

## **MIKROSYSTEMY - nowe idee, nowe konstrukcje, nowe technologie**

*W referacie przedstawiono kierunki rozwoju mikrosystemów na tle przykładów najnowszych konstrukcji i nowych technologii ich wytwarzania. Zaprezentowano również nowe idee w konstrukcji mikrosystemów, nieznanne lub niestosowane w konstrukcjach w makro skali.*

### *Abstract.*

*Microsystems development trends on the base of the examples of both the newest constructions and the newest techniques of their fabrication are presented in the paper. Some new ideas of microsystem constructions, unknown or not applicable in macro scale are discussed in the report.*

### **1.WPROWADZENIE**

Mikrosystemy są następną generacją półprzewodnikowych czujników inteligentnych. W swojej architekturze tym różnią się od czujników inteligentnych, że zawierają jeszcze mikroświatniki a ich stopień integracji i kompleksowości jest często znacznie wyższy od czujników inteligentnych.

Rozwój technologii półprzewodnikowej związanej z ogromnie wysokim stopniem integracji układów scalonych z jednej strony i z opracowaniem wielu specjalizowanych, niezwykle wyrafinowanych procesów technologicznych specjalnie dla potrzeb mikroczujników i mikrosystemów z drugiej strony, pozwala zrealizować najbardziej nieprawdopodobne konstrukcje mikroczujników i mikrosystemów opartych o zupełnie nowe idee konstrukcyjne i funkcjonalne[3].

### **2. Nowe idee**

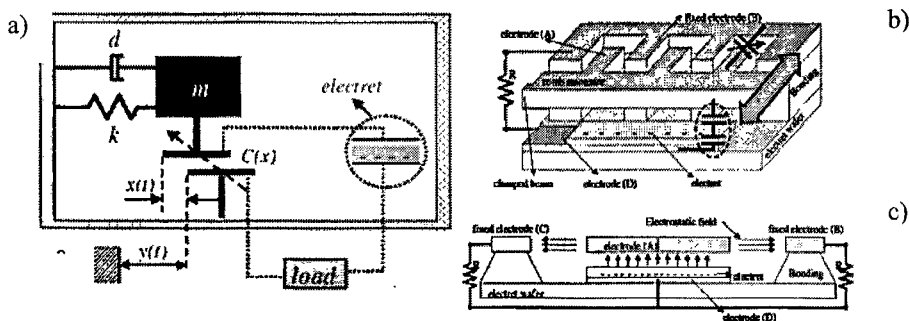
Bardzo często w technice tak się dzieje, że miniaturyzacja urządzeń, całych systemów czy tylko niektórych ich elementów następuje w wyniku rozwoju nowych, bardziej zaawansowanych technologii wytwarzania [7]. Działanie tych konstrukcji opiera się wtedy na tych samych zasadach fizycznych zarówno w małej jak i dużej skali. W dziedzinie mikroelektroniki często dzieje się inaczej - to co można zrobić w mikroskali nie zawsze znane było wcześniej w makroskali[3][9]. Czasami nawet nie da się tego zrobić w makroskali. Przykładem tej reguły jest wykorzystywanie w mikroświatnikach oddziaływań elektrostatycznych, co raczej nie jest praktykowane w makroskali. Wymieniony rodzaj energii (elektrostatycznej) wykorzystywany jest w silnikach elektrostatycznych (obrotowych i liniowych), w mikroprzełącznikach elektrostatycznych, w MOEMS-ach (ang. Micro-Opto-Electro-Mechanical-Systems) do sterowania kontem pochylenie mikrozwierciadła, etc.



Rys.1 a) Zasada działania multiplexera optycznego; b) konstrukcja mikrozwierciadła o dwóch stopniach swobody; c) konstrukcja mikrozawiasu lustra.

W ostatnich miesiącach została opublikowana konstrukcja mikrożyroskopu, którego działanie opiera się na znanym prawie Coriolisa, ale silnik elektromagnetyczny w tradycyjnej makro konstrukcji został zastąpiony przez mikrosilnik elektrostatyczny. Jego prędkość obrotowa wynosi 70.000obr/min a średnica wirnika 100 $\mu$ m. Cała konstrukcja mieści się w chipie układu scalonego, przy czym mikrożyroskop jest zamknięty w próżniowej wnęcie krzemowej o ciśnieniu 10<sup>-3</sup> Tr.

Inną nową ideą jest wykorzystanie energii ruchu przypadkowego do generacji energii elektrycznej zasilającej mikrosystem. W koncepcji tej sejsmiczna mikromasa poruszana bezładnie przez układ zewnętrzny, pozwala na generację ładunku elektrycznego na zasadzie elektrostatycznej (Rys.2) [8].



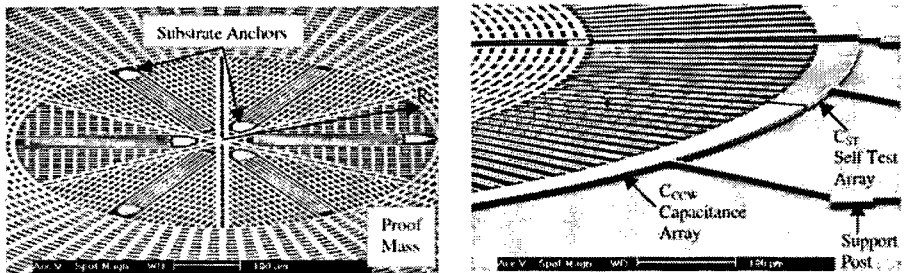
Rys.2. Mikrogenerator elektrostatyczny – a)zasada pracy, b) koncepcja półprzewodnikowej konstrukcji, c) ilustracja pracy na przekroju konstrukcji generatora [8]

Przykładem kolejnej nowej idei jest budowa matryc miniaturowych igieł położonych blisko siebie, które umożliwiają bezbolesne wprowadzanie do skóry pacjenta lekarstwa zamiast tradycyjnego wcierania maści [4].

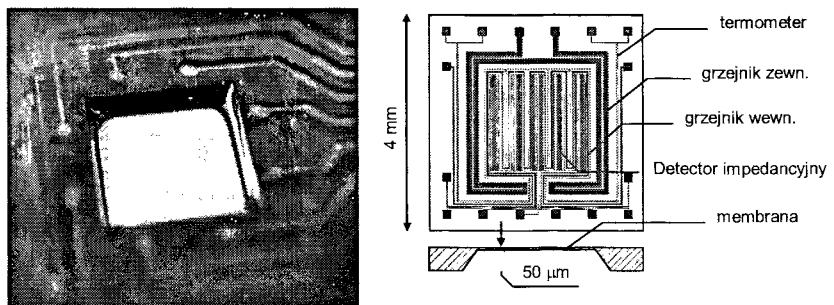
### 3. Nowe konstrukcje

Z dużą pewnością można powiedzieć, że w żadnej dziedzinie techniki nie powstaje w ostatnich latach tak wiele nowych konstrukcji jak w dziedzinie mikrosystemów. Należy też stwierdzić, że wiele z tych konstrukcji zaskakuje śmiałością koncepcji, miniaturowymi wymiarami parametrami często bardzo wysokimi parametrami użytkowymi.

Poniżej przedstawiono dwa przykłady z różnych dziedzin zastosowań: mikrożyroskop o kątowym (ale nie obrotowym) ruchu masy sejsmicznej - Rys.3 [5] i zintegrowany półprzewodnikowy mikrodetektor punktu rosy do pomiaru „jakości skóry ludzkiej” (ang. transepidermal water loss factor) –Rys.4.



Rys.3. Mikrożyroskop z elektrostatycznym pobudzeniem i z pojemnościowym czujnikiem do pomiaru przesunięcia kontowego [5].



Rys.4. Półprzewodnikowy detektor punktu rosy – a) widok detektora, b) konstrukcja [6]

### 4. Nowe technologie

Większość mikrosystemów i zaawansowanych mikroczujników jest wykonywana w technologii półprzewodnikowej. Duża ilość procesów technologicznych stosowana przy ich wykonaniu jest kompatybilna z technologią CMOS ale wiele innych procesów była specjalnie opracowana do tych zastosowań. Wśród nich należy wymienić „techno-

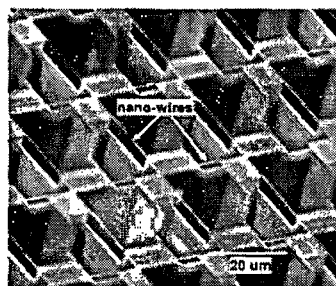
logię objętościowa” (ang. bulk micromachining), „technologię powierzchniową” (ang. bulk micromachining) z warstwami „poświęconymi”, technologię LIGA, etc.

Procesy te, mimo wielkiego zawansowania, dużej rozdzielczości (ułamek mikrometra) i ogromnej czystości, często nie są wystarczające w produkcji mikroczujników/mikrosystemów.

Od kilku lat zauważalny jest niezwykle szybki rozwój nanotechnologii 3-D (trójwymiarowej) do wytwarzania mikrosystemów. Chodzi tu głównie o nano-rurki węglowe [1] (Rys.5) nano-druty [2] (Rys.6). Mają one szczególne i bardzo obiecujące zastosowanie w dziedzinie mikroczujników chemicznych.



Rys.5 Nano-rurki węglowe jako adsorbent do mikrochromatografu (mCG) [1].



Rys.6. Nano druty o grubości 100nm [2].

Z drugiej strony należy stwierdzić, że nie tylko techniki o najwyższej rozdzielczości są obecnie rozwijane. Wiele mikrosystemów/mikroczujników nie wymaga tak dużej precyzji wykonania jak opisano powyżej a ważne są dla nich przede wszystkim niskie koszty wytwarzania. W tym celu prowadzone są bardzo intensywne prace nad rozwojem technologii nadrukowywania warstw przewodzących, rezystywnych, dielektrycznych, półprzewodnikowych a nawet biologicznie czynnych bezpośrednio na strukturze mikrosystemu/mikroczujnika. Jest to tzw. technologia „jet ink-print”, analogiczna do technologii drukarek atramentowych, gdzie różnego rodzaju polimery są nadrukowywane jednokrotnie lub wielokrotnie (w zależności od wymaganej grubości warstwy) i według komputerowego „rysunku” warstwy.

## 5. Podsumowanie

W tekście referatu przywołano tylko niektóre aspekty dotyczące rozwoju mikrosystemów/mikroczujników. W prezentacji konferencyjnej będzie również mowa o interfejsach bezprzewodowych, o sieciach czujnikowych, o autonomicznych generatorach energii elektrycznej do zasilania mikrosystemów i generatorach zaawansowanych mikrosystemach takich jak chromatografy, mikrospektrofotometri czy  $\mu$ -TAS-y.

Wszystkie laboratoria i firmy produkujące aparaturę kontrolno-pomiarową, które poważnie myślą o przyszłości, pracują nad opracowaniem mikrosystemów, które w całości lub w istotnym fragmencie zastąpią ich aparaturę produkowaną w mikroskali.

**Wykaz literatury:**

- [1] Yang Lu et al. – “Growth of Comformal Carbon-Nanotube Adsorbent Layers for a mGC”, Annual Report 2002, Univ.of Michigan, The Eng.Res.Center for Wireless Intg.Microsystem
- [2] Tixier – Mita A. et al.”A Simple, Robust and Controlable nano-Structures...”, TRANSDUCERS’3 Conf., Boston, USA, June 2003
- [3] Wang J. et al. “Self-Aligned 1,14 GHz Vibrating Radial-Mode Disk Resonators“, TRANSDUCERS’3 Conf., Boston, USA, June 2003
- [4] Zimmermann S. et al.-,A Microneedle based-Glucose Monitor, ...”, Berkeley Sensors and Actuator Center, Univ.of California at Berkeley, USA
- [5] O’Brien G.J., Monk D.J., Najafi K. “Angular Accelometer with dual Anchor Support“, TRANSDUCERS’3 Conf., Boston, USA, June 2003
- [6] Jachowicz R.S., Weremczuk J., Tarapata G., - „Fast Dew Point Hygrometer for Measuremnts of Human Skin Evaporation Factor”, EUROSENSORS ‘XVIII, Roma, Italy, 2004
- [7] Seong Ho Kong -,Infrared Micro-Spectrometer Based on Multi-Slit Grating”, PhD thesis, Delft Univ.of Technology, Delft, The Netherlanda, 2002.
- [8] Sterken T.,et al. – “ An Electret Based Electrostatic m-Generator”, TRANSDUCERS’03 Conf., Boston, USA, June 2003
- [9] Uwe-Meyer J. –“Retina Implant –a Bio MEMS Challenge”, TRANSDUCERS’01, Munich, FRG, June 2001
- [10] Oz A., Fedder G.K. –“CMOS- Compatible RF-MEMS Tunable Capacitor”, Proc. of the SEM Annual conference on Experimental and Applied Mechanics, June 2003.