

# AUTOREFERAT

## Robert Kudrawiec

Wrocław, 1 marca 2017

### DANE OSOBOWE

Imię i nazwisko: Robert Kudrawiec  
Data i miejsce urodzenia: 27.XI.1975, Żagań, Polska  
Narodowość: Polska  
Stan cywilny: Żonaty – żona Marta (1975);  
Dzieci: Jan (2001), Małgorzata (2003), Andrzej (2005);  
Adres strony internetowej: <http://www.pwr.wroc.pl/> [www.osn.pwr.edu.pl](http://www.osn.pwr.edu.pl)  
Indywidualny identyfikator naukowca: Author ID: 8673451300, Researcher ID: A-6139-2012

### Główny adres:

Wydział Podstawowych Problemów Techniki  
Politechnika Wrocławska  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław, Poland  
Tel.: +48 71 320 42 80 [robert.kudrawiec@pwr.edu.pl](mailto:robert.kudrawiec@pwr.edu.pl)

### STOPNIE NAUKOWE

- Habilitacja z fizyki – Instytut Fizyki, Politechnika Wrocławska, 2010 (kolokwium z wyróżnieniem);
- Doktorat z fizyki – Instytut Fizyki, Politechnika Wrocławska, 2004 (obrona z wyróżnieniem);
- Magister z fizyki – Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wrocławska, 2000 (obrona z wyróżnieniem);

### ZATRUDNIENIE I STANOWISKA

- X.2012 – do teraz: profesor nadzwyczajny na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wrocławska;
- I.2012 – IX.2013: profesor wizytujący (sabbatical) w Lawrence Berkeley National Laboratory, USA;
- II.2006 – V.2007: staż doktorski (post-doc) w Solid State Laboratory pod opieką prof. Jamesa Harrisa, Stanford University, USA;
- X.2005 – IX.2012: adiunkt w Instytucie Fizyki na Politechnice Wrocławskiej;
- XI.2004 – X.2005: asystent w Instytucie Fizyki na Politechnice Wrocławskiej;
- X.2000 – IX.2004: doktorant w Instytucie Fizyki na Politechnice Wrocławskiej;
- X.1995 – VI.2000: student (fizyka ciała stałego) na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej;

### OPIS KARIERY ZAWODOWEJ

Pracę zawodową rozpocząłem od trzeciego roku studiów (1998 roku) w Instytucie Fizyki Politechniki Wrocławskiej w zespole optycznej spektroskopii nanostruktur (OSN) kierowanym przez prof. Jana Misiewicza. Pod opieką prof. Leszka Bryja zajmowałem się dwoma tematami. Pierwszy z nich dotyczył badania fotoluminescencji jonów ziem rzadkich (Eu, Tb, oraz Er) umieszczonych w różnego typu matrycach tlenkowych i był realizowany we współpracy z prof. Nikolajem Gaponenko z Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics w Minsku. Drugi temat dotyczył badania optycznych właściwości struktur na bazie GaN i był realizowany we współpracy z prof. Markiem Tłaczałą i prof. Reginą Paszkiewicz z Wydziału Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki Politechniki Wrocławskiej. W ramach tej tematyki w czerwcu 2000 roku obroniłem pracę dyplomową zatytułowaną „Optyczne właściwości azotków metali grupy III”, której promotorem był prof. Leszek Bryja.

Od 2004 roku rozpocząłem studia doktoranckie w Instytucie Fizyki Politechniki Wrocławskiej pod opieką prof. Jana Misiewicza. Na początku studiów doktoranckich bardzo intensywnie kontynuowałem współpracę z prof. Nikolajem Gaponenko. W ramach tej współpracy łącznie opublikowaliśmy 11 prac na temat fotoluminescencji jonów ziem rzadkich umieszczonych w matrycach tlenkowych. Od początku studiów doktoranckich równolegle rozpocząłem prace nad zastosowaniem spektroskopii fotoodbiciowej do badania struktur półprzewodnikowych w bliskim ultrafiolecie (struktury na bazie GaN) oraz średniej podczerwieni (struktury na bazie GaSb). Od roku 2003 moje zainteresowania skoncentrowały się półprzewodnikach grupy III-V rozrzedzonych azotem. W tym czasie uczestniczyłem w realizacji przez zespół OSN projektu europejskiego GIFT „GaAs-based emitters for fibre-optical data and telecommunications”. We wrześniu 2004 w ramach tej tematyki z wyróżnieniem obroniłem pracę doktorską zatytułowaną „Optical properties of nitrogen diluted compounds and their low dimensional structures”.



Po obronie doktoratu kontynuowałem badania półprzewodników grupy III-V rozrzedzanych azotem oraz rozpocząłem badania innych materiałów półprzewodnikowych. Od roku 2005 uczestniczyłem w realizacji przez zespół OSN projektu europejskiego ZODIAC „Zero order dimension based industrial components applied to telecommunications”. W ramach tego projektu prowadziłem badania kropek i kresek kwantowych przeznaczonych do zastosowań laserowych i jak dotąd w tej tematyce jestem współautorem ponad 20 prac. W dalszej pracy moje zainteresowania naukowe jeszcze mocniej skoncentrowały się na półprzewodnikach grupy III-V rozrzedzonych azotem. Badania te były prowadzone w ramach współpracy z prof. Jamesem Harrisem ze Stanford University i dotyczyły struktury pasmowej dla studni kwantowych (Ga,In)(N,As,Sb)/GaAs. W latach 2006-2007 odbyłem staż podoktorski w grupie prof. Jamesa Harrisa na Stanford University. Na stażu tym zajmowałem się rolą defektów w półprzewodnikach grupy III-V rozrzedzonych azotem. Łącznie, z grupą prof. Jamesa Harrisa opublikowałem 23 prace w regularnych czasopismach w tym 6 prac w *Applied Physics Letters* oraz 8 prac w *Journal of Applied Physics*. Po powrocie ze Stanford University rozbudowałem swoje kontakty naukowe o nowe ośrodki naukowe, które specjalizują się w wytwarzaniu tego typu struktur półprzewodnikowych, a w 2009 roku w ramach tej tematyki złożyłem rozprawę habilitacyjną, którą obroniłem z wyróżnieniem na kolokwium habilitacyjnym w maju 2010 roku.

Po uzyskaniu habilitacji moje zainteresowania naukowe rozszerzyłem o nowe materiały półprzewodnikowe oraz nowe metody badawcze, które opisane są poniżej. Ponadto po uzyskaniu habilitacji kontynuowałem wcześniejszą tematykę badawczą (tj. badałem półprzewodniki III-N i półprzewodniki III-V rozrzedzone azotem oraz rozwijałem metody spektroskopii modulacyjnej).

Wśród moich obecnych zainteresowań naukowych jedno z najważniejszych miejsc zajmują badania wbudowanych pól elektrycznych oraz położenia poziomu Fermiego na powierzchni półprzewodnika w strukturach na bazie azotku galu. W przypadku polarnych struktur III-N wbudowane pola elektryczne odgrywają kluczową rolę w działaniu przyrządów optoelektronicznych i dlatego znajomość tych pól jest bardzo ważna w zrozumieniu działania takich przyrządów i ich optymalizacji. Spektroskopia elektro-modulacyjna (tj. fotoodbicie oraz bezkontaktowe elektroodbicie) jest jedną z nielicznych metod, która pozwala wyznaczyć wartości wbudowanych pól elektrycznych w sposób eksperymentalny. Dlatego cały czas prowadzę intensywną współpracę w zakresie badań wbudowanych pól elektrycznych w strukturach AlGaIn/GaN z ośrodkami naukowymi wytwarzającymi takie próbki (Instytut Wysokich Ciśnień PAN, Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, Instytut Fizyki PAN, IMEC, University Santa Barbara, ...), a pan dr Łukasz Janicki w ramach tej tematyki zrealizował pod moją opieką pracę doktorską (*Badanie rozkładu pól elektrycznych w strukturach półprzewodnikowych na bazie związków III-N* – 2015). Po habilitacji w ramach tej tematyki opublikowałem ponad 20 artykułów w regularnych czasopismach z czego jedna w *Scientific Reports*, 5 w *Applied Physics Letters*, 3 w *Applied Physics Express*, 7 w *Journal of Applied Physics*. Pełne informacje na temat publikacji znajdują się w ankiecie osiągnięć naukowych. Ponadto w ramach tej tematyki zrealizowałem grant OPUS z Narodowego Centrum Nauki (NCN) (*Położenie poziomu Fermiego na powierzchni GaN oraz rozkład pól elektrycznych w heterostrukturach AlGaIn/GaN osadzanych na podłożach GaN o różnej orientacji krystalograficznej*), a obecnie w konsorcjum z Instytutem Wysokich Ciśnień PAN, ITME i firmą AMMONO realizuję grant PBS z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (*Wykonanie podłoży polarnych z azotku galu o azotowej stronie powierzchni czynnej oraz określenie jej przydatności w epitaksji*).

W latach 2011-2012 byłem profesorem wizytującym w Lawrence National Berkeley Laboratory (LBL) gdzie współpracowałem z dr Władysławem Walukiewiczem, który zaproponował model niekrzyżujących się pasm (ang. Band Anticrossing Model) do opisu półprzewodników III-V rozrzedzonych azotem, a następnie półprzewodników II-VI rozrzedzanych tlenem i półprzewodników III-V rozrzedzanych bizmutem. Moja współpraca z dr Walukiewiczem koncentruje się wokół tzw. mocno niedopasowanych półprzewodników (ang. highly mismatch alloys), które można opisywać modelem niekrzyżujących się pasm.

Po powrocie ze Stanów uzyskałem grant Sonata Bis z NCN na badania struktury pasmowej oraz elektro-optycznych właściwości mocno niedopasowanych związków półprzewodnikowych, tj. tematyki bezpośrednio związanej z moim pobytem naukowym w LBL. Obecnie moja współpraca z dr Walukiewiczem jest kontynuowana w ramach grantu Harmonia z Narodowego Centrum Nauki (NCN), który poświęcony jest materiałom półprzewodnikowym z pośrednią przerwą energetyczną oraz przezroczystym materiałom przewodzącym, które mogą mieć zastosowanie w ogniwach słonecznych trzeciej generacji.

W ramach badań tematyki półprzewodników III-V rozrzedzanych azotem dr Magda Latkowska pod moją opieką zrealizowała i obroniła pracę doktorską (*Procesy rekombinacji promienistej i niepromienistej w półprzewodnikach III-V rozrzedzonych azotem* – 2013), a obecnie mgr Karolina Żelazna realizuje pracę doktorską poświęconą związkom GaNPAs (*Optical properties of intermediate band gap semiconductors*), które charakteryzują się pośrednią przerwą energetyczną. Praca ta powstaje w ramach grantu Harmonia, a dr Walukiewicz jest współ-promotorem pani Karoliny.

Wśród nowych tematów badawczych, którymi zająłem się po habilitacji, są badania półprzewodników grupy II-VI rozrzedzane tlenem. Są to materiały, które są analogiem półprzewodników III-V rozrzedzanych azotem. W ramach tej tematyki pani dr Monika Wełna pod moją opieką zrealizowała i obroniła pracę doktorską (*Band*



*structure and optical properties of dilute oxides* – 2015). W tym wypadku współ-promotorem pani Moniki był również dr Walukiewicz, a Pani Monika realizując prace doktorską odbyła staż naukowy w LBL u dr Walukiewicza, który finansowany był w ramach grantu Etiuda z NCN. Po obronie pani dr Monika Welna pracuje u mnie w zespole i realizuje grant Preludium z NCN gdzie zajmuje się mocno niedopasowanymi półprzewodnikami grupy II-VI. Obecnie interesujemy się ZnO rozrzedzonym selenem i jak pokazaliśmy w pracy Welna et al. *Scientific Reports* 7, 44214 (2017) jest to materiał, który charakteryzuje się pośrednią przerwą energetyczną i przez to może mieć zastosowanie w dwukolorowych emiterach światła.

Kolejnym nowym tematem, którym zająłem się po uzyskaniu habilitacji, są półprzewodniki grupy III-V rozrzedzone bizmutem. Tę tematykę realizuję razem z dr Janem Kopaczkim, który pod moją opieką realizował i obronił z wyróżnieniem pracę doktorską (*Struktura pasmowa oraz właściwości optyczne półprzewodników III-V rozrzedzonych bizmutem* – 2016). Pan Kopaczek pod moją opieką w ramach tej tematyki realizował „Diamentowy Grant” z Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (MNiSzW), a obecnie realizuje grant Preludium z NCN gdzie zajmuje się wykorzystaniem półprzewodników III-Sb-Bi w emiterach światła przeznaczonych na średnią podczerwień oraz grant Iuventus Plus z MNiSzW gdzie koncentruje się na zastosowaniu piezoodbicia do badania struktury pasmowej dichalkogenków. Jest to kolejna nowa tematyka badawcza jaką zająłem się po uzyskaniu habilitacji.

Obecnie jestem w trakcie kompletowania zespołu badawczego, który w ramach grantu Opus z NCN, którego jestem kierownikiem, zajmie się badaniem kryształów van der Waalsa oraz pojedynczych warstw uzyskanych z tych kryształów. W ramach tego projektu zamierzamy zastosować spektroskopię modulacyjną (fotoodbicie, termoodbicie, lub bezkontaktowe elektroodbicie) do badania struktury pasmowej dla kryształów o kontrolowanej liczbie warstw. Jak udało się nam wykazać do tej pory fotoodbicie jest doskonałą metodą badania prostych przejść optycznych w tego typu materiałach. Używając tej metody wyznaczyliśmy współczynniki ciśnieniowe dla prostych przejść optycznych w MoS<sub>2</sub>, MoSe<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub>, WSe<sub>2</sub> oraz oszacowaliśmy ciśnienia dla przejścia półprzewodnik-półmetal (Dybala et al. *Scientific Reports* 6, 26663 (2016)).

Badania eksperymentalne prowadzone u mnie w zespole uzupełniane są przez obliczenia z zasad pierwszych. Za tą część odpowiedzialny jest mgr Maciej Polak, którego pod moją opieką realizuje prace doktorską i którego współ-promotorem jest prof. Oleg Rubel z McMaster University w Kanadzie, który jest specjalistą w takich obliczeniach i współautorem kodów w pakiecie obliczeniowym ABINIT. Przedmiotem rozprawy doktorskiej Pana Macieja są obliczenia struktury pasmowej dla mocno niedopasowanych półprzewodników w pełnym zakresie składów oraz obliczenia defektów w tego typu materiałach. Pan Maciej realizuje te badania pod moją opieką w ramach dwóch grantów („Diamentowy Grant” z MNiSzW oraz grant Etiuda z NCN).

Wśród nowych metod badawczych uruchomionych po habilitacji do najważniejszych ze względu na unikalność w skali krajowej i światowej zaliczyłbym spektroskopię fotoakustyczną oraz fotoindukowane odbicie mikrofal. Spektroskopia fotoakustyczna jest znaną metodą badawczą ale przez Nas została zaproponowana po raz pierwszy do badania struktury pasmowej w nanodrutach tj. układach gdzie z powodu rozpraszania światła pomiary przerwy energetycznej metodami absorpcyjnymi są trudne, a w przypadku nieprzeźroczystych podłoży raczej niemożliwe (S.J. Zelewski, et al. *Appl. Phys. Lett.* 109, 182106 (2016)). Ponadto zaobserwowaliśmy, że metoda ta ma duży potencjał w przypadku kryształów van der Waalsa i jak dotąd nie była stosowana do tego rodzaju materiałów półprzewodnikowych. Dlatego pan mgr Szymon Zelewski w ramach tej tematyki realizuje rozprawę doktorską pod moją opieką. Sytuacja jest bardzo podobna w przypadku fotoindukowanego odbicia mikrofal, tj. metody którą dysponują nieliczne ośrodki naukowe, a która to pozwala mierzyć czasy życia nośników w półprzewodnikach ze skośną przerwą energetyczną. Większość kryształów van der Waalsa w postaci litej jest półprzewodnikami z skośną przerwą energetyczną, a Nasze najnowsze badania pokazują, że metoda ta bardzo dobrze działa w tych materiałach i pozwala wyznaczyć czasy życia nośników. Dlatego jest to nowy i bardzo atrakcyjny kierunek badań, który obecnie staram się intensywnie rozwijać.

Moja aktywność dydaktyczna po uzyskaniu habilitacji koncentrowała się na wykładaniu *Fizyki* dla I-szego stopnia studiów dla studentów Wydziału Elektrycznego, Wydziału Mechanicznego, a obecnie Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii (GGG) gdzie jako lider zespołu dydaktycznego jestem odpowiedzialny za cały proces nauczania fizyki. Oprócz wykładu prowadziłem również ćwiczenia i laboratoria z tego przedmiotu. Od trzech lat prowadzę wykład *Fizyka – Budowa Materii* dla drugiego stopnia studiów na wydziale GGG. Dla studentów nano-inżynierii z mojego rodzimego wydziału opracowałem wykład *Projektowanie Materiałów i Struktur* wraz z laboratorium gdzie studenci przygotowują swoje własne kody/programy do obliczenia struktury pasmowej dla studni kwantowych wykonanych na bazie różnych materiałów półprzewodnikowych. Wykład ten prowadzę już od pięciu lat. Dwa lata temu zaproponowałem kolejny wykład dla studentów nano-inżynierii, jest to wykład *Monograficzny – Struktury 2D*, gdzie przedstawiam studentom najnowszą wiedzę z badania dwuwymiarowych materiałów półprzewodnikowych (dichalkogenki, monochalkogenki, materiały topologiczne, ...). Te dwa wykłady są bezpośrednio związane z moją aktywnością zawodową. Ponadto prowadzę popularyzację moich badań oraz fizyki półprzewodników wśród młodzieży szkolnej. Co roku w trakcie Dolnośląskiego Festiwalu Nauki dzieciom ze szkół pokazuje nasze laboratorium, a w tym robię z Nimi dwa eksperymenty (mówienie po wciągnięciu Helu i zanurzanie kwiatów i liści w ciekłym azocie) oraz tłumacze i demonstruje





działanie lasera. W 2016 roku byłem również jurorem w Turnieju Młodych Fizyków organizowanym przez Instytut Fizyki PAN.

Podsumowując moją aktywność w zakresie opieki naukowej i kształcenia młodej kadry chciałbym podkreślić, że miałem przyjemność pracy z utalentowanymi ludźmi. Czterech z nich już obroniło prace doktorskie, a cztery osoby są w trakcie realizacji prac doktorskich. Ponadto jak dotąd byłem recenzentem trzech rozpraw doktorskich oraz oponentem w jednej obronie rozprawy doktorskiej na Aalto University w Helsinkach. Pełne informacje na ten temat znajdują się w ankiecie osiągnięć naukowych.

Podsumowując aktywność naukową chciałbym podkreślić, że przez cały okres rozwoju mojej kariery naukowej jednym z moich głównych zainteresowań jest rozwój technik modulacyjnych (fotoodbicia, bezkontaktowego elektroodbicia, piezodbicia i innych), tj. ich czułości pomiarowych w różnych zakresach spektralnych oraz zastosowania do badania różnego typu struktur półprzewodnikowych oraz efektów fizycznych w tych strukturach. Szczególnie interesuje mnie zastosowanie tego typu metod do badania nowych materiałów i heterostruktur półprzewodnikowych. Uważam, że w ramach tej metody badawczej udało mi się uzyskać wiodącą pozycję na świecie. Ponadto udało mi się uzyskać szereg interesujących wyników dla poszczególnych grup materiałowych, które badałem już po uzyskaniu habilitacji i wybrane z nich szczegółowo opisałem na końcu ankiety osiągnięć naukowych.

Podsumowując moją działalność naukową uważam, że jestem w stanie zaproponować interesującą tematykę badawczą, uzyskać na nią finansowanie oraz zainteresować nią młodych ludzi, którzy w ramach tej tematyki realizują ambitne prace inżynierskie, magisterskie i doktorskie oraz uzyskują prestiżowe granty i nagrody. Zespół naukowy, który jak dotąd zbudowałem liczy 10 osób:

dr Filip Dytała – post-doc zatrudniony w ramach grantu Fuga z NCN, w którym jest kierownikiem;

dr Wojciech Linhart – post-doc zatrudniony w ramach grantu Sonata z NCN, w którym jest kierownikiem;

dr Magda Latkowska – asystent naukowy zatrudniony w ramach grantu Sonata z NCN, w którym jest kierownikiem (obecnie na urlopie macierzyńskim);

dr Łukasz Janicki – asystent naukowy zatrudniony w ramach grantu Preludium z NCN, w którym jest kierownikiem;

dr Monika Węła – asystent naukowo-dydaktyczny (obecnie na urlopie macierzyńskim), realizuje swój grant Preludium z NCN;

dr Jan Kopaczek – asystent naukowo-dydaktyczny, realizuje swój grant Preludium z NCN i Iuventus Plus z MNiSzW;

mgr Karolina Żelazna – doktorantka;

mgr Maciej Polak – doktorant, realizuje „Diamentowy grant” z MniSzW oraz grant Etiuda z NCN;

mgr Szymon Zelewski – doktorant;

mgr Herbert Mączko – doktorant.

Obecnie zespół ten realizuje 12 grantów naukowych (9 w których kierownikami są moi post-docy lub doktoranci i 3 w których kierownikiem jestem ja) i publikuje ponad 15 publikacji rocznie w regularnych czasopismach z zakresu fizyki stosowanej o łącznym  $IF > 40$ . Zespół ten prowadzi współpracę naukową z wiodącymi ośrodkami naukowymi w Polsce i zagranicą i współpraca ta polega na zastosowaniu zaawansowanych metod optycznych (spektroskopia modulacyjna, mikro-fotoluminescencja, czasowo-rozdzielcza fotoluminescencja, spektroskopia fotoakustyczna, fotoindukowane odbicie mikrofal, ...) do badania struktur półprzewodnikowych wytworzonych przez te ośrodki naukowe. Współpraca ta udokumentowana jest wspólnymi publikacjami naukowymi, których lista przedstawiona jest w ankiecie osiągnięć naukowych.