

# ANKIETA OCENY OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH

## 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;

### GRANTY I PROJEKTY (po uzyskaniu habilitacji)

- *Spektroskopia modulacyjna kryształów van der Waalsa oraz układów dwu wymiarowych opartych na tych kryształach*, grant OPUS NCN, 2017-2020 (kierownik);
- *Wykonanie podłoży polarnych z azotku galu o azotowej stronie powierzchni czynnej oraz określenie jej przydatności w epitaksji*, grant PBS NCBiR, 2015-2017 (kierownik zadania na PWR);
- *Wybrane właściwości nowych związków i heterostruktur półprzewodnikowych przeznaczonych do zastosowań w bateriach słonecznych następnej generacji*, grant HARMONA NCN, 2014-2017 (kierownik);
- *Struktura pasmowa oraz elektro-optyczne właściwości mocno niedopasowanych związków półprzewodnikowych oraz heterostruktur niskowymiarowych zawierających te związki*, grant SONATA BIS NCN, 2013-2018 (kierownik);
- *Położenie poziomu Fermiego na powierzchni GaN oraz rozkład pól elektrycznych w heterostrukturach AlGaIn/GaN osadzanych na podłożach GaN o różnej orientacji krystalograficznej*, grant OPUS NCN, 2012-2015 (kierownik);
- *Budowa i optymalizacja układu do wielokanałowej spektroskopii modulacyjnej w konfiguracji światłowodowej*, grant MNiSzW, 2011-2014 (kierownik);
- *Procesy rekombinacji promienistej i niepromienistej w związkach i strukturach półprzewodnikowych III-V z azotem*, grant MNiSzW, 2010-2012 (kierownik);



## **DYDAKTYKA, OPIEKA NAD STUDENTAMI, DOKTORANTAMI I STAŻYSTAMI**

### **Dydaktyka i popularyzacja nauki**

- Fizyka (wykłady, ćwiczenia i laboratoria);
- Fizyka – Budowa Materii (wykład);
- Projektowanie materiałów i struktur (wykład i laboratorium);
- Wykład monograficzny – materiały 2D (wykład);
- Pokazy w laboratorium dla uczniów w ramach Dolnośląskiego Festiwalu Nauki, co roku przez ostatnich kilka lat;
- Juror w Turnieju Młodych Fizyków dla uczniów szkół średnich, Instytut Fizyki PAN, Warszawa (2016);

### **Dyplomanci**

- Dwóch studentów uzyskało Diamentowe Granty z Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, tj. granty dla 100 najlepszych studentów w Polsce ze wszystkich dziedzin (Jan Kopaczek – 2011 i Maciej Polak – 2014);
- Promotorstwo 11 prac magisterskich z zakresu spektroskopii struktur półprzewodnikowych;
- Promotorstwo 15 prac inżynierskich z zakresu półprzewodników;

### **Doktoranci**

- X.2016 – IX.2020: Herbert Mączko, *Struktura pasmowa i wzmocnienie materiałowe w nowoczesnych studniach kwantowych* (w trakcie realizacji);
- X.2015 – IX.2019: Maciej Polak, *Obliczenia struktury pasmowej mocno niedopasowanych związków półprzewodnikowych z pierwszych zasad* (w trakcie realizacji);
- X.2015 – IX. 2019: Szymon Zelewski, *Spektroskopia foto-akustyczna nowoczesnych materiałów półprzewodnikowych* (w trakcie realizacji);
- X.2013 – IX.2017: Karolina Żelazna, *Optyczne właściwości półprzewodników z pośrednią przerwą energetyczną* (w trakcie realizacji);
- X.2012 – XI.2016: Jan Kopaczek, *Struktura pasmowa oraz właściwości optyczne półprzewodników III-V rozrzedzonych bizmutem* (obroniony);
- X.2011 – IX.2015: Monika Wełna, *Struktura pasmowa oraz właściwości optyczne półprzewodników II-VI rozrzedzonych tlenem* (obroniony);
- X.2011 – IX.2015: Łukasz Janicki, *Badanie rozkładu pól elektrycznych w strukturach półprzewodnikowych na bazie związków III-N* (obroniony);
- X.2009 – X.2013: Magdalena Latkowska, *Procesy rekombinacji promienistej i niepromienistej w półprzewodnikach* (obroniony);

### **Recenzje doktoratów**

- Francesco Ivaldi: *Własności strukturalne i elektronowe nanostruktur azotkowych bogatych w ind*, Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk, Warszawa, 23/02/2016;
- Henri Jussila: *Integration of GaAsP based III-V compound semiconductors to silicon technology*, Opponent at PhD defense, Aalto University, Finland, 26/09/2014;
- Grzegorz Staszczak: *Badania wysokociśnieniowe mechanizmów fotoluminescencji w strukturach kwantowych InGaN/GaN*, Instytut Wysokich Ciśnień Polskiej Akademii Nauk, Warszawa, 13/02/2014;
- Łukasz Piskorski: *Modelowanie zjawisk fizycznych w wybranych konstrukcjach laserów VCSEL emitujących promieniowanie w zakresie II okna optycznego światłowodowej telekomunikacji optycznej*, Politechnika Łódzka, Łódź, 13/12/2011;

### **Stażyści (Postdoctoral fellows)**

- I.2015 – XII.2015: dr Manolo Ramírez López, Departamento de Física, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Mexico;
- XI.2014 – III.2018: dr Wojciech Linhart, Department of Physics, The University of Warwick, United Kingdom;
- X.2014 – IX.2017: dr Filip Dybała, Instytut Wysokich Ciśnień Polskiej Akademii Nauk, Warszawa;
- X.2013 – IX.2015: dr Michał Baranowski, Instytut Fizyki, Politechnika Wrocławska, Poland;

### **INNA DZIAŁALNOŚĆ (po uzyskaniu habilitacji)**

- 2011 – 2016: Członek Zespołu Specjalistycznego Nauk Technicznych i Ścisłych (do Oceny Wniosków o Przyznanie Środków Finansowych na Działalność Statutową);
- 2012 – 2013: Członek panelu ST3, Narodowe Centrum Nauki;
- Recenzent wniosków grantowych: Narodowe Centrum Nauki, Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego;
- Recenzent w czasopiśmie: AIP journals (Applied Physics Letters i Journal of Applied Physics), APS journals (Phys. Rev. B i Phys. Rev. Applied), ACS journals (ACS Applied Materials Interfaces, The Journal of Physical Chemistry C, ...), IoP journals (Journal of Physics D, Semiconductor Science and Technology, ...), Scientific Reports, czasopisma Elsevier, Wiley i Springer (ponad 30 recenzji na rok przez ostatnie lata);

Członek międzynarodowych komitetów:

- VII/VIII.2016: Member of the International Program Committee of 8<sup>th</sup> International Conference on Low Dimensional Structures and Devices, over 100 participants, Mayan Riviera, Mexico;
- VII.2015: Member of the International Program Committee of 28<sup>th</sup> International Conference on Defects in Semiconductors, Helsinki, Finland;
- IX.2014: Member of the International Program Committee of International Workshop on Nitrides, over 800 participants, Wrocław, Poland;
- IX.2013: Symposium organizer, E-MRS Fall Meeting, Warsaw, Poland;
- VII.2011 and VIII.2013: Member of International Program Committee, ASCO-NANOMAT, Asian School-Conference on Physics and Technology of Nanostructured Materials, over 200 participants, Vladivostok, Russia;

### **NAGRODY, STYPENDIA I WYRÓŻNIENIA**

- Nagroda Rektora Politechniki Wrocławskiej za działalność naukową, 2014;
- Stypendium „Mobilność Plus” z Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, 2011;
- Nagroda Rektora Politechniki Wrocławskiej za działalność naukową, 2010;
- Nagroda Polityki dla młodych naukowców, 2008;
- Dwuletnie stypendium HOMMING z Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, 2007;
- Grant dla laureatów programu KOLUMB z Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, 2007;
- Wyróżnienie w konkursie Grzegorza Pienkowskiego za rozprawę doktorską, 2005;
- Roczne stypendium KOLUMB z Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, 2005;
- Stypendium START dla młodych naukowców z Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, 2005;
- Nagroda Rektora Politechniki Wrocławskiej za rozprawę doktorską, 2005;
- Stypendium START dla młodych naukowców z Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, 2004;
- Nagroda Dziekana Wydziału Podstawowych Problemów Techniki za pracę magisterską, 2000;

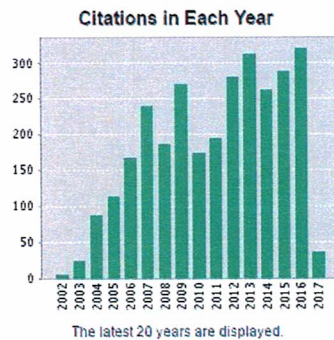
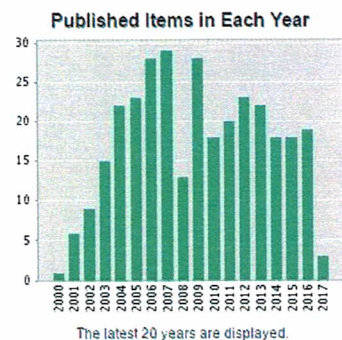
### **PUBLIKACJE – ANALIZA BIBLIOGRAFICZNA**

Ponad 250 publikacji w recenzowanych czasopismach (52 artykuły w *Applied Physics Letters*), 4 rozdziały w książkach, ponad 20 zaproszonych wykładów na międzynarodowych konferencjach, uniwersytetach i instytutach naukowych.

**h-index: 26**

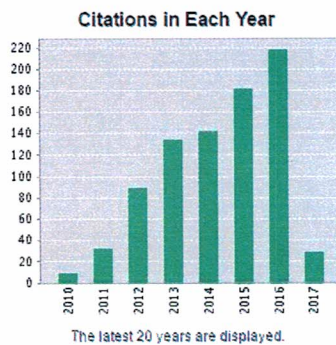
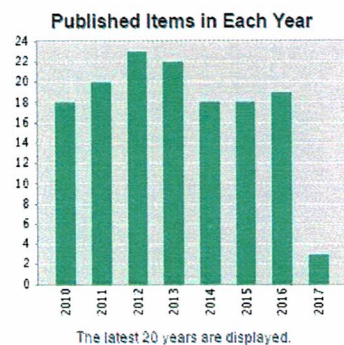
**i10-index: 108**

**Cytowania (bez autocytowań): 1596**



Results found: 315  
Sum of the Times Cited [?]: 2978  
Sum of Times Cited without self-citations [?]: 1596  
Citing Articles [?]: 1439  
Citing Articles without self-citations [?]: 1168  
Average Citations per Item [?]: 9.45  
h-index [?]: 26

Po uzyskaniu habilitacji



Results found: 141  
Sum of the Times Cited [?]: 839  
Sum of Times Cited without self-citations [?]: 453  
Citing Articles [?]: 468  
Citing Articles without self-citations [?]: 367  
Average Citations per Item [?]: 5.95  
h-index [?]: 14

#### **WYBRANE ZAPROSZONE WYKŁADY (po uzyskaniu habilitacji)**

- *Electromodulation spectroscopy of the electronic band structure in dilute nitrides and bismides*, 19<sup>th</sup> International Conference on MBE, Montpellier, 8 September 2016;
- *Photoreflectance spectroscopy of electronic band structure for dilute nitrides*, PROMIS Workshop, Cadiz, 18 May 2016;
- *Optical properties of novel semiconductor compounds: Dilute bismides*, EMN Summer 2015, Cancun, 17 June 2015
- *Photoreflectance in Dilute III-V's*, Gordon Research Conference, Defects in Semiconductors, Bentley University, Massachusetts, 4 August 2014;
- *Application of electromodulation spectroscopy to study semiconductor structures containing quantum wells*, 16<sup>th</sup> Brazilian Workshop on Semiconductor Physics, Itirapina-SP-Brazil, 10 May 2013;
- *Electro-modulation spectroscopy of dilute nitrides and dilute bismuthides*, E-MRS Fall Meeting, Warsaw, 17 September 2013;
- *Optical transitions between localized and delocalized states in dilute nitrides studied by photoreflectance and micro-photoluminescence*, E-MRS Spring Meeting, Strasbourg, 14 May 2012;
- *Contactless electroreflectance for materials, heterostructures and quantum well characterization*, Asian School-Conference on Physics and Technology of Nanostructured Materials, Vladivostok, Russia, 21–28 August 2011;
- *The study of Fermi level position in dilute nitrides by contactless electroreflectance*, ICTON, Stockholm, 27 June 2011;
- *Modulation spectroscopy of dilute nitrides and III nitrides dedicated for solar cell applications*, German Polish Conference on Crystal Growth (GPCCG-11), Frankfurt (Oder), 15 March 2011;
- *Modulation spectroscopy in the characterization of nitride laser diodes*, E-MRS Fall Meeting, Warsaw, 14-16 September 2010

#### **INFORMACJA O NAJWAŻNIEJSZYM OSIĄGNIĘCIU NAUKOWYM (po uzyskaniu habilitacji)**

Jednym z moich najważniejszych osiągnięć naukowych po uzyskaniu habilitacji jest zbadanie struktury pasmowej oraz właściwości optycznych dla mocno niedopasowanych związków półprzewodnikowych, a w tym półprzewodników grupy III-V rozrzedzonych bizmutem, które w najbliższym czasie mogą odegrać ważną rolę w wytwarzaniu przyrządów optoelektronicznych na zakres średniej i dalekiej podczerwieni.

Dla tej grupy materiałowej na podstawie pomiarów fotoodbicia oraz bezkontaktowego elektroodbicia wyznaczono zależność przerwy energetycznej oraz rozczepienia spin-orbita od zawartości bizmutu oraz określono zależność temperaturową przerwy energetycznej (*J. Kopaczek et al., Appl. Phys. Lett. 105, 222104 (2014)*; *J. Kopaczek et al., Appl. Phys. Lett. 105, 112102 (2014)*; *M.P. Polak et al., J. Phys. D 47, 355107 (2014)*; *J. Kopaczek et al., Appl. Phys. Lett. 103, 261907 (2013)*; *R. Kudrawiec et al., J. Appl. Phys. 112, 113508 (2012)*; *R. Kudrawiec et al., Appl. Phys. Lett. 99, 251906 (2011)*). Dla studni kwantowych GaAsBi/GaAs w sposób eksperymentalny wyznaczono nieciągłość pasm i wyniki te porównano z obliczeniami z zasad pierwszych (*R. Kudrawiec et al., J Appl. Phys. 116, 233508 (2014)*). Ponadto dla związków Ga-V-Bi oraz In-V-Bi w reżimie niskich składów bizmutu ( $\text{Bi} < 4\%$ ) z zasad pierwszych wyznaczono zmiany w strukturze pasmowej związane z dodaniem atomów bizmutu (tj. przesunięcie się pasma przewodnictwa, walencyjnego oraz spin-orbita względem poziomu próżni) i wyniki tych obliczeń porównano z wynikami pomiarów przerwy energetycznej (*M. P. Polak et al., Semicond. Sci. and Technol. 30, 094001 (2015)*). Zarówno badania eksperymentalne studni kwantowych GaAsBi/GaAs jak i obliczenia z zasad pierwszych dla związków Ga-V-Bi oraz In-V-Bi wykazały, że bizmut wpływa zarówno na położenie pasma przewodnictwa jak i pasma walencyjnego tj. pasmo przewodnictwa przesuwają się w stronę pasma walencyjnego i pasmo walencyjne przesuwają się w stronę pasma przewodnictwa. Bez względu na wartość tych przesunięć zależy od materiału wyjściowego III-V jednak we wszystkich z badanych przypadków zaobserwowano, że dodanie bizmutu prowadzi to do nieciągłości pasm typu I-szego na złączu III-V-Bi/III-V co jest bardzo ważne dla zastosowań tego typu materiałów w emiterach światła i nie było wiadome dla tego typu związków półprzewodnikowych.

W pracach (*M. Latkowska et al., J. Phys. D 49, 115105 (2016)*; *J. Kopaczek et al., Semicond. Sci. Technol. 30, 094005 (2015)*; *M. Baranowski et al., J. Appl. Phys. 117, 175702 (2015)*; *M. Baranowski et al., Appl. Phys. A 118, 479 (2014)*; *J. Kopaczek et al., Appl. Phys. Express 7, 111202 (2014)*; *M. Latkowska et al., J. Phys. D 46, 402001 (2013)*; *R. Kudrawiec et al., Phys. Rev. B 88, 125201 (2013)*; *M. Latkowska et al., Appl. Phys. Lett. 102, 122109 (2013)*; *M. Baranowski et al., Appl. Phys. Lett. 100, 20105 (2012)*; *M. Baranowski et al., J. Phys.: Cond. Mater. 23, 205804 (2011)*; *M. Latkowska et al., Appl. Phys. Lett. 98, 131903 (2011)*) badano właściwości optyczne mocno niedopasowanych związków półprzewodnikowych, a w tym efekt lokalizacji nośników, energie lokalizacji nośników oraz czasy zaniku fotoluminescencji. Dla półprzewodników III-V rozrzedzonych azotem w pomiarach mikro-fotoluminescencji wykazano, że pasmo zlokalizowanej emisji składa się z pojedynczych wąskich linii, których natura jest odmienna od dotychczas znanych kanałów rekombinacji promienistej w półprzewodnikach III-V. W tym wypadku wykazano, że wąskie linie fotoluminescencji mają charakter ekscytonowy i są to ekscytony związane na głębokich poziomach donorowych. Dopóki energia oddziaływania kulombowskiego pomiędzy elektronem zlokalizowanym na głębokim donorze a swobodną dziurą jest większa od energii termicznej takie ekscytony rekombinują promieniście. Jeżeli energia termiczna przekracza energię oddziaływania kulombowskiego pomiędzy elektronem a dziurą wtedy dziura się delokalizuje a elektron jest dalej zlokalizowany na głębokim donorze i rekombinuje niepromieniście. Oznacza to, że w półprzewodnikach III-V rozrzedzonych azotem powyżej pewnej temperatury głębokie donory są źródłem rekombinacji niepromienistej i udział tej rekombinacji może być bardzo znaczący z tego względu, że istnieje bardzo efektywny transfer energii pomiędzy pasmem przewodnictwa a poziomami donorowymi i jest to transfer w jedną stronę ze względu na wykładniczy rozkład energii aktywacji głębokich donorów. Do wytłumaczenia tego procesu w pracy zaproponowano zmodyfikowany model skaczących ekscytonów. Model ten uwzględnia naturę ekscytonów w związkach III-V-N. Tego typu charakter defektów został potwierdzony badaniami DLTS (Deep Level Transient Spectroscopy) w związkach GaNAs (*R. Kudrawiec et al., Appl. Phys. Lett. 101, 082109 (2012)*); *L. Gelczuk et al., J. Appl. Phys. 116, 013705 (2014)*; *L. Gelczuk et al., J. Appl. Phys. 119, 185706 (2016)*).

We pracy (*R. Kudrawiec et al., Appl. Phys. Lett. 101, 082109 (2012)*) do interpretacji energii aktywacji głębokich donorów zaproponowano diagram/model, który jest w stanie zidentyfikować defekty o tej samej naturze (np. defekt związany z daną luką atomową lub danym obcym atomem) w związkach mieszanych o zmiennej przerwie energetycznej. Ponadto wykazano, że zaproponowany diagram/model również dobrze pracuje w związkach III-V-Bi (*L. Gelczuk et al. J Phys. D 49, 115107 (2016)*), a obecnie model ten jest sprawdzany w innych związkach mieszanych.

Ponadto wśród badań struktury pasmowej i właściwości optycznych mocno niedopasowanych związków półprzewodnikowych jednymi z najważniejszych osiągnięć są wyniki uzyskane dla materiałów o pośredniej przerwie energetycznej. W ramach mocno niedopasowanych związków przewodnikowych jest to grupa materiałów wyróżniająca się cechami nie spotykanymi jak dotąd w innych półprzewodnikach. Dlatego zrozumienie formowania się pośredniej przerwy energetycznej jest przedmiotem intensywnych badań w wielu ośrodkach naukowych. W pracy (*R. Kudrawiec et al., Phys. Rev. Appl. 1, 034007 (2014)*) wykazaliśmy, że GaNPAs jest materiałem, w którym na skutek rozmieszczenia niewielkiej ilości atomów azotu w matrycy GaPAs powstaje pośrednie pasmo wewnątrz przerwy energetycznej i energia pomiędzy pasmem walencyjnym a pasmem pośrednim oraz pasmem pośrednim a pasmem przewodnictwa bardzo dobrze odpowiada optymalnemu podziałowi widma słonecznego i w związku z tym nadaje się na absorbery światła poszukiwane do trzeciej generacji jedno-złączowych ogniw słonecznych. Z kolei w pracy (*Welna et al., Scientific Reports 7, 44214 (2017)*) pokazaliśmy że jest to materiał, który charakteryzuje się dwukolorowa emisją w której uczestniczy pośrednie pasmo powstałe na skutek rozmieszczenia atomów selenu w matrycy ZnO. Jest to emisja z pasma przewodnictwa do pasma pośredniego oraz z pasma przewodnictwa do pasma walencyjnego. Są to odkrycia bardzo ważnych cech materiałowych, które mogą mieć potencjałe

zastosowanie w przyrządach półprzewodnikowych i które nie były jak dotąd obserwowane w innych materiałach półprzewodnikowych.

Przytoczone prace były jak dotąd cytowane ponad 200 razy, a ja byłem siedem razy zaproszony do zaprezentowania tych wyników na międzynarodowych konferencjach. Dlatego uważam, że mój wkład w zrozumienie struktury pasmowej oraz właściwości optycznych mocno niedopasowanych związków półprzewodnikowych jest istotny i dostrzegany przez środowisko naukowe zajmujące się tą tematyką.

Ponadto uważam, że równie ważnym i oryginalnym moim osiągnięciem naukowym w skali światowej jest zbadanie rozkładu pól elektrycznych w heterostrukturach na bazie azotku galu przy pomocy spektroskopii elektrodulacyjnej (tj. fotoodbicia oraz bezkontaktowego elektroodbicia). Jednak w tym wypadku podaję tylko odnośniki do najważniejszych prac pomijając krótki opis tego osiągnięcia (*L. Janicki et al., Scientific Reports 7, 41877 (2016)*; *L. Janicki et al., Appl. Surf. Sci. 396, 1657 (2017)*; *L. Janicki et al., Appl. Phys. Express 9, 021002 (2016)*; *R. Kudrawiec et al., Appl. Phys. Letters 103, 052107 (2013)*; *R. Kudrawiec et al., Appl. Phys. Lett. 100, 181603 (2012)*; *R. Kudrawiec et al., J. Appl. Phys. 109, 026103 (2011)*).

Robert Kunze