Komitet Mechaniki Polskiej Akademii Nauk

Politechnika Rzeszowska
im. Ignacego Łukasiewicza

Instytut Podstawowych Problemów Techniki
Polskiej Akademii Nauk

I KRAJOWA KONFERENCJA

NANO- i MIKROMECHANIKI

KRASICZYN, 8-10 LIPCA 2008 r.

PATRONAT HONOROWY

J.M. Rektor Politechniki Rzeszowskiej
Prof.dr hab. inż. Andrzej Sobkowiak

KOMITET NAUKOWY KONFERENCJI

Przewodniczący:

Prof. dr hab. Gwidon Szefer, Politechnika Krakowska, Kraków

Członkowie:

Prof. dr hab. Zbigniew Adamczyk, Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN, Kraków
Prof. dr hab. Romuald Będziński, Politechnika Wrocławska, Wrocław
Prof. dr hab. Tadeusz Burczyński, Politechnika Śląska, Śląsk
Prof. dr hab. Zbigniew Brzózka, Politechnika Warszawska, Warszawa,
Prof. dr hab. Marek Cieplak, Instytut Fizyki PAN, Warszawa
Prof. dr hab. Jan Dziuban, Politechnika Wrocławska, Wrocław
Prof. dr hab. Robert Hołyst, Instytut Chemii Fizycznej PAN
Prof. dr hab. Henryk Galina, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów
Prof. dr hab. Jacek Kitowski, Akademia Górniczo-Hutnicza, Krakow
Prof. dr hab. Małgorzata Kujawinska, Politechnika Warszawska, Warszawa
Prof. dr hab. Tomasz.A.Kowalewski, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa
Dr hab.Anna Kucaba-Piętal, Prof. nadzw, PRz., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów
Prof. dr hab. Henryk Petryk, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa
Doc.dr hab.Dorota G.Pijanowska, IBIB PAN, Warszawa
Prof. dr hab. Mieczyslaw Poniewski, Politechnika Warszawska, Warszawa

KOMITET ORGANIZACYJNY KONFERENCJI

Dr hab. Anna Kucaba-Pietal, Prof. nadzw. PRz , Politechnika Rzeszowska **-Przewodnicząca**
Doc dr hab. Piotr Garstecki, Instytut Chemii Fizycznej PAN
Prof. dr hab. Tomasz A. Kowalewski, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN **- wiceprzewodniczący**
Dr hab. inż. Jaroslaw Sęp, Prof. nadzw, PRz., Politechnika Rzeszowska
Dr inż. Katarzyna Antosz, Politechnika Rzeszowska **- sekretarz**

Skład i redakcja wydawnictwa, na podstawie dostarczonych materiałów
Dr inż. Katarzyna Antosz

Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej
Ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów

SPIS TREŚCI:

Słowo wstępne…….. 7

I. REFERATY PLENARNE

1. Budkowski A., Bernasik A., Moons E., Lekka M., Jaczewska J., Haberko J., Raczkowska J., Rysz J., Zemła J., Awsiuk K.: **Samo-organizacja i miękka litografia warstw polimerów dla makro (opto)elektroniki i biotechnologii.** ……... 11
2. BurczyńskI T., Kuś W.: **Zagadnienia optymalizacji i identyfikacji w modelowaniu wieloskalowym** ……..... 13
3. Dziuban J. A.: **Mikroinżynieria krzemu i szkła dla chemicznych i biomedycznych mikrochipów fluidycznych typu MEMS** …… 15
4. Elbaum D., Nowicka A., Kowalczyk T., Kowalewski T.: **Biologiczne zastosowania nanocząstek i nanostruktur**……..... 19
5. Gałęski A., Piórkowska E.: **Nanokompozyty z udziałem polimerów termoplastycznych** 21
6. Giergiel J.: **Nanomechanika i nanorobotyka**..... 23
7. Giersig M.: **Nanomaterials and their application in biomedicine**……..... 25
8. Hołyst R.: **Lepkość i dyfuzja w płynach złożonych: od skali nano do skali makro**…… 27
9. Kempa K.: **Plasmon polaritons in nanostructures**…… 29
10. Marczewski J., Grabiec P., Domański K.: **Możliwości Zakładu Technologii Mikrosystemów i Nanostruktur Krzemowych Instytutu Technologii Elektronowej w Warszawie**……..... 31
11. Skubiszak L.: **Nanomechanika = biomechanika**……..... 33
12. Szefer G.: **Modelowanie stanów naprężeń i deformacji nanostruktur materialnych** 35
13. Szymczak P., Cieplak M.: **Zmiany konformacji molekuł białek pod wpływem sił mechanicznych i hydrodynamicznych**……... 37
14. Sobczyk K.: **Morfologiczna losowość mikrostruktur materiałowych: „Modele stochastyczne i estymacja naprężeń"**……... 39
15. Wójs A.: **Kropki kwantowe**……..... 41
16. Kubiak K.: **Stan obecny i perspektywy rozwoju Laboratorium Badań Materiałowych dla Przemyslu Lotniczego Politechniki Rzeszowskiej** …….. 43

II. FIZYKA NANOŚWIATA I MIKROŚWIATA

1. Botkin N.D., Hoffmann K.-H., Frąckowiak A., Ciałkowski M.: **Wymiana ciepła pomiędzy powietrzem i ciałem stałym, którego powierzchnia pokryta jest nanostrukturą** ... 45
2. Kucaba-Piętal A., Walenta Z.A, Peradzyński Z.: **Wpływ materiał uścianki na przepływ wody w nanokanałach** …… 47
3. Słowicka A., Walenta Z.A.:**Osiadanie cząstek stałych na granicy faz nanoemulsji** …….. 49
4. Sowiński J., Dziubiński M.: **Prędkość i udział fazy gazowej w przepływie dwufazowym ciecz gaz w wąskich minikanałach**……..... 51

III. METODY OBLICZENIOWE MEZO-, MIKRO- I NANOSKALOWE

1. Bieniek T., Janus P., Grabiec P., Janczyk G., Szynka J.: **Zintegrowane modelowanie i symulacje mikro- i nanostruktur 3-D** 55
2. Bytnar J., Kucaba-Piętal A**.: Wpływ modeli molekularnych wody na symulacje nanoprzepływów** ……... 57
3. Favre-Marinet M., Drobniak S., Asendrych D., Gamrat G., Niklas M.: **Numeryczno-eksperymentalne studium przepływu oraz wymiany ciepła w mikrokanałach**..... 59
4. Linkov A., Rybarska-Rusinek L., Szynal-Liana A.: **Asymptotyczne i numeryczne rozwiazywania zagadnień dotyczących punktów osobliwych dla materiałów niejednorodnych** …….. 61
5. Łukaszewicz G.: **Dynamika przepływów ścinających**……. 63

6. Maląg L., Kukiełka L.: **Analiza numeryczna stanów naprężeń i odkształceń podczas rozciągania próbek w skali makro i mikro**. ……..... 65
7. Martowicz A., Uhl T., Codreanu I.: **Analiza niepewności w mikroukładach oraz ich wpływ na charakterystyki dynamiczne** …… 67
8. Sęp J.: **Modyfikowanie przepływu oleju w łożysku ślizgowym poprzez mikrorowki na czopie**…….…….…….…….…… 69

IV. METODY EKSPERYMENTALNE W NANO- I MIKROSKALI

1. Domagalski P., Dziubiński M., Błoński S., Kowalewski T. A.: **Zastosowanie ogniskowania hydrodynamicznego jako modyfikacji techniki MICRO-PIV** ……... 75
2. Dziubiński M.: **Przepływy dwufazowe ciecz-gaz w mikrokanałach**……. 77
3. Gruca G., Wielgoszewski G., Gotszalk T.: **Precyzyjna uniwersalna głowica pomiarowa pozwalajaca na prowadzenie eksperymentów z wykorzystaniem mikrobelek.**
4. Mańka M., Kohut P., Prusak D., Szwedo M., Uhl T.: **Zastosowanie technik wizyjnych w badaniu układów mikromechanicznych**……..…… 79
5. Morawiak A., Dziubiński M.: **Opory przepływu mieszanin dwufazowych ciecz-ciecz wmikrokanałach**…….…….. 81
6. Musiał W., Plichta J., Musiał K.: **Realizacja procesu szlifowania w warunkach plastycznego płynięcia materiału z dosuwem manometrycznym** ……. 83
7. Orczykowska M., Budzyński P., Dziubiński M.: **Mikroprzepływ zawiesiny czerwonych krwinek w naczyniach krwionośnych** …….. 85
8. Owsik J., Szymański M.: **Optyczne metody nanotechnologii**……. 87
9. Woszczyna M., Świątkowski M., Zawierucha P., Gotszalk T., Rangelow I. W.: **Badania efektywności termicznej aktuacji dźwigni sprężystej mikroskopu sił atomowych**…….…….…….…….……... 89

V. WYTWARZANIE I ZASTOSOWANIE MIKROURZĄDZEŃ

1. Kędzierski M., Knapkiewicz P.: **Interdigital Micromixer: Numerical and Experimental Investigation**…….…….…….……..... 93
2. Klekiel T.: **Dokładność pozycjonowania w sterowaniu układami wieloczłonowymi**. 95
3. Knapkiewicz P., Dziuban J.A., Freitag A., Dietrich T., Boskovic D., Loebbecke S., Latecki B. A.: **Mikrofabryka chemiczna „na stole" do prowadzenia reakcji nitrowania w mikroreaktorze z wielopunktowym pomiarem ciśnienia i temperatury oraz systemem kontroli przebiegu reakcji** …… 97
4. Więcek T., Wasilewski A., Konecki W.: **Wyznaczanie współczynnika tłumienia drgań swobodnych włókien konstrukcyjnych** …….. 99
5. Woszczyna M., Jóźwiak G., Zielony M., Kolek A., Grabiec P., Janus P., Gotszalk T.: **Ocena właściwości mechanicznych sprężystych dźwigni piezorezystywnych na podstawie ich parametrów szumowych** …… 101

VI. NANOMATERIAŁY I MIKROMATERIAŁY

1. Jaworek A., Sobczyk A. T., Krupa A., Lackowski M., Czech T.: **Elektostatyczne nanoszenie nanowarstw na podłoże metalowe** ……... 105
2. Kołbuk D., Sajkiewicz P., Kowalewski T.: **Optical investigations of structure of poly (caprolactone) nanofibers formed by electrospinning…**…….…….. 107
3. Łuka G., Krajewski T., Wachnicki Ł., Szczepanik A., Kopalko K., Szczerbakow A., Łusakowska E., Fidelus J., Yatsunenko S., Guziewicz E., Godlewski M.: **Struktury hybrydowe ZnO/materiał organiczny dla zastosowań w nowej generacji pamięci półprzewodnikowych** 109
4. Sobczyk Arkadiusz T., Jaworek Anatol, **Synteza włókien węglowych w słaboprądowym łuku elektrycznym**…….……. 111

VII. LAB-ON-A-CHIP, NANOMEDYCYNA I MIKROMEDYCYNA

1. Chudy M.: **Zastosowania hybrydowych systemów Lab-on-a-chip w mikrobioanalityce** .. 115
2. Dybko A.:**Technologia wytwarzania hybrydowych mikrosystemów typu Lab-on-a-chip** 117
3. Domański K., Szmigiel D., Janus P., Prokaryn P., Sierakowski A., Grabiec P.: **Wytwarzanie mikrolektrod dla implantów medycznych**…… 119
4. Kwacz M.:, **Laserowa wibrometria dopplerowska (LDV) w pomiarach mechaniki ucha środkowego** …….. 121
5. Różański A., Monasse B., Szkudlarek E., Pawlak A., Piórkowska E., Gałęski A., Haudin J.M.: **Wpływ odkształceń ścinających na krystalizację nanokompozytów izotaktycznego polipropylenu z montmorylonitem** ……... 123

VIII. CHEMIA POWIERZCHNI I SUPRAMOLEKULARNA

1. Masirek R., Piórkowska E.: **Zarodkowanie krystalizacji IPP nanocząstkami PTFE oraz Ag.** …… 127
2. Szczepańska P., Walczak R., Wolff A., Dziuban J. A.: **Autofluorescencja polimeru SU-8 – wpływ zjawiska na czułość detekcji sygnałów optycznych w metodzie PCR prowadzonej w LAB-ON-CHIP (LOC)** …… 129
3. Warszyński P.: **Modyfikacja powierzchni materiałów poprzez adsorpcję wielowarstwowych filmów polielektrolitowych** ……... 131

IX. MIKROROBOTY I MEMSY

1. Janus P., Bieniek T., Grabiec P.: **Metodologia projektowania i modelowania zintegrowanych struktur MEMS**…… 135
2. Petko M., Karpiel G., Prusak D.: **Robot do mikromanipulacji wewnątrzkomórkowych**…… 137
3. Prusak D., Uhl T.: **Mikroroboty – ich konstrukcja i badania** …… 139

Indeks autorów…….. 141

Szanowni Państwo,

Nano- i mikromechanika tworzy podstawy nanotechnologii, tej stosunkowo młodej dziedziny nauki, stymulującej z jednej strony rozwój gospodarki innowacyjnej a z drugiej wytyczającej współczesne kierunki badawcze zarówno w mechanice jaki i w chemii, biologii, fizyce, elektronice i informatyce.

Z uwagi na szeroki zakres problemów pojawiających się w zakresie badań w nano-skali jak i nowych zastosowań praktycznych, interdyscyplinarność odgrywa w nanotechnologii kluczową rolę. Rozwój tej tematyki najlepiej dokumentuje powstanie na świecie setek nowych instytutów i uruchomienie licznych programów badawczych z przedrostkiem nano. Również w Kraju pojawiły już się w ciągu ostatnich lat liczne grupy, często powiązane w Sieci Naukowe, zajmujące się tematyka związaną z budową mikro i nano urządzeń, mikro-reaktorów chemicznych i biologicznych, tworzeniem nowych materiałów czy nanomedycyną. Synergia wiedzy i metodyki tych grup mogłaby dodać impetu do rozwoju tej mlodej gałęzi wiedzy i zachecic szerokie srodowisko badaczy do podejmowania nowych wyzwań.

1 Krajowa Konferencja Nano- i Mikromechaniki jest pomyślana jako forum, którego celem jest integracja, prezentacja wyników oraz wymiana doświadczeń środowiska naukowego aktywnego w nieraz odległych specjalnościach. Chcieliśmy uniknąć typowej dla specjalistycznych konferencji atomizacji i w cieple lipcowego klimatu w pięknym otoczeniu starego Zamku w Krasiczynie stworzyć atmosferę, która zaowocuje nowymi ideami i zacieśnieniem współpracy naszych rozrzuconych obecnie po kraju grup badawczych. Bedąc razem, zdziałamy więcej!

W imieniu Organizatorów zyczę wszystkim Uczestnikom owocnych obrad, nowatorskich pomysłow, aktywizacji zdolności sil twórczych oraz zadowolenia i radości w spotkaniach i dyskusjach.

Anna Kucaba-Piętal

I
REFERATY PLENARNE

A. BUDKOWSKI[A,*], A. BERNASIK[B], E. MOONS[C], M. LEKKA[D], J. JACZEWSKA[A], J. HABERKO[B], J. RACZKOWSKA[A], J. RYSZ[A], J. ZEMŁA[A], K. AWSIUK[A]

SAMO-ORGANIZACJA I MIĘKKA LITOGRAFIA WARSTW POLIMERÓW DLA MAKRO (OPTO)ELEKTRONIKI I BIOTECHNOLOGII

SELF-ORGANIZATION AND SOFT-LITHOGRAPHY OF MULTI-COMPONENT POLYMER FILMS FOR (OPTO)ELECTRONICS AND BIOTECHNOLOGY

[a]Smoluchowski Institute of Physics and Research Centre for Nanometer-Scale Science and Advanced Materials (NANOSAM), Jagiellonian University, Reymonta 4, 30-059 Kraków
[b]Faculty of Physics and Applied Computer Science, AGH-University of Science and Technology, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Krakow, Poland
[c]Department of Physics, Karlstad University, SE-651 88 Karlstad, Sweden
[d]The H. Niewodniczański Institute of Nuclear Physics, Polish Academy of Science, Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków, Poland
*e-mail: ufbudkow@cyf-kr.edu.pl; http://www.if.uj.edu.pl/pl/ZINM/polyfilms/

Novel strategies to form multi-component films of functional polymers, with nano- and micro- meter structures, intended for plastic (opto)electronics and biotechnology are based on film deposition from polymer solution onto rotating substrate (spin-casting), a method implemented already on manufacturing lines. Film structures are determined with (nanometer) depth profiling and (submicron) imaging modes of dynamic Secondary Ion Mass Spectrometry, Near-field Scanning Optical Microscopy (with a submicron resolution) and Scanning Probe Microscopy (revealing nanometer features). Self-organization of spin-cast polymer mixtures offers a one-step process to deposit and align simultaneously domains, rich in different polymers, forming various device elements: i) Surface segregation drives self-stratification of nanometer lamellae for solar cells and anisotropic conductors; ii) Cohesion energy density controls morphological transition from lamellar (optimal for encapsulated transistors) to lateral structures (suggested for light emitting diodes); iii) Selective adhesion to chemical micro-templates, printed on the substrate with soft-lithography prior to spin-casting, orders lateral structures for plastic circuitries; iv) Sub-micron imprints of water droplets (breath figures) decorate selectively micron-sized domains, and can be used in devices with hierarchic structures. In addition, selective protein adsorption to polymer micro-patterns, formed with soft lithography after spin-casting, suggests applications in protein chip technology. Reduction of lateral blend structures to a submicron scale is possible with the approach, based on the films composed of multi-component nanoparticles.

TADEUSZ BURCZYŃSKI[1,2], WACŁAW KUŚ[1]

OPTIMIZATION AND IDENTIFICATION IN MULTISCALE MODELLING

ZAGADNIENIA OPTYMALIZACJI I IDENTYFIKACJI W MODELOWANIU WIELOSKALOWYM

[1]Department for Strength of Materials and Computational Mechanics, Silesian University of Technology, Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice, tb@polsl.pl
[2]Institute of Computer Modelling, Cracow University of Technology, Warszawska 24, 31-155 Kraków

Key words: multiscale modelling, homogenization, evolutionary optimization

Multiple-scale models of materials have been developed to address the coupling of differ-ent length scales for various applications. The paper is devoted to optimization and identifica-tion problems in multi-scale modeling using evolutionary computing. The transition from macro to micro-scales and vice versa is performed by the computational homogenization [1]. On the mi-cro-scale level a composite (microstructure), made from two different materials (ma-trix and fiber) is considered. Material and geometrical parameters of the composite are treated as design variables.
The goal of the optimization is to obtain the composite which gives the best perform-ance of the structure in the macro-scale for a given objective function.
The identification is performed to obtain material properties for fiber and matrix materials [2] or their shapes on the basis of measured displacements at sensor points of the macro-structure (Fig. 1).

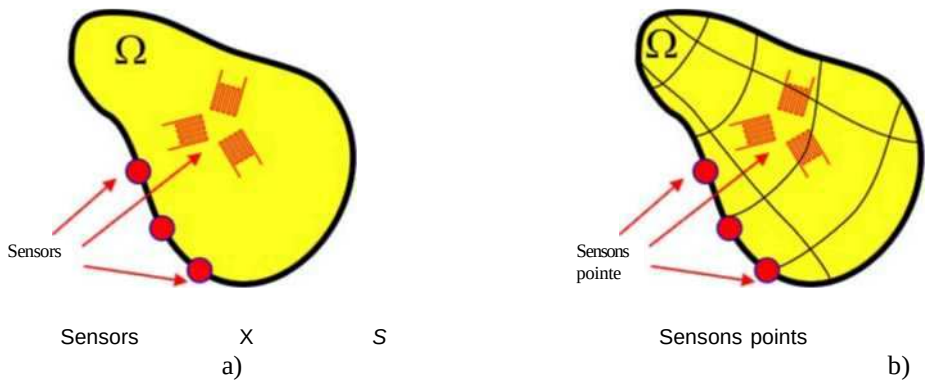


Figure: 1. Illustration of identification problem, a) the real structure, b) and its FEM model

The identification problem is solved by minimization of a fitness function which is expressed as a difference between measured and computed displacements at sensors. The macro and micro structures are computed using the finite element method in the computational homogenization.

JAN A. DZIUBAN

MIKROINŻYNIERIA KRZEMU I SZKŁA DLA CHEMICZNYCH I BIOMEDYCZNYCH MIKROCHIPÓW FLUIDYCZNYCH TYPU MEMS

SILCON/GLASS MICROENGINEERING FOR CHEMICAL AND BIOMEDICAL FLUIDIC MEMS MICROCHIPS

Politechnika Wrocławska Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław i Instytut Technologii Elektronowej, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa.

Słowa kluczowe: mikrosystemy, fluidyka, mikroreaktory, chipy PCR/DNA, mikrocytometry

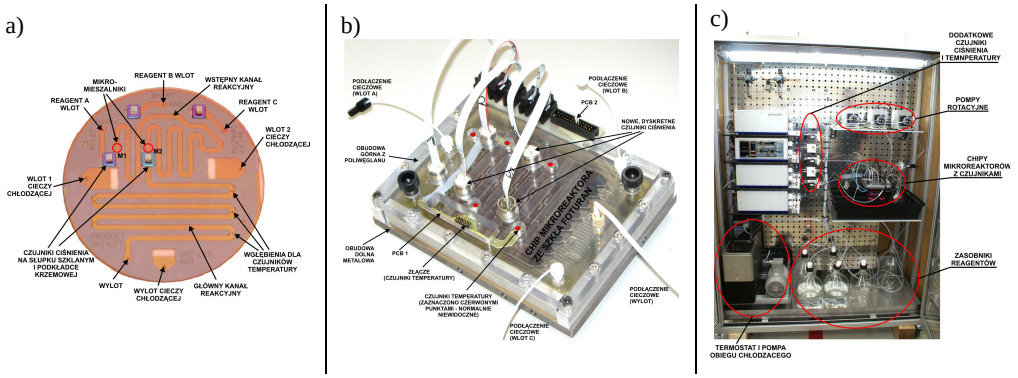
Małe urządzenia do analizy składu, miniaturowa aparatura chemiczna do prowadzenia syntez, szczególnie z grupy tzw. trudnych reakcji chemicznych, miniaturowe laboratoria biochemiczne, medyczne, weterynaryjne i inne urządzenia mikrofluidyczne wprowadzają w dziedzinę chemii, biochemii i szeroko rozumianych nauk o życiu nową jakość techniczną.

Ich cechą charakterystyczną jest miniaturyzacja, uzyskana dzięki zastosowaniu przy ich wytwarzaniu technik mikroinżynieryjnych, wywodzących się z mikroelektroniki i mikromechaniki zintegrowanej, zaliczane są więc do mikrosystemów. Cechą wspólną omawianych tu mikrosystemów – znanych w literaturze przedmiotu pod różnymi nazwami jako; mikrotasy, lab-on-chipy, mikrochipy fluidyczne, Bio-MEMS, life-science-MEMS, etc. - jest budowa przestrzenna i przepływ płynów w mikrokanałach. Dlatego też, określa się je wspólną nazwą mikrosystemów fluidycznych. Z wielu powodów, podstawowym materiałem strukturalnym, stosowanym w mikroinżynierii tych urządzeń jest krzem i szkło, ceramika, rezysty negatywowe SU8. Inne materiały, podobne do tych, stosowanych w mikroelektronice, są wykorzystywane rzadziej, najczęściej w postaci cienkich warstw dielektrycznych i przewodzących prąd elektryczny.

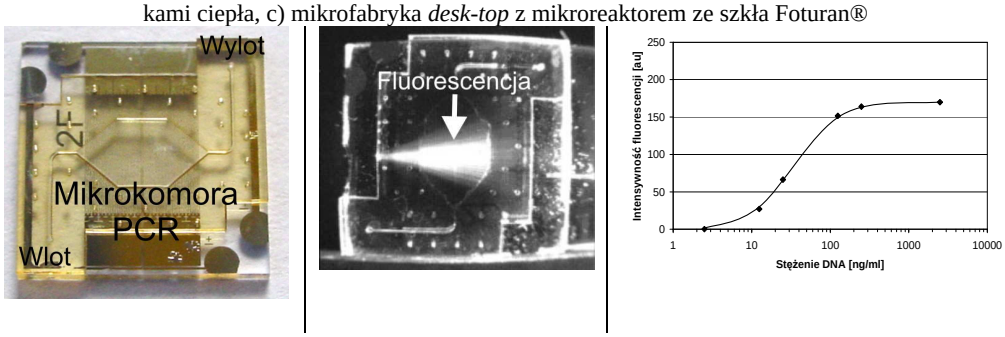
Badania i rynek mikrosystemów fluidycznych wykazuje w latach ostatnich niezwykle wysoką dynamikę wzrostu, średnio trzydziesto procentową, wartość rynku osiągnęła pułap kilku miliardów dolarów, ocenia się, że w roku 2025 może to być rynek o głębokości kilku miliardów dolarów dziennie.

W krótkich ramach niniejszego referatu nie sposób opisać, nawet pobieżnie, mikrosystemy fluidyczne z grupy urządzeń chemicznych i biomedycznych. Kopalnią wiedzy są tu materiały konferencji ***μTAS*** i ***IMRET.*** Spośród wielu fascynujących rozwiązań na szczególną uwagę zasługują „inteligentne" mikroreaktory do prowadzenia trudnych reakcji chemicznych, laboratoria chipowe do analizy DNA patogenów żywności i bakterii powszechnie i silnie oddziaływujących na człowieka, detektory komórek rakowych i mikrocytometry do prowadzenia badań spektrofotometrycznych i spektrofluorometrycznych w mikroskali.

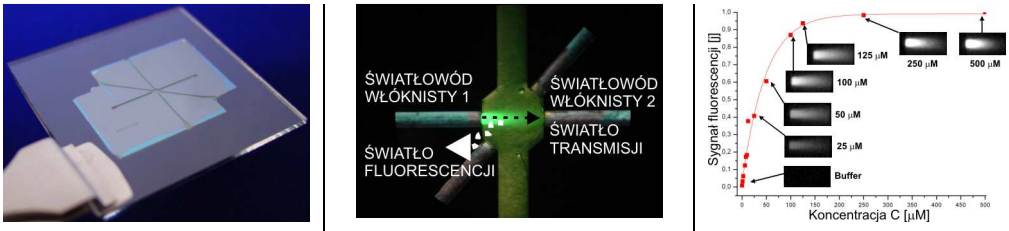
Mikroreaktory „inteligentne" są wyposażone w systemy czujnikowe, które umożliwiają kontrolę reakcji egzotermicznych, wybuchowych i/lub prowadzonych z użyciem wysokotoksycznych materiałów. Szczególna uwagę poświęca się ostatnio reakcjom nitrowania węglowodorów, tzw. reakcjom wysokoenergetycznym. Podstawowym zagadnieniem jest tu integracja mikroreaktorów z czujnikami ciśnienia o znikomo małej objętości martwych, odpornych na stężony i gorący kwas azotowy i siarkowy i ich mieszaniny. Taki



Rys. 1 Mikroreaktor do prowadzenia reakcji nitrowania; a) krzemowo-szklany chip z widocznymi czujnikami ciśnienia i wgłębieniami na czujniki temperatury, b) mikroreaktor w obudowie z wymiennikami ciepła, c) mikrofabryka *desk-top* z mikroreaktorem ze szkła Foturan®



Rys. 2 Laboratorium chipowe PCR/DNA; a) chip z SU8 opracowany w firmie Ikerlan, b) widok komory reakcyjnej w trakcie namnażania próbki, widoczny strumień światła lasera 635 nm wzbudzający fluorescencję, c) S-krzywa wskazująca na obecność *Campilobacteris*, czułość detekcji około 5 ng DNA/ml



Rys. 3 Mikrocytometr a) krzemowo-szklany chip z widocznymi mikrokanałami cieczowymi i kanałami do montażu światłowodów włóknistych, b) fragment chipu z włóknami światłowodowymi c) krzywe spektralne dla próbki ze znacznikiem fluoroforowym.

mikroreaktor (Rys. 1a), wytworzony metodami mikroinżynieryjnymi z krzemu monokrystalicznego i szkła borokrzemowego Pyrex® lub ze szkła Foturan® (Rys 1 b), z wielopunktowym pomiarem temperatury

i ciśnienia wewnątrz mikrokanałów reakcyjnych wytworzono ostatnio w ramach jednego z projektów PR6 Unii Europejskiej [1] przy znacznym udziale autora wraz z zespołem. Przemysłowi partnerzy w tym projekcie zastosowali relacjonowane tu rozwiązanie w konstrukcji mikrofabryki chemicznej „na stole" (tzw. *desk-top installation*), której wygląd przedstawia Rys. 1 c, o zdolności produkcyjnej około tony TNT lub TGE rocznie. Otrzymano bardzo znaczące zwiększenie bezpieczeństwa produkcji, spodziewana jest również duża redukcja kosztów.

Badanie europejskie nad laboratorium chipowym do namnażania i detekcji i analizy w czasie rzeczywistym materiału genetycznego patogenów żywności, metodą polimerazy łańcuchowej (PCR) prowadzone są od kilku lat w konsorcjum z udziałem strony polskiej (ITE w Warszawie i WEMiF PWr). Chip PCR/DNA wytworzony jest z SU8 (Rys. 2 a), zastosowano detekcję fluorometryczną z wykorzystaniem dwóch chromoforów (TO-PRO3 i Cy5) i specjalnego systemy eksperckiego „obrabiającego" obrazy obszaru mikroreakcji na chipie. W wyniku prac, powstało unikalne urządzenie, zdolne do prowadzenia procedury PCR i automatycznej detekcji DNA (Rys 2b i c) wybranych patogenów w czasie poniżej 20 minut. Zastosowanie mikroinżynieryjnych metod wytwarzania chipów i zintegrowanych z nimi układów mikrooptycznych on-chip pozwala na około stukrotną obniżenie ceny przenośnego urządzenia medycznego przewidzianego do szerokie zastosowania w UE.

W ostatnim czasie, środowisko hodowców bydła zwróciło uwagę na niedostateczną jakość zarodków wysokokwalifikowanego bydła mięsnego, które są masowo wykorzystywane przy zmianie stad mlecznych na mięsne. W odpowiedzi, rozpoczęto w Polsce pracę nad mikrocytometrami foto i fluoro-metrycznymi, które zdolne będą do półautomatycznej, kwantytatywnej selekcji zarodków. Chip cytometru (Rys. 3 a) wytworzono z krzemu trawionego głęboko metodą DRIE z pokrywą szklaną zbondowaną anodowo. W odpowiednio uformowanych rowkach umocowano światłowody wprowadzające i wyprowadzające sygnały optyczne, chip wyposażono w mikrokanały cieczowe do manipulacji zarodkami i komorę pomiarową o objętości kilkuset pikolitrów. Chip współpracuje z kilkoma źródłami światła (UV, niebieskie, zielone, czerwone) co umożliwia równoczesna analizę optyczną dla wielu długości fali. Możliwa jest również praca w widmie ciągłym w zakresie UV/VIS/NIR (do ok. 1300 nm).

Przedstawione tu przykłady obrazują wybrane prace nad mikrochipami chemicznymi i biochemicznymi, jakie są realizowane w UE ze znaczącym udziałem Polski. Tematyka ta powinna być ze wszech miar rozwijana, wydaje się, dobre zasoby że wysokokwalifikowanej kadry naukowej i wymagana tu interdyscyplinarność są tu znaczącym atutem.

ALEKSANDRA NOWICKA*, TOMASZ KOWALCZYK**, TOMASZ A. KOWALEWSKI **, DANEK ELBAUM*

BIOLOGICZNE ZASTOSOWANIA NANOCZĄSTEK I NANOSTRUKTUR

BIOLOGICAL APPLICATIONS OF NANOPARTICLES AND NANOSTRUCTURS

* Instytut Fizyki, PAN, al Lotników 32/46, 02-668 Warszawa, elbaum@ifpan.edu.pl
**Instytut Podstawowych Problemów Techniki, PAN, ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa.

Słowa kluczowe: Nanocząsteczka, elektroprzędzenie, nanotransportery

Jedną z najbardziej czułych i specyficznych metod diagnostycznych pozwalającą na wczesne rozpoznanie wielu chorób jest monitorowanie patologicznych zmian już na poziomie komórki. Nowym obszarem poszukiwań takich metod stały się biologicznie aktywne nanocząstki i nanostruktury. Mimo dynamicznego rozwoju nanotechnologii badania nad zastosowaniem nanomateriałów w biologii i medycynie znajdują się obecnie w początkowej fazie rozwoju. W wystąpieniu zostaną zaprezentowane nasze najnowsze wyniki badań prowadzonych w tym kierunku. Optymalizując warunki elektroprzędzenia uzyskaliśmy nanowłókna białkowe składające się z albuminy oraz biodegradowalnego polimeru PEOX-poli(tlenek etylenu). Istotnym jest, że konformacja albuminy nie została naruszona w trakcie tworzenia włókien. Otrzymane włókna po związaniu FITC (izotiocyjanianem fluoresceiny) utworzyły fluorescencyjne, fibrylarne struktury, których biomedyczne zastosowania zostaną omówione na wykładzie. Innym, bardzo ważnym aspektem zastosowań nanocząsteczek w medycynie i biologii jest ich zdolność do przechodzenia przez błonę komórkową do cytozolu komórki. Patofizjologia wielu chorób często jest wynikiem defektów w prawidłowym funkcjonowaniu komórki. Monitorowanie stanu komórki i prawidłowości jej funkcjonowania wymaga odpowiednich nanotransporterów umożliwiających nieinwazyjny transport nanosond do wnętrza żywych komórek. Zastosowanie techniki endocytozy umożliwia transport fluorescencyjnych kropek kwantowych (sond fluorescencyjnych nowej generacji) do wnętrza komórki. Przetransportowane do wnętrzu komórki, biofunkcjonalizowane kropki kwantowe są w stanie pełnić role biosensorów. W oparciu o otrzymane wyniki przedyskutowane zostaną właściwości oraz potencjalne zastosowania uzyskanych przez nas materiałów w biologii i medycynie.

A. GAŁĘSKI i E. PIÓRKOWSKA

NANOKOMPOZYTY Z UDZIAŁEM POLIMERÓW TERMOPLASTYCZNYCH

Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych, Polska Akademia Nauk
90 363 Łódź, Sienkiewicza 112, andgal@cbmm.lodz.pl, epiorkow@cbmm.lodz.pl

Dokonano przeglądu stanu wiedzy w dziedzinie nanokompozytów polimerowych – matriałów o matrycy polimerowej, w której rozproszone są nanocząstki innej substancji. Przedstawiono zagadnienia dotyczące wielu grup nanokompozytów ze zwróceniem uwagi na nanokompozyty z warstwowymi glinokrzemianami, rurkami nanowęglowymi i wybranymi nanoproszkami. Omówiono metody wytwarzania nanokompozytów, jak również ich właściwości. Szczególną uwagę zwrócono na nanokompozyty z warstwowymi glinokrzemianami, że względu na ich coraz bardziej rozpowszechnione zastosowania.

Nanokompozyty polimerowe z udziałem nano-warstwowych glinek są nową klasą materiałów charakteryzujących się zwykle zwiększoną barierowością na dyfuzję gazów, zredukowaną palnością i właściwościami mechanicznymi zmodyfikowanymi w porównaniu z niemodyfikowanymi polimerami. Metody eksfoliacji płytek nano-glinek zostały już opracowane dla szeregu polimerów. Dla wielu polimerów okazało się konieczne użycie polimerowych kompatybilizatorów, oprócz modyfikacji glinki solami organicznymi. Inne takie jak poliamidy nie wymagają kompatybilizatorów. Inną drogą wspomagania eksfoliacji płytek nano-glinek jest użycie tzw. promotorów eksfoliacji (EP). Woda jest dobrym EP dla niektórych glinek typu montmorylonitu (MMT), podczas gdy dla MMT modyfikowanych EP powinny być pieczołowicie dobrane ze względu na rodzaj modyfikacji [1].

Badania krystalizacji nanokompozytów z udziałem izotaktycznego polipropylenu (iPP) i modyfikowanym organicznie MMT wykazały słabą intensywność zarodkowania krystalizacji w warunkach stacjonarnych. Natomiast aktywność zarodkowania krystalizacji polimeru przez eksfoliowną glinkę dramatycznie zwiększa się podczas przepływów ścinających i powoduje silny spadek rozmiarów sferolitów. Płaszczyzny krystalograficznie (010) odmiany alfa kryształów iPP wykazują wtedy silną orientację w kierunku równoległym do ścinania.

Poprawa właściwości mechanicznych nanokompozytów z udziałem MMT zwykle nie jest wielka, a wynika to z pofałdowania i powyginania eksfoliowanych płytek MMT. Wtedy przyłożone naprężenie powoduje wpierw wyprostowanie płytek MMT a dopiero potem gdy są wyprostowane potrafią one przejąć obciążenie.

Mieszanie w stanie stopionym i jakikolwiek inny proces przetwórczy wymagający przepływu ścinającego powoduje nieodwracalną orientację eksfoliowanych płytek MMT. Jest to zjawisko korzystne w przypadku wytwarzania filmów z rozdmuchem, gdyż orientacja płytek MMT równolegle do powierzchni filmu powoduje silny wzrost barierowości.

Badania termooksydacji i termicznej stabilności nanokompozytów z w pełni eksfoliowanymi płytkami MMT poprzez równoczesne pomiary DSC i TGA w szerokim zakresie temperatur 20-500°C pozwalają na precyzyjną identyfikację specyficznych mechanizmów degradacji w tlenowej i beztlenowej atmosferze.
Podczas mieszania ścinającego polilaktydu (PLA) z MMT istotny okazał się czas mieszania, co świadczy o innym niż wpełzanie makrocząsteczek w galerie MMT mechanizmie prowadzącym do eksfoliacji. Przy przedłużeniu procesu mieszania do 30 min uzyskano pełną eksfoliację MMT w PLA potwierdzoną badaniami w mikroskopii elektronowej transmisyjnej oraz w dyfrakcji rentgenowkiej. Uzyskano wzrost stabilności termicznej, spadek zdolności do krystalizacji, wzrost HDT i modułu sprężystości oraz wzrost barierowości na dyfuzję gazów.

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

[1]. Zgłoszenie patentowe RP (P-38173), PCT/PL2007/000079 "The manner of making polymer nanocomposites" J.Morawiec, A.Gałęski, J.Gołębiewski, J.Dzwonkowski.

JÓZEF GIERGIEL

NANOMECHANIKA i NANOROBOTYKA

Politechnika Rzeszowska, ul. W.Pola 2, 35-959 Rzeszów

W referacie przedstawiono definicje nanotechnologii i wynikające z niej inne nauki w skali nano. Ponieważ naczelną ideą nanotechnologii jest samoreplikacja wiec pokazano te zagadnienie historycznie uzasadniając, że życie powstało w skali naono, następnie pojawiło się w skali mikro i wreszcie w skali makro. Obecnie obserwuje się zagadnienie odwrotne tego zjawiska. Pokazano, iż komórka jako najmniejsza budulcowa i funkcjonalna jednostka organizmów żywych, pojawiła się już około 3,5 mld lat temu. Będąc „ośrodkiem" zdolnym do przeprowadzania wszystkich podstawowych procesów życiowych (np. wzrost, przemiana materii) staje się przedmiotem obserwacji m.in. przez bionanotechnologów i jak na razie jest niestety niedoścignionym wzorem do naśladowania. Bardzo istotną jest więc możliwość wykonania „sztucznej komórki".

Nanotechnologię jako naukę definiujemy jako produkcję z wykorzystaniem technologii w celu osiągnięcia bardzo wysokiej dokładności i wyjątkowo małych wymiarów, tzn. precyzji rzędu 1 nm. Pokazano, że jest nauką interdyscyplinarną. Podstawowym tworem nanomechaniki są asemblery, czyli nanoroboty Z rozważaną problematyką związane są pojęcia NEMS-ów, pozwalające na manipulację pojedynczymi atomami.

Podano, że Techniki: Scanning Microscopy Electron (SEM) i Atomic Microscopy Force (AFM) rozwinęły się w celu zbudowania optycznego i sensorycznego interfejsu, by umożliwić badania i kontrolę nad molekularnymi urządzeniami. Innym sposobem na badanie atomów jest wirtualna rzeczywistość (VR), będąca jeszcze w trakcie badań. Zastosowanie wirtualnej rzeczywistości (VR) nie tylko umożliwia wizualizację, ale pozwala na nawigację i interakcyjną manipulację molekularnych przedmiotów.

Pokazano, że przy projektowaniu w bionanorobotyce należy wziąć pod uwagę regułę organizacji modułowej. Założeniem konstrukcji modułowej jest zaprojektowanie uniwersalnego schematu dla wszystkich bionanosystemów, dzięki temu mogły by one być programowane i tworzone według bio-nanokodu. Koncepcja ta opiera się na komórkach ludzkich, dlatego ich odwzorowanie jest tak niezmiernie ważne.

W projektowaniu wyróżniono cztery etapy:

- rozwój bio-nanokomponentów jako biologicznych układów nanorobotyki,
- połączenie funkcjonalnie stabilnych bio-nanokomponentów w kompleksowe obiekty,
- rozwój sterowania i programowania bio-nano roju zdolnego do wykonania kompleksowych zadań i współpracy z podobnymi jemu strukturami,
- zbudowanie algorytmu umożliwiającego automatyczną fabrykację.

Wyjaśniono, że aby poprawnie zaprojektować układ, potrzebne są właściwie przeprowadzone obliczenia przy czym o dyspozycji są różne metody obliczeń, takie jak:

- empiryczne metody pola sił - ruch elektronów jest zaniedbany, a energia układu jest obliczona w oparciu o pozycję jądra w konfiguracji molekularnej. Podstawową aproksymacją jest aproksymacja Born-Oppenheimer.
- metoda minimalizacji energii - punkty na hiperpowierzchnii (powierzchni energii potencjalnej) są obliczone dla minimalnej wartości funkcji.
- metody symulacyjne dynamiki cząstek - symulacje opierają się o wyliczoną ilość energii, która jest uwalniana przy przejściu z jednej konfiguracji do innej.
- kinematyczna symulacja molekularna - analiza ta wyznacza geometryczne trajektorie, które mogłyby zostać wykorzystane przez bio-cząsteczkę podczas przejścia od konfiguracji początkowej do konfiguracji końcowej.

- rozpoznawania obrazów i funkcje grupowania - Pierwsza funkcja określa i rozpoznaje równoważne moduły w układzie molekularnym. Druga funkcja tworzy grupy różnych modułów na podstawie ich charakterystycznych zachowań w oparciu o identyfikacje ich przez funkcje pierwszą oraz znajduje ich odmiany w funkcji czasu.

Pokazano, że pomocnym narzędziem przy projektowaniu jest program Nanoengineer będący przedstawicielem grupy ***„CAN" Computer Aided Nanodesign.*** Za jego pomocą można projektować model, symulować zachowanie obiektu, otrzymywać i analizować wykresy.

W referacie przedstawiono szereg zbudowanych nanorobotów i ich zastosowanie w różnych gałęziach szeroko rozumianego przemysłu. Wyjaśniono, ze nie ma chyba dziedziny, w której nie znalazłaby zastosowania nanotechnologia. Poprzez medycynę i informatykę, stosowana może być w takich branżach jak przemysł włókienniczy i samochodowy, do produkcji niebrudzących się ubrań czy też do różnego rodzaju specjalnych lakierów. Dużą nadzieją z nową nauka wiąże wojsko, które wykorzysta ją m.in. do systemów nawigacyjnych, układów obserwacyjno-celowniczych, zapalniki, układów rozpoznania swój-obcy, noktowizorów. Ogromne zastosowanie będzie miała także w celach cywilnych, np. nanoczujniki w biologii i medycynie, miniaturowe przyrządy analityczne w biochemii, sprzęt kardiologiczny, urządzenia do wstrzykiwania leków (np. insuliny), sprzęt neurologiczny, zautomatyzowane układy bezpieczeństwa w samochodach, elementy sieci światłowodowych, pamięci komputerów, przetwarzanie sygnałów elektromechanicznych, urządzenia do monitorowania i diagnozowania konstrukcji.

Podkreślono, że pomimo wielu zalet i wielkich nadziei, nanotechnologia posiada również swoją „ciemną stronę". Jest nią mianowicie możliwość wykorzystania jej nie do tworzenia, lecz także do niszczenia. Głównym problemem może stać się terroryzm, jako że terroryści chętnie sięgną po broń, którą łatwo ukryć, która jest niewykrywalna przez obecne systemy zabezpieczeń, czy też po nanoczujniki, nanokamery i wszelkie inne urządzenia, które niezmiernie łatwo wykorzystać do inwigilacji. Innym problemem jest sprawa toksyczności nanomateriałów. Ponieważ badania nad nanotechnologią wciąż nie są do końca znane, nie wiadomo jak na środowisko wpłyną, nanocząstki. Jeszcze inny problem to kwestia natury etyczno-społecznej. To m.in. uzależnienie od nanorobotów, możliwość kontrolowania zachowania osób poprzez nanoroboty, czy też możliwość dostępu do nanotechnologii przez państwa albo obywateli.

W podsumowaniu zwrócono uwagę ze, nanotechnologia, nanomechanika i nanorobotyka są naukami przyszłości, dającą wielkie możliwości. Z każdym dniem powstają coraz to doskonalsze nanourządzenia, coraz więcej dowiadujemy się na temat tworzenia tychże urządzeń. Należy być jednakże świadomym ryzyka, jakie niesie ze sobą nieodpowiednie wykorzystanie tej technologii, a co za tym idzie możliwie wcześnie przeciwdziałać wszelkim zagrożeniom, tak by nauka służyła człowiekowi, a nie niszczyła czy to rodzaj ludzki, czy też środowisko.

MICHAEL GIERSIG

NANOMATERIALS AND THEIR APPLICATION IN BIOMEDICINE

Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH
Glienicker Str. 100; D-14109 Berlin
e-mail: giersig@helmholtz-berlin.de

The goals of these lectures will lie in the studies of unusual properties of nanomaterials. A small particle size implies high sensitivity and selectivity. These new effects and possibilities are mainly due to quantum effects that are a result of the increasing ratio of surface to volume atoms in low-dimensional systems. Beside the preparation of nanometer-sized semiconductor, metallic, and magnetic particles, followed by the creation of periodically ordered nanostructures (1-D, 3-D) based on single Nanoparticles, we will present mechanical properties of individual and organized nanostructures based on multi walled carbon nanotubes (MWCNT). An important factor in this context so far has been the design and fabrication of nanocomponents with/displaying new functionalities and characteristics for the improvement of existing materials; including biocompatible materials, conductive materials, polymers and composites. With this concept of nanotechnology in mind, we will also show innovative products and their application in biomedicine. In particular, a novel type of carbon nanotube-based matrices used as a cell growing scaffold. The growth behavior of human osteoblast cells, including morphology, metabolic activity and adhesion, was explored by using SEM observation and cell viability assay. We used atomic force microscopy to evaluate the biocompatibility of carbon nanotube-based scaffolds by investigating the adhesion behaviour of growing cells. The elevated Young's modulus of osteoblasts adhered to our two-dimensionally ordered scaffolds and provide evidence that produced MWCNTs matrices can mimic the nanotopography of the native extracellular matrix and, have an immense potential for application in tissue engineering.

ROBERT HOŁYST

LEPKOŚĆ I DYFUZJA W PŁYMACH ZŁOŻONYCH: OD SKALI NANO DO SKALI MAKRO

VISCOSITY AND DIFFUSION IN COMPLEX LIQUIDS: FROM NANO TO MACROSCALE

IChF PAN, Zakład Fizykochemii Miękkiej Materii, Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa
holyst@ptys.ichf.edu.pl

Słowa kluczowe: lepkość, wzór Stokesa-Einsteina, twierdzenie fluktuacyjno-dyssypacyjne

W płynie złożonym (np. roztworach polimerów lub surfaktantów) istnieje wiele skal długości określających hierarchiczne uporządkowanie układu (np. rozmiar cząsteczek rozpuszczalnika i rozmiar struktur tworzonych przez polimery (promień zyracji)). W takich układach lepkość makroskopowa jest z reguły rzędy wielkości większa niż lepkość rozpuszczalnika. Wynika stad, że współczynnik dyfuzji próbnika będzie zależał od jego rozmiarów dużo silniej niż wynikałoby to ze wzoru Stokesa-Einsteina. Próbnik o rozmiarach porównywalnych z rozmiarami cząsteczki rozpuszczalnika będzie w trakcie ruchu odczuwał lepkość rozpuszczalnika, natomiast próbnik o dużych rozmiarach będzie czuł lepkość makroskopowa. Pokaże jak można wyznaczyć te lepkość oraz skale długości (rozmiarów próbnika) przy której lepkość w skali nano osiąga wartość makroskopową. Interesujące jest to, ze lepkość staje się funkcją rozmiarów obiektu, który porusza się w płynie. Do wyznaczenia lepkości w nanoskali używamy elektroforezy kapilarnej, mikroskopu konfokalnego z korelacja fluorescencji oraz dynamicznego rozpraszania światła. Pomiary wykonaliśmy dla układu roztworu wodnego niejonowego surfaktantu ($C_{12}E_6$) w dużym zakresie stężeń (do 38% w/w) oraz dla próbników(białka, koloidy, nanocząstki i dane literaturowe dla deuterowanej wody) o rozmiarach od 0,28 nm do 200 nm.

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

[1] Szymanski J., Poboży E., Trojanowicz M., Wilk A., Garstecki P., i Holyst R. *Net Charge and Electrophoretic Mobility of Lysozyme Charge Ladders in Solutions of Nonionic Surfactant* J.Phys.Chem. B 2007, vol 111, 5503-5510.

[2] Szymanski J., Wilk A., Hołyst R., Roberts G., Sinclair K. i Kowalski A., *Micro- and macro-shear viscosity in dispersed lamellar phases* J.Non-Newtonian Fluid Mech. 2008, vol.148,134-140.

[3] Szymanski J., Patkowski A., Wilk A., Garstecki P., i Holyst R. *Diffusion and Viscosity in a Crowded Environment: from Nano- to Macroscale* 2006, vol 110, 25593-25597.

[4] Szymanski J., Patkowski A., Gapinski J., Wilk A. i Holyst R. *Movement of Proteins in an Environment Crowded by Surfactant Micelles: Anomalous versus Normal Diffusion* 2006 vol 110, 7367-7373.

KRIS KEMPA

PLASMON POLARITONS IN NANOSTRUCTURES

Boston College, USA

Interaction of light with matter involves various charge excitations. These, in turn couple to photons, and thus modify the light propagation, leading to polaritons. This process is enhanced in nanostructures, which due to their sizes provide necessary momentum for an efficient coupling. This talk will discuss various plasmonic effects in nanostructures, and the corresponding polaritons. Conceptually simplest are metallic nanoparticles, which support the Mie-type plasmon resonances. A much more complicated system is the carbon nanotube, which supports numerous plasmon modes, and in which a cross-dimensional (1D to 2D to 3D) cross-over occurs. To a special category belong polaritonic crystals, simplest of which is the 3D point dipole crystal, host to various polaritonic, plasmonic and photonic modes. Finally, the discretely guided effective medium will be discussed, based on nanocoaxial, subwavelength transmission lines. This medium allows for a remarkable manipulation of light, which could lead to optical lensing free of the diffraction limitation, image encoding, negative refraction, cloaking, etc.

JACEK MARCZEWSKI, PIOTR GRABIEC, KRZYSZTOF DOMAŃSKI

MOŻLIWOŚCI ZAKŁADU TECHNOLOGII MIKROSYSTEMÓW I NANOSTRUKTUR KRZEMOWYCH INSTYTUTU TECHNOLOGII ELEKTRONOWEJ W WARSZAWIE

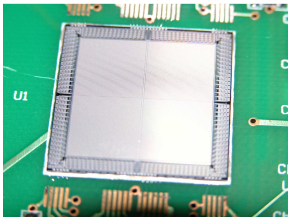
Instytut Technologii Elektronowej, Al. Lotników 32/46, Warszawa 02-668

Celem prac badawczych i rozwojowych prowadzonych w Zakładzie jest zapewnienie organizacjom przemysłowym oraz środowisku naukowemu dostępu do zaawansowanej mikro- i nanotechnologii przyrządów i systemów krzemowych. Tak więc, zakres prac prowadzonych w Zakładzie obejmują szeroki obszar technologii krzemowej, począwszy od fotodetektorów i detektorów promieniowania poprzez układy scalone aż po czujniki i mikrosystemy (MEMS i MOEMS), ze szczególnym naciskiem na integrację różnych technologii i przyrządów dla zastosowań interdyscyplinarnych. Znaczące wyniki uzyskane we współpracy z naszymi partnerami w badaniach nad technologią mikro- i nano-sond krzemowych wprowadziły nas w fascynujący świat nano-technologii.

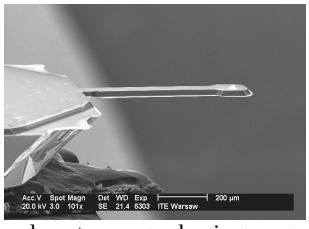
Oparte na ponad 30-letnim doświadczeniu w dziedzinie technologii materiałów i przyrządów krzemowych badania prowadzone w Zakładzie koncentrują się na opracowaniu rozwiązań dostosowanych do potrzeb klienta, zapewniając naszym partnerom dostęp do wszystkich etapów procesu B+R, poczynając od oceny koncepcji i studium możliwości, poprzez wybór właściwego rozwiązania technicznego, przeprowadzenie niezbędnych prac badawczych, aż po opracowanie modelu i prototypu specjalizowanego przyrządu.

Zakład Technologii Mikrosystemów i Nanostruktur Krzemowych wyposażony jest w linię technologiczną CMOS, umożliwiającą prowadzenie prac Badawczo-Rozwojowych w obszarze mikroelektroniki i mikro-inżynierii krzemowej aż do etapu prototypu i produkcji pilotowej. Urządzenia zainstalowane w pomieszczeniu czystym o powierzchni 1200m^2 (Clean Room o klasie czystości od 10 do 1000) umożliwiają prowadzenie prac technologicznych w zakresie technologii do 3□m na płytkach o średnicy 76mm i do 0.9□m na płytkach o średnicy 100mm.

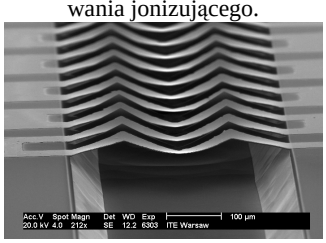
Silną stroną Zakładu jest głębokie doświadczenie w szerokim zakresie technologii krzemowej połączone z możliwością realizacji produkcji pilotowej. Pierwsza z tych cech umożliwia transfer wiedzy i doświadczeń pomiędzy różnymi rodzajami technologii, jak na przykład z technologii CMOS do technologii sensorów i detektorów i vice-versa. Druga, prowadzenie prototypowania i produkcji małoseryjnej, stabilizuje technologię i weryfikuje rzeczywistą przydatność opracowań. Poniżej kilka spektakularnych przyrządów wytworzonych w Zakładzie.



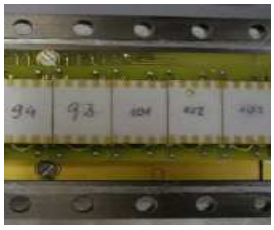
Pierwszy na świecie monolityczny detektor SOI promieniowania jonizującego.



Mikrosonda optycznego skaningowego mikroskopu bliskiego pola.



Grzejnik monolitycznego mikroreaktora.



Detektor chromatograficzny, który umożliwił odkrycie nowego pierwiastka

LUDMIŁA SKUBISZAK

NANOMECHANIKA = BIOMECHANIKA

Instytut Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN,
02-109 Warszawa, ul. K. Trojdena 4,
lskubiszak@ibib.waw.pl

Nanomechanika jest dziedziną zajmującą się badaniem struktury i zasad funkcjonowania silników na poziomie jednej bilionowej metra, czyli na poziomie, na którym odbywają się wszystkie procesy odpowiedzialne za generację ruchu w każdej żywej komórce. Dlatego można powiedzieć: „Nanomechanika to biomechanika".

Jednym z najlepiej poznanych silników biologicznych jest mięsień. Niestety, ani struktura molekularna mięśni, ani mechanizm generacji siły w nim nie są do końca wyjaśnione. Najbardziej rozpowszechnioną jest obecnie hipoteza huśtających się dźwigni (Huxley 2004). Zgodnie z tą koncepcją, siła generowana jest w wyniku zmian konformacyjnych zachodzących w globularnej części miozyny, czyli w główce. Na podstawie tej hipotezy każdy biosilnik jest obecnie przedstawiany jako szyna, po której przemieszcza się białko-motor. Do motorów zaliczane są takie białka jak miozyna, kinezyna i dyneina; filamenty aktynowe i microtubule kwalifikowane są jako szyny.

Idea mechanizmu generacji siły w komórkach w wyniku zmian strukturalnych białek kroczących po szynie zawierającej inne białko pojawiła się w drugiej połowie lat osiemdziesiątych (Spudich, Kron et al. 1985; Harada, Noguchi et al. 1987; Hynes, Block et al. 1987; Toyoshima, Kron et al. 1987). W tym samym czasie pojawiła się również idea stworzenia nanorobota (Drexler, 1986). Według wizji Drexler'a, nanorobot jest przyszłością medycyny; umieszczony w organizmie, będzie on wyłapywać uszkodzone białka, syntezować nowe i wbudowywać je do poszczególnych organelli komórki. Optymiści twierdzą, że nanorobot może powstać w ciągu 10-20 lat. Wydaje się to jednak niemożliwe, ponieważ poprzez miniaturyzację znanych obecnie rozwiązań technicznych można osiągnąć zaledwie poziom mikro. Zasady funkcjonowania silników wykorzystujących własności molekuł są zupełnie inne; w biosilniku nie można oddzielić przetwornika energii od paliwa i sterownika. Zmiany konformacyjne w białku (często nazywanym motorem) występują w wyniku oddziaływania chemicznego ze strukturą nadmolekularną (czyli. szyną), są ściśle skoordynowane z cyklem hydrolizy ATP (lub GTP) odbywającej się na tym białku i są kontrolowane poprzez białka regulatorowe wchodzące w skład szyny.

W referacie zostaną przedstawione argumenty podważające istniejące w literaturze modele generacji siły w biosilnikach. Przedstawiony zostanie model opracowany na podstawie rekonstrukcji komórki mięśniowej, ale przypuszczalnie będący uniwersalnym dla wszystkich biosilników. Siła generowana jest w wyniku zmian konformacyjnych w szynie.

GWIDON SZEFER

MODELOWANIE STANÓW NAPRĘŻEŃ I DEFORMACJI NANO-STRUKTUR MATERIALNYCH

Politechnika Krakowska, Instytut Mechaniki Budowli,
e-mail <szefer@limba.wil.pk.edu.pl>

Analiza naprężeń i deformacji struktur materialnych w nanoskali jest tematem intensywnych badań w mechanice oraz w nauce o materiałach (inżynierii materiałowej). W badaniach tych dają się zaobserwować dwa wychodzące siebie naprzeciw podejścia: z jednej strony naturalne dla skali atomowej metody mechaniki kwantowej (ab initio) oraz dynamiki molekularnej uzupełniane są typowymi dla mechaniki fenomenologicznej pojęciami i obiektami takimi jak tensory naprężeń i odkształceń, miary wytężenia, naprężenia momentowe, gradienty odkształceń itp. – z drugiej strony charakterystyczny dla makroskali opis kontynualny (pręty, belki, płyty, kontinuum trójwymiarowe) modyfikowany jest, równaniami konstytutywnymi wynikającymi z oddziaływań międzyatomowych. Jest przy tym rzeczą zadziwiającą i zarazem obiecującą, że obydwa podejścia nie tylko się uzupełniają ale dostarczają rezultaty jakościowo zgodne oraz ilościowo akceptowalne.

W pracy niniejszej przedstawiamy problemowo obydwie tendencje: dla dostatecznie gęstego zbioru punktów materialnych (atomy, molekuły) omawiamy krótko kinematykę oraz dynamikę układu dyskretnego w ramach teorii odkształceń skończonych; ponadto zaś na przykładzie nanorurek węglowych (CNT) prezentujemy ich modelowanie zarówno molekularne jak i kontynualne. Podane będą wyniki obliczeń (mapy naprężeń oraz konfiguracje po deformacji) dla tarczy ze szczeliną jak i dla nanorurek (dla różnych typów chiralności) oraz nanokompozytów. W obliczeniach wykorzystujemy programy komputerowe dynamiki molekularnej oraz metodę elementów skończonych. Prezentację kończymy wnioskami oraz perspektywą dalszych badań.

PIOTR SZYMCZAK [1], MAREK CIEPLAK [2]

ZMIANY KONFORMACJI MOLEKUŁ BIAŁEK POD WPŁYWEM SIŁ MECHANICZNYCH I HYDRODYNAMICZNYCH

CONFORMATIONAL CHANGES OF PROTEINS INDUCED BY MECHANICAL AND HYDRODYNAMIC FORCES

[1] Instytut Fizyki Teoretycznej, Wydział Fizyki UW, Hoża 69, 00-681 Warszawa
Piotr.Szymczak@fuw.edu.pl
[2] Instytut Fizyki PAN, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa , mc@ifpan.edu.pl

Słowa kluczowe: nanomanipulacja, białka, mikroskop sił atomowych

W wyniku intensywnego rozwoju technik nanomanipulacji w ostatnich latach pojawiły się możliwości badania pojedynczych molekuł za pomocą metod mechanicznych. Jeden ze sposobów takiej manipulacji polega na zaczepieniu jednego z końców biomolekuły na podłożu, a drugiego końca na ostrzu przymocowanym do dźwigni mikroskopu sił atomowych.

Następnie, poprzez przesuwanie dźwigni na molekułę wywierana jest siła, która powoduje zmiany konformacyjne w białku, związane z pękaniem wiązań między grupami aminokwasów i rozwijaniem się kolejnych struktur wewnątrz molekuły. Taka nanomanipulacja mechaniczna pozwala też na badanie elastyczności struktur białkowych oraz ich wytrzymałości.

W referacie zostaną omówione podstawowe wyniki doświadczalne dotyczące tego procesu oraz próby jego zrozumienia na gruncie teoretycznym jak i poprzez symulacje komputerowe z wykorzystaniem gruboziarnistego modelu białka. Następnie przedstawiony zostanie alternatywny sposób rozciągania biomolekuł - z wykorzystaniem przepływu hydrodynamicznego.

Jak się okazuje, przebieg procesu rozciągania w tym przypadku w istotny sposób różni się od rozciągania mechanicznego za pomocą mikroskopu sił atomowych. Przyczyną fizyczną tych różnic jest fakt, iż w przypadku rozciania mechanicznego siła przyłożona jest tylko do jednego (zwykle ostatniego) aminokwasu w białku, podczas gdy w przypadku rozciągania przez przepływ siła oporu hydrodynamicznego działa na wszystkie aminokwasy (patrz rys.).

Rysunek przedstawia schemat rozciągania mechanicznego (z lewej) oraz hydrodynamicznego (z prawej) biomolekuł.

Sprawia to, iż podczas rozciągania w przepływie molekuła białka przechodzi przez więcej metastabilnych stanów pośrednich, a także widoczna jest silna asymetria między różnymi sposobami zaczepienia molekuły (za jeden z końców bądź inny aminokwas). Dzięki tym różnicom rozciąganie mechaniczne i

hydrodynamiczne białek traktować można jako odrębne, lecz komplementarne sposoby badania własności elastycznych biomolekuł.

KAZIMIERZ SOBCZYK

MORFOLOGICZNA LOSOWOŚĆ MIKROSTRUKTUR MATERIAŁOWYCH: „MODELE STOCHASTYCZNE I ESTYMACJA NAPRĘŻEŃ”

Kazimierz Sobczyk
Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN,
Uniwersytet Warszawski – Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki, Warszawa
E-mail: ksobcz@ippt.gov.pl

Słowa kluczowe: modelowanie matematyczne, nanomateriały

Obserwacja wewnętrznej struktury różnych materiałów (naturalnych i wytworzonych technologicznie) wykazuje istotną morfologiczną złożoność i niejednorodność. Chociaż „fizyczna” natura tej morfologii jest różna w każdym z badanych przypadków, to jednak wszystkie rozpatrywane sytuacje mają wspólną cechę – istnienie pewnej „podstawowej” struktury w skalach małych w porównaniu z charakterystycznym (makroskopowym) rozmiarem elementu materialnego; tę „mało-skalową” strukturę materialną nazywamy zwykle *mikrostrukturą* (cf.[1]). Mikrostruktura większości materiałów technicznych jest geometrycznie, topologicznie i chemicznie wysoce nieuporządkowana. Więcej, w sposób oczywisty obserwowana jest przestrze na *losowość* realnych mikrostruktur materiałowych.

Jak rozpoznawać i charakteryzować matematycznie (*modelować*) owe różnorakie skomplikowane mikrostruktury realnych materiałów? Inny, ściśle związany z powyższym, problem to *rekonstrukcja* podstawowych cech losowych mikrostruktur na podstawie niepełnej informacji empirycznej. Problemem zasadniczej ważności dla mechaniki i technologii materiałów jest rozpoznawanie i ilościowe charakteryzowanie *naprężeń* wewnętrznych zlokalizowanych w mikrostrukturze (mikro-naprężeń) – będących siłą sprawczą mikro-uszkodzeń i rozwoju pęknięć.

Celem referatu jest przedstawienie podejmowanych obecnie wysiłków badawczych i istniejących rezultatów dotyczących problemów wskazanych wyżej. W szczególności przedstawione zostaną zwięźle modele stochastycznej geometrii mikrostruktur, w których niejednorodność ma charakter losowy i „dyskretny” w przestrzeni oraz losowe mikrostruktury geometryczne – ziarniste – właściwe dla jednofazowych materiałów polikrystalicznych. Naszkicowane zostaną także możliwe podejścia do modelowania losowych mikronaprężeń oraz (jeśli czas pozwoli) wpływu owych mikronaprężeń na pękanie. Podstawą prezentacji są następujące prace.

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

[1] Sobczyk K., Kirkner B.D. „Stochastic Modeling of Microstructures”, Birkhauser, Boston, 2002
[2] Sobczyk K. “Reconstruction of random material microstructures: patterns of maximum entropy”, Probabilistic Eng. Mech. (Elsevier), 18, 279-287, 2003
[3] Sobczyk K., Trębicki J., Movchan A.B. „Crack path in an elastic material with a random array of small defects”,ntern. J. of Fracture (Kluwer-Elsevier), 125, 103-123, 2004
[4] Sobczyk K., “Characterization of random microstructural stresses and fracture estimation”, Eur. J. of Mechanics A/Solids Elsevier, 26, 573-591, 2007
[5] Sobczyk K.“Morphological complexity of material microstructures: From stochastic models to fracture estimation”, Probabilistic Eng. Mech. (Elsevier) – in print (will appear in 2008)

ARKADIUSZ WÓJS

KROPKI KWANTOWE

Instytut Fizyki, Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

Wykład będzie dotyczył *kropek kwantowych*, czyli nanostruktur półprzewodnikowych, w których ruch niewielkiej liczby elektronów ograniczony jest we wszystkich trzech wymiarach przestrzennych do długości rzędu kilku lub kilkudziesięciu nanometrów. Na wstępie omówię ogólne właściwości kropek kwantowych, odróżniające je z jednej strony od naturalnych atomów, a z drugiej od większych struktur elektronowych, oraz podstawowe rodzaje kropek i metody ich wytwarzania. Następnie przedstawię kilka najważniejszych zjawisk fizycznych występujących w kropkach, zarówno z perspektywy zaciekawionego fizyka, jak i pod kątem ich potencjalnego zastosowania w obecnych i przyszłych urządzeniach (opto)elektronicznych czy spintronicznych. Między innymi, omówię zjawisko blokady kulombowskiej w kropkach i jego zastosowanie w konstrukcji tranzystora jedno-elektronowego, a także zastosowanie dyskretnego widma emisji światła do konstrukcji wydajnych i przestrajalnych laserów. Ostatnią część wykładu poświęcę ekscytującej perspektywie wykorzystania kropek kwantowych jako elementarnych jednostek informacji kwantowej (tzw. qubitów), niezbędnych w konstrukcji hipotetycznego komputera kwantowego. Przedstawię ideę i spodziewane korzyści z kwantowego przetwarzania informacji, konkretne pomysły kodowania informacji kwantowej w ładunkowych i spinowych stopniach kwantowych kropek, a także problemy stojące (przynajmniej na razie) na drodze realizacji tego pomysłu.

ARKADIUSZ WÓJS

QUANTUM DOTS

Institute of Physics, Wroclaw University of Technology,
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

The lecture will be devoted to the subject of *quantum dots*, i.e., semiconductor nanostructures in which the motion of a small number of electrons is confined in all three spatial dimensions to the length scale of the order of several or several tens of nanometers. In the beginning, I will discuss general properties of quantum dots (which make them distinct physical systems from both natural atoms and larger electronic structures), as well as the most common types of dots and methods of their fabrication. Next, I will present a few most important physical phenomena that occur in quantum dots, from the perspective of both a curious physicist and potential application in present and future (opto)electronic and spintronic devices. For example, I will describe the effect of Coulomb blockade and its application in the construction of a single-electron transistor, and the role of discrete light emission spectrum of the dots in the construction of efficient and tunable lasers. In the last part of the lecture I will concentrate on the exciting perspective of using the dots as elementary units of quantum information (so-called *qubits*), necessary in the construction of a hypothetical quantum computer. I will present the concept and expected advantages of quantum information processing, specific ideas of coding quantum information in form of charge and spin degrees of freedom of quantum dots, and the problems standing in the way (at least at present) of realization of this idea.

KRZYSZTOF KUBIAK

STAN OBECNY I PERSPEKTYWY ROZWOJU LABORATORIUM BADAŃ MATERIAŁÓW DLA PRZEMYSŁU LOTNICZEGO POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

CURRENT STATUS AND FUTURE PROSPECTS OF RESEARCH AND DEVELOPMENT LABORATORY FOR AEROSPACE MATERIALS AT RZESZOW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Politechnika Rzeszowska, 35-959 Rzeszów, krkub@prz.edu.pl

Słowa kluczowe: wytwarzanie, materiały, badania

Laboratorium Badań Materiałów dla Przemysłu Lotniczego Politechniki Rzeszowskiej zostało otwarte 19 września 2007 roku. Laboratorium ma status jednostki pozawydziałowej, z lokalizacją w obiektach Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa. Pozyskane z Unii Europejskiej i Ministerstwa Edukacji i Nauki środki w kwocie 25,19 mln PLN (w tym 18,892 mln PLN z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego) pozwoliły na wyposażenie laboratorium w nowoczesną aparaturę naukowo - badawczą do prowadzenia prac w obszarze wysoko zaawansowanych technologii. Środki na modernizację obiektu, ok. 2 mln PLN, przeznaczył również Zarząd Urzędu Marszałkowskiego w Rzeszowie. Urządzenia techniczne oraz aparatura do badań materiałowych znajdują się w dotychczas funkcjonujących laboratoriach i pracowniach Katedry Materiałoznawstwa oraz w nowo zaadaptowanych pomieszczeniach Katedry Technik Wytwarzania i Automatyzacji.

W Laboratorium wykonywane są prace badawcze bezpośrednio związane z nowymi technologiami wprowadzanymi w WSK "PZL-Rzeszów" S. A. i innych przedsiębiorstwach zrzeszonych w SGPPL "Dolina Lotnicza". W badaniach biorą udział współpracujące ze sobą zespoły pracowników naukowych z Politechniki Rzeszowskiej, Warszawskiej, Śląskiej, Lubelskiej, Akademii Górniczo-Hutniczej, Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie, Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie oraz kadra inżynieryjno-techniczna zakładów przemysłowych. Obecnie w Laboratorium prowadzone są prace badawcze nad opracowaniem technologii odlewania elementów silników lotniczych metodami krystalizacji kierunkowej, (w szczególności wytwarzania monokryształów z nadstopów niklu), wykonywania pokryć żaroodpornych i żarowytrzymałych na elementach turbin silników lotniczych, obróbki skrawaniem z dużą prędkością *(HSM)*. W Laboratorium prowadzone są również prace badawczo - usługowe i eksperckie, m.in. kursy szkoleniowe i seminaria naukowe przeznaczone dla pracowników przemysłu, a także badania zlecane przez przemysł. W ramach swej działalności Laboratorium zajmuje się także promocją i upowszechnianiem osiągnięć nauki i techniki w zakresie nowych technologii materiałowych i ich wdrażaniem w przedsiębiorstwach przemysłu lotniczego. Do planowanych w przyszłości prac badawczych i wdrożeniowych należą:

- badania mikrostruktury warstwy wierzchniej elementów zespołów napędowych silników lotniczych, uzyskanej podczas obróbki skrawaniem z dużą prędkością,
- badania związane z nowoczesnymi technikami łączenia elementów metalowych,
- przedsięwzięcia dotyczące wytwarzania elementów i podzespołów z materiałów trudnoodkształcalnych metodami obróbki plastycznej na zimno lub na gorąco,

- określenie oddziaływania materiałów, związków chemicznych i substancji stosowanych w procesach wytwarzania na środowisko naturalne.

Realizacja tych zadań ma na celu osiągnięcie poziomu technologicznego niezbędnego do rozszerzenia współpracy z czołówką światowych wytwórców silników lotniczych.

N.D. BOTKIN[1], K.H. HOFFMANN[1], A. FRĄCKOWIAK[2]., M. CIAŁKOWSKI[2]

WYMIANA CIEPŁA POMIĘDZY POWIETRZEM I CIAŁEM STAŁYM, KTÓREGO POWIERZCHNIA POKRYTA JEST NANOSTRUKTURĄ

[1]Technische Universität München, Forschungseinheit M6

[2]Politechnika Poznańska, Katedra Techniki Cieplnej

E-mail: andrzej.frackowiak@put.poznan.pl

Słowa kluczowe: nanostruktury, nanorurki wymiana ciepla

W pracy przedstawiona została idea rozwiązywania zagadnień wymiany ciepła z ciałem stałym, którego powierzchnia pokryta jest warstwą nanorurek węglowych. Zostało wyprowadzone równanie przewodnictwa ciepła dla warstwy pośredniej składającej się z powietrza i nanorurek. W oparciu o to równanie zostało rozwiązane numerycznie zagadnienie wymiany ciepła pomiędzy kulką miedzianą pokrytą warstwą nanorurek i opływającym ją powietrzem. W obliczeniach numerycznych przyjęto znany rozkład prędkości. Obliczenia numeryczne zostały wykonane za pomocą programu Felics opracowanego w Instytucie Matematyki Uniwersytetu Technicznego w Monachium. Wyniki obliczeń porównane zostały z wynikami eksperymentu przeprowadzonego w Katedrze Techniki Cieplnej Politechniki Poznańskiej. Na poniższym rysunku przedstawiono ideę obliczeń rozkładu temperatury pomiędzy ośrodkami oddzielonymi nanostrukturą.

$\partial\Omega_F$: $T_f = T_{f0}$

Płyn

$$\rho_f c_f T_{f,t} = div(\lambda_f \nabla T_f) - \rho_f c_f \vec{v}_f \nabla T_f$$

Γ^+: $T_f = T$, $\quad -\lambda_f \nabla T_f \cdot \vec{n} = -A\nabla T \cdot \vec{n} + \sigma T^4$

Warstwa pośrednia o grubości w skali nanometrycznej

$$\overline{\rho c} T_{,t} - div(A\nabla T) + \rho_f c_f \vec{v} B \nabla T = 0$$

Γ^-: $T = T_s$ $\quad -A\nabla T \cdot \vec{n} = -\lambda_s \nabla T_s \cdot \vec{n}$

Cialo stale

$$\rho_s c_s T_{s,t} = div(\lambda_s \nabla T_s)$$

$\partial\Omega_S$: $T_s = T_{s0}$

Warstwę pośrednią ujednolicono przez zastosowanie homogenizacji parametrów termofizycznych (ρ, c, λ) z uwzględnieniem gęstości nanostruktury i jej periodyczności. W obliczeniach przyjęto znany rozkład prędkości.

Ważnym problemem jest optymalizacja wysokości, średnicy i gęstości upakowania nanorurek dla intensyfikacji przepływu ciepła. Stanowić to będzie kierunek dalszych prac.

ANNA KUCABA – PIĘTAL[1], Z. A. WALENTA[2], Z. PERADZYNSKI[2,3]

WPŁYW MATERIAŁU ŚCIANKI NA PRZEPŁYW WODY W NANOKANAŁACH

WALLS EFFECT ON WATER FLOW IN NANOCHANNELS

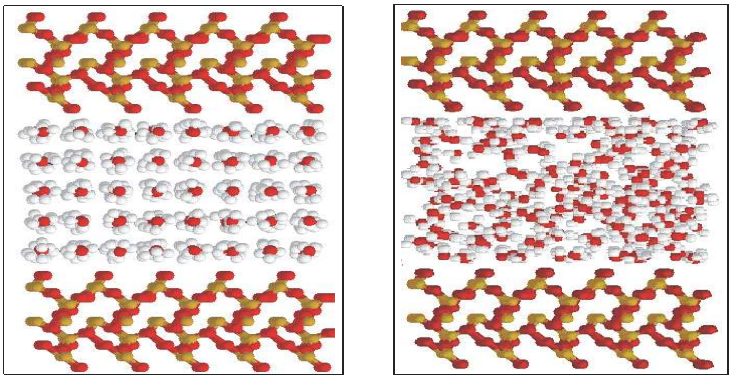
[1] Politechnika . Rzeszowska., anpietal@prz.edu.pl
[2] Instytut Podstawowych Problemow Techniki PAN
[3] Uniwersytet Warszawski

Słowa kluczowe: nanoprzepływy, Dynamika Molekularne, symulacje komputerowe

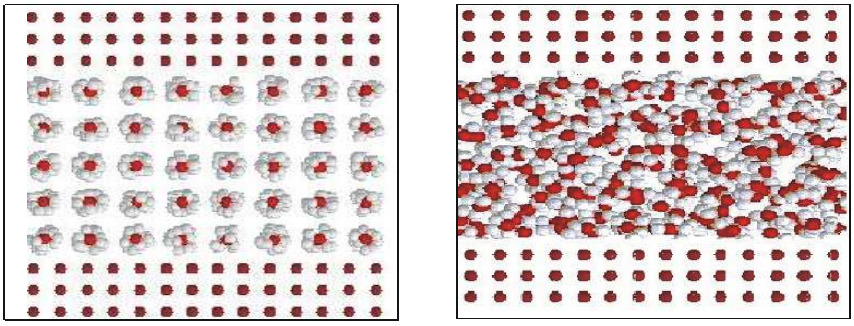
W sytuacjach gdy wymiar charakterystyczny zjawiska jest zbliżony do skali molekularnej do analizy przepływu stosuje się symulacje w oparciu o modelowanie molekularne płynu. W zależności od fizyki zagadnienia obliczenia prowadzimy metodą Monte Carlo lub Metodą Dynamiki Molekularnej (MD). Ta ostatnia metoda stosuje się do cieczy. Metoda Dynamiki molekularnej służy do obliczania trajektorii w przestrzeni fazowej zbioru molekuł z których każda oddzielnie podlega klasycznym równaniom ruchu Newtona.

Symulowano metodą dynamiki molekularnej przepływy Poiseuille'a wody w kanałach o ściankach miedzianych oraz kwarcowych przy dwóch różnych szerokościach kanału równych pięciu i dziesięciu średnim odległościom między molekułami wody. W symulacjach uwzględniano własności fizyczne materiałów oraz oddziaływania elektryczne. Uzyskane wyniki porównano z rozwiązaniami analitycznymi równań Eringena z uwzględnieniem wartości stałych reologicznych wody wyznaczonych doświadczalnie [1]. Otrzymano, że przy szerokości kanału równej dziesięciu średnim odległościom między molekułami wody wyniki dotyczące prędkości wody i mikrorotacji z symulacji komputerowej są zbieżne z analitycznymi. W kanałach węższych pojawiły się duże rozbieżności. Wyniki te są zgodne z rezultatami innych autorów uzyskanymi dla bardzo uproszczonych modeli płynu i ścianki.

Rezultaty ponadto wykazały istnienie poślizgu prędkości na ściance, który zanika w miarę poszerzania kanału, oraz prędkości mikrorotacji, która nie występuje w klasycznym opisie dynamiki płynów. Zaobserwowano, że poślizg prędkości wody jest większy na ściankach kanału utworzonego z miedzi od poślizgu na ściankach kwarcowych. Wydaje się to być spowodowane oddziaływaniem elektrycznym. Molekuły wody mają elektryczny moment dipolowy. Na molekułach kwarcu również są umieszczone ładunki elektryczne. Ścianki miedziane nie mają ładunku elektrycznego. Uzyskane w pracy wyniki wydają się wskazywać, że ścianka kwarcowa zachowuje się przyciągająco na molekuły wody, podczas gdy ścianka miedziana zachowuje się odpychająco. Są one zgodne z rezultatami symulacji przepływu uzyskanymi dla gazów gęstych w obecności ścianki odpychającej i przyciągającej [,2].



Rys. 1. Symulacja przepływu wody w kanale płaskim o ściankach kwarcowych. Ujęcia z symulacji po 10 krokach oraz po 10 000 kroków czasowych. Ujęcia wykonano programem Rasmol [1]



Rys. 2 Symulacja przepływu wody w kanale płaskim o ściankach miedzianych. Ujęcia z symulacji po 1 kroku oraz po 10 000 kroków czasowych. Ujęcia wykonano programem Rasmol [1]

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

[1] KUCABA-PIETAL A. : MODELOWANIE MIKROPRZEPLYWOW NA GRUNCIE TEORII PŁYNÓW MIKROPOLARNYCH, OWPRZ, RZESZÓW 2004.

[2] CIEPLAK M., KOPLIK J., BANAVAR J.R.: *Boundary conditions at fluid-solid interface*, Physical Rev. Letters, 86, 5, 803-806, 2001.

AGNIESZKA SŁOWICKA, ZBIGNIEW A. WALENTA

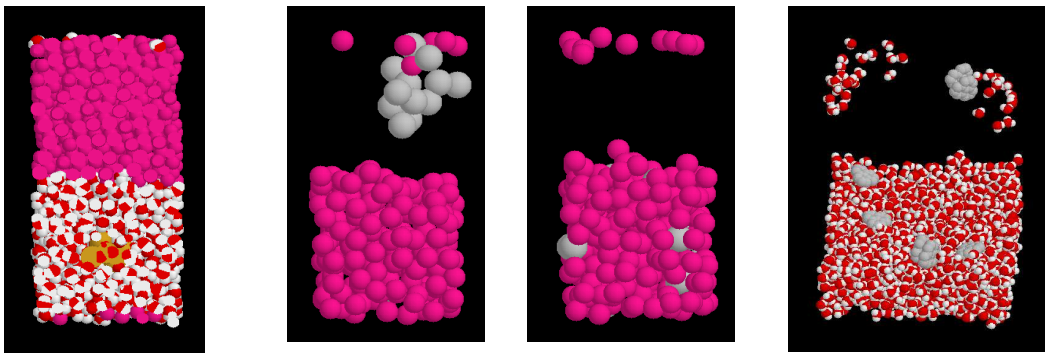
OSIADANIE CZĄSTEK STAŁYCH NA GRANICY FAZ NANOEMULSJI
SEDIMENTATION OF SOLID PARTICLES AT THE BOUNDARY OF PHASES OF NANOEMULSION

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa,
aslowick@ippt.gov.pl, zwalenta@ippt.gov.pl

Słowa kluczowe: nanoemulsje, sedymentacja nanocząstek, Dynamika Molekularna

Jedna z obecnie testowanych metod wytwarzania nanomateriałów wykorzystuje efekt osadzania się substancji na powierzchni kropel drobnej, regularnej emulsji [1]. Substancja ta, zachowując strukturę po usunięciu emulsji, może stać się materiałem o interesujących własnościach. Ze względu na wymiary charakterystyczne dla tworzonej struktury, powstawanie warstwy między fazami cieczy należy badać na poziomie molekularnym.

W prezentowanej pracy modelowano zjawisko osiadania cząstek stałych między fazami emulsji wykorzystując w tym celu metodę Dynamiki Molekularnej (MD) [2]. Emulsję stanowią nanowymiarowe krople oleju w wodzie. W molekularnym opisie emulsji posłużono się modelem wody TIPS2, zaś olej modelowano jako ciecz prostą, której właściwości odpowiadają naturalnemu, aromatycznemu olejowi o nazwie limonen. W przeprowadzonych obliczeniach testowano nanocząstki zbudowane z kwarcu i węgla o różnej postaci molekularnej. Badano, w jaki sposób struktura molekularna cząstek i oddziaływania międzyatomowe wpływają na proces tworzenia się osadu na granicy faz emulsji. Stwierdzono, że cząstki kwarcu zawieszone w początkowej fazie obliczeń w jednej cieczy, (oleju lub wodzie), nie przemieszczają się w kierunku granicy faz (rys.1). Węgiel w postaci atomowej migruje do fazy olejowej i pozostaje wewnątrz niej (rys.2). Efekt osiadania osiągnięto dla cząstek węgla, których postać molekularna składała się z 13-tu atomów ułożonych w strukturę grafitową (rys.3). Przeprowadzone symulacje pokazują, jakie warunki spełniać powinien układ cieczy i cząstek, aby węgiel w takiej postaci osiadł stabilnie między olejem i wodą. W prezentowanej pracy przedstawiona zostanie głębsza analiza procesu osiadania uwzględniająca takie czynniki, jak spolaryzowanie substancji, początkowe ułożenie cząstek w cieczy (np. blisko bądź daleko od styku faz), oraz charakter oddziaływań atomowych substancji.



1) 2) 3)

Rys. 1) „Opiłek" kwarcu zawieszony w wodzie. 2) Rozpuszczenie atomowego węgla w oleju (z lewej początek symulacji, z prawej – koniec; woda niewidoczna). 3) Cząstki grafitowego węgla sedymentujące na granicy faz cieczy (olej niewidoczny).

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

[5] SŁOWICKA. A., WALENTA Z.A., *Creating thin layers at the contact surface of two nonmixing liquids*, Bulletin of The Polish Academy of Science Technical Science, vol. 55, No. 2 (2007)

[6] FRENKEL D., SMITH B., *Understanding Molecular Simulation*, Academic Press, (2002)

JAROSŁAW SOWIŃSKI, MAREK DZIUBIŃSKI

PRĘDKOŚĆ I UDZIAŁ FAZY GAZOWEJ W PRZEPŁYWIE DWUFAZOWYM CIECZ-GAZ W WĄSKICH MINIKANAŁACH

VELOCITY AND GAS VOID FRACTION IN LIQUID-GAS TWO-PHASE FLOW IN NARROW MINICHANNELS

Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Wólczańska 213, 90-924 Łódź, sowiński@wipos.p.lodz.pl, dziubin@wipos.p.lodz.pl

Słowa kluczowe: minikanał, udział fazy gazowej, przepływ dwufazowy

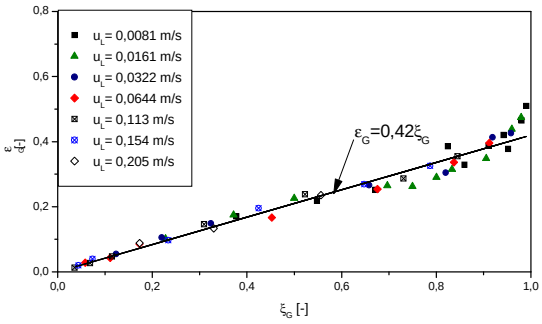
W prezentowanej pracy zbadano wpływ właściwości fizykochemicznych cieczy, szerokości szczeliny kanału oraz prędkości pozornych cieczy i gazu na udział fazy gazowej i prędkości przepływu pęcherzy gazowych w przepływającej mieszaninie dwufazowej w pionowych, wąskich minikanałach.W badaniach stosowano dwa kanały o różnych rozmiarach przekroju poprzecznego: kanał I o wymiarach 15x 0,65mm o średnicy zastępczej $D_z = 1{,}25 \cdot 10^{-3}$ m**,** kanał II o wymiarach 7,5 x 0,73 mm o średnicy zastępczej $D_z = 1{,}13 \cdot 10^{-3}$ m. Wysokość kanału w obu przypadkach wynosiła 400 mm.

W pierwszej części kanału następowało wymieszanie fazy ciekłej z gazową za pomocą dystrybutora powietrza. Wartości pozornych prędkości przepływu cieczy i gazu zmieniały się odpowiednio od 0,0085 do 0,75 m/s i od 0,005 do 7,2 m/s. W badaniach jako fazę ciekłą stosowano wodę i wodne roztwory sacharozy. Lepkości i gęstości badanych cieczy zmieniały się odpowiednio od 0,001 do 0,055 Pa·s i 1000 do 1274 kg/m^3. Fazą gazową było powietrze. Minikanał wykonany był z poliwęglanu, co umożliwiało rejestrowanie obrazu przepływającej w kanale mieszaniny dwufazowej za pomocą szybkiej kamery MV-D752 –160 firmy Photonfocus. Szczegółowy opis procedury badawczej przedstawiono w pracy [1].

W trakcie podjętych badań wyznaczono zależność udziału fazy ciekłej od wlotowego udziału fazy gazowej. Z badań przeprowadzonych przez Ali [2] wynika, że istnieje zależność między wlotowym udziałem fazy gazowej $\square_G$ a średnim udziału fazy gazowej $\square_G$.

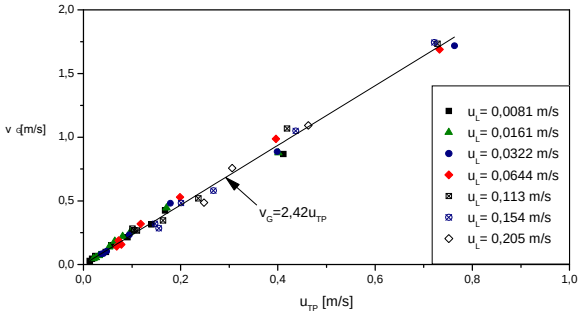
$$\varepsilon_G = k\xi_G \qquad (1)$$

Stwierdził on ponadto, że wartość współczynnika k podczas przepływu dwufazowego woda-gaz równa jest 0,8. Przeprowadzone badania potwierdzają tę wartość jedynie dla przepływu dwufazowego z udziałem wody. Dla pozostałych mediów badawczych, wraz ze wzrostem lepkości cieczy, obserwowano zmniejszanie wartości współczynnika k. Na rysunku 1 przedstawiono wynik korelacji dla przykładowych danych doświadczalnych.



Rys. 1 Zależność średniego udziału fazy gazowej ε_G od wlotowego udziału fazy gazowej ξ_G. Lepkość cieczy μ_L=0,055 Pas, kanał I.

Ponadto wyznaczone doświadczalnie wartości udziału i prędkości fazy gazowej opisano z pomocą modelu dryftu i porównano z dostępnymi danymi doświadczalnymi [3]. W tym przypadku także zaobserwowano zgodność z danymi literaturowymi jedynie podczas przepływu dwufazowego z udziałem wody. W przypadku pozostałych mediów badawczych zaobserwowano znaczne zwiększenie parametru C_0 w modelu dryftu. Na rysunku 2 przedstawiono wynik korelacji dla przykładowych danych doświadczalnych.



Rys. 2 Zależność prędkości fazy gazowej v_G od prędkości mieszaniny dwufazowej u_{TP}. Lepkość cieczy μ_L=0,055 Pas, kanał I.

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

[1] TOMCZAK Ł., SOWIŃSKI J., *Application of image analysis to determine two-phase liquid- gas flow parameters in narrow minichannels*. Process Chem. Eng., 2007, vol. 28, 1134-1146

[2] ALI M., SADATOMI M, KAWAJI M., *Adiabatic two-phase flow in narrow channel betweem two flat plates*, Can. J. Chem Eng., 1993, vol. 71, 657-666

[3] MISHIMA K., HIBIKI T., NISHIHARA H.: *Some characteristics of gas-liquid flow in narrow rectangular ducts*, Int. J. Multiphase Flow, 1992, vol. 19, 115

Praca naukowa finansowana ze srodków na naukę w latach 2005-2008 jako projekt badawczy nr. 3 T09C 009 28

III

METODY OBLICZENIOWE MEZO-, MIKRO- I NANOSKALOWE

TOMASZ BIENIEK, PAWEŁ JANUS, PIOTR GRABIEC, GRZEGORZ JANCZYK, JERZY SZYNKA

ZINTEGROWANE MODELOWANIE I SYMULACJE MIKRO- I NANOSTRUKTUR 3-D

INTEGRATED MODELING AND SIMULATION OF THE 3-D MICRO- AND NANOSTRUCTURES

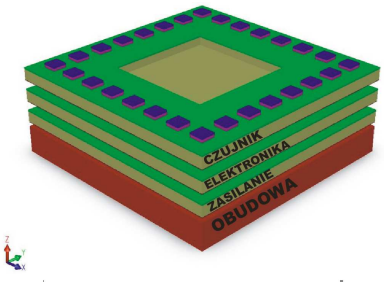
Instytut Technologii Elektronowej, Al. Lotników 23/46, 02-668 Warszawa, Polska,

tbieniek@ite.waw.pl, janus@ite.waw.pl, grabiec@itewaw.pl, janczyk@ite.waw.pl, szynka@ite.waw.pl.

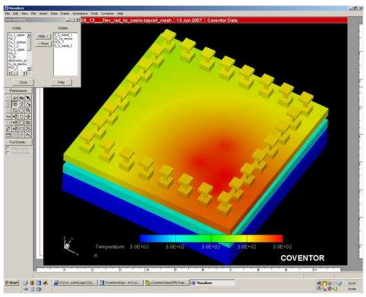
Słowa kluczowe: symulacje i modelowanie, integracja 3-D, heterogeniczne systemy e-Cubes

Obecnie oczekuje się specjalizowanych wielofunkcyjnych urządzeń na rynku motoryzacyjnym, biomedycznym, lotniczym oraz w innych dziedzinach życia. Dąży się do tego aby urządzenia te były coraz bardziej zminiaturyzowane oraz „samowystarczalne”. Coraz więcej wysiłku wkłada się, aby moduły funkcjonalne tj.: zasilanie, moduł nadawczo odbiorczy, pamięć, przetwarzanie sygnałów, czujnik były wykonane w najlepszych dla siebie technologiach a następnie zintegrowane w jedno wielofunkcyjne urządzenie mikrosystem - tzw. e-Cube, np.: za pomocą pionowego łączenia chipów zawierających poszczególne moduły funkcjonalne [1-4].

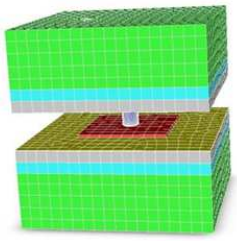
W niniejszej pracy zaprezentowane będą możliwości przeprowadzania zintegrowanych procesów modelowania oraz symulacji mikro- i nanostruktur trójwymiarowych na przykładzie modeli całych zintegrowanych heterogenicznych systemów typu e-Cubes (rys. 1ab) jak i poszczególnych części składowych – np.: bardzo ważnych z punktu widzenia niezawodności – struktur służących do integracji chipów (rys. 1cd). Poprzez zintegrowane symulacje należy rozumieć symulacje w wielu dziedzinach jednocześnie np.: symulacje termiczno-mechaniczne, gdzie na przykład poza rozkładem temperatury można jednocześnie obserwować rozkład naprężeń w analizowanej strukturze.



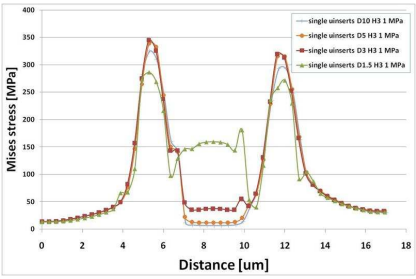
A



B



C



D

Rys. 1. A) 3-D model systemu e-Cubes – trzech pionowo połączonych chipów, gdzie każdy jest oddzielnym blokiem funkcjonalnym tj.: górny chip to model czujnika ciśnienia, środkowy to model modułu zawierającego układy elektroniczne, dolny – model modułu zasilania; B) wynik symulacji termicznej metodą elementów skończonych (FEM) modelu 3-D trzech zintegrowanych chipów – rozkład temperatury na środkowym module zawierającym „elektronikę" (górny jest ukryty, zamodelowano wydzielanie się po 1mW w czterech obszarach); C) 3-D model dwóch chipów połączonych za pomocą struktury nazywanej µ-insert [5][6] opracowanej i wytwarzanej w CEA-Leti służącej do integracji chipów; D) wyniki symulacji mechanicznej metodą FEM – wypadkowy rozkład naprężeń (tzw. „mises stress") przez środek struktury pod naciskiem 1MPa od góry (zamodelowano technikę łączenia struktur tzw. „metal-to-metal bonding") dla µ-insert'ów o różnych średnicach (1.5µm – 10µm) oraz wysokości 3 µm.

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

[1] KOWALSKI A., NOWAK B., *Unsteady Flow Simulations in Pump*, TASK Quarterly, 2002, vol.6, 130-142

[2] strona internetowa projektu e-Cubes: http://www.ecubes.org/

[3] ELST G., SCHNEIDER P., RAMM P., *Modeling and Simulation of Parasitic Effects in Stacked Silicon*, Proc. 2006 MRS Fall Meeting, November 27 - December 1, 2006, Boston.

[4] WUNDERLE B., KAULFERSCH E., RAMM P., MICHEL B., REICHL H., *Thermo-Mechanical Reliability of 3D-integrated Microstructures in Stacked Silicon*, Proc. 2006 MRS Fall Meeting, November 27 - December 1, 2006, Boston.

[5] SCHNEIDER P., REITZ S., WILDE A., ELST G., SCHWARZ P., *Towards a Methodology for Analysis of Interconnect Structures for 3D-Integration of Micro Systems*, Proc. DTIP2007, 25-27 April 2007, Stresa.

[6] MATHEWSON A., BRUN J., PUGET C., FRANIATTE R., SILLON N., DEPOUTOT F., DUBOIS-BONVALOT B., *Microstructured Interconnections for High Security Systems*, Electronics System integration Technology Conference, 2006. 1st, Volume: 1, page(s): 126-132.

[7] MATHEWSON A., BRUN J., PONTHENIER G., FRANIATTE R., NOWODZINSKI A., SILLON N., POUPON G., DEPUTOT F., DUBOIS-BONVALOT B., *Detailed Characterisation of Ni Microinsert Technology For Flip Chip Die on Wafer Attachment*, Electronic Components and Technology Conference, 2007. ECTC '07. Proceedings. 57th, 2007, 616-621.

JANUSZ BYTNAR, ANNA KUCABA-PIETAL

WPŁYW MODELI MOLEKULARNYCH WODY NA SYMULACJE NANOPRZEPŁYWÓW

EFFECT OF VARIOUS WATER MOLECULAR MODELS ON MOLECULAR DYNAMICS NANOFLOWS RESULTS

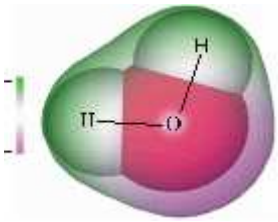
Instytut Inżynierii Technicznej PWSZ , Jarosław

Politechnika Rzeszowska, Zakład Mechaniki Plynów i Aerodynamiki

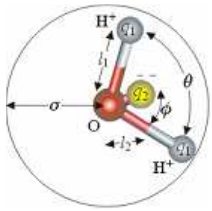
Słowa kluczowe: nanoprzepływy, Dynamika Molekularna, modele molekularne materialu

W artykule przedstawiona zostanie problematyka dotycząca wpływu modeli molekularnych na symulację nanoprzepływów wody. Przedstawione zostaną wybrane wyniki obliczeń przeprowadzonych symulacjach komputerowych metoda Dynamiki Molekularnej dla czterech modeli molekularnych wody: PPC; TIP4P; TIP2P oraz TIP5P.

Woda jest specyficznym płynem, wykazuje bardzo wiele anomalii. Jej molekuła ma konfigurację dipolową, rys. 1.Obecnie istnieje wiele molekularnych modeli wody. Nasuwa się wiec pytanie jak będą wpływały różne modele molekularne wody na symulacje jej ruchu w nanokanele. Odpowiedź na nie jest celem prowadzonych badań.



[1] Rys. 1. Struktura molekuły wody obrazujaca gęstość i rozłożenie ładunku elektrycznego



[1] Rys..2. Schemat modelu TIP4P, l_1 = $0.9572 \cdot 10^{-10}$ m, l_2 = $0.15 \cdot 10^{-10}$ m, q_1= +0.5200, q_2 = –1.0400, θ = 104.52°, ϕ = 5

M. FAVRE-MARINET[2], S. DROBNIAK[1], D. ASENDRYCH[1], G. GAMRAT[2], M. NIKLAS[2]

NUMERYCZNO-EKSPERYMENTALNE STUDIUM PRZEPŁYWU ORAZ WYMIANY CIEPŁA W MIKROKANAŁACH

[1]Instytut Maszyn Cieplnych, Politechnika Częstochowska
[2]Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels (LEGI), Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG), France
drobniak@imc.pcz.czest.pl

Słowa kluczowe: mikroprzepływy, wymiana ciepla

W pracy zaprezentowano wyniki badań z zakresu przepływu i wymiany ciepła w mikrokanałach prowadzonych w ostatnich latach w laboratorium LEGI w Grenoble z udziałem pracowników Politechniki Częstochowskiej dla trzech przypadków testowych. Pierwszy z nich dotyczy numerycznej analizy własności hydraulicznych sieci równoległych kanalików o przekroju trójkątnym (średnica hydrauliczna D_h=110 μm). Przeprowadzone dla takiej konfiguracji pomiary testowe wykazały gwałtowny spadek ciśnienia dla liczb Reynoldsa przekraczających wartość 10. Znaczne rozbieżności pomiędzy wynikami badań eksperymentalnych a oszacowaniami oporów przepływu przy założeniu w pełni rozwiniętego przepływu były tłumaczone występującym w przepływie przez sieć tzw. efektem skali. W celu wyjaśnienia tych rozbieżności przeprowadzono numeryczną symulację przepływu. Wyniki obliczeń wykazały bardzo dobrą zgodność z danymi eksperymentalnymi dowodząc, że w zakresie rozważanych rozmiarów poprzecznych mikrokanałów nie występuje efekt skali, co oznacza adekwatność stosowanego modelu konstytutywnego. Ponadto symulacja pozwoliła wyjaśnić, iż przyczyną nadmiernych strat ciśnienia w zakresie wyższych liczb Reynoldsa były klasyczne zjawiska przepływowe, tj. przepływy wtórne (wiry oderwaniowe) obecne w kilku obszarach rozważanej konfiguracji układu mikrokanałów. Zastosowana w obliczeniach procedura rozbudowy modelu "krok po kroku" umożliwiła identyfikację poszczególnych źródeł strat całkowitych oraz pokazała, iż prawidłowy projekt złożonego układu przepływowego jest konieczny dla osiągnięcia wysokiej sprawności przepływu.

Drugi przypadek dotyczył badań przepływu w płaskim mikrokanale o wysokości 100÷300μm o bardzo precyzyjnie definiowanej chropowatości w zakresie laminarnym oraz przejściowym. W części eksperymentalnej kontrolę powierzchni uzyskano dzięki zastosowaniu techniki jonowego wytrawiania na głębokość odpowiadającą wysokości elementów chropowatości używając maski dla odpowiedniego ich rozmieszczenia. Symulacje przepływu przeprowadzono przy zastosowaniu modelu trójwymiarowego oraz uproszczonego podejścia jednowymiarowego, tzw. Rough Layer Model (RLM). Uzyskano dobrą zgodność wyników eksperymentu z rezultatami obliczeń stosując klasyczny układ równań przepływowych, co potwierdza tezę o braku efektów skali w rozważanym zakresie wymiarów mikrokanału. Wyniki badań wykazały, iż opory przepływu wyrażone poprzez liczbę Poiseuille'a są zależne od względnej wysokości chropowatości powierzchni oraz niezależne od liczby Reynoldsa. Zaproponowane korelacje pomiędzy modelami pozwalają na stosowanie uproszczonego podejścia (model RLM) dla wiarygodnego szacowania oporów przepływu nawet przy stosunkowo dużych wartościach chropowatości powierzchni.

Trzeci przypadek dotyczył numerycznej symulacji przepływu i wymiany ciepła przez porowaty mikrokanał w zakresie małych liczb Reynoldsa (Re = 0.05-4). Zastosowano model płaski zjawiska, w którym porowatość (zmieniającą się w zakresie 0.44-0.98) uzyskano poprzez usytuowanie w kanale elementów o przekroju kwadratowym. Dobra zgodność oporów przepływu z danymi literaturowymi pozwoliła na weryfikację modelu, który następnie wykorzystano do wyznaczenia charakterystyk termodynamicznych w postaci zależności liczby Nusselta od Re, porowatości oraz termicznych warunków brzegowych.

ALEXANDER LINKOV, LILIANA RYBARSKA-RUSINEK, ANETTA SZYNAL-LIANA,

ASYMPTOTYCZNE I NUMERYCZNE ROZWIĄZANIA ZAGADNIEŃ DOTYCZĄCYCH PUNKTÓW OSOBLIWYCH DLA MATERIAŁÓW NIEJEDNORODNYCH

Katedra Matematyki, Politechnika Rzeszowska
email: aszynal@prz.edu.pl, rybarska@prz.edu.pl

Słowa kluczowe: modelowanie matematyczne , materialy niejednorodne

Wewnętrzne granice stykających się elementów strukturalnych posiadają punkty osobliwe, będące lokalnie wierzchołkami pewnej liczby stożków lub klinów, w okolicy których pola fizyczne mogą posiadać osobliwość gradientów rozwiązań (naprężeń, przepływów, itp.). Wskutek wspomnianych koncentracji pól fizycznych, punkty te są źródłem gwałtownego odpływu energii, co rodzi niepożądane zjawiska, takie jak: pęknięcia, iskrzenia, wyładowania itp. Z drugiej strony obecność takich punktów osobliwych ma istotny wpływ (powodujący znaczne obniżenie dokładności obliczeń, a nawet niemożność bezpośredniego zastosowania kodów komercyjnych) na dokładność symulacji numerycznych, zjawisk zachodzących w takich układach złożonych.

Badanie osobliwości pól fizycznych w otoczeniu punktów singularnych układu wieloklinowego wymaga zatem uwzględnienia następujących aspektów: i) asymptotycznej analizy zachowania rozwiązania, oraz ii) wykorzystania otrzymanych wyników do opracowania modułów z zastosowaniem metody elementów brzegowych. W niniejszym referacie przedstawimy wyniki otrzymane podczas rozwiązywania obu tych problemów.

Analiza pierwszego zagadnienia, zapoczątkowana w [1, 2], zastała rozszerzona na przypadki nieidealnej transmisji pomiędzy elementami strukturalnymi w cienkiej warstwie (klinie) w pobliżu punktu osobliwego. Korzystając z doświadczeń podczas analizy zagadnienia antypłaskiego [3], rozdzielamy część symetryczną i antysymetryczną rozwiązania a następnie wyrażamy układ w terminach odpowiadających im wartości symetrycznych i antysymetrycznych wielkości fizycznych na granicach klinów. Metoda ta pozwala na numeryczną analizę zachowania rozwiązań w układach zawierających cienkie kliny, których miara kąta dąży do zera.

Drugie zagadnienie rozwiązywane jest z użyciem metod, wykorzystujących rachunkowe zalety zastosowania zmiennej zespolonej. Ze względu na singularność gęstości zaproponowano równania rekurencyjne dla dwóch typów elementów brzegowych: odcinków prostych oraz łuków kołowych. Oparte na nich procedury numeryczne wykazują dużą dokładność i niezawodność.

Otrzymane wyniki zostaną zilustrowane przykładami.

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

[1] Blinova V., Linkov A., *A method of finding asymptotic forms at the common apex of elastic wedges*, J. Appl. Math. Mech. 1995, 59, 187-195.

[2] Linkov A., Koshelev V., *Multi-wedge points and multi-wedge elements in computational mechanics: evaluation of exponent and angular distribution*, Int. J. Solids and Structures, 2005, 71, 764-780.

[3] Linkov A., Rybarska-Rusinek L., *Numerical method and models for anti-plane strain of a*

system with thin elastic wedge, Archive of Applied Mechanics (online), January 8, 2008.

GRZEGORZ ŁUKASZEWICZ

DYNAMIKA PRZEPŁYWÓW ŚCINAJĄCYCH

Uniwersytet Warszawski, Instytut Matematyki Stosowanej i Mechaniki,
ul. Banacha 2, 02-097 Warszawa, Polska
e-mail: glukasz@mimuw.edu.pl

Słowa kluczowe: naotrybologia, metody matematyczne

Rozważamy problem istnienia i asymptotycznego względem czasu zachowania się rozwiazań dla kilku klas dwuwymiarowych turbulentnych przepływów scinających (cieczy lepkiej i niescisliwej) pojawiających sie w teorii smarowania. Siła napędowa przepływu w rozważanym obszarze jest ruch cześci brzegu obszaru, który moze zależec od czasu. Warunki brzegowe są typu mieszanego. Charakter zachowania asymptot tycznego jest wyrażony przez istnienie w rozważanej przestrzeni fazowej obiektu zwanego globalnym atraktorem i przez wymiar tego ostatniego. Interesuje nas zależność wymiaru atraktora (wymiar ten jest związany z liczbą stopni swobody przepływu) od geometrii przepływu i od typu warunków brzegowych.

LESZEK MALĄG, LEON KUKIEŁKA

ANALIZA NUMERYCZNA STANÓW NAPRĘŻEŃ I ODKSZTAŁCEŃ PODCZAS ROZCIĄGANIA PRÓBEK W SKALI MAKRO I MIKRO

NUMERICAL ANALYSIS OF THE STRESSES AND STRAINS STATES DURING TENSION TEST SPECIMENS IN SCALE MACRO AND MICRO

Politechnika Koszalińska, Katedra Mechaniki Technicznej i Wytrzymałości Materiałów,
ul. Racławicka 15-17, 75-620 Koszalin, samell@poczta.onet.pl, leon.kukielka@tu.koszalin.pl

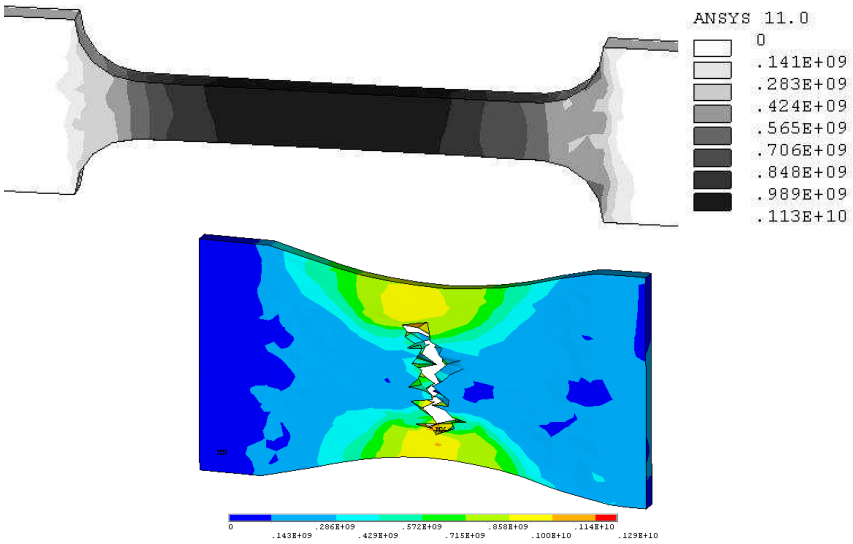
Słowa kluczowe: rozciąganie, próbka, symulacja

W dotychczasowych rozważaniach dotyczących modelowania własności mechanicznych przyjmowane było założenie, że w odniesieniu do materiałów obowiązują zawsze zasady mechaniki kontinuum. W praktyce występuje cała klasa materiałów w przypadku, których zasady te nie mogą być stosowane wprost. Są to materiały niejednorodne: naturalne i sztuczne, a szerzej - kompozyty i materiały z mikrostrukturą. W zasadzie każdy ze znanych materiałów jest niejednorodny, ale niektóre niejednorodności można zaobserwować dopiero przechodząc od tzw. skali makro do skal niższych: mezo, mikro i nano [1].

Jednym z podstawowych problemów występujących w obliczeniach inżynierskich części stosowanych w przemyśle lotniczym, kosmicznym, metodą elementów skończonych (MES) jest przyjęcie odpowiedniej postaci modelu matematycznego, opisującego właściwości mechaniczne analizowanego materiału oraz wyznaczenie stałych w tym modelu. Makroskopowe modele materiałowe, podawane w literaturze, opracowuje się na podstawie prób rozciągania lub ściskania, które są podstawowymi próbami pozwalającymi wyznaczyć właściwości plastyczne i wytrzymałościowe. Przy tworzeniu tych modeli zakłada się, że materiał jest jednorodny i homogeny, a odkształcenia sprężyste są pomijalnie małe. Statyczna próba rozciągania pozwala wyznaczyć szereg wartości charakteryzujących własności mechaniczne różnych materiałów. Wielkości charakteryzujące własności mechaniczne materiałów obliczyć można na podstawie danych pomiarowych oraz z wykresu zarejestrowanego podczas próby. Wielkości charakterystyczne określone na podstawie rozciągania próbek mogą nie odzwierciedlać ogólnego zachowania się gotowych konstrukcji pod obciążeniem. Dlatego też nie należy przeceniać próby rozciągania, ponieważ stany naprężeń i odkształceń określone na podstawie obowiązującej metodyki i normy są uśrednione. Wykorzystanie uśrednionych wartości w obliczeniach numerycznych (MES) powoduje, że pomiędzy wynikami obliczeń i pomiarami eksperymentalnymi występują istotne różnice zarówno jakościowe jak i ilościowe.

Praca przedstawia nową, hybrydową metodykę określania stanów naprężeń i odkształceń z wykorzystaniem programu ANSYS Multiphysics/LS-DYNA. Do badań modelowych użyto określone właściwości mechaniczne stali S235JR, wyznaczone na podstawie statycznej próby rozciągania. W symulacjach użyto model materiałowy sprężysto/lepko-plastyczny ze wzmocnieniem izotropowym (model Cowper-Symonds). Analizy numeryczne wykonano na: makropróbkach i mikropróbce o strukturze ferrytyczno-perlitycznej. Przejście z modelu makroskopowego na mikroskopowy pozwala na lepsze poznanie zjawisk fizycznych występujących podczas próby

rozciągania. Materiał w skali mikro wykazuje własności, które w tych samych materiałach, ale w skali makro nie występują. Wartości naprężeń i odkształceń w skali makro i mikro wykazują istotne różnice (rys. 1). Maksymalne intensywności naprężeń występują przed zerwaniem R_u=1130 MPa i w chwili pękania (po mikropęknięciu) R_u=1290 MPa.
Obecnie w eksperymentalnej metodzie pomiarowej niemożliwe jest wyznaczenie lokalnych, rzeczywistych stanów naprężeń i odkształceń w próbce, w dowolnej chwili trwania procesu. Dlatego też stany te wyznaczono przez zastosowanie numeryczno-eksperymentalnej metodyki na różnym poziomie obserwacji.
Badania modelowe wieloskładnikowych obiektów są na etapie badań. W przyszłości zostaną opracowane metody i systemy obliczeniowe, które stworzą narzędzia wspomagania komputerowego do obiektów wieloskalowych. Chodzi o przeniesienie opisu materiałów z uwzględnieniem budowy atomowej na wymiar makroskopowy [1].



Rys. 1. Mapy intensywności naprężeń podczas rozciągania: a- makropróbki, b- mikropróbki [2]

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

[1] RAKOWSKI G., KACPRZYK Z., *Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005

[2] MALĄG L., KUKIEŁKA L.: *Analysis of stress and strain in tension cylindrical sample*. 77th Annual Meeting of the Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik, Berlin, 2006. vol. 6, Issue 1, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 397÷398.

TADEUSZ UHL, ADAM MARTOWICZ, IRINA CODREANU

ANALIZA NIEPEWNOŚCI W MIKROUKŁADACH ORAZ ICH WPŁYW NA CHARAKTERYSTYKI DYNAMICZNE

UNCERTAINTY ANALYSIS IN MEMS AND INFLUENCE OF UNCERTIANTIES ON DYNAMIC CHARACTERISTICS

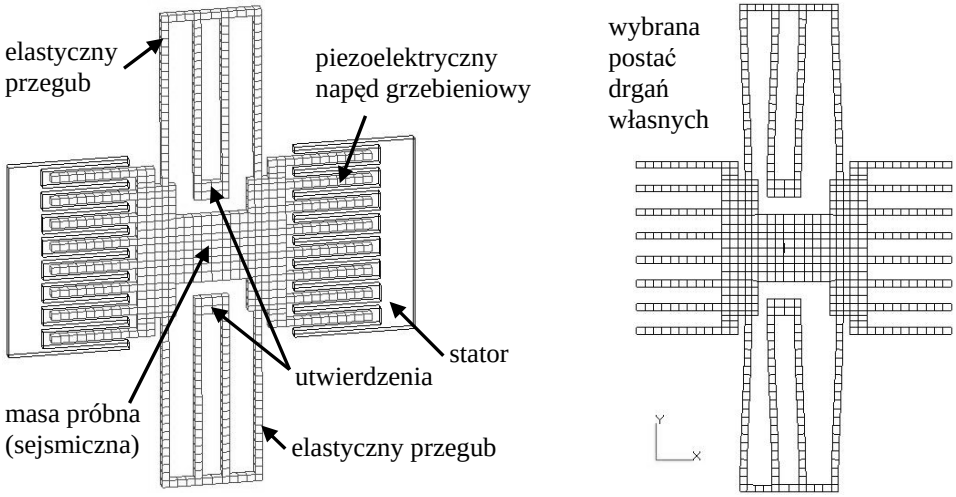
Katedra Robotyki i Mechatroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica,
Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tuhl@agh.edu.pl
adam.martowicz@agh.edu.pl
codreanu@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: mikroukłady, analiza niepewności, dynamika strukturalna

Mikroelektromechaniczne układy (ang. micro-electromechanical systems - MEMS) [1] stanowią połączenie w mikroskali elektronicznych i mechanicznych części, zintegrowanych ze sobą w jednej, stanowiącej funkcjonalną całość, zabudowie. Aplikacje w stosunkowo małej obudowie ruchomych części mechanicznych, takich jak: przeguby elastyczne, złącza obrotowe, zębatki, membrany wraz z obwodami elektronicznymi otwierają szerokie możliwości praktycznych zastosowań w różnych dziedzinach m.in.: w biologii, chemii, optyce, technikach pomiarowych itp. Komercyjnie dostępne są seryjnie produkowane mikroukłady pełniące funkcje akcelerometrów, żyroskopów lub mikrofonów. Układy MEMS wykonywane są w z półprzewodnika z wykorzystaniem technik znanych w produkcji układów elektronicznych. Etap wykonania fizycznych prototypów oraz serii próbnych układów MEMS poprzedzony jest wirtualnym prototypowaniem. Przewidywanie własności projektowanych układów mechanicznych realizowane jest na drodze komputerowych symulacji ich modeli. Ze względu na specyfikę zjawisk fizycznych rozpatrywanych jako istotne w skali mikro symulacje układów MEMS wymagają szerokiego spojrzenia na obiekt badań i prawa opisujące jego zachowanie. W przypadku układów w skali makro do poprawnego zamodelowania ich własności na potrzeby analiz statycznych, dynamicznych, wytrzymałościowych itp., poza parametrami opisującymi geometrię najczęściej uwzględniane są podstawowe własności materiałowe m.in. gęstość, współczynniki sprężystości. Analizowane modele zazwyczaj nie uwzględniają tłumienia. Opory ośrodka, w którym obserwowany jest ruch oraz zagadnienia termiczne zazwyczaj są pomijane. W przypadku symulacji modeli urządzeń MEMS pod uwagę brane są m.in. zagadnienia dotyczące wpływu pola elektrostatycznego oraz interakcji płyn – ciało stałe, z uwzględnieniem oporów ośrodka, tarcia wiskotycznego itp. Komercyjnie dostępne oprogramowanie inżynierskie umożliwia symulacje zjawisk fizycznych związanych z układami MEMS, m.in.: ANSYS, COMSOL w ramach tzw. analiz „multi-physics" oraz problemów sprzężonych [2].

W pracy przedstawiono wyniki badań w zakresie oceny zmian własności dynamicznych modelu mikrorezonatora o rozmiarach części ruchomych 186μm x 288μm dla przyjętych niepewności konstrukcyjnych oraz materiałowych. Analizowany model zbudowany jest z drgającej masy próbnej, dwóch elastycznych przegubów oraz dwóch piezoelektrycznych napędów grzebieniowych (rys. 1). Zastosowano alternatywne, skracające czas obliczeń, podejście w modelowaniu układu. W przedstawionym modelu wpływ oporów powietrza oraz obecność pola elektrostatycz-

nego powstałego po przyłożeniu stałego napięcia reprezentowany jest przez elementy dyskretne: sprężyny oraz tłumiki. Symulacje dynamiczne przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania MSC/Nastran.



Rys. 1 Model MES mikrorezonatora oraz wybrana postać drgań własnych

Sparametryzowany model wykorzystano w analizie wrażliwości oraz do badania propagacji niepewności. Przyjęte parametry niepewne opisywały zmienność charakterystyk geometrycznych oraz materiałowych. Do oceny zmian własności dynamicznych zastosowano: metodę symulacyjną Monte Carlo połączoną z próbkowaniem techniką sześcianów łacińskich, metodę vertex oraz algorytmy genetyczne [3].

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

[1] LIN R.M., WANG W.J., *Structural dynamics of microsystems – current state of research and future directions*, Mechanical Systems and Signal Processing, 2006, vol.20, 1015-1043

[2] CODREANU I., MARTOWICZ A., GALLINA A., PIECZONKA L., UHL T., *Study of the effect of process induced uncertainties on the performance of a micro-comb resonator*, 4th Conference Mechatronic Systems and Materials 2008 - MSM 2008, Bialystok, July 14-17, 2008

[3] MOENS D., VANDEPITTE D., *A survey of non-probabilistic uncertainty treatment in finite element analysis*, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineerig, 2005, vol.194, 1527-1555

JAROSŁAW SĘP

MODYFIKOWANIE PRZEPŁYWU OLEJU W ŁOŻYSKU ŚLIZGOWYM POPRZEZ MIKROROWKI NA CZOPIE

Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa,
jsztmiop@prz.edu.pl

Słowa kluczowe: łożysko ślizgowe, przepływ, mikrorowki

W trakcie pracy poprzecznego, hydrodynamicznego łożyska ślizgowego olej płynie zarówno w kierunku obwodowym jak i osiowym wypływając na zewnątrz. Jednym z największych zagrożeń dla poprawnego funkcjonowania łożyska są pojawiające się w oleju twarde zanieczyszczenia. Zmniejszenie nośności, poprzez zmniejszanie lepkości oleju, wywołuje również zwiększanie temperatury filmu olejowego. Zwiększając intensywność osiowego przepływu oleju przez łożysko można powodować zarówno usuwanie zanieczyszczeń poza łożysko, jak również uzyskać zmniejszenie temperatury filmu olejowego. Jednym ze sposobów intensyfikacji osiowego przepływu oleju jest wykonanie śrubowego rowka na czopie. Problemem jest jednak w tym przypadku zagrożenie zmniejszeniem nośności łożyska. Gdyby udało się tak dobrać wymiary rowka, aby intensyfikować osiowy przepływ oleju i nie powodować zmniejszenia nośności, to dawałoby to jedną z potencjalnych możliwości niwelowania wymienionych wyżej zagrożeń.

W artykule przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych potwierdzające wcześniejsze rezultaty symulacji komputerowych, że można tak dobrać wymiary śrubowego rowka na czopie aby zintensyfikować osiowy przepływ oleju i nie powodować zmniejszenia nośności. Syntetyczne wyniki badań wiążące zadane obciążenie łożyska (**W**) oraz zarejestrowaną mimośrodowość względną (**ε**), maksymalną temperaturę filmu olejowego ($\mathbf{T_{max}}$) i wydatek oleju (**q**) zestawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Wyniki badań łożysk

W [N]	Wariant 1			Wariant 2			Wariant		
	ε	$\mathbf{T_{max}}$ [K]	**q** [m^3/s]	**ε**	$\mathbf{T_{max}}$ [K]	**q** [m^3/s]	**ε**	$\mathbf{T_{max}}$ [K]	**q** [m^3/s]
120	0,236	298,9	-	0,268	298,6	-	0,467	299,5	-
240	0,557	299,3	0,00196	0,498	298,4	0,0030	0,690	298,9	0,0037
360	0,619	300,4	0,00200	0,620	297,9	0,0032	0,823	298,9	0,0040
480	0,689	302,2	0,00160	0,743	297,9	0,0042	0,840	298,9	0,0044

Wariant 1 oznaczał łożysko klasyczne z gładkim czopem, wariant 2 łożysko z czopem ze śrubowym rowkiem o skoku 30 mm, głębokości 100 μm i szerokości 400 μm, natomiast wariant 3 oznaczał łożysko z czopem ze śrubowym rowkiem o skoku 30 mm, głębokości 250 μm i szerokości 1000 μm.

Analiza przedstawionych w tabeli 1 wyników wskazuje, że odpowiednio dobrany śrubowy rowek na czopie daje efekt w postaci zwiększenia osiowego przepływu oleju, zmniejszenia maksymalnej temperatury filmu i jednocześnie nie powoduje (w obszarze średnich mimośrodowości względnych) zmniejszenia nośności. O braku negatywnego oddziaływania na nośność świadczy fakt, że przy takich samych obciążeniach rejestrowano dla wariantu 2 mniejsze mimośrodowości względne niż miało to miejsce w przypadku wariantu 1. Jak należało się spodziewać większy rowek powoduje również zwiększenie intensywności osiowego przepływu oleju i zmniejszenie maksymalnej temperatury filmu, ale równocześnie skutkuje zmniejszeniem nośności.

IV

METODY EKSPERYMENTALNE W NANO I MKROSKALI

PIOTR DOMAGALSKI*, MAREK DZIUBIŃSKI*, SŁAWOMIR BŁOŃSKI**, TOMASZ KOWALEWSKI**

ZASTOSOWANIE OGNISKOWANIA HYDRODYNAMICZNEGO JAKO MODYFIKACJI TECHNIKI MICRO-PIV

*Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka
**Zakład Mechaniki i Fizyki Płynów, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

Słowa kluczowe: ogniskowanie hydrodynamiczne, techniki micro - piv

Ogniskowanie hydrodynamiczne (ang. hydrodynamic focusing) jest zjawiskiem polegającym na zwężaniu jednego ze strumieni cieczy w węźle mikrokanałów i przekształceniu go za pomocą strumieni bocznych w strumień o żądanej konfiguracji geometrycznej. Jest to szeroko stosowana technika w obszarze Lab-on-a-Chip ze względu na szeroki wachlarz praktycznych możliwości jakie stwarza, zaczynając od technologii mikromikserów, technologii kontroli i precyzyjnego dozowania substratów do mikroreaktorów, poprzez sterowanie przepływami (ang. flow adressing), na wytwarzaniu układów dwufazowych kończąc.
Ostatnio technika ta została zaproponowana jako modyfikacja techniki Micro-PIV (Micro Particle Image Velocimetry). Przy założeniu, że zogniskowana struga zawierająca znaczniki fluorescencyjne ma grubość mniejszą niż głębokość korelacji (ang. depth of correlation) uzyskuje się uniezależnienie jakości pomiarów od głębi ostrości mikroskopu i poprawę stosunku sygnału do szumu, dzięki ograniczeniu źródła fluorescencji do dobrze zdefiniowanej, cienkiej płaszczyzny.
Celem artykułu będzie próba weryfikacji przydatności tej techniki do analizy przepływów na przykładzie opływu poprzecznego progu o wysokości lOOum umieszczonego w mikrokanale o przekroju prostokątnym 400X400um.
Uzyskane wyniki zostaną przeanalizowane poprzez porównanie pól prędkości otrzymanych standardową techniką Micro-PIV i wersją zmodyfikowaną (Selective Seeding PIV - SES PIV). Wyniki eksperymentalne zostaną również porównane z wynikami CFD, dając odpowiedź dotyczącą przydatności techniki SES PFV dla potrzeb wizualizacji przepływów w skomplikowanych geometriach.

MAREK DZIUBIŃSKI

PRZEPŁYWY DWUFAZOWE CIECZ - GAZ W MIKROKANAŁACH

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej,
90-924 ŁódQ ul. Wólczańska 213; dziubin@wipos.p.lodz.pl

Najnowszym kierunkiem badań przepływów dwufazowych ciecz-gaz jest opis zjawisk zachodzących podczas takich przepływów w mini i mikrokanałach. Wynika to z naturalnych potrzeb dynamicznie rozwijących się badańw zakresie nanotechnologii. Przepływy dwufazowe ciecz-gaz w mikrokanałach występująbowiem w niezmiernie efektywnych mikrowy-miennikach ciepła, chłodzeniu elementów mikroelektroniki (multichipów w największych i najszybszych komputerach), chłodzeniu reaktorów atomowych, technice kosmicznej oraz zagadnieniach bioinżynierii i biotechnologii. W ostatnich latach obserwuje się również intensywny rozwój wielofazowych mini i nanoreaktorów.

W pracy przedstawione zostaną podstawowe informacje dotyczące aktualnego stanu badań najważniejszych parametrów hydrodynamiki przepływu dwufazowego ciecz-gaz w mikrokanałach, tzn. struktur przepływu, udziału faz oraz spadków ciśnienia.

W mikrokanałach obserwowane są znaczące różnice w hydrodynamice przepływu mieszaniny dwufazowej (struktury przepływu, udziały faz, spadki ciśnienia) oraz procesach wymiany ciepła w stosunku do analogicznych procesów w przewodach o większych średnicach. W przepływach w mikrokanałach siły grawitacyjne i siły wyporu mają bowiem mniejsze znaczenie (wartości liczby Eótvósa są zazwyczaj bardzo małe; Eo < 1) od sił napięcia powierzchniowego i sił adhezji, które są dominujące, co czyni parametry takiego przepływu prawie niezależnymi od orientacji mikrokanału. Ponadto w kanałach o średnicach rzędu 10-100 (im obserwuje siDprzejEMa od przepływu laminarnego do turbulentnego dla wartości liczby Reynoldsa mniejszej niżw kanałach o większych średnicach i nieznacznie mniejsze wartości współczynnika oporów przepływu w zakresie przepływu laminarnego.

Z przedstawionego stanu badań dotyczących hydrodynamiki przepływu mieszanin dwufazowych ciecz-gaz w mikrokanałach wynika, że żadne z podstawowych zagadnie ń takiego przepływu, a więc: określanie warunków formowania się poszczególnych struktur przepływu, określanie udziału faz oraz spadku ciśnienia nie zostało do tej pory zadowalająco opracowane. Nie opracowano uniwersalnych map przepływu, zaś opublikowane równaniauniemożliwiają określenie udziału faz i spadków ciśnienia są słuszne jedynie w wąskim zakresie przepływu dwufazowego.

Większość badań została wykonana wyłącznie dla układu woda-powietrze. Konieczne jest więc zbadanie wpływu lepkości i napięcia powierzchniowego cieczy oraz geometrii kanału na mechanizm przepływu mieszanin dwufazowych w mikrokanałach. Szczególny brak danych doświadczalnych daje się odczuć dla kanałów o rozmiarach rzędu dziesiżtek i setek (im. niezbędne jest również opracowanie nowych modeli przepływu dwufazowego w mikrokanałach, szczególnie dla kanałów o rozmiarach mniejszych od 1 mm.

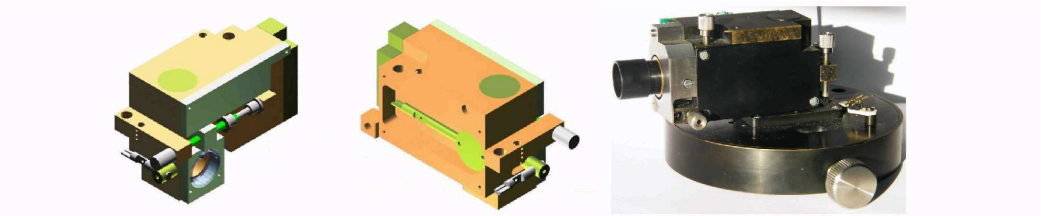
GRZEGORZ GRUCA, GRZEGORZ WIELGOSZEWSKI, TEODOR GOTSZALK

PRECYZYJNA UNIWERSALNA GŁOWICA POMIAROWA POZWALAJĄCA NA PROWADZENIE EKSPERYMENTÓW Z WYKORZYSTANIEM MIKROBELEK

Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Politechnika Wrocławska,
ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław
Adres korespondencyjny: grzegorz.gruca@pwr.wroc.pl

Słowa kluczowe: głowica pomiarowa, mikrobelki

Prowadzenie eksperymentów w skali mikro- i nano- stawia wysokie wymagania dotyczące konstrukcji i wykonania głowicy pomiarowej. Efekt skali powoduje, iż nawet niewielkie zmiany geometrii głowicy, wynikaj ące np. z różnych współczynników rozszerzalności termicznej materiałów czy też niedbałego projektu, utrudniaj ąprawidłową interpretacj ę wyników, bąd ź całkowicie uniemożliwiają pomiar. W prezentowanej pracy przedstawiono głowicę pomiarową pozwalającą na prowadzenie eksperymentów z wykorzystaniem mikrobelek wykonanych z różnego rodzaju materiałów (np. krzemowych, polimerowych, GaAs, Si3N4) o wymiarach od kilkudziesięciu do kilkuset µm. Zastosowano optyczną metodę detekcji ugięcia mikrobelki (ang. Optical Lever Detection Method) powszechnie stosowanąw mikroskopach sił atomowych (ang. Atomic Force Microscope). Średnica plamki lasera wynosi 10 × 40 µm. W trakcie procesu projektowania szczególny nacisk położono na minimalizację szumów, precyzję justowania wiązki lasera na powierzchni mikrobelki oraz możliwość dalszej rozbudowy. Wszystkie elementy zostały zaprojektowane i wykonane od podstaw z zamierzeniem maksymalizacji rozdzielczości układu. W trakcie testów udało się zarejestrować wyższe mody drgań mikrobelek oraz określić częstotliwość rezonansową mikrobelki drgającej tylko pod wpływem szumu termicznego (szacuje się że amplituda drgań wynosi ułamki nm).



Rys.1 Głowica pomiarowa.

Prezentowana głowica pozwala na prowadzenie pomiarów w środowiskach cieczowych. Niezbędna jest do tego dodatkowa celka cieczowa, zaprojektowana i wykonana jako element rozszerzający możliwości głowicy. Pierwsze eksperymenty pozwaliły ocenić właściwości szumowe oraz stabilność układu. Prezentowana głowica testowana jest obecnie w trzech mikroskopach AFM. W pracy prezentujemy wyniki podstawowych pomiarów ugięć mikrobelek rejestrowanych w powietrzu i cieczach w trybach statycznych i rezonansowych. Przedstawiamy również środki i techniki, które pozwoliły nam na poprawę stosunku sygnał - szum i w konsekwencji obserwację ugięćelementów mikromechanicznych w zakresie ułamków nanometra w paśmie do 1 kHz.

M. MAŃKA, P. KOHUT, D. PRUSAK, M. SZWEDO, T. UHL,

ZASTOSOWANIE TECHNIK WIZYJNYCH W BADANIU UKŁADÓW MIKROMECHANICZNYCH

AGH Katedra Robotyki i Mechatroniki
Al. Mickiewicza 30,
30-059 Kraków

Słowa kluczowe: mikrorobotyka, elastyczne przeguby złaczowe (flexures), wibrotermografia, wibrometria laserowa, szybka kamera, piezonapedy, projektowanie mechatroniczne.

Mikrorobotyka oraz nano-technika manipulacyjna jest obecnie stosowana praktycznie we wszystkich nowoczesnych obszarach techniki i nauki. Podstawowe narzedzia do poruszania sie w mikro i nano-swiecie tworzone sa jako mikro-urzadzenia pozycjonujace i mikroroboty manipulacyjne. Najczesciej budowane sa one jako układy skonstruowane na elastycznych przegubach złaczowych tzw: flexures. Zalety takich połaczen w porównaniu do klasycznych połaczen przegubowych to brak tarcia, brak luzów, scisła zale_nosc miedzy przyło_ona siła a uzyskanym przemieszczeniem, prosta budowa, mo_liwosc wykonania całego mechanizmu z jednego kawałka materiału oraz długa _ywotnosc układu przy zapewnieniu poprawnych warunków pracy. Wadami tego typu mechanizmów jest ograniczony zakres ruchu oraz brak odpornosci na uszkodzenia wywołane np. zbyt du_ym obcia_eniem. Najczesciej tego typu mikromechanizmy napedzane sa przy pomocy odkształceniowych napedów piezoelektrycznych charakteryzujacych sie subnanometryczna rozdzielczoscia ruchu oraz bardzo du_a siła, co jednak okupione jest niewielkim zakresem ruchu. Podstawowa trudnością w badaniu mikromechanizmów zbudowanych w oparciu o elastyczne przeguby złaczowe jest precyzyjny pomiar własnosci ruchowych. Posród wielu dostepnych technik pomiarowych takich jak np.: współrzednosciowe maszyny pomiarowe, enkodery liniowe, tensometry, czy czujniki pojemnosciowe na szczególna uwage zasługuja metody wizyjne, które dzieki bezstykowemu pomiarowi nie wprowadzaja zaburzen do układu oraz charakteryzuja się bardzo wysoka rozdzielczoscia pomiarowa. W artykule zaprezentowano szereg ró_nych wizyjnych technik pomiarowych, poczawszy od skaningowej wibrometrii laserowej, wibro-termografii, a skonczywszy na pomiarach przy pomocy szybkiej kamery i oraz przy wykorzystaniu toru wizyjnego umo_liwiajacego rejestracje obrazów przy dużym powiekszeniu. Tak szerokie zastosowanie ró_nych technik wizyjnych pozwoliło na zbadanie podstawowych parametrów mikromechanizmów takich
jak:

- • odkształcen statycznych, rozdzielczosci, zakresu ruchów mechanizmów na wskutek przyło_enia siły wymuszajacej (wibrometr skaningowy, tor wizyjny
- umożliwiajacego rejestracje obrazów przy duŻym powiekszeniu)parametrów dynamicznych mechanizmów: predkosci, przyspieszen (wibrometr skaningowy, szybka kamera)
- • zmiany naprężeń wewnatrz układu na wskutek przyło_enia siły wymuszajacej(kamera wibrotermograficzna)

Nastepnie otrzymane wartosci porównano z badaniami symulacyjnymi i przeprowadzona
została dyskusja otrzymanych wyników.

ANNA MORAWIAK MAREK DZIUBIŃSKI

OPORY PRZEPŁYWU MIESZANIN DWUFAZOWYCH CIECZ – CIECZ W MIKROKANAŁACH

Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska
90 – 924 Łódź, ul. Wólczańska 213

Słowa kluczowe: przepływy dwufazowe, mikroprzepływy

Mikro- i nanotechnologie, z uwagi na możliwość wytwarzania materiałów o unikalnych właściwościach, stały się obecnie jedną z najważniejszych dziedzin współczesnej nauki. Kontrolowane tworzenie struktur o wymiarach poniżej jednego mikrometra jest podstawowym celem prowadzonych badań. Modelowanie spotykanych w tych badaniach zjawisk przepływowych, z uwagi na unikalność zjawisk fizycznych i mechanicznych w małych skalach, opiera się w dużej mierze na badaniach empirycznych.

Same mikroprzepływy dwufazowe ciecz – ciecz mają szerokie zastosowanie m.in. w przemyśle chemicznym, farmaceutycznym, biotechnologicznym, a także w syntezie materiałów.

Podstawowymi zagadnieniami hydrodynamiki przepływu układów dwufazowych ciecz – ciecz są: mapy i struktury przepływu, udział objętościowy faz oraz opory przepływu.

Celem tego artykułu jest kompleksowy przegląd literatury dotyczący oporów przepływu mieszanin dwufazowych ciecz – ciecz w mikrokanałach. Dotąd opublikowano nieliczne prace związane z obliczaniem oporów przepływu dla tego typu mieszanin w mikrokanałach o rozmiarach $15\mu m \div 1mm$ i przekroju o różnej geometrii.

Opory przepływu korelowano na trzy sposoby w zależności od geometrii przekroju mikrokanałów: klasycznym równaniem Darcy – Weisbacha dla mikrokanału o średnicy $15\mu m \div 0.43mm$ w układzie krzyżowym w przypadku płynów newtoniowskich, uwzględniające również współczynnik tarcia, który zależny był od charakteru przepływu; równaniem Hagena – Poiseuille'a dla przekroju cylindrycznego opisywano hydrodynamiczny spadek ciśnienia, natomiast równaniem Young – Laplace'a – kapilarny spadek ciśnienia i to tylko dla układu cykloheksan – woda.

Wykonany przegląd literatury pozwala stwierdzić, iż zagadnienie określania oporów przepływu mieszanin dwufazowych ciecz – ciecz w mikrokanałach znajduje się we wstępnym etapie badań i wymaga dalszych intensywnych badań.

WOJCIECH MUSIAŁ, JAROSŁAW PLICHTA, KATARZYNA MUSIAŁ

REALIZACJA PROCESU SZLIFOWANIA W WARUNKACH PLASTYCZNEGO PŁYNIĘCIA MATERIAŁU Z DOSUWEM MANOMETRYCZNYM

THE REALIZATION OF PROCESS THE DUCTILE-REGIME GRINDING WITH NANO FEED

Politechnika Koszalińska Katedra Inżynierii Produkcji,
Racławicka 15 - 17, 75-620 Koszalin, wmusial@vp.pl
Politechnika Koszalińska Katedra Inżynierii Produkcji,
Racławicka 15 - 17, 75-620 Koszalin, jaroslaw.plichta@tu.koszalin.pl

Słowa kluczowe: mikroobróbka, szlifowanie, nanodosuw

Proces szlifowania materiałów kruchych w warunkach plastycznego (ciągliwego) usuwania materiału, jest stosunkowo nowym sposobem obróbki materiałów ceramicznych, umożliwiającym realizację dosuwu z dokładnością nanometryczną. Umożliwia wypełnienie luki między klasycznym procesem szlifowania (realizowanym z dokładnościami mikrometrycznymi najczęściej w warunkach kruchego pękania materiału obrabianego) a procesem docierania i polerowania, dla których proces kruchego pękania nie zachodzi, za to charakteryzują się małą wydajnością i nie są zdeterminowane wymiarowo. Wydaje się, że proces szlifowania w warunkach ciągliwego usuwania materiału, może zapewnić połączenie pozytywnych cech procesu szlifowania z pozytywnymi właściwościami procesu docierania i polerowania, szczególnie jeśli chodzi o osiągalne dokładności obróbki materiałów ceramicznych.

Realizacja procesu szlifowania w warunkach plastycznego płynięcia materiału jest trudna w praktyce, ze względu na konieczność zapewnienia dużej sztywności mechanicznej w procesie obróbkowym oraz konieczność zastosowania dosuwu nanometrycznego. Materiał ceramiczny poddany naprężeniom, powstającym pod wpływem pracy ziaren ściernych, ulega niszczeniu w sposób nagły, praktycznie bez fazy plastycznego płynięcia, charakterystycznego dla materiałów metalowych. W przypadku materiałów ceramicznych o dużej czystości chemicznej, niszczenie następuje w sposób katastroficzny.

Próby realizacji procesu szlifowania w warunkach plastycznego płynięcia materiału wskazują, że może on zmniejszyć stopień zdefektowania powierzchni szlifowanej oraz warstwy przypowierzchniowej, jak również prowadzić do zwiększenia dokładności wymiarowej obrabianego materiału. W referacie przedstawiono stanowisko badawcze służące do realizacji procesu szlifowania w warunkach plastycznego płynięcia materiału obrabianego oraz analizy powierzchni i warstwy wierzchniej materiału obrabianego.

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

[1] Bifano T. G., Dow T. A., Scattergood R. O., Ductile-regime grinding: a new technology for machining brittle materials, Tran. ASME, J. Eng. Ind., 1991, vol. 113, nr 2, s. 184–189.
[2] Van Brussel H., Reynaerts D., Vanherck P., Versteyhe M., Devos S.: A Nanometre-Precision, Ultra-Stiff Piezostepper Stage for ELID Grinding. Annals of the CIRP, vol. 52/1/2003.
[3] Musiał W., Possibilities of obtaining smooth surfaces in the process of microgrinding under conditions of plastic flow of brittle materials, Advances in Manufacturing Science and

Technology, 2004, vol. 28, nr 2.

MAGDALENA ORCZYKOWSKA, PAWEŁ BUDZYŃSKI, MAREK DZIUBIŃSKI

MIKROPRZEPŁYW ZAWIESINY CZERWONYCH KRWINEK W NACZYNIACH KRWIONOŚNYCH

Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska
ul. Wólczańska 213, 90 – 924 Łódź, e-mail: orczykow@wipos.p.lodz.pl

Krew ludzka jest zawiesiną kilku składników, a mianowicie erytrocytów czyli czerwonych ciałek krwi, leukocytów czyli białych ciałek i trombocytów czyli płytek krwi w osoczu. W zawiesinie tej największy jest udział czerwonych ciałek krwi. W związku z tym własności reologiczne krwi ludzkiej interpretowane są w zależności od kilku zjawisk, które tych krwinek dotyczą. Zjawiska takie jak agregacja czerwonych krwinek, rozpad agregatów pod wpływem pola naprężeń, efekty orientacji i wzajemnego oddziaływania krwinek przy przepływie, a także ich odkształcenia są tymi zjawiskami, które decydują o zmianach lepkości krwi. Głównym czynnikiem determinującym lepkość krwi jest „efektywna objętość agregatu". Wpływ na tę „efektywną objętość" jak i na sam proces agregacji ma między innymi zmiana wielkości hematokrytu. Hematokryt jest zatem jednym z najważniejszych czynników decydujących o lepkości krwi.

W literaturze przedmiotu przedstawionych zostało kilka prac omawiających wpływ zawartości czerwonych krwinek na własności reologiczne krwi. Dotyczą one badań reometrycznych krwi w szerokim zakresie szybkości ścinania przy hematokrycie zmieniającym się od 0 do 99%. Na szczególną uwagę jednak zasługują badania Zydneya, który określał wpływ hematokrytu na zależność naprężenia stycznego i lepkości w funkcji szybkości ścinania dla zawiesiny czerwonych krwinek w osoczu i w płynie fizjologicznym.

W prezentowanej pracy przedstawiono analizę lepkosprężystego zachowania się zawiesiny krwinek czerwonych podczas ich przepływu w takich mikrokanałach jakimi są naczynia krwionośne. Opierając się na danych doświadczalnych w postaci krzywych płynięcia i krzywych lepkości uzyskanych z badań reometrycznych Zydneya omówiono zdolność do odwracalnego odkształcenia występującą przy silnym ścinaniu krwinek
i zdolność do agregowania się przy małym ścinaniu, a więc przejście od kształtu płaskich monet do kształtu naparstka w trakcie ich mikroprzepływu.

JAN OWSIK*, MAREK SZYMAŃSKI

OPTYCZNE METODY NANOTECHNOLOGII

Instytut Optoelektroniki WAT,
00-908 Warszawa, ul. S.Kaliskiego 2,
*email: jowsik@wat.edu.pl

Słowa kluczowe :

Rozwiązania optyczne są znane z wszechstronności, łatwości zastosowania, relatywnie niskiego kosztu oraz dużej niezawodności. Niestety, nanoskala (definiowana jako 1-100nm) długo była praktycznie niedostępna dla metod optycznych ze względu na ograniczenie Abbego, które wydawało się uniemożliwiać zastosowanie światła do badania i sterowania pojedynczymi nanoobiektami. Niewystarczające możliwości instrumentów optycznych doprowadziły do opracowanie mikroskopii elektronowej, a później m.in. skaningowej mikroskopii tunelowej i mikroskopii sił atomowych. Te narzędzia tworzą obecnie podstawową bazę metrologiczną nanotechnologii, gdyż pozwalają uzyskać rozdzielczości rzędu nanometra i lepszą. Niestety, ich stosowalność jest poważnie ograniczona przez wymagania co do próbki i jej przygotowania. Ponadto, metody te dostarczają głównie topograficznej informacji i normalnie są ograniczone do pewnego obszaru powierzchni próbki.

Ograniczenia wyżej wymienionych metod doprowadziły do rozwoju innych narzędzi dla badań w nanoskali. Wśród nich, metody optyczne są niezmiernie atrakcyjne, ze względu na bogactwo informacji jaką może nieść światło. Ze względu na dopasowanie pomiędzy widzialnymi długościami fal i molekularnymi poziomami energetycznymi, światło pozwala na uzyskanie zarówno przestrzennej jak i spektroskopowej informacji o próbce, co jest możliwe niedestruktywnie i bez specjalnego przygotowywania próbki. Te ostatnie cechy czynią metody optyczne doskałe dla współczesnej biologii i nanotechnologii białek. Metody optyczne pozwalają nie tylko na detekcje i badanie pojedynczych nanoobiektów, ale również pozwalają na uzyskiwanie statystycznych rozkładów z populacji. To jest konieczne w przemyśle, gdzie badanie kolejno pojedynczych nanoobiektów byłoby niemożliwe.

Celem wystąpienia jest przedstawienie najważniejszych znanych technik optycznych do badania i manipulacji w skali nano, dla pojedynczych nanoobiektów i dla statystycznej charakteryzacji dużych populacji. Po krótkim wstępie na temat właściwości optycznych nanocząstek, planujemy przedstawić najważniejsze z punktu widzenia możliwości zastosowania metody, które już zostały zademonstrowane doświadczalne, w szczególności: metody optycznej lokalizacji pojedynczych nanocząstek w dalekim polu, mikroskopię i spektroskopię optyczną z nanometryczną rozdzielczością w bliskim i w dalekim polu (NSOM, RESOLFT, STORM, PALM), metody pomiaru odległości rzędu nanometrów (FRET, sprzężenie plazmonowe), metody wykrywania nanocząstek (badanie rozpraszania, interferometria, mikrourządzenia fotoniczne),

optyczne metody manipulacji pojedynczymi nanocząstkami (szczypce optyczne, pułapki optyczne, szczypce optoelektroniczne, pułapkowanie w bliskim polu), optyczne metody nanofabrykacji oraz istniejące metody pozwalające na uzyskiwanie informacji o dużych zbiorach nanoobiektów (szczególnie dynamiczne rozpraszanie światła). Wszystkie prezentowane techniki znajdują już, lub wkrótce znajdą, zastosowanie w nauce i technice, w szczególności medycynie, biologii i przemyśle wysokich technologii.

MIROSŁAW WOSZCZYNA[1], MICHAŁ ŚWIĄTKOWSKI[1], PAWEŁ ZAWIERUCHA[1], TEODOR GOTSZALK[1], IVO W. RANGELOW[2]

BADANIA EFEKTYWNOŚCI TERMICZNEJ AKTUACJI DŹWIGNI SPRĘŻYSTEJ MIKROSKOPU SIŁ ATOMOWYCH

EFFICIENCY OF THERMAL DEFLECTION ACTUATION OF ATOMIC FORCE MICROSCOPY CANTILEVERS

[1] Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Politechnika Wrocławska,
ul. Janiszewskiego 11/17 50-372 Wrocław, miroslaw.woszczyna@pwr.wroc.pl,
michal.swiatkowski@pwr.wroc.pl, pawel.zawierucha@pwr.wroc.pl
[2] Departament of Micro- Nanoelectronical Systems, Technical University of Ilmenau , P.O. Box 100565, D-98684 Ilmenau, Niemcy, ivo.rangelow@tu-ilmenau.de

Słowa kluczowe: mikromechaniczna dźwignia krzemowa, mikroskopia sił atomowych

Czujnikiem w mikroskopii sił atomowych jest najczęściej dźwignia sprężysta, wykonana z krzemu. Typowo do oceny ugięcia mikrodźwigni stosuje się zogniskowaną wiązkę promieniowania z diody laserowej, która po odbiciu od powierzchni dźwigni mierzona jest w układzie fotodetektora. Ponadto w celu wprowadzenia sondy w drgania rezonansowe stosuje się zewnętrzny piezoaktuator sterowany ze generatora sygnałowego. Takie rozwiązanie wymusza zastosowanie skomplikowanych układów optycznych i mechanicznych do pozycjonowania wiązki laserowej, a także skomplikowanego układu mocującego dźwignię do głowicy pomiarowej. Rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie mikrodźwigni krzemowej ze zintegrowanym aktuatorem wychylenia i detektorem ugięcia. W opisywanym rozwiązaniu o wychyleniu końcówki belki krzemowej decyduje naprężenie mechaniczne między poszczególnymi warstwami czujnika, które jest indukowane przy zmianie temperatury cienkowarstwowego grzejnika osadzonego na górnej powierzchni dźwigni.
Do detekcji ugięcia zastosowano cztery piezorezystory pracujące w konfiguracji mostka Wheatstone'a. Zastosowanie takiej dźwigni w mikroskopii bliskich oddziaływań sprawia, że głowica pomiarowa posiada nadzwyczaj zwartą konstrukcję, gdyż detekcja ugięcia dźwigni odbywa się bez pośrednictwa układów optycznych.
W pracy autorzy zaprezentują architekturę stosowanych zespołów mikromechanicznych, wyniki kalibracji dźwigni ze zintegrowanym aktuatorem wychylenia i detektorem ugięcia ze szczególnym uwzględnieniem analizy zdolności ugięcia dźwigni pod wpływem rozpraszania się mocy w strukturze mikrogrzejnika. Zostaną także przedstawione wyniki pomiarów czułości detektora piezorezystancyjnego przy wzorcowym ugięciu dźwigni. Pomiary wykonano za pomocą interferometrycznego światłowodowego układu do badania nano- i mikroprzesunięć.

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

[1] R. Pedrak, Tzv. Ivanov, K. Ivanova, T. Gotszalk, N. Abedinov, I. W. Rangelowa, K. Edinger, E. Tomerov, T. Schenkel, P. Hudek, J. Vac. Sci. Technol. B 21 (6)., Nov/Dec 2003
[2] T. Gotszalk, P. Grabiec, I. W. Rangelow, Ultramicroscopy 97 (2003) 385–389

V
WYTWARZANIE I ZASTOSOWANIE MIKROURZĄDZEŃ

MARCIN KĘDZIERSKI[1], PAWEŁ KNAPKIEWICZ[2]

INTERDIGITAL MICROMIXER: NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION

[1]Departament of Mechanics and Physics of Fluids, Institute of Fundamental Technological Research PAS, Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa, mkedz@ippt.gov.pl
[2]Department of Microsystem Electronics and Photonics, Wrocław University of Technology, Janiszewskiego 7/9, 50-372 Wrocław, Pawel.Knapkiewicz@pwr.wroc.pl

Słowa kluczowe: mikromiksery, mikroprzepływy

Liquid mixing in microscale is a crucial problem. Flow inside microchannels is laminar and mixing occurs mostly by diffusion. To achieve good mixing efficiency, many types of micromixers are designed and fabricated. In this work mixing properties of a passive interdigital mixer with a triangular focusing zone are investigated (Fig.1.a). Numerical approach consisted of finite element modeling using COMSOL Multiphysics software from which the flow pattern and mixing efficiency were calculated (Fig.1.c). The analysis showed good mixing properties which was a motivation for making the micromixer in the silicon and glass microengineering technology (Fig.1.b). Experimental investigation confirmed numerical results (Fig.1.d). Because of materials used for fabrication, the proposed micromixer will be a good solution for mixing dangerous reagents including concentrated acids.

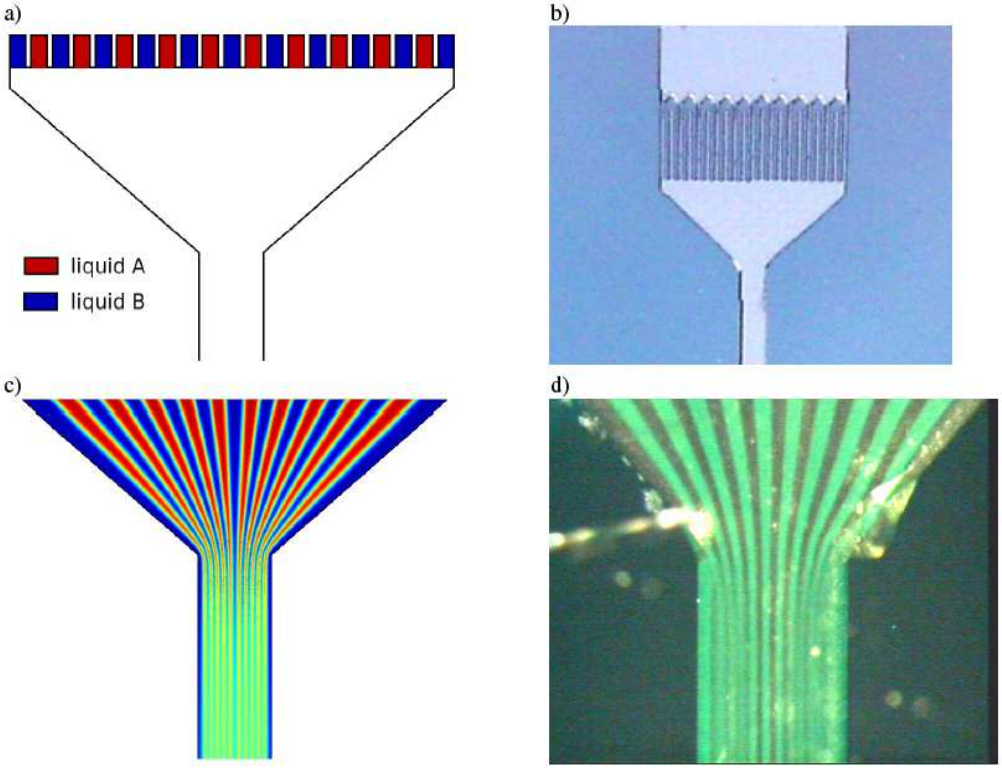


Fig. 1. Interdigital micromixer with a triangular focusing zone: a) micromixer shape, b) fabricated micromixer, c) simulation of the flow pattern, d) experimental results

TOMASZ KLEKIEL

DOKŁADNOŚĆ POZYCJONOWANIA W STEROWANIU UKŁADAMI WIELOCZŁONOWYMI

Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Budowy i Eksploatacji Maszyn, Zakład Bioinżynierii

Słowa kluczowe:

W ostatnich latach rozwój nowoczesnych technologii w skali mikro pociąga za sobą potrzebę stosowania coraz to precyzyjniejszych maszyn do pozycjonowania obiektów oraz wykonywania niezbędnych operacji z dużą dokładnością. Dzięki zastosowaniu nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych dotyczących manipulatorów, wykorzystywania napędów o dużej dokładności i pewności położenia efektora, odpowiedniemu sterowaniu zapewniającym uzyskanie precyzyjnego ruchu, możliwe są konstrukcje manipulatorów możliwym stało się aby manipulatory stanowiące niejednokrotnie układy wieloczłonowe znalazły zastosowanie w takich gałęziach przemysłu jak produkcja sprzętu AGD, przemysł włókienniczy, produkcja podzespołów elektronicznych czy produkcja układów scalonych. Coraz powszechniejsze staje się także wykorzystywanie precyzyjnych manipulatorów w medycynie, zwłaszcza w chirurgii gdzie problemy związane z dokładnym pozycjonowaniem efektora, jak również łatwym i niezawodnym jego sterowaniem są wciąż nie do końca rozwiązane.

Obecnie na rynku znajduje się różnorodne oprogramowanie wspomagające konstruktora w fazie powstawania projektu. Manipulatory zazwyczaj są układami wieloczłonowymi i ich analiza znanymi z mechaniki metodami analitycznymi jest mocno utrudniona. Stąd też istnieje potrzeba wykorzystywania specjalizowanych programów tj. DADS, ADAMS, FEDEM, Visual Nastran 4D, Mecano, SIMPACK itp. Dzięki temu analiza kinematyczna jak i dynamiczna dowolnej struktury układu kinematycznego manipulatora może być z powodzeniem przeprowadzona.

Układy mechatroniczne, a w szczególności manipulatory, cechują się tym, że jakość i funkcjonalność takiego układu ściśle zależy od jakości układu sterowania a dokładnie od oprogramowania które steruje jego pracą. W przypadku zastosowań na liniach produkcyjnych program zmieniany jest okresowo w zależności od aktualnych potrzeb, jednak korzysta się w takich wypadkach z gotowej bazy programów przygotowanych dla określonych celów które można z góry przewidzieć i w większości przypadków nie ma potrzeby przystosowywania tych układów do zmieniających się warunków otoczenia.

Jednym z przypadków w których istotne jest ułożenie odpowiedniego programu sterowania do realizacji przez manipulator określonej funkcji efektora tj. przejście między dwoma punktami granicznymi wzdłuż założonej ścieżki. Zakładając dodatkowo chęć uzyskania dużej dokładności pozycjonowania efektora, problem poszukiwania odpowiedniego programu sterującego jest złożony algorytmicznie i wymaga znalezienia rozwiązania dla silnie nieliniowego układu równań. Istnieje kilka sposobów na realizacje takiego zadania. W niniejszym artykule zaproponowano podejście w którym problem poszukiwania rozwiązania przedstawiono jako problem optymalizacji z ograniczeniami, gdzie poszukiwanymi wielkościami są parametry sterowania poszczególnych napędów manipulatora o układzie otwartym i sześciu stopniach swobody. Problem optymalizacji rozwiązano stosując bezgradientowe metody optymalizacji: Hooke'a Jeeves'a i Powella, jak również zaproponowano wykorzystanie algorytmów ewolucyjnych. Otrzymane rozwiązania dla wybranych przypadków projektowanych ścieżek efektora przeanalizowano pod kątem dokładności pozycjonowania.

PAWEŁ KNAPKIEWICZ . JAN A. DZIUBAN[1] , ANDREAS FREITAG[2] , THOMAS DIETRICH[2] , DUSAN BOSKOVIC[3], STEFAN LOEBBECKE[3], BOGDAN A. LATECKI[4]

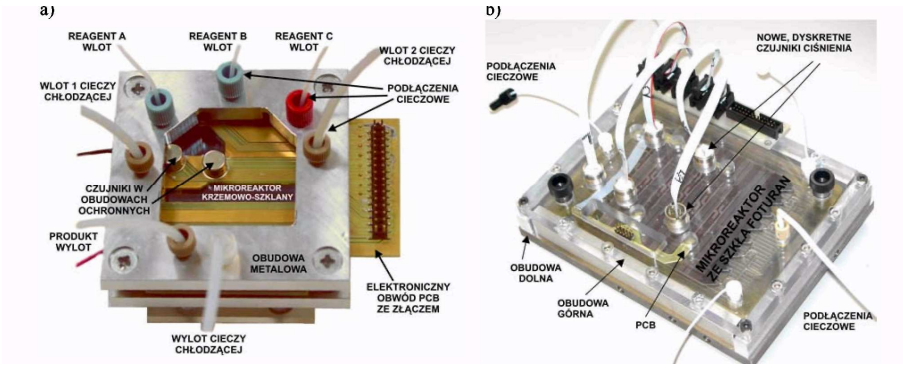
MIKROFABRYKA CHEMICZNA „NA STOLE" DO PROWADZENIA REAKCJI NITROWANIA W MIKROREAKTORZE Z WIELOPUNKTOWYM POMIAREM CIŚNIENIA I TEMPERATURY ORAZ SYSTEMEM KONTROLI PRZEBIEGU REAKCJI

[1] Wydział Elektroniki Mikrosystemów I Fotoniki Politechniki Wrocławskiej, ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław
[2] Mikroglas Chemtech GmbH, Galileo-Galilei Straße 28, 55129 Mainz, Niemcy
[3]Fraunhofer-Institute för Chemische Technologie ICT, Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7, 76327 Pfinztal, Niemcy [4] Instytut Technologii Elektronowej, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

W tej pracy przedstawiono, prawdopodobnie po raz pierwszy, mikrofabrykę chemiczną do prowadzenia reakcji nitrowania. Podstawowym elementem tej mikrofabryki, jest mikroreaktor krzemowo-szklany (Rys. 1.a) lub ze szkła Foturan (Rys. 1.b). Do pomiaru parametrów reakcji wewnątrz mikroreaktorów, zastosowano miniaturowe czujniki ciśnienia integrowane *on-chip* (mikroreaktor krzemowo-szklany) lub *off-chip* (mikroreaktor ze szkła Foturan) oraz miniaturowe czujniki temperatury. Konstrukcja czujników ciśnienia zapewnia ich całkowitą odporność chemiczną na środowisko reakcji nitrowania.

Opracowano sposób obudowania mikroreaktorów wraz z podłączeniami cieczowymi i elektrycznymi oraz współpracujący z czujnikami system elektroniczno-informatyczny, który umożliwia przetwarzanie, archiwizację, wizualizację oraz sterowanie przebiegiem reakcji.

W pełnym artykule zostanie omówiona konstrukcja i wykonanie poszczególnych komponentów mikrofabryki chemicznej oraz przedstawione zostaną wyniki modelowania i pomiarów ciśnienia i temperatury bezpośrednio w mikrokanałach mikroreaktora chemicznego.



N 1 N

Rys. 1. Obudowany mikroreaktor krzemowo-szklany (a) ze zintegrowanymi *on-chip* czujnikami ciśnienia, czujnikami temperatury i obwodem PCB oraz ze szkła Foturan (b) z dyskretnymi czujnikami ciśnienia.

PRZEDSTAWIONE PRACE POWIĄZANE BYŁY ŚCIŚLE Z EUROPEJSKIM PROJEKTEM NEPUMUC (*NEW ECO-EFFICIENT INDUSTRIAL PROCESS USING MICROSTRUCTURED UNIT COMPONENTS*, PR6). OPRACOWANE ROZWIĄZANIA BĘDĄ

WYKORZYSTANE PRZEZ PRODUCENTÓW EUROPEJSKICH W PRAKTYCE PRZEMYSŁOWEJ DO PROWADZENIA WYSOKOENERGETYCZNYCH REAKCJI CHEMICZNYCH, W TYM NITROWANIA WĘGLOWODORÓW.

TOMASZ WIĘCEK, ANDRZEJ WASILEWSKI, WŁODZIMIERZ KONECKI

WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA TŁUMIENIA DRGAŃ SWOBODNYCH WŁÓKIEN KONSTRUKCYJNYCH

DETERMINATION OF DAMPING COEFFICIENT IN FREE VIBRATIONS FOR CONSTRUCTION FILAMENTS

Politechnika Rzeszowska, Katedra Fizyki, 35-959 Rzeszów,
ul. W. Pola 2, ftkwiece@prz.edu.pl , optlabwa@prz.edu.pl ,
Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Włókna i Metrologii Włókienniczej,
90-543 Łódź, ul. Żeromskiego 116, konecki@mail.p.lodz.pl ,

Słowa kluczowe: logarytmiczny dekrement tłumienia, włókna konstrukcyjne

Jednym z podstawowych parametrów charakteryzujących włókna konstrukcyjne, oprócz statycznego i dynamicznego modułu sprężystości jest współczynnik tłumienia drgań swobodnych. W rzeczywistych warunkach użytkowania tego typu włókien, wytworzone z nich wyroby wielokrotnie poddawane są dynamicznym działaniom obciążeń, w tym rozciągających. Znajomość współczynnika tłumienia drgań swobodnych włókien konstrukcyjnych pozwoli określić logarytmiczny dekrement tłumienia.

Jeżeli naprężenie będziemy zmieniać sinusoidalnie to przy liniowej lepkosprężystości odkształcenie będzie również zmieniać się sinusoidalnie i będzie opóźnione w fazie. Składowa rzeczywista E' modułu zespolonego E* jest w fazie z odkształceniem i nazywa się „dynamicznym modułem sprężystości" (lub „modułem akumulacji"). Reprezentuje ona energię zmagazynowaną w próbce w wyniku zastosowania odkształceń. Składowa urojona E'' nosi nazwę „modułu strat" (lub „dynamicznego modułu lepkości") i opisuje tę część energii próbki, pochodzącej z pracy wykonanej w procesie deformacji, która ulega rozproszeniu na ciepło [1]. Do opisu właściwości lepkosprężystych włókna zastosowano model Kelvina-Voigta. Odpowiedź sprężystą na pobudzenie impulsowe określano poprzez monitorowanie drgań gasnących powstałych przy odkształceniu wzdłużnym. Jednym ze sposobów określenia częstotliwości jest badanie zmienności w czasie amplitudy drgań swobodnych w zakresie małych odkształceń. Do dynamicznego badania odkształceń wybrano metodę optyczną ze względu na jej bezinercyjność, wysoką czułość i bezstykowość. Ważnym warunkiem prawidłowego pomiaru drgań jest separacja od drgań zewnętrznych stosując stół antywibracyjny i łożysko powietrzne.

Analogowy sygnał elektryczny po wzmocnieniu był przetwarzany na postać cyfrową w przetworniku analogowo – cyfrowym (AC) i rejestrowany poprzez zapis w formie ciągu próbek cyfrowych na dysku komputera. Stosując metodę najmniejszych kwadratów uzyskano współczynnik tłumienia oraz częstość drgań własnych tłumionych dla włókna poliamidowego o średnicy 0,1mm , polipropylenowego o średnicy 0,15mm i poliestrowego o średnicy 0,15mm.

Badania są finansowane z projektu badawczego KBN nr 3T08E 05630 pt. „Opracowanie metody i układu do dynamicznego wyznaczania modułu Younga dla włókien tekstylnych".

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

[1] FERRY J.D., *Lepkosprężystość polimerów*, WNT, Warszawa 1965,

MIROSŁAW WOSZCZYNA[1], GRZEGORZ JÓŹWIAK[1], MICHAŁ ZIELONY[1],
ANDRZEJ KOLEK[2], PIOTR GRABIEC[3], PAWEŁ JANUS[3], TEODOR GOTSZALK[1]

OCENA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH SPRĘŻYSTYCH DŹWIGNI PIEZOREZYSTYWNYCH NA PODSTAWIE ICH PARAMETRÓW SZUMOWYCH

DETERMINATION OF MEASUREMENT PROPERTIES OF PIEZORESISTIVE CANTILEVERS BASED ON NOISE INVESTIGATION

[1] Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Politechnika Wrocławska, ul. Janiszewskiego 11/17
50-372 Wrocław, miroslaw.woszczyna@pwr.wroc.pl, grzegorz.jozwiak@pwr.wroc.pl,
michal.zielony@pwr.wroc.pl, teodor.gotszalk@pwr.wroc.pl
[2] Katedra Podstaw Elektroniki, Politechnika Rzeszowska ul. W. Pola , 35-959 Rzeszów,
akoleknd@prz.rzeszow.pl
[3] Instytut Technologii Elektronowej, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa, grabiec@ite.waw.pl,
janus@ite.waw.pl

Słowa kluczowe: mikromechaniczne dźwignie krzemowe, szumy, stała sprężystości

Mikromechaniczne dźwignie krzemowe stosowane są jako czujniki siły w zakresie od pikodo mikronewtonów. Wartość siły wyznacza się na podstawie ugięcia dźwigni przy znajomości jej stałej sprężystości. W pracy autorzy przedstawią metodę określania właściwości mechanicznych dźwigni krzemowej, w której strukturze został zintegrowany detektor ugięcia w postaci mostka piezorezystywnego. Wyznaczenie wartości stałej sprężystości dźwigni ze zintegrowanym detektorem ugięcia metodami analitycznymi na podstawie jej wymiarów geometrycznych jest obarczone błędem wynikającym z uproszczonego modelu matematycznego. Stąd istnieje potrzeba określenia jej eksperymentalnie. Najczęściej stosuje się dwie metody: metodę masy dodanej, gdzie na powierzchni dźwigni mocuje się obiekt o dobrze określonej masie i mierzy się przesunięcie częstotliwości rezonansowej oraz metodę ekwipartycji energii. Mierząc gęstość widmową napięcia szumów na wyjściowych mostka piezorezostywnego, która odpowiada ruchowi dźwigni pod wpływem drgań termicznych. Przyrównując energię drgań termicznych z energią kinetyczną ramienia dźwigni, po przekształceniach otrzymuje się stałą sprężystości.

Autorzy przedstawią wyniki pomiarów stałej sprężystości dźwigni piezorezystywnej ze zintegrowanym detektorem ugięcia uzyskanych z zaprojektowanego stanowiska badawczego oraz dokonają porównania uzyskanych rezultatów z innymi metodami charakteryzacji dźwigni.

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

[1] J. Ralston, I. Larson, M. W. Rutland, A. A. Feiler, M. Kleijn, Pure Appl. Chem., Vol. 77, No. 12, pp. 2149–2170, 2005
[2] J. L. Hutter, J. Bechhoefer, Rev. Sci. Instrum. 64 (7), July 1993

VI
NANOMATERIAŁY I MIKROMATERIAŁY

A. JAWOREK, A.T. SOBCZYK, A. KRUPA, M. LACKOWSKI, T. CZECH

ELEKTROSTATYCZNE NANOSZENIE NANOWARSTW NA PODŁOŻE METALOWE

[1)]Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Fiszera 14, 80-952 Gdańsk
e-mail: jaworek@imp.gda.pl

Słowa kluczowe:

W elektrostatycznym nanoszenie cienkich warstw, o grubości 100-200 nm, wykorzystuje się metodę rozpylania elektrohydrodynamicznego (Elektrorozpylanie - *Electrospraying*). Elektrorozpylanie jest procesem, w którym styczne siły elektryczne działają na powierzchnię cieczy wypływającej z metalowej dyszy kapilarnej, po przyłożeniu do dyszy wysokiego napięcia. W procesie elektrorozpylania, w modzie stożkowo-strugowym lub wielostrugowym, wytwarzane są krople o wielkościach kilku mikrometrów. Zastosowanie odpowiedniego składu rozpylanej mieszaniny złożonej z cieczy łatwo odparowujących pozwala na dalsze zmniejszenie wielkości wytwarzanych kropli. W celu wytworzenia metodą elektrorozpylania bardzo cienkich warstw o pożądanych właściwościach mechanicznych, fizycznych lub chemicznych, stosuje się roztwór lub zawiesinę koloidalną materiału mającego tworzyć tę warstwę. Zaletą elektrorozpylania jest to, że wytwarzane krople mają w przybliżeniu rozkład monodyspersyjny, co umożliwia wytworzenie warstwy o dużej jednorodności. Ładunek elektryczny, jaki posiadają rozpylane krople powoduje, że dzięki siłom Coulomba, większa część rozpylanego materiału osadza się na pokrywanym podłożu. Zastosowanie naprzemiennego elektrorozpylania z dwóch dysz umożliwia naniesienie na powierzchnię podłoża, warstwa po warstwie, materiałów o odmiennych właściwościach fizykochemicznych. Metoda ta pozwala w prosty sposób tworzyć warstwy nanokompozytowe o wymaganych właściwościach, z możliwością szerokiego zastosowania w technologii materiałowej.

W pracy przestawiono elektrostatyczną metodę wytwarzania warstw z tlenków metali. Jako podłoże zastosowano blachę ze stali nierdzewnej. Za pomocą elektrorozpylania nanoszono nanocząstki tlenków metali takich jak np. TiO_2, Fe_2O_3, MgO, lub Al_2O_3 o średnicach od 20 do 100 nm, w postaci zawiesiny koloidalnej w metanolu lub mieszaninie metanolu i etanolu. Struktura otrzymanych warstw badana była za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego. Grubości otrzymywanych warstw były mniejsze od 200 nm.

DOROTA KOŁBUK, TOMASZ KOWALEWSKI, PAWEŁ SAJKIEWICZ

OPTICAL INVESTIGATIONS OF STRUCTURE OF POLY (CAPROLACTONE) NANOFIBERS FORMED BY ELECTROSPINNING

Institute of Fundamental Technological Research, Polish Academy of Sciences,
Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa,
e-mail: dkolbuk@ippt.gov.pl

Although electrospinning has appeared in the literature for several decades, there is still a lack of quantitative data showing correlation between process parameters and a structure of nanofibers. Our work is aimed to better understanding of dependences parameters of electrospinning and the structure of nanofibers.

MATERIAL, FIBER FORMATION, FIBER FORMATION AND METHODS OFINVESTIGATIONS.

Polycaprolactone (PCL) with Mw = 80,000 g/mole from Aldrich Chemical Co. was used. Electrospinning of PCL solution was performed at various solution and processing parameters. Two different solvent mixtures were used - a mixture of chloroform and N.N-dimethylformamide (DMF) and a mixture of chloroform and methanol. Polymer concentration was in a range from 7 to 14%. Nanofibers were formed at applied voltage ranges from 5 to 30kV. The ground collection plate was located at a distance of 15 cm from the needle. For optical observations nanofibers were collected directly on cover glasses
Pluta polarizing interference microscope (Biolar PI) produced by Polish Optical Works (PZO) was used. This microscope is equipped with several Wollastone birefringent prisms, allowing a quantitative determination of the optical path difference caused by investigated object, which in turn is proportional to the birefringence. Optical birefringence is a measure of molecular orientation. Small diameters of investigated fibers requires special techniques of observation, allowing to increase an image resolution. Complementary results were obtained by scanning electron microscopy (SEM) and differential scanning calorimetry (DSC Pyris-1).

RESULTS

Data obtained by optical microscopy clearly show that the nanofibers are birefringent, indicating molecular orientation as a result of spinning process. Fig. 1 illustrates typical micrograph of PCL nanofiber registered in a fringed interference field.

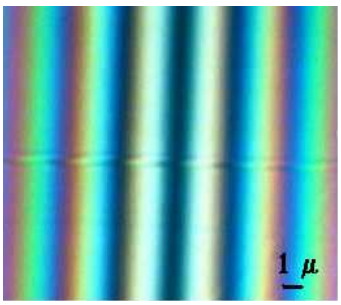


Fig. 1. Fringed interference white light field of PCL fibers spun from 7% solution of chloroform/DMF mixture at 20kV. Deviation of fringes in the registered position of fiber is directly proportional to birefringence.

Quantitative measurements of birefringence both in fringed field and uniform color field indicate the dependence of orientation on spinning parameters. PCL fibers formed from methanol/chloroform mixture arethicker than those obtained from a chloroform/DMF mixture. Estimation of a degree of molecular orientationrequires information on intrinsic birefringence as well as on degree of crystallinity. The later was provided by additional DSC measurements. Fiber diameters estimated from optical microscope were compared with data obtained by SEM.

Acknowledgement
The financial support from the Ministry of Science and Higher Education (research grant

N50701931/0563) IS GREATLY APPRECIATED.

GRZEGORZ ŁUKA[1], TOMASZ KRAJEWSKI[1], ŁUKASZ WACHNICKI[1,2], AGNIESZKA SZCZEPANIK[1,2], KRZYSZTOF KOPALKO[1], ANDRZEJ SZCZERBAKOW[1], ELŻBIETA ŁUSAKOWSKA[1], JANUSZ FIDELUS[3], SEGREY YATSUNENKO[1], ELŻBIETA GUZIEWICZ[1], MAREK GODLEWSKI[1,2]

STRUKTURY HYBRYDOWE ZNO/MATERIAŁ ORGANICZNY DLA ZASTOSOWAŃ W NOWEJ GENERACJI PAMIĘCI PÓŁPRZEWODNIKOWYCH

ZNO/ORGANIC HYBRID STRUCTURES FOR NEW GENERATION SEMICONDUCTOR MEMORY APPLICATIONS

[1]Instytut Fizyki PAN, al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa, gluka@ifpan.edu.pl

[2]Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Szkoła Nauk Ścisłych, ul. Dewajtis 5, 01-815 Warszawa

[3]Instytut Wysokich Ciśnień PAN, ul. Sokołowska 29/37, 01-142 Warszawa

Słowa kluczowe: nanostruktury hybrydowe, półprzewodniki organiczne, diody Schottky'ego

Złącza hybrydowe ZnO/materiał organiczny badane są intensywnie jako komórki pamięci w nowej generacji pamięci półprzewodnikowych o tzw. architekturze „cross-bar". W przyrządzie tym złącze Schottky'ego lub p-n ZnO ma działać jako element sterujący, a materiał organiczny albo jako p-typu materiał złącza p-n lub jako tzw. antybezpiecznik. W pracy omówione zostaną metody wytwarzania oraz własności elektryczne struktur hybrydowych w układzie ZnO/materiał organiczny. Do wzrostu ZnO użyliśmy metodę osadzania warstw atomowych (Atomic Layer Deposition, ALD). W metodzie tej możliwy jest wzrost ZnO w bardzo niskich temperaturach (nawet poniżej 100 ^{o}C przy użyciu organicznych prekursorów cynku [1,2]), co jest kluczową zaletą tej techniki umożliwiającą wykonywanie struktur hybrydowych materiał organiczny/ZnO. Ponadto badaliśmy struktury hybrydowe z nanorurkami węglowymi (CNT). Nanorurki węglowe ze względu na unikalne własności elektryczne stanowią atrakcyjny materiał dla zastosowań w nanoelektronice [3]. W pracy omówiona zostanie próba wytworzenia struktury hybrydowej w układzie ZnO/PDMS:CNT z materiałem n-typu ZnO otrzymanym metodą ALD. Omówiony będzie mechanizm wzrostu warstw ZnO na organicznym podłożu PDMS:CNT, a także strukturalne i elektryczne własności złącza ZnO/PDMS:CNT.

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

[1] KOWALIK I.A., GUZIEWICZ E., KOPALKO K., YATSUNENKO S., GODLEWSKI M., WÓJCIK A., OSINNIY V., KRAJEWSKI T., STORY T., ŁUSAKOWSKA E., PASZKOWICZ W., *Acta Physica Polonica (a)* **112**, 401 (2007)

[2] GUZIEWICZ E., KOWALIK I.A., GODLEWSKI M., KOPALKO K., OSINNIY V., WÓJCIK A., YATSUNENKO S., ŁUSAKOWSKA E., PASZKOWICZ W., *J. Appl. Phys.* **103**, 033515 (2008)

[3] RUECKES ET AL., *Science* 7 July 2000, Vol. **289**, No. 5476, pp. 94-97

ARKADIUSZ T. SOBCZYK, ANATOL JAWOREK

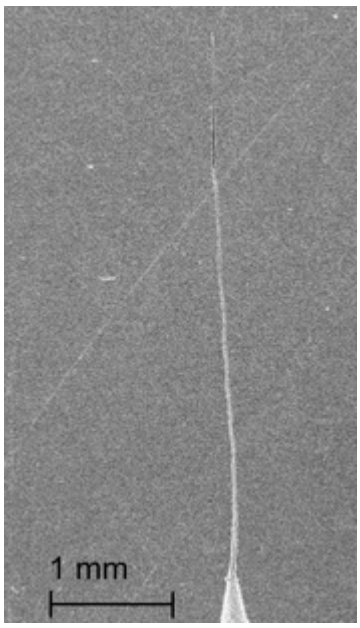
SYNTEZA WŁÓKIEN WĘGLOWYCH W SŁABOPRĄDOWYM ŁUKU ELEKTRYCZNYM

CARBON FIBERS SYNTHESIS IN LOW-CURRENT ARC DISCHARGE

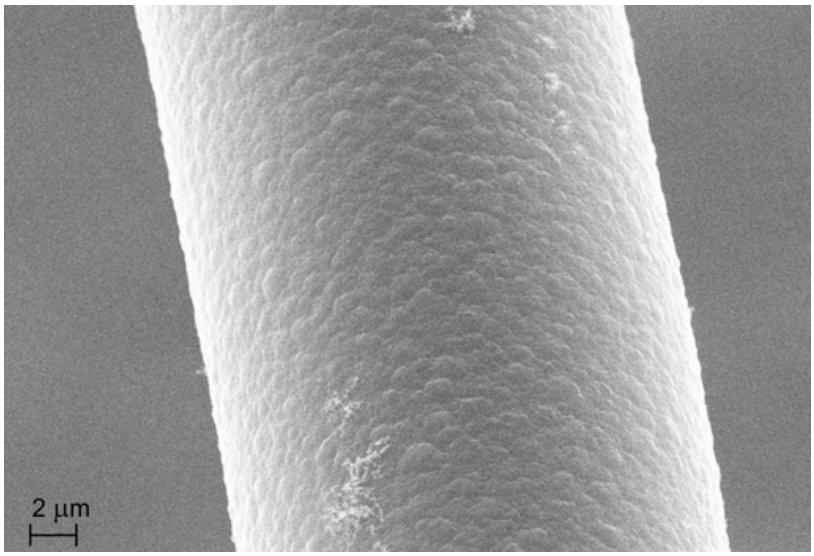
Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Fiszera 14, 80-952 Gdańsk, sobczyk@imp.gda.pl
jaworek@imp.gda.pl,

Słowa kluczowe: włókna węglowe, wyładowanie łukowe, techniki plazmowe

W pracy przedstawiono wyniki badań syntezy włókna węglowego w słaboprądowym, wysokonapięciowym wyładowaniu elektrycznym. Metoda wyładowania elektrycznego bazuje na pirolizie węglowodoru w plazmie generowanej elektrycznie w atmosferze beztlenowej i jest podobna do metody VGCF, w której włókna węglowe uzyskuje się za pomocą pirolizy termicznej. Badania procesu syntezy włókien węglowych przeprowadzono w słaboprądowym łuku elektrycznym generowanym w układzie elektrod: igła – płyta dla odległości pomiędzy elektrodami wynoszącej 15 mm. Badania wykonano dla obu polaryzacji elektrody wyładowczej: dodatniej i ujemnej. Eksperyment przebiegał w komorze o objętości 0.5 dm^3 wykonanej ze szkła akrylowego, w atmosferze argonu i takich węglowodorów jak cykloheksan lub n-heksan, jako źródeł węgla, przy ciśnieniu atmosferycznym i obniżonym. Temperatura gazu na wlocie do komory wynosiła około 74^0 C. Napięcie zasilające elektrody zmieniano w zakresie od 2 kV do 30 kV. Prąd wyładowania wynosił od 0.1 mA do 5 mA i był stabilizowany przez opornik szeregowy o rezystancji od 1 MOhm do 15 MOhm. W wyniku syntezy otrzymano włókna węglowe o średnicach od 20 do 100 □m i długość dochodzącej do 12 mm po czasie syntezy 30 s. Strukturę otrzymanych włókien węglowych badano za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego. Kształt i budowa włókna węglowego zmieniały się w zależności od stężenia procentowego węglowodorów (w zakresie od 0.8 % do 5 %) i prądu wyładowania. Stwierdzono, że długość włókien początkowo rośnie ze wzrostem natężenia prądu wyładowania, po czym, dla natężeń większych od 2.2 mA, zaczyna maleć. Zmianie ulega też struktura włókien. Dla prądów poniżej 2.2 mA obserwuje się mniejsze granule na powierzchni włókna niż w przypadku prądów o większym natężeniu. Również dla niższych prądów przekrój poprzeczny włókna był jednorodny a dla prądów większych niż 2.2 mA zaobserwowano tworzenie się struktur kolumnowych prostopadłych do rdzenia, który podobny był do włókna powstającego dla prądu mniejszego od 2.2 mA. Zdjęcia na rys. 1 i 2 przedstawiają włókna węglowe otrzymane podczas wyładowania elektrycznego w atmosferze argonu i cykloheksanu (20:1) przy prądzie wyładowania i= 1.8 mA.



Rys. 1. Obraz z elektronowego mikroskopu skaningowego włókna węglowego otrzymanego podczas wyładowania słaboprądowego łuku elektrycznego na igle ze stali nierdzewnej, Ar/C_6H_{12} (20:1), i=1.8 mA



Rys. 2. Obraz z elektronowego mikroskopu skaningowego powiększonego fragmentu włókna węglowego otrzymanego podczas wyładowania słaboprądowego łuku elektrycznego na igle ze stali nierdzewnej, Ar/C_6H_{12} (20:1), i=1.8 mA.

VII
LAB-ON-A-CHIP, NANOMEDYCYNA I MIKROMEDYCYNA

MICHAŁ CHUDY

ZASTOSOWANIA HYBRYDOWYCH SYSTEMÓW LAB-ON-A-CHIP W MIKROBIOANALITYCE

Politechnika Warszawska, Wydział Chemiczny, ul. Noakowskiego 3, 00-664 Warszawa

Do najnowocześniejszych obecnie systemów kontroli analitycznej, obok zaawansowanych, wyrafinowanych metod instrumentalnych, należą miniaturowe systemy typu „*Lab-on-a-chip*", charakteryzujące się minimalnym zużyciem odczynników, możliwością analiz bardzo małych próbek oraz niskimi kosztami wytworzenia. Od wprowadzenia koncepcji zminiaturyzowanych układów analitycznych (□TAS) we wczesnych latach dziewięćdziesiątych, szkło i krzem były dominującymi materiałami wykorzystywanymi do ich wykonania. Niestety zasadniczą wadą obu tych materiałów jest wysoki koszt jednostkowy procesów ich obróbki. W związku z tym zaczęto poszukiwania materiałów tańszych, łatwiejszych w obróbce czy kolejnych modyfikacjach. Praktycznie nieograniczone możliwości konstrukcyjne oferują obecnie także nowoczesne materiały polimerowe i ceramiczne, z których większość jest dostępna na rynku.

W pracy przedstawiono możliwości wykorzystania hybrydowych mikroukładów wykonanych z kombinacji następujacych materiałów: poli-(dimetylosiloksanu) (PDMS), modyfikowanej ceramiki, szkła oraz elementów optoelektronicznych. Opracowane systemy zarówno modułowe, jak i zintegrowane wykorzystano w różnych dziedzinach bioanalityki lub badania przebiegu reakcji biochemicznych:

- oznaczanie kreatyniny, mocznika i kwasu moczowego w płynach podializacyjnych i w moczu – ***system ceramiczno-polimerowy z podwójnym układem detekcyjnym***
- rozdzielanie znakowanych fluorescencyjnie aminokwasów – ***chipy do mikroelektroforezy kapilarnej***
- detekcja frakcji o różnym przewodnictwie elektrolitycznym – **mikrokonduktometr przepływowy**
- generowanie gradientu stężeń reagentów w skali „mikro" – ***mikromoduł polimerowy***
- prowadzenie reakcji enzymatycznego trawienia peptydów – ***mikroreaktory enzymatyczne o różnej geometrii kanałów***
- hodowla komórek adherentnych – ***przepływowy mikroukład hybrydowy szkło-polimer***
- rozpoznawanie i klasyfikacja mediów do hodowli komórkowych – ***miniaturowy „elektroniczny język", technologia LTCC***
- rozpoznawanie i klasyfikacja płynów podializacyjnych ***miniaturowy „elektroniczny język", laminat epoksydowo-szklany***

Podziękowanie
Praca została sfinansowana w ramach projektu MNiSW nr 518 018 031/1006 oraz ze środków własnych Politechniki Warszawskiej.

ARTUR DYBKO

TECHNOLOGIA WYTWARZANIA HYBRYDOWYCH MIKROSYSTEMÓW TYPU LAB-ON-A-CHIP

TECHNOLOGY OF HYBRYD LAB-ON-A-CHIP MICROSYSTEMS

Politechnika Warszawska, Wydział Chemiczny, ul. Noakowskiego 3, 00-664 Warszawa,

dybko@ch.pw.edu.pl

Słowa kluczowe: lab-on-a-chip, mikrosystemy hybrydowe

Miniaturowe systemy analityczne do analizy mediów wieloskładnikowych (μTAS, „Lab-on-a-chip") są obecnie jedną z prężnie rozwijających się dziedzin nowoczesnej chemii analitycznej. Dotychczasowe metody i urządzenia analityczne wykorzystywały stosunkowo duże objętości próbek, co ograniczało ich możliwości pomiarowe. Miniaturyzację urządzeń analitycznych wymusiły w wielu przypadkach potrzeby kompatybilności urządzeń zarówno pod kątem pomiarowym (mikroelektronika), jak i obiektowym (biologia, medycyna). Istotnym czynnikiem pozostaje zawsze aspekt ekonomiczny i zapotrzebowanie rynku, wywołując tendencje do obniżania kosztów nie tylko samych urządzeń, ale i wykonania analiz. Miniaturyzacja i integracja urządzeń analitycznych wychodzi naprzeciw nowym zapotrzebowaniom, wykorzystując w szerokim stopniu osiągnięcia technologii mikrokrzemowych, mikromechaniki, nanotechnologii oraz nowych materiałów.

Podstawowymi materiałami wykorzystywanymi do produkcji mikrosystemów są krzem, szkło, różnego rodzaju polimery a także ceramika. Z praktycznego punku widzenia ciekawe wydają się również mikrosystemy wykorzystujące kombinację kilku materiałów czyli konstrukcje hybrydowe. Wybór odpowiedniego materiału, a co za tym idzie również technologii, podyktowany jest konkretnym zastosowaniem mikrosystemu. W referacie przedstawione będą wybrane zagadnienia dotyczące technologii wytwarzania mikrosystemów z użyciem polimerów, ceramiki oraz szkła.

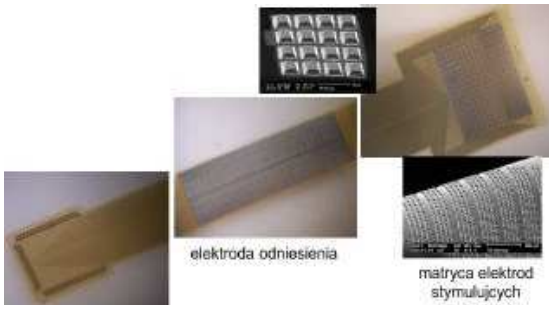
KRZYSZTOF DOMAŃSKI, DARIUSZ SZMIGIEL, PAWEL JANUS, PIOTR PROKARYN, ANDRZEJ SIERAKOWSKI, PIOTR GRABIEC

WYTWARZANIE MIKROLEKTROD DLA IMPLANTÓW MEDYCZNYCH

Instytut Technologii Elektronowej, Al. Lotników 23/46, 02-668 Warszawa, Polska

Mikrosystemy zawierajace matryce mikroelektrod zintegrowane z elastycznym podlozem sa coraz czesciej wykorzystywane jako elementy implantów medycznych przeznaczonych do pobudzania nerwów lub rejestrowania sygnalów nerwowych. W ramach projektu Healthy Aims [1-3] opracowywane sa ambulatoryjne systemy pomiarowe oraz implanty medyczne, wsród których mozna wymienic: implanty slimakowe [4], implanty siatkówkowe [5-6], czujniki do pomiaru cisnienia sródgalkowego oka, stymulatory wspomagajacefunkcje miesni konczyn górnych i dolnych, czujniki ruchu ciala, czujniki zwieracza przelyku oraz czujnikicisnienia wewnatrzczaszkowego. Opracowywane sa równiez niezbedne dla tych produktów medycznychtechnologie wytwarzania biokompatybilnych mikrosystemów oraz metody komunikacji umozliwiajacebezprzewodowe przesylanie informacji do implantów umieszczonych wewnatrz ludzkiego ciala. ITE wytwarza m.in. mikroelektrody do implantów sluchu opracowywanych przez Cochlear Technology (rys 1a) oraz trójwymiarowe mikroelektrody do implantów siatkówkowych opracowywanych przez Intelligent Medical Implants (rys 1b). W niniejszej pracy zaprezentowane beda przyklady czterech przyrzadów zaprojektowanych dla róznych implantów medycznych. Zilustrowane zostana takze opracowane w ITE metody wytwarzania tych przyrządów w technologii kompatybilnej z technologiami wytwarzania krzemowych mikrosystemów. Zaprezentowane technologie wykorzystuja zarówno operacje typowe dla technologii krzemowej (np. termiczne utlenianie krzemu, fotolitografie, itp.), jak i procesy opracowane specjalnie na potrzeby wytwarzania biokompatybilnych produktów medycznych (np. plazmowe trawienie warstw gumy silikonowej [7]). Scharakteryzowane zostana wybrane materialy i procesy technologiczne, które moga byc wykorzystane do wytwarzania elementów przyrzadów medycznych. Przedstawione zostana tez problemy dlugoterminowej niezawodności i biokompatybilnosci mikrosystemów implantowanych w ciele ludzkim.

a



b

Rys. 1. Przyklady wytwarzanych w ITE mikroelektrod do implantów medycznych: a - krzemowa mikroelektroda do implantu nerwu sluchowego wyposazona w zespól 22 platynowych elektrod stymulujacych i zintegrowana z piezorezystywnym czujnikiem ugiecia, b- mikroelektroda do implantu siatkówkowego z polami montazowymi, elektroda odniesienia i matryca 252 platynowych elektrod(powiekszenia pokazuja fragment ugietej, elastycznej matrycy oraz pojedyncza elektrode stymulujaca)

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

[1] strona internetowa projektu Healthy AIMS: http://www.healthyaims.org/
[2] Diana Hodgins: Intelligent medical systems, Medical Device Developments, vol.1, 9-10 (2006)
[3] D. Hodgins, A. Bertsch, N. Post, M. Frischholz, B. Volckaerts, J. Spensley, J.M. Wasikiewicz, H Higgins, F. von Stetten, L. Kenney :Healthy Aims: Developing New Medical Implants and Diagnostic Equipment, Pervasive Computing, IEEE, Jan.-March 2008 vol 7, 1:14-21
[4] B Volckaerts i in.: Technology developments to initiate a next generation of Cochlear Implants, Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.2007, 1 :515-518
[5] M. Ortmanns, N. Unger, A. Rocke, M. Gehrke, H-J. Tiedtke A retina stimulator ASIC with 232 electrodes, custom ESD protection and active charge balancing IEEE Symposium on Circuits and Systems, ISCAS 2006, Kos, Greece, 2006
[6] I. Wickelgren: Biomedical Engineering: A Vision for the Blind, Science, 26 May 2006 312: 1124-1126
[7] D.Szmigiel, C. Hibert, A. Bertsch, E. Pamula, K. Domanski, P. Grabiec, P. Prokaryn, A. Scislowska-Czarnecka, B. Plytycz: Fluorine-Based Plasma Treatment of Biocompatible Silicone Elastomer: The Effect of Temperature on Etch Rate and Surface Properties, Plasma Processes and Polymers, 2008, vol. 5, 3: 246 – 255

MONIKA KWACZ

LASEROWA WIBROMETRIA DOPPLEROWSKA (LDV) W POMIARACH MECHANIKI UCHA ŚRODKOWEGO

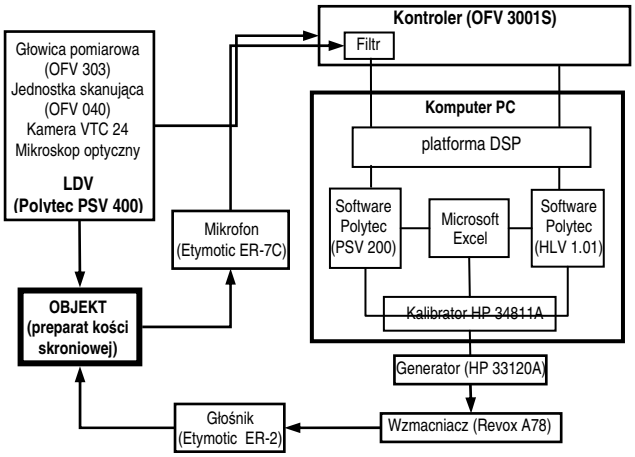
Politechnika Warszawska, Wydział Mechatroniki
ul. Św.A.Boboli 8, 02-525 Warszawa, e-mail: *m.kwacz@mchtr.pw.edu.pl*

Słowa kluczowe:

Cel: Celem pracy jest prezentacja możliwości zastosowania metody laserowej wibrometrii dopplerowskiej (LDV – Laser Doppler Vibrometry) do pomiarów parametrów drgań elementów strukturalnych ucha środkowego.

Wprowadzenie: Technika LDV jest podstawową i powszechnie stosowaną przez badaczy techniką bezkontaktowego pomiaru drgań, szczególnie wykorzystywaną w przypadku drgań o bardzo małej amplitudzie. W zakresie fizjologicznym amplitudy przemieszczeń elementów strukturalnych ucha środkowego podczas przenoszenia dźwięku nie przekraczają wartości 100nm. Doniesienia literaturowe pokazują, że wyniki pomiarów eksperymentalnych mogą być wykorzystywane do modelowania procesu przewodzenia dźwięku, do testowania protezek ucha środkowego, do diagnostyki stanów patologicznych oraz do śródoperacyjnej kontroli przeprowadzanego zabiegu. Pomimo znaczącego postępu w tych dziedzinach zależność pomiędzy budową strukturalną a procesem przewodzenia dźwięku pozostaje nadal niedostatecznie rozpoznana.

Metoda pomiarowa: Wartości parametrów drgań elementów strukturalnych ucha środkowego (błony bębenkowej, rękojeści młoteczka, podstawy strzemiączka, błony okienka okrągłego, stawu kowadełkowo - młoteczkowego) wyznaczane są w zależności od częstotliwości (400 Hz – 20 kHz) i natężenia (40 – 100 dB) dźwięku podawanego do kanału słuchowego. Pomiary amplitudy i fazy drgań wybranych punktów pomiarowych rejestrowane są za pomocą kamery video, zapisywane cyfrowo i wizualizowane na ekranie monitora kontrolnego. Pomiary drgań błony bębenkowej oraz rękojeści młoteczka mogą być prowadzone zarówno in-vivo (diagnostyka) jak i in-vitro (badania laboratoryjne na preparatach). Pomiary drgań pozostałych elementów strukturalnych prowadzi się na świeżych preparatach kości skroniowej. Badania własne koncentrują się na pomiarach parametrów drgań błony okienka okrągłego. Ich celem jest opracowanie symulacji komputerowej zmian ciśnienia płynu perylimfatycznego w ślimaku ucha wewnętrznego dla modelu ucha fizjologicznego, patologicznego i implantowanego. Symulacja taka umożliwi opracowanie optymalnych konstrukcji protezek do stapedotomii zapewniających maksymalną poprawę wyników słuchowych po operacjach otosklerozy.



Rys.1 Schemat blokowy systemu pomiarowegodo badań eksperymentalnych mechaniki ucha środkowego

Podsumowanie: W pracy pokazano zastosowanie bezkontaktowej metody pomiaru drgań opartej na technice LDV (zarówno in-vitro jak i in-vivo) w pomiarach mechaniki ucha środkowego. Wykorzystując technikę LDV w badaniach klinicznych możliwe jest rozróżnianie stanów patologicznych ucha środkowego (tympanoskleroza, otoskleroza, rozłączenie łańcucha kosteczek słuchowych). Wyniki badań eksperymentalnych stanowią podstawę do szczegółowej analizy oraz modelowania i symulacji procesu przewodzenia dźwięku przez fizjologiczne, patologiczne i rekonstruowane struktury ucha środkowego, do przewidywania rezultatów poprawy słuchu osiąganych po zabiegach rekonstrukcyjnych oraz opracowywania i testowania nowych konstrukcji protezek, w tym konstrukcji dostosowywanych do indywidualnych potrzeb pacjenta.
Wnioski: Technika LDV jest przydatnym narzędziem do badań eksperymentalnych w skali mikro- i nanometrowej. Najnowocześniejsze systemy skanujące pozwalają na wykonywanie pomiarów drgań o amplitudzie rzędu pikometrów i mogą być wykorzystywane nie tylko w badaniach struktur biologicznych, ale również w badaniach dynamicznych struktur MEMS.

A.RÓŻAŃSKI[A], B. MONASSE[B], E. SZKUDLAREK[A*], A.PAWLAK [A],
E. PIÓRKOWSKA[A], A. GAŁĘSKI[A], J.M.HAUDIN[B]

WPŁYW ODKSZTAŁCEŃ ŚCINAJĄCYCH NA KRYSTALIZACJĘ NANOKOMPOZYTÓW IZOTAKTYCZNEGO POLIPROPYLENU Z MONTMORYLLONITEM

[A]Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych, Polska Akademia Nauk, Sienkiewicza 112, 90 363 Łódź, Polska
[B]Ecole des Mines de Paris, Centre de Mise en Forme des Materiaux, UMR CNRS 7635, BP 207, 06 904 Sophia Antipolis, France

Zbadano krystalizację izotermiczną pod wpływem odkształcenia ścinającego nanokompozytów izotaktycznego polipropylenu (iPP) z organicznie modyfikowanym montmoryllonitem. Rozwarstwienie glinki uzyskano w kompozycjach iPP z glinką kompatybilizowanych polipropylenem szczepionym bezwodnikiem maleinowym. Dla porównania wytworzono i zbadano również kompozyt iPP z glinką bez kompatybilizatora oraz mieszaninę iPP z kompatybilizatorem. Stopione próbki, ochłodzone do temperatury krystalizacji 136°C, przed procesem krystalizacji poddano odkształceniu ścinającemu z szybkością 1 i 2 s^{-1} przez 10 s. Do zbadania kinetyki krystalizacji wykorzystano technikę depolaryzacji światła. Strukturę zestalonych próbek badano technikami mikroskopii świetlnej i elektronowej, rozpraszania promieni rentgenowskich, różnicowej kalorymetrii skaningowej oraz spektroskopii IR. W kompatybilizowanych nanokompozytach z glinką poddanych odkształceniu ścinającemu nastąpiło nasilenie zarodkowania i znaczne przyspieszenie krystalizacji. Stwierdzono, że zasadniczy wpływ na te zjawiska ma rozwarstwienie glinki. W próbkach kompatybilizowanych nanokompozytów poddanych przed krystalizacją odkształceniu ścinającemu wystąpiła orientacja kryształów, jakkolwiek słaba. Metodami rentgenowskimi stwierdzono orientację płaszczyzn (040) formy α równolegle do kierunku ścinania oraz płaszczyzn (110) tej formy równolegle i prostopadle do kierunku ścinania. Orientacja ta prawdopodobnie wynika z obecności niewielkiej populacji zorientowanych kryształów, które stanowiły zarodki krystalizacji. Orientacja tych kryształów została bez wątpienia spowodowana odkształceniem ścinającym.

* *eszkudl@cbmm.lodz.pl*

VIII
CHEMIA POWIERZCHNI I SUPRAMOLEKULARNA

R. MASIREK I E.PIÓRKOWSKA

ZARODKOWANIE KRYSTALIZACJI IPP NANOCZĄSTKAMI PTFE ORAZ AG.

Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN
Sienkiewicza 112, 90 363 Łódź

Słowa kluczowe:

Zbadano zdolność nanocząstek srebra (Ag) o rozmiarach około 35, 100, 200 i 800nm oraz mikrocząstek Ag 2-3.5μm do zarodkowania krystalizacji izotaktycznego polipropylenu (iPP). Cząstki Ag umieszczone na powierzchni iPP zarodkowały krystalizację, co znalazło odzwierciedlenie w egzotermach krystalizacji zarejestrowanych podczas ochładzania próbek w skaningowym kalorymetrze różnicowym (DSC). Metodą mikroskopii świetlnej stwierdzono, że cząstki zarodkowały warstwy transkrystaliczne rosnące od powierzchni w głąb próbek iPP. Nie zaobserwowano natomiast znaczącego wpływu nanocząstek Ag na krystalizację kompozycji otrzymanych drogą mieszania cząstek Ag z iPP w stanie stopionym, prawdopodobnie wskutek utleniania powierzchni cząstek.

Zbadano również krystalizację i strukturę kompozycji iPP, z cząstkami poli(tetrafluoroetylenu) (PTFE) o rozmiarach od 50 do 300nm, pochodzących z zawiesiny w wodzie stabilizowanej polietoksyetylenowym nonylofenolem. Wytworzono i zbadano kompozycje zawierające od 0.005 do 0.5%wag. PTFE. Rozmiary sferolitów określano metodą elektronowej mikroskopii skaningowej (SEM). Do badań krystalizacji wykorzystano metodę DSC. Cząstki PTFE, intensywnie zarodkowały krystalizację iPP, podwyższając temperaturę nieizotermicznej krystalizacji (T_c). Dodatek 0.005% wag. PTFE do iPP wywołał silny efekt, zwiększając gęstość zarodkowania o rząd i podwyższając T_c o 11-13K. Zwiększenie zawartości PTFE spowodowało dalszą intensyfikację zarodkowania oraz podwyższenie T_c o kolejne 4-5K, przy zawartości PTFE 0.2-0.5%wag. Udarność, wydłużenie i naprężenie przy zerwaniu kształtek wtryskowych iPP zarodkowanego PTFE była taka sama jak czystego iPP, natomiast moduł sprężystości wzrósł o kilka procent. Zdolność cząstek PTFE do zarodkowania krystalizacji iPP czyni z nich potencjalny, efektywny środek zarodkujący.

PATRYCJA SZCZEPAŃSKA[1], RAFAŁ WALCZAK[1,2], ANDERS WOLFF[3], JAN A. DZIUBAN[1,2]

AUTOFLUORESCENCJA POLIMERU SU-8 – WPŁYW ZJAWISKA NA CZUŁOŚĆ DETEKCJI SYGNAŁÓW OPTYCZNYCH W METODZIE PCR PROWADZONEJ W LAB-ON-CHIP (LOC)

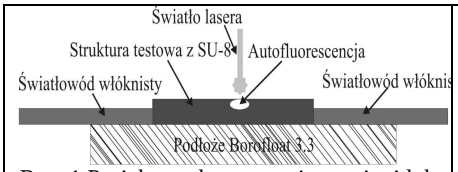
SU-8 POLYMER AUTOFLUORESCENCE – iNFLUENCE ON DETECTION SENSITIVITY OPTICAL SIGNAL IN PCR METHOD ON LAB-ON-CHIP (LOC)

1)Politechnika Wrocławska Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław, patrycja.szczepanska@pwr.wroc.pl 2) Instytut Technologii Elektronowej, Al. Lotników 32/46, 02-668Warszawa, rafal.walczak@pwr.wroc.pl, jan.dziuban@pwr.wroc.pl 3) Uniwersytet Techniczny w Danii, Bygning 345, DK-2800 Kgs. Lyngby, Dania, aw@mic.dtu.dk

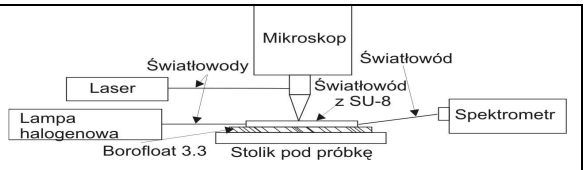
Słowa kluczowe: SU-8, autofluorescencja, PCR/DNA

Powszechną metodą powielania DNA z niewielkiej ilości materiału źródłowego jest łańcuchowa reakcja polimerazy (**P**olymerase **C**hain **R**eaction - PCR). Reakcja ta jest cyklicznym procesem temperaturowym. Analizę otrzymanej w wyniku reakcji PCR próbki DNA przeprowadza się metodami optycznymi w czasie rzeczywistym. W technice mikrochipów, często stosowanej do wytwarzania zintegrowanych analizatorów DNA, możliwe jest wytworzenie wszystkich elementów tego analizatora; np.: światłowodów i komory mikroreaktora z polimeru SU-8 firmy MicroChem. W literaturze przedmiotu znajdują się informacje o żółknięciu i autofluorescencji tego materiału, co w mikrochipie z detekcją optyczną może być przeciwskazaniem w stosowaniu tego materiału. Konieczne, zatem było, przed zastosowaniem SU-8 w mikrochipach PCR, przebadanie właściwości tego polimeru. W niniejszej pracy przeprowadzono badania wpływu temperatury i badania autofluorescencji SU-8. Przedstawiono tu również detekcję DNA w mikrochipie własnej konstrukcji.

Ponieważ warunki temperaturowe mają znaczący wpływ na zachodzenie procesów starzeniowych i żółknięcie SU-8, przeprowadzono pomiary, w których badano zachowanie się światłowodów wykonanych z SU-8 w wielu cyklach temperaturowych symulujących proces PCR. Struktury światłowodów planarnych z SU-8 o wymiarach: długość 5 mm, szerokość 200 µm, grubość 140 µm,zostały wykonane na 2 podłożu szklanym (Borofloat 3.3) (Rys. 1).



Rys. 1 Projekt struktury pomiarowej widok z boku



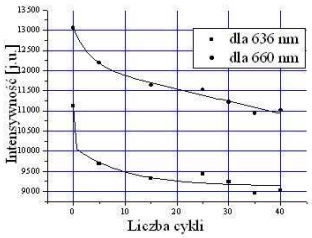
Rys. 2 Układ pomiarowy wykorzystywany do pomiarów temperaturowych oraz autofluorescencji

Światło z lampy halogenowej wprowadzane było za pomocą światłowodu włóknistego szklanego (125/62,5µm) do światłowodu planarnego. Analizę spektralną światła po transmisji przez światłowód planarny wykonywano za pomocą miniaturowego spektrometru VIS/NIR (firmy OPTEL, Polska) połączonego z komputerem wyposażonym w odpowiednie oprogramowanie kontrolno/sterujące (Rys. 2). Nie zanotowa-

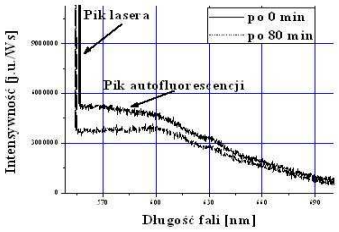
no istotnego wpływu temperatury na transmisję światła w testowanym światłowodzie o długości 5 mm (Rys. 3). Podczas przeprowadzania pomiarów zaobserwowano żółknięcie polimeru SU-8, nasilające się wraz ze wzrostem przeprowadzanych cykli reakcji PCR. Zjawisko to nie wpłynęło jednak na wyniki pomiarowe.

Wiadomo, że sygnał autofluorescencji SU-8 może doprowadzić do zafałszowania wyników analizy DNA w metodzie PCR. Dlatego zbadano występowanie autofluorescencja SU-8 dla różnych długości fali lasera oświetlającego badaną próbkę, co łączyło się z doborem odpowiedniego fluoroforu. Zastosowano przemiennie trzy lasery (633 nm, 532 nm, 488 nm) z układem optycznym wprowadzającym światło do światłowodu włóknistego. Do struktury testowej wklejono światłowód włóknisty, który zbierał światło z układu i kierował je do spektrometru. Najwyższy sygnał autofluorescencji zanotowano dla lasera niebieskiego o mocy 7 mW (Rys. 4). Sygnał autofluorescencji malał wraz ze wzrostem długości fali lasera oświetlającego. Sygnał autofluorescencji rósł ze wzrostem mocy lasera, ale był zaniedbywany dla lasera czerwonego 635 nm. Dlatego też najkorzystniejsze jest używanie fluoroforów z tzw lini czerwonej, np. Cy-5, TO-PRO 3 pobudzanych światłem o takiej długością.

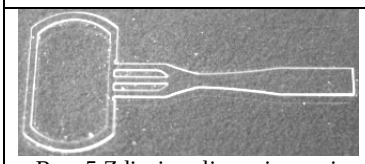
W dalszych pracach zaprojektowano i wykonano detektor spektrofluorometryczny z SU-8, przeznaczony do badań próbek DNA, w którym próbka oświetlana była przez trójpalczasty światłowód planarny z SU-8 (Rys. 5), prowadzący światło lasera, oświetlającego bezpośrednio, pod odpowiednim kątem początek światłowodu planarnego z SU-8. Stosowano układ detekcji z detektorem CCD, opracowany dla projektu PR 6 OPTOLAB-CARD, finansowanego ze środków unijnych. Badano próbki DNA łososia norweskiego znakowane fluoroforem TO-PRO3. W tym prostym układzie otrzymano limit detekcji poniżej 25 ng/ml (Rys. 6), co wystarcza w większości zastosowań metody PCR/DNA czasu realnego.



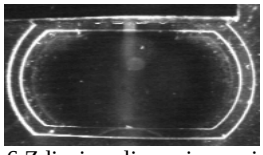
Rys. 3 Zmiana natężenia światła dla poszczególnych cykli PCR dla wybranych długości fali



Rys. 4 Charakterystyki spektralne materiału SU-8 oświetlanego laserem niebieskim o mocy 7 mW



Rys. 5 Zdjęcia celi pomiarowej ze zintegrowanymi światłowodami



Rys. 6 Zdjęcie celi pomiarowej przy oświetleniu laserem o mocy 5 mW oraz stężeniu DNA 25 ng/ml

PIOTR WARSZYŃSKI

MODYFIKACJA POWIERZCHNI MATERIAŁÓW POPRZEZ ADSORPCJĘ WIELOWARSTWOWYCH FILMÓW POLIELEKTROLITOWYCH

Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni, Polska Akademia Nauk
Ul. Niezapominajek 8, 30-239 Kraków
Tel: 012-6395101, e-mail: ncwarszy@cyf-kr.edu.pl

Zastosowanie materiałów dla potrzeb mikromechaniki oraz mikroprzepływów wymaga często modyfikacji ich właściwości powierzchniowych. Wielowarstwowe filmy polielektrolitowe [1] stanowią przykład nanostruktur o szerokich możliwościach zastosowania w praktyce. Można je wytwarzać, metodą sekwencyjnej adsorpcji, zarówno na powierzchniach makroskopowych o dowolnym kształcie jak też na powierzchniach mikroskopowych – kropelkach mikroemulsji lub cząstkach koloidalnych. Do wytwarzania filmów wielowarstwowych mogą służyć zarówno syntetyczne jak i naturalne polielektrolity, surfaktanty, biomakromolekuły, proteiny czy nanocząstki. Szeroki zakres materiałów daje możliwość różnorodnych zastosowań. W szczególności filmy polielektrolitowe mogą służyć do modyfikacji właściwości powierzchni na przykład jej zwilżalności (hydrofobowości), ładunku powierzchniowego, stopnia heterogeniczności. Warstwy te mogą być używane jako powierzchnie aktywne przy konstrukcji sensorów. Osadzanie filmów polielektrolitowych na cząstkach koloidalnych wykorzystuje się do wytwarzania mikrokapsułek. Wielowarstwowe powłoki mikrokapsułek zawierających substancje aktywne, umożliwiające regulacje szybkości ich uwalniania oraz poprzez dobór właściwości adhezyjnych, miejsca w jakim mogą zostać uwalniane. Filmy wielowarstwowe zawierające nanocząstki (hydroksyapatyty, białka (n.p. kazeinę), nanostruktury węglowe, nanocząstki błękitu pruskiego, metaliczne, nanokapsułki) być użyte jako biokopatybilne i bioczynne warstwy, aktywne warstwy miniaturowych sensorów elektrochemicznych, powłoki bakteriobójcze, samonaprawiające się powłoki antykorozyjne. W wykładzie przedstawiono metody tworzenia i charakteryzacji wielowarstwowych filmów polielektrolitowych oraz określono podstawowe czynniki determinujące właściwości filmów.

PIŚMIENNICTWO POWOŁANE:

[1] G.Decher, Y.Lvov, J.Schmitt, Buildup of ultrathin multilayer films by a self-assembly process, *Thin Solid Films*, *244*, (1994) 772.

IX
MIKOROBOTY I MEMSY

PAWEŁ JANUS, TOMASZ BIENIEK, PIOTR GRABIEC

METODOLOGIA PROJEKTOWANIA I MODELOWANIA ZINTEGROWANYCH STRUKTUR MEMS

METHODOLOGY OF DESIGN AND MODELING OF INTEGRATED MICROSYSTEMS

Instytut Technologii Elektronowej, al. Lotników 32/46, 02-669 Warszawa, janus@ite.waw.pl

Słowa kluczowe: MEMS, projektowanie, modelowanie

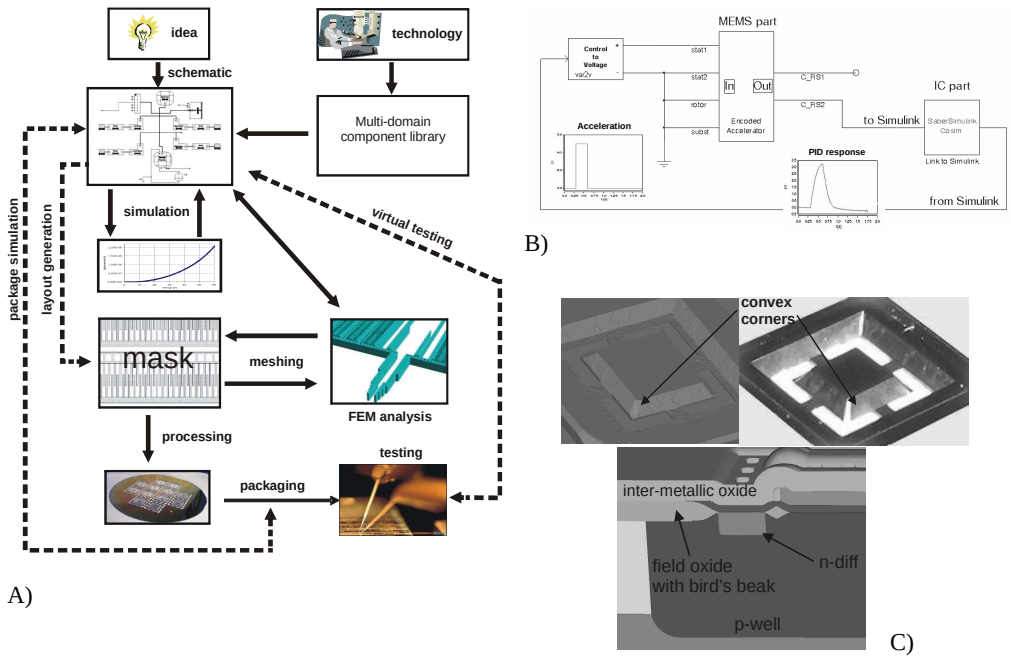
Technologia wytwarzania nowoczesnych mikrosystemów (MEMS) wymaga integracji w małej objętości (najczęściej z dużą gęstością upakowania) podzespołów mikromechanicznych, elektrycznych, optycznych. Dodatkowo na właściwości całego mikrosystemu ma wpływ kombinacja właściwości poszczególnych podzespołów struktury.

Dlatego też integracja współczesnych struktur MEMS musi być rozpatrywane na różnych poziomach:

- *materiałów zastosowanych do konstrukcji mikrosystemu,*
- *procesów użytych do ich wytworzenia,*
- *mechanicznych i elektrycznych właściwości komponentów mikrosystemu,*
- *funkcji całego mikrosystemu z uwzględnieniem obudowy.*

Z tego powodu nowoczesne narzędzia do wielo-domenowego modelowania i symulacji powinny pozwolić projektantowi na uwzględnienie tych aspektów integracji. Nowoczesna metodologia projektowania opisywana w tym artykule bazuje na koncepcji symulacji na poziomie systemu połączonej z modelowaniem trójwymiarowym i emulacją technologii wytwarzania przyrządu (ang. *virtual prototyping*) [1,2,3]. Takie podejście pozwala na optymalizację funkcjonalności mikrosystemu oraz znacząco obniża czas i koszty konstruowania gdyż minimalizuje ilość cykli projektowych i prób technologicznych.

Diagram obrazujący opisywaną metodologię przedstawiono na rys. 1A. Wymagania dotyczące struktury MEMS (oraz bloków sterujących) służą do opracowanie wstępnego modelu behawioralnego. W tym celu stosuje się szereg dostępnych bloków funkcjonalnych (masy sejsmiczne, napędy „comb-drive”, elementy mikrofluidyczne etc.). W następnym etapie przetestowany model pozwala na wygenerowanie modelu 3D na potrzeby analizy metodą elementów skończonych. Na tym etapie generowany jest również zestaw masek fotolitograficznych.



Rys.1 A) Diagram opisujący metodologię projektowania i modelowania zintegrowanych struktur MEMS B) schemat akcelerometru zintegrowanego z blokiem sterującym (PID) C) wyniki emulacji procesów wytwarzania struktury

W kolejnych etapach opracowywania konstrukcji generowany jest realistyczny, trójwymiarowy model uwzględniający aspekty technologii wytwarzania (trawienia chemiczne, plazmowe, osadzanie etc.).

Metodologię projektowania opisywaną w niniejszym artykule zobrazowano na przykładzie struktury piezorezystywnego krzemowego akcelerometru. Na rys 1B pokazany jest schemat struktury zintegrowanej z modułem sterowania (regulator PID) zaś rys. 1C przedstawia trójwymiarowy model struktury z uwzględnieniem zastosowanej technologii wytwarzania (np. charakterystyczne trawienia naroży w roztworze KOH). Zaprezentowane podejście do zagadnień konstruowania i modelowania struktur MEMS pozwala na zintegrowaną analizę zjawisk z różnych dziedzin (zjawiska mechaniczne, elektryczne, mikrofluidyczne). Krytyczne jest aby różne bloki modelu – mikromechaniczne, analogowe, cyfrowe i obudowa komunikowały się ze sobą. Przedstawiona powyżej idea zintegrowanego modelowania pozwala konstruktorom na ograniczenie czasochłonnego i kosztownego cyklu projektowego.

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

[1] G. Lorenz, R. Neul, *Network-Type Modeling of Micromachined Sensor Systems*. Proc. Int. Conf. on Modeling and Simulation of Microsystems, Semiconductors, Sensors and Actuators, MSM98, Santa Clara, April 1998, pp. 233-238.

[2] P. Janus, A. Kociubiński, T.Bieniek, P. Grabiec, G. Schropfer, *Methodology of modern microsystems co-design and modeling*, Proc. Smart System Integration 2007, Paris, pp. 493

[3] strona internetowa projektu INTEGRAMplus: http://www.integramplus.com/

MACIEJ PETKO, GRZEGORZ KARPIEL, DANIEL PRUSAK

ROBOT DO MIKROMANIPULACJI WEWNĄTRZKOMÓRKOWYCH

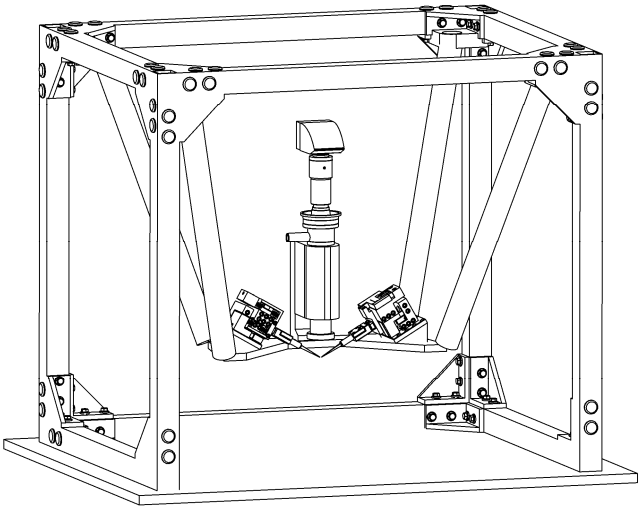
ROBOT FOR MICROMANIPULATION INSIDE BIOLOGICAL CELLS

Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Robotyki i Mechatroniki,
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
<petko, gkarpiel, daniel.prusak>@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: mikromanipulacja, roboty hybrydowe, zastosowanie robotów w biologii

Mikromanipulacja znajduje bardzo szerokie zastosowanie w coraz większej ilości dziedzin nauki i techniki. Zwłaszcza przemysł medyczny, biotechnologiczny oraz biologiczny wymaga stosowania rozwiązań mikromanipulatorów posiadających specyficzne cechy konstrukcyjne oraz mogących pracować w wymagających warunkach otoczenia pod kontrolą systemów wizyjnych. W przypadku manipulacji wewnątrzkomórkowej spotyka się rozwiązania gdzie za pomocą dedykowanych mikromanipulatorów dokonuje się wymaganych operacji. Jednak osiągnięcie żądanej precyzji pociąga za sobą znaczne ograniczenia wielkości przestrzeni roboczej. Oznacza to, że każda zmiana konfiguracji eksperymentu biologicznego wymaga powtórnego demontażu stanowiska. Logiczne wydaje się więc, że do poszerzenia przestrzeni roboczej, całość stanowiska do zadań w mikroskali, powinna znajdować się na ruchomej makroplatformie poruszanej za pomocą napędów. W rezultacie, wstępne pozycjonowanie może odbywać się poprzez konstrukcję zbudowaną na bazie sztywnego robota równoległego, natomiast precyzyjne pozycjonowanie oraz manipulacja w skali mikro i nanometrów odbywa się przy użyciu dedykowanych mikromanipulatorów. Tak zbudowana całość wraz z mikromanipulatorami tworzy układ hybrydowy. Istotne jest, aby opracowane rozwiązanie równoległego postaci robota równoległego oraz robotów mikromanipulacyjnych w żaden sposób nie kolidowało z wymaganiami stawianymi przy eksperymentach biologicznych. Platforma makrorobota powinna pomieścić również niezbędne oprzyrządowanie, w tym system wizyjny, a konstrukcja powinna być jednocześnie sztywna i lekka. Korzystnie jest, gdy istnieje możliwość jej demontażu. Dodatkowo istotnym elementem, zwłaszcza podczas pomiaru potencjałów elektrycznych w komórkach nerwowych, jest minimalizacja zakłóceń elektromagnetycznych generowanych przez napędy mikro i makro manipulatora oraz przez układ sterowania. Autorzy podjęli próbę zbudowania takiego robota. W referacie zaprezentowano konstrukcję hybrydowego czteroramiennego robota równoległego przeznaczonego do mikromanipulacji wewnątrzkomórkowej, którego platforma pełni bazę dla innych elementów niezbędnych do manipulacji wewnątrzkomórkowej takich jak mikroskop, mikromanipulatory, układy podświetlenia itp. (rys.1). Przedstawiono konstrukcję dedykowanych mikromanipulatorów, napędzanych precyzyjnymi napędami piezoelektrycznymi, do których przymocowane są narzędzia, np. sondy pomiarowe, będące bezpośrednim członem wykonawczym przy operacjach wewnątrzkomórkowych. Przedyskutowano zakres roboczy mikromanipulatorów oraz obszar roboczy całej konstrukcji hybrydowej wraz ze zintegrowanym systemem wizyjnym. Zaprezentowano podstawowe symulacje komputerowe określające zakresy ruchu poszczególnych stopni swobody makromanipulatora i mikromanipulatorów oraz ich podstawowe cechy konstrukcyjne. Przedstawiono wytyczne towarzyszące zastosowaniu połączenia mikromanipulatora równoległego z mikromanipulatorami szeregowymi w układ hybrydowy oraz pokazano zalety i ograniczenia zaprezentowanego rozwiązania.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007 – 2010 jako projekt badawczy N501 030 32/2508.



Rys. 1. Koncepcja robota do mikromanipulacji wewnątrzkomórkowej.

TADEUSZ UHL, DANIEL PRUSAK

MIKROROBOTY – ICH KONSTRUKCJA I BADANIA

MICROROBOTS – CONSTRUCTION AND TESTING

Katedra Robotyki i Mechatroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza AGH-UST, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, daniel.prusak@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: mikrorobot, piezonapędy, projektowanie

Tekst Szybki rozwój techniki i wymagania współczesnego rynku warunkują postęp w dziedzinie miniaturyzacji maszyn, urządzeń i produktów. Mikro układy stają się dziś rzeczywistością a nie tylko futurystyczną nowinką naukową. Oferta urządzeń małej skali zawierających mikroukłady elektroniczne i mechaniczne staje się coraz szersza i dostępna komercyjnie, natomiast wymagania dotyczące miniaturyzacji stale rosną. Podstawowymi narzędziami do poruszania się w mikro i nano-świecie są mikro-urządzenia pozycjonujące i mikroroboty manipulacyjne. Również bardzo istotną rolę odgrywają mikro i nano-obrabiarki, które często stanowią syntezę różnych technik wytwarzania najczęściej diametralnie różnych od klasycznej obróbki wielkogabarytowej [1]. Obecnie mikrorobotyka oraz nano-technika manipulacyjna jest stosowana praktycznie we wszystkich nowoczesnych obszarach techniki i nauki, takich jak: produkcja układów elektronicznych, biotechnologia, technologia medyczna, technologia molekularna, obrazowanie mikroskopowe, technologia magazynowania danych, aeronautyka oraz badania kosmiczne, metrologia, systemy pomiarowe, inspekcja optyczna, trybologia, technika światłowodowa, fotonika, systemy telekomunikacyjne, zintegrowane systemy optyczne, Nanotechnologia, nano-wytwarzanie, układy MEMS oraz układy NEMS [2]. Choć mikrorobotyka to dziedzina względnie nowa istnieją pewne mechanizmy, narzędzia i procedury projektowania umożliwiające poruszania się w tym obszarze technologicznym. Proces projektowania, konstruowania oraz budowania i badania prototypów z zakresu mikro i nano robotyki jest interdyscyplinarny i nie można podzielić go na szereg oddzielnych metod niezwiązanych między sobą żadnymi zależnościami. Najczęściej przyjmuje się równoległość i interakcję w projektowaniu i symulowaniu poszczególnych systemów składających się na budowę mikroukładu wraz z równoczesnym wytwarzaniem i testowaniem pewnych rozwiązań rzeczywistych. Niezbędne w tym przypadku staje się podejście mechatroniczne w projektowaniu, badaniu i wytwarzaniu mikrorobotów [3]. W artykule zaprezentowano podstawowe procedury oraz metody projektowania, badań symulacyjnych i eksperymentalnych oraz metody wytwarzania mikrorobotów oraz mikromechanizmów, podzielone na podstawowe etapy prowadzące od projektu z założeniami technologicznymi aż do finalnej konstrukcji. Przedstawiono podstawowe techniki służące do symulacji mikro i nano mechanizmów. Opisano podstawowe układy napędu oraz transmisji ruchu w mikrorobotach o nano i mikro dokładnościach w tym różnego rodzaju napędy piezoelektryczne. Zaprezentowano konstrukcje mikrorobotów zbudowanych na elastycznych przegubach złączowych (tzw. flexures) o jednym i wielu stopniach swobody charakteryzujących się rozdzielczościami ruchu rzędu nanometrów, a także konstrukcje hybrydowe łączące różne rodzaje napędów oraz różne techniki przeniesienia ruchu. Przedyskutowano też konstrukcje bazujące na nowoczesnych technikach wytwarzania takich jak SLM. Opisano układ sterowania mikromanipulatorów wykorzystujący makroskopowy system wizyjny w sprzężeniu zwrotnym. Zestawione zostały podstawowe cechy mikrorobotów o różnych typach konstrukcji i wykonanych różnymi technikami obróbki maszynowej. Porównano ich cechy oraz parametry odniesieniu do różnych płaszczyzn analizy w tym: mechaniki, sterowania oraz badań symulacyjnych i eksperymentalnych.

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

[1] Fatikow S. Rembold U., *Mikrosystem Technology and Microrobotics*, Springer, Berlin 1997.
[2] Prusak D., Uhl T., Petko M., *Mikrorobotyka nowy kierunek rozwoju robotyki*. PAK 2006 nr 05, s. 05-08.
[3] Hesselbach J., Wrege J., Raatz A., Becker O., *Aspects on Design of High Precision parallel Robots*, Journal of Assembly Automation Vol.24, No.1,Emerald, 2004.

INDEKS AUTORÓW – Uczestników Konferencji

1. Dr inż. Katarzyna Antosz: Politechnika Rzeszowska, Rzeszów
2. Dr inż. Dariusz Asendrych: Politechnika Częstochowska, Częstochowa, s. 59
3. Dr inż. Tomasz Bieniek: Instytut Technologii Elektronowej, Warszawa, s. 55,135
4. Mgr inż. Sławomir Błoński: Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa, s. 73
5. Prof. dr hab. inż. Maciej Bossak: Instytut Lotnictwa, Warszawa
6. Prof.dr hab. Andrzej Budkowski: Instytut Fizyki Uniwersytet Jagieloński, Kraków, s. 9
7. Prof.dr hab. inż. Tadeusz Burczyński: Politechnika Śląska, Gliwice, s.11
8. Mgr inz. Janusz Bytnar, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa, Jarosław, s. 57
9. Dr inż. Michał Chudy: Wydział Chemiczny Politechnika Warszawska, Warszawa, s. 115
10. Prof.dr hab. inż. Michał Ciałkowski: Politechnika Poznańska, Poznań, s.45
11. Dr Olgierd Cybulski: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa
12. Mgr inż. Piotr Domagalski: Politechnika Łódzka, Łódź, s. 73
13. Dr inż. Krzysztof Domański: Instytut Technologii Elektronowej, Warszawa, s. 31, 119
14. Prof.dr hab. inż. Stanisław Drobniak: Politechnika Częstochowska, Częstochowa, s. 59
15. Prof. dr hab. inż. Artur Dybko: Politechnika Warszawska, Warszawa, s. 117
16. Prof. dr hab. inż. Jan A. Dziuban: Politechnika Wrocławska, Wrocław, s.13, 97, 129
17. Prof.dr hab. inż. Marek Dziubiński: Politechnika Łódzka, Łódź, s. 51, 73, 75,81, 85,
18. Prof. dr hab. Danek Elbaum, Instytut Fizyki PAN, Warszawa, s. 19
19. Dr inż. Andrzej Frąckowiak: Politechnika Poznańska, Poznań, s. 45
20. Prof. dr hab. inż. Henryk Galina: Politechnika Rzeszowska, Rzeszów
21. Prof.dr hab. Andrzej Gałęski: Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN, Łódź, s.19, 123
22. Doc. dr hab. Inż. Piotr Garstecki, Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa
23. Prof.dr hab.Michael Giersig: Hahn-Meitner-Institute, Niemcy s. 25.
24. Prof. dr hab. inż. Józef Giergiel, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, s. 23
25. Prof. dr hab. Marek Godlewski: Instytut Fizyki PAN, Warszawa
26. Mgr inż. Grzegorz Gruca: Politechnika Wrocławska, Wrocław, s. 77
27. Prof.dr hab. Robert Hołyst: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa, s.25
28. Dr inż. Paweł Janus: Instytut Technologii Elektronowej, Warszawa, s. 55, 101, 121, 135
29. Dr inż. Dorota Jasińska: Politechnika Krakowska, Kraków
30. Prof. dr hab. inż. Anatol Jaworek: Instytut Maszyn Przepływowych, Gdańsk, s. 105, 113
31. Dr Agnieszka Kaminska: Polska Akademia Nauk, Warszawa
32. Dr inż. Grzegorz Karpiel: Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, s. 137
33. Prof. Kris Kempa, Boston College, USA, s. 29
34. Mgr inż. Marcin Kędzierski: Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa, s. 93
35. Dr inż. Dariusz Kędzior: Politechnika Krakowska, Kraków
36. Dr inż. Tomasz Klekiel: Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra, s. 95
37. Mgr inż. Małgorzata Kmiotek, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów
38. Mgr inż. Paweł Knapkiewicz: Politechnika Wrocławska, Wrocław, s. 93, 97
39. Prof.dr hab. Tomasz Kowalewski: Instytut Podstawowych Problemów Technicznych PAN, Warszawa, s. 73, 107
40. Mgr inż. Dorota Kołbuk: Zakład Fizyki Polimerów IPPT PAN, Warszawa, s. 107
41. Dr inż. Włodzimierz Konecki, Politechnika Łódzka, Łódź, s. 99
42. Prof PRz dr hab. inż. Krzysztof Kubiak: Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, s. 107
43. Prof PRz dr hab. Anna Kucaba-Pietal: Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, s. 47, 57
44. Prof. dr hab. inż. Małgorzata Kujawińska: Politechnika Warszawska, Warszawa
45. Prof.dr hab. inż. Leon Kukiełka: Politechnika Koszalińska, Koszalin, s. 65

46. Dr inż. Monika Kwacz: Politechnika Warszawska, Warszawa, s. 121
47. Mgr Grzegorz Łuka: Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk, Warszawa, s. 109
48. Prof.dr hab. Grzegorz Łukaszewicz: Uniwersytet Warszawski, Warszawa, s. 63
49. Mgr Sylwia Makulska: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa
50. Mgr inż. Leszek Maląg: Politechnika Koszalińska, Koszalin, s.65
51. Dr inż. Michał Mańka: Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, s.79
52. Prof. dr hab. Jacek Marczewski: Instytut Technologii Elektronowej, Warszawa, s. 31
53. Mgr inż. Adam Martowicz: Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, s. 67
54. Mgr Patrycja Milczarczyk-Piwowarcz: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa
55. Prof. dr hab. inż. czł. rzecz. PAN Zenon Mróz i Barbara Mróz: Instytut Podstawowych Problemow Techniki PAN, Warszawa
56. Mgr inż Anna Morawiak: Politechnika Łódzka, Łódź, s. 81
57. Dr inż. Robert Masirek: Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN, Łódź, s. 127
58. Dr inż. Wojciech Musiał: Politechnika Koszalińska, Koszalin, s. 83
59. Dr inż. Magdalena Niemczewska-Wójcik: Politechnika Krakowska, Kraków
60. Dr inż. Magdalena Orczykowska, Politechnika Łódzka, Łódź, s. 85
61. Prof. dr hab. inż. Jan Owsik: Instytut Optoelektroniki WAT, Warszawa, s. 87
62. Dr inż. Maciej Petko: Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, s. 139
63. Doc. dr hab. Ewa Piórkowska-Gałęska: Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN, Łódź, s. 123, 127
64. Dr inż. Iwona Pokorska: Politechnika Częstochowska, Częstochowa
65. Mgr inż. Daniel Prusak: Aakademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, s. 79, 137, 139
66. Dr inż. Liliana Rybarska-Rusinek: Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, s. 61
67. Dr Adam Samborski: Instytut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk, Warszawa
68. Mgr inż. Patrycja Szczepańska: Politechnika Wrocławska, Wrocław, s. 129
69. Prof. PRz dr hab. inż. Jarosław Sęp: Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, s. 69
70. Doc. dr hab. Ludmiła Skubiszak: IBIB PAN, Warszawa, s. 33
71. Mgr Agnieszka Słowicka: Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa, s. 49
72. Mgr Arkadiusz T. Sobczyk: Instytut Maszyn Przpeływowych, Gdańsk, s. 105, 111
73. Prof. zw. dr hab. czł. rzecz. PAN Kazimierz Sobczyk: Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa, s. 39
74. Dr inż. Jarosław Sowiński: Politechnika Łódzka, Łódź, s. 51
75. Dr inż. Witold Suchecki: Politechnika Warszawska, Warszawa
76. Mgr inż. Patrycja Szczepańska: Politechnika Wrocławska, Wrocław, s. 129
77. Prof.dr hab. inż. Gwidon Szefer: Politechnika krakowska, Kraków, s. 35
78. Mgr inż. Ewelina Szkudlarek: Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN, Łódź, s. 123
79. Dr inż. Jacek Szumbarski: ITLiMS MEiL Politechnika Warszawska, Warszawa
80. Mgr inż. Marek Szymański, Instytut Optoelektroniki WAT, Warszawa, s. 87
81. Mgr inż. Tomasz Szymborski: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa
82. Dr Piotr Szymczak: Instytut Fizyki Teoretycznej UW, Warszawa, s. 37
83. Dr Anetta Szynal-Liana: Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, s. 61
84. Dr hab. inż. Jan Tobiś: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa
85. Dr inż. Przemysław Trzciński: Politechnika Warszawska, Płock
86. Prof. dr hab. inż. Tadeusz Uhl, Katedra Robotyki i Mechatroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica, Kraków, s. 67, 139
87. Prof. dr hab. Piotr Warszyński: Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN, Kraków, s. 131
88. Dr inż. Stefan A.Wieczorek: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa
89. Dr inż. Tomasz Więcek: Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, s.99
90. Mgr inż. Mirosław Woszczyna: Politechnika Wrocławska, Wrocław, s. 89, 101

91. Prof. dr hab. inż. Arkadiusz Wójs: Politechnika Wrocławska, Wrocław, s. 41
92. Mgr Beata Zasońska: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa
93. Mgr Natalia Ziębacz: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa
94. Dr inż. Andrzej Żywociński: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa

SPONSOR KONFERENCJI

Sieć Naukowa

Aeronautica.Integra