

Prof. dr hab. inż. czł. koresp. PAN Dariusz Kaczorowski
Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych
Polska Akademia Nauk we Wrocławiu

POLITECHNIKA GDAŃSKA
BIURO RADY DYSCYPLINY NAUKOWEJ
INŻYNIERIA MATERIAŁOWA

Wpłynęło dnia 27.01.2026
L.dz. 8/2015
Podpis ut



Ocena rozprawy doktorskiej mgr inż. Hanny Świątek

pt. *Synthesis and investigation of physical properties of selected ternary pnictide compounds*

Przedłożona mi do oceny rozprawa doktorska Pani mgr inż. Hanny Świątek, doktorantki na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej, została opracowana pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Tomasza Klimczuka. Podstawowym zadaniem postawionym przed Doktorantką było opracowanie metod otrzymywania monokryształów związków ATPn ($A = \text{Ca, Ba, Sr, Eu, Yb}$; T – d-elektronowy metal przejściowy; Pn – pierwiastek V grupy układu okresowego) oraz AMg_2Pn_2 , ale też scharakteryzowanie ich podstawowych własności termodynamicznych i transportowych. W uzupełnieniu tego projektu, wobec odkrycia przez zespół prof. Klimczuka nadprzewodnictwa w związku $\text{Mg}_4\text{Pd}_7\text{As}_6$, Doktorantce powierzona zadanie optymalizacji metody syntezy kryształów tego materiału, zbadanie ich własności nadprzewodzących, jak również syntezę innych faz typu $\text{A}_4\text{T}_7\text{Pn}_6$, które mogłyby okazać się nadprzewodnikami.

Rozprawa doktorska mgr inż. Hanny Świątek została napisana w języku angielskim i liczy łącznie 117 stron. Czyta się ją z przyjemnością z uwagi na poprawność językową, jak też jasność wyводу. Pewne drobne uchybienia w tej materii, nie zmieniają mojej wysokiej oceny tego opracowania. Rozprawa cechuje się też ładną szatą graficzną. Rysunki i tabele są w większości przejrzyste i czytelne, z podpisami dobrze opisującymi ich zawartość.

Rozprawę otwierają jednostronicowe streszczenia w języku angielskim i polskim oraz poprawnie skonstruowany, dwustronicowy spis treści. Cel i zakres zrealizowanej pracy doktorskiej przedstawione są w Rozdziale 1 (tylko jedna strona). W mojej opinii są one określone jasno i precyzyjnie, lecz jednak nie znajduję wśród nich poważnych wyzwań o potencjalnie znaczącej wadze naukowej, czy też intrygujących hipotez badawczych, które mogłyby prowadzić do osiągnięć naukowych o prawdziwie ponadprzeciętnej randze.

Kolejny rozdział rozprawy miał za zadanie wprowadzenie czytelnika w tematykę pracy doktorskiej. Rozpoczyna go krótki fragment definiujący tzw. materiały kwantowe, po czym następuje wstęp do fizyki materii topologicznej. Może ze względu na zamierzoną z góry zwięzłość tych tekstów zawierają one nadmierne uproszczenia, a wybór poruszonych w nich zagadnień wydaje się niewystarczająco dobrze przemyślany. W mojej opinii, rozprawa niewiele straciłaby na wartości, gdyby te krótkie fragmenty zostały pominięte, tym bardziej, że w swojej pracy badawczej Doktorantka bezpośrednio nie wykorzystywała warsztatu pojęciowego związanego z tymi zagadnieniami. Inaczej jest w przypadku podrozdziału dotyczącego nadprzewodnictwa, który choć również jest bardzo krótki i ograniczony do podstawowych pojęć, to jednak przedstawiona w nim wiedza znalazła swoje oczywiste zastosowanie w badaniach nadprzewodnika $\text{Mg}_4\text{Pd}_7\text{As}_6$. Kolejna część tego rozdziału to zwięzły przegląd dostępnej literatury dotyczącej faz ATPn, AMg_2Pn_2 oraz $\text{A}_4\text{T}_7\text{Pn}_6$. Uważam, że został on skonstruowany poprawnie, a przekazane w nim informacje stanowią dobre wprowadzenie do badań własnych Doktorantki.

Metodologia badawcza wykorzystana do realizacji pracy doktorskiej mgr inż. Hanny Świątek przedstawiona została w Rozdz. 3. Technika otrzymywania monokryształów z roztworu topnika omówiona została wyczerpująco i fachowo; Doktorantka zademonstrowała tu swoje doświadczenie i umiejętności, jakie zdobyła w tym zakresie. Z kolei opisy metod określania składu chemicznego (spektroskopia rentgenowska z dyspersją energii; EDX) oraz czystości fazowej i struktury krystalicznej (dyfrakcja promieniowania rentgenowskiego na proszkach) badanych materiałów ograniczyły się do podania podstawowych informacji o wykorzystanej aparaturze pomiarowej. Podobnie jest w odniesieniu do technik eksperymentalnych użytych w badaniach własności fizycznych. W przypadku pomiarów przewodnictwa elektrycznego zabrakło mi w przedmiotowym opisie informacji czy wykorzystana została technika zmiennoprądowa lub stałoprądowa, jakie były kształt i wymiary próbek oraz w jaki sposób je przygotowywano. Nie jest dla mnie jasny powód zamieszczenia informacji o pomiarach magnetycznych wykonywanych za pomocą chłodziarki ^3He przez amerykańskiego partnera, skoro w rozprawie nie pokazano żadnego wyniku tych pomiarów.

Opiniując tę bardzo ważną część rozprawy doktorskiej mgr inż. Hanny Świątek chcę pokreślić, że metodologia badawcza została wybrana prawidłowo, tzn. w pełni adekwatnie do zadań przed postawionych przed Doktorantką. Opis technik eksperymentalnych jest jednak nadmiernie skrótowy i dlatego z trudem wypełnia swój podstawowy cel wykazania kompetencji i biegłości Doktorantki w prowadzeniu prac badawczych z ich wykorzystaniem. Powinienem przy tym zaznaczyć, że przyjmuję, iż wszystkie przedstawione w rozprawie syntezы, analizы krystalochemiczne, pomiary własności fizycznych, jak też opracowania uzyskanych wyników zostały osobiście i samodzielnie wykonane przez Panią mgr inż. Hannę Świątek, skoro ani w Rozdz. 3, ani w innym miejscu rozprawy doktorskiej nie znalazłem informacji o innych osobach, które mogłyby pomagać Jej w realizacji pracy doktorskiej.

Rozdziały 4 do 6 zawierają prezentację wyników uzyskanych przez Doktorantkę dla trzech rodzin związków chemicznych, które stanowiły przedmiot Jej prac badawczych. Pierwszy z nich dotyczy faz ATPn. Jest to najbardziej obszerna część rozprawy, w której przedstawione zostały prace technologiczne mające na celu taką modyfikację procedur syntez opisanych w literaturze, aby otrzymywane kryształy były lepszej jakości, możliwie jak największe i posiadały regularne kształty. Wyniki swojej pracy Doktorantka zaprezentowała na dwóch konferencjach naukowych (w tym w formie komunikatu ustnego), a uzyskane kryształy są obecnie wykorzystywane w projekcie badawczym realizowanym wraz z zagranicznym partnerem. Najwięcej uwagi poświęcono sześciu związkom zawierającym srebro: arsenkom $\text{A}(\text{AgAs})$ i bizmutkom $\text{A}(\text{AgBi})$, gdzie $\text{A} = \text{Ca}, \text{Ba}$ albo Sr . W wyniku optymalizacji warunków syntez, głównie modyfikacji proporcji reagentów, Doktorantce udało się otrzymać monokryształy tych materiałów, nadające się do badań ich własności fizycznych. Oprócz związków $\text{A}(\text{AgAs})$ i $\text{A}(\text{AgBi})$, Doktorantka otrzymała również monokryształy antymonków wapnia CaAgSb i CaCuSb oraz bizmutków iterbu YbAgBi i YbCuBi . Usiłowała też otrzymać arsenki YbAgAs i YbCuAs , ale te próby zakończyły się niepowodzeniem. Podjęła również prace mające na celu częściowe zastąpienie pierwiastka A przez atomy La albo Eu , ale i te nie przyniosły sukcesu, poza zaobserwowaniem, iż obecność europu korzystnie wpływa na wzrost kryształów BaAgAs .

W rozprawie pokazano proszkowe dyfraktogramy rentgenowskie i fotografie wszystkich wymienionych wyżej kryształów, ale zabrakło w niej informacji o analizach EDX otrzymanych faz (jedynym wyjątkiem jest BaAgAs). Jestem przekonany, że powiązanie rodzaju i nominalnej proporcji reagentów ze składem chemicznym otrzymanych kryształów byłoby istotnym przyczynkiem do procesu optymalizacji protokołów ich wzrostu. Dziwi mnie też ograniczenie się przy analizach dyfraktogramów do metody LeBaila, skoro Doktorantka posiadała umiejętność posługiwania się metodą Rietvelda (wg Rozdziału 3.2.1). Spodziewam się, że

pomiary EDX i analizy Rietvelda mogłyby przynieść naturalne wyjaśnienie zaobserwowanych niekiedy różnic w wartościach parametrów sieci względem danych literaturowych (myślę tu o różnicach w rzeczywistej stechiometrii kryształów). Drobną usterką edytorską jest niezgodność ostatniego zdania na str. 28 z tym co przedstawia Rys. 4.1 (składu 1:1.2:10 chyba nie można nazwać „middle composition”?).

W Rozdziale 4.2 przedstawione zostały wyniki badań własności fizycznych otrzymanych kryształów. W odróżnieniu od poprzedzającego go fragmentu rozprawy, ten wydaje mi się mocno niedopracowany. Nie jest dla mnie jasne, dlaczego Doktorantka przedstawiła zależności temperaturowe oporności elektrycznej tylko związków AAgBi z $A = \text{Ca}, \text{Sr}$ i Yb , a inne otrzymane materiały pominęła, tym bardziej, że przecież na Rys. 4.15 pokazała wyniki pomiarów magnetooporu kryształów CaTSb i YbTbBi , gdzie $T = \text{Cu}$ i Ag , a zatem pomiary transportowe tych kryształów zostały wykonane. Z kolei ciepło właściwe zmierzyła tylko dla pięciu faz AAgPn, pomijając BaAgAs i cztery inne otrzymane przez siebie materiały. Jakże były ku temu powody? Pomiary magnetyczne zostały przeprowadzone jedynie dla dwóch związków iterbu, ale w tym przypadku jest dla mnie jasne, że celem Doktorantki było wykazanie, iż jony iterbu są w tych związkach dwuwartościowe. Rzeczywiście, podatność magnetyczna YbAgBi i YbCuBi , przedstawiona na Rys. 4.18, jest zdominowana przez obecność magnetycznych zanieczyszczeń w zbadanych monokryształach.

Lektura opisów wyników eksperymentalnych uzyskanych przez Doktorantkę na kryształach ATPn nasuwa szereg pytań, na które w rozprawie nie znajduję odpowiedzi. Zastanawia mnie dlaczego zmierzony opór resztkowy jest tak duży, a tym samym parametr RRR ma niewielkie wartości? Jaka była konfiguracja pola magnetycznego względem prądu elektrycznego w pomiarach magnetooporu? – jest to istotne wobec zawartej na str. 44 sugestii, że gwałtowny wzrost MR w niewielkich polach magnetycznych zaobserwowany dla YbAgBi może pochodzić od efektu słabej antylokalizacji. Dlaczego współczynnik Sommerfelda w cieple właściwym faz ATPn jest pomijalnie mały, skoro są to metale? Dlaczego ciepło właściwe arsenków ATAs nie osiąga w pobliżu temperatury pokojowej wartości przewidzianej przez empiryczne prawo Dulonga-Petita? Jaki mechanizm fizyczny sprawia, że ciepło właściwe faz ATPn nie zachowuje się w niskich temperaturach zgodnie z teorią Debye'a i do jego opisu numerycznego należy włączyć człon temperaturowy wyższego rzędu? Dlaczego wartość temperatury Debye'a może być tak różna (od 173 K do 278 K zgodnie Tabelą 4.1) dla pokrewnych związków ATPn, a jej zmienność, jak zauważyła Doktorantka, nie wykazuje jasnego trendu? – jakie znaczenie ma tu fakt, że fazy te krystalizują w trzech odmiennych strukturach krystalicznych? Zdaję sobie sprawę, że odpowiedzi na niektóre z tych pytań nie są może oczywiste na obecnym etapie badań. Tym niemniej, w takim opracowaniu jak rozprawa doktorska ich postawienie i próba dyskusji wydaje się jak najbardziej zasadne i potrzebne, a tego niestety zabrakło mi w opracowaniu przygotowanym przez mgr inż. Hannę Świątek.

Rolą recenzenta jest też wskazanie technicznych usterek w tekście rozprawy. W omawianym rozdziale napotkałem na: błąd w jednostce oporności właściwej na str. 42 (pierwszy akapit), niezgodność podpisu pod Rys. 4.14 z jego zawartością (brak wyników uzyskanych dla YbCuBi), brak określenia kierunku prądu elektrycznego na Rys. 4.14 oraz Rys. 4.15 (lub towarzyszących im tekstach), jak też brak określenia kierunku zewnętrznego pola magnetycznego na Rys. 4.15 oraz Rys. 4.18 (lub towarzyszących im tekstach).

Rozdział 5 opisuje prace Doktorantki mające na celu syntezę monokryształów związków AMg_2Pn_2 , gdzie $A = \text{Sr}$ albo Ba , natomiast $\text{Pn} = \text{Sb}$ albo Bi . Punktem wyjścia był literaturowy przepis dotyczący fazy BaMg_2Bi_2 , jednak w przypadku SrMg_2Bi_2 oraz obu antymonków pewna modyfikacja proporcji reagentów okazała się skutkować otrzymywaniem kryształów o większych rozmiarach i bardziej regularnych kształtach. Należy podkreślić, że w przypadku

związków SrMg_2Sb_2 oraz BaMg_2Sb_2 nie było dotąd doniesień literaturowych dotyczących syntez kryształów o wielkości umożliwiających pomiary ich własności fizycznych, a zatem osiągnięcie Doktorantki w tym zakresie jest szczególnie wartościowe.

Wykorzystując technikę dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego na proszkach i metodę LeBaila analizy danych dyfrakcyjnych potwierdzona została grupa przestrzenna, w której krystalizują wszystkie 4 związki oraz wyznaczono parametry sieci bliskie danym literaturowym. Dyfraktogramy pokazane na Rys. 5.5 są niezłej jakości i może nieco dziwić, dlaczego Doktorantka nie pokusiła się o ich bardziej zaawansowaną analizę z wykorzystaniem metody Rietvela (z uwzględnieniem drugiej fazy, jaką każdorazowo stanowiły resztki topnika). Badania EDX kryształów bizmutków wykazały istotne odstępstwo od stechiometrii 1:2:2, natomiast wynik uzyskany dla SrMg_2Sb_2 wskazał na skład bliski idealnemu. Szkoda, że w rozprawie zilustrowano tylko wyniki dotyczące BaMg_2Bi_2 ; nie ma w niej też żadnej informacji o analizie EDX kryształów BaMg_2Sb_2 .

Pomimo tego, że związki AMg_2Pn_2 są relatywnie stabilne na powietrzu (wg. literatury, ale również własnych obserwacji Doktorantki), próbki przygotowane do pomiarów oporności elektrycznej okazały się ulegać szybkiej dezintegracji, uniemożliwiając przeprowadzenie eksperymentów. Wydaje się to zaskakujące, ponieważ chociażby w cytowanej pracy Ref. 59 pomiary transportowe zostały wykonane na monokryształach BaMg_2Bi_2 , a prezentowane tam wyniki są znakomitej jakości. Szkoda, że w rozprawie nie znalazła się próba wytłumaczenia problemu, na który Doktorantka napotkała. Czy mógł on wynikać z innego składu chemicznego (czyt. stechiometrii) badanych kryształów? Wobec niemożności wykonania pomiarów transportowych, jedyne własności fizyczne faz AMg_2Pn_2 zbadane w pracy doktorskiej to zależności temperaturowe ciepła właściwego. Rys. 5.7 pokazuje, iż w wysokich temperaturach $C(T)$ nie osiąga wartości przewidywanej przez formułę Dulonga-Petita, ale nie znajduję w rozprawie próby wyjaśnienia tej obserwacji. Z kolei, dla każdej z czterech faz AMg_2Pn_2 niskotemperaturowa zależność $C(T)$ różni się od przewidywanej w ramach standardowego modelu Debye'a, co w rozprawie również pozostało bez próby komentarza. Jaki mechanizm fizyczny sprawia, że poprawny opis $C(T)$ w najniższych temperaturach wymaga włączenia dodatkowego członu T^5 ?

Jako materiał uzupełniający do Rozdziału 5 zamieszczony został w rozprawie manuskrypt publikacji zgłoszonej do Physical Review B (nb. przyjętej do druku w pierwszych dniach stycznia), której współautorką jest Doktorantka, a która przedstawia wyniki badań związku BaMg_2Bi_2 techniką wysokorozdzielczej kątowej spektroskopii fotoemisyjnej (ang. ARPES). Choć wkład mgr inż. Hanny Świątek do tego artykułu jest wskazany jako równy wkładom dwóch innych współautorów można domniemywać, że jest to wyraz uznania, iż otrzymanie dobrej jakości monokryształów było warunkiem koniecznym dla przeprowadzenia pomiarów spektroskopowych, ale chyba nie odzwierciedla zaangażowania Doktorantki w eksperymenty i analizy danych ARPES, skoro te ciekawe wyniki przedstawiono jedynie w formie suplementu do rozprawy doktorskiej.

W mojej opinii, najciekawszą częścią rozprawy doktorskiej mgr inż. Hanny Świątek jest Rozdział 6 poświęcony nadprzewodnikowi $\text{Mg}_4\text{Pd}_7\text{As}_6$ oraz syntezom izostrukuralnych faz $\text{A}_4\text{T}_7\text{Pn}_6$. Jak zaprezentowano to w rozprawie, kryształy $\text{Mg}_4\text{Pd}_7\text{As}_6$ zostały początkowo otrzymane nieintencjonalnie, a odkrycie w nich nadprzewodnictwa dało impuls do optymalizacji metod ich syntezy, przy przyjęciu jako punkt wyjścia protokołów opisanych w literaturze. Ostatecznie udało się Doktorantce uzyskać monokryształy o dobrej jakości, o czym świadczą wyniki udokładnienia struktury krystalicznej z danych rentgenowskich. W tym kontekście, z obowiązku recenzenta, zwracam uwagę, że wartość parametru sieci podana na str. 62 różni się nieco od wartości zamieszczonej w Tabeli 6.1. Można przypuszczać, że skład chemiczny

kryształów zbadano techniką EDX, jednak w rozprawie o tym nie wspomniano. Nie znalazłem w niej też informacji o wielkości otrzymanych kryształów.

Najbardziej obszerną część Rozdziału 6 stanowi ciekawa prezentacja własności termodynamicznych (magnetyzacja, podatność magnetyczna, pojemność cieplna) oraz własności transportowych (opór elektryczny) związku $Mg_4Pd_7As_6$ z uwypukleniem charakterystyk stanu nadprzewodzącego. Zakładam, że badania przeprowadzono na monokryształach, choć nie dostrzegłem jasnego stwierdzenia tego faktu w rozprawie, a w dwóch miejscach (str. 65 i str. 69) dane pomiarowe zostały zinterpretowane w odniesieniu do typowych zachowań próbek polikrystalicznych (wielkość diamagnetyzmu w reżimie FC i wartość RRR). Jeśli rzeczywiście mierzono monokryształy, to wskazać muszę na brak informacji o kierunku pola magnetycznego na Rys. 6.2 do Rys. 6.8 oraz na Rys. 6.10(b), jak też kierunku prądu elektrycznego na Rys. 6.6 i Rys. 6.7. Informacji takiej nie ma również w opisujących te rysunki tekstach. Ważnym parametrem, który nie został podany w rozprawie jest też wartość prądu użytego w pomiarach oporności elektrycznej. Istotnym uchybieniem edytorskim jest użycie jednostki CGS przy wartościach natężenia pola magnetycznego na Rys. 6.2 do Rys. 6.5 oraz towarzyszących im tekstach, w sytuacji, gdy we wszystkich innych miejscach rozprawy doktorskiej przyjęto stosowanie jednostek SI. Z mniej poważnych usterek „technicznych” wskazać można niekompletne podpisy pod rysunkami (np. brak wyjaśnienia co przedstawiają linie ciągłe i linie przerywane), czy też nazwanie dolnym polem krytycznym punktu oznaczonego jako trójkąt na Rys. 6.5. Zwróciła też moją uwagę różnica w wartościach elektronowego współczynnika ciepła właściwego podanych na str. 74 i na Rys. 6.10(b). Muszę przyznać, że napotkałem na problem w powiązaniu treści przedstawionych na Rys. 6.6 z podpisem: „(...) the estimated upper critical field marked by the intersection of the curve with a horizontal line at half-height”. Patrząc na Rys. 6.8 może nasunąć się wątpliwość co do poprawności dopasowania funkcji Ginzburga-Landaua do danych eksperymentalnych ograniczonych do temperatur $T > 1.9$ K. Jeśli na etapie realizacji pracy doktorskiej Doktorantka nie miała możliwości rozszerzenia badań własności fizycznych $Mg_4Pd_7As_6$ do niższych temperatur (choć w Rozdz. 3.2.2 wspomniane są pomiary w obszarze 3He), to w mojej opinii wciąż warto wykonać takie eksperymenty w przyszłości.

Uważam, że badania nadprzewodnictwa w $Mg_4Pd_7As_6$ stanowią najmocniejszą część pracy doktorskiej mgr inż. Hanny Świątek. W tym kontekście nie mogę jednak nie zauważyć, że wyniki przedstawione w rozprawie zostały opublikowane w czasopiśmie *Advanced Electronic Materials* przez grono pięciu współautorów, a zatem niezbędne byłoby zamieszczenie jednoznacznego oświadczenia, że wyniki zamieszczone w rozprawie są dziełem Doktorantki, bądź też zostały otrzymane przy współudziale innych współautorów przedmiotowej publikacji, a jeśli tak, to na czym polegała udzielona Jej pomoc.

Odkrycie nadprzewodnictwa w $Mg_4Pd_7As_6$ zmotywowało Doktorantkę do prób syntez innych związków $A_4T_7Pn_6$. Były to arsenki $Mg_4T_7As_6$ z $T = Rh, Ir$, albo Pt , fosforki $Mg_4T_7P_6$ z $T = Rh$ albo Rh , antymonki $RE_4Ir_7Sb_6$ z $RE = Sc, R$ albo Lu , a nawet germanki $T_4Ir_7Ge_6$ gdzie T był metalem z IV grupy układu okresowego. Próby otrzymania kryształów tych związków okazały się nieskuteczne, z wyjątkiem $Mg_4Ir_7As_6$ i prawdopodobnie $Mg_4Rh_7As_6$. Szkoda, że w rozprawie przedstawiono jedynie dyfraktogram rentgenowski uzyskany dla $Mg_4Ir_7As_6$, a zupełnie pominięto jakiegokolwiek wyniki analiz EDX, które prawdopodobnie zostały wykonane dla tych i innych faz $A_4T_7Pn_6$. Niektóre materiały zostały przetestowane pod kątem wystąpienia nadprzewodnictwa w niskich temperaturach, jednak rezultat był każdorazowo negatywny. Tym niemniej, w mojej opinii, wyniki przeprowadzonych pomiarów magnetycznych warto było zaprezentować w rozprawie w formie graficznej.

Rozdział 7 stanowi podsumowanie wyników naukowych uzyskanych przez mgr inż. Hannę Świątek w ramach Jej pracy doktorskiej. Ten niespełna półtorastronicowy fragment rozprawy ogranicza się do wymienienia związków chemicznych, które Doktorantka otrzymała w postaci monokryształów i bardzo pobieżnej wzmianki o wykonanych pomiarach własności fizycznych. Wyjątkiem jest związek $Mg_4Pd_7As_6$, którego charakterystyki nadprzewodnikowe są tu ponownie przytoczone z należytą starannością. Lektura tego krótkiego rozdziału pozostawia we mnie niedosyt. Nie dopatrzyłem się w nim ogólniejszych wniosków z przeprowadzonych prac eksperymentalnych, czy też zdefiniowania dalszych kierunków badań, które mogłyby zostać wytyczone na podstawie otrzymanych wyników.

Rozprawę doktorską zamyka lista 88 pozycji literaturowych zacytowanych na jej stronach oraz wykazy 49 ilustracji i 8 tabel w niej zamieszczonych. Warto tu zauważyć poprawność sposobu prezentacji danych bibliograficznych i włączenie do nich sygnatur DOI oraz adresów URL cytowanych publikacji.

Podsumowując swoją ocenę rozprawy doktorskiej mgr inż. Hanny Świątek chcę podkreślić, iż w mojej opinii Doktorantka zdobyła przy jej realizacji cenne kompetencje w zakresie metody wzrostu monokryształów z fazy ciekłej z wykorzystaniem topnika. Nabyła również umiejętności prowadzenia niskotemperaturowych badań podstawowych własności fizycznych, takich jak namagnesowanie, pojemność cieplna i opór elektryczny, z wykorzystaniem komercyjnych stanowisk pomiarowych. Odkrycie nadprzewodnictwa w związku $Mg_4Pd_7As_6$ już znalazło trwałe miejsce w literaturze przedmiotu i z pewnością stanowić będzie ważny punkt odniesienia w dalszych badaniach tego materiału i związków pokrewnych. Niewątpliwym osiągnięciem Doktorantki było otrzymanie monokryształów szeregu pniktydków ATPn oraz AMg_2Pn_2 , których jakość krystalochemiczna i wielkość umożliwiają wykonanie bardziej zaawansowanych badań eksperymentalnych, w tym spektroskopowych. Można oczekiwać, że w niedalekiej przyszłości zaowocuje to kilkoma publikacjami w uznanych czasopismach naukowych, przygotowanymi we współpracy z zagranicznymi i krajowymi partnerami.

Choć w rozprawie doktorskiej mgr inż. Hanny Świątek zabrakło mi wyników o charakterze przełomowym (może z wyjątkiem nadprzewodnictwa w $Mg_4Pd_7As_6$) lub o znaczeniu ogólniejszym, tj. wykraczającym poza bezpośredni obszar prac zrealizowanych przez Doktorantkę, a które mogłyby stanowić silną inspirację dla podejmowania kolejnych działań w przedmiotowej tematyce, to przedłożone mi opracowanie oceniam pozytywnie.

Opinia końcowa

Stwierdzam, iż przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska autorstwa Pani mgr inż. Hanny Świątek wykazuje umiejętności Doktorantki prowadzenia pracy badawczej i świadczy o Jej należytych kompetencjach merytorycznych w przedmiotowym zakresie badań. Tym samym spełnione są wymagania stawiane osobom ubiegającym się o nadanie stopnia doktora w naszym Kraju, określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.).

Na tej podstawie, **wnoszę do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Materiałowa Politechniki Gdańskiej o dopuszczenie Pani mgr inż. Hanny Świątek do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania Jej stopnia naukowego doktora, w tym do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.**

Wrocław, 16 stycznia 2026 r.

