

УДК 656.002  
UDC 656.002

## ZASTOSOWANIE CZUJNIKÓW MEMS W MOTORYZACJI

SIEDLECKA Sylwia, Mgr inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska  
MĄDZIEL Maksymilian, Mgr inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska

## ВИКОРИСТАННЯ MEMS-СЕНСОРИВ НА АВТОМОБІЛЯХ

СІДЛЕЦЬКА Сильвія, Магістр інженер, Жешовська Політехніка, Жешув, Польща  
МОНДЗЕЛЬ Максиміліан, Магістр інженер, Жешовська політехніка, Жешув, Польща

## THE MEMS SENSOR APPLICATION AUTOMOTIVE

SIEDLECKA Sylwia, Master engineer, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland  
MADZIEL Maksymilian, Master engineer, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland

**Wstęp.** Układy MEMS stały się już dosyć powszechne, choć ich rozwój rozpoczął się względnie niedawno. Ich najbardziej znane zastosowanie to akcelerometry, ale istnieje szereg innych czujników, które wykonywane są w tej technologii. Z czasem, wraz ze wzrostem precyzji ich wykonywania powstają nowe pomysły użycia MEMS-ów.

Układy MEMS to miniaturowe urządzenia elektromechaniczne. W zasadzie wszystkie określają te same układy, choć wywodzą się z różnych rejonów świata, a więc powstały w oparciu o różne produkty na całym świecie.

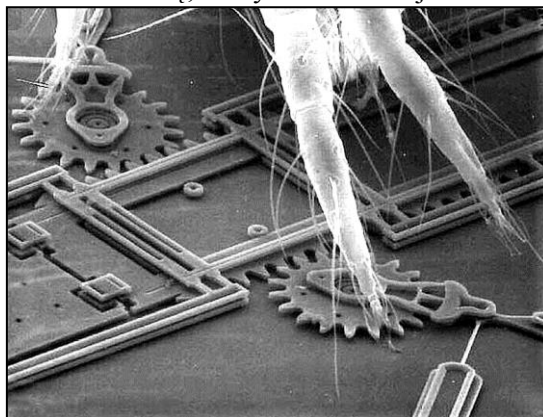
Integracja elementów elektronicznych z mechanicznymi w miniaturowej skali prowadzi do szeregu korzyści, których nie dałoby się osiągnąć praktycznie żadnymi innymi metodami. Małe rozmiary to nie jedyna zaleta tworzenia układów w skali mikrometrów. Okazuje się bowiem, że miniaturyzacja pozwala budować układy mechaniczne, które szybciej się poruszają oraz można je łatwo przyspieszać i zatrzymywać, a wszystko to dzięki ich małej inercji. Dodatkowo, ulegają mniejszym zmianom pod wpływem temperatury, a nawet są odporne na wibracje, które mogą zaszкодzić układom w skali makro. Warto dodać, że niewielkie rozmiary przyczyniają się także do zmniejszenia zapotrzebowania na materiały konieczne do wykonania elementów mechanicznych, co prowadzi do ograniczenia kosztów ich produkcji.

**MEMS - informacje techniczne.** MEMS (*ang. MicroElectro-Mechanical Systems*) lub też Mikrosystemy, określają zintegrowane układy elektro-mechaniczne, których co najmniej jeden wymiar szczególny znajduje się w skali mikro (0,1-100  $\mu\text{m}$ ). MEMS są zbudowane z elementów (czujników, nastawników, itp.), których wymiary zawarte są pomiędzy 1 to 100 mikrometrów, tj. od 0.001 do 0.1 mm. Systemy MEMS mają wymiary w zakresie od 20 mikrometrów (20 milionowa część metra) do 1 milimetra.

MEMS składa się z:

- mikrosensorów,
- mikroakuatorów,
- mikroprocesorów.

Mikrosystem przetwarza także materię, nie tylko informacje.



Rys.1. Nogi pająka na tle napędu typu MEMS

MEMS-y są zwykle wykonywane w krzemi lub szkłe przy użyciu technik mikroobróbki, takich jak anizotropowe trawienie (np. w KOH) [2]. Maski do tych procesów wykonywane są typowych technikach mikroelektronicznych podobnych do wykorzystywanych przy wytwarzaniu przyrządów półprzewodnikowych i układów scalonych (np. fotolitografia). Jednak w ostatnich latach zwiększone zainteresowanie materiałami polimerowymi spowodowało, że zaczęto rezygnować z wykorzystania krzemu z powodu jego wysokiej ceny. W przypadku układów polimerowych najczęściej używane technologie to wytłaczanie na gorąco, odlewanie w formie, wtryskiwanie, (jeśli rezygnujemy do tej grupy to również można tu wymienić technologie litograficzne).

Jedną z metod podziału technologii wytwarzania mikroukładów jest podział ze względu na sposób wykonywania struktury:

- technologie bezpośrednie – struktura jest wykonywana w elemencie bezpośrednio według projektu np. przy użyciu lasera sterowanego komputerowo,
- technologie pośrednie – do wykonania struktury wykorzystywany jest jakiegoś rodzaju szablon np. w fotolitografii jest to maska.

Przy tak niewielkich rozmiarach ludzka intuicja bywa niewystarczająca do zrozumienia zjawisk zachodzących w takich małych układach. W przyrządach MEMS, na skutek dużego stosunku powierzchni do objętości, zjawiska elektrostatyczne i lepkości (zwilżania) mogą dominować nad efektami bezwładności masy lub pojemności cieplnej.

Układy MEMS mają obszerne zastosowania, wśród tych najczęściej stosowanych zaliczamy:

➤ czujniki:

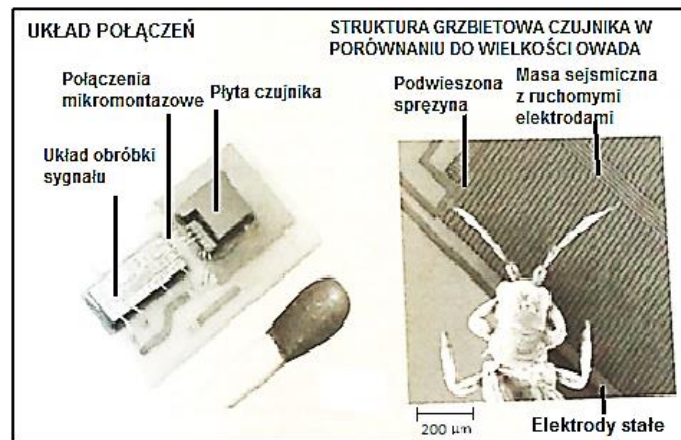
- przyspieszenia (akcelerometry):
  - w samochodach – wykrywanie momentu wypadku (uruchomienie poduszek powietrznych, napinaczy pasów itp.),
  - w aparatach fotograficznych – wykrywanie drgań (stabilizacja obrazu),
  - w komputerach – wykrywanie swobodnego spadania (zabezpieczenie dysku twardego przed uszkodzeniem w momencie upadku),
  - w nowoczesnych zabawkach,
- ciśnienia:
  - reaktory chemiczne,
  - zbiorniki substancji,
- wibracji,
- przepływomierze,
- żyroskopy,
- pola magnetycznego (wykorzystujące efekt Halla),
- przełączniki optyczne,
- rzutniki,
- głowice drukarek atramentowych,
- elektrody do badania mózgu,
- endoskopia,
- miniaturowe zegary atomowe,
- mikroreaktory chemiczne (Lab-On-Chip).

**Czujniki mems w pojazdach samochodowych.** Wraz z wzrastającymi w ostatnich latach wymaganiami dotyczącymi pojazdów samochodowych coraz więcej funkcji związanych ze sterowaniem i regulacją realizowanych dotychczas mechanicznie, zostaje sukcesywnie przejmowanych przez moduły elektroniczne ECU (*ang. Electronically Controlled Unit*). Te zmiany wywołały wzrost popytu na czujniki i elementy wykonawcze przyczyniając się do wzrostu ich produkcji. Przemysł motoryzacyjny stał się także motorem rozwoju czujników, które z początkowo wytwarzanych i stosowanych czujników elektromechanicznych, często o znacznych wymiarach, zaczęły od 1980 roku przechodzić fazę miniaturyzacji i wielkoseryjnej produkcji o dużej wydajności.

Znacząca rola przypada także czujnikom grubowarstwowym wywodzącym się z techniki hybrydowej. Są one stosowane m.in. w płytkowych czujnikach tlenu oraz wysokotemperaturowych czujnikach stosowanych w układach wylotu spalin.

W najbardziej rozpowszechnionych dotąd technologiach wytwarzania podstawowym surowcem jest krzem, jednak zaczynają nabierać znaczenia nowe technologie oraz materiały. Chociaż zastosowanie krzemu stwarza możliwości integracji czujnika z podzespołami elektronicznymi w jednej strukturze, to jednak te

rozwiązania pomijając kilka wyjątków -(np. czujnik Halla) straciły na znaczeniu z powodu skomplikowanej procedury pomiarowej wynikającej z tego małej elastyczności w zastosowaniu. Przy zachowaniu tych samych parametrów, lecz przy znacznie mniejszych wymiarach, korzystniejsza ze względu na cenę i funkcjonalność okazuje się zintegrowana technika hybrydowa (rys.2).



Rys.2. Powierzchniowy mikromechaniczny czujnik przyspieszenia w układzie mikrohybrydowym [3]

**Rodzaje czujników.** W początkowych działaniach związanych z zastosowaniem czujników w pojazdach, koncentrowano się głównie na układzie napędowym oraz nadwoziu. Postępujący dynamiczny rozwój elektroniki przyczynił się do opracowania i rozwoju nowego typu czujników dotyczących również otoczenia pojazdu, np. czujniki ultradźwiękowe, radar bliskiego otoczenia pojazdu, czujniki obrazu.

Czujniki można także klasyfikować według określonych zadań i zastosowań:

- czujniki funkcyjne (ciśnienia, przepływu) stosowane głównie do zadań sterowania i regulacji,
- czujniki bezpieczeństwa (ochrona pasażerów, poduszki powietrzne, ESP) i zabezpieczenia przed kradzieżą,
- czujniki systemów nadzorujących (system EOBD, czujniki zużycia paliwa, czujniki zużycia elementów konstrukcyjnych) oraz czujniki informujące kierowcę i pasażerów.

Z rys.3 wynika powszechność zastosowań czujników w układach współczesnych pojazdów samochodowych, przy stale narastającej tendencji wzrostu ich użycia.



Rys. 3. Czujniki MEMS dla zastosowań motoryzacyjnych [8]

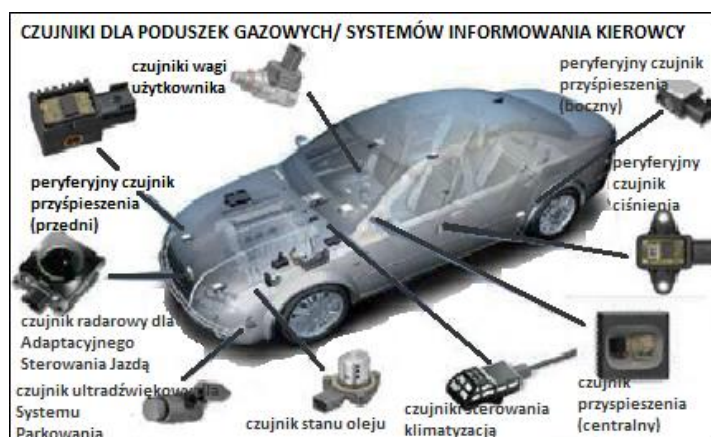
**Przegląd wybranych czujników.** Bezpieczne, czyste, ekonomiczne: to dzisiejsza perspektywa rozwoju systemów samochodowych. Ten trend jest wspomagany przez elektronicznie sterowane systemy podwozia, zarządzania napędem oraz wspomaganie i informacji. Wszystkie te systemy silnie zależą od informacji wejściowych z czujników, z których coraz więcej jest produkowane technologiami MEMS.

**Mikromechaniczne powierzchniowe czujniki przyspieszenia (SMM).** Mikromechaniczne powierzchniowe czujniki przyspieszenia mają w pojazdach wiele zastosowań,

związanych z określeniem przyspieszenia. Należą do nich systemy bezpieczeństwa pasażerów, w których te czujniki służą do oceny wartości przyspieszenia przy czołowym lub bocznym zderzeniu i wyzwalaniu napinaczy pasów bezpieczeństwa, poduszek powietrznych lub pałąka zabezpieczającego w przypadku przewrócenia pojazdu. W dziedzinie aktywnych systemów bezpieczeństwa czujniki powierzchniowe są stosowane w układach ABS, ESP, HHC. Dalsze możliwości zastosowania czujników przyspieszenia występują w systemach sterowania zawieszeniem AS (ang. Active suspension) oraz w alarmach samochodowych (ang. Car Alarm), w których alarm zostaje włączony przy zmianie kąta pochylenia pojazdu.



Rys.4. Przykładowe powierzchniowe czujniki wyzwalania poduszek powietrznych [8]



Rys.5. Stosowane czujniki w pojazdach dla poduszek gazowych oraz systemów informowania kierowcy [8]

Mikromechaniczne krzemowe czujniki przyspieszenia rejestrują sygnały przyspieszenia niezbędne dla układów ABS, ESP i regulacji amortyzatorów. Te czujniki są obecnie stosowane przede wszystkim do pomiarów w przedziale małych wartości przyspieszeń oraz przy dużych wymaganiach dotyczących szumów zawartych w sygnale ( $<2g_n$ ).

**Mikromechaniczne czujniki obrotu pojazdu wokół osi pionowej.** Mikromechaniczne krzemowe czujniki obrotu lub czujniki kierunku prędkości (żyroskopami) w pojazdach wyposażonych w elektroniczny system stabilizacji ESP rejestruje obrót samochodu wokół osi pionowej i służą do regulacji dynamiki jazdy. Czujniki te, dzięki przystępnej cenie i kompaktowej formie zastąpiły zwykle mechaniczne czujniki. Innym obszarem zastosowania czujników jest rozpoznanie wywrócenia się pojazdu i sterowanie systemami bezpieczeństwa. Specjalnie dla tych celów opracowano rodzinę czujników MM2, które wykrywają ruch obrotowy wokół osi podłużnej. Mają one bardzo małe rozmiary i są zabudowane w modułach sterujących poduszek powietrznych, instalowanych wzdłuż osi podłużnej pojazdu.

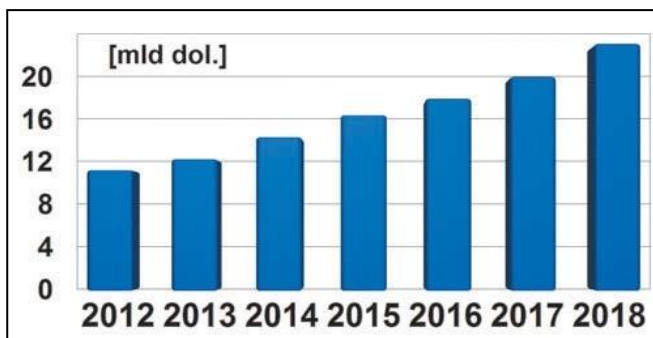
Układ ESP połączony z komfortem jazdy oraz zaawansowane układy stabilizacji ruchu pojazdu stawiają wysokie wymagania sygnałom bezwładnościowym. Z tych powodów firma Bosch opracowała trzecią generację wielostronnych i niedrogich czujników DRS MM3x, które mają spełniać wymagania stawiane przez takie funkcje, jak np. zabezpieczeniem przed stoczeniem ze wzniesienia HHD (ang. Hill Hold Control), automatyczny hamulec parkingowy APB (ang. Automated Parking Brake), nawigacja,

adaptacyjny układ regulacji odległości ACC (ang. *AdaptiveCruise Control*), zabezpieczeniem przed przewróceniem ROM (ang. *RolloverMitigation*), elektronicznie wspomagany układ kierowniczy EAS (ang. *Electronic Active Steering*), układ aktywnego sterowania zawieszeniem ASC (ang. *Active Suspension Control*). Układ DRS MM3x jest bazową wersją dla całej generacji układów DRS MM3, do zastosowań w układzie ESP. Zawiera on czujnik kąta obrotu oraz moduł przyśpieszenia poprzecznego [3].

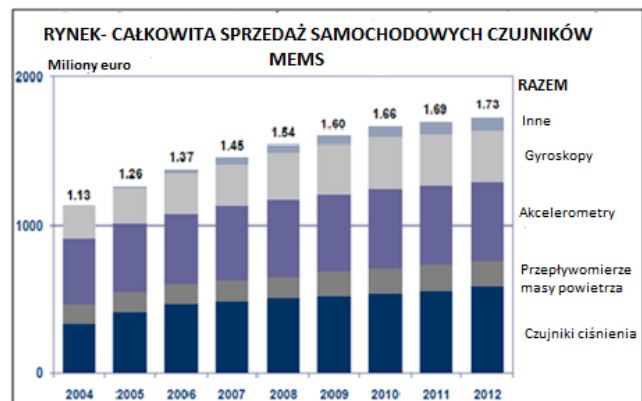
**Rynek czujników MEMS** Rozmiar rynku i szerokie możliwości zastosowania mikroelektromechanicznych czujników MEMS sprawiają, że urządzenia te mają w swojej ofercie wielu producentów.

Jak szacuje *YoleDevelopment*, podkreślając duże rozdrobnienie rynku, działa na nim na świecie obecnie ponad pięćdziesiąt przedsiębiorstw. Pięć największych ma w nim ponad 50% udział. Są to firmy: Bosch, Denso, Sensata, GE Sensing oraz Freescale. Produkują one głównie na potrzeby branży motoryzacyjnej, przemysłu oraz bardziej specjalistycznych aplikacji. Mniejsi dostawcy natomiast dopiero próbują się na tym rynku wybić. Przykładowo od dawna wiele firm rywalizuje o mocną pozycję wśród dostawców czujników ciśnienia w tej technologii na potrzeby motoryzacji. Ciągłe jednak dominuje w tym zakresie firma Bosch.

Samochodowy rynek mikroukładów rośnie z wielu powodów, należą do nich sama dynamika produkcji samochodów na świecie, postęp technologiczny, preferencje klientów oraz regulacje prawne. MEMS-y znajdują zastosowanie m.in. w coraz bardziej popularnych układach wspomagania kierowcy, a także w samochodach elektrycznych i hybrydowych.



Rys.6. Prognoza rynku MEMS na lata 2012-2018 (mld dol) [7]



Rys.7. Całkowita sprzedaż samochodowych czujników MEMS w latach 2004-2012 [5]

**Wnioski.** Technologia MEMS jest dziś dobrze ugruntowaną technologią w motoryzacji. Klucz do dalszego rozszerzania leży w dalszej miniaturyzacji. Nowe, interesujące zastosowania pojawiają się także poza przemysłem motoryzacyjnym, można zauważyć silny wzrost rynków w przemyśle urządzeń powszechnego użytku.

W samochodach czujniki MEMS i inne odgrywają obecnie strategicznie ważne role, od sterowania pracą silnika i kontrolą bezpieczeństwa pasażerów po komfort i dynamikę jazdy. Zapotrzebowanie na czujniki zmienia się i stale wzrasta. Dawniej w pojazdach używano głównie czujników analogowych i było ich raczej niewiele, obecnie stosowane są czujniki cyfrowe, co generalnie oznacza poprawę wydajności i niezawodności tych urządzeń.

We współczesnych pojeździe może być zamontowanych nawet 50 czujników MEMS. Do wymagań ważnych z punktu widzenia przemysłu motoryzacyjnego należy zaliczyć przede wszystkim niezawodność i wytrzymałość, gdyż czujniki mają bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo uczestników ruchu drogowego.

## LITERATURA

- [1] Gajek A., Juda Z.: Czujniki, mechatronika samochodowa. WKŁ, Warszawa 2009.
- [2] Gardner Julian W., Varadan Vijay K.: Microsensors, MEMS, and Smart Devices, USA 2002.
- [3] Informator techniczny Bosch, Czujniki w pojazdach samochodowych. WKŁ, Warszawa 2009.
- [4] Varadan Vijay K., Vinoy K. J., Gopalakrishnan S.: Smart Material Systems and MEMS: Design and Development Methodologies, USA 2006.
- [5] Elektronika Praktyczna – Układy MEMS, 2011.
- [6] <http://elektronikab2b.pl/>.

[7] <http://www.yole.fr/>.

[8] [http:// pmik.imio.pw.edu.pl/](http://pmik.imio.pw.edu.pl/).

### STRESZCZENIE

SIEDLECKA Sylwia. Zastosowanie czujników mems w motoryzacji / SIEDLECKA Sylwia, MAÐZIEL Maksymilian // Wisnyk Narodowego Uniwersytetu Transportu. – K. : NTU, 2015. - № 32.

W artykule przedstawiono krótką charakterystykę układów MEMS, ich strukturę oraz przykłady zastosowań. Opisano także czujniki MEMS znajdujące się w pojazdach samochodowych. W końcowej części zestawiono prognozy rynku sprzedaży mikrosystemów w kolejnych latach.

### РЕФЕРАТ

СІДЛЕЦЬКА Сільвія. Використання MEMS-сенсорів на автомобілях / СІДЛЕЦЬКА Сільвія, МОНДЗЕЛЬ Максиміліан // Вісник Національного транспортного університету. Серія “Технічні науки”. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2015. - Вип. 2 (32).

В статті описано MEMS-сенсори, їх структуру і приклади використання. Описані MEMS сенсори, що встановлюються на автомобілях. Заключна частина показує ринок продажів мікроспроцесорних систем в наступні роки.

### ABSTRACT

SIEDLECKA Sylwia, MAÐZIEL Maksymilian. The mems sensor application automotive. Visnyk National Transport University. Series “Technical sciences”. Scientific and Technical Collection. - Kyiv. National Transport University, 2015. - Issue 2 (32).

The article presents a brief description of MEMS, their structure and examples of applications. Described also MEMS sensors found in motor vehicles. The final part shows market of the sales Microsystems in subsequent years.

### AUTORZY:

SIEDLECKA Sylwia, Mgr inż., Politechnika Rzeszowska, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, Al. Powstańców Warszawy 12, tel.: +48 17 865 1100,35-959, Rzeszów, Polska

MAÐZIEL Maksymilian, Mgr inż., Politechnika Rzeszowska, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, Al. Powstańców Warszawy 12, tel.: +48 17 865 1100,35-959, Rzeszów, Polska

### АВТОРИ:

СІДЛЕЦЬКА Сильвія, Магістр інженер, Жешовська Політехніка, Кафедра двигунів внутрішнього згоряння і транспорту, Бульвар Повстанців Варшави 12, tel.: +48 17 865 1100,35-959, Жешув, Польща

МОНДЗЕЛЬ Максиміліан, Магістр інженер, Жешовська Політехніка, Кафедра двигунів внутрішнього згоряння і транспорту, Бульвар Повстанців Варшави 12, tel.: +48 17 865 1100,35-959, Жешув, Польща

### AUTHORS:

SIEDLECKA Sylwia, Mgr inż., Rzeszow University of Technology, Department of Internal Combustion Engines and Transport, Warsaw Insurgents Boulevard 12, tel.: +48 17 865 1100,35-959, Rzeszow, Poland

MADZIEL Maksymilian, Master engineer, Rzeszow University of Technology, Department of Internal Combustion Engines and Transport, Warsaw Insurgents Boulevard 12, tel.: +48 17 865 1100,35-959, Rzeszow, Poland

### РЕЦЕНЗЕНТИ:

Корпач А.О., кандидат технічних наук, Національний Транспортний Університет, професор кафедри двигунів і теплотехніки, Київ, Україна.

Гутаревич Ю.Ф, доктор технічних наук, професор, Національний Транспортний Університет, завідувач кафедри двигунів і теплотехніки, Київ, Україна.

### REVIEWERS:

Korpach A.O, Ph.D., National Transport University, Professor of Department of Engines and Heating Engineering, Kyiv, Ukraine.

Gutarevych Y.F, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of Department of Engines and Heating Engineering, Kyiv, Ukraine.