



Poznań, 31 marca 2026 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Anna Shakhno  
pt.

**“Correlation of structural and optical properties of white light emitting diode converters based on doped mixed garnets with micro- and nano-ceramic, and epitaxial structure”**

(Korelacja właściwości strukturalnych i optycznych konwerterów diod emitujących białe światło opartych na domieszkowanych mieszanych granatach z mikro- i nanoceramiką oraz strukturą epitaksjalną)

Przedstawiona do recenzji praca doktorska Pani mgr Anny Shakhno została zrealizowana na Wydziale Mechatroniki oraz Wydziale Fizyki Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy w ramach Szkoły Doktorskiej w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Promotorem recenzowanej rozprawy doktorskiej jest prof. dr hab. Yuriy Zorenko, a promotorem pomocniczym dr hab. inż. Mieczysław Cieszko, prof. uczelni.

Praca doktorska Pani mgr Anny Shakhno stanowi spójny tematycznie zbiór 7 publikacji naukowych, indeksowanych na liście Journal Citation Reports (JCR), tzw. „lista filadelfijska”. Trzy artykuły zostały opublikowane w czasopiśmie *Materials* (IF – 3,2), dwa artykuły w czasopiśmie *Optical Materials X* (IF - 0), natomiast po jednym artykule odpowiednio w czasopismach *Optical Materials* (IF – 4,2) i *Journal of Luminescence* (IF – 3,6).

Otrzymana do recenzji rozprawa doktorska poświęcona jest badaniu alternatywnych materiałów fosforowych do zaawansowanych zastosowań WLED, w tym opracowanie mieszanych układów granatowych o zmodyfikowanym składzie kationów i odpowiedniej strukturze krystalicznej w celu optymalizacji właściwości emisyjnych. Badania Autorki rozprawy doktorskiej dotyczą zapotrzebowania na zaawansowane materiały konwerterów fosforowych poprzez systematyczne poszukiwanie korelacji między właściwościami strukturalnymi i właściwościami optycznymi w domieszkowanych układach mieszanych granatów. Głównym założeniem jest opracowanie

odpowiedniej technologii konwerterów fosforowych, których celem jest pokonanie występujących ograniczeń w materiale dla uzyskania lepszej jakości kolorów oraz lepszej wydajności termicznej dla zastosowań w półprzewodnikowych urządzeniach oświetleniowych nowej generacji. Autorka rozprawy doktorskiej przebadła wyselekcjonowane materiały, które zostały przygotowane przy zastosowaniu różnych metod syntezy a następnie scharakteryzowane za pomocą technik spektroskopowych i badań strukturalnych. Kompleksowa analiza właściwości absorpcyjnych, fotoluminescencyjnych i katodoluminescencyjnych, w połączeniu ze szczegółową charakterystyką strukturalną stanowi podstawę do zrozumienia, w jaki sposób parametry projektowe materiałów wpływają na ostateczną wydajność w zastosowaniach WLED. W konsekwencji pozwala to na ustalenie podstawowych zależności, które stanowią wytyczne dla rozwoju wydajnych konwerterów WLED.

Zaproponowany temat pracy doktorskiej jest interesujący z punktu widzenia czysto poznawczego oraz pozyskania nowej wiedzy, o nowej klasie materiałów dla wydajnych konwerterów WLED, ale również dający niewątpliwie duże możliwości aplikacyjne i poprawiający dotychczasowe rozwiązania technologiczne stosowane obecnie na rynku.

Jak wspomniano wyżej przedstawioną do recenzji pracę doktorską stanowi zbiór opublikowanych i recenzowanych już, spójnych publikacji naukowych, co dopuszcza art. 13 ustawy „Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki”, sprawia to, że rola recenzenta sprowadza się zasadniczo do syntetycznej oceny formalnej i merytorycznej badań opisanych w publikacjach stanowiących treść rozprawy doktorskiej.

### **Ocena formalna**

Dorobek doktorantki stanowiący treść rozprawy doktorskiej to 7 publikacji naukowych, opublikowanych w latach 2020-2025. Sumaryczny współczynnik oddziaływania dorobku naukowego doktorantki (*Impact Factor*) stanowiący treść recenzowanej rozprawy to 17,4, natomiast sumaryczna liczba tzw. punktów ministerialnych prac wynosi 630. Oba wymienione powyżej wskaźniki bibliometryczne, w kontekście realizacji pracy doktorskiej w formie zbioru spójnych publikacji, są na dobrym poziomie, jeśli chodzi o osiągnięcie naukowe osoby ubiegającej się o stopień naukowy doktora.

Do zbioru artykułów składających się na rozprawę doktorską, Pani mgr Anny Shakhno, dołączyła „komentarz autorski”, który zawiera takie rozdziały jak: wprowadzenie, struktura pracy doktorskiej, charakterystyka metod wzrostu do przygotowania materiałów i technik eksperymentalnych, właściwości optyczne i fotokonwersyjne WLED opartych na różnych formach kryształu związków granatu, wnioski z rozprawy doktorskiej. Na zakończenie dołączono bibliografię składającą się z 51 pozycji literaturowych. Komentarz zamknięto wskazaniem pozostałych osiągnięć Doktorantki takie jak: publikacje nie wchodzące w skład rozprawy, konferencje, prezentacje ustne i posterowe oraz oświadczenia współautorów dotyczące publikacji związanych z rozprawą doktorską (Autorzy i ich wkład w daną publikację naukową).

Całkowity dorobek doktorantki, wg. bazy Scopus, to 9 publikacji naukowych, 64 cytowania a indeks Hirscha 6. To dobre parametry bibliometryczne na tym etapie kariery naukowej. Niewątpliwie parametry te szybko ulegną wzrostowi, choćby ze względu na opublikowanie stosunkowo nowych prac naukowych będących m.in. częścią tej rozprawy doktorskiej.

Załączone w “komentarzu autorskim” oświadczenia wszystkich autorów publikacji, wskazują na dominujący udział we wszystkich pracach Pani mgr Anny Shakhno i jej znaczący udział również w samych badaniach naukowych. Dodatkowo, doktorantka w 6 publikacjach na 7 stanowiących treść rozprawy doktorskiej, jest pierwszym autorem. Stanowi to dowód na zasadniczy wkład w badania, analizę, pomysł naukowy i realizację samej pracy doktorskiej.

## **Ocena merytoryczna**

### Tematyka rozprawy

Za cel pracy doktorskiej postawiono opracowanie, charakteryzację oraz zastosowanie zaawansowanych fotokonwerterów na bazie granatu domieszkowanego  $Ce^{3+}$  w różnych postaciach materiałowych jak: mikroproszki, monokryształy, warstwy monokrystaliczne oraz kompozytowe struktury epitaksjalne dla diod emitujących światło białe (WLED) z konwersją fosforową.

Opracowanie alternatywnych, do obecnie występujących, konwerterów WLED stanowi wyzwanie technologiczne i naukowe w celu zapewnienia usunięcia ograniczeń materiałowych dla konwencjonalnych materiałów stosowanych w przypadku zastosowań do diod elektroluminescencyjnych emitujących światło białe. Stąd pomysł na zastosowanie nowej generacji

mieszanych układów granatowych o zmodyfikowanym składzie kationów i zoptymalizowanej strukturze krystalicznej w celu optymalizacji właściwości emisyjnych, związanych między innymi z poprawą stabilności termicznej i wzmocnionej emisji w zakresie czerwieni. Recenzowana praca dotyczy powyższych zagadnień koncentrując się na wytworzeniu i charakteryzacji materiałów fosforowych do zastosowań w diodach WLED.

Praca doktorska została podzielona na 4 części merytoryczne odnoszące się do właściwej klasy materiałów jak: I) materiały eutektyczne  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -YAG domieszkowane  $\text{Ce}^{3+}$  dla białych diod WLED (1 publikacja), II) Mikroproszki krzemianowo-granatowe domieszkowane  $\text{Ce}^{3+}$  oraz  $\text{Mn}^{2+}$  jako konwertery światła dla diod WLED (3 publikacje), III) Kryształy  $\text{Ca}_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$  domieszkowane  $\text{Ce}^{3+}$  (1 praca) oraz IV) Konwertery z warstwą monokrystaliczną oraz kompozytowe struktury cienkowarstwowe na bazie granatów domieszkowane  $\text{Ce}^{3+}$  (2 publikacje). Zestaw publikacji a tym samym tematyki badawczej jest przemyślany i dobrze zaplanowany dający przegląd możliwości wyboru właściwych materiałów dla optymalizacji białych diod WLED.

#### Wiedza kandydatki

Zastosowanie odpowiednich i przemyślanych technik badawczych oraz zaplanowanie całościowe rozprawy doktorskiej wpisuje się w dobre przygotowanie badawcze doktorantki. Doktorantka dysponuje zarówno wiedzą dotyczącą otrzymywania badanych w rozprawie struktur, co nie jest lakoniczne i proste, jak również zastosowaniem technik badawczych służących do charakteryzacji otrzymanych materiałów. Istotną rolę jest interpretacja otrzymanych wyników eksperymentalnych i ich wzajemna korelacja. Doktorantka, co widać na podstawie publikacji naukowych, jak również przewodnika do pracy doktorskiej, bardzo dobrze radzi sobie z opisem eksperymentów, właściwie interpretuje dane pomiarowe stosując szerokie spektrum metod spektroskopowych i potrafi je wzajemnie ze sobą korelować w celu ustalenia realnych parametrów otrzymanych struktur. Na uwagę zasługuje w tym wypadku również powiązanie badań eksperymentalnych z technologią wytwarzania materiałów i poprawiania ich właściwości na te oczekiwane, co jest domeną dobrze ukształtowanego specjalisty z zakresu fizyki czy inżynierii materiałowej.

#### Samodzielność kandydatki

Samodzielność kandydatki jest w oczywisty sposób wskazana w oświadczeniach współautorów publikacji naukowych wchodzących w skład rozprawy doktorskiej, gdzie współautorzy wskazują na dominujący udział doktorantki a sama kandydatka deklaruje swój znaczący udział w takich obszarach

jak: przygotowanie eksperymentów, wykonywanie znacznej ilości prac badawczych, zebranie i przeanalizowanie kompletu badań i wyników eksperymentalnych, montaż prototypów WLED, jak również redagowanie prac naukowych, przygotowywanie rysunków i tabel oraz rewizje artykułów naukowych. Te wszystkie elementy, jak wspomniano powyżej poparte oświadczeniami współautorów, jednoznacznie potwierdzając samodzielność doktorantki w powstaniu pracy doktorskiej i odpowiednią dojrzałość naukową na tym etapie kariery naukowej ubiegając się o stopień naukowy doktora.

#### Oryginalność rozprawy doktorskiej

Cały zebrany materiał zawarty w rozprawie doktorskiej stanowi oryginalny wkład w rozwój naukowy zwłaszcza w obszarze poszukiwań nowych rozwiązań otrzymywania białych diod WLED, ich budowy, poszukiwania właściwych fotokonwerterów o unikatowych właściwościach optycznych i odpowiedniej wydajności fotokonwersji. Niewątpliwą oryginalnością i osiągnięciem jest nie tylko stworzenie bazy wiedzy na temat badanych w rozprawie materiałów, ale również budowa i badanie samych prototypów diod WLED, co stanowi istotny krok na drodze skalowania technologii, szacowania możliwości powtarzalności tych materiałów o niezmiennych parametrach. Daje to ramy dla projektowania i rozwoju tego typu fotokonwerterów o bardzo dużej wydajności fotoluminescencji, dobrą stabilność termiczną oraz stabilność barwową co pozwala na szeroką konfigurowalność diod WLED. Oryginalność tych wyników i te osiągnięcie oceniam bardzo wysoko.

#### Pytania i komentarze do rozprawy doktorskiej

Podczas czytania rozprawy doktorskiej nasunęły się też uwagi i komentarze dotyczące pracy doktorskiej, wyników badań zawartych w rozprawie dotyczących materiałów będących konwerterami diod emitujących światło białe.

- Zabrakło mi jednoznacznego podsumowania, które z materiałów będą najlepszym rozwiązaniem do zastosowań WLED albo to ze względu na technikę ich otrzymywania, albo na zastosowanie odpowiednich składowych materiałów wchodzących w finalny produkt materiałowy, jak choćby poprzez zmianę składu granatu w zawartości domieszki  $Ce^{3+}$  i  $Mn^{2+}$ .
- Jak wygląda powtarzalność w otrzymywaniu badanych struktur, na ile technika hodowania struktur czy metod epitaksjalnych dla tych zastosowań jest powtarzalna i odtwarzalna bez straty

ich parametrów fizyko-chemicznych i strukturalnych. Na ile zastosowanie metod wzrostu i wytwarzania jak HDC, MPD czy LPE dają skuteczną powtarzalność otrzymanych struktur? Czy powtarzono wytwarzanie tych struktury w tych samych warunkach technologicznych?

- Pojawia się brak oczekiwanej informacji dotyczącej zmiany parametrów materiałów w czasie (efekty starzeniowe i eksploatacyjne). Rozumiem oczywisty brak czasu na wykonywanie tej porcji badań i pomiarów, natomiast na etapie stworzenia prototypów może warto było dokonać przyspieszonych i wyśrubowanych parametrów pracy tych materiałów w celu zbadania poziomu ich degradacji i utraty parametrów początkowych jakie struktury posiadały po ich bezpośrednim otrzymaniu i wykorzystaniu w celach badawczych.
- Jak się ma potencjalne skalowanie tych materiałów do poziomu półprzemysłowego i aplikacyjnego? Czy zastosowane techniki otrzymywania tych materiałów można skalować i na ile proces ten byłby ekonomiczny i wydajny produkcyjnie? Czy jednak otrzymane materiały pozostają jedynie materiałami dla stworzenia prototypów i odpowiedzi naukowych w poszukiwaniu wydajnych, tanich konwerterów diod optycznych o dobrych parametrach optycznych i strukturalnych.

Myślę, że moje komentarze zawarte w końcowej części recenzji mogą być zaczątkiem do dyskusji podczas samej obrony rozprawy doktorskiej, na co bardzo liczę.

Reasumując uważam, że Pani mgr Anna Shakhno zrealizowała postawione sobie cele badawcze i udokumentowała je w swojej dysertacji doktorskiej zarówno w samych pracach naukowych, jak i zawartym do nich przewodniku (komentarzu autorskim). Przedstawione wyniki badań mają charakter nie tylko poznawczy, gdyż są również bardzo interesujące w obszarze projektowania nowych materiałów dla diod WLED oraz poszukiwania jak najlepszych rozwiązań strukturalnych dla tego typu urządzeń. Doktorantka bardzo dobrze poradziła sobie z założonymi zadaniami, opisami wyników badań i wysunęła wiele cennych uwag. Dowodzi to zgłębieniu tematu badawczego oraz dużej samodzielności doktorantki udokumentowane publikacjami naukowymi - wszystkimi o zasięgu międzynarodowym.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr Anny Shakhno „*Correlation of structural and optical properties of white light emitting diode converters based on doped mixed garnets with micro- and nano-ceramic, and epitaxial structure*” spełnia wymagania ustawowe stawiane rozprawom doktorskim i zgodnie z przepisami określonymi w Prawie o Szkolnictwie Wyższym i Nauce, z 20 lipca 2018, art. 187 (Dz. U. z 2018 r., poz. 1668 ze zm.) wnoszę o dopuszczenie mgr Anny Shakhno do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.

Z poważaniem

Mirosław Szybowicz