

dr hab. Marcin Napiatek, prof. Politechniki Częstochowskiej  
Politechnika Częstochowska  
Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów  
Instytut Fizyki

## **Recenzja**

### **rozprawy doktorskiej Pana mgra Wojciech Gurdziel pt. "Krystalizacja kierunkowa i realna struktura monokryształów roztworów stałych $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_x\text{Si}_2$ ".**

(podstawa opracowania: pismo Dziekan Wydziału Informatyki i Nauki o Materiałach z dnia 21 września 2018 r.)

#### **Wybór tematu pracy na tle stanu badań**

Pan mgr Wojciech Gurdziel przygotował pracę doktorską dotyczącą bardzo interesującego tematu, związanego z nowoczesnymi materiałami jakimi są monokryształy. We wstępie Autor napisał, że poznanie postaci monokrystalicznej materiału daje możliwość oceny jego przydatności technologicznej oraz wyznaczenie jego granic stosowalności. Jeśli chodzi o to stwierdzenie to jest mocno przesadzone ale trudno stwierdzić, że nie jest zasadne. Historia wytwarzania materiałów monokrystalicznych nie jest długa. W zasadzie zaczęła się od opracowania przez wybitnego polskiego wynalazcę, chemika oraz metaloznawcę J. Czochralskiego metody ich otrzymywania przy zachowaniu kontrolowanej krystalizacji. Metoda to polega na powolnym, stopniowym wyciąganiu z roztopionego materiału zarodka krystalicznego w sposób zapewniający kontrolowaną i stabilną krystalizację na jego powierzchni. Nie mniejsze zasługi na polu wytwarzania monokryształów ma inny uczoney W. Bridgman, który zaproponował metodę polegającą na stopniowym schładzaniu wcześniej stopionej masy krystalizowanego materiału. W metodzie tej kryształy formują się na dnie tygla i rosną aż do całkowitego wyczerpania się masy stopionego substratu. Przez ostatnie 100 lat powstały inne metody otrzymywania monokryształów, jednak były one na tyle niedoskonałe, że

przemysł uzyskiwania monokryształów stale opiera się na technice Czochralskiego oraz Bridgmana. W Polsce otrzymywaniem monokryształów przy zastosowaniu metody Bridgmana zajmował się między innymi promotor doktoranta prof. Z. Wokulski.

Zastosowanie dikrzemków zależy głównie od ich składu chemicznego. Prezentowane materiały w recenzowanej dysertacji mieszczą się w zakresie grupy pierwszej, czyli metalicznej. Wykorzystanie ich przy różnego rodzaju układach logicznych jest bardzo szerokie i daje ogromne możliwości. Miniaturyzacja jest wszechobecna, a materiał badawczy wykorzystany przez doktoranta w jego pracy doktorskiej spełnia wymogi stawiane nowoczesnym zmminiaturyzowanym układom logicznym. Można się w tym miejscu zastanawiać czy krzem nie zostanie wyparty przez dwuwymiarowe układy węglowe. Jednak obecnie to tylko przypuszczenia i dalej cała elektronika opiera się na krzemie. Oczywistym jest fakt, że dla takich materiałów istotny jest współczynnik niedopasowania, który jest związany ze spójnością na granicy podłoża i naniesionej warstwy. Współczynnik ten może służyć do określenia stabilności mechanicznej uzyskanych układów i decydować o ich stabilności oraz zdolności aplikacyjnej. Poza zastosowaniem w elektronice krzemki i dikrzemki są szeroko używane jako składowe kompozytów, warstwy antykorozyjne, czy pasywujące. Niestety często ich możliwość zastosowania przegrywa z ceną produkcji.

Podsumowując stwierdzam, że wybrana tematyka mieści się w nurcie światowych badań dotyczących monokryształów. Dodatkowo zamieszczone w niej rozważania mogą być przydatne dla innych naukowców zajmujących się tą tematyką oraz dla przedstawicieli sektora przemysłowego.

Przedłożona do zrecenzowania rozprawa doktorska składa się aż z 20 rozdziałów i liczy 133 strony. Numeracja rozdziałów jest zbyt rozbudowana. Zawiera: 46 rysunków/zdjęć oraz 14 tabel.

## Spis literaturowy przedmiotu

Pan mgr Wojciech Gurdziel w spisie literatury nazwanym bibliografią zamieścił **122 pozycje**. Doktorant cytował **5 prac**, w których jest współautorem. Brak cytowań prac monoautorskich. Trudno jest jednak wymagać samodzielności naukowej od doktoranta i brak takich prac naukowych nie stanowi tutaj żadnego uchybienia. Rekompensatę tego może stanowić fakt, że **4** ze wspomnianych **5** publikacji zostało opublikowanych w renomowanych czasopismach naukowych umieszczonych w bazie SCOPUS (**3** – Solid State Phenomena oraz **1** – Archives of Metallurgy and Materials). Zamieszczone prace są związane z tematyką rozprawy doktorskiej.

Tematyka pracy doktorskiej jest jak najbardziej aktualna i związana z głównymi nurtami badań światowych. Praca napisana jest poprawnie i może stanowić bogate źródło informacji dla innych naukowców zajmujących się tą tematyką.

## Cele i tezy pracy

Cel pracy doktorskiej spisany został w kilku podpunktach, co w moim odczuciu wprowadza pewien dyskomfort dla czytelnika. Autor jako jeden z głównych celów (p. 1 i 2) postawił sobie wytworzenie monokryształów roztworów stałych  $\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x\text{Si}_2$  dla  $x = 0,10; 0,25$  i  $0,50$  przy wykorzystaniu metody Czochralskiego oraz Bringmana. Dodatkowo jako cele wymienił scharakteryzowanie realnej struktury wytworzonych próbek przy wykorzystaniu mikroskopii świetlnej oraz skaningowej mikroskopii elektronowej (p. 3) i określenie ich składu fazowego (p. 4). Ostatnim celem spisanym na str. 42 dysertacji jest wyznaczenie temperaturowych zależności oporności właściwej  $\rho(T)$ , ciepła właściwego  $C_p/R(T)$ , termosiły  $S(T)$  dla monokryształów roztworów stałych  $\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x\text{Si}_2$  i porównanie ich ze względu na zastosowaną technikę otrzymywania. Oczywiście każdy cel ma charakter poznawczy ale moją uwagę przykuły cele 1, 2 i 5. Uważam, że wystarczającym byłoby podanie jednego celu głównego (p. 1 i 2) i tzw. pomocniczych. Połączyłbym cele 2 – 4 w jeden podpunkt, jako cel 2 i wyodrębnił cel dodatkowy p. 5 jako 3.

Teza pracy określona jest dobrze i precyzyjnie. Przypuszczam, że na ustalenie tezy pracy wpłynęły wieloletnie badania jakie przeprowadził Pan mgr Wojciech Gurdziel.

### **Ocena przeprowadzonych badań**

Doktorant przedstawił w swojej pracy doktorskiej wyniki badań uzyskane przy użyciu nowoczesnych metod badawczych: skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) i dyfrakcji promieni Rentgena (XRD) oraz spektrometrii dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego EDS. Dodatkowo w pracy zawarte są bardzo interesujące wyniki badań oporności właściwej, pomiaru termosiły oraz ciepła właściwego, do których nie wnoszę żadnych uwag. Uważam, że praca zaplanowana jest prawidłowo i można w niej wyróżnić dwie części o aspekcie poznawczym: część eksperymentalną oraz badawczą. Umieszczenie na końcu każdego z podrozdziałów badawczych krótkiego podsumowania jest dobrym elementem recenzowanej pracy. Jako duży sukces uważam już samo wytworzenie materiału badawczego.

### **Uwagi dotyczące edycji pracy**

Recenzowana rozprawa doktorska przygotowana jest dobrze. Układ pracy jest typowy. Przeszkadza mi jednak zbyt duża ilość rozdziałów, choć nie ma to na wartość merytoryczną pracy i nie utrudnia jej zrozumienia. Rysunki i tabele są czytelne, a umieszczane w nich jednostki są poprawne.

Niestety w każdej pracy, nawet doktorskiej występują błędy literowe i edytorskie, a zdarzają się również i merytoryczne. Jako znaczący błąd uważam nie sprecyzowanie już w samym temacie pracy materiału badawczego (brak wartości dla  $x$ ). W recenzowanej pracy występowało bardzo dużo błędów edytorskich. Jako przykład mogą stanowić: nieprawidłowe zapisanie skrótów stopni naukowych, pozostawienie na końcu linijek pojedynczych znaków, czy przemienne zapisywanie Kelwinów ze spacją lub brak spacji przy zapisie liczby ze skrótem mm. Często występuje naprzemiennie przecinek i kropka jako separator dziesiętny przy zapisie liczb. W moim odczuciu na niektórych rysunkach są zbyt małe czcionki, co utrudnia ich

czytelność (rys. 2, 3, 4). Irytujące jest również niekonsekwentne używanie kursywy przy zapisie symboli i wielkości.

### **Uwagi do dyskusji**

1. Jaki argument jest przekonujący, że mamy do czynienia z monokryształami?
2. Dlaczego w monokryształach występują obszary o różnych właściwościach mechanicznych?
3. W jakim medium cięto próbki do badań?
4. Proszę uzasadnić sposób pocięcia próbek do badań? Jaki to miało wpływ na uzyskane wyniki badań? Czy próbki wycięte z obszarów o innej średnicy miały inne właściwości?
5. Jaki udział % mają obszary o dużej zawartości Si? Czy to nie wpływa na zachwianie założonego składu chemicznego?
6. Jaki był czas naświetlania próbek przy badaniu XRD?
7. Czy poszerzenie linii dyfrakcyjnych nie jest skutkiem zmiany stałej sieciowej?
8. Dlaczego występuje różnica w wartości mikrotwardości w próbkach wytworzonych różnymi metodami?

### **Podsumowanie i wniosek końcowy**

Podsumowując, po przeczytaniu pracy doktorskiej Pana mgra Wojciecha Gurdziela pt. " Krystalizacja kierunkowa i realna struktura monokryształów roztworów stałych  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_x\text{Si}_2$ " stwierdzam, że:

- założona teza pracy została zweryfikowana a jej cele osiągnięte,
- przedłożony do recenzji rękopis dotyczy aktualnej tematyki,
- w pracy zawarte są elementy nowości naukowej (szczególnie w podrozdziałach 17.6 (Oporność właściwa), 17.7 (Termosiła) i 17.8 (Ciepło właściwe).
- umieszczone w pracy wyniki badań i ich dyskusja są na zadawalającym poziomie,
- wiedza w zakresie tematyki pracy jaką posiada jej Autor jest odpowiednia.

Dysertacja pod względem naukowym jest interesująca i w dużych fragmentach może być przydatna jako źródło informacji dla zainteresowanych tą tematyki. Nieliczne i mało istotne uwagi odnośnie recenzowanej pracy nie mają większego wpływu na jej ocenę końcową i mogą jedynie stanowić podstawę do dyskusji naukowej.

W wyniku przeprowadzonej recenzji rozprawy doktorskiej stwierdzam, że **spełnia ona warunki określone Ustawą "o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki"** i wnioskuję do Rady Wydziału Informatyki i Nauki o Materiałach, Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach o **dopuszczenie** Pana mgra Wojciecha Gurdziela do publicznej obrony pracy doktorskiej.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Muller', written in a cursive style.