

Recenzja rozprawy doktorskiej
Pana mgr. inż. Radosława Deski
pt. „Photophysical effects in single nanoobjects”
(„Efekty fotofizyczne w pojedynczych nanoobjektach”)

Rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Radosława Deski została przygotowana w Katedrze Inżynierii i Modelowania Materiałów Zaawansowanych na Wydziale Chemii Politechniki Wrocławskiej pod kierunkiem dr hab. inż. Katarzyny Matczyszyn, w grupie badawczej o uznanej w świecie renomie naukowej w zakresie badań właściwości optycznych ośrodków.

Pan mgr inż. Radosław Deska przedstawił rozprawę doktorską w formie monografii naukowej. Część wyników opisanych w monografii została już wcześniej opublikowana a jeden z rozdziałów prezentuje nowe, jeszcze nie opublikowane, wyniki. W przypadku rozdziału 2 oraz 4, dla których wyniki zostały już opublikowane w pracach wieloautorskich, Doktorant stosuje w monografii pierwszą osobę liczby pojedynczej do wyraźnego wskazania jego wkładu do już opublikowanych wyników badań. W przypadku, gdy wyniki były uzyskane przez inne osoby z zespołu, Doktorant stosuje formę bezosobową. Monografia została przygotowana w języku angielskim i liczy 95 stron plus 13 stron streszczenia w języku angielskim i polskim, spisu treści oraz indeksu stosowanych skrótów w pracy.

Rozdział 1 przygotowuje czytelnika do lektury rozdziału 2, 3 oraz 4 przedstawiających osiągnięcia Doktoranta. Zawiera on przegląd literatury oraz ogólne spojrzenie na omawiane zagadnienia badawcze od strony teoretycznej oraz od strony eksperymentalnej i przedstawia też motywację podjęcia się omawianych w monografii badań.

Rozdział 2 prezentuje uzyskane przez Doktoranta wyniki dla mikrokryształów chinakrydonu oraz cienkiej warstwy zdeponowanej na szkle przy zastosowaniu dwufotonowo wzbudzonej luminescencji. Wyniki opisane przez Doktoranta w tym rozdziale monografii zostały już wcześniej opublikowane w *Dyes and Pigment*, 177, 2020, 108268. W pracy tej Doktorant jest też pierwszym autorem. Natomiast w przedstawionej mi do recenzji monografii Doktorant wyraźnie opisuje swój wkład do powstania tej pracy stosując pierwszą osobę liczby pojedynczej. Stosowana informacja o wkładzie wszystkich autorów do badań opisanych w tej monografii podana jest też w samej opublikowanej pracy. W mojej opinii wykazany przez Doktoranta wkład do tych badań jest znaczący. W monografii Doktorant raportuje, że dla cienkiej warstwy oraz dla wszystkich wybranych do badań mikrokryształów obserwuje się dwufotonowo wzbudzoną luminescencję. Dla cienkiego filmu oraz dla struktury krystalicznej, oznaczonej jako I, dwufotonowo wzbudzana luminescencja charakteryzuje się stosunkowo wąskim pasmem emisji a natężenie emisji w zakresie niskich energii jest stosunkowo niskie. Z kolei dla mikrokryształów o rozbudowanej powierzchni quasi-sferycznej (oznaczonej przez Doktoranta jako typ II oraz III) natężenie emisji w zakresie niskich energii wyraźnie rośnie a samo pasmo emisji jest wyraźnie szersze. Otrzymane wyniki dyskutowane są w odniesieniu do dostępnych danych literaturowych. Doktorant wykazał, że natężenie emisji wzbudzonej dwufotonowo dla cienkiej warstwy oraz dla struktury II zależy odpowiednio od potęgi 1,8 oraz 1,6 mocy wzbudzenia przy teoretycznie oczekiwanej wartości 2, zakładając procesy dwufotonowe. Doktorant odnosi się też do informacji literaturowych potencjalnie wyjaśniających ten efekt. Zastanawiam się jednak jak na uzyskane wyniki (uzyskana potęga mniejsza niż 2) wpływa fakt, że badane struktury nie stanowią jednorodnego optycznie ośrodka i wpływ rozpraszania fotonów pompy oraz fotonów emisji na niejednorodnej optycznie strukturze może być istotny. Sam spotkałem się ze znacznym obniżeniem wartości mierzonego sygnału eksperymentalnego przy pomiarach absorpcji stacjonarnej oraz absorpcji przejściowej dla związku umieszczonego w pastylce KBr względem wartości sygnałów eksperymentalnych rejestrowanych w

roztworze. Jednakże obserwacje te poczyniono przy innych parametrach wiązki pompującej (100 μm) i sondującej (400 μm) i w przypadku wzbudzenia jednofotonowego.

Ponadto w rozdziale tym Doktorant raportuje, że generację drugiej harmonicznej, w stosunkowo wąskim zakresie widmowym, zaobserwowano tylko dla kryształów o dobrze rozbudowanej powierzchni quasi-sferycznej (struktura II oraz III). Co ciekawe na podstawie obecnej wiedzy wszystkim polimorficznym odmianom chinakrydonu przypisuje się obecność środka inwersji, co z kolei sugeruje brak możliwości generacji drugiej harmonicznej. Doktorant generację drugiej harmonicznej dla kryształów o dobrze rozbudowanej powierzchni quasi-sferycznej tłumaczy poprzez złamanie symetrii na powierzchni.

W końcowej części rozdziału Doktorant podaje wyznaczone wartości przekroju czynnego na absorpcję dwufotonową dla opisywanych w tym rozdziale układów. W przypadku cienkiego filmu oraz kryształów występujących w postaci płytek wyznaczone współczynniki są prawie trzy rzędy wielkości większe niż dla kryształów quasi-sferycznych, co Doktorant łączy z różną morfologią.

*Uwagi edycyjne do rozdziału 2.*¹

1. Na Fig. 2.6. sugeruję stosować nazwy używane w tekście pracy oraz w podpisie rysunku. Zamiast „layer” lepiej było użyć „thin film”.
2. W mojej opinii w podpisie Fig. 2.4.B, oraz od podpisach od Fig. S2.3 do Fig. S.2.6 powinna znaleźć się jawnie informacja o sygnale zarejestrowanym w okolicach 400 nm.

Pytania do rozdziału 2.

1. Jak interpretować słaby sygnał zarejestrowany w okolicach 400 nm widoczny na Fig. S2.7 dla cienkiego filmu?
2. Czy na Fig. S2.8 uzyskane wyniki dla struktury III-a oraz III-b, dla wartości długości fali wzbudzenia poniżej 850 nm, są identyczne?
3. Jak wygląda widmowa krzywa czułości dla zastosowanego układu detekcji emisji (siatki dyfrakcyjnej, detektora)? Pytanie związane jest z dużym „zaszumieniem” sygnału na widmach emisji w zakresie powyżej 700 nm. Ponadto dla cienkiej warstwy widmo emisji „niefizycznie” zanika na skraju długofalowym pokazanym na Fig. S.2.7. O ile stosowano korekcję widmową surowych widm emisji to jaka to była procedura?
4. Na Fig. 2.5 podane jest widmo absorpcji przejściowej zarejestrowane dla opóźnienia 8 ps. Czy widmo oprócz tego, że jest 15 razy zwiększone jest dodatkowo przesunięte na osi OY? Brak jest odpowiedniego komentarza w podpisie rysunku oraz w tekście pracy.
5. Jak wygląda widmo absorpcji dla podkładu na jakim zdeponowano cienki film?
6. Jak wygląda widmo absorpcji dla cienkiego filmu poniżej 500 nm (To samo pytanie dotyczy też rozdziału 3)?
7. Fig. 2.6. Jakie były wartości współczynników *a* (tzw. *intercept*, przecięcie z osią OY) w tych dopasowaniach? W monografii oraz także w opublikowanej pracy podano tylko wartości nachylenia (*slope*).

Rozdział 3 „Pump-probe investigation of quinacridone thin film” prezentuje nowe, nieopublikowane jeszcze wyniki. W mojej ocenie wyniki uzyskane metodą czasowo rozdzielczego rozpraszania Brillouina oraz czasowo rozdzielczej absorpcji przejściowej w zakresie widzialnym dla cienkiej warstwy chinakrydonu te są bardzo interesujące i ważne. Niestety opis tych wyników jest zbyt ogólny bez szczegółów pozwalających czytelnikowi, nie będącym specjalistą w dziedzinie ultraszybkiej spektroskopii laserowej, na szczegółowe zapoznanie się z uzyskanymi obserwacjami. Zwłaszcza uzyskane wyniki absorpcji przejściowej powinny być opisane bardziej szczegółowo. Wyniki zaprezentowane w tym rozdziale sugerują mechanizm trójfotonowy wskutek absorpcji dwufotonowej zachodzącej ze stanu podstawowego z jednoczesną absorpcją trzeciego fotonu przez stan elektronowo wzbudzony (dwufotonowo). W rozdziale tym Doktorant wykorzystując wyniki femto-sekundowej

¹ W przypadku wymienionych uwag edycyjnych nie oczekuję szczegółowych odpowiedzi na moje uwagi edycyjne w takcie publicznej obrony. Są to uwagi, które w mojej ocenie powinny pozwolić na szybsze przyswojenie zawartości merytorycznej pracy przez czytelników niebędącymi specjalistami.

absorbpcji przejściowej wraz z femto-sekundową spektroskopią Brillouinna oraz korzystając z innych dostępnych danych wyznacza niezależnie współczynniki absorpcji wielofotonowej.

Przy analizie danych przedstawionych na Fig. 3.6 zastosowano dopasowanie do modelu dwufotonowego oraz trójfotonowego podając odpowiednio $\eta_{2PA}=1.548e-09F_i^2$ oraz $\eta_{3PA}=1.025e-11F_i^3$. Z przedstawionej analizy w nomografii nie wynika na jakiej zasadzie ograniczono zakres gęstości energii w przypadku dopasowania dla procesów dwufotonowych.

Brak ponadto uzasadnienia merytorycznego zastosowania długości fali jednofotonowego wzbudzenia 420 nm oraz 500 nm w przypadku przeprowadzonego eksperymentu absorpcji przejściowej dla cienkiej warstwy chinakrydonu. Potencjalnie najlepsza długość fali wzbudzenia w tym eksperymencie to 386 nm. Byłoby to bezpośrednie porównanie z wynikami czasowo rozdzielczego rozpraszania Brillouina, uzyskanymi w innym laboratorium, przy wzbudzeniu dwufotonowym stosując długość fali 772 nm. Ponadto prezentowane widma absorpcji przejściowej powinny być zestawione ze stacjonarnym widmem absorpcji cienkiej warstwy chinakrydonu oraz z widmem emisji w wyniku wzbudzenia jednofotonowego dla stosowanej długości fali pompy. Powinno to pozwolić na lepsze zrozumienie przedstawionych przez Doktoranta widm absorpcji przejściowej.

Uwagi edycyjne do rozdziału 3.

1. Brak konsekwencji w stosowaniu zapisów liczb. Doktorant stosuje notację naukową oraz zapis w postaci wykładniczej. W mojej opinii w monografii Doktorant powinien zdecydować się na jeden sposób zapisu i stosować go konsekwentnie w całej pracy włączając w to dane podawane na wykresach. Przykładowo na stronie 55 mamy trzy różne sposoby zapisu:
 - a) 6.13×10^{-5} ,
 - b) $1.8 \cdot 10^{-11}$ oraz
 - c) $1.548e-09$.
2. Nieprecyzyjny opis zawartości Fig. 3.2.a. Autor w podpisie podaje „Transient reflectivity ...” a faktycznie na rysunku pokazano „Derivative of transient reflectivity”. Ponadto domyślam się, że na Fig. 3.2 wyniki dla rosnących gęstości energii zostały przesunięte na osi OY w celu lepszej prezentacji danych. Brak jest jednak takiej informacji dla czytelnika.
3. Doktorant zazwyczaj stosuje jednostkę $mJ \times cm^{-2}$ jako jednostkę gęstości energii zastosowanego lasera. Jednak na Fig. 3.6 wyjątkowo zastosowano jednostkę $J \times m^{-2}$, co ma uzasadnienie ze względu na jednostki stosowane we wzorze 3.3. (str. 55). Sugeruję informowanie czytelnika o zmianie jednostki stosowanej wyjątkowo tylko na jednym rysunku.
4. Na Fig. 3.4 oś OY jest opisana jako „Amplitude @ 16GHz” a z kolei na na Fig. 3.5 oś OY jest opisana „Strain @ 16 GHz”. Ponadto oś OY jest przeskalowana przez współczynnik 10^{-5} na Fig. 3.4 ale na Fig. 3.6 czynnik skalujący to $1e-4$. Sugeruję stosowanie jednolitej metody zapisu w całej pracy i wydaje się, że najlepszym sposobem zapisu czynnika skalującego jest stosowanie 10^{-4} zamiast $1e-4$.
5. Proszę o sprawdzenie wartości oraz jednostki współczynnika podanego we wzorze 3.3.
6. Na Fig. 3.6. sugeruję zamiast $\eta_{2PA}=1.548e-09F_i^2$ oraz $\eta_{3PA}=1.025e-11F_i^3$ podać odpowiednio $\eta_{2PA}=1.548 \times 10^{-9} F_i^2$ oraz $\eta_{3PA}=1.025 \times 10^{-11} F_i^3$. Poza tym wartości uzyskanych parametrów dopasowania powinny być jawnie podane w tekście.
7. Fig. 3.7.a w wersji wydrukowanej pracy przekazanej mi do recenzji zawiera parametry dopasowania jako legendę. Kolor legendy uzyskany na wydruku nie pozwala jednak jednoznacznie przypisać parametrów dopasowania do przedstawionych kinetyk (chodzi o kinetyki dla 772 nm oraz dla 570 nm).

Pytania do rozdziału 3.

1. Jak wygląda stacjonarne widmo absorpcji cienkiej warstwy chinakrydonu w zakresie widmowym poniżej 500 nm? Widmo przedstawione na Fig. 2.5 pokazuje jedynie dane od 500 nm.
2. Jak wygląda sygnał eksperymentalny zmierzony przed jego zróżniczkowaniem (Fig. 3.2.a)?

Rozdział 4 zawiera, wykonane przez Doktoranta, obliczenia metodą elementów skończonych, mające pomóc w interpretacji potencjalnych wyników eksperymentalnych zajmujących się aktywnością optyczną dla dimerów bipiramid o różnych wielkościach wykonanych ze złota dla różnych kątów oraz odległości między bipiramidami. W celu wyznaczenia realnych odległości oraz względnego ustawiania kąтового pomiędzy dwoma bipiramidami oraz rozmiarów tych bipiramid, potrzebnych do

wykonania obliczeń, Doktorant wykorzystał dane uzyskane z obserwacji wykonanych samodzielnie w transmisyjnym mikroskopie elektronowym dla zsyntetyzowanych w ramach współpracy, z inną grupą badawczą, dimerów bipiramid oraz wykorzystał dostępne dane literaturowe. Obliczenia wykonane przez Doktoranta skoncentrowały się na określeniu różnicowej absorpcji oraz różnicowego rozpraszania światła dla polaryzacji lewo oraz prawoskrętnej w zależności od długości fali oraz na względnym porównaniu wkładów od tych dwóch efektów dla dimerów bipiramid. Interesującym wynikiem wydaje się być wykazanie przez Doktoranta, że na podstawie pomiarów dichroizmu kołowego (absorpcja oraz rozpraszanie) można określić wzajemne położenie monomerów bipiramid bez konieczności stosowania technik subdyfrakcyjnych. Bardzo ciekawa była by eksperymentalna weryfikacja przewidywań teoretycznych poczynionych przez Doktoranta. Doktorant wykazał także że w układzie dimerów złotych bipiramid można uzyskać duży współczynnik asymetrii ekstynkcji równy - 0.3 dla konfiguracji Up-Down i kąta 31° pomiędzy dwoma bipiramidami dla energii fotonów 1.9 eV. W tym miejscu zabrakło mi dyskusji o bezwzględnej wartości uzyskanych sygnałów, gdyż można sobie wyobrazić dużą wartość współczynnika g-factor przy bardzo małej wartości mierzonych wielkości eksperymentalnych.

Podobnie jak wyniki opisane w rozdziale 2 także i te wyniki zostały już wcześniej opublikowane. W tym przypadku w *Journal of Physical Chemistry Letters*, 12, 2021, 5208. Także i w tej pracy Doktorant jest pierwszym autorem. Podobnie jak w całej monografii Doktorant i w tym rozdziale monografii stosuje pierwszą osobę liczby pojedynczej w celu wyjaśnienia jaki był jego zakres jego prac w celu uzyskania tych wyników badań. W mojej opinii opisany przez Doktoranta wkład w przedstawione wyniki badań dla dimerów bipiramid jest istotny.

Uwagi edycyjne do rozdziału 4.

1. Sugeruję stosowania tego samego formatowania bibliografii podanej na stronie tytułowej rozdziału 2 oraz na stronie tytułowej rozdziału 4. Na stronie tytułowej rozdziału 2 Autor podaje „*Dyes and Pigments* 177 (2020) 108268” a na stronie tytułowej rozdziału 4 Autor podaje „*J. Phys. Chem. Lett.* 2021 12(21), 5208-5213”.
2. Na Fig. S4.1 – Fig. S4.3 sugeruję stosowanie czcionki o odpowiedniej wielkości umożliwiającej odczytanie legend oraz opisów osi (zwłaszcza osi OY). W wersji drukowanej jaką otrzymałem do recenzji jakość wydruku nie pozwala na odczytanie zawartych tam informacji.
3. Dobrze byłoby zamieścić w pracy graficzną interpretację parametrów określających kształt bipiramid modelowanych w obliczeniach i zamieszczonych w Tab. 4.1 (str. 69). Ułatwi to czytelnikowi szybsze zrozumienie sensu fizycznego tych parametrów.
4. Doktorant stosuje różne współczynniki skalujące oś OY na wykresach zamieszczonych w tym rozdziale: 10^{-13} albo 10^{-14} . Lepszym rozwiązaniem mogłoby być stosowanie tego samego współczynnika skalującego w całym rozdziale, albo przynajmniej dla wybranych rysunków. Ułatwi to łatwiejsze porównywanie danych z różnych wykresów. Ponadto mylące może być stosowanie współczynnika skalującego w przypadku danych podanych na przykład na Figure 4.7. W tym przypadku czynnik skalujący skaluje bezpośrednio prezentowaną wielkość fizyczną a nie wartości liczbowe podane na osi OY. W takim przypadku zalecane jest zastosowanie czynnika skalującego 10^{+13} zamiast 10^{-13} . Ponadto idealnie byłoby gdyby skale na osi OY były takie same w przypadku niektórych, wybranych wykresów. Przykładowo idealnie byłoby mieć takie same skale dla paneli 1a, 1b oraz 1c na Figure 4.7. Pozwoli to na szybkie graficzne ocenienie wkładu od absorpcji i rozpraszania, co doktorant dyskutuje w treści monografii przy okazji omawiania tych danych.
5. Z analizy danych zamieszczonych Na Fig.S4.4 wynika, że niektóre z przedstawionych wykresów pokrywają się. Brak jest jednak takiej informacji dla czytelnika.

Pytania do rozdziału 4.

1. Nie jest dla mnie jasne dlaczego do obliczeń przyjęto następujące wartości rozmiarów bipiramid: 102×36 nm (dla większych bipiramid) oraz 68×24 nm (dla mniejszych bipiramid) przy wartościach średnich, wynikających z obserwacji eksperymentalnych, wykonanych przez Doktoranta, podanych na stronie 67, odpowiednio 93×35 nm oraz 71×27 nm.

W ostatnim rozdziale monografii Doktorant podsumowuje najważniejsze swoje osiągnięcia oraz podaje propozycję kolejnych kroków w celu rozwiązania problemów, jakich nie udało się rozwiązać w

ramach jego pracy nad tematyką rozprawy. Przykładowo Doktorant zauważa, że należy zwrócić uwagę na korelację pomiędzy właściwościami optycznymi a budową krystalograficzną (morfologią) z punktu widzenia potencjalnych aplikacji w elektronice i fotowoltaice. Ważnym wynikiem jest także wykazana przez Doktoranta możliwość zachodzenia procesów wielofotonowych także z udziałem stanu wzbudzonego elektronowo. Procesy takie można jedynie badać wykorzystując w tym celu techniki rozdzielcze w czasie. Ważnym elementem będzie doświadczalna weryfikacja teoretycznych przewidywań Doktoranta dotyczących właściwości optycznych dimerów bipiramid.

Rozprawa jest na wysokim poziomie merytorycznym i napisana jest dość starannie ale w mojej opinii jest zbyt ogólna, bez istotnych szczegółów umożliwiających szybką weryfikację prezentowanych wyników i ich interpretacji przez niespecjalistów. Innym mankamentem monografii jest odwoływanie się do rysunków z tzw. materiałów dodatkowych zamieszczonym po każdym z rozdziałów w samej monografii. Doktorant odsyła też do rysunków w pracach opublikowanych przez innych autorów. W monografii można by pozwolić sobie na umieszczanie rysunków w miarę ich omawiania ze względu na praktycznie nieograniczoną objętość monografii. Przyjęta przez Doktoranta strategia organizacji pracy powoduje konieczność częstego poszukiwania, w pracy lub w literaturze, odpowiednich rysunków i powrotu do merytorycznego opisu podanego w tekście monografii. Mam też uwagi co do wielkości zastosowanej czcionki w opisie osi rysunków oraz legendy oraz jakości zamieszczonej grafiki. Ekstremalnym przykładem są rysunki ze stron 82, 83 oraz 84. Jakość graficzna niektórych rysunków jest zbyt niska, być może także z powodu ograniczonej możliwości drukarki zastosowanej do wydruku. Ponadto niektóre z rysunków zamieszczone w monografii są dokładną kopią rysunków zamieszczonych w pracach już opublikowanych. Fakt ten powinien być wyraźnie zaznaczony dodając w podpisie rysunku cytowanie odpowiedniego źródła nawet jak autorem rysunku był Doktorant. Co prawda na początku rozdziału czytelnik znajdzie informację, że rozdział zawiera w części wyniki już opublikowane ale w mojej opinii nie jest to wystraszające. Zauważyłem jedną literówkę na stronie „x” (polskie streszczenie) w 6 linii od dołu. Jest „W analiza ...” a powinno być „W analizie ...”.

Moje negatywne uwagi, głównie edycyjne i zastrzeżenia co do formy „dydaktycznej” pracy, nie wpływają na moją wysoką ocenę merytoryczną przedstawionej mi do recenzji rozprawy doktorskiej. Co więcej uważam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska zasługuje na wyróżnienie. Stąd do recenzji dołączam także mój wniosek, z krótkim uzasadnieniem, o wyróżnienie rozprawy.

Podsumowując, w mojej opinii, rozprawa doktorska prezentuje wysoki poziom merytoryczny i wnosi istotny wkład w rozwój wiedzy w zakresie badań nad właściwościami optycznymi (w tym nieliniowych właściwości optycznych) nanostruktur hierarchicznych i spełnia ustawowe (*Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym* z dnia 14.03.2003 r. z późniejszymi zmianami) wymagania dla prac doktorskich. Wnoszę o dopuszczenie Pana mgr. inż. Radosława Deski do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jacek Urbani

Załącznik: *Wniosek do Rady Naukowej Dyscypliny nauki chemiczne na Politechnice Wrocławskiej o wyróżnienie rozprawy doktorskiej*

Wniosek
o wyróżnienie rozprawy doktorskiej
Pana mgr. inż. Radosława Deski
pt. „Photophysical effects in single nanoobjects”
(„Efekty fotofizyczne w pojedynczych nanoobjektach”)

Zwracam się z prośbą do Rady Naukowej Dyscypliny nauki chemiczne na Politechnice Wrocławskiej o wyróżnienie pracy doktorskiej przygotowanej przez Pana mgr. inż. Radosława Deskę. Wyniki opisane w monografii doktorskiej, uzyskane w Katedrze Inżynierii i Modelowania Materiałów Zaawansowanych na Wydziale Chemii Politechniki Wrocławskiej, zawierają wiele elementów nowości a realizacja założonych planów wymagała zastosowania różnorodnych narzędzi badawczych i różnych metod analizy wyników oraz współpracy w międzynarodowym zespole badawczym. Rozprawa prezentuje bardzo wysoki poziom merytoryczny, a moje marginalne uwagi, dotyczące głównie strony edycyjnej pracy i przyjętej koncepcji monografii, nie umniejszają wysokiej wartości merytorycznej rozprawy. Moją opinię o wysokiej wartości merytorycznej potwierdzają także pozytywne opinie innych recenzentów, gdyż część wyników zamieszczonych w monografii została już opublikowana w renomowanych, międzynarodowych czasopismach o wysokim indeksie cytowań. Ponadto wyniki uzyskane przy zastosowaniu rozdzielczej w czasie spektroskopii laserowej są bardzo ważne i powinny zostać opublikowane także w czasopiśmie o bardzo wysokim indeksie cytowań. Praca doktoranta wpisuje się w aktualny nurt światowych badań nad właściwościami optycznymi (w tym nieliniowymi właściwościami optycznymi) nanostruktur hierarchicznych. W mojej opinii przedstawiona mi do recenzji monografia zdecydowanie przewyższa wymagania stawiane kandydatom do stopnia doktora i zasługuje na wyróżnienie.

Jacek Kubicki