

dr hab. inż. Marcin Kochanowicz, prof. PB
Politechnika Białostocka
Wydział Elektryczny
Katedra Fotoniki, Elektroniki
i Techniki Świetlnej
e-mail: m.kochanowicz@pb.edu.pl

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Mikołaja Łukaszewicza pt. „Wpływ temperatury na właściwości spektroskopowe szkieł i ceramiek domieszkowanych jonami erbu, neodymu i iterbu”

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska doktorskiej mgr inż. Mikołaja Łukaszewicza pt. „Wpływ temperatury na właściwości spektroskopowe szkieł i ceramiek domieszkowanych jonami erbu, neodymu i iterbu”, której promotorem jest dr hab. Radosław Lisiecki. Recenzja została na zlecenie Dyrektora Instytutu Niskich Temperatur i Badań strukturalnych im. Włodzimierza Trzebiatowskiego Polskiej Akademii Nauk prof. Andrzeja Jeżowskiego (pismo L. dz. 1483/SDN/2021z dnia 30.06.2021).

Tematyka i cel pracy

Dynamiczny rozwój fotoniki, w szczególności układów aktywnych tj. laserów i wzmacniaczy optycznych, który jest obserwowany od kilkunastu lat jest ściśle zależny od badań nad nowymi materiałami szklistymi. Niewątpliwie, dobrze opanowana technologia domieszkowania szkła krzemionkowego w procesie osadzania z fazy gazowej umożliwiła konstrukcję wysokosprawnych wzmacniaczy telekomunikacyjnych oraz laserów włóknowych dużej mocy. Jednakże, szkło krzemionkowe na dobrze znane ograniczenia tj. akceptacja małych stężeń ziem rzadkich oraz wysoka energia drgań fononów (1100 cm^{-1}). W rezultacie jego zastosowanie w układach umożliwiających emisję w zakresie średniej podczerwieni mocno ograniczone, a w zakresie widzialnym (współdomieszkowanie i mechanizm apkonwersji) praktycznie niemożliwe. Stąd też poszukiwania nowych wieloskładnikowych szkieł domieszkowanych jonami pierwiastków ziem rzadkich o właściwościach termicznych, oraz spektroskopowych umożliwiających ich aplikację w strukturach fotonicznych, zarówno planarnych, jak i w wersji włóknistej. Zastosowania wieloskładnikowych szkieł i włókien światłowodowych domieszkowanych lantanowcami obejmują również emisję „supercontinuum”, gdzie wykorzystuje się właściwości nieliniowe materiałów, ich luminescencję oraz kształtowanie dyspersji światłowodów. Nowym obszarem zastosowań luminescencyjnych materiałów optycznych są czujniki fotoniczne, a w szczególności bezkontaktowe pomiary temperatury. Wykorzystanie zmian właściwości luminescencyjnych szkła lub ceramiki wywołanych zmianami temperatury daje możliwość jej szybkiego i precyzyjnego bezkontaktowego pomiaru. Wymaga to poszukiwań nowych materiałów szklistych o niskiej energii fononów, która umożliwia uzyskanie, wykorzystywanego w termometrii luminescencyjnej efektywnego transferu energii donor-akceptor

oraz emisji w zakresie widzialnym uzyskanej na skutek zjawiska apkonwersji. Ponadto, w przypadku ich przetwarzania w światłowodach konieczna jest wysoka stabilność termiczna oraz odporność chemiczna i mechaniczna.

W tym obszarze zawiera się tematyka rozprawy doktorskiej mgr inż. Mikołaja Łukaszewicza. Dotyczy ona analizy mikroceramiki oraz opracowania nowych niskofononowych szkielek domieszkowanych jonami pierwiastków ziem rzadkich, zbadania ich właściwości spektroskopowych w ujęciu zależności temperaturowych oraz zaproponowanie modeli bezkontaktowej termometrii luminescencyjnej. Tak zdefiniowany obszar merytoryczny rozprawy pozwolił na sformułowanie następujących celów:

- Otrzymanie nowych szkielek laserowych (TZPN, GTSN) i zbadanie ich stabilności temperaturowej oraz właściwości spektroskopowych, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu zmian temperatury na w/w właściwości;
- Zaproponowanie praktycznych modeli bezkontaktowej termometrii luminescencyjnej;
- Wykorzystanie opracowanych modeli termometrii do badania związanych z temperaturą zjawisk zachodzących podczas pomiarów spektroskopowych, takich jak nagrzewanie się próbki wraz rosnącą mocą wiązki wzbudzającej;
- Zaproponowanie hybrydowej metody bezkontaktowego pomiaru temperatury w szerokim zakresie wysokich temperatur dla materiałów charakteryzujących się wysoką stabilnością temperaturową.

Należy zauważyć, że systematyczne badania spektroskopowe (w ujęciu temperaturowym) nad szkielekami łączącymi niską energię fononów, wysoką odporność chemiczną, stabilność termiczną oraz dobre parametry luminescencyjne należą do rzadkości. Prezentowana w rozprawie tematyka jest aktualna, wysoce aplikacyjna i jest jednym z obszarów badań czołowych ośrodków światowych pracujących w obszarze inżynierii materiałów fotonicznych. Stwierdzam, że przyjęte przez Doktoranta założenia są słuszne, a problem naukowy został sformułowany trafnie i jasno.

Układ pracy

Przedstawiona do oceny rozprawa jest podzielona na osiem głównych rozdziałów. W punkcie 7 zawarto dorobek naukowy, zaś punkt 8 stanowią opublikowane przez Doktoranta prace naukowe, w których zawarto szczegółowe wyniki badań opisanych w rozprawie doktorskiej [Th1-Th5]. Praca mgr inż. Mikołaja Łukaszewicza ma charakter eksperymentalny. Na pokreślenie zasługuje fakt, iż wszystkie prace wchodzące w skład rozprawy ulokowano w dobrych czasopismach o zasięgu międzynarodowym o sumarycznym współczynniku wpływu wynoszącym 21,937.

We wstępie Autor przedstawia bezkontaktowe pomiary metody pomiaru temperatury oraz trafnie wskazuje na możliwość wykorzystania materiałów luminescencyjnych w tychże pomiarach. Ponadto, opisuje podstawowe zjawiska fizyczne pozwalające na wykorzystanie szkielek i ceramiek aktywowanych jonami pierwiastków ziem rzadkich w termometrii luminescencyjnej. Prawidłowo uzasadnia również dobór użytych do badań materiałów oraz użytych domieszek lantanowców (Er/Yb, Er, Nd, Yb, Nd/Yb). W rozdziale drugim Doktorant zwięźle omówił prace naukowe (badane materiały, metody pomiarowe, najważniejsze wyniki) wchodzące w skład pracy doktorskiej, przedstawił cele badawcze wraz z zaznaczeniem prac, których one dotyczą. Co istotne w przypadku prac wieloautorskich, jednoznacznie wskazał również swój dominujący udział w prowadzonych badaniach.

Należy podkreślić, że doktorant zaprezentował aktualny materiał źródłowy, który jest ściśle związany z tematyką przeprowadzonych badań. Pozwala to stwierdzić, że mgr inż. Mikołaj Łukaszewicz posiada pogłębioną wiedzę tematyki prowadzonych prac. Doktorant wskazuje również perspektywy kontynuacji prac badawczych.

Stwierdzam, że układ pracy jest poprawny - pozwala na jednoznaczną ocenę własnych osiągnięć Doktoranta. Na wyróżnienie zasługuje również strona graficzna pracy. Ponadto, należy zaznaczyć, że mgr inż. Mikołaj Łukaszewicz projektował również okładki znaczących czasopism naukowych.

Ocena pracy

Analizując pracę doktorską należy stwierdzić, że została ona zaplanowana w celu przeprowadzenia systematycznych badań nad właściwościami spektroskopowymi materiałów fotonicznych (ceramika oraz szkła) domieszkowanych jonami pierwiastków ziem rzadkich w ujęciu temperaturowym. Są w niej zawarte badania podstawowe, jednakże ukierunkowane na cele aplikacyjne jakimi są nowe szkła aktywne oraz ich aplikacja w bezkontaktowej termometrii luminescencyjnej.

W pracy Th1 Autor zbadał właściwości spektroskopowe ceramiki $Y_2O_3:Er^{3+}/Yb^{3+}$ w funkcji temperatury. Nowymi, aspektami przedstawionymi w tej pracy są zbadanie: a) wpływu warunków eksperymentalnych (próżnia, powietrze, skupienie wiązki), b) wpływu skupienia wiązki na uzyskiwane wyniki oraz c) zaproponowanie modelu ilorazowego wykorzystującego prawo Plancka (inkadescencja) rozszerzającego zakres pomiarowy do 2100K (brak zakresu pomiarowego 1100K – 1300K). Autor wskazuje, że w celu ograniczenia nagrzewania próbki warto możliwie zmniejszyć moc pompy jak również zastosować osłonę gazu o wysokim przewodnictwie cieplnym. Jednakże, nie wskazuje jaka jest konieczna minimalna moc promieniowania wzbudzającego, jak również nie proponuje konkretnego gazu.

Prace Th2,3 dotyczą badania właściwości termicznych oraz temperaturowych zależności właściwości spektroskopowych szkła oksyfluorotellurynianowego TZPN kodomieszkowanego Er^{3+}/Yb^{3+} oraz domieszkowanego Er^{3+} opracowanego przez zespół, w którym pracuje Doktorant. Przypadku zastosowania klasycznej metody FIR (green to red ratio) Autor wykazał wpływ stężenia Yb^{3+} oraz uzyskał większą niż w przypadku szkieł krzemianowych względną czułość pomiarową ($0,46\%K^{-1}$, $T=400K$). Bez komentarza zostaje jednak niewielka zmiana natężenia luminescencji w paśmie $1,55 \mu m$ do 475 K. W przypadku szkła TZPN domieszkowanego jonami Er^{3+} Doktorant analizuje możliwość wzmocnienia promieniowania w paśmie $1,55 \mu m$. i przewiduje na podstawie analizy przekrojów czynnych uzyskanie płaskiej charakterystyki wzmocnienia w paśmie C oraz L. Badania temperaturowe doprowadziły do zaproponowania trzech metod pomiarowych na bazie techniki FIR w zakresie widzialnym oraz NIR oraz dwóch wykorzystujących pomiar zaniku luminescencji w zakresie VIS oraz NIR. Autor proponuje naprzemienne używanie opracowanych modeli termometrii: ${}^2H_{11/2}$ to ${}^4S_{3/2}$ oraz ${}^2H_{11/2}+{}^4S_{3/2}$ to ${}^4F_{9/2}$ (red to green). Rozwiązanie takie pozwoli na uzyskanie czułości co najmniej $0,44\%K^{-1}$. Jednakże, praktyczna realizacja tego modelu zdaniem recenzenta może być trudna. Otwartym pytaniem pozostaje również koszt termometru luminescencyjnego wykorzystującego pomiar czasu zaniku luminescencji.

W kolejnym kroku doktorant opracował i zbadał właściwości termiczne, strukturalne szkła GTSN domieszkowanego Nd^{3+} (Th4) oraz Nd^{3+}/Yb^{3+} (Th5). Na szczególną uwagę zasługuje stabilność termiczna opracowanego szkła. Parametr $\Delta T > 220^\circ C$ jednoznacznie wskazuje na możliwość wyciągania włókien światłowodowych. Po podstawowej charakteryzacji szkła Doktorant kontynuuje badania spektroskopowe pod kątem termometrii luminescencyjnej. W przypadku szkła domieszkowanego

0,5 Nd_2O_3 uzyskano doskonałą czułość względną wynoszącą $3,08\% \text{K}^{-1}$ przy $T=300\text{K}$ (${}^4\text{F}_{7/2} - {}^4\text{I}_{9/2}/{}^4\text{F}_{3/2} - {}^4\text{I}_{9/2}$). Jednak, ze względu na najlepszą rozdzielczość temperaturową na model wykorzystujący przejścia ${}^4\text{F}_{5/2} - {}^4\text{I}_{11/2}/{}^4\text{F}_{3/2} - {}^4\text{I}_{11/2}$ został uznany za możliwy w praktycznej aplikacji. Należy zwrócić uwagę, że Doktorant zbadał powyższe zależności również dla domieszek zakresu $(0,2 - 3)\% \text{Nd}_2\text{O}_3$ (Th4 – suplement). Naturalnym krokiem, który Autor wykonał jest badanie możliwości zastosowania szkła GTSN kodomieszkowanego $\text{Nd}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ w termometrii luminescencyjnej. W tym układzie (pompa 803 nm, Nd-donor, Yb – akceptor) największą czułość pomiarową ($0,75\% \text{K}^{-1}$, $0,5\text{Nd}_2\text{O}_3/4\text{Yb}_2\text{O}_3$) uzyskano analizując FIR przejść Nd^{3+} : ${}^4\text{F}_{5/2} - {}^4\text{I}_{11/2}$ oraz Yb^{3+} : ${}^2\text{F}_{5/2} - {}^2\text{F}_{7/2}$, co jest zbliżonym rezultatem uzyskanym dla szkła domieszkowanego jedynie Nd^{3+} .

Podsumowując, stwierdzam, że zaprezentowane wyniki pracy stanowią wyraźny wkład w obszarze spektroskopii szkieł i ceramik fotonicznych domieszkowanych jonami pierwiastków ziem rzadkich.

Realizacja pracy wymagała od Autora kompleksowego podejścia obejmującego charakteryzację właściwości termicznych, strukturalnych oraz spektroskopowych ceramiki oraz opracowanych szkieł wraz z pogłębioną dyskusją pozwalającą na analizę właściwości luminescencyjnych w ujęciu temperaturowym. Analiza recenzowanej rozprawy pozwala stwierdzić że, opracowane i badane materiały fotoniczne mogą zostać zastosowane w bezkontaktowej termometrii luminescencyjnej. Właściwy dobór metod technologicznych analitycznych i pomiarowych oraz wnioski wynikające z wykonanych prac pozwalają stwierdzić, że postawione Doktorantowi zadanie zostało rozwiązane poprawnie, a cel rozprawy osiągnięty.

Uwagi wynikające z lektury rozprawy

Recenzując rozprawę doktorską mgr inż. Mikołaja Łukaszewicza stwierdzam, że nie posiada ona błędów merytorycznych i została zrealizowana poprawnie. Strona edytorska pracy jest poprawna, a graficzna doskonała. Można znaleźć pojedyncze, nie wpływające na ocenę pracy błędy literowe (np. str. 18 „opsianych”, Th4 Tabela 4 – „ ${}^4\text{F}_{7/2}^4$ ”). Celowe byłoby jednak zwrócenie uwagi na następujące kwestie:

- w pracy Th1 Doktorant używa pojęcia wiązka skupiona oraz nie skupiona. Co prawda w części eksperymentalnej podana jest wielkość plamki lasera pompującego, jednakże uważam, że w przypadku analizowanych procesów konwersji w górę celowym byłoby podawanie gęstości mocy pompy (również w pozostałych pracach).
- Th1 – nie podano informacji o czasie stabilizacji termicznej układu.
- Th2 – Czy analizowane były możliwe przyczyny małych zmian natężenia luminescencji w paśmie $1,55\ \mu\text{m}$ (do $T=475\text{K}$)?
- Th2 – Precyzja odczytu temperatury pieca była na poziomie $\pm 5\text{K}$. Jak ten parametr się ma do dokładności uzyskiwanych wyników?
- Th4 - Uzyskano doskonałą czułość względną wynoszącą $3,08\% \text{K}^{-1}$ przy $T=300\text{K}$ (${}^4\text{F}_{7/2} - {}^4\text{I}_{9/2}/{}^4\text{F}_{3/2} - {}^4\text{I}_{9/2}$). Jednak, ze względu na najlepszą rozdzielczość temperaturową na model wykorzystujący przejścia ${}^4\text{F}_{5/2} - {}^4\text{I}_{11/2}/{}^4\text{F}_{3/2} - {}^4\text{I}_{11/2}$ został uznany za możliwy w praktycznej aplikacji. Czułość z tym przypadkiem jest dużo mniejsza. Proszę o wyjaśnienie tej kwestii.
- Doktorant wiąże bezpośrednio rozdzielczość temperaturową z odchyleniem standardowym odczytu temperatury. Zdaniem recenzenta, z metrologicznego i aplikacyjnego punktu widzenia celowym byłaby analiza niepewności pomiarowej.

Uwagi te podnoszę z racji obowiązku recenzenta. Dotyczą one szczegółów, które nie wpływają na wartość recenzowanej rozprawy doktorskiej, którą oceniam wysoko.

Konkluzja

Stwierdzam, że mgr inż. Mikołaj Łukaszewicz rozwiązał postawiony w pracy problem naukowo-badawczy wymagający zarówno szerokiego zasobu wiedzy teoretycznej, jak też zawansowanych umiejętności w zakresie technologii i spektroskopii materiałów fotonicznych.

Dopełnieniem wizerunku doktoranta jest Jego dorobek naukowy, na który składa się 11 artykułów z listy JCR, 6 uzyskanych patentów, udział w 6 konferencjach naukowych. Indeks Hirscha wynosi 8.

Reasumując uważam, że w opiniowana rozprawa doktorska pt.: **Wpływ temperatury na właściwości spektroskopowe szkielek i ceramiki domieszkowanych jonami erbu, neodymu i iterbu” spełnia warunki** określone w art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku. o stopniach naukowych i tytułach z zakresu sztuki (Dz. U. 2017, poz. 1789) oraz rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 30 stycznia 2018 roku w sprawie szczegółowego trybu przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. 2018, poz. 261) i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Ponadto, na podstawie przedstawionych w recenzji osiągnięć oraz wysokiego poziomu merytorycznego rozprawy, w tym publikacji wyników badań dysertacji w renomowanych czasopiśmie z listy JCR oraz dorobku naukowego, wnioskuję o jej wyróżnienie.

