

Komitet Mechaniki Polskiej Akademii Nauk

**Politechnika Rzeszowska
im. Ignacego Łukasiewicza**

**Instytut Podstawowych Problemów Techniki
Polskiej Akademii Nauk**

II KRAJOWA KONFERENCJA

NANO- i MIKROMECHANIKI

KRASICZYN, 6-8 LIPCA 2010 r.

PATRONAT HONOROWY

Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego
Prof. dr hab. Barbara Kudrycka

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. Tadeusz Burczyński, Politechnika Śląska, Śląsk
Prof. dr hab. Michał Ciałkowski, Politechnika Poznańska, Poznań
Prof. dr hab. Marek Cieplak, Instytut Fizyki PAN, Warszawa
Prof. dr hab. Paweł Dłużewski, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa
Prof. dr hab. Stanisław Drobniak, Politechnika Częstochowska, Częstochowa
Prof. dr hab. Jan Dziuban, Politechnika Wrocławska, Wrocław
Prof. dr hab. Marek Dziubiński, Politechnika Łódzka, Łódź
Prof. dr hab. Henryk Galina, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów
Prof. dr hab. Józef Giergiel, Akademia Górniczo Hutnicza, Kraków, Politechnika Rzeszowska
Prof. dr hab. Michael Giersig, Hahn-Meitner-Institute, Niemcy
Prof. dr hab. Robert Hołyst, Instytut Chemii Fizycznej PAN
Prof. dr hab. Kris Kempa, Boston College, USA
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. Urszula Narkiewicz, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin
Prof. dr hab. Henryk Petryk, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa
Prof. dr hab. Maciej Pietrzyk, Akademia Górniczo Hutnicza, Kraków
Prof. dr hab. Mieczysław Poniewski, Politechnika Warszawska, Warszawa

KOMITET ORGANIZACYJNY KONFERENCJI**Przewodnicząca**

Dr hab. Anna Kucaba-Piętal, Prof. nadzw. PRZ., Politechnika Rzeszowska

Wiceprzewodniczący

Prof. dr hab. Tomasz A. Kowalewski, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN -

Doc dr hab. Piotr Garstecki, Instytut Chemii Fizycznej PAN

Dr hab. inż. Jarosław 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. Burczyński T., Kuś W.: Zagadnienia odwrotne w modelowaniu wieloskalowym	11
2. Dłużewski P.: Atomistyczno- kontynualna rekonstrukcja defektów w heterostrukturach kry- stalicznych	13
3. Dziubiński M., Domagalski P.: Hydrodynamika ogniskowania strugi cieczy w minikanalach...	15
4. Favre Marinet M., Asendrych D., Gamrat G., Drobniak S.: Modelowanie wymiany pędu ciepła w mikrokanalach z zastosowaniem hipotezy ośrodka ciągłego	17
5. Giersig M., Kempa K.: Mechanical and Dielectric Properties of modified Multiwall Carbon Nanotubes in Polymer matrix	19
6. Godlewski M.: Nanocząstki do zastosowań w biologii, medycynie i jako luminofory w źró- dłach światła nowej generacji	21
7. Józwiak G., Kopiec D., Zawierucha P., Gotszalk T., Janus P., Grabiec P.: Pomiary szumów w metrologii układów mikro-mechanicznych	23
8. Kubiak K.: Działalność badawcza Laboratorium Badań Materiałów dla Przemysłu Lotni- czego Politechniki Rzeszowskiej	25
9. Muc A.: Evaluation of mechanical properties for pristine and defective carbon nanotubes and nanocomposites	27
10. Niedźwiecka A.: Zmiany konformacyjne białek - komunikacja w nanoskali	29
11. Pietrzyk M., Rauch Ł., Madej Ł.: Wirtualny materiał polikrystaliczny	31
12. Poniewski M. E., Piasecka M., Hożejowska S.: Experimental and numerical evaluation of flow boiling heat transfer in asymmetrically heated vertical minichannel	33
13. Sikora M., Cieplak M.: Biosensory z samoorganizowanych układów nanocząstek - model teo- retyczny	35
14. Stasicki B.: Real time visualization and recording of laser – induced liquid micro-jet disinte- gration	37
II. FIZYKA NANOŚWIATA, MODELOWANIE ZJAWISK W NANO I MIKROSKALI	
1. Kędzior D., Szefer G.: Problem kontaktowy sondy pomiarowej AFM	41
2. Kędziora P.: Analiza delaminacji w wielowarstwowych strukturach kompozytowych	43
3. Nieradka K., Pałetko P., Gotszalk T., Schroeder G., Grabiec P., Rangelow I.: Zastosowanie dźwigni mikromechanicznych do badania adsorpcji biomolekuł	45
4. Podulka P.: Nanorurki w świecie nanomechaniki	47
5. Sikoń M.: Zjawiska optyczne i magnetyczne wynikające z kwantowej natury Nanomechaniki Cosseratów	49
III. METODY OBLICZENIOWE MEZO-, MIKRO- I NANOSKALOWE	
1. Barski M.: Metody dynamiki molekularnej w opisie ośrodków dwufazowych	53

2. Bytnar J., Kucaba-Piętal A.: **Problemy walidacji metody Dynamiki Molekularnej w aspekcie obliczeń nano i mikromechaniki**55
3. Janus – Michalska M.: **Wyznaczanie własności sprężystych i wytrzymałościowych pianek poliuretanowych węglowych oraz kompozytowych na podstawie modelowania mikromechanicznego**57
4. Martowicz A., Klepka A., Uhl T.: **Modelowanie własności mikrołustra z zastosowaniem metody powierzchni odpowiedzi**59
5. Milenin A., Kopernik M.: **Wieloskalowy model komory wspomaganie serca POLVAD z naniesioną nanopowłoką TiN**.....61
6. Walenta Z.: **Nanostruktura fali uderzeniowej w gęstym ośrodku**63
7. Szefer G., Jasińska D.: **Kontynualno – molekularny model nanorurek węglowych**65

IV. METODY EKSPERYMENTALNE

1. Churski K., Korczyk P., Garstecki P.: **Technika mikroprzepływowego tworzenia kroplel na żądanie z kontrolą przepływu obydwu faz**69
2. Kopiec D., Józwiak G., Zawierucha P., Garczyński K., Grabiec P., Gotszalk T.: **Kalibracja stałej sprężystości metodą znanej masy**71
3. Kopiec D., Józwiak G., Zawierucha P., Zielony M., Grabiec P., Gotszalk T.: **Charakteryzacja szumowa dźwigni piezorezystancyjnych**73
4. Koszela W.: **Metody wytwarzania mikrozasobników smaru na powierzchniach ślizgowych oraz ich wpływ na wybrane właściwości** 75
5. Krupa A., Lackowski M., Jaworek A.: **Przetwornik pojemnościowy do pomiarów zawartości fazy gazowej w minikanalach**77
6. Ogończyk D., Siek M., Garstecki P.: **Otrzymywanie mikrożelków i mikrokapsułów pektynowych w układach mikroprzepływowych** 79
7. Zawierucha P., Zielony M., Kopiec D., Józwiak G., Rangelow I., Gotszalk T.: **Zastosowanie macierzy dźwigni sprężystych w pomiarach topografii powierzchni metodami mikroskopii sił atomowych**81
8. Zielony M., Nieradka K., Gotszalk T.: **Cieczowa celka pomiarowa do pomiarów i diagnostyki mikro i nanostruktur za pomocą mikroskopii bliskich oddziaływań**83
9. Wieloch G., Mostowski R.: **Lokalna modyfikacja właściwości płyt drewnopochodnych nanopreparatem PUR 555.6**85
10. Półtorak P., Szwajczak E.: **Wpływ mikrocząstek biopolimeru hialurynianu na reologiczne właściwości cieczy polarnych** 87

V. WYTWARZANIE I ZASTOSOWANIE MIKROURZĄDZEŃ

1. Churski K., Kamiński T., Jakięła S., Szultka Ł., Korczyk P., Kamysz W., Garstecki P.: **Zautomatyzowane laboratoria mikrokropelkowe**91
2. Izydorczak M., Garstecki P.: **Uniwersalna metoda wytwarzania polimerowych kapsulek**93
3. Janus P., Szmigiel D., Wielgoszewski G., Weisheit M., Ritz Y., Grabiec P., Hecker M., Gotszalk T., Sulecki P., Zschech E.: **Zintegrowana nano - sonda mikromechaniczna do zastosowania w skaningowej mikroskopii termicznej (SThM)** 95
4. Michalski J. A., Churski K., Garstecki P.: **Mikrozawór do układu wytwarzającego „krople na życzenie”**97
5. Nieradka K., Paętko P., Gotszalk T.: **Analiza czułości i progów detekcji mikrodźwigniowych czujników biochemicznych** 99

6. Nieradka K., Paletko P., Małozieć G., Gotszalk T.: **Analiza szumowa i optymalizacja systemu do badania mikrodźwigniowych czujników biochemicznych**101
7. Ogończyk D., Węgrzyn J., Jankowski P., Garstecki P.: **Wytwarzanie układów mikroprzepływowych w poliwęglanie**103
8. Świątkowski M., Paletko P., Schroeder G., Gotszalk T.: **Kalibracja odpowiedzi mikrowagi kwarcowej metodą mikropieczątkowania**105
9. Waszczuk K., Zawierucha P., Świątkowski M., Olszewski J., Herwich W., Gotszalk T., Rybka J.: **Kamerton piezoelektryczny jako mikroelektromechaniczny czujnik nanosil i mikrowaga** ... 107
10. Zielony M., Paletko P., Gotszalk.: **Tryb ciągłej spektroskopii sił w badaniach właściwości mechanicznych molekularnych warstw samoorganizujących**109

VI. NANOMATERIAŁY

1. Chwał M.: **Opis własności mechanicznych nanokompozytów wzmacnianych nanorurkami węglowymi**113
2. Cichomski M., Rogowski J., Kośla K.: **Charakterystyka warstw fluoroalkilosilanowych na powierzchni tytanu**115
3. Jankowski P., Derzsi L., Ogończyk D., Garstecki P.: **Modyfikacje poliwęglanu w celu uzyskania hydrofilowych i hydrofobowych powierzchni**117
4. Jaworek A., Krupa M., Lackowski M., Czech T., Sobczyk A., Sundarajan S., Pliszka D., Ramakrishna S.: **Wytwarzanie nanowłóknin kompozytowych metodą elektrohydrodynamiczną**119
5. Niedziółka – Jönsson J., Niedziółka – Jönsson M., Opallo M.: **Elektrosynteza materiałów żel-żel na granicy trzech faz ciało stałe|ciecz|ciecz**121
6. Nowak M., Firkowska I., Giersig M.: **Wykorzystanie elementów nanostrukturalnych dla wspomaganie procesu przebudowy kości beleczkowej**123
7. Oleksy M., Galina H., Heneczkowski M., Mosssety – Leszczak B., Budzik G.: **Nanokompozyty na osnowie żywicy epoksydowej stosowane w przemyśle lotniczym**125
8. Oleksy M., Galina H., Heneczkowski M., Mosssety – Leszczak B., Budzik G.: **Nanokompozyty na osnowie żywicy chemoutwardzalnych stosowane w technologii odlewania próżniowego**127

VII. LAB-ON-A-CHIP, NANOMEDYCYNĄ

1. Górecka – Drzazga A., Cichy B., Dziuban J.: **Polowe źródła światła dla mikrouządzeń typu lab-on-a-chip**131
2. Kubicki W., Walczak R., Dziuban J.: **Laboratorium chipowe do kapilarnej elektroforezy żelowej DNA**133
3. Szczepańska P., Walczak R., Dziuban J., Jackowska M., Kempisty B., Antosik P., Jaśkowski J.: **Lab-chip do jakościowej oceny oocytów bydłęcych**135
4. Walczak R.: **Detekcja optyczna w Lab-Chipach**137
5. Witkowska E., Ciosek P., Chudy M., Żukowski K., Jędrych E., Michalska A., Wróblewski W.: **Miniaturowy układ przepływowy do pomiarów matrycy elektrod z membranami poliakrylowanymi**139
6. Domański K., Baraniecka A., Ekwińska M., Janus P., Prokaryn P., Sierakowski A., Szmigiel D., Zaborowski M., Grabiec P.: **Procesy wytwarzania mikrosystemów dla zastosowań w diagnostyce biomedycznej**141
7. Kowalczyk T., Kowalewski T. A.: **Living organisms and cells electrospinning**143

VIII. NANO I MIKROPRZEPLYWY

1.	Jakiela S., Cybulski O., Garstecki P.: Automatyzacja eksperymentów mikroprzepływowych ..	147
2.	Kmiotek M., Kucaba - Pietal A.: Wpływ geometrii przeszkody na ścianie na przepływ w mikrokanale	149
3.	Korczyk P., Pyżalska M., Makulska S., Garstecki P.: Od mikro do miliprzepływów	151
4.	Kowalewski T. A., Lamparska D., Sadlej K., Wajnryb E., Ekiel – Jeżewska M. L.: Nanofibres in the microchannel flow	153
5.	Makulska S., Jakiela S., Korczyk P., Garstecki P.: Szybkość kropli w kanałach układach mikroprzepływowych	155
6.	Mamroł A., Kucaba – Piętał A.: Wpływ geometrii na proces mieszania w mikromikserze	157
7.	Morawiak A., Dziubiński M.: Udziały objętościowe faz mieszanin dwufazowych ciecz – ciecz w mikrokanalach	159
8.	Orczykowska M., Dziubiński M., Budzyński P.: Struktury przepływu i udział objętościowy faz przy przepływie dwufazowym cieczy nienewtonowskich w minikanalach	161
9.	Samborski A., Węgrzyn J., Reissig L., Garstecki P.: Generacja gradientu stężeń w kropelkowych układach mikroprzepływowych o dużej przepustowości	163
10.	Sowiński J. W., Dziubiński M.: Badanie przepływu dwufazowego cieczy nienewtonowska – gaz w minikanalach	165

IX. NANOROBOTYKA I MEMSY

1.	Grzebyk T., Górecka – Drzazga A.: Mikrouządzenia próżniowe	169
2.	Kaliciński S., Janus P., Bieniek T., Domański K., Ekwińska M., Sierakowski A., Szmigiel D., Grabiec P.: Konstrukcja i wytwarzanie krzemowych struktur testowych i przyrządów typu MEMS wykorzystujących napędy grzebieniowe	171
3.	Karpiel G., Prusak D.: Prototyp mikromanipulatora o 5 stopniach swobody	173
4.	Kociubiński A., Bieniek T., Janczyk G.: Porównanie własności warstw diamentowych i krzemowych w systemach mikromechanicznych	175
5.	Prusak D., Karpiel G.: Prototyp mikronapędu piezoelektrycznego o dwóch stopniach swobody	177

Indeks autorów	179
----------------------	-----

Szanowni Państwo,

Serdecznie witamy po raz drugi na Krajowej Konferencji Nano i Mikromechaniki, której pierwsza edycja odbyła się w 2008 roku również w Krasiczynie.

Nano- i mikromechanika tworzy podstawy nanotechnologii, młodej, gwałtownie rozwijającej się dziedziny nauki, przyczyniającej się do rozwoju gospodarki innowacyjnej. Równocześnie nanotechnologia wytycza współczesne kierunki badawcze w różnych obszarach: w mechanice, w chemii, biologii, fizyce, elektronice, informatyce itp.

Ten cykl konferencji jest pomyślany jako forum wymiany myśli oraz doświadczeń środowiska naukowego aktywnego w odległych specjalnościach w zakresie badań w nano- i mikro skali oraz jego integracja. Chcemy uniknąć typowej dla niektórych konferencji hermetyzacji, by w ciepłe lipcowego klimatu w pięknym otoczeniu starego Zamku w Krasiczynie stworzyć miejsce zacieśniające współpracę naszych grup badawczych, która przyczyni się do powstania nowych, twórczych idei oraz ciekawych pomysłów i rozwiązań. Będąc razem, zdziałamy więcej!

Ogromny postęp, jaki się dokonał w ciągu ostatnich dwóch lat, przełożył się na zwiększoną liczbę referatów nadesłanych do wygłoszenia na obecnej edycji Krajowej Konferencji Nano i Mikromechaniki. Referaty przeglądowe odzwierciedlają „state of art.” wybranych obszarów badań.

W imieniu Organizatorów życzę wszystkim Uczestnikom owocnych obrad, ciekawych pomysłów, twórczych idei oraz radości i i zadowolenia w spotkaniach i dyskusjach.

Anna Kucaba-Piętal

I
REFERATY PLENARNE

TADEUSZ BURCZYŃSKI^{1,2)}, WACŁAW KUŚ¹⁾

ZAGADNIENIA ODWROTNE W MODELOWANIU WIELOSKALOWYM

INVERSE PROBLEMS IN MULTISCALE MODELLING

¹⁾Department for Strength of Materials and Computational Mechanics,
Silesian University of Technology
e-mail: Tadeusz.Burczynski@polsl.pl

²⁾Institute of Computer Science, Cracow University of Technology

This work is devoted to the general formulation of optimization and identification problems in multiscale modelling.

The multiscale modelling of materials and structures is very important and challenging area of research allowing to design new materials and products with better quality, strength and performance parameters. It allows to create reliable models taking into account products and material properties and topology in different length scales. Several approaches have been elaborated for direct problems of multiscale modelling.

The bridging and homogenization methods are the most popular. The bridging consists in connecting of scales on some boundaries; this method is especially important if some phenomenon occurs in a small part of the structure and should be taken into account. The example of the bridging method is connection between an atomic model and a continuum micro-model discretized by the finite or boundary element method for problems with the crack initialization and propagation. Another approach – the computational homogenization is used for analyzing models with a locally periodical microstructure. The computational homogenization allows to consider a complicated microstructure with nonlinearities like the elasto-plastic material, the contact with friction, wear or phase changes in the micromodel. This approach is used in the paper to solve direct problems in which transition from micro- to macro-scales and vice versa is performed. Optimization problems, and generally speaking inverse problems considered in the paper, are much more complicated than direct problems.

Optimization in multiscale modelling allows to find structures with best performance or strength in one scale with respect to design variables in another scale. The identification problem is formulated as evaluation of some geometrical or material parameters of structures in one scale having measured information in another scale. This last problem can be formulated and considered as a special task of the optimization problem.

Problems considered in the paper tackle optimization and identification of microstructure parameters on the base of objective functionals and measured data (displacements, strains or natural frequencies) obtained for the macroscale level.

The proposed approach of identification is one of the most important stage of multiscale modelling because it enables to find some geometrical and/or material parameters of a micro-model in the rational and efficient way. Such parameters are necessary to formulate and solve the direct problems, in framework of the multiscale methodology, for engineering analysis of existed structures.

The global optimization algorithms based on bioinspired algorithms are applied in optimization and identification problems in the multiscale modelling. The most important advantages of bioinspired algorithms are their robustness, great probability of finding the global optimum and easy adaptation to new problems. The main disadvantage is long computation time due to the need of solving hundreds or thou-

sands direct problems during optimization. To speed-up computations parallel and multi-subpopulation approaches are proposed.

Optimization and identification performed with the use of the evolutionary and immune algorithms and multiscale FEM models based on the computational homogenization are considered.

Several numerical examples of optimization and identification of composite and functionally graded engineering materials and bone tissues are presented.

Acknowledgment. The research is financed from the Polish science budget resources in the years 2007-2010 as the research project.

PAWEŁ DŁUŻEWSKI

**ATOMISTYCZNO-KONTYNUALNA REKONSTRUKCJA DEFEKTÓW
W HETEROSTRUKTURACH KRYSZALICZNYCH****ATOMISTIC/CONTINUUM RECONSTRUCTION OF CRYSTAL
DEFECTS IN HETEROSTRUCTURES**Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
pdluzew@ippt.gov.pl

A method for reconstruction of atomistic models of dislocations and stacking faults in heterostructures is presented [1]. Its mathematical foundations come back to the algebra of the finite deformation fields induced by discrete dislocations introduced sequentially to the initially coherent interface. From the practical point of view the method concerns generation of interfacial regions with misfit/treading dislocations situated in the interfacial region of crystal structures of different type, e.g. GaN/Al₂O₃ [2] or Cu(111)/(001)Al₂O₃.

The method is based on non-commutative addition of distortion tensor fields induced by subsequently introduced dislocations. The problem to solve consists in the proper reconstruction of the atomistic displacements obtained by integration the total distortions. Such reconstructed atomistic displacement field is intersected by a set of discontinuities corresponding to dislocation slip/climb planes being indispensable to introduce a set of misfit dislocation to the initially perfect atomistic model of the heterostructure.

Independently of the atomistic model, a finite element (FE) model is generated. The FE one is based on the used the continuous tensor field of defects (dislocation cores). In result, two models are obtained: FE model and the atomistic one being embedded in the FE mesh.

The method discussed can be used for generation of the multiscale atomistic/FE meshes of defects treated next as the input data to the FE/atomistic modelling with the use of FEM, ab-initio, molecular dynamics, statics and/or other methods. An example of a wysiwyw editor for generation of the atomistic and FE meshes is presented. A program for preprocessing, the Visual Editor of Crystal Defects, has been written with the use of C++, Qt4 and OpenGL. A few examples of the atomistic/continuum boundary value problems solved by the use of the models generated are shown.

REFERENCES:

- [1] P DŁUŻEWSKI, T.D. YOUNG, G. DIMITAKOPOULOS, J. KIOSEOGLU, PH. KOMNINO. *Nonlinear finite element and atomistic modelling of dislocations in heterostructures*. In M. Kuczma and K. Wilmański, editors, *Computer Methods in Mechanics, Series: Advanced Structured Materials, vol. 1*, 239–253. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg 2010.
- [2] T. D. YOUNG, J. KIOSEOGLU, G. P. DIMITRAKOPULOS, P. DŁUŻEWSKI, PH. KOMNINO. *3d modelling of misfit networks in the interface region of heterostructures*. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2007, vol. 40, 4084–4091, 2007.

MAREK DZIUBIŃSKI, PIOTR DOMAGALSKI

HYDRODYNAMIKA OGNISKOWANIA STRUGI CIECZY W MINIKANALACH

HYDRODYNAMICS OF FOCUSED LIQUID STREAMS IN MICROCHANNELS

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

Zjawisko hydroogniskowania polega na zwężeniu jednego ze strumieni cieczy przepływających w węźle minikanalów, przekształcając go za pomocą strumieni bocznych w strumień o żądanej konfiguracji geometrycznej. Zjawisko to znalazło szerokie zastosowanie w analizie medycznej, mikromieszaniu, mikroreaktorach, mikroreologii, produkcji stabilnych emulsji oraz w wizualizacji przepływu w skali mikro jako modyfikacja techniki micro-PIV.

W referacie przedstawione zostaną różne aspekty zastosowania zjawiska hydrodynamicznego ogniskowania oraz szeroki zakres badań własnych i opublikowanych w literaturze przedmiotu dotyczących hydrodynamiki ogniskowania strugi cieczy w mikrokanalach. Głównym celem będzie zaprezentowanie mechanizmu oraz kompleksowego opisu w przestrzeni trójwymiarowej hydrodynamiki ogniskowania strugi zarówno od strony modelowego wyjaśnienia mechanizmów formowania się i przepływu ogniskowanej strugi jak i potwierdzenia rozważań modelowych opartych na symulacjach CFD.

Obserwacja zjawiska hydrodynamicznego ogniskowania była prowadzona metodą mikroanemometrii obrazowej opartej o mikroskop Olympus BX 51 wyposażony w obiektywy 10x/0.25 i 20x/0.4. W celu analizy trójwymiarowej struktury przepływu użyto mikroskopu konfokalnego Carl Zeiss CSM 510 wyposażonego w 8-bitowy przetwornik CCD i obiektyw Plan – Neofluar 20x/0.5. Zależnie od badanego medium posłużono się laserem heliowo – neonowym bądź argonowym produkcji Lasos Lasertechnik. Badania prowadzono w kanałach prostokątnych o rozmiarach 1020x800 μ m, 400x300 μ m oraz 260x200 μ m. Jako media doświadczalne stosowano wodę demineralizowaną, wodne roztwory glukozy o różnych lepkościach oraz wodę z dodatkiem środka powierzchniowo czynnego Tryton X-100 obniżającego napięcie powierzchniowe demineralizowanej wody.

Badania kształtu ogniskowanej strugi wykonane dla różnych kanałów, prędkości przepływu oraz właściwości cieczy pozwoliły stwierdzić, że występują dwa aspekty deformacji strugi: pierwszy polegający na nierównomiernym rozkładzie grubości i drugi na zakrzywieniu ogniskowanej strugi odsuniętej od osi kanału niesymetrycznymi strumieniami bocznymi. W pracy zaproponowano proste równania opisujące kształt ogniskowanej strugi. Przeprowadzone wstępne symulacje CFD potwierdziły dane doświadczalne dotyczące powstających krzywizn ogniskowanej strugi cieczy. Uzyskane wyniki mają duże znaczenie z punktu widzenia modyfikacji techniki mikro PIV.

Bezpośrednie wykorzystanie uzyskanych wyników zostanie zaprezentowane na przykładzie nowej techniki pomiarowej SES-PIV (ang. Selective Seeding PIV), będącej modyfikacją metody mikroanemometrii obrazowej μ PIV (ang. Micro Particle Image Velocimetry). Metoda μ PIV jest technika wizualizacji pól prędkości polegająca na analizie wykonanych w krótkich odstępach czasu obrazów znaczników poruszających się wraz z płynem. W wariacie SES-PIV znaczniki wprowadzane są za pomocą ogniskowania hydrodynamicznego w postaci wąskiej strugi, zamykającej w swojej objętości źródło fluorescencji, dzięki czemu pomiar uniezależnia się od głębi ostrości systemu optycznego. Wymierne korzyści z takiej modyfikacji obejmują znaczną poprawę jakości obrazu, obniżenie poziomu szumów pochodzących z tła, a co za

tym idzie możliwość szybkiego, bazującego na niewielkiej liczbie par obrazów pomiaru, co ma kluczowe znaczenie dla analizowania szybkich i niestabilnych procesów w mikrokanalach.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007 – 2010 jako projekt badawczy N N208 2943 33

M. FAVRE-MARINET¹, D. ASENDRYCH², G. GAMRAT², S. DROBNIAK²

MODELOWANIE WYMIANY PĘDU I CIEPŁA W MIKROKANALACH Z ZASTOSOWANIEM HIPOTEZY OŚRODKA CIĄGŁEGO

APPLICABILITY OF CONTINUUM FLUID APPROACH FOR MOMENTUM AND HEAT TRANSFER MODELLING IN MICROCHANNELS

¹LEGI, INPG, Grenoble, France, ²Częstochowa Univ. of Technology, Poland, drobniak@imc.pcz.czest.pl

The paper presents the results of a research performed during recent years at LEGI Grenoble with joint-participation of CzUT researchers. The special attention is devoted to experimental and numerical studies-devoted to three cases involving various aspects of microchannel flow physics. The diameters of channels investigated correspond to microchannel range according to classification proposed by Kandlikar [1].

The first research area was related to hydraulic properties of a network of parallel triangular microchannels, where experimental investigations revealed the rapid increase of pressure drop for Re exceeding value of 10, which was not in line with the classical fluid mechanics behaviour. In order to find out the sources of these discrepancies, a numerical simulation was undertaken taking into account all the probable physical phenomena occurring in the laminar single-phase flow. Application of the step-by-step numerical simulation allowed to identify and quantify the flow phenomena responsible for the hydrodynamic losses. As a result, the continuum RANS model enabled to prove that the flow resistance resulted from threeclassical flow phenomena, i.e. viscous, mixing and recirculation losses, having jointly a major contribution to the total losses in the system analysed [2].

The second aspect of the research was the influence of surface roughness, which was investigated both experimentally and numerically for periodically and randomly distributed surface elements. This research is on one hand important for determination of friction factor in the case of microchannels, and on the other-hand is still far from being resolved and understood (see review by Kandlikar [1]). Both experiments and-numerical studies were performed on well - defined surface roughness, where roughness effects would not be obscured by uncertainties in the measurements performed in their microchannel flows. For modelling the surface roughness a Rough Layer Model (RLM) was substantially improved by Gamrat et al. [3] as far as the interfacial region between the rough layer and the unobstructed fluid layer is concerned. The consistency of 3D RLM calculations and experimental results revealed that periodic roughness phenomena might be interpreted using the effective roughness height k_{eff} , while modelling of random roughness (although a complex problem) by periodically distributed parallelepipedic elements appeared relevant to actual surface finish. The third research case was devoted to the numerical modelling of heat transfer. As a result, experimental and numerical analyses [4] showed that there was no scale effect for the microchannels considered, i.e. the relevance of the classical continuum flow model was confirmed.

BIBLIOGRAPHY:

- [1]. KANDLIKAR S.G., *Roughness effects at microscale - reassessing nikuradse's experiment on liquid flow in rough tubes*, Bull. Polish Acad. Sc., Tech. Sc., 2005, 53, pp. 343-349
- [2] NIKLAS M., FAVRE-MARINRT M., ASENDRYCH D., *Numerical simulation of microchannel network with complex geometry*, Bull. Polish Acad.Sc., Tech. Sc., 2005, 53, pp. 351-359

-
- [3] GAMRAT, G., FAVRE-MARINET, M., LE PERSON, S., BAVIERE, R. & AYELA, F.: *An experimental study and modelling of roughness effects on laminar flow in microchannels*, JFM, vol. 594 , 2008, 399 - 423
- [4] GAMRAT G., FAVRE-MARINET M., LE PERSON S.: *Numerical study of heat transfer over banks of rods in small Reynolds number cross flow*, Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 51, 2008, pp. 853-864

MICHAEL GIERSIG¹, KRIS KEMPA²**MECHANICAL AND DIELECTRIC PROPERTIES OF MODIFIED
MULTIWALL CARBON NANOTUBES IN POLYMER MATRIX**

¹Freie University Berlin, Department of Physics, Institute for Experimental Physics, Arnimallee 14,
14195 Berlin, Germany, e-mail: giersig@physik.fu-berlin.de
University Berlin a

²Boston College, USA, e-mail: kempa@bc.edu

In this lecture we will discuss the nanomechanical and dielectric properties of modified multiwall carbon nanotubes (MWNT) in polymer matrices. The mechanical properties have been studied using the nanoindentation technique. Individual carbon nanotubes were coated with a uniform, thick layer of silica, and incorporated into poly(methyl methacrylate) (PMMA) (Fig.1). The hardness and elastic modulus were measured and compared with values obtained for the films made of uncoated MWNT in the PMMA matrix. The silica shell on the surface of a nanotube enhances its stiffness and rigidity. Our composites, at 4wt% of the silica coated MWNT, display maximum hardness of 120 ± 20 Mpa, and a Young's modulus of 9 ± 1 GPa.

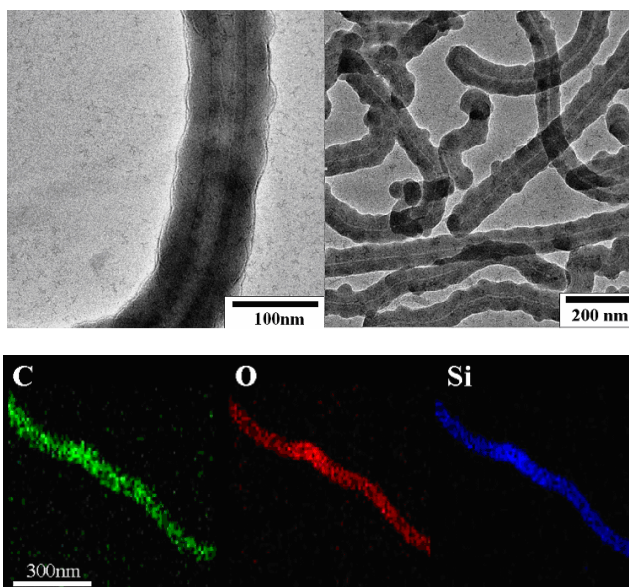


Figure 1 : TEM images and EDX mapping of silica coated multiwall carbon nanotubes.

These are respectively 2 and 3 times higher than those for the polymeric matrix (Fig. 2). Silica coating of MWNT opens up possibilities for production of new advanced, reinforced materials for a variety of applications. Since silica is an insulator, a coated CNT can be used as a coated nanowire for some nano-electrical applications.

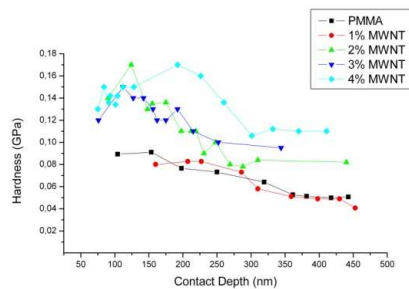


Figure 2: The elastic modulus and hardness for different CNT weight percentage content in silica coated MWNT/PMMA composites, as a function of contact depth.

We have also studied dielectric properties of these nanocomposites, both theoretically by using the so-called Kohn's Theorem [3], and experimentally [4]. Fig. 3 shows the main result, the difference between the dielectric function of the nanocomposite and the dielectric constant of the matrix ($\epsilon - \epsilon_0$). The agreement between the theory and experiment is clearly good. Thus, the nanotube composites containing silica coated CNT are strongly affected by the insulator layer on each nanotube. They show not only an increased mechanical strengths, but also strongly enhanced dielectric properties. This may lead to novel applications in biology, medicine and nanoelectronic devices. For example, a singular response is expected at the CNT weight concentration such that the CNT segments touch, as predicted by the percolation theory. At this point, the dielectric function of the nanocomposite is highly sensitive to the weight percentage, and this can be exploited in applications of the nanocomposites as stress sensors. Systems with similar properties will be discussed.

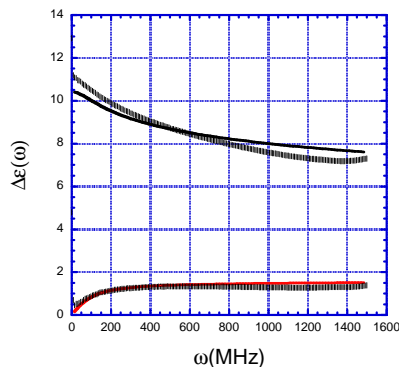


Figure 3: Difference between the dielectric function of the nanocomposite (solid lines) and the dielectric constant of the matrix (shaded lines). Real part (top curves), imaginary part (bottom curves).

REFERENCES:

- [1] M. OLEK, J. OSTRANDER, S. JURGA, H. MÖHWALD, N. KOTOV, K. KEMPA, M. GIERSIG; *Nano Letters*, 4,10, 1889-1895, 2004
- [2] M. OLEK, S. K. KEMPA S. JURGA, AND M. GIERSIG; *Langmuir* 21, 7 3146-3152, 2005
- [3] K. KEMPA, "Dielectric function of media based on conductive particles", *Phys. Rev. B* 74, 033411 2006
- [4] T. KEMPA, D. CARNAHAN, M. OLEK, M. CORREA, M. GIERSIG, M. CROSS, G. BENHAM, M. SENNETT, Z.F. REN AND K. KEMPA, *Journal of Applied Physics* 98, 034310 2005

MAREK GODLEWSKI

NANOCZĄSTKI DO ZASTOSOWAŃ W BIOLOGII, MEDYCYNIE I JAKO LUMINOFORY W ŹRÓDŁACH ŚWIATŁA NOWEJ GENERACJI

Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk,
02-668 Warszawa Al. Lotników 32/46
godlew@ifpan.edu.pl

Nanoproszki materiałów półprzewodnikowych i izolacyjnych (zarówno niedomieszkowane jak i aktywowane jonami metali przejściowych lub ziem rzadkich) są intensywnie badane pod kątem ich zastosowań w optoelektronice (jako nanoluminofory) oraz w biologii i medycynie (jako znaczniki fluoroscencyjne). W tym drugim przypadku nanometryczny rozmiar proszków wynika z rozmiarów znacznikowanych obiektów (bakterie, białka,...). W przypadku luminoforów korzyści z ich nanorozmiaru nie są tak oczywiste lub nawet są kontrowersyjne. Na przykład nanorozmiar oznacza pogorszenie stosunku powierzchni/objętość proszku, a tym samym może prowadzić do zwiększonej wydajności procesów rekombinacji promienistej. Powierzchnię można pasywować wprowadzając układy typu „core-shell”, ale nawet w tym przypadku wyniki nie są jednoznaczne.

W referacie omówię mechanizmy prowadzące do wzmocnienia wydajności świecenia nanoproszków. W badanych układach nanorozmiar często stymulował procesy rekombinacji promienistej poprzez relaksację reguł wyboru dla przejść optycznych, poprzez wydajne pompowanie energii sieć-domieszka i wzrost roli procesów superradiacji.

Praca ta dofinansowana została z funduszy Unii Europejskiej w ramach grantu Innowacyjnej Gospodarki (POIG.01.01.02-00-008/08), tzw. „European Regional Development Fund.

GRZEGORZ JÓŹWIĄK, DANIEL KOPIEC, PAWEŁ ZAWIERUCHA,
TEODOR GOTSZALK, PAWEŁ JANUS, PIOTR GRABIEC

POMIARY SZUMÓW W METROLOGII UKŁADÓW MIKROMECHANICZNYCH

NOISE MEASUREMENTS IN MICROMECHANICAL SYSTEMS METROLOGY

Politechnika Wrocławska, Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław,

e-mail: grzegorz.jozwiak@pwr.wroc.pl, daniel.kopiec@pwr.wroc.pl, pawel.zawierucha@pwr.wroc.pl,
teodor.gotszalk@pwr.wroc.pl

Instytut Technologii Elektronowej, ul. Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa
e-mail: janus@ite.waw.pl, grabiec@ite.waw.pl

Układy mikromechaniczne są obecnie szeroko stosowane jako czujniki ultra małej siły, masy, przepływu i lepkości, a także w mikroskopii sił atomowych jako sondy skanujące [1]. Jednocześnie trwają intensywne prace nad wykorzystaniem tego typu układów jako czujników bioelektrochemicznych, które stosowane w medycynie mogą pomóc we wczesnym diagnozowaniu niebezpiecznych bakterii, wirusów i trudnych do wykrycia nowotworów. Głównymi czynnikami określającymi jakość takich czujników jest czułość na zmiany mierzonej wielkości i rozdzielczość pomiaru jej wartości. Ponadto często do określenia wartości mierzonej wielkości niezbędna jest wiedza o właściwościach mechanicznych wykorzystywanego sensora.

Występujący w stosowanym układzie szum wpływa bezpośrednio na rozdzielczość pomiaru. Pomiar szumów umożliwia określenie rzeczywistej rozdzielczości czujników mikromechanicznych, a także dostarcza cennych informacji, które umożliwiają optymalizację technologii wykonania tego typu układów. Rejestracja i analiza szumów związanych termicznymi oscylacjami mechanicznych elementów czujnika, umożliwia badanie ich właściwości mechanicznych takich jak częstotliwość drgań własnych, dobrotę układu drgającego, stałą sprężystości czy efektywną masę oscylujących elementów. W przypadku czujników bioelektrochemicznych bazujących na układach mikromechanicznych, które pracują w środowisku cieczowym, określenie tych właściwości jest niezwykle utrudnione, ponieważ zależą one o wykorzystywanych preparatów, rodzaju i właściwości mechanicznych wykorzystywanych rozpuszczalników oraz funkcjonalizacji powierzchni elementów mechanicznych. W tych przypadkach analiza i pomiar szumów dostarczą informacji, które nie mogą być uzyskane w żaden inny sposób.

W pracy przedstawiony zostanie stan wiedzy na temat szumowych modeli układów mikromechanicznych. Omówione zostaną problemy związane z pomiarem i analizą występujących w układach mikromechanicznych szumów. Oraz przedstawione zostaną wyniki pomiarów szumów czujników bioelektrochemicznych opartych na mikrodźwigniach sprężystych z piezorezystywnym detektorem ugięcia. Złożona wielowarstwowa struktura tego typu czujników sprawia, że konieczny jest precyzyjny pomiar ich właściwości mechanicznych.

LITERATURA:

- [1] D. FILENKO I IN., *Experimental setup for characterization of self-actuated microcantilevers with piezoresistive readout for chemical recognition of volatile substances*, *Rev. Sci. Instrum.*, 2008, vol.79, 0941011- 0941015

KRZYSZTOF KUBIAK

**DZIAŁALNOŚĆ BADAWCZA
LABORATORIUM BADAŃ MATERIAŁÓW DLA PRZEMYSŁU
LOTNICZEGO POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ**

**RESEARCH ACTIVITY OF THE R&D LABORATORY
FOR AEROSPACE MATERIALS
AT THE RZESZOW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Materiałoznawstwa,
ul. W Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: krkub@prz.edu.pl

W bieżącym roku mija pięć lat działalności **Laboratorium Badań Materiałów dla Przemysłu Lotniczego**, utworzonego zarządzeniem Rektora Politechniki Rzeszowskiej w dniu 5 października 2005 roku. Celem Laboratorium jest realizacja zadań naukowo - badawczych przy współpracy z uczelniami zrzeszonymi w Centrum Zaawansowanych Technologii: „**AERONET - Dolina Lotnicza**” i **CAMAT** oraz zakładami przemysłowymi zrzeszonymi w Stowarzyszeniu Grupy Przedsiębiorców Przemysłu Lotniczego „**Dolina Lotnicza**” w zakresie wysoko zaawansowanych technologii materiałowych dla przemysłu lotniczego. Laboratorium kieruje, od chwili powstania, prof. Jan Sieniawski - kierownik Katedry Materiałoznawstwa na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa.

Działalność badawcza LBMPL koncentruje się na: wytwarzaniu z nadstopów niklu i kobaltu odlewów (o mikrostrukturze równoosiowej (EQ), monokrystalicznej (SC) lub z kierunkowym ułożeniem ziarn (DS)) elementów części gorącej silników lotniczych, wytwarzaniu powłok i barier żaroodpornych, obróbce skrawaniem z dużymi prędkościami oraz szeroko rozumianej charakteryzacji właściwości materiałów. Obecnie w LBMPL funkcjonują pracownie: metalograficzna, badań właściwości mechanicznych, mikroskopii elektronowej, analizy składu chemicznego, przemian fazowych, wytwarzania odlewów oraz wytwarzania warstw metodą CVD.

Podczas pięcioletniej działalności naukowo-badawczej w LBMPL zrealizowano:

- 2 projekty zamawiane przez NCBiR,
- 2 projekty w ramach UE (Newac i VITAL),
- ok. 200 badań i ekspertyz dla zakładów przemysłowych np. WSK „PZL-Rzeszów” S.A., Hispano-Suiza Polska Sp. z o. o., BorgWarner Turbo&Emissions Systems, Kuźnia Batory, BURY Technologies Sp. z o. o., AXTON S. A., Zakład Obróbki Plastycznej Świdnik Sp. z o. o., MTI Holland B.V..

Udział w projektach badawczych wykonywanych na rzecz MNiSW oraz NCBiR brały zespoły złożone z pracowników naukowo-dydaktycznych: Politechniki Warszawskiej, Politechniki Śląskiej, Akademii Górniczo-Hutniczej, Wojskowej Akademii Technicznej, Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, Instytutu Inżynierii Materiałowej i Metalurgii PAN, Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN, Instytutu Zaawansowanych Technologii Wytwarzania PAN, Politechniki Lubelskiej, Politechniki Łódzkiej, Uniwersytetu Śląskiego, Uniwersytetu Rzeszowskiego, (łącznie ok. 80 osób). Dużą aktywność w realizacji prac badawczych wykazywały zespoły pracowników firm lotniczych zrzeszonych w SGPP „Dolina Lotnicza” tj. WSK „PZL-Rzeszów” S. A. WSK Mielec, WSK Świdnik, Ultratech, Aviomechanika, „CEREL” - Boguchwała.

W roku 2008 LBMPL uzyskało certyfikat Nadcap (zgodny z SAE Aerospace Standard AS 7003) oraz ISO/IEC 17025 umożliwiające prowadzenie badań zgodnych z wymaganiami producentów wyrobów dla przemysłu lotniczego,.

Laboratorium jest sukcesywnie modernizowane i rozbudowywane. Pozyskane w roku 2009 środki finansowe umożliwią rozbudowę LBMPŁ oraz doposażenie w nowoczesną aparaturę naukowo-badawczą: aparatura EB-PVD, urządzenie do wytwarzania powłok ochronnych TBC, laser do wykonywania otworów o małej średnicy w elementach odlewanych ze stopów niklu i kobaltu, piec próżniowy do obróbki cieplnej w atmosferach ochronnych.

ALEKSANDER MUC

EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES FOR PRISTINE AND DEFECTIVE CARBON NANOTUBES AND NANOCOMPOSITES

OPIS WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH NANORUREK WĘGLOWYCH I NANOKOMPOZYTÓW DLA IDEALNEJ I ZDEFORMOWANEJ STRUKTURY ATOMÓW WĘGLA

Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Instytut Konstrukcji Maszyn,
Cracow University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Machine Design,
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków
e-mail: olekmuc@mech.pk.edu.pl

Rapid advances in chemical synthesis and fabrication techniques have led to novel nano-sized materials that exhibit unique and often unforeseen properties. The design of nano-devices requires a clear understanding of the fundamental properties of nanomaterials. Single-walled carbon nanotubes (SWCNTs) are one of two (quantum dots are the second) the most promising examples of low-dimensional materials. In recent decades they have been the subject of many experimental, theoretical and technological investigations. Despite this intensive study, their mechanical behavior, properties and description are still not well understood.

In order to derive mechanical properties of SWCNTs a three-dimensional nonlinear finite element (FE) model for armchair and zigzag single-walled carbon nanotubes (SWCNTs) is proposed. The model development is consistent with molecular mechanics formulations and it is based on the assumption that carbon nanotubes, when subjected to loading, behave like space-frame structures. In order to compare the strain-stress relations two forms of the interatomic potentials are considered: the modified Morse potential and REBO potential. In the model the beam mechanical properties are divided into two different parts characterizing various beam properties in tension and compression, according to the introduced three-beam representative volume elements. The effective longitudinal mechanical properties are evaluated with the use of the homogenization theory. A detailed study of results shows that CNTs should be considered as orthotropic structures.

To analyse and evaluate orthotropic mechanical properties of SWCNTs an analytical molecular structural mechanics model is extended to derive both longitudinal and circumferential moduli of nanotubes. The identification is based on the eigenfrequencies analysis of the above-mentioned computational model. Detailed derivations are presented and the predicted results are shown and discussed with a few computational examples.

The analysis is conducted both for pristine and defective SWCNTs and nanocomposites reinforced by CNTs in order to compare their mechanical properties. It is demonstrated that the effective Young's moduli are strongly dependent on the form and number of defects.

REFERENCES:

- [1] MUC A., *Design and identification methods of effective mechanical properties for carbon nanotubes*, Materials & Design, 2010, 31,1671-1675.

- [2] MUC A., *Modeling of CNTs/nanocomposites deformations and tensile fracture.*, Proc. ICCM-17, Edinburgh UK, 2009.

ANNA NIEDŹWIECKA

**ZMIANY KONFORMACYJNE BIAŁEK –
KOMUNIKACJA W NANOSKALI****CONFORMATIONAL CHANGES OF PROTEINS –
COMMUNICATION AT THE NANOSCALE**

IF PAN, Środowiskowe Laboratorium Fizyki Biologicznej, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa,
annan@ifpan.edu.pl

Wydział Fizyki UW, Zakład Biofizyki, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

Białka i kwasy nukleinowe są mieszanymi polimerami liniowymi o fundamentalnym znaczeniu dla funkcjonowania żywych organizmów. Ich struktury przestrzenne w skali nano zależą nie tylko od sekwencji chemicznych podjednostek, lecz również od obecności ligandów i innych warunków środowiska. Zmiany konformacyjne białek są dynamicznym zjawiskiem, które zachodzi na skutek zrywania i tworzenia wiązań niekowalencyjnych. Tworzeniu kompleksów międzycząsteczkowych towarzyszą nie tylko zmiany w pobliżu centrum aktywnego białka, lecz także drobne zmiany konformacyjne, które propagują się w odległe rejony białka, przenosząc informację o stanie białka, który determinuje aktywność biologiczną.

W referacie omówione zostaną wyniki dla tworzenia kompleksu białka eIF4E z końcem 5' mRNA. eIF4E jest eukariotycznym czynnikiem inicjującym translację, jednym z najsilniej utrwalonych ewolucyjnie białek. Oddziaływanie eIF4E z końcem 5' mRNA jest krytyczne dla dojrzewania i podziału komórek, poprawnej odpowiedzi immunologicznej, procesów uczenia się i kodowania pamięci. Nieprawidłowości na tym etapie ekspresji genów prowadzą do transformacji nowotworowych i wielu chorób cywilizacyjnych.

Parametry termodynamiczne [1,2] oraz zjawisko nietrywialnej kompensacji entropowo-entalpowej [3] odzwierciedlają zmiany konformacyjne prowadzące do uporządkowania i usztywnienia struktury cząsteczki eIF4E w kompleksie z mRNA. Ścieżki przekazywania informacji strukturalnej poprzez zmiany konformacyjne zidentyfikowano metodami wymiany proton/deuter i spektrometrii mas [4]. Wyniki pokazują, że informacja przestrzenna o związaniu ligandu przenosi się do miejsca oddziaływania z kolejnym czynnikiem translacyjnym. Wyniki pokazują też, że dyskretne zmiany strukturalne ligandu mają globalny wpływ na dynamikę strukturalną cząsteczki białka z nim oddziałującego.

LITERATURA:

- [1] NIEDZWIECKA A, DARZYNKIEWICZ E, STOLARSKI R. *Thermodynamics of mRNA 5' cap binding by eukaryotic translation initiation factor eIF4E*. Biochemistry. 2004, 26; 43(42): 13305-17.
- [2] NIEDZWIECKA A, DARZYNKIEWICZ E, STOLARSKI R. *Thermodynamics and conformational changes related to binding of eIF4E protein to mRNA 5' cap*, J. Phys.: Condens. Matter, 2005, 17 S1483 doi: 10.1088/0953-8984/17/18/006
- [3] SHARP K. *Entropy-enthalpy compensation: fact or artifact?* Protein Sci. 2001,10(3): 661-7.
- [4] RUTKOWSKA-WŁODARCZYK I, STEPINSKI J, DADLEZ M, DARZYNKIEWICZ E, STOLARSKI R, NIEDZWIECKA A. *Structural changes of eIF4E upon binding to the mRNA 5' monomethylguanosine and trimethylguanosine Cap*. Biochemistry. 2008, 4; 47(9): 2710-20.

MACIEJ PIETRZYK, ŁUKASZ RAUCH, ŁUKASZ MADEJ

WIRTUALNY MATERIAŁ POLIKRYSTALICZNY

Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

e-mail:mpietrz@agh.edu.pl

W pracy przedstawiona jest idea oprogramowania będącego cyfrową reprezentacją materiału polikrystalicznego. W oprogramowaniu tym odwzorowana jest struktura ziaren polikryształu i wprowadzone są specyficzne własności tych ziaren takie jak orientacja krystalograficzna. Program umożliwia również analizowanie wpływu granic ziaren, struktur wielofazowych oraz różnego rodzaju wtrąceń. Wirtualny materiał może zostać poddawany różnym procesom termomechanicznym. W pracy przedstawione są podstawowe problemy informatyczne związane z opracowaniem cyfrowej reprezentacji materiału oraz wyniki dotychczasowych prac wykonanych w Akademii Górniczo-Hutniczej w zakresie modelowania przemian fazowych i lokalizacji odkształceń.

MIECZYŚLAW E. PONIEWSKI¹, MAGDALENA PIASECKA^{2A},
SYLWIA HOZEJOWSKA^{2B}

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL EVALUATION OF FLOW BOILING HEAT TRANSFER IN ASYMMETRICALLY HEATED VERTICAL MINICHANNEL

¹ Politechnika Warszawska, ul. Jachowicza 2/4, 04-101 Płock

² Politechnika Świętokrzyska, Al. 1000-lecia P.P 7, 25-314 Kielce

E-mail: ¹meponiewski@pw.plock.pl, ^{2a}tmpmj@tu.kielce.pl, ^{2b}ztpsf@tu.kielce.pl

Keywords: minichannel, flow boiling, liquid crystals, inverse boundary value problem, heat polynomial method, equalizing calculus

The paper provides a review of extensive numerical and experimental studies of boiling heat transfer in the flow of refrigerants R 123, R 11 and FC-72 through vertical and inclined rectangular minichannels with one wall heated and the other ones insulated.

The technique of thermosensitive liquid crystals was applied for measuring the 2D temperature distribution on the external surface of the heated wall. HSI system was used for color image processing which leads to the calibration curve: surface temperature as a function of hue. The heating surface temperature measurement error was determined by means of liquid crystal thermography and then discussed. Observations of boiling incipience accompanied by nucleation hysteresis, including the impact of various factors (the inflow liquid subcooling, flow velocity and pressure, channel width and inclination) were made and commented. Particular attention was paid to correct liquid crystal data reduction. This reduction requires solution to 1D or 2D inverse boundary value problem of heat conduction through the heating foil and the protecting glass pane, which is crucial for proper interpretation of minichannel flow boiling phenomena.

The 1D approach employs Fourier's Law, the third-type condition and geometric properties of the foil. In the 2D approach the unknown foil and glass temperatures are approximated by a linear combination of heat polynomials. The coefficients of the linear combination are determined in two ways. The first way leads to minimizing of the error functionals, built on the basis of the least squares method (heat polynomials method). The other way uses Green's second identity and leads to the Trefftz equations (the Trefftz method). Both 2D approaches solve the problem of heat conduction in the glass first; the inverse problem in the foil is the next step. The known temperature distribution in the heating foil helps determine the temperature and the heat flux at the foil-boiling liquid contact and the heat transfer coefficient. Measurement errors were used to modify the heat polynomials method directly. They were also employed in the equalizing calculus for 1D and 2D approaches.

MATEUSZ SIKORA, MAREK CIEPLAK

**BIOSENSORY Z SAMOORGANIZOWANYCH UKŁADÓW
NANOCZĄSTEK - MODEL TEORETYCZNY**Instytut Fizyki PAN
AL. Lotników 32/46
02-668 Warszawa
mc@ifpan.edu.pl

Samoorganizacja nanocząstek w większe struktury jest jednym z kluczowych zagadnień współczesnej nanotechnologii. Niewielkie koszty produkcji połączone z dokładnością większą niż osiągalna technikami litograficznymi powodują, że znaczna część rynku nowych technologii zwraca się ku temu polu. Funkcjonalizowane nanocząstki znajdują wiele zastosowań. Na przykład w tzw. drukowanej elektronice, przetwarzaniu żywności i magazynowaniu danych. Obecnie trwają badania nad wykorzystaniem samozorganizowanych i funkcjonalizowanych nanocząstek jako czujników biologicznych. Szczególnie obiecujące są tu układy, w których nanocząstki złota są funkcjonalizowane za pomocą przeciwciał. Oczekuje się, że przeciwciała skierowane przeciwko konkretnemu czynnikowi białkowemu bądź peptydowemu będą mediatorem agregacji nanocząstek w duże, łatwo wykrywalne na drodze elektrycznej agregaty. Kluczowym parametrem takiego procesu jest szybkość tworzenia i wielkość agregatów. W wykładzie przedstawione zostaną wyniki symulacji Monte Carlo dotyczące mechanizmów rządzących tworzeniem się agregatów takich nanocząstek.

BOLESŁAW STASICKI

REAL-TIME VISUALIZATION AND RECORDING OF LASER-INDUCED LIQUID MICRO-JET DISINTEGRATION

DLR, German Aerospace Center, Bunsenstr. 10, 37073 Göttingen, Germany
boleslaw.stasicki@dlr.de

A powerful technique to study biomolecules and their complexation is pulsed IR-laser induced, liquid beam desorption mass spectrometry [1]. The goal is to transfer biomolecules from their natural environment softly into the gas phase and analyze (weigh) them with high resolution time-of-flight mass spectrometry. Unfortunately, the evaporation of ionic aggregates of biomolecules from water solution is very difficult due to the large solvation energy and, in general, hot water destroys the biomolecules. Nevertheless, if the process is fast enough charged biomolecules can be desorbed without fragmentation and detected. This can be accomplished by using IR-laser pulses for very rapid heating of a liquid jet containing the biomolecules which causes its disintegration (explosion). However, due to the small liquid jet diameter of 12-15 μm , its high speed of 50-100 m/s, short IR-laser pulses of 8-10 ns and total event duration of a few microseconds only, the microscopic visualization of the jet disintegration was a challenging task. Using a high-speed stroboscopic system running in the back illumination mode high quality video sequences could be recorded. A slow-motion effect has been achieved by sweep of time delay between the pulses of the desorption laser, the light pulse and the camera shutter opening.

The set-up shown in Fig. 1 could replace an expensive ultra high-speed camera which had to be used for the recording otherwise. Moreover, this set-up enables a continuous real-time monitoring of the event in slow motion which is essential for investigating and controlling the laser induced explosion of the water jet. This feature can not be provided by high-speed cameras due to their principle of operation. As a light source a red (660 nm) or green (555 nm) LED driven with up to 10 A / 200 ns current pulses has been applied. Several LED types have been tested for their light output and response time.

Better results showing the disintegration process in more detail [Fig. 2] were achieved by using a pulsed Nd:YAG laser with a dye solution of Rhodamine 6G (10⁻³ M) in methanol placed in its optical path. The exposure time could be reduced down to 10 ns and the delay steps to 25 ns. This corresponds to an equivalent framing speed of 40,000,000 images per second.

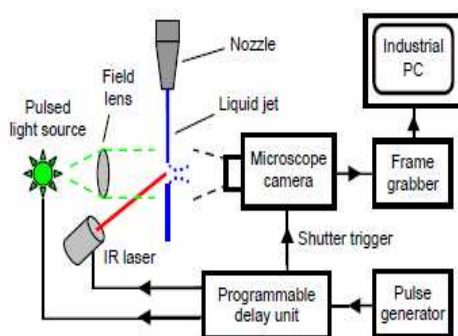


Fig. 1 High-speed imaging set-up

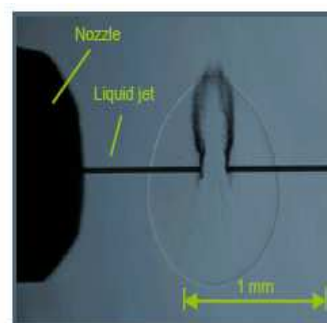


Fig. 2 Visualized jet disintegration

The results in form of the video clips will be shown at the presentation of the paper.

REFERENCES:

- [1] CHARVAT A., STASICKI B., B. ABEL B., *Product Screening of Fast Reactions in IR-Laser-Heated Liquid Water Filaments in a Vacuum by Mass Spectrometry*, J. Phys. Chem. A, 2006, 110 (9), 3297–3306.

II
FIZYKA NANOŚWIATA, MODELOWANIE
ZJAWISK W NANO I MIKROSKALI

DARIUSZ KĘDZIOR, GWIDON SZEFER

PROBLEM KONTAKTOWY SONDY POMIAROWEJ AFM

CONTACT PROBLEM OF THE AFM-PROBE

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej
Instytut Mechaniki Budowli, Katedra Podstaw Mechaniki Ośrodka Ciągłego
Email: szefer@limba.wil.pk.edu.pl

Przedmiotem pracy jest sformułowanie i rozwiązanie problemu kontaktowego sondy pomiarowej mikroskopu sił atomowych, w ramach formalizmu proponowanego modelu hipersprężystego nanokontinuum.

Model zakłada kontynualny, sprężysty opis układu, jednakże z modułem Younga wynikającym z charakteru oddziaływań molekularnych. Rozpatrzono stałą jak i zmienną (zależną od postaci potencjału oddziaływań molekularnych) wartość modułu. Rozważono zarówno klasyczny układ sondy, jak i przypadek elementu pomiarowego wyposażonego we włókno nanorurki węglowej. Przedstawiono mapy naprężeń i deformacji.

LITERATURA:

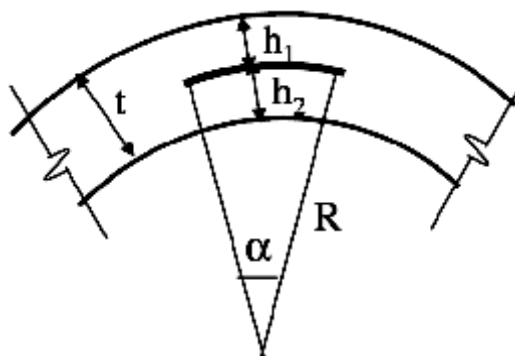
- [1] „*Springer Handbook of Nanotechnology*”, Bushnan (Ed.), Springer, 2007
- [2] „*Nanoscience, Nanotechnologies and Nanophysics*”, Dupas et al. (Eds.), Springer, 2006
- [3] „*Carbon Nanotubes – Properties and Applications*”, O’Connel (Ed.), CRC, 2006

PIOTR KĘDZIORA

**ANALIZA DELAMINACJI W WIELOWARSTWOWYCH
STRUKTURACH KOMPOZYTOWYCH****ANALYSIS OF INTERLAMINAR CRACKS IN MULTILAYERED
COMPOSITE STRUCTURES**Politechnika Krakowska, Instytut Konstrukcji Maszyn, Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków, Poland
e-mail: kedziora@mech.pk.edu.pl

Delaminacje stanowią jedną z możliwych form zniszczenia struktur kompozytowych. Istotną cechą opisu tej formy zniszczenia jest jej stopniowy rozwój poprzez inicjację, powiększanie pola powierzchni szczeliny i/lub możliwe lokalne efekty wyboczenia. Analiza tego typu zjawisk może być wykonywana zarówno w mezo jak i mikro skali.

W pracy przedstawiono model numeryczny (MES) pozwalający na analizę tych efektów w ujęciu mezo skali oraz przy wykorzystaniu modeli opartych na badaniu współczynnika wyzwania energii (praca rozwarcia szczeliny) G . Inicjacja i rozwój delaminacji w rzeczywistych strukturach kompozytowych powinna być badana na drodze doświadczalnej z uwagi na możliwość przeprowadzenia obliczeń teoretycznych dla konkretnej formy szczeliny. Do oceny rozmiaru szczelin (Rys.1) zastosowano dwie metody badawcze, a mianowicie kamerę termowizyjną oraz czujniki piezoelektryczne. Zaprezentowane zostaną wyniki takich eksperymentów przeprowadzonych dla paneli cylindrycznych wykonanych z tkaniny szklanej/żywicy epoksydowej.



Rys. 1 Geometria szczeliny.

KONRAD NIERADKA¹, PIOTR PAŁETKO¹, TEODOR GOTSZALK¹,
GRZEGORZ SCHROEDER², PIOTR GRABIEC³, IVO RANGELOW⁴

ZASTOSOWANIE DŹWIGNI MIKROMECHANICZNYCH DO BADANIA ADSORPCJI BIOMOLEKUŁ

APPLICATION OF MICROMECHANICAL CANTILEVERS TO INVESTIGATING ADSORPTION OF BIOMOLECULES

- ¹ Politechnika Wrocławska, Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Wydziałowy Zakład Metrologii Mikro- i Nanostruktur, ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław
e-mail: konrad.nieradka@pwr.wroc.pl, piotr.paletko@pwr.wroc.pl, teodor.gotszalk@pwr.wroc.pl
- ² Uniwersytet Adama Mickiewicza, Wydział Chemii, Zakład Chemii Supramolekularnej, ul. Grunwaldzka 6, 60-780 Poznań
e-mail: schreode@amu.edu.pl
- ³ Instytut Technologii Elektronowej, Oddział Technologii Mikrosystemów i Nanostruktur Krzemowych, ul. Puławska 34, 05-500 Piaseczno
e-mail: Grabiec@ite.waw.pl
- ⁴ Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Institut für Mikro- und Nano-Elektronik, Fachgebiet für Mikro- und nanoelektronische Systeme, P.O. Box 100565, D-98684 Ilmenau
e-mail: ivo.rangelow@tu-ilmenau.de

Dźwignie mikromechaniczne od wielu lat są z powodzeniem stosowane m.in. jako czujniki masy i siły. W połączeniu z odpowiednią funkcjonalizacją powierzchni umożliwiają szybką detekcję śladowych ilości substancji chemicznych [1]. W celu badania czujników mikroźwigniowych skonstruowaliśmy optyczny system detekcji ugięcia mikroźwigni oraz cieczo-gazową mikrokomorę pomiarową. Przeprowadziliśmy eksperymenty z obserwacją tworzenia się samoorganizujących się warstw molekularnych opartych na tiolach i silanach z terminalnymi grupami karboksylowymi i epoksydowymi oraz wiązania szerokiego spektrum molekuł przez tak wytworzone warstwy sensorowe. Zbadaliśmy zarówno odpowiedź statyczną jak i dynamiczną mikroźwigni. Rejestrowaliśmy zmiany masy związanej na poziomie kilkuset pikogramów i różnice naprężeń powierzchniowych rzędu miliniutonów na metr.

LITERATURA:

- [1] LAVRIK N., SEPANIAK M., DATSKOS P., *Cantilever transducers as a platform for chemical and biological sensors, Review of Scientific Instruments, 2004, vol.75 (7), 2229-2253.*

PRZEMYSŁAW PODULKA

NANORURKI W ŚWIECIE NANOMECHANIKI

NANOTUBE IN NANOMECHANICAL FIELD

Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Instytut Techniki.
Adres: Uniwersytet Rzeszowski, Aleja Rejtana 16c, 35-959 Rzeszów.
podulkap@gmail.com

1. Recycling z nanorurek.

Bardziej skomplikowane przetwarzanie przykładowo zużytych plastikowych torb, z wykorzystaniem to tworzenia węglowych nanorurek. Tego typu nanorurki, z uzyskanymi w odpowiednich warunkach i z odpowiedniego materiału pierwotnego, wykorzystano do budowy anody baterii litowo-jonowej. Dodatkowo ich pojemność jest znacznie większa niż obecnie dostępnych w handlu.

2. Oczekiwania medycyny.

Najważniejsze oczekiwania stawiane przez medycynę. Obok lekarstwa na raka, szczepionce przeciwko wirusowi HIV, terapii genowej komórek macierzystych, hodowli i regeneracji narządów, sztucznych narządów oraz genetyki, nanoroboty są jedną z najważniejszych dziedzin w rozwoju współczesnej medycyny. Podobnie jak obecnie badania nad rakiem skupiają się na scharakteryzowaniu różnic i ustaleniu całego spektrum właściwości cechujących rozmaite nowotwory, tak i praca nad nanorobotami stwarza różnorodne wymagania. Prosty przykładem jest usuwanie przez nich złogi amyloidowe, uważane przez większość lekarzy za podłoże choroby Alzheimera.

3. Nanoroboty z DNA .

Wykorzystane przez nanotechnologów laboratoriów Bella nukleotydy – cegiełki z którego utworzone jest DNA, których kolejność ułożenia w ludzkim genomie rozszyfrowali ponad dziesięć lat temu biologowie molekularni. Zaprogramowanie DNA w taki sposób, aby odpowiednie elementy (którymi często są nanorurki) mogły być sterowane w odpowiedni, potrzebny sposób. Bernard Yurke za ich pomocą skonstruował 10 tys razy więcej podzespołów.

W publikacji tej zasadniczym elementem ma być przedstawienie nanorurek oraz ukazanie ich, jako bardzo ważnego elementu w dziedzinie nanotechnologii i nanomechaniki.

LITERATURA:

[1] HUCZKO A. *Nanorurki węglowe. Czarne diamenty XXI wieku*, WNT 2004.

[2] PRZYGOCKI W., WŁOCHOWICZ A., *Fulereny i nanorurki. Właściwości i zastosowanie*, WNT 2001.

MAREK SIKOŃ

**ZJAWISKA OPTYCZNE I MAGNETYCZNE WYNIKAJĄCE
Z KWANTOWEJ NATURY NANOMECHANIKI COSSERATÓW**

**OPTICAL AND MAGNETIC PHENOMENA AS RESULTS QUANTUM
NATURE OF THE COSSERAT NANOMECHANICS**

Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny/Zakład Konstrukcji Kompozytowych,
Al. Jana Pawła II/37, 31-864 Kraków
sikon@mech.pk.edu.pl

Na gruncie nanomechaniki, nawiązano do próby podjętej przez braci E. i F. Cosserat połączenia mechaniki, optyki i elektrodynamiki w jednolitą teorię pola. Zaproponowano model w którym molekuly są punktami materialnymi posiadającymi moment pędu o zdefiniowanej wartości \mathbf{l} i nie zdefiniowanym kierunku. Odwołując się do postulatu o Powierzchni Energii Potencjalnej [1] energię oddziaływania U między parą molekuł zapisano jako sumę potencjału oddziaływań centralnych U^F proporcjonalnych do odległości $\frac{1}{r}$ pomiędzy atomami oraz potencjału oddziaływań niecentralnych U^M zależnych dodatkowo od promienia $\frac{1}{\rho}$:

$$U = U^F(\mathbf{r}) + U^M(\mathbf{r}, \boldsymbol{\rho}) \quad (1)$$

Rozszerzając opis do poziomu elektronowej budowy materii przedstawiono kwantowy charakter potencjału U^M oraz zmianę energii oddziaływań niecentralnych w zależności od zmian wprowadzonej mechanicznej liczby kwantowej $mech$. Postawiono hipotezę: przejściom o różnym $\Delta mech$ będzie odpowiadać różna polaryzacja światła przechodzącego przez ośrodek. Dla $\Delta mech = +1$ należy spodziewać się polaryzacji kołowej prawoskrętnej, dla $\Delta mech = -1$ polaryzacji kołowej lewoskrętnej. Na skutek stanu naprężenia *couple stresses* fale spolaryzowane prawo i lewoskrętnie przechodzą przez ośrodek z różnymi prędkościami i w wyniku ich superpozycji otrzymamy skręcenie płaszczyzny polaryzacji światła. Dowód postawionej hipotezy przeprowadzono opisując kwantową naturę magnetyzacji molekuł [2] w polu oddziaływań niecentralnych.

LITERATURA:

- [1] SZEFER G., *Podstawy nanomechaniki materiałów*, XIX Sympozjum Mechaniki Eksperymentalnej Ciała Stałego, Jachranka, 18-20 października 2000.
- [2] SIKOŃ M., *Theory and experimental verification of thermal stresses in Cosserat medium*, Bulletin of the Polish Academy of Science, Technical Sciences, Volume 57, No. 2, June 2009.

III
METODY OBLICZENIOWE MEZO-, MIKRO-
I NANOSKALOWE

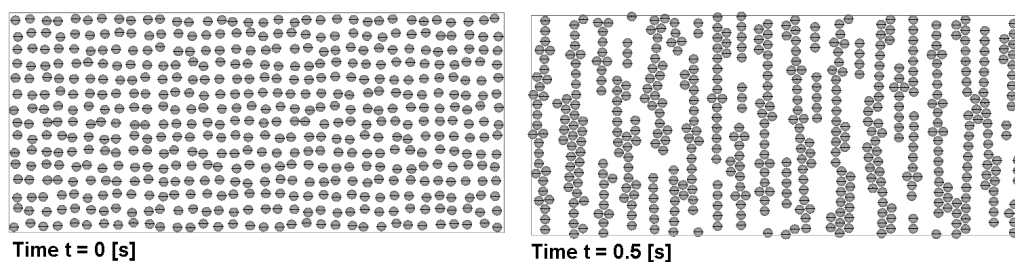
MAREK BARSKI

METODY DYNAMIKI MOLEKULARNEJ W OPISIE OSRODKÓW DWUFAZOWYCH

MOLECULAR DYNAMIC METHODS IN DESCRIPTION OF TWO – PHASE MEDIUM

Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Instytut Konstrukcji Maszyn, Zakład Konstrukcji
Kompozytowych, al. Jana Pawła II 37, 31 – 864 Kraków
e-mail: mbar@mech.pk.edu.pl

Obecna praca poświęcona jest wykorzystaniu algorytmu dynamiki molekularnej [1] w symulacji w czasie zachowania się osrodków dwufazowych. Osrodek taki składa się z cząstek mających możliwość swobodnego poruszania się w osnowie czyli płynie nosnym. Na każdym kroku czasowym symulacji wyznaczany jest kierunek oraz wartość siły wypadkowej, działającej na każdą z cząstek. Zmiana położenia cząstki obliczana jest z II Zasady Dynamiki Newtona. Metoda ta umożliwia symulację zjawisk zachodzących zarówno w skali nano jak i mikro [1]. Metoda ta, wraz z licznymi modyfikacjami, stosowana jest między innymi do badania zachowania się cząstek magnetycznych [3] (płyny magneto – reologiczne oraz ferromagnetyczne) pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego. Na Rys. 1. przedstawiono wynik symulacji procesu tworzenia się struktury wewnętrznej w płynie magneto – reologicznym podanym działaniu zewnętrznego pola magnetycznego. W tym przypadku na każdą z cząstek działa siła magneto – statyczna, siła oporu hydrodynamicznego jak również krótkozasięgową siłą odpychania. W symulacji uwzględniono anizotropię własności magnetycznych [2].



Rys. 1 Struktura wewnętrzna uzyskana dla udziału objętościowego $v = 23 \%$.

LITERATURA:

- [1] ALLEN M., P., *Introduction to Molecular Dynamics Simulation*, John von Neumann Inst. for Comput. 2004, vol. 23. 1 – 28
- [2] BARSKI M., *Numerical Simulation of anisotropic magnetorheological fluids*. In: Proceedings of IV ECCOMAS Thematic Conference on Smart Materials and Structures, 2009
- [3] SATOH A., et al. *Brownian Dynamics Simulations of Ferromagnetic Colloidal Dispersions in a Simple Shear Flow*, Journal of Colloid and Interface Science 1999, vol. 209, 44 - 59

JANUSZ BYTNAR^{1,3}, ANNA KUCABA-PIĘTAL²**PROBLEMY WALIDACJI METODY DYNAMIKI MOLEKULARNEJ
W ASPEKCIE OBLICZEŃ NANO I MIKROMECHANIKI**

¹ Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa, Instytut Inżynierii Technicznej
Czarnieckiego 16, 37-500 Jarosław, e-mail: janusz.bytnar@pwszjar.edu.pl

² Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa;
Zakład Mechaniki Płynów i Aerodynamiki, Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów
e-mail: anpietal@prz.edu.pl

³ Politechnika Śląska, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki
Akademicka 16, 44-101 Gliwice

W ostatnich latach można zauważyć gwałtowny wzrost zastosowania symulacji komputerowych w badaniach naukowych dotyczących nanotechnologii: genetyki, bioinformatyki, nanomechaniki, inżynierii materiałowej, farmacji itp. [1]. Wyniki symulacji komputerowych zastępują obecnie eksperymenty laboratoryjne, bardzo istotne jest zatem pytanie o ich jakość, dokładność oraz wiarygodność. W celu określenia dokładności i wiarygodności wszystkich obliczeń numerycznych przeprowadza się ich weryfikację i walidację.

W przypadku klasycznych metod obliczeniowych stosowanych na gruncie modelowania ośrodka ciągłego weryfikacja i walidacja są zagadnieniami, których metodologia została dobrze zbadana i jest szeroko omówiona w literaturze [2].

W przypadku symulacji komputerowych zjawisk w mikro- i nanoskali Metodą Dynamiki Molekularnej metody weryfikacji oraz walidacji nie zostały dotąd opracowane, choć problematyka ta, ze względu na rozwój nanotechnologii, jest niezwykle istotna.

Wyniki badań prezentowane w pracach [3, 4] wskazują, że duży wpływ na równowagę symulowanego układu molekularnego oraz na rozkłady prędkości i gęstości w kanale ma wybór komputerowego modelu molekularnego materiału rzeczywistego. Badania zostały przeprowadzone dla różnych modeli molekularnych wody (TIP4P, TIP4P_2005, TIP5P, PPC), przy jednoczesnym zastosowaniu odmiennych metod termostatowania.

Przeprowadzone badania dowiodły jednocześnie, że oprócz modelu molekularnego na równowagę układu ma wpływ także zastosowanie metody termostatowania. Symulacja każdego układu molekularnego zaczyna się od doprowadzenia go do stanu równowagi termodynamicznej. Wstępne wyniki prezentowane w pracach [3, 4] wskazują, że wybór odpowiedniej metody termostatowania ma kluczowe znaczenie, szczególnie w początkowej fazie równoważenia symulowanego układu molekularnego.

W działaniu Metody Dynamiki Molekularnej jednym z podstawowych problemów jest poprawne działanie algorytmu odpowiedzialnego za prawidłowy ruch molekuł w trakcie trwania symulacji. Korzystając z parametrów trajektorii molekuł wyznaczonych w kroku obecnym i w krokach poprzednich, wyznacza się parametry następnego kroku.

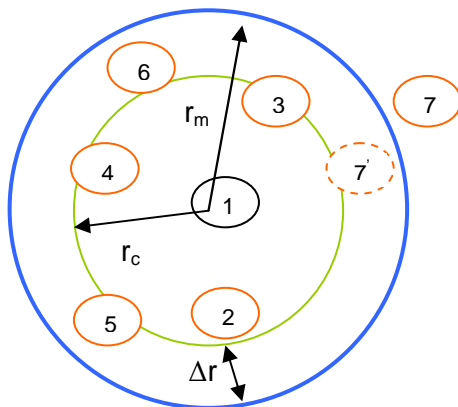
W prezentowanym artykule przedstawione zostaną wyniki badań pokazujące wpływ doboru kroku czasowego, (mającego kluczowe znaczenie na poprawną realizację trajektorii ruchu poszczególnych molekuł symulowanego układu molekularnego), na wyniki symulacji nanoprzepływów.

Dla symulacji komputerowych wykorzystujących Metodę Dynamiki Molekularnej kluczowym problemem jest złożoność obliczeniowa programu związana z ustaleniem położeń molekuł

oraz

obliczeniem oddziaływań dla każdej ich pary.

Powszechnie stosowaną metodą redukującą złożoność obliczeniową jest wprowadzenie promienia obciążenia potencjału. W celu dalszego przyspieszenia obliczeń wykorzystuje się algorytmy wyboru molekuł do oddziaływań międzymolekularnych, np.: Lista sąsiadów Verleta, Lista połączonych komórek, Lista połączonych komórek Verleta.



Rys. 1 Lista sąsiadów Verleta (r_m – promień Verleta, r_c – promień obciążenia potencjału, Δr – strefa przenikania molekuł)

W prezentowanej pracy przedstawione zostaną również wyniki dotyczące wpływu doboru promienia obciążenia potencjału, (wykorzystywanego w algorytmie wyboru molekuł do oddziaływań międzymolekularnych), na wyniki symulacji nanoprzepływów.

Opracowanie procedur weryfikacji i walidacji dla Metody Dynamiki Molekularnej ma ogromne znaczenie, ponieważ umożliwi prawidłowe symulowanie procesów rzeczywistych w nanoskali. Uwiarygodnienie w ten sposób uzyskiwanych wyników przyczyni się również do zrozumienia zjawisk zachodzących w nanoskali, a przez to do rozwoju nano- i mikrotechnologii, zwłaszcza że dysponuje się obecnie stosunkowo niewielką liczbą wyników eksperymentalnych.

LITERATURA:

- [1] HEERMANN W.D.: *Computer Simulation Method in Theoretical Physics*, Springer Verlag, Berlin, 1990
- [2] STERN F., WILSON R.V., COLEMAN H. W., PATERSON E. G.: *Verification and Validation of CFD Simulations*, University of Iowa, 1999
- [3] BYTNAR J., KUCABA-PIĘTAL A., WALENTA Z.: *Effects of molecular water models on Molecular Dynamic simulation of nanoflows*, Wiley InterScience Journals PAMM, Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics vol. 9 P. 140-146, 2009
- [4] BYTNAR J., KUCABA-PIĘTAL A., WALENTA Z.: *Influence of molecular models of water on computer simulations of water nanoflow*, Proceedings of International Conference on Computer Science and Information Technology, vol. 3, pp. 269–275, Wista, 2008

MAŁGORZATA JANUS-MICHALSKA

WYZNACZANIE WŁASNOŚCI SPRĘŻYSTYCH I WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH PIANEK POLIURETANOWYCH, WĘGLOWYCH ORAZ KOMPOZYTOWYCH NA PODSTAWIE MODELOWANIA MIKROMECHANICZNEGO

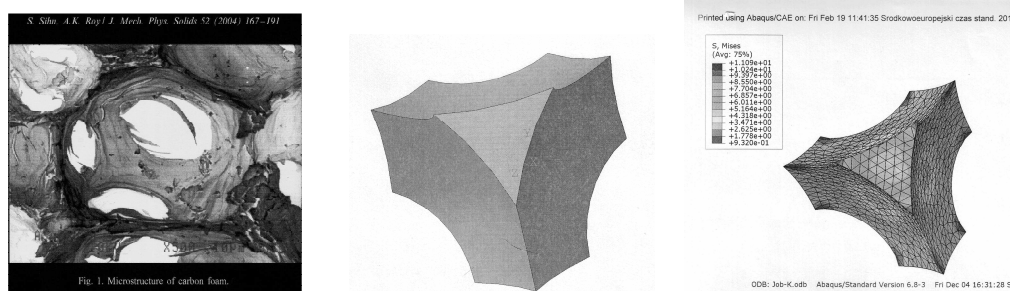
Instytut Mechaniki Budowli, Zakład Wytrzymałości Materiałów
Wydział Inżynierii Lądowej Politechnika Krakowska
mjm@limba.wil.pk.edu.pl

Słowa kluczowe: pianki poliuretanowe, pianki węglowe wypełnione poliuretanem, własności sprężyste i wytrzymałościowe

Pianka jest izotropowym materiałem o mikrostrukturze komórkowej. Własności mechaniczne pianki jako materiału w skali makro zależą od materiału rodzimego budującego szkielet wewnętrzny oraz morfologii opisującej rozkład materiału wewnątrz struktury. Nowe technologie wytwarzania pianek z różnych materiałów dają możliwość uzyskania materiałów wielofunkcyjnych o specjalnie zaprojektowanych korzystnych własnościach, w tym i mechanicznych.

Przykładem są pianki węglowe, poliuretanowe oraz pianki kompozytowe węglowo-poliuretanowe. Te ostatnie wskazują na uzyskanie korzystnych cech mechanicznych w porównaniu z węglowymi.

Do określenia cech sprężystych i wytrzymałościowych przyjęto koncepcję opartą na modelowaniu mikromechanicznym. Typowa komórka reprezentatywna odzwierciedlająca morfologię piany węglowej (rys. 1a) a także symetrię materiałową (izotropię) pokazana jest na rysunku 1b.



Rys.1.

a) Mikrostruktura pianki węglowej, b) komórka reprezentatywna, c) obraz naprężeń w komórce reprezentatywnej odpowiadający stanowi hydrostatycznemu w piance.

Dla określenia naprężeń i odkształceń w skali makro zastosowano podejście mikromechaniki (Nemat-Nasser [2])

Jako przykłady wybrano pianki węglowe, poliuretanowe o różnej porowatości oraz kompozytowe węglowo-poliuretanowe. Obliczenia wykonano za pomocą programu ABAQUS modelując szkielet komórki reprezentatywnej elementami typu 3D typu. Zadając warunki brzegowe odpowiadające dwóm

stanom własnym: hydrostycznemu i ścinaniu uzyskano numeryczne wartości modułów ściśliwości objętościowej K i modułu na ścinanie G , efektywnego kontinuum jakim jest materiał komórkowy.

Dla niektórych pian wyniki analizy numerycznej porównano z wynikami eksperymentu cytowanymi w literaturze [3]. Przedstawiono wyniki symulacji numerycznej różnych kombinacji obciążeń w celu uzyskania powierzchni granicznej.

Powyższa metoda wraz z wyborem reprezentatywnej komórki stanowi narzędzie analizy pianek grafitowych oraz kompozytowych z dodatkiem nanorurek węglowych jako materiałów o wysokiej wytrzymałości.

LITERATURA:

- [1] JANUS-MICHALSKA M., PĘCHERSKI R., *Macroscopic Properties of Open-Cell Foams Based on Micromechanical Modelling* , Technische Mechanik, Band 23, Heft 2-4, 234-244, 2003.
- [2] NEMAT-NASSER S., HORI M. *Micromechanics*,. 2nd edition, Elsevier, 1999.
- [3] BUNNING T.J., JEON H., ROY A.,. *Polyurethane infiltrated carbon foams: a coupling of thermal and mechanical properties* ,. J. Appl. Polymer Sci. 2003.

ADAM MARTOWICZ, ANDRZEJ KLEPKA, TADEUSZ UHL

MODELOWANIE WŁASNOŚCI MIKROLUSTRA Z ZASTOSOWANIEM METODY POWIERZCHNI ODPOWIEDZI

MODELING OF THE PROPERTIES OF MICROMIRROR WITH THE APPLICATION OF RESPONSE SURFACE METHOD

Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki,
Katedra Robotyki i Mechatroniki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
adam.martowicz@agh.edu.pl, klepka@agh.edu.pl, tuhl@agh.edu.pl

Praktyką inżynierską jest analiza zmienności własności konstrukcji mechanicznych [1]. Modele numeryczne rzeczywistych konstrukcji pozwalają na uwzględnianie niepewności a przeprowadzane symulacje komputerowe umożliwiają ocenę zakresów zmienności własności statycznych oraz dynamicznych. etap wirtualnego prototypowania może więc obejmować analizy wrażliwości oraz propagacji niepewności [2]. Jednakże duża liczba realizacji modelu wymagana do przeprowadzenia wnioskowania o badanych zmiennościach może utrudnić badania. Jako narzędzie służące do redukcji czasu obliczeń może być zastosowana Metoda Powierzchni Odpowiedzi [3]. Techniki obliczeniowe dostępne w ramach tej metody umożliwiają zarówno zaplanowanie eksperymentu numerycznego, jak również dobór funkcji aproksymujących. Prezentowana praca dotyczy zastosowania Metody Powierzchni Odpowiedzi do modelowania zmienności statycznych oraz dynamicznych własności mikrolustra. Ograniczenia technologiczne odpowiedzialne za jakość procesów produkcyjnych determinują różnice we własnościach poszczególnych egzemplarzy mikroukładów.

Różnice te z kolei mogą prowadzić do istotnych zmian parametrów eksploatacyjnych produktu finalnego [4]. Metamodela, które zostały opracowane w ramach prezentowanej pracy umożliwiły skrócenie czasu obliczeń oraz pozwoliły na przeprowadzenie analizy wrażliwości badanych charakterystyk na zmienność wartości przyjętych parametrów niepewnych. Uzyskane wyniki zostały zweryfikowane na podstawie wyników symulacji modelu elementów skończonych. Jako parametry niepewne przyjęto wybrane własności materiałowe oraz wymiary geometryczne. W przeprowadzonych symulacjach zastosowano podejście wielodzielnicowe. Sparаметryzowany model elementów skończonych uwzględniał oddziaływania elektrostatyczne umożliwiające sterowanie kątem obrotu mikrolustra.

Przedstawione wyniki uzyskano podczas realizacji projektu badawczego N N503 141236 *Metoda wielokryterialnej optymalizacji konstrukcji mikroukładów z uwzględnieniem niepewności technologicznych*.

LITERATURA:

- [1] LIU M., MAUTE K., FRANGOPOL D.M., *Multi-objective design optimization of electrostatically actuated microbeam resonators with and without parameter uncertainty*, Reliability Engineering and System Safety, 2007, vol. 92, 1333–1343.
- [2] MARTOWICZ A., PIECZONKA Ł., UHL T., *Application of uncertainty analysis in structural dynamics*, Journal of KONES Powertrain and Transport, 2008, vol. 15(1), 153-167.
- [3] MYERS R.H., MONTGOMERY D.C., *Response Surface Methodology process and product optimization using designed experiments*, John Wiley & Sons, Inc., 1995, New York.

- [4] UHL T., MARTOWICZ A., CODREANU I., KLEPKA A., *Analysis of uncertainties in MEMS and their influence on dynamic properties*. Archives of Mechanics, vol. 61(5), 2009, 349-370.

ANDRZEJ MILENIN, MAGDALENA KOPERNIK

**WIELOSKALOWY MODEL KOMORY WSPOMAGANIA SERCA
POLVAD Z NANIESIONĄ NANOPOWŁOKĄ TiN****THE MULTISCALE MODEL OF CHAMBER OF HEART PROSTHESIS
POLVAD WITH DEPOSITED TiN NANOCOATING**

Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, Katedra Informatyki Stosowanej i Modelowania, Pracownia Mechniki Obliczeniowej, al. Mickiewicza 30, 30 – 059 Kraków
magdalenakopernik@interia.pl; milenin@agh.edu.pl

Jeden z wariantów komory wspomaganie pracy serca POLVAD jest zbudowany z poliuretanu (PU), na który metodą PLD (Pulsed Laser Deposition) nanosi się biokompatybilną nanopowłokę TiN [1]. Proces nanoszenia skutkuje obecnością w naniesionej powłoce naprężeń własnych [2], których wielkość jest mierzona za pomocą TEM (Transmission Electron Microscopy). Celem pracy było stworzenie modelu numerycznego komory POLVAD, pozwalającego na analizę stanu naprężeń i odkształcen zarówno w skali makro, jak i w nanowarstwie TiN (skala mikro). Zaproponowany wieloskalowy model komory zawiera rozwiązanie za pomocą metody elementów skończonych (MES) zadania nieliniowej sprężystości w skali makro oraz model sprężysto-plastycznego odkształcenia nanowarstwy TiN i poliuretanu w skali mikro. Opracowany model pozwala na zlokalizowanie miejsc, w których może dojść do przekroczenia wartości odkształceń sprężystych w systemie TiN-PU. W wieloskalowym modelu możliwe jest modelowanie odprężenia [3], które następuje w materiale komory pomiędzy fazami obciążenia aktywnego, co wynika z pulsacyjnej charakterystyki pracy komory. W skali mikro wprowadzono RVE (Representative Volume Element), który umieszczano w tych obszarach komory, w których rozwiązanie w skali makro wykazało istnienie maksymalnych wartości odkształceń. RVE został zbudowany z PU-podłoża i nanopowłoki TiN. W pracy zaproponowano nowe rozwiązanie zadania opartego na metodzie odwrotnej [4], w którym uwzględniono naprężenia własne w nanowarstwie TiN. W sformułowaniu ścisłym takie zadanie nie ma rozwiązania, ponieważ składowe tensora naprężeń powinny spełniać warunki równowagi, a przemieszczenia - warunki nierozdzielności odkształceń. Zaproponowano wykorzystanie słabego sformułowania zagadnienia, polegającego na założeniu, że zadany stan naprężeń własnych jest osiągalny, gdy błąd średniokwadratowy pomiędzy wartością obliczaną dla warstwy TiN na podstawie MES a wartością zmierzoną w doświadczeniu za pomocą TEM jest minimalny. Po wyznaczeniu stanu naprężeń i odkształceń, odpowiadającego zadanym naprężeniom własnym, system TiN-PU w skali mikro (RVE) zostaje obciążony warunkami brzegowymi, otrzymanymi z modelu w skali makro. Za pomocą własnego kodu MES, realizującego opracowany model, przeprowadzono symulacje testowe, w których zadawano obciążenia o wartościach fizjologicznych, w jakich pracuje komora wspomaganie pracy serca POLVAD.

LITERATURA:

- [1] MAJOR R., BONARSKI J., MORGIEL J., MAJOR B., CZARNOWSKA E., KUSTOSZ R., LACKNER J.M., WALDHAUSER W., *Elastic TiN coating deposited on polyurethane by pulsed laser*, Surface and Coatings Technology, 2006, 200, 6340-6345.
- [2] MAJOR R., CZARNOWSKA E., SOWIŃSKA A., KUSTOSZ R., LACKNER J.M., WALDHAUSER W., WOŹNIAK M., WIERZCHOŃ T., MAJOR B., *Structure and biocompatibility of titanium nitride coatings on polyurethane produced by laser ablation*, e-Polymers, 2005, 026, 1-9.

-
- [3] MILENIN A., KOPERNIK M., *The multiscale FEM model of artificial heart chamber composed of nanocoatings*, Acta of Bioengineering and Biomechanics, 2009, 11, 13-20.
- [4] KUZMENKO V.I., *Inverse contact problems of the theory of plasticity*, PMM Journal of Applied Mathematics and Mechanics, 1986, 50, 361-367.

ZBIGNIEW A. WALENTA

NANOSTRUKTURA FALI UDERZENIOWEJ W GĘSTYM OŚRODKU

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
Pawińskiego 5b, 02-106 Warszawa
e-mail: zwalenta@ippt.gov.pl

Metodą Dynamiki Molekularnej wykonano obliczenia nanostruktury fali uderzeniowej w ośrodku gęstym – sprężonym argonie. Zakres gęstości początkowych był taki, że grubość fali uderzeniowej była rzędu nanometrów.

Użyto dwóch potencjałów oddziaływań międzycząsteczkowych: Lennarda-Jonesa i twardych kul. Wyniki porównano ze strukturami fal uderzeniowych w rzadkim argonie otrzymanymi eksperymentalnie, oraz obliczonymi metodą Bezpośredniej Symulacji Monte Carlo.

Jest ogólnie wiadome, że w gazie rzadkim długością charakterystyczną dla nanostruktury fali uderzeniowej jest średnia droga swobodna molekuł. Pokazano w pracy i uzasadniono, że dla ośrodka gęstego taką długością charakterystyczną jest średnia odległość między środkami molekuł, którym, w ośrodku gęstym, należy przypisać skończone wymiary.

GWIDON SZEFER, DOROTA JASIŃSKA

**KONTYNUALNO-MOLEKULARNY MODEL
NANORUREK WĘGLOWYCH****CONTINUUM – MOLECULAR MODEL OF CARBON NANOTUBES**

Politechnika Krakowska, Instytut Mechaniki Budowli, Katedra Podstaw Mechaniki Ośrodków Ciągłych,
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków
szefer@limba.wil.pk.edu.pl, jasinska@limba.wil.pk.edu.pl

Opis naprężeń i deformacji materiałów w nanoskali stanowi aktualny i ważny poznawczo temat w mechanice materiałów. Chociaż mechanika kwantowa i dynamika molekularna stanowią naturalną bazę do opisu i analizy zjawisk mechanicznych na poziomie nanoskali, to jak pokazano w pracach wielu autorów, opis kontynualny uwzględniający oddziaływania molekularne, daje rezultaty pozostające w dobrej zgodności z eksperymentem. W pracy niniejszej przedstawiono model nanorurek węglowych z zastosowaniem formalizmu mechaniki układów sprężystych. Zakładając prętowy model oddziaływań molekularnych wyznaczono moduły sprężystości wiązań i całej nanorurki dla potencjałów Morse'a i Tersoffa- Brennera

Przedstawiono charakterystyczne wykresy zależności odkształcenie-naprężenie oraz wpływ chiralności struktury. Podano algorytm obliczeń oraz przykłady numeryczne dla grafenu, nanorurek oraz nanokompozytu.

LITERATURA:

- [1] BRENNER D., *Empirical potential for hydrocarbons for use in simulating the chemical vapour deposition of diamond film*, Phys.Rev. B, 1990, vol. 42, 9450-5471
- [2] SZEFER G., JASIŃSKA D., *Modeling of strains and stresses of material nanostructures*, Bull. Pol. Acad. Tech., 2009, vol. 57, No 1, 41-46
- [3] SZEFER G., JASIŃSKA D., *Continuum-molecular modeling of nanostructured materials*, in Continuous Media with Microstructure, Ed. B.Albers., Springer, Berlin Heidelberg 2010.
- [4] TSERPES K., PAPANIKOS P., *Finite element modeling of single walled carbon nanotubes*, Compos., 2005, vol. B36, 468-479

IV
METODY EKSPERYMENTALNE

KRZYSZTOF CHURSKI, PIOTR KORCZYK, PIOTR GARSTECKI

TECHNIKA MIKROPRZEPLYWOWEGO TWORZENIA KROPEL NA ŻĄDANIE Z KONTROLĄ PRZEPLYWU OBYDWU FAZ

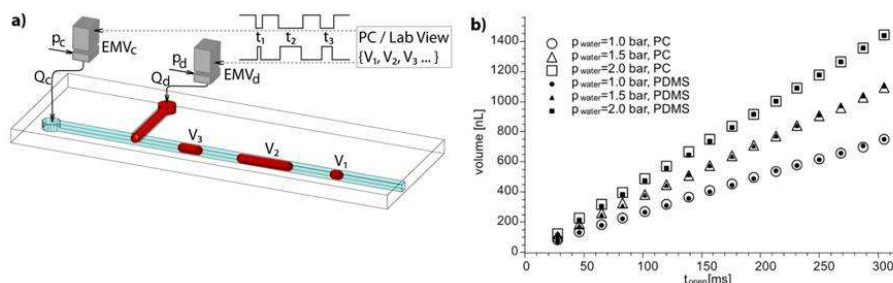
MICROFLUIDIC DROPLET ON DEMAND TECHNIQUE COMPRISING ACTIVE CONTROL OF BOTH PHASES

Instytut Chemii Fizycznej PAN
Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa
churski@ichf.edu.pl, jacek@ichf.edu.pl, garst@ichf.edu.pl

Technika płytek wielodołkowych jest obecnie jedną z najpopularniejszych technik do wysokowydajnego przesiewowego badania reakcji, umożliwiającą tworzenie próbek z częstością do 0,5 Hz. Techniki mikroprzepływowe pozwalają generować krople 'na żądanie', tzn. o precyzyjnie zadanej objętości i w zadanych odstępach czasu, z częstością o rząd bądź o dwa rzędy wielkości większą. Wykorzystanie ich alternatywnie do płytek wielodołkowych mogłoby zrewolucjonizować nauki biologiczno-chemiczne dzięki wielokrotnemu przyspieszeniu czasochłonnych badań.

We wszystkich układach mikroprzepływowych do tworzenia kropli 'na żądanie' kontrolowana jest jedynie faza rozpraszana. Wadą takiego rozwiązania jest pojawiające się ograniczenie hydrodynamiczne na największą możliwą do wygenerowania kroplę – jeśli 'język' fazy wodnej jest zbyt długi jest on przerywany przez fazę olejową.

Ograniczenie możliwości generowania kropli o dużej, dowolnie zadanej rozpiętości objętości, stanowi istotny problem, jeśli myśli się o urządzeniach mikroprzepływowych, jako o rozwiązaniu umożliwiającym wysokowydajne przesiewowe badanie reakcji. Limitowane jest bowiem tworzenie kropli o silnie zróżnicowanym stężeniu poszczególnych substancji.



Rys. 1a. Schemat układu do generowania kropli z kontrolą przepływu obydwu faz.

Rys. 1b. Zależność objętości kropli od czasu otwarcia zaworu dla różnych ciśnień fazy wodnej dla mikroukładów wykonanych w poliwęglanie i polidimetylosiloksanie

W przedstawionym przez nas rozwiązaniu kontrolowany jest przepływ obu faz – rozpraszanej i rozpraszającej – przy użyciu zewnętrznych w stosunku do mikroukładu zaworów (Rys.1a). Pracują one w przeciwfazie, co umożliwia: i) tworzenie kropli o dowolnie dużej rozpiętości objętości, ograniczonej jedynie geometrią mikroukładu oraz (Rys.1b) ii) uniezależnienie objętości tworzonych kropli od ciśnienia fazy rozpraszającej. Ponadto, charakterystyka pracy układu zaworów jest niezależna od materiału, w którym wykonany jest mikroukład (Rys.1b). Zaprezentowana zostanie budowa i zasada działania wykorzystywanych zaworów.

Dokładnie przedstawiona oraz omówiona będzie charakterystyka tworzenia kropli przy kontroli przepływu obu faz w mikroukładach wykonanych z różnych materiałów (poliwęglan, polidimetylosiloksan).

DANIEL KOPIEC¹, GRZEGORZ JÓŹWIAK¹, PAWEŁ ZAWIERUCHA¹,
KRZYSZTOF GARCZYŃSKI¹, PIOTR GRABIEC², TEODOR GOTSZALK²

KALIBRACJA STAŁEJ SPRĘŻYSTOŚCI METODĄ ZNANEJ MASY

CALIBRATING SPRING CONSTANT KNOWN MASS METHOD

¹ Politechnika Wrocławska, Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Wydziałowy Zakład Metrologii
Mikro i –Nanostruktur, Janiszewskiego 11/17 50-372 Wrocław

e-mail: daniel.kopiec@pwr.wroc.pl, grzegorz.jozwiak@pwr.wroc.pl, pawel.zawierucha@pwr.wroc.pl,
krzysztof.garczynski@pwr.wroc.pl, teodor.gotszalk@pwr.wroc.pl

² Instytut Technologii Elektronowej, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa, e-mail: grabiec@ite.waw.pl

W pracy przedstawiono jedną z metod pomiaru stałej sprężystości mikromechanicznej dźwigni sprężystej ze zintegrowanym detektorem ugięcia w postaci mostka piezorezystancyjnego. Tego rodzaju dźwignie są wykonywane w bardzo złożonym procesie technologicznym, co powoduje, że ich budowa nie jest jednorodna i posiada strukturę wielowarstwową, gdzie każda warstwa często ma inne właściwości mechaniczne. Niedoskonałość technologii wykonania wprowadza znaczny rozrzut wymiarów geometrycznych uzyskiwanych mikrodźwigni, co niezwykle utrudnia wyznaczenie w sposób analityczny podstawowych parametrów, zwłaszcza stałej sprężystości, a w konsekwencji wprowadza duży błąd systematyczny w pomiarze sił oddziaływania między umieszczonym na końcu dźwigni ostrzem, a badaną powierzchnią. Z tego powodu do opisu właściwości mechanicznych mikrodźwigni stosuje się metody eksperymentalne jak np. metodę analizy szumów drgań dźwigni lub opisywaną w pracy metodę masy dodanej. Wyznaczenie stałej sprężystości metodą dodanej masy nie wymaga znajomości budowy wewnętrznej sondy, ani jej dokładnych wymiarów geometrycznych.

Opisywana metoda przeprowadzana jest dwu etapowo. W pierwszym kroku dokonuje się pomiaru częstotliwości rezonansowej pierwszego modu drgań dla dźwigni nieobciążonej, a następnie wykonuje się pomiar drgań dźwigni obciążonej znaną masą. Jako obiekt o znanej masie wykorzystano kulki złota wytworzone w łuku elektrycznym z drutu złotego o średnicy 20 μm . Uzyskane w ten sposób kulki charakteryzowały się średnicą w zakresie 20 – 60 μm . Znając gęstość złota oraz średnicę kulki, można obliczyć masę mikrokulki, która zwykle wynosi około kilku nanogramów. Umieszczenie masy na końcu dźwigni mikromechanicznej powoduje spadek częstotliwości rezonansowej. Na podstawie znajomości masy oraz zmierzonych częstotliwości rezonansowych możliwe jest wyznaczenie stałej sprężystości badanej mikrodźwigni. Podstawowym problemem w tej metodzie jest konieczność umieszczenia niewielkiej masy na końcu sondy. Operację tę wykonuje się za pomocą specjalnie skonstruowanych ultraprecyzyjnych manipulatorów. Należy podkreślić, że metoda znanej masy pozwala opisać właściwości mechaniczne dowolnych mikromechanicznych dźwigni, niezależnie od ich kształtu i budowy. Autorzy przedstawiają wyniki oraz stanowisko pomiarowe do pomiaru stałej sprężystości dźwigni piezorezystywnej metodą masy dodanej.

LITERATURA:

- [1] R L'EVY, M MAALOU, *Measuring the spring constant of atomic force microscope cantilevers: thermal fluctuations and other methods*, *Nanotechnology* 13 (2002) 33–37.
- [2] N A BURNHAM, X CHEN, *Comparison of calibration methods for atomic force microscope cantilevers*, *Nanotechnology* 14 (2003) 1–6.

-
- [3] CLEVELAND, J. P.; MANNE, S.; BOCEK, D.; HANSMA, P. K., *A nondestructive method for determining the spring constant of cantilevers for scanning force microscopy*, *Rev. Sci. Instrum.* 1993, 64, 403-405.

DANIEL KOPIEC¹, GRZEGORZ JÓŹWIAK¹, PAWEŁ ZAWIERUCHA¹, MICHAŁ ZIELONY¹, PIOTR GRABIEC², TEODOR GOTSZALK¹

CHARAKTERYZACJA SZUMOWA DŹWIGNI PIEZOREZYSTANCYJNYCH

NOISE CHARACTERIZATION OF PIEZORESISTIVE CANTILEVERS

¹Politechnika Wrocławska, Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Wydziałowy Zakład Metrologii Mikro i –Nanostruktur, Janiszewskiego 11/17 50-372 Wrocław

e-mail: daniel.kopiec@pwr.wroc.pl, grzegorz.jozwiak@pwr.wroc.pl, pawel.zawierucha@pwr.wroc.pl, michal.zielony@pwr.wroc.pl, teodor.gotszalk@pwr.wroc.pl

²Institut Technologii Elektronowej, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa
e-mail: grabiec@ite.waw.pl

Mikromechaniczne dźwignie piezorezystancyjne znajdują szerokie zastosowanie już nie tylko w mikroskopii bliskich oddziaływań, ale również, jako czujniki siły czy masy. Podstawą działania sondy z detektorem piezorezystancyjnym jest zjawisko zmiany rezystancji przewodnika elektrycznego pod wpływem wywołanych w nim naprężeń mechanicznych. Funkcjonalizacja powierzchni mikrobelki odpowiednim związkiem chemicznym pozwala na wykorzystanie takiego czujnika w pomiarach sił wiązań chemicznych występujących między powierzchnią a dźwignią metodą spektroskopii sił. Wartość siły oddziaływań wyznacza się na podstawie ugięcia mikrobelki przy znajomości stałej sprężystości. Dlatego dokładana znajomość tego parametru w badaniach oddziaływań jest niezwykle istotna. Na pomiar siły znaczący wpływ ma szum generowany w strukturze detektora ugięcia. Rejestracja szumu niskoczęstotliwościowego mikrobelki pozwala na określenie zjawisk, jakie mogą zachodzić w strukturze. Szum generowany przez tego rodzaju przyrządy w istotny sposób wpływa na czułość oraz rozdzielczość pomiarów siły, masy czy powierzchni struktur.

W pracy przedstawione zostanie zautomatyzowane stanowisko pomiarowe umożliwiające pomiary długoczasowe. Stanowisko wyposażone zostało w układ automatycznej kompensacji napięcia nierównoważenia mostka będącego wynikiem zmian temperaturowych, drgań mechanicznych, ale także zmianami wynikającymi ze zjawisk zachodzących w strukturze półprzewodnikowej detektora ugięcia. Kompensowanie napięcia nierównoważenia jest elementem koniecznym ze względu na możliwość nasycania poszczególnych stopni wzmacniaczy operacyjnych układu pomiarowego. W przypadku sondy z piezorezystancyjnym detektorem ugięcia, zdolność rozdzielcza pomiaru siły i ugięcia jest ściśle związana z szumami generowanymi w strukturze mostka. Wskazać można dwa zakresy pracy dźwigni: tryb statyczny, gdzie dominują szumy niskoczęstotliwościowe typu $1/f$ oraz tryb rezonansowy, gdzie najmniejszą obserwowalną siłą limituje szum termiczny Johnsona-Nyquista. W trybie statycznym całkowity szum, pochodzący od detektora ugięcia, składa się nie tylko z szumów termicznych, ale także z szumów niskoczęstotliwościowych typu $1/f$. Autorzy przedstawiają wyniki pomiarów szumów niskoczęstotliwościowych, uzyskanych z zaprojektowanego stanowiska badawczego oraz przeprowadzą dyskusję uzyskanych wyników z perspektywy pomiarów siły.

LITERATURA:

- [1] J. R. MALLON, JR., A. J. RASTEGAR, *Low 1/f noise, full bridge, microcantilever with longitudinal and transverse piezoresistors*, *Appl. Phys. Lett.* 92, 2008

- [2] F. HO, Y. YAMAMOTO. *Analysis and optimization of force sensitivity in atomic force microscopy using optical and electrical detection. J. Vac. Sci. Technol. B*, 16(1):43–50, 1998

WALDEMAR KOSZELA

METODY WYTWARZANIA MIKROZASOBNIKÓW SMARU NA POWIERZCHNIACH ŚLIZGOWYCH ORAZ ICH WPŁYW NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI

THE PROCESSING TECHNIQUE OF OIL POCKETS ON SLIDING SURFACES AND ITS EFFECT ON SELECTED PROPERTIES

Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa,
Katedra Technologii Maszyn i Organizacji Produkcji, ul. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów
e-mail: wkktniop@prz.edu.pl

Obecnie znamy szereg metod pozwalających na precyzyjne i powtarzalne kształtowanie mikrozasobników smaru na powierzchniach roboczych. Są to między innymi techniki tj. laserowe, strumieniowościerne, obróbka skrawaniem, trawienie, nagniatanie (oscylacyjne, impulsowe), gładzenie, itp. Każda z wymienionych metod ma pewne ograniczenia wynikające z jej natury, ale aby wykorzystać ją na skalę przemysłową trzeba spełnić przynajmniej dwa podstawowe warunki tj. wydajność produkcji i określony koszt wytwarzania. Większość z tych metod jest dotychczas jedynie wykorzystywana w badaniach laboratoryjnych lub do wytwarzania powierzchni z określonym rodzajem teksturowania na pojedynczych wyrobach.

Najszerzej stosowaną metodą kształtowania określonej struktury geometrycznej powierzchni (SGP) na skalę przemysłową jest gładzenie. Odnosi się ono zazwyczaj do obróbki końcowej powierzchni cylindrów silników spalinowych. Jest to metoda o ugruntowanym znaczeniu technologicznym cechująca się relatywnie niskimi kosztami wytwarzania i krótkim czasem obróbki. Drugą z kolei w zastosowaniach przemysłowych jest obróbka laserowa. Posiada ona szerokie możliwości adaptacji do różnych zastosowań, nie tylko w celu uzyskania mikrozasobników smaru, ale przede wszystkim cięcia, spawania, znakowania, utwardzania, stopowania i wiele innych. Dużą zaletą jest łatwość sterowania strumieniem lasera i precyzja w prowadzeniu obróbki. Ograniczeniem w szerszym stosowaniu tej metody jest wysoki koszt zakupu stanowiska do obróbki laserowej.

Rosnąca liczba publikacji i badań pozostałych metod wskazuje, iż w niedługiej przyszłości i one wyjdą poza mury laboratoriów i zostaną zaadoptowane do przemysłu.

W tej pracy przedstawiono metodę wygniatania mechanicznego służącą do kształtowania mikrokieszeni smarowych na płaskich oraz zewnętrznych i wewnętrznych powierzchniach cylindrycznych. Do formowania mechanicznego powierzchni ślizgowych używano stalowych lub ceramicznych elementów kształtujących o średnicach umożliwiających uzyskanie pożądanej głębokości i średnicy mikrokieszeni smarowych. Kieszenie smarowe i mikrokieszenie kształtowane tą metodą mogą uzyskiwać szeroki zakres wymiarowy od 3 do 140 μm głębokości, a średnica waha się od 80 do 1200 μm . Technologia wygniatania jest stosunkowo łatwa w zastosowaniu, tania w realizacji i nie wymaga drogiego oprzyrządowania. Brak jest natomiast szerszych badań nad możliwościami wykorzystania jej w teksturowaniu powierzchni roboczych części maszyn.

Głównym obszarem zainteresowań jest wpływ określonej SGP (kształt i rozmieszczenie mikrozasobników smaru) uzyskanej przez wygniatanie mechaniczne na zużycie i zatarcie w węzłach ślizgowych oraz efekt rozproszenia obciążeń dynamicznych oddziałujących na powierzchnie robocze rozdzielone warstwą smaru. Wyniki badań i pomiarów porównywano z powierzchniami obrabianymi w sposób konwencjonalny.

ANDRZEJ KRUPA¹⁾, MARCIN LACKOWSKI¹⁾, ANATOL JAWOREK²⁾

PRZETWORNIK POJEMNOŚCIOWY DO POMIARÓW ZAWARTOŚCI FAZY GAZOWEJ W MINIKANALACH

CAPACITANCE SENSOR FOR MEASUREMENT VOID FRACTION IN MINICHANNELS

¹⁾Instytut Maszyn Przepływowych PAN, 80-952 Gdańsk

²⁾Instytut Fizyki, Akademia Pomorska w Słupsku, 76-200 Słupsk

krupa@imp.gda.pl

Przepływy dwufazowe występują w wielu procesach technologicznych, w urządzeniach energetycznych i w inżynierii chemicznej. Jednym z najważniejszych parametrów technicznych charakteryzujących takie przepływy jest zawartość fazy gazowej. Referat omawia metodę pomiaru stopnia zapełnienia w przepływie dwufazowym ciecz - gaz za pomocą przetwornika pojemnościowego. Pojemnościowa sonda pomiarowa składa się z dwóch elektrod zamontowanych na zewnątrz dielektrycznego odcinka minikanalu. Pojemność elektryczna takiego układu elektrod jest zależna od wypadkowej przenikalności elektrycznej ośrodka pomiędzy okładkami, która jest funkcją zawartości poszczególnych faz: cieczy i gazu różniących się wartościami przenikalności elektrycznej. Metoda ta nie zaburza przepływu i umożliwia pomiar objętościowej zawartości faz. Pomiar zawartości poszczególnych faz odbywa się zwykle przez pomiar pojemności elektrycznej przetwornika pojemnościowego. Na podstawie zmian pojemności, po wyskalowaniu przetwornika, można wyznaczyć zawartość fazy gazowej (*void fraction*) w przepływie dwufazowym. Jednak autorzy niniejszej pracy zaproponowali dwie inne metody wyznaczania zawartości fazy za pomocą przetwornika pojemnościowego. Pierwsza metoda polega na pomiarze zmian częstotliwości oscylatora wielkiej częstotliwości, w obwodzie którego umieszczony jest przetwornik pojemnościowy stanowiący przestrajaną pojemność oscylatora. Druga metoda wykorzystuje zmiany przesunięcia fazowego sygnału wielkiej częstotliwości spowodowane zmianą pojemności przetwornika umieszczonego w obwodzie przesuwnika fazowego. Choć obie metody wykorzystują ten sam efekt zmiany pojemności elektrycznej, ich zaletą w stosunku do metod bazujących na pomiarze pojemności jest ominięcie etapów pośrednich związanych z wyznaczaniem wartości tej pojemności. We wszystkich przypadkach wielkość wyjściowa jest nieliniową funkcją zawartości faz, więc wymagane jest skalowanie przetworników dla znanej zawartości faz. W przypadku pomiaru zawartości faz metodą zmian przesunięcia fazowego sygnału wielkiej częstotliwości otrzymano charakterystyki zbliżone do liniowych.

Zbadano możliwość wykorzystania przetwornika pojemnościowego w pomiarze stopnia zapełnienia w minikanalach w cieczach o różnej przenikalności elektrycznej, wody i izopropanolu. Pomiar testowe przeprowadzono dla przetworników pojemnościowych zamontowanych na kapilarnych rurkach szklanych o średnicy wewnętrznej od 600 μm do 2 mm. Wyznaczono charakterystyki pomiarowe przetwornika metodą zmiany wysokości słupa cieczy w kapilarze dla dwóch metod detekcji sygnałów: dewiacji częstotliwości i zmian przesunięcia fazowego. Zmierzone charakterystyki zostały porównane z zależnościami teoretycznymi dla pojemności przetwornika wyznaczonymi metodami numerycznymi. Wartość pojemności obliczono na podstawie prawa Gaussa korzystając z rozkładu pola elektrycznego wyznaczonego przy użyciu programu FlexPDE. Przeanalizowano teoretycznie i eksperymentalnie wpływ średnicy i grubości ścianki minikanalu na charakterystyki pomiarowe przetwornika pojemnościowego.

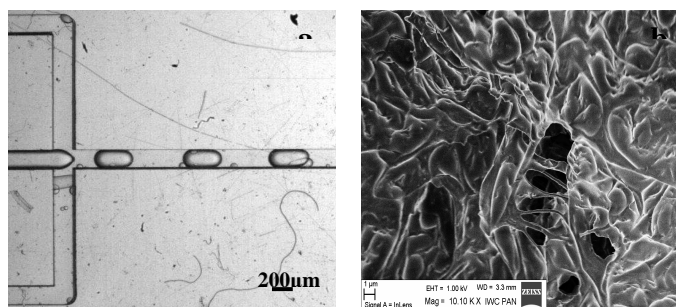
DOMINIKA OGOŃCZYK ¹, MARTA SIEK ², PIOTR GARSTECKI ^{1,2*}**OTRZYMYWANIE MIKROŻELKÓW I MIKROKAPSUŁ PEKTYNOWYCH W UKŁADACH MIKROPRZEPLYWOWYCH****FORMULATION OF LOW METHYLOXYL PECTIN MICROBEADS USING MICROFLUIDICS**¹Instytut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk, Zakład Fizykochemii Płynów i Miękkiej Materii, ul. Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa²Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, ul. Dewajtis 5, 01-815 Warszawa

*E-mail: garst@ichf.edu.pl

Biopolimery, jakimi są hydrokoloidy, ze względu na wyjątkowe właściwości (m.in. zagęszczające, stabilizujące czy żelujące) znalazły szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach przemysłu (np. spożywczy czy kosmetyczny) oraz medycynie. Na szczególną uwagę zasługują żele kwasów uronowych (m.in. alginianowe i pektynowe), których bardzo łagodny sposób żelowania („cross-linking”) [1] umożliwia otrzymanie układów do pułapkowania „wrażliwych” indywiduów chemicznych czy żywych organizmów. Ze względu na ich nietoksyczność, doskonałą biokompatybilność czy biodegradowalność są wyjątkowo chętnie stosowane m.in. do formułowania systemów do kontrolowanego uwalniania leków [2], w implantacji (zwiększenie immunosupresji) [3], immobilizacji komórek, drobnoustrojów czy enzymów [4,5].

Prezentowana metoda otrzymywania pektynowych mikrokapsułów czy mikrożeli w kształcie kulek to niezwykle prosty i tani system bazujący na technikach mikroprzepływowych oraz miniaturowych systemach kanałów (Rys.1a).

W eksperymentach wykorzystano niskoestryfikowane pektyny, naturalne polisacharydy, które w obecności kationów metali tworzą sztywne żele (Rys.1b). Szybkość żelowania, struktura oraz właściwości żeli uwarunkowane są rodzajem czy stężeniem: pektyny, soli metalu wielowartościowego czy pH. Opracowana metoda wytwarzania pektynowych cząstek z wykorzystaniem układów mikroprzepływowych łączy w sobie wiele zalet: umożliwia precyzyjne sterowanie procesem, ciągłą pracę w układzie zamkniętym, zminimalizowanie zużycia odczynników, kosztów czy czasu.



Rys.1. a) Mikrograficzny obraz tworzenia cząstek pektynowych w układzie mikroprzepływowym, b) Przykładowa struktura żelu pektynowego. Zdjęcie wykonane techniką SEM.

LITERATURA:

- [1] W. E. HENNINK AND C. F. VAN NOSTRUM, *Advanced Drug Delivery Reviews*, 2002, 54, 13.
- [2] L. LIU, M. L. FISHMAN AND K. B. HICKS, *Cellulose*, 2007, 14, 15.
- [3] J. J. SCHMIDT, J. ROWLEY AND H. J. KONG, *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 2008, 87A, 1113.
- [4] R. S. ASHTON, A. BANERJEE, S. PUNYANI, D. V. SCHAFFER AND R. S. KANE, *Biomaterials*, 2007, 28, 5518.
- [5] S. BONIN, *Agro Przemysł*, 2008, 6, 20.

PAWEŁ ZAWIERUCHA¹⁾, MICHAŁ ZIELONY¹⁾, DANIEL KOPIEC¹⁾, GRZEGORZ JÓŹWIAK¹⁾, IVO W. RANGELOW²⁾, TEODOR P. GOTSZALK¹⁾

ZASTOSOWANIE MACIERZY DŹWIGNI SPRĘŻYSTYCH W POMIARACH TOPOGRAFII POWIERZCHNI METODAMI MIKROSKOPII SIŁ ATOMOWYCH

APPLICATION OF CANTILEVER ARRAYS IN ATOMIC FORCE MICROSCOPY SURFACE MEASUREMENTS

¹⁾ Politechnika Wrocławska, Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Zakład Metrologii Mikro- i Nanostruktur, 51-372 Wrocław, ul. Janiszewskiego 11/17, e-mail: pawel.zawierucha@pwr.wroc.pl

²⁾ Technical University Ilmenau, Institute of Micro- and Nanoelectronics, Department of Mikro- Nanoelectrical System, D-98684 Ilmenau

W ostatnich latach obserwuje się coraz większe zainteresowanie zastosowań mikroskopii sił atomowych w badaniach powierzchni technologicznych. Widoczne jest to np. w przypadku przemysłu mikroelektronicznego, gdzie rośnie zainteresowanie tego typu badaniami w diagnostyce układów scalonych. Skala miniaturyzacji struktur półprzewodnikowych (wytwarzanych np. w technologii 32nm) wymaga w tym przypadku stosowania odpowiednich narzędzi i technik pomiarowych. Mikroskopia sił atomowych (ang. atomic force microscopy-AFM) wydaje się predystynowana do takich zastosowań. Ograniczeniem jej użycia jest jednak długi czas pomiaru powierzchni sięgający w wielu przypadkach kilku minutom. Jednym ze sposobów przyspieszenia pomiarów prowadzonych tymi metodami jest ich prowadzenie za pomocą wielu dźwigni jednocześnie. Zastąpienie pojedynczej sondy pomiarowej matrycą belek pozwoli w tym przypadku obrazować większą powierzchnię w tym samym czasie. Oznacza to relatywne przyspieszenie pomiaru, odpowiednio do ilości zastosowanych sond pomiarowych. Do budowy matryc zastosowano dźwignie o zupełnie nowej konstrukcji [2]. W użytym rozwiązaniu każda dźwignia w matrycy posiadała detektor ugięcia końcówki i niezależny układ sterowania jej wychyleniem [3].

W pracy zaprezentowane zostaną wyniki pomiarów powierzchni uzyskane w pomiarach prowadzonych wieloma dźwigniami jednocześnie. W eksperymentach tych zastosowana została matryca jednowymiarowa 1 x 4 dźwigni. Zastosowanie układów przesuwu piezoelektrycznych o zakresie ruchu 200 μm pozwoliło zobrazować powierzchnię w sposób ciągły na obszarze 0,2 mm x 0,7 mm.

LITERATURA:

- [1] MINNE S. C., ATALAR A., QUATE C. F. I IN., *Automated parallel high-speed atomic force microscopy*, Appl. Phys. Lett., Vol. 72, No. 18, 4 (1998) 2340-2342
- [2] RANGELOW I. W. I IN., *Piezoresistive and Self-Actuated 128-Cantilever Arrays for Nanotechnological Application*, Microelectronic Engineering, 84 (2007), 1260-1264
- [3] PEDRAK R. I IN., *Micromachined atomic force microscopy sensor with integrated piezoresistive sensor and thermal bimorph actuator for high-speed tapping-mode atomic force microscopy phase-imaging in higher eigenmodes*, J. Vac. Sci. Technol. B 21 (2003), p. 3102 – 310

MICHAŁ ZIELONY, KONRAD NIERADKA, TEODOR GOTSZALK

CIECZOWA CELKA POMIAROWA DO POMIARÓW I DIAGNOSTYKI MIKRO I NANOSTRUKTUR ZA POMOCĄ MIKROSKOPII BLISKICH ODDZIAŁYWAŃ

THE MEASUREMENT CELL FOR SCANNING PROBE MICROSCOPY IN LIQUID ENVIRONMENT

Politechnika Wroclawska, Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Wydziałowy Zakład Metrologii
Mikro- i Nanostruktur, ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław
Michal.Zielony@pwr.wroc.pl, Konrad.Nieradka@pwr.wroc.pl, Teodor.Gotszalk@pwr.wroc.pl

Mikroskopia bliskich oddziaływań (ang. SPM – Scanning Probe Microscopy) jest dynamicznie rozwijającą się techniką. Pozwala ona na badanie powierzchni ciała stałego w nanometrowej skali. Badania te obejmują obrazowanie powierzchni, pomiar rozkładu temperatury i przewodności cieplnej, rozkładu przewodności elektrycznej, ładunku powierzchniowego, dipoli magnetycznych, twardości powierzchni, jej lepkości i wielu innych[1]. Skanowanie powierzchni z nanometrową precyzją umożliwiają elementy piezoelektryczne.

Dotychczas zostały intensywnie rozwijane metody pomiaru powierzchni ciała stałego prowadzone w powietrzu oraz w próżni w niskich temperaturach. Metody te doskonale nadają się do badania materiałów takich jak półprzewodniki, metale itp. Rozwój dziedzin związanych z nanotechnologią i biotechnologią są motorem rozwoju technik badawczych przystosowanych na ich potrzeby.

W pracy zostanie zaprezentowana cieczowa celka pomiarowa, która została zintegrowana z głowicą mikro - skopu bliskich oddziaływań skonstruowaną w Laboratorium Metrologii Mikro- i Nanostruktur Wydziału elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki Politechniki Wroclawskiej. Celka ta rozszerzy zakres zastosowań mikroskopii SPM o badanie mikro- i nanostruktur w roztworach wodnych i rozpuszczalnikach. W pracy zaprezentowane zostaną również wyniki pomiarów modelowych struktur testowych wykonanych w cieczy.

LITERATURA:

- [1] GOTSZALK T., *Systemy mikroskopii bliskich oddziaływań w badaniach mikro- i nanostruktur*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej, Wrocław 2004

GRZEGORZ WIELOCH¹, RAFAŁ MOSTOWSKI²

**LOKALNA MODYFIKACJA WŁAŚCIWOŚCI PŁYT
DREWNOPOCHODNYCH NANOPREPARATEM PUR 555.6**

**LOCAL MODIFICATION PROPERTIES OF WOODPRODUCT
BOARDS FILLED WITH PUR 555.6-NANO**

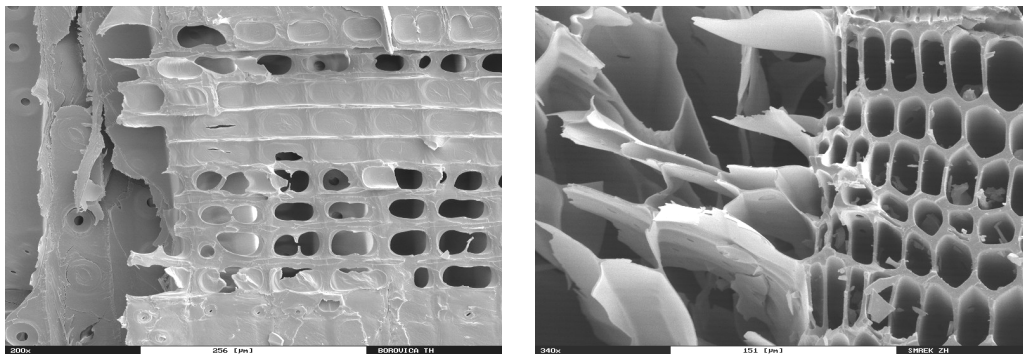
¹ Grzegorz Wieloch, Uniwersytet Przyrodniczy, Katedra Obrabiarek i Podstaw Konstrukcji Maszyn, ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań, tel. (+48) 61 8487489, e-mail: obrawiel@au.poznan.pl

² Rafał Mostowski, Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Podstaw Konstrukcji Maszyn, 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3, tel. (+48) 61 6652257, e-mail: Rafal.Mostowski@put.poznan.pl

Jednym z popularniejszych materiałów stosowanych w gospodarce i życiu codziennym to płyty drewnopochodne. Ich budowa oparta jest o rozdrobnione cząstki / wióry lub włókna/ drewna zlepione żywicami formaldehydowymi. Z racji budowy, jest to materiał anizotropowy o zmiennej gęstości na przekroju poprzecznym posiadający większe cząsteczki w środkowej części płyty, od tych, które są we warstwach zewnętrznych. Zmiany rozkładu gęstości w przekroju płyty mają wpływ na podobne co do charakteru zmiany własności sprężystych i wytrzymałościowych: wytrzymałości na zginanie, ścinanie i na rozwarstwienia w płytach. Najniższą gęstością charakteryzuje się wewnętrzna (środkowa) warstwa płyty wiórowej, co sprawia, że właściwości mechaniczne tej części są najniższe i niekorzystnie wpływają na właściwości pozostałych warstw.

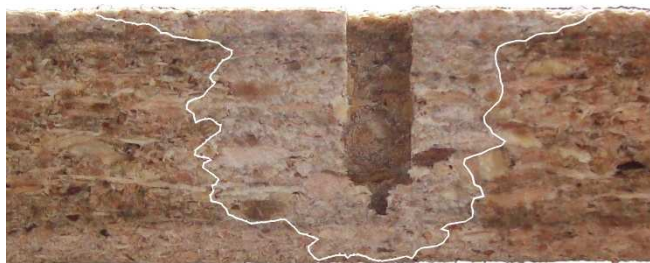
Stosowane w konstrukcjach meblowych połączenia rozłączne stanowią newralgiczne ogniwa konstrukcji i decydują o ich wytrzymałości. Decydują one w znacznym stopniu o ich nośności i sztywności [1]. Charakterystyka tych połączeń wynika przede wszystkim z niskich wartości parametrów wytrzymałościowych łączonych płyt drewnopochodnych. Dotychczasowe badania wykazały, że zmiany rozkładu gęstości na przekroju płyty jak i zalepienie cząstek mają bezpośredni wpływ na ich własności sprężyste i wytrzymałościowe.[4,5] co jest typową cechą materiałów porowatych [3]. Zwiększenie zaklejenia wiórów i cząstek drewna jest coraz bardziej ograniczane poprzez wymogi zmniejszania wydzielania się formaldehydu z płyt ze względów zdrowotnych. Próby stosowania znanych klejów albo są nieracjonalne ze względu na koszty albo posiadają zbyt duże cząstki mające trudności z wnikaniem w strukturę drewnianych cząstek, posiadających budowę komórkowego polimeru naturalnego /drewna/ rys.1.

Stąd zainteresowanie środkiem hydroizolacyjnym na bazie poliuretanu o cząstkach wielkości „nano” o nazwie „Kleiberit. PUR 555.6 nano” [6]. Pozwala on na lokalne zagęszczanie wybranych fragmentów płyty wiążąc wióry ze sobą, ale również wnikając w elementy struktury tkanki drzewnej cząstek- rys.2.

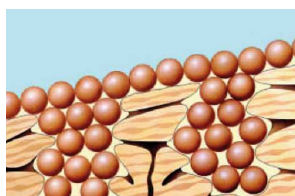


Ryc.1. Struktura mikroskopowa budowy drewna sosny(z lewej) i świerka (z prawej)

Jest to bardzo istotna cecha preparatu, gdyż umożliwia wpływ na własności nasycanych kompozytów drzewnych bez konieczności zmian w ich technologii wytwarzania. Zadowalające dane uzyskane z badań wstępnych producenta („Kleibchemie M.G. Becker GmbH”), który opracował środek [5] oraz autorów [3] – skłaniały do eksperymentalnej oceny: wnikania środka do struktur płyt w zależności od wybranych parametrów dozowania oraz wpływu lokalnej modyfikacji materiału płyt wiórowych na parametry wytrzymałościowe. Stwierdzono prawie 100 % wzrost wytrzymałości na wrywanie wkrętów z płyty po działaniu środka poliuretanowego PUR 555.6



Rys.3. Granice wniknięcia preparatu w płytę



Rys.2. Schemat wnikania cząstek środka PUR 555.6 między cząstki drewna

LITERATURA:

- [1] BRANOWSKI B. i in. *Modelowanie pólstywnych węzłów konstrukcyjnych* – Wyd. Akademii Rolniczej im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu. 2006, Poznań.
- [2] MIELNICZUK J., MOSTOWSKI R. *Projektowanie porowatych elementów konstrukcyjnych metodami nośności granicznej*, Wyd. WSP TK, 2000 Zielona Góra.
- [3] MOSTOWSKI R., WIELOCH G., *The influence of local material properties modification of particle-board in the area of pin screwing in, on basic joint strength parameters*. Zalesina 2009,
- [4] NIEMZ P., *Physik des Holzes Und der Holzwerkstoffe*, DRW-Verlag Weibrennher GmbH, Leinfelden – Echterdingen.1993,
- [5] www.kleiberit.com - *Competence PUR – PUR 555.6 for a higher screw holding capacity (maj 2010)*

PIOTR PÓLTORAK, ELŻBIETA SZWAJCAK

WPLYW MIKROCZĄSTEK BIOPOLIMERA HIALURYNIANU NA REOLOGICZNE WŁASNOŚCI CIECZY POLARNYCH

EFFECTS OF MICROPARTICLES OF BIOPOLIMERIC HYALURONAN ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF POLAR LIQUIDS

Politechnika Rzeszowska, Wydział Matematyki i Fizyki Stosowanej, Katedra Fizyki
ppolt@prz.edu.pl, etsz@prz.edu.pl

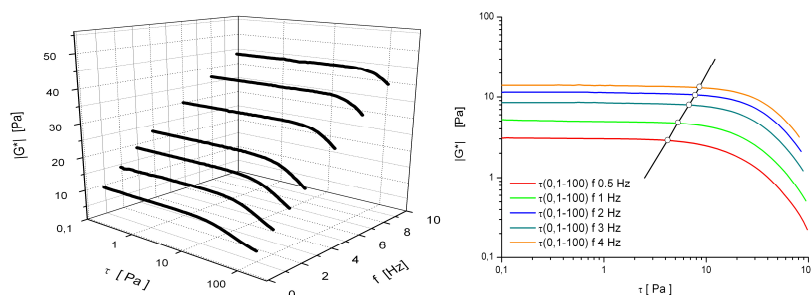
Słowa kluczowe: reologia, biopolimer hialuronianu, mikrocząsteczki, ciecze polarne, wodno-glicerolowe mieszaniny, lepkość

Celem pracy było zbadanie wpływu mikrocząstek biopolimeru kwasu hialuronowego (hialuronianu - HA) na wybrane własności reologiczne silnie polarnych cieczy.

Badane były rozpuszczalniki protonowe polarne: woda podwójnie destylowana oraz mieszaniny wody z glicerolem. Wodę i glicerol charakteryzują wysokie przenikalności elektryczne – , wody i glicerolu wynoszą odpowiednio 80 i 42.5. Lepkości dynamiczne zaś obydwu cieczy są bardzo różne – η wynoszą odpowiednio 1mPas i 1.2Pas. Hialuronian jest liniowym polimerem zbudowanym z merów kwasu glukuronowego i acetylo-glukozaminy. Jego wodne roztwory są polielektrolitami.

Wyznaczone zostały reologiczne wielkości czystych cieczy (wody, glicerolu), wodnych roztworów hialuronianu dla różnych stężeń HA (c: 0.5%, 1%, 1.5% w/w) oraz wodno-glicerolowych mieszanin o różnym składzie (1:9, 3:7, 5:5, 7:3, 9:1) i różnych stężeniach HA (c: 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%, 0.9%). Pomiar przeprowadzono w szerokim zakresie temperatury (T: 273 – 333K) w zależności od naprężenia τ , deformacji γ , szybkości deformacji $d\gamma/dt$ oraz częstotliwości oscylacji f [1].

Zarówno wodne, jak również wodno-glicerolowe roztwory HA są żelami i wykazują lepkość. Przykładowe zależności modułu sprężystości G' w zależności od naprężenia, przy stałej częstotliwości oscylacji i w stałej temperaturze pokazane są na rysunkach:



Dla mieszaniny wodno-glicerolowej (1:9) o stężeniu HA wynoszącym 0.1% w temperaturze 293K (Rys.1)

oraz mieszaniny (7:3) o stężeniu HA wynoszącym 0.3% w temperaturze 310K (Rys.2). Na rysunku nr 2 zaznaczona jest granica tzw. liniowości – powyżej naprężeń progowych ulega destrukcji struktura materiału.

Wyznaczone zostały: $G^* = G' + i G''$ oraz $\eta^* = \eta' - i \eta''$. Lepkość wodnych roztworów HA o stężeniu rzędu 1% wzrasta w porównaniu do lepkości rozpuszczalnika jakim jest woda około tysiąckrotnie. Lepkość dynamiczna η dla 1.5% wodnego roztworu hialurynianu w temperaturze pokojowej wynosi ~3Pa s. Przy czym zarówno η jak również η^* dla wszystkich materiałów maleje ze wzrostem temperatury, maleje ze wzrostem prędkości deformacji, czyli prędkości ścinania, i ze wzrostem częstości oscylacji.

Badane biomateriały znajdują liczne zastosowania w przemyśle farmaceutycznym, kosmetycznym, chemicznym, w medycynie i biologii oraz, bardzo perspektywiczne zastosowania, między innymi w procesach krioprezerwacji. Układ glicerol-woda z udziałem hialuronianu spełnia wymagania stawiane krioprotektantom w biologii.

Znajomość fizycznych właściwości materiałów (biomateriałów) takich jak lepkość czy sprężystość jest niezbędna na etapie produkcji tych materiałów na dużą skalę oraz na etapie projektowania procesów z udziałem tych materiałów. Z drugiej strony znajomość tych wielkości wyznaczonych dla "bulk" próbek materiału w ściśle określonych warunkach termodynamicznych i określonych warunkach pomiaru (rodzaj deformacji, warunki i szybkość deformacji) pozwala wnioskować o procesach zachodzących na poziomie molekularnym [2].

LITERATURA:

- [1] SAEED R., UDDIN F., FAZAL A., *Effect of electrolyte concentration on viscous flow of polymer solutions*, Journal of Chemical & Engineering Data, 2002, vol. 47, 1359-1362
- [2] SZWAJCZAK E., STAGRACZYŃSKI R., HERBA H., ŚWIERGIEL J., JADŻYN J., *Shear viscosity of mixtures of α -tocopherol with nonpolar solvents*, Journal of Chemical & Engineering Data, 2009, vol. 54, 400-404

Pomiary reologiczne przeprowadzone zostały w Laboratorium Biofizycznym Katedry Fizyki Politechniki Rzeszowskiej utworzonym w ramach ZPORR.

V
WYTWARZANIE I ZASTOSOWANIE
MIKROURZĄDZEŃ

KRZYSZTOF CHURSKI¹, TOMASZ KAMINSKI¹, SŁAWOMIR JAKIEŁA¹,
 ŁUKASZ SZULTKA³, PIOTR KORCZYK^{1,2}, WOJCIECH KAMYSZ³,
 PIOTR GARSTECKI^{1*}

ZAUTOMATYZOWANE LABORATORIA MIKROKROPELKOWE

AUTOMATED DROPLET MICROFLUIDIC SYSTEMS

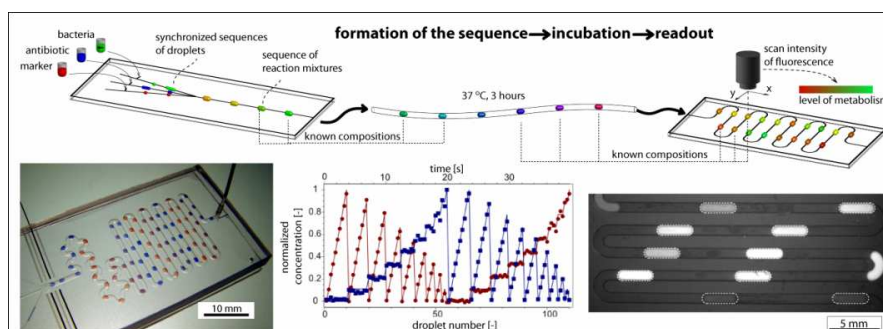
¹Institut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk, ul. Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa

²Institut Podstawowych Problemów Techniki, PAN, Pawińskiego 5B, 02-106 Warszawa

³Wydział Farmacji, Gdański Uniwersytet Medyczny, Hallera 107, 84-416 Gdańsk

*e-mail: garst@ichf.edu.pl

Postęp w wielu dziedzinach chemii, biochemii i mikrobiologii w sposób krytyczny zależy od możliwości wykonywania wysokoprzepustowych badań przesiewowych. Dla przykładu zrozumienie interakcji między antybiotykami wymaga przeprowadzenia badań toksyczności koktajli par [1] antybiotyków o różnych stężeniach, oraz mieszanin wielu antybiotyków [2]. Przedstawimy zautomatyzowany układ mikroprzepływowy, który może posłużyć w takich badaniach. Pojawienie się [3] możliwości tworzenia monodispersyjnych kropelek [4,5] natychmiast zrodziło wizję [6,7] wykorzystania mikrokropelek jako reaktorów chemicznych. Technika prowadzenia reakcji w mikrokropełkach oferuje [8] ultra szybkie mieszanie, kontrolę kinetyki, dobrą statystykę i minimalne zużycie reagentów. Charakterystyki te stanowią podstawę do stworzenia techniki konkurencyjnej dla techniki macierzy dołkowych. Niestety do dziś układy mikroprzepływowe nie umożliwiały przeprowadzania wystarczająco elastycznych protokołów przesiewowych. Przedstawimy układ mikroprzepływowy wykonujący skan steżeń trzech reagentów z częstością 3 Hz (10 tys kropli na godzinę) i zastosowanie tego układu do badania toksyczności antybiotyków.



Rys. 1. Schemat układu do badań toksyczności antybiotyków, zdjęcie układu eksperymentalnego, wykres stężeń dwóch substancji w kolejnych kroplach oraz mikrografia kropli zawierających bakterie poddane działaniu różnych stężeń toksyny.

LITERATURA:

- [1] J.B. MICHEL, P. J. YEH, R. CHAIT, R. C. MOELLERING, R. KISHONY, *PNAS*, 2008, 105, 14918-14923.
 [2] P. YEH; A.I. TSCHUMI AND R. KISHONY, *Nat Genet*, 2006, 38, 489-494.

- [3] T. THORSEN, R. W. ROBERTS, F. H. ARNOLD AND S. R. QUAKE, *Phys Rev Lett*, 2001, 86, 4163-4166.
- [4] S. L. ANNA, N. BONTOUX AND H. A. STONE, *App Phys Lett*, 2003, 82, 364-366.
- [5] D. R. LINK, S. L. ANNA, D. A. WEITZ AND H. A. STONE, *Phys Rev Lett*, 2004, 92, 054503.
- [6] M. JOANICOT AND A. AJDARI, *Science*, 2005, 309, 887-888.
- [7] H. SONG AND R. F. ISMAGILOV, *JACS*, 2003, 125, 14613-14619.
- [8] H. SONG, D. L. CHEN AND R. F. ISMAGILOV, *Ang Chem Int Ed*, 2006, 45, 7336-7356.

MARCIN IZYDORZAK, PIOTR GARSTECKI

UNIWERSALNA METODA WYTWARZANIA POLIMEROWYCH KAPSULEK

A UNIVERSAL METHOD FOR POLYMER CAPSULE PREPARATION

Instytut Chemii Fizycznej PAN
ul. Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa
izydorza@ichf.edu.pl, garst@ichf.edu.pl

Niniejsza praca dotyczy innowacyjnej metody otrzymywania polimerowych kapsulek. Zaprojektowano i wykonano układ przepływowy zapewniający wysoką powtarzalność tworzenia kropeł i kropeł złożonych. Otrzymywane krople są następnie zewnętrznie żelowane pod wpływem czynnika sieciującego. Utworzone po usieciowaniu polimeru kapsułki mogą być dwojakiego rodzaju. Prostsze składają się z żelowej otoczki i rdzenia. Bardziej złożone - wielowarstwowe - składają się z żelowej otoczki, warstwy pośredniej i wypełnienia. Urządzenie mikroprzepływowe, zapewnia precyzyjną kontrolę rozmiaru oraz masy kropli. Dzięki manipulacji architekturą układu, szybkościami przepływu roztworów oraz poprzez właściwy dobór warunków suszenia można sterować wielkością docelowej kapsułki i grubością powłoki kapsułkowej. W rdzeniu kapsułki mogą być rozpuszczone (lub zawieszono) dodatkowe substancje organiczne i nieorganiczne zapewniające:

- W przypadku zastosowań spożywczych lub kosmetycznych właściwy smak, zapach i konsystencję oraz dodatkowo,
- W przypadku zastosowań farmaceutycznych lub agrochemicznych właściwe działanie substancji czynnych

Niewielkie wymiary pojedynczego urządzenia powodują, że można je łatwo multiplikować uzyskując większą wydajność.

LITERATURA:

- [1] ZHANG H, TUMARKIN E, SULLAN RMA, ET AL. "Exploring microfluidic routes to microgels of biological polymers" *Macromol. Rapid Commun.*, Vol. 28, 2007.
- [2] GANAN -CALVO A.M. AND GORDILLO J. M." *Perfectly Monodisperse Microbubbling by Capillary Flow Focusing*" *PhysRevLett.* Vol. 87, No. 27, 2001.
- [3] . GANAN - CALVO A. M.AND BARRERO A. "A Novel Pneumatic Technique to Generate Steady Capillary Microjets" *J. Aerosol Sci.* Vol. 30, No. 1, 1999.

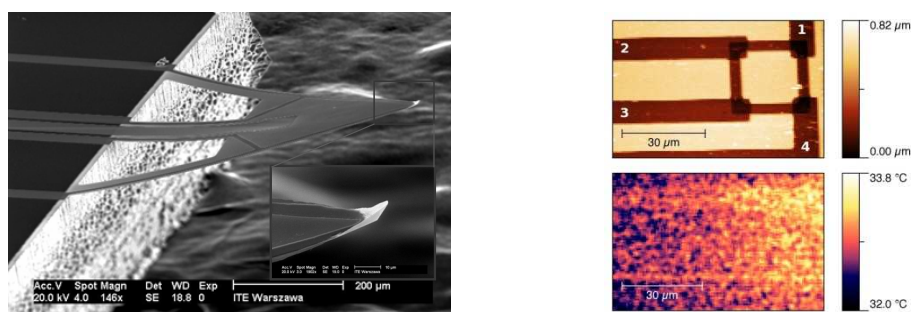
PAWEŁ JANUS¹, DARIUSZ SZMIGIEL¹, GRZEGORZ WIELGOSZEWSKI³,
 MARTIN WEISHEIT², YVONNE RITZ⁴, PIOTR GRABIEC¹, MARTIN HECKER²,
 TEODOR GOTSZALK³, PRZEMYSŁAW SULECKI³, EHRENFRIED ZSCHECH⁴

ZINTEGROWANA NANO-SONDA MIKROMECHANICZNA DO ZASTOSOWANIA W SKANINGOWEJ MIKROSKOPII TERMICZNEJ (STHM)

INTEGRATED, MICROMACHINED NANO-PROBE FOR SCANNING THERMAL MICROSCOPY APPLICATION (STHM)

1. Institute of Electron Technology, Warszawa, 02-668, Poland, e-mail: janus@ite.waw.pl
 2 Globalfoundries Dresden Module One LLC & Co. KG., Dresden, 01109, Germany
 3 Wrocław University of Technology, Wrocław, 50-372, Poland
 4 Fraunhofer IZFP, Dresden branch, 01109 Dresden, Germany
 e-mail: janus@ite.waw.pl

W artykule autorzy przedstawiają nowatorską konstrukcję dźwigni mikroskopu sił atomowych wyposażoną w przewodzące, platynowe ostrze pomiarowe. Sekwencja technologiczna wytwarzania przedstawianej sondy integruje wysoką powtarzalność z precyzyjnym postprocessingiem ostrza za pomocą zogniskowanej wiązki jonów (ang. Focus Ion Beam) [1]. Prezentowana mikrosonda przystosowana jest do zastosowań w skanującym mikroskopie termicznym (ang. Scanning Thermal Microscopy) ze standardową, optyczną detekcją ugięcia dźwigni. W artykule zaprezentowano proces technologiczny wytwarzania sondy oraz uzyskane wyniki pomiarów (rys. 1 a i b).



Rys. 1. Nanosonda termiczna a) obraz z mikroskopiskaningowego b) topografia i rozkład temperatury na powierzchni krzemowego, piezorezystywnego motstka Wheatstone'a

LITERATURA:

- [1] P. JANUS, D. SZMIGIEL, M. WEISHEIT, G. WIELGOSZEWSKI, Y. RITZ, P. GRABIEC, M. HECKER, T. GOTSZALK, P. SULECKI, E. ZSCHECH, *Novel SThM nanoprobe for thermal properties investigation of micro- and nanoelectronic devices, Microelectronic Engineering. Volume 87, Issues 5-8, pp.1370-1374*

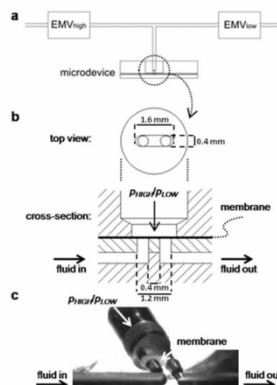
JACEK A. MICHALSKI, KRZYSZTOF CHURSKI, PIOTR GARSTECKI

MIKROZAWÓR DO UKŁADU WYTWARZAJĄCEGO „KROPLE NA ŻYCZENIE”

MICROVALVE UTILIZED FOR ‘DROPLET ON DEMAND’ SYSTEM

Instytut Chemii Fizycznej PAN
Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa
jacek@ichf.edu.pl, k.churski@gmail.com, garst@ichf.edu.pl

Każda metoda analityczna wymaga minimalnej masy substancji, która może zostać poddana analizie tak aby uzyskany wynik mieścił się w granicach jej błędu. Wymóg ten jest spowodowany koniecznością zachowania stężeń analizowanych substancji w zakresie efektywnej pracy używanych detektorów i możliwości operowania małymi objętościami analizowanych próbek. W układach mikrofluidycznych sterowanie przepływem cieczy i/lub gazu pozwala na wytwarzanie sekwencji kropli lub pęcherzy o ściśle założonej kolejności i gradacji. Jednak wymaga to skonstruowania zaworów o czasie otwarcia lub zamknięcia porównywalnym z czasem tworzenia pojedynczego pęcherza lub kropli. Ruch płynów można kontrolować z pomocą sił: kulombowskich (elektrostatycznych lub elektroforetycznych), magnetycznych, kapilarnych, elektrozwilżania, Marangoniego (efekt termokapilarny) lub czysto mechanicznych. Większość z tych rozwiązań ogranicza się albo do niskich częstotliwości pracy (kilka Hz) albo substancji nieważliwych na oddziaływania stosowane do regulacji przepływu płynów.

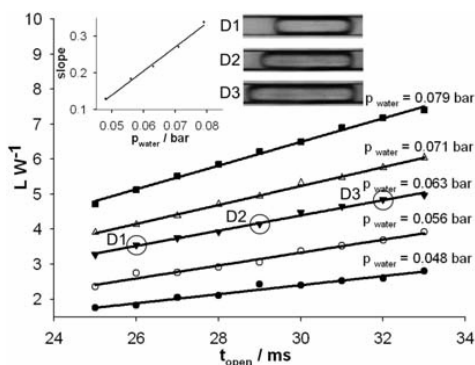


Rys. 1. Schemat konstrukcji zaworu.

Naszym celem było skonstruowanie zaworu mechanicznego pozwalającego na regulację przepływu cieczy i generację kropli z częstotliwościami przekraczającymi co najmniej 20 Hz.

Skonstruowany zawór (Rys. 1) składa się z elastycznej, nitylowej membrany, której ruch jest wywołany ciśnieniem (podciśnieniem) doprowadzanym ze znajdującej się ponad nią komory; doprowadzenie ciśnienia - zawór zamknięty, upuszczanie nadmiaru gazu - zawór otwarty. Korpus zaworu wykonany jest z poliwęglanu z wyfrezowanymi kanałami o przekroju kwadratowym ($200 \times 200 \mu\text{m}$) podczas, gdy otwory zakrywane membraną mają przekrój kołowy o średnicy $200 \mu\text{m}$.

Charakterystyki tak skonstruowanego zaworu badano w trzech układach służących generacji kropelek/pęcherzy: połączenie T (T-junction), ogniskowanie hydrodynamiczne (flow focusing) i układzie do tworzenia sekwencji kropelek o dwóch różnych składach (np. zawartości barwnika).



Rys. 2. Wyniki doświadczeń dla połączenia

Wyniki doświadczeń pokazały, że w układzie z połączeniem T i wytwarzaniem kropelek lub pęcherzy zawór pracuje poprawnie do częstotliwości 20 Hz (Rys.2). W układzie z ogniskowaniem hydrodynamicznym płynów zawór pracował z częstotliwością 1 Hz, a zmieniano w szerokim zakresie proporcje pomiędzy czasami jego otwarcia i zamknięcia. Zaobserwowano powstawanie ciągów kropelek na przemian dużych i małych. Współpraca zaworów z układem do generacji sekwencji kropelek pozwoliła określić parametry, przy których występują interesujące reżimy pracy układu (np. naprzemiennie krople obu substancji, jedna kropla A i dwie krople B itp.).

Wyniki doświadczeń wskazują, że skonstruowany zawór spełnia założenia projektowe w kanałach kwadratowych o boku $400 \mu\text{m}$, aczkolwiek wydaje się, że zmniejszenie pola przekroju poprzecznego kanałów i zmniejszenie objętości kropelek będzie wymagało budowy jeszcze szybciej działających zaworów.

KONRAD NIERADKA, PIOTR PAŁETKO, TEODOR GOTSZALK

ANALIZA CZUŁOŚCI I PROGU DETEKCJI MIKRODŹWIGNIOWYCH CZUJNIKÓW BIOCHEMICZNYCH

SENSITIVITY AND DETECTION LIMIT ANALYSIS OF MICROCANTILEVER-BASED BIOCHEMICAL SENSORS

Politechnika Wrocławska, Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki,
Wydziałowy Zakład Metrologii Mikro- i Nanostruktur, ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław
e-mail: konrad.nieradka@pwr.wroc.pl, piotr.paletko@pwr.wroc.pl, teodor.gotszalk@pwr.wroc.pl

W ostatniej dekadzie obserwuje się rosnące zainteresowanie czujnikami bazującymi na mikrodźwigniach sprężystych. Wielokrotnie udowodniono ich przydatność w pomiarach wielkości fizycznych [1] i chemicznych [2] oraz w detekcji śladowych ilości substancji w środowisku gazowym [3] i ciekłym [4]. W naszej pracy podjęliśmy się próby matematycznego sformułowania oraz eksperymentalnego potwierdzenia wpływu wymiarów mikrodźwigni prostokątnej na jej parametry użytkowe zbudowanego w oparciu o nią czujnika. Naszą uwagę skupiliśmy na zagadnieniach czułości na zmianę masy i naprężeń powierzchniowych oraz progu detekcji. Rozważaliśmy mikrodźwignie pracujące zarówno w trybie rezonansowym, jak i statycznym. Wskazaliśmy podstawowe zależności między wymiarami a parametrami użytkowymi czujnika oraz fizyczne ograniczenia wynikające z założonego kształtu mikrodźwigni. Nasze rozważania potwierdził eksperymentalnie w układzie z optyczną detekcją ugięcia.

LITERATURA:

- [1] BATTISTON F., RAMSEYER J.-P., BALLER M., GERBER CH., GIMZEWSKI J., MEYER E., GÜNTHERODT H.-J., *A chemical sensor based on a microfabricated cantilever array with simultaneous resonance-frequency and bending readout*, *Sensors and Actuators B*, 2001, vol.77, 122-131.
- [2] JI H.-F., HANSEN K., HU Z., THUNDAT T., *Detection of pH variation using modified microcantilever sensors*, *Sensors and Actuators B*, 2001, vol.72, 233-238.
- [3] ZUO G., LI X., LI P., WANG Y., CHENG Z., FENG S., *Trace TNT Vapor Detection with an SAM-functionalized Piezoresistive SiO₂ Microcantilever*, *IEEE Sensors*, 2006, 749-752.
- [4] NDIEYIRA J., WATARI M., BARRERA A., ZHOU D., VÖGTL M., BATCHELOR M., COOPER M., STRUNZ T., HORTON M., ABELL C., RAYMENT T., AEPPLI G., MCKENDRY R., *Nanomechanical detection of anti-biotic-mucopeptide binding in a model for superbug drug resistance*, *Nature Nanotechnology*, 2008, vol.3, 691-696.

KONRAD NIERADKA, PIOTR PAŁETKO, GRZEGORZ MAŁOZIĘC,
TEODOR GOTSZALK

ANALIZA SZUMOWA I OPTYMALIZACJA SYSTEMU DO BADANIA MIKRODŹWIGNIOWYCH CZUJNIKÓW BIOCHEMICZNYCH

NOISE ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF MICROCANTILEVER- BASED BIOCHEMICAL SENSORS INVESTIGATION SYSTEM

Politechnika Wrocławska, Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Wydziałowy Zakład Metrologii
Mikro- i Nanostruktur, ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław
e-mail: konrad.nieradka@pwr.wroc.pl, piotr.paletko@pwr.wroc.pl, grzegorz.maloziec@pwr.wroc.pl, teo-
dor.gotszalk@pwr.wroc.pl

Mikromechaniczne przetwarzanie oddziaływań zachodzących na poziomie molekularnym na mierzalne sygnały elektryczne umożliwia badanie mikro- i nanoświata [1], niedostępnego dla wielu konwencjonalnych metod. Badanie zachowania mikrodźwigniowych czujników biochemicznych wymaga jednak zastosowania precyzyjnej aparatury pomiarowej i znalezienia kompromisu pomiędzy wzajemnie przeciwstawnymi parametrami [2,3].

Prezentujemy analizę właściwości szumowych optycznego układu detekcji ugięcia mikrodźwigni i ich wpływu na właściwości użytkowe rozwijanej przez nas platformy czujnikowej. Wskazujemy na fizyczne ograniczenia związane z optoelektronicznym układem detekcji i z geometrią mikrodźwigni. Nasze rozważania potwierdzamy wynikami pomiarów widma szumów własnych układu i widma termicznych drgań własnych mikrodźwigni dla wybranych parametrów układu. Prezentujemy przykładowe wyniki eksperymentów z czujnikami mikrodźwigniowymi, przeprowadzonych za pomocą opracowanego systemu.

LITERATURA:

- [1] LAVRIK N., SEPANIAK M., DATSKOS P., *Cantilever transducers as a platform for chemical and biological sensors*, Review of Scientific Instruments, 2004, vol.75 (7), 2229-2253.
- [2] FUKUMA T., KIMURA M., KOBAYASHI K., MARSUSHIGE K., YAMADA H., *Development of low noise cantilever deflection sensor for multienvironment frequency-modulation atomic force microscopy*, Review of Scientific Instruments, 2005, vol.76, 053704.
- [3] FUKUMA T., JARVIS S., *Development of liquid-environment frequency modulation atomic force microscope with low noise deflection sensor for cantilevers of various dimensions*, Review of Scientific Instruments, 2006, vol.77, 043701.

DOMINIKA OGOŃCZYK, JUDYTA WĘGRZYN, PAWEŁ JANKOWSKI,
PIOTR GARSTECKI*

WYTWARZANIE UKŁADÓW MIKROPRZEPLYWOWYCH W POLIWĘGLANIE

MANUFACTURE OF POLYCARBONATE MICROSYSTEMS

Instytut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk, Zakład Fizykochemii Płynów i Miękkiej Materii,
ul. Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa
*E-mail: garst@ichf.edu.pl

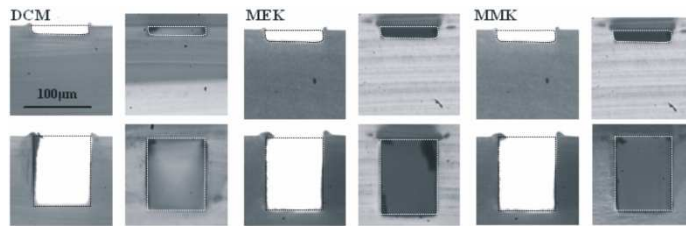
Do konstrukcji miniaturowych systemów wykorzystuje się najnowsze osiągnięcia naukowe czy technologiczne oraz najnowocześniejsze materiały, głównie polimery. O atrakcyjności polimerów decyduje ich wielka różnorodność, a wybór materiału konstrukcyjnego najczęściej podyktowany jest jego właściwościami (np. łatwość w obróbce, odporność chemiczna czy transparentność) [1-4]. Materiałem polimerowym ostatnio chętnie wykorzystywanym do konstrukcji mikroukładów zintegrowanych (μ FLDs) jest poliwęglan (PC). Jego popularność wynika m.in. z dostępności rynkowej, niskiej ceny, łatwej obróbki, odporności mechanicznej czy transparentności w zakresie promieniowania widzialnego. Do wad PC zaliczyć można słabą odporność na rozpuszczalniki organiczne oraz absorpcję promieni UV.

PC jest powszechnie wykorzystywany przy konstrukcji μ FLDs stosowanych w badaniach medycznych czy bioanalizie (np. PCR- reakcja łańcuchowa polimerazy) [5,6]. Konstruowane mikrochipy to niejednokrotnie wieloelementowe układy, które wymagają integracji. Do łączenia komponentów z PC powszechnie wykorzystuje się termiczne sklejanie [7,8], które nie gwarantuje silnego spoiwa i często znacząco zmienia geometrię kanałów (Rys.1).

Prezentowana, rozpuszczalnikowo wspomaganą termiczną metodą sklejaną mikroukładów PC charakteryzuje się niezwykłą prostotą, dużą powtarzalnością oraz tym, że nie powoduje zmiany chemii powierzchni czy geometrii mikrokanalów (Rys.2). W omawianej metodzie wykorzystuje się zjawisko pęcznienia wierzchniej warstwy polimeru, które jest wynikiem kontaktu PC z parami rozpuszczalnika i następującej kompresji zmodyfikowanych elementów w temperaturze znacznie niższej niż temperatura przejścia szklanego T_g .



Rys.1. Mikrograficzny obraz przekrojów poprzecznych kanałów o szerokości 200 μ m przed (górną) i po łączeniu termicznym dwóch płyt PC (dolną). Prezentowany obraz pokazuje istotną termiczną deformację mikrokanalów.



Rys.2. Mikrograficzny obraz przekrojów poprzecznych kanałów przed i po wspomaganym rozpuszczalnikowo termicznym łączeniu dwóch płyt PC z wykorzystaniem: dichlorometanu (DCM), 2-butanonu (MEK) czy acetonu (MMK).

LITERATURA:

- [1] H. BECKER AND L. E. LOCASCIO, *Talanta*, 2002, 56, 267.
- [2] J. M. MARGOLIS, *Engineering Thermoplastic: Properties and Applications*, Marcel Dekker, USA, 1985.
- [3] O. OLABISI, *Handbook of thermoplastics*, Marcel Dekker, USA, 1997.
- [4] J. BRANDRUP, E. H. IMMERGUT, E. A. GRULKE, A. ERIC AND A. ABE, *Polymer Handbook*, J. Wiley & Son, 1999.
- [5] Y. LIU, D. GANSER, A. SCHNEIDER, R. LIU, PIOTR GRODZINSKI, N KROUTCHININA, , *Anal. Chem.*, 2001, 73, 4196.
- [6] C. H. CHAN, J. K. CHEN AND F. C. CHANG, *Sens. Actuators B*, 2008, 133, 327.
- [7] J. YANG, Y. LIU, C. B. RAUCH, R. L. STEVENS, R. H. LIU, R. LENIGK, P. GRODZINSKI, *Lab Chip*, 2002, 2, 179.
- [8] J. CHEN, M. WABUYELE, H. CHEN, D. PATTERSON, M. HUPERT, H. SHADPOUR, D. Niki-topoulos and S. A. Soper, *Anal. Chem.*, 2005, 77, 658.

MICHAŁ ŚWIĄTKOWSKI¹, PIOTR PAŁETKO¹, GRZEGORZ SCHROEDER²,
TEODOR GOTSZALK²

KALIBRACJA ODPOWIEDZI MIKROWAGI KWARCOWEJ METODĄ MIKROPIECZĄTKOWANIA

CALIBRATION OF QUARTZ CRYSTAL MICROBALNCE SENSIVITY USING MICRO PRINTING METHOD

¹Politechnika Wroclawska, Wydział Elektroniki Mikrosystemow i Fotoniki,
Zakład Metrologii Mikro- i Nanostruktur, ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław
²Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Wydział Chemii, ul. Grunwaldzka 6, 60-780 Poznań
e-mail: michal.swiatkowski@pwr.wroc.pl, piotr.paletko@pwr.wroc.pl, schroede@amu.edu.pl,
teodor.gotszalk@pwr.wroc.pl

Mikrowagi kwarcowe zaczęły być stosowane do detekcji masy w środowisku ciekłym, pod koniec lat '80 XX wieku, po zaprezentowaniu przez pracownika IBM, K.K. Kanazawę [1] zależności matematycznej wiążącej zmianę częstotliwości rezonansowej drgającego dysku kwarcowego ze zmianami masy oraz parametrami cieczy, w której czujnik jest zanurzony. Wagi kwarcowe są najczęściej pokryte cienką warstwą złota, na którym osiadają detekowane cząsteczki. Taka metoda jest niedoskonała, gdyż nie jest w stanie rozróżnić, czy na powierzchni czujnika znajdują się tylko np. poszukiwane endotoksyny. W tym celu konieczna jest funkcjonalizacja powierzchni złotych elektrod mikrowagi. Spotykaną metodą jest szczelne fizyczne pokrywanie czujnika albuminą bydlęcą, do której można przyłączyć modelowe typy receptorów biologicznych. Sposob ten posiada wiele niedoskonałości. W Zakładzie Metrologii Mikro- i Nanostruktur prowadzone są prace nad funkcjonalizacją powierzchni bioczujników związkami samoorganizującymi się. Związki takie, posiadają ściśle określoną masę oraz gęstość obsadzenia powierzchni. Stosując metodę mikropieczątkowania, możliwe jest kontrolowane osadzanie warstw samoorganizujących się [2]. Przez co można dokładnie określić powierzchnię obsadzenia oraz masę zaadsorbowanych molekuł. Ponieważ masa związana jest chemicznie do powierzchni czujnika, można wykonać kalibrację w środowisku ciekłym, co jest istotne z punktu aplikacji mikrowag kwarcowych w pomiarach biochemicznych.

LITERATURA:

- [1] KANAZAWA, K.K., GORDON, J.G., 1985. *The oscillation frequency of a quartz resonator in contact with a liquid*. Anal. Chim. Acta 175, 99–105.
[2] SCHROEDER G. (red.), *Materiały supramolekularne*, BETAGRAF P.U.H., Poznań 2008

KAROL WASZCZUK¹, PAWEŁ ZAWIERUCHA¹, MICHAŁ ŚWIĄTKOWSKI¹,
JAROSŁAW OLSZEWSKI¹, WIKTOR HERWICH¹, TEODOR GOTSZALK¹,
JACEK RYBKA²

**KAMERTON PIEZOELEKTRYCZNY JAKO
MIKROELEKTROMECHANICZNY CZUJNIK NANOSIŁ
I MIKROWAGA**

**PIEZOELECTRIC TUNING FORK AS A MICRO
ELECTROMECHANICAL NANOFORCE SENSOR
AND A MICROBALANCE**

¹ Politechnika Wrocławska, Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki,
Wydziałowy Zakład Metrologii Mikro- i Nanostruktur, Janiszewskiego 11/17 Wrocław,
karol.waszczuk@pwr.wroc.pl

² Polska Akademia Nauk, Instytut Immunologii i Terapii Doświadczalnej, Laboratorium Mikrobiologii
Lekarskiej, Rudolfa Weigla 12 Wrocław, rybka@iitd.pan.wroc.pl

Kamertony piezoelektryczne, ze względu na doskonałą powtarzalność wykonania i stabilność częstotliwości drgań własnych, są powszechnie używane jako wzorce częstotliwości taktujące cyfrowe układy elektroniczne. Kamerton kwarcowy może być również stosowany jako miniaturowany czujnik wielu wielkości fizycznych – czujnik siły w mikroskopii sił atomowych [1, 2], mikrowaga [3, 4], która po przeprowadzeniu odpowiedniej preparatyki powierzchni może służyć za czujnik gazu [5] lub bioczujnik [3, 4], czy wreszcie czujnik lepkości ośrodka drgań [6]. Autorzy prezentują zastosowanie kamertonów piezoelektrycznych do pomiarów masy biomolekuł oraz jako sondy w mikroskopii bliskich oddziaływań. Zaprezentowane zostaną jednocześnie pomiary topografii oraz prądu tunelowego.

LITERATURA:

- [1] GOTTLICH H., STARK R. W., PEDARNING J. D., HECKL W. M., *Noncontact scanning force microscopy based on a modified tuning fork sensor*, *Rev. of Scientific Instruments*, 2000, vol. 71, 3104 – 3108
- [2] GOTSZALK T., WOSZCZYNA M., WASZCZUK K., WOŹNIAK K., WIODARCZYK J., RADOJEWSKI J., *Zastosowanie rezonatorów piezoelektrycznych jako czujnika sił w mikroskopii sił atomowych*, *Czujniki optoelektroniczne i elektroniczne COE*, 27-30 czerwca, 2004, Wrocław
- [3] SU X., DAI C., ZHANG J., O'SHEA S. J., *Quartz tuning fork biosensor*, *Biosensors & Bioelectronics*, 2002, vol. 17, 111-117
- [4] RYBKA J., BIEŃKOWSKA K., POGORZELEC K., WASZCZUK K., DERWICH W., GOTSZALK T., *Zastosowanie kamertonu kwarcowego jako czujnika biologicznego*, *Modelowanie i pomiary w medycynie IX sympozjum*, 2009, Krynica
- [5] WESTERHOFF P., TAO N., GUZMAN R., KRUGER K., TSOW F., FORZANI E., *Development of a Microfabricated Tuning-Fork Based Sensor for Disinfection By-products in drinking water*, *Arizona State University, Proof of Concept*, 2008
- [6] CLUBB D. O., BUU O.V.L., BOWLEY R. M., NYMAN R., OWERS-BRADEY J. R., *Quartz Tuning Fork Viscometers for Helium Liquids*, *Journal of Low Temperature Physics*, 2004, vol. 136, 1-13

MICHAŁ ZIELONY, PIOTR PAŁETKO, TEODOR GOTSZALK

**TRYB CIĄGŁEJ SPEKTROSKOPII SIŁ W BADANIACH
WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH MOLEKULARNYCH
WARSTW SAMOORGANIZUJĄCYCH**

**CONTINUAL FORCE SPECTROSCOPY FOR MECHANICAL
PROPERTIES MEASUREMENTS OF
SELF ASSEMBLY MONOLAYERS**

Politechnika Wrocławska, Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Wydziałowy Zakład Metrologii
Mikro- i Nanostruktur, ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław
Michal.Zielony@pwr.wroc.pl, PiotrPaletko@pwr.wroc.pl, Teodor.Gotszalk@pwr.wroc.pl

Mikroskopia bliskich oddziaływań (ang. SPM – Scanning Probe Microscopy) jest dynamicznie rozwijającą się techniką. Pozwala ona na badanie powierzchni ciała stałego w nanometrowej skali. Obrazowanie powierzchni w podstawowych trybach pomiarowych, takich jak tryb statyczny i dynamiczny [1], obarczone jest błędem wynikającym z wpływu różnych zjawisk na pomiar topografii i braku możliwości ich odseparowania. W trybie statycznym na pomiar topografii ma wpływ boczne skreślenie dźwigni wynikające z tarcia ostrza pomiarowego o powierzchnię, w trybie dynamicznym twardość powierzchni oraz siły adhezji. W celu przeprowadzenia pomiaru twardości i sił adhezji powierzchni można wykorzystać metodę spektroskopii sił. Pozwala ona na charakteryzowanie właściwości powierzchni w wybranych punktach lub równomiernie rozłożonych po powierzchni – mapa właściwości. Metody te dostarczają duże ilości danych, których analiza następuje po zakończonym procesie pomiaru. Czas trwania tego pomiaru, dla tej samej rozdzielczości co w podstawowych trybach, może wynosić 2,5 godziny i dłużej a w przypadku trybów podstawowych wynosi od 10 do 30 minut.

W pracy zostanie zaprezentowany tryb Ciągłej Spektroskopii Sił, który łączy w sobie zalety przedstawionych powyżej trybów – rozdzielenie pomiaru topografii od twardości powierzchni, sił adhezji, tarcia oraz krótki czas pomiaru. Zaprezentowane zostaną również wyniki pomiarów samoorganizujących monowarstw n-oktylo silanu, wykonane w różnych trybach mikroskopii SPM.

LITERATURA:

- [1] GOTSZALK T., *Systemy mikroskopii bliskich oddziaływań w badaniach mikro- i nanostruktur*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004

VI NANOMATERIAŁY

MAŁGORZATA CHWAŁ

**OPIS WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH NANOKOMPOZYTÓW
WZMACNIANYCH NANORURKAMI WĘGLOWYMI**

**DESCRIPTION OF MECHANICAL PROPERTIES FOR
NANOCOMPOSITES REINFORCED WITH CARBON NANOTUBES**

Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Instytut Konstrukcji Maszyn,
Cracow University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Machine Design,
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków
e-mail: mchwal@pk.edu.pl

The present paper deals with the numerical evaluation of the effective Young modulus values for nanocomposites subjected to uniaxial tension. The analysis is based on the direct definition of the interatomic interactions and the geometry of single-walled carbon nanotubes. In the finite elements (FE) analysis carbon atoms are treated as nodes in a mesh and the interatomic interactions are modeled with the use of finite elements. Using the above assumptions the FE model of 3-D CNT structure (the armchair (5,5)) has been built. The model is made of hexagons and pentagons constituting 3-D structure. In the conducted analysis the interactions between the closest neighbors have been taken into account. In order to describe the atomic interactions the truss finite elements have been used. The interatomic potentials are nonlinear functions and the changes of the distance between atoms affect interatomic forces and result in variations of the stiffness of whole structure. The specific procedure available in the ABAQUS package called "User Material" has been used to determine the variations of the Young modulus value being the result of variable atomic interactions. That procedure has been applied to define the incremental form of nonlinear interactions described in the form of the Morse, Tersoff-Brenner or Lennard-Jones potential. The evaluation of average Young modulus is based on the application of the homogenization theory. The elementary unit cell has a cylindrical form and is made of the space CNT frame model which is surrounded by a polymeric resin. In the FE model of nanocomposite the interactions between: carbon atoms, carbon atoms and polymeric atoms and polymeric atoms have been taken into account. The mentioned above interactions are approximated with the use of truss finite elements having different elastic constants and cross-sections (different for different interactions). The numerical results have been compared with theoretical ones.

MICHAŁ CICHOMSKI^{1*}, JACEK ROGOWSKI², KATARZYNA KOŚLA¹

CHARAKTERYSTYKA WARSTW FLUOROALKILOSYLANOWYCH NA POWIERZCHNI TYTANU

CHARACTERIZATION OF FLUOROALKYLSILANES MONOLAYERS ON TITANIUM SURFACE

¹ Uniwersytet Łódzki, Katedra Technologii Chemicznej i Ochrony Środowiska
ul. Pomorska 163, 90-236 Łódź

² Politechnika Łódzka, Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź
* mcichom@uni.lodz.pl

Tytan i jego stopy charakteryzują się dużą wytrzymałością mechaniczną, lekkością, oraz biokompatybilnością. Ważną cechą charakterystyczną tytanu jest także jego odporność na korozję wynikająca z pokrywania powierzchni ochronną warstwą tlenku TiO_2 . Połączenie wyżej wymienionych właściwości sprawia, że tytan znajduje zastosowanie w przemyśle lotniczym, medycznym, produkcji sprzętu sportowego oraz dziedzinach, w których decydujące znaczenie mają wytrzymałość konstrukcji oraz jej ciężar. Produkcja tego typu wyrobów napotyka jednak na duże trudności, głównie ze względu na skłonność tytanu do łączenia się z tlenem, azotem i wodorem zaś w przypadku stopów Ti ze względu na podatność na uwalnianie jonów tj. jony glinu oraz adsorpcję białek na powierzchni, co ma duże znaczenie w przypadku zastosowania w produkcji implantów medycznych. Istotnym ograniczeniem możliwości stosowania tytanu jest także zużywanie elementów maszyn i urządzeń wykonanych z tego metalu.

W celu polepszenia właściwości tarciovych tytanu dokonano chemiczną modyfikację jego powierzchni za pomocą związków fluoroalkilosilanowych. Fluoroalkilosilany tworzą na powierzchniach ciał stałych takich jak glin, tytan lub krzem cienkie warstwy organiczne nadające zmodyfikowanym podłożom właściwości hydrofobowe oraz pozwalają na obniżenie wartości sił adhezji i współczynników tarcia a konsekwencji zmniejszają zużycie elementów, które pokrywają. Charakterystyczną cechą związków tworzących ultracienkie warstwy jest ich budowa. Cząsteczki tych związków zbudowane są z grupy czołowej, która odpowiedzialna jest za utworzenie wiązania chemicznego z podłożem, łańcucha węglowodorowego oraz powierzchniowej grupy funkcyjnej, która odpowiada za chemiczne i fizyczne właściwości otrzymanej warstwy.

W pracy przedstawiono metodę wytwarzania warstw fluoroalkilosilanowych. Wytworzone warstwy, scharakteryzowano poprzez analizę wartości swobodnej energii powierzchniowej wyznaczonej na podstawie pomiarów kąta zwilżania, a także przy użyciu technik FT-IR oraz ToF-SIMS. Przeprowadzono również badania tarciove w mikro- i nanoskali przy użyciu mikrotribometru oraz mikroskopii sił atomowych.

Badania wykonano w ramach realizacji projektu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Nr N N507 551538

PAWEŁ JANKOWSKI, LADISLAV DERZSI, DOMINIKA OGOŃCZYK,
PIOTR GARSTECKI*

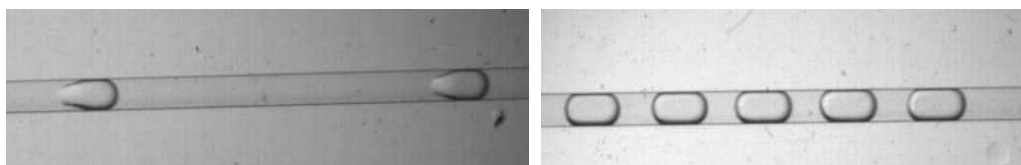
MODYFIKACJE POLIWĘGLANU W CELU UZYSKANIA HYDROFILOWYCH I HYDROFOBOWYCH POWIERZCHNI.

HYDROPHILIC AND HYDROPHOBIC MODIFICATION OF POLYCARBONATE.

Instytut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk, Zakład Fizykochemii Płynów i Miękkiej Materii,
ul. Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa
*E-mail: garst@ichf.edu.pl

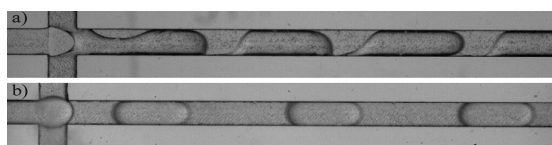
Poliwęglan ze względu na swoje właściwości (przezroczystość, łatwość obróbki, wytrzymałość) [1,2] jest jednym z często wykorzystywanych materiałów do produkcji układów mikroprzepływowych. W układach wykonanych z poliwęglanu napotyka się jednak często na problemy związane ze zraszaniem powierzchni kanałów. To niekorzystne zjawisko pojawia się zarówno w przypadkach gdy faza rozproszona jest fazą wodną jak i fazą organiczną.

Przedstawione tutaj prace miały na celu opracowanie metod modyfikacji poliwęglanu prowadzących do otrzymania powierzchni o charakterze hydrofilowym lub hydrofobowym w zależności od potrzeb. W tym celu wykorzystano reakcję grupy węglanowej polimeru z aminami prowadzącą do utworzenia wiązania uretanowego [3,4]. Modyfikacja poliwęglanu z zastosowaniem odpowiednich związków alkilowych pozwoliło na otrzymanie hydrofobowych powierzchni o kącie zwilżania ok. 130° (kątem zwilżania dla powierzchni nie zmodyfikowanej wynosi 84°). Modyfikacja ta sprawia, że nie obserwuje się zwilżania wewnątrz kanałów (Rys.1).



Rys. 1. Krople wody w heksadekanie. Układ przed modyfikacją (po lewej), układ zmodyfikowany (po prawej).

Zastosowanie odpowiedniego polielektrolitu (PAH) umożliwiło natomiast otrzymanie powierzchni o charakterze hydrofilowym (kątem zwilżania $< 40^\circ$). Znaczenie takiej modyfikacji widać na przykładzie układu zawierającego krople oleju silikonowego w wodzie (Rys.2).



Rys. 2. Krople oleju silikonowego w wodzie.
Układ przed modyfikacją (górną). Układ zmodyfikowany (dół).

LITERATURA:

- [1] J. BRANDRUP, E. H. IMMERGUT, E. A. GRULKE, A. ERIC AND A. ABE, *Polymer Handbook*, J. Wiley & Son, 1999.
- [2] J. BORKOWSKI, Z. DOBKOWSKI, B. KRAJEWSKI, S. MACZENSKI, Z. WIELGOSZ AND H. ZAWISTOWSKI, *Poliwęglany*, WNT, Warszawa, 1971.
- [3] C. LI AND GARTH L. Wilkes, *J. Inorg. Organomet. Polym.* 1998, 8, 33.
- [4] L. DAUGINET, A.-S. DUWEZ, R. LEGRAS, AND S. DEMOUSTIER-CHAMPAGNE, *Langmuir* 2001, 17, 3952.

ANATOL JAWOREK, ANDRZEJ KRUPA, MARCIN LACKOWSKI,
TADEUSZ CZECH, ARKADIUSZ SOBCZYK, S. SUNDARRAJAN, D. PLISZKA,
S. RAMAKRISHNA

WYTWARZANIE NANOWŁÓKNIN KOMPOZYTOWYCH METODĄ ELEKTROHYDRODYNAMICZNĄ

NANOCOMPOSITE FABRIC PRODUCTION BY ELECTROHYDRODYNAMIC METHOD

Instytut Maszyn Przepływowych PAN, 80-952 Gdańsk
National University of Singapore, Singapore 117576
jaworek@imp.gda.pl

Elektroprzędzenie (*Electrospinning*) jest elektrostyczną metodą wytwarzania nanowłóknin polimerowych wykorzystującą siły elektryczne działające na powierzchnię cieczy o dużej lepkości wypływającej z dyszy kapilarnej. Efekt elektroprzędzenia osiąga się poprzez przyłożenie wysokiego napięcia do metalowej dyszy kapilarnej, do której pompowany jest roztwór polimeru. W trakcie ruchu strugi roztworu w kierunku kolektora następuje odparowanie rozpuszczalnika w wyniku czego na kolektorze osiada suche włókno. Wytworzone włókna polimerowe są zbierane na powierzchni uziemionej elektrody płaskiej lub na wirującym cylindrze. Średnica otrzymanych tą techniką włókien jest zwykle w granicach od 100 do 500 nm. Zastosowanie równoczesnego rozpylania elektrostycznego (*Electrospraying*) innego roztworu lub zawiesiny koloidalnej umożliwia naniesienie na powierzchnię włókien materiału o odmiennych właściwościach fizykochemicznych, na przykład nanocząstek tlenów metali. Możliwe jest także równoległe wytwarzanie nanowłóknin z różnych materiałów naniesionych na ten sam kolektor. Metody elektroprzędzenia i elektrorozpylania pozwalają tworzyć materiały nanokompozytowe o wymaganych właściwościach, z możliwością szerokiego zastosowania w technologii materiałowej, ochronie środowiska i biotechnologii. W referacie przedstawiono trzy rodzaje procesów wytwarzania włókniiny nanokompozytowej z naniesionymi na powierzchni włókien cząstkami tlenków metali.

1. Proces dwuetapowy (*post-deposition process*), w którym na podłożu z włókniiny polimerowej otrzymanej w wyniku elektroprzędzenia nanoszone są cząstki z tlenków metali metodą elektrorozpylania.
2. Proces równoległy (*simultaneous electrospinning/electrospraying*), w którym tlenki metali nanoszone są metodą elektrorozpylania w czasie trwania procesu elektroprzędzenia włókniiny polimerowej.
3. Proces współbieżny z dyszy współbieżnej (*co-extrusion electrospinning*), w którym elektroprzędzenie włókniiny polimerowej odbywa się z dyszy centralnej a nanocząstki osadzone są z zawiesiny koloidalnej wypływającej ze współosiowej dyszy pierścieniowej.

Technikę tę wykorzystano do wytwarzania włókniin z polichlorku winylu, poliamidu lub polisulfonu rozpuszczonych w odpowiednich rozpuszczalnikach, na których osadzano nanocząstki tlenków metali np. TiO_2 , ZrO_2 , Fe_2O_3 , MgO , lub Al_2O_3 o średnicach od 20 do 100 nm. Cząstki tlenków rozpylane były w postaci zawiesiny w odpowiednim rozpuszczalniku. Do wytworzenia stabilnej zawiesiny koloidalnej nanocząstek wykorzystano dodatek substancji powierzchniowo czynnej z grupy silanów Dynasylan® Memo firmy Degussa. Tego typu włókniina o właściwościach katalitycznych może mieć zastosowanie do celów oczyszczania gazów. W procesie wytwarzania nanowłóknin kompozytowych do celów filtracyjnych metodą elektroprzędzenia/elektrozpylania nanocząstki materiału katalitycznego znajdują się na powierzchni włókna, co umożliwia zwiększenie całkowitej powierzchni czynnej katalizatora. Morfologię wytworzonych nanowłóknin zbadano skaningowym mikroskopem elektronowym typu EVO 40 firmy ZEISS.

JOANNA NIEDZIÓŁKA-JÖNSSON, MARTIN NIEDZIÓŁKA- JÖNSSON,
MARCIN OPALLO

ELEKTROSYNTEZA MATERIAŁÓW ZOL-ŻEL NA GRANICY TRZECH FAZ CIAŁO STAŁE|CIECZ|CIECZ

ELECTROSYNTHESIS OF SOL-GEL MATERIALS AT A THREE PHASE JUNCTION SOLID|LIQUID|LIQUID

ICHF PAN, Zakład Procesów Elektrodoowych, Kasprzaka 44/52 Warszawa, Poland
e-mail: joaniek@ichf.edu.pl

Hybrydowe materiały zol-żelowe są ważnymi elementami czujników chemicznych i bioczujników ze względu na: a) łatwość sterowania ich właściwościami poprzez dołączanie odpowiednich grup funkcyjnych, b) możliwość pułapkowania w ich strukturach innych molekuł oraz c) możliwość ich wytwarzania w postaci (nano)cząstek, bloczków czy cienkich warstwy [1]. Jednym ze sposobów ich otrzymywania jest osadzanie na drodze kontrolowanych zmian pH na granicy elektroda|roztwór [2]. Elektrochemiczne generowanie katalizatora procesu zol-żel, jonów hydroniowych lub hydroksyloowych, powoduje osadzenie warstwy materiału polikrzemianowego na elektrodzie.

Ostatnio zaproponowaliśmy wykorzystanie granicy trzech faz elektroda|ciecz|ciecz do wytwarzania materiałów polikrzemianowych o ograniczonych rozmiarach [3]. Elektrode umieszcza się w naczyniu napełnionym dwoma niemieszającymi się ze sobą roztworami. Faza organiczna zawiera prekursor procesu zol-żel, a wodna elektrolit, który po przyłożeniu potencjału do elektrody staje się źródłem katalizatora (np. H_3O^+). W ten sposób na granicy faz osadzany jest cienki pasek polikrzemianowy o szerokości od kilku do kilkuset mikrometrów [3]. Natomiast powolne wyciąganie elektrody z tego naczynia przy jednoczesnym przyłożeniu potencjału powoduje osadzenie warstwy polikrzemianu o grubości poniżej 10 nm. W niniejszym komunikacie zostaną omówione czynniki wpływające na tworzenie się opisanych wyżej materiałów polikrzemianowych oraz ich właściwości wynikające z wprowadzenia grup funkcyjnych.

LITERATURA:

- [1] A. WALCARIUS, D. MANDLER, J.A. COX, M. COLLINSON, O. LEV, J. MATER. *Chem.* 15 (2005) 3663.
- [2] R. SHACHAM, R.; D.AVNIR, D.MANDLER, *Adv. Mater.* 11 (1999) 384.
- [3] J. NIEDZIOLKA, M: OPALLO, *Electrochem: Commun.*, 10 (2008) 1445.

Projekt częściowo finansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego projekt badawczy N N204 054835.

MICHAŁ NOWAK¹, IZABELA FIRKOWSKA², MICHAEL GIERSIG²

WYKORZYSTANIE ELEMENTÓW NANOSTRUKTURALNYCH DLA WSPOMAGANIA PROCESU PRZEBUDOWY KOŚCI BELECZKOWEJ

NANOSTRUCTURED BONE-LIKE SCAFFOLDS FOR SUPPORTING THE TRABECULAR BONE REMODELING PROCESS

1 - Poznan University of Technology, Division of Machine Design Methods, ul.Piotrowo 3, 60-965 Poznan, Poland, e-mail: Michal.Nowak@put.poznan.pl

2 - Freie University Berlin, Department of Physics, Institute for Experimental Physics, Arnimallee 14, 14195 Berlin, Germany, e-mail: giersig@physik.fu-berlin.de

This paper presents the theoretical study about carbon nanotube substrates for tissue engineering and its applications. Because the replacement of bone tissue with artificial tissue can violate the remodeling process completely, the artificial material should not only consist of the same material properties, but also exhibit other characteristics which are equally important and need to be taken into consideration. These are above all the mechanosensation [1].

The developed trabecular bone remodeling simulation method responsible for the nanostructured scaffold behavior is implemented here [2]. Thus, the nanostructured bone-like scaffolds reflect the remodeling capability of the biological system, not only due to their application as replacement of natural tissue, but also due to their effects in the field of mechanosensation. Analysis of the possible role of the nanostructured scaffolds in the trabecular bone remodeling process was performed. The modification of the multiwalled carbon nanotubes [3] structure was proposed including the necessary technology.

The results of the work can be summarized as follows:

- The nanostructured bone-like scaffolds can behave like a real trabecular bone tissue
- The nano particles can act as bricks in the remodeling process
- Due to proved biocompatibility of MWNT-based structures it is possible to support remodeling process.

REFERENCES:

- [1] RUIJERMAN R. ET AL., *Modeling and remodeling in bone tissue Simulations*, Eindhoven, 2005.
- [2] NOWAK. M., *Structural optimization system based on trabecular bone surface adaptation*, *Journal of Structural and Multidisciplinary Optimization*, Springer Berlin / Heidelberg, 241-251, 2006.
- [3] FIRKOWSKA I. ET. AL., *Highly Ordered MWNT-based Matrices: Topography at the Nanoscale Conceived for Tissue Engineering*. *Langmuir* 22, 12, 2006.

MARIUSZ OLEKSY *, HENRYK GALINA *, MACIEJ HENECZKOWSKI *,
BEATA MOSSETY-LESZCZAK *, GRZEGORZ BUDZIK **

NANOKOMPOZYTY NA OSNOWIE ŻYWICY EPOKSYDOWEJ STOSOWANE W PRZEMYSŁE LOTNICZYM

EPOXY RESIN BASED NANOCOMPOSITES FOR AVIATION INDUSTRY

Politechnika Rzeszowska, *Wydział Chemiczny, Katedra Technologii i Materiałoznawstwa Chemicznego,
**Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Konstrukcji Maszyn, 35-083 Rzeszów, ul. W. Pola 2,
hgal@prz.edu.pl, molek@prz.edu.pl

W ostatnich latach pojawiły się liczne opracowania poświęcone technologiom otrzymywania kompozytów polimerów chemoutwardzalnych, zawierających modyfikowane (organofilizowane) bentonity. W takich kompozytach napelniacz jest zdyspergowany w matrycy polimerowej do cząstek (płytek) o grubości rzędu nanometrów, a zatem są one nanokompozytami. Dzięki uzyskaniu tak znacznego zdyspergowania cząstek bentonitu w matrycy polimerowej, nawet przy stosunkowo niewielkiej jego ilości (nieprzekraczającej ok. 5 % mas.) uzyskuje się wyraźną poprawę wielu właściwości kompozytu, w tym właściwości mechanicznych. Wykorzystując nasze wcześniejsze prace na temat modyfikacji bentonitów czwartorzędowymi solami amoniowymi (QAS) [1-3], postanowiliśmy rozszerzyć te badania tak, aby uzyskać efektywne nanonapelniacze do żywicy epoksydowej Epidian® 6 (EP6) poprawiające jej odporność na płomień. Przeprowadzono badania nad napelnianiem żywicy EP6 bentonitem Specjal (BS), modyfikowanym QAS oraz czwartorzędowymi solami fosfoniowymi (QPS). Przedstawiono wpływ sposobu i temperatury homogenizacji układów napelniacz-żywica na stopień rozsunienia płytek napelniaczy w kompozycie podczas ich przetwarzania. Udział modyfikowanych bentonitów zmieniano w zakresie 1,5-4,5 % mas. Oceniono właściwości uniepalniające otrzymanych nanokompozytów pod kątem ich wykorzystania w elementach konstrukcji lotniczych. Stwierdzono, że nanokompozyty żywicy EP6 z dodatkiem BS modyfikowanego QPS posiadały znacznie lepszą odporność na płomień, niż nanokompozyty EP6 z dodatkiem BS modyfikowanego QAS. Oznaczone wartości indeksu tlenowego (LOI) wahały się w zakresie, odpowiednio, od 28,4 do 30,1 i od 26,3 do 27,1. Uzyskane wyniki badań należy uznać za zadowalające w obu przypadkach, gdyż indeks tlenowy (minimalna procentowa zawartość tlenu w mieszaninie z azotem, podtrzymująca palenie) dla czystej (utwardzonej) żywicy EP6 wyniósł tylko 15,4.

LITERATURA:

- [1] OLEKSY M., HENECZKOWSKI M., GALINA H., *Chemosetting Resins Containing Fillers. I. Unsaturated Polyester Resin Compositions Containing Modified Smectites*, Journal of Applied Polymer Science, 2005, vol.3, 793-804
- [2] OLEKSY M., HENECZKOWSKI M., GALINA H., *Kompozyty żywicy epoksydowej zawierające modyfikowane bentonity*, Polimery, 2006, vol.51, 799-809
- [3] OLEKSY M., HENECZKOWSKI M., MOSSETY-LESZCZAK B., GALINA H., BUDZIK G., *Uniepalnione kompozyty żywicy epoksydowej*, Inżynieria Materiałowa, 2010, vol.5, przyjęta do druku

Praca finansowanego z funduszy UE w ramach programu operacyjnego „Innowacyjna Gospodarka” – pt. „Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym”. Zadanie Badawcze nr 6 „Materiały kompozytowe o zwiększonej wytrzymałości i odporności termicznej z wykorzystaniem żywic polimerowych do zastosowań w lotnictwie”.

MARIUSZ OLEKSY *, HENRYK GALINA *, MACIEJ HENECZKOWSKI *,
BEATA MOSSETY-LESZCZAK *, GRZEGORZ BUDZIK **

NANOKOMPOZYTY NA OSNOWIE ŻYWIC CHEMOUTWARDZALNYCH STOSOWANE W TECHNOLOGII ODLEWANIA PRÓŻNIOWEGO

CHEMOSETTING RESIN BASED NANOCOMPOSITES USED IN VACUUM CASTING TECHNOLOGY

Politechnika Rzeszowska, *Wydział Chemiczny, Katedra Technologii i Materiałoznawstwa Chemicznego,
**Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Konstrukcji Maszyn, 35-083 Rzeszów, ul. W. Pola 2,
hgal@prz.edu.pl, molek@prz.edu.pl

Wytwarzanie nowoczesnych produktów wymaga stosowania innowacyjnych rozwiązań w zakresie projektowania, technologii wykonania oraz inżynierii materiałowej. Prace badawcze w zakresie innowacyjnych materiałów mogą podążać w kierunku otrzymania materiałów o zupełnie nowych właściwościach lub poprawy właściwości użytkowych znanych materiałów, np. ich parametrów wytrzymałościowych. Praca ta jest kontynuacją badań [1-3] nad możliwością zastosowania w technologii odlewania próżniowego (Vacuum Casting, VC) nanokompozytu na osnowie nienasyconych żywic poliestrowych (UP), zawierających jako nanonapełniacz - bentonit modyfikowany IV-rzędową solą amoniową (QAS).

Na podstawie uzyskanych wyników badań zaobserwowano, że dodatek bentonitów, zarówno niemodyfikowanych, jak i modyfikowanych QAS spowodował wzrost wytrzymałości na rozciąganie, udarności i twardości badanych kompozytów. W przypadku kompozytów UP z dodatkiem niemodyfikowanego bentonitu poprawa właściwości wytrzymałościowych była nieznaczna i dla naprężenia przy zerwaniu, udarności i twardości wzrost nie przekraczał ok. 12%, w stosunku do czystej UP. Wyraźną poprawę właściwości mechanicznych zaobserwowano dopiero w przypadku nanokompozytów z dodatkiem bentonitów modyfikowanych IV-rzędowych solą amoniową (QAS). Najlepsze rezultaty uzyskano dla nanokompozytów na osnowie nienasyconej żywicy poliestrowej Polimal® 103 GL z dodatkiem bentonitu Specjal modyfikowanego QAS. Dla tych nanokompozytów poprawa właściwości wytrzymałościowych wyniosła średnio dla naprężenia przy zerwaniu o 87%, udarności wg Charpy'ego o 112% i twardości wg Brinella o 58%.

LITERATURA:

- [1] OLEKSY M., HENECZKOWSKI M., GALINA H, *Chemosetting Resins Containing Fillers. I. Unsaturated Polyester Resin Compositions Containing Modified Smectites*, Journal of Applied Polymer Science, 2005, vol.3, 793-804
- [2] OLEKSY M., BUDZIK G, HENECZKOWSKI M., *Hybrid polymer composites for rapid prototyping of gears*, Polimery, 2010, vol.55, 403-407
- [3] BUDZIK G, *Possibilities of Using Vacuum Casting Process for Manufacturing Cast Models of Turbocharger Impeller*, Journal of KONES Powertrain and Transport, 2007, vol.14, 125-130

Praca finansowana z funduszy UE w ramach programu operacyjnego „Innowacyjna Gospodarka” – pt. „Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym”. Zadanie Badawcze nr6 „Materiały kompozytowe o zwiększonej wytrzymałości i odporności termicznej z wykorzystaniem żywic polimerowych do zastosowań w lotnictwie”.

VII
LAB-ON-A-CHIP, NANOMEDYCZYNA

ANNA GÓRECKA-DRZAZGA, BARTŁOMIEJ CICHY, JAN A. DZIUBAN

**POLOWE ŹRÓDŁA ŚWIATŁA DLA MIKROURZĄDZEŃ TYPU
LAB-ON-A-CHIP****FIELD EMISSION LIGHT SOURCES FOR LAB-ON-A-CHIP
MICRODEVICES**

Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Politechnika Wrocławska,
ul. Janiszewskiego 11/17 50-372 Wrocław
e-mail: anna.gorecka-drzazga@pwr.wroc.pl; bartlomiej.cichy@pwr.wroc.pl; jan.dziuban@pwr.wroc.pl

W pracy przedstawiono wyniki badań, które są prowadzone nad wykonaniem miniaturowego źródła światła zgodnego technologicznie z krzemowo-szklanymi oraz/lub szklanymi mikrosystemami typu μ TAS. μ TAS-y (biochipy, lab-on-a-chipy) są to urządzenia mikrofluidyczne (mikroprzepływowe) przeznaczone do prowadzenia różnych reakcji oraz analiz chemicznych i biochemicznych w mikroskali. Do kontroli przebiegu oraz analizy wyniku reakcji biochemicznych stosowane są zwykle metody optyczne. Najbardziej popularną metodą detekcji jest metoda spektrofluorymetryczna. Technika ta wymaga zastosowania źródła światła wzbudzającego fluorescencję barwników (fluorochromów), którymi jest znakowana badana próbka. W urządzeniach standardowych (makroskala) jako źródła wzbudzające stosowane są lasery. Miniaturyzacja systemu analitycznego wymaga opracowania zarówno mikrouządzenia fluidycznego jak i miniaturowego systemu detekcji.

Koncepcja budowy miniaturowego źródła światła zakłada wykorzystanie zjawiska emisji polowej elektronów z nanomateriałów węglowych w celu wzbudzenia luminescencji w luminoforach tlenkowych. Jako nanomateriał węglowy, zastosowano nanorurki węglowe. Ich unikalne właściwości geometryczne (średnica ok. kilka nanometrów, długość ok. kilka mikrometrów), pozwalają na znaczne zwiększenie lokalnego natężenia pola elektrycznego. Zastosowanie nanorurek węglowych otwiera możliwość wykorzystania zjawiska emisji polowej w konstrukcji niskonapięciowych miniaturowych źródeł światła pracujących przy napięciach poniżej 1kV. Katodę opisywanego źródła wykonano w dwóch wersjach różniących się rodzajem wykorzystanego podłoża, z zastosowaniem technik mikroobróbki (*micromachining*). W wersji pierwszej, katodę wytworzono na podłożu krzemowym, natomiast w wersji drugiej na podłożu szklanym. Oba podłoża poddano procesom fotolitografii i głębokiego, mokrego trawienia w celu wytworzenia przestrzennych wzorów definiujących obszar katody. Powierzchnię katod modyfikowano przez elektroforetyczne osadzanie wielościennych nanorurek węglowych. Anodę źródła wykonano na podłożu szklanym. Na powierzchni szkła uformowano przezroczystą elektrodę w postaci cienkiej warstwy tlenku indowo-cynowego, który w dalszej kolejności pokrywano cienką warstwą luminoforu (metodą elektroforetyczną). Wzbudzenie katodoluminescencji w niskonapięciowych źródłach światła wiąże się z wymogiem zastosowania luminoforów, których właściwości pozwalają na efektywną pracę w obecności elektronów niskoenergetycznych. W związku z powyższym opracowano luminofory tlenkowe domieszkowane jonami ziem rzadkich ($\text{Re:Y}_2\text{O}_3$ $\text{Re} = \text{Eu}^{3+}, \text{Tb}^{3+}$), uznawane obecnie za najbardziej obiecujące materiały luminescencyjne przeznaczone do pracy w warunkach niskonapięciowej emisji polowej. Wykonane luminofory charakteryzowały się strukturą nanokrystaliczną oraz wąskimi liniami emisyjnymi.

Katodę i anodę połączono metodą bondingu elektrostatycznego w próżni i zbadano parametry emisyjne wykonanego źródła. Uzyskano emisję światła przy napięciu powyżej 300 V oraz zadowalającą wydajność prądową (ok. $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ przy napięciu 800 V). Stwierdzono, że możliwe jest wykorzystanie opracowanych źródeł w mikrouządzeniach analitycznych typu μ TAS oraz, że możliwa jest ich pełna integracja.

Praca była finansowana z funduszu badań statutowych Politechniki Wrocławskiej oraz projektu badawczego promotorskiego nr N N515 336636.

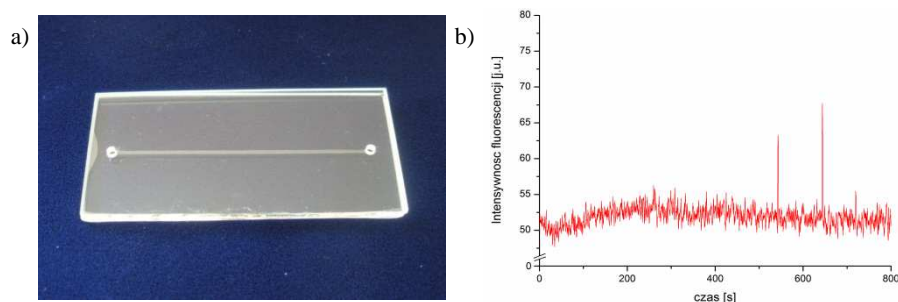
WOJCIECH KUBICKI, RAFAŁ WALCZAK, JAN DZIUBAN

**LABORATORIUM CHIPOWE DO KAPILARNEJ ELEKTROFOREZY
ŻELOWEJ DNA****LAB-CHIP FOR CAPILLARY GEL ELECTROPHORESIS OF DNA**

Politechnika Wroclawska, Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki,
Zakład Mikroinżynierii i Fotowoltaiki, ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław
wojciech.kubicki@pwr.wroc.pl, rafal.walczak@pwr.wroc.pl, jan.dziuban@pwr.wroc.pl

Elektroforeza żelowa należy do najczęściej stosowanych metod analizy materiału genetycznego, w szczególności wykrywania potencjalnie onkogennych mutacji genetycznych. Przeprowadzenie kapilarnej elektroforezy żelowej DNA z wykorzystaniem detekcji fluorymetrycznej pozwala na skrócenie czasu analizy oraz poprawę czułości metody. W świecie trwają prace nad lab-chipami mikrofluidycznymi do przeprowadzania elektroforezy żelowej kapilarnej z układami detekcji fluorymetrycznej. Ta praca włącza się w nurt badań nad takimi lab-chipami.

W artykule przedstawiono szklany chip mikrofluidyczny do kapilarnej elektroforezy żelowej DNA (Rys. 1a), wykorzystujący miniaturowy układ detekcji fluorymetrycznej z kamerą CCD. Kanał mikrofluidyczny chipu, o przekroju $260\ \mu\text{m} \times 30\ \mu\text{m}$ i długości 30 mm, wykonano w podłożu ze szkła borokrzemowego metodą izotropowego trawienia mokrego. Strukturę połączono z drugim podłożem, zawierającym otwory dolotowe o średnicy 0.75 mm, w jednym procesie bondingu temperaturowego. Kanał mikrofluidyczny wypełniono poliakrylamidowym żelem elektroforetycznym i przeprowadzono elektroseparację mieszaniny fragmentów DNA spermy łososia, oznaczonych barwnikiem fluorescencyjnym (TO-PRO-3). Zarejestrowano poprawną separację DNA, obserwując zmianę intensywności sygnału fluorescencji w funkcji czasu w obszarze detekcji chipu (elektroferogram, Rys. 1b).



Rys. 1. Lab-chip i jego praca: a) chip szklany gotowy do pracy, b) przykład elektroferogramu dla DNA spermy łososia (polaryzacja 800 V, prąd elektroforezy $30\ \mu\text{A}$)

PATRYCJA SZCZEPAŃSKA¹, RAFAŁ WALCZAK¹, JAN DZIUBAN¹,
MARTA JACKOWSKA², BARTOSZ KEMPISTY³, P. ANTOSIK², J. JAŚKOWSKI²

LAB-CHIP DO JAKOŚCIOWEJ OCENY OOCYTÓW BYDLĘCYCH

LAB-CHIP FOR QUALITY CLASSIFICATION OF BOVINE OOCYTES

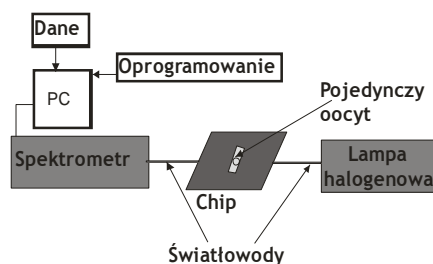
¹ Politechnika Wrocławska, Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Zakład Mikroinżynierii i Fotowoltaiki, patrycja.szczepanska@pwr.wroc.pl, rafal.walczak@pwr.wroc.pl, jan.dziuban@pwr.wroc.pl

² Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Hodowli i Biologii Zwierząt, Katedra Weterynarii, jackowska.m@interia.pl, jasko@au.poznan.pl

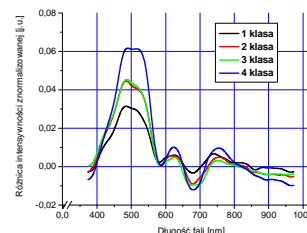
³ Uniwersytet Medyczny w Poznaniu, Katedra Histologii i Embriologii, etok@op.pl

Istotnym problemem gospodarczym i naukowym jest opracowanie jednoznacznej metody oceny jakości komórek rozrodczych (oocytów) zwierząt hodowlanych w celu np. zmiany profilu hodowli bydła z mlecznej na mięsna. Obecnie stosowana metoda oceny oocytów polega na obserwacji pod mikroskopem ich cech morfologicznych. Metoda ta nie jest obiektywna i nie zapewnia spodziewanej poprawy jakości zwierząt.

Wykorzystując technikę mikroinżynierii skonstruowano lab-chip umożliwiający nieinwazyjną ocenę jakości oocytów bydłych metodą spektrofotometryczną. Układ pomiarowy zawiera chip krzemowo-szklany ze zintegrowanymi światłowodami, lampę halogenową, spektrometr oraz komputer z odpowiednim oprogramowaniem (Rys. 1). W lab-chipie pojedynczy oocyt jest unieruchamiany w optycznym torze pomiarowym precyzyjnie pomiędzy końcami dwóch światłowodów. Jeden ze światłowodów jest połączony z miniaturową lampą halogenową, a drugi z miniaturowym spektrometrem VIS/NIR. Przeprowadzono pomiar spektrum transmisji oocytów bydłych podzielonych na cztery klasy morfologiczne. Uzyskane charakterystyki (Rys. 2) pokazują zróżnicowanie sygnałów optycznych pomiędzy badanymi klasami umożliwiające określenie jakości tych oocytów. Uzyskane wyniki otwierają drogę do budowy instrumentarium dla nowej metody oceny jakościowej oocytów/zarodków zwierząt hodowlanych.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego



Rys. 2. Charakterystyki spektralne oocytów bydłych

Prace są realizowane w ramach projektu APOZAR, POIG 01.03.01-00-014/08-02.

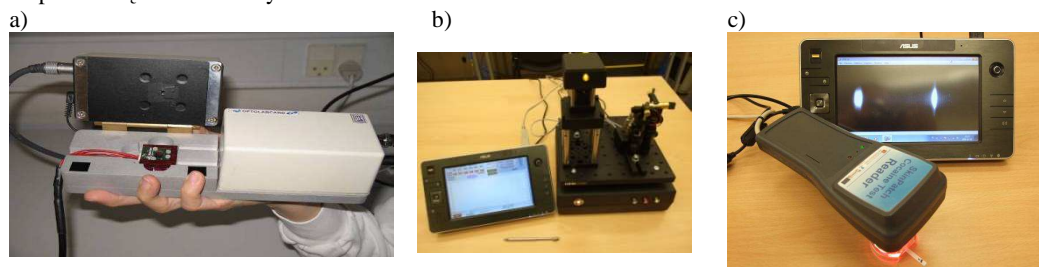
RAFAŁ WALCZAK

DETEKCJA OPTYCZNA W LAB-CHIPACH**OPTICAL DETECTION IN LAB-ON-A-CHIP**

Politechnika Wrocławska, Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Zakład Mikroinżynierii i Fotowoltaiki, ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław
Instytut Technologii Elektronowej, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa
e-mail: rafal.walczak@pwr.wroc.pl

Miniaturowe laboratoria na chipie, zwane powszechnie lab-on-a-chip (lab-chip), wykorzystujące detekcję optyczną są od wielu lat rozwijane w Polsce, w tym w Zakładzie Mikroinżynierii i Fotowoltaiki Politechniki Wrocławskiej. W pracy tej przedstawiony zostanie, na podstawie prac własnych, przegląd wybranych rozwiązań techniczno-technologicznych lab-chipów i układów detekcji optycznej wykorzystujących metodę optyczną: spektrofotometryczną i fluorymetryczną.

Przedstawione zostaną konstrukcje krzemowo-szklanych lab-chipów umożliwiających detekcję spektrofotometryczną mikro- i nano-objętości cieczy, znajdujące zastosowanie np. w chemii analitycznej lub do wykrywania fałsyfikacji win. Omówione zostaną przykładowe rozwiązania umożliwiające ocenę parametrów optycznych pojedynczych komórek rozrodczych zwierząt hodowlanych w kierunku obiektywnej jakościowej oceny tych komórek (opracowanie w ramach projektu POIG MNS-DIAG/APOZAR). Szczególna uwaga zostanie zwrócona na opracowane w ramach dwóch projektów europejskich 6. PR OPTOLABCARD i 7. PR LABONFOIL lab-chipy i kompletne miniaturowe instrumenty do detekcji fluorymetrycznej współpracujące z tymi lab-chipami. Przedstawiony zostanie przenośny system do detekcji patogenów żywności (bakterii *Salmonella* i *Campylobacter*) wykorzystujący polimerowo-szklany jednorazowy lab-chip współpracujący z nowatorskim systemem detekcji optycznej (rys. 1a). Zaprezentowane zostaną wyniki badań nad instrumentem do wieloparametrycznego wykrywania bakterii, markerów nowotworów lub zanieczyszczenia wód morskich i oceanicznych wykorzystujący wielobarwny układ detekcji fluorymetrycznej (rys. 1b). Opisany zostanie instrument do wykrywania kokainy (lub jej metabolitu) w pocie zawodowego kierowcy – narkometr – wykorzystujący metodę fluorymetryczną i spełniający najnowsze zalecenia Komisji Europejskiej w zakresie progu detekcji kokainy w organizmie człowieka (rys. 1c). Opracowanie wymienionych urządzeń jest możliwe dzięki połączeniu najnowszych osiągnięć z biotechnologii, techniki lab-chip i rozwiązań technicznych.



Rys. 1. Widok instrumentów wykorzystujących detekcję fluorymetryczną w lab-chipach: a) analizator DNA do wykrywania patogenów żywności (6. PR OPTOLABCARD), b) system wielobarwny do wieloparametrycznej analizy materiału genetycznego (7. PR LABONFOIL), c) detektor metabolitu kokainy w próbce potu kierowcy zawodowego (7. PR LABONFOIL)

E. WITKOWSKA¹, P. CIOSEK¹, M. CHUDY¹, K. ŻUKOWSKI¹,
E. JĘDRYCH¹, A. MICHALSKA², W. WRÓBLEWSKI¹

MINIATUROWY UKŁAD PRZEPLYWOWY DO POMIARÓW MATRYCY ELEKTROD Z MEMBRANAMI POLIAKRYLOWANYMI

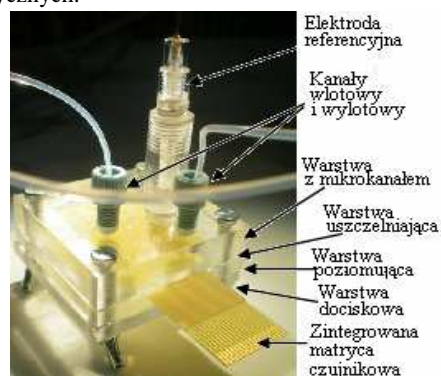
MINIATURIZED FLOW SYSTEM FOR THE MEASUREMENTS OF ELECTRODES WITH POLYACRYLATE MEMBRANES

¹Politechnika Warszawska, Wydział Chemiczny, Zakład Mikrobiologii, Instytut Biotechnologii,
ul. Noakowskiego 3, 00-661 Warszawa;

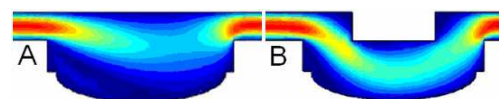
²Uniwersytet Warszawski, Wydział Chemii, ul. Pasteura 1, 02-093 Warszawa;
wiemila@gmail.com

Analiza przepływowa w układach typu Lab-on-a-chip charakteryzuje się właściwościami pożądanymi w chemii analitycznej. Umożliwia redukcję kosztów badań dzięki obniżeniu zużycia próbki i odczynników, pełną automatyzację pomiaru, a ze względu na rozmiar kanałów i przestrzeni reakcyjnych także wykorzystanie zjawisk fizycznych trudnych do uzyskania w większej skali.

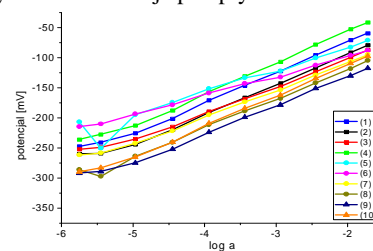
W niniejszej pracy przedstawiono miniaturowy układ przepływowy [Rys.1] do pomiarów potencjometrycznych z zastosowaniem zintegrowanej, potencjometrycznej matrycy czujnikowej [1]. Całość układu, poza warstwą uszczelniającą, wykonano z PMMA. Pierwsze symulacje przepływu płynu w mikrokanale wskazywały na to, że ciecz nie dociera do powierzchni jonoselektywnej membrany, którą pokryte są elektrody [Rys.2A]. W związku z tym zaprojektowano kanał z mikroprogami umieszczonymi nad powierzchniami elektrod, które wyraźnie poprawiły profil przepływu [Rys.2B]. Membrany czujników potencjometrycznych zostały wykonane z poliakrylanów [2] z dodatkiem składników elektroaktywnych (jonofor K^+ , KTFPB). Krzywe kalibracji elektrod jonoselektywnych tworzących matrycę czujnikową przedstawiono na Rys. 3. Otrzymane czujniki charakteryzowały się właściwą czułością, zakresem liniowości oraz selektywnością, co świadczy o prawidłowym zaprojektowaniu miniaturowego układu do pomiarów potencjometrycznych.



Rys. 1 Zaprojektowany układ pomiarowy



Rys. 2 Wizualizacja przepływu w mikrokanale



Rys. 3 Przykładowa krzywa kalibracji

LITERATURA:

- [1] P. CIOSEK, W. WRÓBLEWSKI, *Talanta*, 2008, 76, 548-556
- [2] M. LYCZEWSKA, M. KAKIETEK, K. MAKSYMIOUK, J. MIECZKOWSKI, A. MICHALSKA, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2010, 146, 283-288

KRZYSZTOF DOMAŃSKI, ANNA BARANIECKA, MAGDALENA EKWIŃSKA,
PAWEŁ JANUS, PIOTR PROKARYN, ANDRZEJ SIERAKOWSKI,
DARIUSZ SZMIGIEL, MICHAŁ ZABOROWSKI, PIOTR GRABIEC

PROCESY WYTWARZANIA MIKROSYSTEMÓW DLA ZASTOSOWAŃ W DIAGNOSTYCE BIOMEDYCZNEJ

MANUFACTURING PROCESSES OF MICROSYSTEMS FOR APPLICATIONS IN BIOMEDICAL DIAGNOSTICS

Instytut Technologii Elektronowej, Al. Lotników 23/46, 02-668 Warszawa
e-mail: kdoman@ite.waw.pl

Mikrosystemy wytwarzane w oparciu o technologię krzemową znajdują szerokie zastosowanie zarówno w motoryzacji, jak i w chemii, biologii czy medycynie. W ramach projektu MNS-DIAG opracowywane są przyrządy stanowiące elementy instrumentów analityczno-diagnostycznych służących m.in. do badania cech stanu organizmu człowieka, wykrywania środków psychotropowych, badania wydzielin ustrojowych, hodowli komórkowych, czy wykrywania bakterii. W artykule przedstawiono procesy technologiczne mikroinżynierii krzemowej wykorzystane do wytwarzania mikrosystemów opracowywanych w ramach tego projektu. Kluczowymi procesami wytwarzania omawianych mikrosystemów są m.in.: głębokie plazmowe trawienie krzemu, procesy łączenia płytek podłożowych z innymi płytkami krzemowymi, ceramicznymi lub szklanymi oraz procesy elektrochemicznego osadzania metali szlachetnych.

Jednym z charakterystycznych procesów w technologii mikrosystemów jest głębokie plazmowe trawienie podłoża krzemowego. W procesach tych istotne są wymagania dotyczące profilu ścian bocznych, stopnia chropowatości powierzchni i kształtu krawędzi trawionych struktur. Najlepsze wyniki trawienia metodą RIE (Reactive Ion Etching) uzyskiwane są w reaktorach wyposażonych w źródło plazmy o dużej gęstości (ICP – Inductively Coupled Plasma). W artykule opisane są przykłady wykorzystania procesu trawienia w warunkach kriogenicznych oraz tzw. procesu Bosch prowadzonego jest w temperaturze pokojowej do wytwarzania elementów prekoncentratora gazów oraz instrumentu diagnostycznego do kwalifikacji jakościowej zarodków bydłych. Do wytworzenia wymienionych przyrządów niezbędny jest również proces łączenia płytek podłożowych. Zależnie od wymagań materiałowych oraz konstrukcyjnych, takich jak wytrzymałość mechaniczna połączenia, hermetyczność zamkniętych komór czy przezroczystość elementów struktury konieczne jest stosowanie różnych technik łączenia płytek podłożowych: bondingu anodowego, eutektycznego, bezpośredniego lub bondingu za pomocą warstwy szkliwa lub warstwy klejącej. W artykule porównano wyniki łączenia płytek podłożowych metodami bondingu eutektycznego i anodowego.

Innym typowym procesem w technologii mikrosystemów jest elektrochemiczne osadzenie metali szlachetnych (np. na powierzchni elektrod stymulujących). Proces elektroosadzania złota przeprowadzany jest w temperaturze 65°C. Źródłem jonów jest roztwór cyjanozłocinu potasu $\text{KAu}(\text{CN})_2$ a stosowanie roztrawialnej złotej katody zapewnia uzupełnianie niedoboru jonów złota w roztworze. W mikrosystemach wykorzystywanych w pomiarach elektrochemicznych konieczne bywa wytwarzanie również warstw srebra i chlorku srebra. Warstwy srebra osadzane są w temperaturze pokojowej w roztworze cyjanku srebrowo-potasowego $\text{KAg}(\text{CN})_2$ wykorzystując siatkową katodę Ti/Pt. Wytwarzanie warstw AgCl polega na chlorowaniu srebra w wodnym roztworze HCl. Procesy elektrochemicznego osadzania metali przedstawiono na przykładzie wytwarzania mikroelektrod do pomiarów potencjometrycznych i amperometrycznych.

Podziękowania

Projekt Mikro- i Nano-Systemy w Chemii i Diagnostyce Biomedycznej MNS DIAG (WND-POIG.0 1.03.01-00-014/08) jest finansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka

TOMASZ KOWALCZYK*, TOMASZ A.KOWALEWSKI

LIVING ORGANISMS AND CELLS ELECTROSPINNING

Institute of Fundamental Technological Research Polish Academy of Sciences, IPPT PAN,
Department of Mechanics and Physics of Fluids
Pawinskiego 5B, 02-106 Warsaw
tkowalcz@ippt.gov.pl

Authors present an attempt to explore the possibility of formation “pseudo-tissues” – living cells deposited in organized manner. The nanofibers can mimic the extracellular collagen matrix (ECM) that is treated by the cells as their native environment. The materials used to form a scaffold was poly(lactic acid) that biodegradates to form a natural metabolite lactic acid. The system is supposed to mimic the natural tissue and the purpose of it is to be used in a regenerative medicine. The method used was formation of a reverse emulsion (water in oil) formation and subsequent electrospinning. The suspension of a living cells served as a water phase. Micro and nanofibers with vesicles that contained living eukaryotic organisms – bakery yeast or human cells – erythrocytes, were obtained by the emulsion electrospinning method. The resultant “*pseudo-tissues*” were subjected to a viability/survival test provided by fluorescence staining and microscope observation.

VIII
NANO I MIKROPRZEPLYWY

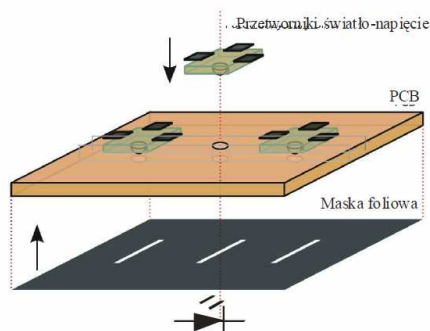
SŁAWOMIR JAKIEŁA, OLGIERD CYBULSKI, PIOTR GARSTECKI

AUTOMATYZACJA EKSPERYMENTÓW MIKROPRZEPŁWOWYCH**AUTOMATIZATION OF MICRO-FLOW EXPERIMENTS**

Instytut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk, ul. Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa
slawomirjakiela@gmail.com, olgierd.cybulski@gmail.com, garst@ichf.edu.pl

Automatyzacja eksperymentów daje duże możliwości badawcze, ze względu na oszczędność czasu, wielokrotną liczbę powtórzeń, zminimalizowanie wartości błędu pomiarowego, czy łatwość w odtworzeniu pomiaru [1,2]. Praca ta przedstawia całkowicie zautomatyzowane stanowisko pomiarowe, dzięki któremu można studiować zachowania się kropli w układach mikroprzepływowych. Dokładna znajomość zjawisk rządzących przepływem kropli w mikrokanalach da podstawy do konstrukcji mikrolaboratoriów do analizy chemicznej, czy biologicznej.

W eksperymencie wykorzystano układ mikroprzepływowy o średnicy kanału 200µm wyfrezowany w poliwęglanie, który w wyniku modyfikacji chemicznej [3] został sklejony. Na tak przygotowaną płytkę z jednej strony naklejono zestaw miniaturowych przetworników światło-napięcie o dużej czułości, a na drugą stronę w komplementarnych miejscach diody, które miały na celu oświetlenie kanału, poprzez maskę foliową, bezpośrednio pod czujnikami (rys.1). Wykorzystano również zestaw manometrów i zaworów elektromagnetycznych sterujących przepływem kropli w układzie, w celu produkcji 'kropli na żądanie'. Detekcja przepływającej kropli w mikrokanale została przeprowadzana przez specjalnie oprogramowany 32-bitowy mikroprocesor AVR, który odczytywał napięcia na kanałach analogowo-cyfrowych z częstotliwością 100kHz. Zaworami sterował komputer za pomocą programu napisanego w środowisku LabView, który również odpowiadał za archiwizację odczytywanych danych z mikroprocesora i manometrów.



Rys. 1 Schemat układu pomiarowego.

Tak przygotowany eksperyment pozwolił wyznaczyć dokładną zależność prędkości kropli od jej długości, a także jej opór hydrodynamiczny w mikrokanale.

LITERATURA:

- [1] PETROPOULOS A., KALTSAS G., RANDJELOVIC D., GOGOLIDES E., *Study of flow and pressure field in microchannels with various cross-section areas*, Microelectronic Engineering 87, 2010, 827-829

-
- [2] PETRAK D., RAUH H., *Micro-flow metering and viscosity measurement of low viscosity Newtonian fluids using a fibreoptical spatial filter technique*, Flow Measurement and Instrumentation 20, 2009, 49-56
- [3] OGOŃCZYK D., WĘGRZYN J., JANKOWSKI P., DĄBROWSKI B., GARSTECKI P., *Bonding of microfluidic devices fabricated in polycarbonate*, Lab on Chip, 2010, DOI: 10.1039/b924439e (w druku)

MALGORZATA KMIOTEK ANNA KUCABA-PIETAL

WPLYW GEOMETRII PRZESZKODY NA ŚCIANCE NA PRZEPLYW W MIKROKANALE

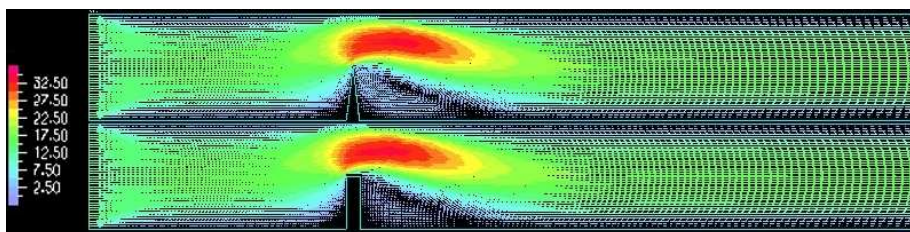
EFFECT OF WALL OBSTACLE SHAPE ON MICROCHANNEL FLOW

Politechnika Rzeszowska, Zakład Mechaniki Płynów i Aerodynamiki,
e-mail: kmimal@prz.edu.pl
anpietal@prz.edu.pl

Konstrukcje mikrokanalów z przeszkodami na ścianie są stosowane m.in. we współczesnych wymiennikach ciepła. Optymalizacja pod względem przepływowym takiej konstrukcji wpływa na jego efektywność.

Rozpatrywano zagadnienie dwuwymiarowego, laminarnego przepływu płynu w mikrokanale o szerokości $H = 40 \cdot 10^{-6}$ m. Badano wpływ kształtu przeszkody umieszczonej na ścianie mikrokanalu oraz jej geometrii na obraz przepływu. Rozwiązania równań Naviera-Stokesa otrzymano metoda elementów skończonych z wykorzystaniem pakietu ADINA-F [1]. Analizowano przepływy dla przeszkód o kształcie prostokątnym oraz trójkątnym dla różnej ich geometrii. Obliczenia przeprowadzono dla 3 liczb Reynoldsa: 30, 60, 100, 400 i czterech szerokości przeszkody: $s = 1, 3, 5 \cdot 10^{-6}$ m.

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono rozkłady prędkości dla $Re = 30$ oraz $Re = 100$



Rys 1. Wektory prędkości v (m/s) dla $Re=30$, przeszkoda o szerokości $s = 5 \cdot 10^{-6}$ m i kształcie
a) trójkąta b) prostokąta

Wyniki wstępnych obliczeń numerycznych pokazują, że kształt przeszkody i jego geometria wpływają na obraz przepływu dopiero dla $Re > 100$. Wzrost liczby Reynoldsa wydłuża strefę bezpośrednich zaburzeń za przeszkodą.

Dla przeszkód o kształcie prostokątnym zwiększanie ich szerokości powoduje silniejsze zmiany pola prędkości niż dla przeszkód trójkątnych.

LITERATURA:

- [1] ADINA - F TUTORIAL
- [2] REZA K.; *Simulation of flow in Continuum-Transition Regime in Stepped-Microchannels Using Burnett Equations*, ICNMM2008-62150, Darmstadt, Germany 2008

PIOTR KORCZYK^{1,2}, MONIKA PYŻALSKA^{1,3}, SYLWIA MAKULSKA¹,
PIOTR GARSTECKI^{*1}

OD MIKRO DO MILIPRZEPLYWÓW

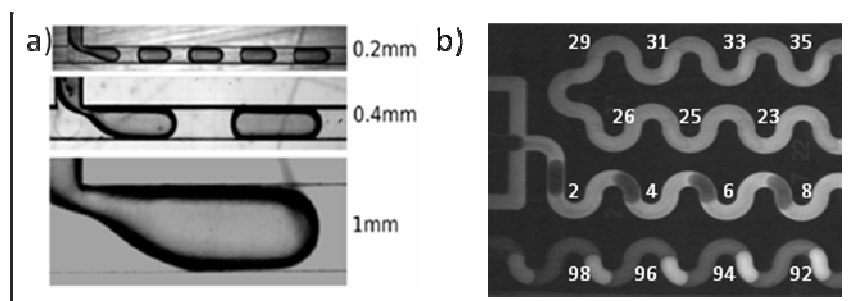
UP-SCALING MICROFLUIDICS

¹Instytut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk, ul. Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa

²Instytut Podstawowych problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, Pawińskiego 5B, 02-106 Warszawa

³Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego, ul. Dewajtis 5, 01-815 Warszawa
garst@ichf.edu.pl

Prezentujemy wyniki z szeregu eksperymentów mających na celu charakteryzację procesów i) tworzenia kropli, ii) mieszania pasywnego w kropli oraz iii) ekstrakcji jako procesu obrazującego transfer międzyfazowy, w zależności od wielkości kanałów oraz szybkości przepływu obu faz. W eksperymencie wykorzystano układy o średnicy kanałów od 100 μm do 4 mm, tworzące krople techniką flow-focusing oraz T-junction.



Rys. 1 Mikrofotografie a) tworzenie kropli w układach T-junction o kwadratowym przekroju kanałów (skala zachowana) b) wycinek układu do ekstrakcji fluoresceiny z fazy ciągłej (1-oktanol) do fazy zdyspergowanej (woda) – w miarę zachodzenia procesu krople stają się coraz jaśniejsze.

Zainteresowanie tworzeniem mini-laboratoriów przepływowych opartych o reakcje wewnątrz kropeł podyktowane jest następującymi atrakcyjnymi cechami takich układów: i) małe objętości zużywanych reagentów [1], ii) duży stosunek powierzchni do objętości kropli korzystnie wpływający na szybkość procesów zależących od transferu międzyfazowego (np. ekstrakcja) [2], iii) szybkim mieszanii (w skali milisekund) [3] oraz iv) braku dyspersji czasu przebywania w układzie reakcyjnym [4].

Motywacją do przeprowadzenia eksperymentów na układach powiększonych (nawet do 4mm), było stworzenie układów wysokoprzepustowych, które jednocześnie zachowują właściwości układów mikroprzepływowych i będą stanowić atrakcyjne rozwiązanie technologiczne na potrzeby syntezy wielkoskalowej.

Przeprowadzone przez nas eksperymenty miały na celu znalezienie odpowiedzi na następujące pytania. Jaka jest graniczna wielkość kanałów powyżej, której układy powiększone nie wykazują właściwości charakterystycznych dla układów mikroprzepływowych? Jak te właściwości zmieniają się wraz ze zwiększaniem kanałów o rząd wielkości oraz prędkości przepływów o dwa rzędy wielkości? Gdzie znajduje się złoty środek między wysoką przepustowością, a kontrolą oferowaną przez mikroprzepływy?

LITERATURA:

- [1] H. A. STONE, A. D. STROOCK, A. AJDARI, *Ann Rev Fluid Mech* 36, 381-411 (2004)
- [2] P. MARY, V. STUDER, P. TABELING, *Analytical Chemistry*, 2008.**80**(8): p. 2680-2687.
- [3] H. SONG, R.F. ISMAGILOW, *J. Am. Chem. Soc.*, 2003. **125**(47): p. 14613-14619.
- [4] T. VAN GERYEN, A. STANKIEWICZ, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2009. **48**(5): p. 2465-2474.

TOMASZ A. KOWALEWSKI, DIANA LAMPARSKA, KRZYSZTOF SADLEJ,
ELIGIUSZ WAJNRYB, MARIA L. EKIEL-JEZEWSKA

NANOFIBRES IN THE MICROCHANNEL FLOW

IPPT PAN, Pawinskiego 5B, 02-106 Warszawa
E-mail: tkowale@ippt.gov.pl

The paper aims to create an experimental model allowing to obtain quantitative data on hydrodynamics of nano and microfilaments suspended in a confined Poiseuille flow. The experimental data obtain for short nanofibres should help to elucidate fundamental questions about mobility and deformation of biological macromolecules due to hydrodynamic stresses from the surrounding fluid motion. Nanofibres suspended in the microchannel flow are obtained by electrospinning polymer solutions. Their typical dimensions are 100-1000 μm (length) and 0.1-1 μm (diameter).

Typical for macromolecules folding and unfolding sequences are observed and correlated with local flow gradients. This behaviour is compared with predictions of the Stokesian bead-spring model modelling dynamic behaviour of the fibre suspended in a Poiseuille flow inside a microchannel made of two infinite parallel walls.

SYLWIA MAKULSKA, SŁAWOMIR JAKIEŁA, PIOTR KORCZYK,
PIOTR GARSTECKI

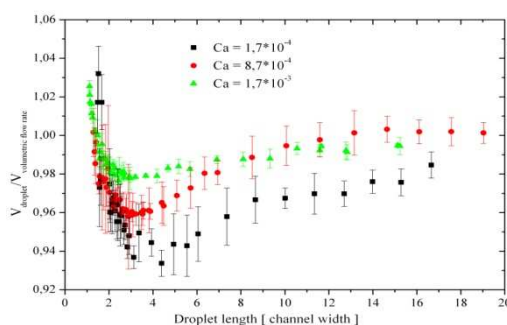
SZYBKOŚĆ KROPLI W KANAŁACH UKŁADÓW MIKROPRZEPLYWOWYCH

SPEED OF DROPLETS IN MICROFLUIDIC CHANNELS

Instytut Chemii Fizycznej PAN, Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa, e-mail: garst@ichf.edu.pl

Miniaturyzacja układów mikroprzepływowych stanowi podstawę w szukaniu zastosowań w takich dziedzinach jak biotechnologia czy biochemia. Konstrukcja zautomatyzowanych mikrochipów do prowadzenia reakcji wewnątrz kropli wymaga zrozumienia fizyki transportu kropli w mikrokanalach. Pomimo długiej historii problem ten nie jest w pełni rozwiązany i dotychczas przeprowadzone eksperymenty prowadzą do sprzecznych wniosków [1, 2, 3]. Ruch kropli w mikrokanalach zależy od wielu parametrów, m.in. prędkości przepływu oraz lepkości obu faz, a także napięcia powierzchniowego pomiędzy nimi. Wspomniane relacje są bardzo wrażliwe, co stanowi główną przyczynę trudności w opracowaniu jednolitego opisu. Bez pełnej charakterystyki transportu kropli w mikrokanalach budowa całkowicie zautomatyzowanych układów do analiz chemicznych stanowi wyzwanie zarówno z naukowego, jak i z praktycznego punktu widzenia.

Przeprowadzony eksperyment jest pierwszą w pełni zautomatyzowaną i tak dokładną próbą analizy ruchu w mikroprzepływowych kanałach o przekroju kwadratowym. Jego istotą jest pomiar nie tylko prędkości, lecz także statycznej i dynamicznej długości kropli jako funkcji lepkości, liczby kapilarnej oraz zawartości surfaktantu w fazie dyspergującej. Wyniki jednoznacznie pokazują, że krople o małych rozmiarach porównywalnych z szerokością kanału poruszają się z szybkością większą, niż prędkość przepływu fazy ciągłej. Wraz ze wzrostem wielkości kropli ich szybkość maleje aż do minimum, które znajduje się poniżej wartości prędkości przepływu. Następnie szybkość ponownie wzrasta aż do zrównania z prędkością przepływu fazy zewnętrznej.



Wykres 1. Zależność szybkości kropli od ich długości w kanale dla trzech różnych liczb kapilarnych. Faza ciągła: heksadekan z 1,6% zawartością surfaktantu span 80.

LITERATURA:

- [1] FUERSTMAN M. J., LAI A., THURLOW M. E., SHEVKOPLYAS S. S., STONE H. A., WHITE-SIDES, G. M. [2007] *The pressure drop along rectangular microchannels containing bubbles, Lab on a Chip, 7, 1479*
- [2] LABROT, V., SCHINDLER, M., GUILLOT, P., COLIN, A. JOANICOT, M. [2009] *Extracting the hydrodynamic resistance of droplets from their behavior in microchannel networks Biomicrofluidics, 3, 452*
- [3] VANAPALLI, S. A., BANPURKAR, A. G., VAN DEN ENDE, D., DUTS, M. H. G. AND MUGELE, F. [2009] *Hydrodynamic resistance of single confined moving droplets in rectangular microchannels, Lab on a Chip, 9, 982*

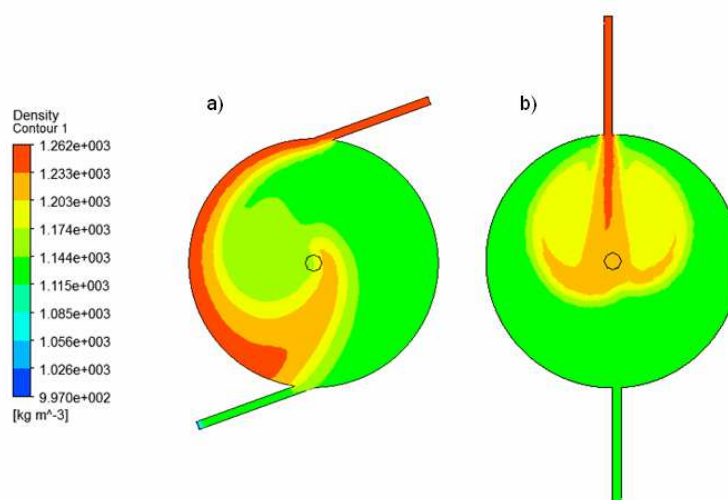
ANNA MAMROŁ,^{1,2} ANNA KUCABA-PIĘTAL¹,**WPLYW GEOMETRII NA PROCES MIESZANIA
W MIKROMIKSERZE****GEOMETRY EFFECT ON MIXING IN SWIRL-MICROMIXER**

¹, Politechnika Rzeszowska, Zakład Mechaniki Płynów i Aerodynamiki,
e-mail: anpietal@prz.edu.pl

² WSKPZL Rzeszów

Przedmiotem badania była analiza mieszania dwóch płynów w mikromikserze poprzez analizę wyników numerycznych dla różnej jego geometrii. Rozwiązano równania przepływu Naviera-Stokesa dla przepływu w mikromikserze metoda elementów skończonych. Narzędziem użytym do obliczeń był program ANSYS CFX. Model obliczeniowy składał się z 4401 węzłów i 16716 elementów tetra.

Mikromikser zbudowany został z dwóch kanałów wlotowych: *in1* i *in2*, kolistej komory mieszania oraz jednego kanału wlotowego: *out*. Zmiana geometrii poddania analizie polegała na zmianie kąta nachylenia kanałów wlotowych w stosunku do osi komory mieszania i wynosiła: 10°, 20°, 45°, 60° i 90°. Analiza obliczeniowa została wykonana dla mieszania wody i glicerolu przy różnych wartościach liczby Reynoldsa: $Re=0.1, 1, 10, 50, 100$, w temperaturze 25° C.



Rys. 1. Rozkład gęstości mieszaniny w mikromikserze dla $Re=100$ dla różnych wartości kąta oddchylenia kanałów wlotowych: a) 20°, b) 90°

Uzyskane rozkłady gęstości oraz prędkości glicerolu i wody w badanym mikromikserze pokazują, że zwiększenie nachylenia kąta kanałów wlotowych do osi mikromiksersa istotnie wpływa na wzrost wydajności mieszania w porównaniu z klasyczną [1] konstrukcją mikromiksersa.

LITERATURA:

- [1] JIN, SI-YU., [2005], *Numerical evaluation of two-fluid mixing in a swirl micro-mixer*, *Journal of Hydrodynamics, Ser.B*, 2006,18(5). 542-546.

ANNA MORAWIAK, MAREK DZIUBIŃSKI

**UDZIAŁY OBJĘTOŚCIOWE FAZ MIESZANIN DWUFAZOWYCH
CIECZ – CIECZ W MIKROKANAŁACH**

Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska
90 – 924 Łódź, ul. Wólczańska 213
a_morawiak@o2.pl, dziubin@wipos.p.lodz.pl

Badanie przepływów wielofazowych ciecz-ciecz i ciecz-gaz w mikrokanałach jest przedmiotem dynamicznie rosnącej liczby prac realizowanych w wielu ośrodkach naukowych. Przepływy takie występują w wielu procesach i aparatach przemysłu chemicznego, spożywczego, biotechnologicznego, farmaceutycznego, a także w syntezie materiałów. 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.

Jednym z istotnych zagadnień związanych z przepływem dwóch nie mieszających się cieczy, oprócz map i struktur oraz oporów przepływu, jest znajomość objętościowych udziałów faz w mieszaninie ciecz – ciecz. W literaturze przedmiotu zagadnienie to przedstawiono w niewielu pracach. Podjęto liczne próby adaptacji równań opisujących udziały faz słusznych dla mieszanin dwufazowych gaz – ciecz, przyjmując za parametry fizykochemiczne gazu występujące w tych korelacjach dane dotyczące oleju. Opublikowane prace dotyczące udziału faz w układach dwufazowych ciecz – ciecz można podzielić na prace oparte na zmodyfikowanej postaci korelacji Lockharta – Martinellogo i modelu rozdzielonych faz oraz na prace, w których wykorzystano model poślizgowy *drift – flux*.

Niniejsza praca dotyczy zaadaptowania znanych w literaturze metod obliczania objętościowego udziału faz mieszanin ciecz – ciecz do korelacji własnych danych doświadczalnych uzyskanych dla kanałów o średnicy poniżej 1mm.

Jako mediów doświadczalnych użyto wody demineralizowanej (faza hydrofilowa) oraz olejów o zdecydowanie różniących się właściwościach fizykochemicznych (lepkość, napięcie powierzchniowe) – faza hydrofobowa. Zakres natężeń przepływu olejów Q_o wynosił 0,06-15,00 [ml/h], zaś wody Q_w – 0,01-10,00 [ml/h]. Pomiary przeprowadzono w mikrokanałach wykonanych z plexi oraz w szklanych kapilarach w kształcie litery T i Y o średnicach 1mm i 0.5mm.

Podjęto próbę skorelowania oraz porównania wyników dwoma modelami: rozdzielonych faz oraz modelu poślizgowego *drift – flux*. Najlepszą zgodność opracowanych wyników uzyskano stosując model *drift – flux*, który pozwala uniknąć niejednoznaczności w ustalaniu rodzaju tej cieczy, dla której udział jest liczony. Wykorzystanie tego modelu opiera się na określeniu struktur powstających podczas przepływu mieszaniny dwufazowej ciecz – ciecz w mikrokanałach oraz stworzenie map przepływu.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007 – 2010 jako projekt badawczy nr N N208 2943 33.

MAGDALENA ORCZYKOWSKA, MAREK DZIUBIŃSKI, PAWEŁ BUDZYŃSKI

**STRUKTURY PRZEPLYWU I UDZIAŁ OBJĘTOŚCIOWY FAZ
PRZY PRZEPLYWIE DWUFAZOWYM
CIECZY NIENEWTONOWSKICH W MINIKANALACH**

**THE FLOW PATTERNS AND VOID FRACTION OF A TWO-PHASE
NON-NEWTONIAN LIQUID FLOW IN THE MICROCHANNEL**

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

Zagadnienia przepływu mieszanin dwufazowych ciecz-ciecz w minikanalach są przedmiotem nielicznych prac opublikowanych w literaturze przedmiotu. Dotyczą one głównie spadku ciśnienia przy przepływie mieszaniny typu olej-woda. Specyfika układów dwufazowych ciecz-ciecz, ich struktury przy przepływie w minikanalach nie zostały do tej pory zadawalająco opracowane.

Zazwyczaj ciekłe mieszaniny dwufazowe ciecz-ciecz kojarzone są z emulsjami, które znajdują bardzo szerokie zastosowanie praktyczne, m.in. jako niektóre produkty spożywcze, kosmetyki, artykuły chemii gospodarczej, środki ochrony roślin, czy wyroby przemysłu farb i lakierów. Do chwili obecnej w literaturze przedmiotu najwięcej uwagi poświęcono przepływowi dwufazowemu dwóch cieczy niemieszających się, z których każda posiadała właściwości płynu newtonowskiego, czyli takim jak olej i woda.

W prezentowanej pracy przedstawiono natomiast badania dotyczące przepływu dwufazowego dwóch cieczy niemieszających się, ale takich z których jedna posiada właściwości płynu newtonowskiego - olej, druga zaś jest płynem nienewtonowskim rozrzedzanym ścinaniem. Badania przeprowadzono w minikanale poziomym o średnicy 1mm, w którym w czasie przepływu mieszaniny ciecz-ciecz obserwowano tworzące się struktury. Otrzymane wyniki porównano z obszarami występowania podobnych struktur na opublikowanych mapach przepływu dla układów olej-woda w przewodach o większej średnicy. Klasyczne mapy przepływu dla układu ciecz-ciecz okazały się nieadekwatne do opisu struktur przepływu układu ciecz-ciecz w minikanalach. Przeanalizowano również zjawisko inwersji faz przy przepływie ciecz-ciecz w minikanale, a także rzeczywisty udział faz w płynącej mieszaninie. Uzyskane wyniki porównano z dostępnymi w literaturze przedmiotu korelacjami opisującymi udział objętościowy faz, wykazując jednocześnie rozbieżności przy przepływie cieczy newtonowskich i nienewtonowskich w minikanalach.

ADAM SAMBORSKI¹, JUDYTA WĘGRZYN¹, LOUISA REISSIG²,
PIOTR GARSTECKI^{1*}

GENERACJA GRADIENTU STĘŻEŃ W KROPELKOWYCH UKŁADACH MIKROPRZEPLYWOWYCH O DUŻEJ PRZEPUSTOWOŚCI

HIGH THROUGHPUT FORMATION OF GRADIENTS OF CHEMISTRY IN DROPLETS

- 1) Instytut Chemii Fizycznej Państwowej Akademii Nauk, Kasprzaka 44/52 01-224 Warszawa, Polska
2) Wydział Chemii Uniwersytetu w Edynburgu, West Mains Road EH9 3JJ, Szkocja, UK
e-mail*: garst@ichf.edu.pl

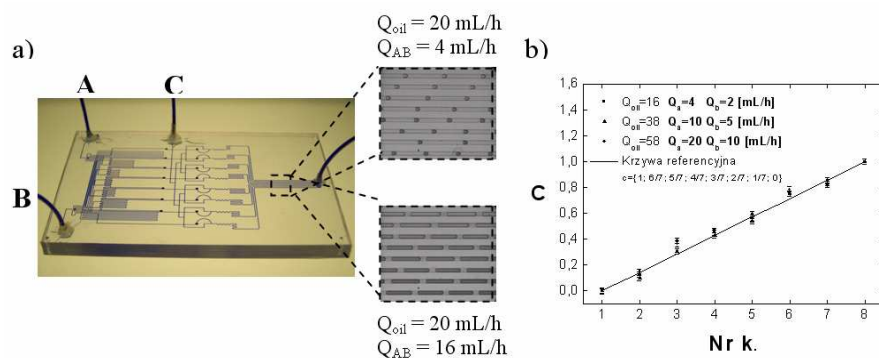
Początki technik mikroprzepływowych związanych z generacją mikrokropeł opierały się głównie na otrzymywaniu monodispersyjnych emulsji [1,2]. Okazały się one podstawą dla późniejszych zastosowań w badaniach z zakresu analityki oraz syntezy chemicznej [3], otrzymywania materiałów takich jak mikrokapsuły [4] czy cząstki o bardziej skomplikowanej morfologii [5], a także eksperymentów natury biologicznej [6,7].

Przedmiotem niniejszych badań są układy mikroprzepływowe wykonane ze sztywnego polimeru, jakim jest poliwęglan (PC), pozwalające się na jednoczesne generowanie szeregu strumieni mikrokropeł o dobrze scharakteryzowanym składzie (Rys. 1a).

Układy te zostały zaprojektowane w taki sposób, aby substancje A (barwnik) oraz B (woda) mogły łączyć się w odpowiednich proporcjach, w celu uzyskania zadanego profilu stężeń (w tym przypadku liniowego bądź logarytmicznego). Otrzymane w ten sposób strumienie, są z kolei dzielone na krople przy udziale trzeciej, niemieszającej się z nimi, cieczy C (heksadekan z 2 % dodatkiem surfaktantu SPAN80), w skrzyżowaniach typu T. Wynikiem opisanych działań jest otrzymanie równoległych strumieni kropeł, z których każdy wyróżnia się innym stężeniem substancji A w B.

Podczas badań mierzono intensywność i długość kropeł. Pozwoliło to na potwierdzenie zgodności otrzymanych doświadczalnie profili stężeń (Rys. 1b) z zadanymi oraz ustalenie poziomu monodispersji.

Przedstawiane układy, pozwalają na skrócenie czasu mieszania (z uwagi na to, że zachodzi ono w kropli), co znacznie zwiększa ich przepustowość. Mogą być one wykorzystywane do jednoczesnego otrzymywania kapsulek lub mikrozelei o różnym składzie, znajdujących zastosowanie m. in. w przemyśle spożywczym bądź kosmetycznym.



Rys. 1 a) Przykładowe fotografie układu gradientowego (tu: gradient liniowy) oraz kropel w mikrokanałach wylotowych, w przypadku różnych wartości prędkości przepływu. Układ został w całości wypełniony barwnikiem dla lepszej wizualizacji kanałów. Jako A, B i C oznaczono kanały wlotowe dla wody, barwnika oraz heksadekanu z 2 % dodatkiem SPAN80. b) Wykres przedstawiający zmiany stężenia barwnika (C) w zależności od numeru kanału (Nr k.)

LITERATURA:

- [1] S. L. ANNA, N. BONTOUX, H. A. STONE, *Appl. Phys. Lett.*, 2003, 82, 364
- [2] T. THORSEN, R. W. ROBERTS, F. H. ARNOLD, S. R. QUAKE, *PHYS. REV. LETT.*, 2001, 86, 4163
- [3] SONG H., CHEN D.L., ISMAGILOV R.F., *ANGEW. CHEM. INT. ED.*, 2006, 45, 7336
- [4] JIANG X., XU Q., DERTINGER S.K.W., STROOCK A.D., FU T., *ANAL. CHEM.*, 2005, 77, 2338
- [5] L.-Y. Chu, A. S. Utada, R. K. Shah, J.-W. Kim, D. A. Weitz, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2007, 46, 8970
- [6] Y.-C. TAN, K. HETTIARACHCHI, M. SIU, Y.-R. PAN, A. P. LEE, *J. AM. CHEM. SOC.*, 2006, 128, 5656
- [7] B. ZHENG, C. J. GERDTS, R. F. ISMAGILOV, *CURR. OPIN. STRUCT. BIOL.*, 2005, 15, 548

JAROSŁAW SOWIŃSKI, MAREK DZIUBIŃSKI

**BADANIE PRZEPIYU DWUFAZOWEGO CIECZ
NIENEWTONOWSKA-GAZ W MINIKANALACH****EXPERIMENTAL STUDY ON NONNEWTONIAN LIQUID – GAS
MIXTURE FLOW IN MINICHANNEL CHANNEL**Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, ul. Wólczańska 213
90-924 Łódź, sowinski@wipos.p.lodz.pl, dziubin@wipos.p.lodz.pl

Przepływy dwufazowe w minikanalach dają potencjalne możliwości intensyfikacji procesów wymiany ciepła i masy a także selektywności i miniaturyzacji procesów [1,2]. Jedną z metod intensyfikacji i zwiększenia selektywności procesów jest znaczne zmniejszenie rozmiarów reaktorów. W wielu tych procesach, na przykład w procesach biologicznych, stosowane są cieczy o złożonych właściwościach reologicznych. Ponadto właściwości reologiczne cieczy często ulegają zmianie w trakcie prowadzenia procesu. Oczywiście jest, że zmiana tych właściwości wpłynie na parametry charakteryzujące przepływ dwufazowy. Podstawowymi parametrami stosowanymi w opisie przepływu dwufazowego są: udziały i prędkości faz. Dlatego celem przeprowadzonych badań było zbadanie wpływu własności reologicznych cieczy na udziały i prędkości faz w przepływie dwufazowym ciecz-gaz w wąskich minikanalach oraz porównanie otrzymanych wyników z dostępnymi w literaturze przedmiotu zależnościami.

W badaniach jako fazę ciekłą stosowano wodę i wodne roztwory soli sodowej karboksymetylocelulozy. Własności reologiczne badanych cieczy wyznaczono za pomocą rotametry rotacyjnego Brabender a napięcie powierzchniowe określano za pomocą tensometru Kruss K-100.

Wartości pozornych prędkości cieczy i gazu zmieniały się odpowiednio od 0,028 do 1,30 m/s i od 0,012 do 1,2 m/s. Zbadano dwa kanały o szerokości 15 mm i różnych wymiarach szczeliny 1,16 mm i 0,7 mm. Wysokość kanału w obu przypadkach wynosiła 400 mm.

Ze względu na specyfikę badanego przepływu oraz wielkość kanału do pomiaru udziału fazy gazowej zastosowano metodę opartą na cyfrowej analizie obrazu. Dzięki zastosowaniu tej metody nie zakłóca się badanego procesu, co stanowi o jej niewątpliwiej przewadze nad innymi metodami pomiarowymi [3]. Przepływającą w kanale mieszaninę dwufazową filmowano szybką kamerą MV-D752 – 160 firmy Photon-focus a obraz rejestrowano na dysku twardym komputera. Następnie na podstawie zarejestrowanego obrazu za pomocą opracowanej w środowisku pakietu Labview procedury, wyznaczano udziały faz w przepływającej mieszaninie dwufazowej [3]. Natomiast strumienie cieczy i gazu dopływające do kolumny mierzono precyzyjnymi przepływomierzami firmy Brook Instruments B.V

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono istotny wpływ własności reologicznych zarówno na udział jak i prędkość fazy gazowej.

LITERATURA:

- [1] I. H., KARIYASAKI A. FUKANO T. *Fundamental data on the gas-liquid two phase flow in minichannels*, *Int. J. Therm. Sci.*, 46, 519, 2007
- [2] DZIUBIŃSKI M., *Hydrodynamika przepływu mieszanin dwufazowych ciecz-gaz*, Politechnika Łódzka, Monografie- Łódź 2005
- [3] Ł. TOMCZAK, J. SOWIŃSKI, *Application of image analysis to determine two-phase liquid- gas flow parameters in narrow minichannels*. *Inż. Chem. Proc.*, 28 s. 11347-1156, 2007

IX
NANOROBOTYKA I MEMSY

TOMASZ GRZEBYK, ANNA GÓRECKA-DRZAZGA

MIKROURZĄDZENIA PRÓŻNIOWE**VACUUM MICRODEVICES**

Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Politechnika Wrocławska,
ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław
tomasz.grzebyk@pwr.wroc.pl; anna.gorecka-drzazga@pwr.wroc.pl

Mikrosystemy są to mikrouządzenia składające się z czujników lub aktuatorów (elementów wykonawczych), układów elektronicznych przetwarzających dane pomiarowe i układów sterujących. W literaturze przedmiotu mikrouządzenia te ze względu na swoją specyficzną budowę i zastosowanie mają następujące nazwy: MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), MOEMS (Micro-Opto-Electro-Mechanical Systems) i μ TAS (microTotal Analysis Systems). Mikrosystemy są wytwarzane z zastosowaniem technologii mikroelektronicznych i nowych technik mikroinżynierskich. Typowe urządzenia typu MEMS mają planarne wymiary w zakresie milimetrów lub centymetrów, przy czym przynajmniej jeden z charakterystycznych wymiarów jest w zakresie mikrometrów.

Mikrouządzenia znalazły szerokie zastosowanie w nauce, przemyśle i medycynie. MEMS-y stosowane są m.in. do sterowania procesami przemysłowymi, w pomiarach, przemyśle samochodowym, lotniczym, kosmicznym, MOEMS-y w metrologii, telekomunikacji, μ TAS-y w chemii, biologii i medycynie.

Niektóre urządzenia typu MEMS są hermetyzowane próżniowo, ponieważ próżnia poprawia ich parametry, zwiększa niezawodność i wydłuża czas pracy. Dla mikrouządzeń takich jak: przyspieszeniometer, żyroskop, absolutny czujnik ciśnienia, optyczny przetwornik, zwykle wymagany jest ok. 10 letni okres czasu pracy a więc i stabilność próżni.

W pracy przedstawiono aktualny stan wiedzy na temat wytwarzania próżni w mikrouządzeniach. Opisano znane metody próżniowej hermetyzacji mikrouządzeń MEMS i MOEMS. Przedstawiono także pierwsze mikromechaniczne pompy próżniowe typu MEMS oraz trudności z uzyskaniem stabilnej, wysokiej próżni w mikroobjętości. Zaproponowano koncepcję mikropompy próżniowej typu orbitron, która może być wykonana z mikrouządzeniem MEMS, MOEMS i stworzyć z nim integralną całość. Integracja ta pozwoli na wytworzenie próżni w mikroobjętości urządzenia i następnie podtrzymywanie jej przez długi okres czasu.

Opisano zasadę działania i konstrukcję mikropompy orbitronowej, której podstawowym elementem jest polowe źródło elektronów. Mikropompa z polowym źródłem elektronów będą wykonane z krzemu, szkła i cienkich warstw metalicznych, czyli materiałów technologicznie kompatybilnych z materiałami stosowanymi w urządzeniach MEMS. Polowe źródło elektronów zostało wykonane z cienkiej warstwy złota uformowanej fotolitograficznie na podłożu krzemowym. Określono parametry emisyjne źródła w konfiguracji diodowej. Uzyskano duży prąd emisji z pojedynczego mikrostrza (kilkadziesiąt mikroamperów) przy niskim napięciu (kilkadziesiąt V). W kolejnym etapie badań planowane jest opracowanie technologii mikropompy orbitronowej z wykorzystaniem planarnego źródła elektronów.

Praca była finansowana z funduszu badań statutowych Politechniki Wrocławskiej.

STANISŁAW KALICIŃSKI, PAWEŁ JANUS, TOMASZ BIENIEK,
KRZYSZTOF DOMAŃSKI, MAGDALENA EKWIŃSKA,
ANDRZEJ SIERAKOWSKI, DARIUSZ SZMIGIEL, PIOTR GRABIEC

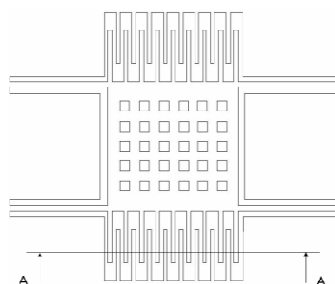
KONSTRUKCJA I WYTWARZANIE KRZEMOWYCH STRUKTUR TESTOWYCH I PRZYRZĄDÓW TYPU MEMS WYKORZYSTUJĄCYCH NAPĘDY GRZEBIENIOWE

DESIGN AND MANUFACTURING OF COMB-DRIVE BASED SILICON TEST STRUCTURES AND MEMS DEVICES

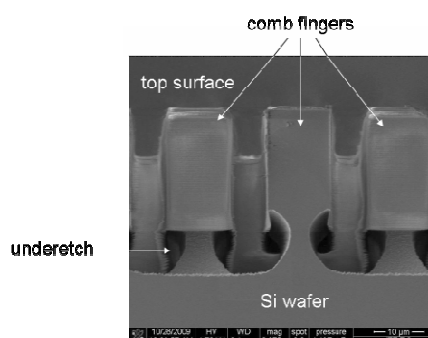
Instytut Technologii Elektronowej, Warszawa, e-mail: skalicin@ite.waw.pl

Opracowanie konstrukcji i wytworzenie przyrządu MEMS to proces kosztowny i czasochłonny. Z reguły składa się on z szeregu cykli projektowych i prób technologicznych pozwalających na weryfikację opracowanej konstrukcji oraz wyznaczenie właściwości użytych materiałów [1]. Jednakże dla złożonych konstrukcyjnie przyrządów MEMS sekwencja projektowo-technologiczna tego typu jest niezwykle kosztowna

W niniejszej publikacji autorzy prezentują nową metodologię opracowywania i wytwarzania przyrządów MEMS wykorzystujących napędy grzebieniowe. Dzięki uproszczeniu i zoptymalizowaniu sekwencji technologicznych, opracowane podejście pozwala na znaczną redukcję czasu i kosztów niezbędnych do wykonania prototypu przyrządu. W prezentowanej metodzie, odpowiednio zaprojektowana, pojedyncza maska fotolitograficzna pozwala na wykonanie całej krzemowej struktury elektro-mechanicznej oraz kontaktów elektrycznych na płytkach krzemowych typu „bulk”.



Rys. 1 – Kształt przykładowej struktury testowej użytej w procesie uwalniania plazmowego. Linia pozioma wskazuje przekrój przedstawiony na zdjęciu SEM



Rys.2 – Obraz SEM przekroju struktury grzebieniowej uwolnionej w procesie plazmowym. (linia A-A na rys.1).

LITERATURA:

- [1] TADIGADAPA, S. A.; NAJAFI, N., *Developments in microelectromechanical systems (MEMS): A manufacturing perspective*, *Journal of Manufacturing Science and Engineering-Transactions of the ASME*, vol. 125, no. 4, 2003, pp. 816-823

GRZEGORZ KARPIEL, DANIEL PRUSAK

PROTOTYP MIKROMANIPULATORA O 5 STOPNIACH SWOBODY

PROTOTYPE OF MICROMANIPULATOR WITH 5DOF

Akademia Górniczo-Hutnicza im Stanisława Staszica w Krakowie,
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Robotyki i Mechatroniki
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
e-mail: gkarpie@agh.edu.pl, daniel.prusak@agh.edu.pl

Mikrorobotyka, nanorobotyka to zagadnienie obejmujące złożone systemy posiadające wiele elementów składowych [1], [4]. Pośród elementów takich jak przyrządy pomiarowe, systemy utrzymania warunków środowiskowych, urządzenia wytwarzająco-przetwarzające znajduje się najważniejszy punkt systemu, jakim jest mikro/nano manipulator [3]. Stanowi on bezpośredni człón wykonawczy łączący środowisko operatora systemu z mikro/nano światem i jego strukturami [2]. Poprawne wykonanie urządzenia wielofunkcyjnego, które będzie pełniło funkcję mikro/nano manipulatora stanowi duże wyzwanie technologiczne [5]. Tym większe im bardziej uniwersalny i bardziej dokładny powinien być mikromanipulator.

W pracy przedstawiona zostanie nowatorska konstrukcja mikromanipulatora o pięciu stopniach swobody zbudowana na bazie napędów piezoelektrycznych. Struktura kinematyczna mikromanipulatora zbudowana jest na bazie równoległego manipulatora trójramiennego, w którym każde z ramion połączone jest z podstawą, a następnie wszystkie ramiona połączone są ze sobą w jednym punkcie stanowiącym głowicę mikromanipulatora. Dzięki zastosowaniu napędów o dwóch niezależnych stopniach swobody (wysuwu wraz z obrotem) możliwe jest znaczne uproszczenie konstrukcji mechanicznej mikromanipulatora a dzięki temu zwiększenie jego niezawodności i dokładności poprzez zmniejszenie liczby części współpracujących. Każdy z trzech zastosowanych napędów charakteryzuje się niezależnym sterowaniem każdego ze stopni swobody (obrót i wysuw) zrealizowanym na poziomie stopnia mocy zintegrowanego ze sterownikiem. Dzięki takiemu rozwiązaniu główny sterownik mikromanipulatora widzi urządzenie w taki sposób jakby sterował 5 niezależnymi stopniami swobody posiadającymi 5 niezależnych napędów piezoelektrycznych. Możliwe jest dołożenie 6 stopnia swobody jako obrotu samej platformy.

Projekt systemu sterowania oparty jest o platformę sprzętową FPGA, dzięki czemu możliwe jest sterowanie urządzeniem w czasie rzeczywistym uwzględniając obliczenia kinematyki zarówno dla dojazdu do punktu jak również w algorytmach śledzenia trajektorii.

Praca naukowa finansowana jest ze środków Ministerstwa Edukacji i Szkolnictwa Wyższego w ramach projektu badawczego nr: N N503 141436.

ANDRZEJ KOCIUBIŃSKI¹, TOMASZ BIENIEK², GRZEGORZ JANCZYK²

PORÓWNANIE WŁASNOŚCI WARSTW DIAMENTOWYCH I KRZEMOWYCH W SYSTEMACH MIKROMECHANICZNYCH

COMPARISON OF THE PROPERTIES OF CVD DIAMOND AND SILICON LAYERS FOR MEMS APPLICATIONS

¹Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, ul. Nadbystrzycka 38a, 20-618 Lublin

²Instytut Technologii Elektronowej, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

e-mail: akociub@semiconductor.pl, tbieniek@ite.waw.pl, janczyk@ite.waw.pl

Technologia diamentowa jest obecnie bardzo niedojrzała, dlatego wiele przyrządów i systemów typu MEMS (ang. Micro-Electro-Mechanical System) jest niemożliwa do praktycznego zrealizowania. Na tym etapie atrakcyjne wydają się być dedykowane symulatory do projektowania, symulacji i modelowania technologii mikrosystemów. Jednym z nich jest oprogramowanie CoventorWare™ firmy Coventor [1], które umożliwia przeprowadzanie zaawansowanych symulacji trójwymiarowych struktur w dziedzinie mechaniki, termiki, elektroniki oraz interakcji ciecz-struktura.

W artykule przedstawiono i omówiono zastosowanie warstw diamentowych osadzanych metodą CVD w systemach typu MEMS. Porównano fizyczne własności warstw diamentowych z własnościami krzemu. Jako przykład przedstawiono założenia i wyniki symulacji wykonane programem CoventorWare™ typowych struktur mikromechanicznych wytworzonych z warstwy diamentowej i warstwy krzemowej. Dla potrzeb symulacji wykorzystano dane materiałowe realnej warstwy diamentowej otrzymywanej w procesie CVD wytwarzanej komercyjnie przez firmę Diamond Materials GmbH [2]. Aby zweryfikować poprawną pracę programu z dodanym materiałem wykonano symulacje jednej z podstawowych struktur mikromechanicznych zgodnie z obliczeniami z literatury [3]. W tym celu zaprojektowano maski i sekwencje technologiczne belek diamentowych i krzemowych o różnych wymiarach. Otrzymane wyniki symulacji były niemal identyczne jak obliczenia podane w pozycji [3], przeprowadzone na Uniwersytecie w Ulm w Niemczech.

LITERATURA:

[1] strona internetowa oprogramowania CoventorWare™ <http://www.coventor.com>

[2] strona internetowa producenta warstw diamentowych <http://www.diamond-materials.com>

[3] KOHN E., ADAMSCHIK M., SCHMID P., ERTL S., FLOTER A., *Diamond electro-mechanical micro devices - technology and performance*, Diamond and Related Materials, 10, 2001, 1684-1691

DANIEL PRUSAK, GRZEGORZ KARPIEL

PROTOTYP MIKRONAPĘDU PIEZOELEKTRYCZNEGO O DWÓCH STOPNIACH SWOBODY

PROTOTYPE OF PIEZOELECTRIC MICROACTUATOR WITH TWO DEGREES OF FREEDOM

Akademia Górniczo-Hutnicza im Stanisława Staszica w Krakowie,
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Katedra Robotyki i Mechatroniki
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
e-mail: daniel.prusak@agh.edu.pl, gkarpie@agh.edu.pl

Posród wielu zastosowań w mikro i nano manipulacji oraz w mikro i nano robotyce występuje szereg trudności w uzyskaniu precyzyjnie kontrolowanego ruchu o większej liczbie niż stopni swobody (1DOF) [1], [3], [5]. Dotychczasowe rozwiązania opierają się głównie na szeregowym składaniu dwóch lub większej ilości napędów w celu uzyskania ruchu złożonego [6], ale także spotyka się rozwiązania oparte o mikromanipulatory równoległe [4] zapewniające większe obciążenia robocze przy dużej przestrzeni roboczej i wysokiej dokładności.

W niniejszym opracowaniu omówiona zostanie koncepcja nowego typu mikronapędu o dwóch niezależnych stopniach swobody (2DOF) do zastosowania przy precyzyjnym mikropozycjonowaniu w mikro i nano robotyce oraz w innych dziedzinach techniki wymagających precyzyjnej mikromanipulacji. Napęd ma charakter napędu obrotowo-posuwistego a ruch realizowany jest za pomocą sprzężenia elektromechanicznego [2] poprzez piezoelektryczne komponenty wysokonapięciowe. Ruch realizowany jest niezależnie względem obu stopni swobody i również może być kontrolowany w sposób niezależny. Koncepcja mikronapędu opiera się o specjalne ukształtowanie komponentu mechanicznej translacji ruchu drgającego na ruch płynny jednokierunkowy z ciernym sprzężeniem pomiędzy członami generującymi ruch a członami odpowiedzialnymi za wieży w pozostałych stopniach swobody. Napęd ma zastosowanie głównie w przypadku precyzyjnej mikro i nano manipulacji tam gdzie oprócz ruchu liniowego niezbędny jest także ruch obrotowy, ale również do budowy mikrorobotów charakteryzujących się wieloma stopniami swobody. Szczególne zastosowanie napędów tego typu znajduje miejsce w mikromanipulatorach równoległych.

Praca naukowa finansowana jest ze środków Ministerstwa Edukacji i Szkolnictwa Wyższego w ramach projektu badawczego nr: N N503 141436.

LITERATURA:

- [1] BELLOUARD Y., *MICROBOTICS - Methods and Applications*, CRC Press 2010.
- [2] SOLUCH W.[RED].: *Wstęp do piezoelektroniki*, WKŁ 1980.
- [3] VORNDRAN S.: *Why nanopositioning is more than just nanometers*. Polytec PI, 2003.
- [4] KOSINSKI Z, PRUSAK D.: *Mikrorobot równoległy – sterowanie wizyjne i zastosowanie przetworników piezoelektrycznych Ww-PPE-M.*, Projektowanie Mechatroniczne Kraków AGH. 2007..
- [5] PRUSAK D., UHL T., PETKO M.: *Mikrorobotyka nowy kierunek rozwoju robotyki*. PAK 2006 nr 05, s. 05-08.
- [6] D THIELICKE E., OBERMEIER E.: *Microactuators and their technologies*. Mechatronics 10 (2000) p. 431-455.

INDEKS AUTORÓW – Uczestników Konferencji

1. Dr inż. Katarzyna Antosz Politechnika Rzeszowska, Rzeszów,
2. Dr inż. Dariusz Asendrych: Politechnika Częstochowska, Częstochowa, s.17
3. Mgr inż. Anna Baraniecka: Instytut Technologii Elektronowej, Warszawa, s.141
4. Dr inż. Marek Barski: Politechnika Krakowska, Kraków, s.53
5. Dr inż. Tomasz Bieniek: Instytut Technologii Elektronowej, Warszawa, s.171,175
6. Dr inż. Grzegorz Budzik: Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, s.125,127
7. Dr inż. Paweł Budzyński: Politechnika Łódzka, Łódź, s.161
8. Prof. dr hab. inż. Tadeusz Burczyński Politechnika Krakowska, Kraków Politechnika Śląska, Gliwice, s.11
9. Mgr inż. Janusz Bytnar Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa Jarosław, s.55
10. Dr inż. Michał Chudy: Politechnika Warszawska, Warszawa, s.139
11. Mgr inż. Krzysztof Churski: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa, s.69,91,97
12. Dr inż. Małgorzata Chwał: Politechnika Krakowska, Kraków, s.113
13. Dr Michał Cichomski: Uniwersytet Łódzki, Łódź, s.115
14. Mgr inż. Bartłomiej Cichy: Politechnika Wrocławska, Wrocław, s.131
15. Prof. dr hab. Marek Cieplak: Instytut Fizyki PAN, Warszawa, s.35
16. Dr inż. Patrycja Ciosek: Politechnika Warszawska, Warszawa, s.139
17. Dr Olgierd Cybulski: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa, s.147
18. Dr Tadeusz Czech: Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk, s.119
19. Mgr Ladislav Derzsi: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa, s.117
20. Prof. dr hab. Paweł Dłużewski: Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa, s.13
21. Mgr inż. Piotr Domagalski: Politechnika Łódzka, Łódź, s. Delft University of Technology Netherlands s.15
22. Dr inż. Krzysztof Domański: Instytut Technologii Elektronowej, Warszawa, s.141,171
23. Prof. dr hab. inż. Stanisław Drobnik: Politechnika Częstochowska, Częstochowa, s.17
24. Prof. dr hab. inż. Jan A. Dziuban: Politechnika Wrocławska, Wrocław, s.131,133,135
25. Prof. dr hab. inż. Marek Dziubiński: Politechnika Łódzka, Łódź, s.15,159,161,165
26. Dr hab. Maria L. Ekiel-Jezewska Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa, s.153
27. Dr inż. Magdalena Ekwińska: Instytut Technologii Elektronowej, Warszawa, s.141,171
28. Prof. Michel Favre Marinet: Uniwersytet Grenoble s.17
29. Dr Izabela Firkowska: Freie University Berlin, Niemcy
30. Prof. dr hab. inż. Henryk Galina: Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, s. 125,127
31. G. Gamrat: Politechnika Częstochowska, Częstochowa, s.17
32. Mgr inż. Krzysztof Garczyński: Politechnika Wrocławska, Wrocław, s.71
33. Doc. dr hab. Piotr Garstecki: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa, s. 69, 79, 91, 93, 97, 103, 117,147,154,155,163
34. Prof. dr hab. Michael Giersig: Freie University Berlin, Niemcy, s.19,123
35. Prof. dr hab. Marek Godlewski: Instytut Fizyki PAN, Warszawa, s. 21
36. Dr hab. inż. Teodor Gotszalk: Politechnika Wrocławska, Wrocław, s.23,45,71,73,81,83,95,99,101, 105, 107
37. Dr hab. inż. Anna Górecka-Drzazga: Politechnika Wrocławska, Wrocław, s. 131,169
38. Dr inż. Piotr Grabiec: Instytut Technologii Elektronowej, Warszawa, s.23,45,71,73,95,141,171
39. Mgr inż. Tomasz Grzebyk: Politechnika Wrocławska, Wrocław, s.169
40. Martin Hecker: Globalfoundries Dresden Module One LLC & Co. KG., Dresden, Niemcy
41. Dr inż. Maciej Heneczkowski: Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, s. 125,127

42. Mgr inż. Wiktor Herwich: Politechnika Wroclawska, Wroclaw S. 107
43. Dr Sylwia Hozejowska: Politechnika Świętokrzyska, Kielce, s. 33
44. Mgr Marcin Izydorczak: Instytut Chemii Fizycznej PAN, IPPT PAN, Warszawa, s. 93
45. Mgr Marta Jackowska: Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań, s. 135
46. Dr Sławomir Jakiela: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa, s.91,147,155
47. Dr inż. Grzegorz Janczyk: Instytut Technologii Elektronowej, Warszawa, s.175
48. Dr inż. Paweł Jankowski: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa, s.103, 117
49. Dr inż. Paweł Janus: Instytut Technologii Elektronowej, Warszawa, s.23,95,141,171
50. Mgr inż. Małgorzata Janus-Michalska: Politechnika Krakowska, Kraków, s. 57
51. Dr inż. Dorota Jasińska: Politechnika Krakowska, Kraków, s. 65
52. Prof. dr hab. Jędrzej Jaśkowski: Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań, s. 135
53. Prof. dr hab. inż. Anatol Jaworek: IMP PAN, Gdańsk s. 75,119
54. Mgr inż. E. Jędrych: Politechnika Warszawska, Warszawa, s. 139
55. Dr Martin Jönsson-Niedziółka: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa, s.121
56. Dr inż. Grzegorz Józwiak: Politechnika Wroclawska, Wroclaw, s.23,71,73,81
57. Mgr inż. Stanisław Kaliciński: Instytut Technologii Elektronowej, Warszawa, s. 171
58. Inż. Tomasz Kaminski: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa, s.91
59. Dr hab. n. farm. Wojciech Kamysz: Gdański Uniwersytet Medyczny, Gdańsk, s.91
60. Dr inż. Grzegorz Karpel: Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, s. 173,177
61. Prof. Kris Kempa: Boston College, USA, s.19
62. Mgr Bartosz Kempisty: Uniwersytet Medyczny, Poznań, s. 135
63. Dr inż. Dariusz Kędzior: Politechnika Krakowska, Kraków, s.41
64. Dr inż. Piotr Kędziora: Politechnika Krakowska, Kraków, s.43
65. Dr inż. Andrzej Klepka: Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, s.59
66. Mgr inż. Małgorzata Kmiotek Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, s.149
67. Dr inż. Andrzej Kociubiński: Politechnika Lubelska, Lublin, s. 175
68. Dr Magdalena Kopernik: Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, s. 61
69. Mgr inż. Daniel Kopiec: Politechnika Wroclawska, Wroclaw, s.23,71,73,81
70. Dr Piotr Korczyk: Instytut Chemii Fizycznej PAN, IPPT PAN, Warszawa, s. 69,91,151,155
71. Mgr Adrian Kordos Politechnika Rzeszowska, Rzeszów
72. Dr Waldemar Koszela: Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, s. 75
73. Mgr Katarzyna Kośla: Uniwersytet Łódzki, Łódź, s. 115
74. Dr inż. Tomasz Kowalczyk: Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa, s.143
75. Prof. dr hab. Tomasz Kowalewski: Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa, s. 143,153
76. Dr inż. Andrzej Krupa: Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk, s. 77,119
77. Dr hab. inż. Krzysztof Kubiak Prof. Prz, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, s. 25
78. Mgr inż. Wojciech Kubicki: Politechnika Wroclawska, Wroclaw, s.133
79. Prof. PRz dr hab. Anna Kucaba-Piętal: Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, s.55,149,157
80. Dr inż. Wacław Kuś: Politechnika Krakowska, Kraków, s.11
81. Dr Marcin Lackowski: Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk, s.75,119
82. Mgr inż. Diana Lamparska: Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa, s.153
83. Dr inż. Łukasz Madej: Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, s. 31
84. Mgr Sylwia Makulska: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa, s. 151,155
85. Mgr inż. Grzegorz Małozieć: Politechnika Wroclawska, Wroclaw, s. 101
86. Mgr inż. Anna Mamroł Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, s. 157
87. Dr inż. Adam Martowicz: Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, s.59
88. Dr hab. Agata Michalska: Uniwersytet Warszawski, Warszawa, s.139
89. Dr hab. inż. Jacek Michalski: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa, s.97
90. Prof. dr hab. inż. Andrzej Milenin: Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, s.61

91. Mgr inż. Anna Morawiak: Politechnika Łódzka, Łódź, s.159
92. Mgr inż. Beata Mossety-Leszczak: Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, s.125,127
93. Dr inż. Rafał Mostowski. Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Poznań, s. 85
94. Prof. dr hab. inż. Aleksander Muc: Politechnika Krakowska, Kraków, s.27
95. Dr inż. Joanna Niedziółka-Jonsson: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa, s.121
96. Dr Anna Niedźwiecka: Instytut Fizyki PAN, Warszawa, s.29
97. Mgr inż. Krzysztof Nieradka: Politechnika Wroclawska, Wrocław, s.45,83,99,101
98. Dr hab. inż. Michał Nowak: Politechnika Poznańska, Poznań, s.123
99. Dr Dominika Ogończyk: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa, s.79,103,117
100. Dr inż. Mariusz Oleksy: Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, s. 125,127
101. Jarosław Olszewski: Politechnika Wroclawska, Wrocław, s. student 107
102. Prof. dr hab. Marcin Opallo: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa, s. 121
103. Dr inż. Magdalena Orczykowska: Politechnika Łódzka, Łódź, s. 161
104. Mgr inż. Piotr Paletko: Politechnika Wroclawska, Wrocław, s. 45,99,101,105,109
105. Dr inż. Magdalena Piasecka: Politechnika Świętokrzyska, Kielce, s. 33
106. Prof. dr hab. inż. Maciej Pietrzyk: Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, s. 31
107. D. Pliszka: Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk, s. 119
108. Mgr Przemysław Podulka: Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów, s. 47
109. Prof. dr hab. inż. Mieczysław Poniewski: Politechnika Warszawska, Warszawa, s. 33
110. Mgr inż. Piotr Półtorak Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, s. 87
111. Mgr inż. Piotr Prokaryn: Instytut Technologii Elektronowej, Warszawa, s.141
112. Dr inż. Daniel Prusak: Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, s. 173,177
113. Mgr Monika Pyżalska: IChF PAN, Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego, Warszawa, s. 151
114. S. Ramakrishna: Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk, s. 119
115. Ivo Rangelow, Technical University Ilmenau, Niemcy, s.81
116. Dr inż. Łukasz Rauch: Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, s. 31
117. Louisa Reissig: Wydział Chemii Uniwersytet w Edynburgu, Szkocja, s. 163
118. Yvonne Ritz: Fraunhofer IZFP, Dresden branch, Niemcy, s. 95
119. Dr Jacek Rogowski: Politechnika Łódzka, Łódź, s. 115
120. Dr Jacek Rybka: Instytut Immunologii i Terapii Doświadczalnej PAN, Wrocław, s. 107
121. Dr Krzysztof Sadlej: Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa, s. 153
122. Dr Adam Samborski: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa, s. 163
123. Prof. zw. dr hab. Grzegorz Schroeder: Uniwersytet Poznański, Poznań, s. 45,105
124. Mgr Marta Siek: Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego, Warszawa, s. 79
125. Mgr inż. Andrzej Sierakowski: Instytut Technologii Elektronowej, Warszawa, s. 141,171
126. Dr inż. Marek Sikoń: Politechnika Krakowska, Kraków, s. 49
127. Mgr Mateusz Sikora: Instytut Fizyki PAN, Warszawa, s. 35
128. Sobczyk: Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk, s.119
129. Dr inż. Jarosław Sowiński: Politechnika Łódzka, Łódź, s.165
130. Dr inż. Bolesław Stasicki: DLR, Niemcy, s.37
131. Przemysław Sulecki: Politechnika Wroclawska, Wrocław
132. S. Sundarajan: Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk
133. Mgr inż. Patrycja. Szczepańska: Politechnika Wroclawska, Wrocław, s.135
134. Prof. dr hab. inż. Gwidon Szefer: Politechnika Krakowska, Kraków, s.41,65
135. Dr inż. Dariusz Szmigiel: Instytut Technologii Elektronowej, Warszawa, s.95,141,171
136. Łukasz Szultka: Gdański Uniwersytet Medyczny, Gdańsk, s. student s. 91
137. Dr Elżbieta Sz wajczak: Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, s. 87
138. Mgr inż. Michał Świątkowski: Politechnika Wroclawska, Wrocław, s. 105,107
139. Prof. dr hab. inż. Tadeusz Uhl: Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, s. 59

140. Dr hab. Eligiusz Wajnryb: Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa, s. 153
141. Doc. dr hab. Zbigniew Walenta: Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa, s. 63
142. Dr inż. Rafał Walczak: Politechnika Wrocławska, Wrocław, s. 133,135,137
143. Mgr Karol Waszczuk: Politechnika Wrocławska, Wrocław, s. 107
144. Martin Wei-Sheit: Globalfoundries Dresden Module One LLC & Co. KG., Dresden, Niemcy, s. 95
145. Mgr Judyta Węgrzyn: Instytut Chemii Fizycznej PAN, Warszawa, s. 103,163
146. Dr hab. inż. Grzegorz Wieloch, Uniwersytet Przyrodniczy, Katedra Obrabiarek i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Poznań s. 85
147. Mgr inż. Grzegorz Wielgoszewski: Politechnika Wrocławska, Wrocław, s. 95
148. Mgr inż. Emilia Witkowska: Politechnika Warszawska, Warszawa, s. 139
149. Prof. dr hab. inż. Wojciech Wróblewski: Politechnika Warszawska, Warszawa, s. 139
150. Dr inż. Michał Zaborowski: Instytut Technologii Elektronowej, Warszawa, s. 141
151. Mgr inż. Paweł Zawierucha: Politechnika Wrocławska, Wrocław, s. 23,71,73,81,107
152. Mgr inż. Michał Zielony: Politechnika Wrocławska, Wrocław, s. 73,81,83,109
153. Ehrenfried Zschech: Fraunhofer IZFP, Dresden branch, Niemcy, s. 95
154. K. Żukowski: Politechnika Warszawska, Warszawa, s. 139
155. Dr inż. Witold Suchecki: Politechnika Warszawska, Płock
156. Mgr inż. Maciej Szopinski: Politechnika Wrocławska, Wrocław
157. Dr inż. Sławomir Błoński: Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa