

Prof. dr hab. Tomasz Stobiecki

Kraków, 20 czerwiec 2017

Katedra Elektroniki AGH

e-mail: [stobieck@uci.agh.edu.pl](mailto:stobieck@uci.agh.edu.pl)

**Recenzja rozprawy habilitacyjnej  
i ocena dorobku naukowego dr. inż. Łukasza Kilańskiego  
„Oddziaływania magnetyczne oraz transport elektronowy w jednorodnych oraz  
nanokompozytowych półprzewodnikach II-IV-V<sub>2</sub> z Mn”**

Poniższa ocena osiągnięć dr. Łukasza Kilańskiego została przygotowana na podstawie następujących dokumentów:

1. autoreferatu opartego na cyklu ośmiu monotematycznych publikacji,
2. wykazu opublikowanych prac naukowych wraz z oceną własnego udziału,
4. oświadczeń współautorów
5. wykazu innych osiągnięć

oraz w oparciu o:

1. Ustawę z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki (Dz. U. z 2016r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311).
2. Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011, w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego (Dz. U. Nr 196, poz. 1165).

Niemal cała dotychczasowa działalność naukowa dr. Łukasza Kilańskiego po zakończeniu w 2006 roku studiów na wydziale Fizyki Technicznej, Informatyki i Matematyki Stosowanej, Politechniki Łódzkiej i rozpoczęciu w tym samym roku studiów doktoranckich w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie, skupiona była na badaniach właściwości magnetycznych półprzewodników. Tematyki tej dotyczyła zarówno obroniona przez niego w 2010 roku rozprawa doktorska zatytułowana *Magnetyzm półprzewodników o strukturze CuFeS<sub>2</sub> oraz NaCl na przykładach (Cd,Zn)MnGeAs<sub>2</sub> oraz GeSnMnEuTe* jak i przedstawiony do recenzji cykl publikacji stanowiący jego rozprawę habilitacyjną. W związku z tym, i zgodnie z art.16 ust.2 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 roku, dr Łukasz Kilański wskazał we wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego następujący tytuł swojego osiągnięcia naukowego: *Oddziaływania magnetyczne oraz transport elektronowy w jednorodnych oraz nanokompozytowych półprzewodnikach II-IV-V<sub>2</sub> z Mn* przedstawionego w postaci cyklu ośmiu współautorskich publikacji. Prace te, powiązane ze sobą tematycznie można niewątpliwie uznać za jednotematyczny cykl publikacji, o którym jest mowa w art.16 ust.2 pkt 1 Ustawy. Dołączone do autoreferatu oświadczenia współautorów tych prac potwierdzają jednoznacznie wiodącą rolę dr. Łukasza Kilańskiego przy ich powstawaniu.

Zgodnie z kryteriami określonymi w rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1.09.2011 przedłożona recenzja będzie się składać z oceny osiągnięcia naukowego, oceny aktywności naukowej oraz innych osiągnięć habilitanta.

### Ocena osiągnięcia naukowego

Zbiór ośmiu publikacji pod wspólnym tytułem: *Oddziaływania magnetyczne oraz transport elektronowy w jednorodnych oraz nanokompozytowych półprzewodnikach II-IV-V<sub>2</sub> z Mn*, których współautorem, jest dr Łukasz Kilański jest kompletnym opracowaniem eksperymentalnym jednorodnych roztworów stałych i kompozytów ferromagnetycznych półprzewodników grupy II-IV-V<sub>2</sub> z Mn. Prace zostały opublikowane w ciągu ostatnich czterech lat w renomowanych czasopismach fizyki ciała stałego, dyskutujących problemy półprzewodników magnetycznych, takich jak: *Journal of Applied Physics* (4, IF=2.183), *Journal of Physics: Condensed Matter* (2, IF=2.209), *Journal of Alloys and Compounds* (1, IF=3.014) and *Physical Review B* (1, IF=3.718). W siedmiu pracach dr Kilański jest pierwszym autorem i autorem korespondencyjnym, i co godne szczególnego podkreślenia wszystkie prace były publikowane po czasie nie przekraczającym trzech miesięcy od przesłania ich do redakcji, co świadczy za tym, że z pewnością recenzenci w swoich opiniach uznali aktualność i oryginalność badań, solidną weryfikację eksperymentalną postawionych tez i staranne ich opracowanie. Jak wyżej wspomniałem prace są eksperymentalne i ze względu na specyfikę zagadnienia - opracowanie nowych klas związków magnetycznych półprzewodników - wymagały bardzo szerokiego zastosowania wielu metod eksperymentalnych, od metod wytwarzania kryształów, poprzez ich strukturalną charakteryzację, pomiary magnetyczne, elektryczne i magnetotransportowe w bardzo szerokim zakresie temperatury ( $1.4\text{K} \leq T \leq 325\text{K}$ ). Dlatego usprawiedliwione jest, że siedem z ośmiu prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego zostały wykonane we współpracy międzynarodowej, przy liczbie współautorów wahającej się od 7. do 11. (nie wliczając habilitanta) przez naukowców z Rosji, Finlandii i Serbii, z: *Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry Moskwa, Department of Applied Physics, Aalto University Espoo i Lappeenranta University of Technology Finlandia, National Institute of Science and Technology Moskwa, oraz Institute of Physics Belgrade, University of Belgrad, Serbia.*

Zachowując właściwe standardy etyki naukowej habilitant, przeprowadził szczegółową analizę swojego wkładu w opublikowane prace wykazując, że we wszystkich on jest autorem pomysłu i koncepcji badań oraz wykonawcą najważniejszych pomiarów transportowych i magnetycznych, opracowaniem wyników i podstawową redakcją publikacji, swój udział procentowy szacował w granicach od 45 % (praca H5) do 65% prace (H2, H3, i H7), pozostałe (H6 i H8) ocenił na 60% i 55% (H1 i H4). Wszyscy współautorzy zgodnie potwierdzili ocenę wspólnych wkładów przeprowadzoną przez habilitanta.

Do najważniejszych, moim zdaniem, osiągnięć wynikających z badań dr. Kilańskiego w zakresie półprzewodników II-IV-V<sub>2</sub> otrzymywanych w postaci materiałów jednorodnych należy zaliczyć:

- otrzymanie jednorodnych rozcieńczonych Mn półprzewodników półmagnetycznych w postaci kryształów  $\text{Zn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$  ( $0 < x \leq 0.042$ ),  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$  ( $0 < x \leq 0.037$ ),
- wykazanie, że w kryształach  $\text{Zn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$  z  $x \leq 0.042$  o dziurowym typie przewodnictwa możliwe jest indukowanie dalekozasięgowych oddziaływań RKKY o znacznej wartości stałej wymiany równej  $J_{\text{pd}} = (0.75 \pm 0.09)$  eV, natomiast w

przypadku kryształów  $Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$  z  $x \leq 0.037$  zachodzi krótkozasięgowe oddziaływanie nadwymiany poprzez anion,

- odkrycie oscylacji magnetotransportowych w postaci efektu Shubnikova-de Haasa (SDH) w kryształach  $Cd_{1-x-y}Mn_xZn_ySnAs_2$  i oszacowanie na podstawie oscylacji SDH wartość masy efektywnej nośników mieszczącej się w zakresie od  $0.11 \cdot m_0$  do  $0.12 \cdot m_0$ .

Natomiast do istotnych osiągnięć w badaniach kompozytów ferromagnetycznych półprzewodników grupy II-IV-V<sub>2</sub> uzyskanych przez dr. Kilańskiego zaliczam:

- otrzymanie dobrej jakości kryształów grupy II-IV-V<sub>2</sub> w postaci kompozytów półprzewodnik - ferromagnetyczny klaster MnAs oraz MnSb. Habilitant wykazał, że kluczowy wpływ na właściwości magnetotransportowe ma lokalizacja nośników na defektach oraz procesy rozpraszania na granicach ziaren ferromagnetycznych,
- zaobserwowanie w nanokompozytach  $ZnSnAs_2+MnAs$  zjawiska samoorganizacji ferromagnetycznych klastrów MnAs o średnicach od 250 do 500 nm z temperaturą Curie zmieniającą się w granicach 313K – 336K. Natomiast w nanokompozytach  $ZnMnSnSb_2+MnSb$  habilitant wykrył dwa stany magnetyczne klastrów MnSb w sieci półprzewodnika: stan ferromagnetyczny z temperaturą Curie 522K oraz stan szkła klasterowego w temperaturze 465K, wykazał że anizotropia magnetyczna klastrów MnSb, których położenie w sieci krystalicznej półprzewodnika jest losowe, jest odpowiedzialna za obserwowane dwa typy porządku magnetycznego,
- wykazanie zmiany ruchliwości i typu przewodnictwa  $z$   $p$  na  $n$  w kryształach  $Zn_{1-x}Cd_xGeAs_2$  ze wzrostem zawartości Cd,
- zaobserwowanie dla kryształów  $Cd_{1-x-y}Mn_xZn_ySnAs_2$  zawierających klaster MnAs kwantowych oscylacji SDH w  $T < 50K$  (o czym świadczy wysoka jakość strukturalna wyhodowanych kryształów) i liniowego magnetooporu w funkcji pola magnetycznego.

Publikacje, na które składa się osiągnięcie naukowe zostały, mimo że od najstarszej upłynęło zaledwie 4 lata, już zauważone przez naukowców zajmujących się podobną problematyką. Największą liczbę cytowań jaką udało mi się ustalić na podstawie bazy Web of Science (WoS) mają prace: (H1) *Low-dilution limit of  $Zn_{1-x}Mn_xGeAs_2$ : Electrical and magnetic properties*, J. Appl. Phys. **114**, 093908 (2013), (H2) *Homogeneous limit of  $Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$  alloy: electrical and magnetic properties*, J. Appl. Phys. **115**, 133917 (2014) i (H5) *Composites based on self-assembled MnAs ferromagnet nanoclusters embedded in  $ZnSnAs_2$  semiconductor* Journal of Alloys and Compounds, **650**, 277 (2015).

Mam pewien niedosyt w opisie motywacji badań (akapit c.1.2. autoreferatu), w szczególności tych dotyczących wykorzystania hybrydowych układów niejednorodnych typu półprzewodnik/ferromagnetyczne klaster z temperaturą Curie wyższą od temperatury pokojowej, że habilitant nie wskazał kierunków projektowania i wytwarzania nanourządzeń podobnie, jak to ma miejsce w przypadku spintroniki metalicznej – gdzie na przykład pamięci M-RAM i STT-RAM (Spin Transfer Torque-RAM) są produkowane.

Na zakończenie powyższego akapitu stwierdzam, że przedłożone osiągnięcie naukowe spełnia kryteria określone Rozporządzeniem Ministra NiSzw z dnia 1 września 2011 r. poz.1165.

### Ocena aktywności naukowej

Łączna liczba publikacji, których współautorem jest dr Kilański wymieniona w bazie JCR to 56 pozycji, przed doktoratem habilitant opublikował 20 prac, po doktoracie 36, sumaryczny IF=104.535, całkowita liczba cytowań 326 bez uwzględniania autocytowań wynosi 151, indeks Hirscha H=10 (wg. habilitanta na koniec lutego 2017 r.), obecnie 350/164, H=11 dane pochodzą z bazy Web of Science (WoS) na dzień 19. 06. 2017. Wyżej podane dane liczbowe wskazują na dużą aktywność naukową i dobre parametry bibliometryczne habilitanta.

W czasie studiów doktoranckich pod opieką naukową prof. Witolda Dobrowolskiego, wtedy mgr inż. Łukasz Kilański prowadził badania w Zespole Fizyki Półprzewodników Półmagnetycznych Oddziału Fizyki Półprzewodników IF PAN. Zajmował się przede wszystkim badaniami właściwości strukturalnych, magnetycznych oraz elektrycznych półprzewodników grupy IV-VI domieszkowanych jonami magnetycznymi metali przejściowych i ziem rzadkich, opublikował w latach (2008 -2013) jako pierwszy autor 5 prac w tym 3 prace w J. Appl. Phys i 1.w Phys. Rev. B. Na szczególną uwagę zasługują bardzo interesujące prace dotyczące efektów magnetotransportowych: anomalnego efektu Halla i magnetooporu. w kryształach szkła klastrowego  $Ge_{1-x-y}Mn_xEu_yTe$  domieszkowanych Eu i Te: *Magnetic interactions in spin-glasslike  $Ge_{1-x-y}Sn_xMn_yTe$  dilute magnetic semiconductors*", Phys. Rev. B **82**, 094427 (2010). *Cluster Altered Magnetic and Transport Properties in  $Ge_{1-x-y}Mn_xEu_yTe$* , J. Appl. Phys. **116**, 083904 (2014).

Dr Kilański odbył staż podoktorski na Uniwersytecie Aalto w Espoo/Helsinki w Laboratorium Spektroskopii Pozytronowej Defektów, kierowanym przez prof. F. Tuomisto. Staż ten umożliwił mu zapoznanie się z nowymi dla niego, jądrowymi technikami badań strukturalnych półprzewodników i podjęcie badań defektów strukturalnych, przede wszystkim w warstwach GaN, ZnO i InN. Wykazał, badaniami magnetycznymi w połączeniu z pozytronowymi, że niezerowy moment magnetyczny w GaN pochodzi od defektów strukturalnych indukowanych kontrolowanym napromieniowywaniem wysoko-energetycznymi jonami helu.

Należy w tym miejscu zwrócić uwagę, że są to najwyżej cytowane w całym dorobku dr. Kilańskiego prace, których liczba cytowań waha się między 13 a 23: L. Kilanski et al. *Magnetically active vacancy related defects in irradiated GaN layers*, Appl. Phys. Lett. **101**, 072102 (2012), H. Nykanen, L. Kilanski, et al. *Low energy electron beam induced vacancy activation in GaN*, Appl. Phys. Lett. **100**, 122105 (2012), i F. Tuomisto, L. Kilanski, et al. *Nitrogen and vacancy clusters in ZnO*, J. Mater. Res. **28**, 1977 (2013).

Po powrocie ze stażu w Finlandii dr Kilański jest zatrudniony od 2011 roku w IF PAN na etacie adiunkta, oprócz tematyki habilitacyjnej związanej z półprzewodnikami grupy II-IV-V<sub>2</sub> zajmuje się magnetycznymi oddziaływaniami wymiennymi oraz zjawiskami agregacji domieszek w klastery w kryształach grupy IV-VI ( $Ge_{1-x}(Cr, Eu)_xTe$ ) domieszkowanych jonami magnetycznymi Cr i Eu, publikuje głównie w *Acta Physica Polonica A* i *Journal of Alloys and Compounds* (w 8. pracach jest pierwszym autorem), badania te podsumowuje w obszernej pracy przeglądowej L. Kilanski, et al. *Magnetic Interactions and Magnetotransport in  $Ge_{1-x}TM_xTe$  Diluted Magnetic Semiconductors*, in Proceedings of the III Advanced Ceramics and Applications Conference, p. 69-84, Ed. W.E. Lee, Atlantis Press (2016). Badania związków IV-VI objęte były częściowo finansowaniem w ramach grantu

HOMING-PLUS *Homogeneous vs. composite ferromagnetic semiconductors for spintronics applications: structural, electrical and magnetic properties*”, którego dr Kilański był kierownikiem.

Ponadprzeciętna aktywność publikacyjna średnio ok. 6. prac rocznie (licząc od czasu zakończenia studiów w 2006 roku, opublikował 56 prac wymienionych w bazie JCR + 10 w wydawnictwach spoza bazy JCR) i niezwykle wręcz aktywność konferencyjna: 2 referaty plenarne, 1 na zaproszenie (+ 3 jako współautor), 10 prezentacji ustnych (+12 jako współautor), 27 prezentacji plakatowych (+ 29 jako współautor) wykazują ogromną pracowitość habilitanta i udowadniają wysoki poziom jego dorobku naukowego.

Ponadto do dorobku publikacyjnego i konferencyjnego należy dodać badania w ramach przyznanych projektów badawczych: *Ultra-precise studies of magnetic properties of complex ferromagnetic semiconductors*, (2013 – 2017, NCN SONATA, kierownik projektu), *Homogeneous vs. composite ferromagnetic semiconductors for spintronic applications: structural, electrical and magnetic properties*, (2012 – 2014, FNP HOMING-PLUS, kierownik projektu), *Ferromagnetyczne nanokompozyty półprzewodnikowe grupy II-IV-V2: właściwości magnetyczne, elektryczne i optyczne*, (01. 2011 – 12. 2011 MNiSzW IUVENTUS-PLUS, kierownik projektu).

Dr Kilański za działalność naukową był wyróżniany następującymi stypendiami i nagrodami: *Mazowieckie Stypendium Doktoranckie* (2008), *Marie Curie Fellowship* (Initial Training Network RAINBOW, 2010 - 2011 Uniwersytet Aalto, Espoo, Finlandia), Wspólna nagroda Polskiej Akademii Nauk oraz Rosyjskiej Akademii Nauk za wybitne osiągnięcia naukowe: *Opracowanie podstaw fizyko-chemicznych technologii nowych materiałów dla spintroniki*, (2013), Stypendium MNiSzW dla wybitnych młodych naukowców (2013 – 2017 za wybitne osiągnięcia naukowe).

Warto również wspomnieć, że dr Kilański ma bardzo wartościową współpracę z dobrymi laboratoriami zagranicznymi z: USA, Francji, Rosji, Ukrainy, Finlandii i Serbii.

#### **Inne osiągnięcia**

Dr Kilański jest pracownikiem naukowym IF PAN i stąd, w przeciwieństwie do pracowników naukowo-dydaktycznych uczelni, jego dorobek w zakresie kształcenia ograniczał się do: wykładów dla doktorantów i pracowników instytutu: *Wybrane metody eksperymentalnych badań materiałów półprzewodnikowych* (semestr letni 2016), opieki naukowej nad studentami Uniwersytetu Aalto i Politechniki Warszawskiej realizującymi projekty semestralne oraz opieką nad laureatami warsztatów Krajowego Funduszu na Rzecz Dzieci.

Habilitant sprawował również opiekę naukową (w latach 2011-2016), będąc w roli promotora pomocniczego, nad doktorantem Arkadiuszem Adamem Podgórnim, praca doktorska: *Właściwości magnetyczne wybranych półprzewodników AIVBVI z manganem i chromem*.

Dr Kilański udzielał się w pracach organizacyjnych na rzecz instytutu będąc dwukrotnie sekretarzem komitetu organizacyjnego *43rd and 44th "Jaszowiec" International School and Conference on the Physics of Semiconductors*.

### **Podsumowanie**

Podsumowując jednoznacznie stwierdzam, w świetle sformułowań zawartych w art.16 ust.1 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. z 2016r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311), że dr inż. Łukasz Kilański wykazał się bardzo wartościową aktywnością naukową. Oznacza to, że spełnia on wszystkie najważniejsze kryteria wymienione w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 roku (Dz. U. Nr 196, poz. 1165).

W tej sytuacji wnioskuję o dopuszczenie dr. inż. Kilańskiego do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

T. Stobich