



Wrocław, 23 kwietnia 2023r.

Prof. Robert Kudrawiec  
Katedra Inżynierii Materiałów Półprzewodnikowych  
Wydział Podstawowych Problemów Techniki  
Politechnika Wrocławska  
ul. Wybrzeże S. Wyspiańskiego 27,  
50-370 Wrocław  
Tel.: +48 723 645 481, Fax: +48 71 328 36 96  
e-mail: [robert.kudrawiec@pwr.edu.pl](mailto:robert.kudrawiec@pwr.edu.pl)

**Recenzja rozprawy doktorskiej Pani mgr Katarzyny Rechcińskiej  
z tytułem „Oddziaływanie spinowo–orbitalne światła w strojonych  
mikrownękach ciekłokrystalicznych” wykonanej pod opieką dr hab. Jacka  
Szczytko, prof. UW**

Praca doktorska Pani mgr Katarzyny Rechcińskiej jest pracą eksperymentalną z fizyki ciała stałego, napisana jest w języku angielskim i jej przedmiotem są mikrownęki oparte na zwierciadłach Bragga z  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ , które wypełnione są ciekłymi kryształami. W rozprawie przebadane są również mikrownęki z ośrodkiem aktywnym (tj. ośrodkiem emitującym światło) dodatkowo umieszczonym wewnątrz takiej wnęki. O ile wnęki optyczne są przedmiotem intensywnych badań od dłuższego czasu w wielu ośrodkach naukowych to koncept przedstawiony w niniejszej rozprawie jest bardzo oryginalny ze względu na możliwość strojenia właściwości optycznych ciekłych kryształów zewnętrznym polem elektrycznym, a tym samym daje dostęp do analizy efektów optycznych, które są analogami efektu Halla, Rashby-Dresselhausa oraz Sterna-Gerlacha. Podsumowując wybór tematyki uważam go za bardzo oryginalny, atrakcyjny i ambitny za co należy docenić promotora. W połączeniu z uzyskanymi wynikami zaowocowało bardzo dobrymi publikacjami, które bezpośrednio lub pośrednio związane są z niniejszą dysertacją:  
Są to:

(bezpośrednio)

1. M. Król\*, K. Rechcińska\*, H. Sigurdsson, P. Oliwa, R. Mazur, P. Morawiak, W. Piecek, P. Kula, P. G. Lagoudakis, M. Matuszewski, W. Bardyszewski, B. Piętka, J. Szczytko, "Realizing Optical Persistent Spin Helix and Stern-Gerlach Deflection in an Anisotropic Liquid Crystal Microcavity", *Physical Review Letters* 127, 190401 (2021);
2. K. Rechcińska, M. Król, R. Mazur, P. Morawiak, R. Mirek, K. Łempicka, W. Bardyszewski, M. Matuszewski, P. Kula, W. Piecek, P. G. Lagoudakis, B. Piętka, J. Szczytko, "Engineering spin-orbit synthetic Hamiltonians in liquid-crystal optical cavities" *Science*, 366, 727-730 (2019);
3. K. Lekenta, M. Król, R. Mirek, K. Łempicka, D. Stephan, R. Mazur, P. Morawiak, P. Kula, W. Piecek, P. G. Lagoudakis, B. Piętka, J. Szczytko "Tunable optical spin Hall effect in a liquid crystal microcavity", *Light: Science & Applications*, 7, 74 (2018);



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Wrocław University  
of Science and Technology

Department of Semiconductor  
Materials Engineering

27 Wybrzeże Wyspiańskiego St  
50-370 Wrocław

T: + 48 71 320 35 50  
T/F: + 48 71 328 07 77

[www.pwr.edu.pl](http://www.pwr.edu.pl)

REGON: 000001614  
NIP: 896-000-58-51  
Bank Account  
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



(pośrednio)

1. M. Muszyński, M. Król, K. Rechcińska, P. Oliwa, M. Kędziora, K. Łempicka-Mirek, R. Mazur, P. Morawiak, W. Piecek, P. Kula, P. G. Lagoudakis, B. Piętka, J. Szczytko "Realizing Persistent-Spin-Helix Lasing in the Regime of Rashba-Dresselhaus Spin-Orbit Coupling in a Dye-Filled Liquid Crystal Optical Microcavity." *Physical Review Applied* 17 014041 (2022)
2. M. Król, H. Sigurdsson, K. Rechcińska, P. Oliwa, K. Tyszka, W. Bardyszewski, A. Opala, M. Matuszewski, P. Morawiak, R. Mazur, W. Piecek, P. Kula, P. G. Lagoudakis, B. Piętka, J. Szczytko "Observation of second order meron polarization textures in optical microcavities" *Optica*, 8, 255-261 (2021)
3. K. Łempicka, M. Furman, M. Muszyński, M. Król, A. Wincukiewicz, K. Rechcińska, R. Mazur, W. Piecek, M. Kamińska, J. Szczytko, B. Piętka "Exciton-polaritons in a tunable microcavity with 2D-perovskite" *Terahertz Science and Applications JW4A*. 66 (2019)

Przytoczone publikacje przekonują mnie, że wyniki przedstawione w tych pracach mogą być podstawą uzyskania stopnia doktora oraz wyróżnienia dysertacji ze względu na wysoki poziom naukowy oraz przełomowość tych wyników. Jednak w niniejszej recenzji będę odnosił się wyłącznie do dysertacji ponieważ ona została mi przedłożona do oceny.

Rozprawa ta składa się z dziewięciu rozdziałów z czego rozdziały 3-8 przedstawiają oryginalne wyniki uzyskane przy udziale doktorantki, a rozdział 9 zawiera wnioski. Rozdziały 1 i 2 wprowadzają czytelnika do tematyki dysertacji i obejmują: rozdział 1) - wprowadzenie literaturowe na temat polaryzacji światła, jego propagacji w ośrodku dielektrycznym, opis mikrownek rezonansowych, ciekłych kryształów, oraz oddziaływania spin-orbita ze światłem; rozdział 2) - opis stosowanych metod badawczych oraz badanych próbek. Podsumowując te dwa rozdziały rozprawy uważam, że czyta się je bardzo dobrze. Doktorantka w odpowiednich miejscach odsyła czytelnika do odpowiedniej literatury, a jej dobór jest właściwy i świadczy o bardzo dobrej znajomości literatury przedmiotu. Balans pomiędzy długością opisu oraz zawartością informacji potrzebnych do zrozumienia wyników eksperymentalnych i teoretycznych przedstawionych w głównej części rozprawy jest dobrze wyważony. Mankamentem jest jedynie to, że we wstępie nie znalazłem jasno sformułowanych hipotez badawczych, które miała zweryfikować doktorantka ale zakładam, że przedstawiony cel badawczy (tj. „zbadanie i opisanie oddziaływania spinowo-orbitalnego światła w optycznej mikrowniecie wypełnionej ciekłym kryształem”) wynikał z hipotez dysertacji. Dlatego byłoby wskazane aby podczas obrony doktorantka jasno przedstawiła hipotezy badawcze.

Odnosząc się do zawartości rozprawy w rozdziałach 3-8 uważam, że doktorantka przedstawiła bardzo dobry merytoryczny wywód zaczynając od omówienia możliwości dostrojenia wnęki do kolejnych rezonansów modów optycznych na podstawie uzyskanych wyników eksperymentalnych, następnie przechodząc do przedstawienia modelu teoretycznego, który został rozwinięty przez prof. Bardyszewskiego i który w tym wywodzie jest bardzo ważny ponieważ jest niezbędny do zrozumienia trzech kolejnych rozdziałów gdzie przedstawione są:



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Wrocław University  
of Science and Technology  
Department of Semiconductor  
Materials Engineering

27 Wybrzeże Wyspiańskiego St  
50-370 Wrocław

T: + 48 71 320 35 50  
T/F: + 48 71 328 07 77

[www.pwr.edu.pl](http://www.pwr.edu.pl)

REGON: 000001614  
NIP: 896-000-58-51  
Bank Account  
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



# Wrocław University of Science and Technology

Department of Semiconductor Materials Engineering

strojony optyczny spinowy efekt Halla (rozdział 5), optyczny odpowiednik efektu Rashby-Dresselhausa (rozdział 6) oraz optyczny odpowiednik eksperymentu Sterna-Gerlacha z optyczną trwałą helisą spinową (rozdział 7). Wyniki przedstawione w tych rozdziałach bazują na publikacjach, które powstały przy współdziałaniu doktorantki ale są oryginalnie przedstawione i stanowią odrębny wywód logiczny na bardzo dobrym poziomie. Chciałbym zaznaczyć, że nie dostrzegam tam błędów pojęciowych, interpretacyjnych lub wewnętrznych sprzeczności.

W rozdziale 8 doktorantka przechodzi do opisu wnęk rezonansowych z ośrodkiem czynnym. Rozdział ten zawiera wstęp w którym w zwięzły sposób opisano różne ośrodki czynne, które następnie były badane. Wyniki te nie są aż tak spektakularne jak wcześniejsze wyniki ale i tak są bardzo interesujące i stanowią spójną całość z wcześniej opisanymi wynikami. Ponadto warto tu podkreślić, że rozdział 8 wskazuje kierunek dalszych badań w tym obszarze. Dlatego też dużo wnosi do niniejszej dysertacji mimo tego, że jak sama autorka pisze część tych wyników to wyniki wstępne. Mimo tego wyniki te przekonują czytelnika, że może tutaj być duży potencjał i kontynuacja tych badań jest jak najbardziej wskazana. Dlatego podczas obrony na pewno będę chciał dopytać się o zalety i wady wnęk z ośrodkiem czynnym umieszczonym w ciekłym kryształach i o kolejne plany badawcze w tym obszarze o ile są.

Przechodząc do końcowej oceny dysertacji uważam, że doktorantka uzyskała bardzo ważne wyniki z obszaru fizyki ciała stałego i optyki, które przedstawiła w spójnym wywodzie i tam gdzie pojawił się wkład innych autorów jest to zaznaczone. Ten wkład nie umniejsza mojemu bardzo pozytywnemu odbioru niniejszej dysertacji. Jest to dla mnie oczywiste, że wyniki naukowe zwłaszcza eksperymentalne powstają w większym zespole. Przedstawiona do recenzji dysertacja jest dziełem doktorantki które dowodzi, że kandydatka na doktora nauk fizycznych potrafi na bardzo wysokim poziomie naukowym opisać uzyskane wyniki, przedstawić je w odpowiednim kontekście literaturowym oraz przeprowadzić elegancką dyskusję naukową tych wyników. Chciałbym również podkreślić, że niniejsza dysertacja jest bardzo dobrze zredagowana (znaleziono przez mnie literówki i uwagi co do sformułowań są bardzo nieliczne i podane są na końcu niniejszej recenzji).

Podsumowując uważam, że rozprawa doktorska Pani mgr Katarzyny Rechcińskiej spełnia wszystkie wymagania stawiane przez ustawę o stopniach naukowych dla rozpraw na stopień doktora oraz zwyczajowo przyjęte kryteria w środowisku fizyki ciała stałego. W niniejszej rozprawie Pani Rechcińska dowiodła, że posiada ogólną wiedzę z fizyki ciała stałego na bardzo wysokim poziomie, jej dzieło jest oryginalne, a tym samym jest gotowa do samodzielnego prowadzenia badań. Dlatego wnioskuję o dopuszczenie mgr Katarzyny Rechcińskiej do publicznej obrony niniejszej rozprawy oraz wnioskuję o jej wyróżnienie.



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Wrocław University  
of Science and Technology  
Department of Semiconductor  
Materials Engineering

27 Wybrzeże Wyspiańskiego St  
50-370 Wrocław

T: + 48 71 320 35 50  
T/F: + 48 71 328 07 77

[www.pwr.edu.pl](http://www.pwr.edu.pl)

REGON: 000001614  
NIP: 896-000-58-51  
Bank Account  
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



## Uzasadnienie wniosku o wyróżnienie rozprawy:

Wyniki przedstawione w niniejszej dysertacji opublikowane zostały w wiodących czasopismach naukowych (Phys. Rev. Lett., Science, Light Science & Applications, Phys. Rev. Appl., Optica) i jak dotąd cytowane były ponad 150 razy. Jestem przekonany, że będą równie intensywnie cytowane przez kolejne lata. Sama dysertacja nie jest bezpośrednim powieleniem lub „zlepkiem” przytoczonych publikacji, a stanowi bardzo przemyślany, spójny i oryginalny wywód włączając w to bardzo dobry wstęp. Są tam wyniki, które nie są przyczynkowe do literatury przedmiotu. Opisane zjawiska zostały zaobserwowane i wytłumaczone przy współudziale doktorantki po raz pierwszy, a niniejsza dysertacja jest autorskim dziełem Pani Katarzyny Rechcińskiej, które stanowi bardzo ważny wkład w opisanie oddziaływania spinowo-orbitalnego światła w optycznej mikrownęce wypełnionej ciekłym kryształem. Waga tych wyników ma znaczenie nie tylko w obszarze fizyki ciała stałego lub optyki ale zdecydowanie szerzej. Dowodem na to jest opublikowanie części wyników opisanych w niniejszej dysertacji w Science gdzie nie publikuje się wyników branżowych, które są ważne tylko dla danej dziedziny. Dlatego uważam, że niniejsza dysertacja powinna być wyróżniona oraz uważam, że ma bardzo duże szanse na wyróżnienie w konkursach na rozprawę doktorską.

R. Kudrawiec

Robert Kudrawiec

## Uwagi redakcyjne:

Strony 22 i 23: Na rysunku 1.3 warto zaznaczyć, który ośrodek jest gęstszy np.:  $n_1 < n_2$ . Oczywiście narzuca to wykonany rysunek ale nie ma na ten temat komentarza.

Strona 24: Sformułowanie “(due to absorption or conductivity)” jest niefortunne. Jak jest absorpcja to jest i przewodnictwo bo tak jest we wzorach. Tylko eksperymentalnie raz łatwiej będzie mierzyć przewodnictwo a raz absorpcje.

Strony 48, 49, 54, 56: Brakuje kropki na końcu podpisu rysunku 1.20, 1.21, 1.24, 1.25.

Strona 75: „kH” zamiast „kHz” w dwóch miejscach.

Strona 150: “a small binding energy (a few microelectronvolts)” traktuję jako literówkę bo powinno myć “mili” a nie „mikro”. Nawet w takich materiałach jak InAs, InSb lub HgTe jest to  $\sim 1\text{meV}$ .

Strona 157: Brakuje kropki na końcu podpisu rysunku 8.9.

Części podpisów niektórych rysunków są „boldem”, czy taki był zamiar?

Strona 180: Brakuje nazwy czasopisma w publikacji w pozycji „4”. To jest publikacja w której doktorantka jest współautorką i dlatego jest to istotne.



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Wrocław University  
of Science and Technology  
Department of Semiconductor  
Materials Engineering

27 Wybrzeże Wyspiańskiego St  
50-370 Wrocław

T: + 48 71 320 35 50  
T/F: + 48 71 328 07 77

www.pwr.edu.pl

REGON: 000001614  
NIP: 896-000-58-51  
Bank Account  
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434