

Autoreferat

1. Imię i Nazwisko

Paweł Janusz Kowalczyk

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- | | |
|----------------------|---|
| Wrzesień 2003 | Doktorat z fizyki
uzyskany na Uniwersytecie Łódzkim w Łodzi
pt.: “Badania morfologii i własności elektronowych nanostruktur węglowych”
wykonany pod kierownictwem dra hab. Wielisława Olejniczaka |
| Czerwiec 1998 | Praca magisterska z fizyki
uzyskana na Uniwersytecie Łódzkim w Łodzi, uhonorowana wyróżnieniem
Wydziału Fizyki i Chemii UŁ |
| Czerwiec 1993 | Dyplom technika telekomunikacji
uzyskany w Technikum Elektronicznym im. Jana Szczepanika w Łodzi |

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- | | |
|--------------------------|---|
| 11/2003 – teraz | Uniwersytet Łódzki
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej
Łódź, Polska
Adiunkt |
| 02/2009 – 08/2011 | Uniwersytet Canterbury
Wydział Fizyki i Astronomii
Christchurch, Nowa Zelandia
staż podoktorski |

4. Wskazanie osiągnięcia naukowego

(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. nr 65, poz. 595 ze zm.))

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

“Badania struktury krystalicznej i elektronowej ultracienkich warstw bizmutu”

4.2. Spis prac składających się na osiągnięcie naukowe

[H1] P.J. Kowalczyk, O. Mahapatra, D.N. McCarthy, W. Kozłowski, Z. Klusek, S.A. Brown, “*STM and XPS investigations of bismuth islands on HOPG*”, Surface Science 605, 659–667 (2011), IF: 1.994

Wkład habilitanta: Przygotowałem próbki, wykonałem cały eksperyment oraz miałem znaczący udział w dyskusji i interpretacji wyników. Byłem głównym autorem tekstu i ilustracji. Mój wkład procentowy oceniam na 70%.

[H2] P. J. Kowalczyk, D. Belic, O. Mahapatra, S. A. Brown, E. S. Kadantsev, T. K. Woo, B. Ingham, W. Kozłowski, “*Anisotropic oxidation of bismuth nanostructures: Evidence for a thin film allotrope of bismuth*”, Applied Physics Letters 100, 151904 (2012), IF: 3.794

Wkład habilitanta: Przygotowałem próbki, wykonałem znaczną część pracy eksperymentalnej oraz brałem znaczący udział w dyskusji i interpretacji wyników. Byłem głównym autorem tekstu i ilustracji. Mój wkład procentowy oceniam na 60%.

[H3] P.J. Kowalczyk, D. Belic, O. Mahapatra, S.A. Brown, “*Grain boundaries between bismuth nanocrystals*”, Acta Materialia 60, 674 – 681 (2012), IF: 3.941

Wkład habilitanta: Przygotowałem próbki, wykonałem znaczną część pracy eksperymentalnej oraz brałem znaczący udział w dyskusji i interpretacji wyników. Byłem głównym autorem tekstu i ilustracji. Mój wkład procentowy oceniam na 70%.

[H4] P.J. Kowalczyk, O. Mahapatra, S.A. Brown, G. Bian, X. Wang, T.-C. Chiang, “*Electronic Size Effects in Three-Dimensional Nanostructures*”, Nano Letters 13, 43 – 47 (2013), IF: 12.94

Wkład habilitanta: Przygotowałem próbki, wykonałem cały eksperyment oraz brałem znaczący udział w dyskusji i interpretacji wyników. Byłem głównym autorem tekstu i ilustracji. Mój wkład procentowy oceniam na 60%.

[H5] P.J. Kowalczyk, “*Investigation of STM tip influence on the recorded position of the Shockley surface state on Au(111)*”, Surface Science 603, 747–751 (2009), IF: 1.798

Wkład habilitanta: Przygotowałem próbki, wykonałem cały eksperyment oraz przeprowadziłem interpretację wyników. Samodzielnie stworzyłem manuskrypt i wszystkie ilustracje. Mój wkład procentowy oceniam na 100%.

[H6] P.J. Kowalczyk, O. Mahapatra, S.A. Brown, G. Bian, T.-C. Chiang, “*STM driven modification of bismuth nanostructures*”, Surface Science 621, 140-145 (2014), IF: 1.925

Wkład habilitanta: Przygotowałem próbki, wykonałem cały eksperyment oraz brałem znaczący udział w dyskusji i interpretacji wyników. Byłem głównym autorem tekstu i ilustracji. Mój wkład procentowy oceniam na 80%.

[H7] P. J. Kowalczyk, O. Mahapatra, D. Belić, S. A. Brown, G. Bian, and T.-C. Chiang, “*Origin of the moiré pattern in thin Bi films deposited on HOPG*”, Physical Review B 91, 045434-1-12 (2015), IF: 3.736

Wkład habilitanta: Przygotowałem próbki, wykonałem znaczną część pracy eksperymentalnej oraz brałem znaczący udział w dyskusji i interpretacji wyników. Byłem głównym autorem tekstu i ilustracji. Mój wkład procentowy oceniam na 70%.

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

Głównym celem badawczym przedstawionego zbioru prac było zbadanie struktury krystalicznej i elektronowej ultracienkich warstw bizmutu wyhodowanych na podłożu wysokoorientowanego grafitu pirolitycznego (HOPG). Bizmut jest ostatnim nie radioaktywnym elementem w układzie okresowym określanym często jako zielony metal [1] ze względu na brak

negatywnych skutków oddziaływania na organizmy żywe. W formie masywnej krystalizuje w warstwowej strukturze A7 i posiada szereg nietypowych własności wynikających z jego struktury elektronowej [2]. W szczególności charakteryzuje się anizotropowymi masami elektronowymi, długością fali de Broglie sięgającą 40 nm w temperaturze pokojowej i bardzo dobrymi własnościami termoelektrycznymi [2]. Jego nietypowe własności przyczyniły się do wykrycia wielu efektów takich jak: magnetorezystancja, efekty De Hassa – van Alpena, Shubnikova – de Hassa oraz kwantowy efekt rozmiarowy (QSE) [3; 4]. W ostatnich latach wskazano również na możliwość istnienia topologicznie chronionych stanów krawędziowych w strukturze elektronowej pojedynczych warstw Bi [5; 6].

Zanim zainteresowałem się tematyką cienkich warstw Bi ich badania ograniczały się głównie do określenia struktury krystalicznej na krzemie [7] i kwazikryształach [8]. Z badań tych wynikało, że w przypadku ultracienkich warstw Bi rośnie w dwuwarstwach o orientacji (110). Dla grubszych pokryw obserwowano przejście do orientacji (111) [7; 8]. Fakt wzrostu w dwuwarstwach pozwolił na sformułowanie dwóch hipotez jednej zakładającej wzrost w dwuwarstwach z powodu krystalizacji Bi w strukturze czarnego fosforu A17 [7] lub obecności QSE [8]. Warto tu nadmienić, iż w tym okresie nie prowadzone były badania struktury elektronowej warstw Bi. W tym czasie w grupie S.A. Browna na Uniwersytecie Canterbury w Nowej Zelandii prowadzone były badania wzrostu Bi na HOPG głównie używając skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) [9-11]. Badania te nie pozwalały jednak na określenie struktury krystalicznej oraz elektronowej ultracienkich struktur Bi co stało się możliwe dopiero po moim przyłączeniu się do grupy Browna. Moje badania prowadzone z wykorzystaniem technik skaningowej mikroskopii tunelowej (STM), SEM, wysokorozdzielczej elektronowej mikroskopii transmisyjnej (HR-TEM), spektroskopii fotoelektronowej w zakresie promieniowania X (XPS, używając zarówno źródeł laboratoryjnych jak i synchrotronowych), skaningowej spektroskopii tunelowej (STS), prądowo obrazującej spektroskopii tunelowej (CITS) i teoretycznych używając teorii funkcjonału gęstości (DFT) umożliwiły:

- **Określenie struktury krystalograficznej warstw Bi na HOPG**

W szczególności pokazałem, że bizmut na HOPG tworzy warstwy krystaliczne o orientacji Bi(110). Najcieńsze z otrzymanych warstw posiadają strukturę A17 czarnego fosforu (BP) – struktura o charakterze dwuwymiarowym (podobnie jak struktura grafenu) co czyni własności elektronowe dla Bi szczególnie interesującymi. Pokazałem również, że w przypadku grubszych warstw struktura krystaliczna może być jedną z wielu struktur alotropowych z możliwością istnienia wiązań hiperwalencyjnych. Moje badania STM potwierdziły, że przy znacznie grubszych warstwach (>12ML) następuje przejście z

orientacji (110) do orientacji (111). Pokazałem również, że wiele z obserwowanych nanostruktur ma polikrystaliczną naturę o ściśle określonych kątach między krystalitami. Krystality te połączone są granicami ziaren, które zostały sklasyfikowane i opisane w oparciu o pomiary SEM, HR-TEM i STM.

- **Określenie struktury elektronowej obszarów Bi(110) o różnych grubościach**

Moje badania udowodniły, że struktura elektronowa obszarów Bi o różnych wysokościach jest różna. Zjawisko to powiązane zostało z QSE. Wyniki eksperymentalne zarejestrowane technikami STS i CITS zostały zinterpretowane w oparciu o obliczenia DFT.

- **Wskazanie istnienia poprzecznego QSE determinującego wzrost nanostruktur Bi**

Dzięki statystycznym badaniom obszarów Bi wykazałem istnienie magicznych szerokości nanostruktur, które preferowane są w trakcie epitaksjalnego wzrostu Bi na HOPG. Pozwoliło mi to na sformułowanie hipotezy o istnieniu poprzecznego QSE determinującego wzrost wysp Bi. Odkrycie QSE w kierunku równoległym do powierzchni (poprzeczne QSE) zasługuje na szczególną uwagę ponieważ jak do tej pory tego typu efekt nie był raportowany.

- **Określenie przyczyn powstawania prążków moiré dla Bi(110) na HOPG**

Na najcieńszych obserwowanych warstwach zaobserwowałem prążki moiré, które pojawiają się na skutek niedopasowania sieciowego między Bi a HOPG. Prążki te widoczne są jako korugacje w obrazach STM mimo braku zmian topograficznych na powierzchni nanostruktur. W oparciu od dane eksperymentalne wysunąłem hipotezę, iż wynika to z modulacji struktury elektronowej Bi na skutek niewielkich zmian położenia atomów na interfejsie Bi/HOPG.

- **Opracowanie metodyki kompensacji dryfu termicznego**

Określenie stałej sieci na podstawie obrazów STM jest niezmiernie ważnym czynnikiem. Niestety, znaczna część wyników rejestrowanych w trakcie moich pomiarów charakteryzowała się obecnością dryfu termicznego. Opracowałem dwa algorytmy pozwalające na kompensację dryfu na uprzednio zarejestrowanych obrazach. Algorytmy te stały się częścią oprogramowania do analizy danych STM/STS/CITS, nad którym pracuję od kilkunastu lat.

- **Opracowanie statystycznej metody analizy danych STS/CITS**

W trakcie typowego pomiaru CITS rejestrowanych jest około 20,000 krzywych I(V). Przeanalizowanie tak dużej ilości danych pod kątem lokalizacji najczęściej występujących maksimów na krzywych konduktancji tunelowej jest bardzo trudne i czasochłonne. Dlatego

też opracowałem algorytm automatycznie poszukujący maksimum na każdej z krzywych. Tak przeanalizowane dane przedstawiane są w formie histogramu obrazującego lokalizację energetyczną maksimum.

Sumaryczny *impact factor* dla prac stanowiących podstawę rozprawy habilitacyjnej wynosi **30.128**.

Suma cytowań prac stanowiących podstawę rozprawy habilitacyjnej: **39**.

Powyższe dane zaczerpnięte zostały z *Web of Science*.

Opis prac składających się na osiągnięcie naukowe:

[H1] P.J. Kowalczyk, O. Mahapatra, D.N. McCarthy, W. Kozłowski, Z. Klusek, S.A. Brown, “*STM and XPS investigations of bismuth islands on HOPG*”, *Surface Science* 605, 659–667 (2011), IF: 1.994.

W pracy [H1] przedstawiona została kompleksowa analiza systemu epitaksjalnego związanego ze wzrostem wysp bizmutu na powierzchni HOPG. W szczególności po raz pierwszy pokazaliśmy w niej wyniki uzyskane w warunkach UHV, które pozwoliły na analizę morfologii wzrostu Bi na HOPG. Wyniki te jasno wskazują, że nanostruktury Bi rosną w postaci wysp o charakterystycznych wysokościach 3, 5, 7, 9 monowarstw (ML). Jak później pokazaliśmy wzrost następuje w dwuwarstwach na monoatomowej warstwie zwilżającej Bi [H4]. Warto tu nadmienić, że wyizolowana monoatomowa nigdy nie była obserwowana w przeprowadzonych eksperymentach a najmniejsza rejestrowana wysokość odpowiadała 3 ML. Przeprowadzone obserwacje eksperymentalne pozwoliły nam podjąć dyskusję na temat struktury krystalicznej rosnących nanostruktur. Dzięki analizie obrazów STM o atomowej zdolności rozdzielczej określiliśmy kierunki krystaliczne dla rosnących wysp oraz wymiary komórki elementarnej. W szczególności stwierdziliśmy, że dla małych pokryć wyspy wzrastają w orientacji (110) równoległe do powierzchni a dla grubych warstw orientacja zmienia się na (111). Jednak nie udało się znaleźć odpowiedzi na pytanie czy wzrost nanostruktur Bi postępuje w strukturze czarnego fosforu ponieważ znaleźliśmy argumenty zarówno za (wzrost dwuwarstwowy) jak i przeciw (nieparzysta liczba warstw, prawdopodobna obecność wiązań między dwuwarstwami) takiej hipotezie.

W pracy [H1] dyskutujemy również rezultaty pomiarów uzyskanych za pomocą techniki XPS. Ponieważ nigdy wcześniej nie wykonywano badań nanostruktur Bi przy użyciu XPS podjęliśmy starania aby badania te były na najwyższym możliwym poziomie, dlatego też

przeprowadziliśmy je z wykorzystaniem promieniowania synchrotronowego na Australijskim Synchrotronie. Bardzo wysoka dokładność tych pomiarów pozwoliła nam na porównanie położenia linii rdzenia Bi dla nanstruktur z tymi rejestrowanymi na masywnym Bi co czyni z pracy [H1] źródło referencyjne dla innych badaczy zajmujących się ultracienkimi warstwami Bi. Pokazaliśmy ponadto, że Bi nie wchodzi w reakcję chemiczną z HOPG.

Nadmienić tu należy, że w trakcie prac na publikacją [H1] stworzyłem oprogramowanie pozwalające na wizualizację modeli kulkowych. Oprogramowanie to używane było w znacznej części moich publikacji powstałych po 2009 roku. Opracowałem również algorytm, który pozwala na korektę obrazów atomowej zdolności rozdzielczej pod kątem usuwania dryfu termicznego. Algorytm ten pozwolił na określenie wymiarów komórek elementarnych w pracach z cyklu habilitacyjnego. Tym samym możliwe stało się przeprowadzenie obliczeń DFT potwierdzających wiele postawionych przeze mnie tez (dotyczy to w szczególności prac [H4], [H6], [H7]).

[H2] P. J. Kowalczyk, D. Belic, O. Mahapatra, S. A. Brown, E. S. Kadantsev, T. K. Woo, B. Ingham, W. Kozłowski, “*Anisotropic oxidation of bismuth nanostructures: Evidence for a thin film allotrope of bismuth*”, Applied Physics Letters 100, 151904 (2012), IF: 3.794

W pracy [H2] skoncentrowaliśmy się na zbadaniu czy wzrost nanostruktur Bi następuje w strukturze materiału masywnego czy też w jednej z możliwych struktur alotropowych. W tym celu wykonaliśmy serię eksperymentów używając XPS (promieniowanie synchrotronowe) oraz HR-TEM polegających na kontrolowanej oksydacji uzyskanych nanostruktur Bi. W wyniku przeprowadzonych eksperymentów zauważyliśmy silny proces oksydacji postępujący od krawędzi nanostruktur w kierunku ich centrum. Nie obserwowaliśmy natomiast oksydacji postępującej od góry. Dało to jasną wskazówkę, że struktura krystaliczna Bi na HOPG nie jest strukturą materiału masywnego, która charakteryzuje się niewysyconymi wiązaniami w kierunku prostopadłym do powierzchni. Ten wniosek pozwolił nam na podjęcie dyskusji o możliwych strukturach alotropowych dla wysp Bi(110), dla których krawędzie wysp a nie ich powierzchnia charakteryzują się obecnością niewysyconych wiązań. W pracy przedyskutowaliśmy kilka modeli, których energia powierzchniowa jest na tyle zbliżona, iż perturbacja spowodowana obecnością podłoża mogła by spowodować realizację jednej z tych struktur. Warto nadmienić, że w pracy tej rozważaliśmy również strukturę zbliżoną do struktury czarnego fosforu jako jedną z najbardziej prawdopodobnych szczególnie w przypadku najcieńszych obserwowanych warstw o grubości 3 ML. Ponadto, bazując na wynikach HR-TEM udało się nam określić z dużą dokładnością rozmiary komórki elementarnej dla ultracienkich warstw Bi.

[H3] P.J. Kowalczyk, D. Belic, O. Mahapatra, S.A. Brown, “*Grain boundaries between bismuth nanocrystals*”, *Acta Materialia* 60, 674 – 681 (2012), IF: 3.941.

W pracy [H3] prowadziliśmy analizę granic między krystalitami Bi(110). Granice takie sporadycznie obserwowaliśmy w badaniach STM jednak dopiero zastosowanie HR-TEM pozwoliło nam na zbadanie dostatecznie dużej ilości wysp aby wnioskować na temat ich struktury. W pracy tej pokazaliśmy, że dla nanostruktur Bi najczęściej występującymi granicami ziaren są takie, w których kąt między głównymi kierunkami wzrostu wysp wynosi około 90 stopni. Granice takie nazwaliśmy $\Sigma 1$. Zidentyfikowaliśmy również inne typy granic ziaren o pewnych charakterystycznych kątach. Zebrane wyniki eksperymentalne pozwoliły nam na opracowanie modelu teoretycznego pokazującego, że za charakterystyczny zbiór możliwych kątów między krystalitami odpowiedzialne są silne kierunkowe wiązania występujące w Bi. W szczególności pokazaliśmy, że zbiór możliwych kątów jest określony tylko i wyłącznie przez geometrię komórki elementarnej Bi. Wnioski wynikające z pracy [H3] prowadzą również do konkluzji, iż różne krystality Bi posiadają różne wymiary komórek elementarnych. Matematyczne formuły, które pokazaliśmy w tej pracy pozwalają na szybkie określenie rozmiarów tych komórek. Przedstawiony formalizm może zostać zastosowany do innych pierwiastków krystalizujących w strukturach A7 i A17 (antymon, arsen, fosfor).

[H4] P.J. Kowalczyk, O. Mahapatra, S.A. Brown, G. Bian, X. Wang, T.-C. Chiang, “*Electronic Size Effects in Three-Dimensional Nanostructures*”, *Nano Letters* 13, 43 – 47 (2013), IF: 12.94.

W pracy [H4] omawiamy wyniki naszych badań dotyczących struktury elektronowej wysp Bi. Używając STS pokazaliśmy, że struktury o różnych wysokościach charakteryzują się istotnie różnymi strukturami elektronowymi. Wykonane pomiary STS pozwoliły nam na wykonanie obliczeń DFT (density functional theory). Obliczenia te wykonane zostały pod kierownictwem prof. Tai-C. Chianga z Uniwersytetu Illinois w Urbana-Champaign w USA (prof. Chiang jako pierwszy pokazał obecność QSE z użyciem UPS). Iteracyjny proces związany z obliczeniami DFT pozwolił nam na określenie struktury krystalicznej warstw. Nasze obliczenia jasno wskazują, że stabilne są dwuwarstwy co tłumaczy obserwowany charakter wzrostu opisywany w pracy [H1]. Obserwowane eksperymentalnie nieparzyste liczby warstw są skutkiem obecności warstwy zwilżającej, która pojawia się jedynie pod wyspami i nigdy nie jest obserwowana wyizolowana. Ponadto, bazując na

porównaniu wyników STS i DFT postulowaliśmy, że warstwa zwilżająca nie wpływa na strukturę elektronową dwuwarstw. Uzyskane przez nas wyniki DFT i STS wskazują jednoznacznie na tworzenie się studni kwantowych związanych z grubościami warstw zmieniającymi się co 2 ML. W pracy tej pokazaliśmy również, że struktura krystaliczna dla warstw o grubości 3 ML jest zbliżona do struktury czarnego fosforu (2 ML na 1 ML warstwy zwilżającej) natomiast w przypadku grubszych warstw wewnątrz warstwy jest zbliżone strukturą do materiału masywnego a powierzchnia poprzez utworzenie wiązań hiperwalencyjnych nie posiada niewysyconych wiązań co tłumaczy obserwacje eksperymentalne poczynione w pracach [H1] i [H2] dotyczące obecności wiązań między dwuwarstwami i braku reaktywności powierzchni.

Istotnym wkładem naukowym w publikacji [H4] jest pokazanie przez nas, że szerokości nanostruktur o różnych wysokościach nie są przypadkowe. W przypadku nanostruktur o grubościach 7 ML zmieniały się one co 4 nm i wynosiły 4, 8, 12, 16 nm. Podobne zkwantowane szerokości zaobserwowano dla nanostruktur o wysokościach 5 i 3 ML, dla których to zmiana szerokości następowała odpowiednio co 6 i 15 nm. Obserwacja ta stanowi silną wskazówkę o kwantowych efektach rozmiarowych determinujących wzrost nanostruktur w jednym z kierunków poprzecznych. Te eksperymentalne obserwacje znalazły potwierdzenie w obliczeniach DFT, które pokazują formowanie się na powierzchni Fermiego owali (przy założeniu niewielkiego przesunięcia poziomu Fermiego związanego z przepływem elektronów z podłoża do nanostruktur), których obecność umożliwia powstanie stojącej fali de Broglie o odpowiedniej szerokości połówkowej.

Hipotezę o obecności poprzecznego QSE zweryfikowaliśmy dodatkowo wykonując eksperyment, w którym igła STM używana była do modyfikacji wysp Bi. Na skutek tej modyfikacji atomy Bi przenoszone były do bardziej termodynamicznie stabilnych lokalizacji czego efektem był zanik obszarów 3 ML pozostający w całkowitej zgodności z hipotezą poprzecznego QSE. Wyniki te są szczegółowo dyskutowane przy okazji omawiania pracy [H6].

Wyniki przedstawione w pracy [H4] w znacznym stopniu bazowały na statystycznej analizie zarejestrowanych rezultatów. W tym celu opracowałem algorytm pozwalający na analizę histogramów, w których poszczególne pomiary mogą posiadać różne wagi. Dane STS analizowane były wykorzystując statystyczną analizę położenia maksimum krzywych $dI/dV(V)$ (szczegółowy opis przedstawiony w pracy [H5]).

[H5] P.J. Kowalczyk, “*Investigation of STM tip influence on the recorded position of the Shockley surface state on Au(111)*”, Surface Science 603, 747–751 (2009), IF: 1.798

W pracy [H5] zajmowałem się analizą położenia stanu powierzchniowego Shockleya dla złota Au(111). W szczególności przedstawiłem w niej algorytm, który pozwala w statystyczny sposób dokonać analizy dużej ilości danych STS uzyskanych w trybie CITS. Warto tu nadmienić, że tego typu pomiar charakteryzuje się rejestracją od kilkudziesięciu do kilkuset tysięcy indywidualnych krzywych I(V). Analiza takiej ilości danych polegająca na poszukiwaniu maksimum konduktancji tunelowej ($dI/dV(V)$) jest niezmiernie trudna i czasochłonna. W szczególności prowadzić może do wysunięcia błędnych wniosków na temat najczęściej występujących maksimum oraz ich energetycznej lokalizacji. Aby uniknąć tego typu niepewności w pracy tej zaproponowałem metodę polegającą na stworzeniu histogramu częstości maksimum automatycznie odnajdywanych na pojedynczych krzywych STS. Opracowany algorytm pozwolił mi na statystyczną ocenę położenia stanu Shockleya. Ponadto w pracy tej pokazałem używając prostego modelu teoretycznego, że zmiany jakości igły STM w trakcie pomiarów STS prowadzić mogą do przesuwania się obserwowanych maksimum na krzywych $dI/dV(V)$.

Metodyka opisana w pracy [H5] pozwoliła mi na dogłębną analizę danych STS w pracy [H4] a w szczególności w znacznym stopniu umożliwiła rzetelne porównanie danych STS i DFT a tym samym wpłynęła na określenie struktury krystalicznej ultracienkich warstw Bi(110) na HOPG.

[H6] P.J. Kowalczyk, O. Mahapatra, S.A. Brown, G. Bian, T.-C. Chiang, “*STM driven modification of bismuth nanostructures*”, Surface Science 621, 140-145 (2014), IF: 1.925 (2013).

W publikacji [H6] opisaliśmy eksperyment polegający na mechanicznym oddziaływaniu igły mikroskopu STM na wyspy Bi. Na skutek takiego oddziaływania atomy tworzące wyspę zostają przesunięte z ich początkowych położenia. Powoduje to dyfuzję atomów do miejsc, w których energia całkowita dla układu jest najmniejsza, co prowadzi do stopniowych zmian morfologii wysp. Jak pokazaliśmy w pracy [H4] zmiany takie w znacznym stopniu determinowane są przez poprzeczy QSE. W szczególności na skutek manipulacji STM zaobserwowaliśmy zanik 3 ML obszarów na korzyść wzrostu 5 i 7 ML. Szerokości 3 ML tarasów pozostawały stałe mimo ciągłego ubytku atomów z tych obszarów. Przy dalszym ubytku atomów z obszaru wyspy następowała skokowa zmiana jej szerokości. Uzyskane przez nas wyniki eksperymentalne poparte są tu

obliczeniami DFT, które pokazują, że obserwowane efekty kwantowe mają związek ze strukturą elektronową Bi, która charakteryzuje się obecnością dwóch stożków oddzielonych nieznaczną przerwą energetyczną. Pokazaliśmy również, że zarówno transfer elektronów z jak i do powierzchni może wytworzyć warunki sprzyjające powstaniu obserwowanego efektu poprzecznego QSE.

Ponadto praca [H6] wnosi wkład w zrozumienie dynamiki procesów wzrostu wysp Bi. Przeanalizowaliśmy w niej połączenie dwóch początkowo odizolowanych wysp co pokazało preferencyjny charakter wzrostu nanodrutów o wysokościach 5 ML w stosunku do obszarów o wysokościach 3 ML. Ponadto obserwowaliśmy preferencyjny kierunek dyfuzji jednej z wysp co wskazuje na nadśliskość ze względu na różnice w rozmiarach komórek elementarnych dla Bi i HOPG. Pokazaliśmy również, że dyfuzja atomów odbywa się po krawędziach i że obserwowane zmiany nie są skutkiem dyfuzji wakancji. Opisaliśmy również tworzenie się przerw między obszarami 3 ML i nanodrutami o wysokości 5 ML. Tworzenie się przerw jest możliwe jedynie w pobliżu defektów występujących na krawędziach, dzięki którym atomy mogą migrować do bardziej stabilnych termodynamicznie obszarów.

[H7] P. J. Kowalczyk, O. Mahapatra, D. Belić, S. A. Brown, G. Bian, and T.-C. Chiang, “*Origin of the moiré pattern in thin Bi films deposited on HOPG*”, *Physical Review B* 91, 045434-1-12 (2015), IF: 3.736.

W trakcie prowadzonych prac eksperymentalnych wykorzystujących STM wielokrotnie obserwowaliśmy pojawianie się dodatkowych periodycznych struktur, które zidentyfikowane zostały jako prążki moiré. Praca [H7] poświęcona jest w całości analizie przyczyn powstawania tych prążków w przypadku warstw Bi o grubości 3 ML. Badania te przeprowadziliśmy wykorzystując techniki STM, STS, HR-TEM oraz metodę DFT. Pokazaliśmy w niej, że tylko około 20% wysp charakteryzuje się obecnością prążków moiré. Związane jest to z wzajemną orientacją głównych kierunków krystalograficznych wysp i podłoża (generalna dyskusja kierunków krystalograficznych jest przedstawiona w pracach [H1] oraz [H3], natomiast bardziej szczegółowa w [H7]). W szczególności pokazaliśmy, iż wyspy charakteryzujące się prążkami moiré rosną obrócone o około 30 stopni w stosunku do typowego kierunku wzrostu wysp na HOPG. Jest to w szczególności widoczne dla granic domenowych typu $\Sigma 1$ analizowanych w pracy z wykorzystaniem STM i HR-TEM (szczegółowy opis granic domenowych i ich nazewnictwo można odnaleźć w pracy [H3]).

Dodatkowo w pracy [H7] pokazaliśmy dwa modele teoretyczne wyjaśniające obecność prążków moiré: (a) CMC (commensurate monolayer construction) oraz (b) jakościowy model bazujący na prostym złożeniu sieci Bi i HOPG. W szczególności model (a) został przez nas przystosowany dla symetrii prostokątnej warstwy osadzonej na heksagonalnym podłożu. Poprzednio model CMC był używany jedynie w przypadku obu materiałów charakteryzujących się symetrią heksagonalną. Zaprezentowane modele pozwalają na wyznaczenie kluczowych parametrów opisujących prążki moiré takich jak periodyczność oraz kąty mierzone między prążkami a głównymi kierunkami krystalograficznymi HOPG i Bi. Parametry te pozostają w zgodzie z wynikami eksperymentalnymi. W pracy [H7] zwróciliśmy również uwagę na słabe strony obu modeli, w szczególności model (a) nie pozwala w sposób analityczny wyznaczyć periodyczności natomiast model (b) wymaga ręcznego określenia wszystkich kluczowych parametrów prążków na podstawie renderowanych obrazów dwóch nałożonych struktur.

W pracy [H7] badaliśmy również strukturę elektronową prążków moiré z użyciem STS oraz DFT. Pokazaliśmy, że obecność prążków moiré prowadzi do modulacji LDOS. Zjawisko to wyjaśnione zostało poprzez obecność naprężeń na interfejsie HOPG/Bi, które mimo atomowo płaskiej powierzchni generują zmiany w LDOS a tym samym pozwalają na obserwację prążków moiré na obrazach STM.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych

5.1. Informacje ogólne

(według *Web of Science*)

Łączna liczba prac: **43**

Łączna liczba cytowań: **267**

Liczba cytowań bez autocytowań: **216**

Sumaryczny *impact factor*: **91.747**

h-indeks: **9**

5.2. Lista nagród

2015	Nagroda II-go stopnia Rektora Uniwersytetu Łódzkiego za osiągnięcia dydaktyczne
2014	Nagroda I-go stopnia Rektora Uniwersytetu Łódzkiego za cykl publikacji pt.: „Badania materiałów w nanoskali”
2000	Nagroda I-go stopnia Rektora Uniwersytetu Łódzkiego za skonstruowanie aparatury STM/AFM i serię prac i projektów za jej pomocą wykonanych
1998	Medal Uniwersytetu Łódzkiego przyznany za chlubne studia

5.3. *Lista krótkoterminowych wyjazdów zagranicznych*

01/2015 – 02/2015	Uniwersytet Canterbury Christchurch, Nowa Zelandia grupa prof. Simona A. Browna
02/2014 – 05/2015	Uniwersytet Canterbury Christchurch, Nowa Zelandia grupa prof. Simona A. Browna
06/2003 - 09/2003	Uniwersytet Northumbria Newcastle upon Tyne, Wielka Brytania grupa prof. Psantu Data
02/2002 - 05/2002	Uniwersytet Northumbria Newcastle upon Tyne, Wielka Brytania grupa prof. Psantu Data
01/2000 - 06/2000	Uniwersytet Nijmegen Nijmegen, Holandia grupa prof. Hermana van Kempena

5.4. *Lista projektów krajowych*

- Projekt Opus: „Kontrolowana manipulacja własnościami elektronowymi dwuwymiarowych materiałów hybrydowych: badania w skali podstawowej ultracienkich stopów bizmutu i antymonu wyhodowanych w warstwowej strukturze czarnego fosforu w połączeniu z grafenem (półmetal) oraz jednowarstwowym disiarczkiem molibdenu (półprzewodnik)”, NCN, 2016-2019, **kierownik**
- Projekt Graf-Tech: „Wytwarzanie tuszy i past drukarskich na bazie grafenu oraz opracowanie technologii wydruków dla potrzeb elastycznej elektroniki”, NCBiR, 2013-2016, **wykonawca**
- Projekt Opus: „Grafenowe układy memrystyczne - badania podstawowe w nanoskali”, NCN, 2013-2016, **wykonawca**
- Projekt: „Badanie rezonansu spinowo-elektronowego. Spektroskopia EPR w skali molekularnej. Opracowanie laboratoryjne modelu spektrometru”, MNiSW, 2007-2010, **wykonawca**
- Projekt: „Nanorurki węglowe: nowe procesy otrzymywania i ich optymalizacja oraz badanie mechanizmu powstawania”, MNiSW, 2006-2009, **wykonawca**

5.5. Przebieg pracy naukowej przed doktoratem

- **Badania struktury fononowej HOPG**

Pierwsze badania z wykorzystaniem techniki STM przeprowadziłem na trzecim roku studiów magisterskich gdy dołączyłem jako student do grupy kierowanej przez dra Wielisława Olejniczaka w Katedrze Fizyki Ciała Stałego Uniwersytetu Łódzkiego. Zainteresowałem się wówczas użyciem mikroskopu STM do badań struktury fononowej ciał stałych. Badania te miały na celu próbę wykrycia wzbudzeń fononowych w widmach STS rejestrowanych na podłożu HOPG. Tematyka ta stała się podstawą mojej pracy magisterskiej.

- **Badania wielościennych nanorurek węglowych**

Po obronie pracy magisterskiej rozpocząłem badania eksperymentalne wielościennych nanorurek węglowych [m-1, m-3, m-5, m-7, m-8, d-31]. W eksperymentach tych główny nacisk położony był na badania defektów nanorurek węglowych. W szczególności moje zainteresowanie wzbudzały zakończenia charakteryzujące się obecnością defektów pentagonalnych wbudowanych w strukturę heksagonalną nanorurki [m-7, m-8]. Defekty te generują dodatkowe stany elektronowe w pobliżu poziomu Fermiego, które obserwowane mogą być używając techniki STS. Doświadczenie zdobyte przy badaniach zakończeń nanonorurek węglowych pozwoliły nam na zbadanie struktury elektronowej połączenia typu Y [m-3] charakteryzującego się obecnością pentagonów i heptagonów wbudowanych w sieć heksagonalną.

Prowadziłem również prace nad połączeniami [d-24] i zagięciami nanorurek węglowych. Obydwie struktury powstać mogą poprzez wprowadzenie pentagonów i heptagonów do struktury nanorurki. W szczególności pokazałem, że współosiowe połączenie dwóch wielościennych nanorurek węglowych może powstać poprzez usunięcie z pewnego obszaru pewnej ilości zewnętrznych warstw nanorurek. Moje badania jasno pokazały w jaki sposób odróżnić przewężenie powstałe na skutek wprowadzenia defektów 5/7 od takiego, w którym usunięte są zewnętrzne warstwy nanorurek. Wykonałem również eksperyment polegający na mechanicznym odkształcaniu nanorurki za pomocą STM. Tak zmodyfikowana nanorurka charakteryzowała się obszarami o naprężonych wiązaniach co przekładało się na pojawienie się zmian w strukturze elektronowej nanorurki węglowej.

- **Wysokotemperaturowe badania spineli typu $\text{Ni}_x\text{Mn}_{3-x}\text{O}_{4+\delta}$**

W trakcie mojego pobytu na Uniwersytecie Northumbria w Wielkiej Brytanii rozpocząłem badania spineli typu $\text{Ni}_x\text{Mn}_{3-x}\text{O}_{4+\delta}$ ($0.4 < x < 1$) [m-4, d-32], które charakteryzują się ujemnym współczynnikiem temperaturowym dla przewodnictwa elektrycznego. Zjawisko to tłumaczone jest przez przeskoki elektronów między jonami Mn^{3+} i Mn^{4+} . Jednak do poprawnego jego opisania niezbędne jest poznanie struktury elektronowej w pobliżu poziomu Fermiego. Wykonaliśmy serię eksperymentów STS, które pozwoliły nam na zbadanie struktury elektronowej dla tych materiałów. Część z tych eksperymentów prowadzona była w podwyższonej temperaturze w zakresie od 300 do 600 K używając HT-STs (z ang. high-temperature STS). Badania te pokazały że granice ziaren mają w temperaturze pokojowej małą wartość LDOS na poziomie Fermiego. Wzrost temperatury powoduje wzrost LDOS a tym samym wzrost przewodnictwa warstwy.

- **Oprogramowanie sterujące kasetą CAMAC**

Będąc studentem 4 roku fizyki podjąłem się zadania polegającego na uruchomieniu oryginalnej biblioteki procedur sterującej kasetą CAMAC, która w tamtym okresie była wykorzystywana do zarządzania przepływem danych między mikroskopem tunelowym (konstruowanym i rozwijanym w Katedrze Fizyki Ciała Stałego Uniwersytetu Łódzkiego od lat 90-tych) a komputerem PC. Pozwoliło mi to na uruchomienie modu impulsatora, który pozwalał między innymi na ostrzenie igły STM oraz potencjalnie na manipulację nanostrukturami.

- **Oprogramowanie zarządzające pracą mikroskopu tunelowego**

Podjąłem się również zaprojektowania nowego oprogramowania sterującego pracą mikroskopu tunelowego. Zadanie to polegało na napisaniu systemu operacyjnego pracującego na sterowniku kasety CAMAC, który to zarządzał procesem rejestracji danych STM. Praca ta pozwoliła mi na wykonanie pewnej części pomiarów, które wykorzystałem w mojej pracy doktorskiej [m-1, m-3, m-5, m-7, m-8].

W późniejszym okresie podjąłem również prace mające na celu wymianę analogowej pętli stabilizacji w STM na pętlę cyfrową. W tym celu stworzyłem oprogramowanie sterujące procesorem sygnałowym DSP firmy Motorola.

- **Oprogramowanie do analizy danych STM/STS**

W 1999 roku rozpocząłem prace nad oprogramowaniem służącym do analizy danych

topograficznych rejestrowanych przez STM. Możliwości oprogramowania rozszerzyłem o analizę danych STS a w szczególności CITS. Oprogramowanie to posłużyło do analizy wyników prezentowanych w pracach [d-1-33, m-1-8]. Prace nad rozwojem tego oprogramowania trwają do dnia dzisiejszego.

5.6. Przebieg pracy naukowej po doktoracie

- **Badania wpływu temperatury na powierzchnię Au(111)**

Moje wcześniejsze badania HT-STs zmotywowały mnie do przeprowadzenia serii eksperymentów mających pokazać wpływ temperatury na energetyczną lokalizację stanów elektronowych na złocie. W pierwszej kolejności skoncentrowałem się na badaniach stanów powierzchniowych Schockleya (SS) powstających na powierzchniach Au(111), Ag(111) i Cu(111). W badaniach wykorzystałem Au(111) ze względu na jego dużą odporność na oksydację, która miała znaczenie w innych prowadzonych przez mnie badaniach opisanych poniżej. Wraz ze współpracownikami pokazałem, że stan SS może być obserwowany w badaniach HT-STs aż do temperatury 600 K [d-30]. Ponadto położenie energetyczne tego stanu ulega przesunięciu w kierunku poziomu Fermiego wraz ze wzrostem temperatury. W kolejnej pracy [d-26] pokazałem, że również stany obrazowe ulegają przesunięciu na skutek zmian temperatury.

Badałem również wpływ temperatury na rekonstrukcję powierzchniową typu herringbone [d-27]. W szczególności w pracy [d-27] pokazaliśmy, że wzrost temperatury powodować może zmianę naprężeń powierzchniowych, które z kolei prowadzić mogą do zmian rekonstrukcji powierzchniowej.

- **Badanie wpływu zanieczyszczeń na lokalizację stanów SS na Au(111)**

Badania stanów powierzchniowych na Au(111) rozszerzyłem o zbadanie wpływu zanieczyszczeń atmosferycznych na lokalizację stanu SS [d-21]. Badania te wykonane używając technik STS, CITS, XPS oraz UPS pokazały, że adsorpcja zanieczyszczeń prowadzi do przesuwania się stanu SS w kierunku poziomu Fermiego. Zjawisko to wytłumaczone zostało wymianą ładunku między zanieczyszczeniami a powierzchnią Au(111).

- **Badania dwuściennych nanorurek węglowych**

Po doktoracie kontynuowałem badania związane z nanorurkami węglowymi, w

trakcie których skoncentrowałem się głównie na badaniach dwuściennych nanorurek [d-12]. W szczególności podjąłem działania eksperymentalne mające na celu określenie ich rozmiarów (używając STM) a także składu chemicznego (z użyciem XPS).

- **Badania nanowłókien SiC**

Moje zainteresowania układami o charakterze jednowymiarowym rozszerzyłem na badania nanowłókien z węgla krzemu [d-20, d-22, d-23]. W szczególności pokazaliśmy, że synteza spaleniowa może zostać użyta do produkcji nanowłókien SiC [d-20]. Pokazaliśmy, że nanowłókna są domieszkowane azotem a ich zewnętrzne warstwy bogate w węgiel. Wykazaliśmy także, że ich powierzchnia charakteryzuje się obecnością facetek [d-22] a struktura elektronowa wykazuje własności półprzewodnika typu n na skutek domieszkowania SiC azotem [d-23].

- **Badania nanocząstek Ag**

Badania te dotyczyły charakteryzacji morfologicznej i chemicznej nanocząstek Ag [d-7, d-15, d-28], na bazie których podjęto próby wytworzenia atramentów do drukowania techniką ink-jet. Wykorzystując taki atrament i specjalną drukarkę atramentową możliwe jest drukowanie początkowo nieprzewodzących ścieżek z nanocząstek srebra. Takie ścieżki poddać można następnie procesowi spiekania, co prowadzi do odparowania nieprzewodzącego stabilizatora i utworzenia doskonale przewodzącej srebrnej ścieżki. W naszych badaniach badaliśmy procesy spiekania, które pozwoliły nam na ustabilizowanie warstwy nanocząstek na podłożu HOPG oraz dokonanie na tak otrzymanej warstwie pomiarów struktury elektronowej [d-7, d-15]. W szczególności nasze badania pozwoliły na opracowanie metodologii pomiaru średnic nanocząstek [d-7, d-28], które determinują szereg ich własności. Pokazaliśmy również, że na skutek spiekania nanocząstek na podłożu Au(111) ma miejsce proces dyfuzji Ag pod powierzchnię Au [d-15].

- **Badania molekuł z wolnym rodnikiem**

Od kilku lat w Katedrze Fizyki Ciała Stałego Uniwersytetu Łódzkiego prowadzone są badania mające na celu wykrycie spinu pojedynczych molekuł w wysokoczęstotliwościowym widmie prądu tunelowego przy użyciu techniki ESN-STM (electron spin noise – STM). W tym celu zmodyfikowany został jeden z mikroskopów STM i połączony z analizatorem częstości. Tak zmodyfikowany układ pomiarowy wykorzystany został do przeprowadzenia serii badań molekuł osadzonych na podłożach HOPG i Au(111) i charakteryzujących się obecnością wolnych rodników a tym samym właściwościami paramagnetycznymi [d-13, d-17, d-18, d-19]. W szczególności nasze badania pokazały że

molekuły 16DS (2-(14-Carboxytetradecyl)-2-ethyl-4,4-dimethyl-3-oxazolidinyloxy) oraz CSL (4',4'-Dimethylspiro(5 α -cholestane-3,2'-oxazolidin)-3'-yloxy) tworzą dobrze zorganizowane monoatomowe warstwy molekularne na podłożu HOPG, które nie tracą swojego paramagnetycznego charakteru [d-13]. Własności paramagnetyczne oraz samoorganizacja na powierzchni zachowane są również w przypadku molekuł TEMPOL (4-hydroxy-2,2,6,6-tetramethylpiperidine-1-oxyl) oraz ISL (4-(2-iodoacetamido)-2,2,6,6-tetramethylpiperidine-1-oxyl) osadzonych na powierzchni Au(111) [d-19]. Pokazaliśmy również, że między molekułami TMP (2,2,6,6-tetramethylpiperidine) a powierzchnią Au(111) dochodzi do reakcji elektrochemicznej prowadzącej do selektywnego trawienia podłoża [d-17, d-18].

- **Badania zmian stechiometrii powierzchni TiO_2 do Ti_2O_3**

W moich badaniach interesowałem się również powierzchnią TiO_2 i możliwościami dokonywania jej modyfikacji za pomocą igły STM [d-25] oraz temperatury [d-8]. W pierwszej z prac [d-25] pokazaliśmy, że obecność pola elektrycznego igły STM może doprowadzić do lokalnej modyfikacji powierzchni TiO_2 . Zjawisko to tłumaczyliśmy lokalną zmianą stechiometrii i utworzeniem metalicznej fazy Ti_2O_3 . Z kolei w pracy [d-8] pokazaliśmy, że taki sam proces może zajść na skutek podgrzewania próbki z tą różnicą, że przy podgrzewaniu krystality Ti_2O_3 pokrywają całą powierzchnię próbki.

- **Badania grafenu i jego pochodnych**

W ciągu ostatnich kilku lat brałem udział w badaniach grafenu [d-4, d-14, d-16] oraz jego tlenku [d-1, d-2]. W pracach [d-14, d-16] pokazaliśmy jedno- dwu- i trójwarstwowy grafen osadzony na powierzchni złota co pozwoliło nam na przeprowadzenie badań morfologii i struktury elektronowej z użyciem technik STM i STS. Badania te pokazały że grafen na powierzchni złota jest domieszkowany dziurami co powoduje przesunięcie punktu Diraca powyżej poziomu Fermiego. Z kolei badania grafenu osadzonego na miedzi [d-4] pokazały, że nie stanowi on idealnego pokrycia antykorozyjnego. W pracy tej pokazaliśmy, że korozja miedzi następuje w okolicach defektów i granic domenowych między płatkami grafenów.

Prowadziłem również badania nad problem przełączania rezystywnego w tlenku grafenu [d-1]. Seria badań prowadzonych w ciągu ostatnich kilku lat pozwoliła nam stwierdzić, że kluczowym czynnikiem determinującym obecność lokalnych zmian rezystancji jest wilgoć. Badania te prowadzone były w nanoskali przy użyciu AFM z przewodzącą sondą.

Zajmowałem się także problematyką związaną z drukowaniem atramentami stworzonymi na bazie grafenu i tlenku grafenu za pomocą przemysłowej drukarki atramentowej [d-2]. Badania te prowadzone były przy współpracy z firmą przemysłową QWERTY zajmującą się drukowaniem elastycznej elektroniki. W ramach tej współpracy udało nam się opracować atrament drukarski bazujący na tlenku grafenu, za pomocą którego można dokonywać transparentnych wydruków o dobrych parametrach przewodnictwa elektrycznego.

- **Badania nanostruktur Bi na HOPG**

Badania charakteru wzrostu oraz struktury elektronowej Bi epitaksjalnie rosnącego na HOPG są przedmiotem mojej rozprawy habilitacyjnej. Zdecydowałem jednak o wyłączeniu z cyklu prac habilitacyjnych dwóch pozycji [d-3] oraz [d-11] ze względu na mój znacznie niższy udział w ich powstaniu. W szczególności w pracy [d-11] pokazaliśmy, że wyspy Bi mogą być hodowane zarówno w postaci rozległych plątków jak i bardzo długich włókien. Pokazaliśmy również, że w odpowiednich warunkach włókna Bi(110) mogą ulec transformacji w wydłużone nanostruktury o orientacji (111). Z kolei w pracy [d-3] pokazujemy wyniki naszych badań uzyskanych za pomocą techniki ARPES, które porównujemy z obliczeniami DFT. Z badań tych wynika, że wysokości wysp o parzystej liczbie warstw posiadają niższą energię i dlatego tylko takie obserwowane są eksperymentalnie. Co więcej struktury o nieparzystej liczbie warstw powinny charakteryzować się obecnością niewysyconych wiązań p_z na powierzchni co powinno powodować kreację stożka Diraca w ich strukturze elektronowej.

- **Badania stopów $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$**

W ostatnich dwóch latach rozpocząłem prace nad cienkimi warstwami trójwymiarowego izolatora topologicznego $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$. Badania te mają na celu zbadanie charakteru wzrostu oraz własności elektronowych warstw $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ używając technik STM i STS. W szczególności poszukuję odpowiedzi na pytanie czy takie ultracienkie warstwy posiadają własności izolatora topologicznego. Wyniki uzyskane do chwili obecnej są bardzo obiecujące i jestem przekonany, że zakończą się publikacjami w renomowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym.

- **Prace nad oprogramowaniem**

Przez cały okres po uzyskaniu stopnia doktora kontynuowałem prace nad rozwojem oprogramowania służącego do analizy wyników eksperymentalnych uzyskanych przy użyciu technik STM i STS. Na szczególną uwagę zasługuje tu moduł analizy danych

STS/CITS, który rozwijam już od ponad 15 lat. Zgodnie ze stanem mojej wiedzy żaden z komercyjnie dostępnych pakietów oprogramowania nie oferuje tak zaawansowanych narzędzi do analizy danych pochodzących ze spektroskopii tunelowej jak oprogramowanie, którego jestem autorem. Od 2005 roku rozpocząłem również prace nad oprogramowaniem służącym do analizy danych uzyskanych z technik spektroskopii elektronowej XPS, AES i UPS. Opracowałem również oprogramowanie służące do tworzenia modeli kulkowych. W szczególności oprogramowanie to zostało wykorzystane w przygotowywaniu publikacji [H1-7]. Uczestniczyłem również w pracach nad skonstruowaniem mikroskopu SNOM, w trakcie których moim zadaniem było stworzyć oprogramowanie niskiego poziomu pozwalające na komunikację mikroskopu z komputerem PC.

5.7. Działalność dydaktyczna i organizatorska

- Prowadzone przeze mnie **zajęcia dydaktyczne** na kierunkach fizyka, chemia oraz informatyka: Fizyka, Pierwsza Pracownia Fizyczna, Podstawy Programowania, Programowanie C++, Asembler, Programowanie Niskiego Poziomu, Programowanie Zorientowane Obiektoowo, Podstawy Programowania Grafiki Komputerowej, Programowanie GUI, Programowanie Windows API, Zaawansowana Grafika Komputerowa, Języki Programowania 1-3, Systemy Analizy i Wizualizacji Danych. W tym **wykłady do przedmiotów**: Języki Programowania 3, Asembler, Zaawansowana Grafika Komputerowa.
- Ocena moich zajęć przez studentów na podstawie anonimowych ankiet: **ponadprzeciętna**.
- Wypromowane przez mnie prace:
 - doktorskie (w roli promotora pomocniczego): **2**
 - Domagoj Belić, „Studies of Alloy Nanoclusters and Their Influence on Growth of Carbon Nanotubes”, 2012, Uniwersytet Canterbury, Christchurch, Nowa Zelandia
 - Ojas Mahapatra, „A scanning probe microscopy (SPM) study of Bi(110) nanostructures on highly oriented pyrolytic graphite (HOPG)”, 2013, Uniwersytet Canterbury, Christchurch, Nowa Zelandia
 - magisterskie z fizyki: **4**
 - magisterskie z informatyki: **2**

- inżynierskie z informatyki: **4**
- Obecnie prowadzone przeze mnie prace:
 - magisterskie z informatyki: **3**
 - inżynierskie z informatyki: **1**
- Jestem **koordynatorem specjalizacji** Programowanie i Algorytmy prowadzonej na kierunku Informatyka.
- Odpowiadałem za **opracowanie nowego kierunku studiów** prowadzonego wspólnie przez Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej oraz Wydział Chemiczny Uniwersytetu Łódzkiego w języku angielskim o nazwie Nanotechnology.
- W 2004 roku byłem **sekretarzem** komisji rekrutacyjnej.
- Od 2015 roku jestem **członkiem Rady Wydziału** Fizyki i Informatyki Stosowanej UŁ.
- Byłem **recenzentem** artykułów naukowych w Carbon i ACS Applied Materials and Interfaces
- Działalność propagująca naukę:
 - wykłady otwarte dla młodzieży szkolnej: **3**
 - wykład inauguracyjny na WFiIS: **1**
 - Wykład dla absolwentów WFiIS: **1**
 - Uczestnictwo w drzwiach otwartych na WFiIS: **3**
 - Uczestnictwo w piknikach naukowych: **3**

5.8. Spis publikacji wraz z określeniem współudziału w ich powstaniu

Prace opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora:

- d-1. M. Rogala, P.J. Kowalczyk, P. Dabrowski, I. Wlasny, W. Kozlowski, A. Busiakiewicz, S. Pawlowski, G. Dobinski, M. Smolny, I. Karaduman, L. Lipinska, R. Kozinski, K. Librant, J. Jagiello, K. Grodecki, J.M. Baranowski, K. Szot, Z. Klusek, “*The role of water in resistive switching in graphene oxide*”, Applied Physics Letters 106, 263104-1-4 (2015), IF: 3.302

Wkład habilitanta: Wykonanie części pomiarów LC-AFM, dyskusja wyników, koncepcja i pierwsze kilka wersji manuskryptu. Mój wkład procentowy oceniam na 20%.

d-2. M. Rogala, I. Wlasny, P. Dabrowski, P. J. Kowalczyk, A. Busiakiewicz, W. Kozłowski, L. Lipinska, J. Jagiello, M. Aksienionek, W. Strupinski, A. Krajewska, Z. Sieradzki, I. Krucinska, M. Puchalski, E. Skrzetuska, Z. Klusek, “*Graphene oxide overprints for flexible and transparent electronics*”, Applied Physics Letters 106, 041901-1-5 (2015), IF: 3.302

Wkład habilitanta: Dyskusja wyników, pomoc przy tworzeniu manuskryptu. Mój wkład procentowy oceniam na 5%.

d-3. G. Bian, X. Wang, T. Miller, T.-C. Chiang, P.J. Kowalczyk, O. Mahapatra, S.A. Brown, “*First-principles and spectroscopic studies of Bi(110) films: Thickness-dependent Dirac modes and property oscillations*”, Physical Review B 90, 195409-1 – 7 (2014), IF: 3.736 (2014)

Wkład habilitanta: Koncepcja pracy, dyskusja wyników, pomiary AFM, analiza wyników DFT. Mój wkład procentowy oceniam na 20%.

d-4. I. Wlasny, P. Dabrowski, M. Rogala, P.J. Kowalczyk, I. Pasternak, W. Strupinski, J. M. Baranowski, Z. Klusek, “*Role of graphene defects in corrosion of graphene-coated Cu(111) surface*”, Applied Physics Letters 102, 111601-1-4 (2013), IF: 3.515

Wkład habilitanta: Dyskusja wyników, pomoc przy tworzeniu manuskryptu. Moje oprogramowanie użyte przy analizie danych. Mój wkład procentowy oceniam na 5%.

d-5. W. Szmaja, J. Balcerski, W. Kozłowski, M. Cichomski, J. Grobelny, M. Smolny, P.J. Kowalczyk, “*Study of thermally evaporated thin permalloy films by the Fresnel mode of TEM and AFM*”, Journal of Alloys and Compounds 521, 174 – 177 (2012), IF: 2.390

Wkład habilitanta: Dyskusja wyników. Mój wkład procentowy oceniam na 5%.

d-6. M. Cichomski, E. Tomaszewska, K. Kosła, W. Kozłowski, P.J. Kowalczyk, J. Grobelny, “*Study of dithiol monolayer as the interface for controlled deposition of gold nanoparticles*”, Materials Characterization 62, 268-274 (2011), IF: 1.572

Wkład habilitanta: Pomiary XPS, dyskusja wyników, pomoc przy tworzeniu manuskryptu. Mój wkład procentowy oceniam na 10%.

d-7. M. Puchalski, P.J. Kowalczyk, Z. Klusek, W. Olejniczak, “*The applicability of global and surface sensitive techniques to characterization of silver nanoparticles for Ink-Jet printing technology*”, in Silver Nanoparticles Edited by D.P. Perez, In-Teh, March 2010

Wkład habilitanta: Wykonanie części pomiarów, koncepcja pracy, pomoc przy tworzeniu manuskryptu. Mój wkład procentowy oceniam na 15%.

d-8. A. Busiakiewicz, Z. Klusek, M. Rogala, P. Dabrowski, P.J. Kowalczyk, P.K. Datta, “*The new high-temperature surface structure on reduced TiO₂(001)*”, *Journal of Physics: Condensed Matter* 22, 395501 (2010), IF: 2.332

Wkład habilitanta: Konsultacja wyników. Mój wkład procentowy oceniam na 3%.

d-9. W. Szmaja, W. Kozłowski, J. Balcerski, P.J. Kowalczyk, J. Grobelny, M. Cichomski, “*Study of obliquely deposited thin cobalt films*”, *Journal of Alloys and Compounds* 506 (2), 526-529 (2010), IF: 2.138

Wkład habilitanta: Konsultacja wyników, pomoc przy redagowaniu manuskryptu. Mój wkład procentowy oceniam na 5%.

d-10. M. Cichomski, K. Kosła, J. Grobelny, W. Kozłowski, P.J. Kowalczyk, A. Busiakiewicz, W. Szmaja, J. Balcerski, “*Nano- and microtribological characterization of silanes deposited on cobalt substrate*”, *Journal of Alloys and Compounds* 507, 273-278 (2010), IF: 2.138

Wkład habilitanta: Konsultacja wyników, pomoc przy redagowaniu manuskryptu. Mój wkład procentowy oceniam na 5%.

d-11. David N. McCarthy, Daniel Robertson, Pawel J. Kowalczyk, Simon A. Brown, “*The effects of annealing and growth temperature on the morphologies of Bi nanostructures on HOPG*”, *Surface Science* 604, 1273 (2010), IF: 2.011

Wkład habilitanta: Wyniki STM, nanomanipulacja STM, wytwarzanie próbek, redagowanie manuskryptu. Mój wkład procentowy oceniam na 40%.

d-12. M. Bystrzejewski, A. Huczko, P. Kowalczyk, M. Rogala, M. Szybowicz, M. H. Rummeli, T. Gemming, H. Lange, “*Ultra Highly Selective Synthesis of Double-Walled Carbon Nanotubes*”, *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures* 18, 137–147 (2010), IF: 0.631

Wkład habilitanta: Pomiar XPS oraz STM, interpretacja wyników, redagowanie manuskryptu. Mój wkład procentowy oceniam na 20%.

d-13. P. Krukowski, Z. Klusek, W. Olejniczak, R. Klepaczek, M. Puchalski, P. Dabrowski, P.J. Kowalczyk, K. Gwozdziński, “*Self-assembled monolayers of radical molecules physisorbed on HOPG(0001) substrate studied by scanning tunnelling microscopy and electron paramagnetic resonance techniques*”, *Applied Surface Science* 255, 8769 – 8773 (2009), IF: 1.616

Wkład habilitanta: Pomoc przy pomiarach STM, dyskusja wyników, koncepcja pracy, redagowanie manuskryptu. Mój wkład procentowy oceniam na 15%.

d-14. Z. Klusek, P. Dabrowski, P. Kowalczyk, W. Kozłowski, W. Olejniczak, P. Blake, M. Szybowski, T. Runka, “*Graphene on gold: Electron density of states studies by scanning tunneling spectroscopy*”, Applied Physics Letters 95, 113114-1 – 113114-3 (2009), IF: 3.554

Wkład habilitanta: Dyskusja wyników analizowanych przy użyciu mojego oprogramowania. Mój wkład procentowy oceniam na 5%.

d-15. M. Puchalski, P.J. Kowalczyk, I. Zasada, P. Krukowski, W. Olejniczak, “*Process at the interface of silver nanoparticles deposited on Au(111) substrate due to the high-temperature treatments*”, Journal of Alloys and Compounds 481, 486 – 491 (2009), IF: 2.135

Wkład habilitanta: Nadzór przy pomiarach XPS i STM. Koncepcja pracy, redakcja manuskryptu.

Mój wkład procentowy oceniam na 15%.

d-16. Z. Klusek, P. Dabrowski, P.J. Kowalczyk, W. Kozłowski, P. Blake, M. Szybowski, T. Runka, W. Olejniczak, “*Mono-, bi- and tri- graphene layers deposited on conductive Au/Cr/SiO₂/Si substrate studied by scanning tunnelling spectroscopy*”, arXiv:0901.0070v1 [cond-mat.mtrl-sci] 31 Dec 2008 APS/123-QED

Wkład habilitanta: Dyskusja wyników analizowanych przy użyciu mojego oprogramowania. Mój wkład procentowy oceniam na 5%.

d-17. P. Krukowski, P.J. Kowalczyk, P. Krzyczmonik, W. Olejniczak, Z. Klusek, M. Puchalski, K. Gwoździński, “*Electrochemical behaviour of gold modified with contaminated TMP amine adlayers studied by STM, CV, EPR*”, Applied Surface Science 255, 3946–3952 (2009), IF: 1.616

Wkład habilitanta: Pomoc przy pomiarach STM, dyskusja wyników, koncepcja pracy, redagowanie manuskryptu. Mój wkład procentowy oceniam na 15%.

d-18. P.J. Kowalczyk, P. Krukowski, P. Krzyczmonik, M. Puchalski, P. Dąbrowski, K. Gwoździński, W. Olejniczak, Z. Klusek, “*STM induced modification of gold surface in the presence of TMP amine*”, Vacuum 83, 419 – 422 (2009), IF: 0.975

Wkład habilitanta: Pomoc przy pomiarach STM, dyskusja wyników, koncepcja pracy, redagowanie manuskryptu. Mój wkład procentowy oceniam na 20%.

d-19. P. Krukowski, W. Kozłowski, W. Olejniczak, Z. Klusek, M. Puchalski, P. Dabrowski, P.J. Kowalczyk, K. Gwoździński, G. Grabowski, “*Formation of dense nitroxide radical layers on the Au(1 1 1) substrate for ESN-STM measurement*”, Applied Surface Science 255, 1921 – 1928 (2008) IF: 1.576

Wkład habilitanta: Dyskusja wyników, koncepcja pracy, redagowanie manuskryptu. Mój wkład

procentowy oceniam na 10%.

- d-20. A. Busiakiewicz, A. Huczko, H. Lange, P.J. Kowalczyk, M. Rogala, W. Kozłowski, Z. Klusek, W. Olejniczak, K. Polański, S. Cudziło, “*Silicon carbide nanowires: chemical characterization and morphology investigations*”, *Physica Status Solidi (b)* 245, 2094 – 2097 (2008), IF: 1.166

Wkład habilitanta: Przygotowanie próbek, dyskusja wyników. Mój wkład procentowy oceniam na 5%.

- d-21. P.J. Kowalczyk, M. Puchalski, W. Kozłowski, P. Dąbrowski, Z. Klusek, W. Olejniczak, “*Investigation of the Shockley surface state on clean and air-exposed Au (111)*”, *Applied Surface Science* 254, 4572 – 4576 (2008), IF: 1.576

Wkład habilitanta: Koncepcja pracy, przygotowanie próbek, pomiary XPS, UPS, STM i STS, jestem głównym autorem manuskryptu. Mój wkład procentowy oceniam na 75%.

- d-22. A. Busiakiewicz, Z. Klusek, A. Huczko, P.J. Kowalczyk, P. Dąbrowski, W. Kozłowski, S. Cudziło, P.K. Datta, W. Olejniczak, “*Scanning tunneling microscopy investigations of silicon carbide nanowires*”, *Applied Surface Science* 254, 4268 – 4272 (2008), IF: 1.576

Wkład habilitanta: Przygotowanie próbek, dyskusja wyników. Mój wkład procentowy oceniam na 5%.

- d-23. A. Busiakiewicz, Z. Klusek, P.J. Kowalczyk, A. Huczko, S. Cudziło, P.K. Datta, W. Olejniczak, “*Silicon carbide nanowires studied by scanning tunneling spectroscopy*”, *Surface Science* 602, 316 – 320 (2008), IF: 1.731

Wkład habilitanta: Przygotowanie próbek, dyskusja wyników. Mój wkład procentowy oceniam na 5%.

- d-24. P. Kowalczyk, Z. Klusek, W. Kozłowski, P. Byszewski, W. Olejniczak “*STM/STS investigation of carbon nanotube junction*”, *Applied Physics A* 87(1), 37-40 (2007), IF: 1.857

Wkład habilitanta: Przygotowanie próbek, wykonanie pomiarów. Analiza wyników. Jestem głównym autorem manuskryptu. Mój wkład procentowy oceniam na 75%.

- d-25. Z. Klusek, A. Busiakiewicz, P.K. Datta, R. Schmidt, W. Kozłowski, P. Kowalczyk, P. Dąbrowski, W. Olejniczak, “*Room and high-temperature scanning tunnelling microscopy and spectroscopy (HT-STM/STS) investigations of surface nanomodifications created on the TiO₂(110) surface*”, *Surface Science* 601, 1513-1520 (2007), IF: 1.885

Wkład habilitanta: Moje oprogramowanie używane było do analizy wyników. Pomagałem przy redagowaniu manuskryptu. Mój wkład procentowy oceniam na 5%.

d-26. P. Kowalczyk, “*High temperature STM/STS investigations of resonant image states on Au(111)*”, Applied Surface Science 253, 4036 – 4040 (2007), IF: 1.406

Wkład habilitanta: Przygotowanie próbek, wykonanie pomiarów, analiza wyników. Jestem głównym autorem manuskryptu oraz jego koncepcji. Mój wkład procentowy oceniam na 100%.

d-27. P. Kowalczyk, W. Kozłowski, Z. Klusek, W. Olejniczak, P.K. Datta, “*STM studies of the reconstructed Au(111) thin-film at elevated temperatures*”, Applied Surface Science 253, 4715 – 4720 (2007), IF: 1.406

Wkład habilitanta: Przygotowanie próbek, wykonanie pomiarów, analiza wyników. Jestem głównym autorem manuskryptu oraz jego koncepcji. Mój wkład procentowy oceniam na 80%.

d-28. M. Puchalski, P. Dąbrowski, W. Olejniczak, P. Krukowski, P. Kowalczyk, K. Polański, “*The study of silver nanoparticles by scanning electron microscopy, energy dispersive X-ray analysis and scanning tunnelling microscopy*”, Materials Science – Poland 25, 473 – 478 (2007), IF: 0.332

Wkład habilitanta: Nadzór nad przygotowaniem próbek i pomiarami. Pomoc w redagowaniu manuskryptu i analizie wyników. Mój wkład procentowy oceniam na 15%.

d-29. E. Kowalska, P. Kowalczyk, J. Radomska, E. Czerwosz, H. Wronka, M. Bystrzejewski, “*The influence of high vacuum annealing treatment on some properties of carbon nanotubes*”, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 86, 115-119 (2006), IF: 1.438

Wkład habilitanta: Przygotowanie próbek, pomiary STM/STS, analiza wyników. Mój wkład procentowy oceniam na 15%.

d-30. P. Kowalczyk, W. Kozłowski, W. Olejniczak, P.K. Datta, “*STS investigations of temperature dependence of Au(111) surface state energy position*”, Surface Science 600, 1604-1607 (2006), IF: 1.880

Wkład habilitanta: Przygotowanie próbek, wykonanie pomiarów, analiza wyników. Jestem głównym autorem manuskryptu oraz jego koncepcji. Mój wkład procentowy oceniam na 80%.

d-31. E. Kowalska, P. Kowalczyk, J. Radomska, E. Czerwosz, H. Wronka, M. Bystrzejewski, “*Wpływ procesu wygrzewania na niektóre własności nanorurek węglowych*”, Prace Nauk. PW Elektronika 153, 187 (2005)

Wkład habilitanta: Przygotowanie próbek, pomiary STM/STS, analiza wyników. Mój wkład

procentowy oceniam na 15%.

- d-32. A. Basu, A. Brinkman, R. Schmidt, Z. Klusek, P. Kowalczyk, P.K. Datta, “*A study of electronic states of $Ni_xMn_{3-x}O_{4+\delta}$ thin films using scanning tunneling microscopy and current imaging tunneling spectroscopy*”, Journal of European Ceramic Society 24, 1149-1152 (2004), IF: 1.483

Wkład habilitanta: Pomiar STM/STS, analiza danych pomiarowych. Mój wkład procentowy oceniam na 10%.

- d-33. Z. Klusek, W. Kozłowski, P. Kowalczyk, A. Busiakiewicz, W. Olejniczak, P. Byszewski, E. Kowalska, M. Popławska, P.K. Datta, J.S. Burnell-Gray, “*On construction of molecular electronics devices. Scanning probe microscopy investigations*”, Acta Physicae Superficierum 4, 32-42 (2004)

Wkład habilitanta: Moje oprogramowanie używane było do analizy danych. Uczestniczyłem również w pracach nad redakcją manuskryptu. Mój wkład procentowy oceniam na 5%.

Sumaryczny *imapat factor* dla powyższych prac wynosi **54.837**.

Suma cytowań powyższych prac wynosi: **183**.

Dane w oparciu o *Web of Science*.

Prace opublikowane przed uzyskaniem stopnia doktora:

- m-1. E. Kowalska, J. Radomska, P. Byszewski, P. Kowalczyk, K. Antonova, H. Lange, P. Dłuzewski, “*Morphology and electronic properties of carbon nanotubes grown with Fe catalyst*”, Journal of Materials Research 18, 2451-2458 (2003), IF: 1635.

Wkład habilitanta: Pomiar STM/STS, analiza danych pomiarowych. Mój wkład procentowy oceniam na 10%.

- m-2. Z. Klusek, P.K. Datta, P. Kowalczyk, S. Pierzgałski, A. Busiakiewicz, W. Olejniczak, “*High-temperature Scanning Tunneling Spectroscopy of Transition Metal Oxides*”, Acta Physica Polonica 104, no 3-4, 245-258 (2003), IF: 0.752.

Wkład habilitanta: Moje oprogramowanie używane było do analizy danych. Uczestniczyłem również w pracach nad redakcją manuskryptu. Mój wkład procentowy oceniam na 5%.

- m-3. Z. Klusek, P.K. Datta, P. Byszewski, P. Kowalczyk, W. Kozłowski, “*Scanning tunnelling microscopy and spectroscopy of Y-junction in carbon nanotubes*”, Surface Science 507-510, 577-581 (2002), IF: 2.140.

Wkład habilitanta: Moje oprogramowanie używane było do analizy danych. Uczestniczyłem

również w pracach nad redakcją manuskryptu. Mój wkład procentowy oceniam na 5%.

m-4. A. Basua, A.W. Brinkman, Z. Klusek, P.K. Datta, P. Kowalczyk, *“In situ study of the effect of temperature on the electronic structure of $Ni_xMn_{3-x}O_{4+\delta}$ thin films using scanning tunneling spectroscopy”*, Journal of Applied Physics 92, 4123-4125 (2002), IF: 2.281

Wkład habilitanta: Pomiary STM/STS, analiza danych pomiarowych oraz dyskusja wyników. Mój wkład procentowy oceniam na 15%.

m-5. E. Kowalska, J. Radomska, P. Byszewski, P. Kowalczyk, M. Kozłowski, H. Lange, W. Olejniczak, *„Mikroskopowe obserwacje nanorurek węglowych wytworzonych metodą katalicznego rozkładu węglowodorów”*, Zeszyty Naukowe PW seria Elektronika 143, 139 (2002).

Wkład habilitanta: Pomiary STM/STS, analiza danych pomiarowych oraz dyskusja wyników. Mój wkład procentowy oceniam na 15%.

m-6. Z. Klusek, Z. Waqar, W. Kozłowski, P. Kowalczyk, E. Denisov, I. Makarenko, T. Kompaniets, A.N. Titkov, P.K. Datta, *“Identification of tetrahedral amorphous carbon clusters on atomic hydrogen-etched graphite surface by scanning tunneling microscopy/spectroscopy”*, Applied Surface Science 187, 28-36 (2001), IF:1.068.

Wkład habilitanta: Moje oprogramowanie używane było do analizy danych. Uczestniczyłem również w pracach nad redakcją manuskryptu. Mój wkład procentowy oceniam na 5%.

m-7. Z. Klusek, P. Kowalczyk, P. Byszewski, *“Investigations of electronic structure of capped carbon nanotubes by scanning tunneling spectroscopy”*, Vacuum 63, 145-150 (2001), IF: 0.541

Wkład habilitanta: Uczestniczyłem w pomiarach STM/STS oraz analizie wyników. Współuczestniczyłem w tworzeniu manuskryptu. Mój wkład procentowy oceniam na 35%.

m-8. Z. Klusek, P. Byszewski, P. Kowalczyk, *“Investigations of Electronic Structure of Topological Defects in Carbon Nanotubes by Scanning Tunneling Spectroscopy and Current Imaging Tunneling Spectroscopy”*, Electron Technology 33(3), 355-360 (2000).

Wkład habilitanta: Uczestniczyłem w pomiarach STM/STS oraz analizie wyników. Mój wkład procentowy oceniam na 35%.

Sumaryczny *impact factor* dla powyższych prac wynosi **6.782**.

Suma cytowań powyższych prac wynosi: **45**.

Dane w oparciu o *Web of Science*.

5.9. *Spis komunikatów konferencyjnych*

Poniżej przedstawiona jest lista komunikatów konferencyjnych, które prezentowałem osobiście w tym 11 referatów ustnych i 14 prezentacji posterowych. Pełna lista moich komunikatów konferencyjnych liczy 85 pozycji.

Prezentacje ustne:

- po-1. **Referat:** P. Kowalczyk, W. Kozłowski, M. Rogala, P. Dąbrowski, A. Busiakiewicz, I. Własny, Z. Klusek, “*Bizmuten! : własności elektronowe dwuwymiarowego bizmutu w strukturze czarnego fosforu*”, I Krajowa Konferencja „Grafen i inne materiały 2D”, 27 – 29/09/2015, Szczecin Polska
- po-2. **Referat:** M. Rogala, P.J. Kowalczyk, W. Kozłowski, A. Busiakiewicz, I. Własny, L. Lipinska, R. Kozinski, K. Librant, P. Dabrowski, J.M. Baranowski, K. Szot, Z. Klusek, “The Limits of graphene oxide application in construction of ReRAM devices”, Advanced Materials & Nanotechnology 7, 8 – 12/02/2015, Nelson, New Zealand
- po-3. **Referat:** P.J. Kowalczyk, O. Mahapatra, S.A. Brown, G. Bian, X. Wang and T.C. Chiang, “*Quantum size effects in ultra thin bismuth*”, 6th International Conference on Advanced Materials and Nanotechnology, 11-15 February 2013, Auckland, New Zealand (oral)
- po-4. **Referat:** P. J. Kowalczyk, O. Mahapatra, S. A. Brown, “*Bismuth on graphite: origin of the Moire pattern*”, 6th International Conference on Scanning Probe Spectroscopy and 4th International Workshop on Spin-Polarized Scanning Tunneling Microscopy, September 9-12, 2012 Timmendorfer Strand, Germany
- po-5. **Referat:** P.J. Kowalczyk, O. Mahapatra, S.A. Brown, G. Bian, X. Wang, T.-C. Chiang, “*Quantum well states and quantum size effects in thin bismuth films*”, The 24th Conference of the EPS Condensed Matter Division (CMD-24), the 29th European Conference on Surface Science (ECOSS-29), the 11th European Conference on Surface Crystallography and Dynamics (ECSCD-11), and the 2012 UK Condensed Matter and Materials Physics Conference (CMMP-12), 3 – 5 September 2012, Edinburgh, United Kingdom
- po-6. **Referat:** P.J. Kowalczyk, O. Mahapatra, S.A. Brown, “*Unusual oxidation of bismuth thin films*”, 5th International Workshop on Surface Physics, 2 – 5 September 2011, Ladek-Zdroj, Poland

- po-7. **Referat:** P.J. Kowalczyk, O. Mahapatra, S.A. Brown, “*Quantum size effects in bismuth films*”, 28th European Conference on Surface Science, 28 August – 2 September 2011, Wroclaw, Poland
- po-8. **Referat:** P.J. Kowalczyk, O. Mahapatra, S.A. Brown, “*Bismuth on graphite – STM/STS studies of electronic structure of ultra-thin films*”, 5th International Conference on Advanced Materials and Nanotechnology (AMN-5), 7-11 February 2011, Wellington, New Zealand
- po-9. **Referat:** Pawel J. Kowalczyk, David N. McCarthy, Ojas Mahapatra, Simon A. Brown, “*Electronic structure, Moire patterns and reconstructions – the curious case of bismuth islands on graphite*”, 18th International Vacuum Congress (IVC-18), 23-27 August 2010, Beijing, China
- po-10. **Referat:** Pawel J. Kowalczyk, David N. McCarthy, Joel Rayen, Witold Kozłowski, and Simon A. Brown, “*STM investigations of Bi islands deposited on HOPG*”, 2010 International Conference On Nanoscience and Nanotechnology (ICONN 2010), 22- 26th February 2010, Sydney, Australia (oral)
- po-11. **Referat:** P. Kowalczyk, W. Kozłowski, W. Olejniczak, P.K. Datta, Z. Klusek, “*Wysokotemperaturowe badania spektroskopowe i topograficzne złota o orientacji (111)*”, III Seminarium “Badania prowadzone metodami skaningowej mikroskopii bliskich oddziaływań” STM/AFM 2004, Zakopane Polska, 1 – 5 grudnia 2004

Prezentacje posterowe:

- pp-1. **Poster:** P. J. Kowalczyk, M. Rogala, I. Wlasny, P. Dabrowski, A. Busiakiewicz, W. Kozłowski, L. Lipinska, J. Jagiello, M. Aksienionek, W. Strupinski, A. Krajewska, Z. Sieradzki, I. Karaduman, I. Krucinska, M. Puchalski, E. Skrzetuska, Z. Klusek, “*The reduction of inkjet-printed graphene oxide: the final step for production of transparent and flexible electronics*”, Graphene Week 2015, 22 – 26/06/2015, Manchester, United Kingdom
- pp-2. **Poster:** M. Rogala, I. Wlasny, P. Dabrowski, P. J. Kowalczyk, A. Busiakiewicz, W. Kozłowski, L. Lipinska, J. Jagiello, M. Aksienionek, W. Strupinski, A. Krajewska, Z. Sieradzki, I. Krucinska, M. Puchalski, E. Skrzetuska, Z. Klusek, “*The inkjet technology with graphene oxide dispersion for flexible electronics*”, ImagineNano Graphene 2015, 10 – 13/03/2015, Bilbao, Spain

- pp-3. **Poster:** M. Rogala, P.J. Kowalczyk, W. Kozłowski, A. Busiakiewicz, L. Lipińska, J. Jagiełło, K. Librant, J.M. Baranowski, K. Szot, Z. Klusek, “*Resistive switching in graphene based materials*”, GRAPHEsp2014 - A European Conference/Workshop on the Synthesis, Characterization and Applications of Graphene, 18 - 21/2/2014, Lanzarote, Spain
- pp-4. **Poster:** M. Rogala, P.J. Kowalczyk, W. Kozłowski, A. Busiakiewicz, I. Wlasny, S. Pawłowski, G. Dobinski, M. Smolny, L. Lipinska, R. Kozinski, K. Librant, P. Dabrowski, J.M. Baranowski, K. Szot, Z. Klusek, “The nanoscale characterization of resistive switching in graphene oxide systems”, Graphene Week 2014, 23 - 27/6/2014, Gothenburg, Sweden
- pp-5. **Poster:** P. Kowalczyk, “*Jednowarstwowy bizmut i jego wasnoci*”, Seminarium STM/AFM 2012, Zakopane Polska, 28 listopada – 2 grudnia 2012
- pp-6. **Poster:** P.J. Kowalczyk, M. Rogala, P. Krukowski, M. Puchalski, P. Dąbrowski, W. Kozłowski, Z. Klusek, A. Busiakiewicz, W. Olejniczak, “*Spektroskopia tunelowa i jej aplikacje do badań metali I nanorurek węglowych*”, V Seminarium Badania prowadzone metodami skaningowej mikroskopii bliskich oddziaływań STM/AFM 2008, 26 – 30 listopada 2008, Zakopane
- pp-7. **Poster:** P. Kowalczyk, A. Busiakiewicz, W. Kozłowski, Z. Klusek, W. Olejniczak, M. Rogala, A. Huczko, H. Lange, M. Bystrzejewski, P. Byszewski, “*Badania nanorurek węglowych i nanowłókien z węglika krzemu technikami powierzchniowymi*”, II Krajowa konferencja Nanotechnologii, 25-28 June 2008, Kraków, Poland
- pp-8. **Poster:** P.J. Kowalczyk, P. Dąbrowski, M. Rogala, A. Busiakiewicz, W. Kozłowski, Z. Klusek, A. Huczko, S. Cudziło, K. Polański, “*Chemical characterization and morphology investigations of SiC nanowires*”, 3rd International Workshop on Surface Physics Nanostructures on Surfaces, 10 – 15 September 2007, Polanica Zdrój, Poland
- pp-9. **Poster:** P. Kowalczyk, A. Busiakiewicz, W. Kozłowski, Z. Klusek, W. Olejniczak, M. Rogala, P. Byszewski, A. Huczko, P. Datta, “*Badania nanowłókien węglowych i węglowo-krzemowych technikami powierzchniowymi*”, IV Seminarium Badania prowadzone metodami skaningowej mikroskopii bliskich oddziaływań STM/AFM 2006, 6 – 10 grudnia 2006, Zakopane
- pp-10. **Poster:** P. Kowalczyk, Z. Klusek, W. Olejniczak, and P. K. Datta, “*HT-STM Investigations of Resonant Image States on Au(111)*”, 4th International Conference on Scanning Probe Spectroscopy (SPS'06) and 1st International Workshop on Spin-Polarized Scanning

Tunneling Microscopy (SPSTM-1), Hamburg, Germany, 23-26 July 2006

- pp-11. **Poster:** P. Kowalczyk, W. Kozłowski, Z. Klusek, W. Olejniczak, P.K. Datta, “*STM/STS investigations of Au (111) surface state position at high temperature*”, International Workshop on Surface Physics 2005, ECOSS-23 Satellite, Advanced and Bio-Materials, Polanica Zdrój, Poland, 10-13 September 2005
- pp-12. **Poster:** P. Kowalczyk, Z. Klusek, P. Byszewski, W. Olejniczak, “*STM/STS investigations of carbon nanotube junctions*”, Jubilee conference “From thin films to nanostructures”, Łódź, Poland, 30 August – 02 September 2004
- pp-13. **Poster:** P. Kowalczyk, W. Kozłowski, A. Busiakiewicz, S. Pierzgalski, W. Olejniczak, P.K. Datta, Z. Klusek, “*High-temperature Scanning Tunneling Spectroscopy of Au (111)*”, 3rd International Symposium on Scanning Probe Spectroscopy and Related Methods, Poznan, Poland, 16-19 July 2003
- pp-14. **Poster:** P. Kowalczyk, Z. Klusek, P.K. Datta, W. Olejniczak, “*Badanie struktury elektronowej zagięcia wiązki nanorurek węglowych przy użyciu techniki STM/STS*”, Seminarium STM/AFM, Zakopane, Poland, 4–8 December 2002

6. Literatura

- [1] **Mohan, R. (2010).** *Green bismuth*, Nat Chem 2 : 336-336.
- [2] **Hofmann, P. (2006).** *The surfaces of bismuth: Structural and electronic properties*, Prog. Surf. Sci. 81 : 191 - 245.
- [3] **Lutskii, V. N. (1965).** *Features of Optical Absorption of Metallic Films in the Region Where the Metal Turns Into a Dielectric*, ZhETF Pis ma Redaktsiiu 2 : 391.
- [4] **Edel'man, V. S. (1976).** *Electrons in bismuth*, Adv. Phys. 25 : 555-613.
- [5] **Wada, M.; Murakami, S.; Freimuth, F. and Bihlmayer, G. (2011).** *Localized edge states in two-dimensional topological insulators: Ultrathin Bi films*, Phys. Rev. B 83 : 121310.
- [6] **Lu, Y.; Xu, W.; Zeng, M.; Yao, G.; Shen, L.; Yang, M.; Luo, Z.; Pan, F.; Wu, K.; Das, T.; He, P.; Jiang, J.; Martin, J.; Feng, Y. P.; Lin, H. and Wang, X.-s. (2015).** *Topological Properties Determined by Atomic Buckling in Self-Assembled Ultrathin Bi(110)*, Nano Lett. 15 : 80-87.
- [7] **Nagao, T.; Sadowski, J. T.; Saito, M.; Yaginuma, S.; Fujikawa, Y.; Kogure, T.; Ohno, T.; Hasegawa, Y.; Hasegawa, S. and Sakurai, T. (2004).** *Nanofilm Allotrope and Phase Transformation of Ultrathin Bi Film on Si(111)-7x7*, Phys. Rev. Lett. 93 : 105501.
- [8] **Fournée, V.; Sharma, H. R.; Shimoda, M.; Tsai, A. P.; Unal, B.; Ross, A. R.; Lograsso, T. A.**

and Thiel, P. A. (2005). *Quantum Size Effects in Metal Thin Films Grown on Quasicrystalline Substrates*, Phys. Rev. Lett. 95 : 155504.

[9] **Scott, S. A.; Kral, M. V. and Brown, S. A. (2005).** *Growth of oriented Bi nanorods at graphite step-edges*, Phys. Rev. B 72 : 205423.

[10] **Scott, S.; Kral, M. and Brown, S. (2005).** *A crystallographic orientation transition and early stage growth characteristics of thin Bi films on HOPG*, Surf. Sci. 587 : 175-184.

[11] **Scott, S. A.; Kral, M. V. and Brown, S. A. (2006).** *Bi on graphite: Morphology and growth characteristics of star-shaped dendrites*, Phys. Rev. B 73 : 205424.

Spis treści

1. Imię i Nazwisko.....	1
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.....	1
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	1
4. Wskazanie osiągnięcia naukowego.....	2
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego.....	2
4.2. Spis prac składających się na osiągnięcie naukowe.....	2
4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.....	3
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych.....	13
5.1. Informacje ogólne.....	13
5.2. Lista nagród.....	13
5.3. Lista krótkoterminowych wyjazdów zagranicznych.....	14
5.4. Lista projektów krajowych.....	14
5.5. Przebieg pracy naukowej przed doktoratem.....	15
5.6. Przebieg pracy naukowej po doktoracie.....	17
5.7. Działalność dydaktyczna i organizatorska.....	21
5.8. Spis publikacji wraz z określeniem współudziału w ich powstaniu.....	22
5.9. Spis komunikatów konferencyjnych.....	30
6. Literatura.....	33

Kowalski