

### Recenzja pracy doktorskiej mgr Ireny Gruszki

Praca doktorska mgr Ireny Gruszki pt.: „Synteza ceramiek z polimerowych prekursorów i hodowla monokryształów  $PbFe_{0,5}Nb_{0,5}O_3$ ,  $PbFe_{0,5}Ta_{0,5}O_3$ ,  $AgNb_{1-x}Ta_xO_3$  i  $AgNb_{1-x}Li_xO_3$  oraz porównanie ich właściwości fizycznych” została wykonana pod kierunkiem prof. dra hab. Antoniego Kani na Wydziale Nauk Ścisłych i Technicznych Uniwersytetu Śląskiego.

Praca zawiera wstęp oraz 3 główne części zatytułowane jako: część literaturowa (1), część eksperymentalna (2), rezultaty pomiarów i dyskusja wyników (3). Kolejne części (4,5,6) to podsumowanie, wykaz rysunków i tabel oraz spis cytowanej literatury.

Praca dotyczy otrzymania i badania materiałów perowskitowych, takich jak:  $PbFe_{0,5}Nb_{0,5}O_3$  (PFN),  $PbFe_{0,5}Ta_{0,5}O_3$  (PFN),  $AgNb_{1-x}Ta_xO_3$  (ATN) i  $AgNb_{1-x}Li_xO_3$  (ALN). Motywacją Autorki przedstawioną we wstępie było opracowanie nowych technologii i otrzymanie dobrej jakości wymienionych w tytule materiałów perowskitowych, których właściwości są interesujące zarówno ze względów poznawczych jak i możliwości ich zastosowań praktycznych oraz zbadanie ich właściwości. We wstępie mgr Irena Gruszka przedstawia cel swojej pracy i tezy do udowodnienia. Rozróżnia dwa podstawowe cele, mianowicie cel poznawczy i cel praktyczny, co właściwie sprowadza się do otrzymania dobrej jakości ceramiek i kryształów, potwierdzenia ich jakości poprzez badania właściwości fizycznych i finalnie pokazanie przydatności metody zol-żel na uzyskiwanie materiałów dobrej jakości już w wyniku jednoetapowego spiekania i w niższych temperaturach w porównaniu do metod konwencjonalnych.

Część literaturowa zawiera przedstawiony przez Autorkę przegląd dotychczasowych badań tych materiałów. Autorka wskazuje, że właściwości tych materiałów nie są nadal w pełni rozpoznane. Wynika to ze sposobu ich otrzymywania co w rezultacie daje materiały o różnej jakości i ma wpływ na ich właściwości.

Autorka w oparciu o dane literaturowe dyskutuje zalety metody zol-żel, która umożliwia uzyskanie homogenicznych roztworów wyjściowych w niskich temperaturach. Istotne znaczenie w procesie technologicznym ma dobór odpowiednich rozpuszczalników, związków prekursorowych i czynników stabilizujących, które tworzą kompleksy z kationami metali i prowadzą do polimeryzacji (koagulacji) i przejścia w postać żelu. Następnym etapem jest obróbka cieplna otrzymanych żeli i uzyskanie końcowych produktów. Jako przykłady takich procedur Autorka pokazuje metodę zol-żel opisaną przez Pechiniego oraz modyfikację tej metody zaproponowaną przez Marcillego.

W części tej Autorka przedstawia również metody hodowli kryształów i ogólne warunki ich wzrostu. Wymienione są tu znane metody krystalizacji jak np: Czochralskiego czy topienia strefowego. Istotna jest tu charakterystyka wykorzystanej przez Autorkę metody hodowli z roztworu znanej pod nazwą „flux”. W metodzie tej dobór odpowiednich topników (rozpuszczalników), odpowiedniego składu roztworu, zakresu temperatury krystalizacji i szybkości ochładzania pozwala po zakończeniu krystalizacji, odlaniu rozpuszczalnika i ochłodzeniu na uzyskanie dobrej jakości monokryształów bez wbudowanych do sieci krystalicznej obcych jonów.

Oprócz w/w metod otrzymywania ceramiek i kryształów w części tej Autorka przedstawia podstawowe charakterystyki materiałów perowskitowych i ogólne właściwości materiałów

związanych, z ich symetrią co pozwala wyróżnić materiały piezoelektryczne, piroelektryczne, ferroelektryczne, ferrielektryczne, antyferroelektryczne i relaksory. Wskazuje tu również na istnienie materiałów nazywanych multiferroikami, w których współistnieją jednocześnie np. właściwości ferroelektryczne i ferromagnetyczne czy antyferromagnetyczne. W części tej ponadto przedstawia budowę i wybrane dotychczasowe badania właściwości badanych przez nią materiałów. Dla  $\text{PbFe}_{0,5}\text{Nb}_{0,5}\text{O}_3$  (PFN),  $\text{PbFe}_{0,5}\text{Ta}_{0,5}\text{O}_3$  (PFT) pokazuje sekwencje przemian fazowych, współistnienie właściwości ferroelektrycznych oraz właściwości magnetycznych. Dla materiałów o właściwościach ferrielektrycznych  $\text{AgNb}_{1-x}\text{Ta}_x\text{O}_3$  (ATN) i  $\text{AgNb}_{1-x}\text{Li}_x\text{O}_3$  (ALN) Autorka przedstawia również sekwencje przemian fazowych i symetrie poszczególnych faz, właściwości dielektryczne obserwowane dla czystego  $\text{AgNbO}_3$  a także diagramy fazowe i symetrie roztworów stałych  $\text{AgNb}_{1-x}\text{Ta}_x\text{O}_3$  (ATN) i  $\text{AgNb}_{1-x}\text{Li}_x\text{O}_3$  (ALN).

Autorka wskazuje także na rozbieżności wyników eksperymentalnych i brak pełnych charakterystyk badanych materiałów co wynika z trudności w ich otrzymaniu zarówno w formie ceramicznej jak i w postaci kryształów i co z kolei wiąże się z ich jakością np. z niejednorodnością czy obecnością faz wtórnych. Autorka podjęła więc próby uzyskania dobrej jakości materiałów przez zastosowanie i dopracowanie technologii zol-żel i dlatego w ramach pracy doktorskiej wszystkie materiały ceramiczne otrzymane zostały wykorzystując tę metodę. Wybrane materiały w postaci krystalicznej zostały otrzymane metodą „flux”.

W części eksperymentalnej Autorka przedstawia procesy syntezy ceramiek  $\text{PbFe}_{0,5}\text{Nb}_{0,5}\text{O}_3$  (PFN),  $\text{PbFe}_{0,5}\text{Ta}_{0,5}\text{O}_3$  (PFT) oraz  $\text{AgNb}_{1-x}\text{Ta}_x\text{O}_3$  (ATN) i  $\text{AgNb}_{1-x}\text{Li}_x\text{O}_3$  (ALN) stosując metody Pechiniego i Marcillego. Dla  $\text{PbFe}_{0,5}\text{Nb}_{0,5}\text{O}_3$  (PFN), wykorzystano metodę Pechiniego i uzyskano aktywny i wolny od zanieczyszczeń uwodniony tlenek niobu z chlorku niobu a w przypadku  $\text{PbFe}_{0,5}\text{Ta}_{0,5}\text{O}_3$  (PFT) „aktywniejszą” formę tlenku tantalum, czyli tlenek tantalum uwodniony. Z aktywnych uwodnionych tlenków otrzymano wodne roztwory cytrynianów, które po dodaniu cytrynianów ołowiu i żelaza przeprowadzono w stan żelowy a następnie w procesie pirolizy i kalcynacji otrzymano nanokrystaliczne proszki w układach PFN/PFT. Proszki następnie zostały zmielone, sprasowane w postaci pastylek i poddane spiekaniu.

Do otrzymania  $\text{AgNb}_{1-x}\text{Ta}_x\text{O}_3$  (ATN) i  $\text{AgNb}_{1-x}\text{Li}_x\text{O}_3$  (ALN) zastosowano zmodyfikowaną metodę zol-żel, znaną jako metoda Marcillego. Autorka podaje szczegółowy opis procesów chemicznych prowadzących do otrzymania postaci żeli, które następnie poddane są procesom pirolizy, kalcynacji i otrzymania materiałów w postaci proszków.

Procedury te są zbliżone do procedur zastosowanych w przypadku układów PFN/PFT. Warunki otrzymania ceramiek PFN, PFT, ALN i ATN z prekursorów cytrynianowych metodą zol-żel Autorka przedstawia w odpowiedniej tabeli 2 na str. 42.

W kolejnym fragmencie pracy Autorka opisuje hodowlę monokryształów. Monokryształy otrzymano metodą flux metodą obniżania temperatury. Otrzymane kryształy to:  $\text{PbFe}_{0,5}\text{Nb}_{0,5}\text{O}_3$  (PFN), PFN:Li 1% (PFNLi1), PFN:Li 2% (PFNLi2) i  $\text{PbFe}_{0,5}\text{Ta}_{0,5}\text{O}_3$  (PFT). Autorka podaje składy wykorzystanych rozpuszczalników (topników). W celu uniknięcia pojawiania się kryształów o strukturze pirochloru roztwór wyjściowy zawierał nadmiar tlenku żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Warunki wzrostu kryształów ilustruje tabela 3 na str. 44 a otrzymane kryształy zostały pokazane w pracy na zdjęciach.

Otrzymane ceramiki i kryształy Autorka badała wykorzystując kilka metod doświadczalnych. Badania strukturalne przeprowadzono metodą analizy proszkowej XRD. Morfologię i skład próbek analizowano przy użyciu skaningowej mikroskopii elektronowej SEM (Scanning Elektron Microscopy). Pozwoliło to także na określenie homogeniczności próbek, rozmiarów ziaren i obecności faz wtórnych. Dla wszystkich otrzymanych materiałów wykonano badania dielektryczne poszerzone o pomiary DSC. Dodatkowo dla materiałów ceramicznych zostały wykonane badania magnetyczne.

Kolejna część pracy (3) dotyczy wykonanych pomiarów oraz opisu i dyskusji wyników.

Analiza struktury (XRD) poddanych procesowi kalcynacji PFN w 900 °C i PFT w 700 °C pokazuje zmniejszenie zawartości fazy pirochlorowej. Otrzymane dyfraktogramy dla sproszkowanych ceramiek otrzymanych w wyniku jednoetapowego procesu spiekania wskazują, że otrzymane ceramiki mają gęstość 86% w stosunku do gęstości teoretycznej dla PFN i 91 % względem gęstości teoretycznej dla PFT. Różnica ta wg Autorki jest spowodowana różnicą pomiędzy temperaturą kalcynacji i temperaturą spiekania. Opracowana przez Autorkę metoda z prekursorów cytrynianowych obniża zdecydowanie zawartość fazy pirochlorowej oraz eliminuje pojawianie fazy wtórnej jaką jest Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> w porównaniu do zawartości tych faz w ceramikach otrzymywanych metodą konwencjonalną.

Badania XRD potwierdzają symetrię regularną w przypadku PFT (*Pm3m*) i jednoskośną w przypadku PFN (*Cm*).

Analiza morfologii i składu chemicznego za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) pokazuje ziarnistą budowę ceramiek przy czym w przypadku ceramiki PFN ziarna są nierównomiernie ukształtowane i w większości o rozmiarach pomiędzy 20 i 2 µm. W przypadku PFT ziarna mają podobną wielkość i rozmiar około 5 µm. Oznacza to, że wyższa temperatura spiekania jest korzystniejsza w przypadku ceramiek zawierających tantal. Wykonane badania rentgenowskie wykazały prawie jednolity rozkład pierwiastków w badanych ceramikach. Badania mikroskopowe i rentgenowskie potwierdzają więc dobrą jakość otrzymanych ceramiek.

Wykonane badania dielektryczne pokazały jedną przemianę fazową w przypadku PFN i dwie przemiany w przypadku PFT. W przypadku PFN widać wpływ temperatury spiekania na wartości rzeczywistej  $\chi'$  i urojonej  $\chi''$  podatności elektrycznej co związane jest ze wzrostem przewodnictwa. Wyższa temperatura spiekania daje wyższe wartości tych wielkości.

Pomiary magnetyczne wykonano dla obydwu ceramiek podczas chłodzenia w polu zerowym (ZFC) i w obecności pola zewnętrznego (FC). Pomiary potwierdzają pojawienie się szkła spinowego w niskich temperaturach: (10 K dla PFN i 15 K dla PFT) i potwierdzają przemiany z fazy paramagnetycznej do antyferromagnetycznej: 156 K dla PFN i 145 K dla PFT. Badania magnetyczne pokazały linową zależność namagnesowania od natężenia pola w fazach paramagnetycznych, nieznaczne odchylenie od liniowości w fazie antyferromagnetycznej i wyraźne w fazie szkła spinowego.

Oprócz badań ceramiek Autorka badała otrzymane kryształy PFN czyste i domieszkowane litem PFN: Li 1% (PFNLi1), PFN: Li 2% (PFNLi2) oraz czyste kryształy PFT. Badanie rentgenowskie wykazują dla tych kryształów refleksy typowe dla struktury perowskitowej. Dla kryształu PFT stwierdzono strukturę typu perowskitu i symetrię regularną. Widma rentgenowskie otrzymane w temperaturze pokojowej są charakterystyczne dla symetrii tych materiałów. Badania morfologii pokazały, że domieszkowanie nie wpływa na jakość powierzchni tych kryształów. Analiza rentgenowska i mikroskopowa wskazują na homogeniczny rozkład pierwiastków w PFN i PFT i ich właściwy skład chemiczny, co świadczy o dobrej jakości otrzymanych kryształów. Z uwagi na małą nominalną ilość litu i małą liczbę  $Z=3$  nie było możliwe określenie jego zawartości.

Badania dielektryczne pokazują sekwencję przemiany fazowych M-T i T-C zarówno na zależnościach rzeczywistej  $\chi'$  i urojonej  $\chi''$  części podatności elektrycznej. Pomiary pokazują małą histerezę temperaturową tych przemian i niezbyt wielki wpływ domieszki litu na temperatury przemian. Zawartość litu i jego zwiększenie wpływa wyraźnie zarówno na wartości rzeczywistej  $\chi'$  i urojonej  $\chi''$  części podatności elektrycznej co jest związane z obniżeniem udziału przewodnictwa i jednocześnie na wyraźniejsze anomalie w temperaturach przemian fazowych. Badania kalorymetryczne potwierdzają przemiany fazowe M-T i T-C przemian fazowych. Badania kalorymetryczne potwierdzają przemiany fazowe M-T i T-C przemian fazowych. Dla tych przemian wyznaczono zmiany entalpii  $\Delta H$ . Wartości te zmniejszają się zdecydowanie wraz ze wzrostem zawartości litu.

Ceramiki  $Ag_{1-x}Li_xNbO_3$  (ALN) o różnej zawartości litu otrzymano dla  $x = 0, 0,02, 0,04, 0,05, 0,06, 0,08, 0,1$  a ceramiki  $AgNb_{1-x}Ta_xO_3$  (ATN) o różnej zawartości tantalu dla  $x = 0, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4$  i  $0,5$ . Badania XRD pokazały, że ceramiki są jednofazowe o strukturze perowskitowej. Widoczne są również śladowe ilości faz wtórnych ( $Ag_2Nb_4O_{11}$ ) dla  $x \leq 0,06$  i  $LiNbO_3$  dla  $x \geq 0,04$ , które są znacznie mniejsze od ich zawartości w ceramikach otrzymanych metodą klasyczną. Stwierdza się również wytrącenia metalicznego srebra. Badania XRD pokazują wyraźnie transformację faz dla roztworów stałych ALN. Podstawienie litem powoduje dla  $x > 0,05$  przemianę pomiędzy fazą rombową a romboedryczną  $Pbnm-R3c$ . Badania XRD pokazały, że ceramiki  $AgNb_{1-x}Ta_xO_3$  (ATN) są jednofazowe a ilość zanieczyszczeń w postaci metalicznego srebra i  $Ag_2Nb_4O_{11}$  jest nieznaczna. Dla  $x = 0,2$  i  $0,3$  ilość srebra jest bardziej widoczna. Ilość fazy  $Ag_2Nb_4O_{11}$  ze wzrostem  $x$  maleje. Dla większych wartości  $x$  obserwuje się większy porządek strukturalny i większą homogeniczność ceramik.

Analiza morfologii i składu chemicznego za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) pokazuje ziarnistą budowę ceramik przy czym w przypadku ceramiki ALN ziarna o rozmiarach  $0,5-5 \mu m$  są dobrze ukształtowane i rozmieszczone niejednorodnie. Dla ALN2-ALN10 obserwuje się wzrost rozmiarów ziaren pomiędzy  $5$  i  $10 \mu m$ .

W przypadku ceramik  $AgNb_{1-x}Ta_xO_3$  ziarna ulegają zmniejszeniu od około  $20 \mu m$  dla ceramiki ATN10 i od  $15 \mu m$  do  $1 \mu m$  dla ceramik ATN20-ATN50.

Badania składu chemicznego potwierdzają z dobrym przybliżeniem skład nominalny materiałów. Niedomiar srebra w stosunku do składu nominalnego wiąże się z wytrącaniem metalicznego srebra podczas syntezy. W przypadku ALN nie wyznaczono bezpośrednio zawartości litu ale na podstawie zmian zawartości srebra widać, że lit wbudowuje się w strukturę otrzymanych ceramik.

Badania dielektryczne wykonano w szerokim zakresie temperatur dla częstotści  $1, 10$  i  $100$  kHz podczas chłodzenia. Dla ceramiki  $AgNbO_3$  (bez domieszek) anomalie podatności potwierdzają znaną sekwencję przemian fazowych  $M_1-M_2$  ( $349$  K),  $M_2-M_3$  ( $540$  K),  $M_3-O_1$  ( $620$  K),  $O_2-T$  ( $660$  K). Przemiana  $O_1-O_2$  jest słabo widoczna. W przypadku ceramik ALN  $Ag_{1-x}Li_xNbO_3$  dla  $x \leq 0,5$  kształt zależności podatności jest podobny do ALN0, zachowana jest kolejność przemian fazowych ale zmieniają się temperatury przemian. Ze wzrostem zawartości litu temperatury przemian fazowych  $M_1-M_2$  i  $M_2-M_3$  ulegają obniżeniu a temperatura przemiany  $M_3-O_1$  ulega podwyższeniu. W przypadku ceramik dla  $x \geq 0,6$  zależności podatności elektrycznej od temperatury zmieniają swój charakter. Autorka obserwuje dwa szerokie maksima podatności związane z przemianą fazową do fazy R o symetrii romboedrycznej i grupie przestrzennej  $R3c$  do fazy antyferroelektrycznej z grupą przestrzenną  $Pbnm$ . Maximum to przesuwają się ze wzrostem  $x$  do wyższych temperatur. Drugie maksimum związane z przemianą  $Pbnm$  do rombowej fazy paraelektrycznej o grupie przestrzennej  $Cmcm$  Autorka widzi w temperaturze około  $630$  K. Maximum to nieznacznie przesuwają się w stronę wyższych temperatur wraz ze wzrostem  $x$ . Zależności urojonej podatności wykazują również anomalie odpowiadające przemianom fazowym. Dla częstotści  $100$  kHz zbadano właściwości dielektryczne podczas chłodzenia i grzania próbek. Dużą histerezę temperaturową obserwuje dla przemian fazowych w całym zakresie  $x$  co ilustruje rys. 43. Badania dielektryczne świadczą jednoznacznie o wbudowaniu się jonów litu w strukturę otrzymanych ceramik.

Badania ATN pokazują zmiany właściwości dielektrycznych wraz zawartością tantalu. Maksima związane z przemianą z fazy  $M_1$  do  $M_2$  przesuwają się w stronę niższych temperatur dla  $x \leq 0,02$  a powyżej  $x \geq 0,03$  maksima nie są widoczne w tych pomiarach. Maksima związane z przemianą  $M_2$  do  $M_3$  również przesuwają się w stronę niższych temperatur i stają się bardziej rozmyte. Skokowa zmiana podatności związana z przemianą  $M_3$  do  $O_1$  maleje i

przesuwa obniża się w stronę niższych temperatur dla  $x \leq 0,02$  a następnie w stronę wyższych temperatur chociaż zmiany te są nieznaczne. Badania histerezy temperaturowej pokazują wyraźnie histerezę przemiany  $M_3$  do  $O_1$ , która zmniejsza się ze wzrostem zawartości tantalu. Lokalne maksima w niższych temperaturach są wyraźniejsze podczas chłodzenia.

Badania DSC w przypadku  $Ag_{1-x}Li_xNbO_3$  w ogólności potwierdzają występowanie wysokotemperaturowych przemian fazowych i kierunek zmian temperatur tych przemian. Tam gdzie to było możliwe wyznaczone zostały temperatury i entalpie przemian. Podobnie w przypadku  $AgNb_{1-x}Ta_xO_3$  potwierdzone są temperatury przemian i ich zmiany wraz ze wzrostem zawartości tantalu. Dla tych przemian wyznaczono również ich entalpie.

Praca zawiera dużo wyników doświadczalnych i jest napisana dobrze pod względem merytorycznym. Zarówno interpretacja i dyskusja wyników są poprawne. Praca jest napisana dobrym i płynnym językiem. W pracy zauważyłem jednakże pewne ogólne niedociągnięcia i nieliczne błędy korektorskie, a mianowicie:

1. w całej pracy należałoby używać skali Kelwina,
2. str.12 i inne: nazwiska Pechini i Marcilly powinny być odmieniane jak przymiotniki i bez apostrofu
3. str. 12- jest napisane: ...”cyronianu-tytaniumu”... - powinno być: ...cyrkonianu-tytaniumu...
4. str. 27 i inne: należałoby w całej pracy używać określenia przenikalność elektryczna; na rys. 7 w podpisie znajduje się całkiem dziwne sformułowanie: „Zależność temperaturowa dielektrycznej przenikalności elektrycznej...”
5. rys. 22 i inne: Autorka przedstawia wyniki pomiarów dielektrycznych jako podatności a nie przenikalności; na tych samych rysunkach mamy zatem podatność oraz  $1000/\epsilon$  - dlaczego?
6. na str. 29, 75, 83, 89 i w podpisie do rys. 37 Autorka podaje grupę przestrzenną fazy romboedrycznej jako  $R3c$  powołując się na pozycję [132] w spisie literatury; w tej cytowanej pracy [132] grupa przestrzenna fazy romboedrycznej to  $R\bar{3}c$  a nie  $R3c$
7. str. 60-61 - co oznacza zdanie : „W cyklu chłodzenia polem (FC)...zaś w cyklu chłodzenia polem zerowym ZFC...”?; dla rozróżnienia symboli podatności elektrycznej  $\chi$  i magnetycznej można było użyć symbolu  $\chi_m$ ; zgodnie z opisem w tekście rys. 25 reprezentuje zależność namagnesowania w funkcji pola magnetycznego a nie zależność pola od namagnesowania
8. str. 73 - napisano : ...”molowych udziałów procentowych litu:  $x=0,02$ ...”; powinno być: udziałów (ułamków) molowych litu:  $x=0,02$ ...; podobnie jest w przypadku tantalu, rys. 43 i inne; na rysunkach są udziały molowe, a w podpisach procentowe - powinno być tak samo
9. str.112 - nazwisko pierwszego Autora nie jest zgodne z zapisem w cytowanej publikacji
10. Str. 83 - w opisie przemian fazowych w  $Ag_{1-x}Li_xNbO_3$  dla  $x \geq 0,6$  Autorka pisze, że obserwuje dwa szerokie maksima przenikalności (rys. 42); patrząc na rysunek widoczne są dwa szerokie maksima ale jest jeszcze widoczne także trzecie maksimum. Autorka opisuje zgodnie z rysunkiem zachowanie pierwszego pasma w zakresie 330-380 K w zależności od  $x$ . Drugie maksimum występuje w okolicach 540 K. Trzecie pasmo w okolicach 630 K. Opisując drugie maksimum Autorka przyporządkowuje mu temperaturę 630 K. Jest to jednak maksimum trzecie. Zgodnie z rysunkiem 42 należałoby opisać wszystkie trzy maksima.

Osiągnięciem Autorki w ramach pracy doktorskiej jest wprowadzenie metody zol-żel do laboratorium badań ferroelektryków w Uniwersytecie Śląskim. Zgodnie z wyznaczonymi sobie celami Autorka wykazała, że materiały otrzymane z wykorzystaniem metody zol-żel są dobrej jakości, gdyż zawierają nieznaczne ilości faz wtórnych, wykazują jednolity rozkład pierwiastków a procesy spiekania mogą być jednoetapowe i prowadzone w niższych temperaturach. Autorka otrzymała szereg ceramiek i kryształów o różnym składzie co oznacza duży wkład pracy przy ich otrzymywaniu a także badaniu ich właściwości z użyciem różnych metod pomiarowych.

Uważam więc, iż przedłożona do oceny praca doktorska mgr Ireny Gruszki pt.: „Synteza ceramik z polimerowych prekursorów i hodowla monokryształów  $\text{PbFe}_{0,5}\text{Nb}_{0,5}\text{O}_3$ ,  $\text{PbFe}_{0,5}\text{Ta}_{0,5}\text{O}_3$ ,  $\text{AgNb}_{1-x}\text{Ta}_x\text{O}_3$  i  $\text{AgNb}_{1-x}\text{Li}_x\text{O}_3$  oraz porównanie i właściwości fizycznych” w wystarczającym stopniu odpowiada warunkom określonym w Ustawie z dnia 14.03.2003 o stopniach i tytule naukowym i dlatego wnoszę o dopuszczenie mgr Ireny Gruszki do publicznej obrony.

Zbigniew Czapla

*Zbigniew Czapla*

*Wpłynęło 18.10.2023r. JDR*