze od znanych z literatury wartości dla czystego Gd. Różnicę tę Doktorantka tłumaczy transferem ładunku, co potwierdzają wyniki obliczeń DFT wskazujące jednoznacznie na spinową polaryzację atomów Pt. Korzystając z możliwości pomiarów w funkcji pola magnetycznego mgr inż. Marta Przychodnia zmierzyła, dla obu kątów padania promieniowania X, pętle histerezy. Pomiary te pozwoliły na wykazanie odmiennej orientacji kierunku łatwego magnesowania warstw stopu 1LGdPt₅ i 2LGdPt₅, odpowiednio w płaszczyźnie warstwy i wzdłuż normalnej, co Doktorantka wiąże z różnicami strukturalnymi obu warstw. Badania magnetyczne kończy wyznaczenie temperatury Curie (T_C) obu stopów, które są wielokrotnie mniejsze od T_C czystego Gd, ale już tylko dwukrotnie mniejsze w porównaniu z stopem GdAu₂.

Do zbadania następnej grupy powierzchniowych stopów z Pt Doktorantka wybrała Dy ze względu na jego wysoki moment magnetyczny i złożone właściwości magnetyczne.

Skład chemiczny stopu Dy-Pt Doktorantka zbadała z wykorzystaniem metody AES. Szkoda, że pomiary AES nie zostały przedstawione w szerszym zakresie energii, co umożliwiło by wykazanie, że warstwa jest wolna od zanieczyszczeń związanych z tlenem i węglem. Ta uwaga dotyczy również stopu Gd-Pt, dla którego wynik pomiaru AES nie został pokazany.

Warstwy Dy-Pt wytwarzane były w analogiczny sposób jak Gd-Pt, a zmiennymi parametrami procesu była temperatura podłoża (715-1125K) oraz grubość pokrycia warstwy Dy. Badania z wykorzystaniem STM pozwoliły wykazać, że w tym przypadku występuje jedynie faza DyPt₂, która tworzy strukturę złożoną z dwóch lub trzech monowarstw stopu, odpowiednio 1LDyPt₂ i 3LDyPt₂. W przypadku obu stopów występuje struktura moiré, przy czym dla stopu 1LDyPt₂ jest ona bardziej niejednorodna, co Doktorantka analogicznie jak w przypadku 1LGdPt₂ tłumaczy naprężeniami. Podobnie jak miało to miejsce w przypadku powierzchniowych stopów Gd-Pt również w przypadku stopu Dy-Pt mgr inż. Marta Przychodnia zaproponowała model struktury stopu DyPt₂ z pokryciem jedną i trzema warstwami oraz określiła parametry struktury.

Strukturę powierzchniową warstw Dy-Pt mgr inż. Marta Przychodnia badała również z wykorzystaniem metody LEED. Pomiary te pozwoliły wykazać, że atomowe struktury powierzchniowych stopów 1LDyPt₂ i 3LDyPt₂ są do siebie podobne, zarówno pod względem stałych sieci, jak i tego, że w obu przypadkach zaobserwowano występowanie domen wykazujących domeny zorientowane zgodnie z orientacją struktury podłoża oraz sieci, których orientacja wykazuje skrócenie o 30°. Pomiary LEEM potwierdziły również wnioski dotyczące znacznego wpływu naprężeń na strukturę moiré stopu 1LDyPt₂.

Tak jak dla stopu Gd-Pt, również dla stopu DyPt₂ o dwóch różnych grubościach (1L i 3L), Doktorantka przeprowadziła pomiary spektroskopowe wzdłuż linii przechodzącej przez charakterystyczne punkty struktury moiré. Badania te wykazały podobne właściwości elektronowe obu stopów, co wynika z podobieństwa ich struktury powierzchniowej. Pokazały również wyraźną zależność stanów elektronowych od położenia względem charakterystycznych punktów (doliny i wzniesienia) struktury moiré.

Diagram fazowy powierzchniowego stopu Dy-Pt powstającego w wyniku osadzania Dy na Pt(111) mgr inż. Marta Przychodnia opracowała dla struktur różniących się jedynie grubością warstwy Dy. W tym przypadku Doktorantka zrezygnowała z pomiarów warstw osadzanych

przy różnych temperaturach podłoża, gdyż dla tego stopu przy wzroście temperatury nie zachodziły powtarzalne zmiany struktury powierzchniowej. Opracowana statystyka pokrycia powierzchni podłoża przez poszczególne fazy wykazała, że dla stosowanej temperatury podłoża (1050K) odpowiedni dobór grubości Dy pozwala na uzyskanie stopu o wyraźnej dominacji fazy 1LDyPt₂ lub 3LDyPt₂.

Pomiary magnetyczne powierzchniowego stopu Dy-Pt mgr inż. Marta Przychodnia prowadziła z wykorzystaniem tej samej metody jak w przypadku stopu Gd-Pt przy czym w tym przypadku pomiary realizowane były na synchrotronie SLS. Wyniki badań jednoznacznie wskazują, że obie fazy 1LDyPt₂ i 3LDyPt₂ w zakresie niskich temperatur są ferromagnetykami o zbliżonych parametrach (spinowy i orbitalny moment magnetyczny, orientacja łatwej osi, H_C, T_C). Mam jednak wrażenie, że opis dotyczący wartości H_C i T_C dla 1LDyPt₂ i 3LDyPt₂ nie odpowiada temu co pokazują rysunki, odpowiednio 6.21 c,d i 6.22 c,d. Mianowicie, w tekście podane jest, że większe wartości H_C i mniejsze T_C wykazuje faza 3LDyPt₂ natomiast rysunki sugerują, że jest odwrotnie.

W podsumowaniu mgr inż. Marta Przychodnia zaznacza, że zaprezentowane wyniki badań powierzchniowych stopów Gd-Pt i Dy-Pt mają pionierski charakter. Przypomina konkretne osiągnięcia w zakresie określenia: (i) struktury krystalograficznej tych stopów oraz jej modyfikacji w zależności od warunków osadzania, (ii) struktury elektronowej i jej korelacji ze strukturą moiré, (iii) właściwości magnetycznych, które przedstawiła w formie tabelarycznej i porównała z odpowiednikami tych stopów w postaci litej.

Podsumowanie kończy wskazanie potencjalnych dalszych kierunków badań powierzchniowych stopów Gd-Pt i Dy-Pt. W szczególności dotyczy to zweryfikowania braku występowania niekolinearnych struktur magnetycznych, co mogłoby być zrealizowane z wykorzystaniem STM z detekcją polaryzacji spinowej.

Podsumowanie recenzji wraz z uzasadnieniem wniosku o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Marty Przychodniej.

Praca doktorska mgr inż. Marty Przychodniej jest przykładem bardzo dobrej pracy obejmującej szeroki zakres zagadnień związanych z: technologią wytwarzania dwuwymiarowych stopów, fizyką powierzchni, właściwościami magnetycznymi i strukturą elektronową stopów dwuwymiarowych. Realizacja tych badań wymagała od Doktorantki wykorzystania technologii UHV w zakresie preparatyki próbek, jak również podczas wszystkich pomiarów. Należy przy tym zaznaczyć, że wybór technik pomiarowych był optymalny i obejmował metody dedykowane do badań układów 2D. Za szczególnie cenne uważam wykorzystanie możliwości realizacji pomiarów synchrotronowych w pomiarach magnetycznych. Niewątpliwie istotny wpływ na wysoką jakość badań strukturalnych, prezentowanych w recenzowanej rozprawie, ma godny podziwu poziom badań, jaki pracownicy Wydziału Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej osiągnęli w zakresie wykorzystania metody STM. Ponadto Doktorantka miała możliwość realizacji części swoich badań w grupie Prof. Rolanda Wiesendangera, który jest największym autorytetem w zakresie badań o charakterze zbliżonym do tych, jakie są przedmiotem dysertacji.

Należy jeszcze podkreślić dorobek naukowy mgr inż. Marty Przychodniej, na który składa się siedem wieloautorskich prac opublikowanych w czasopiśmie o międzynarodowym zasięgu. Wśród nich jedna, opublikowana w 2022 w Phys. Rev.B, jest bezpośrednio związana

z dysertacją i obejmuje część wyników dotyczących stopu Gd-Pt. W publikacji tej mgr inż. Marta Przychodnia jest pierwszym autorem, co świadczy o jej wiodącej roli w prezentowanych tam badaniach.

Uwzględniając wymienione powyżej osiągnięcia, staranne opracowanie graficzne, zwięzły, ale zawierający wszystkie niezbędne informacje opis stanu wiedzy, metod badawczych i własnych wyników, z pełnym przekonaniem wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Marty Przychodniej do dalszych etapów przewodu doktorskiego, jak również wnioskuję o wyróżnienie pracy doktorskiej.

F. J. Kiecki

