

# Autoreferat

Jacek Przybytek

12 maja 2017

## Spis treści

1	Dane osobowe	3
2	Wykształcenie, posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej	3
3	Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	3
3.1	Staże w zagranicznych ośrodkach naukowych lub akademickich	3
4	Wskazanie osiągnięcia* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):	4
4.1	Tytuł osiągnięcia naukowego	4
4.2	Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego	4
4.3	Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.	6
4.4	Omówienie celu naukowego oraz wyników prac	7
4.4.1	Szumy w czujnikach hallowskich pola magnetycznego - Montrouge Technology Center/ Service de Physique de l'Etat Condense, CEA Saclay / Ecole Polytechnique Palaiseau, lata 2000-2002, prace [H1,H2]	7
4.4.2	Badania fluktuacji prądu tunelowego w pojedynczych barierach tunelowych. Wydział Fizyki UW 2003-2016, prace H3 - H6	9
4.4.3	Badania fluktuacji elektrycznych w $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ - LCMO - materiale wykazującym CMR, prace H7 - H9.	14
5	Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych.	17
5.1	Defekty punktowe	17
5.2	Tunelowanie rezonansowe pod ciśnieniem hydrostatycznym [JP15, JP17]	18
5.3	Badania materiałów InN oraz (GaMn)As.	18
5.4	Rozwój aparatury naukowo -badawczej, prace wykonane dla rozwoju warsztatu doświadczalnego w Zakładzie Fizyki Ciała Stałego:	19
	Bibliografia	20
6	Działalność naukowa	23
6.1	Dane bibliometryczne	23
6.1.1	Sumaryczny <i>impact factor</i> według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania: 35.934	23

6.1.2	Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS) . . . . .	23
6.1.3	Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS): 6 . . . . .	23
6.2	Udział w projektach badawczych . . . . .	23
6.3	Udział w konferencjach (plakat lub wystąpienie ustne) . . . . .	23
6.4	Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych . . . . .	26
6.5	Nagrody . . . . .	27
7	Działalność dydaktyczna i organizacyjna . . . . .	28
7.1	Opieka naukowa . . . . .	28
7.2	Działalność dydaktyczna - wykaz prowadzonych regularnych zajęć . . . . .	28
7.3	Działalność organizacyjna . . . . .	29
7.4	Działalność popularyzatorska . . . . .	31
8	Pełna lista publikacji naukowych . . . . .	32

## 1 Dane osobowe

**Imię i nazwisko:** Jacek Przybytek

**narodowość:** polska

**stanowisko i stopień naukowy:** starszy specjalista naukowo-techniczny, doktor  
**zatrudnienie**

Zakład Fizyki Ciała Stałego  
Instytut Fizyki Doświadczalnej  
Wydział Fizyki  
Uniwersytet Warszawski

## 2 Wykształcenie, posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- **1991 r. stopień magistra fizyki** w zakresie fizyki ciała stałego i fizyki nauczycielskiej uzyskany na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego po ukończeniu studiów magisterskich w latach 1985-1991. Praca magisterska zatytułowana *Wysokociśnieniowe badania antystrukturalnego defektu antymonu w arsenku galu* wykonana pod kierunkiem prof. dr. hab. Michała Bąja w Zakładzie Fizyki Ciała Stałego Instytutu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego
- **1997 r. stopień doktora nauk fizycznych** uzyskany w Instytucie Fizyki Doświadczalnej na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Praca doktorska zatytułowana *Stabilizacja zdystorsjowanej konfiguracji defektu EL2 w GaAsP pod ciśnieniem hydrostatycznym* wykonana pod kierunkiem prof. dr. hab. Michała Bąja w Zakładzie Fizyki Ciała Stałego Instytutu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego

## 3 Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- **1997 r. - 2000 r.** adiunkt kontraktowy na Wydziale Fizyki, Uniwersytet Warszawski
- **2000 r. - 2002 r.** Marie Curie Industry Host Fellowship w firmie Schlumberger - Montrouge Technology Center / Francja
- **2003 r. - 2014 r.** adiunkt mianowany na Wydziale Fizyki, Uniwersytet Warszawski
- **2014 r. - 2017 r.** stanowisko naukowo-techniczne na Wydziale Fizyki, Uniwersytet Warszawski

### 3.1 Staże w zagranicznych ośrodkach naukowych lub akademickich

- 1991-1992 (1 rok) stypendium DAAD (Niemiecka Centrala Wymiany Akademickiej) w Fachhochschule Emden oraz w Institut für Halbleitertechnik, Technische Universität Braunschweig, Niemcy

- 2000-2002 stypendium podoktorskie Komisji Europejskiej w ramach programu Marie Curie Industry Host Fellowship w centrum badawczym firmy Schlumberger w Montrouge we Francji;
- stypendium konferencyjne Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej na wyjazd do USA na konferencję Fluctuations and Noise 2003, Santa Fe, New Mexico (1 tydzień);
- w latach 2005-2006 w sumie 2 miesiące, 2 staże naukowe w Groupe d'Etude des Semiconducteurs Université Montpellier II, Francja.

#### 4 Wskazanie osiągnięcia\* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):

Zgłaszającym przeze mnie osiągnięciem naukowym jest cykl 9 prac, które powstały po uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych.

##### 4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

**Fluktuacje napięć i prądów w badaniach materii skondensowanej**

##### 4.2 Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

H1 *Low-frequency noise in AlGaAs/InGaAs/GaAs Hall micromagnetometers*

V. Mosser, G. Jung, J. Przybytek, M. Ocio and Y. Haddab

Fluctuations & Noise 2003, Noise and Information in Nanoelectronics, Sensors, and Standards, L. B. Kish, F. Green, G. Iannaccone, J. R. Vig, Editors, Proc. SPIE Vol. 5115 (2003), 183-195

*Wkład habilitanta do pracy polegał na wykonaniu prawie wszystkich pomiarów szumowych, wykonaniu symulacji numerycznych szumu metodą elementów skończonych oraz dyskusji i interpretacji wyników doświadczalnych. Wkład ten oceniam na 25%*

H2 *LF noise in cross Hall effect devices - geometrical study*

J. Przybytek, V. Mosser and Y. Haddab

Fluctuations and Noise 2003, Noise in Devices and Circuits, M. Jamal Deen, Zeynep Celik-Butler, Michael E. Levinshtein, Editors, Proc. SPIE Vol. 5113 (2003), p. 475-483

*Wkład habilitanta do pracy polegał na wykonaniu wszystkich pomiarów szumowych, udziale w planowaniu procesu technologicznego hodowli heterostruktur, wykonaniu symulacji numerycznych szumu metodą elementów skończonych, dyskusji i interpretacji wyników doświadczalnych oraz przygotowaniu publikacji. Wkład ten oceniam na 70%*

H3 *Current Fluctuations in Single Barrier Vertical GaAs/AlAs/GaAs Tunneling Devices*

J. Przybytek, M. Baj

Acta Physica Polonica A, **112**, 221 (2007)

*Wkład habilitanta do pracy polegał na zaprojektowaniu, wykonaniu i oprogramowaniu układu doświadczalnego do pomiaru szumów, wykonaniu wszystkich pomiarów szumowych, opracowaniu i interpretacji wyników doświadczalnych oraz przygotowaniu publikacji. Wkład ten*

oceniam na 75%

H4 *Low-Frequency Noise Measurements of the Tunneling Current in Single Barrier GaAs/AlAs/GaAs Devices*

J. Przybytek, M. Baj

American Institute of Physics CP1129 (2009), Noise and Fluctuations, 20th International Conference (ICNF 2009) edited by M. Macucci and G. Basso

*Wkład habilitanta do pracy polegał na zaprojektowaniu, wykonaniu i oprogramowaniu układu doświadczalnego do pomiaru szumów, wykonaniu wszystkich pomiarów szumowych, opracowaniu i interpretacji wyników doświadczalnych oraz przygotowaniu publikacji. Wkład ten oceniam na 75%*

H5 *Observation of Thermally-Activated Electron Traps in GaAs/AlAs/GaAs Heterostructures in Low-Frequency Noise Measurements*

J. Przybytek, R. Stankiewicz, M. Gryglas-Borysiewicz, M. Baj, A. Cavanna, G. Faini

Acta Physica Polonica A **119**, 723 (2011)

*Wkład habilitanta do pracy polegał na zaprojektowaniu, wykonaniu i oprogramowaniu układu doświadczalnego do pomiaru szumów, kierowaniu pomiarami szumowymi (większość pomiarów i ich opracowanie wykonał mój magistrant R. Stankiewicz w ramach swojej pracy magisterskiej), interpretacji wyników doświadczalnych oraz przygotowaniu publikacji. Wkład ten oceniam na 60%*

H6 *Impurity-related noise in single-barrier GaAs/AlAs/GaAs resonant tunneling devices*

J. Przybytek, M. Gryglas-Borysiewicz, M. Baj, A. Cavanna, G. Faini, U. Gennser, A. Ouerghi

Proceedings of 22<sup>nd</sup> International Conference on Noise and Fluctuations ICNF 2013, IEEE 2013

*Wkład habilitanta do pracy polegał na zaprojektowaniu, wykonaniu i oprogramowaniu układu doświadczalnego do pomiaru szumów, wykonaniu wszystkich pomiarów szumowych, opracowaniu i interpretacji wyników doświadczalnych oraz przygotowaniu publikacji. Wkład ten oceniam na 60%*

H7 *Noise signatures of metastable resistivity states in ferromagnetic insulating manganite*

J. Przybytek, J. Fink-Finowicki, R. Puźniak, V. Markovich, G. Jung

Journal of Applied Physics **118**, 043903 (2015)

*Wkład habilitanta do pracy polegał na zaprojektowaniu i wykonaniu układu doświadczalnego do pomiaru szumów, wykonaniu wszystkich pomiarów szumowych oraz transportu elektronowego, opracowaniu i interpretacji wyników pomiarów szumowych oraz udziale w przygotowaniu publikacji. Wkład ten oceniam na 60%*

H8 *High frequency cut-off in 1/f conductivity noise of hole-doped  $La_{1-x}Ca_xMnO_3$  manganite single crystals*

J. Przybytek, J. Fink-Finowicki, R. Puźniak, G. Jung

Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment 054024 (2016)

*Wkład habilitanta do pracy polegał na zaprojektowaniu i wykonaniu układu doświadczalnego do pomiaru szumów, wykonaniu wszystkich pomiarów szumowych oraz transportu elektronowego, opracowaniu i interpretacji wyników pomiarów szumowych oraz udziale w przygotowaniu publikacji. Wkład ten oceniam na 70%*

H9 *Robust Random Telegraph Conductivity Noise in Single Crystals of Ferromagnetic Insulating Manganite  $La_{0.86}Ca_{0.14}MnO_3$*

J. Przybytek, J. Fink-Finowicki, R. Puźniak, A. Shames, V. Markovich, D. Mogilyansky and G. Jung

Physical Review B **95**, 125101 (2017)

*Wkład habilitanta do pracy polegał na zaprojektowaniu i wykonaniu układu doświadczalnego do pomiaru szumów, wykonaniu wszystkich pomiarów szumowych oraz transportu elektro-nowego, opracowaniu i interpretacji wyników pomiarów szumowych oraz udziale w przygotowaniu publikacji. Wkład ten oceniam na 60%.*

#### 4.3 Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

W pomiarach wielkości elektrycznych związanych z materiałami i strukturami półprzewodnikowymi duże znaczenie mają wszelkie szумы i zakłócenia - zjawiska niepożądane, które ograniczają dokładność przeprowadzanych pomiarów wartości średnich w czasie, np. średniego prądu lub średniego napięcia. Dlatego staramy się tak wykonywać pomiary, aby zakłócenia zewnętrzne wytłumić lub ograniczyć do minimum. Nawet jednak wtedy, kiedy układ jest doskonale ekranowany od zakłóceń zewnętrznych, same mierzone wielkości fizyczne podlegają naturalnym fluktuacjom, które są odzwierciedleniem dynamiki wewnętrznej badanego układu, np. ruchów termicznych, ziarnistości ładunku elektrycznego i, w przypadku współczesnych przyrządów półprzewodnikowych, kwantowej natury procesów zachodzących w takich przyrządach. Stąd zainteresowanie zjawiskami fluktuacyjnymi ma zazwyczaj dwa aspekty - praktyczny, dążący do poznania i optymalizacji procesów fluktuacyjnych, tak, aby dana wielkość fizyczna dawała się precyzyjnie zmierzyć i nie wykazywała szkodliwych z punktu widzenia zastosowań fluktuacji, oraz drugi aspekt - poznawczy, który jest znacznie ciekawszy i sięga do natury badanych zjawisk fizycznych. W miarę postępu nanotechnologii i miniaturyzacji przyrządów półprzewodnikowych, zjawiska fluktuacyjne nabierają coraz większego znaczenia i dlatego rozwój technik umożliwiających pomiary fluktuacji prądu lub napięcia jest istotny nie tylko z punktu widzenia zastosowań, ale także daje możliwość poznania, oprócz wielkości średnich związanych z danym układem, także komplementarnych informacji o dynamice zachodzących procesów.

Niniejszy autoreferat formułuje jako osiągnięcia, w kolejności chronologicznej:

H1 - H2 poznanie natury i optymalizację szumów elektronicznych w czujnikach hallowskich pola magnetycznego opartych na dwuwymiarowym gazie elektronowym w heterostrukturze pseudomorficzej AlGaAs/InGaAs/GaAs. Czujniki te, wykorzystywane komercyjnie w milionach liczników energii elektrycznej, powinny mieć stabilny i nie przekraczający określonych norm poziom szumu własnego. Badania doprowadziły do ustalenia źródeł szumu, jego optymalizacji, oraz, efektywnie, do zmniejszenia rozmiarów tych czujników i kosztów jego produkcji. Główny wkład habilitanta w te badania to przeprowadzenie optymalizacyjnych obliczeń numerycznych szumu w zależności od kształtu czujnika oraz zaplanowanie i wykonanie prawie wszystkich pomiarów szumowych. Badania zostały przeprowadzone w czasie stażu doktorskiego *Marie Curie Industry Host Fellowship* we Francji w Centrum Technologicznym firmy Schlumberger we współpracy z Service de Physique de l'Etat Condense, CEA Saclay (Gif-sur-Ivette);

H3 - H6 zbadanie fluktuacji prądu w strukturach tunelowych z pojedynczą barierą przeprowadzone w unikatowym układzie eksperymentalnym stworzonym przez habilitanta na Wydziale Fizyki UW. W pomiarach szumowych w układzie pojedynczej bariery tunelowej

zaobserwowano różne mechanizmy transportu elektronów przez barierę, nie zawsze widoczne/identyfikowalne w standardowych charakterystykach prądowo-napięciowych. W pomiarach fluktuacji/korelacji elektronów ujawniono obecność różnych mechanizmów rozpraszania elektronów w diodzie tunelowej oraz związane z nimi charakterystyki szumowe/korelacyjne. Może to mieć istotne znaczenie dla przyrządów logiki kwantowej, których zasada działania oparta jest na zapułapkowaniu ładunku elektrycznego. W takim przyrządzie szum  $1/f$  może powodować dekoherencję fazy i dlatego informacja o możliwych mechanizmach rozpraszania elektronów wpływających na długość koherencji i szybkość utraty fazy (relaxation rate) jest niezwykle istotna [1].

H7 - H9 zbadanie szumu elektronicznego w układzie silnie skorelowanych elektronów w objętościowym manganicie  $\text{La}_{0.86}\text{Ca}_{0.14}\text{MnO}_3$  i  $\text{La}_{0.82}\text{Ca}_{0.18}\text{MnO}_3$ . Ze względu na subtelną równowagę wielu mechanizmów porządkujących w tym materiale (strukturalnego, spinowego, orbitalnego i ładunkowego), materiał ten posiada skomplikowany diagram fazowy, w którym najbardziej zainteresował nas obszar występowania ferromagnetycznego izolatora, poniżej granicy perkolacyjnej  $x < 0.225$ . Jest to obszar występowania separacji faz ferromagnetycznych - izolującej i metalicznej, silnie niejednorodny, w którym przewodnictwo ma charakter perkolacyjny i, zwłaszcza w pobliżu przejścia metal - izolator, występują w tym materiale bardzo intensywne fluktuacje przewodnictwa typu  $1/f$  lub typu szumu telegraficznego (random telegraph noise, RTN), których pochodzenie nie zostało do tej pory poznane. Badania tych fluktuacji połączone z badaniami strukturalnymi i magnetycznymi (SQUID, EMR) pozwoliły powiązać własności tych fluktuacji z występowaniem różnych faz materiału oraz ich własnościami magnetycznymi. Główne osiągnięcia prac [H7 - H9] to:

- odkrycie istnienia sygnatur szumowych różnych stanów metastabilnych materiału [H7],
- obserwacja i zbadanie wysokoczęstotliwościowego odcięcia w widmie fluktuacji przewodnictwa, które pozwala wyciągać wnioski o parametrach testowanego modelu fluktuacji w transporcie hoppingowym [H8],
- obserwacja i zbadanie silnego szumu Random Telegraph Noise (RTN), który w odróżnieniu od typowych obserwacji w tym materiale, występuje w bardzo szerokim obszarze temperatur (nie tylko w pobliżu przejścia metal-izolator) i jest niewrażliwy na pole magnetyczne [H9].

Wszystkie wymienione wyżej zakresy badań fluktuacji przewodnictwa w przyrządach i materiałach miały na celu poznanie źródeł i mechanizmów powstawania tych fluktuacji, a w przypadku czujników pola magnetycznego, także ich optymalizacji związanej z zastosowaniami.

#### 4.4 Omówienie celu naukowego oraz wyników prac

4.4.1 Szumy w czujnikach hallowskich pola magnetycznego - Montrouge Technology Center/ Service de Physique de l'Etat Condense, CEA Saclay / Ecole Polytechnique Palaiseau, lata 2000-2002, prace [H1,H2]

Moje zainteresowania zjawiskami fluktuacyjnymi w półprzewodnikach pojawiły się w czasie pobytu na stażu podoktorskim (Marie Curie Industry Host Fellowship) w ośrodku badawczym firmy Schlumberger - Montrouge Technology Center pod Paryżem we Francji. Głównym moim zadaniem była optymalizacja szumów elektronicznych w czujnikach hallowskich pola magnetycznego zbudowanych na bazie dwuwymiarowego gazu elektronowego w heterostrukturach pseudomorficznych AlGaAs/InGaAs/GaAs typu HEMT. Ze względu na poufność i tajemnicę badań prowadzonych przez ośrodek przemysłowy, tylko część tych badań została opublikowana w formie

prac przedstawianych na światowej konferencji skupiającej środowiska zarówno ściśle związane z przemysłem elektronicznym jak i naukowe *Fluctuations and Noise, SPIE, Santa Fe 2003*. Zasada działania czujników hallowskich oparta była na klasycznym zjawisku Halla zachodzącym jednak w dwuwymiarowym gazie elektronów w studni kwantowej. Źródłem szumu w tych heterostrukturach była głównie dynamiczna wymiana elektronów pomiędzy dwuwymiarowym gazem elektronowym w studni a domieszkami krzemu (tworzącymi tzw. centra *DX*) znajdującymi się w barierze. Jest to przykład tzw. szumu generacyjno-rekombinacyjnego, który w granicy wielu uczestniczących w tym mechanizmie centrów daje szum rezystancyjny czujnika o dość nietypowym kształcie widma, odbiegającym nieco od szumu typu  $1/f$ . Wyjaśnienie kształtu widma tego szumu oraz poznanie jego źródeł miało w rezultacie za zadanie jego zmniejszenie do poziomu akceptowalnego z punktu widzenia zastosowań tego czujnika w licznikach energii elektrycznej, produkowanych w milionowych ilościach na rynek europejski oraz amerykański (obecnie produkcję tych czujników przejęła firma Itron). W pracy [H1] pokazano, że powszechnie wówczas przyjmowany model wyjaśnienia występującego w tego rodzaju urządzeniach szumu  $1/f$  poprzez złożenie dyskretnych widm lorentzowskich nie jest prawidłowy. Prawidłowym obrazem, doskonale modelującym wyniki eksperymentalne okazał się model ciągłego rozkładu czasów relaksacji zależnych od gęstości stanów elektronowych (DOS) na interfejsie GaAs/dielektryk. Ponadto pokazano, że dynamiczna admitancja stanów elektronowych na interfejsie, pozostających w równowadze z dwuwymiarowym gazem elektronowym zmierzona za pomocą mostka impedancyjnego oraz bazująca na zmierzonej powierzchniowej gęstości stanów i policzona z twierdzenia fluktuacyjno-dysspacyjnego, bardzo dobrze się ze sobą zgadzają.

Powyższy model zakładał równowagę termodynamiczną między stanami elektronowymi na interfejsie GaAs/dielektryk a dwuwymiarowym gazem elektronowym (2DEG) i dobrze opisuje widma szumowe w temperaturach bliskich pokojowej i aktywowane termicznie przejścia ze stanów *DX* do 2DEG ponad barierą. W temperaturach niskich ( $< 100$  K), kiedy brak równowagi między stanami na powierzchni a elektronami w studni, szum powinien zniknąć. Doświadczenie pokazało jednak, że w niskich temperaturach obserwuje się "czysty" szum  $1/f$  (dla dużych struktur) lub pojedyncze (1-3 sztuki) krzywe lorentzowskie odpowiadające pojedynczym fluktuatorom w próbkach o rozmiarach (sub)mikrometrowych. W niskich temperaturach fluktuacje liczby elektronów w studni wywołane są zatem kinetyką znacznie bardziej lokalnych w stosunku do 2DEG stanów w barierze i można obserwować zarówno widma pojedynczych fluktuatorów, jak i ich nakładanie się i powstawanie przez to szumu  $1/f$ . Także zmniejszanie rozmiarów przyrządów (w tym przypadku do rozmiarów submikrometrowych) powodowało wyłanianie się ze spektrum szumowego składników związanych z pojedynczymi, kwantowymi fluktuatorami, które jednostkowo wpływają na własności przyrządu - jest to dotknięcie fizycznych granic miniaturyzacji sensorów elektronicznych i jednocześnie możliwość badania własności obiektów kwantowych, które stoją za własnościami "fluktuatora". W przypadku układów nano i mezoskopowych fluktuacje są wyrazistym odzwierciedleniem zachodzących procesów (im mniejszy układ fizyczny tym relatywnie większe fluktuacje opisujących go wielkości).

Oprócz wymienionych wyżej szumów czujnika związanych ze strukturą pionową heterostruktury, równie ważne okazały się także szумы związane ze strukturą poziomą, czyli kształtem czujników, tzn. z rozkładem płynącego przez niego prądu. Rozkład ten został zasymulowany numerycznie dla szeregu różnych kształtów próbek. Na podstawie obliczeń szumu elektrycznego przeprowadzonych metodą elementów skończonych okazało się, że istnieje kształt optymalny z punktu widzenia szumu generowanego przez rozkład gęstości prądu. Specjalnie na potrzeby tego aspektu projektu powstały czujniki hallowskie o różnych kształtach, a pomiary szumu pokazały zgodność przeprowadzonych obliczeń z pomiarami i potwierdziły możliwość optymalizacji kształtu próbki prowadzącej do zmniejszenia poziomu mocy szumu o kilkanaście decybeli. Ponieważ zmniejszanie czujnika przy zachowaniu jego kształtu powoduje wzrost jego szumów wła-



snych, efektywnie przełożyło się to na zmniejszenie rozmiarów produkowanych czujników przy zachowaniu wymaganego przez normy techniczne poziomu szumów, co biorąc pod uwagę wielomilionową produkcję liczników energii elektrycznej przełożyło się bezpośrednio na zmniejszenie kosztów produkcji. Głównym moim wkładem w te badania były prawie wszystkie pomiary szumów elektronicznych oraz wykonanie obliczeń numerycznych szumu elektrycznego metodą elementów skończonych. Metoda obliczeń bazowała na klasycznej teorii sieci elektrycznych, sieci sprężonych oraz twierdzeniu Tellegena [2] i referencje w tej pracy.

Opisane powyżej badania opierały się zarówno na modelowaniu teoretycznym procesów fluktuacyjnych w heterostrukturze, jak i na bezpośrednim sprzężeniu tych badań z procesem technologicznym pozwalającym na eksperyment technologiczny i porównanie przewidywań z wynikami pomiarów. Powstał model, opisany w pracach [H1, H2], który bardzo precyzyjnie opisywał źródła i dynamikę szumów. Znajomość eksperymentalna gęstości stanów elektronowych na interfejsie GaAs/dielektryk i jednoczesne uwzględnienie w przyjętym modelu pionowej struktury HEMT i czynnika geometrycznego kształtu pozwoliło na obliczenie widma szumów czujników hallowskich bez żadnych dodatkowych parametrów, co nie udało się autorom znacznie lepiej opublikowanych prac parających się podobną tematyką [3, 4].

Oprócz zastosowań czysto komercyjnych w licznikach energii elektrycznej, po dalszym rozwoju w latach 2003-2009, czujniki hallowskie znalazły swoje zastosowanie między innym także jako 3-osiove magnetometry do pomiaru przestrzennego rozkładu pola magnetycznego w misjach kosmicznych NASA [5] oraz - w postaci submikrometrowych linijek/macierzy czujników - w badaniach ściśle naukowych, np. w [6, 7, 8], gdzie zostały wykorzystane do pomiaru lokalnych, submikrometrowych rozkładów fluktuacji namagnesowania w szklach spinowych.

#### 4.4.2 Badania fluktuacji prądu tunelowego w pojedynczych barierach tunelowych. Wydział Fizyki UW 2003-2016, prace H3 - H6

##### **Budowa układu pomiarowego**

W 2003 roku powróciłem na Wydział Fizyki UW z zamiarem implementacji i rozwinięcia poznanych we Francji technik pomiaru fluktuacji wielkości elektrycznych związanych z własnościami elektrycznymi półprzewodników oraz ich struktur. Uważałem wówczas, że postępująca miniaturyzacja elektroniki oraz wytwarzanie coraz mniejszych obiektów badań (kropki kwantowe, druty kwantowe, tranzystory na pojedynczych elektronach, diody tunelowe, różne eksperymentalne implementacje qubitów itp), spowoduje coraz większe znaczenie procesów fluktuacyjnych, związanych z kwantową naturą badanych obiektów. Zająłem się wówczas budową układu eksperymentalnego umożliwiającego pomiary fluktuacji elektrycznych w niskich temperaturach.

Budowa układu pomiarowego umożliwiającego pomiar fluktuacji prądów tunelowych zajęła kilka lat. Układ bazował na komputerowej karcie ISA przetwornika analogowo-cyfrowego firmy Measurement Computing подарowanej przez dr. Marcina Kończykowskiego z Ecole Polytechnique, Palaiseau i oprogramowanej przeze mnie w środowisku Matlab. Wszystkie niskoszumne wzmacniacze i przedwzmacniacze, filtry antyaliasowe oraz źródła napięciowe i prądowe zostały zaprojektowane i wykonane przeze mnie ze specjalnych niskoszumnych elementów wyszukiwanych na rynku elementów elektronicznych, zaś sygnały w układzie elektronicznym były przekazywane specjalnym niskoszumnym kablem koncentrycznym, którego konstrukcja ograniczała szkodliwy efekt mikrofonowania/tryboelektryczny. Ponieważ dostępne powszechnie kriostaty helowe nie były odpowiednio ekranowane i jest w nich wiele niekontrolowanych kontaktów elektrycznych, pierwsze pomiary kriogeniczne wykonywano w specjalnie skonstruowanych uchwytach wkładanych bezpośrednio do kąpielii helowej w zbiornikach kriogenicznych, z niewielką możliwością zmiany temperatury polegającą na zmianie stopnia zanurzenia tego uchwytu. Dedykowany do pomiarów szumowych kriostat przepływowy umożliwiający zmianę i stabilizację temperatury

w zakresie 2 K - 300 K został zaprojektowany i wykonany we współpracy z dr. W. Plesiewiczem z IF PAN dopiero w roku 2011, a uruchomiony w 2012 r. W latach 2008 - 2010 w ramach grantu 1925/B/H03/2008/34 *Fluktuacje prądu w rezonansowych diodach tunelowych*, którego byłem inicjatorem i pomysłodawcą, zakupione zostały komercyjne niskoszumne wzmacniacze, filtry i źródła napięciowe, które nie miały tak niskich szumów własnych jak układy home-made, ale za to umożliwiły automatyzację pomiarów, co w przypadku długotrwałych sesji pomiarowych ma istotne znaczenie. W dalszym ciągu jednak w przypadku pomiarów, w których wymagany poziom szumów własnych układu pomiarowego był bardzo mały, używane były niskoszumne, zasilane bateryjnie przedwzmacniacze home-made - umożliwiały one pomiary fluktuacji prądów metodą korelacji krzyżowych (kroskorelacji) na poziomie kilku pA, czyli szumu na poziomie  $10^{-30} \text{A}^2/\text{Hz}$ . Wzmacniacze napięciowe posiadały szumy elektroniczne odniesione do wejścia na poziomie  $1 \text{ (nV)}^2/\text{Hz}$ . Układy home-made miały natomiast tę wadę, że w zależności od warunków fizycznych eksperymentu (czyli wymaganego zakresu prądów oraz napięć polaryzujących próbkę), odpowiednią konfigurację wzmacniacza wybierało się poprzez przelutowywanie stosownych elementów układu elektronicznego za pomocą lutownicy (mechaniczne zworki i kontakt, wprowadzały dodatkowe zakłócenia do układu pomiarowego!).

### **Fluktuacje prądu tunelowego w układzie pojedynczej bariery tunelowej GaAs/AlAs/GaAs**

Tematyka badań transportu elektronowego związana ze zjawiskiem tunelowania przez pojedynczą barierę tunelową GaAs/AlAs/GaAs intencjonalnie domieszkowaną w środku bariery, została zapoczątkowana na Wydziale Fizyki UW w 1998 roku. Od początku ideą przewodnią tych badań był pomysł prof. M. Baje polegający na obserwacji tunelowania rezonansowego poprzez stany pojedynczych domieszek/defektów w barierze GaAs/AlAs/GaAs. Pierwsze próbki heterostruktur z pojedynczą barierą otrzymaliśmy od prof. L. Eaves'a z Uniwersytetu w Nottingham. Powstały wówczas prace dotyczące własności prądu tunelowego pod ciśnieniem hydrostatycznym, które stały się częścią pracy magisterskiej, której byłem opiekunem [9, 10, 11]. Tematyka tunelowania przez pojedynczą barierę była dalej rozwijana we współpracy z CNRS/Uniwersytetem w Montpellier już bez mojego udziału. W ramach tej współpracy powstało kilka prac dotyczących tunelowania przez stany pojedynczych domieszek w barierze tunelowej [12, 13, 14, 15, 16]. Korzystając z wyhodowanych w Laboratoire de Photonique et de Nanostructures (LPN), Marcoussis specjalnie na potrzeby powyższego programu badawczego diod tunelowych postanowiłem spróbować wykonać komplementarne badania fluktuacji prądu tunelowego, które powinny odzwierciedlać mechanizm transportu elektronów przez barierę. Ponieważ pomiar fluktuacji prądów mniejszych niż kilka pA nie był możliwy (habilitantowi w ogóle nie są znane publikowane wyniki pomiarów nierównowagowych fluktuacji dla prądów mniejszych niż około 100 pA), to do pomiarów fluktuacji prądu tunelowego wybrano struktury tunelowe o średnicach na tyle dużych, aby płynący prąd był większy niż kilka pA, a jednocześnie obejmował możliwie mały obszar bariery tunelowej. W tym przypadku mesy miały stosunkowo dużą średnicę 50-100-200  $\mu\text{m}$ . Dlatego też w charakterystykach  $I - V$  w temperaturze 4.2 K nie było widać charakterystycznych ostrych struktur związanych z tunelowaniem przez pojedyncze domieszki, w pomiarach stacjonarnego prądu widoczne dopiero w temperaturach milikelwinowych oraz dla najmniejszych mes o średnicach  $< 1\mu\text{m}$  i dla natężeń prądu na poziomie pojedynczych pikoamperów. Tym niemniej, spodziewano się, że pomiary szumu śrutowego pozwolą na uzyskanie informacji o układzie nieosiągalnych za pomocą pomiarów uśrednionego w czasie prądu. W szczególności pomiary szumu śrutowego odzwierciedlającego dyskretyzację ładunku elektrycznego pozwalają na odsłonięcie dynamicznych procesów biorących udział w transporcie ładunku oraz wewnętrznej skali energetycznej zachodzących procesów [17]. Dla sukcesywnego tunelowania nieskorelowanych i niezależnych elektronów niskoczęstościowe widmo mocy fluktuacji prądu  $I$ , związane z granulacją ładunku elektrycznego, spodziewane było na poziomie  $S_I(f) = 2eI$ , gdzie  $e$  jest wartością ładunku elek-

tronu. Tego typu szum jest nazywany szumem poissonowskim. Aby scharakteryzować własności szumu śrutowego wprowadza się tzw czynnik Fano  $F$ :  $S_I(f) = 2eFI$ , który wskazuje, czy mamy do czynienia z szumem subpoissonowskim ( $F < 1$ ), czy superpoissonowskim ( $F > 1$ ). W naszym przypadku transport elektronów następuje przez wertykalną strukturę tunelową o dosyć dużych rozmiarach poziomych (ca  $100 \mu\text{m}$ ), ale o grubości pojedynczej bariery AlAs wynoszącej około 10 nm. W środku bariery planarnie zostały umieszczone domieszki krzemowe (ca  $3 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ ), które mogą brać udział w procesie tunelowania rezonansowego (wtedy, gdy poziom Fermiego dwuwymiarowego emitera zbliży się do energii tych stanów). Ponieważ diody tunelowe były bardzo wrażliwe na elektryczność statyczną i często w czasie pomiarów dochodziło do ich przebicia, w celu oszczędzania cennych próbek, badania rozpoczęto dla niewielkich wartości napięcia polaryzującego  $|U| < 1 \text{ V}$ . Wyniki tych pomiarów przedstawiono w pracach [H3, H4]. Są to pomiary uzyskane w układzie dwóch przetworników prąd-napięcie mierzących fluktuacje prądu na dwóch terminalach próbki w układzie korelacji krzyżowych. Próbka była polaryzowana napięciowo poprzez masę wirtualną układu przetwornika  $I-V$  za pomocą niskoszumnego źródła napięciowego, także home-made. Ze względu na konieczność ręcznej zmiany parametrów pomiaru, ich rozdzielczość w skali napięcia nie była duża (co 25 - 30 mV). W pomiarach tych w temperaturze helowej 4.2 K zmierzono szum prądowy prądów tunelowych rozpoczynających się od kilku pA, tzn. mierzono szum prądowy na poziomie poniżej  $10^{-30} \text{ A}^2/\text{Hz}$ , co samo w sobie jest sporym osiągnięciem doświadczalnym. W wyniku pomiarów fluktuacji w zakresie napięć polaryzujących diody do 1 V uzyskano następujące wyniki:

1. dla najmniejszych polaryzacji mamy do czynienia z tunelowaniem bezpośrednim przez barierę, bez udziału stanów domieszkowych w barierze. Czynnik Fano  $F \rightarrow 1$ , gdy  $|U| \rightarrow 0$ . Gęstość widmowa mocy tych fluktuacji prądowych pozostawała biała w całym obszarze mierzonych częstości, aż do najniższych częstości.
2. dla polaryzacji z zakresu do  $|U| < 1 \text{ V}$ , w miarę wzrostu napięcia polaryzującego, czynnik Fano  $F$  maleje do wartości blisko 0.55 lub 0.6, w zależności od kierunku polaryzacji struktury, wykazując obszary stabilizacji na pewnych określonych wartościach  $F$ , przy czym samo wyznaczenie tego czynnika jest coraz trudniejsze w zakresie częstości dostępnych w doświadczeniu  $< 10 \text{ kHz}$ , ponieważ powyżej  $|U| > 0.4 \text{ V}$  na biały szum śrutowy zaczyna nakładać się szum typu  $1/f^\alpha$ . Wartości czynnika Fano pomiędzy 0.55 a 1 świadczą, że w układzie dochodzi do korelacji ujemnych ruchu elektronów tunelujących przez barierę. Jest to zgodne z przewidywaniami teoretycznymi dla tunelowania z udziałem domieszek wewnątrz bariery [17, 18], a zmiana poziomu stabilizacji czynnika Fano z wartości 0.8 dla  $|U| < 0.4 \text{ V}$  do wartości mniejszych 0.55 - 0.6 dla  $|U| > 0.4 \text{ V}$  jest spowodowana włączeniem się tunelowania z udziałem intencjonalnie wprowadzonych domieszek w środku bariery.
3. Źródła pojawiającego się dla polaryzacji  $|U| > 0.4 \text{ V}$  szumu typu  $1/f^\alpha$  są prawdopodobnie podobnej natury, jak w przypadku dwuwymiarowego gazu elektronów w obszarze roboczym heterostruktury czujnika hallowskiego - w obszarze bariery bliskiej dwuwymiarowemu gazowi elektronowemu emitera tworzącemu się pod wpływem przykładanego napięcia, istnieją pułapki, które tunelowo wymieniają ładunek z dwuwymiarowym gazem elektronów, przy czym w tym przypadku mamy nie tylko do czynienia z fluktuacjami liczby nośników w dwuwymiarowym gazie elektronowym, ale także, w zależności od stanu ładunkowego pułapki w barierze, z lokalną zmianą krawędzi pasma przewodnictwa, tzn, z lokalnymi fluktuacjami wysokości/kształtu bariery tunelowej, co objawia się jako Random Telegraph Signal (RTS) w prądzie tunelowym [19]. W ten sposób powstaje szum, który ze względu na zależność od liczby nośników w dwuwymiarowym gazie elektronowym byłby proporcjonalny do  $I^2$ , ale dodatkowa zależność od fluktuacji lokalnej wysokości/kształtu bariery

powoduje, że zależność ta jest taka tylko w przybliżeniu. Ponieważ obserwuje się także zmiany charakteru zależności szumu  $1/f^\alpha$  od częstości ( $\alpha$  w zależności od napięcia polaryzującego zmienia swoje wartości między 0.5 a 2), więc prawdopodobnie mamy też do czynienia z niejednorodnym rozkładem czasów relaksacji/charakterystycznych pułapek lub niejednorodnego rozkładu samych pułapek - dla rozkładu jednorodnego obserwowalibyśmy wyłącznie szum  $1/f^\alpha$  z  $\alpha = 1$  [20, 21]. Nie należy również wykluczać tego, że gęstość pułapek modulująca prąd tunelowy zależy nie tylko od tunelowej wymiany ładunku pułapek z 2DEG, ale może być także/jednocześnie procesem aktywowanym termicznie - jak zostało to pokazane w pracy [H5], gdzie mierzono cienkie (7 nm) bariery domieszkowane planarnie asymetrycznie w odległości 1 nm od jednej z dwóch krawędzi bariery. Dla barier domieszkowanych intencjonalnie w pobliżu krawędzi od strony substratu nie udało się w ogóle zmierzyć szumu śrutowego, który został zdominowany szumem  $1/f$  (w zakresie częstości dostępnym w tym układzie pomiarowym) - prawdopodobnie domieszkowanie bariery przy krawędzi od strony substratu spowodowało propagację/dyfuzję domieszek w trakcie wzrostu na obszar całej bariery. Argumentem za takim wyjaśnieniem jest fakt, że w próbce wytwarzanej w tym samym procesie technologicznym, ale z barierą domieszkowaną przy krawędzi od strony wierzchu mesy, zmierzono piękny poissonowski szum śrutowy biały aż do najniższych częstości. W obszarze występowania szumu  $1/f$  zaobserwowano szum RTN (random telegraph noise), z którego wyznaczono energię aktywacji termicznej jednego z centrów pułapkowych, modulujących prąd tunelowy w barierze. Numeryczna analiza sygnału RTS i odjęcie od sygnału dominującego RTS spowodowało ujawnienie kolejnych, znacznie słabszych dwupoziomowych fluktuacji prądu związanych z innymi, dalszymi fluktuującymi pułapkami [H5].

Kolejny etap badań fluktuacji prądu tunelowego w diodach tunelowych z pojedynczą barierą został otwarty w momencie zakupu sterowanych za pomocą interfejsu GPIB niskoszumnych wzmacniaczy prądowych i napięciowych, filtrów antyaliasowych oraz znacznie lepszej wielokanałowej karty przetwornika analogowo-cyfrowego do akwizycji sygnałów, co stało się możliwe dzięki grantowi nr 1925/B/H03/2008/34, którego byłem inicjatorem i pomysłodawcą. Automatyzacja spowodowała przede wszystkim zwiększenie rozdzielczości napięciowej pomiarów i umożliwiła dokładniejsze prześledzenie fluktuacji prądu tunelowego w zależności od napięcia polaryzującego dla barier tunelowych o różnym stopniu domieszkowania atomami krzemu w środku bariery. Wyniki tych badań przedstawiono w pracy [H6]. Pomiar fluktuacji prądu tunelowego przeprowadzono z małym krokiem 10 mV, co w skali energii odpowiada zmianie mniej więcej o 1 meV (czynnik rzędu 7 - 13 mV/meV to tzw. leverage factor określający ile z całkowitego napięcia przyłożonego do heterostruktury odkłada się w obszarze bariery - zależy on od struktury, jej domieszkowania i napięcia polaryzującego i jest określany przez rozwiązanie sprzężonych równań Schrödingera i Poissona na przebieg krawędzi pasm). Chociaż ten etap badań odbywał się pod hasłem wpływu domieszkowania na fluktuacje prądu w rezonansowej diodzie tunelowej, paradoksalnie wyniki pomiarów okazały się najciekawsze w przypadku próbki w ogóle intencjonalnie niedomieszkowanej (referencyjnej) oraz średnio domieszkowanej planarnie na poziomie  $5 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ . Ponieważ czynnik Fano można było wyznaczyć jedynie dla widm uzyskanych dla najmniejszych napięć polaryzujących diodę, a dla większych napięć pojawiały się widma typu  $1/f^\alpha$ , gdzie wykładnik potęgi  $\alpha$  zmieniał się w granicach 0.5 - 2, widma wycalkowano w granicach 1 - 49 Hz i tak uzyskano miarę fluktuacji przedstawiono w zależności od napięcia polaryzującego - patrz rys. 1-2 w pracy [H6]. Główne wnioski z analizy tych wyników są następujące:

1. w zależności wycalkowanych widm szumowych od napięcia widać kilka ostrych struktur o szerokościach w skali energii rzędu kilku meV  $\gg k_B T$ . W tym samym miejscu na charakterystyce  $I - V$ , ani na jej pochodnej nie widać nic. Jest to ładny przykład, kiedy pomiary

fluktuacji ujawniają byty/procesy niewidoczne w pomiarach wartości średnich;

2. generalna zależność wycałkowanego szumu od prądu, abstrahując od ostrych struktur, jest we wszystkich próbkach, aż do napięcia około 1 V, bardzo podobna - szum jest proporcjonalny do wartości prądu, a wartość średnia szumu jest na poziomie czynnika Fano bliskiego 1 lub niewiele poniżej 1, co wskazuje na obecność procesów korelujących ujemnie transport elektronów przez barierę - tak, jak zostało to już poprzednio omówione - jest to głównie obszar tunelowania bezpośredniego przez barierę lub z udziałem wielu domieszek rezonansowych;
3. powyżej około 1 V - tam, gdzie zaczyna się tunelowanie poprzez stany zlokalizowane w studni  $X$  w AlAs, znowu abstrahując od pojawiających się tam struktur, zależność szumu od prądu zmienia się na zależność kwadratową, jak dla procesów dyssypacyjnych z udziałem np. fononów;
4. Najciekawsze w tych wynikach, wspomniane w punkcie 1. ostre struktury pozostały niestety niezbadane po pierwsze dlatego, że nie był jeszcze wtedy dostępny zmiennotemperaturowy kriostat do pomiarów szumowych, a po drugie - ze względu na ekstremalnie niski poziom mierzonych fluktuacji  $10^{-30} \text{ A}^2/\text{Hz}$ , co odpowiada prądom na poziomie kilku pA. Nie wiadomo, czy w bardziej złożonym układzie pomiarowym udałoby się zmierzyć tak niski poziom fluktuacji. Publikowane przez innych badaczy widma fluktuacji małych prądów zaczynają się od poziomu o rząd większego [patrz np. [22, 23, 24]. Niedawno jedynie grupa japońska zbliżyła się do tej granicy [25], dysponując jednak specjalnie zaprojektowanym wzmacniaczem kriogenicznym.

Bliższa analiza dostępnych danych dotyczących ostrych pików (np. ich mała szerokość na poziomie kilku meV) pozwala jednak na pewne spekulacje sugerujące, że być może dotykamy tutaj spektroskopii fundamentalnych procesów związanych z tunelowaniem z udziałem jednej domieszki (i ewentualnie jej stanów wzbudzonych) lub kilku oddziałujących domieszek [26, 27, 28], lub/i procesami gdzie poziom Fermiego dwuwymiarowego emitera zrównuje się z poziomem rezonansowym pojedynczej domieszki w barierze, który dynamicznie wymienia elektron z dwuwymiarowym gazem elektronów w emiterze - byłby to proces silnie nieliniowy, na skutek którego fluktuuje nie tylko liczba nośników w emiterze, ale także dynamicznie zmienia się lokalny potencjał kulombowski domieszki widziany przez tunelujący elektron (jest to jednocześnie lokalna fluktuacja wysokości bariery tunelowej). Ciekawe jest także to, że w przypadku niektórych ostrych maksimum szumu w miarę jak zbliżamy się do tego maksimum, widmo fluktuacji prądu typu  $1/f^\alpha$ , zmienia swój wykładnik  $\alpha$  w granicach 0.5 - 2, po czym w maksimum fluktuacje przechodzą w wyraźny dwupoziomowy RTN o widmie lorentzowskim  $\propto 1/f^2$ . Zbadanie zależności temperaturowej tego silnie zlokalizowanego w skali energii szumu i/lub od pola magnetycznego pozwoliłoby na poznanie charakteru tego procesu;

5. szerokie struktury obecne dla napięć większych od 1 V w zależności scałkowanego szumu od napięcia w próbkach domieszkowanych są niewątpliwie związane z domieszkami znajdującymi się w środku bariery AlAs (studni dla elektronów  $X$ ) i mogą być związane z rozpraszaniem  $\Gamma \rightarrow X$ , tunelowaniem nieelastycznym z udziałem fononów i/lub z fluktuującym/ zmiennym ładunkiem zaakumulowanym na domieszkach w barierze lub/i akumulacją ładunku w środku bariery. Gromadzący się w barierze ładunek (na skutek asymetrii szybkości procesów wchodzenia ładunków do studni i jej opuszczania, np. na skutek rozpraszania międzypasmowego) powoduje zahamowanie procesu tunelowania i tego typu dodatnie sprzężenie zwrotne może doprowadzić do zwiększenia szumu obserwowanego w takim układzie [17, 29].

Budowa układu do pomiaru niskoczęstotliwościowych fluktuacji ekstremalnie małych prądów otworzyła szerokie możliwości badań dynamiki w transporcie nośników w układach nano- i mezoskopowych. Jest to tematyka istotna nie tylko w klasycznych przyrządach półprzewodnikowych, gdzie np. szum prądu upływności bramki wpływa na parametry użytkowe przyrządu, ale także np. w badaniu nowych nano- i mezoskopowych przyrządów logiki kwantowej opartych na stanach ładunkowych qubitów gdzie szum typu  $1/f$  jest głównym powodem dekoherencji sygnału (redukcji czasu dekoherencji) [1].

#### 4.4.3 Badania fluktuacji elektrycznych w $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ - LCMO - materiale wykazującym CMR, prace H7 - H9.

Od lat 50. XX wieku należący do perowskitów manganit  $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  z powodu unikalnej kombinacji własności elektronicznych, magnetycznych i strukturalnych jest istnym poligonem doświadczalnym zjawisk o zasadniczym znaczeniu dla zrozumienia fizyki materii skondensowanej i jednym z najbardziej fascynujących klas materiałów, którymi zajmują się fizycy. Zjawisko kolosalnego magnetooporu (CMR) oraz własności półmetaliczne (half-metallic) występujące w tego typu materiałach nadają mu także istotnego znaczenia w zastosowaniach w elektronice, spintronice oraz technologii pamięci magnetycznych. Domieszkowanie dwuwartościowym wapniem skutkuje materiałem o mieszanej walencyjności, w którym atomy manganu mogą występować w stanie  $\text{Mn}^{3+}$  lub  $\text{Mn}^{4+}$ . Dla  $x < 0.5$  nośnikami ładunku są dziury na poziomie domieszkowania równym mniej więcej poziomowi domieszkowania wapniem  $x$ . Znajdujące się na częściowo wypełnionych powłokach  $3d$  elektrony silnie sprzęgają elektronowe i magnetyczne (spinowe) stopnie swobody. Dodatkowo silne sprzężenia z orbitalnymi i sieciowymi stopniami swobody (efekt Jahn-Tellera, polarony) powodują, że mamy do czynienia z układem silnie skorelowanych elektronów/dziur. Konkurencja między różnymi stopniami swobody powoduje, że materiał ten ma bardzo skomplikowany diagram fazowy, w którym występuje wiele faz o różnych rodzajach uporządkowania spinowego, orbitalnego, ładunkowego, które na dodatek są silnie sprzężone z siecią [30]. Lokalna kompetycja różnych mechanizmów porządkowania na poziomach nano- i submikronowych powoduje także tzw. separację faz, która nie jest separacją faz chemicznych, lecz faz o różnych uporządkowaniach i własnościach elektronowych i magnetycznych. Domieszkowane dziurami manganity w zakresie domieszkowania  $0.125 < x < 0.225$  w niskich temperaturach są ferromagnetycznymi izolatorami. Dlatego właśnie do badań wybrano i wyhodowano kryształy z  $x = 0.14$  i  $x = 0.18$ . W przypadku kryształu  $x = 0.18$ , pomiędzy fazą paramagnetyczną i ferromagnetyczną izolującą występuje niewielki obszar ferromagnetyczny metaliczny, którego nie ma w przypadku kryształu  $x = 0.14$ . Dla  $x > 0.225$ , czyli powyżej progu perkolacji, materiał (w stanie podstawowym i poniżej  $T_c$ ) jest ferromagnetycznym metalem [30].

W kryształach z  $x = 0.14$  i  $x = 0.18$  współistnieją fazy ferromagnetyczne metaliczna oraz izolująca, co jest prawdopodobnie odpowiedzialne za bardzo silny CMR oraz perkolacyjny charakter transportu nośników w tym materiale [31, 32]. Natomiast silne fluktuacje krótko-zasięgowego/lokalnego uporządkowania ładunkowego w manganitach wpływają istotnie na własności tego materiału odzwierciedlone w badaniach fluktuacji przewodnictwa. Dlatego właśnie badania fluktuacji przewodnictwa stanowią tutaj istotne narzędzie badawcze, gdyż pomimo intensywnych badań obraz zjawisk elektronowych oraz mechanizmu przewodnictwa w materiałach o słabym domieszkowaniu na typ  $p$  ( $0 < x < 0.2$ ) nie jest jeszcze do końca klarowny.

W kolejnych punktach omówiono wyniki publikowanych prac, które stanowią istotne osiągnięcia w wyjaśnianiu mechanizmu transportu elektronowego i fluktuacji przewodnictwa w słabo domieszkowanym  $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ .

H7 Nano- i mezoskopowa niejednorodność stanu podstawowego i dynamiczne współistnienie faz

w  $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  powoduje, że metastabilność jest samoistną własnością tego materiału. Stymulacja układu za pomocą cykli termicznych, pola elektrycznego/płynącego prądu, pola magnetycznego lub ciśnienia może spowodować, że układ znajdzie się w stanie metastabilnym o specyficznych własnościach. Dla kryształów silniej domieszkowanych wapniem ( $x = 0.18, 0.20$  i  $0.22$ ), można było w sposób kontrolowany za pomocą impulsów elektrycznych przełączać stan próbki do stanu metastabilnego. W przypadku badanego materiału ( $x = 0.14$ ) procedura ta nie zdała egzaminu, natomiast w wyniku kolejnych cykli temperaturowych (w czasie pomiarów transportowych) i związanych z nimi cykli napięciowo - prądowych próbka stopniowo ewoluowała w stronę stanu metastabilnego o niskim oporze (LRS - Low Resistance State) [H7]. W początkowym stanie wysokooporowym próbki w pomiarach gęstości widmowej fluktuacji przewodnictwa występowały wyłącznie widma typu  $1/f$ . Natomiast w niskooporowym stanie metastabilnym próbki widma typu  $1/f$  obserwowano wyłącznie w temperaturach powyżej  $T_c$ . W miarę obniżania temperatury na widmo fluktuacji typu  $1/f$  nakładał się dodatkowy szum o widmie (-ach) lorentzowskim. Widma te, mierzone w stanie niskooporowym (metastabilnym) stanowiły sygnatury różnych stanów metastabilnych o różnych oporach kryształu powstałych spontanicznie bądź pod wpływem płynącego prądu [H7]. W stanie metastabilnym zaobserwowano przejścia próbki między stanami o różnych oporach i zaobserwowano, że z danym stanem metastabilnym o określonym oporze jest związane określone widmo szumowe - sygnatura szumowa danego stanu metastabilnego. Występowanie różnych stanów metastabilnych jest prawdopodobnie związane z różnym rozkładem przestrzennym zlokalizowanych ładunków oddziałujących z nośnikami prądu oraz zamrożeniem tego/tych stanu/stanów metastabilnego/metastabilnych do metastabilnego stanu szkła elektronowego.

H8 Współistnienie w  $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  dla  $0.125 < x < 0.225$  fazy ferromagnetycznej izolującej i fazy ferromagnetycznej metalicznej oraz hipotetyczne istnienie stanu szkła elektronowego w tym materiale jest przedmiotem intensywnych badań. Dlatego rzadko obserwowane wysokoczęstotliwościowe obcięcie widma fluktuacji oporu opisane w [H8] zostało skonfrontowane z istniejącym modelem transportu hoppingowego nośników w szkle elektronowym przedstawionym w pracy [33]. Argumenty za postawioną hipotezą istnienia szkła elektronowego w tym materiale są następujące:

- Różnica mierzonego namagnesowania podczas schładzania próbki w polu magnetycznym i bez pola wskazuje na zamrażanie momentów magnetycznych w szkliste klastry poniżej temperatury  $T_c$ ; Jednocześnie długozasięgowe oddziaływanie kulombowskie w układzie otwiera przerwę kulombowską, w której transport jest możliwy tylko poprzez mechanizm hoppingowy;
- zależność oporu próbki od temperatury zgodna jest (w pewnym zakresie temperatur) z prawem Efrosa-Shklovskiego  $R(T) = R_0 \exp[(T_{ES}/T)^{1/2}]$  dla zmienno-zasięgowego przewodnictwa hoppingowego w układzie silnie zlokalizowanych elektronów [34].
- obserwuje się silną potęgową zależność od temperatury tzw. współczynnika Hooge'a, określającego wielkość fluktuacji typu  $1/f$  w widmie oporu.

Nieoczekiwana obserwacja wysokoczęstotliwościowego obciążenia w widmie fluktuacji oporu w próbce z  $x = 0.18$  daje wyjątkową okazję, aby porównać to z modelami powstawania szumu  $1/f$  zaproponowanymi w pracach [33, 35, 36], które przewidują takie obciążenie. Modele te opisują mechanizm transportu polegający na hoppingu zmiennozasięgowym, natomiast do generacji fluktuacji prądu wymagają tzw. dwupoziomowych fluktuatorów, które zmieniając swój stan, wpływają na opór znajdujących się w pobliżu elementów sieci perkolacyjnej i tym samym na fluktuacje przewodnictwa. Według wymienionych wyżej teorii w układzie

powinien istnieć najkrótszy czas relaksacji fluktuatorów związany z najszybszym procesem przeskoku, tzn. widmo szumowe powinno zostać obcięte od strony wysokich częstotliwości, a charakter tego obcięcia powinien być jak  $1/f^2$ . Zależność częstości obcięcia od parametrów modelu [36, 33] pozwoliła po pierwsze na zaobserwowanie w pewnym obszarze temperatur poniżej  $T_c$  charakteru tej zależności zgodnego z przewidywaniami modelu, a dopasowania numeryczne tej zależności pozwoliły na wyznaczenie takich parametrów modelu jak temperatura Efrosa-Shklovskiego, czynnika odpowiedzialnego za oddziaływanie elektron-fonon, orientacyjnego promienia lokalizacji stanów elektronowych biorących udział w hoppingu oraz średniej długości skoku. Niestety brakuje danych literaturowych, aby porównać te dane z innymi - mamy nadzieję, że takie się pojawią. Badanie zgodności powyższego modelu z uzyskanymi wynikami pomiaru ma duże znaczenie dla określenia natury fizycznej dwupoziomowych fluktuatorów. W ostatniej z wymienionych prac [33] np. zakładano, że fluktuator ma naturę wielocząstkową i składa się z klastra silnie skorelowanych pułapek, co bardzo przybliżyło model do hipotetycznego obrazu stanu szkła elektronowego w słabo domieszkowanym dziurami izolatorze ferromagnetycznym. Jest to z całą pewnością problem, który dopiero szuka rozwiązania, zaś nasza obserwacja jest istotnym przyczynkiem w dyskusji.

- H9 Szum telegraficzny pojawia się zwykle w systemach mezoskopowych zawierających jeden lub zaledwie kilka elementarnych fluktuatorów dwupoziomowych takich jak np. pułapki elektronowe w barierze złącza tunelowego [37]. Jednakże w wielu makroskopowych systemach silnie skorelowanych, takich jak nadprzewodniki wysokotemperaturowe, czy też manganity CMR, obserwowane bywają makroskopowe szумы telegraficzne, w których pojedynczy fluktuator dwupoziomowy jest w stanie wpływać na stan przewodnictwa w całej objętości próbki. Z reguły pojedyncze fluktuatory makroskopowe są obserwowane w bardzo wąskim zakresie temperatur, często wokół przejść fazowych, a czasy życia poszczególnych stanów telegraficznych bardzo silnie zależą od prądu, polaryzacji i pola magnetycznego. W pracy H9 po raz pierwszy w ojętościowym materiale LCMO (znajdującym się w stanie niskooporowym - metastabilnym) zaobserwowano i zbadano silny szum telegraficzny (random telegraph noise, RTN), który występuje w bardzo dużym przedziale temperatur 130 K - 180 K, obejmującym temperaturę  $T_c$ . Czasy przełączania są aktywowane termicznie i nie zależą od przyłożonego pola magnetycznego i elektrycznego. Ze wzrostem płynącego prądu amplituda RTN maleje wykładniczo dokładnie w ten sam sposób, jak rośnie opór próbki. Wynika z tego, że dwupoziomowy fluktuator odpowiedzialny za RTN ma charakter makroskopowy i zmienia opór całej próbki. Na podstawie analizy wyników badań własności magnetycznych oraz rezonansowych, rezonansu ferromagnetycznego EMR (Electron Magnetic Resonance) i paramagnetycznego rezonansu elektronowego (EPR) stwierdzono, że w obszarze temperatur 130 K - 185 K w materiale istnieją zawsze dwie fazy - ferromagnetyczna izolująca (FMI) oraz ferromagnetyczna metaliczna (FMM), przy czym faza FMM w postaci superparamagnetycznej istnieje już poniżej  $T = 240$  K, natomiast linia EMR związana z fazą FMI pojawia się poniżej  $T = 185$  K, a przy dalszym obniżaniu temperatury rozdzwaja się i jedna z linii znika w temperaturze 130 K. Pojawianie się dalekiego uporządkowania magnetycznego poniżej temperatury 185 K oraz duża różnica temperatur nieodwracalności namagnesowania  $T_{irr} = 160$  K oraz zamarzania szkła spinowego  $T_g = 80$  K sugerowały pojawianie się w układzie ścieżek perkolacyjnych klastrów o różnych oporach. Powstawanie tych klastrów jest związane z silną niejednorodnością materiału na poziomie nano- i mezoskopowym. Autorzy pracy [H9] zaproponowali, aby jako mechanizm generacji dwupoziomowego szumu RTN wskazać dynamiczną redystrybucję prądu pomiędzy ścieżkami perkolacyjnymi. Kluczem do wyjaśnienia dynamicznej redystrybucji prądu jest specyficzna



zależność oporu elektrycznego od wartości płynącego prądu, powodująca, że płynący w sieci prekolacyjnej prąd szuka drogi o najmniejszym oporze, a kiedy ją znajduje, powoduje wzrost oporu tej ścieżki i powraca do ścieżki o mniejszym oporze. Ze względu na szeroki zakres temperatur występowania oraz niezależność od pola magnetycznego, wykluczono, aby źródłem obserwowanych fluktuacji były fluktuacje związane z porządkowaniem magnetycznym lub ładunkowym lub orbitalnym. Istnieją one w materiale także wtedy, kiedy nie dochodzi do rozwinięcia pełnego szumu RTN i w tym samym zakresie temperatur 130 K - 150 K zamiast RTN obserwuje się wtedy zwiększoną amplitudę drugiego widma fluktuacji przewodnictwa (czyli unormowanych fluktuacji kolejnych oktaw pierwszego widma). Dalsze badania drugiego widma oraz jego niegaussowskiego charakteru są w toku - ich wyniki nie zostały jeszcze opublikowane [H9]. O aktualności oraz zainteresowaniu środowiska naukowego tą tematyką świadczy fakt, że praca [38] została zakwalifikowana do ustnej prezentacji na konferencji *24th International Conference on Noise and Fluctuations ICNF 2017*, która odbędzie się w Wilnie w czerwcu 2017 roku.

Ze względu na duże potencjalne zastosowania manganitów w przyrządach spintronicznych /magnetycznych służących do przetwarzania i przechowywania informacji, badanie szumu  $1/f$  oraz mechanizmów jego powstawania ma znaczenie nie tylko poznawcze, ale może przyczynić się do ograniczenia tego szumu w przyrządach elektro-/spintronicznych, w których niezwykle własności manganitów zostaną zastosowane.

## 5 Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych.

### 5.1 Defekty punktowe

Począwszy od pracy magisterskiej, która powstawała w czasach, kiedy prowadzono intensywne badania mające doprowadzić do szybkiej elektroniki opartej na arsenku galu (w którym to materiale ruchliwość nośników są znacznie większe niż w powszechnie stosowanym w elektronice krzemie), w kręgu moich zainteresowań były defekty punktowe w półprzewodnikach, których aktywność elektryczna istotnie wpływała na własności użytkowe półprzewodników. Badania defektów antystrukturalnych (m. in. EL2) w GaAs oraz w kryształach mieszanych GaAsP oraz defektów typu  $DX$  w różnych materiałach (m. in. GaAlAs, Cd(Mn)Te) prowadzone w Zakładzie Fizyki Ciała Stałego na Wydziale Fizyki UW, należały do ścisłej czołówki światowej badań w tej dziedzinie. Badania wykorzystywały różnorodne techniki eksperymentalne jak absorpcja światła, fotoprąd, transport nośników (zjawisko Halla), pojemnościowe (DLTS) oraz EPR, przeważnie w ekstremalnych warunkach ciśnienia hydrostatycznego do 1.5 GPa i w temperaturach kriogenicznych, i prowadzone były często we współpracy z Unipress, IF PAN oraz ITME. Habilitant w latach 1989-1997 zajmował się m. in.

1. pokazaniem, że jeśli arsenek galu domieszkuje się antymonem Sb - pierwiastkiem z tej samej grupy układu okresowego co arsen, to także będą się w nim tworzyły defekty antypodstawieniowe, podobnie jak w przypadku arsenu i słynnego defektu EL2. Defekt ten został zaobserwowany i zbadany zarówno w otrzymanywanych u nas kryształach objętościowych GaAs:Sb, jak i w otrzymanywanych metodą MOCVD [39], [JP1].
2. pokazaniem, że defekt antystrukturalny związany z antypodstawieniowym atomem arsenu As w miejscu Ga w GaAs ( $As_{Ga}$ ) - tzw. defekt EL2 pod ciśnieniem hydrostatycznym lub w materiale mieszanym poszerzającym przerwę (GaAsP) wyłapując elektron z pasma przewodnictwa stabilizuje się w stanie zdystorsjonowanym -  $As_i$ , który staje się wówczas stanem podstawowym defektu, natomiast stan niezdytorsjonowany, który bez ciśnienia jest stanem

podstawowym, staje się stanem metastabilnym [40], [JP4, JP11]. Innymi słowy pod wpływem ciśnienia hydrostatycznego energia elektronów pasmowych rośnie na tyle, że bardziej korzystnym energetycznie dla układu jest przejście defektu EL2 do konfiguracji zdystorsjonowanej i wychwyty elektronu przez ten defekt - dochodzi do zamiany ról stanów podstawowego i metastabilnego defektu [JP4].

3. badaniami defektów typu  $DX$  - podstawieniowych, zbliżonych swoją naturą do defektu EL2. Tego typu defekty - związane z silną relaksacją sieci, występują nie tylko w materiałach III-V, ale także II-VI. Na początku lat 90. jednym z ciekawszych zagadnień związanych z centrami  $DX$  był problem liczby elektronów wychwytywanych przez stan podstawowy defektu. Tzw. układy negative- $U$ , gdzie  $U$  jest energią oddziaływania kulombowskiego elektronów umieszczonych na tym samym centrum, wychwytyują dwa elektrony. Stosując ideę dodatkowego domieszkowania materiału z centrami  $DX$  za pomocą wystarczająco wysoko w paśmie przewodnictwa położonych domieszek tellurowych oraz wypychania poziomu rezonansowego  $DX$  do przerwy energetycznej za pomocą ciśnienia hydrostatycznego, w pracy [41] pokazano, że centrum  $DX$  w GaAs związane z podstawieniowym atomem germanu  $Ge_{Ga}$  wychwytyuje dwa elektrony, a zatem jest układem negative- $U$ . W pracach [JP5, JP6, JP8] celem było zbadanie, czy w materiałach II-VI defekty  $DX$  także są typu negative- $U$ .
4. Powtarzając ideę eksperymentu [41] zbadano rolę poziomu podstawieniowego  $Ge_{Ga} A_1^{0/+}$  w obserwowanym w kryształach GaAs:Ge,Te kotwiczeniu (pinningu) poziomu Fermiego [JP2].
5. Możliwość dowolnego obsadzania w cyklu ciśnieniowo-temperaturowym centrów  $DX$  pozwoliła na zbadanie zależności ruchliwości od koncentracji nośników i pokazanie, że taki cykl prowadzi do przestrzennych korelacji ładunków rozpraszających w transporcie elektronów i wzrostu ruchliwości w porównaniu z sytuacją, kiedy określona koncentracja nośników i określone obsadzenie centrów  $DX$  jest uzyskiwane na skutek odgrzewania nośników z zamrożonych centrów  $DX$ . Obserwacja korelacji ładunków umożliwiła dyskusję, na podstawie której bardziej prawdopodobna wydawała się sytuacja negative- $U$  dla danego centrum  $DX$  [JP7, JP9].
6. W pracy [JP12] habilitant przeprowadził bardzo precyzyjne pomiary rozszczepienia energii jonizacji defektów  $DX$  ze względu na różne dopuszczalne statystycznie sąsiedztwa tego defektu w GaAlAs:Si.

## 5.2 Tunelowanie rezonansowe pod ciśnieniem hydrostatycznym [JP15, JP17]

Oprócz tematyki związanej z defektami punktowymi w półprzewodnikach habilitant w latach 1998-2000 zajmował się ciśnieniowymi badaniami tunelowania rezonansowego przez stany domieszkowe w pojedynczej barierze GaAs/AlAs/GaAs. Rezultaty tych badań zostały opublikowane w pracach [JP15, JP17] oraz stanowiły część pracy magisterskiej Marty Gryglas [9]. W następnych latach tematyka ta przerodziła się w temat pracy doktorskiej pani Gryglas [42].

## 5.3 Badania materiałów InN oraz (GaMn)As.

Po powrocie ze stażu podoktorskiego habilitant oprócz działalności związanej z budową układu doświadczalnego i z badaniami fluktuacji elektrycznych, brał udział w badaniach transportu elektronowego w nowym materiale InN [JP22] oraz badaniach półprzewodnika półmagnetycznego (Ga,Mn)As [JP23, JP26, JP30, JP31, JP32]. InN był najmniej zbadanym półprzewodnikiem z grupy III-N. Szczególnie zainteresowanie wzbudził na początku XXI wieku, kiedy okazało się,

że jego przerwa energetyczna ma wartość około 0.7 eV, co pozwoliłoby pokryć związkami III-N duży obszar spektralny od 0.7 eV (InN) do 6.2 eV (AlN). Stąd też wzięło się zainteresowanie domieszkowaniem tego materiału na typ  $p$  za pomocą domieszkowania magnezem Mg. Związane z tym trudności polegały na tym, że materiał ten, pomimo silnego domieszkowania magnezem na zewnątrz w pomiarach zjawiska Halla wykazywał przewodnictwo typu  $n$ . W pracy [JP22] problem był badany za pomocą pomiarów impedancyjnych oraz pomiarów termosiły. Potwierdziły one wcześniejsze doniesienia, że na powierzchni tego materiału tworzy się warstwa inwersyjna typu  $n$ , przykrywająca wewnątrz typu  $p$ . Ogromne zainteresowanie wynikami tej pracy objawiło się szybko w postaci liczby cytowań - 19.

Chociaż szczyt zainteresowania (GaMn)As już minął, w naszej grupie, ze względu na dość unikalny zestaw dostępnych narzędzi badawczych, prowadzone są badania problemów ciągle nierozwiązanych. Takim problemem był np. współczynnik ciśnieniowy temperatury Curie w tym materiale, którego wartość i znak jest istotnym parametrem teorii wyjaśniającej pochodzenie ferromagnetyzmu w tym materiale [JP23][43]. Wyznaczenie wartości tego współczynnika ze względów eksperymentalnych nie jest łatwe. Opracowane w czasie tych badań metody wyznaczania temperatury Curie zostały opisane w [JP30]. Przygotowywana jest kolejna publikacja na ten temat.

#### 5.4 Rozwój aparatury naukowo-badawczej, prace wykonane dla rozwoju warsztatu doświadczalnego w Zakładzie Fizyki Ciała Stałego:

- doprowadzenie do powstania układu do pomiarów zjawiska Halla pod ciśnieniem hydrostatycznym z dostępem światła monochromatycznego w zasilanych impulsowo cewkach Helmholtza (1997);
- budowa układu do pomiarów pojemnościowych, intensywnie wykorzystywanego od chwili powstania w 1998 roku;
- rok 2000 - budowa sterowanego przez komputer elektrometru umożliwiającego pomiary bardzo małych prądów tunelowych;
- stworzenie pracowni pomiarów fluktuacji elektrycznych - w nowej lokalizacji Wydziału Fizyki zostało zorganizowane specjalne ekranowane pomieszczenie dla układu pomiarowego umożliwiającego pomiary fluktuacji elektrycznych w temperaturach 2 K - 300 K.

## Bibliografia

- [1] E. Paladino, Y. M. Galperin, G. Falci, B. L. Altshuler, *1/f noise: Implications for solid-state quantum information*, Reviews of Modern Physics **86**, 361 (2014).
- [2] L. K. J. Vandamme, W. M. G. van Bokhoven, *Conductance Noise Investigations with Four Arbitrarily Shaped and Placed Electrodes*, Appl. Phys. **14** 205-215 (1977).
- [3] J. Müller, Y. Li, S. Molnár, Y. Ohno, H. Ohno, *Low-frequency noise in submicron GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As Hall devices*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials **290-291** 1161 (2005).
- [4] J. Müller, S. Molnár, Y. Ohno, H. Ohno, *Decomposition of 1/f Noise in Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As/GaAs Hall Devices*, Physical Review Letters *96* 186601 (2006).
- [5] P. Leroy, C. Coillot, V. Mosser, A. Rouxa, G. Chanteur, *An ac/dc magnetometer for space missions: Improvement of a Hall sensor by the magnetic flux concentration of the magnetic core of a searchcoil*, Sensors and Actuators A **142** 503–510 (2008).
- [6] D. L'Hôte, S. Nakamae, F. Ladieu, V. Mosser, A. Kerlain and M. Konczykowski, *A local noise measurement device for magnetic physical systems*, Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment P01027 (2009).
- [7] K. Komatsu, D. L'Hôte, S. Nakamae, F. Ladieu, V. Mosser, A. Kerlain, M. Konczykowski, E. Dubois, V. Dupuis, and R. Perzynski, *Magnetic noise of a frozen ferrofluid* Journal of Applied Physics **107**, 09E140 (2010).
- [8] K. Komatsu, D. L'Hôte, S. Nakamae, V. Mosser, M. Konczykowski, E. Dubois, V. Dupuis, and R. Perzynski, *Experimental Evidence for Violation of the Fluctuation-Dissipation Theorem in a Superspin Glass* Physical Review Letters **106**, 150603 (2011).
- [9] M. Gryglas, *Praca magisterska*, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski, 1999.
- [10] M. Gryglas, J. Przybytek, M. Baj, M. Henini, L. Eaves, *Hydrostatic pressure investigations of resonant tunnelling through X-minimum-related states in a single barrier GaAs/AlAs/GaAs heterostructure*, High Pressure Research, **18**, 63-67 (2000).
- [11] M. Gryglas, J. Przybytek, M. Baj, L. Eaves, M. Henini, *High-pressure magnetotransport measurements of resonant tunnelling via X-minimum related states in AlAs barrier*, Acta Physica Polonica A **100**, 403-408 (2001).
- [12] M. Gryglas, M. Baj, B. Jouault, G. Faini, A. Cavanna, *Resonant tunnelling through single donor states in GaAs/AlAs/GaAs devices*, Physica E **17**, 303 (2003).
- [13] M. Gryglas, M. Baj, B. Chenaud, B. Jouault, A. Cavanna, G. Faini, *Acoustic phonon-assisted resonant tunneling via single impurities*, Physical Review **69**, 165302 (2004).
- [14] M. Baj, M. Gryglas, B. Jouault, D. Maude, G. Faini, U. Gennser, A. Cavanna, *Spectroscopy of a single Si donor by the resonant tunnelling experiment*, Acta Physica Polonica A **110**, 157 (2006).
- [15] B. Jouault, M. Gryglas, G. Faini, U. Gennser, A. Cavanna, M. Baj, DK Maude, *Single-impurity tunneling spectroscopy to probe the discrete states of a two-dimensional electron gas in a quantizing magnetic field*, Physical Review B **73**, 155415 (2006).

- [16] B. Jouault, M. Gryglas, M. Baj, A. Cavanna, U. Gennser, G. Faini, D. K. Maude, *Spin filtering through a single impurity in a GaAs/AlAs/GaAs resonant tunneling device*, Physical Review B **79**, 041307 (2009).
- [17] Ya. M. Blanter and M. Buttiker, *Shot noise in mesoscopic conductors*, Phys. Rep. **336**, 1 (2000).
- [18] Yuli V. Nazarov and J. J. R. Struben, *Universal excess noise in resonant tunneling via strongly localized states*, Phys. Rev. B **53**, 15466 (1996).
- [19] F. Crupi, G. Giusi, G. Iannaccone, P. Magnone, C. Pace, E. Simoen, and C. Claeys, *Analytical model for the noise in the tunneling current through metal-oxide semiconductor structures*, Journal of Applied Physics **106**, 073710 (2009).
- [20] G. B. Alers, K. S. Krisch, D. Monroe, B. E. Weir, and A. M. Chang, *Tunneling current noise in thin gate oxides*, Applied Physics Letters **69**, 2885 (1996).
- [21] P. Dutta, P. M. Horn, *Low-frequency fluctuations in solids: 1/f noise*, Rev. Mod. Phys. **53**, 497 (1981).
- [22] D. C. Glattli, P. Jacques, A. Kumar, P. Pari, and L. Saminadayar, *A noise detection scheme with 10 mK noise temperature resolution for semiconductor single electron tunneling devices*, Journal of Applied Physics **81**, 7350 (1997).
- [23] D.C. Glattli, V. Rodriguez, H. Perrin, P. Roche, Y. Jin, B. Etienne, *Shot noise and the Luttinger liquid-like properties of the FQHE*, Physica E **6**, 22 (2000).
- [24] T. Arakawa, K. Sekiguchi, S. Nakamura, K. Chida, Y. Nishihara, D. Chiba, K. Kobayashi, A. Fukushima, S. Yuasa, and T. Ono, *Sub-Poissonian shot noise in CoFeB/MgO/CoFeB-based magnetic tunneling junctions*, Appl. Phys. Lett. **98**, 202103 (2011).
- [25] T. Arakawa, Y. Nishihara, M. Maeda, S. Norimoto, K. Kobayashi, *Cryogenic amplifier for shot noise measurement at 20 mK*, Applied Physics Letters **103**, 172104 (2013).
- [26] S. S. Safonov, A. K. Savchenko, D. A. Bagrets, O. N. Jouravlev, Y. V. Nazarov, E. H. Linfield, D. A. Ritchie, *Enhanced Shot Noise in Resonant Tunneling via Interacting Localized States*, Phys. Rev. Lett. **91**, 136801 (2003).
- [27] B. Kaczer, M. Toledano-Luque, W. Goes, T. Grasser, G. Groeseneken, *Gate current random telegraph noise and single defect conduction*, Microelectronic Engineering **109** 123 (2013).
- [28] V.N. Mantsevich, N.S. Maslova, *The influence of localized states charging on 1/f tunneling current noise spectrum*, Solid State Communications **147**, 278 (2008).
- [29] G. Iannaccone, B. Pellegrini, *Unified approach to electron transport in double-barrier structures*, Phys. Rev. B **52**, 17406 (1995).
- [30] M. Pissas, G. Papavassiliou, *The phase diagram and magnetic properties of  $La_{1-x}Ca_xMnO_3$  compounds for  $0 \leq x \leq 0.23$* , J. Phys.: Condens. Matter **16**, 6527 (2004).
- [31] E. Dagotto, J. Burgy, A. Moreo, *Nanoscale phase separation in colossal magnetoresistance materials: lessons for the cuprates?*, Solid State Communications **126**, 9 (2003).
- [32] J. B. Goodenough, *Electronic and ionic transport properties and other physical aspects of perovskites*, Rep. Prog. Phys. **67**, 1915 (2004).

- [33] A. L. Burin, B. I. Shklovskii, V. I. Kozub, Y. M. Galperin, V. Vinokur, *Many electron theory of  $1/f$ -noise in hopping conductivity*, phys. stat. sol. (c) **5**, 800 (2008).
- [34] B. I. Shklovskii, A. L. Efros, *Electronic Properties of Doped Semiconductors*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 1984.
- [35] B. I. Shklovskii,  *$1/f$  noise in variable range hopping conduction*, Phys. Rev. B **67**, 045201 (2003).
- [36] A. L. Burin, B. I. Shklovskii, V. I. Kozub, Y. M. Galperin, V. Vinokur, *Many electron theory of  $1/f$  noise in hopping conductivity*, Phys. Rev. B **74**, 075205 (2006).
- [37] M.J. Kirton, M. J. Uren, *Noise in solid-state microstructures: A new perspective on individual defects, interface states and low-frequency ( $1/f$ ) noise*, Advances in Physics, bf38, 367 (1989).
- [38] J. Przybytek, J. Fink-Finowicki, G. Jung, *Two Level Telegraphic Conductivity Fluctuations in Ferromagnetic Insulating Manganite Single Crystals*, 24th International Conference on Noise and Fluctuations ICNF 2017, Wilno - praca wysłana i zakwalifikowana do prezentacji ustnej.
- [39] J. Przybytek, *Praca magisterska*, Wydział Fizyki UW, 1991.
- [40] J. Przybytek, *Praca doktorska*, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski, 1997.
- [41] M. Baj, L. H. Dmowski, T. Słupiński, *Direct Proof of Two-Electron Occupation of Ge-DX Centers in GaAs Codoped with Ge and Te*, Phys. Rev. Lett **71**, 3529 (1993).
- [42] M. Gryglas, *Resonant tunnelling via single impurities in GaAs/AlAs/GaAs heterostructure*, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski, 2004.
- [43] N. Gonzalez Szwacki, J. A. Majewski, T. Dietl, *(Ga,Mn)As under pressure: A first-principles investigation*, Phys. Rev. B **91**, 184409 (2015).

## 6 Działalność naukowa

### 6.1 Dane bibliometryczne

6.1.1 Sumaryczny *impact factor* według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania: 35.934

6.1.2 Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS)

:

Sum of the Times Cited: 98  
Sum of Times Cited without self-citations: 77  
Citing Articles: 81  
Citing Articles without self-citations: 68  
Average Citations per Item: 3.16

6.1.3 Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS): 6

### 6.2 Udział w projektach badawczych

- wykonawca w grantie NCN nr 2012/05/B/ST3/03157 *Szumy transportu i metastabilne stany opornościowe w manganitach*
- wykonawca w grantie NCN nr 2011/03/B/ST3/03287 *(Ga,Mn)As w wysokich ciśnieniach hydrostatycznych*
- autor i wykonawca grantu MNiSW nr N N202 192534 *Fluktuacje prądu w rezonansowych diodach tunelowych*, (2008-2010)
- wykonawca w grantie KBN nr 2 P03B 052 15 *Zjawiska fizyczne odpowiedzialne za ograniczenie przewodnictwa elektrycznego dwuwymiarowego gazu elektronowego w heterostrukturach II-VI na bazie CdTe*, (1998 -2000)
- wykonawca w grantie promotorskim KBN nr 2P03B 138 10 *Badania zdystorsjonowanej konfiguracji defektu antystrukturalnego arsenu w warunkach równowagi termodynamicznej w kryształach mieszanych GaAsP* (1997 rok)
- wykonawca w grantie KBN nr 2P30201707 *Stabilizacja metastabilnych defektów w GaAs* (lata 1994-1996).

### 6.3 Udział w konferencjach (plakat lub wystąpienie ustne)

- 23<sup>rd</sup> International Conference on The Physics of Semiconductors, Berlin, 1996, *Pressure investigations of the distorted configuration of the EL2 defect stabilized by free electron capture in GaAs<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>*, J. Przybytek, M. Baj, T. Słupiński, J. Mikucki - wystąpienie ustne;
- XXIX International School on the Physics of Semiconducting Compounds, Jaszowiec 1999, *Resonant tunnelling through X-minimum-related states in a single barrier GaAs/AlAs/GaAs heterostructure*, M. Gryglas, J. Przybytek, M. Baj L. Eaves;

- XXX International School on the Physics of Semiconducting Compounds, Jaszowiec 2001, *High-pressure magnetotransport measurements of resonant tunnelling via X-minimum related states in AlAs barrier*, M. Gryglas, J. Przybytek, M. Baj, L. Eaves, M. Henini - prezentacja ustna;
- 9èmes Journées Nationales de Microélectronique et Optoélectronique, (JNMO), St Aygulf, France, du 29 septembre au 02 octobre 2002, *Hétérostructures III-V micromagnétométrie*, Mosser V., Adam D., Lee M., Konczykowski M., Ocio M., Przybytek J., Boero G., Contreras S. (invited);
- XXXII International School on the Physics of Semiconducting Compounds, Jaszowiec 2003, *Simple capacitance measurements as a useful tool for characterization of semiconductor heterostructures containing 2DEG*, M. Gryglas, M. Sakowicz, J. Przybytek, J. Siwiec-Matuszyk, L. Dmowski, M. Baj;
- SPIE International Symposium Fluctuations and Noise (FaNo 2003, Santa Fe, New Mexico USA), *LF noise in cross Hall effect devices - geometrical study*, J. Przybytek, V. Mosser, Y. Haddab;
- SPIE International Symposium Fluctuations and Noise (FaNo 2003, Santa Fe, New Mexico USA) *Low-frequency noise in AlGaAs/InGaAs/GaAs Hall micromagnetometers*, V. Mosser, G. Jung, J. Przybytek, M. Ocio and Y. Haddab - prezentacja ustna;
- XXXIII International School on the Physics of Semiconducting Compounds, Jaszowiec 2004, *Electronic noise measurements as a tool for characterisation of physical processes in semiconductor heterostructures*, J. Przybytek;
- XXXIV International School on the Physics of Semiconducting Compounds, Jaszowiec 2005, *Shot noise suppression in tunnelling through a single GaAs/AlAs/GaAs Si  $\delta$ -doped barrier measured by crosscorrelation technique*, J. Przybytek;
- XXXV International School on the Physics of Semiconducting Compounds, Jaszowiec 2006, *How to measure extremely low current noise in single barrier tunneling devices*, J. Przybytek, J. Kowalewski, M. Baj;
- XXXVI International School of Semiconducting Compounds, Jaszowiec 2007, *Low-Frequency Resistance Noise in (Ga,Mn)As with embedded MnAs magnetic nanoclusters*, J. Przybytek, A. Kwiatkowski, M. Baj, D. Wasik, J. Sadowski;
- XXXVI International School of Semiconducting Compounds, Jaszowiec 2007, *Current fluctuations in single barrier vertical GaAs/AlAs/GaAs tunneling devices*, J. Przybytek, M. Baj;
- XXXVII International School of Semiconducting Compounds, Jaszowiec 2008: *Current fluctuations in Si  $\delta$ -doped double-barrier resonant tunneling device*, J. Przybytek, M. Baj, Z. Wasilewski;
- "20<sup>th</sup> International Conference on Noise and Fluctuations" (ICNF 2009, Pisa), *Low-Frequency Noise Measurements of the Tunneling Current in Single Barrier GaAs/AlAs/GaAs Devices*, J. Przybytek and M. Baj;
- XXXVIII International School and Conference on the Physics of Semiconductors, "Jaszowiec" 2009, *Interplay between surface inversion layer and Mg-acceptor doped interior in InN:Mg*, L.H. Dmowski, M. Baj, T. Suski, J. Przybytek, R. Czernecki, S.B. Che, A. Yoshikawa, H. Lu, W. J. Schaff, D. Muto, and Y. Nanishi - wystąpienie ustne;



- XXXIX "Jaszowiec" 2010 International School and Conference on the Physics of Semiconductors, *Transport in GaAs/AlAs/GaAs [111] Tunnel Junctions*, S. Lewinska, M. Gryglas-Borysiewicz, J. Przybytek, M. Baj, B. Jouault, U. Gennser, A. Ouerghi;
- XXXIX "Jaszowiec" 2010 International School and Conference on the Physics of Semiconductors, *Observation of thermally-activated electron traps in GaAs/AlAs/GaAs heterostructures in low-frequency noise measurements*, R. Stankiewicz, J. Przybytek, M. Gryglas-Borysiewicz and M. Baj;
- 40<sup>th</sup> "Jaszowiec" 2011 International School and Conference on the Physics of Semiconductors, *Impurity-Related Noise in Si  $\delta$ -doped Single-Barrier GaAs/AlAs/GaAs Resonant Tunneling Devices*, J. Przybytek, M. Gryglas-Borysiewicz, M. Baj;
- 41<sup>st</sup> "Jaszowiec" 2012 International School and Conference on the Physics of Semiconductors, *Influence of epitaxial strain on magnetic anisotropy in (Ga,Mn)As*, P. Juszyński, D. Wasik, M. Gryglas-Borysiewicz, J. Przybytek, J. Szczytko, A. Twardowski, J. Sadowski;
- 41<sup>st</sup> "Jaszowiec" 2012 International School and Conference on the Physics of Semiconductors, *QHE in low carrier density epitaxial graphene grown by CVD on SiC (0001)*, R. Stankiewicz, M. Gryglas-Borysiewicz, L. Dobrzański, J. Przybytek, A. Kwiatkowski, A. Wysmolek, J. M. Baranowski, W. Strupiński, R. Stepniwski;
- Sixth International Conference on the Fundamental Science of Graphene and Applications of Graphene-Based Devices, Graphene Week 2012 (Delft), *QHE in low carrier density epitaxial graphene grown by CVD on SiC (0001)*, R. Stankiewicz, M. Gryglas-Borysiewicz, L. Dobrzański, J. Przybytek, A. Kwiatkowski, A. Wysmolek, J. M. Baranowski, W. Strupiński, R. Stepniwski;
- Graphene Week 2013, Chemnitz, *Magnetotransport properties of epitaxial graphene grown on SiC*, M. Gryglas-Borysiewicz, A. Kwiatkowski, J. Przybytek, S. Bütün, E. Ozbay, W. Strupiński, R. Stepniwski, M. Baj;
- Graphene Week 2013, Chemnitz, *Weak localization in epitaxial graphene layers grown on (0001) SiC*, M. Gryglas-Borysiewicz, A. Kwiatkowski, J. Przybytek, K. Zieleniewski, S. Bütün, E. Ozbay, W. Strupiński, R. Stepniwski, M. Baj;
- 42<sup>nd</sup> "Jaszowiec" 2013 International School and Conference on the Physics of Semiconductors, *Electronic Transport of Graphene Grown by CVD on SiC(0001)*, K. Zieleniewski, A. Kwiatkowski, K. Grodecki, S. Bütün, E. Ozbay, J. Przybytek, R. Bożek, W. Strupiński, A. Wysmolek, M. Borysiewicz, M. Baj, R. Stepniwski;
- MSS 2013 Wrocław, *Magnetotransport properties of epitaxial graphene grown on SiC*, M. Gryglas-Borysiewicz, A. Kwiatkowski, J. Przybytek, S. Bütün, E. Ozbay, W. Strupiński, R. Stepniwski, M. Baj;
- MSS 2013 Wrocław, *Weak localization in epitaxial graphene layers grown on (0001) SiC*, M. Gryglas-Borysiewicz, A. Kwiatkowski, J. Przybytek, K. Zieleniewski, S. Bütün, E. Ozbay, W. Strupiński, R. Stepniwski, M. Baj;
- MSS 2013 Wrocław, *High mobility 2D electrons in undoped InN epitaxial layers grown on N-polarity GaN buffer*, L.H. Dmowski, M. Baj, L. Kończewicz, A. Kwiatkowski, J. Przybytek, T. Suski, X. Q. Wang;

- ICNF 2013, Montpellier, *Impurity-Related Noise in Si  $\delta$ -doped Single-Barrier GaAs/AlAs/GaAs Resonant Tunneling Devices*, J. Przybytek, M. Gryglas-Borysiewicz, M. Baj, A. Cavanna, G. Faini, U. Gennser, A. Ouerghi;
- Graphene Week 2014 (Gothenburg), *Resistivity fluctuations in microhallbars on CVD QFS-bilayer graphene*, M. Gryglas-Borysiewicz, T. Ciuk, J. Przybytek, A. Kwiatkowski, S. Cakmakyapan, E. Ozbay, W. Strupiński, M. Baj;
- 43<sup>rd</sup> "Jaszowiec" 2014 International School and Conference on the Physics of Semiconductors, *Low - Frequency Resistance Fluctuations in (Ga,Mn)As*, J. Przybytek, A. Kwiatkowski, P. Juszyński, M. Gryglas-Borysiewicz, D. Wasik, M. Baj, and J. Sadowski;
- 44<sup>th</sup> "Jaszowiec" 2015 International School and Conference on the Physics of Semiconductors, *Jaszowiec 2015, Tunneling Magnetoresistance of (Ga,Mn)As / GaAs Esaki Diodes*, M. Gryglas-Borysiewicz, A. Kwiatkowski, A. Lemaître, J. Przybytek, M. Sawicki, M. Baj, D. Wasik;
- 44<sup>th</sup> International School and Conference on the Physics of Semiconductors, *Jaszowiec 2015, Pressure Induced Decrease of the Curie Temperature in (Ga,Mn)As Nonmetallic Sample*, A. Kwiatkowski, M. Gryglas-Borysiewicz, J. Przybytek, M. Baj, D. Wasik, J. Sadowski;
- HPSP 2016, Tokyo, *Pressure study of ferromagnetic - paramagnetic phase transition in (Ga,Mn)As*, A. Kwiatkowski, M. Gryglas-Borysiewicz, P. Juszyński, J. Przybytek, M. Baj, J. Sadowski, D. Wasik;
- ICPS 2016, Beijing, China, *Determination of Curie temperature in (Ga,Mn)As non-metallic samples by means of electrical transport measurements*, A. Kwiatkowski, M. Gryglas-Borysiewicz, P. Juszyński, J. Przybytek, M. Sawicki, J. Sadowski, D. Wasik, M. Baj;
- 45<sup>th</sup> "Jaszowiec" 2016 International School and Conference on the Physics of Semiconductors, *Random Telegraph Noise in  $La_{1-x}Ca_xMnO_3$  single crystals*, J. Przybytek, J. Fink-Finowicki, G. Jung;
- 45<sup>th</sup> "Jaszowiec" 2016 International School and Conference on the Physics of Semiconductors, *Galvanomagnetic methods of Curie Temperature determination in low- $T_C$  (Ga,Mn)As samples*, A. Kwiatkowski, M. Gryglas-Borysiewicz, P. Juszyński, J. Przybytek, M. Sawicki, J. Sadowski, D. Wasik, M. Baj;
- 45<sup>th</sup> "Jaszowiec" 2016 International School and Conference on the Physics of Semiconductors, *Capacitance Studies of GaMnAs/GaAs Esaki diodes*, Z. Ogorzałek, K. Filipiuk, M. Gryglas-Borysiewicz, A. Kwiatkowski, J. Przybytek, A. Lemaître, M. Sawicki, M. Baj, D. Wasik.

#### 6.4 Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych

- Acta Physica Polonica A (1 - 2016)
- IEEE Journal of the Electron Devices Society (1 - 2015)
- The European Physical Journal B (1 - 2007)
- Solid State Communications (1 - 2006)

## 6.5 Nagrody

- 2011 Nagroda Indywidualna II Stopnia Rektora Uniwersytetu Warszawskiego za wkład w podtrzymanie funkcjonowania infrastruktury kriogenicznej w Zakładzie Fizyki Ciała Stałego IFD WF UW.
- 2014 Nagroda Dziekana Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego za wyróżniające się prowadzenie zajęć dydaktycznych.
- 2015 Nagrodę Indywidualną Rektora UW z okazji Święta Uniwersytetu Warszawskiego 19 listopada 2015 (za opiekę nad zapleczem kriogenicznym Zakładu Fizyki Ciała Stałego).

*Janusz Przybytek*

## 7 Działalność dydaktyczna i organizacyjna

### 7.1 Opieka naukowa

- opiekun 2 prac magisterskich
- opiekun 4 prac licencjackich

### 7.2 Działalność dydaktyczna - wykaz prowadzonych regularnych zajęć

- opiekun roku;
- Programowanie I;
- pokazy do wykładu ze Wstępu do Fizyki I;
- ćwiczenia i pokazy do wykładów z fizyki (mechanika, elektryczność, magnetyzm, drgania, fale, termodynamika) dla Nauczycielskiego Kolegium Fizyki;
- I Pracownia Fizyczna;
- Pracownia Fizyczna Wstępna;
- Indywidualna Pracownia Wstępna;
- Pracownia Technik Pomiarowych;
- Laboratorium Fizyki dla Chemików;
- opiekun ćwiczeń na III Pracowni;
- wykład, ćwiczenia i pokazy dla semestru wyrównawczego;
- ćwiczenia i pokazy do wykładu Wstęp do Fizyki II (Elektryczność i magnetyzm);
- ćwiczenia i pokazy do wykładu Podstawy Fizyki II (Elektryczność i magnetyzm);
- ćwiczenia i pokazy do wykładu Fizyka III (Fale);
- pokazy do wykładu "Drgania i fale";
- ćwiczenia do wykładu "Wstęp do Optyki i Fizyki Ciała Stałego";
- ćwiczenia do wykładu "Wstęp do Fizyki Atomu, Cząsteczki i Ciała Stałego";
- ćwiczenia i pokazy do wykładu z Fizyki V i VI (Wstęp do Fizyki Współczesnej);
- proseminarium studenckie - opieka nad studentami przygotowującymi seminaria;
- szkolenia w dziedzinie BHP w związku z użytkowaniem cieczy kriogenicznych przez studentów.

### 7.3 Działalność organizacyjna

- **2003-2006 koordynacja Centrum Doskonałości CEMOS** - projektu Komisji Europejskiej w ramach Piątego Programu Ramowego Competitive and Sustainable Growth (Center of Excellence CEMOS Physics and Technology of Semiconductor Materials and Structures for Optoelectronics and Spintronics). Beneficjentem tego projektu był cały Zakład Fizyki Ciała Stałego. W jego ramach organizowano workshopy, konferencje (m.in. coroczną konferencję środowiska półprzewodnikowego w Jaszowcu), staże zagraniczne członków Zakładu oraz pobyty zagranicznych naukowców w naszym Zakładzie. Działalność w ramach Centrum Doskonałości CEMOS istotnie przyczyniła się do rozwoju naszych kontaktów z naukowcami z ośrodków zagranicznych oraz bezpośrednio do rozwoju badań przeprowadzonych w ramach tych kontaktów. Strona internetowa projektu: <http://www.fuw.edu.pl/~ceмос/>. Projekt CEMOS na kwotę ponad 1.5 mln PLN został rozliczony i oceniony pozytywnie przez Komisję Europejską; w ramach tego projektu zostało zorganizowanych kilka konferencji w Jaszowcu (*International School on Physics of Semiconducting Compounds*), międzynarodowa konferencja *International Workshop on Optical Properties of 2D Systems with Interacting Carriers*, sympozjum *C E-MRS 2004 Fall Meeting*, wiele seminarów środowiskowych, coroczne warsztaty w Oborach dla doktorantów i studentów, kilkaset przyjazdów i wyjazdów z/do ośrodków naukowych europejskich (szczególnie zacieśniona została współpraca z Uniwersytetem Joseph Fouriere w Grenoble, z Laboratorium Silnych Pól Magnetycznych w Grenoble oraz z Uniwersytetem Montpellier II); z kosztów pośrednich projektu zostało zorganizowanych (i sfinansowanych) wiele prac na rzecz infrastruktury UW (m.in. renowacja pomieszczeń skraplarki helowej i klimatyzacja na III piętrze w budynku głównym WF przy ul. Hożej);
- **2003-2007 sekretarz/pełnomocnik Rektora d/s rekrutacji do K MISMaP UW (Kolegium Międzywydziałowych Indywidualnych Studiów Matematyczno-Przyrodniczych)** - odpowiedzialny nie tylko bezpośrednio za rekrutację, ale także za promocję i reklamę Kolegium MISMaP.
- **2006-2017 opieka nad zapleczem kriogenicznym** (oraz warsztatowym do 2012 roku) Zakładu Fizyki Ciała Stałego. Z kriogeniczną Zakładu byłem związany w zasadzie już od czasów moich studiów doktoranckich - jako tłumacz brałem udział w instalacji pierwszej skraplarki helowej (1993-1994), zorganizowałem budowę drogi dojazdowej do zaplecza skraplarni helowej oraz posadowienie zbiornika ciekłego azotu (5000 l) (1998). Oficjalnie funkcję przejąłem w 2006 roku, kiedy skraplarnia skraplała kilka tysięcy helu rocznie. W latach 2006 - 2007 w ramach dostosowywania prawa polskiego do dyrektyw Unii Europejskiej zakupiony został nowy 950 litrowy zbiornik do transportu drogowego ciekłego helu. W ramach mojej działalności jako opiekuna zaplecza kriogenicznego Zakładu w latach 2006-2011 zajmowałem się wielokrotnie naprawą starej skraplarki, którą często dotykały awarie. W czerwcu 2011 roku awarii uległ kompresor starej skraplarki, przez co została wstrzymana większość badań wymagających ciekłego helu. Organizacja remontu tego kompresora w firmie w USA doprowadziła do jego naprawy do kwietnia 2012 roku. W 2010 zorganizowałem przetarg i zakup nowej skraplarki - inwestycji o znaczeniu kluczowym dla całego Zakładu Fizyki Ciała Stałego (umowa nr 371/FNiTP/115/2009 MNiSW). Przygotowania do instalacji nowej skraplarki (przygotowanie pomieszczenia, nowa instalacja elektryczna, instalacje gazowe, podłączenie rezerwuaru helowego) oraz instalacja samej skraplarki zajęły prawie 2 lata - nowa skraplarka została uruchomiona 23 kwietnia 2012 roku. W okresie sierpień 2012 - kwiecień 2013 przeprowadzono dwie poważne naprawy gwarancyjne skraplarki, w sierpniu 2014 została przeprowadzona naprawa nowego kompresora skraplarkowego na miejscu

w Warszawie, co o wiele miesięcy skróciło okres, w którym niemożliwe było skraplanie helu. Przy przenosinach Wydziału Fizyki do nowej lokalizacji przy ul. Pasteura 5 zajmowałem się planowaniem nowych pomieszczeń skraplarni, instalacji kriogenicznych oraz układu odzysku helowego (2008-2014), a także kilkukrotną korekcją planów oraz sprawdzaniem poprawności wykonania. W 2015 zajmowałem się przenosinami i ponowną instalacją skraplarni (2015). Przy okazji ponownej instalacji skraplarni zostały zakupione i zainstalowane nowe zbiorniki na ciekły azot (2x 9000 l, 2012 rok), zaprojektowana i zainstalowana została linia próżniowa ciekłego azotu do dochładzania skraplarki helowej, zakupiony został nowy kompresor układu odzysku helowego, odnowiony i powiększony został rezerwuuar butli helowych. Ponownie po przeprowadzce skraplanie helu uruchomiono w listopadzie 2015 roku. Obecnie skraplarnia skrapla kilka tysięcy litrów ciekłego helu miesięcznie. Przez wiele lat zajmowałem się także organizacją przetargów na dostarczanie cieczy kriogenicznych na Wydział Fizyki UW. Za opiekę nad zapleczem kriogenicznym Zakładu habilitant otrzymał Nagrodę Indywidualną Rektora UW z okazji Święta Uniwersytetu Warszawskiego 19 listopada 2015.

- **2007-2012 członek Komisji ds. Zakwaterowań w Domu Pracownika Naukowego Uniwersytetu Warszawskiego**
- **2009-2011 organizacja nowego Laboratorium niskotemperaturowych badań kwantowych zjawisk koherentnych w nanostrukturach półprzewodnikowych:**
  1. przygotowanie i przeprowadzenie remontu pomieszczenia dla chłodziarki rozcieńczalnikowej - dotacja celowa MNiSW Nr 6120/IB/115/2011;
  2. reorganizacja starego laboratorium w celu przyjęcia nowego układu VTI;
  3. negocjacje związane z zakupem, przetarg i zakup VTI (Variable Temperature Cryostat) oraz chłodziarki rozcieńczalnikowej (2010);
  4. instalacja i uruchomienie VTI oraz laboratorium chłodziarki rozcieńczalnikowej (listopad-grudzień 2011).

Oba układy otwierają nowe możliwości eksperymentalne w badaniach transportu elektronowego w półprzewodnikach ze względu na możliwość uzyskiwania niskich temperatur rzędu 20 mK oraz silnego pola magnetycznego do 18 T w chłodziarce rozcieńczalnikowej oraz temperatur 1.5 K - 300 K i pola magnetycznego do 14 T w układzie VTI. Finansowany w ramach projektu CEZAMAT zakup stworzył możliwości eksperymentalnych badań zjawisk koherentnych w transporcie elektronowym w strukturach nano- i mezoskopowych.

- **2007-2015 Prace związane z przeprowadzką Wydziału Fizyki do nowej lokalizacji przy ul. Pasteura.** Przygotowanie koncepcji oraz systematyczna kontrola nowych pomieszczeń zaplecza kriogenicznego oraz niektórych laboratoriów Zakładu Fizyki Ciała Stałego w nowej lokalizacji Wydziału Fizyki przy ul. Pasteura. Nadzorowanie przenosin zaplecza kriogenicznego oraz laboratorium VTI i chłodziarki rozcieńczalnikowej oraz układu do pomiaru fluktuacji. Ponowna instalacja wymienionych układów w nowych laboratoriach.

#### 7.4 Działalność popularyzatorska

Wykład popularno-naukowy z pokazami *U źródeł fizyki współczesnej* dla Grupy Twórczej QU-ARK z Pałacu Młodzieży w Katowicach (2006-2007).

*Jacek Przybytek*

## 8 Pełna lista publikacji naukowych

- JP1 A. Babiński, J. Przybytek, M. Baj, P. Omling, L. Samuelson, T. Słupiński, *Hydrostatic-pressure deep level transient spectroscopy study of the heteroantisite antimony level in GaAs*, Acta Physica Polonica A **82**, 841-844 (1992).  
*Wkład habilitanta do pracy polegał na sformułowaniu problemu oraz na wykonaniu pomiarów DLTS pod ciśnieniem dla próbek objętościowych (w ramach pracy magisterskiej). Wkład ten oceniam na 50%.*
- JP2 T. Słupiński, G. Nowak, J. Przybytek, R. Stepniowski, *On the pinning of the Fermi level by germanium  $A_1^{0/+}$  deep donor state in GaAs codoped with Ge and Te*, Acta Physica Polonica A **84**, 807 (1993).  
*Wkład habilitanta do pracy polegał na wykonaniu pomiarów zjawiska Halla pod ciśnieniem hydrostatycznym z dostępem światła monochromatycznego, opracowaniu i interpretacji wyników doświadczalnych oraz udziale w przygotowaniu publikacji. Wkład ten oceniam na 35%.*
- JP3 T. Słupiński, J. Przybytek, A. Wyszomolek, M. Leszczyński, A. Babiński, J. Borysiuk, A. Kurpiewski, A. Barcz, R. Stepniowski, *Single crystals of GaAs<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub> 0 < x < 0.15 grown by the Czochralski technology*, Proceedings of the 8th Conference on Semi-insulating III-V Materials, Warsaw 1994, ed. by M. Godlewski, World Scientific, Singapore, 1994, pp. 39-42.  
*Wkład habilitanta do pracy polegał na wykonaniu pomiarów zjawiska Halla pod ciśnieniem hydrostatycznym z dostępem światła monochromatycznego, opracowaniu i interpretacji wyników doświadczalnych oraz udziale w przygotowaniu publikacji. Wkład ten oceniam na 35%.*
- JP4 J. Przybytek, M. Baj, T. Słupiński, *Stabilization of the distorted configuration of the EL2 defect induced by free electron capture in GaAsP*, Acta Physica Polonica A **88**, 881 (1995).  
*Wkład habilitanta do pracy polegał na wykonaniu pomiarów, opracowaniu i interpretacji wyników doświadczalnych oraz przygotowaniu publikacji (wyniki są częścią pracy doktorskiej habilitanta). Wkład ten oceniam na 75%.*
- JP5 D. Wasik, J. Przybytek, M. Baj, G. Karczewski, T. Wojtowicz, A. Zakrzewski and J. Kossut, *Indium DX-like centers in MBE CdTe layers*, Materials Science Forum, Vols **182-184**, p. 247-250 (1995) Trans Tech Publications, Switzerland.  
*Wkład habilitanta do pracy polegał na udziale w eksperymencie, opracowaniu i interpretacji wyników doświadczalnych oraz przygotowaniu rysunków do publikacji. Wkład ten oceniam na 20%.*
- JP6 J. Szczytko, D. Wasik, J. Przybytek, M. Baj and A. Waag, *Hydrostatic pressure study of MBE CdMnTe doped with Bromine*, Acta Physica Polonica A **88**, 933-936 (1995).  
*Wkład habilitanta do pracy polegał na udziale w eksperymencie, opracowaniu i interpretacji wyników doświadczalnych. Wkład ten oceniam na 15%.*
- JP7 T. Suski, P. Wiśniewski, E. Litwin-Staszewska, D. Wasik, J. Przybytek, M. Baj, G. Karczewski, T. Wojtowicz, A. Zakrzewski, and J. Kossut, *Spatial correlations of donor charges in MBE CdTe*, Acta Physica Polonica A **88**, 929-932 (1995).  
*Wkład habilitanta do pracy polegał na udziale w eksperymencie. Wkład ten oceniam na 15%.*
- JP8 D. Wasik, J. Przybytek, M. Baj, G. Karczewski, T. Wojtowicz and J. Kossut *Hydrostatic pressure study of indium DX-like centers in MBE CdTe and CdMnTe layers* - Journal of Crystal Growth **159**, 392 (1996), Elsevier.  
*Wkład habilitanta do pracy polegał na udziale w eksperymencie. Wkład ten oceniam na 15%.*



- JP9 T. Suski, P. Wiśniewski, E. Litwin-Staszewska, D. Wasik, J. Przybytek, M. Baj, G. Karczewski, T. Wojtowicz, A. Zakrzewski, and J. Kossut - *Spatial correlations of In-donor charges in CdTe layer* - Journal of Crystal Growth **159**, 380 (1996), Elsevier.  
Wkład habilitanta do pracy polegał na udziale w eksperymencie. Wkład ten oceniam na 15%.
- JP10 J. Przybytek, M. Baj, T. Słupiński, J. Mikucki - *Pressure investigations of the distorted configuration of the EL2 defect stabilized by free electron capture in GaAs<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>* - Proceedings of the 23<sup>rd</sup> International Conference on The Physics of Semiconductors ed. by M. Scheffler and R. Zimmermann (World Scientific, Singapore 1996), pp. 2749-2752.  
Wkład habilitanta do pracy polegał na wykonaniu pomiarów, opracowaniu i interpretacji wyników doświadczalnych oraz przygotowaniu publikacji (wyniki są częścią pracy doktorskiej habilitanta). Wkład ten oceniam na 75%.
- JP11 J. Przybytek, M. Baj, T. Słupiński, Ming-Fu Li - *DLTS investigations of the distorted configuration of the EL2 defect stabilized under high hydrostatic pressure in GaAs<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>* - Physica Status Solidi (b), Vol. **198**, No. 1, 193-198 (1996) as Proceedings of the HPSP VII, Akademie Verlag.  
Wkład habilitanta do pracy polegał na wykonaniu pomiarów, opracowaniu i interpretacji wyników doświadczalnych oraz przygotowaniu publikacji (wyniki są częścią pracy doktorskiej habilitanta). Wkład ten oceniam na 75%.
- JP12 R. Piotrkowski, E. Litwin-Staszewska, J. Przybytek - *Photo-ionization of Si-DX center in AlGaAs: the effects of pressure and local configuration* - Physica Status Solidi (b), Vol. **198**, No. 1, 205-210 (1996) as Proceedings of the HPSP VII, Akademie Verlag.  
Wkład habilitanta do pracy polegał na przygotowaniu oraz uczestnictwie w eksperymencie, opracowaniu i interpretacji wyników doświadczalnych. Wkład ten oceniam na 40%.
- JP13 D. Wasik, M. Baj, J. Przybytek, T. Słupiński, K. Kudyk - *Coexistence of DX and A<sub>1</sub> states in highly doped GaAs:Ge,Te and GaAs:Si,Te* - Physica Status Solidi (b), Vol. **198**, No. 1, 181-186 (1996) as Proceedings of the HPSP VII, Akademie Verlag.  
Wkład habilitanta do pracy polegał na przygotowaniu oraz uczestnictwie w eksperymencie, opracowaniu i interpretacji wyników doświadczalnych. Wkład ten oceniam na 20%.
- JP14 L. H. Dmowski, J. Przybytek, E. Litwin-Staszewska, *Manganin sensors as low temperature pressure gauges*, High Pressure Research, **19**, 743 (2000).  
Wkład habilitanta do pracy polegał na przygotowaniu oraz uczestnictwie w eksperymencie, udziale w opracowaniu i interpretacji wyników doświadczalnych oraz przygotowaniu publikacji. Wkład ten oceniam na 50%.
- JP15 M. Gryglas, J. Przybytek, M. Baj, M. Henini, L. Eaves, *Hydrostatic pressure investigations of resonant tunnelling through X-minimum-related states in a single barrier GaAs/AlAs/GaAs heterostructure*, High Pressure Research, **18**, 63 (2000).  
Wkład habilitanta do pracy polegał na zaplanowaniu, pomocy w wykonaniu eksperymentu, oprogramowaniu układu doświadczalnego, pomocy w opracowaniu i interpretacji wyników doświadczalnych oraz przygotowaniu publikacji. Wkład ten oceniam na 40%.
- JP16 D. Wasik, M. Baj, L. Dmowski, J. Siwiec-Matuszyk, J. Przybytek, E. Janik, T. Wojtowicz, G. Karczewski, *Effect of buffer layer thickness on improvement of modulation doped CdTe/CdMgTe heterostructures grown on GaAs substrate*, Proceedings of the 25th International Conference on the Physics of Semiconductors, Osaka, Springer Proceedings in Physics (Eds. N. Miura, T. Ando), Vol. **87**, p. 811 (2001).

*Wkład habilitanta do pracy polegał na zaprojektowaniu, wykonaniu i oprogramowaniu układu doświadczalnego. Wkład ten oceniam na 15%.*

- JP17 M. Gryglas, J. Przybytek, M. Baj, L. Eaves, M. Henini, *High-pressure magnetotransport measurements of resonant tunnelling via X-minimum related states in AlAs barrier*, Acta Physica Polonica A **100**, (2001).

*Wkład habilitanta do pracy polegał na zaplanowaniu, pomocy w wykonaniu eksperymentu, oprogramowaniu układu doświadczalnego, pomocy w opracowaniu i interpretacji wyników doświadczalnych oraz przygotowaniu publikacji. Wkład ten oceniam na 40%.*

- JP18 **H1** V. Mosser, G. Jung, J. Przybytek, M. Ocio and Y. Haddab, *Low-frequency noise in AlGaAs/InGaAs/GaAs Hall micromagnetometers*, Fluctuations & Noise 2003, Noise and Information in Nanoelectronics, Sensors, and Standards, L. B. Kish, F. Green, G. Iannaccone, J. R. Vig, Editors, Proc. SPIE Vol. **5115** (2003), 183-195.

- JP19 **H2** J. Przybytek, V. Mosser and Y. Haddab, *LF noise in cross Hall effect devices - geometrical study*, Fluctuations and Noise 2003, Noise in Devices and Circuits, M. Jamal Deen, Zeynep Celik-Butler, Michael E. Levinshtein, Editors, Proc. SPIE Vol. **5113** (2003), p. 475-483.

- JP20 **H3** J. Przybytek, M. Baj, *Current Fluctuations in Single Barrier Vertical GaAs/AlAs/GaAs Tunneling Devices*, Acta Physica Polonica A, **112**, 221 (2007).

- JP21 **H4** J. Przybytek and M. Baj, *Low-Frequency Noise Measurements of the Tunneling Current in Single Barrier GaAs/AlAs/GaAs Devices*, American Institute of Physics CP**1129** (2009), Noise and Fluctuations, 20th International Conference (ICNF 2009) edited by M. Macucci and G. Basso.

- JP22 L. H. Dmowski, M. Baj, T. Suski, J. Przybytek, R. Czernecki, X. Wang, A. Yoshikawa, H. Lu, Schaff, W. J. Schaff, D. Muto, Y. Nanishi, *Search for free holes in InN:Mg-interplay between surface layer and Mg-acceptor doped interior*, Journal of Applied Physics **105**, 123713 (2009).

*Wkład habilitanta do pracy polegał na oprogramowaniu układu doświadczalnego, uczestnictwie w pomiarach oraz przygotowaniu publikacji. Wkład ten oceniam na 15%.*

- JP23 M. Gryglas-Borysiewicz, A. Kwiatkowski, M. Baj, D. Wasik, J. Przybytek, J. Sadowski, *Hydrostatic pressure study of the paramagnetic-ferromagnetic phase transition in (Ga,Mn)As*, Physical Review B **82**, 153204 (2010).

*Wkład habilitanta do pracy polegał na utrzymaniu układu eksperymentalnego, udziale w dyskusji wyników i przygotowaniu publikacji. Wkład ten oceniam na 15%.*

- JP24 S. Lewińska, M. Gryglas-Borysiewicz, J. Przybytek, M. Baj, B. Jouault, U. Gennser and A. Ouerghi, *Transport in GaAs/AlAs/GaAs [111] Tunnel Junctions*, Acta Physica Polonica A **119**, 606 (2011).

*Wkład habilitanta do pracy polegał na wykonaniu i interpretacji wyników pomiarów szumowych, udziale w dyskusji wyników i przygotowaniu publikacji. Wkład ten oceniam na 15%.*

- JP25 **H5** J. Przybytek, R. Stankiewicz, M. Gryglas-Borysiewicz, M. Baj, A. Cavanna and G. Faini, *Observation of Thermally-Activated Electron Traps in GaAs/AlAs/GaAs Heterostructures in Low-Frequency Noise Measurements*, Acta Physica Polonica A **119**, 723 (2011).
- JP26 P. Juszyński, D. Wasik, M. Gryglas-Borysiewicz, J. Przybytek, J. Szczytko, A. Twardowski, J. Sadowski, *Influence of Epitaxial Strain on Magnetic Anisotropy in (Ga,Mn)As*, Acta Physica Polonica A **122**, 1004-1006 (2012)  
*Wkład habilitanta do pracy polegał na utrzymaniu układu doświadczalnego oraz udziale w dyskusji wyników pomiarów. Wkład ten oceniam na 5%.*
- JP27 **H6** J. Przybytek, M. Gryglas-Borysiewicz, M. Baj, A. Cavanna, G. Faini, U. Gennser, A. Ouerghi, *Impurity-related noise in single-barrier GaAs/AlAs/GaAs resonant tunneling devices*, Proceedings of 22nd International Conference on Noise and Fluctuations ICNF 2013, IEEE 2013.
- JP28 **H7** J. Przybytek, J. Fink-Finowicki, R. Puźniak, V. Markovich, G. Jung, *Noise signatures of metastable resistivity states in ferromagnetic insulating manganite*, Journal of Applied Physics **118**, 043903 (2015).
- JP29 **H8** J. Przybytek, J. Fink-Finowicki, R. Puźniak, G. Jung, *High frequency cut-off in 1/f conductivity noise of hole-doped  $La_{1-x}Ca_xMnO_3$  manganite single crystals*, Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment 054024 (2016).
- JP30 A. Kwiatkowski, M. Gryglas-Borysiewicz, P. Juszyński, J. Przybytek, M. Sawicki, J. Sadowski, D. Wasik, M. Baj, *Determining Curie temperature of (Ga,Mn)As samples based on electrical transport measurements: Low Curie temperature case*, Applied Physics Letters **108**, 242103 (2016)  
*Wkład habilitanta do pracy polegał na instalacji układu doświadczalnego VTI, udziale w dyskusji wyników oraz pisaniu publikacji. Wkład ten oceniam na 5%.*
- JP31 M. Gryglas-Borysiewicz, A. Kwiatkowski, A. Lemaître, J. Przybytek, K. Budzik, Ł. Balcerzak, M. Sawicki, D. Wasik, *Magnetotransport investigations of (Ga,Mn)As/GaAs Esaki diodes under hydrostatic pressure*, Applied Surface Science **396** 1875–1879 (2017).  
*Wkład habilitanta do pracy polegał na instalacji układu doświadczalnego VTI, wykonaniu i interpretacji pomiarów szumowych oraz udziale w dyskusji wyników i pisaniu publikacji. Wkład ten oceniam na 5%.*
- JP32 M. Gryglas-Borysiewicz, P. Juszyński, A. Kwiatkowski, J. Przybytek, J. Sadowski, M. Sawicki, M. Tokarczyk, G. Kowalski, T. Dietl and D. Wasik, *Hydrostatic-pressure-induced changes of magnetic anisotropy in (Ga,Mn)As thin films*, J. Phys.: Condens. Matter **29**, 115805 (2017).  
*Wkład habilitanta do pracy polegał na instalacji układu doświadczalnego VTI, wykonaniu i interpretacji pomiarów szumowych oraz udziale w dyskusji wyników i pisaniu publikacji. Wkład ten oceniam na 5%.*
- JP33 T. Słupiński, D. Wasik, J. Przybytek, *Donor-deactivating defects above the equilibrium doping limit in GaAs:Te,Ge and GaAs:Te studied by annealing and Hall effect under pressure*, J. Cryst. Growth: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2016.11.031>, In Press, Corrected Proof, Available online 22 November 2016.

*Wkład habilitanta do pracy polegał na wykonaniu pomiarów zjawiska Halla pod ciśnieniem hydrostatycznym oraz utrzymaniu sprawności układu doświadczalnego. Wkład ten oceniam na 25%.*

JP34 **H9** J. Przybytek, J. Fink-Finowicki, R. Puźniak, A. Shames, V. Markovich, D. Mogilyansky and G. Jung, *Robust Random Telegraph Conductivity Noise in Single Crystals of Ferromagnetic Insulating Manganite  $La_{0.86}Ca_{0.14}MnO_3$* , Physical Review B **95**, 125101 (2017).

*Jacek Przybytek*