

POLITECHNIKA GDAŃSKA
BIURO RADY DYSCYPLINY NAUKOWEJ
INŻYNIERIA MATERIAŁOWA

Wpłynęła data 31.12.2025Warszawa, 22/12/2025
L.dz. 66/2025
Podpis MF

Prof. dr hab. Andrzej Wiśniewski

Instytut Fizyki PAN

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Hanny Świątek zatytułowanej „Synteza i badania właściwości fizycznych wybranych trójskładnikowych pniktydków” (ang. Synthesis and investigation of physical properties of selected ternary pnictide compounds)

Recenzowana rozprawa została przygotowana na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej (PG), w Zakładzie Silnie Skorelowanych Układów Elektronowych, promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Tomasz Klimczuk. Rozprawa jest procedowana przez Radę Dyscypliny Naukowej Inżynierii Materiałowej. Praca, napisana w języku angielskim, w zasadzie ma tradycyjną formę: składa się z siedmiu rozdziałów. Jako materiał dodatkowy do rozdziału 5. rozprawy dołączony jest artykuł zatytułowany: „Uncovering surface states of the Dirac semimetal BaMg_2Bi_2 ” wysłany do redakcji Physical Review B. Artykuł został również zamieszczony 5 grudnia 2025 na portalu arXiv ([arXiv:2512.05886v1](https://arxiv.org/abs/2512.05886v1)). Jest to artykuł wieloautorowski (11 współautorów), który powstał we współpracy międzynarodowej siedmiu instytucji. Mgr Świątek jest trzecia na liście autorów, zaznaczone jest, iż trzech pierwszych autorów wniosło równy wkład do powstania pracy. Jest również podanych trzech autorów korespondujących, ze strony polskiej tę rolę pełni prof. Klimczuk.

Zgodnie z zaleceniami Rady Doskonałości Naukowej recenzja rozprawy doktorskiej powinna zawierać następujące elementy:

- 1) ocenę wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora w określonej dyscyplinie;
- 2) ocenę wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora;
- 3) ocenę wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

I. W swojej recenzji odniosę się najpierw do zagadnienia, czy rozprawa doktorska mgr. Świątek stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Przedmiotem rozprawy jest synteza i zbadanie fizycznych właściwości monokryształów trójskładnikowych pniktydków. Mgr Świątek wyhodowała i scharakteryzowała 10 (!) monokryształów trójskładnikowych z rodziny ATPn (A – dwuwartościowy metal ziem alkalicznych (Ca, Ba, Sr) lub ziem rzadkich (Yb), T – metal przejściowy z 11 grupy układu okresowego (Ag, Cu), Pn – tzw. pniktogen (Bi, As, Sb). To związki z grupy materiałów topologicznych, półmetale, interesujące ze względu na ich unikalne właściwości elektronowe, takie jak występowanie punktów Diraca i możliwość przekształcania ich, poprzez domieszkowanie, w półmetale Weyla. Drugą grupę wyhodowanych monokryształów

stanowiły związki z rodziny AMg_2Pn_2 , gdzie $A = \text{Sr}$ lub Ba , $Pn = \text{Sb}$ lub Bi . Należy podkreślić, iż po raz pierwszy otrzymano objętościowe monokryształy z antymonem. Materiały te są znane z dobrych właściwości termoelektrycznych, co czyni je obiecującymi materiałami do konwersji ciepła na energię elektryczną i odwrotnie. Jednocześnie stwierdzono, że związki te wykazują ciekawe właściwości topologiczne. Z tej grupy materiałów najbardziej szczegółowo zbadano monokryształ BaMg_2Bi_2 , jest to tzw. półmetal Diraca. Określono jego niskoenergetyczną strukturę elektronową wykorzystując doświadczalną metodę kątowno-rozdzielczej spektroskopii fotoelektronów (ARPES) oraz teoretyczne obliczenia metodą funkcjonału gęstości (DFT). Wyniki przedstawiono, we wspomnianej już publikacji, wysłanej do Physical Review B.

Przeprowadzono również syntezę i (najbardziej) kompleksowo zbadano właściwości nowego nadprzewodnika $\text{Mg}_4\text{Pd}_7\text{As}_6$. Pokazano, że jest to nadprzewodnik II rodzaju o temperaturze krytycznej $T_c = 5,5 \text{ K}$. Podjęto także syntezę innych związków o takiej stechiometrii (m. in. $\text{Mg}_4\text{Ir}_7\text{As}_6$, $\text{Mg}_4\text{Rh}_7\text{As}_6$, $\text{Mg}_4\text{Pt}_7\text{As}_6$, $\text{Mg}_4\text{Rh}_7\text{P}_6$, $\text{Mg}_4\text{Pd}_7\text{P}_6$, $\text{RE}_4\text{Ir}_7\text{Sb}_6$, $\text{Tl}_4\text{Ir}_7\text{Ge}_6$) i sprawdzono czy też są nadprzewodnikami. Stwierdzono, że powyżej najniższej temperatury, w której prowadzono pomiary – $1,9 \text{ K}$ – żaden z otrzymanych związków nie wykazuje nadprzewodnictwa.

Na pewno można uznać, że przedmiotem badań jest zdecydowanie interesująca, nie w pełni jeszcze przebadana grupa materiałów, o właściwościach intrygujących, zarówno z punktu widzenia badań podstawowych, jak i możliwych zastosowań. Wyhodowano i scharakteryzowano dużą liczbę różnych monokryształów, niektóre po raz pierwszy, co stwarza możliwość ich dalszych szczegółowych badań. Mogę stwierdzić, że **rozprawa doktorska mgr. Świątek stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**. Do kwestii tej odniosę się też bardziej szczegółowo w dalszej treści recenzji.

Uwagi związane z tym aspektem recenzji

Jedną z bardzo istotnych motywacji do wytwarzania i badania monokryształów różnych związków jest to, że możliwe jest określenie na ile anizotropowe są ich różne właściwości fizyczne. Jest to aspekt istotny zarówno z punktu widzenia badań podstawowych, jak i potencjalnych zastosowań. W ramach rozprawy najpełniej został przebadany nowy nadprzewodnik $\text{Mg}_4\text{Pd}_7\text{As}_6$. Ma on strukturę kubiczną więc i właściwości izotropowe. Natomiast w przypadku pozostałych związków, ze względu na warstwową budowę, należy się spodziewać silnej elektronowej i strukturalnej anizotropii. Zdaję sobie sprawę, że określenie anizotropii właściwości nawet kilku wybranych materiałów omawianych w tej dysertacji to temat na oddzielną rozprawę doktorską. Brakuje mi jednak, w wersji minimum, odniesienia się do kwestii anizotropii, w wersji maksimum, przeprowadzenia badań jednego z wybranych związków (nawet kosztem wyhodowania mniejszej liczby monokryształów z danej rodziny) pod kątem anizotropii wybranych właściwości np. transportowych. Byłaby to cenna informacja dla dalszych badań tych związków.

II. Czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora?

Również na to pytanie mogę udzielić pozytywnej odpowiedzi. We wstępnych dwóch rozdziałach zostały krótko, lecz w stopniu wystarczającym, przedstawione podstawowe informacje na temat materiałów topologicznych i nadprzewodnictwa oraz przegląd literaturowy wyników wcześniej prowadzonych badań. Mgr Świątek dobrze zreferowała kluczowe dla rozprawy zagadnienia teoretyczne. Wykazała dobrą znajomość wcześniejszych badań i literatury. Została również dokładnie opisana metoda wytwarzania monokryształów oraz techniki pomiarowe wykorzystane do określenia ich struktury krystalograficznej i składu chemicznego oraz metody użyte do badania ich właściwości fizycznych.

Uwagi związane z tym aspektem recenzji

Omawiając pojęcie termodynamicznego pola krytycznego, H_c , Autorka pisze (na str. 10): „... where H_c is the thermodynamic critical field, which can be understood as an approximate critical field of a given superconductor, if it were of a type-I instead.” Można było precyzyjnie zdefiniować ten parametr: w zerowym polu magnetycznym gęstość energii stanu nadprzewodzącego jest mniejsza od gęstości energii stanu normalnego o energię kondensacji, która jest równa $-1/2\mu_0 H_c^2(T)$.

Na stronie 8 wspomniane jest pojęcie krytycznej gęstości prądu j_c , moim zdaniem warto było dopisać 2-3 zdania wyjaśniające dlaczego jest to parametr krytyczny, co się dzieje gdy $j > j_c$.

III. Ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora

Na to pytanie, także udzielam pozytywnej odpowiedzi. W tej części recenzji wskażę kwestię, którą chciałbym przedyskutować z mgr Świątek w czasie publicznej obrony. Wspomnę również o drobnych usterkach pracy. Doktorantka wykazała bardzo dobre opanowanie procesów technologicznych, potrafiła zoptymalizować te procesy, co zaowocowało wysoką jakością otrzymywanych monokryształów. Wykazała dobrą znajomość ważnych metod doświadczalnych (pomiaru transportowe, magnetyczne, pomiaru ciepła właściwego). Poprawnie zanalizowała otrzymane wyniki – szczególnie w przypadku badań nadprzewodnika $Mg_4Pd_7As_6$. Należy podkreślić, że analizując wyniki pomiarów magnetycznych wyznaczyła wartość czynnika odmagnesowania i uwzględniła ten parametr analizując wyniki.

Uwagi związana z tym aspektem recenzji: w trakcie obrony chciałbym przedyskutować następującą kwestię.

Na przykład dla monokryształów $CaAgBi$, $SrAgBi$, $YbAgBi$ pokazano na Rys. 4.14 wyniki pomiarów oporu, nie określając jednak, czy prąd płynie np. w płaszczyźnie $a-b$. Podobna uwaga dotyczy pomiarów magnetooporu, Rys. 4.15, jaka była orientacja pola magnetycznego?

Na Rys. 6.2 pokazane są zależności temperaturowe podatności mierzonej w trybie ZFC i FC, krzywe te różnią się bardzo, zabrakło mi komentarza dlaczego tak jest – poproszę o komentarz w czasie obrony.

Badając ten nowy nadprzewodnik wartość drugiego pola krytycznego, 2.09 T, wyznaczono na podstawie pomiarów oporu. Czy przeprowadzono też pomiary pętli histerezy magnetycznej, $M(H)$, które pozwoliłyby na bardziej bezpośrednie wyznaczenie tej wielkości?

Tabela 6.2: należało oszacować i podać błędy wyznaczonych parametrów charakteryzujących stan nadprzewodzący.

Drobniejsze uwagi:

- drobna uwaga „purystyczna”: na stronie 8, pod wzorem (2.2), jest zdanie: the field is reduced by a factor of e ”, ponieważ 4 wiersze dalej przez e oznaczany jest ładunek elektronu, warto było zaznaczyć, że w tym przypadku „ e ” to podstawa logarytmu naturalnego (liczba Eulera).
- w podpisie do Rys. 4.14 wymieniony jest monokryształ YbCuBi, dla którego wyniki nie są pokazane.
- na Rys. 4.18 zły wybór symboli i kolorów – trudno jest ustalić, która krzywa odpowiada któremu związkowi,
- w niektórych pozycjach literatury, należałoby ujednolicić styl cytowania lub uzupełnić dane, np. [38], [43], [48], [52], [60], [77], [80], [84]

W podsumowaniu, za najważniejsze wyniki przedstawione w rozprawie, uznaję:

- zoptymalizowanie procesu wzrostu monokryształów szeregu związków, w szczególności otrzymanie po raz pierwszy monokryształów BaMg_2Sb_2 i SrMg_2Sb_2 ,
- otrzymanie wysokiej jakości monokryształu BaMg_2Bi_2 , co pozwoliło na przeprowadzenie pomiarów ARPES wyjaśniające/udokładniające strukturę elektronową tego związku,
- otrzymanie i kompleksowe zbadanie właściwości nowego nadprzewodnika $\text{Mg}_4\text{Pd}_7\text{As}_6$.

Wniosek końcowy: stwierdzam, że zgodnie z wymaganiami przepisów ustawy z dnia 20 lipca 2018 r., Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce oraz zaleceniami Rady Doskonałości Naukowej, oceniam pozytywnie wszystkie aspekty pracy doktorskiej mgr inż. Hanny Świątek, które podlegają ocenie recenzenta. Wnioskuje o dopuszczenie mgr inż. Hanny Świątek do publicznej obrony pracy doktorskiej.

