

## **Ocena osiągnięć naukowo-badawczych dr inż. Tomasza Pietrzaka Ubiegającego się o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego.**

Poniższa ocena osiągnięć dr inż. Tomasza Pietrzaka została przygotowana na podstawie przedstawionego Autoreferatu wraz z następującymi załącznikami:

1. cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych,
2. oświadczenia współautorów, dokumenty poświadczające inne osiągnięcia i dyplom.

Dr inż. Tomasz Pietrzak związał swoją przyszłość edukacyjno-naukową z Politechniką Warszawską począwszy od okresu studiów aż do teraz. Obecnie jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym (adiunktem) na Politechnice Warszawskiej na Wydziale Fizyki.

### **Ocena ogólna dorobku naukowo-dydaktycznego.**

Dr Tomasz Pietrzak po uzyskaniu stopnia doktora (2012) broniąc pracę pt. „*Nowe nanomateriały oparte na szklach wanadowo-fosforanowych i żelazowo-fosforanowych*” wzbogacał swoją wiedzę i doświadczenie w 5-ciu stosunkowo krótkich pobytach w ważnych światowych naukowych ośrodkach, m.in.: Rensselaer Polytechnic Institute, Department of Materials Science and Engineering Troy NY (USA), Massachusetts Institute of Technology, Department of Materials Science and Engineering, Cambridge MA (USA), Uniwersytet w Pawii, Dipartimento di Chimica Fisica M. Rolla (Włochy). Ilościowa ocena dorobku, (do której moim zdaniem należy podchodzić z definicji ostrożnie) to wg Scopus: H: 10 i 156 cytowań bez autocytowań.

Dr Tomasz Pietrzak jest aktywnym pracownikiem dydaktycznym na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej skupiającym się na nauczaniu studentów podstaw fizyki i szeroko rozumianej informatyki stosowanej. Także bierze udział w edukacji, jako popularyzator nauki. Jego praca naukowo- dydaktyczna została doceniona poprzez przyznanie szeregu nagród (6 naukowych i 5 dydaktycznych).

### **Ocena osiągnięcia naukowego określonego przez Autora pt. „*Wpływ termicznej nanokrystalizacji wybranych szkieł tlenkowych na ich właściwości fizyczne*” na podstawie załączonych do oceny prac.**

W publikacji **H1** autor zbadał przejście metal-izolator VO<sub>2</sub> w szklach i nanomateriale MV<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, gdzie (M =Li, Na, Mg). Zaobserwowany nieodwracalny wzrost przewodności powiązał ze wzrostem ilości nanokrystalitów o wysokim przewodnictwie elektrycznym, czyli ze zmianami mikrostruktury materiału. Ciekawe wyniki autor uzyskał badając efekt Seebecka w nanostrukturalnych próbkach.

Badanie efektu Seebecka w materiałach wykonywane były w procedurze pomiaru, w której różnica temperatury między zimną i gorącą stroną próbki rosła od 0°C do 70°C (zakres temperatur 25-90°C) . Przy takiej metodzie wyniki dla wyższych od kilku stopni różnic są wynikami obciążonymi kumulacją procesów zachodzących z całym tym dość szerokim

przedziale (70°C) . Moim zdaniem standardowe podejście w postaci pomiarów dla różnych temperatur, ale przy maksymalnej różnicy temperatur na próbkach ok. 5°C dałoby wyniki więcej mówiące o własnościach badanych próbek. W takim przypadku może udałoby się wyjaśnić m.in., dlaczego w próbce  $L_B$  powyżej 65°C H1 Fig.1 współczynnik Seebecka maleje i zmienia znak.

Publikacja **H2** to opis badań własności termicznych, strukturalnych i elektrycznych w nanostrukturalnych materiałach z rodziny szkieł Li-Fe-V-P-O. Badania STEM i HR-TEM ujawniły układ nanokrystalitów ( o rozmiarach ok.5-10nm) otoczonych materiałem amorficznym. Poziom przewodnictwa elektrycznego autor powiązał z gęstością nanokrystalitów, a konkretnie ze średnią grubością warstwy amorficznej między nanoziarnami. Autor jest przekonany, że ten „... interfacial regions around newly formed nanograins...” (idea przedstawiona w „Podsumowaniu Osiągnięć Zawodowych” na rys.3), który „... favors higher electron hopping rate among a denser network of pairs of aliovalent centers, not only  $Fe^{2+}-Fe^{3+}$ , but also  $V^{4+}-V^{5+}$  and  $V^{3+}-V^{4+}$ ...” jest odpowiedzialny za znaczny wzrost przewodności krystalizowanych próbek. Hipoteza Autora jest prawdopodobna jednak warta potwierdzenia. Obecnie pomiary za pomocą AFMu z przystawką (Scanning spreading resistance microscopy) umożliwiające badanie lokalnej rezystancji z dużą rozdzielczością (n.p.Irina E. Gracheva i inni AFM techniques for nanostructured materials used in optoelectronic and gas sensors IEEE EUROCON 2009 lub; Mitsunori Kitta et.al “Scanning Spreading Resistance Microscopy: A Promising Tool for Probing the Reaction Interface of Li-Ion Battery Materials” *Langmuir* 2019, 35, 26, 8726–8731) z pewnością pomogą w ewaluacji hipotez autora i hipotezy alternatywnej np. przewodzenia poprzez tunelowanie między dobrze przewodzącymi krystalitami lub między dobrze przewodzącymi warstwami wytworzonymi wokół krystalitów.

W publikacji **H3** autor dołączył do bardzo aktualnej dyskusji na temat nowych materiałów katodowych do litowo-jonowych ogniw. Tym razem krystalizowane materiały w postaci szkieł  $V_2O_5-P_2O_5$  and  $Li_2O-FeO-V_2O_5-P_2O_5$  zbadane zostały w kontekście aplikacji. Podobnie jak w publikacji H2 Autor podkreśla, że duże przewodnictwo elektryczne zapewniają regiony między nanokrystalitami. Badania krystalizowanego układu na bazie szkła  $V_2O_5-P_2O_5$  jako katody w ogniwie wykazały podobne własności jak sam polikrystaliczny  $V_2O_5$ .

Charakter przewodnictwa elektronicznego w szklach i w nanomateriałach z układu  $Li_2O - FeO - V_2O_5 - P_2O_5$  dr T. Pietrzak opisał w publikacji **H4**. Badania objęły materiał ze zmiennym składem/koncentracją wanadu w stosunku do żelaza. Bardzo dobre badania metodą spektroskopii Mossbauera umożliwiły wyznaczenie stosunku  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  w badanych materiałach. Wniosek końcowy badań mówi o istotnej roli ilorazu  $V^{4+}/V^{5+}$  w generowaniu wysokiego przewodnictwa nanostrukturalnych próbek. W ramach naukowej dyskusji chciałbym podkreślić, że interpretacja zjawiska może być inna. Jak wykazały badania (np. Brian W. Flynn, THE ELECTRICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF VANADIUM TELLURITE GLASSES doc. thesis University of Edinburgh 1977) wartość  $V^{4+}/V^{5+}$  zmienia się z koncentracją  $V_2O_5$ . Dlatego do rozstrzygnięcia, jaka interpretacja jest bliższa rzeczywistości niezbędne są dobre pomiary tej wartości. Takimi pomiarami mogą być badania za pomocą techniki XPS.

Głównym celem badań opisanych w **H5** było jak różne metale przejściowe (Me=V, Fe, Ti) wpływają na formowanie szkła i nanokryształizację w układzie LiF–Me<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Tym razem okazało się, że krystalizacja spowodowała wzrost wartości przewodnictwa elektrycznego jednak do poziomu mniejszego niż w próbkach opisanych w np. H3. Było to prawdopodobnie spowodowane uzyskaniem nanostrukturanego układu o większych rozmiarach ziaren.

Dalszym rozwinięciem badań wpływu domieszkowania trzema metalami przejściowymi na krystalizację szkła są wyniki pokazane w publikacji **H6**. Tym razem Autor zsyntetyzował i zbadał podobny do układu NASICON układ NASIGLASS o składzie NaF–M<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (M = V, Ti, Fe). Klasyczne badania struktury dopełniają dobre badania własności elektrycznych. W tych badaniach Autor i inni zajęli się udziałem przewodnictwa jonowego i elektronowego w całkowitym przewodnictwie próbek w postaci szkła i krystalizowanych układów. Generalnie, z wyjątkiem jednego składu, większość szkła charakteryzowało przewodnictwo elektronowe  $z_{te} > 0.75$ . W nanokryształizowanych Li<sub>3</sub>Me<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>F<sub>3</sub> (Me = V, Fe, Ti) układach zaobserwowano bardzo duży wzrost przewodnictwa jonowego.

**H7** to opis syntezy i badań właściwości elektrycznych szkła i nanomateriałów o nominalnym składzie Na<sub>2</sub>M<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, gdzie M<sub>3</sub>= Fe<sub>3</sub>, VFe<sub>2</sub>, VFeMn. Badania tych materiałów i strukturze analogicznej do struktury K<sub>x</sub>M<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, gdzie K=Na, Li, Ca etc., M=Fe, Mn etc.,  $0 \leq x \leq 4$  jest pewną nowością. Badania wykazały, że przewodność w fazie szklistej tych materiałów jest przewodnością elektronową o stosunkowo małej wartości. Autor i inni wykazali, że po krystalizacji w temperaturze 600°C, przewodnictwo wzrosło o około 2-4 rzędy wielkości, energia aktywacji zmniejszyła się zauważalnie natomiast udział przewodnictwa jonowego wzrósł.

Publikacja **H8** to trochę okolicznościowa publikacja związana z faktem, że 60 lat minęło od pierwszych badań DTA. Publikacja jest podsumowaniem na temat zastosowania DTA w badaniach szkła i szkła krystalizowanych opisanych w H1-H7. Autor i inni pokazali, że formuły Lasockiej, jak i Kissingera mogą opisać zależność temperatury zeszklenia od szybkości nagrzewania. Podejście Lasockiej, jak i Kissingera są stosowane głównie w przypadku stopów metali. Jednak dr Tomasz Pietrzak i inni pokazali, że sprawdza się również w przypadku tlenków szkła zawierających metale przejściowe (np. V, Ti, Fe).

Dużym osiągnięciem w skali światowej jest wynik badań opisany w publikacji **H9** o tytule: „Stabilization of the  $\delta$ -Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-like structure down to room temperature by thermal nanocrystallization of bismuth oxide-based glasses”. Po raz pierwszy wykazano, że stabilizacja w temperaturze pokojowej i wyższej fazy  $\delta$ -Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (stabilnej powyżej 730°C) jest możliwa poprzez zastosowanie termicznej krystalizacji szkła na bazie tlenku bizmutu. Otrzymany materiał zawiera uwięzione w matrycy szkła nanometryczne (10-20 nm) krystaliczne ziarna fazy  $\delta$ -Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Wynik jest bardzo dobrze udokumentowany badaniami XRD w funkcji temperatury oraz badaniami za pomocą mikroskopowych metod SEM i HR-TEM.

Publikacja **H10** raczej nie wnosi nic do wiedzy określonej w tytule osiągnięcia naukowego, ale jest dobrym przykładem, że Autor potrafi rozwinąć możliwości pomiarowe zestawu przyrządów służących do badań spektroskopii impedancyjnej.

### **Podsumowanie**

Podsumowując moją ocenę mogę potwierdzić, że dr inż. Tomasz Pietrzak ma wkład w poszerzenie wiedzy w zakresie opisu własności szkieł tlenkowych zawierających m.in. Li(Na),Fe,V,P,O oraz ich skryształizowanej formy do postaci nanokrystalitów w matrycy szklistej. Dużym wkładem w postęp nauki jest wynik pracy nad stabilizacją fazy  $\delta$ -Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Osiągnięcia sparametryzowane (IH i cytowania) nie są wyróżniające jednak trzeba pamiętać, że badania krystalizowanych szkieł nie są jeszcze na tzw. „topie” zainteresowań naukowców.

Na podstawie art. 221 ust. 8 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85, 374, 695, 875 i 1086 oraz z 2021 r. poz. 159) stwierdzam, że osiągnięcia naukowe dr inż. Tomasza Pietrzaka odpowiadają wymaganiom określonym w art. 219 ust. 1 pkt 2 tej Ustawy.

