XI Workshop on Applications of Scanning Probe Microscopy STM/AFM 2022

Zakopane, 30 November - 4 December 2022

Book of Abstracts

Faculty of Physics, Astronomy and Applied Computer Science

Jagiellonian University in Krakow



JAGIELLONIAN UNIVERSITY
IN KRAKÓW

Cover design: Piotr Piątkowski

Composition and editing of the book of abstracts: Benedykt R. Jany

Editorial committee of the book of abstracts:

Benedykt R. Jany, Piotr Piątkowski, Franciszek Krok

©Copyright by Authors, Kraków 2022

Printed from ready-made materials delivered to the printing house of the Rafael publishing

Publisher:

Faculty of Physics, Astronomy and Applied Computer Science

Jagiellonian University in Krakow

ul. Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków, Polska

typesetting made with LibreOffice free and open source software

Scientific Committee:

prof. dr hab. inż. Teodor Gotszalk – Politechnika Wrocławska
dr hab. Paweł Kowalczyk, prof. UŁ – Uniwersytet Łódzki
prof. dr hab. Mariusz Krawiec – UMCS, Lublin
prof. dr hab. Małgorzata Lekka – IFJ PAN, Kraków
prof. dr hab. Robert Nowakowski – IChF PAN, Warszawa
prof. dr hab. Marek Nowicki – Uniwersytet Wrocławski
dr hab. Arkadiusz Ptak, prof. PP – Politechnika Poznańska
dr hab. Bartosz Such, prof. UJ – Uniwersytet Jagielloński
dr hab. Robert Szoszkiewicz, prof. UW – Uniwersytet Warszawski
prof. dr hab. Franciszek Krok – Uniwersytet Jagielloński

STM/AFM 2022 Zakopane

We have a great pleasure to invite you for the XI Workshop on Applications of Scanning Probe Microscopy – STM/AFM 2022 which will be held in Zakopane from Wednesday, November 30 to Sunday, December 4, 2022, at the HYRNY Hotel (http://www.hyrny.pl/). The Workshop is organized by the Centre for Nanometer-scale Science and Advanced Materials, NANOSAM, of the Faculty of Physics, Astronomy, and Applied Computer Sciences, Jagiellonian University in Krakow, Poland.

The main goal of the Workshop series is to gather scientists who are or who would like to be involved in surface science research using Scanning Probe Microscopy (SPM). These SPM methods include Scanning Tunneling Microscopy (STM), Atomic Force Microscopy (AFM), and other related techniques operating in ultra-high vacuum environment and liquid/gas atmospheres. We wish the Workshop to be an interdisciplinary meeting for participants representing different theoretical and experimental disciplines of scientific research.

We cordially invite you to attend the STM/AFM 2022 Workshop in Zakopane. We hope that you will enjoy not only the scientific atmosphere during the conference, but also the charm of Zakopane, the heart of the Polish Tatra Mountains at the beginning of the winter season.

With kind regards

Franciszek Krok and Bartosz Such

Chairmen of the STM/AFM 2022 Workshop

Local Organization Commitee:

prof. dr hab. Franciszek Krok

dr hab. Bartosz Such, prof. UJ

mgr Magdalena Halastra - Secretary

mgr Dorota Świerz - Secretary

mgr inż. Piotr Piątkowski

dr inż. Rafał Zuzak, webmaster

dr Benedykt R. Jany

dr Konrad Szajna

Exhibitors

A.P. Instruments

COMEF Sp. z o.o. Sp. k.

Instytut Fotonowy sp. z o.o.

LABSOFT Sp. z o.o.

Mad City Labs GmbH

Measline sp. z o.o.

NanoAndMore GmbH

nanoscore gmbh

PIK Instruments sp. z o.o.

PREVAC sp. z o.o.

Technolutions Sp. z o.o.

Table of Contents

Venue....8

Scientific Program....9

Invited Speakers....14

Wednesday, 30 November 2022....17

Thursday, 1 December 2022....21

Friday, 2 December 2022....59

Saturday, 3 December 2022....77

Posters....113

Catalogue of Companies....157

List of Authors....171

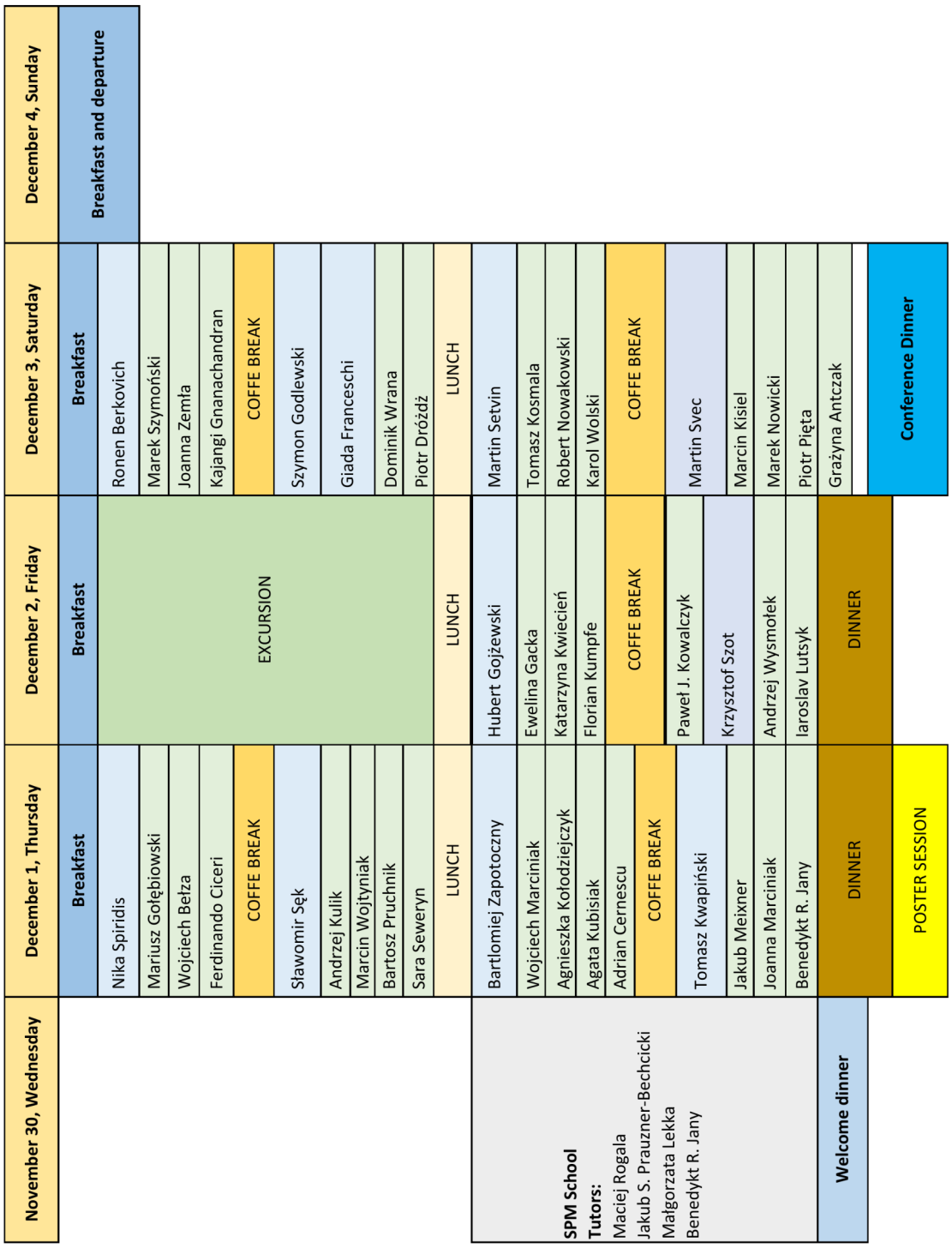
Venue

The XI Workshop on Applications of Scanning Probe Microscopy – STM/AFM 2022 and accommodation will be held at the Conference and Recreation Center "HYRNY" in Zakopane, Poland, 20 Pilsudski Street, on November 30 - December 4, 2022.

Conference and Recreation Center "Hyrny" is located on Pilsudski Street (running from Krupowki to ski jumping hill "Wielka Krokiew"). From the hotel windows there is a magnificent view of the Tatra Mountains and the surrounding area. There will be accommodation available in single and double rooms. The rooms are with bathrooms and toilets, equipped with satellite TV, telephones, internet, some of them are with balconies. There is a dining room, a cafe, a swimming pool, a conference room for 280 people, air-conditioned, equipped with state-of-the-art equipment, and four rooms each for about 30 people. There is also a Wellness Center.



Scientific Program



Wednesday 30.11.2022 SPM School		
13:30 - 14:30	**lunch**	
14:40 – 15:25	Wstęp do SPM/STM	**dr Maciej Rogala** Uniwersytet Łódzki
15:35 – 16:20	Mikroskopia AFM	**dr hab. Jakub S. Prauzner Bechcicki, prof. UJ** Uniwersytet Jagielloński w Krakowie
16:20-16:45	**coffe break**	
16:45 – 17:30	Zastosowanie SPM w biologii	**prof. dr hab. Małgorzata Lekka** Instytut Fizyki Jądrowej PAN
17:40 – 19:00	Automatyczna analiza obrazów za pomocą technik Machine Learning (wykład+warsztaty)	**dr Benedykt R. Jany** Uniwersytet Jagielloński w Krakowie
19:00 - 20:30	**dinner**	

Thursday 1.12.2022			
09:00 - 09:30	*Struktura i reaktywność powierzchni Fe3O4(111)*	**Nika Spiridis**	Invited
09:35 - 09:55	Synteza antymonenu na ferromagnetycznym podłożu Au/Fe/Au	**Mariusz Gołębiowski**	contributed
10:00 - 10:20	N-substituted pentacene's derivative thin film growth on TiO2(110): morphology and electronic properties	**Wojciech Bełza**	contributed
10:25 - 10:45	MCL Nanopositioning and Instrumentation: down to 5pm resolution	**Ferdinando Ciceri**	contributed
10:45 - 11:15	**coffe break**		
11:15 - 11:45	In situ SPM characterization of lipid films supported on solid surfaces	**Sławomir Sęk**	Invited
11:50 - 12:10	"Magic" features of an AFM leading to highly cited publications	**Andrzej Kulik**	contributed
12:15 - 12:35	EFFECT OF COMPRESSION AND FUNCTIONALIZATION ON MECHANICAL PROPERTIES OF SBA-15 PELLETS	**Marcin Wojtyniak**	contributed
12:40 - 13:00	OSTRZA PRZEZNACZONE DO PRZEWODZĄCEJ MIKROSKOPII SIŁ ATOMOWYCH WYTWARZANE METODĄ OSADZANIA WSPOMAGANEGO ZOGNISKOWANĄ WIĄZKĄ ELEKTRONÓW I JONÓW	**Bartosz Pruchnik**	contributed
13:05 - 13:25	Zastosowanie wzmocnionej na ostrzu spektroskopii Ramana (TERS) do badań struktury drugorzędowej białek	**Sara Seweryn**	contributed
13:30 - 14:30	**lunch**		
15:00 - 15:30	In vitro pharmacology on a single cell - application of atomic force spectroscopy in multiparametric imaging of drug-induced alterations	**Bartłomiej Zapotoczny**	Invited
15:35 - 15:55	Symulacje dynamiki molekularnej w kontekście poszukiwania leków na COVID-19	**Wojciech Marciniak**	contributed
16:00 - 16:20	Rola parametru sprężystości w ocenie toksycznego działania nanostruktur na komórki śródbłonkanaczyniowego	**Agnieszka Kołodziejczyk**	contributed
16:25 - 16:45	Zmiany nanomechaniczne w komórkach zainfekowanych wirusem SARS-CoV-2	**Agata Kubisiak**	contributed
16:50 - 17:10	s-SNOM technology for nanoscale analytics	**Adrian Cernescu**	contributed
17:10 - 17:30	**coffe break**		
17:30 - 18:00	Topografia STM łańcuchów atomowych: stany rezonansowe, ciemne i topologiczne	**Tomasz Kwapiński**	Invited ; UHV
18:05 - 18:25	First principles studies of Fe-fcc thin films	**Jakub Meixner**	contributed
18:30 - 18:50	Obliczenia DFT właściwości magnetycznych układu objętościowego i cienkich warstw fazy L10 FePt	**Joanna Marciniak**	contributed
18:55 - 19:15	Into the origin of electrical conductivity for the metal-semiconductor junction at the atomic level	**Benedykt R. Jany**	contributed
19:30 - 20:30	**dinner**		
20:30 - 21:30	**Poster session**		

Friday 2.12.2022			
09:00 - 13:00	**Excursion**		
13:30 - 14:30	**lunch**		
15:00 - 15:30	*Determining the structure-property relationships in heterogenous polymers by AFM*	**Hubert Gojżewski**	Invited
15:35 - 15:55	Zastosowanie mikroskopii elektronowej i jonowej do wytwarzania ostrzy stosowanych w mikroskopii bliskich oddziaływań	**Ewelina Gacka**	contributed
16:00 - 16:20	Charakteryzacja wpływu metod oczyszczania na morfologię powierzchni PtSe2	**Katarzyna Kwiecień**	contributed
16:25 - 16:45	Unravelling Molecular Dynamics with High-Speed Atomic Force Microscopy Reaching 50 frames/sec	**Florian Kumpfe**	contributed
16:45 - 17:15	**coffe break**		
17:15 - 18:05	Od grafitu do hybrydowych układów dwuwymiarowych ze sprzężeniem spin-orbita: badania prof. Zbigniewa Kluska	**P.J. Kowalczyk**	contributed
18:10 - 18:40	*Manipulacja w nanoskali właściwości fizyko-chemicznych powierzchni tlenków metali przejściowych. Wykład poświęcony pamięci Pana Profesora Zbigniewa Kluska*	**Krzysztof Szot**	Invited
18:45 - 19:05	O grafenie z Kluskiem	**Andrzej Wysmołek**	contributed
19:10 - 19:30	Badanie struktury elektronowej heterostruktur opartych na grafenie oraz TMDC	**Iaroslav Lutsyk**	contributed
19:30 - 20:30	**dinner**		

Saturday 3.12.2022			
09:00 - 09:30	Single molecule force spectroscopy reveals history dependent kinetics (aging) in sequential unfolding of poly-proteins under tension	**Ronen Berkovich**	Invited
09:35 - 09:55	TUNING PLASMONIC INTERACTIONS BY NANOENGINEERING OF AFM TIP-SURFACE GAP JUNCTIONS	**Marek Szymoński**	contributed
10:00 - 10:20	Rheological properties of suspended melanoma cells under compression and oscillatory shear	**Joanna Zemła**	contributed
10:25 - 10:45	Atomic and Hydraulic Force Spectroscopy: potential tools for mechanical and microrheological markers in cancer diagnosis.	**Kajangi Gnanachandran**	contributed
10:45 - 11:15	**coffe break**		
11:15 - 11:45	On-surface synthesis of higher acenes and nanographenes	**Szymon Godlewski**	Invited
11:50 - 12:20	Model mineral surfaces and their interaction with water investigated with nc-AFM	**Giada Franceschi**	Invited
12:25 - 12:45	Ferroelectric perovskite oxide surfaces	**Dominik Wrana**	contributed
12:50 - 13:10	STEROWANIE NIEPRĘŻENIAMI W ANTYMONENIE	**Piotr Dróżdż**	contributed
13:30 - 14:30	**lunch**		
15:00 - 15:30	Tracking single electrons by STM/AFM	**Martin Setvin**	Invited
15:35 - 15:55	Storage of atomic hydrogen in the 2D confined space: in operando visualization of the protons intercalation under the graphene layer	**Tomasz Kosmala**	contributed
16:00 - 16:20	POLYMORPHISM IN TWO- AND THREE-DIMENSIONAL SUPRAMOLECULAR ORGANIZATIONS OF ORGANIC SEMICONDUCTORS	**Robert Nowakowski**	contributed
16:25 - 16:45	MIKROSKOPIA SIŁ ATOMOWYCH W BADANIU ZMIAN KONFORMACYJNYCH MIESZANYCH NANOSZCZOTEK POLIMEROWYCH	**Karol Wolski**	contributed
16:45 - 17:15	**coffe break**		
17:15 - 17:45	*Advances in Single-Molecule Optical Spectroscopy with Scanning Probe technique*	**Martin Svec**	Invited
17:50 - 18:10	Magnetic phase transition in monolayer MoS2 detected with AFM	**Marcin Kisiel**	contributed
18:15 - 18:35	Porphyrin layers at Cu/Au(111)-electrolyte interface: EC-STM study	**Marek Nowicki**	contributed
18:40 - 19:00	AFM STUDIES OF THE INTERACTION MECHANISMS OF MEMBRANE-ACTIVE PEPTIDES WITH MODEL CELL MEMBRANES	**Piotr Pięta**	contributed
19:05 - 19:25	Attenuation of Photoelectron Emission by a Single Organic Layer	**Grażyna Antczak**	contributed
20:00 - 22:00	**Conference dinner**		

Invited Speakers

Ronen Berkovich, Ben Gurion University of the Negev

Single molecule force spectroscopy reveals history dependent kinetics (aging) in sequential unfolding of poly-proteins under tension

---

Giada Franceschi, Technische Universität Wien

Model mineral surfaces and their interaction with water investigated with nc-AFM

Szymon Godlewski, Uniwersytet Jagielloński

On-surface synthesis of nanographenes

Hubert Gojżewski, University of Twente

Determining the structure-property relationships in heterogenous polymers by AFM

Tomasz Kwapiński, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej

Topografia STM łańcuchów atomowych ze stanami ciemnymi

Martin Setvin, Charles University in Prague

Tracking single electrons by STM/AFM

Sławomir Sęk, Uniwersytet Warszawski

In situ SPM characterization of lipid films supported on solid surfaces

---

Nika Spiridis, Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN im. Jerzego Habera

Struktura i reaktywność powierzchni Fe3O4(111)

Martin Švec, Institute of Physics, Czech Academy of Science

Advances in Single-Molecule Optical Spectroscopy with Scanning Probe technique

---

Krzysztof Szot, Uniwersytet Śląski/aixACCT Systems GmbH, Aachen

Manipulacja w nanoskali właściwości fizyko-chemicznych powierzchni tlenków metali przejściowych. Wykład poświęcony pamięci Pana Profesora Zbigniewa Kluska

---

Bartłomiej Zapotoczny, Instytut Fizyki Jądrowej PAN

Farmakologia in vitro na pojedynczej komórce - zastosowanie spektroskopii sił atomowych w wieloparametrowym obrazowaniu zmian wywołanych lekiem

---

Wednesday, 30 November 2022

VII Szkoła skaningowej mikroskopii i spektroskopii bliskich oddziaływań SPM

- dr Maciej Rogala, Uniwersytet Łódzki - Wstęp do SPM/STM
- dr hab. Jakub S. Prauzner Bechcicki, prof. UJ, Instytut Fizyki Uniwersytet Jagielloński - Mikroskopia AFM
- prof. dr hab. Małgorzata Lekka, Instytut Fizyki Jądrowej PAN - Zastosowanie SPM w biologii
- dr Benedykt R. Jany, Instytut Fizyki Uniwersytet Jagielloński - Automatyczna analiza obrazów za pomocą technik Machine Learning

Ostatniemu wykładowi będą towarzyszyć warsztaty, zatem uczestnicy, w miarę możliwości, powinni mieć komputery by jak najwięcej z nich skorzystać.

NOTES

Thursday, 1 December 2022

STRUKTURA I REAKTYWNOŚĆ POWIERZCHNI $Fe_3O_4(111)$

Nika Spiridis[1,*]

[1]Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera Polskiej Akademii Nauk

[*]autor korespondencyjny: nika.spiridis@ikifp.edu.pl

Tlenki żelaza ze względu na swoje właściwości fizykochemiczne, powszechnie występowanie i nietoksyczność są atrakcyjnymi materiałami do zastosowań w katalizie i spintronice.

Powierzchnia o orientacji (111) jest najbardziej stabilną powierzchnią magnetytu (Fe_3O_4) i występuje powszechnie w środowisku naturalnym. Jednocześnie jest bardzo heterogeniczna, jeśli warunki jej formowania odbiegają od równowagowych. Pojawiają się wówczas niejednorodności określane w literaturze jako „bifaza" [1], które znacząco zmieniają właściwości adsorpcyjne powierzchni.

Zaprezentowane zostaną badania struktury powierzchniowej cienkich epitaksjalnych warstw magnetytu o kontrolowanej stechiometrii wytworzonych na monokrysztale Pt(111), które umożliwiły zaproponowanie modelu struktury powierzchniowej wyjaśniającego wszystkie rodzaje obserwowanych na powierzchni $Fe_3O_4(111)$ nadstruktur bifazy. Przedstawione zostaną też badania porównawcze adsorpcji tlenku węgla (CO) na $Fe_3O_4(111)$ z niezrekonstruowaną, tzw. „regularną" terminacją powierzchni oraz adsorpcji CO na powierzchni z nadstrukturami bifazy.

Struktura powierzchniowa warstw analizowana była za pomocą dyfrakcji elektronów niskoenergetycznych (LEED) oraz skaningowej mikroskopii tunelowej (STM), natomiast wiarygodną metodą oznaczania stechiometrii warstw była spektroskopia mössbauerowska elektronów konwersji (CEMS) zastosowana *in situ* w warunkach UHV.

[1] N. Condon, F. Leibsle, T. Parker, A. Lennie, D. J. Vaughan, and G. Thornton, Phys. Rev. B 55, 15885 (1997).

NOTES

Synteza antymonenu na ferromagnetycznym podłożu Au/Fe/Au

Mariusz Gołębiowski*, Tomasz Jaroch, Ryszard Zdyb

Instytut Fizyki, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, pl. Marii Curie-Skłodowskiej 1, 20-031 Lublin

*autor korespondencyjny: mariuszgolebiowski47@gmail.com

Od czasu pierwszej syntezy antymonenu nieustannie poszukuje się nowych metod pozyskiwania tego materiału na szeroką skalę. Dotychczas poznane sposoby wytwarzania antymonenu obejmują mikromechaniczną eksfoliację, eksfoliację z użyciem rozpuszczalnika oraz wzrost epitaksjalny [1]. Synteza ferromagnetycznego antymonenu powiększyłaby szeroką gamę potencjalnych zastosowań tego materiału oraz otworzyłaby drogę do badań eksperymentalnych i teoretycznych nad zjawiskami związanymi z transportem spinowo spolaryzowanych ładunków elektrycznych. Celem niniejszych badań było wytworzenie antymonenu na ferromagnetycznym podłożu poprzez wzrost epitaksjalny.

Aparaturę użytą w doświadczeniach stanowił mikroskop SPLEEM (Spin Polarized Low Energy Electron Microscope) wykorzystujący zjawisko odbicia niskoenergetycznych elektronów w celu obrazowania powierzchni próbki. Podczas eksperymentów korzystano z dwóch modów pracy mikroskopu: LEEM (Low Energy Electron Microscope) oraz LEED (Low Energy Electron Diffraction). Pierwszy z nich umożliwia tworzenie obrazów powierzchni próbki w czasie rzeczywistym, natomiast drugi umożliwia kreację obrazów dyfrakcyjnych.

Podczas badań, jako podłoża, wykorzystywano ferromagnetyczne układy warstwowe *n* ML Au/1 ML Fe/Au/W(110) (*n*=0, 1, 2) [2]. Wzrost warstw Au/Fe/Au kontrolowany był w modach LEEM i LEED. Dla trzech konfiguracji grubości ww. podłoża udało się pomyślnie wytworzyć antymonen. Główna trudność tego zadania polegała na dobraniu odpowiednich warunków sprzyjających wytworzeniu stabilnej struktury materiału dwuwymiarowego. W następnym kroku badane będą właściwości ferromagnetyczne przygotowanych warstw antymonenu.

Badania zostały wykonane w ramach grantu Narodowego Centrum Nauki nr. 2020/37/B/ST5/03540.

[1] S. Zhang *et al*, „Recent progres in 2D group-VA semiconductors: from theory to experiment”, Chem. Soc. Rev. 47, 982 (2018)
[2] R. Zdyb *et al*, „Tuning Ferromagnetism in a Single Layer of Fe above Room Temperature”, Materials 15, 1019 (2022)

NOTES

N-substituted pentacene's derivative thin film growth on TiO_2(110): morphology and electronic properties

W. Bełza[1], K. Szajna[1], K. Cieślik[1], M. Kratzer[2], A. Matković[2], C. Teichert[2], M. Krawiec[3], O. Siri[4], F. Krok[1]

[1] *Institute of Physics, Jagiellonian University, ul. Lojasiewicza 11, 30-348 Krakow, Poland*
[2] *Montanuniversitaet Leoben, Franz Josef Straße 18, 8700 Leoben, Austria,*
[3] *Institute of Physics, Maria Curie-Sklodowska University, 20-031 Lublin, Poland*
[4] *Aix Marseille Université, CINAM, UMR 7325, Campus de Luminy, 13288 Marseille, France*

We report on the investigation of the morphology and electronic properties of dihydro-tetraaza-pentacene (DHTAP) [1] thin films grown on rutile TiO_2(110) surfaces. The morphology of developed structures was studied by scanning microscopies (*in situ* STM and *ex-situ* AFM and SEM). Electronic properties were characterized by KPFM and TDS spectroscopy.

We have investigated the influence of different parameters of the molecular deposition process on the resulting DHTAP structures. The research concerned initial TiO_2(110) substrate surface topography, especially the concentration of surface step-edges, substrate temperature during deposition, and molecular coverage. Obtained results were confronted by density functional theory calculations and compared with the growth processes of the pentacene molecule. Regular pentacene deposition on TiO_2(110) leads to the formation of a compact monolayer (a wetting layer) with the molecular orientation strictly determined by the anisotropic substrate [2]. In contrast, the growing DHTAP's monolayer consists of molecules adopting different orientations with respect to the substrate atomic rows. Other dissimilarities are manifested in different work functions of the molecular features and in varying desorption energies. In the case of DHTAP multilayers, the molecules assemble into complex islands comprising multi-level "up-right standing" molecular arrangement.

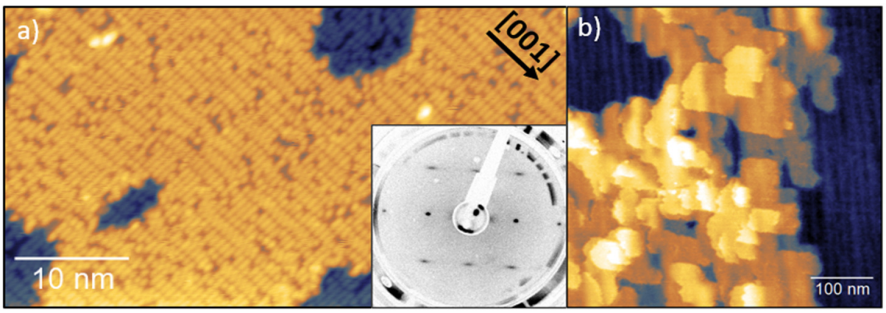


Fig. 1. a) UHV STM image of DHTA5 monolayer on TiO_2(110) substrate surface with LEED pattern (inset); b) Ambient AFM image of DHTA5 multilayer island on TiO_2(110) substrate.

[1] U.H.F. Bunz, *Pure Appl. Chem.*, 2010, 82, 4, 953–968,
[2] V. Lanzilotto et al, *J. Phys. Chem. C*, 2011, 115, 11, 4664-4672.

NOTES

MCL Nanopositioning and Instrumentation: down to 5pm resolution

Ferdinando Ciceri, CEng.
Sales Director - Mad City Labs GmbH
Schaffhauserstrasse 115 CH-8302 Kloten Switzerland
+41 79 137 25 35 ferdi@madcitylabs.eu

Abstract

Precise positioning plays a core role in cutting edge microscopy techniques in both the biological, fluorescence and nanotech probe scanning worlds. MCL piezo based scanners offer world class performance with closed loop resolution down to 5pm in linear stages and 10nrad angular one in rotational stages. All our metrology (interferometers, AFM, calibrations and data) is NIST traceable: MCL is the only nanopositioning company providing positions **noise spectral data** and **Calibrated AFM measurement** that are publicly available on http://madcitylabs.com/

Based on 20+ years experience in nanopositioning MCL also offers state of the art, open and modular atomic force microscopes based on resonant probes. These are capable to produce atomic step resolution and can be designed and be assembled by the user. The SPM-M kit packages together the phase lock loop controller (MadPLL), the necessary closed loop nanopositioners, AFMView software (this is LabView based): this automates many features such as auto Q calibration, approach to the surface etc.

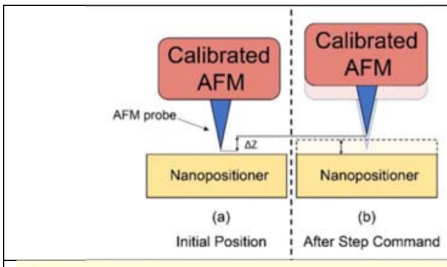


Fig 1: Schematic of a calibrated AFM measuring a nanopositioner's height. The initial height position is measured by the AFM in (a). When the Z-position of the nanopositioner is commanded to move by Δ Z in (b), the probe of the calibrated AFM also changes in height.

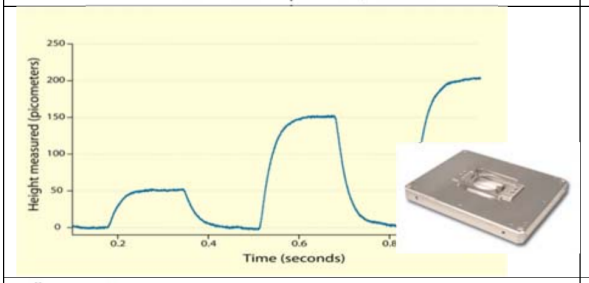


Fig 2: The AFM measured height position of the nanopositioner Z-axis (model Nano-LPQ) after known step commands. The step sizes commanded are (left to right) 50 pm, 150 pm, and 200 pm, commanded via 20bit USB while in closed-loop mode. Data shown is an average of several iterations of the same sequence of step commands.

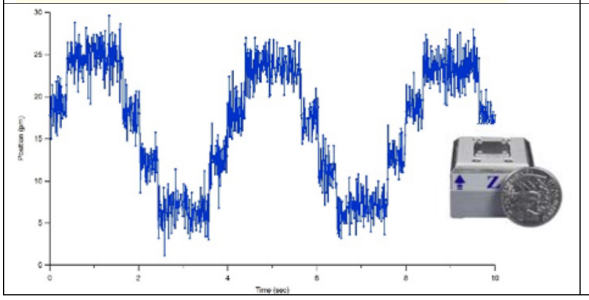


Fig 3: Nano-HS3M Z-axis, input 20pm p-p 0.5Hz sine wave via Mad City Labs USB interface 20 bit DAC. Sensor measured using Mad City Labs USB interface 24bit ADC. Acquisition rate 500Hz, averaged over 5 points. Measurement done in ambient conditions on a vibration isolation table with foam enclosure.

NOTES

IN SITU SPM CHARACTERIZATION OF LIPID FILMS SUPPORTED ON SOLID SURFACES

Sławomir Sęk[1,*]

[1]University of Warsaw, Faculty of Chemistry, Biological & Chemical Research Centre, Żwirki i Wigury 101, 02-089 Warsaw

[*]corresponding author: slasek@chem.uw.edu.pl

Scanning probe microscopy (SPM) proved to be a versatile tool for nanoscale investigations of the structure as well as properties of lipid films supported on solid surfaces. The latter establish simplified models mimicking the architecture of biological membranes. The most commonly used supports are hydrophilic and include glass, quartz, and mica. However, metal surfaces were demonstrated to be useful as well. Importantly, they show a certain advantage, since the structure of the supported film and its interactions with biomolecules can be probed in full electrochemical conditions. This enables the investigation of voltage-dependent membrane processes. Since SPM methods can be used under in situ conditions, dynamic processes related to adsorption or self-assembly at the solid-liquid interface can also be followed. For example, one of the most popular methods to obtain a supported lipid bilayer involves the fusion and spreading of small unilamellar vesicles (SUV). This process is quite well understood on hydrophilic surfaces, but the mechanism of SUVs spreading on gold surfaces is less obvious and more complex. The most direct way to address this problem is the use of nanoscale imaging techniques such as scanning tunneling microscopy (STM) and atomic force microscopy (AFM), which helped to reveal the detailed mechanism of SUV spreading on various surfaces including mica and gold.[1] Alternatively, new methods of lipid membrane formation were developed, which involve the self-assembly of bicelles. [2]

Regardless of the mechanisms of bilayer formation and the nature of the solid substrate, supported lipid membranes can also serve as platforms for the evaluation of the activity of membrane-penetrating agents like antimicrobial peptides or lipopeptides. These compounds have the ability to aggregate in the cellular membrane and form pores or fluidize the lipid films. By combining SPM with electrochemical techniques it is possible to follow the variations in lipid bilayer topography and correlate them with the changes in membrane permeability.[3]

[1] Pawłowski, J.; Juhaniewicz, J.; Guzeloglu, A.; Sek. S. Mechanism of Lipid Vesicles Spreading and Bilayer Formation on an Au(111) Surface, *Langmuir* 2015, 31, 40, 11012–11019. https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.5b01331

[2] Dziubak, D.; Strzelak, K.; Sek, S. Electrochemical Properties of Lipid Membranes Self-Assembled from Bicelles. *Membranes* 2021, 11, 11. https://dx.doi.org/10.3390/membranes 11010011

[3] Juhaniewicz-Dębińska, J.; Dziubak, D. Sek, S. Physicochemical Characterization of Daptomycin Interaction with Negatively Charged Lipid Membranes, *Langmuir* 2020, 36, 5324−5335. https://dx.doi.org/10.1021/acs.langmuir.0c00716

NOTES

"MAGIC" FEATURES OF AN AFM LEADING TO HIGHLY CITED PUBLICATIONS

A.J. Kulik[1,*]

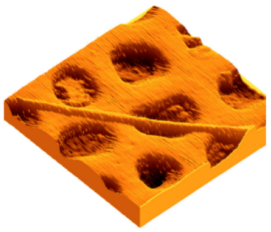
[1]EPFL-LBNI, 1015 Lausanne, Switzerland

[*]autor korespondencyjny: aj.kulik@gmail.com

Quantitative measurements of the nanoscale objects ask for proper tools. Specifically, we developed a method "nanoSwiss cheese" which allowed us to measure elastic properties of nanoscale objects. Influence of synthesis methods and of the temperature was studied.

Could those studies be performed using any AFM instrument ? Likely not. Requirements are not obvious and are rarely evaluated. Some of them are:

- excellent top-view optical microscope
- long-term positional stability, hardware linearized
- very low vertical drift (one night in contact)
- low noise of the instrument (few tens of pm)
- nanoindentation head with Berkovich tip - NOT cantilever based
- access to important signals



I will briefly present measurements referenced below, underlining importance of different parameters.

References (over 7'000 citations for all listed below)

Burnham, N A, O P Behrend, F Oulevey, G Gremaud, P J Gallo, D Gourdon, E Dupas, A J Kulik, H M Pollock, and GAD Briggs. 1997. "How Does a Tip Tap?." Nanotechnology 8 (2): 67.

Hengsberger, S, A Kulik, and P H Zysset. 2002. "Nanoindentation Discriminates the Elastic Properties of Individual Human Bone Lamellae Under Dry and Physiological Conditions." Bone 30 (1): 178–184.

Kis, A, S Kasas, B Babić, A J Kulik, W Benoit, GAD Briggs, C Schönenberger, S Catsicas, and L Forró. 2002. "Nanomechanics of Microtubules." Physical Review Letters 89 (24): 248101.

Kis, Andras, G Csanyi, J-P Salvetat, Thien-Nga Lee, E Couteau, A J Kulik, W Benoit, Juergen Brugger, and L Forró. 2004. "Reinforcement of Single-Walled Carbon Nanotube Bundles by Intertube Bridging." Nature Materials 3 (3): 153–157.

Salvetat, J-P, J M Bonard, N H Thomson, A J Kulik, L Forró, W Benoit, and L Zuppiroli. 1999. "Mechanical Properties of Carbon Nanotubes." Applied Physics A 69 (3): 255–260.

Salvetat, Jean Paul, Andrzej J Kulik, Jean Marc Bonard, G Andrew D Briggs, Thomas Stöckli, Karine Méténier, Sylvie Bonnamy, François Béguin, Nancy A Burnham, and László Forró. 1999. "Elastic Modulus of Ordered and Disordered Multiwalled Carbon Nanotubes." Advanced Materials 11 (2): 161–165.

NOTES

EFFECT OF COMPRESSION AND FUNCTIONALIZATION ON MECHANICAL PROPERTIES OF SBA-15 PELLETS

Marcin Wojtyniak[1,*], Mateusz Dulski[2], Aleksandra Strach[2], Magdalena Skraba[2], Jerzy Karczewski[3], Kamila Wolnica[4], Łukasz Laskowski[4], Magdalena Laskowska[4]

[1] Institute of Physics—Center for Science and Education, Silesian University of Technology, Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, Poland
[2] Institute of Materials Engineering, University of Silesia and Silesian Center for Education and Interdisciplinary Research, 75 Pulku Piechoty 1A, 41-500 Chorzow, Poland
[3] Faculty of Natural Sciences, University of Silesia, Bankowa 12, 40-007 Katowice, Poland
[4] Institute of Nuclear Physics Polish Academy of Sciences, 31-342 Krakow, Poland

[*]autor korespondencyjny: marcin.wojtyniak@polsl.pl

Developing a new generation of highly-selective filters or absorbents for water/soil remediation requires at least two steps. One is to synthesize material with good absorption properties – especially toward the absorption of heavy metals. Thus we have developed SBA-15 mesoporous silica containing hexagonal pores with a diameter of about 5 nm. The SBA-15 was functionalized with ***propyl-carbonate*** (metal-binding I, e.g., silver) and ***propyl-phosphate*** (metal-binding II, e.g., copper) groups. The second is to investigate material in the form of pellets in order to design the most optimal solution in terms of their strength and durability. Hence it is crucial to investigate the physical properties (specific surface, stiffness, or hardness) of pellets also as a function of compression strength. The research was carried out on two scales: the AFM on a nanoscale and by testing machine on the macroscale. This will allow us to determine the mechanical properties (e.g., Young's modulus) of both: the pellet and the material itself on the nanoscale. Such a complex approach is relatively unique in the field of mesoporous materials, as the mechanical properties of functionalized SBA-15 are not generally known. The combined results are critical for finding the most optimal conditions for a degree and type of SBA-15 functionalization, as well as pellet preparation for further environmental applications.

Acknowledgment:
The authors are grateful for the financial support from the NCN grant number: 2020/37/B/ST8/03637.

NOTES

OSTRZA PRZEZNACZONE DO PRZEWODZĄCEJ MIKROSKOPII SIŁ ATOMOWYCH WYTWARZANE METODĄ OSADZANIA WSPOMAGANEGO ZOGNISKOWANĄ WIĄZKĄ ELEKTRONÓW I JONÓW

Bartosz Pruchnik[1,*], Ewelina Gacka[1], Dominik Badura[1], Piotr Kunicki[1], Ivo W. Rangelow[2], Teodor Gotszalk[1]

[1]Katedra Nanometrologii, Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, Wrocław, 50-370, Polska

[2]Group of Nanoscale Systems, Technische Universität Ilmenau, Ehrenbergstraße 29, 98693, Ilmenau, Germany

[*]autor korespondencyjny: bartosz.pruchnik@pwr.edu.pl

Doskonalenie parametrów geometrycznych ostrzy w mikroskopii sił atomowych (ang. atomic force microscopy, AFM) jest przedmiotem ciągłych usprawnień ze strony producentów mikrodźwigni sprężystych. Najistotniejszymi parametrami są w tym przypadku współczynnik kształtu, promień krzywizny ostrza oraz właściwości samej końcówki. Produkcja takich sond metodami litograficznymi jest z reguły czasochłonna i kosztowna.

W prezentacji przedstawiamy metodę szybkiej i powtarzalnej produkcji przewodzących ostrzy AFM na serii mikrodźwigni przewodzących. W naszym podejściu wykorzystaliśmy proces osadzania przy pomocy zogniskowanej wiązki elektronów/jonów (ang. focused electron/ion beam induced deposition, FEBID/FIBID) – proces osadzania nanodrutów jako sond AFM w jednym kroku, tzw. „direct writing", w którym wzrost nanostruktur 3D następuje w okolicy miejsca skanowania wiązką elektronów lub jonów [1]. Ze względu na zastosowany prekursor do wytwarzania wolnostojących nanodrutów, ich materiałem był kompozyt węglowo-platynowy. Proces technologiczny prowadzony był za pomocą mikroskopu elektronowego ze zogniskowaną wiązką jonów galu FEI Helios Nanolab 600i. Wytworzone struktury przetestowano korzystając z systemów AFM Katedry Nanometrologii, gdzie określono dokładnie ich parametry, w tym promień i współczynnik kształtu. Nowością jest zastosowanie ostrza w mikroskopii sił atomowych przewodności elektrycznej (ang. conductive atomic force microscopy, C-AFM), gdzie obrazowano zachowania elektryczne tarasów atomowych grafitu wysokozorientowanego (ang. highly orientated pyrolitic graphite, HOPG).

[1] K. Edinger, T. Gotszalk, I. W. Rangelow, Novel high resolution scanning thermal probe. Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures Processing, Measurement, and Phenomena 19, 2856 (2001); doi: 10.1116/1.1420580

NOTES

Zastosowanie wzmocnionej na ostrzu spektroskopii Ramana (TERS) do badań struktury drugorzędowej białek

Sara Seweryn*, Katarzyna Skirlińska-Nosek, Marek Szymoński, Kamila Sofińska, Ewelina Lipiec

Instytut Fizyki im. M. Smoluchowskiego, Uniwersytet Jagielloński, ul. Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków

*autor korespondencyjny: sara.seweryn@doctoral.uj.edu.pl

Spektroskopia Ramana wzmocniona na ostrzu sondy skanującej (ang. tip-enhanced Raman spectroscopy TERS) łączy nanometrową przestrzenną zdolność rozdzielczą mikroskopii sił atomowych (ang. Atomic Force Microscopy AFM) oraz selektywność chemiczną spektroskopii Ramana. Metaliczna nanostruktura osadzona na ostrzu próbnika AFM modyfikuje pole elektromagnetyczne padającego światła laserowego i wzmacnia przekrój czynny na rozpraszanie Ramana dla niewielkiej ilości próbki znajdującej się bardzo blisko wierzchołka sondy, poprawiając rozdzielczość przestrzenną nawet do poziomu pojedynczej cząsteczki. Innymi słowy, próbnik TERS działa jak nano-antena, przekształcając pole elektryczne padającego światła laserowego w zlokalizowaną energię i zmieniając bliskie pole od próbki do pola dalekiego ogniskowanego za pomocą klasycznego obiektywu mikroskopowego.

W niniejszej prezentacji przedstawione zostaną badania TER struktury drugorzędowej białka tau w trakcie procesu agregacji. Pomimo intensywnych badań, mechanizmy agregacji białka tau związane z występowaniem chorób neurodegeneracyjnych są wciąż nie dostatecznie poznane. Ogranicza to możliwość opracowania skutecznych metod leczenia, polegających na zatrzymaniu patologicznej agregacji. Zastosowanie konwencjonalnych technik analitycznych uniemożliwia analizę struktury drugorzędowej białka na każdym etapie agregacji oraz korelację tych zmian ze szlakiem agregacji. W naszych badaniach wykorzystaliśmy spektroskopię TER do badań struktury chemicznej oraz konformacji agregatów białka tau w fazie wzrostu fibryli białkowych: protofibryli oraz fibryli na początkowym etapie agregacji. Zastosowanie wielowymiarowej analizy statystycznej umożliwiło nam ujawnienie markerów spektralnych zmian konformacyjnych zachodzących na wczesnym etapie agregacji białka tau.

Niniejsze badania były finansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu “OPUS 19” (Reg. No. UMO-2020/37/B/ST4/02990).

NOTES

IN VITRO PHARMACOLOGY ON A SINGLE CELL – APPLICATION OF ATOMIC FORCE SPECTROSCOPY IN MULTIPARAMETRIC IMAGING OF DRUG-INDUCED ALTERATIONS

Bartłomiej Zapotoczny*

Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk,
ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków

*Correspondence: bartlomiej.zapotoczny@ifj.edu.pl

Since its first construction by Gerd Binnig, Calvin F. Quate, and Christoph Gerber in 1986 [1], it took only a few years to disclose the tremendous potential of atomic force microscopy (AFM) in the research of biological objects [2]. It is mainly because AFM does not need sample modification and labelling. Freedom of selection of conditions, including performing measurements in culture media, control of pH, and temperature combined with large x,y, and z piezo-scanner ranges all have led to the rapid development of live cell imaging. Finally, novel AFM imaging modes, based on a fast acquisition of force-distance curves, such as Quantitative Imaging (QI), PeakForce Tapping, or PinPoint have enabled 4D (3D plus time) imaging of changes in biological samples.

During the presentation, the results of the development of so-called in vitro pharmacology on a single cell will be presented [3]. Briefly, single-cell morphology and its nanomechanical properties are tracked over time. Then, a drug is injected into the culture medium and the cell response to the drug is further observed. It allows monitoring of morphological features and the cytoskeleton remodelling, including its effect on alterations in Young's modulus distribution.

The main focus of the presentation will be devoted to primary murine liver sinusoidal endothelial cells (LSEC) in vitro. LSEC have transcellular pores, called fenestrations, that are indicators of the healthy phenotype of the liver. These nanostructures – 50-350 nm in diameter – participate in the transport of lipoproteins and solutes (e.g. hormones) between the vascular system and the liver parenchyma. AFM remains the exclusive tool allowing monitoring of drug response in living LSEC for up to 6 hours. Fenestration number, diameter, lifespan, migration range, and deformability can be quantified. Moreover, Young's modulus distribution over the whole cell can be calculated [4].

Being a label-free method AFM does not provide any chemical information about the investigated samples. Future outlook on the direct correlation with other super-resolution optical nanoscopy methods to ensure a multi-parametric approach will be presented [5].

Research supported by the National Science Centre
under the project SONATA 15, (UMO-2019/35/D/NZ3/01804),

[1] Binnig G., Quate C.F., Gerber C., *Phys. Rev. Lett.,* 1986, doi. 10.1103/PhysRevLett.56.930.
[2] Radmacher M, et al., *Science* 1992, doi. 10.1126/science.1411505.
[3] Zapotoczny B. et al., *Hepatology*, 2019, doi. 10.1002/hep.30232;
[4] Zapotoczny B. et al., *Biophysical Reviews*, 2020, doi. 10.1007/s12551-020-00699-0;
[5] Szafranska K.,[...], Zapotoczny B. *Nanophotonics,* 2022. doi. 10.1515/nanoph-2021-0818;

NOTES

SYMULACJE DYNAMIKI MOLEKULARNEJ W KONTEKŚCIE POSZUKIWANIA LEKÓW NA COVID-19

Wojciech Marciniak[1,2,*], Jonasz Łasut-Balcerzak[1], Joanna Marciniak, Arkadiusz Ptak[1]

[1]Instytut Fizyki, Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej, Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3, 61-139 Poznań
[2]Instytut Fizyki Molekularnej PAN, ul. Smoluchowskiego 17, 60-169 Poznań

[*]autor korespondencyjny: wojciech.robe.marciniak@doctorate.put.poznan.pl

Na początku grudnia 2019 roku w miejscowości Wuhan w Chinach zarejestrowane zostały pierwsze objawy zarażenia wirusem określonym tymczasowo jako 2019-nCoV, a obecnie znanym jako SARS-CoV-2 [1]. Do początku października 2022 roku, według danych WHO, odnotowano 615 milionów przypadków wywoływanej przez ten wirus choroby COVID-19. Jednym z podejść walki z nową chorobą jest zmiana zastosowania istniejących leków na inne jednostki chorobowe.

Wykonaliśmy dokowanie molekularne 172 leków na wirusowe zapalenie wątroby typu C, malarię czy inhibitorów proteazy HIV. Celem były główna proteaza koronawirusa (endopeptydaza C30 – $3CL^{pro}$), proteaza popaino-podobna PL^{pro}, jego białko kolca (indywidualnie oraz w kompleksie z będącym jego celem receptorem ACE2), oraz kompleks białek niestrukturalnych NSP12-NSP7-NSP8, odpowiedzialny za katalizę replikacji RNA.

Ligandy o najwyższej zmianie energii Gibbsa (ΔG) stanu związanego - po trzy dla każdego z białek - poddaliśmy separacji z wykorzystaniem sterowanej dynamiki molekularnej symulującej eksperyment dynamicznej spektroskopii sił atomowych, a do wyznaczonej zależności najbardziej prawdopodobnej wartości siły zerwania wiązania od szybkości separacji dopasowany został model Dudko-Hummera-Szabo (DHS) [2].

Prezentujemy analizę wyników dokowania całego spektrum przebadanych leków wraz z pozycją przyjętą po zadokowaniu przez ligandy o najwyższej zmianie energii ΔG oraz analizę wyników wynikających z dopasowania modelu DHS wraz z trajektorią separacji.

Dziękujemy za wsparcie finanowe MEiN w ramach grantu DI2017/007947 w programie Diamentowy Grant, edycja 2018 oraz grantu 0512/SBAD/2220

[1] N. Zhu et al, N Engl J Med 382, pp. 727-733. (2020)
[2] O. K. Dudko, G. Hummer, A. Szabo Phys. Rev. Lett. 10, pp. 1-4 (2006)

NOTES

Rola parametru sprężystości w ocenie toksycznego działania nanostruktur na komórki śródbłonka naczyniowego

Agnieszka M. Kolodziejczyk[1], Bogdan Walkowiak[2], Piotr Komorowski[1]

[1]Laboratorium Biofizyki Molekularnej i Nanostrukturalnej, Laboratorium Badań Strukturalnych Nanomateriałów, Bionanopark, ul. Dubois 114/116, 93-465 Łódź, Polska
[2] Zakład Biofizyki, Instytut Inżynierii Materiałowej, Politechnika Łódzka, ul. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź, Polska

Nanomateriały od kilku dekad cieszą się dużym zainteresowaniem wielu grup badawczych. Jednak w dalszym ciągu zastosowanie nanomateriałów budzi szereg wątpliwości związanych z ich nieprawidłowym działaniem na komórki, co może być przyczyną wielu chorób. Celem niniejszej pracy jest porównanie działania różnych nanostruktur, w tym nanocząstek srebra [1], wielościennych nanorurek węglowych [2] i dendrymerów poliamidoaminowych PAMAM 2-giej, 4-tej oraz 7-mej generacji [3], na komórki śródbłonka naczyniowego w hodowlach *in vitro*. Badania przeżywalności komórek śródbłonka poddanych działaniu wybranych nanostruktur zostały wykonane techniką spektrofotometryczną z użyciem testów redukcji soli tetrazolowej (XTT).

Główną metodą badawczą wykorzystaną w pracy była spektroskopia sił atomowych (ang. atomic force spectroscopy, AFS), która pozwala na pomiar parametru sprężystości komórek. Parametr sprężystości został skorelowany, z przeżywalnością komórek, poziomem reaktywnych form tlenu oraz procentem komórek apoptotycznych. Do pomiaru AFS wykorzystano dwie sondy, jedną o nanometrycznych rozmiarach ostrza, która pozwala na zbieranie odpowiedzi „lokalnej" oraz drugą sondę o kształcie sfery i rozmiarach mikrometrycznych do badania odpowiedzi „globalnej" pochodzącej z całej komórki. Ze względu na heterogenny charakter struktury komórki obliczenia parametru sprężystości dokonane zostały dla różnych zakresów indentacji – co koresponduje ze zróżnicowaną strukturą komórki. Obecność nanostruktur na powierzchni komórek i w ich wnętrzu zbadano za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej oraz transmisyjnej mikroskopii elektronowej. Kolejną metodą badawczą wykorzystaną w pracy było barwienie włókien aktynowych cytoszkieletu komórkowego oraz ich obrazowanie fluorescencyjne. Ponadto wykonane zostały badania poziomu reaktywnych form tlenu w komórkach po kontakcie z nanostrukturami oraz fluorescencyjne znakowanie komórek apoptotycznych.

Badania zostały finansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu „Wpływ wybranych nanocząstek na właściwości sprężyste komórek śródbłonka oceniany z wykorzystaniem mikroskopii sił atomowych" (nr. projektu 2017/26/D/ST4/00918).

[1] Kolodziejczyk, A.M., Kucinska M., et al. (2020). Journal of Molecular Recognition 2853: 1-10.
[2] Kolodziejczyk, A.M, Sokolowska P., et al. (2021). Micron 145 (2021) 103062.
[3] Kolodziejczyk A.M., Grala M., et al. (2022) Nanotoxicology 16.

NOTES

ZMIANY NANOMECHANICZNE W KOMÓRKACH ZAINFEKOWANYCH WIRUSEM SARS-COV-2

Agata Kubisiak[1*], Agnieszka Dąbrowska[2], Tomasz Kołodziej[1], Maksymilian Szczypior[1], Krzysztof Pyrć[2], Zenon Rajfur[1], Marta Targosz-Korecka[1]

[1]Instytut Fizyki im. M. Smoluchowskiego, Uniwersytet Jagielloński, ul. Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków
[2]Małopolskie Centrum Biotechnologii, Uniwersytet Jagielloński, Gronostajowa 7A, 30-387 Kraków

[*]autor korespondencyjny: agata.kubisiak@doctoral.uj.edu.pl

Od końca 2019 roku wirus SARS-CoV-2 był i wciąż jest jednym z najważniejszych celów licznych badań prowadzonych przez naukowców z różnych dziedzin life science. W szczególności istotne jest poznanie mechanizmów oraz procesów odpowiedzialnych za indukcję i przebieg ciężkiego COVID-19, którego następstwem są m.in. powikłania wielonarządowe. Jak wykazano w licznych badaniach, komórki śródbłonka odgrywają niebagatelną rolę w propagacji COVID-19 i rozwoju wszelkich powikłań naczyniowych, zarówno we wczesnej jak i późnej fazie infekcji wirusowej. W niniejszej pracy skoncentrowano się na nanomechanicznych zmianach zachodzących w komórkach śródbłonka, indukowanych przez wirusa SARS-CoV-2. Wszystkie pomiary przeprowadzono dla pierwotnych komórek śródbłonka tętnicy płucnej (HPAEC) i ludzkich komórek nabłonka pęcherzyków płucnych z nadekspresją ACE2 (A549+/+). Dla bezpieczeństwa pracy wszystkie komórki utrwalono paraformaldehydem, zgodnie z odpowiednim protokołem. Pomiary AFM zostały uzupełnione o metody biochemiczne (PCR) oraz analizę fluorescencyjną, aby wykazać korelację między replikacją wirusa, strukturą cytoszkieletu i nanomechaniką komórki. Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują na odmienny efekt nanomechaniczny w obu typach komórek w zależności od czasu inkubacji z wirusem oraz na bardzo różną intensywność namnażania wirusa w badanych próbkach biologicznych. W przypadku komórek nabłonkowych zaobserwowani zmniejszenie sztywności komórek, które koreluje ze wzrostem replikacji wirusa. Odmienny efekt zaobserwowaliśmy przy inkubacji komórek śródbłonka z SARS-CoV-2, która wraz z czasem trwania doprowadziła do zwiększania się sztywności komórek. Co ciekawe, mimo tak silnego efektu nanomechnicznego w komórkach zaobserwowano brak efektywnej replikacji wirusa (infekcja abortywna). Wyniki uzyskane dzięki zastosowaniu AFM, mikroskopii fluorescencyjnej oraz metod biochemicznych pozwoliły na stworzenie „mechanicznego modelu" przebiegu infekcji wirusowej zarówno w komórkach nabłonka, jak i śródbłonka.

NOTES

s-SNOM technology for nanoscale analytics

Dr. Adrian Cernescu
attocube systems AG, Munich, Germany
adrian.cernescu@attocube.com

Scattering-type Scanning Near-field Optical Microscopy (s-SNOM) is a scanning probe approach to optical microscopy and spectroscopy bypassing the ubiquitous diffraction limit of light to achieve a spatial resolution below 10 nanometer. s-SNOM employs the strong confinement of light at the apex of a sharp metallic AFM tip to create a nanoscale optical hot-spot. Analyzing the scattered light from the tip enables the extraction of the optical properties (absorption, reflectivity) of the sample directly below the tip and yields nanoscale images simultaneous to mechanical properties. In addition to near-field microscopy the technology has been advanced to enable hyperspectral, nanoscale Fourier-transform spectroscopy (nano-FTIR) using broadband radiation from the the visible spectral range, Mid-IR and THz spectral range

Equipping s-SNOM systems with cw light sources, near-field imaging can be performed at time scales of 30-300s per image. Use of material-selective frequencies in the mid-IR spectral range can be exploited to fully characterize polymer blends or phase change polymers with nanometer-scale domains. Quantification of free-carrier concentration and carrier mobility in doped semiconductor nanowires, analysis of 2D (graphene) nanostructures, or study phase propagation mechanisms in energy storage materials is achieved by amplitude- and phase-resolved near-field optical imaging.

A broad range of applications of the s-SNOM technology for biomaterials, inorganics and 2D materials research, will be presented.

NOTES

TOPOGRAFIA STM ŁAŃCUCHÓW ATOMOWYCH:
STANY REZONANSOWE, CIEMNE I TOPOLOGICZNE

Tomasz Kwapiński*, Mieczysław Jałochowski
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Instytut Fizyki
pl. M. Curie-Skłodowskiej 1, 20-031 Lublin

*autor korespondencyjny: tomasz.kwapinski@umcs.pl

Techniki pomiarowe STM dostarczają istotnych informacji o własnościach elektrycznych układów atomowych na powierzchni oraz ich topografii. Prąd tunelowy jest ściśle związany z lokalną gęstością stanów (LDOS) badanego obiektu, a jego rozkład wzdłuż układu atomowego jest najczęściej niejednorodny. Takie 1D łańcuchy atomowe mogą być wytworzone np. z atomów Pb, Sb, Au na wicynalnych powierzchniach krzemowych.

W prezentacji przedstawione zostaną badania teoretyczne LDOS oraz topografii STM dla łańcuchów atomowych umieszczonych na powierzchni, w których występują charakterystyczne stany elektronowe:

a) bezdyspersyjne stany rezonansowe, pojawiające się dla powierzchni z silną delokalizacją elektronów (efekt Dicke'go). Stany te mogą być widoczne w badaniach STM dla nieidealnych podłoży.
b) stany ciemne, pojawiające się w efekcie destruktywnej interferencji kilku stanów elektronowych dla pewnych geometrii łańcucha. Stany te są rozprzężone z podłożem i nie dają wkładu do prądu tunelowego.
c) nietrywialne stany topologiczne na brzegach łańcucha, jakie występują w 1D układach topologicznych, np. w łańcuchach atomowych z modulacją sprzężeń międzywęzłowych. Stany te mogą zostać zaobserwowane w badaniach STM, jednocześnie z innymi cechami łańcucha topologicznego (przerwa energetyczna, pasma boczne).

Teoretyczne badania topografii łańcuchów atomowych przejawiających istnienie tych kwantowych stanów zostaną porównane z wynikami eksperymentalnymi dla krótkich łańcuchów atomowych.

Badania wspierane są przez grant Narodowego Centrum Nauki nr 2018/31/B/ST3/02370.

NOTES

First principles studies of Fe-fcc thin films

Jakub Meixner[1,2,*], **Justyna Rychły-Gruszecka**[2], **and Mirosław Werwiński**[2]

[1] *Politechnika Poznańska,*

Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, Polska

[2] *Instytut Fizyki Molekularnej Polskiej Akdemii Nauk,*

M. Smoluchowskiego 17, 60-179 Poznań, Polska

*autor korespondencyjny: kubameixner@gmail.com

Przy użyciu kodu FPLO21 [1], który to oparty jest na teorii funkcjonału gęstości z użyciem pełnopotencjałowego opisu lokalnych orbitali rozwiązując równanie Kohn-Sham'a w cztero-komponentowym formaliźmie opracowaliśmy model teoretyczny zależności właściwości magnetycznych układu o zmiennej grubości Fe-fcc-111. W prezentowanych obliczeniach wykorzystany został potencjał Perdew-Burk-Erzerhof'a (PBE). Nasze obliczenia przedstawiają charakterystyki energii magnetokrystalicznej oraz magnetycznych momentów zarówno spinowych jak i orbitalnych dla rozważanych zakresów grubości warstwy żelaza zawieszonej w próżni, która nie uwzględnia efektów związanych z podłożem. Przebadany zbiór jest spójny z wynikami eksperymentalnymi dla układu Fe-fcc na podłożu Cu (100) [2].

References:

[1] K. Koepernik, H. Eschrig, *Phys. Rev. B.* 59, 1743 (1999).

[2] J. Thomassen, F. May, B. Feldmann, M. Wuttig, H. Ibach, *Phys. Rev. Lett.* 69, 3831 (1992).

Acknowledgments: *We acknowledge the financial support of the National Science Centre Poland under the decision DEC-2018/30/E/ST3/00267 (SONATA-BIS 8).*

NOTES

Obliczenia DFT właściwości magnetycznych układu objętościowego i cienkich warstw fazy $L1_0$ FePt

Joanna Marciniak[1]*, Wojciech Marciniak[1,2], Mirosław Werwiński[1]

[1]Instytut Fizyki Molekularnej, Polska Akademia Nauk, ul. Smoluchowskiego 17, 60-179 Poznań
[2]Instytut Fizyki, Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej, Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

*autor korespondencyjny: joanna.marciniak@ifmpan.poznan.pl

Stale rozwijająca się technologia komputerowa wymaga poszukiwań materiałów pozwalających na zwiększenie gęstości zapisu danych. Jednym z czynników wpływających na możliwość zastosowania danego materiału w magnetycznych nośnikach zapisu jest silna anizotropia magnetokrystaliczna. Tę właściwość obserwuje się w fazie $L1_0$ FePt [1]. Z tego powodu postanowiliśmy ponownie zbadać układ objętościowy tej fazy oraz jego układów warstwowych o powierzchniach (010) i (111) metodą pełnopotencjałową full-potential local-orbital (FPLO) wykorzystując teorię funkcjonału gęstości (DFT) [2].

Szczególną uwagę zwróciliśmy na zależność energii anizotropii magnetokrystalicznej (MAE) od wartości momentu magnetycznego (m) układu objętościowego, korzystając z wpełni relatywistycznej metody zablokowanych spinów (FSM) dla różnych potencjałów korelacyjno-wymiennych dla układu objętościowego. Wyznaczone zależnośći MAE(m) dla różnych potencjałów korelacyjno-wymiennych są niemal identyczne w pobliżu punktu równowagi [3]. W przypadku układów warstwowych $L1_0$ FePt o powierzchni (111) zaobserwowano wychylenie osi łatwej magnetyzacji od kierunku [001], zależne od ilości monowarstw badanego układu. Cienkie warstwy $L1_0$ FePt o powierzchni (010) wykazywały silną anizotropię magnetokrystaliczną w kierunku naprzemiennego ułożenia warstw atomów Fe i Pt w płaszczyźnie cienkiej warstwy.

Autorzy dziękują za wsparcie finansowe Narodowemu Centrum Nauki Polskiej na podstawie decyzji DEC-2018/30/E/ST3/00267 (SONATA BIS 8).

[1] O. Gutfleisch, J. Lyubina, K.-H. Muller, L. Schultz, *„FePt Hard Magnets”,* Adv. Eng. Mater. 7 (2005) 208–212
[2] S. Ayaz Khan, P. Blaha, H. Ebert, J. Minar, O. Sipr, *„Magnetocrystalline anisotropy of FePt: A detailed view”*, Phys. Rev. B 94 (2016) 144436
[3] J. Marciniak, W. Marciniak, M. Werwinski, *„DFT calculation of intrinsic properties of magnetically hard phase $L1_0$ FePt”*, J. Magn. Magn. Mater., 556 (2022) 169347

NOTES

INTO THE ORIGIN OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY FOR THE METAL-SEMICONDUCTOR JUNCTION AT THE ATOMIC LEVEL

Arkadiusz Janas[1], Witold Piskorz[3], Aleksandr Kryshtal[2], Grzegorz Cempura[2], Wojciech Bełza[1], Adam Kruk[2], Benedykt R. Jany[1*], Franciszek Krok[1]

[1]The Marian Smoluchowski Institute of Physics Jagiellonian University, Lojasiewicza 11, PL 30-348 Krakow, Poland-
[2]Faculty of Metals Engineering and Industrial Computer Science and the International Centre of Electron Microscopy for Materials Science, AGH University of Science and Technology, PL 30-059 Krakow, Poland
[3]The Faculty of Chemistry, Jagiellonian University, ul. Gronostajowa 2, PL 30-387 Krakow, Poland

[*]autor korespondencyjny: benedykt.jany@uj.edu.pl

Metal-semiconductor (M-S) junction devices are widely used in all kinds of electronic circuits, mainly as electrodes for communication with the outside world. The electrical properties of the M-S junction are defined by the properties of the metallic phase with a respect to the semiconductor used. The M-S junction between the $AuIn_2$ nanoelectrode and the InP (001) surface, formed in the process of thermally induced self-assembly in the UHV environment [1], at its formation at the atomic-scale interface, was investigated. The resulting $AuIn_2$ nanoelectrodes were found to exhibit two types of electrical conductivity i.e. Schottky-type and Ohmic-type conductivity, as shown by in-situ conductive atomic force microscopy (C-AFM) measurements. To understand the difference in the conductivity behavior at the atomic level, sample cross-sections were measured using atomically resolved HAADF STEM microscopy which were coupled to electron properties calculations using DFT. It was found that different conductivity behavior is related to different crystallographic orientation of the metal electrode ($AuIn_2$) in relation to the used semiconductor (InP), which changes the Fermi level and shifts the conductivity band edge at the interface [2]. This allows the properties of M-S junction-based devices to be controlled using only single metal/alloy phase.

[1] B.R. Jany et al., Nanoscale ,12, 9067-9081 (2020) doi:10.1039/C9NR10256F
[2] A. Janas et al., Applied Surface Science Volume 570, 150958 (2021) doi:10.1016/j.apsusc.2021.150958

NOTES

Friday, 2 December 2022

DETERMINING STRUCTURE-PROPERTY RELATIONSHIPS IN HETEROGENEOUS POLYMERS BY AFM

Hubert Gojzewski*

Sustainable Polymer Chemistry (SPC), Department of Molecules & Materials, University of Twente, Drienerlolaan 5, 7522 NB Enschede, The Netherlands

*h.gojzewski@utwente.nl

Petroleum and renewable bio-based polymers are integral in the materials of today's production process. They offer unique properties compared to their metal or ceramic counterparts due to their low weight, cheap production process, and physicochemical properties (i.e., the durability of commodity or biodegradability). Furthermore, a broader range of tunability is accessible through combining polymers with fillers and other additives via physical and chemical processes. Such heterogeneous polymers are typically polymer blends, block copolymers, polyurethanes, polymer (nano)composites, but also 3D printed polymers. However, their structural complexity makes it challenging to characterize them quantitively.

The ubiquitous development of polymeric materials has been made feasible on many fronts, not only by ever-improving chemical synthesis but also by new material characterization methods. Studying polymers on the nano- and submicron-scale has been made possible with the advent of atomic force microscopy (AFM), in particular, its dynamic modes that employ analysis of force-distance curves. Essentially, a microscope that gathers structural (e.g., topography) and material (e.g., elasticity) information by controlled AFM tip-sample contact came true.

During my talk, I will present selected results from my colleagues and me on the structure-property relationships of heterogeneous polymers, emphasizing quantitative AFM studies. The results presented will mainly concern synthetic fossil-based polymers, but I will also focus on plant-based polymers in some cases.

NOTES

ZASTOSOWANIE MIKROSKOPII ELEKTRONOWEJ I JONOWEJ DO WYTWARZANIA OSTRZY STOSOWANYCH W MIKROSKOPII BLISKICH ODDZIAŁYWAŃ

Ewelina Gacka[1,*], Piotr Kunicki[1], Bartosz Pruchnik[1], Andrzej Sikora[1], Wojciech Majstrzyk[1], Krzysztof Gajewski[1], Dominik Badura[1], Krzysztof Kwoka[1], Tomasz Piasecki[1], Teodor Gotszalk[1], Ivo W. Rangelow[2]

[1]*Politechnika Wrocławska, Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów, Katedra Nanometrologii, ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław, Polska*
[2]*Uniwersytet Techniczny Ilmenau, Gustav-Kirchhoff-Str. 1, 98693 Ilmenau, Niemcy*

[*]autor korespondencyjny: ewelina.gacka@pwr.edu.pl

Skaningowy mikroskop elektronowy (ang. *scanning electron microscope* – SEM) ze zogniskowaną wiązką jonów (ang. *focused ion beam* – FIB) jest wszechstronnym narzędziem umożliwiającym obrazowanie oraz trawienie obiektów, osadzanie materiałów i implantację jonów w strukturę próbek. Istnieją różne źródła jonów wykorzystywane w kolumnie FIB – najpopularniejsze z nich to ciekłe źródła jonów metali (galu) oraz źródła plazmowe (ksenonu). Ponadto mikroskop SEM/FIB rozwija ideę „*lab in SEM*", w której do komory próżniowej mikroskopu oprócz detektorów i systemów do iniekcji gazów są podłączone nanomanipulatory, autorskie uchwyty, układy elektroniczne oraz światłowody do pomiarów odpowiednio elektrycznych i optycznych. Pozwala to na jednoczesną modyfikację próbki wiązką elektronów/jonów i pomiar jej właściwości. Z tego powodu mikroskopia SEM/FIB zyskuje rosnące zainteresowanie w prototypowaniu urządzeń mikroelektromechanicznych, w tym dźwigni stosowanych w mikroskopii bliskich oddziaływań (ang. *scanning probe microscopy* – SPM).

Podczas prezentacji zostanie przedstawiona technologia wytwarzania ostrzy diamentowych, azotkowo-galowych oraz złotych wewnątrz komory próżniowej systemu SEM/FIB. Zostanie przedstawiona metoda transferu mikrocząstek na dźwignie SPM, mocowania ich przy użyciu metody osadzania wspomaganego zogniskowaną wiązką elektronów/jonów (ang. *focused electron/ion beam induced deposition* – FEBID/FIBID) oraz ich kształtowania. Celem prowadzonych badań była także weryfikacja użyteczności ostrzy w pomiarach sił atomowych i elektrycznych SPM.

[1] E. Gacka, P. Kunicki, A. Sikora, R. Bogdanowicz, M. Ficek, T. Gotszalk, I. W. Rangelow, K. Kwoka; Focused ion beam-based microfabrication of boron-doped diamond single-crystal tip cantilevers for electrical and mechanical scanning probe microscopy; Measurement 188 (2022) 110373. DOI: 10.1016/j.measurement.2021.110373.

NOTES

CHARAKTERYZACJA WPŁYWU METOD OCZYSZCZANIA NA MORFOLOGIĘ POWIERZCHNI $PtSe_2$

Katarzyna Kwiecień[1,*], Tomasz Grzela[1], Jan Raczyński[1], Ewelina Nowak[1], Mirosław Szybowicz[1], Wojciech Koczorowski[1], Maciej Bazarnik[1,2]

[1]Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań
[2]Physikalisches Institut, Westfälische Wilhelms-Universität, Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster, Germany

[*]autor korespondencyjny: katarzyna.kwiecien@doctorate.put.poznan.pl

Do grupy materiałów TMD zalicza się $PtSe_2$, którego monowarstwa składa się z dwóch płaszczyzn atomowych selenu oraz występującej między nimi płaszczyzny atomowej platyny. W postaci monowarstwy jest on półprzewodnikiem o przerwie energetycznej równej 1,2 eV. Wraz ze wzrostem liczby jego warstw w próbce przerwa energetyczna zanika i materiał staje się półmetaliczny.

Dotychczasowe prace eksperymentalne dotyczące $PtSe_2$ skupiały się na badaniach *in-situ* cienkich warstw o policzalnej liczbie monowarstw. W ramach tej prezentacji zostanie przedstawiony proces oczyszczania komercyjnie dostępnego objętościowego monokryształu $PtSe_2$ [1]. Zostaną zaprezentowane wyniki STM i RS dotyczące wpływu procesu oczyszczania na zmianę morfologii tego materiału. Analogiczne prace eksperymentalne przeprowadzono nad charakteryzacją komercyjnie dostępnych cienkich warstw $PtSe_2$. Pomimo zastosowania szeregu metod oczyszczania (m.in. kąpieli w rozpuszczalnikach, wygrzewania w ultrawysokiej próżni oraz wygrzewania w atmosferze O_2), uzyskano tylko lokalnie atomowo czyste obszary powierzchni próbki.

KK, TG dziękują MEiN za wsparcie w ramach projektu nr 0512/SBAD/2220. JR i WK dziękują NCN za wsparcie w ramach projektu Preludium Bis 2019/35/O/ST5/01940. MB dziękuje NCN za wsparcie w ramach projektu Sonata Bis 2017/26/E/ST3/00140.

Literatura:
[1] K.Kwiecień *et al*., Surf. Sci., **727** (2023) 122181

NOTES

Unravelling Molecular Dynamics with High-Speed Atomic Force Microscopy Reaching 50 frames/sec

Florian Kumpfe, Jörg Barner, Andreas Kraus, André Körnig, Heiko Haschke

JPK BioAFM, Bruker Nano GmbH, Am Studio 2D, 12489 Berlin

Atomic force microscopy (AFM) currently offers premium spatial resolution of the analyzed samples while simultaneously being able to correlate topography and mechanics at near native/physiological imaging conditions. Recent atomic force microscopy (AFM) technology developments have led to unprecedented imaging rates in fluid, setting new milestones in high-speed scanning capabilities reaching 50 frames/sec. High-speed AFM not only delivers atomic resolution but also enables the true, real-time visualization of time-resolved dynamics associated with cellular processes and the binding mechanisms of individual biomolecules.

During this talk we will introduce the concept and theoretical background of tip and sample scanning AFM setups that can be applied to study dynamic processes in life science and material science samples. We will give examples of how the dynamics of processes like individual protein binding behavior, two-dimensional protein assembly, membrane dynamics, as well as structural transitions of nucleic acids, can now be observed on the near-20-milisecond timescale. We will further demonstrate the application of such setups to visualize the dissolution of calcite atomic terraces, as well as demonstrate the formation of atomic defects in the crystal lattice of muscovite mica.

NOTES

Badania prof. Z. Kluska: Od grafitu do układów hybrydowych grafenu z dichalkogenkami metali przejściowych i świecących OLED

Z. Klusek†, W. Olejniczak, S. Pawłowski, M. Chwiałkowski, W. Kozłowski, P.J. Kowalczyk, P. Dąbrowski, P. Krukowski, M. Rogala, M. Piskorski, J. Czerwińska, I. Lutsyk, D. Kowalczyk

Katedra Fizyki Ciała Stałego, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Łódzki, Pomorska 149/153, 90-236 Łódź

Wystąpienie to poświęcone będzie badaniom prof. Zbigniewa Kluska, który odszedł w grudniu 2019 roku. W trakcie swojej kariery naukowej wyspecjalizował się On w badaniach struktury krystalicznej i elektronowej powierzchni w szczególności używając STM i STS. Badaniami z wykorzystaniem tych technik zajmował się od 1989 roku kiedy to w Katedrze Fizyki Ciała Stałego UŁ skonstruowany został działający mikroskop STM. W późniejszych latach rozszerzył zakres swoich zainteresowań o ARPES i XPS pozwalające na badania struktury elektronowej i chemicznej w skali globalnej w odróżnieniu od STM/STS próbkujących materiały lokalnie.

Badania naukowe prof. Kluska zawsze krążyły wokół materiałów węglowych. Rozpoczął je od badań grafitu i jego defektów by w latach 90-tych rozpocząć badania nanorurek i fulerenów. Jeszcze w roku 99 przeprowadził pierwsze badania grafenu ale nie udało mu się wtedy ich opublikować ze względu na nieprzychylność recenzentów twierdzących, że grafen nie istnieje. Do tematu powrócił po oficjalnym odkryciu grafenu i wtedy opublikował pierwszą pracę o grafenie na irydzie, która była pierwszą polską publikacją w tej dziedzinie. Następnie zajął się badaniami wpływu elektrod metalicznych na grafen i procesami przełączania rezystywnego w tlenkach grafenu. Pracował również nad układami hybrydowymi materiałów z grupy dichalkogenków metali przejściowych z grafenem. W ostatnich latach swojej działalności pracował nad budową układów OLED, w których jedną z elektrod byłby grafen. Układ taki udało się skonstruować niestety już po śmierci profesora.

Jego szerokie zainteresowania badawcze wiązały się z wszechstronnym wykształceniem. Zawsze mówił o sobie, że jest chemikiem, którego pasją była astrofizyka a chlebem powszednim nanotechnologia.

Badania finansowane są przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektów: 2020/38/E/ST3/00293, 2019/35/B/ST5/03956, 2019/32/T/ST3/00487, 2018/30/E/ST5/00667, 2018/31/B/ST3/02450, 2017/26/E/ST4/00987, 2016/21/B/ST5/00984.

NOTES

Manipulacja w nanoskali właściwości fizyko-chemicznych powierzchni tlenków metali przejściowych. Wykład poświęcony pamięci Pana Profesora Zbigniewa Kluska.

Krzysztof S. Szot

Instytut Fizyki im. Augusta Chełkowskiego, Uniwersytet Śląski / aixACCT/Aachen, Niemcy

Moja 20-letnia współpraca naukowa z prof. Zbigniewem Kluskiem koncentrowała się na problemach związanych z fizykochemią powierzchni tlenków metali przejściowych. Naturalnie jest to praktycznie niemożliwe, aby przedstawić w krótkim wykładzie wszystkie aspekty naszych rozległych badań i analiz. Dlatego chciałbym w sposób selektywny naświetlić kilka ważnych zagadnień dotyczących sterowania i kontroli procesów redox w nanoskali w warstwach powierzchniowych dwóch modelowych tlenków, mianowicie TiO_2 i $SrTiO_3$. Możliwość indukowania odwracalnego przejścia izolator/metal w nanoskali, poprzez chemiczną lub elektrochemiczną kontrolę aktywności tlenu w otoczeniu wymienionych tlenków, była istotnym elementem naszej współpracy naukowej. Wbrew utartym schematom, że na powierzchniach monokryształów TiO_2 czy $SrTiO_3$ może zachodzić tylko rekonstrukcja relaksacja, „rumpling” lub może powstawać nieporządek Schottkiego lub Frenkla odkryliśmy, że wspomniane przejście wymaga obecności defektów rozciągłych np. dyslokacji krawędziowych czy też defektów Wadsleya. Opisana przez nas w literaturze możliwość sterowania właściwościami elektrycznymi jednomiarowych obiektów, jakim są rdzenie dyslokacji krawędziowych była *de faco* realizacją ciekawej idei Motta, który w swoim artykule przeglądowym z początku lat 80 tych sugerował, że dyslokacje mogą być w przyszłości wykorzystane w mikroelektronice. Nasze odkrycie przełączania rezystywnego pojedynczych dyslokacji w warstwie powierzchniowej TiO_2 i $SrTiO_3$ potwierdza ogromny potencjał aplikacyjny tego typu defektów w nanoelektronice np. w rezystywnych nieulotnych pamięciach o architekturze krzyżowej o pojemności terabajta.

Nasze osiągnięcia w analizie właściwości fizyko-chemicznych powierzchni modelowych tlenków, zwłaszcza defektów rozciągłych były związane nie tylko z wykorzystaniem szerokiej gammy metod powierzchniowo czułych *in situ* i *in operando*, ale również z badaniami chemii defektów, bez której to znajomości fizyka powierzchni tych materiałów traci swoje ”fundamenty”. Chciałbym pokreślić, że nasza konstruktywna współpraca naukowa akceptowała również krytyczne i odmienne podejście do różnorodnych idei z zakresu fizyki powierzchni tlenków. Dzięki ogromnej wiedzy Pana prof. Kluska jego intuicji naukowej zawsze znaleźliśmy sposób, aby poprzez odpowiednio dobrane eksperymenty czy też obliczenia teoretyczne zoptymalizować naszą strategię. Niestety przedwczesne odejście Naszego Wspaniałego Kolegi zostawiło nie tylko wyrwę w planach naukowych, ale napełniło głęboki smutkiem szeroki krąg naukowców zajmujących się tematyka powierzchni. Sądzę, że prowadzony przez Pana Profesora Instytut z Uniwersytetu Łódzkiego uzyskał już tak dużą renomę naukową, że bez obawy Jego Następcy mogą z pełnym optymizmem patrzeć w przyszłość i rozwijać własne ciekawe plany naukowe.

NOTES

Od grafenu po jego struktury hybrydowe z TaS_2

Andrzej Wysmołek

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, ul. Pasteura 5, 02-093 Warszawa

Kiedy słuchałem wykładu plenarnego prof. Zbigniewa Kluska na XLI Zjeździe Fizyków Polskich w Lublinie we wrześniu 2011 roku dowiedziałem się, że badał On formowanie się grafenu na metalach na długo zanim materiał ten stał się przedmiotem szerokich badań światowych. Już to pierwsze spotkanie wskazało, że Zbyszek miał bardzo interesujące pomysły naukowe i był otwarty na współpracę. Zaczęliśmy formułować wspólne plany eksperymentalne związane z pomiarami grafenu, a później również innych materiałów dwuwymiarowych. Niestety tylko cześć z tych planów udało się nam zrealizować, wykorzystując nasze wspólne możliwości badawcze. Przez te kilka lat naszej współpracy doskonale się uzupełnialiśmy ja ze współpracownikami koncentrując się na badaniach optycznych, w szczególności na spektroskopii ramanowskiej, a Zbyszek ze swoją grupą na badaniach z wykorzystaniem STM.

W swoim wystąpieniu skupię się na jednym z przykładów naszych wspólnych badań, dotyczących struktur hybrydowych grafen/TaS_2. Okazało się, że wejście w tematykę badań materiałów 2D, w których własności optyczne są zdeterminowane przez fale gęstości ładunku było bardzo wymagające, ale dostarczyło nieoczekiwanych i interesujących rezultatów np. związanych z ramanowską aktywnością optyczną 1T-TaS_2. [1]

[1] E. Lacinska et. al Nano Letters 22, 2835 (2022)

NOTES

Badanie struktury elektronowej heterostruktur opartych na grafenie oraz TMDC

I. Lutsyk[1,*], P. Dąbrowski[1], M. Rogala[1], D. A. Kowalczyk[1], P. Krukowski[1], W. Kozłowski[1], M. Piskorski[1], M. Le Ster[1], W. Ryś[1], A. Nadolska[1], K. Toczek[1], P. Przybysz[1], R. Dunal[1], K. Szałowski[1], T. Sobol[2], E. Partyka-Jankowska[2], M. Szczepanik[2], N. Olszowska[2], J.J. Kołodziej[2,3], Y. Kuwahara[4], and P. J. Kowalczyk[1]

[1]Katedra Fizyki Ciała Stałego, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Łódzki, ul. Pomorska 149/153, 90-236 Łódź
[2]Narodowe Centrum Promieniowania Synchrotronowego SOLARIS ul. Czerwone Maki 98, 30-392 Kraków
[3]Instytut Fizyki im. M. Smoluchowskiego, Uniwersytet Jagielloński, ul. Łojasiewicza 11, 30 348 Kraków
[4]Wydział Nauki i Technologii Precyzyjnej, Uniwersytet Osakijski, 2-1 Yamada-oka, Suita, Osaka 565-0871, Japonia

Dichalkogenki metali przejściowych (TMDCs) należą do klasy materiałów charakteryzujących się wieloma niespotykanymi w innych układach właściwościami, co prowadzi do ich potencjalnych zastosowań w elektronice i spintronice. Ze względu na swoją warstwową budowę, ta grupa materiałów może być stosowana jako element heterostruktur z innymi układami dwuwymiarowymi, np. z grafenem. W rezultacie oczekuje się, że w takich hybrydowych materiałach pojawią się nowe właściwości, które związane są ze złożonymi zjawiskami występującymi na granicy warstw.

Głównym celem prezentowanych badań było zbudowanie heterostruktur grafen/TMDC i przeprowadzenie analizy ich własności elektronowych. Najistotniejsze było zbadanie wzajemnego oddziaływania obu komponentów i oszacowanie wpływu tego oddziaływania na właściwości grafenu i TMDC.

W tym celu zbudowano i scharakteryzowano dwa typy heterostruktur opartych na TMDC (1T-TaS_2, T_d-WTe_2) i grafenie – grafen/TMDC oraz TMDC/grafen/SiC. Dla pierwszego z układów (1T-TaS_2/grafen/SiC) opracowano litografię opartą o STM, która pozwoliła na selektywne usunięcie zanieczyszczeń z powierzchni 1T-TaS_2. Jednocześnie zaobserwowano modyfikację właściwości elektronowych dwuwarstwowego grafenu na krawędzi płatków 1T-TaS_2 związaną z efektem bliskości występującym w układzie. Z kolei w drugim układzie (grafen/TMDC) zbadano strukturę elektronową takiego układu za pomocą ARPES oraz STM, dowodząc, że TMDC i grafen zachowują swoje podstawowe właściwości. Pokazuje to, że oddziaływanie wewnątrz hybrydy należy traktować jako czynnik regulujący właściwości układu, a nie niszczący je, co nie było wcześniej jasne dla struktury grafen/TMDC.

Przedstawione badania były finansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektów: 2019/32/T/ST3/00487, 2015/19/B/ST3/03142, 2018/31/B/ST3/02450.

NOTES

Saturday, 3 December 2022

SINGLE MOLECULE FORCE SPECTROSCOPY REVEALS HISTORY DEPENDENT KINETICS (AGING) IN SEQUENTIAL UNFOLDING OF POLY-PROTEINS UNDER TENSION

Ronen Berkovich [1,*]

[1]*Department of Chemical Engineering, Ben-Gurion University of the Negev, Beer Sheva 8410501, Israel*

[*]correspondence author: berkovir@bgu.ac.il

Poly-proteins, comprised from proteins arrayed in tandem, form a unique arrangement that enables their specific physiological function under mechanical loads through partial unfolding and extension (as in muscle, cellular signaling etc.). Probed with single molecule force spectroscopy, sequential unfolding-times of N proteins within a poly-protein are considered as being independent of each other and identically distributed (iid). According to this assumption, the unfolding kinetics of a poly-protein made of N proteins is equivalent to the unfolding kinetics of such N individual proteins. As such, they are expected to follow an exponential distribution. However, they are reported to display nonexponential distribution behavior. Various interpretations and statistical means to explain this deviation have been suggested, all sharing the iid underlying assumption. Here we demonstrate that the introduction of an external tension, as an unfolding agent, introduces correlations between the sequential events during the unfolding along the poly-protein. This observation confronts the iid assumption. With the use of continuous time random walk approach, we show that poly-protein unfolding exhibits anomalous subdiffusive transport, which alludes to aging. Put together with free-energy landscape reconstruction of the whole unfolding polyprotein, we provide physical explanation for this nontrivial behavior, according to which the elongating chain with each unfolding event intervenes with the unfolding probabilities, as the chain stiffness decreases. This scenario is further explored by investigating the sequential unfolding at decreasing forces and demonstrate that even under the lowest load, the sequential unfolding cannot be considered as iid. The free energy analysis discloses the hierarchy within the activation barriers during sequential unfolding that account for the observed nonexponentiality.

NOTES

TUNING PLASMONIC INTERACTIONS BY NANOENGINEERING OF AFM TIP-SURFACE GAP JUNCTIONS

Sara Seweryn[a], Jan Kobierski[b], Kamila Sofińska[a], Konrad Szajna[a], Ewelina Lipiec[a], Marek Szymoński[a]

[a] *M. Smoluchowski Institute of Physics, Jagiellonian University, Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków, Poland*
[b]*Department of Pharmaceutical Biophysics, Faculty of Pharmacy, Jagiellonian University Medical College, 31-007 Kraków, Poland*

Tip-Enhanced Raman Spectroscopy (TERS) in combination with high resolution AFM microscopy has great potential for simultaneous structural and chemical imaging of biomolecules, thus eventually could serve as an ultimate tool for studying the molecules of life in their native environment [1]. Essential steps in this effort must invoke nano-engineering of functional nano-gap-junctions constituting a heart of the characterization device in which the biomolecules of interest are placed on the biocompatible substrate AND excited by an incident laser beam in a near field environment of the simultaneously plasmon generated high intensity electromagnetic field. Hence, the development of novel dedicated nanostructures with advanced plasmonic functionalities determines the future success of such nanospectroscopic methods.

In this presentation, we report on noble metal tip-surface gap junctions fabricated by advanced nanotechnology tools, such as secondary electron microscope (SEM) guided focused ion beam (FIB) etching of metal coated AFM tip probes and preparation of atomically flat biocompatible substrates. The physical parameters of the plasmonic nano-gaps, geometrical shape and dimensions, spatial confiment at the nanoscale, and material properties are adjusted for an optimal near-field enhancement of vibronic transitions driving the relevant molecular nanospectroscopy devices.

For designing the nano-gap junction we use theoretical simulation methods available in finite-element simulation packets COMSOL Multiphysics, Wave Optics. Theoretical calculations of electromagnetic field maps for noble metal (Au, Ag) tips with selected geometry in close proximity to a noble metal surface are performed for various geometry and materials parameters. In result, spatial distribution of the ratio of the scattered electric field to the incident excitation field is evaluated and optimized.

Furthermore, we demonstrate a comprehensive comparison of the efficacy of several types of TERS probes for obtaining reliable and reproducible TER spectra of DNA [2]. Our work provides a solid foundation for further research on characterization of DNA and its interaction with other biomolecules upon biologically significant processes such as DNA damage and repair.

This work is supported by the National Science Centre, Poland under the “OPUS 16” project (Reg. No. UMO-2018/31/B/ST4/02292)

[1] E. Lipiec, J. Kaderli, J. Kobierski, R. Riek, K. Skirlinska-Nosek, K. Sofinska, M. Szymonski, R. Zenobi, *Nanoscale Hyperspectral Imaging of Amyloid Secondary Structures in Liquid*, Angew. Chem. Int. Ed., 2021, 60, 4545–4550.
[2] S. Seweryn, K. Skirlinska-Nosek, K. Sofinska, K. Szajna, J. Kobierski, K. Awsiuk, M. Szymonski, E. Lipiec, *Optimization of tip-enhanced Raman spectroscopy for probing the chemical structure of DNA*, Spectrochimica Acta A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2022, 281, 121595.

NOTES

Rheological properties of suspended melanoma cells under compression and oscillatory shear

Joanna Zemła[1,*], Ingrid H. Oevreeide[2], Renata Szydlak[1], Marcin Luty[1], Victorien Prot[3], Björn T. Stokke[2], Małgorzata Lekka[1,*]

[1]Institute of Nuclear Physics, Polish Academy of Sciences, PL-31342 Krakow, Poland
[2]Biophysics and Medical Technology, Department of Physics, NTNU The Norwegian University of Science and Technology, NO-7491 Trondheim, Norway
[3]Biomechanics, Department of Structural Engineering, NTNU The Norwegian University of Science and Technology, NO-7491 Trondheim, Norway

[*]autor korespondencyjny: joanna.zemla@ifj.edu.pl; malgorzata.lekka@ifj.edu.pl

Various techniques have been developed to measure the viscoelastic properties of different types of cells. Among them, one finds atomic force microscopy (AFM, [1]), optical tweezers [2], or flow cytometry [3,4], where rheological properties of spread and suspended cells are measured under compression or shear deformation. The obtained stress – deformation profiles are fitted by employing models comprising one or two components, where each contribution can be a scaling law. The question we want to answer is to what extent the rheological properties of suspended cells can be directly translated into that of adherent cells.
Melanoma cells will be examined using force spectroscopy and oscillation rheology conducted by AFM. Results will be used to develop a viscoelastic contact model and select suitable function for spherical biological cells.

This work was supported by the Norwegian Financial Mechanism for 2014–2021, National Science Center (Poland), project no. UMO-2019/34/H/ST3/00526 (GRIEG).

[1] Fischer-Friedrich, E. *et al.* Rheology of the Active Cell Cortex in Mitosis. *Biophys. J.* **111**, 589–600 (2016).
[2] Ayala, Y. A. *et al.* Effects of cytoskeletal drugs on actin cortex elasticity. *Exp. Cell Res.* **351**, 173–181 (2017).
[3] Ahmmed, S. M. *et al.* Multi-sample deformability cytometry of cancer cells. *APL Bioeng.* **6**, 563–572 (2018).
[4] Wu, P. H. *et al.* A comparison of methods to assess cell mechanical properties. *Nat. Methods* **15**, (2018).

NOTES

Atomic and Hydraulic Force Spectroscopy: potential tools for mechanical and microrheological markers in cancer diagnosis.

Kajangi Gnanachandran[1*], Massimiliano Berardi[2], Joanna Pabijan[1], Grażyna Pyka-Fościak[3] and Małgorzata Lekka[1]

[1] Department of Biophysical Microstructures, Institute of Nuclear Physics, Polish Academy of Sciences, Kraków, Poland

[2] LaserLab, Department of Physics and Astronomy, VU University, Amsterdam, The Netherlands

[3] Histological department, Collegium Medicum, Jagiellonian University, Krakòw, Poland[2]

[*]autor korespondencyjny: g.kajangi@gmail.com – kajangi.gnanachandran@ifj.edu.pl

Cancer progression is associated with changes in the mechanical properties of cells, and 3D cell cultures are known to better mimic the natural environment of cells and some features of the solid tumours, such as the structural organization, physiological responses, gene expression and drug resistance mechanism. Therefore, they have been widely used as potential *in vitro* models for finding novel biological features of cancer cells and anticancer drug discovery. In this study, three different cell lines from bladder cancer were used to form the multicellular spheroids: HCV29 (non-malignant cancer), HT1376 (grade III carcinoma), T24 (grade IV transitional cell carcinoma). Their mechanical and microrheological properties were investigated by using atomic force microscopy (AFM) at nanoscale, and by hydraulic force spectroscopy (HFS), an innovative micropipette aspiration technique, at the macroscale.

All the measurements were conducted at two time points, 3 and 14 days, to imitate the early and late stage of cancer. Then, three parameters were compared: Young's (compression), storage and loss (shear stress) moduli. Our results show that from AFM under both compression and shear stress, HCV29 is stiffer than HT1376 and T24. Moreover, although after 14 days all the three cell lines become stiffer, cancer cells remain softer than the non-malignant one anyway. However, with the HFS, we saw a softening of HCV29 after 14 days of culture. By taking histological and confocal images, we observed that these changes are related to the cytoskeleton organization, presence/absence of actin fibers and the amount of extracellular matrix component. Therefore, we conclude that both mechanical and rheological properties may serve as a biophysical cancer marker.

NOTES

ON-SURFACE SYNTHESIS OF NANOGRAPHENES

Szymon Godlewski[1,*]

[1]Faculty of Physics, Astronomy and Applied Computer Science, Jagiellonian University, Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków

[*]corresponding author: szymon.godlewski@uj.edu.pl

In recent years we observe renewed interest in the development of electronics based on electron transport through single molecules. In particular a lot of effort is undertaken to achieve efficient synthetic strategies to generate well-defined sections of graphene or graphene-like modules with diverse topological modifications. However, the reactivity/instability of numerous molecules as well as the insolubility of large polycyclic aromatic hydrocarbons limits the applications of conventional chemistry methods. An attractive alternative to the solution chemistry is based on its combination with the on-surface synthesis approach.

Herein we present the on-surface generation of higher acenes [1-2], their analogues [3] and diverse nanographenes [4-5], as well as the detailed study of their electronic structure on the Au(111) surface. Our method is based on the two-step dehydrogenation and thermally induced sequential cyclodehydrogenation of a stable and easily handled molecular precursors.

High-resolution non-contact atomic force microscopy (NC-AFM) imaging was applied for the detailed visualization of the internal structure of the intermediates, as well as the target molecules with diverse topologies. Details on the electronic structure were revealed using high resolution dI/dV mapping.

Additionally the surface assisted synthesis of nanographenes on semiconductors will be introduced.

The research was supported by the National Science Center, Poland (2017/26/E/ST3/00855; 2019/35/B/ST5/02666).

References:

[1] R. Zuzak, et al., ACS Nano 2017, 11, 9321−9329.

[2] R. Zuzak, et al., Angew. Chem. Int.Ed. 2018, 57, 10500 –10505.

[3] I. Izydorczyk, et al., Angew. Chem. Commun. 2022, 58, 4063 – 4066.

[4] R. Zuzak, et al., Chem. Commun. 2018, 54, 10256-10259.

[5] R. Zuzak, et al., Chem. Sci. 2019, 10, 10143-10148.

NOTES

Model mineral surfaces and their interaction with water investigated with nc-AFM

Giada Franceschi

Institute of Applied Physics, TU Wien, Vienna, Austria

The interaction of mineral surfaces with water regulates many important natural phenomena, including dissolution, CO_2 sequestration, corrosion, and ice nucleation. Yet, the atomic processes at the heart of the mineral-water interaction are still largely unknown due to the lack of experimental, atomically resolved studies [1]. Here, I will show our current efforts in answering open, fundamental questions on the mineral-water interaction.

We use non-contact AFM (nc-AFM) to characterize the surface atomic details of two model minerals – muscovite mica and feldspar microcline – cleaved under pristine (ultra-high vacuum, UHV) conditions. We follow the first stages of ice nucleation by dosing water vapor at 100 K and observe how the surfaces react upon exposure to ultra-clean liquid water [2]. Despite the apparent similarity of the discussed minerals (both are K-aluminosilicates with easy cleavage planes), marked differences appear in their surface atomic details and ice-nucleating behaviors. Mica is terminated by an array of K^+ ions with short-range order, see Figure 1 [3]. Differences at the local (atomic) level determine different water adsorption sites, causing heterogeneous ice nucleation. Instead, cleaved microcline offers a regular honeycomb lattice, which acts as a template for 2D ice growth.

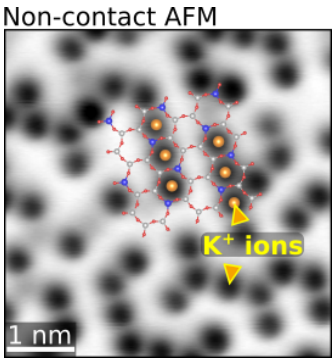


Figure 1: Constant-height, non-contact AFM image of UHV-cleaved muscovite mica.

[1] Coluzza *et al.*, Atmosphere 2017, 8(8), 138
[2] Balajka *et al.*, Rev. Sci. Instrum., 89 (2018)
[3] Franceschi *et al., submitted.*

NOTES

FERROELECTRIC PEROVSKITE OXIDE SURFACES

Dominik Wrana[1,*]

[1]Charles University, Faculty of Mathematics and Physics, Prague, Czech Republic

[*]autor korespondencyjny: dominik.wrana@mff.cuni.cz

Ferroelectric perovskites have a spontanoues polarization stemming from the ion displacements from the equilibrium position in the matrix. For example, in a model ferroelectric, barium titanate ($BaTiO_3$), the Ti^{4+} ion rests in a double-well potential landscape, providing a switchable polarization [1]. If this potential barrier in a well is too low to maintain a stable off-center configuration, which is in the case of potassium tantalate ($KTaO_3$), ferroelectric state can be reached by the application of a small stimuli, e.g. stress, doping or by the application of external fields.

In this talk, I will present the similarities and differences between two representative perovskite oxide surfaces – $KTaO_3$(001) and $BaTiO_3$(001), showcasing the manifestation of the (incipient-) ferroelectricity on the atomic and electronic structures. Both surfaces were prepared by cleaving single crystals *in situ* and characterized by means of qPlus nc-AFM at temperatures ranging from 4K to 100K.

$BaTiO_3$(100), a model ferroelectric perovskite, cooled down to 4K adopts a rhombohedral crystal structure, where titanium atoms can easily break a symmetry in all three <111> directions, causing a global spontaneous polarization. A biased tip placed a few nanometers above the surface allows for reversible manipulation of individual atoms on the surface, writing and erasing polarized ferroelectric domains.

At same temperatures, incipient-ferroelectric $KTaO_3$ remains paraelectric and its (001) surface is composed of two alternating domains of KO and TaO_2, developed to compensate the surface polarity [2]. However, the doping of niobium enables the potasium tantalate to be ferroelectric, with a tunable T_c by the level of Nb. By combining the macroscopic measurements of the specific heat with atomically-resolved nc-AFM images I will show the differences and similarities of ferroelectricity realized in bulk crystals and on surfaces.

[1] H. Kwei, A. C. Lawson, S. Cheong and S. Billinge, J. Phys. Chem. 97, 2368-2377 (1993).

[2] M. Setvin, M. Reticcioli, …, and U. Diebold, Science, 359(6375), 572-575 (2018).

NOTES

STEROWANIE NAPRĘŻENIAMI W ANTYMONENIE

Piotr Dróżdż[1], Mariusz Gołębiowski[1], Ryszard Zdyb[1]

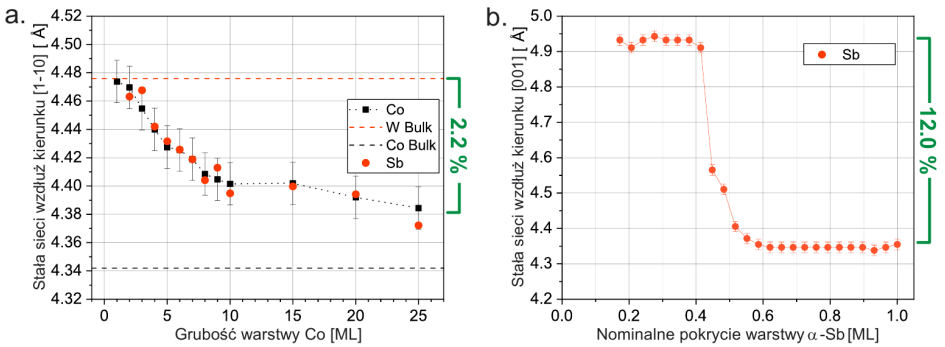
[1]Instytut Fizyki, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin, Polska

*autor korespondencyjny: piotr.drozdz@mail.umcs.pl

W ostatnim czasie grupa dwuwymiarowych materiałów (2D) została rozszerzona o nowego przedstawiciela - antymonen. Materiał ten został zsyntezowany w 2016 roku [1]. Ostanie prace teoretyczne jak i eksperymentalne pokazują, że właściwości fizyczne antymonenu mogą być znacząco modyfikowane poprzez naprężania indukowane w sieci krystalicznej [2,3].

W naszych badaniach pokazujemy w jaki sposób kontrolować naprężenia w pojedynczej warstwie antymonenu w fazie α (α-Sb) wzdłuż dwóch prostopadłych do siebie kierunków leżących w płaszczyźnie powierzchni próbki. W badanym układzie naprężenia w warstwie α-Sb mogą być indukowane poprzez niedopasowanie sieciowe występujące pomiędzy podłożem W(110) a sąsiednimi warstwami. W tym przypadku wielkość naprężeń w α-Sb jest kontrolowana poprzez zmianę grubości warstwy buforowej Co umieszczonej pomiędzy α-Sb, a podłożem. W badaniach pokazano również silną zależność wielkości naprężeń w α-Sb w zależności od nominalnego pokrycia warstwy α-Sb w układzie α-Sb/Co/W(110). Właściwości strukturalne oraz magnetyczne układu były badane *in-situ* przy wykorzystaniu Spinowo Spolaryzowanego Mikroskopu Niskoenergetycznych Elektronów (SP-LEEM).

Badania zostały wykonane w ramach projektu badawczego Narodowego Centrum Nauki nr 2020/37/B/ST5/03540



Wykres 1. Wartości stałych sieci wyznaczone wzdłuż kierunków [1-10] w funkcji grubości warstwy Co (a) oraz wzdłuż kierunku [001] w funkcji nominalnego pokrycia warstwy α-Sb (b).

[1] P. Ares, et al., Adv. Mater. **28**, 6332 (2016).
[2] Y. Wu, et al., Nano Energy **63**, 103870 (2019).
[3] Q. Lu, et al., Nat. Commun. **13**, 4603 (2022).

NOTES

Tracking single electrons by STM/AFM

Martin Setvin

Charles University, Faculty of Mathematics and Physics, Prague, Czech Republic

Polarons [1] are quasiparticles created by the coupling of excess electrons or holes with lattice distortions in polar materials: Electron-phonon interaction leads to a partial or complete localization of the charge carrier. Even though the concept is known for almost a century, it gradually turns out that polarons play central role in many materials properties, such as electrical transport, optical properties, surface reactivity or magnetoresistance. This talk will focus on the options of investigating electron- and hole-polarons by scanning tunnelling microscopy and noncontact atomic force microscopy.

The possibilities offered by STM will be illustrated on the prototypical metal oxide TiO_2. Here the polaron formation influences electrical conductivity [2], stability of surface reconstructions [3], and adsorption of molecules such as CO [4] or O_2 [5]. The options of STM are limited by the requirement for a constant flow of tunnelling electrons. This can be overcome by the use of noncontact AFM, which allows detecting single charges through probing their electrostatic interaction with the tip. This will be illustrated on the hematite Fe_2O_3 and perovskites.

[1] Franchini, C., Reticcioli, M., Setvin, M. & Diebold, U. Polarons in Materials. *Nature Reviews Materials* **6**, 560-586 (2021).

[2] Setvin, M. *et al.* A Direct View at Excess Electrons in TiO_2 Rutile and Anatase. *Phys. Rev. Lett.* **113**, 086402 (2014).

[3] Reticcioli, M. *et al.* Polaron-driven surface reconstructions. *Phys. Rev. X* **7**, 031053 (2017).

[4] Reticcioli, M. *et al.* Interplay between adsorbates and polarons: CO on rutile TiO_2(110). *Phys. Rev. Lett.* **122**, 016805 (2019).

[5] Setvin, M., Hulva, J., Parkinson, G. S., Schmid, M. & Diebold, U. Electron transfer between anatase TiO_2 and an O_2 molecule directly observed by atomic force microscopy. *PNAS* **114**, E2556-E2562 (2017).

NOTES

Storage of atomic hydrogen in the 2D confined space: in operando visualization of the protons intercalation under the graphene layer

Tomasz Kosmala*, Ireneusz Morawski, Radosław Wasielewski, Marek Nowicki

Institute of Experimental Physics, University of Wrocław, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław, Poland

*corresponding author: tomasz.kosmala@uwr.edu.pl

Electrochemical hydrogen storage is a potential alternative to realize the unique future of hydrogen as a green fuel [1]. It can be conducted in an easy way at room temperature and ambient pressure since atomic hydrogen absorbs onto hydrogen storage material from an aqueous medium by means of underpotential adsorption of H^+ [2]. However, one of problems is to achieve a long-term stability due to the self-discharge of such devices.

Herein, we investigated a model system comprising of Gr growth on a Ru(0001) single crystal under UHV by ethanol decomposition. Such prepared samples have been studied under the electrochemical conditions in sulfuric and perchloric acid by electrochemical scanning tunneling microscopy (EC-STM), which allows us to image the surface with atomic resolution and to monitor *in operando* the intercalation process of protons through the Gr layer and its adsorption/desorption on/from Ru surface, respectively. We found out that the intercalation process through Gr starts at the step-edges of Ru on the lower terraces and propagates toward the basal plane. Moreover, the process is facilitated through the defects in the Gr structure at the step-edge. Furthermore, Gr layer stabilizes the stored hydrogen in the 2D confined space (see Figure 1), as confirmed by long-term STM measurements.

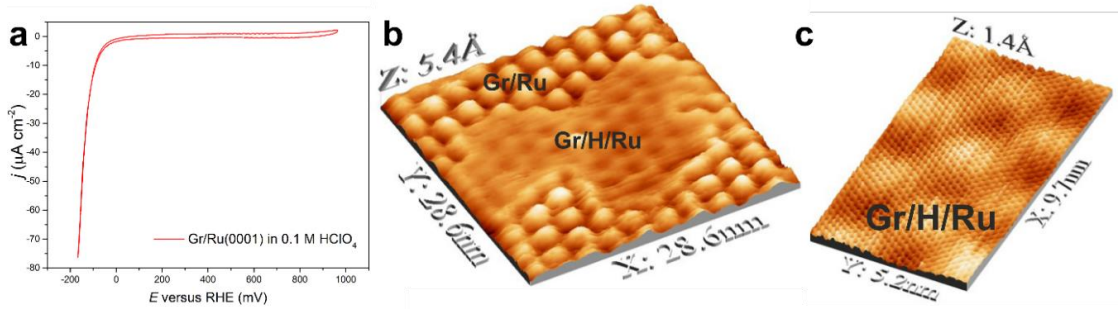


Figure 1. (a) Cyclic voltammogram of Gr/Ru(0001) recorded in Ar-saturated 0.1 M $HClO_4$ with scan rate of 20 mVs^{-1}. (b) Large-scale EC-STM image of the island of trapped hydrogen at the interface between Ru substrate and Gr layer due to the intercalation of protons recorded at E = 585 mV vs RHE; I_t = 4.7 nA, U_b = 145 mV. (c) Atomically resolved STM image of Gr/H/Ru(0001) obtained at 120 mV vs RHE; I_t = 4.7 nA, U_b = -85 mV.

[1] A. Eftekhari, B. Fang, *Int J Hydrogen Energy* **2017**, *42*, 25143.
[2] M. Kaur, K. Pal, *J Energy Storage* **2019**, *23*, 234.

NOTES

POLYMORPHISM IN TWO- AND THREE-DIMENSIONAL SUPRAMOLECULAR ORGANIZATIONS OF ORGANIC SEMICONDUCTORS

Agnieszka Maranda-Niedbała[1], Joanna Zapała[1], Tomasz Jaroch[1], Klaudyna Krzyżewska[1], Kamil Kotwica[1], Katarzyna Jarzembska[2], Małgorzata Zagórska[3], Adam Proń[3], Robert Nowakowski[1]

[1]Instytut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk, Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa
rnowakowski@ichf.edu.pl
[2]Wydział Chemii, Uniwersytet Warszawski, Żwirki i Wigury 101, 02-089 Warszawa
[3]Wydział Chemiczny, Politechnika Warszawska, Noakowskiego 3, 00-664 Warszawa

[*]corresponding author: rnowakowski@ichf.edu.pl

Elucidation of 2D supramolecular structure of monolayers and thin layers of electroactive organic compounds is of crucial importance not only from the basic research point of view but also taking into account their potential application in electronic and electrochromic devices of various types. Self-organization of these compounds is a complex process, in which, apart from intermolecular interactions, molecule-substrate interactions have to be considered. In particular in these objects of low (2D) dimensionality, a tendency to locate and arrange all structural elements of the molecules in one plane is observed. As a consequence, their supramolecular structure may significantly differ from the ordering in the corresponding planes of three-dimensional single crystals (polymorphism).

2D *vs* 3D polymorphism will, therefore, be the main topic of this lecture. Comparative studies will be presented, consisting of STM observations (at molecular resolution) of monolayers of selected organic semiconductors deposited on a graphite substrate, which will be completed by detailed analysis of their X-ray diffractograms recorded for their three-dimensional single crystals. Supramolecular organization in three types of organic semiconductors will be discussed: i) thiadiazole derivatives with bithiophene substituents [1]; ii) diketopyrrolopyrrole derivatives with ter- and bithiophene substituents [2] and iii) anthraquinone derivatives with alkoxy substituents [3].

[1] J. Zapała et al. Langmuir, 2013, 29, 14503-14511
[2] T. Jaroch et al. Synthetic Metals, 2015, 204, 133-140
[3] A. Maranda-Niedbała et al. Langmuir, 2020, 36, 15048-15063

NOTES

MIKROSKOPIA SIŁ ATOMOWYCH W BADANIU ZMIAN KONFORMACYJNYCH MIESZANYCH NANOSZCZOTEK POLIMEROWYCH

Karol Wolski[1,*], Joanna Smenda[1], Anna Grobelny[1], Paweł Dąbczyński[2], Adrian Cernescu[3], Jakub Rysz[2], Szczepan Zapotoczny[1]

[1]Uniwersytet Jagielloński, Wydział Chemii, ul. Gronostajowa 2, 30-387 Kraków
[2] Instytut Fizyki im. M. Smoluchowskiego, Uniwersytet Jagielloński, ul. Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków
[3] Attocube Systems AG, Eglfinger Weg 2, 85540 Haar, Niemcy

[*]autor korespondencyjny: wolski@chemia.uj.edu.pl

Nanoszczotki polimerowe to zespoły rozciągniętych i gęsto upakowanych łańcuchów polimerowych, których jeden koniec jest przytwierdzony (najczęściej kowalencyjnie) do odpowiedniego podłoża np. powierzchni płaskiej, nanocząstek, łańcucha polimerowego itp. Materiały te znajdują zastosowanie m.in. jako: warstwy antybakteryjne, podłoża do kontrolowanego wzrostu komórek, bio/chemosensory, inteligentne pokrycia o przełączalnych właściwościach czy też warstwy transportujące nośniki ładunków. Szczególnym przykładem tych nanostruktur są tzw. binarne mieszane nanoszczotki polimerowe, które zbudowane są z dwóch różnych rodzajów łańcuchów polimerowych przytwierdzonych do tego samego podłoża. Tego typu filmy polimerowe zapewniają duże możliwości sterowania właściwościami interfejsu, dzięki zmianom konformacyjnym szczepionych łańcuchów polimerowych w odpowiedzi na bodźce zewnętrzne.

W toku przeprowadzonych badań opracowano nową metodę syntezy binarnych mieszanych nanoszczotek polimerowych, którą wykorzystano do otrzymania uporządkowanych warstw organicznych na bazie polimerów skoniugowanych i polielektrolitów. Pomiary AFM topografii powierzchni i sił adhezji umożliwiły obserwację nanoseparacji fazowej i dynamiki powierzchniowej dwóch typów polimerów w nanoszczotkach w różnym otoczeniu chemicznym (powietrze, ciecze), przed i po wytworzeniu łańcuchów skoniugowanych. Zastosowanie techniki IR s-SNOM dostarczyło dodatkowych informacji o składzie chemicznym badanych warstw, a krzywe prądowo-napięciowe zebrane w przewodzącym trybie AFM wykazały, że otrzymane materiały mogą wykazywać efekt memrystywny.

Zaprezentowane badania zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu SONATA 14 (2018/31/D/ST5/00868).

NOTES

Advances in Single-Molecule Optical Spectroscopy with Scanning Probe technique.

Jiří Doležal[1], Sofia Canola[1], Rodrigo Ferreira[1], Prokop Hapala[1], Pablo Merino[2], **Martin Švec[1]**

[1]Institute of Physics, Czech Academy of Sciences, Cukrovarnická 112/10, Praha 6, Czech republic

[2]Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid; CSIC, E28049, Madrid, Spain

[*]corresponding author: svec@fzu.cz

Exploration of fundamental photophysical phenomena at the level of individual quantum objects requires highly specialized optical spectroscopy with ultrahigh spatial resolution, and single-photon capabilities. Recent progress achieved with light spectromicroscopy in plasmonic nanocavities opened the path to investigation of individual excited molecules with unprecedented detail. We integrate photon-detection schemes with a 4K STM, AFM instrumentation and establish a dedicated theoretical support, which allows us to precisely control and measure excited states (excitons) in individual dye molecules with well-defined adsorption geometries on solid crystalline surface at nanoscopic level. The photons emitted from the molecules carry information about the energies, charges, vibronics and temporal evolution of the transient states, and could thus reveal fundamental mechanisms affecting the excitons and the single-photon generation processes. We address exciton delocalization over aggregates of charged chromophores, where the exciton coupling mechanism is identified through an accurate determination of the aggregate geometry via AFM and by comparison of photon maps of excitonic eigenmodes with their theoretical models. Finally, tip-enhanced Raman spectroscopy is performed on the well-known molecular junction with PTCDA in which the charge and spin state can be controlled via controlled mechanical manipulation.

References

1. Charge carrier injection electroluminescence with CO functionalized tips on single molecular emitters. J Doležal, P Merino, J Redondo, L Ondič, A Cahlík and M Švec, Nano letters 19, 8605-861, 2019

2. Mechano-Optical Switching of a Single Molecule with Doublet Emission. J Doležal, P Mutombo, D Nachtigallová, P Jelínek, P Merino and M Švec, ACS Nano 14, 8931-8938, 2020

3. Exciton-Trion Conversion Dynamics in a Single Molecule. J Doležal, S Canola, P Merino and M Švec, ACS Nano 15, 7694–7699, 2021

4. Evidence of trion-libron coupling in chirally adsorbed single molecules. J Doležal, S Canola, P Hapala, RCC Ferreira, P Merino, M Švec, arXiv preprint arXiv:2203.04077

NOTES

Magnetic phase transition in monolayer MoS_2 detected with AFM

Alexina Ollier[1], Marcin Kisiel*[1], Mehdi Ramezani[1], Akash Gupta[1], Urs Gysin[1], Andreas Baumgartner[1], Christian Schönenberger[1] and Ernst Meyer[1]

Department of Physics, University of Basel, Klingelbergstrasse 82, 4056 Basel, Switzerland

*email: marcin.kisiel@unibas.ch

At low doping electron-electron interactions in monolayer MoS_2 lead to a ferromagnetic spin order, whereas larger occupation of spin polarized energy bands results in paramagnetism [1, 2]. The electron density of MoS_2 might be tuned with gate voltage, thus providing the switch ability of the ferromagnetic to paramagnetic first-order phase transition. Spontaneous phase transition in two-dimensional semiconductor gated MoS_2 monolayer is detected by magnetic force spectroscopy. An abrupt and reproducible changes of the magnetic force were observed at doping concentration equal to $n_c = 3.0 \cdot 10^{12} cm^{-2}$ and were attributed to ferromagnetic to paramagnetic phase change. Linear dependence of force versus external magnetic field was noted in the paramagnetic state, whereas no such dependence was found in already polarised ferromagnetic state. The extracted spin susceptibility confirms the correlated electron system and the observed hysteresis of the measured magnetic force is a strong hint for first-order type of transition.

[1] – D. Miserev, Jelena Klinovaja, and Daniel Loss. "Exchange intervalley scattering and magnetic phase diagram of transition metal dichalcogenide monolayers." Physical Review B 100 014428 (2019).
[2] – Jonas G. Roch, et al. "First-Order Magnetic Phase Transition of Mobile Electrons in Monolayer MoS 2." Physical Review Letters 124, 187602 (2020).

NOTES

Porphyrin layers at Cu/Au(111)-electrolyte interface: EC-STM study

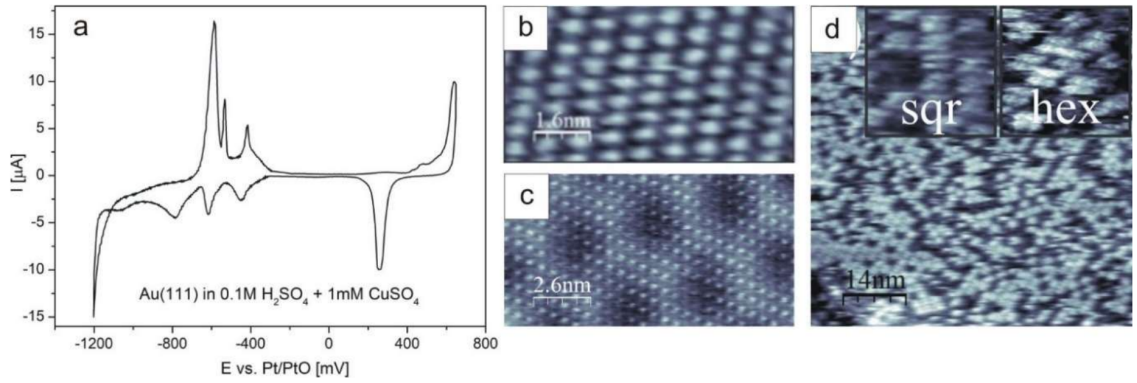
B. Mądry[1], I. Morawski[1], T. Kosmala[1], M. Nowicki[1,*], K. Wandelt[1,2]

[1] *Institute of Experimental Physics, University of Wrocław, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław, Poland*

[2] *Institute of Physical and Theoretical Chemistry, University of Bonn, Wegelerstr. 12, 53115 Bonn, Germany*

[*] corresponding author: marek.nowicki@uwr.edu.pl

The coadsorption of porphyrin molecules (TMPyP: Tetra(N-methyl-4-pyridyl)-porphyrin), sulfate anions and copper on Au(111) was investigated by the use of cyclic voltammetry (CV) and in situ electrochemical scanning tunneling microscopy (EC-STM). With decreasing electrode potential (fig. a) the following sequence of surface phases was found: a) $\left(\sqrt{3}\times\sqrt{7}\right)R19.1°-SO_4^{2-}$ on Au(111)-(1×1) (fig. b), b) disordered SO_4^{2-}-layer on Au(111)-(1×1), c) $\left(\sqrt{3}\times\sqrt{3}\right)R30°$ coadsorption structure of 2/3 ML Cu and 1/3 ML SO_4^{2-}, d) 1 ML Cu covered by a layer of mobile SO_4^{2-} anions, e) a coadsorption layer of disordered porphyrin molecules and still mobile SO_4^{2-} anions, f) overpotentially deposited Cu-multilayers terminated by the Moiré-type $\left(\sqrt{3}\times\sqrt{7}\right)R19.1°-SO_4^{2-}$ structure (fig. c) and covered by a dense layer of flat lying TMPyP molecules showing a growing square and hexagonally ordered arrangement (fig. d), and at even more negative potentials and low Cu concentrations in the solution g) a pseudomorphic underpotentially deposited Cu-monolayer covered by a $\left(\sqrt{3}\times\sqrt{7}\right)R19.1°-SO_4^{2-}$ layer and a dense, ordered porphyrin layer ontop. A severe imbalance between the copper deposition and desorption current in the CV spectra suggests the formation of CuTMPyP-metalloporphyrin on the surface which diffuses into the bulk solution.



[1] B. Madry, I. Morawski, T. Kosmala, K. Wandelt, M. Nowicki, Topics in Catalysis **61** (2018) 1335-1349.

[2] M. Nowicki, K. Wandelt, *Electrochemical Scanning Tunneling Microscopy*, in: Wandelt, K., (Ed.) Encyclopedia of Interfacial Chemistry: Surface Science and Electrochemistry **1** (2018) 108-128

[3] M. Nowicki, K. Wandelt, *Metal-Electrolyte Interfaces: An Atomic view*, "Surface and Interface Science. Interfacial Electrochemistry", Vol. 8, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, **8** (2020) 517 – 733.

NOTES

AFM STUDIES OF THE INTERACTION MECHANISMS OF MEMBRANE-ACTIVE PEPTIDES WITH MODEL CELL MEMBRANES

Piotr Pieta*, Marta Majewska, Dusan Mrdenovic, Izabela S. Pieta, Robert Nowakowski

Instytut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk w Warszawie, ul. Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa

*autor korespondencyjny: ppieta@ichf.edu.pl

All living organisms are made up of cells with a specific composition and internal structure, separated from their surroundings by a cell membrane. Therefore, the cell membrane is a protective barrier against leakage of the cell contents and the skeleton for transmembrane proteins embedded in it. Disruption of the cell membrane integrity, which often leads to cell death, can be caused by membranolytic molecules, such as membrane-active peptides. **Herein we will present the results of molecular studies aimed at understanding the mechanisms of interaction of selected membrane-active peptides with model biological membranes under biologically relevant conditions.**

Membrane-active peptides play significant and diverse roles in many biological processes occurring in almost all living organisms. They can be categorized depending on the biological processes they are implicated in. On the one hand, some of them belong to the family of antimicrobial peptides (AMPs), which are very important components of the innate immune system of all living organisms. Therefore, AMPs are a promising class of therapeutics that can kill multidrug-resistant bacteria. On the other hand, amyloid peptides (APs) contribute to the pathology of incurable diseases such as Alzheimer's, Parkinson's and type II diabetes. This means that APs can act as toxins to human cells. Therefore, membrane-active peptides reveal both positive and negative images with respect to humans. We will present the results of AFM studies of cathelicidin LL-37, which is a representative of membrane-active peptides beneficial to humans. As a membrane-active peptide with adverse effects for humans, we will present amyloid beta (Aβ), whose monomers aggregate to form neurotoxic Aβ oligomers (AβO) responsible for the development of Alzheimer's disease.

NOTES

Attenuation of Photoelectron Emission by a Single Organic Layer

Thorsten Wagner[1], Grażyna Antczak[2], Michael Györök[1], Agata Sabik[2], Anna Volokitina[1], Franciszek Gołek[2], Peter Zeppenfeld[2]

[1]*Johannes Kepler University, Linz, Austria*
[2]*University of Wrocław, Wrocław, Poland*

Email: grazyna.antczak@uwr.edu.pl

Organic−metal interfaces have recently been studied in great detail due to the development of devices with an active organic layer. Charge transport across such an organic-metal interface determines the properties of many devices. A related physical property in this context is the work function, i.e., the energy required to transfer one electron from the sample into the vacuum.

We studied in situ cobalt-phthalocyanine (CoPc) thin-films grown on Ag(100) surfaces with two complementary techniques: photoelectron emission microscopy (PEEM) with an Hg lamp as excitation source and the Anderson method [1]. Based on the evolution of the standard deviation of the electron yield across the PEEM images during the molecular growth we identify various stages of CoPc growth [2]. We find the Stranski-Krastanov growth mode with a three layer thick wetting layer. First and second molecular CoPc layer on Ag(100) have precursor in form of molecular 2D gas. Third layer of CoPc grows without precursor.

Using the Fowler−DuBridge theory [3], we correlate the evolution of the mean electron yield acquired with PEEM for coverages up to two molecular layers of cobalt-phthalocyanine to the global work function changes measured with the Anderson method [4]. Additional organic layers on top of the metal-organic interface cause a discrepancy between the transients measured with the Anderson method and those obtained with PEEM. As layer by layer growth continues up to the third layer we use attenuation by this layer to determine quantitatively the inelastic mean free path of the low-energy electrons while passing this layer.

The authors gratefully acknowledge the financial support from the following projects: Austrian Science Fund (FWF): P24528-N20, Austrian Science Fund (FWF): P28216-N36, and Austrian Exchange Service (OeAD): PL 13-2018. G.A. acknowledges the partial support of the University of Wrocław through the program ‘Excellence Initiative Research University’ for the years 2020−2026.

[1] A. Sabik, F. Gołek, G. Antczak, Review of Scientific Instruments **86**, 056111 (2015).
[2] T. Wagner et. al, Ultramicroscopy **233**, 113427 (2022).
[3] L. A. DuBridge, Physical Review **39**, 108-118 (1932); L.A. DuBridge, Physical Review **43**, 727-741(1933); R. H. Fowler Physical Review **38**, 45-56 (1931).
[4] T. Wagner et al, ACS Appl. Mater. Interfaces **14** 23983−23989 (2022).

NOTES

Posters

P01

Antynowotworowa aktywność oksysteroli w terapii przeciwko glejakowi wielopostaciowemu o różnym stopniu złośliwości – badania modelowe.

Anita Wnętrzak[1], Anna Chachaj-Brekiesz[1], Urszula Rutkowska[1], Ewelina Lipiec[2], Patrycja Dynarowicz-Łątka[1]

[1] Wydział Chemii, Uniwersytet Jagielloński, Gronostajowa 2, 30-387 Kraków, Polska
[2] Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, , Uniwersytet Jagielloński, Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków, Polska

Glejak wielopostaciowy to trudny do leczenia nowotwór charakteryzujący się dużą aktywnością proliferacyjną i swoistym, naciekającym wzrostem, związanym z rozprzestrzenianiem się komórek nowotworowych w najbliższym otoczeniu guza. Stopień zaawansowania nowotworu i jego złośliwość odzwierciedlają się w zmianie właściwości fizykochemicznych błon otaczających jego komórki, co może warunkować skuteczność stosowanej terapii antynowotworowej. W poznaniu mechanizmów rządzących tymi procesami ważną rolę odgrywają badania angażujące - zamiast żywych próbek - układy modelowe, takie jak monowarstwy Langmuira [1]. W niniejszych badaniach złośliwość nowotworu odwzorowano poprzez zwiększanie zawartości gangliozydu w układzie modelowym błony glejaka [2,3]. Następnie do modelowych błon o zwiększonej zawartości gangliozydu dodawano oksysterole: 7-ketocholesterol (7-K) oraz 25-hydroksycholesterol (25-OH) w różnych ułamkach molowych (X=0.1 oraz X=0.5). Oksysterole, będące utlenionymi pochodnymi cholesterolu, rozważane są jako potencjalne terapeutyki przeciwko glejakowi wielopostaciowemu [4]. Analiza układów o różnym stopniu złośliwości pokazała, że gangliozyd wykazuje zależne od stężenia powinowactwo do lipidów budujących błonę. Z kolei, oksysterole wykazują tendencję do wbudowywania się w modelową błonę glejaka zależnie od stężenia i rodzaju grupy polarnej, a także stopnia złośliwości nowotworu. Stosując mikroskopię kąta Brewstera (BAM) oraz mikroskopię sił atomowych (AFM) zaobserwowano w analizowanych filmach zmiany morfologiczne zachodzące pod wpływem oksysteroli. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdzają, że oksysterole mogą być wykorzystane do leczenia glejaka o różnym stopniu złośliwości, gdyż usztywnienie błon jego komórek może zahamować jego rozprzestrzenianie. Porównując działanie obu badanych oksysteroli bardziej wyraźne zmiany zaobserwowano dla działania 7-K niż dla 25-OH.

[1] A. R. Pereira, O.N. Oliveira Jr, 2021, Recent advances in the use of Langmuir monolayers as cell membrane models. Eclética Química, vol. Esp. 46, 18-29; [2] D.D. Martin et. al, 1996, The fatty acid composition of human gliomas differs from that found in nonmalignant brain tissue, Lipids 31, 1283–1288; [3] A.J. Yates et. al, 1079, Lipid Composition of Human Neural Tumors, J lipid Reasearch 20, 4, 428-436; [4] A. Wnętrzak et. al., 2021, Can oxysterols work in anti-glioblastoma therapy? Model studies complemented with biological experiments. BBA - Biomembranes, 1863, 183773.

P02

Wpływ wybranych oksysteroli na właściwości wewnętrznej i zewnętrznej warstwy błony komórkowej

Anna Chachaj-Brekiesz[1], Anna Olbrich[1], Wiktoria Pęcak[1], Ewelina Lipiec[2], Anita Wnętrzak[1], Patrycja Dynarowicz-Łątka[1]

[1] Wydział Chemii, Uniwersytet Jagielloński, ul. Gronostajowa 2, 30-387 Kraków
[2] Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Jagielloński, ul. Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków

Asymetria składu warstw błony komórkowej jest zjawiskiem powszechnym obserwowanym już u prostych komórek bakterii Gram-ujemnych. Różnice w zawartości poszczególnych lipidów i białek pomiędzy wewnętrzną i zewnętrzną warstwą błony skutkują odmiennością właściwości mechanicznych (płynności, przepuszczalności), a także oddziaływań z egzo- i endogennymi substancjami aktywnymi membranowo. Dokładna charakterystyka wybranej warstwy błony na podstawie próbek biologicznych jest utrudniona, a często niemożliwa. Dlatego dobrą strategią badawczą jest zastosowanie układów modelowych w postaci filmów Langmuira lub Langmuir-Blodgett o składzie odwzorowującym układy naturalne. Podejście to zastosowano do zbadania aktywności membranowej dwóch, utlenionych pochodnych cholesterolu (tzw. oksysteroli): 7β-hydroksycholesterolu (7β-OH) oraz 25-hydroksycholesterolu (25-OH). Ich stężenie może wzrastać w wyniku procesów patologicznych (np. w chorobach neurodegeneracyjnych), a także na skutek dostarczania do organizmu wraz z wysoko przetworzoną żywnością. W tych warunkach oksysterole mogą działać szkodliwie, powodując m.in. destrukcję błon. Do badań wybrano układy referencyjne modelujące wewnętrzną (Chol:POPE:POPS) i zewnętrzną (Chol:POPC:SM) warstwę błony komórkowej. Następniew układach tych zastąpiono częściowo lub całkowicie cholesterol (Chol) za pomocą oksysterolu. Szczegółowa analiza wykazała, że z pozoru niewielkie różnice w budowie oksysteroli, wpływają znacząco na ich powinowactwo do warstw biomembrany. I tak, wykazano, że 7β-OH ma zdolność do selektywnego wbudowywania się w zewnętrzną warstwę błony, powodując jej upłynnienie (odzwierciedlające się obniżeniem modułu ściśliwości) i prowadząc do zaniku domen fazy skondensowanej (co wykazano obrazowaniem BAM i AFM). Z kolei, w przypadku 25-OH zaobserwowano brak selektywnego powinowactwa do którejkolwiek z warstw błony oraz zwiększenie sztywności filmów w porównaniu do układów referencyjnych.

P03

WZROST I CHARAKTERYZACJA METALICZNYCH ORAZ UTLENIONYCH FORM BIZMUTENU NA PODŁOŻACH VAN DER WAALSA

Klaudia Toczek[1,*], Maciej Rogala[1], Paweł Krukowski[1], Michał Piskorski[1], Maxime Le Ster[1], Iaroslav Lutsyk[1], Witold Kozłowski[1], Paweł Dąbrowski[1], Rafał Dunal[1], Aleksandra Nadolska[1], Przemysław Przybysz[1], Wojciech Ryś[1], Karol Szałowski[1], Dorota A. Kowalczyk[1], Paweł J. Kowalczyk[1]

[1]Uniwersytet Łódzki, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Katedra Fizyki Ciała Stałego, Pomorska 149/153, 90-236 Łódź, Polska

[*]autor korespondencyjny: klaudia.toczek@edu.uni.lodz.pl

Bizmut należy do piętnastej grupy układu okresowego, o konfiguracji elektronicznej $6s^2 6p^3$ i jako półmetal jest ostatnim nieradioaktywnym pierwiastkiem w układzie okresowym o niezwykłych właściwościach elektronicznych.

Te właściwości są interesujące ze względu na efekty spinowo-orbitalne, stany powierzchniowe i krawędziowe.[1] W bizmucie po raz pierwszy zaobserwowano wiele zjawisk kwantowych, takich jak na przykład magnetorezystancję, a ostatnio także topologicznie chronione stany krawędziowe. Niedawno wykazano, że bizmut może być hodowany w postaci dwuwymiarowej i jest znany jako bizmuten.[1,2] Niezwykle ważne jest zrozumienie procesów wzrostu i degradacji tego nowego materiału.

Przedstawimy właściwości i morfologię nanostruktur bizmutenu (2D-bizmut o strukturze czarnego fosforu) hodowanych epitaksjalnie na wysoko zorientowanym graficie pirolitycznym (HOPG), a także na mice i heksagonalnym azotku boru (hBN).

Skupimy się na badaniach eksperymentalnych prowadzonych z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii tunelowej oraz mikroskopii sił atomowych, dzięki którym mogliśmy zbadać strukturę elektronową i atomową pojedynczych warstw bizmutu. Do zbadania i określenia składu chemicznego utlenionych struktur wykorzystano rentgenowską spektroskopię fotoelektronów. Do dalszej analizy struktur utlenionych i metalicznych wykorzystano spektroskopię Ramana.

Podziękowania: Powyższe badania wspierane są przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu nr. 2019/35/B/ST5/03956.

[1] P. J. Kowalczyk, O. Mahapatra, D. N. McCarthy, et al. Surf Sci, 605, 659–667, 2011.

[2] S. Pinilla, J. Coelho, K. Li, et al. Nature Reviews Materials 7, 717–735, 2022.

P04

Analiza powierzchni monowarstwy MoO_{3-x} dla zastosowań w pamięciach opartych na mechanizmie przełączania rezystywnego

Aleksandra Nadolska[1], Maciej Rogala[1], Dorota Kowalczyk[1], Witold Kozłowski[1], Iaroslav Lutsyk[1], Michał Piskorski[1], Paweł Krukowski[1], Paweł Dąbrowski[1], Rafał Dunal[1], Przemysław Przybysz[1], Wojciech Ryś[1], Klaudia Toczek[1], Paweł Kowalczyk[1]

[1] *Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Łódzki, Pomorska 149/153, 90-236 Łódź*

Pod wpływem stymulacji elektrycznej rezystywność niektórych tlenków (Y_2O_3, TiO_2, HfO_2, MoO_3) oraz dichalkogenków metali przejściowych (MoS_2, $MoSe_2$, WS_2, WSe_2) ulega zmianie. Zjawisko to nazywane jest przełączaniem rezystywnym i jest wykorzystywane między innymi do konstrukcji pamięci ReRAM (resistive random - access memory). Pamięć tego typu najczęściej ma postać struktury warstwowej MIM (metal-izolator-metal). Odpowiednia stymulacja elektryczna powoduje tworzenie filamentów w warstwie izolatora co wpływa na zmianę jego stanu. Zmiany rezystancji odbywają się pomiędzy stanami HRS (high resistive state) oraz LRS (low resistive state). Stanowi HRS przypisywany jest stan logiczny ‘0’, a stanowi LRS stan logiczny ‘1’, co pozwala na zapis danych. Głębszy wgląd w poznanie mechanizmów odpowiedzialnych za przełączanie rezystywne pozwoli na konstruowanie bardziej wydajnych urządzeń.

Aktualnie skupiamy się na badaniu morfologii oraz własności elektrycznych dwuwymiarowych epitaksjalnych warstw tlenku molibdenu. Wzrost monowarstw prowadzony jest w warunkach ultrawysokiej próżni na podłożach przewodzących, które pełnią rolę dolnej elektrody w układzie badawczym. Górną elektrodę stanowi przewodząca sonda mikroskopu sił atomowych, co pozwala na prowadzenie badań w nanoskali. Przedstawimy punktowe modyfikacje warstwy, które powstały pod wpływem stymulacji elektrycznej oraz analizę morfologii oraz własności elektrycznych monowarstwy MoO_{3-x} w warunkach UHV oraz w powietrzu.

Niniejsze badania są wspierane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu 2020/38/E/ST3/00293.

P05

Optymalizacja warunków podłoży hodowlanych komórek śródbłonka zatok wątroby

Oliwia Blacharczyk*, Bartłomiej Zapotoczny, Małgorzata Lekka

Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk, Walerego Eliasza Radzikowskiego 152, Kraków

*autor korespondencyjny: oliwia.blacharczyk@ifj.edu.pl

Komórki śródbłonka zatok wątroby (LSEC, *z ang. Liver Sinusoidal Endothelial Cells*) to wysoce wyspecjalizowane komórki, uczestniczące w wymianie makrocząsteczek między układem krwionośnym a wątrobą, posiadające fenestracje - transkomórkowe pory w rozmiarach 50-350 nm. Wykazano, iż wzrostowi sztywności podłoża, na którym znajdują się LSEC, towarzyszy zanik, charakterystycznych dla tego typu komórek, fenestracji. [1] Stanowi to ograniczenie w badaniach tych komórek.

Badanie oddziaływań mechanicznych komórka-podłoże wymaga stosowania odpowiednich podłoży o dobrze zdefiniowanej sztywności. W naszym doświadczeniu wykorzystaliśmy żele poliakrylamidowe (PAA), które pokryliśmy ludzkimi białkami macierzy zewnątrzkomórkowej (fibronektyna, kolagen I, kolagen III) przy użyciu zmodyfikowanej metody bazującej na wcześniejszych doniesieniach literaturowych [2]. Metoda ta bazuje na funkcjonalizacji białkiem za pomocą związku sieciującego sulfoSANPAH. Testowano żele o dwóch wybranych modułach Younga: $E \approx 160 \pm 8{,}2$ kPa (n=3) oraz $E \approx 8 \pm 2{,}3$ kPa (n=2). Pomiar topografii powierzchni i elastyczności próbek wykonano za pomocą odpowiednio mikroskopii i spektroskopii sił atomowych.

Wyniki sugerują różną skuteczność wiązania się badanych białek macierzy zewnątrzkomórkowej z żelami PAA. Celem naszych badań jest wybór odpowiednich warunków podłoża (równomierne rozłożenie białka, niski moduł elastyczności) pozwalających zachować fenotyp LSEC w hodowli in vitro w czasie 48 h.

Badania finansowane z projektu Sonata 15 grant no. 2019/35/D/NZ3/01804

[1] Guixé-Muntet S i in. https://doi: 10.1016/j.jhepr.2020.100145
[2] Sunyer R. i in., https://doi.org/10.1371/journal.pone.0046107

P06

INVESTIGATING THE MORPHO-PHYSIOLOGICAL CHANGES OF HUMAN SKIN TUBEROUS SCLEROSIS CELLS

Iryna Levkovych[1], Monika Siedlecka[2], Tomasz Kobiela[1], Ryszard Galus[2], Anna Sobiepanek[1,*],

[1]Laboratory of Biomolecular Interaction Studies, Faculty of Chemistry, Warsaw University of Technology, Noakowskiego 3, 00-664 Warsaw
[2]Department of Histology and Embryology, Medical University of Warsaw, Chałubińskiego 5, 02-004 Warsaw
[*]Corresponding author: anna.sobiepanek@pw.edu.pl

Tuberous sclerosis (TSC) is a rare but multi-system genetic disease, which causes the growth of benign tumors in many organs, like the brain, kidneys, lungs, as well as on the skin. The patient's comfort in life largely depends on the type of symptoms - from mild symptoms that do not affect normal life to life-threatening ones. As clinical aspects can be initially undetectable, it may take many years before typical signs and symptoms appear. Therefore, a lot of patients live for years without having this illness identified or are misdiagnosed. Despite many studies on the pathomechanisms of disease development, there is still a lack of optimal targeted therapy (1-3).

As defined, the main cause of tuberous sclerosis are the mutations in the *TSC1* or *TSC2* genes, which encode the proteins: hamartin and tuberin, respectively. These proteins play a crucial role in regulating the mTOR protein responsible for various processes, including protein synthesis and cell growth control. The lack of hamartin and tuberin inhibitory complex activates the mTOR pathway (4-5).

For this study, fibroblast-like cells were isolated from the skin of a patient suffering from a tuberous sclerosis benign tumor and fibroblast from the healthy skin. Four aspects of the TSC fibroblast-like cells and normal fibroblasts (NHFib) morpho-physiological characteristics were investigated. Changes in cell elasticity together with cell morphology were checked on the atomic force microscopy (AFM) in the spectroscopy mode. The cell cytoskeleton was investigated *via* immunofluorescence staining. To follow the differences in cell motility the scratch assay was used and for cell adhesion the cell-substrate adhesion assays. The results indicate that although the elastic properties of cells are not changed significantly, the other investigated properties of TSC cells show differences in comparison with NHFib cells.

1. National Institutes of Health, National Institute of Neurological Disorders and Stroke, Tuberous Sclerosis Fact Sheet 2022.
2. Tonekaboni et al. 2012, Iran J Child Neurol, 6(3).
3. Wataya-Kaneda et al. 2017 International Journal of Urology, 24:681-691.
4. Qing et al. 2018, J Biomech Eng.
5. Goncharova et al. 2004, Journal of Cell Biology, 167(6):1171–1182.

P07

Studies of RBC membranes and released microvesicles by Atomic Force Microscopy, Raman Spectroscopy, Surface Enhanced Raman Spectroscopy and Tip -Enhanced Raman Spectroscopy

Tetiana Stepanenko[1,2], Kamila Sofinska[3], Natalia Wilkosz[2*], Jakub Dybas[1], Katarzyna Bulat[2], Ewa Szczesny-Malysiak[1], Magdalena Kaczmarska[1], Ewelina Lipiec[3], Katarzyna Maria Marzec[1,2]

[1]Jagiellonian Center for Experimental Therapeutics, Jagiellonian University, 14 Bobrzyńskiego St., 30–348, Krakow, Poland
[2]Łukasiewicz Research Network – Krakow Institute of Technology, 73 Zakopiańska St., 30-418 Krakow, Poland
[3]M. Smoluchowski Institute of Physics, Jagiellonian University, Łojasiewicza 11 St., 30-348 Kraków, Poland

[*]autor korespondencyjny: natalia.wilkosz@kit.lukasiewicz.gov.pl

One of the recently discovered ways of intercellular communication are microvesicles (MV) formed from the cell membrane in the course of its life processes. Characterization of the biochemical profile of red blood cell (RBC) membranes and MVs, can provide the necessary information to understand their role in the disease progression and can contribute to the development of innovative treatments.

In this study, we focused on the analysis of the RBC membrane and MVs secreted by the RBCs that have been investigated using such techniques as atomic force microscopy (AFM) and Raman spectroscopy (RS) approaches. AFM analysis was focused on MVs morphology and their size distribution. The biochemical profile of RBC membranes and MV was first analyzed with the use of Raman spectroscopy and surface enhanced Raman spectroscopy (SERS). Raman imaging with the application of 488 nm excitation allowed obtaining information only from the small fraction of MV which had diameter higher than 200 nm. Whereas, high sensitivity and the resolution of the tip-enhanced Raman spectroscopy (TERS) allowed analysis of MV formed *in situ* on RBC membranes. The results obtained with this methodology enabled characterization of the biochemical profile of MVs of different sizes. The advantages and disadvantages of AFM, RS, SERS and TERS in MV and RBC membrane analysis will be presented and compared.

Acknowledgement: This work is supported by the National Science Centre, Poland under the "SONATA BIS " project (Reg. No. UMO- 2020/38/E/ST4/00197).

P08

ANIZOTROPOWE STRUKTURY SI-AU NA POWIERZCHNIACH SCHODKOWYCH SI

Agnieszka Stępniak-Dybala[1,*], Mariusz Krawiec[1]

[1]Instytut Fizyki, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Pl. M. Curie-Skłodowskiej 1, 20-031 Lublin

[*]autor korespondencyjny: agnieszka.stepniak@umcs.pl

Silicen jest to dwuwymiarowy materiał zbudowany z atomów krzemu ułożonych w sieć krystalograficzną typu plastra miodu [1]. Materiał ten przyciąga coraz więcej uwagi ponieważ wydaje się być obiecującą alternatywą dla istniejących technologii elektronicznych z przewidywanym wysokim stopniem integracji [2]. Podobnie jak jego poprzednik, grafen, charakteryzuje się pasmami o liniowej dyspersji, które tworzą stożki Diraca nadając mu nowych właściwości [3].

Zasadniczą różnicą pomiędzy silicenem a grafenem jest to, że nie występuje w postaci swobodnej, pojedynczej warstwy. Do chwili obecnej udało się zsyntetyzować silicen w formie epitaksjalnej wykorzystując do tego głównie powierzchnie metali [4]. Obecność metalicznego podłoża może jednak znacznie zmodyfikować strukturę elektronową silicenu. Z drugiej strony podłoże to doskonałe narzędzie do funkcjonalizowania silicenu [5]. Silne oddziaływanie silicen-podłoże może doprowadzić do powstania nowych pasm energetycznych, a w konsekwencji do nowych egzotycznych właściwości złożonych heterostruktur silicenowych, niedostępnych oddzielnie dla poszczególnych składników.

Prezentowane wyniki badań dotyczą pomiarów struktur Si na jednowymiarowych uporządkowanych podłożach – schodkowych powierzchniach Si pokrytych warstwami Au, czyli materiałach z silnie anizotropowymi charakterystykami. Badania wykonane za pomocą skaningowego mikroskopu tunelowego (STM) pokazują, że próba wytworzenia silicenu na powierzchniach wicynalnych zwykle powoduje silną modyfikację struktury podłoża. Powierzchnia traci uporządkowany, jednowymiarowy charakter i obserwuje się szerokie, nieregularne tarasy ze słabo widoczną strukturą.

[1] K. Takeda, K. Shiraishi, Physical Review **B** 50, 14916 (1994).
[2] L. Tao, E. Cinquanta, D. Chiappe, C. Grazianetti, M. Fanciulli, M. Dubey, A. Molle, D. Akinwande, Nature Nano. **10**, 227 (2015).
[3] S. Cahangirov, M. Topsakal, E. Akturk, H. Sahin, S. Ciraci, Phys. Rev. Lett. **102**, 236804 (2009).
[4] H. Zhong, R. Quhe, Y. Wang, J. Shi, J. Lu, Chin. Phys. B **24**, 087308 (2015).
[5] M. Krawiec, J. Phys.: Condens. Matter **30**, 233003 (2018).

Badania wykonano w ramach grantu NCN nr 2018/29/B/ST5/01572.

P09

STRUCTURAL CHARACTERIZATION AND APPLICATION OF SILVER NANOPARTICLES PRODUCED BY GREEN CHEMISTRY

Anna Wasilewska[*1], Beata Kalska-Szostko[2]
[1]Doctoral School of Exact and Natural Sciences, University of Bialystok
[2] Department of Materials Chemistry, Faculty of Chemistry, University of Białystok,
ul. Ciołkowskiego 1K 15-245 Białystok

[*] a.wasilewska@uwb.edu.pl

A proper understanding of silver (Ag) nanoparticles properties is fundamental for developing new antimicrobial agents [1]. In this study, Ag nanoparticles were obtained by green synthesis methods using natural reducing agents present in extracts of apples, oranges, potatoes, red pepper, white onion, garlic and radish. The antimicrobial properties of respective nanoparticles, expressed as the minimum inhibitory concentration, were assessed against Staphylococcus aureus, Bacillus cereus, Escherichia coli, and Candida krusei. The physicochemical characterization of the particles was done by: TEM, XRD, IR methods. [1]. Our study indicates that each plant extracts gives the Ag nanoparticles specific physicochemical and antimicrobial properties. Ag nanoparticles, possess different size and surface termination what is depend on reducing agent-plant extract [1]. Atomic force microscopy provides the nanoscale ability to observe changes in both the morphology and mechanical properties of pathogens when exposed to antimicrobial compounds such as green chemistry produced silver nanoparticles [2].

Atomic force microscopy (AFM), due to its high resolution and mechanical measurement capabilities, has become a powerful technique used to characterize bacterial surfaces and determine adhesive and mechanical properties. AFM can be used to rapidly assess bacterial resistance, observe nanoscale real-time changes in bacterial morphology and elasticity following antibacterial treatment, also a various aspects of the immune response, such as the observation of the mechanical properties of epithelial cells subjected to bacterial infections [2].

[1] Wasilewska, A., Kalska-Szostko B. et al. "Physico-chemical properties and antimicrobial activity of silver nanoparticles fabricated by green synthesis." Food Chemistry 400 (2023): 133960.
[2] Pogoda, Katarzyna, et al. "Stiffening of bacteria cells as a first manifestation of bactericidal attack." Micron 101 (2017): 95-102.

P10

Charakterystyka nanocząstek złota wykorzystywanych w testach wykrywających białka wirusa SARS-COV2

Katarzyna Jurkowska[1], Dawid Lupa[1], Jakub Barbasz[2] , Ewelina Lipiec[1*]

[1]Instytut Fizyki im. M. Smoluchowskiego, Uniwersytet Jagielloński, ul. Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków

[2]Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera Polskiej Akademii Nauk, Niezapominajek 8, 30-239 Kraków

[*]autor korespondencyjny: ewelina.lipiec@uj.edu.pl

W paskowych testach antygenowych służących do wykrywania wirusa SARS-CoV-2 stosowane są koniugaty przeciwciało-nanocząstka, które umożliwiają wykrycie białek charakterystycznych dla wirusa przez zmianę zabarwienia obszaru testowego. Przeprowadzone badania obejmowały charakterystykę zarówno koniugatów, jak i samych białek. Sprawdzano czy potencjał diagnostyczny testów mógłby zostać rozszerzony poprzez analizę budowy chemicznej przeciwciał z testów i białek wirusa. W tym celu zastosowano powierzchniowo wzmocnioną spektroskopię Ramana - SERS (ang. *Surface-enhanced Raman spectroscopy*). Wzmocnienie sygnału zapewniały nanocząstki złota wchodzące w skład badanych koniugatów.

Do charakterystyki nanocząstek zastosowano techniki DLS (ang. *Dynamic Light Scattering)* oraz ELS (ang. *Electrophoretic Light Scattering*). Do analizy wybrano komercyjnie dostępne testy od dwóch producentów: Rosche oraz Joinstar. Znajdujące się w testach koniugaty przeciwciało-nanocząstka scharakteryzowano wyznaczając ich średnice hydrodynamiczną, potencjał zeta oraz powierzchniową gęstość ładunków elektrokinetycznych w zależności od pH suspensji. Wykazano, iż jakość otrzymywanych widm SERS silnie zależy od rozmiaru nanocząstek używanych w komercyjnie dostępnych testach antygenowych wykrywających wirusa Sars-Cov-2. Udowodniono, że analiza struktury chemicznej białek wykorzystywanych w testach antygenowych, w tym charakterystyka ich struktury drugorzędowej jest możliwa.

Podziękowania

Prezentowane badania zostały sfinansowanie ze środków Narodowego Centrum Nauki w ramach realizacji projektu badawczego OPUS 19 (nr UMO-2020/37/B/ST4/02990).

P11

ANALIZA USZKODZEŃ I NAPRAWY DNA W CHROMOSOMACH

Marta Urbańska, Michał Czaja, Kamila Sofińska, Natalia Wilkosz, Dawid Lupa, Katarzyna Skirlińska-Nosek, Sara Seweryn, Marek Szymoński, Ewelina Lipiec*

Instytut Fizyki im. M. Smoluchowskiego, Uniwersytet Jagielloński, ul. Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków

*autor korespondencyjny: ewelina.lipiec@uj.edu.pl

Chromosomy to wewnątrzjądrowe struktury, których główną funkcją jest przechowywanie i przekazywanie informacji genetycznej podczas podziału komórkowego. Tworzy je ściśle upakowane DNA w postaci chromatyny, która jest nieustannie narażona na różnorodne czynniki uszkadzające. Powstałe zmiany w DNA mogą mieć poważne konsekwencje (np. mutacje), jeśli nie zostaną dostatecznie szybko naprawione [1]. Mechanizmy naprawy DNA są intensywnie badane od wielu lat, jednak dalej nie zostały w pełni poznane na poziomie molekularnym.

W ramach prac eksperymentalnych zbadano chromosomy izolowane z komórek nowotworowych linii HeLa. Czynnikiem indukującym uszkodzenia była bleomycyna – lek przeciwnowotworowy wiążący się specyficznie do nici DNA i powodujący jej pojedyncze i podwójne przerwania. W celu oceny wpływu uszkodzeń DNA na strukturę chromosomów zastosowano mikroskopię sił atomowych (ang. *Atomic Force Microscopy*, AFM) oraz spektroskopię Ramana. Technika AFM umożliwiła obserwację różnic w morfologii chromosomów, natomiast spektroskopia Ramana pozwoliła na śledzenie zmian w strukturze chemicznej chromatyny [2]. Wyniki przeprowadzonych badań wykazały zależność między zmianami morfologii chromosomów a procesami wywołanymi uszkodzeniami i naprawą DNA.

Podziękowania:

Badania prowadzone są w ramach projektu OPUS 16 „ Lokalne zmiany struktury cząsteczek DNA w wyniku uszkodzenia i naprawy” (UMO-2018/31/B/ST4/02292).

Bibliografia:

[1] K. Sofińska et al., Molecules 2020, 25, 561.

[2] M. Czaja et al., Int. J. Mol. Sci. 2022, 23, 3524.

P12

Wpływ warunków trawienia ICP-RIE na jakość struktur typu mesa utworzonych w materiałach półprzewodnikowych AIIIBV

Marta Łukasik*, Paweł Kozłowski, Krzysztof Bracha, Jacek Ratajczak, Agata Jasik

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa
*marta.lukasik@imif.lukasiewicz.gov.pl

W prezentacji przedstawiono wyniki badań wpływu warunków trawienia jonowego na jakość struktur typu mesa utworzonych w materiale półprzewodnikowym. Obiektem badań są mesy uformowane w materiałach GaSb, InAs i heterostrukturach supersieci II rodzaju na ich bazie. Badania mają na celu zrozumienie zjawisk fizyko-chemicznych zachodzących podczas trawienia tych związków, co jest niezbędne do opracowania złożonej technologii otrzymywania dyskretnych i matrycowych fotodetektorów pracujących w zakresie podczerwieni [1]. Trawienie jonowe z wykorzystaniem ICP-RIE jest podstawową techniką wykorzystywaną do wytworzenia mes fotodetektorów. Jednakże proces trawienia wymaga wielu długotrwałych prac nad doborem optymalnych parametrów [2]. Zaprezentowane w niniejszej pracy wyniki pokazują, jak zmienia się jakość struktury w zależności od rodzaju materiału bądź zastosowanych warunków trawienia. Autorzy analizowali zastosowanie mieszaniny jonów BCl3/Ar dla użycia maski z Si_3N_4 oraz emulsji fotolitograficznej. Stosowano moc ICP z zakresu 40 - 250 W odpowiadającą za gęstość jonów gazu reaktywnego oraz moc RF z zakresu 40 - 200 W definiującą natężenie strumienia jonów gazu obojętnego. Jakość struktury mesy została określona przez jakość jej ścian i kąt nachylenia ściany bocznej do podstawy. Morfologia ścian wpływa na stosunek sygnału detektora do szumu, natomiast kąt jest istotny z punktu widzenia eliminacji przesłuchu w fotodetektorach matrycowych. Jakość mesy oceniano za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) oraz interferencyjnego profilometru 3D. Obserwacje za pomocą SEM były kluczowe na każdym etapie oceny poprawności przeprowadzenia kolejnych etapów technologii formowania mesy.

Badania sfinansowano z projektu TECHMATSTRATEG-III/0038/2019

[1] D. Smoczyński, K. Czuba, E. Papis-Polakowska, P. Kozłowski, J. Ratajczak, I. Sankowska, A. Jasik, “The impact of mesa etching method on IR photodetector current-voltage characteristics”, Mat. Sci. Semicon. Proc. 118, (2020) 105219.
[2] H.Ch. Jung, K.K. Kang, S.M. Ryu, T.H. Lee, J.G. Kim, J.H. Eom, Y.Ch. Kim, A. Jang, H.J. Lee, Y.H. Kim, H. Jung, S.H. Kim, J.H. Choi, "Investigation of ICP dry etching of InAs/GaSb type-II superlattice LWIR photodetector," Proc. SPIE 11741 (2021) 117411V.

P13

Badanie oddziaływań w heterostrukturze van der Waalsa wytworzonej z grafenu i tellurku wolframu (IV)

W. Ryś[1], I. Lutsyk[1], P. Dąbrowski[1], M. Rogala[1], D. A. Kowalczyk[1], P. Krukowski[1], W. Kozłowski[1], M. Piskorski[1], M. Le Ster[1], A. Nadolska[1], K. Toczek[1], P. Przybysz[1], R. Dunal[1], T. Sobol[2], E. Partyka-Jankowska[2], M. Szczepanik[2] and P.J. Kowalczyk[1]

[1]Katedra Fizyki Ciała Stałego, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Łódzki, Pomorska 149/153, 90-236 Łódź, Polska
[2]Narodowe Centrum Promieniowania Synchrotronowego SOLARIS ul. Czerwone Maki 98, 30-392 Kraków

Warstwowe dwuwymiarowe materiały takie jak grafen czy dichalkogenki metali przejściowych (TMDC) wykazują szeroką gamę właściwości fizycznych. Jedną z cech takich materiałów jest występowanie wiązań van der Waalsa spajających kryształ w płaszczyźnie prostopadłej do warstw materiału. Obecność takich oddziaływań międzycząsteczkowych umożliwia potencjalne łączenie różnych warstwowych materiałów w tzw. heterostruktury van der Waalsa (vdW). Właściwości takich materiałów mogą być różne od ich komponentów przez modyfikacje wzajemnej struktury elektronowej na podstawie efektu bliskości. Hybrydy takie nie występują naturalnie w przyrodzie – stanowią więc unikalne i nigdy wcześniej nie badane układy wymagające dogłębnej charakteryzacji.

W naszych badaniach poprzez powlekanie powierzchni WTe_2 grafenem wytworzona została heterostruktura vdW. Właściwości tak otrzymanych hybryd scharakteryzowane zostały za pomocą technik zarówno globalnych jak i lokalnych, ze szczególnym naciskiem na techniki mikroskopii bliskich oddziaływań. Ze względu na interesujące właściwości, do wytworzenia heterostruktury wybrany został wielowarstwowy kryształ objętościowy WTe_2. Materiał ten należy do grupy półmetali Weyla typu drugiego – klasy materiałów, w której elektrony wykazują zachowanie bezmasowych fermionów Weyla o ściśle określonej chiralności.

Wpływ oddziaływań na siebie składowych komponentów heterostruktury został scharakteryzowany za pomocą różnorodnych technik badawczych takich jak: skaningowa mikroskopia tunelowa (STM), spektroskopia tunelowa z obrazowaniem prądowym (CITS), technika dyfrakcji niskoenergetycznych elektronów (LEED), spektroskopia Ramana, spektroskopia fotoelektronów w zakresie promieniowania rentgenowskiego (XPS) oraz kątowo-rozdzielcza spektroskopia fotoelektronów (ARPES). Dane uzyskane za pomocą powyższych metod sugerują istnienie oddziaływań wywołanych efektem bliskości w heterostrukturze i modyfikacje struktury elektronowej jej komponentów.
Praca finansowana przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu 2018/31/B/ST3/02450.

P14

Nanoskalowe badanie procesów związanych z przełączaniem rezystywnym w cienkich warstwach disiarczku molibdenu.

R. Dunal[1*], M. Rogala[1], D.A. Kowalczyk[1], K. Szałowski[1], W. Kozłowski[1], I. Lutsyk[1], M. Piskorski[1], P. Krukowski[1], P. Dąbrowski[1], M. Le Ster[1], A. Nadolska[1], P. Przybysz[1], W. Ryś[1], K. Toczek[1], P.J. Kowalczyk[1]

[1]Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Łódzki, Pomorska 149/153, 90-236 Łódź

Po odkryciu grafenu oraz jego unikatowych właściwości uwaga znacznej części świata naukowego zwróciła się w kierunku innych materiałów dwuwymiarowych takich jak związki MXenes, heksagonalny azotek boru czy też dichalkogenki metali przejściowych. Możliwość uzyskania mono-atomowych warstw sprawia, że materiały te są bardzo interesujące pod kątem zastosowania w układach elektronicznych. Wiele z nich wykazuje możliwość przełączania rezystywnego, czyli możliwość trwałej, ale odwracalnej zmiany przewodności elektrycznej w bardzo ograniczonym obszarze. Wartość rezystancji tego obszaru może reprezentować stan logiczny „0" lub „1" a tym samym umożliwia to zastosowanie tych materiałów do produkcji układów pamięciowych w technologii nieulotnej pamięci komputerowej. W niektórych przypadkach układy te daje się programować większą ilością stanów, co umożliwia symulowanie pracy synaps w układach neuromorficznych.

Nasze badania skupiają się na analizie procesów zachodzących w skali nanometrycznej, które mają wpływ na przełączanie rezystywne. Stosując mikroskop sił atomowych z przewodzącą nanosondą badamy topografię oraz właściwości elektryczne niewielkich obszarów cienkich warstw disiarczku molibdenu. Przedstawimy wpływ lokalnej stymulacji elektrycznej oraz mechanicznej na zmiany morfologii ograniczonych obszarów cienkich warstw, a także wpływ morfologii na ich właściwości elektryczne. Wykazujemy, że kluczowe znaczenie dla przewodności warstwy w kierunku prostopadłym do podłoża ma jakość interfejsu materiał/podłoże.

Niniejsze badania są wspierane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu 2020/38/E/ST3/00293.

P15

SIMULATING STM IMAGES OF MOIRÉ SUPERLATTICES

Maxime Le Ster[1*], Iaroslav Lutsyk [1], Wojciech Ryś[1], Paweł Dąbrowski[1], Maciej Rogala[1], Paweł Krukowski[1], Simon Brown[2], Paweł Kowalczyk [1]

[1]Department of Solid State Physics, Faculty of Physics and Applied Informatics, University of Lodz, 90-236 Łódź, Poland

[2]The MacDiarmid Institute for Advanced Materials and Nanotechnology, University of Canterbury, Private Bag 4800, Christchurch 8140, New Zealand

[*]autor korespondencyjny: maxime.lester@fis.uni.lodz.pl

Moiré superlattices are ubiquitous in two-dimensional (2D) materials when layered on crystalline surfaces. They originate from the broken (or modified) translational and rotational symmetries that exist in the otherwise uncoupled individual layers. The consequences of the moiré superlattice on the optical and electronic properties is the subject of an increasing number of investigations [1, 2], and the many properties have been uncovered: unconventional superconductivity, Mott insulator states [3, 4], ferromagnetism, moiré excitons, moiré solitons, moiré topological states, etc. The theory of these phenomena is still in its infancy, and in this presentation, I will introduce a novel plane wave reconstruction method that explains the emergence of moiré coupling in 2D materials [5]. In particular, this new model allows to describe with a high degree of fidelity the moiré superlattices present in the scanning tunnelling microscopy images in a variety of van der Waals-bonded multilayer systems [6].

Acknowledgements: This work was supported by National Science Centre, Poland under the project No. 2019/35/B/ST5/03956 and UŁ 6/JRR/2021 grant.

[1] E. Y. Andrei et al, *Nature Rev Mater* **6**, 201—206 (2021).

[2] K. F. Mak et al., *Nature Nanotechnol* **17**, 686—695 (2022).

[3] Y. Cao et al., *Nature* **556**, 43—50 (2018).

[4] Y. Cao et al., *Nature* **556**, 80—84 (2018).

[5] M. Le Ster et al., *2D Mater* **7**, 011005 (2019).

[6] M. Le Ster et al., *Phys Rev B* **99**, 075422 (2019).

P16

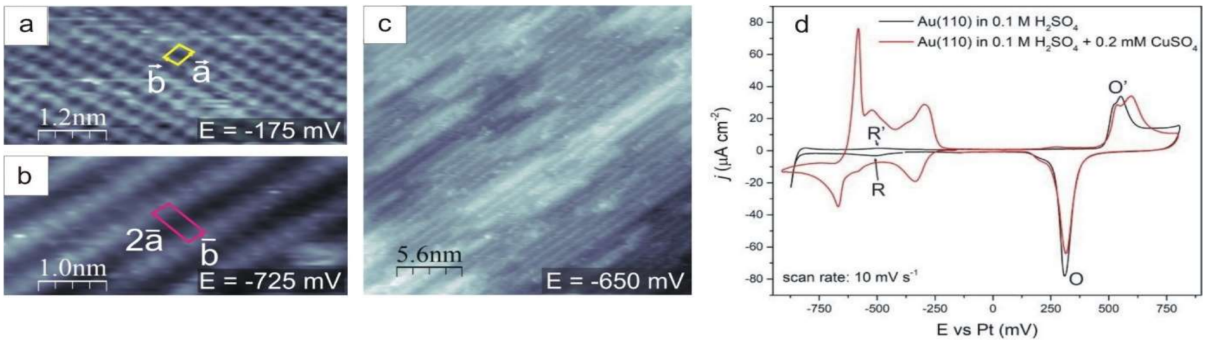
Adsorption of Cu on Au(110): in situ EC-STM and CV investigations

T. Kosmala[1], R. Wasielewski[1], I. Morawski[1], M. Nowicki[1,*], K. Wandelt[1,2]

[1] *Institute of Experimental Physics, University of Wrocław, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław, Poland*
[2] *Institute of Physical and Theoretical Chemistry, University of Bonn, Wegelerstr. 12, 53115 Bonn, Germany*

[*] corresponding author: marek.nowicki@uwr.edu.pl

The *in situ* and *in operando* characterization of a clean and copper covered Au(110) by cyclic voltammetry (CV) and electrochemical scanning tunneling microscopy (EC-STM) is presented. For uncovered Au(110) in 0.1 M H_2SO_4 electrolyte solution the typical potential dependent (1×1) (fig. a), (1×2) (fig. b), and different types of (1×3) (fig. c) surface structures were observed, as reported previously in the literature. The investigations performed in a 0.1 M H_2SO_4 + 0.2 mM $CuSO_4$ electrolyte solution cover both the under- and over-potential deposition regions. Pairs of ion current maxima observed in the cyclic voltammograms (fig. d) reflect adsorption/desorption (reduction/oxidation) processes. Copper underpotential deposition results in the formation of the first pseudomorphic (1×1) copper monolayer before the onset of the substrate reconstruction. The atomically resolved STM images recorded in potentiostatic, as well as potentiodynamic mode reveal the adsorbed Cu atoms located between the $[1\bar{1}0]$ rows of the substrate atoms. At more cathodic potentials multilayer adsorption/desorption of copper is noted on top of the first pseudomorphic Cu monolayer. The multilayer growth exhibits the formation of expanding flat terraces of subsequent copper layers separated by steps of atomic height, as well as the formation and coalescence of two dimensional Cu islands on flat terraces. Cu atoms of subsequent layers occupy $[1\bar{1}0]$ troughs of the respective layer underneath causing the (110) orientation of the multilayer copper deposit.



[1] T. Kosmala, R. Wasielewski, I. Morawski, M. Nowicki, K. Wandelt, Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering, 2023, doi.org/10.1016/B978-0-323-85669-0.00018-0.

P17

BADANIA TLENKU MOLIBDENU NA POWIERZCHNI MIKI, GRAFENU ORAZ KRZEMU

P. Krempiński*, P. Krukowski, M. Piskorski, M. Rogala, W. Kozłowski, I. Lutsyk, P. Dąbrowski, D.A. Kowalczyk, R. Dunal, A. Nadolska, P. Przybysz, W. Ryś, K. Toczek, S. Pawłowski, J. Czerwińska, W. Olejniczak, M. Le Ster, P.J. Kowalczyk

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Łódzki, Pomorska 149/153, 90-236 Łódź

*Patryk Krempiński: patryk.krempinski@edu.uni.lodz.pl

Materiały dwuwymiarowe – 2D są obecnie przedmiotem intensywnych badań ze względu na wiele intrygujących właściwości, które nie są obserwowane w przypadku kryształów objętościowych. Większość materiałów 2D uzyskuje się w procesie eksfoliacji kryształu objętościowego za pomocą taśmy samoprzylepnej lub w procesie naparowywania termicznego bardzo cienkiej warstwy w ultrawysokiej próżni. Nasze badania pokazują, że możliwe jest także wytworzenie krystalicznych materiałów 2D przy użyciu płyty grzewczej w powietrzu.

W pracy pokazujemy wyspy tlenku molibdenu na powierzchni miki otrzymane metodą wygrzewania foli molibdenowej na płycie grzewczej w powietrzu. Nasze badania za pomocą mikroskopu sił atomowych – AFM pokazują, że jesteśmy w stanie wytworzyć atomowo płaskie krystaliczne wyspy tlenku molibdenu. Wielkość lateralna wysp może być kontrolowana poprzez zmianę czasu nanoszenia tlenku molibdenu oraz zamianę temperatury foli molibdenowej – udało się nam wytworzyć wyspy o rozmiarach dziesiątek mikrometrów. Zaskakujące było zaobserwowanie, że czas nanoszenia tlenku molibdenu bardzo słabo wpływa na wysokość otrzymywanych wysp. W zdecydowanej większości przypadków obserwowana wysokość wysp tlenku molibdenu była stała i wynosiła 1,6 nm, co odpowiada grubości dwóch monowarstw. Ponadto pokazujemy, że możliwe jest przenoszenie wysp tlenku molibdenu z powierzchni miki na inne powierzchnie za pomocą polimeru PDMS. W naszych badaniach udało nam się przenieść tlenek molibdenu na powierzchnię grafenu oraz krzemu. Po przeniesieniu warstwy tlenku molibdenu są charakteryzowane za pomocą skaningowego mikroskopu tunelowego – STM, spektroskopii Ramana oraz spektroskopii fotoelektronów w zakresie promieniowania rentgenowskiego – XPS.

Przeprowadzone badania są finansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektów 2017/26/E/ST4/00987 oraz 2020/37/B/ST5/03929.

P18

THEORETICAL CALCULATIONS OF THE INTERACTION BETWEEN GRAPHENE AND Td-WTe_2

Przemyslaw Przybysz[1,*], Pawel Dabrowski[1], Pawel Krukowski[1], Maciej Rogala[1], Witold Kozlowski[1], Maxime Le Ster[1], Iaroslav Lutsyk[1], Michal Piskorski[1], Rafal Dunal[1], Dorota A. Kowalczyk[1], Aleksandra Nadolska[1], Wojciech Rys[1], Klaudia Toczek[1], Pawel J. Kowalczyk[1]

[1]Faculty of Physics and Applied Informatics, University of Lodz, Pomorska 149/153, 90-236 Lodz, Poland

[*]autor korespondencyjny: przemyslaw.przybysz@edu.uni.lodz.pl

2D materials such as graphene and transition metal dichalcogenides (TMDCs) have become very popular among researchers in recent years, this is due to their specific electron properties. 2D materials often differ in their electron properties from their 3D counterparts. By overlaying two different 2D materials, which are connected only by van der Waals interactions, we obtain a hybrid with more complex and unique properties than each component with separately.

In this paper, we will discuss the results of the study of the electronic properties of 2D hybrid materials based on graphene and Td-WTe_2. We will study the nanoscale phenomena in detail and show the effect of interlayer interactions on the modification of electronic properties of graphene and Td-WTe_2. Experimental data will be compared with calculations carried out in the framework of density functional theory (DFT), which will allow us to provide a comprehensive description of the physical phenomena occurring at the interface of layers in this hybrid.

This work was financially supported by the National Science Centre, Poland under projects 2018/30/E/ST5/00667 and 2018/31/B/ST3/02450.

P19

2D molecular network as single atom catalyst model explored with EC-STM toward oxygen reduction reaction

Radosław Wasielewski, Tomasz Kosmala*, Marek Nowicki

Institute of Experimental Physics, University of Wrocław, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław, Poland

* corresponding author: tomasz.kosmala@uwr.edu.pl

Oxygen reduction reaction (ORR) is deeply investigated as a cathode reaction in fuel cells, which are valuable substitutes for non-renewable fossil fuels as energy sources [1]. Recently, single atom catalysts (SACs) based on ternary M-N-C materials received great attention as strong candidates to replace the Pt-group metals [2].

Herein, we investigated the influence of the substrate on the electrocatalytic activity of the 2D organic network which resembles SACs based on the self-assembly of soluble Co(II) meso-tetrakis(1-methyl-4- pyridyl)porphyrin (CoTMPyP) on HOPG and Au(111) surfaces toward ORR by means of standard three-electrode cell and by electrochemical scanning tunneling microscopy (EC-STM). The results show not only an increase of the half-wave potential but also catalytic current density for the system CoTMPyP/Au (111) (see Figure 1), which can be associated with facile electron transfer and higher surface coverage because of stronger electrostatic and π -π interaction, respectively, with respect to HOPG.

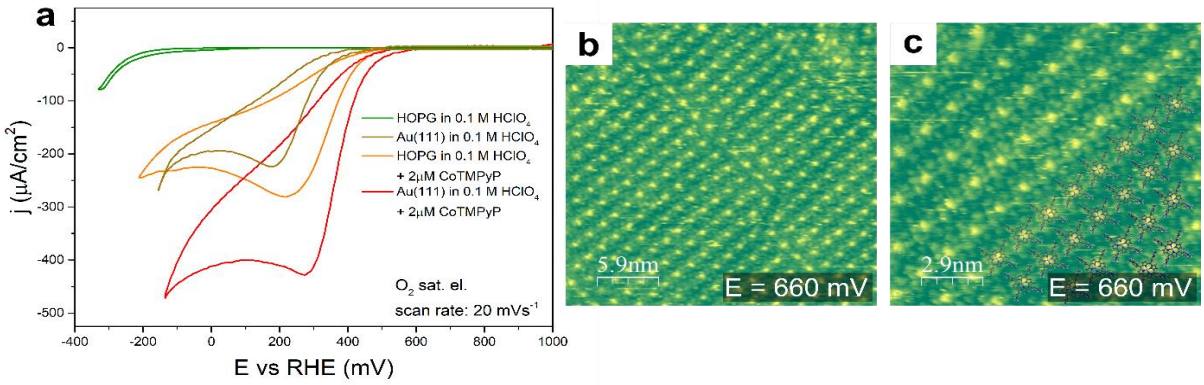


Figure 1. (a) Cyclic voltammograms showing the catalytic activity toward ORR of bare HOPG and Au(111) electrodes and with CoTMPyP molecules present in the solution. (b) Large-scale and (c) high-resolution STM images of highly order CoTMPyP molecules on the Au(111) surface recorded at +660 mV vs RHE; tunneling parameters: I_t = 1 nA, U_b = -300 mV.

[1] Kosmala, T. *et al., ACS Catal.*, 10, 7475–7485 (2020).
[2] Primbs, M. *et al., Energy Environ Sci* 13, 8, 2480-2500 (2020).

P20

Changes in the work function related to the deposition $F_{16}CuPc$ molecules on silver surfaces

Błażej Gołyszny[1,*], Thorsten Wagner[2], Anna Mandziak[3], Ewa Madej[4], Dorota Wilgocka-Ślęzak[4], Sylwia Owczarek[1], Grażyna Antczak[1]

[1]University of Wroclaw, Institute of Experimental Physics, Wrocław, Poland
[2]Johannes Kepler University, Institute of Experimental Physics, Linz, Austria
[3]National Synchrotron Radiation Centre SOLARIS, Kraków, Poland
[4]Jerzy Haber Institute of Catalysis and Surface Chemistry, Polish Academy of Sciences, Kraków, Poland

*corresponding author: 326907@uwr.edu.pl

Thin layers of organic molecules adsorbed on metal surfaces currently set an important direction in the development of nanotechnology. The phthalocyanines are particularly popular molecules in the field of molecular electronics such as solar cells, light-emitting diodes or field effect transistors. As part of this work, the adsorption of $F_{16}CuPc$ molecules on silver surfaces was investigated. The growth of $F_{16}CuPc$ is compared for the case of Ag(100) and Ag(111) as substrate.

The Anderson method [1] was used to determine the changes in the work function (WF) accompanying the adsorption of $F_{16}CuPc$ on Ag (100). Fowler-DuBridge theory [2-3] was utilized to predict the normalized photoemission electron yield (EY) when a Hg lamp is used as an excitation source. We show that $F_{16}CuPc$ molecules increase the WF of Ag (100). A $F_{16}CuPc$ monolayer increases the WF by 0.1 eV, two monolayers by 0.14 eV. The increase in the WF is associated with decrease in the EY.

The photoemission electron microscopy (PEEM) was used to determine the changes in EY from the surface of the Ag (111) covered with layers of $F_{16}CuPc$ molecules. The presence of $F_{16}CuPc$ molecules decreases the EY from Ag(111). The first layer of molecules causes the EY to drop to approx. 27% of the initial EY, while the second layer to approx. 14% of the initial EY. Using the Fowler-DuBridge theory, the changes in the WF for the Ag (111) sample were calculated.

We acknowledge SOLARIS Centre for the access to the Beamline DEMETER, where the measurements were performed. G.A. acknowledges the support of the University of Wrocław through the program 'Excellence Initiative Research University' for the years 2020−2026.

[1] A. Sabik, F. Gołek, G. Antczak, Rev. Sci. Instr. **86**, 056111 (2015).
[2] L. A. DuBridge, Phys Rev. **39**, 108-118 (1932); L.A. DuBridge, Phys. Rev. **43**, 727-741(1933); R. H. Fowler Phys. Rev. **38**, 45-56 (1931); E. Bauer, Surface Microscopy with Low Energy Electrons, Springer 2014
[3] Wagner et al, ACS Appl. Mater. Interfaces **14** 23983−23989 (2022).

P21

Lipopolisacharyd a właściwości adhezyjne i mechaniczne bakterii Gram-ujemnych

Dariusz Laskowski[1,*], Janusz Strzelecki[2]

[1] *Katedra Mikrobiologii, Wydział Nauk Biologicznych i Weterynaryjnych, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń*

[2] *Instytut Fizyki, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, ul. Grudziądzka 5, 87-100 Toruń*

[*]autor korespondencyjny: laskosd@umk.pl

Bakterie wykazują zdolność przylegania do wielu powierzchni. Adhezja jest procesem złożonym, zależnym od wielu czynników m.in. od strukturalnych właściwości bakterii, warunków środowiska, rodzaju i charakteru powierzchni. Nanoskopowe zmiany w ścianie komórkowej modulują odpowiedź bakterii na czynniki środowiskowe.

Głównym celem pracy było zbadanie właściwości adhezyjnych i mechanicznych pojedynczych komórek bakterii *Escherichia coli* oraz określenie roli lipopolisacharydu (LPS) w procesie przylegania.

Pomiary zostały wykonane za pomocą mikroskopu sił atomowych Agilent 5500 zamocowanego na mikroskopie odwróconym Nikon Eclipse Ti-E z wykorzystaniem mikrobelki zakończonej mikrosferą.

Uzyskane wyniki wykazały zróżnicowanie właściwości adhezyjnych poszczególnych komórek w hodowli. Bakterie pozbawione LPS charakteryzowały się niższą zdolnością do adhezji (średnia siła adhezji zmalała z 1.17±0.97 nN do 0.71±0.42 nN), zmniejszoną sztywnością komórki (obniżenie moduły Younga z 27.14±9.0 kPa do 5.54±2.57 kPa) oraz większą jednorodnością populacji niż komórki kontrolne.

Praca powstała w wyniku realizacji projektu badawczego "LATTE - LaTeralTEchniqueBio-AFM Team" konkurs UMK INTER DISCIPLINAS EXCELLENTIA

P22

PROJEKT I CHARAKTERYZACJA ZMIENNOTEMPERATUROWEGO SKANINGOWEGO MIKROSKOPU TUNELOWEGO VT-STM

Marta Przychodnia[1], Tomasz Grzela[1,*], Wojciech Koczorowski[1], Maciej Bazarnik[1,2]

[1]Instytut Fizyki, Politechnika Poznańska, Piotrowo 3, 60-965 Poznań, Polska

[2]Physikalisches Institut, Westfälische Wilhelms-Universität, Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster, Germany

[*]autor korespondencyjny: tomasz.grzela@put.poznan.pl

W badaniach z wykorzystaniem STM coraz ważniejszą rolę odgrywają różne formy spektroskopii tunelowej. Energetyczna zdolność rozdzielcza mikroskopów ograniczona jest temperaturą ich pracy. Ważne jest by zarówno próbka jak i ostrze były w tej samej temperaturze. Popularne rozwiązania komercyjne, zbudowane w oparciu o kriostaty przepływowe chłodziły tylko próbkę. W tej prezentacji zaprezentowany zostanie projekt i realizacja efektywnego kosztowo w wykonaniu oraz w eksploatacji mikroskopu typu VT działającego w warunkach UHV, cechującego się bardzo dobrą stabilnością temperaturową oraz mechaniczną.

Prezentowana głowica STM jest modyfikacją konstrukcji opracowanej i z sukcesem wdrożonej na Uniwersytecie w Hamburgu. Głowica mikroskopu STM jest galwanicznie izolowana od komory próżniowej, aby zminimalizować szum elektroniczny. Dodatkowo zastosowanie sprężyn tłumiących drgania i tłumienie z wykorzystanie prądów wirowych w sposób znaczny izoluje mikroskop od zewnętrznych drgań mechanicznych. Mikroskop VT-STM wyposażony jest w przepływowy kriostat helowy, co umożliwia na osiągnięcie stabilnej temperatury pracy ~6 K, jednak w chwili obecnej pracuje on w sposób ciągły z wykorzystaniem przepływu ciekłego azotu osiągając temperaturę ~75 K. VT-STM cechuje się niskim zużyciu ciekłego azotu 0,25 l/h, ma niewielkie wymiary wraz ze wszystkimi osłonami i jest bardzo odporny na wibracje zewnętrzne. W ramach weryfikacji prawidłowego działania mikroskopu VT-STM wykonano obrazowanie a także pomiary spektroskopowe dla wybranych powierzchni metali szlachetnych. Autorzy dziękują Narodowemu Centrum Nauki za wsparcie w ramach projektu Sonata Bis nr 2017/26/E/ST3/00140. WK dziękuje Ministerstwu Edukacji i Nauki za wsparcie w ramach projektu nr 0512/SBAD/2220.

P23

Przetwarzanie i analiza dużych zbiorów danych w mikroskopii sił poprzecznych za pomocą autorskiego oprogramowania

Marek Weiss, Marcin Sylka, Piotr Cichowski, Miłosz Wojtecki, Arkadiusz Ptak

Instytut Fizyki, Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej,
Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

Jednym z nieodzownych problemów w pracy związanej z przeprowadzaniem pomiarów za pomocą mikroskopu sił atomowych (AFM) jest konieczność przetwarzania i analizy dużych zbiorów danych. W wielu przypadkach wystarczające okazuje się być ogólnodostępne oprogramowanie. Jednak w przypadku niektórych trybów pracy AFM, jak na przykład w mikroskopii sił poprzecznych (LFM), w celu uzyskania możliwie pełnej informacji o zjawisku tarcia, oprócz odpowiednio dużej próby statystycznej konieczne jest przeprowadzenie pomiarów w zależności od dodatkowych parametrów takich jak szybkość przesuwu czy siła nacisku [1]. Skutkuje to rejestrowaniem przeciętnie tysięcy map sygnału skręcenia mikrobelki dla obu kierunków skanowania. Na każdą z map składa się zwykle od dziesiątek tysięcy do nawet setek tysięcy indywidualnych danych pomiarowych. Tak duże zbiory danych sprawiają, że zagadnienie związane z ich przetwarzaniem staje się nietrywialne. Ponadto wyzwanie stanowić mogą formaty zapisywanych plików z danymi, zależnie od producenta zastosowanego mikroskopu.

W niniejszej pracy (związanej z realizacją tematu prac dyplomowych w Instytucie Fizyki WIMiFT PP) przedstawiono autorski program komputerowy, napisany w języku *Python*, przeznaczony do zautomatyzowanego przetwarzania dużych zbiorów danych uzyskanych za pomocą AFM, w trybie LFM. Program ten w aktualnej wersji umożliwia między innymi: odczyt kilku formatów plików, kalibrację sygnału skręcenia mikrobelki, przycinanie map, rysowanie wykresów, obsługę wielu serii pomiarowych, eksport przetworzonych danych do zewnętrznych plików. Ponadto program jest wieloplatformowy i umożliwia stosunkowo proste dodawanie nowych formatów plików z danymi.

Działanie programu pokazano na przykładzie analizy danych sygnału tarcia w funkcji szybkości przesuwu i siły nacisku dla pary trącej hydrofobowej nanopowłoki nonafluoroheksylotrichlorosilanu (PFHTS) i krzemowego (SiO_x/Si) ostrza AFM.

Autorzy dziękują za wsparcie finansowe w ramach projektów: Narodowego Centrum Nauki (Opus) nr 2020/37/B/ST8/02023 oraz Ministerstwa Edukacji i Nauki nr 0512/SBAD/2220.

[1] M. Weiss, Ł. Majchrzycki, E. Borkowska, M. Cichomski, A. Ptak, *Nanoscale dry friction: Dependence on load and sliding velocity*, Tribology International **162** (2021).

P24

SPEKTROSKOPIA RAMANA REAKTYWNYCH MATERIAŁÓW 2D W ATMOSFERZE GAZU OBOJĘTNEGO

M. Piskorski[1,*], W. Kozłowski[1], P. Krukowski[1], I. Lutsyk[1], D.A. Kowalczyk[1], P. Dąbrowski[1], M. Rogala[1], M. Cichomski[2], J. Czerwińska[1], W. Olejniczak[1], S. Pawłowski[1], W. Ryś[1], K. Toczek[1], R. Dunal[1], A. Nadolska[1], P. Przybysz[1], P. Krempiński[1], M. Le Ster[1], P.J. Kowalczyk[1]

[1] Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Łódzki, Pomorska 149/153, 90-236 Łódź
[2] Katedra Technologii i Chemii Materiałów, Wydział Chemii, Uniwersytet Łódzki, Pomorska 163, 90-236 Łódź

[*]autor korespondencyjny: michal.piskorski@uni.lodz.pl

Spektroskopia Ramana jest eksperymentalną techniką często stosowaną w szeroko pojętej nanotechnologii. Wykorzystuje ona efekt Ramana, czyli zjawisko nieelastycznego rozpraszania fotonów przez materię. Większość komercyjnych spektrometrów umożliwia wykonywanie pomiarów tylko w powietrzu. Może to być poważną wadą w przypadku wielu materiałów, które narażone na warunki zewnętrzne mogą zmieniać swoje własności fizyko-chemiczne.

Przykładem takich struktur są materiały dwu-wymiarowe (2D). Badania z ostatnich lat pokazują ich unikalne właściwości mechaniczne, chemiczne i elektroniczne. Szczególnie ważne wydaje się zrozumienie stabilności pojedynczych warstw 2D, a zwłaszcza badanie skutków utleniania. Nawet krótka ekspozycja na warunki atmosferyczne powoduje zauważalną modyfikację charakterystycznych sygnałów widma Ramana.

Integracja spektrometru ramanowskiego z komorą rękawicową pozwoliła nam zarówno wytwarzać, jak i charakteryzować nanomateriały i inne materiały 2D w ściśle kontrolowanych warunkach, zwiększając tym samym wiarygodność wyników prowadzonych badań.

Prezentujemy wyniki naszych prac badawczo-rozwojowych unikalnego mapującego spektrometru ramanowskiego, pracującego w ochronnej atmosferze argonu. Zalety takiego podejścia do badań zostaną zaprezentowane na przykładzie płatków wybranych materiałów 2D: disiarczku molibdenu, disiarczku tantalu, dwutellurku molibdenu oraz dwutellurku wolframu.

Przeprowadzone badania są finansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektów Sonata Bis 7 - 2017/26/E/ST8/00987 oraz Opus 19 - 2020/37/B/ST5/03929.

P25

Warstwy perfluoroalkilosilanowe jako modyfikatory domieszkowanych tytanem powłok diamentopodobnych

Michał Cichomski [a], Natalia Wrońska [b], Katarzyna Lisowska [b]

[a] *Katedra Technologii i Chemii Materiałów, Wydział Chemii, Uniwersytet Łódzki, ul. Pomorska 163, 90-236 Łódź*
[b] *Katedra Mikrobiologii Przemysłowej i Biotechnologii, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Łódzki, ul. Banacha 12/16, 90-237 Łódź*

Powłoki diamentopodobne DLC (ang. diamond like carbon) cieszą się szerokim zainteresowaniem i mogą być stosowane w elektronice i mikroelektronice, szczególnie w systemach mikro- i nanoelektromechanicznych (MEMS/NEMS). Ze względu na wysoką biokompatybilność, obojętność chemiczną, twardość, odporność na korozję oraz niski współczynnik tarcia, są idealne do zastosowań biomedycznych i tribologicznych. Możliwość zastosowania powłok DLC jest szeroka jednak dynamiczny rozwój nowych technologii oraz wszechobecna i postępująca miniaturyzacja urządzeń, stwarza ogromne potrzeby modyfikowania tych materiałów w celu wytworzenia powłok bardziej odpornych i trwałych. Poprzez modyfikację związaną z domieszkowaniem powłok oraz z zastosowaniem związków silanowych istnieje możliwość kontrolowania ich aktywności biologicznej oraz właściwości wytrzymałościowych i tribologicznych.

W niniejszej pracy zaprezentowano właściwości tribologiczne i przeciwdrobnoustrojowe wytworzonych warstw jedno i dwuskładnikowych perfluoroalkilosilanowych na powłokach diamentopodobnych domieszkowanych tytanem (Ti-DLC). Przeprowadzono analizę i charakterystykę wytworzonych struktur za pomocą spektroskopii w podczerwieni (FT-IR), kąta zwilżania, energii powierzchniowej oraz mikroskopii sił atomowych (AFM) i mikrotribometru. Właściwości przeciwdrobnoustrojowe scharakteryzowano poprzez pomiar ilości żywych szczepów bakterii *Staphylococcus aureus (*ATCC 6538) i *Escherichia coli (*ATCC 25992) obecnych na zmodyfikowanych powłokach po upływie 24 h inkubacji.

[1] Cichomski et al., *Tribology International* **2019** *130, 359-365*

[2] Cichomski et al., *Materials* **2019** 12 (15),

Praca sfinansowana z Programu Inicjatywa Doskonałości Uczelnia Badawcza w ramach projektu nr B2211102000109.07

P26

STM-induced structural phase transition in atomic chains on vicinal Si surfaces

Mieczysław Jałochowski, Mirosław Stróżak, and Mariusz Krawiec

[1]Institute of Physics, Maria Curie-Sklodowska University,
pl. M. Curie-Skłodowskiej 1, 20-031 Lublin

Vicinal (stepped) Si surfaces serve as templates to fabricate one-dimensional nanostructures [1]. One of examples is the Au-stabilized Si(553) surface, which can host various exotic phenomena, like Peierls metal-insulator transition, intrinsic magnetism, one-dimensional diffusion of atoms or intriguing structural phase transition [1-6].

The Si(553)-Au surface features well ordered arrays of atomic chains: Au-chains in the middle of terraces, and Si-chains at step edges [7]. While the Au-chains seem to be insensitive to the temperature (T), the step edge Si chains undergo structural changes. At high T they exhibit x1 periodicity, which changes to x3 around 250 K [3]. Furthermore, below 60 K the periodicity changes to x2, as revealed by scanning tunneling microscopy (STM) [3-5]. Various mechanisms of the low-T phase transitions have been proposed, including transient doping [5] and degenerate charge density wave states [6].

In the present work we shall shed additional light on mechanisms of the phase transition in Si(553)-Au surface. Our combined STM and first-principles density functional theory studies point to the importance of transient doping due to STM tip-surface tunneling of electrons, as well as to details of atomic structure on neighboring terraces.

Acknowledgments: This work has been supported by the National Science Centre, Poland, under Grant No. 2018/31/B/ST3/02370.

Literatura

[1] P.C. Snijders, H.H. Weitering, Rev. Mod. Phys. **82**, 307 (2010).
[2] P. Nita, M. Jałochowski, M. Krawiec, A. Stępniak, Phys. Rev. Lett. **107**, 026101 (2011).
[3] J.R. Ahn, P.G. Kang, K.D. Ryang, H.W. Yeom, Phys. Rev. Lett. **95**, 196402 (2005).
[4] P.C. Snijders, S. Rogge, H.H. Weitering, Phys. Rev. Lett. **96**, 076801 (2006).
[5] S. Polei, P.C. Snijders, S.C. Erwin, F.J. Himpsel, K.-H. Meiwes-Broer, I. Barke, Phys. Rev. Lett. **111**, 156801 (2013).
[6] E. Do, J.W. Park, O. Stetsovych, P. Jelinek, H.W. Yeom, ACS Nano **16**, 6598 (2022).
[7] M. Krawiec, Phys. Rev. B **81**, 115436 (2010).

P27

Test podłoży gipsowych jako wzorców kalibracyjnych w mikroskopii sił lateralnych

Janusz Strzelecki[1], Dariusz Laskowski[2]

[1] *Instytut Fizyki, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, ul. Grudziądzka 5, 87-100 Toruń*

[2] *Katedra Mikrobiologii, Wydział Nauk Biologicznych i Weterynaryjnych, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń*

Wyzwaniem w przypadku pomiaru sił lateralnych przy użyciu mikroskopii sił atomowych jest poprawne skalibrowanie siły skręcenia sondy skanującej, tak by możliwe było zarejestrowanie wyników w jednostkach siły. Dostępne metody kalibracji sond wciąż nastręczają trudności z uwagi na ich złożoność czy czasochłonność.

W naszej prezentacji posterowej chcemy zaprezentować test metody kalibracyjnej pozwalającej na szybkie oszacowanie lateralnej stałej sprężystości sondy. Zaproponowana metoda kalibracji opiera się na wyznaczeniu lateralnej czułości optycznego detektora położenia (PSD) poprzez detekcję skręcenia mikrobelki w trakcie skanowania podłoża o znanym tarciu przy zadanych parametrach pomiaru. Testy wykonano na podłożach gipsowych poddanych działaniu wody, które dzięki właściwościom hydrofilowym posiadają płaskie tarasy z jednorodną charakterystyką tarcia [1,2]. Pomiary te porównano z wynikami uzyskanymi dla podłoży grafitowych HOPG i dla miki.

[1] Finot, E., et al. "Reactivity of gypsum faces according to the relative humidity by scanning force microscopy." Surface science 384.1-3 (1997): 201-217.

[2] Barboza, Ana PM, et al. "Gypsum: an environment-friendly, inexpensive and robust height calibration standard at nanometer-scale for atomic force microscopy." Nanotechnology 31.11 (2019): 115704.

Praca powstała w wyniku realizacji projektu badawczego "LATTE - LaTeralTEchniqueBio-AFM Team" konkurs UMK INTER DISCIPLINAS EXCELLENTIA

P28

Zastosowanie AFM i QCM-D do charakteryzacji fragmentów tkanki nowotworowej, zatopionych w bloczkach parafinowych, przygotowanych do diagnozy histopatologicznej

Swamy Kasarla [1], Anna Sobiepanek[1], Justyna Koziatek[2], Leszek Tersiński[2], Justyna Pabijan[3], Joanna Zemła[3], Małgorzata Lekka[3], Tomasz Kobiela[1,*],

[1]Laboratorium Badania Oddziaływań Biomolekularnych, Wydział Chemiczny, Politechnika Warszawska, ul. Noakowskiego 3, 00-664 Warszawa
[2] Zakład Patomorfologii, Wielospecjalistyczny Szpital Wojewódzki w Gorzowie Wlkp. ul. Dekerta 1, 66-400 Gorzów Wlkp.
[3]Zakład Badań Mikroukładów Biofizycznych, Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego PAN, ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków

**autor korespondencyjny: tomasz.kobiela@pw.edu.pl*

Obecna diagnostyka i ocena optymalnych strategii leczenia większości typów nowotworów opiera się głównie na badaniu histopatologicznym połączonym z analizą immunohistochemiczną biopsji tkanek nowotworowych utrwalonych w formalinie i zatopionych w bloczkach parafinowych [1]. Standardowa analiza jest dwuwymiarowa w tym sensie, że dane wyjściowe informują tylko o intensywności ekspresji i strukturze danego biomarkera. Zagrożenie czerniakiem, nowotworem skóry o najwyższej śmiertelności, wykazuje znaczny wzrost w ciągu ostatnich dekad w światowej populacji. Jest on uważany za jeden z najbardziej niebezpiecznych nowotworów skóry, głównie ze względu na fakt, iż nie istnieje skuteczne leczenie po wejściu choroby w fazę przerzutów. Poznanie molekularnych mechanizmów i dynamiki procesu tworzenia przerzutów czerniaka jest podstawowym warunkiem uzyskania skutecznych metod diagnostyki i właściwej terapii pacjentów z wysokim ryzykiem wystąpienia przerzutów. W związku z tym niezbędna jest analiza wielu czynników progresji nowotworów w celu uzyskania właściwej diagnozy i prognozy czerniaka.

W tym projekcie zaproponowano ocenę utrwalonego materiału nowotworowego poprzez włączenie odczytu oddziaływania analit-ligand *in situ* na powierzchni tkanek (z pierwotnego nowotworu i przerzutu) z wykorzystaniem komplementarnych metod bezznacznikowych QCM-D oraz AFM w trybie spektroskopii sił [2].

Zbadano oddziaływania specyficznych glikanów obecnych na powierzchni komórek tworzących nowotwór z odpowiednimi lektynami oddziałującymi z tymi glikanami z bardzo wysokim powinowactwem. Stwierdzono, że w przeciwieństwie do immunohistochemicznego wykrywania antygenów za pomocą przeciwciał, oddziaływanie lektyn z glikanami na powierzchni tkanek nie jest tak wrażliwe na utrwalanie materiału biopsji buforowanymi aldehydami. Formaldehyd i aldehyd glutarowy, same lub w połączeniu, zapewniają nie tylko doskonałą ochronę struktury tkanek, ale także umożliwiają wysoką reaktywność odpowiednich lektyn z glikanami komórkowymi i zewnątrzkomórkowymi.

1. T.M. Clausen, M.A. Pereira, H.Z. Oo, et al., Sensing and Bio-Sensing Research 9 (2017), 23

2. A. Sobiepanek, M. Milner-Krawczyk, M. Lekka, T. Kobiela, Biosensors and Bioelectronics 93 (2017), 274.

P29

WPŁYW STARZENIA KOMÓRKOWEGO NA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE KOMÓREK – BADANIA Z ZASTOSOWANIEM MIKROSKOPII SIŁ ATOMOWYCH

Karolina Staniak[1,2], Emilia Wasiak[1,2], Anna Bielak-Żmijewska[2], Krystian Zajączkowski[1,2], Tomasz Kobiela[1,*],

[1]Laboratorium Badania Oddziaływań Biomolekularnych, Wydział Chemiczny, Politechnika Warszawska, ul. Stanisława Noakowskiego 3, 00-664 Warszawa
[2]Pracownia Molekularnych Podstaw Starzenia, Instytut Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego PAN, ul. Ludwika Pasteura 3, 02-093 Warszawa
**autor korespondencyjny: tomasz.kobiela@pw.edu.pl*

Starzenie komórkowe jest procesem związanym z zahamowaniem podziałów komórek. Zjawisko to dotyczy zarówno komórek prawidłowych, jak i nowotworowych. Komórki prawidłowe mogą ulegać starzeniu replikacyjnemu, w wyniku skracania się telomerów i wyczerpania potencjału proliferacyjnego, lub starzeniu przyspieszonemu, które indukowane jest stresem. Natomiast komórki nowotworowe starzeją się jedynie w odpowiedzi na określone czynniki stresowe. Niezależnie od rodzaju starzenia (replikacyjne czy przyspieszone), jak również rodzaju komórek (prawidłowe lub nowotworowe), komórki starzejące się charakteryzują się istotnymi zmianami morfologii. Komórka stara znacząco się powiększa i staje się bardziej rozpłaszczona, co wpływa również na jej właściwości mechaniczne. Wykazano, iż w komórkach mięśni gładkich wzrasta ekspresja aktyny podczas starzenia. Przebudowa cytoszkieletu wiąże się ze zmianą elastyczności komórek. Wiele badań wskazuje na wzrost sztywności komórek starych w porównaniu do komórek młodych. Często tłumaczy się to gęstszym upakowaniem komponentów cytoszkieletu. Do badania właściwości mechanicznych komórek wykorzystano mikroskopie sił atomowych (AFM), która jest w stanie wykryć nawet minimalne zmiany elastyczności komórek. Wartością charakteryzującą elastyczność komórek jest moduł sprężystości, zwany modułem Younga, odzwierciedla on deformowalność próbki. Zbadano różnice w elastyczności komórek prawidłowych, tj. komórek mięśni gładkich, na wczesnych i późnych pasażach, jak również ulegających starzeniu przyśpieszonemu w wyniku traktowania kurkuminą lub doksorubicyną. Analizowano również zmiany modułu sprężystości komórek nowotworowych czerniaka indukowanych do starzenia doksorubicyną. Otrzymane wyniki wskazują na ścisłe powiązanie procesu starzenia ze zmianami elastyczności komórek.

P30

BADANIA WPŁYWU GŁĘBOKOŚCI ZŁOŻA NA WŁAŚCIWOŚCI NANOMECHANICZNE BURSZTYNU LUBELSKIEGO METODĄ MIKROSKOPII SIŁ ATOMOWYCH AFM

Ewaryst Mendyk, Krzysztof Skrzypiec

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej

Bursztyn należy do klasy żywic kopalnych i powstaje z lepkich wydzielin określonych gatunków roślin w wyniku odparowania składników lotnych, procesów dojrzewania i naturalnej polimeryzacji w skali czasu geologicznego. Złoża bursztynów z różnych epok geologicznych i pochodzenia botanicznego można znaleźć w całej Europie. Niedawno na Lubelszczyźnie odkryto naturalne złoża „bursztynu lubelskiego" w okolicach Lubartowa, Siemienia, Niedźwiady i Międzyrzeca. Badania spektralne tej żywicy za pomocą spektroskopii w podczerwieni potwierdziły występowanie wszystkich cech spektralnych charakterystycznych dla bursztynu bałtyckiego. W ten sposób wykazano, że ta naturalna żywica reprezentuje strukturę chemiczną sukcynitu, co wskazuje na te same prekursory polimeryzacji, co w przypadku bursztynu bałtyckiego.

Sieć molekularna bursztynu przypomina strukturę submolekularną, w której faza niskocząsteczkowa współistnieje z fazą makrocząsteczkową. Gęsta sieć sztywnych łańcuchów polimerowych tworzy trwałą konstrukcję. Reorganizacja sieci makrocząsteczkowej jest możliwa dzięki obecności w strukturze bursztynu płynnej fazy molekularnej, która pełni rolę naturalnego plastyfikatora. Interesującym zagadnieniem jest bliższe poznanie tekstury powierzchni oraz właściwości nanomechanicznych szkieletu tej żywicy i zbadanie ich związków z historią dojrzewania bursztynu w osadach pierwotnych i wtórnych, w zależności od głębokości zalegania złoża. W tym celu próbki naturalnego bursztynu lubelskiego, z płytkich (2-6 m) i głębokich (20-30 m) osadów eocenu i plejstocenu zbadano metodą wysokorozdzielczej mikroskopii sił atomowych (AFM) z wykorzystaniem zaawansowanej techniki **Peak Force QNM** (Quantitative Nano Mechanical Property Mapping). Tryb QNM poza obrazowaniem topografii umożliwia jednocześnie odwzorowanie właściwości mechanicznych powierzchni żywicy, takich jak: adhezja, odkształcenie czy moduł Younga. W ten sposób możliwe jest jednoznaczne zidentyfikowanie zmienności materiału na obrazie topograficznym wysokiej rozdzielczości. Wstępne wyniki wskazują, że bursztyn lubelski charakteryzuje się dojrzałą, jednorodną strukturą gęstej sieci łańcuchów polimerowych o wysokim stopniu polimeryzacji i sztywności, z różnym udziałem fazy niskocząsteczkowej będącej funkcją głębokości zalegania złoża.

P31

BADANIE DYNAMIKI ZMIAN KONFORMACYJNYCH PODCZAS NAPRAWY BŁĘDÓW REPLIKACYJNYCH DNA METODAMI SPEKTROSKOPOWYMI ORAZ MIKROSKOPII BLISKICH ODDZIAŁYWAŃ

Dawid Lupa*, Natalia Wilkosz, Kamila Sofińska, Ewelina Lipiec, Marek Szymoński

Instytut Fizyki im. M. Smoluchowskiego, Uniwersytet Jagielloński, ul. Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków

*autor korespondencyjny: dawid.lupa@uj.edu.pl

Materiał genetyczny zawarty w komórkach organizmów żywych, niezależnie od ich funkcji i pochodzenia, ulega ciągłym uszkodzeniom. Uszkodzenia w obrębie podwójnej lub pojedynczej nici DNA prowadzą m. in. do chemicznych zmian w sekwencji, polegających na powstawaniu niekomplementarnych par zasad (G-T lub C-A). O ile enzymologia mechanizmu usuwania tego rodzaju błędów w sekwencji DNA jest stosunkowo dobrze poznanym zagadnieniem, to mechanistyczne aspekty procesów naprawczych, a w szczególności zmiany konformacyjne samego DNA podczas jego naprawy pozostają niewyjaśnione.

Wobec tego, celem przeprowadzonych badań było zbadanie dynamiki zmian konformacyjnych w kompleksach białko naprawcze - DNA (MutS-DNA) metodami mikroskopii sił atomowych, powierzchniowo wzmocnionej spektroskopii Ramana oraz spektroskopii w podczerwieni. W toku przeprowadzonych badań wykazano, że zastosowanie zarówno izo- jak i anizotropowych nanocząstek plazmonicznych umożliwia badanie zmian konformacyjnych w kompleksie MutS-DNA. W szczególności, zaobserwowano zmiany we względnej intensywności pasm pochodzących od drgań nukleozasad i fosfodiestrów, symetrycznych i asymetrycznych drgań grup fosforanowych oraz drgań deformacyjnych grup metylenowych. Uzyskane dane spektroskopowe poddano wielowymiarowej analizie statystycznej mającej na celu wyłonienie markerów spektroskopowych procesów naprawy DNA. Stosując mikroskopię sił atomowych, określono selektywność wiązania białka MutS do miejsca mutacji.

Wykazano, że ze względu na wysoką czułość technik spektroskopowych, oraz możliwość obrazowania pojedynczego kompleksu, możliwa jest bezpośrednia detekcja zmian konformacyjnych zachodzących podczas naprawy błędów replikacyjnych.

Prezentowane badania zostały sfinansowane ze środków Narodowego Centrum Nauki w ramach realizacji projektu badawczego OPUS16 (2018/31/B/ST4/02292) oraz ze środków Research Support Module WFAiS UJ.

P32

OPTYMALIZACJA PREPARATYKI PRÓBNIKÓW STM-TERS DO BADANIA BIOMOLEKUŁ

Michał Czaja*, Konrad Szajna, Anna Krzykawska, Piotr Cyganik, Marek Szymoński, Ewelina Lipiec

Instytut Fizyki im. M. Smoluchowskiego, Uniwersytet Jagielloński, ul. Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków

*autor korespondencyjny: michal.czaja@doctoral.uj.edu.pl

Wiele podstawowych procesów biologicznych uwarunkowanych jest zjawiskami zachodzącymi na poziomie pojedynczych molekuł. Dotyczy to także zaburzeń prowadzących do rozwoju licznych schorzeń, czego przykładem jest choroba Alzheimera. W trakcie rozwoju tego zaburzenia dochodzi do zmian w obrębie struktury drugorzędowej wybranych białek skutkujące powstawaniem cytotoksycznych agregatów. [1]

Kompleksowe zrozumienie mechanizmów agregacji białek neurodegeneracyjnych można osiągnąć dzięki zastosowaniu spektroskopii Ramana wzmocnionej na ostrzu sondy (TERS); techniki nanospektroskopowej, łączącej w sobie selektywność chemiczną spektroskopii molekularnej oraz nanometryczną zdolność rozdzielczą mikroskopii skaningowej. Dzięki temu TERS pozwala uzyskać informacje o konformacji pojedynczych białek i pomóc zrozumieć mechanizmy biologiczne zachodzące w skali nanoskopowej. [1]

W ramach prezentowanych badań przeprowadzona została preparatyka złotych próbników, pozwalających wykonywać pomiary STM-TERS. Próbniki otrzymano metodą trawienia elektrochemicznego w układzie dwóch elektrod [2], a następnie zobrazowano skaningowym mikroskopem elektronowym (SEM). Właściwości plazmoniczne sond sprawdzono w pomiarach TERS warstwy N-heterocyklicznych karbenów na powierzchni złota [3]. Zastosowana preparatyka pozwoliła na uzyskanie próbników pozwalających wzmocnić sygnał optyczny w bliskim polu. Średnia krzywizna wytrawionych sond wynosiła około 25 nm.

Prezentowane badania zostały sfinansowane ze środków Narodowego Centrum Nauki w ramach realizacji projektu badawczego OPUS 19 o numerze UMO- 2020/37/B/ST4/02990.

1. Wilkosz, N.; Czaja, M.; Seweryn, S.; Skirlinska-Nosek, K.; Szymonski, M.; Lipiec, E.; Sofinska, K. *Molecules* **2020**, *25*, 1–27.
2. Ren, B.; Picardi, G.; Pettinger, B. *Rev. Sci. Instrum.* **2004**, *75*, 837–841,.
3. Krzykawska, A.; Wróbel, M.; Kozieł, K.; Cyganik, P. *ACS Nano* **2020**, *14*, 6043–6057.

P33

WYKORZYSTAJNIE MIKROSKOPII SIŁ ATOMOWYCH W BADANIACH WPŁYWU WYBRANYCH CZYNNIKÓW NA POWIERZCHNIĘ STALI NIERDZEWNEJ

Andrzej Sikora[1,*], **Paweł Lochyński**[2]

[1]Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów, Politechnika Wrocławska, ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wocław
[2]Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Grunwaldzka 55, 50-357 Wrocław

[*]autor korespondencyjny: andrzej.sikora@pwr.edu.pl

Stal nierdzewna jest materiałem powszechnie stosowanym w przemyśle, w szczególności w rozwiązaniach wymagających dużej odporności na działanie czynników zewnętrznych. Z tych względów jest to materiał trudny w obróbce i wymagający stosowania czasochłonnych, energochłonnych, a także uciążliwych dla środowiska procesów technologicznych. Zastosowanie mikroskopii sił atomowych, ze względu na jej unikatową rozdzielczość pomiarową, pozwoliło na ocenę zarówno wpływu parametrów procesu trawienia elektrochemicznego na jakość powierzchni, jak również zaobserwowanie rekonstrukcji warstwy pasywującej [1, 2, 3, 4]. Uzyskane informacje stanowiły podstawę optymalizacji procesów stosowanych w przemyśle i obniżenie kosztów wytwarzania wybranych produktów, jak również stanowiły punkt wyjścia do dalszych badań nad zachowaniem poszczególnych warstw materiału w zależności od warunków pracy.

[1] P. Lochyński, A. Sikora, B. Szczygieł, *Surface morphology and passive film composition after pickling and electropolishing*, Surface Engineering 33 (5), 2017, 395-403
[2] P. Lochyński, S. Charazińska, E. Lyczkowska-Widlak, A. Sikora, M, Karczewski, *Electrochemical reduction of industrial baths used for electropolishing of stainless steel*, Advances in Materials Science and Engineering, 2018, 8197202
[3] M. Błaszczyk, M. Durko, Z. Iwanicka, P, Lochyński, A. Sikora, *Investigations of reconstruction of passivation layer on stainless steel surface using AFM-based techniques*, Materials Science Poland, 36(3), 2018, 381–386
[4] P. Lochyński, S. Charazińska, E. Lyczkowska-Widlak, A. Sikora, *Electropolishing of stainless steel in laboratory and industrial scale*, Metals 2019, 9, 854

P34

ULTRAMIĘKKIE AKTYWNE DŹWIGNIE Z AZOTKU KRZEMU DO ZAAWANSOWANYCH TRYBÓW MIKROSKOPII BLISKICH ODDZIAŁYWAŃ

Bartosz Pruchnik[1,*], Ewelina Gacka[1], Dominik Badura[1], Teodor Gotszalk[1], Andrzej Sierakowski[2], Paweł Janus[2]

[1]Katedra Nanometrologii, Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

[2]Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki, ul. Oku-lic-kiego 5E, 05–500 Piaseczno

[*]autor korespondencyjny: bartosz.pruchnik@pwr.edu.pl

W pomiarach mikroskopii bliskich oddziaływań kluczowe (ang. scanning probe microscopy, SPM) jest wykorzystanie narzędzia czułego adekwatnie do wykrywanych oddziaływań. Poprawa czułości sił mikrodźwigni krzemowej leży w obniżeniu jej sztywności (relacji pomiędzy siłą a wywoływanym przezeń odkształceniem). Ultramiękkie dźwignie charakteryzuje duża czułość pomiarów siły.

Precyzja wskazań mikroskopu bliskich oddziaływań zależy od aktuatora, który odpowiada za kompensację stanu niezrównoważenia, który wykrywa sonda pomiarowa. W celu zapewnienia dużej rozdzielczości pomiarów stosuje się aktuatory o wysokiej precyzji. Większość stosowanych rozwiązań posiada niedoskonałości wynikające z charakteru zastosowanego aktuatora, długości łańcucha kinematycznego mikroskopu, elementów pętli sprzężenia zwrotnego. Część z nich można wyeliminować, strukturę aktywną regulatora zawierając w konstrukcji belki. W takiej sytuacji jest to dźwignia aktywna, czyli taka, której stan można zmieniać; łączy ona w sobie jednocześnie sensor i aktuator.

Przedstawiamy serię ultramiękkich dźwigni aktywnych, które łączą w sobie zalety struktur wysokoczułych i wysokorozdzielczych. Dźwignie posiadają sztywności poniżej 10 mN/m oraz dwa niezależne mechanizmy aktuacji z rozdzielczością sił do 30 fN w układzie pomiarowym. Do prowadzenia pomiarów nie wymagają one zewnętrznego aktuatora, wobec czego mogą być stosowane w rozmaitych układach pomiarowych. Wykorzystane materiały (azotek krzemu, tlenek krzemu oraz platyna) sprawiają, że dźwignia posiada duże współczynniki sprawności aktuacji termomechanicznej. Montaż i konstrukcja dźwigni umożliwia wykorzystanie ich w mikroskopach sił atomowych, gdzie służyć mogą jako sondy oddziałujące z powierzchnią w reżimie sił mniejszych od 100 pN.

P35

MIKROSKOPA SIŁ ATOMOWYCH W BADANIACH USZKODZEŃ DNA

Kamila Sofińska[1,*], Ewelina Lipiec[1], Sara Seweryn[1], Katarzyna Skirlińska-Nosek[1], Natalia Wilkosz[1], Michał Cieśla[2], Jakub Barbasz[3], Magdalena Oćwieja[3], Piotr Białas[4], Marek Szymoński[1]

[1]Instytut Fizyki im. M. Smoluchowskiego, Uniwersytet Jagielloński, ul. Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków
[2]Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Jagielloński, ul. Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków
[3]Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera Polskiej Akademii Nauk, Niezapominajek 8, 30-239 Kraków
[4]Instytut Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Jagielloński, ul. Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków

[*]autor korespondencyjny: kamila.sofinska@uj.edu.pl

Podwójne przerwania nici DNA (tzw. DSBs, ang. *double-strand breaks*) są najniebezpieczniejszym typem uszkodzeń DNA, ponieważ nienaprawione mogą prowadzić do śmierci komórek lub groźnych mutacji. Dlatego zrozumienie natury podwójnych przerwań helisy DNA oraz strukturalnych modyfikacji DNA związanych z powstawaniem tego typu uszkodzeń ma kluczowe znaczenie dla zachowania integralności genomu we wszystkich formach życia. W tej prezentacji przedstawione zostanie podejście statystyczne umożliwiające wyznaczenie ilości pęknięć dwuniciowego DNA oparte na analizie rozkładów długości fragmentów DNA określonych na podstawie obrazów AFM (mikroskopii sił atomowych). Jako czynnik powodujący powstawanie podwójnych przerwań nici DNA zastosowany został lek przeciwnowotworowy, bleomycyna. Ponadto zaprezentowane zostanie kompleksowe podejście badania uszkodzeń DNA polegające na wizualizacji AFM fragmentacji nici DNA pod wpływem działania leku oraz charakterystyce chemicznej przy pomocy techniki SERS (ang. *surface-enhanced Raman spectroscopy*). Dodatkowo omówione zostanie zastosowanie nanospektroskopii molekularnej opartej na SPM, która umożliwia badanie lokalnych zmian strukturalnych cząsteczki DNA na poziomie pojedynczej molekuły.

Podziękowania

Prezentowane badania zostały sfinansowanie ze środków Narodowego Centrum Nauki w ramach realizacji projektu badawczego OPUS 16 (nr UMO-2018/31/B/ST4/02292).

P36

BADANIA ZUŻYCIA I WYTRZYMAŁOŚCI BIOMATERIAŁÓW PROTETYCZNYCH ZA POMOCĄ MIKROSKOPU SIŁ ATOMOWYCH Z AKTYWNĄ DŹWIGNIĄ PIEZOREZYSTYWNĄ

Dominik Badura[1], Tomasz Dąbrowa[2], Bartosz Pruchnik[1], Ewelina Gacka[1], Władysław Kopczyński[1], Teodor Gotszalk[1], Ivo Rangelow[3]

[1]Katedra Nanometrologii, Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów, Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, Polska
[2]Katedra i Zakład Protetyki Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, ul. Krakowska 26, 50-425 Wrocław
[3]Group of Nanoscale Systems, Technische Universität Ilmenau, Ehrenbergstraße 29, 98693, Ilmenau, Germany

*autor korespondencyjny: teodor.gotszalk@pwr.edu.pl

Wytrzymałość materiałów protetycznych stanowi główne obok biokompatybilności kryterium w ocenie ich medycznej przydatności. Pomimo pożądanych właściwości mechanicznych, materiał może charakteryzować się niską odpornością na zużycie ścierne. Wyróżnienie zjawisk abrazyjnych i erozyjnych oraz ich ujęcie ilościowe są konieczne w celu określenia trwałości potencjalnej protezy. Pomiary makroskopowe obarczone są niedokładnością wynikającą z dużych wymiarów próbek, nadto wymagają długotrwałego cyklu badań uwzględniającego starzenie i zużycie. Zmniejszenie wymiarów badania jest możliwe, wymaga jednak zastosowania adekwatnych narzędzi.

Prezentujemy metodę badań wytrzymałości materiałów protetycznych przy pomocy mikroskopu sił atomowych z aktywną piezorezystywną dźwignią krzemową. Wykonany w Katedrze Nanometrologii mikroskop sił atomowych umożliwia pomiar topografii powierzchni w obszarze 50x50 μm, co pozwala na pomiar objętości wybranego materiału. Zastosowana w nim aktywna dźwignia piezorezystywna służyć może jednak również jako narzędzie do modyfikacji powierzchni. Możliwe jest wykonanie badań zużycia powierzchni w mikroskali, z użyciem diamentowego ostrza dźwigni w roli rylca. Badanie może być przyspieszone do rzędu pojedynczych minut, ze względu na niewielkie wymiary i zawarcie systemów modyfikacji i pomiaru powierzchni w jednym urządzeniu.

Przedstawione zostaną wyniki pomiarów z wykorzystaniem mikroskopu sił atomowych jako urządzenia pomiarowego oraz efekty wykonanych modyfikacji powierzchni.

P37

POMIAR POWIERZCHNI TECHNOLOGICZNYCH W WARUNKACH ROBOCZYCH ZA POMOCĄ MIKROSKOPU SIŁ ATOMOWYCH Z SONDĄ PIEZOREZYSTYWNĄ

Dominik Badura[1], Bartosz Świadkowski[1], Bartosz Pruchnik[1], Teodor Gotszalk[1], Ivo Rangelow[2]

[1]Katedra Nanometrologii, Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów, Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, Polska
[2]Group of Nanoscale Systems, Technische Universität Ilmenau, Ehrenbergstraße 29, 98693, Ilmenau, Germany
*autor korespondencyjny: teodor.gotszalk@pwr.edu.pl

Preparatyka próbek do badania przy pomocy mikroskopów sił atomowych (ang. atomic force microscopy, AFM) jest zadaniem problematycznym w przypadku obiektów technologicznych. Standardowe wymiary próbki są ograniczone rozmiarem i nośnością stolika AFM. W przypadku topologii ruchomej próbki jest to nieprzekraczalne ograniczenie konstrukcyjne. Przeniesienie wszystkich aktuatorów na stronę sondy (tzw. ruchoma sonda) pozwala jednak ominąć to ograniczenie. Projektowo AFM z ruchomą sondą jest konstrukcją bardziej złożoną ze względu na konieczność adaptacji toru optycznego. Jednakże i ten problem może być wyeliminowany przez zastosowanie elektronicznej detekcji wychylenia w postaci dźwigni z aktywną sondą. Tak wyposażony mikroskop może być montowany na próbce dowolnych rozmiarów.

W Katedrze Nanometrologii zaprojektowany i wykonany został AFM z dźwignią piezorezystywną. Oferuje on pomiar w polach skanowania do 50x50 μm, wysokości względnych do 2 μm z rozdzielczością poniżej 0,2 nm w trybie kontaktowym. Główną zaletą konstrukcji jest jej mobilność. Może spoczywać na dowolnej podstawie bez konieczności wykonywania preparatyki próbki w sensie przerywania ciągłości materiału. Z tego względu badanie AFM, w teorii nieniszczące, realizowane jest bez uszczerbku w przedmiocie badanym.

Mikroskop wyposażony jest w logarytmiczny przetwornik prądowo-napięciowy o zakresie pomiarowym od 10 pA do 10 μA. Przewodząca mikroskopia sił atomowych (ang. conductive atomic force microscopy, C-AFM) poszerza zakres badanych próbek o materiały przewodzące.

Prezentujemy wyniki badania powierzchni lakieru samochodowego przy pomocy skonstruowanego mikroskopu. Badania wykonane zostały na powierzchni blacharskiej, bez ekstrakcji próbki. Wyniki mogą posłużyć do oceny jakości powierzchni i jej zużycia.

P38

WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNE JEDNOOSIOWO ROZCIĄGNIĘTEGO STOPU Fe-Co DOMIESZKOWANEGO WĘGLEM: ANALIZA DFT

Wojciech Marciniak[1,2,*], **Mirosław Werwiński**[2]

[1]Instytut Fizyki, Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej, Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3, 61-139 Poznań
[2]Instytut Fizyki Molekularnej PAN, ul. Smoluchowskiego 17, 60-169 Poznań

[*]autor korespondencyjny: wojciech.robe.marciniak@doctorate.put.poznan.pl

Stopy $Fe_{1-x}Co_x$ o strukturze tetragonalnej i stosunku stałych sieciowych *c/a* = 1.22 posiadają zarówno wysoką anizotropię magnetokrystaliczną jak i pozostałe parametry istotne dla materiałów magnetycznie twardych [1]. Udowodniono jednak, że pomimo sukcesów w otrzymywaniu cienkich warstw o zadanych parametrach, powyżej kilkunastu warstw atomowych układ ten relaksuje do struktury kubicznej [2].

Jedną z metod stabilizacji dystorsji tetragonalnej w stopach Fe-Co jest domieszkowanie węglem, który umiejscawia się w pozycjach międzywęzłowych. Istotny wpływ na właścieości magnetyczne stopów Fe-Co-C ma konfiguracja najbliższego sąsiedztwa atomu węgla [3].

Z wykorzystaniem teorii funkcjonału gęstości (DFT) rozpatrzyliśmy wszystkie geometrycznie nierównoważne obsadzenia atomów Fe i Co w superkomórce 2 x 2 x 2 przestrzennie centrowanej, dwuatomowej struktury tetragonalnej z pojedynczym atomem węgla w pozycji międzywęzłowej i wszystkimi stechiometrycznymi stężeniami Co, $(Fe,Co)_{16}C$. Dla otrzymanych 4 195 unikalnych struktur spośród 65 534 kombinacji układów atomów w superkomórce, wyznaczyliśmy entalpię mieszania w stosunku do układów $Fe_{16}C$ i $Co_{16}C$, anizotropię magnetokrystaliczną i momenty magnetyczne na każdym z atomów.

Prezentujemy wzajemną zależność wymienionych parametrów, ich zależność od stężenia Co oraz uporządkowania krótko- i dalekozasięgowego względem struktury B2.

Dziękujemy za wsparcie finansowe MEiN w ramach grantu DI2017/007947 w programie Diamentowy Grant, edycja 2018 oraz grantu 0512/SBAD/2220 i wsparcie NCN w ramach grantu SONATA BIS 8 zgodnie z decyzją DEC-2018/30/E/ST3/00267.

[1] T. Burkert, L. Nordstrom, O. Eriksson, Physical Review Letters, 93 (2004): 027203.
[2] L. Reichel, L. Schultz, and S. Fähler, *Journal of Applied Physics* 117 (2015): 17C712.
[3] E. K. Delczeg-Czirjak, et al., *Physical Review B* 89 (2014): 144403.

P39

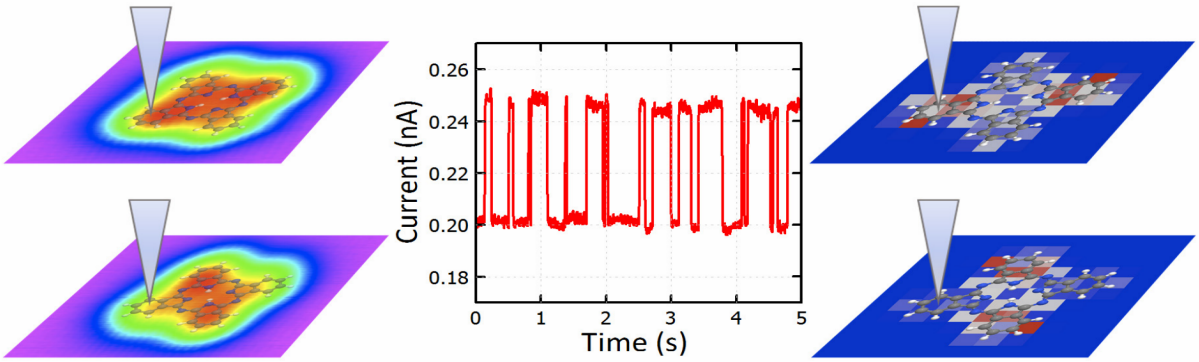
BISTABLE H_2PC MOLECULAR CONDUCTANCE SWITCH ON AG(100)

Wojciech Kamiński,[1,*] Grażyna Antczak,[1,*] and Karina Morgenstern[2]

[1] Institute of Experimental Physics, University of Wrocław, Wrocław, Poland
[2]Lehrstuhl für Physikalische Chemie I, Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Germany

[*]Corresponding authors: wojciech.kaminski@uwr.edu.pl, grazyna.antczak@uwr.edu.pl

Scanning tunneling microscopy (STM) and density functional theory (DFT) were used to study the tautomerization reaction of an H_2Pc molecule adsorbed on a Ag(100) surface. The presence of two hydrogen atoms in the cavity of the H_2Pc molecule enforces the existence of two molecular tautomers. It causes a reduction from 4- to 2-fold symmetry in STM images that can be recorded as two current states over the H_2Pc molecule with a high-to-low current state ratio of ~1.2. These findings are confirmed by the spatial distributions of the all-atom electron charge density calculated using DFT and transmission maps together with tunneling current ratios (~1.2) determined from non-equilibrium Green's function transport calculations. Therefore, we demonstrate that an H_2Pc molecule adsorbed on a Ag(100) surface is a good candidate for a bistable molecular conductance switch since neither the presence of the Ag(100) surface nor that of the STM tip alter the tautomerization [1].



The study demonstrates that positions of inner hydrogens substantially influence the conductivity of the H_2Pc "leg" with independent of the polarity high-to-low current state ratio, and therefore the H_2Pc/Ag(100) system could be used as a bistable molecular conductance switch.

[1] W. Kamiński, G. Antczak, K. Morgenstern, J. Phys. Chem. C 126 (2022) 16767−16776.

Acknowledgments:

G.A. thanks the Alexander von Humboldt Foundation for sponsoring her three months research stay in Ruhr-Universität Bochum in the group of K.M. The research project was partly supported by the program „Excellence initiative–research university" for the years 2020-2026 at the University of Wrocław. The calculations were supported by the Interdisciplinary Center for Mathematical and Computational Modeling of the University of Warsaw (ICM UW) under the computational grant No. GA73-20.

P40

MIKROSKOPIA SIŁ ATOMOWYCH AFM W BADANIACH KARDIOMIOCYTÓW- INNOWACYJNA METODA DO JEDNOCZESNEGO POMIARU SZTYWNOŚCI I AMPLITUDY SKURCZU KOMÓRKI.

Patrycja Twardawa[1,*], Olga Lis[1], Kalina Andrysiak[2], Jacek Stępniewski[2], Józef Dulak[2], Marta Targosz-Korecka[1]

[1]Instytut Fizyki im. M. Smoluchowskiego, Uniwersytet Jagielloński, ul. Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków

[2]Zakład Biotechnologii Medycznej, Wydział Biochemii, Biofizyki i Biotechnologii, Uniwersytet Jagielloński, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków

[*]autor korespondencyjny: patrycja.twardawa@doctoral.uj.edu.pl

Cytoszkielet komórkowy, będący swoistym „rusztowaniem" podstawowej jednostki budującej organizm, pełni wiele funkcji o zasadniczym znaczeniu w fizjologii komórki, w tym m.in umożliwia ruch komórki. Struktura cytoszkieletu determinuje właściwości elastyczne komórki, co z kolei przekłada się na mobilność komórki, jak i na jej zdolność do kurczenia się. W tym kontekście, szczególnie ciekawym obiektem badań są komórki budujące mięsień sercowy – kardiomiocyty, dla których zdolność do kurczenia się ma fundamentalne znaczenie.

W prezentowanych badaniach skupiamy się na dwóch celach badawczych. Pierwszym z nich było opracowanie metodologii pomiaru amplitudy skurczu pojedynczego kardiomiocytu. Wykorzystano w tym celu mikroskopię sił atomowych (AFM) oraz technikę spektroskopii sił, która umożliwia pomiar właściwości elastycznych próbki (moduł elastyczności) jak i spoczynkowy pomiar wychylenia próbnika będącego w kontakcie z badanym materiałem, co zostało wykorzystane do oceny amplitudy skurczu pojedynczych kardiomiocytów. Badania zostały przeprowadzone na nieutrwalonych komórkach ludzkich kardiomiocytów (hiPSC-CMs) w buforze o dobrze zdefiniowanym składzie jonowym i kontrolowanym pH.

Drugim celem była obserwacja zmian elastyczności kardiomiocytów i amplitudy skurczu w odpowiedzi na czynniki różnicujące strukturę filamentów aktynowych i układu aktynowo-miozynowego. Zastosowano bufory o zmiennym stężeniu jonów wapnia Ca2+ (jako odniesienie do naturalnego mechanizmu regulacji), cytochalazynę (która hamuje polimeryzację fibrylarnej aktyny) oraz toksyczne stężenie glukozy w medium pomiarowym. Wykazano, że właściwości elastyczne oraz amplituda skurczu silnie zależą od stężenia jonów wapnia (obniżenie sztywności komórek i spadek amplitudy skurczu wynikające z deficytu jonów Ca2+). Podobne efekty otrzymano też dla toksycznego stężenia glukozy i po podaniu cytochalazyny, gdzie zaobserwowano również nasilenie efektów w miarę upływu czasu po podaniu substancji do medium komórkowego.

Niniejsza praca prezentuje niekonwencjonalne wykorzystanie mikroskopii AFM w pomiarach skurczu pojedynczych kardiomiocytów. Opisana metodologia może być wykorzystana do badań kardiomiocytów otrzymanych od pacjentów z dystrofią mięśniową, jak również do testowania leków i nowych terapii na poziomie pojedynczych komórek

P41

METAL AFM PROBES – TECHNOLOGY AND USE IN UNPRECEDENTED RESEARCH

Michał Milczarek*, Dariusz Jarząbek, Piotr Jenczyk

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, ul. Pawińskiego 5b, 02-106 Warszawa

*autor korespondencyjny: mmilcz@ippt.pan.pl

Commonly available silicon probes for AFM are not without flaws. Although they are used in many experiments they are not perfect for tribological experiments and high-load mechanical manipulation. They are brittle and small, the maximum available stiffness is around 100 N/m, and coatings used to enhance their properties are thin and wear out fast. Probes made completely of metal overcomes these problems but are not commonly available. Here presented is the method of fabrication of all-metal probes and also their use in high-load research.

Processes of manufacturing metal probes, described in scientific literature, are usually complicated and with many steps [1,2]. The developed method eliminates these disadvantages. It uses only cheap and simple tools and safe chemicals. The most important innovation in the process is a metal substrate. It eliminates the need for an additional conductive layer before electrochemical deposition. The second crucial process is an indentation in which mould for the tip is created in the substrate. The process can be easily adjusted to manufacture probes from different materials or with different tip and beam shapes. It is also cheap to implement and allows manufacturing in batches. This results in a low cost for the individual probe.

Probes manufactured by the described method were used in unprecedented high-load tribological experiments. Stiff (>2000 N/m) metal probes were used as a base to attach micro-scale (diameter 40 μm) glass spheres and used for frictional experiments on super-hard materials. The load used in the research was equal to 1 mN – a value hard to achieve with silicon probes. Obtained results show many interesting trends.

A variety of materials for probes opens the possibility for new research regarding nanofriction and nanowear between materials that could not be previously investigated at the nanoscale. Both in the case of material pairs and scale of loads. Other possible uses of that probes include measurements of magnetic properties and electric properties.

[1] E.J. Luber, B.C. Olsen, C. Ophus, V. Radmilovic, D. Mitlin, Nanotechnology 20, 9 (2009)
[1] J. Zou, X. Wang, *et.al.*, Journal of Micromechanics and Microengineering 14, 204 (2004)

Catalogue of Companies

A.P. Instruments

ul. Buszycka 18B 02-869 Warszawa, Polska	phone: 604 081 098 e-mail: sekretariat@apinstruments.pl https://apinstruments.pl/

Contact person(s): *Piotr Zajączkowski*

Firma A.P. Instruments - założona w Warszawie w 2001 roku - dostarcza najwyższej klasy aparaturę analityczną i pomiarową. Naszymi partnerami biznesowymi są:

- brytyjska firma Malvern Panalytical - pionier i lider w dziedzinie aparatury do charakteryzacji cząstek pod względem wielkości, kształtu, potencjału zeta, a także producenta chromatografów żelowych GPC do wyznaczania masy cząsteczkowej i mikrokalorymetrów MicroCal;
- niemiecka firma Postnova - pionier w dziedzinie techniki frakcjonowania cząstek (FFF);
- kanadyjska firma Tornado Spectral Systems - globalny dostawca systemów do szeroko pojętej analizy chemicznej i pomiarów wykorzystujących spektroskopię Ramana;
- niemiecka firma Netzsch - specjalizująca się w produkcji maszyn i oprzyrządowania dla potrzeb produkcji, posiadająca w swojej ofercie również reometry;
- japońska firma Hitachi - producent najwyższej klasy analizatorów termicznych pozwalających na wykrywanie i wizualizację najmniejszych reakcji w szerokim zakresie temperatur;
- amerykańska firma OI Analytical - specjalizująca się w produkcji analizatorów do oznaczania TOC, TC, IC w wodach farmaceutycznych oraz TOC/OWO w wodach komunalnych, energetycznych i ściekach przemysłowych;
- kanadyjska firma ICSPI - dostarczająca rewolucyjne systemy umożliwiające obrazowanie nanoskali szerokiemu gronu odbiorców;
- brytyjska firma Applied Photophysics - wiodący dostawca systemów i akcesoriów wykorzystywanych do charakterystyki biomoleku;
- niemiecka firma SOPAT - producent najwyższej klasy rozwiązań wykorzystywane w przemyśle do pomiaru i zliczania cząstek;
- amerykańska firma Vision Analytical - światowy lider w zakresie rozwiązań dedykowanych do charakteryzacji wielkości, ilości i kształtu cząstek.

COMEF Sp. z o.o. Sp. k.

COMEF Sp. z o.o. Sp. k.
ul Gdańska 2
40-719, Katowice, Poland

phone: +48 32 428 38 20
fax: +48 32 428 38 30
e-mail: comef@comef.com.pl
https://www.comef.com.pl

Contact person(s): *Bogusław Burak, Adrian Cernescu*

COMEF to dynamicznie rozwijająca się firma istniejąca na rynku aparatury naukowo-badawczej, technologicznej oraz medycznej od 1993 r.

Działając jako przedstawiciel uznanych światowych producentów firma COMEF, to gwarancja innowacyjnych rozwiązań, najnowszych technologii i pełnego wsparcia technicznego.

Aparatura technologiczna, m.in:

- **Neocera** - PLD (Pulsed Lased Deposition) + PED (Pulsed Electron Deposition)
- **Riber** - MBE (Molecular Beam Epitaxy)
- **Aliance Concept** - nanoszenie warstw metodami sputteringu
- **Annealsys** - szybka obróbka cieplna RTP
- **Plasma-Therm** - trawienie plazmowe + CVD
- **FCT Anlagenbau GmbH** - obróbka cieplna przy podwyższonym ciśnieniu
- **Memsstar** - wytrawianie i osadzania w procesach półprzewodnikowych, MEMS oraz technologiach pokrewnych
- **TPT Wire Bonder** - wykonywanie połączeń drutowych
- **Suss MicroTec** – fotolitografia, wafer bonding, nanoszenie/trawienie fotorezystu oraz drukowanie w technologii InkJet Printing
- **Grupa ECM** – piece próżniowe, piece indukcyjne, reaktory do osadzania CVD, piece do fotowoltaiki

Aparatura badawcza, m.in:

- **Cameca** - spektroskopy mas jonów wtórnych SIMS, APT (Atom Probe Tomography)
- **Hitachi** - mikroskopy elektronowe SEM, TEM, STEM, FIB, Dual Beam, Triple Beam, mikroskopy sił atomowych AFM, urządzenia do przygotowywania próbek (flat milling, cross-section)
- **Thermo Fisher Scientific** - systemy EDS, WDS, EBSD, XPS (ESCA)
- **Horiba Scientific** - spektrometry Ramana, spectrometry emisyjne: ICP-OES, GD-OES, GD-MS, monochromatory, siatki dyfrakcyjne, elipsometry spektroskopowe, spektrometry VUV
- **Bruker-microCT** - mikrotomografy komputerowe do badań z zakresu Material Science i Life Science (in-vivo i ex-vivo)
- **Neaspec** - systemy nano-FTIR, neaSNOM
- **Setaram** - analizatory termiczne: DTA, DSC, TG, TMA
- **C-therm** - urządzenia do pomiarów przewodnictwa cieplnego
- **Solartron Analytical / PAR** - potencjostaty/galwanostaty
- **Newport Spectra-Physics** - fotonika, optyka i optomechanika systemy laserowe
- **Tribotechnic** – urządzenia do badań trybologicznych

Główne biuro:

ul. Gdańska 2, 40-719 Katowice
Tel. +48 32 428 38 20
Fax. +48 32 428 38 30
Email: comef@comef.com.pl

Biuro w Warszawie:

ul. Niedźwiedzia 10B, 02-737 Warszawa
Tel. +48 22 848 18 44
Fax. +48 22 233 01 11
Email: warszawa@comef.com.pl

Instytut Fotonowy

Instytut Fotonowy sp. z o.o.
ul. Na Mostkach 32
Kraków, Poland

phone: +48 733 003 380
e-mail: info@fotonowy.pl
http://www.fotonowy.pl

Contact person(s): *Piotr Chomiuk, chomiuk@fotonowy.pl*

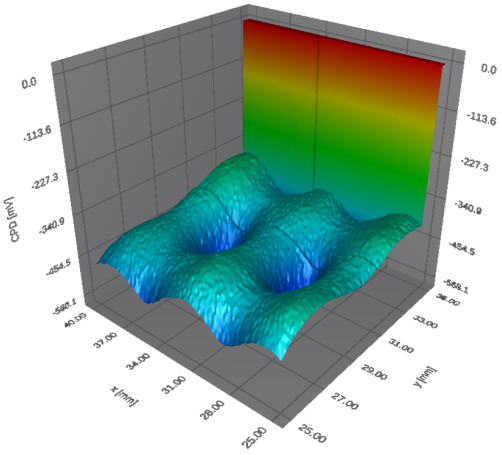
Instytut Fotonowy designs and develops high quality scientific equipment, mostly for (photo)electrochemical research. One of our successful solutions is a Scanning Kelvin Probe.

It allows for high accuracy measurements of work function value of various semiconducting and conducting materials. It can also determine charge distribution on a sample surface.



Measurements of work function are particularly useful in semiconductor physics as they provide the position of Fermi level of the examined materials.

The Kelvin Probe equipped with a light source enables to examine the sample's electrons surface states. They play a significant role in electric charge transfer, which is especially important for photovoltaic materials and in photoelectrochemistry.



Scanning the sample surface for its electrical properties examination enables precise assessment of the material's quality, its homogeneity and enables gathering the series of data that may be used to evaluate work function more precisely.

The image shows the Contact Potential Difference (CPD) map over a metal surface with periodic holes.

LABSOFT Sp. z o.o.

Labsoft Sp. z o.o.
ul. Puławska 469
02-844 Warszawa
Polska

tel: + 48 22 8532793
e-mail: info@labsoft.pl
http://www.labsoft.pl

Contact person(s): Jakub Banaszek, Wojciech Wrzosek, Grzegorz Szumilas

Firma LABSOFT jest wieloletnim, uznanym dostawcą urządzeń badawczych, aparatury pomiarowej i technologicznej renomowanych producentów. Oferowane przez nas urządzenia znajdują zastosowanie w ogólnie pojętej nanotechnologii, inżynierii materiałowej, naukach fizycznych, chemicznych, biologicznych i medycznych. Posiadamy bazę ponad 700 zainstalowanych przyrządów badawczych, w tym o bardzo wysokim poziomie złożoności, oraz szereg referencji ze zrealizowanych dostaw świadczących o naszych kompetencjach i doświadczeniu.
Labsoft to zespół ponad 30 osób, w tym 14 inżynierów serwisowych rozlokowanych na terenie całego kraju. Śledzimy uważnie dynamicznie rozwijający się rynek urządzeń badawczych, stale podnosimy swoje kwalifikacje, wprowadzamy i proponujemy nowe rozwiązania. Wysokie kompetencje naszych inżynierów sprawiają, że pomagamy partnerom w serwisie aparatury także poza granicami Polski. Jako doświadczona firma, doskonale zdajemy sobie sprawę ze złożoności współczesnej aparatury badawczej, z jej niesamowitego potencjału badawczego, ale również z wyzwań stawianych operatorom oraz osobom interpretującym uzyskane wyniki. Dlatego naszym celem jest wdrożenie koncepcji pełnego wsparcia klienta – od doradztwa przy wyborze urządzeń, poprzez przygotowanie pomieszczeń, instalację i uruchomienie aparatury, przeszkolenie użytkowników, utrzymanie jej w ruchu, aż do udzielenia wsparcia aplikacyjnego dla użytkowników.

MAD CITY LABS GMBH

Nanopositioning Systems

Mad City Labs GmbH
Schaffhauserstrasse 115
8302 Klote
Switzerland

Tel.+41 44 803 98 18
email: ferdi@madcitylabs.eu
European office
www.madcitylabs.eu

Contact person: Ferdinando Ciceri

Mad City Labs manufactures high end closed loop nanopositioning and microscope systems, precision aligned microscopy platforms for super resolution microscopy, single molecule biophysics, and AFM/SPM. Featured products include modular AFM/SPMs, RM21™ single molecule microscope, low profile multi-axis nanopositioning, MicroMirror TIRF systems, and metrology nanopositioners with resolution down to 5pm.

Mad City Labs GmbH | Schaffhauserstrasse 115 CH-8302 Kloten Switzerland | Tel: +41 44 803 98 18 www.madcitylabs.eu | Firma Number: CH-020.4.045.621-0 Number: CHE-294.293.939

MeasLine sp. z o.o. (Ltd.)

MeasLine sp. z o.o. - oddz. Skawina (Ltd.)
Pilsudskiego 3
32-050, Skawina, Poland

tel: +48 12 307 2980
e-mail: measline@measline.com
http://www.measline.com

Contact person: *Janusz Budzioch*

MEALINE company specializes in designing and manufacturing of research and measuring devices for laboratory and industrial applications. We also serve as a distributor of advanced equipment in Poland.

Our offer includes advanced measuring systems, such as Multi-Plattform UHV System (MPS), a single instrument enabling multiple technique surface analysis and correlative nanofabrication. This unique tool consists of ultra-high vacuum systems produced by MEASLINE and an atomic force microscope with the piezoresistive cantilever, developed by the Nanoanalytik company. A wide scope of available analytic techniques such as: Atomic Force Microscopy (AFM), Auger electron spectroscopy (AES), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and additional equipment like: an ion source for depth profiling, load-lock enabling transferring samples from/to the glove box under a protective atmosphere and separate preparation chamber (ex. for vacuum coating), makes this system ideal for wide range of research applications. One example can be future development of electronic devices based on single- or few dopant-QDs. The Field-Emission Scanning Probe Lithography (FE-SPL) may be used for the fabrication of single electron transistors (SETs), which make possible the control of quantum transport through a zero-dimensional island, source, drain, and gate electrodes. Fast switching between electron-field emission from the tip and non-contact AFM imaging greatly facilitates the analysis of the deposits. A further important advantage is that the placement of the deposits can be determined with very high positioning accuracy using the AFM for navigation and fabrication of the Electron beam-induced deposition (EBID) features.

Our goal is to help scientists in realisation of their brilliant research ides providing high quality devices fitted exactly to individual needs. MEASLINE delivers custom systems for thin layer deposition using the Physical Vapor Deposition (PVD) techniques starting from compact tools for thermal evaporation or magnetron sputtering to complex, multichamber systems equipped with multiple sources. We design and manufacture cryostats enabling to work in the temperatures range of 4 to 500 K and adapted to work with external devices like superconductive magnet, optical microscope, ect. and other diverse systems dedicated to specialized research, such as vacuum chamber reactors, reactors for spectroscopic research in IR, tools for laser ablation or systems for investigations of high-temperature behaviour of molten metals in contact with refractory materials ect. We also provide equipment for thin layer thickness measurements and optical analysis of surfaces.

NanoAndMore GmbH

Company Name: NanoAndMore GmbH
Street Address: Steinbuehlstr. 7
Post code, City: 35578, Wetzlar
Country: Germany

phone: +49 (0)6441 8706272
e-mail: info@nanoandmore.com
http:// www.nanoandmore.com

Contact persons: Peer Burshille, Holger Heerlein

NanoAndMore GmbH was founded 2002 with the objective to supply the scanning probes microscopes (SPM, aka. atomic force microscope, AFM) community in the best possible way with a wide range of consumer goods from SPM probes, calibration standards, substrates, tools and more.

As an independent company our mission is to enable our customers to choose from a broad variety of products, brands and manufactures the SPM probe suitable for their needs. Since 1991 we have experience in this market, nobody else has more insight into in the world of SPM probes.

Our products are optimized for research, development, and process control applications when visualization, modification, and measurement of nanometre-sized surface structure is critical. Our first aim is to pursue the idea of bringing new developments in the field of measurement instrumentation to the laboratories in scientific research and industry, and on customer's demand.

Currently we offer brands as: BioForce NanoScience, Budget Sensors, Kelvin Nanotechnology, MicroMasch, NANOSENSORS, nanotools, NanoWorld, sQUBE, and Team Nanotec, and more. We will continue to extend our product scope.

We ship from Germany to Europe, Africa and the Middle East, and we do have younger NanoAndMore sister companies in USA, Japan and South East Asia.

nanoscore

nanoscore gmbh
Maisebachstr. 3
61479 Glashuetten
Germany

Phone: +49 6174 6199 50
Fax: +49 6174 6199 49
E-mail: info@nanoscore.de
http://www.nanoscore.de

Contact person: *Thomas Berghaus*

➢ **nanoscore** is the exclusive European distributor for **UNISOKU**, the renowned Japanese manufacturer of Low Temperature UHV SPM Systems.

The UNISOKU product offering comprises a variety of Low Temperature UHV-SPM systems. Prominent examples are:

USM1300 ^{3}He cooled **STM** allows for experiments in UHV and down to the 300mK range, combined with magnetic fields up to 15Tesla, or 3D vector fields. Multiple sample contacts, RF connections up to the GHz range, as well as outstanding STM performance make the USM1300 the bench mark instrument.

USM1400-TERS UHV SPM with single molecule resolution in tip enhanced Raman spectroscopy. Further the USM1400 is a highly flexible base for in-situ optical applications – i.e. for collection of photon induced by STM with high aperture of $n_A > 0.5$.

NEW ! USM1800-DRY
UNISOKU's first dry-cooled LT-SPM. It achieves ~5K sample temperature, which is unique for dry-cooled SPMs. The pulse tube refrigerator (PTR) allows for fast & easy cool down, continuous operation without caring for LHe logistics and associated costs. The advanced concept of vibration isolation from PTR provides unique temperature stability, ultimate STM & AFM resolution, high resolution spectroscopy, and optical access.

PIK INSTRUMENTS Sp. Z o.o.

PIK Instruments Sp. z o.o.
ul. Gen. L. Okulickiego 5F
05-500 Piaseczno
Poland

phone: +48 22 726 74 96
e-mail: kontakt@pik-instruments.pl
PIK INSTRUMENTS (pik-instruments.pl)

Marcin Lamczyk

PIK Instruments to innowacyjna się firma, która w swojej ofercie posiada produkty od ponad 25 producentów sprzętu laboratoryjnego. Specjalizujemy się w mikroskopii elektronowej, preparatyce próbek biologicznych i inżynierskich oraz mikroskopii sił atomowych. Naszą mocną stroną jest również metalografia, mikroskopia cyfrowa oraz rozwiązania dedykowane technikom in-situ. Portfolio produktów PIK Instruments to również urządzenia próżniowe oraz zaawansowane systemy do obrazowania oraz preparatyki w medycynie.

Nasz zespół tworzy wysoce wykwalifikowana grupa pasjonatów, która profesjonalnie doradzi w każdej kwestii – nie tylko doboru odpowiednich mikroskopów, ale również w zakresie preparatyki, czy też odpowiednich materiałów eksploatacyjnych do laboratorium.

PIK Instruments jest właścicielem pierwszego w Polsce sklepu internetowego z akcesoriami do mikroskopii elektronowej Micro-Shop: https://micro-shop.pl/. Wychodzimy naprzeciw oczekiwaniom naszych klientów i ułatwiamy proces zamówienia – teraz wystarczy parę kliknięć, od wyboru produktu do chwili zamówienia i rozpoczęcia procesu dostarczenia produktu.

PIK Instruments to również własne nowatorskie projekty oraz produkty – realizowane we współpracy z wiodącymi ośrodkami naukowymi. Wspólnie projektujemy oraz wytwarzamy unikalne sondy do mikroskopów sił atomowych.

PREVAC sp. z o.o.

PREVAC sp. z o.o.
ul.Raciborska 61
44-362, Rogów, Polska

Phone: 0048 32 459 2000
E-mail: prevac@prevac.pl
http://www.prevac.eu

Kontakt: *Sławomir Frysztak, Kinga Misz*

Działalność firmy PREVAC sp. z o.o. jest ściśle związana z nanotechnologią i powiązanymi kierunkami badawczo-rozwojowymi. W firmie stale opracowywane są aparatury dopasowane do potrzeb klienta naukowego oraz przemysłowego. Rozwijane są też standardowe rozwiązania i komponenty badawcze.
Ogromna wiedza, ponad 25-letnie doświadczenie, setki zrealizowanych projektów dla klientów na całym świecie plasują firmę na wiodącej pozycji na rynku krajowym i międzynarodowym w dziedzinie zaawansowanych technologii.

Produktami firmy są:
- Kompletne aparatury naukowo-badawcze – umożliwiające modyfikacje i badania nanomateriałów w szerokim zakresie ciśnień
- Unikatowe manipulatory próżniowe
- Komory próżniowe
- Instrumenty
- Nośniki próbek
- Nowoczesne elektroniki
- Oprogramowanie

Tworzymy urządzenia, które zbliżają naukę i biznes do pionierskich technologii i osiągnięć badawczych. Sprawiamy, że niemożliwe staje się realne, budując rozwiązania szyte na miarę dla nawet najbardziej wymagających klientów. Nie ma dla nas barier technologicznych, technicznych, koncepcyjnych czy terytorialnych.
W nasze DNA wpisany jest postęp. Każdego dnia sięgamy po więcej i dalej. Łączymy szeroką wiedzę z wielu dziedzin nauki i ulepszamy idee, które pozwalają nam dostarczać niezawodne i innowacyjne technologie dla naukowców, instytutów badawczych oraz aplikacji przemysłowych z całego świata.
W pracy nad rozwijaniem technik naukowo-badawczych dla naszych klientów kierujemy się niezawodnością, wysoką jakością każdego elementu oraz dokładnością, mierzoną w atomowej skali.
Największym potencjałem PREVAC jest zespół ekspertów, który zapewnia klientom pełne wsparcie – od pierwszej rozmowy z doradcą technicznym po serwis pogwarancyjny. Prowadzimy projekty z naciskiem na fachowe badania i analizę ich wyników oraz identyfikację potrzeb klienta. Pracujemy w ścisłej współpracy z klientem na każdym etapie projektu.

TECHNOLUTIONS
solutions for sci-tech

Technolutions Sp. z o.o. jest dostawcą zaawansowanej aparatury pomiarowej i technologicznej oraz urządzeń dla firm produkcyjnych i uczelni. Działamy w obszarze nanoszenia powłok, modyfikacji powierzchni, mikroskopii świetlnej i profilometrii, badań mechanicznych w tym twardości, odporności na zarysowania czy zużycia. Oferowane przez nas produkty znajdują zastosowanie w różnych dziedzinach nauki: w inżynierii materiałowej, fizyce, chemii, nanotechnologii, biologii i medycynie.

W SWOJEJ OFERCIE POSIADAMY M.IN.:

- MIKROSKOP AFM DO INSTALACJI W MIKROSKOPIE SEM FIRMY NENOVISION

  - z system łączonego obrazowania w obu mikroskopach na raz

- W PEŁNI ZAUTOMATYZOWNY MIKROSKOP AFM FX40 FIRMY PARK SYSTEMS

  - wysokorozdzielczy mikroskop z automatycznym systemem wymieniania igieł, pracujący w oparciu o sztuczną inteligencję

Park SYSTEMS

NenoVision

List of Authors

Antczak, G
Badura, D
Barbasz, J
Baumgartner, A
Bazarnik, M
Bełza, W
Berardi, M
Berkovich, R
Białas, P
Bielak-Żmijewska, A
Blacharczy, O
Bracha, K
Brown, S
Bulat, K
Cempura, G
Cernescu, A
Chachaj-Brekiesz, A
Cichomski, M
Cichowski, P
Cieśla, M
Cieślik, K
Czaja, M
Czerwińska, J
Dabrowski, P
Dąbczyński, P
Dąbrowska, A
Dąbrowski, P
Dróżdż, P
Dulski, M
Dunal, R
Dybas, J
Dynarowicz-Łątka, P
Francesci, G
Gacka, E
Gajewski, K
Galus, R
Gnanachandran, K
Godlewski, S
Gojżewski, H
Gołek, F
Gołębiowski, M
Gołyszny, B
Gotszalk, T
Grobelny, A
Grzela, T
Gupta, A
Györök, M
Gysin, U
Jałochowski, M
Janas, A
Janus, P
Jany, B R
Jaroch, T
Jarzembska, K
Jasik, A
Jurkowska, K
Kaczmarska, M
Kalska-Szostko, B
Kamiński, W
Karczewski, J
Kasarla, S
Kisiel, M
Kobiela, T
Kobierski, J
Koczorowski, W
Kołodziej, T
Kołodziejczyk, A
Komorowski, P
Kosmala, T
Kotwica, k
Kowalczyk, D A
Kowalczyk, P J
Kowalczyk,, P
Koziatek, J
Kozłowski, W
Kozłowski, P
Kratzer, M
Krawiec, M
Krempiński, P
Krok, F
Kruk, A
Krukowski, P
Kryshtal, A
Krzyżewska, K
Kubisiak, A
Kulik, A
Kunicki, P
Kwapiński, T
Kwiecień, K
Kwoka, K
Laskowska, M
Laskowski, D
Laskowski, Ł
Le Ster, M
Lekka, M
Levkovych, I
Lipiec, E
Lisowska, K
Lochyński, P
Lupa, D
Lutsyk, I
Luty, M
Łasut-Balcerzak, J
Łukasik, M
Madej, E
Majewska, M
Majstrzyk, W
Mandziak, A
Maranda-Niedbała, A
Marciniak, W
Marciniak, J
Marković, A
Marzec, K M
Mądry, B
Meixner, J
Mendyk, E
Meyer, E
Morawski, I
Morgenstern, K
Mrdenovic, D
Nadolska, A
Nowak, E
Nowakowski, R
Nowicki, M
Oćwieja, M
Oevreeide, I H
Olbrich, A
Olejniczak, W
Ollier, A
Owczarek, S
Pabijan, J
Partyka-Jankowska, E
Pawłowski, S
Pęcak, W
Piasecki, T
Pieta, I S
Pieta, P
Piskorski, M
Piskorz, W
Proń, A
Prot, V
Pruchnik, B
Przybysz, P
Przychodnia, M
Ptak, A
Pyka-Fościak, G
Pyrć, K
Raczyński, J
Rajfur, Z
Ramezani, M
Rangelow, I W
Ratajczak, J
Rogala, M
Rutkowska, U
Rychły-Gruszecka, J
Rysz, J

Ryś, W
Sabik, A
Schönenberger, C
Setvin, M
Seweryn, S
Sęk, S
Siedlecka, M
Sierakowski, A
Sikora, A
Siri, O
Skirlińska-Nosek, K
Skraba, M
Skrzypiec, K
Smenda, J
Sobiepanek, A
Sobol, T
Sofińska, K
Spiridis, N
Staniak, K
Stepanenko, T
Stępniak-Dybala, A
Stokke, B T
Strach, A
Stróżak, M
Strzelecki, J
Svec, M
Sylka, M
Szajna, K
Szałowski, K
Szczepanik, M
Szczesny-Malysiak, E
Szczypior, M
Szot, K
Szybowicz, M
Szydlak, R
Szymoński, M
Targosz-Korecka, M
Teichert, C
Tersiński, L
Toczek, K
Urbańska, M
Volokitina, A
Wagner, T
Walkowiak, B
Wandelt, K
Wasiak, E
Wasielewski, R
Wasilewska, A
Weiss, M
Werwiński, M
Wilgocka-Ślęzak, D
Wilkosz, N
Wnętrzak, A
Wojtecki, M
Wojtyniak, M
Wolnica, K
Wolski, K
Wrana, D
Wrońska, N
Wysmołek, A
Zagórska, M
Zajączkowski, K
Zapała, J
Zapotoczny, S
Zapotoczny, B
Zdyb, R
Zemła, J
Zeppenfeld, P

NOTES

NOTES

NOTES

NOTES

NOTES