



Poznań, dnia 16.02.2026

Prof. UAM dr hab. Marcin Runowski
Wydział Chemii UAM
ul. Uniwersytetu Poznańskiego 8
61-614 Poznań

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Adama Kabańskiego

Rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Adama Kabańskiego pod tytułem „*High-sensitive luminescent thermometers based on formate hybrid perovskites containing Cr³⁺ ions*” wykonana została w Instytucie Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych im. Włodzimierza Trzebiatowskiego Polskiej Akademii Nauk we Wrocławiu pod kierunkiem promotora dr hab. Dagnary Stefańskiej, prof. INTiBS PAN. Rozprawa napisana została w języku angielskim, w formie tematycznie spójnego cyklu pięciu artykułów naukowych opublikowanych w renomowanych czasopismach międzynarodowych o wysokim współczynniku wpływu, tj. *ACS Applied Materials & Interfaces* (IF = 9.5), *Advanced Optical Materials* (IF = 9.0), *Dalton Transactions* (IF = 4.0) oraz (2x) *Journal of Materials Chemistry C* (IF = 6.4). Dysertacja Pana mgr. inż. Adama Kabańskiego liczy łącznie 207 stron i charakteryzuje się klasycznym układem dla prac tego typu, obejmując streszczenie (w języku angielskim i polskim), cele pracy, wykaz skrótów, obszerny wstęp teoretyczny, opis metodologii badawczej, szczegółowe omówienie wyników opublikowanych w pracach P1–P5, podsumowanie, bibliografię, kończąc na wykazie osiągnięć naukowych.

Prace wchodzące w skład rozprawy skupiają się na badaniach spektroskopowych dotyczących wpływu składu chemicznego hybrydowych związków perowskitowych zawierających aniony mrówczanowe oraz jony Cr³⁺ na ich właściwości luminescencyjne i wynikającą z nich charakterystykę termometryczną. Autor przeanalizował serię materiałów o strukturach pojedynczych oraz podwójnych perowskitów, w których modyfikacja składu realizowana była poprzez zmianę rodzaju kationów metali, kationów organicznych oraz stężenia jonów domieszki. Tak zaprojektowane podejście umożliwiło systematyczne badanie zależności pomiędzy lokalnym otoczeniem jonów Cr³⁺, opisywanym poprzez siłę pola krystalicznego, a charakterem obserwowanej fotoluminescencji. W szczególności wykazano możliwość kontrolowania udziału wąskopasmowej emisji spinowo

zabronionej ${}^2E_g \rightarrow {}^4A_{2g}$ oraz szerokopasmowej emisji spinowo dozwolonej ${}^4T_{2g} \rightarrow {}^4A_{2g}$ jonów chromu(III), co ma kluczowe znaczenie z punktu widzenia zastosowań termometrycznych.

W ramach rozprawy przeprowadzono kompleksową charakterystykę strukturalną i spektroskopową łącznie 38 próbek należących do pięciu grup materiałów opisanych w cyklu tematycznie spójnych publikacji P1–P5. Autor zbadał wpływ składu chemicznego na położenie i intensywność pasm emisyjnych, czasy życia stanów wzbudzonych oraz efekty sprzężenia elektron–fonon, analizując uzyskane wyniki w kontekście modeli opartych na teorii pola krystalicznego. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów zaproponowano oraz porównano różne strategie wyznaczania temperatury, obejmujące zarówno klasyczną metodę ratiometryczną, jak i podejście wykorzystujące kinetykę zaniku luminescencji, a także analizę wieloparametryczną. Wykazano, że odpowiedni dobór składu chemicznego pozwala na uzyskanie bardzo wysokich wartości czułości względnej w zakresie temperatur kriogenicznych, sięgających kilku procent na kelwin, co plasuje badane materiały wśród konkurencyjnych rozwiązań opisywanych w literaturze. Uzupełnieniem badań podstawowych było zaprezentowanie prototypowych układów termometrycznych pracujących zarówno w warunkach statycznych, jak i przy zmiennej temperaturze, co potwierdza aplikacyjny potencjał opracowanych materiałów jako bezkontaktowych czujników temperatury, działających również w warunkach kriogenicznych.

Doktorant w sposób niezwykle rzetelny zaplanował i zrealizował badania, co znalazło odzwierciedlenie w poszczególnych artykułach:

1. **Publikacja P1 (*ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2023):** Autor skupił się na syntezie, badaniach spektroskopowych i analizie termometrycznej serii podwójnych perowskitów typu $[EA]_2NaAl_{1-x}Cr_x(HCOO)_6$, które zawierały różne ilości domieszki jonów chromu(III), co pozwoliło na uzyskanie maksymalnej czułości termometrycznej równej 2.84 %/K przy 160 K dla próbki zawierającej 21 %mol. domieszki. Ponadto, w celu demonstracji praktycznego potencjału badanych materiałów, Autor zaprojektował i przetestował prototypowy układ pomiarowy, umożliwiający bezkontaktowy pomiar temperatury w warunkach kriogenicznych. Przeprowadzone eksperymenty wykazały możliwość rejestracji widm emisyjnych oraz poprawnego wyznaczania temperatury nawet w obecności oszronienia powierzchni, a także w

zakresie temperatur niedostępnym dla komercyjnych kamer termowizyjnych, co jednoznacznie potwierdza aplikacyjny charakter zaproponowanego rozwiązania.

- Publikacja P2 (*J. Mater. Chem. C*, 2024):** W drugiej pracy Pan Kabański kontynuował badania nad hybrydowymi podwójnymi perowskitami domieszkowanymi jonami Cr^{3+} , koncentrując się na nowym, dotychczas nieopisywanym układzie $[\text{EA}]_2\text{NaGa}_{1-x}\text{Cr}_x(\text{HCOO})_6$. Praca obejmowała kompleksową charakterystykę strukturalną i spektroskopową, w tym badania właściwości nieliniowych. Wykazano występowanie rzadkiego przejścia fazowego typu porządek–nieporządek pomiędzy dwiema niecentrosymetrycznymi fazami polarnymi, potwierdzonego pomiarami DSC oraz temperaturowo zależną analizą generacji drugiej harmonicznej. Szczegółowe badania luminescencji jonów Cr^{3+} pozwoliły na opracowanie modelu termometrii luminescencyjnej opartego na stosunku intensywności pasm emisyjnych, charakteryzującego się wysoką czułością względną w zakresie temperatur kriogenicznych.
- Publikacja P3 (*Adv. Opt. Mater.*, 2025):** W kolejnej pracy, Autor podjął próbę systematyzacji wiedzy na temat wpływu stężenia jonów chromu(III) na właściwości fizykochemiczne hybrydowych perowskitów mrówczanowych o strukturze $[\text{DMA}]\text{M}^{\text{II}}(\text{HCOO})_3 \cdot x\text{Cr}^{3+}$, zawierających różne jony metali w swojej strukturze ($\text{M}^{\text{II}} = \text{Zn}^{2+}, \text{Mn}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Ni}^{2+}, \text{Co}^{2+}$). W ramach tej pracy opracowano serię 20 materiałów o zróżnicowanym stężeniu jonów Cr^{3+} ($x = 0\text{--}5$ mol.%), otrzymanych metodą powolnej dyfuzji, co pozwoliło na przeprowadzenie kompleksowej analizy porównawczej wpływu zarówno rodzaju kationu M^{2+} , jak i poziomu domieszkowania. Badania strukturalne wykazały zachowanie symetrii trygonalnej oraz brak istotnego wpływu domieszkowania Cr^{3+} na strukturę krystaliczną, natomiast analiza spektroskopowa i pogłębione badania energii fononów ujawniły subtelne zmiany wynikające z wprowadzania defektów i wzrostu nieuporządkowania układu. Szczególną uwagę poświęcono właściwościom luminescencyjnym, które wykazały silną zależność od rodzaju kationu M^{2+} oraz temperatury. Uzyskane wyniki potwierdziły potencjał badanych hybrydowych perowskitów mrówczanowych jako materiałów funkcjonalnych do zastosowań w termometrii luminescencyjnej w szerokim zakresie temperatur. Wykazano, że badane perowskity mrówczanowe domieszkowane jonami Cr^{3+} mogą pełnić funkcję luminescencyjnych termometrów opartych na ratiometrycznej analizie intensywności pasm emisji ${}^2\text{E}_g \rightarrow {}^4\text{A}_g$ w

zakresie 80–230 K. Potencjał aplikacyjny materiałów potwierdzono w eksperymencie demonstracyjnym z wykorzystaniem miedzianej rurki częściowo zanurzonej w izolowanym pojemniku z ciekłym azotem, co umożliwiło zdalne śledzenie dynamicznych zmian temperatury w warunkach niestacjonarnych.

- Publikacja P4 (*Dalton Trans.*, 2025):** W pracy P4 doktorant rozszerzył model termometryczny opracowany w poprzednich publikacjach, wprowadzając analizę kinetyki zaniku luminescencji jako niezależny parametr pomiarowy. Badania objęły serię materiałów $[EA]Mg(HCOO)_3$ domieszkowanych Cr^{3+} (0–5 mol.%), wykazujących możliwość stosowania zarówno metody ratiometrycznej (porównanie intensywności pasm emisyjnych od przejść spinowo wzbronionych i dozwolonych jonów Cr^{3+}), jak i czasu zaniku emisji dla linii R_1 jonów Cr^{3+} jako wskaźnika temperatury. Analiza wykazała wysoką czułość termometryczną (czułość względna $\sim 3\%/K$) i szeroki zakres pracy czujnika (80–150 K dla większości próbek), przy czym połączenie obu metod znacząco zwiększa precyzję i stabilność pomiarów. Dodatkowo, publikacja podkreśla wpływ rozmiaru kationu organicznego na charakterystykę termometryczną, tj. bardziej linearny kation EA^+ sprzyjał wyższej czułości w porównaniu do DMA^+ , co stanowi istotną wskazówkę przy projektowaniu zaawansowanych materiałów luminescencyjnych do zdalnego monitorowania temperatury.
- Publikacja P5 (*J. Mater. Chem. C*, 2025):** W publikacji P5 doktorant rozszerzył koncepcję wieloparametrycznej termometrii luminescencyjnej, badając serię materiałów $[EA]Mn(HCOO)_3$ domieszkowanych Cr^{3+} (0–5 mol.%). W pracy porównano wydajność różnych modeli termometrycznych, w tym podejść ratiometrycznych opartych na kilku zakresach emisji oraz metody opartej na kinetyce zaniku luminescencji. Badania wykazały, że najbardziej wrażliwe parametry ratiometryczne, uwzględniające kontrast między pasmami I_1 i I_4 (składowe przejścia spinowo wzbronionego Cr^{3+}), osiągają względną czułość do 3,91%/K, natomiast metoda bazująca na średnim czasie zaniku umożliwia uzyskanie jeszcze wyższych czułości do 5,14%/K przy niskim stężeniu Cr^{3+} , wskazując, że optymalny zakres pomiarowy uzyskuje się przy minimalnym domieszkowaniu i silnym polu krystalicznym. Wyniki te potwierdzają skuteczność podejścia wieloparametrycznego, pozwalającego na zwiększenie precyzji i zakresu stosowania luminescencyjnych czujników temperatury w materiałach hybrydowych opartych o jony Cr^{3+} .



Pytania i uwagi:

- W części wstępnej autor napisał: „...*mechanoluminescence (resulting from mechanical interaction — scratching, friction)*...” – warto jednak zauważyć że istnieją również inne sposoby generowania machanoluminescencji jakie jak kruszenie kryształów, rozciąganie czy użycie fali akustycznej (np. ultradźwięków).
- Moją wątpliwość budzi zasadność bardzo długich (zbyt długich) komentarzy do artykułów naukowych i licznych wklejonych grafik z publikacji (średnio 3-5 stron na publikację), skoro i tak wklejone zostały całe publikacje wraz z materiałami uzupełniającymi. W moim odczuciu lepszy by był krótszy, bardziej zwięzły komentarz na 1-2 strony, bez dublowania grafik, które i tak zostały już wklejone poniżej każdej sekcji.
- Dlaczego absolutne i względne czułości temperaturowe były liczone na podstawie punktów danych (parametrów termometrycznych) a nie jako pochodna krzywych dopasowania, co jest częściej spotykanym podejściem? W wyniku podejścia zastosowanego przez Doktoranta, np. w publikacji P4, na rysunku 5a punkty przy 100 i 110 K dla próbki z 5% domieszką Cr^{3+} (strona 157 rozprawy) znacząco odbiegają od oczekiwanej tendencji monotonicznej, co jest spowodowane minimalnymi odchyleniami uzyskanych punktów danych (wartości parametru termometrycznego) od wartości oczekiwanych, modelowych.
- W wielu miejscach w pracy Autor używa określenia "*lifetime of luminescence*" (np. strona 19) czy "*luminescence lifetime*" (np. strona 21), co do zasady jest niepoprawne, gdyż można mówić o czasie zaniku luminescencji (ang. *luminescence decay time*) lub czasie życia stanu wzbudzonego (ang. *excited state lifetime*).
- Na stronach 19-22 Autor opisuje mechanizmy wygaszania luminescencji jonów chromu(III), wskazując jako główne mechanizmy termicznie indukowane przecięcie się parabol (tzw. *thermal cross-over*) i relaksację wielofononową. Czy Doktorant rozważał też inne mechanizmy wygaszania

luminescencji jonów chromu(III), takie jak np. wygaszanie się przez defekty, migracja energii czy jonizacja?

- Chciałbym zapytać na podstawie jakich danych, modeli zostały sporządzone diagramy konfiguracyjne na rysunku 7 (strona 20), jak również o wyjaśnienie dlaczego parabola dla stanu wzbudzonego 2E_g jest przesunięta względem tej dla stanu podstawowego ${}^4A_{2g}$, jak również z czym wiąże się różna krzywizna parabol dla stanów wzbudzonych ${}^4T_{2g}$ i ${}^4T_{1g}$?

- Doktorant używa w pracy określenia: "*high-phonon hosts*" (w tłumaczeniu: wysoko-fononowe matryce), gdzie powinno się mówić raczej o tzw. "*high-phonon energy hosts*" (tj. matrycach o dużej energii fononów).

- Na stronie 25 Author napisał: "However, the ratiometric technique also has certain limitations. Accurate measurements require well-separated emission bands to avoid spectral overlap. Also, the effect of the background luminescence and cross-sensitivity should be considered as a limiting factor." - warto było by jednak wspomnieć również o innych czynnikach przeszkadzających w tym przypadku, a mianowicie o reabsorpcji i rozpraszaniu światła w różnych ośrodkach i materiałach o zmiennej grubości, na co ma również wpływ geometra układu optycznego użytego do badań (co opisano szczegółowo np. w pracy: 10.1039/d3tc01684f).

- Na stronie 26 Autor napisał: "... and the uncertainty in determining the LIR parameter, which must be smaller than the analyzed temperature change." - rozumiem że zamiast "temperature change" powinno być "LIR change", czy tak?

- Niestety w kilku publikacjach pojawiły się błędy dotyczące opisu osi i jednostek na niej widniejących, np. na stronie 126 w publikacji P3 na rysunku 3 jednostki na osi X są oznaczone jako "eV" zamiast " cm^{-1} "; w pracy P4 (strona 155) na rysunku 2 na podpisie osi X podano "Energy (eV)" a powinno być "Wavenumber (cm^{-1})", podobnie jak na stronie 169 na grafice 2 w pracy P5.

- Czy Autor próbował zbadać użyteczność potencjalnego parametru termometrycznego opartego o stosunek intensywności pasma chromu(III) do intensywności generacji drugiej harmonicznej?



Osiągnięcia naukowe, dydaktyczne i organizacyjne doktoranta

Aktywność Pana mgr. inż. Adama Kabańskiego wykracza znacząco poza standardowe ramy pracy doktorskiej. Jego dorobek naukowy obejmuje łącznie **15 publikacji** w czasopiśmie z listy JCR, co świadczy o ogromnej pracowitości i doskonałej umiejętności pracy zespołowej.

Do najważniejszych osiągnięć dodatkowych należy zaliczyć:

- **Wystąpienia konferencyjne:** Doktorant wielokrotnie prezentował wyniki swoich badań na prestiżowych konferencjach krajowych i międzynarodowych, zdobywając liczne nagrody i wyróżnienia.
- **Praca dydaktyczna i opieka naukowa:** Pan Kabański wykazał się dużą dojrzałością w roli mentora, sprawując opiekę nad **10 stażystami i dyplomantami**. Wprowadzał ich w arkana pracy laboratoryjnej, metodologii pomiarowej oraz interpretacji danych, co świadczy o jego predyspozycjach do pracy akademickiej.
- **Działalność inżyniersko-techniczna:** Na szczególną uwagę zasługuje wdrożenie technologii druku 3D do budowy aparatury badawczej. Autor samodzielnie zaprojektował i wykonał modułowe przystawki do mikroskopu optycznego i spektrometru FLS 1000, co znacząco rozszerzyło możliwości pomiarowe jednostki macierzystej.
- **Stypendia, granty i nagrody:** Doktorant był aktywnym wykonawcą projektów badawczych (m.in. granty NCN), co pozwoliło mu na zdobycie doświadczenia w zarządzaniu badaniami i raportowaniu wyników. Ponadto, zdobył liczne stypendia, nagrody i wyróżnienia.

Podsumowanie

Rozpatrywana rozprawa prezentuje spójny i starannie wykonany materiał. Zawiera nowatorskie i intrygujące rezultaty eksperymentów oraz dogłębną analizę uzyskanych danych. Prezentowane pomiary i ich analiza jednoznacznie świadczą o starannym przygotowaniu Doktoranta do pracy laboratoryjnej. Warto nadmienić, iż przedstawiona rozprawa jest interdyscyplinarna, łącząc elementy chemii, fizyki i inżynierii materiałowej.

Moje uwagi nie zmniejszają wartości merytorycznej pracy doktorskiej Pana mgr. inż. Adama Kabańskiego, która w pełni spełnia najwyższe standardy naukowe na światowym poziomie. W mojej



ocenie, Jego praca doktorska ma znaczącą wartość naukową i dydaktyczną. Ponadto, rozprawa doktorska mgr. inż. Adama Kabańskiego stanowi wartościowy wkład w rozwój nauki i techniki, gdyż odkrycia zawarte w tej pracy mają potencjał do realnego zastosowania zarówno w nauce jak i w przemyśle, czyli wszędzie tam gdzie wykorzystuje się materiały luminescencyjne, jak również tam gdzie zachodzi potrzeba zdalnego monitorowania temperatury.

Recenzowana rozprawa doktorska stanowi wybitne osiągnięcie naukowe. Pan mgr inż. Adam Kabański wykazał się głęboką wiedzą teoretyczną, biegłością w zaawansowanych technikach eksperymentalnych oraz innowacyjnością w podejściu do problemów badawczych. Przedstawione wyniki mają charakter pionierski i w istotny sposób przesuują granice wiedzy w dziedzinie termometrii luminescencyjnej. Co więcej, bogaty dorobek naukowy (łącznie 15 artykułów w bardzo dobrych czasopismach naukowych) liczne wymienione powyżej osiągnięcia naukowe, dydaktyczne i organizacyjne doktoranta wskazują na jego wysoki poziom naukowy, co dobrze zapowiada jego dalszą karierę badawczą i jest przyczynkiem do roli samodzielnego naukowca.

W podsumowaniu pragnę potwierdzić, iż nie ulega dla mnie żadnej wątpliwości, że recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Adama Kabańskiego, zatytułowana „*High-sensitive luminescent thermometers based on formate hybrid perovskites containing Cr³⁺ ions*” spełnia ustawowe wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. Dz.U. z 2023 r. poz. 742 ze zm.) stawiane rozprawom doktorskim i może być dopuszczona do obrony. Wnoszę o dopuszczenie mgr. inż. Adama Kabańskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Ponadto, w związku z wielką wagą naukową rozprawy doktorskiej, szerokim zakresem prowadzonych prac, jak również innowacyjnością przedstawionych wyników badań w obszarze termometrii luminescencyjnej, wnoszę też do Rady Naukowej Instytutu Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Adama Kabańskiego.