



Uniwersytet  
**ŁÓDZKI**

# **AUTOREFERAT**

**dr Michał Cichomski**

Uniwersytet Łódzki

Wydział Chemii

Katedra Technologii i Chemii Materiałów

Łódź 2013

## Spis treści

I. Dane osobowe .....	3
II. Przebieg pracy naukowej.....	4
1. Przebieg pracy przed uzyskaniem stopnia doktora .....	4
2. Przebieg pracy po uzyskaniu stopnia doktora .....	5
III. Osiągnięcia będące podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego.....	8
IV. Omówienie cyklu publikacji stanowiącego rozprawę habilitacyjną.....	10
V. Prace opublikowane przed uzyskaniem stopnia doktora .....	22
VI. Pozostałe prace opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora.....	25
VII. Udział w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych .....	29
VIII. Współdziałanie w organizacji konferencji .....	36
IX. Zgłoszenie patentowe .....	36
X. Projekty badawcze .....	36
XI. Recenzje prac naukowych .....	37
XII. Dydaktyka.....	37
1. Prowadzenie i koordynacja zajęć dydaktycznych.....	37
2. Opieka naukowa nad studentami .....	37
XIII. Otrzymane nagrody i wyróżnienia .....	38
XIV. Wykonanie ekspertyz lub innych opracowań na zamówienie podmiotów realizujących zadania publiczne lub przedsiębiorców .....	38
XV. Propagowanie chemii .....	38
XVI. Statystyka dorobku naukowo-badawczego .....	39

## I. Dane osobowe

### Edukacja:

1990–1995 Technikum Elektroniczne w Zduńskiej Woli.

1995–2000 Studia chemiczne – Uniwersytet Łódzki, Wydział Fizyki i Chemii.

#### Praca magisterska:

*„Badanie topografii powierzchni krzemianowych mezoporowatych materiałów ceramicznych i określenie ich podstawowych właściwości nanotribologicznych przy użyciu mikroskopu sił atomowych”*. Promotor: prof. dr hab. Stanisław Płaza.

2000–2004 Studia doktoranckie.

#### Praca doktorska:

*„Badania morfologiczne i nanotribologiczne materiałów nanokompozytowych”*.

Promotor: prof. dr hab. Stanisław Płaza. Obrona pracy doktorskiej – 2005 r.

### Przebieg pracy zawodowej:

2004–2005 Uniwersytet Łódzki, Katedra Technologii Chemicznej i Ochrony Środowiska – asystent.

2005–2006 Ohio State University, Nanotechnology Laboratory for Storage and MEMS/NEMS (obecnie Nanoprobe Laboratory for Bio- & Nanotechnology and Biomimetics), Columbus, USA – staż podoktorski.

2006– Uniwersytet Łódzki, Katedra Technologii Chemicznej i Ochrony Środowiska (obecnie Katedra Technologii i Chemii Materiałów) – adiunkt .

## II. Przebieg pracy naukowej

### 1. Przebieg pracy przed uzyskaniem stopnia doktora

W roku 1995 ukończyłem Technikum Elektroniczne w Zduńskiej Woli i rozpocząłem studia na Wydziale Fizyki i Chemii Uniwersytetu Łódzkiego, kierunek chemia. Pracę magisterską pt. *„Badanie topografii powierzchni krzemianowych mezoporowatych materiałów ceramicznych i określenie ich podstawowych właściwości nanotribologicznych przy użyciu mikroskopu sił atomowych”* wykonywałem w Katedrze Technologii Chemicznej i Ochrony Środowiska oraz w Katedrze Fizyki Ciała Stałego w Zakładzie Fizyki i Technologii Struktur Nanometrowych. Praca miała charakter interdyscyplinarny i została obroniona w 2000 roku. Promotorem pracy magisterskiej był prof. dr hab. Stanisław Płaza.

Doświadczenia zdobyte podczas wykonywania pracy magisterskiej były inspiracją do kontynuowania badań naukowych. W tym celu podjąłem studia doktoranckie na Wydziale Fizyki i Chemii Uniwersytetu Łódzkiego. Moje zainteresowania skierowały się wówczas w stronę związków samoorganizujących. Pierwsze badania polegały na uzyskaniu rozdzielczości molekularnej oraz sprawdzeniu odporności chemicznej monowarstw tioli. Do realizacji założonych celów wykorzystałem doświadczenie zdobyte podczas współpracy z zespołem prof. UŁ dra hab. Wielisława Olejniczaka z Zakładu Fizyki i Technologii Struktur Nanometrowych, związane z mikroskopią sił atomowych (AFM) oraz skaningową mikroskopią tunelową (STM). Doświadczenia te w połączeniu z szeroko pojętą wiedzą chemiczną uzyskaną na Wydziale Chemii UŁ stanowiły podstawę do zrozumienia i kontrolowania zjawisk zachodzących w nanoskali.

Kolejnym etapem były badania, które wykazały lepsze właściwości tribologiczne zaadsorbowanych w sposób chemiczny tioli w porównaniu do podłoża, na którym zostały osadzone [B-11]. Następnym, a zarazem głównym celem moich badań, było wytworzenie wzorcowej, atomowo płaskiej krzemionki na bazie prekursora, jakim był 3-merkaptopropylotrimetoksylan (MPTMS), którego monowarstwę naniesiono na polikrystaliczne złoto Au (111). Otrzymaną w ten sposób monowarstwę samoorganizującą poddałem hydrolizie i kondensacji, uzyskując warstwę SiO<sub>2</sub>. Otrzymana warstwa posłużyła jako modelowe podłoże ceramiczne służące do nanoszenia monowarstw organicznych tworzących nanokompozyty.

Optymalizacja procesu tworzenia monowarstw odbywała się zarówno pod kątem topograficznym, jak i tribologicznym w kierunku znalezienia układu o najmniejszym współczynniku tarcia. Wytworzone w ten sposób nanokompozyty zbadałem w nano- i mikroskali. Wyniki pokazały, iż w badanych układach tarciovych nanokompozyty charakteryzują się najmniejszym współczynnikiem tarcia w porównaniu do podłoży przed modyfikacją. Natomiast na podstawie badań przeprowadzonych w miliskali wykazałem, że wytworzone warstwy posiadają taką samą tendencję zmian współczynnika tarcia w porównaniu do nanoskali [B-16].

Badania zrealizowane w pierwszej fazie studiów doktoranckich pozwoliły na sformułowanie oraz otrzymanie grantu promotorskiego MNiSW. Zakończenie studiów doktoranckich oraz grantu promotorskiego uwieńczone zostało obroną pracy doktorskiej pt. „*Badania morfologiczne i nanotribologiczne materiałów nanokompozytowych*”, która odbyła się w 2005 roku.

W latach 2004–2005 roku zostałem zatrudniony na stanowisku asystenta w Katedrze Technologii Chemicznej i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Łódzkiego.

## **2. Przebieg pracy po uzyskaniu stopnia doktora**

W latach 2005–2006 odbyłem staż podoktorski w Ohio State University, Nanotechnology Laboratory for Storage and MEMS/NEMS, Columbus, USA (obecnie Nanoprobe Laboratory for Bio- & Nanotechnology and Biomimetics) w grupie prof. Bharata Bhushana. Tematyka prac eksperymentalnych prowadzonych w grupie dotyczyła przeprowadzenia interdyscyplinarnych badań w obszarach bio-/nanotribologii i charakterystyki nanomateriałów.

Głównymi celami badawczymi grupy było wytwarzanie bioinspirowanych nanostruktur, samoczyszczących powierzchni superhydrofobowych oraz interfejsów o niskiej adhezji. Zakres badań obejmował również opracowanie modeli teoretycznych oraz pomiary mechanicznych i elektrycznych właściwości nanostruktur.

W grupie badawczej prof. Bharata Bhushana zajmowałem się wytwarzaniem ultracienkich warstw oraz obserwacją zjawisk tarcia i adhezji w nanoskali. Zastosowaną do badań techniką pomiarową była mikroskopia sił atomowych z rejestracją siły bocznej (FFM). Dzięki współpracy z prof. Derekiem Hansfordem (Department of Biomedical Engineering, Ohio

State University) skonstruowałem aparaturę do kontrolowanego nanoszenia ultracienkich warstw organicznych (Vapor Phase Deposition) [A-3].

Na podstawie wykonanych badań udowodniłem, iż otrzymane ultracienkie warstwy mają charakter hydrofobowy i charakteryzują się niską adhezją oraz mniejszym współczynnikiem tarcia niż używane wcześniej materiały [A-1–A-3]. Z przeprowadzonych badań wynika również, że badane związki mogą znaleźć zastosowanie w układach NEMS/MEMS (nano-/microelectromechanical systems) oraz w aplikacjach biomedycznych [A-1–A-3].

Pobyty na stażu umożliwił mi bezpośrednią współpracę ze specjalistami z innych ośrodków naukowych (Patrik Hoffmann, Hans Jörg Mathieu oraz James A. DeRose z Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne), jak również z korporacjami zajmującymi się badaniami w zakresie elektroniki cyfrowej, produkcji nośników oraz cyfrowej rejestracji danych (Imation Corporation). Dzięki współpracy z firmą Imation zdobyłem doświadczenie w pracy z systemami wysokiej i ultrawysokiej próżni. Wspólne prace zaowocowały poprawą zapisu informacji na nośnikach magnetycznych i zostały przedstawione w publikacji B-20.

Po powrocie ze stażu, w celu kontynuacji badań, wystąpiłem o grant pt. „Wytwarzanie ultracienkich warstw fluoroorganicznych do zastosowań tribologicznych”, którego byłem kierownikiem (projekt nr N N507 551538). W ramach projektu przeprowadziłem badania ultracienkich warstw fluoroorganicznych na podłożach krzemu, tytanu, glinu, kobaltu oraz miedzi. Modyfikację powierzchni przeprowadziłem za pomocą związków krzemooorganicznych z fazy gazowej. Wynikiem procesu modyfikacji było otrzymanie ultracienkich warstw krzemooorganicznych zabezpieczających powierzchnie przed zużyciem oraz pozwalających na obniżenie wartości współczynników tarcia i sił adhezji. Wytworzenie ultracienkich warstw miało również na celu zwiększenie odporności powierzchni na działanie czynników: środowiska płynów ustrojowych oraz warunków panujących w laboratorium.

Rezultaty badań tribologicznych w nano- i mikroskali pozwoliły mi wyciągnąć wnioski, iż decydujący wpływ na wartości współczynnika tarcia ma budowa cząsteczek, w szczególności długość łańcucha węglowego, obecność fluoru w szkielecie węglowym, a także rodzaj grupy czołowej.

Równoległe do prac związanych z wytwarzaniem oraz charakterystyką tribologiczną warstw samoorganizujących prowadziłem badania magnetycznej struktury domenowej i struktury morfologicznej przy użyciu mikroskopii sił magnetycznych (MFM) i mikroskopii sił atomowych. Badania te wykonywane były we współpracy z prof. UŁ dr hab. Witoldem Szmają z Katedry Fizyki Ciała Stałego Uniwersytetu Łódzkiego. Koncentrowały się one

głównie wokół analizy magnetycznej struktury domenowej i struktury morfologicznej masywnych monokryształów kobaltu, anizotropowych magnesów spiekanych typu Nd-Fe-B i SmCo<sub>5</sub>, nanokrystalicznych magnesów Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B/Fe<sub>3</sub>B, oraz cienkich warstw permaloju i kobaltu. Wykorzystanie mikroskopu sił magnetycznych dało możliwość zwiększenia rozdzielczości obrazowania magnetycznych struktur domenowych, a co za tym idzie możliwość głębszego poznania i zrozumienia domen magnetycznych oraz ich subtelnej struktury. Były to jedne z pierwszych badań magnetycznych dla tego typu materiałów.

W ramach tej współpracy opublikowanych zostało dwanaście artykułów naukowych [B-6, B-9, B-10, B-12-B-14, B-19, B-21, B-27-B-29, B-31] i liczne komunikaty konferencyjne.

Współpraca z prof. Arkadiuszem Ptakiem z Politechniki Poznańskiej zaowocowała badaniami skupiającymi się wokół kontroli adhezji w skali nanometrowej. Prace doświadczalne wykonywane były w oparciu o modyfikację powierzchni złota i krzemu odpowiednio tiolami zawierającymi łańcuchy alkilowe i związkami fluoroalkilosilanowymi. Powierzchnie te posłużyły do określenia wpływu wilgotności na wartości adhezji pomiędzy warstwami wykazującymi charakter hydrofilowy i hydrofobowy. Wynikiem prac było opracowanie metody analizy umożliwiającej uzyskanie ilościowych informacji o pojedynczych wiązaniach atomowych poprzez zastosowanie dynamicznej spektroskopii sił atomowych i modeli kontaktu mechaniczno-adhezyjnego oraz zrywania wiązania adhezyjnego. Współpraca ta zaowocowała opublikowaniem artykułu B-25.

Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze związane były z badaniami elektrochemicznymi kompleksów jonów manganu Mn (II) z 1,10-fenantroliną osadzonych na szklistej elektrodzie węglowej pokrytej warstwą nafionu. Uczestniczyłem również w badaniach właściwości i wpływu jonów Ce (III) na aktywność katalityczną zmodyfikowanej fazy przewodzącej w elektrochemicznym utlenianiu hydrochinonu, fenylendiaminy i pochodnych kwasu 4-hydroksybenzoesowego w szklistej elektrodzie węglowej. Brałem także udział w pracach, których tematyka badań dotyczyła tworzenia biokoniugatów, w skład których wchodziły związki metalokarbonylowe, nanocząstki złota i przeciwciała. W ramach tych badań wykazano, że wyżej wspomniane biokoniugaty mogą mieć zastosowanie w obserwacjach oddziaływań antygen-przeciwciało za pomocą spektroskopii w podczerwieni. Wyniki zostały opublikowane w artykułach B-17, B-18, B-32.

Podczas prowadzenia prac badawczych wyspecjalizowałem się w badaniach powierzchni z użyciem mikroskopii bliskich oddziaływań, wykorzystując tę technikę również

do określania rozmiarów nanocząstek przeznaczonych do zastosowań biomedycznych i technologicznych. Zaowocowało to realizacją projektu badawczego „Synteza i charakterystyka nanocząstek złota, srebra i miedzi”, którego byłem głównym wykonawcą.

Przedstawione powyżej osiągnięcia badawcze pozwoliły na wzbogacenie doświadczenia naukowego. Umożliwiły nawiązanie współpracy z innymi ośrodkami badawczymi – Nanoprobe Laboratory for Bio- & Nanotechnology and Biomimetics (Columbus, USA), Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Science (Lanzhou, Chiny), Wydziałem Fizyki Politechniki Poznańskiej, Katedrami Uniwersytetu Łódzkiego: Fizyki Ciała Stałego, Chemii Nieorganicznej i Analitycznej oraz Chemii Organicznej. Badania te stanowią również inspirację do dalszych działań i rozwoju naukowego.

### **III. Osiągnięcia będące podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego**

Jako osiągnięcie, wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.), wskazuję cykl dziesięciu jednotematycznych prac [A-1–A-10] zatytułowany „*Wytwarzanie i charakterystyka ultracienkich warstw organicznych do zastosowań tribologicznych*”.

A-1. B. Bhushan, M. Cichomski (30%), E. Hoque, J. A. DeRose, P. Hoffmann, H. J. Mathieu  
*Nanotribological characterization of perfluororalkylphosphonate self-assembled monolayers deposited on aluminum coated silicon substrates*  
Microsystem Technologies 12, 588–596 (2006) – IF **0,931**

A-2. E. Hoque, J. A. DeRose, P. Hoffmann, H. J. Mathieu, B. Bhushan, M. Cichomski (30%)  
*Phosphonate self assembled monolayers (SAMs) on aluminum surfaces*  
Journal of Chemical Physics 124, 174710–74716 (2006) – IF **3,333**

A-3. B. Bhushan, M. Cichomski (50%)  
*Nanotribological characterization of vapor phase deposited fluorosilane self-assembled monolayers deposited on polydimethylsiloxane surfaces for biomedical micro-/nanodevices*



Journal of Vacuum Science and Technology A: Vacuum, Surfaces and Films 25, 1285–1293 (2007) – IF **1,253**

A-4. M. Cichomski (50%), K. Kośła, J. Grobelny, W. Kozłowski, P. J. Kowalczyk, A. Busiakiewicz, W. Szmaja, J. Balcerski

*Nano- and microtribological characterization of silanes deposited on cobalt*

Journal of Alloys and Compounds 507, 273–278 (2010) – IF **2,289**

A-5. M. Cichomski (60%), K. Kośła, J. Grobelny, W. Szmaja, J. Balcerski

*Tribological and magnetic characterization of fluorosilanes on cobalt surface*

Journal of Alloys and Compounds 501, 362–365 (2010) – IF **2,289**

A-6. M. Cichomski (60%), E. Tomaszewska, K. Kośła, W. Kozłowski, P. J. Kowalczyk, J. Grobelny

*Study of dithiol monolayer as the interface for controlled deposition of gold*

Materials Characterization 62, 268–274 (2011) – IF **1,572**

A-7. M. Cichomski (80%), W. Szmaja

*MFM and AFM study of thin cobalt films modified by fluorosilane*

Applied Physics A: Materials Science and Processing 102, 339–343 (2011) – IF **1,63**

A-8. M. Cichomski (60%), K. Kośła, W. Kozłowski, W. Szmaja, J. Balcerski, J. Rogowski, J. Grobelny

*Investigation of the structure of fluoroalkylsilanes deposited on alumina surface*

Applied Surface Science 258, 9849–9855 (2012) – IF **2,103**

A-9. M. Cichomski (100%)

*Tribological investigations of perfluoroalkylsilanes monolayers deposited on titanium surface*

Materials Chemistry and Physics 136, 498–504 (2012) – IF **2,234**

A-10. M. Cichomski (60%), K. Kośła, J. Grobelny, W. Kozłowski, W. Szmaja

*Tribological and stability investigations of alkylphosphonic acids on alumina surface*

Applied Surface Science 273, 570–577 (2013) – IF **2,103**

## IV. Omówienie cyklu publikacji stanowiącego rozprawę habilitacyjną

### Wstęp i cel rozprawy

Rozwój nowoczesnych technologii, takich jak technologie biomedyczne, elektroniczne czy informatyczne, wymaga miniaturyzacji urządzeń i systemów przy jednoczesnym zwiększeniu efektywności i czasu ich działania. Wychodząc naprzeciw tym wymaganiom poszukuje się nowych materiałów oraz środków zabezpieczających powierzchnie tych urządzeń i zmniejszających ich zużycie. Jedną z metod rozwiązywania problemów wynikających z nadmiernego tarcia i zużycia jest chemiczna modyfikacja powierzchni za pomocą związków takich jak alkilosilany, kwasy alkilofosforowe czy tiole. Modyfikacja ta może być prowadzona za pomocą procesu spontanicznego uporządkowania cząsteczek (zwanego samoorganizacją). Proces ten polega na wytworzeniu cienkiej warstwy substancji organicznej na badanym podłożu i przebiega kilkietapowo. Pierwszym jego etapem jest hydroliza cząsteczek silanów, w wyniku, czego formowane są wiązania silanolowe. W kolejnym etapie tworzone są wiązania wodorowe pomiędzy grupami hydroksylowymi cząsteczek silanów oraz grupami  $-OH$  występującymi na modyfikowanym podłożu, co w końcowym etapie prowadzi do powstania ultracienkiej warstwy.

Wychodząc naprzeciw coraz większym wymaganiom i zapotrzebowaniu nowoczesnych technologii, określony został cel naukowy pracy, którym było zapewnienie kontroli właściwości fizykochemicznych powierzchni poprzez ich chemiczną modyfikację za pomocą związków organicznych.

### Najważniejsze wyniki prac będących podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego

Cykl publikacji naukowych zgłoszonych jako osiągnięcie do przewodu habilitacyjnego składa się z 10 prac opublikowanych w latach 2006–2013 w czasopiśmie z listy filadelfijskiej dotyczących tematu: „*Wytwarzanie i charakterystyka ultracienkich warstw organicznych do zastosowań tribologicznych*”.

**A-1. „Nanotribological characterization of perfluoroalkylphosphonate self-assembled monolayers deposited on aluminum-coated silicon substrates”**

W publikacji omówiono otrzymywanie warstw kwasów fosforowych na powierzchni glinu. Określono wpływ wilgotności, temperatury i szybkości skanowania na wartości współczynników tarcia oraz sił adhezji w nanoskali. W przypadku niezmodyfikowanego podłoża obserwuje się wzrost uzyskiwanych wartości wraz ze wzrostem wilgotności, zaś dla powierzchni pokrytych warstwami kwasów fosforowych wzrost wilgotności nie powoduje zmian uzyskiwanych wartości współczynników tarcia i sił adhezji.

Wyznaczono również wartości krytyczne obciążeń, powyżej których następuje niszczenie warstw samoorganizujących. Wartości te wynoszą odpowiednio 20  $\mu\text{N}$  dla związku fluorowanego oraz 5  $\mu\text{N}$  dla związku niefluorowanego.

*Mój wkład polegał na: określeniu wpływu wilgotności, temperatury oraz szybkości skanowania na wartość współczynników tarcia oraz sił adhezji w nanoskali, wyznaczeniu krytycznych obciążeń oraz interpretacji wyników i redagowaniu manuskryptu. Swój udział procentowy określam jako 30%.*

**A-2. „Phosphonate self-assembled monolayers on aluminum surfaces”**

Praca zawiera omówienie właściwości warstw kwasów alkilofosforowych oraz perfluoroalkilofosforowych na powierzchni glinu. Na podstawie przeprowadzonych badań wyciągnięto następujące wnioski: warstwy kwasów fosforowych powodują znaczne zwiększenie właściwości hydrofobowych powierzchni oraz obniżenie wartości swobodnej energii powierzchniowej. Swobodna energia powierzchniowa wynosi 11  $\text{mJ/m}^2$  dla związku fluorowanego i ponad 20  $\text{mJ/m}^2$  dla związków zawierających łańcuchy alkilowe. Kwasy fosforowe powodują obniżenie wartości współczynników tarcia i sił adhezji oraz znaczne zmniejszenie zużycia powierzchni glinu. Najlepsze właściwości tribologiczne wykazuje związek zawierający atomy fluoru w łańcuchu węglowym. Tego rodzaju związki te mogą znaleźć potencjalne zastosowanie jako środki ochronne w aplikacjach MEMS.

*Mój wkład polegał na: wytworzeniu warstw kwasów alkilofosforowych i perfluoroalkilofosforowych, określeniu właściwości hydrofobowych oraz charakterystyki nanotribologicznej warstw. Swój udział procentowy określam jako 30%.*

**A-3. „Nanotribological characterization of vapor phase deposited fluorosilane self-assembled monolayers deposited on polydimethylsiloxane surfaces for biomedical micro/nanodevices”**

Celem badań było wytworzenie warstw samoorganizujących na powierzchni polidimetylosiloksanu, które pozwalałyby na ograniczenie adsorpcji białek oraz oddziaływań z komórkami. Zastosowano osadzanie z fazy gazowej, które wydaje się być bardziej efektywne w porównaniu z metodą nanoszenia z fazy ciekłej, zwłaszcza w odniesieniu do wytwarzania warstw w kanałach o rozmiarach nanometrowych występujących w wielu urządzeniach wykorzystywanych w przemyśle biomedycznym. Wyznaczone zostały optymalne warunki depozycji warstw, w skład, których wchodziły cząsteczki związków krzemooorganicznych. Określono również wpływ wilgotności, temperatury oraz szybkości skanowania na wartości współczynników tarcia.

*Mój wkład polegał na: wyznaczeniu optymalnych warunków depozycji warstw określeniu wpływu wilgotności, temperatury oraz szybkości skanowania na wartość współczynników tarcia oraz sił adhezji w nanoskali, wyznaczeniu krytycznych obciążeń, interpretacji wyników, redagowaniu manuskryptu. Swój udział procentowy określam jako 50%.*

**A-4. „Nano- and microtribological characterization of silanes deposited on cobalt substrate”**

Głównym celem pracy było wytworzenie warstw krzemooorganicznych na powierzchni kobaltu oraz zbadanie jego właściwości nano- i mikrotribologicznych. Modyfikację powierzchni wykonano z zastosowaniem pięciu związków różniących się budową strukturalną. Zastosowane modyfikatory posiadały różną długość łańcucha węglowego [1H,1H,2H,2H-perfluorodecylo-trichlorosilan (FDTS) oraz 3,3,3-trifluoro-trichlorosilan (FPTS)], różną ilość atomów reaktywnych w grupie czołowej [3,3,3-trifluorodimetylochlorosilan (FPDMS) i FPTS] oraz różną zawartość atomów fluoru w łańcuchu [1H,1H,2H,2H-perfluorodecylo-dimetylochlorosilan (PFMS) i n-decylo-dimetylochlorosilan (DDMS)]. Weryfikacja przeprowadzonej modyfikacji odbywała się za pomocą pomiarów kąta zwilżania oraz badań z wykorzystaniem spektroskopii fotoelektronów promieniowania rentgenowskiego (XPS). Badania elipsometryczne wykazały, iż otrzymane warstwy posiadają grubość rzędu pojedynczych nanometrów. Grubość ta jest porównywalna z teoretycznymi rozmiarami cząsteczek związków. Analiza widm XPS pozwoliła na weryfikację tworzenia wiązań chemicznych Co–O–Si pomiędzy podłożem a cząsteczkami silanów a także na wskazanie zależności pomiędzy ilością atomów reaktywnych w grupie czołowej a ilością wytworzonych

wiązań. Przeprowadzone badania tribologiczne ujawniły obniżenie wartości sił adhezji oraz współczynników tarcia dla powierzchni zmodyfikowanej związkami krzemoorganicznymi zarówno w mikro- jak i nanoskali w porównaniu z niezmodyfikowaną powierzchnią kobaltu. Wskazują one również jednoznacznie na zależność pomiędzy budową związku a otrzymywanymi wartościami współczynników tarcia. Obniżenie ww. wartości następowało dla związków zawierających łańcuchy o dziesięciu atomach węgla w stosunku do związków o krótszym łańcuchu zawierającym trzy atomy węgla. Biorąc pod uwagę budowę grup czołowych, lepsze właściwości tribologiczne wykazują związki zawierające trzy atomy reaktywne w grupie czołowej w stosunku do swoich monofunkcyjnych analogów.

Należy tutaj zaznaczyć, że jako pierwszy przeprowadziłem modyfikację powierzchni kobaltu za pomocą związków silanowych oraz wykonałem charakterystykę tribologiczną tak zmodyfikowanego podłoża w mili- i nanoniutonowym zakresie sił nacisku.

*Mój wkład polegał na: wytworzeniu warstw krzemoorganicznych, przeprowadzeniu badań tribologicznych w mikro- i nanoskali, analizie i interpretacji wyników oraz edycji manuskryptu. Swój udział procentowy określłam jako 50%.*

#### **A-5. „Tribological and magnetic characterization of fluorosilanes on cobalt surface”**

W pracy zaprezentowano wyniki badań tribologicznych oraz magnetycznych powierzchni kobaltu. Powierzchnia zmodyfikowana związkiem FDTs wykazuje wzrost wartości kątów zwilżania, obniżenie wartości swobodnej energii powierzchniowej, a także znaczne obniżenie wartości sił adhezji, współczynnika tarcia oraz zużycia w nanoskali w stosunku do niezmodyfikowanego kobaltu. Badania wykonane za pomocą mikroskopii sił magnetycznych pokazują obecność pasiastych domen o namagnesowaniu prostopadłym do powierzchni. Charakter, kształt i rozmiar domen magnetycznych są takie same zarówno dla zmodyfikowanej, jak i niezmodyfikowanej powierzchni kobaltu.

*Mój wkład polegał na: wytworzeniu warstw krzemoorganicznych, przeprowadzeniu badań tribologicznych w nanoskali, wyznaczeniu krytycznych obciążeń, określeniu struktury magnetycznej badanych powierzchni, analizie i interpretacji wyników, redagowaniu manuskryptu. Swój udział procentowy określłam jako 60%.*

#### **A-6. „Study of dithiol monolayer as the interface for controlled deposition of gold nanoparticles”**

W publikacji przedstawiono otrzymywanie warstw ditioli na powierzchni złota Au(111). Warstwy te wytworzono w celu immobilizacji nanocząstek złota do podłoża. Określono wpływ obecności pierścienia aromatycznego oraz łańcucha alkilowego ditioli na

efektywność przyłączania nanocząstek. Modyfikatorem charakteryzującym się najlepszą zdolnością do przyłączania nanocząstek był związek 1,6-heksaditiol (HDT) posiadający łańcuch alkilowy. Określono, iż lepsze właściwości związków o łańcuchach alkilowych związane są z brakiem zawady przestrzennej (obecnej w przypadku ditioli aromatycznych) i związaną z nią mniejszą liczbą defektów w wytworzonej warstwie.

Określono również rozmiary nanocząstek złota za pomocą technik: skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM), AFM oraz dynamicznego pomiaru rozproszenia światła (DLS). Rozmiar ten wynosił od  $22 \pm 4$  nm do  $27 \pm 1$  nm, w zależności od zastosowanej techniki. Dla pomiarów DLS jest on nieco większy ( $27 \pm 1$  nm) niż uzyskany dla pozostałych dwóch technik, co wynika z istoty pomiaru DLS (pomiar promienia hydrodynamicznego cząstki).

*Mój wkład polegał na: wytworzeniu warstw samoorganizujących, określeniu rozmiarów nanocząstek złota za pomocą AFM, pomiarów STM, interpretacji wyników oraz edycji manuskryptu. Swój udział procentowy określam jako 60%.*

#### **A-7. „MFM and AFM study of thin cobalt films modified by fluorosilane”**

Praca nawiązuje do informacji przedstawionych w publikacji A-5. Zawiera ona badania dotyczące właściwości magnetycznych i morfologicznych kobaltu z naniesioną warstwą FDTS o różnej grubości od 2 nm do 30 nm. Badania wykonane przy użyciu mikroskopii sił magnetycznych pokazują, iż kobalt pokryty fluoroalkilosilanem posiada magnetyczną strukturę domenową składającą się z pasiastych domen meandrycznych o głównej składowej namagnesowania prostopadłej do powierzchni. Szerokość domen zwiększa się od 80–120 nm do 400–500 nm ze wzrostem grubości warstwy fluoroalkilosilanu od 2 nm do 30 nm. Obrazowanie powierzchni za pomocą mikroskopii sił atomowych ujawniło obecność aglomeratów związku. Byłem pierwszą osobą, która wykonała badania magnetyczne powierzchni kobaltu zmodyfikowanej związkiem fluoroalkilosilanowym oraz wskazała istnienie zależności zmian szerokości domen magnetycznych od grubości warstwy.

*Mój wkład polegał na: wytworzeniu warstw krzemoorganicznych, przeprowadzeniu badań dotyczących właściwości magnetycznych, morfologicznych i tribologicznych warstw w nanoskali, analizie wyników i edycji manuskryptu. Swój udział procentowy określam jako 80%.*

#### **A-8. „Investigation of the structure of fluoroalkylsilanes deposited on alumina surface”**

Praca poświęcona jest badaniom wpływu struktury związków fluoroalkilosilanowych na właściwości nanotribologiczne powierzchni glinu. Warstwy fluoroalkilosilanowe zostały

otrzymane metodą depozycji z fazy gazowej. Przebieg modyfikacji oraz wytworzenie wiązań chemicznych pomiędzy podłożem glinu a cząsteczkami związków zostały potwierdzone za pomocą badań wykorzystujących spektrometrię mas jonów wtórnych z analizatorem czasu przelotu jonów (ToF-SIMS) oraz XPS. Badania tribologiczne przeprowadzone za pomocą mikroskopii sił atomowych wskazują na zależność pomiędzy budową grupy czołowej związku a otrzymywanymi wartościami współczynnika tarcia oraz sił adhezji w nanoniutonowym zakresie sił nacisku. W pracy wykazano, iż modyfikacja powierzchni glinu powoduje obniżenie wartości współczynników tarcia i sił adhezji o około 50% w stosunku do niezmodyfikowanego podłoża. Związki zawierające trzy atomy reaktywne w grupie czołowej powodują zwiększenie hydrofobowości, zmniejszenie wartości adhezji oraz współczynnika tarcia w stosunku do warstw utworzonych ze związku monofunkcyjnego, tj. zawierającego jeden atom reaktywny w grupie czołowej. Związane jest to z wytworzeniem wiązań Si-O-Si pomiędzy cząsteczkami związku trójfunkcyjnego, co w konsekwencji prowadzi do wzrostu gęstości upakowania warstwy. Hipotezę tę potwierdzają wyniki badań otrzymane za pomocą technik spektroskopii w podczerwieni (FT-IR), ToF-SIMS oraz XPS.

*Mój wkład polegał na: wytworzeniu warstw krzemoorganicznych, przeprowadzeniu badań tribologicznych w nanoskali, przeprowadzeniu badań w podczerwieni, interpretacji wyników, edycji manuskryptu. Swój udział procentowy określam jako 60%.*

#### ***A-9. „Tribological investigations of perfluoroalkylsilanes monolayers deposited on titanium surface”***

W pracy opisuję preparatykę procesu otrzymywania warstw krzemoorganicznych na powierzchni tytanu, a także badania ich struktury, morfologii oraz badania tribologiczne wykonane za pomocą technik FT-IR, XPS, ToF-SIMS i AFM. W artykule wykazano, że na właściwości tribologiczne wpływa długość łańcucha fluoroalkilowego. Dla związku zawierającego trzy atomy węgla w łańcuchu uzyskano wyższe wartości swobodnej energii powierzchniowej oraz współczynników tarcia i sił adhezji zarówno w mili-, jak i nanoniutonowym zakresie obciążeń. Jak wynika z przeprowadzonych badań, spowodowane jest to większą reaktywnością związku krótkołańcuchowego i polimeryzacją wertykalną między molekułami modyfikatora, co w konsekwencji prowadzi do utworzenia nieuporządkowanej warstwy, zawierającej defekty. Nieuporządkowanie powstałej warstwy związku fluoroalkilosilanowego jest jedną z głównych przyczyn zwiększenia uzyskiwanych wartości współczynników tarcia i sił adhezji. Praca ta jest jedną z nielicznych, która prezentuje tak szeroką analizę wpływu długości łańcuchów związków krzemoorganicznych na

strukturę wytworzonych warstw oraz wskazuje na istnienie korelacji pomiędzy strukturą a swobodną energią powierzchniową, jej składowymi oraz właściwościami tribologicznymi.

*Mój wkład polegał na: wytworzeniu warstw krzemoorganicznych, przeprowadzeniu badań struktury, morfologii oraz badań tribologicznych w mikro- jak i w nanoskali, wykonaniu badań zwilżalności zmodyfikowanych powierzchni tytanu, analizie wyników, edycji manuskryptu. Swój udział procentowy określam jako 100%.*

#### **A-10. „Tribological and stability investigations of alkylphosphonic acids on alumina surface”**

Praca nawiązuje do informacji zawartych w publikacjach A-1 oraz A-2. Bazując na poprzednich pracach eksperymentalnych, otrzymano warstwy kwasów alkilofosforowych z fazy ciekłej. Właściwości wytworzonych warstw analizowano w oparciu o techniki: FT-IR, ToF-SIMS, XPS oraz pomiary kąta zwilżania. Badania FT-IR, ToF-SIMS oraz XPS potwierdziły wytworzenie wiązań chemicznych pomiędzy powierzchnią glinu oraz cząsteczkami kwasów alkilofosforowych. Wyniki badań FT-IR pokazały, iż warstwy utworzone z cząsteczek kwasu n-oktadecylofosforowego (ODP) wykazują większe uporządkowanie niż warstwy utworzone z cząsteczek kwasu n-decylofosforowego (DP). Wyniki pomiarów kąta zwilżania określają, iż otrzymane warstwy cechują się znaczną hydrofobowością (uzyskane wartości kątów zwilżania dla zmodyfikowanych powierzchni wynosiły 120° dla ODP i 116° dla DP). W pracy przedstawiono także wyniki badań tarciovych w miliniutonowym zakresie sił nacisku dla przeciwpróbek wykonanych z materiałów takich jak: azotek krzemu, tlenek cyrkonu i stal. Najniższe wartości współczynnika tarcia uzyskano dla układu tarciovego składającego się z przeciwpróbki wykonanej z azotku krzemu oraz glinu zmodyfikowanego warstwą ODP. Wskazano na wpływ czynników takich jak twardość, moduł Younga oraz chropowatość powierzchni przeciwpróbki na otrzymywane wartości współczynników tarcia. W publikacji zaprezentowano również badania trwałości wytworzonych warstw na warunki laboratoryjne oraz działanie roztworów trawiących zasad i kwasów. Warstwy kwasów alkilofosforowych wytworzone na powierzchni glinu cechują się znaczną trwałością na sześciomiesięczną ekspozycję na działanie warunków laboratoryjnych. W przypadku roztworów trawiących powierzchnie glinu zmodyfikowane kwasami alkilofosforowymi wykazują trwałość od kilku do kilkunastu minut w zależności od użytego roztworu i jego pH. Porównując wpływ długości łańcucha alkilowego na trwałość w ww. warunkach, warstwy ODP cechują się znacznie większą odpornością niż DP.



Jak dotąd opublikowano nieliczne doniesienia literaturowe dotyczące trwałości chemicznej warstw krzemoorganicznych na powierzchni miedzi i azotku krzemu. Jako jeden z pierwszych autorów przeprowadziłem analizę wpływu roztworów trawiących o różnym pH na trwałość warstw kwasów alkilofosforowych wytworzonych na powierzchni glinu.

*Mój wkład polegał na: wytworzeniu warstw alkilofosforowych, przeprowadzeniu badań struktury, morfologii oraz badań tribologicznych, analizie i interpretacji wyników, napisaniu i korekcie manuskryptu. Swój udział procentowy określám jako 60%.*

Prezentowany cykl prac przedstawia wyniki badań obejmujących wytwarzanie i badania tribologiczne układów: warstwa samoorganizująca/powierzchnia. Celem prac było uzyskanie warstw o grubościach rzędu nanometrów, które pozwalałyby na kontrolę właściwości powierzchni takich jak: zwilżalność, adhezja i zużycie, a w konsekwencji spełniałyby rolę środka smarowego. Do wytwarzania tego typu warstw wykorzystałem metody osadzania z fazy ciekłej oraz gazowej. Badania wykonałem z zastosowaniem związków silanowych, kwasów alkilofosforowych oraz tioli różniących się budową strukturalną. Chemiczna modyfikacja obejmowała powierzchnie takie jak: tytan, kobalt, glin, złoto, polidimetylosiloksan.

W pracach badawczych zastosowałem szereg technik [spektrometrię mas jonów wtórnych z analizatorem czasu przelotu jonów (ToF-SIMS), spektroskopię fotoelektronową (XPS), spektroskopię w podczerwieni (FT-IR), skaningową mikroskopię tunelową STM] pozwalających na wykazanie procesu formowania warstw na ww. powierzchniach oraz tworzenia przez nie wiązań chemicznych z modyfikowanym podłożem. Mikroskopia sił atomowych (AFM) oraz mikrotribometr umożliwiły wykonanie badań tribologicznych w nano- oraz milioniutonowym zakresie sił nacisku, zaś mikroskopia sił magnetycznych (MFM), pozwoliła zobrazować magnetyczne struktury domenowe o głównej składowej namagnesowania prostopadłej do powierzchni. Ponadto wykorzystałem technikę określającą grubość utworzonych warstw — elipsometrię. Na podstawie tych badań stwierdzono, iż udało się wytworzyć warstwy, których grubość nie przekracza 10 nm, co oznacza, że mamy do czynienia z warstwami ultracienkimi.

Dla wytworzonych warstw zostały również przeprowadzone badania mikro- i nanotribologiczne. Pozwoliły one na określenie wpływu związków na wartości sił adhezji, współczynników tarcia w mili- i nanoniutonowym zakresie sił nacisku, a także zużycia otrzymanych układów warstwa samoorganizująca/podłoże. Materiał doświadczalny zebrany

w toku badań umożliwił określenie wpływu budowy warstw samoorganizujących na właściwości tribologiczne powstałych układów.

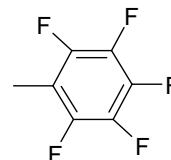
Wśród wymienionych wyżej badań zawartych w cyklu publikacji zgłoszonym jako osiągnięcie do przewodu habilitacyjnego, wyróżnić można pięć dominujących obszarów, które koncentrują się w głównym stopniu na:

- opracowaniu skutecznej metody otrzymywania warstw o grubościach rzędu nanometrów na podłożach wykorzystywanych w biomedycynie oraz elektronice (publikacje A-1–A-10);
- określeniu właściwości tribologicznych zarówno w mikro- jak i nanoskali (publikacje A-1–A-5 oraz A-7–A-10);
- wskazaniu korelacji pomiędzy budową związków a otrzymanymi wartościami sił adhezji, współczynników tarcia oraz zużycia (publikacje A-1–A-4, A-8, A-9);
- badaniach właściwości magnetycznych powierzchni kobaltu oraz kobaltu zmodyfikowanego związkami silanowymi (publikacje A-5, A-7);
- wykazaniu możliwości praktycznego zastosowania warstw do kontrolowanego osadzania nanocząstek złota, ochrony urządzeń wykorzystywanych w aplikacjach biomedycznych oraz jako środków smarowych w aplikacjach, w których dominują obciążenia rzędu nano- i miliniutonów (publikacje A-3, A-4, A-6, A-8).

Badania dotyczące pierwszego zagadnienia podjęte zostały z zamiarem opracowania możliwie efektywnych sposobów wytwarzania warstw, doboru związków skutecznie modyfikujących oraz tworzących ultracienkie warstwy o niskim współczynniku tarcia i o właściwościach przeciwzużyciowych.

W ramach tych badań w cyklu publikacji zaprezentowałem metodę wytwarzania i charakteryzowania ultracienkich warstw. Warstwy te otrzymywane były za pomocą następujących związków: kwasów fosforowych, związków krzemooorganicznych oraz tioli. Zostały one wytworzone na podłożach takich jak: tytan, glin, kobalt, złoto oraz polidimetylosiloksan. Modyfikację powierzchni przeprowadzono za pomocą związków różniących się budową strukturalną, tj. długością łańcucha węglowego, rodzajem i budową grup powierzchniowej i czołowej.

Badane związki posiadały następujące grupy powierzchniowe:  $-\text{CH}_3$ ,  $-\text{CF}_3$ ,



oraz grupy czołowe:  $-\text{SH}$ ,  $-\text{PO}(\text{OH})_2$ ,  $-\text{SiCl}_3$ ,  $-\text{Si}(\text{OMe})_3$ ,  $-\text{Si}(\text{OEt})_3$ ,  $-\text{Si}(\text{CH}_3)_2\text{Cl}$ .

Modyfikację przeprowadzono z fazy gazowej oraz ciekłej. Optymalne parametry procesów osadzania warstw, takie jak stężenie roztworów, temperaturę oraz ciśnienie, wyznaczono eksperymentalnie. Warunki te są zależne od rodzaju użytego modyfikatora, jego budowy, a także od rodzaju powierzchni poddawanej modyfikacji [A-3, A-9, A-10].

Warstwy związków samoorganizujących wytworzone zostały metodą adsorpcji chemicznej z fazy gazowej oraz ciekłej. Wybór sposobu prowadzenia modyfikacji okazał się skuteczny, co dowiodły badania przeprowadzone za pomocą technik XPS, ToF-SIMS oraz FT-IR. Na podstawie analizy wykonanych widm XPS i FT-IR stwierdzono obecność związków na badanych powierzchniach. Interpretacja wyników uzyskanych za pomocą technik XPS oraz ToF-SIMS pozwala na weryfikację przeprowadzenia chemicznej modyfikacji powierzchni tytanu, glinu, kobaltu i złota oraz wytworzenie wiązań chemicznych w zależności od użytego związku: podłoże-O-Si-, podłoże-O-P-, a także podłoże-S-.

Zastosowanie elipsometrii pozwoliło na określenie grubości utworzonych warstw. Na podstawie tych badań stwierdzić można, iż udało się wytworzyć warstwy, których grubość nie przekracza 10 nm. W przypadku powierzchni tytanu, glinu i krzemu grubości warstw są porównywalne z teoretycznymi rozmiarami cząsteczek, co pozwala wywnioskować, że mamy do czynienia z monowarstwą (wyłączając powierzchnie zmodyfikowane FPTS). Natomiast dla podłoży kobaltu grubości warstw otrzymywane z badań elipsometrycznych wskazują na polimeryzację międzycząsteczkową silanów. Analizując równocześnie pomiary grubości oraz wyniki ToF-SIMS można wywnioskować, iż w przypadku związku krótkołańcuchowego (FPTS) mamy do czynienia z polimeryzacją pionową (wertykalną), zaś w przypadku związku długołańcuchowego (FDTS) z polimeryzacją poziomą (horyzontalną). Polimeryzacja świadczy o zwiększonym pokryciu podłoży. Zwiększone pokrycie powierzchni związkiem silanowym jest przyczyną wzrostu właściwości hydrofobowych oraz obniżenia wartości współczynników tarcia.

Podjmując drugie i trzecie zagadnienie badawcze miałem głównie na uwadze określenie i wyjaśnienie właściwości tribologicznych, kluczowych z punktu widzenia możliwości aplikacyjnego wykorzystania warstw samoorganizujących. W tym celu zastosowałem mikrotribometr oraz mikroskopię sił atomowych. Techniki te pozwoliły

scharakteryzować właściwości tarciove warstw i określić wpływ budowy chemicznej i topografii na mierzony współczynnik tarcia w mili- i nanoniutonowym zakresie obciążeń. Znalezienie korelacji pomiędzy wynikami testów tarciowych pozwoliło potwierdzić hipotezę, iż dla powyżej opisanych zakresów obciążeń o przebiegu tarcia decyduje głównie budowa chemiczna powierzchni trących materiałów, tj. obecność różnego rodzaju grup funkcyjnych determinujących stan energetyczny powierzchni.

Analiza wyników badań tribologicznych w nano- i mikroskali pokazuje, iż na wartości współczynnika tarcia wpływa budowa cząsteczek związków samoorganizujących. Decydujące znaczenie mają tu długość łańcucha węglowego, obecność fluoru w szkieletcie węglowym, a także rodzaj grupy czołowej. Porównując wpływ obecności pierścienia aromatycznego oraz łańcucha alifatycznego na wartości współczynników tarcia i sił adhezji można stwierdzić, iż większe wartości uzyskuje się dla związków zawierających w swojej budowie pierścienie aromatyczne. Związane jest to z występowaniem zawady sterycznej, a w konsekwencji ze zmniejszeniem gęstości upakowania związków.

W przypadku warstw silanowych znaczne obniżenie wartości współczynnika tarcia obserwuje się dla warstwy utworzonej ze związku perfluorowanego FDTS, co jest najprawdopodobniej związane z jednorodnością i uporządkowaniem wytworzonej warstwy. Uporządkowanie to związane jest z większymi zdolnościami do samoorganizacji ze względu na występowanie sił van der Waalsa, zapewniających lepsze oddziaływanie międzycząsteczkowe, a także z wytworzeniem sieci wiązań siloksanowych pomiędzy sąsiadującymi cząsteczkami modyfikatora. Powierzchnie zmodyfikowane FDTS, charakteryzujące się większą hydrofobowością, a co za tym idzie niższymi wartościami swobodnej energii powierzchniowej, wykazują nieznaczne zmiany wartości współczynnika tarcia w nano- i mikroskali. Związane jest to ze znacznie ograniczonym tworzeniem menisków wody, co wpływa na obniżenie sił kapilarnych występujących między badaną powierzchnią a przeciwpróbką. W przypadku zastosowania jako modyfikatorów kwasów fosforowych, najniższe wartości współczynników tarcia, sił adhezji oraz największą odporność na zużycie w nanoskali zapewnia związek posiadający perfluorowany łańcuch węglowy. Związki te zapewniają również stabilne wartości współczynników tarcia i sił adhezji w zakresie wilgotności 10–90% (w przypadku podłoży niezmodyfikowanych następuje wzrost tych wartości wraz ze wzrostem wilgotności).

Reasumując, najlepszymi modyfikatorami badanych powierzchni tzn. związkami zapewniającymi najniższe wartości sił adhezji oraz współczynników tarcia w układzie

tarciowym, są związki zawierające atomy fluoru w łańcuchach składających się z dziesięciu atomów węgla.

Kolejnym obszarem badawczym podjętym w ramach cyklu prac zgłoszonego do postępowania habilitacyjnego było zobrazowanie właściwości magnetycznych kobaltu i kobaltu zmodyfikowanego związkami silanowymi. Zagadnienie to jest istotne ze względu na wykorzystanie kobaltu i jego stopów w czujnikach magnetycznych, magnetoptyce, w przemyśle lotniczym, zastosowaniach biomedycznych w tym w leczeniu chorób układu krążenia i ortopedii. Powszechne stosowanie stopów kobaltu jest związane z ich dobrą odpornością na korozję i ścieranie oraz ich dobrą tolerancją na środowisko tkanek i płynów ustrojowych. Wykazują one równocześnie szereg właściwości magnetycznych takich jak anizotropia magnetyczna, magnetyczna struktura domenowa, koercja i magnetoopór, które są zależne od ich grubości, składu chemicznego, struktury krystalograficznej oraz metody i warunków, w jakich zostały przygotowane.

Celem prac A-5 i A-7 było zobrazowanie domen magnetycznych i struktur morfologicznych kobaltu z naniesionym silanem, używając odpowiednio mikroskopii sił magnetycznych i mikroskopii sił atomowych. Z przedstawionych badań wynika, iż zmodyfikowane w sposób chemiczny podłoże kobaltu charakteryzuje się pasiastymi domenami meandrycznymi o głównej składowej namagnesowania prostopadłej do powierzchni. Gdy grubość zastosowanej warstwy silanu zwiększa się od 2 nm do 30 nm, szerokość domen wzrasta od 80–120 nm do 400–500 nm, co związane jest ze zmniejszeniem anizotropii magnetycznej badanego układu kobalt–silan.

W cyklu publikacji wskazałem również na możliwości aplikacyjnego zastosowania warstw do kontrolowanego osadzania nanocząstek złota [A-6], ochrony urządzeń wykorzystywanych w aplikacjach biomedycznych [A-3] oraz jako środków smarowych w aplikacjach, w których dominują obciążenia rzędu nanoniutonów i miliniutonów [A-1, A-2, A-5, A-9]. W przypadku kontrolowanego osadzania nanocząstek złota, które w dalszym etapie służyć może ich charakteryzacji za pomocą techniki STM, wykazałem, iż budowa związków wpływa na efektywność nanoszenia nanocząstek złota. Lepsze właściwości, tj. większą zdolność do przyłączania nanocząstek złota, posiadają molekuły alifatyczne ze względu na tworzenie warstw o większej gęstości upakowania i mniejszej liczbie defektów.

W przypadku zastosowania warstw samoorganizujących do ochrony urządzeń wykorzystywanych w aplikacjach biomedycznych skupiłem się na badaniach związanych z polidimetylosiloksanem. Ze względu na jego właściwości: wysoką hydrofobowość oraz

właściwości lepko-sprężyste, jest on używany w aplikacjach biomedycznych, między innymi do produkcji soczewek kontaktowych czy mikroukładów wykorzystywanych do analizy DNA, testów enzymatycznych i immunologicznych oraz do pokrywania stentów. W publikacji A-3 wykazałem, iż związki silanowe stanowią mogą skuteczną ochronę antyzużyciową.

Główną problematyką przedstawioną w publikacjach będących podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego była kontrola właściwości tribologicznych podłoży wykorzystywanych do systemów, w których dominują obciążenia rzędu nanoniutonów i miliniutonów, takich jak układy mikroelektromechaniczne. Wykazałem, iż zarówno związki silanowe jak i kwasy alkilofosforowe stanowią mogą skuteczną ochronę powierzchni, z których wykonywane są układy MEMS. Warstwy samoorganizujące powodują obniżenie wartości współczynników tarcia, sił adhezji oraz zużycia takich podłoży nawet kilkakrotnie w stosunku do niezmodyfikowanego podłoża.

Analizując zgromadzone wyniki wykazałem skuteczną metodę modyfikacji podłoży oraz korelację pomiędzy strukturą związków a ich właściwościami fizykochemicznymi.

## V. Prace opublikowane przed uzyskaniem stopnia doktora

B-1. S. Kadłubowski, J. Grobelny, W. Olejniczak, M. Cichomski, P. Ulański

*„Pulses of fast electrons as a tool to synthesize poly(acrylic acid) nanogels. Intramolecular cross-linking of linear polymer chains in additive-free aqueous solution”*

Macromolecules 36, 2484–2492 (2003)

*Mój wkład polegał na: wizualizacji oraz określeniu chropowatości otrzymanych nanożeli za pomocą mikroskopu sił atomowych. Swój udział procentowy określam jako 20%.*

B-2. G. Celichowski, I. Piwoński, M. Cichomski, K. Koralewski, S. Płaza, W. Olejniczak, J. Grobelny

*„The influence of methyl groups content on tribological properties of organo-silica thin films”*

Tribology Letters 14, 181–185 (2003)

*Mój wkład polegał na: wykonaniu pomiarów tribologicznych stosując mikroskop sił atomowych. Opracowaniu wyników oraz edycji manuskryptu. Swój udział procentowy określam jako 20%.*

B-3. J. Grobelny, G. Celichowski, M. Cichomski, K. Koralewski, I. Piwoński

*„Friction force microscopy study of porous methylsilica thin films”*

Tribologia 188, 19–26 (2003)

*Mój wkład polegał na: wykonaniu pomiarów topografii, określeniu średnic porów warstw metylo-krzeminkowych, pomiarów tarcia w skali nanometrowej a także opracowaniu wyników oraz edycji manuskryptu. Swój udział procentowy określam jako 20%.*

B-4. M. Cichomski, L. Margielewski, E. Barylska, I. Piwoński

*„Investigation of nanostructure ordering and nanofrictional property of O,O,S-methyl polyethoxyglycol triester of dithiophosphoric acid layer on stainless steel and on gold”*

Tribologia 188, 145–158 (2003)

*Mój wkład polegał na: wykonaniu pomiarów topografii zaadsorbowanych warstw na podłożu stali i złota oraz wykonaniu pomiarów tribologicznych używając mikroskopu sił atomowych. Swój udział procentowy określam jako 40%.*

B-5. K. Chrobak, J. Grobelny, M. Cichomski, I. Piwoński

*„Investigation of LB monolayers of arachidic acid with use of atomic force microscopy”*

Tribologia 188, 159–165 (2003)

*Mój wkład polegał na: wykonaniu pomiarów morfologii i odporności na zużycie warstw Langmuir Blodgett (LB) kwasu arachidowego, opracowaniu wyników oraz edycji manuskryptu. Swój udział procentowy określam jako 30%.*

B-6. W. Szmaja, K. Polański, M. Cichomski

*„Investigation of the physical microstructure and magnetic domain structure of sintered SmCo<sub>5</sub> permanent magnets”*

Acta Physicae Superficierum 5, 65–78 (2003)

*Mój wkład polegał na: wykonaniu za pomocą MFM pomiarów i opracowaniu wyników domen magnetycznych anizotropowych magnesów spiekanych SmCo<sub>5</sub> na powierzchni prostopadłej do osi uporządkowania magnetycznego. Swój udział procentowy określam jako 40%.*

B-7. M. Wiśniewski, M. Cichomski

*„Identification of friction and wear anti-wear coatings”*

Tribologia 191, 383–394 (2003)

*Mój wkład polegał na: wytworzeniu materiału kompozytowego z matrycą z żywicy fenolowo-formaldehydowej z dodatkiem smarów stałych, optymalizacji składu kompozycji stałych środków smarowych. Swój udział procentowy określam jako 50%.*

B-8. J. Grobelny, G. Celichowski, M. Cichomski, A. J. Kulik, I. Piwoński, S. Płaza

*„Comparison of two methods of methyl group grafting to the silica thin film surface and its tribological properties measured by atomic force microscopy”*

Tribology Letters 16, 181–185 (2004)

*Mój wkład polegał na: wykonaniu pomiarów tarciovych uzyskanych za pomocą mikroskopu sił atomowych, opracowaniu wyników oraz edycji manuskryptu. Swój udział procentowy określam jako 20%.*

B-9. W. Szmaja, J. Grobelny, M. Cichomski, K. Makita, W. Rodewald

„MFM study of sintered permanent magnets”

Physica Status Solidi (a) 201, 550–555 (2004)

*Mój wkład polegał na: wykonaniu pomiarów i opracowaniu wyników magnetycznej struktury domenowej i struktury morfologicznej anizotropowych magnesów spiekanych typu Nd–Fe–B i SmCo<sub>5</sub> na powierzchni prostopadłej do osi uporządkowania magnetycznego. Swój udział procentowy określam jako 30%.*

B-10. W. Szmaja, J. Grobelny, M. Cichomski, K. Makita

„Application of MFM for studying Nd–Fe–B magnets”

Vacuum 74, 297–300 (2004)

*Mój wkład polegał na: wykonaniu pomiarów i opracowaniu wyników magnetycznej struktury domenowej i struktury morfologicznej anizotropowych magnesów spiekanych typu Nd–Fe–B na powierzchni prostopadłej do osi uporządkowania magnetycznego. Swój udział procentowy określam jako 30%.*

B-11. M. Cichomski, J. Grobelny, A. Ilik

„Właściwości tribologiczne warstw samoorganizujących (SAMs) osadzonych na Au”

Tribologia 197, 41–47 (2004)

*Mój wkład polegał na: wytworzeniu warstw samoorganizujących, przeprowadzeniu badań morfologii powierzchni stosując skaningowy mikroskop tunelowy. Wykonałem również pomiary tribologiczne w nano- i mikroskali, zajmowałem się także opracowaniem wyników oraz edycją manuskryptu. Swój udział procentowy określam jako 60%.*

B-12. W. Szmaja, J. Grobelny, M. Cichomski

„Domain structure of sintered SmCo<sub>5</sub> magnets studied by magnetic force microscopy”

Applied Physics Letters 85, 2878–2880 (2004)

*Mój wkład polegał na: analizie i dyskusji wyników. Swój udział procentowy określam jako 20%.*

B-13. W. Szmaja, J. Grobelny, M. Cichomski

„MFM investigation of the domain structure of cobalt single crystals”

Czechoslovak Journal of Physics 54 Suppl. D, D245– D248 (2004)



*Mój wkład polegał na: wykonaniu pomiarów i opracowaniu wyników magnetycznej struktury domenowej i struktury morfologicznej na powierzchni (0001) masywnych monokryształów kobaltu. Swój udział procentowy określam jako 30%.*

B-14. W. Szmaja, J. Balcerski, J. Grobelny, M. Cichomski

*„Imaging magnetic structures: from thin films to nanometer scale domains”*

Acta Physicae Superficierum 7, 125–133 (2004)

*Mój wkład polegał na: wykonaniu za pomocą MFM i AFM pomiarów oraz opracowaniu wyników magnetycznej struktury domenowej i struktury morfologicznej anizotropowych magnesów spiekanych typu Nd–Fe–B na powierzchni prostopadłej do osi uporządkowania magnetycznego. Swój udział procentowy określam jako 30%.*

B-15. S. Domagała, J. Dziegieć, M. Cichomski, J. Grobelny

*„The mediatory activity of iron(II) ions immobilized on glassy carbon in Nafion film”*

Annals of the Polish Chemical Society 3, 825–885 (2004)

*Mój wkład polegał na: wykonaniu badań warstw nafionu oraz określeniu wielkości aglomeratów występujących na podłożu po modyfikacji, opracowaniu i analizie otrzymanych wyników. Swój udział procentowy określam jako 30%.*

B-16. I. Piwoński, J. Grobelny, M. Cichomski, G. Celichowski, J. Rogowski

*„Preparation method of two dimensional silica-like surface from*

*3-mercaptopropyltrimethoxysilane self-assembled monolayers (SAMs) on Au(111) surface”*

Applied Surface Science 242, 147–153 (2005)

*Mój wkład polegał na: wytworzeniu powłok MPTMS na powierzchni złota, wykonaniu pomiarów STM otrzymanych monowarstw, opracowaniu wyników oraz edycji manuskryptu. Swój udział procentowy określam jako 30%.*

## **VI. Pozostałe prace opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora**

B-17. L. Nowak, G. Andrijewski, D. Tomczyk, M. Cichomski

*„Modification of glassy carbon electrode with phenanthroline complexes of manganese(II) immobilized in nafion layer”*

Polish Journal of Chemistry 81, 493–503 (2007)

*Mój wkład polegał na: zobrazowaniu kompleksów jonów manganu Mn (II) osadzonych na szklistej elektrodzie węglowej pokrytej warstwą nafionu a także opracowaniu i analizie otrzymanych wyników. Swój udział procentowy określam jako 30%.*

B-18. S. Domagała, J. Dziegieć, M. Cichomski, J. Grobelny

„*The Mediatory Activity of Ce(IV)/Ce(III) Redox System Immobilized in Nafion Film on Glassy Carbon*”

Polish Journal of Chemistry 81, 1049–1061 (2007)

*Mój wkład polegał na: wykonaniu badań topografii szklistej elektrody węglowej zmodyfikowanej warstwą nafionu oraz jonami ceru. Opracowaniu i analizie otrzymanych wyników. Swój udział procentowy określam jako 30%.*

B-19. W. Szmaja, J. Grobelny, M. Cichomski, K. Makita, W. Kozłowski

„*Imaging domains of hard magnetic materials by SEM and MFM*”

Vacuum 81, 1367–1370 (2007)

*Mój wkład polegał na: wykonaniu za pomocą MFM pomiarów domen magnetycznych anizotropowych magnesów spiekanych typu Nd-Fe-B oraz opracowaniu i analizie otrzymanych wyników. Swój udział procentowy określam jako 30%.*

B-20. B. Bhushan, M. Cichomski, Z. Tao, N. T. Tran, T. Ethen, C. Merton, R. E. Jewett

„*Nanotribological characterization and lubricant degradation studies of metal-film magnetic tapes using novel lubricants*”

Journal of Tribology 129, 621–627 (2007)

*Mój wkład polegał na: wykonaniu za pomocą AFM pomiarów adhezji, tarcia i zużycia taśm nośników magnetycznych w nanoskali. Określeniu degradacji środków smarowych za pomocą spektrometru masowego pracującego w wysokiej próżni. Wyznaczeniu trwałości taśm w powietrzu i wysokiej wilgotności. Opracowaniu i analizie otrzymanych wyników. Swój udział procentowy określam jako 30%.*

B-21. W. Szmaja, J. Balcerski, W. Kozłowski, J. Grobelny, M. Cichomski

„*Investigation of the Morphological Structure of Thin Cobalt Films by AFM and TEM*”

Acta Physica Polonica A 113, 171–174 (2008)

*Mój wkład polegał na: określeniu za pomocą AFM struktury morfologicznej warstw kobaltu o grubościach 40 nm i 100 nm oraz opracowaniu i analizie otrzymanych wyników. Swój udział procentowy określam jako 30%.*

B-22. M. Cichomski, J. Grobelny, G. Celichowski

„*Preparation and tribological tests of thin fluoroorganic films*”

Applied Surface Science 254, 4273–4278 (2008)

*Mój wkład polegał na: modyfikacji powierzchni krzemu jako układu odniesienia, modyfikacji powłok MPTMS na podłożu złota oraz przeprowadzeniu badań nanotribologicznych. Wykonałem również opracowanie i analizę otrzymanych wyników oraz przeprowadziłem edycję manuskryptu. Swój udział procentowy określam jako 40%.*

B-23. G. Celichowski, M. Cichomski, M. Psarski, M. Wiśniewski

„Elastic yarn tensioner with a noncontinuous antiwear nanocomposite pattern”

Fibres and Textiles in Eastern Europe 72, 91–96 (2009)

*Mój wkład polegał na: wykonaniu pomiarów za pomocą AFM, określeniu stopnia zdyspersjonowania użytych nanocząstek w matrycy polimerowej, opracowaniu i analizie otrzymanych wyników oraz edycji manuskryptu. Swój udział procentowy określam jako 30%.*

B-24. P. Neska-Bakus, L. Margielewski, M. Cichomski

„Właściwości tribologiczne ditiofosforanów alkoksylowych n-alkoholi, n-alkilofenoli i alkoksylowych glikoli w układach tarcowych: stal-stal, tlenek glinu-tenek glinu i tlenek glinu-stal”

Tribologia 234, 87–98 (2010)

*Mój wkład polegał na: wykonaniu badań adsorpcji dodatków smarowych na powierzchni stali, dyskusji i analizie otrzymanych wyników oraz edycji manuskryptu. Swój udział procentowy określam jako 30%.*

B-25. A. Ptak, M. Makowski, M. Cichomski

„Characterization of nanoscale adhesion between a fluoroalkyl silane monolayer and a silicon AFM tip. Complex character of the interaction potential”

Chemical Physics Letters 489, 54–58 (2010)

*Mój wkład polegał na: preparatyce osadzania z fazy gazowej monowarstwy silanu, edycji manuskryptu. Swój udział procentowy określam jako 30%.*

B-26. A. Busiakiewicz, A. Huczko, T. Dudziak, M. Puchalski, W. Kozłowski, M. Cichomski, S. Cudziło, Z. Klusek, W. Olejniczak

„Defects of SiC nanowires studied by STM and STS”

Applied Surface Science 256, 4771–4776 (2010)

*Mój wkład polegał na: dyskusji i analizie otrzymanych wyników. Swój udział procentowy określam jako 5%.*

B-27. W. Szmaja, W. Kozłowski, J. Balcerski, P. J. Kowalczyk, J. Grobelny, M. Cichomski

„Study of obliquely deposited thin cobalt films”

Journal of Alloys and Compounds 506, 526–529 (2010)

*Mój wkład polegał na: wykonaniu za pomocą AFM pomiarów struktury morfologicznej warstw kobaltu o grubościach 40 nm i 100 nm oraz opracowaniu i analizie otrzymanych wyników. Swój udział procentowy określam jako 20%.*

B-28. W. Szmaja, W. Kozłowski, K. Polański, J. Balcerski, M. Cichomski, J. Grobelny, M. Zieliński, E. Miękoś

*„Investigation of thick cobalt films electrodeposited on gold substrates”*

Chemical Physics Letters 542, 117–122 (2012)

*Mój wkład polegał na: wykonaniu za pomocą MFM pomiarów magnetycznej struktury domenowej warstw kobaltu o grubościach 14  $\mu\text{m}$ , 28  $\mu\text{m}$  i 55  $\mu\text{m}$  oraz opracowaniu i analizie otrzymanych wyników. Swój udział procentowy określam jako 20%.*

B-29. W. Szmaja, J. Balcerski, W. Kozłowski, M. Cichomski, J. Grobelny, M. Smolny, P. J. Kowalczyk *„Study of thermally evaporated thin permalloy films by the Fresnel mode of TEM and AFM”*

Journal of Alloys and Compounds 521, 174–177 (2012)

*Mój wkład polegał na: wykonaniu za pomocą AFM pomiarów struktury morfologicznej warstw permalaju o grubościach 10 nm i 60 nm oraz opracowaniu i analizie otrzymanych wyników. Swój udział procentowy określam jako 20%.*

B-30. W. Szmaja, W. Kozłowski, K. Polański, J. Balcerski, M. Cichomski, J. Grobelny, M. Zieliński, E. Miękoś

*„Study of the morphological and magnetic structures of nanocrystalline cobalt films obtained by electrodeposition”*

Materials Chemistry and Physics 132, 1060–1064 (2012)

*Mój wkład polegał na: wykonaniu za pomocą MFM pomiarów domen magnetycznych warstw kobaltu o grubościach 14  $\mu\text{m}$  i 23  $\mu\text{m}$  oraz opracowaniu i analizie otrzymanych wyników. Swój udział procentowy określam jako 20%.*

B-31. W. Szmaja, J. Grobelny, M. Cichomski, S. Hirosawa, Y. Shigemoto

*„Magnetic force microscopy investigation of the domain structure of nanocomposite  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{Fe}_3\text{B}$  magnets”*

Acta Materialia 59, 531–536 (2011)

*Mój wkład polegał na: wykonaniu pomiarów i opracowaniu wyników magnetycznej struktury domenowej i struktury morfologicznej nanokompozytowych magnesów  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{Fe}_3\text{B}$ . Swój udział procentowy określam jako 30%.*

B-32. B. Rudolf, M. Salmann, J. Grobelny, G. Celichowski, M. Cichomski

*„Preparation of metallocarbonyl-gold-antibody bioconjugates for mid-IR optical immunosensing”*

Journal of Organometallic Chemistry 734, 32–37 (2013)

*Mój wkład polegał na: wykonaniu badań topografii biokoniugatów w skład których wchodziły związki metalokarbonylowe, nanocząstki złota i przeciwciała, opracowaniu i analizie otrzymanych wyników. Swój udział procentowy określam jako 20%.*

## **VII. Udział w międzynarodowych lub krajowych konferencjach naukowych**

1) E. Barylska, A. Socha, M. Cichomski, S. Płaza, *Morphology and Tribological Properties of Self-Assembled Monolayers of Dialkyldithiophosphoric Acids on Au (111) Surfaces*, IV International Conference on Tribochemistry, 2005, Kraków, Poland

2) M. Cichomski, B. Bhushan, *Nanotribological Characterization of Self-Assembled Monolayers with Alkyl and Perfluoroalkyl Spacer Chains Deposited on Silicon and Aluminum Substrates*, Thirteenth Sponsors Meeting of Nanotribology Laboratory for Information Storage and MEMS/NEMS, 22–23 May 2006, Columbus, USA

3) M. Cichomski, B. Bhushan, *Nanotribological Characterization of Perfluorosilane Self-Assembled Monolayers Deposited on Silicon and Polydimethylsiloxane Surfaces*, Thirteenth Sponsors Meeting of Nanotribology Laboratory for Information Storage and MEMS/NEMS, 22–23 May 2006, Columbus, USA

4) M. Cichomski, B. Bhushan, *Nanotribological Characterization of Vapor Phase Deposited Positively-Charged Self Assembled Monolayers Deposited on Polydimethylsiloxane for Nanochannel Application*, AVS 53 International Symposium & Exhibition, 12–17 November, 2006, San Francisco, California, USA

5) P. Krzyczmonik, S. Domagała, H. Scholl, J. Dziegieć, M. Cichomski, J. Grobelny, *Electrochemical activity of Ce(III) ions immobilized in nafion film on platinum*, 7th International Conference Advanced batteries and accumulators, Brno, Czech Republic, 4–6 June, 2006

- 6) W. Szmaja, J. Grobelny, M. Cichomski, K. Makita, W. Kozłowski, *Imaging domains of hard magnetic materials by SEM and MFM*, VI International Conference Ion implantation and other applications of ions and electrons, Kazimierz Dolny, 26–29 June, 2006 Poland
- 7) W. Szmaja, J. Grobelny, M. Cichomski, J. Balcerski, *Badanie struktur magnetycznych za pomocą mikroskopii sił magnetycznych i mikroskopii elektronowej*, IV Seminarium Badania prowadzone metodami skaningowej mikroskopii bliskich oddziaływań STM/AFM, Zakopane 6–10 grudnia 2006
- 8) W. Szmaja, J. Balcerski, W. Kozłowski, J. Grobelny, M. Cichomski, *Investigation of the morphological structure of thin cobalt films by AFM and TEM*, 13th Czech and Slovak Conf. “Magnetism”, Koszyce, Słowacja, 9–12 July 2007
- 9) M. Cichomski, J. Grobelny, G. Celichowski, *Preparation and investigation of thin fluoroorganic films*, 3rd International Workshop “Surfaces Physics”, Polanica Zdrój, 10–15 September 2007
- 10) W. Szmaja, W. Kozłowski, J. Balcerski, J. Grobelny, M. Cichomski, *Study of obliquely deposited thin cobalt films*, 3rd International Workshop “Surface Physics”, Polanica Zdrój, 10–15 September 2007
- 11) G. Celichowski, M. Cichomski, J. Grobelny, *DLS and AFM in measuring of gold*, European Materials Research Society E-MRS 2007 Fall Meeting, Warszawa, 17–21, September, 2007
- 12) M. Cichomski, J. Grobelny, P. Kowalczyk, W. Kozłowski, J. Rogowski, *Warstwy samoorganizujące jako podłoża do kontrolowanego osadzania nanocząstek złota*, V Seminarium STM/AFM, Zakopane 26–30 listopada 2008
- 13) M. Cichomski, J. Grobelny, P. Kowalczyk, W. Kozłowski, *Właściwości tribologiczne warstw samoorganizujących na powierzchni złota Au(111)*, V Seminarium STM/AFM, Zakopane 26–30 listopada, 2008

14) W. Szmaja, M. Cichomski, J. Grobelny, *Wysokorozdzielcze badania struktur domenowych za pomocą mikroskopii sił magnetycznych*, V Seminarium STM/AFM, Zakopane, 26–30 listopada, 2008

15) M. Cichomski, J. Grobelny, K. Kośla, P. Uznański, W. Kozłowski, A. Busiakiewicz, W. Szmaja, J. Balcerski, *Nano- and Microtribological Characterization of Fluorosilanes Deposited on Cobalt Substrate*, 4th International Workshop on Surface Physics Surfaces and Nanostructures, Łądek Zdrój, Poland, 20–25 September 2009

16) M. Cichomski, W. Szmaja, *MFM and AFM Study of Thin Cobalt Films Modified by Fluorosilane*, 4th International Workshop on Surface Physics Surfaces and Nanostructures, Łądek Zdrój, Poland, 20–25 September 2009

17) A. Busiakiewicz, M. Puchalski, W. Kozłowski, Z. Klusek, W. Olejniczak, A. Huczko, T. Dudziak, M. Cichomski, *Defects of SiC Nanowires Studied by STM and STS*, 4th International Workshop on Surface Physics Surfaces and Nanostructures, Łądek Zdrój, Poland, 20–25 September 2009

18) A. Ptak, M. Makowski, M. Niemier, M. Cichomski, H. Gojzewski, R. Czajka, *Characterization of Silane Nanoadhesion by means of Dynamic Force Spectroscopy*, Nanotech, Conference & Expo 3–7 May 2009, Houston

19) M. Cichomski, J. Grobelny, J. Rogowski, *Nano- and Microtribological Characterization of Fluorosilane Deposited on Titanium and Silicon Substrates*, 5th International Conference on Tribochemistry, Lanzhou, China, 14–16 September 2009

20) M. Cichomski, J. Rogowski, K. Kośla  
*Charakterystyka warstw fluoroalkilosilanowych na powierzchni tytanu*  
II Konferencja Nano- i Mikromechaniki, Krasieczyn 6–8 lipca 2010

21) M. Cichomski, K. Kośla  
*Wytwarzanie i charakterystyka ultracienkich warstw uzyskanych przy użyciu matryc polidimetylosiloksanowych*

IV Krajowa Konferencja Nanotechnologii NANO 2010, Poznań, 28 czerwca–2 lipiec 2010

22) M. Cichomski, K. Kośla, W. Kozłowski, J. Rogowski, W. Pawlak

*Modyfikacja i właściwości tribologiczne warstw perfluoroalkilosilanów na powierzchni tytanu*

IV Krajowa Konferencja Nanotechnologii NANO 2010, Poznań 28 czerwca–2 lipiec 2010

23) M. Cichomski, K. Kośla, W. Szmaja, W. Kozłowski, J. Rogowski

*Investigation of the structure of fluoroalkylsilanes on alumina surface by XPS and ToF–SIMS*

VIII-th International Conference, Ion Implantation and Other Applications of Ions and Electrons, Kazimierz Dolny, 14–17 czerwca 2010

24) W. Szmaja, M. Cichomski, K. Kośla, J. Balcerski

*TEM and AFM investigation of obliquely evaporated thin cobalt films*

VIII-th International Conference, Ion Implantation and Other Applications of Ions and Electrons, Kazimierz Dolny, 14–17 czerwca 2010

25) J. Grobelny, E. Tomaszewska, G. Celichowski, M. Cichomski, S. Różalska

*Synteza i charakterystyka nanocząstek srebra do zastosowań antybakteryjnych*

IV Krajowa Konferencja Nanotechnologii, NANO 2010, Poznań, 28 czerwca–2 lipca 2010

26) E. Tomaszewska, G. Celichowski, M. Cichomski, W. Zieliński, J. Grobelny

*Synteza i charakterystyka nanocząstek złota, srebra i miedzi*

IV Krajowa Konferencja Nanotechnologii, NANO 2010, Poznań, 28 czerwca–2 lipca 2010

27) E. Tomaszewska, G. Celichowski, M. Cichomski, J. Grobelny

*The influence of sodium citrate and tannic acid on the size and monodispersity of synthesized silver nanoparticles*

12th JCF Frühjahrssymposium, 17–20 marca 2010, Göttingen, Germany

28) W. Szmaja, M. Cichomski, J. Balcerski

*Badania cienkich warstw kobaltu na podłożu Si(100) za pomocą mikroskopii sił magnetycznych i mikroskopii sił atomowych*

VI Seminarium STM/AFM 2010 Badania prowadzone metodami skaningowej mikroskopii bliskich oddziaływań, Zakopane 1–5 grudnia 2010



29) M. Cichomski, K. Kośła, J. Grobelny, W. Kozłowski

*Wpływ struktury silanów na ich właściwości tribologiczne*

VI Seminarium STM/AFM 2010 Badania prowadzone metodami skaningowej mikroskopii bliskich oddziaływań, Zakopane, 1–5 grudnia 2010

30) M. Cichomski, K. Kośła, J. Rogowski

*Wytwarzanie i charakterystyka warstw fluoroalkilosilanowych*

VI Seminarium STM/AFM 2010 Badania prowadzone metodami skaningowej mikroskopii bliskich oddziaływań, Zakopane, 1–5 grudnia 2010

31) W. Szmaja, M. Cichomski, K. Kośła, J. Balcerski

*Investigation of the domain structure of cobalt films on glass substrates*

14-th Czech and Slovak Conference on Magnetism CSMAG'10, Koszyce, Słowacja, 6–9 lipca 2010

32) E. Tomaszewska, G. Celichowski, M. Cichomski, K. Kądzioła, P. Neska-Bakus, B. Tkacz, J. Grobelny

*Controlled Synthesis of Copper Nanoparticles by Chemical Reduction Method*

13th JCF Frühjahrssymposium, 23–26 marca 2011, Erlangen, Germany

33) J. Grobelny, E. Tomaszewska, G. Celichowski, M. Cichomski, W. Zieliński

*Metrologia w nanoskali – kluczowy proces aplikacji nanoobiektów*

V Krajowa Konferencja Nanotechnologii NANO 2011, Gdańsk, 3–7 lipca 2011

34) K. Kośła, M. Cichomski

*Otrzymywanie oraz właściwości tarciove jedno- i dwuskładnikowych powłok silanowych na powierzchni tytanu*

V Krajowa Konferencja Nanotechnologii NANO 2011, Gdańsk, 3–7 lipca 2011

35) M. Cichomski, K. Kośła, W. Kozłowski, J. Grobelny

*Silany a właściwości tribologiczne w nano- i mikroskali*

V Krajowa Konferencja Nanotechnologii NANO 2011, Gdańsk, 3–7 lipca 2011

36) K. Kośła, M. Cichomski, J. Grobelny, W. Kozłowski, J. Rogowski

*Tribological investigation of the fluoroalkylsilane film obtained by vapor phase deposition method*

5th International Workshop on Surface Physics "Surfaces and Nanostructures" ECOSS-28, Łądek Zdrój, 2–5 września 2011

37) M. Cichomski, K. Kośła

*Nanotribological properties of the fluorosilane monolayers*

5th International Workshop on Surface Physics "Surfaces and Nanostructures" ECOSS-28, Łądek Zdrój, 2–5 września 2011

38) J. Grobelny, E. Tomaszewska, G. Celichowski, M. Cichomski, W. Zieliński

*Nanoscale Metrology – Key Process in Application of Nanoobjects*

WELCOME Scientific Meeting on Hybrid Nanostructures, 28–31 sierpnia 2011 Toruń

39) B. Rudolf, M. Salmann, J. Grobelny, G. Celichowski, E. Tomaszewska, M. Cichomski

*Synteza immobilizowanych na nanocząstkach złota kompleksów metalokarbonylowych oraz próby zastosowania ich w biochemii*

54. Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Chemicznego i Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego, Lublin, 18–22 września 2011

40) W. Szmaja, M. Cichomski, K. Kośła, J. Balcerski,

*Investigation of cobalt films modified by fluoroalkylsilanes,*

13th European Conf. Physics of Magnetism 2011, Poznań, 27 czerwca-1 lipca 2011

41) K. Kośła, M. Cichomski, W. Kozłowski

*Wytwarzanie oraz charakterystyka tribologiczna warstw krzemoorganicznych na powierzchni glinu*

III Krajowa Konferencja Nano- i Mikromechaniki, 4–6 lipca 2012, Warszawa

42) J. Grobelny, E. Tomaszewska, G. Celichowski, M. Cichomski, B. Tkacz-Szczęśna, M. Rosowski

*Nanoparticles characterization for biomedical application*

Warsztaty – Nowe trendy w toksykologii: Nanocząstki i Nanomateriały, 28–30 maja 2012, Łódź, Polska

43) M. Cichomski, K. Kośła, J. Grobelny, W. Szmaja

*Otrzymywanie i charakterystyka alkilofosforowych warstw samoorganizujących*

VII Seminarium STM/AFM 2012 Badania prowadzone metodami skaningowej mikroskopii bliskich oddziaływań, Zakopane, 28 listopada–2 grudnia 2012

44) K. Kośła, M. Cichomski, J. Grobelny

*Otrzymywanie oraz charakterystyka tribologiczna jedno- i dwuskładnikowych powłok krzemoorganicznych na powierzchni glinu*

VII Seminarium STM/AFM 2012 Badania prowadzone metodami skaningowej mikroskopii bliskich oddziaływań, Zakopane 28 listopada–2 grudnia 2012

45) W. Kozłowski, W. Szmaja, M. Cichomski, M. Zieliński, E. Miękoś

*Badania nanokrystalicznych warstw kobaltu naniesionych na podłoże złota metodą elektrochemiczną*

VII Seminarium STM/AFM 2012 Badania prowadzone metodami skaningowej mikroskopii bliskich oddziaływań, Zakopane, 28 listopada–2 grudnia 2012

46) J. Grobelny, G. Celichowski, M. Cichomski, A. Kisielewska, I. Piwoński, M. Psarski, R. Stanecka-Badura

*Scientific activity of the nanomaterials and tribology research group*

Warsztaty Chemiczne: Łódź–Giessen Chemistry Workshop.

Wydział Chemii, Uniwersytet Łódzki, 10–14 października 2012

### **VIII. Współdział w organizacji konferencji**

1. 4th International Conference on Tribochemistry, 3–5 October 2005, Kraków, Poland, Collegium Maius, Jagiellonian University
2. 6th International Conference on Tribochemistry and Nanomaterials, 4–6 September 2013, Łódź, Poland, University of Łódź.

### **IX. Zgłoszenie patentowe**

Stanisław Płaza, Andrzej Łopusiński, Stanisław Wojciech Markowicz, Renata Stanecka-Badura, Michał Cichomski

*„Zastosowanie pochodnych kwasów poli(oksyalileno)ditiofosforowych jako wielofunkcyjnych dodatków środków smarowych o niskiej zawartości fosforu”*

Zgłoszenie patentowe nr **P.401247** 2012/10/16

### **X. Projekty badawcze**

2002–2004, Grant promotorski KBN numer 4 T08D 038 25, „Badania morfologiczne i nanotribologiczne materiałów nanokompozytowych” – wykonawca

2004–2006, Grant KBN, numer 4 T07B 036 26, „Określenie i optymalizacja właściwości tribologicznych powłok otrzymanywanych techniką zol-żel” – wykonawca

2008–2010, Grant MNiSW, numer N N507 350435, „Synteza i charakterystyka nanocząstek złota, srebra i miedzi” – wykonawca

2010–2012, Grant MNiSW, numer N N507 551538, „Wytwarzanie ultracienkich warstw fluoorganicznych do zastosowań tribologicznych” – kierownik

2012–2015, Grant NCN, numer 2012/05/B/ST8/02876, „Badanie zależności między budową chemiczną i topografią powierzchni superhydrofobowych a ich właściwościami przeciwoślodzeniowymi” – główny wykonawca

## **XI. Recenzje prac naukowych**

Recenzowałem 9 publikacji w czasopismach międzynarodowych z listy filadelfijskiej, w tym:

1. Surface and Coatings Technology–1
2. Tribology International–2
3. American Chemical Society, Applied Materials & Interfaces–2
4. Journal of Alloys and Compounds–1
5. Journal of Physics and Chemistry of Solids–1
6. Applied Surface Science–2

## **XII. Dydaktyka**

### **1. Prowadzenie i koordynacja zajęć dydaktycznych**

W latach 2006–2012 prowadziłem zarówno zajęcia laboratoryjne, jak i wykłady (łącznie 9 różnych zajęć). Jestem koordynatorem przedmiotów: *Techniki pomiarowe właściwości materiałów* oraz *Metody badań nanomateriałów*.

1. *Techniki pomiarowe właściwości materiałów* – wykład kursowy
2. *Techniki pomiarowe właściwości materiałów* – laboratorium
3. *Metody badań nanomateriałów* – wykład kursowy
4. *Metody badań nanomateriałów* – laboratorium
5. *Technologia chemiczna* – laboratorium
6. *Technologia chemiczna II* – laboratorium
7. *Zajęcia specjalistyczne* – laboratorium
8. *Wybrane technologie chemiczne* – laboratorium
9. *Petrochemia* – laboratorium

### **2. Opieka naukowa nad studentami**

Za zgodą władz Uczelni pełnię rolę promotora prac magisterskich. Byłem promotorem 15 prac magisterskich.

### **XIII. Otrzymane nagrody i wyróżnienia**

1. Nagroda Rektora Uniwersytetu Łódzkiego – zespołowa, stopnia pierwszego za osiągnięcia naukowe 2010
2. Nagroda Rektora Uniwersytetu Łódzkiego – zespołowa, stopnia drugiego za osiągnięcia dydaktyczne 2012

### **XIV. Wykonanie ekspertyz lub innych opracowań na zamówienie podmiotów realizujących zadania publiczne lub przedsiębiorców**

Wykonanie ekspertyz:

„Badania stężeń substancji ropopochodnych metodą spektrofotometrii w podczerwieni w próbkach ścieków opadowych odprowadzanych z systemu kanalizacji deszczowej m. Łodzi do rzek oraz w próbkach ścieków odprowadzanych do kanalizacji m. Łodzi, Zakład Wodociągów i Kanalizacji w Łodzi – 2007.

„Badania węglowodorów ropopochodnych – oznaczanie indeksu oleju mineralnego (metoda z zastosowaniem ekstrakcji rozpuszczalnikiem i chromatografii gazowej) w próbkach ścieków opadowych z systemu kanalizacji deszczowej m. Łodzi do rzek oraz w próbkach ścieków odprowadzanych do kanalizacji m. Łodzi, Zakład Wodociągów i Kanalizacji w Łodzi – 2008.

„Charakterystyka fizykochemiczna modyfikatorów o właściwościach fotokatalitycznych: produkt nr 1 (TiO<sub>2</sub>) oraz nr 2 (Ag/TiO<sub>2</sub>) dostarczonych przez Instytut Włókiennictwa w Łodzi – 2011

### **XV. Propagowanie chemii**

Warsztaty „NANOTRIBOLOGIA”, w cyklu Warsztatów Tribologicznych, Łódź, 17.06.2008

Warsztaty „Tarcie w mikroskali”, w cyklu Warsztatów Tribologicznych, Łódź, 24.05.2011

## **XVI. Statystyka dorobku naukowo-badawczego**

### 1. Publikacje

Całkowita liczba publikacji w czasopismach z listy JCR: 33.

– liczba publikacji przed uzyskaniem stopnia doktora: 8.

– liczba publikacji po uzyskaniu stopnia doktora: 25.

Całkowita liczba pozostałych publikacji w czasopismach nieuwzględnionych na liście JCR: 9

– liczba publikacji przed uzyskaniem stopnia doktora: 8.

– liczba publikacji po uzyskaniu stopnia doktora: 1.

2. Sumaryczny impact factor publikacji (zgodnie z rokiem 2012): 62,901.

3. Suma punktów MNiSW (zgodnie z rokiem 2012): 1002.

4. Sumaryczny impact factor publikacji (zgodnie z rokiem opublikowania): 57,887

5. Całkowita liczba cytowań publikacji wg bazy Web of Science: 200.

6. Liczba cytowań bez autocytowań wg bazy Web of Science: 167.

7. Indeks Hirscha (h-index) opublikowanych prac wg bazy Web of Science: 8.

8. Liczba publikacji będących podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego:  
10

9. Całkowita liczba cytowań publikacji będących podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego wg bazy Web of Science: 77.

10. Sumaryczny impact factor publikacji będących podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego (zgodnie z rokiem 2012): 19,737.

11. Sumaryczny impact factor publikacji będących podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego (zgodnie z rokiem opublikowania): 19,027.

12. Suma punktów MNiSW za publikacje będące podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego (zgodnie z rokiem 2012): 315.