

Warszawa, 21. grudnia 2017 r.

Prof. dr hab. Grzegorz Karczewski
Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk
al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

**Ocena dorobku naukowego oraz recenzja rozprawy habilitacyjnej
doktora Michała Wasiaka z Politechniki Łódzkiej**

A. Ocena dorobku naukowego dr Michała Wasiaka

Dr Michał Wasiak zajmuje się matematycznym modelowaniem zjawisk fizycznych, głównie w strukturach laserowych. Jako fizykowi doświadczalnemu trudno mi ocenić, czy symulacje dr Wasiaka oparte są na prawidłowych założeniach, czy jego obliczenia prowadzone są w sposób prawidłowy, czy nie zawierają zbyt daleko idących uproszczeń, etc. Mam nadzieję, że inni członkowie Komisji ds. przewodu habilitacyjnego dr Wasiaka, wśród których nie brak wybitnych teoretyków, wnikliwie ocenią ten aspekt dokonań Habilitanta. Na szczęście, dr Wasiak w wielu swoich pracach ściśle współpracował z eksperymentatorami i technologami. Wyniki jego obliczeń bardzo często porównywane były bezpośrednio z wynikami pomiarów lub służyły poprawie efektywności przyrządów optoelektronicznych. Zatem, w mojej ocenie dorobku naukowego oraz rozprawy habilitacyjnej dr Wasiaka skupię się przede wszystkim na ocenie wyników, które habilitant otrzymał oraz na wpływie jaki wyniki te miały na poprawę i udoskonalenie przyrządów, których dotyczyły. Tylko takie podejście, wprowadzając w sposób pośredni, pozwala mi ocenić dorobek naukowy Habilitanta oraz rozprawę habilitacyjną.

Dr Marcin Motyka jest absolwentem Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej, który ukończył w 1999 roku pracę magisterską pt.: „Wzmocnienie optyczne w laserze z kwantowym obszarem czynnym” wykonaną pod kierunkiem prof. dr

hab. Macieja Bugajskiego. Doktorat z fizyki uzyskał w 2004 r. w Instytucie Fizyki Politechniki Łódzkiej za pracę doktorską pt.: „Optical gain in quantum dot lasers”, której promotorem był również prof. dr hab. Maciej Bugajski.

Według bazy Web of Sciences na dorobek naukowy Habilitanta składa się 87 publikacji cytowanych 264 razy (193 bez autocytowań). Indeks Hirsha Habilitanta równy jest 10. Dr Wasiak prezentował swoje wyniki na 22 konferencjach międzynarodowych z czego na dwóch wygłosił referaty zaproszone. Gros prac dr Wasiaka (ok. 70) zostało opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora, co dobrze ilustruje jego rozwój naukowy. Trzeba odnotować, że w ostatnich trzech latach roczna liczba cytowań prac dr Wasiaka znacznie wzrosła – z poziomu ok. 10 rocznie do poziomu ok. 50 rocznie. Świadczy to prawdopodobnie o rosnącym poziomie naukowym prac dr Wasiaka oraz o podejmowaniu przez niego coraz istotniejszych zagadnień badawczych. Z drugiej strony, spora część publikacji dr Wasiaka to krótkie komunikaty konferencyjne, a znacząca część publikacji nie była cytowana w ogóle. Mimo tych uwag krytycznych stwierdzam, że z punktu widzenia statystyki dorobek publikacyjny dr Wasiaka jest w pełni wystarczający do uzyskania stopnia doktora habilitowanego.

Ponadto, dorobku naukowym dr Wasiaka niewątpliwie wyróżnić można kilka bardzo interesujących pozycji, docenionych i wielokrotnie cytowanych przez specjalistów. Najczęściej cytowaną pracą współautorstwa dr Wasiaka (22 cytowania) jest praca z *Semiconductor Science and Technology* 19, 333, (2004) pt.: ” Oxidation kinetics of AlAs and AlGaAs layers in GaAs diode laser structures”. Istotną część tej pracy stanowi zdefiniowanie jednowymiarowego modelu, który opisuje relację pomiędzy głębokością utleniania materiału a czasem utleniania w różnych warunkach zewnętrznych. Po fenomenologicznym skalibrowaniu parametrów modelu dostępnymi danymi doświadczalnymi, pozwala on na określenie bezpiecznych warunków dla procesów technologicznych, co jest niezwykle istotne przy wytwarzaniu mikrorezonatorów VCSEL. Praca ta zatem, jest źródłem bardzo użytecznych informacji dla specjalistów zajmujących się technologią przyrządów VCSEL. W pracy pt.:” Monolithic high-index contrast grating: a material independent high-reflectance VCSEL mirror” (*Optics Express*, 23, 11674 (2015)) cytowanej już 18 razy, prezentowana jest bardzo obszerna teoretyczna i numeryczna analiza działania i właściwości monolitycznych siatek powierzchniowych o wysokim współczynniku odbicia ułatwiających wytwarzanie ultra-cienkich zwierciadeł do laserów VCSEL pracujących w szerokim zakresie widmowym. Autorzy przedstawiają teoretyczne podstawy wyjaśniające zjawisko silnego odbicia światła

od siatek, których okres jest mniejszy od długości fali odbitej. Wyniki symulacji numerycznych porównywane są z wynikami eksperymentalnymi w celu doboru optymalnych parametrów siatek umożliwiających 99.99% odbicia w wielu materiałach fotonicznych i w szerokim zakresie widmowym. To zagadnienie jest również bardzo ważne i użyteczne, gdyż pozwala otrzymać lasery VCSEL o znacznie zredukowanej grubości. Trzecią często cytowaną pracą (18 cytowań) jest praca z *Opto-Electronics Review* 10, 65, (2003) pt. „Fully self-consistent three dimensional model of edge-emitting nitride diode lasers”, w której autorzy przedstawiają modelowe obliczenia optycznych, elektrycznych i termicznych własności laserów na bazie GaN pod kątem otrzymywania jak największej wydajności świecenia (optical gain). Zaletą tej pracy jest zaproponowanie bardzo konkretnej struktury laserowej z wyszczególnieniem składu poszczególnych warstw, ich grubości, etc. i policzenie przewidywanych własności takiego przyrządu. Dwie następne prace („Room temperature continuous-wave operation of InGaAs/GaAs quantum dot VCSEL for 1.3 um optical fiber communication”, *Semiconductor Science and Technology* 24, 1 (2004) cytowana 16 razy oraz „Comprehensive self-consistent three-dimensinal simulation of an operation of GaAs-based oxide-confined 1.3 um quantum dot InGaAs/GaAs VCSEL”, *Optical and Quantum Electronics*, 36, 331 (2004) cytowana 14 razy, zawierają obliczenia parametrów optycznych, elektrycznych i wydajności laserów zawierających kropki kwantowe pracujących w ważnym oknie komunikacyjnych 1,3 um.

Tych kilka przykładów pokazuje, że obliczenia i symulacje numeryczne dr Wasiaka mają duże znaczenia dla rozwiązywania bardzo praktycznych problemów dotyczących konstrukcji i wytwarzania przyrządów optoelektronicznych, przede wszystkim laserów półprzewodnikowych. Trzeba podkreślić, że takie sprzężenie teorii z technologią i eksperymentem niezwykle wzmacnia otrzymywane wyniki i podnosi poziom publikowanych prac.

W swojej pracy badawczej Habilitant współpracował z licznymi instytucjami naukowymi w kraju i zagranicą. Są to takie instytucje, jak Instytut Technologii Elektronowej, Politechnika Wrocławska, Instytut Wysokich Ciśnień PAN, École Polytechnique w Lozannie, Technische Universität w Berlinie, Nanyang Technological University w Singapurze oraz Vrije Universiteit w Brukseli.

Habilitant wykazywał się dużą aktywnością w realizacji grantów. Od 2017 do 2020 roku jest on kierownikiem zadania badawczego NCN nr 2016/21/B/ST7/03532: „Dynamiczny model lasera VCSEL przeznaczonego do systemów optycznego przesyłu danych na małe odległości”. W latach 2007-2011 był kierownikiem zadania: „Modelowanie zjawisk elektrycznych i cieplnych w laserach kaskadowych” w projekcie zamawianym nr PBZ-MNiSW 02/I/2007: Advanced technologies for infrared photonics. Ponadto dr Wasiak aktywnie uczestniczył w realizacji 8 innych grantów badawczych. Trzeba podkreślić, że gros z nich finansowanych było przez NCBiR, miało zatem charakter aplikacyjny. O aplikacyjnym znaczeniu prac dr Wasiak najlepiej świadczy fakt, że jest on współautorem aż 5 patentów. Jego wkład w te patenty jest niebagatelny, wynosi od 10 do 20%, a dotyczył takich zagadnień jak: analiza wzmocnienia optycznego (1) w studniach kwantowych InGaN, (2) w kropkach kwantowych InAs/GaAs, (3) w studniach kwantowych InGaAs/GaAs, (4) w studniach kwantowych InGaN oraz (5) analiza transportu ciepła w optycznie pompowanych laserach VCSEL.

Dr Wasiak jest również bardzo aktywnym nauczycielem akademickim. Jego aktywność dydaktyczna, mierzona ilością wypromowanych prac magisterskich (5) i inżynierskich (1), prowadzonych wykładów, ćwiczeń numerycznych i zajęć laboratoryjnych jest imponująca. Dla studentów Politechniki Łódzkiej prowadził szereg wykładów, z których ważniejsze to: Efekty kantowe w strukturach niskowymiarowych, Contemporary physics (w języku angielskim), Elementy topologii w przestrzeniach metrycznych, Elementy analizy numerycznej oraz Fotografia. Do tych i innych wykładów prowadził również ćwiczenia (między innymi z Algebry, Analizy matematycznej i Elementów analizy numerycznej) oraz zajęcia laboratoryjne: Laboratorium fotoniki, Laboratorium elektroniki oraz Pracownia fizyczna. Ponadto pracował nad oprogramowaniem dydaktycznym typu „open source” pt.: „Problem Based Learning” (w języku angielskim) oraz brał też udział w zespole układającym program studiów I i II stopnia dla kierunku fizyka techniczna. Habilitant jest również aktywny w działalności popularyzującej naukę.

Reasumując, działalność stricte naukowa dr Wasiaka, jego aktywność dydaktyczna, doświadczenie w zdobywaniu funduszy i w realizacji grantów są godne uznania i predestynują go do samodzielnej pracy naukowej i dydaktycznej. Opinia ta jest zgodna z opinią wielu gremiów, które nagradzały dr Wasiaka licznymi nagrodami i wyróżnieniami, z którymi ważniejsze to: Brązowy medal od Prezydenta RP za długoletnią służbę (2012),

Zespołowa nagroda za działalność innowacyjną od Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego (2010) i Zespołowa Nagroda za działalność naukową od Ministra Edukacji Narodowej (2002).

B. Recenzja rozprawy habilitacyjnej dr Michała Wasiaka pt.: „Modelowanie zjawisk fizycznych w laserach półprzewodnikowych”

Na rozprawę habilitacyjną dr Michała Wasiaka pt.: „Modelowanie zjawisk fizycznych w laserach półprzewodnikowych” składa się 10 publikacji w renomowanych pismach specjalistycznych o zasięgu światowym: dwie z nich opublikowane były w *Physica E* (IF=2.22), dwie w *Journal of Physics D* (IF=2.6), po jednej w *Journal of Lightwave Technology* (IF=3.67), *Optica Applicata* (IF=.063), *Opto-Electronic Review* (IF= 1.45), *Optics Communications* (IF=1.59). Dwie publikacje w ukazały się w materiałach konferencyjnych. Wszystkie wymienione czasopisma należą niewątpliwie do czasopism wiodących w dziedzinie optoelektroniki i fizyki stosowanej. W dwóch spośród artykułów habilitacyjnych dr Wasiak jest jedynym autorem, w następnych czterech jest autorem pierwszym autorem i jak oświadczają wszyscy współautorzy jego wkład w raportowane badania był dominujący – wynosił 60-70%. W pozostałych czterech, wielo-autorskich artykułach wkład dr Wasiaka był mniejszy, wynosił od 12 do 35%. Artykuły z tej grupy są artykułami o charakterze doświadczalnym. Jednak bez wkładu teoretycznego dr Wasiaka prawdopodobnie nie zostały by opublikowane, lub ich wymowa byłaby znacznie osłabiona. Dlatego uważam, że mimo iż formalnie wkład Habilitanta w kilku (4) pracach nie był dominujący, to jego rola w powstanie tych artykułów była bardzo istotna a jego wkład bardzo ważny.

Dr Wasiak opatrzył artykuły składające się na rozprawę habilitacyjną obszernym przewodnikiem, który sam w sobie zasługuje na uwagę. Niewątpliwą zaletą tego przewodnika jest jego charakter, szeroko i przystępnie wprowadzający w istotę i fizykę zjawisk, które były przedmiotem badań habilitanta. W szczególności, część wstępna tego wprowadzenia poświęcona jest podstawom fizycznym i opisowi działania półprzewodnikowych laserów półprzewodnikowych. Autor opisuje szczegółowo problemy jakie napotyka się przy próbach modelowania numerycznego procesów zachodzących we współczesnych laserach. Omawia również konkretne przykłady struktur, które badał i procesy fizyczne, które towarzyszą akcji

laserowej.

Dwie pierwsze, jedno-autorskie publikacje z cyklu publikacji habilitacyjnych dr Wasiaka (1,2) mają charakter ściśle teoretyczny. W pierwszej z nich autor zajmuje się zjawiskiem wstrzykiwania nośników do struktur z wieloma studniami kwantowymi i bada ewolucję czasową rozkładu tych nośników w studniach. Stwierdza, że czas potrzebny do równomiernego rozprowadzenia nośników w strukturze jest porównywalny z radiacyjnym czasem życia nośników w typowych laserach z wieloma studniami kwantowymi. Uzyskane wyniki sugerują, że opisany efekt wzmocnienia kwantowego jest na tyle skuteczny, że efektywnie niweluje pierwotnie nierównomierny rozkład wstrzykiwanych nośników w kolejnych studniach kwantowych. Jest to wynik ważny, ponieważ pozwala na znaczne uproszczenie teoretycznej analizy zjawiska rekombinacji w laserach z wieloma studniami kwantowymi. W pracy (2) Habilitant przedstawia matematycznie ścisłe podejście do symulacji nad-progowej pracy diody laserowej typu VCSEL. Proponowane podejście wymaga znajomości tylko jednego parametru – prądu progowego. W szczególności model ten umożliwia komputerową symulację wzbudzenia kolejnych modów poprzecznych wraz ze wzrastającym prądem zasilania. Dzięki temu, proponowane podejście przewiduje warunki konieczne do utrzymania operacji w trybie jedno-modowym. Wyniki obliczeń zgodne są z wynikami pomiarów. W artykule (3) przedstawiono numeryczną analizę wpływu głębokości trawienia kryształu fotonicznego na różne właściwości lasera VCSEL. Autorzy pokazali, że staranne zaprojektowanie i wykonanie kryształu fotonicznego może zwiększyć emitowaną moc w reżimie pracy jedno-modowej pracy lasera aż o 10% w szerokim zakresie prądów zasilających od 5 do 50 mA. W pracy (4), w której dr Wasiak jest pierwszym autorem i jego wkład równy jest 70 %, opracował on model pozwalający na znajdowanie funkcji falowych stanów w strukturze spolaryzowanych supersieci oraz wykonał odpowiednie obliczenia numeryczne. Istotą tej pracy jest wykazanie, że istnieje możliwość obliczeń struktury elektronicznej w dużych obszarach struktur laserów kaskadowych, niezależnie od silnego pola elektrycznego, w którym znajduje się taka struktura. Laserom kaskadowym poświęcona jest również praca (5), do której wkład dr Wasiaka polegał na ilościowej analizie teoretycznej i numerycznej przejść wewnątrz i międzypasmowych w strukturach supersieci oraz na obliczaniu energii i względnych intensywności przejść promienistych. Praca (6) dotyczy laserów z kropkami kwantowymi jako obszarem czynnym. Rola Habilitanta polegała na opracowaniu modelu wzmocnienia optycznego w obszarze kropek kwantowych, analizie statystycznych własności zbioru kropek kwantowych oraz interpretacji wyników symulacji

dotyczących wzmocnienia optycznego w laserach VCSEL. W pracach (7,8) Habilitant zajmował się stworzeniem koncepcji modelu cieplnego laserów pompowanych optycznie, dostosowaniem tego modelu do technologii wykorzystywanej przez grupę z Ecole Polytechnique de Lausanne; symulacjami termicznymi laserów VCSEL, pracami eksperymentalnymi nad laserami VCSEL. Ponadto w pracy (8) rozszerzył swoje rachunki na numeryczne obliczenia termicznych własności innych struktur laserów VCSEL i analizę zjawisk fizycznych zachodzących w laserach o innych typach konstrukcji. Dwie ostatnie prace (9, 10) poświęcone są opracowaniu modelu pojemności i czasowych przebiegów prądu w laserach VCSEL oraz wykorzystaniu tego modelu i modeli optycznych do analizy parametrów modulacyjnych arsenkowych i azotkowych laserów VCSEL. Model ten pozwolił przewidzieć, że można uprościć skomplikowane struktury laserów VCSEL bez pogarszania ich własności modulacyjnych. W pracach tych Habilitant prowadził również analizę danych eksperymentalnych.

Jak pokazuje powyższy przegląd, rozprawa habilitacyjna dr Wasiaka jest z jednej strony bardzo monotematyczna – dotyczy obliczeń teoretycznych i numerycznego modelowania laserów półprzewodnikowych, ale z drugiej strony lasery, którymi zajmował się Habilitant były bardzo różnorodne – miały różne konstrukcje (emisję krawędziową lub powierzchniową), były różnie wzbudzone (pompowane elektrycznie lub optycznie), ich obszar czynny był różny (zawierał studnie, kropki kwantowe, bądź supersieci). Każdy rodzaj przyrządu wymagał innego podejścia teoretycznego i rachunkowego. Dr Wasiak doskonale poradził sobie opisem tych różnorodnych struktur. Ponadto, dr Wasiak wykazał się biegłością i wszechstronnością w modelowaniu bardzo różnych własności i zjawisk fizycznych występujących w takich przyrządach. Modelował on zarówno własności optyczne, jak i termiczne i pojemnościowe. Jego specjalnością i dużym osiągnięciem stało się modelowanie wzmocnienia optycznego i, co się z tym wiąże, stworzenia modelu pracy nadprogowej lasera. Większość z tych wyników powstała we współpracy z ośrodkami doświadczalnymi i technologicznymi i była wykorzystana do wytwarzania pracujących laserów.

Podsumowując, w swojej rozprawie habilitacyjnej dr Michała Wasiaka przedstawił szereg ważnych wyników dotyczących różnych własności fizycznych laserów półprzewodnikowych. Prace te są ważne zarówno z punktu widzenia badań podstawowych jak i z punktu widzenia zastosowań. Uważam, że przedstawiona rozprawa habilitacyjna stanowi istotny wkład autora

w uprawianą dziedzinę nauki. Stwierdzam, że rozprawa spełnia warunki określone w ustawie i rozporządzeniu o stopniach naukowych. Ponieważ zarówno dorobek naukowy jak i rozprawę habilitacyjną dr Michała Wasiaka oceniam bardzo wysoko, wnoszę o dopuszczenie habilitanta do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego



Grzegorz Karszewski