

Prof. dr hab. Mirosław Załuźny
Instytut Fizyki UMCS, Lublin

Ocena dorobku naukowego, dydaktycznego, popularyzatorskiego i organizacyjnego dra inż. Michała Wasiaka w związku z wszczęciem postępowania habilitacyjnego w dyscyplinie fizyka

Dr inż. Michał Wasiak uzyskał stopień magistra inżyniera w Instytucie Fizyki Politechniki Łódzkiej (IF PŁ) w 1999 roku. Jego praca magisterska, której promotorem był prof. dr hab. M. Bugajski, miała charakter teoretyczny i dotyczyła zjawisk optycznych w laserze półprzewodnikowym z kwantowym obszarem czynnym. W wyżej wspomnianym roku habilitant został zatrudniony jako asystent w Zespole Fotoniki IF PŁ kierowanym przez prof. dra hab. W. Nakwaskiego. Pracę doktorską pt. „*Optical gain in quantum dot lasers*”, wykonaną pod kierunkiem prof. dra hab. M. Bugajskiego, obronił, w macierzystym instytucie, w 2004 r.

Do czasu uzyskania stopnia doktora, t.j. w latach 1999-2004, habilitant opublikował 28 prac wieloutorskich (z czego połowę z nich stanowią doniesienia konferencyjne). Warto podkreślić, że trzy pozycje, znajdujące się w zestawie wyżej wspomnianych prac znajdują się równocześnie w grupie pięciu najczęściej cytowanych (ponad 20 cytowań) prac habilitanta. Przykładowo, jedna z wyżej wspomnianych prac [*P.R. Sarzala et al. Opt. Quantum Electron.* **36**, 331 (2004)] została wymieniona w przeglądowym artykule *P. Debernardi "Three-dimensional modeling of VCSELs"* in ed. *R. Michalzik "VCSELs"* Springer-Verlag Berlin 2013. Łącznie, prace powstałe z udziałem habilitanta w omawianym teraz okresie były cytowane prawie 140 razy. Nie ulega wątpliwości, że tak znaczny dorobek publikacyjny (przed doktoratem) był ściśle związany z efektywną współpracą habilitanta z członkami, mającego międzynarodową renomę, Zespołu Fotoniki IF UŁ. Podobnej treści uwaga znajduje się również w Autoreferacie.

Ogólne informacje o dorobku naukowym dr. inż. M. Wasiaka powstałym w latach 2005-2017. Od 2005 roku habilitant pracuje na stanowisku adiunkta w IF PŁ. Dr inż. M. Wasiak odbył również dwa staże podoktorskie: w Instytucie Technologii Elektronowej w Warszawie (X 2009 - VII 2010) i w Ecole Polytechnique Federale de Lausanne w Szwajcarii (XI - XII 2010 i VII 2012). W trakcie wyżej wspomnianych staży habilitant zdobył doświadczenie



w pracy eksperymentalnej, które, jak jak sam stwierdza w Autoreferacie, było bardzo pomocne w jego dalszym rozwoju naukowym. Dane bibliometryczne omawianego teraz dorobku prezentują się następująco: liczba publikacji (po uaktualnieniu) - prawie 40, liczba cytowań z pominięciem autocytowań - prawie 200, Index H - 12/10 (wg. bazy Scopus/Web of Knowledge). Dominującą część (prawie 30 pozycji) w tym dorobku stanowią prace opublikowane w czasopismach znajdujących się w Części A Ministerialnej Listy Czasopism, tzn. znajdujących się w bazie JCR. Z dwoma wyjątkami publikacje są wieloautorskie. Ich powstanie było efektem ścisłej współpracy habilitanta zarówno z członkami Zespołu Fotoniki IF UŁ, jak i badaczami pracującymi w innych renomowanych instytucjach krajowych i zagranicznych. Po otrzymaniu stopnia doktora habilitant nie zmienił w sposób zasadniczy tematyki swoich badań. Głównym obszarem jego zainteresowań naukowych pozostają problemy związane z modelowaniem laserów półprzewodnikowych - głównie laserów o emisji powierzchniowej: typu VCSEL i typu VECSEL (tj. lasery z zewnętrzną pionową wnęką rezonansową). Wyżej wspomniane lasery wytwarzane są w oparciu o tradycyjne (GaAs) i nowe (azotkowe) materiały. Kilka prac poświęconych jest również kwantowym laserom kaskadowym (QCL). W tym miejscu warto podkreślić, że dr inż. M. Wasiak partycypował w konstruowaniu i uruchomieniu, w Instytucie Technologii Elektronowej w Warszawie, w 2009 roku, pierwszego polskiego lasera kaskadowego.

Nie mam najmniejszej wątpliwości, że tematyka badań prowadzonych przez habilitanta jest interesująca i bardzo aktualna. Związane jest to szczególnie mocno z perspektywami jeszcze szerszych stosowań laserów VCSEL w krótkozasięgowych łączach optycznych o dużej pojemności transmisyjnej [patrz np. artykuł przeglądowy *A. Liu & D. Bimberg*, *Front. Optoelectron.* **9**, 249 (2016)].

Osiągnięcie naukowe dra inż. M. Wasiaka będące podstawą postępowania habilitacyjnego (nazywanego dalej rozprawą habilitacyjną) stanowi monotematyczny cykl dziesięciu artykułów (z lat 2009-2016) zebranych pod wspólnym tytułem: "**Modelowanie zjawisk fizycznych w laserach półprzewodnikowych**". Osiem prac ukazało się w czasopismach z listy JCR: *Physica E* [20] - P1, P2; *J. Light. Technol.* [35] - P3; *Optica Appl.* [15] P4; *Opto-Electron. Rev.* [20] P5; *Opt. Commun.* [25] - P6; *J. Phys. D.* [35] - P7, P9. Dwie prace opublikowano w materiałach konferencyjnych: *IEEE Xplore Digital Library* - P8 oraz *Proc. SPIE*

- P10. Oznaczenia prac rozprawy pokrywają się z oznaczeniami podanymi w Autoreferacie. W nawiasach kwadratowych podana jest liczba punktów przypisana danemu czasopismu na Ministerialnej Liście A Czasopism (z 2016 r.). Średnio na każdą z prac opublikowanych w czasopismach z tej listy przypada 25,6 punkta.

Artykuły stanowiące rozprawę są raczej krótkie, gdyż liczą od 3 (P8) do 8 (P6 i P7) stron. Prace P1 i P2 są jednoautorskie. W pozostałych ośmiu zespołowych pracach liczba autorów waha się od 3 do 11. Swój wkład w tych pracach habilitant ocenia następująco: P3 - 20%, P4 - 70%, P5 - 20%, P6 - 35%, P7 - 12%, P8 - 60%, P9 - 70%, P10 - 70%. Przedstawiony wyżej wkład procentowy wydaje się być w większości przypadków konsystentny z oświadczeniami współautorów. Niemniej jednak, określony przez habilitanta jako 70% wkład w pracy P9 (będącej jedną z ważniejszych w omawianym teraz cyklu) może budzić pewne zastrzeżenia, gdy uwzględnimy fakt, że na pozostałych współautorów tej pracy przypadałoby wówczas średnio tylko po 5% wkładu. Ponadto, w oświadczeniu ostatniego ze współautorów wyżej wspomnianej pracy (prof. J. Lotta z Technische Universität Berlin) pojawia się następujące stwierdzenie: *"I designed the semiconductor laser used in the experiments and I supervised the processing and the experimental characterization of the laser"*. Pomimo wyżej wspomnianych zastrzeżeń uważam, że wkład habilitanta (w teoretyczną część) wyników prezentowanych w pracach P1 - P10 można uznać za bardzo istotny lub dominujący.

W prawie czterdziestostronicowym Autoreferacie habilitant precyzuje cele badawcze rozprawy oraz omawia wyniki swoich badań na tle aktualnej wiedzy prezentowanej w literaturze przedmiotu. Pewne zdziwienie może budzić fakt, że w wykazie literatury podanej w Autoreferacie nie pojawiają się wspomniane już wcześniej dwa ważne artykuły przeglądowe dotyczące laserów typu VCSEL. Autor nie cytuje również ważnej pracy przeglądowej, *Ch. Jirauschek & T. Kubis, Appl. Phys. Rev. 1, 011307 (2014)*, omawiającej bardzo obszernie techniki modelowania kwantowych laserów kaskadowych. Należy też odnotować fakt, że dorobek publikacyjny nie wchodzący w skład rozprawy jest w Autoreferacie omówiony zbyt pobieżnie.

Tematyka prac P1 - P10 jest zgodna z tytułem rozprawy i koncentruje się na modelowaniu procesów zachodzących w laserach typu VCSEL, VECSEL i QCL. Jak już było wspomniane, prezentowane w rozprawie badania mają głównie charakter aplikacyjny. Ich celem jest optymalizacja charakterystyk wyżej wymienionych laserów półprzewodnikowych. Z reguły

symulacje komputerowe habilitanta są konfrontowane z wynikami eksperymentalnymi otrzymanymi w oparciu o zaawansowane technologie. Uzasadnia to znaczną liczbę współautorów zarówno z ośrodków krajowych, jak i zagranicznych.

Bardzo zwięzłą analizę merytorycznej zawartości rozprawy rozpocznę od prac P1, P4 i P5. Koncentrują się one na obliczaniu stanów jednoelektronowych w niepolaryzowanych (P1) i spolaryzowanych (P4 i P3) supersieciach półprzewodnikowych. W jednoautorской pracy P1 habilitant proponuje uproszczoną rekurencyjną metodę rozwiązania układów równań pojawiających się przy obliczaniu poziomów energetycznych niespolaryzowanych supersieci. Otrzymane tą metodą energie wykorzystane są do oszacowania czasu tunelowania nośników. W pracy P4 autorzy prezentują metodę obliczania stanów elektronowych w spolaryzowanych supersieciach, wykorzystującą możliwość rozkładu macierzy według wartości osobliwych (ang. *singular value decomposition*). Wyżej wspomniana metoda obliczeniowa jest praktycznie wykorzystana w pracy P5 do interpretacji widm fotoodciska/luminescencji niedomieszkowanych supersieci. Niewątpliwie prace P1 i P2 zawierają elementy nowości, jednak nie uważam, by w praktycznych zastosowaniach opisane w nich metody były w sposób istotny konkurencyjne do metod opartych na formalizmie macierzy przejścia. Przykładowo, zastosowanie formalizmu macierzy przejścia do obliczania czasów tunelowania w supersieciach omawiane jest bardzo obszernie w pracy *D. Drogooman, IEEE J Quant. Electr.* **35**, 1887 (2009) (patrz również wspomniana już wcześniej praca przeglądowa opublikowana w *Appl. Phys. Rev.*). Dodatkową zaletą podejścia opartego na formalizmie macierzy przejścia jest możliwość rozszerzenia go na bardzo istotny, z punktu widzenia laserów kaskadowych, przypadek domieszkowanych supersieci [patrz np. *Ch. Jirauschek, IEEE J. Quant. Electron.* **45**, 1059 (2009)].

Pozostałe prace (tzn. P2, P3, P7 - P10) zawierają kompleksową analizę (modelowanie) charakterystyk laserów VCSEL i VECSEL, ze studniami kwantowymi w obszarze czynnym. (Konsekwencje wynikające z zastąpienia studni kwantowych przez kropki kwantowe, w laserze VCSEL, są dokładnie analizowane w pracy P6.) Jak podkreślono w Autoreferacie, symulacje komputerowe niezbędne w procesie optymalizacji parametrów użytkowych laserów VCSEL i VECSEL są bardzo złożone. Uwarunkowane jest to nie tylko dużą różnorodnością zjawisk zachodzących w omawianych układach (zjawiska elektryczne, termiczne, optyczne, wzmocnieniowe uwzględniające lokalne wypalanie dziury, itd.). Fundamentalną rolę odgrywa bowiem

fakt, że wyżej wspomniane zjawiska są bardzo silnie ze sobą powiązane. Inaczej mówiąc, symulacje pomocne w optymalizacji parametrów użytkowych rozważanych w rozprawie laserów powinny być prowadzone z wykorzystaniem samouzdognionych modeli komputerowych.

Nie wydaje się celowym (ze względu na ich złożoność) szczegółowe omawianie poszczególnych modeli opracowanych samodzielnie przez habilitanta (P1) lub powstałych przy jego istotnym współdziałaniu (P2, P3, P6 - P10). Czyni to zresztą sam w Autoreferacie w rozdziałach 3, 5 i 7. Mając to na uwadze ograniczę się do wyliczenia najważniejszych osiągnięć habilitanta zawartych w omawianych teraz pracach.

- Opracowanie przez habilitanta (stacjonarnego) samouzdognionego modelu pracy nadprogowej standardowego lasera VCSEL. Pomimo tego, że model ten nie korzysta z dodatkowych, w porównaniu z modelem podprogowym, parametrów, to jego zgodność z danymi doświadczalnymi okazała się bardzo dobra. Dzięki swojej efektywności omawiany model (po odpowiednich modyfikacjach) mógł być wykorzystany w Zespole Fotoniki IF UL do modelowania pracy podprogowej/nadprogowej nowych (patrz poniżej) konstrukcji laserowych.
- Istotny wkład habilitanta w budowie (samouzdognionych) modeli laserów VCSEL: (a) z fotonicznymi zwierciadłami i (b) z kropkami kwantowymi w obszarze czynnym.
- Istotny wkład habilitanta w modelowanie charakterystyk pompowanych optycznie laserów VCSEL, a w szczególności opracowanie koncepcji modelu cieplnego i analizę zjawisk fizycznych zachodzących w perspektywicznych laserach ze zwierciadłami typu *high contrast grating*.
- Opracowanie i pozytywna weryfikacja (samouzdognionego) modelu właściwości elektrycznie modulowanych laserów VCSEL. Kluczową rolę w tym modelu odgrywa wykorzystanie wyrażenia na energię pola elektrycznego do obliczenia pojemności związanych z różnymi elementami lasera, a następnie zbudowanie odpowiedniego schematu zastępczego. Podzielam opinię zawartą w Autoreferacie, że opracowanie powyższego (pojemnościowego) modelu można uznać za najważniejsze osiągnięcie habilitanta.

Uważam, że rozprawa habilitacyjna dra inż. M. Wasiaka spełnia wymagania stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk fizycznych, w dyscyplinie fizyka.



Ocena dorobku naukowego (z lat 2005 - 2017) nie wchodzącego w skład rozprawy. Na ten dorobek habilitanta składa się ponad dwadzieścia (wieloautorskich) pozycji opublikowanych w czasopiśmie z listy JCR. Do tego należy dodać kilkanaście prac opublikowanych w materiałach konferencyjnych. W omawianym teraz dorobku naukowym dra inż. M. Wasiaka dominują publikacje o tematyce bliskiej zagadnieniom dyskutowanym w rozprawie habilitacyjnej. Są zatem niezbyt mocno związane z badaniami podstawowymi. Można to potraktować jako pewną słabość całego dorobku. Z drugiej jednak strony należy pamiętać, że samouzgodnione modelowanie laserów VCSEL, VECSEL i QCL wymaga, obok biegłości w metodach numerycznych, również bardzo dobrej znajomości zachodzących w nich zjawisk fizycznych.

W wymienionej powyżej grupie prac na szczególną uwagę zasługuje niewątpliwie wieloautorska pozycja *T. Czyszanowski et al. Scientific Reports (2017)* powstała przy 20% wkładzie habilitanta. W artykule tym zaprezentowano wyniki symulacji numerycznych wskazujących na możliwość zastąpienia zwierciadeł Bragowskich (w laserach VCSEL), zwierciadłami typu "semiconductor-metal subwavelength grating". Stwarza to potencjalne możliwości poprawy charakterystyk wyżej wspomnianych laserów. Umożliwia również ich dalszą miniaturyzację. Obok omawianej powyżej pracy należy wysoko ocenić pracę eksperymentalną *M. Wasiak et al., "Below-band-gap absorption in undoped GaAs at elevated temperatures" Optical Materials 64, 137 (2017)*, powstałą przy wiodącej roli habilitanta (65% wkładu). Jej zawartość wskazuje jednoznacznie, że dr inż. M. Wasiak nie tylko opanował odpowiednie techniki modelowania komputerowego, ale jest również fizykiem umiejącym prowadzić eksperymentalne badania o charakterze podstawowym. Należy podkreślić, że "wydajność" publikacyjna habilitanta w ostatnich latach utrzymuje się na wysokim poziomie. W 2017 roku ukazało się w czasopiśmie z Ministerialnej Listy A aż 5 publikacji których współautorem jest habilitant.

Podsumowując dotychczasowy dorobek naukowy habilitanta stwierdzam, że jest on znaczący i pozwala na uznanie dra inż. M. Wasiaka za specjalistę międzynarodowej klasy w zakresie wykorzystania metod komputerowych do projektowania i optymalizacji laserów VCSEL. Wymiernym potwierdzeniem istotnego wkładu kandydata w rozwój uprawianej przez niego dyscypliny jest też oddźwięk środowiska naukowego, wyrażający się znaczną liczbą cytowań (prawie dwieście obcych cytowań) oraz przygotowaniem przezeń recenzji (w materiałach nie podano ilu) dla specjalistycznych czasopism międzynarodowych [J. Appl. Phys., IEEE J.



Quant. Electr., Optical and Quantum Electronics, Opto-Electr. Rev., Journal of Thermodynamics (Hindawi)]. Nie bez znaczenia jest uczestniczenie przez habilitanta w realizacji szeregu grantów badawczych, a od 2017 roku kierowanie grantem NCN "*Dynamiczny model lasera VCSEL przeznaczonego do systemów optycznego przesyłu danych na małe odległości*"

Godnym odnotowania jest fakt, że wyniki badań otrzymane przy jego istotnym współudziale mają wymierne walory aplikacyjne. Jest on bowiem współautorem czterech patentów w procedurze polskiej oraz jednego zgłoszenia patentowego w procedurze międzynarodowej. Ponadto zespoły badawcze, których członkiem był dr inż. M. Wasiak były wielokrotnie wyróżniane i nagradzane na międzynarodowych targach/wystawach przemysłowych.

Powyższe fakty można uzupełnić informacją o dobrej aktywności konferencyjnej habilitanta - dwa zaproszone referaty na konferencjach międzynarodowych odbywających się w kraju (Wrocław) i za granicą (Bruksela) oraz dwadzieścia prezentacji na konferencjach krajowych/zagranicznych.

Habilitant zdobył bardzo duże doświadczenie dydaktyczne prowadząc pięć wykładów zarówno z fizyki, jak i z matematyki. Wśród nich był wykład ze współczesnej fizyki w języku angielskim. Kandydat prowadził również ćwiczenia rachunkowe do swoich wykładów. Wśród prowadzonych przez niego przedmiotów były także zajęcia laboratoryjne. Obok pracowni fizycznej prowadził między innymi zajęcia laboratoryjne z fotoniki i elektroniki. Pod kierunkiem dra inż. M. Wasiaka zostały przygotowane cztery prace magisterskie i jedna praca inżynierska. Należy również odnotować działalność popularyzatorską habilitanta na Festiwalach Nauki w latach 2005 i 2008.

Z przedstawionej dokumentacji wynika, że habilitant ma również pewien dorobek organizacyjny - współudział w przygotowaniu programów studiów (I i II stopnia) na kierunku Fizyka Techniczna. Od 2016 roku jest opiekunem Koła Naukowego Fizyków w IF PŁ. Jak już było wspomniane, dr M. inż. Wasiak ma też wymierne osiągnięcia w zdobywaniu funduszy na badania naukowe (grant NCN na lata 2017-2020).

Podsumowując stwierdzam, że zarówno rozprawa habilitacyjna, jak i również całokształt dorobku naukowego dra inż. Michała Wasiaka spełniają ustawowe wymagania. W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie go do dalszego etapu postępowania habilitacyjnego.

Lublin, 16. 02. 2018 r.

