

# **Czujniki inteligentne**

Podstawowym problemem związanym z dotychczas stosowanymi czujnikami jest słabej jakości sygnał wyjściowy o nieliniowej charakterystyce i niskim wskaźniku sygnału użytecznego do szumu. Stwarza to problemy z późniejszym wykorzystaniem sygnału i wymagało dodatkowych środków służących poprawie jego jakości.

Jednocześnie budowa lub modernizacja złożonych układów pomiarowych była czasochłonna, ponieważ wymagała skomplikowanych obliczeń i doboru wielu elementów koniecznych do prawidłowej pracy systemu.

Zasadniczym celem wprowadzenia czujników inteligentnych było wyeliminowanie tych wad.

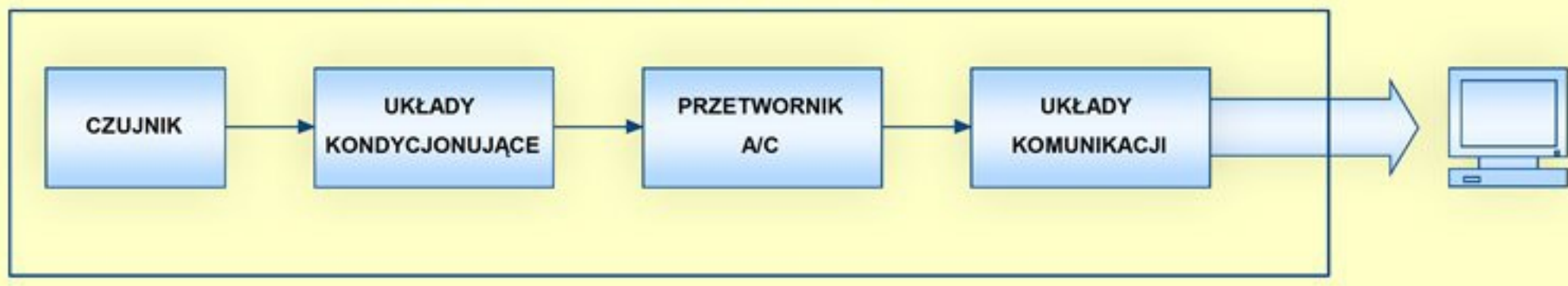
Dpo tej pory dominujace są 3 definicje:

Pierwsza mówi, że każdy sensor ze zintegrowanym układem elektronicznym jest inteligentny.

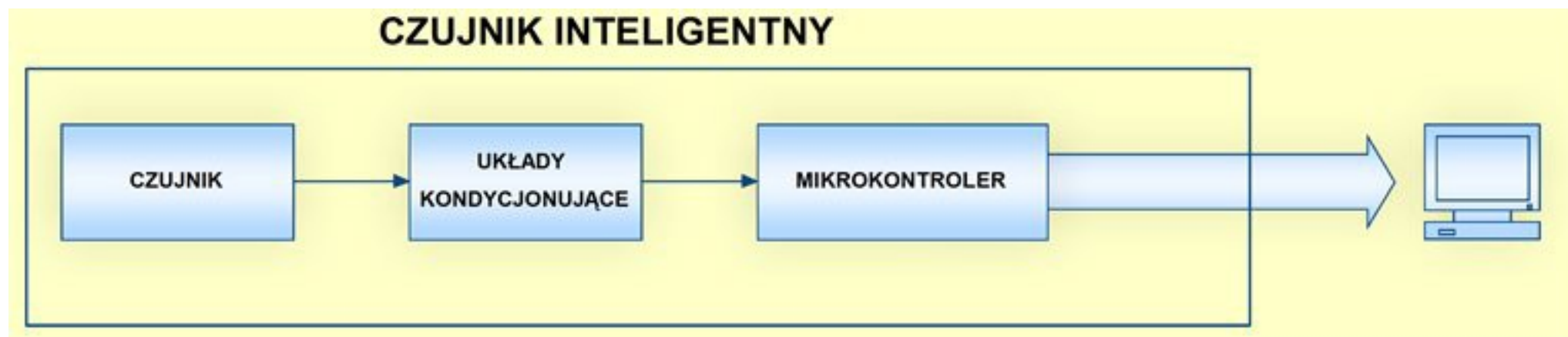
Druga definicja stanowi, że takim układem jest czujnik zintegrowany z mikroprocesorem.

Trzecia wymaga od inteligentnego czujnika posiadania funkcji logicznych umożliwiających mu podejmowanie pewnych działań zupełnie niezależnie.

### CZUJNIK ZINTEGROWANY



## FUNKCJE ZINTEGROWANE.



Przykładem mogą być funkcje zapewniające:

- autodiagnostykę,
- autokalibrację,
- autodetekcję.

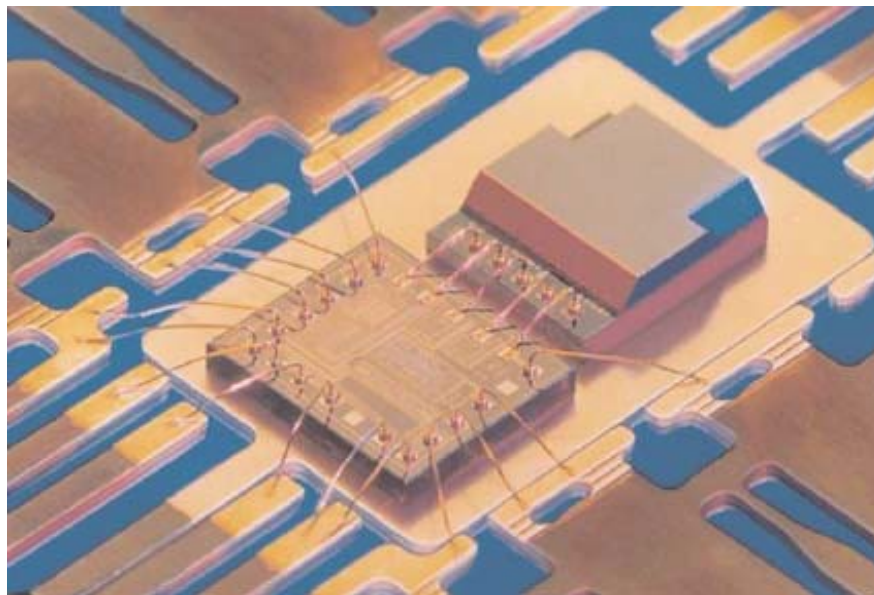
Czujnik inteligentny to zintegrowany układ potrafiący, bez żadnych dodatkowych elementów, zapewnić pomiar, obróbkę sygnału, komunikację z innymi urządzeniami oraz posiadający funkcje logiczne świadczące o jego pewnej autonomiczności.

Pojedyncze czujniki w złożonym systemie mogą być odpowiedzialne za pomiar tych samych bądź różnych wartości fizycznych, stanowią wtedy tzw. matrycę czujników.

Coraz częściej stosuje się w ramach jednego systemu pomiarowego, czujniki różnego rodzaju sygnałów fizycznych, gdzie mierzone przez nie wartości mogą być stosowane w celu korekcji błędów głównego sygnału pomiarowego.

Istnieją też projekty wykorzystujące matryce zbudowane z czujników różnego rodzaju sygnałów, mające na celu pomiar i analizę bardziej złożonych zagadnień (np. biosensory).

Podstawowa skłonność w technologii wymaga produkcji masowej przy zachowaniu niskich kosztów produkcji, jednocześnie zmusza do opracowania metod łączenia w układach elektronicznych, materiałów o różnych właściwościach, nie tylko krzemu i metalu, ale coraz częściej ceramiki, plastiku, a nawet substancji biochemicznych



Akcelerometr wykonany w technologii MEMS (z prawej czujnik, po lewej kontroler)

Funkcje przetwarzania takich układów, nazywanych quasi-cyfrowymi, można podzielić na trzy grupy:

- czujniki z przetwarzaniem  $x(t) \rightarrow f(t)$  – generują sygnał wyjściowy będący bezpośrednio funkcją częstotliwości. Do tej grupy zaliczyć można m.in. czujniki indukcyjne i akustyczne,
- czujniki z funkcją przetwarzania  $x(t) \rightarrow V(t)$  lub  $i(t) \rightarrow f(t)$  – zamiana napięcia albo natężenia prądu w funkcję częstotliwości jest stosunkowo łatwe i nie wymaga złożonych układów przetwarzania, w oparciu o tą funkcję powstają m.in. czujniki termoogniwa, fotowoltaiczne,
- czujniki z funkcją przetwarzania  $x(t) \rightarrow P(t) \rightarrow f(t)$  – stanowią najliczniejszą grupę rozwiązań, przekształcenie na częstotliwość odbywa się pośrednio z wykorzystaniem funkcji parametrycznej  $P(t)$ . Zmiana wielkości mierzonej powoduje zmianę parametru obwodu elektrycznego, czyli np. rezystancji, pojemności lub indukcyjności.

# Cechy układów inteligentnych

- linearyzacja charakterystyk przetwarzania – wykorzystując odpowiednie algorytmy oraz dane pochodzące z wbudowanych czujników kompensacyjnych albo z systemu nadrzędnego, zwiększają dokładność pomiaru i eliminują wpływ takich czynników jak temperatura lub ciśnienie,
- detekcja błędów i diagnostyka,
- dwustronne komunikowanie się z innymi urządzeniami w sieci,
- autotest i autokalibracja - możliwość zdalnej obsługi wielu przetworników,
- rejestracja i analiza danych pomiarowych – wykorzystując wbudowaną pamięć i mikroprocesor oraz komunikację sieciową,
- zdolność uczenia się i samodzielnego podejmowania decyzji – np. określenie zakresu pomiarowego.

## Czujniki temperatury

Nazwa	Zakres pomiarowy (i ew. zastosow.)	Rozdzielczość	Niepewność pomiarowa	Sygnał wyjściowy, standard komunikacyjny i inne
<i>Analog Devices</i>				
TMP03/04	-25°C – +100°C	16-bit	± 1.5°C	PWM
TMP05/06	-40°C – +150°C	12-bit	± 1°C	PWM
AD7416	-55°C – +125°C	10-bit	± 2°C	Cyfrowy, I <sup>2</sup> C
AD7816...8	-40°C – +85°C	10-bit	± 1°C	Cyfrowy, Serial, SPI, Microwire
<i>Dallas Semiconductor</i>				
DS16xx/ 17xx	-50°C – +125°C	9-13-bit (konfig.)	± 0.5°C do ± 2.5°C	Cyfrowy, SPI, 1-, 2-, 3- Wire
<i>Maxim</i>				
MAX6676/7	-55°C – +125°C		± 1°C	PWM
MAX6625/6	-55°C – +125°C	9/12-bit	± 3°C	Cyfrowy, 2-Wire, SMBus
MAX1617	-40°C – +125°C	7-bit	± 3°C	Cyfrowy, 2-Wire, SMBus
<i>National Semiconductor</i>				
LM70...74	-55°C – +150°C	10-13-bit	± 3°C	Cyfrowy, SPI, Microwire
LM75...77	-55°C – +150°C	9-12-bit	± 3°C	Cyfrowy, I <sup>2</sup> C, SMBus
LM92	-25°C – 150°C	12-bit	± 1.5°C	Cyfrowy, Serial
<i>Texas Instruments</i>				
TMP100/1	-55°C – +125°C	9-12-bit	± 1.5 / 2 °C	Cyfrowy, I <sup>2</sup> C
TMP124/5	-40°C – +125°C	(konfig.)	± 1.5 / 2 °C	Cyfrowy, SPI

# Czujniki ciśnienia

Czujniki ciśnienia, podobnie jak temperatury, są jednymi z najbardziej rozpowszechnionych. Znalazły swoje zastosowanie w medycynie (wykorzystuje się je do pomiarów np. ciśnienia krwi), lotnictwie (pomiar wysokości), jak i w sprzęcie AGD (np. poziom wody w pralce) oraz w kontroli procesów technologicznych.

Pierwsze zintegrowane układy pomiaru ciśnienia pojawiły się w początku lat 70. ubiegłego wieku i stanowią doskonały przykład możliwości technologicznych mikromechaniki.



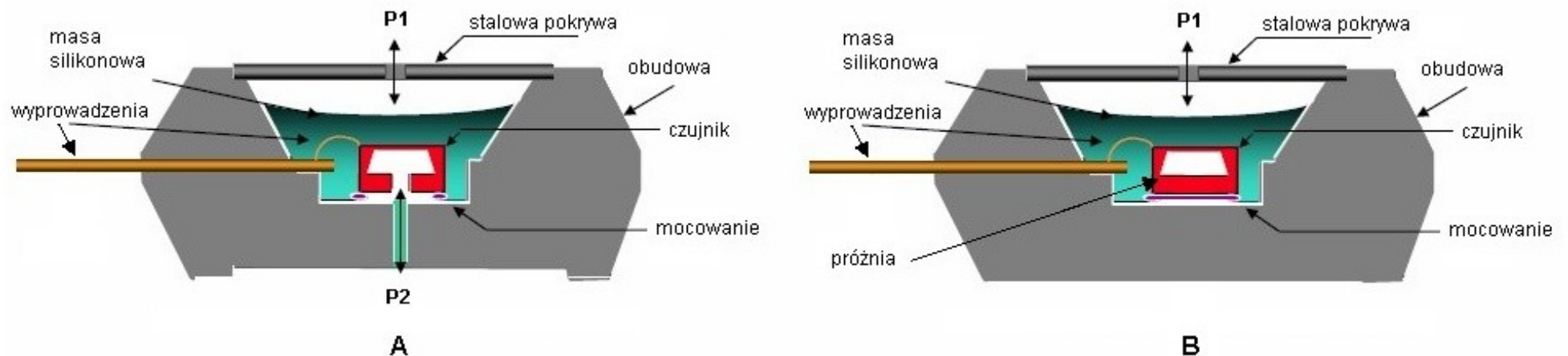
Składa się z krzemowej płytki na której „rozciągnięta” jest membrana wykonana również z tego materiału. Na niej umieszcza się układ piezorezystorów, połączony w mostek pomiarowy

Pod wpływem wzrostu ciśnienia dwa z rezystorów umieszczone równolegle do naprężenia, rozciągają się, co powoduje wzrost rezystancji, pozostałe dwa leżące prostopadle do kierunku naprężenia ulegają ścisnieniu, poprzez co ich opór maleje.

Sygnał pomiarowy zależy od temperatury otoczenia, dlatego w celu kompensacji jej wpływu, do układu wbudowuje się czujnik temperatury, którego pomiary są na bieżąco analizowane i uwzględniane przez odpowiednie algorytmy kompensacyjne mikrokontrolera.

W niektórych układach można kalibrować każdy czujnik indywidualnie wykorzystując jego interfejs sieciowy oraz dostarczone z nim oprogramowanie.

Czujniki ciśnienia są dostępne w różnych konfiguracjach, które pozwalają na pomiar ciśnienia absolutnego, względnego i nadciśnienia. Pomiar ciśnienia różnicowego (względnego) wymaga czujnika o konstrukcji ukazanej na poniższym rysunku



Medium może oddziaływać na membranę z obu stron, co pozwala określić różnicę ciśnienia. Czujnik do pomiaru nadciśnienia schematycznie bardzo przypomina przetwornik ciśnienia względnego, z tym tylko, że ciśnieniem odniesienia P2 jest ciśnienie atmosferyczne. Do pomiaru ciśnienia absolutnego niezbędny jest układ odniesienia w postaci próżni.



Charakterystyczne cechy każdego układu można dobrać według własnych potrzeb, najważniejsze z nich to:

- zakres pomiarowy i dopuszczalne przeciążenie,
- czułość, liniowość i histereza,
- zakres dopuszczalnych temperatur pracy,
- standardy komunikacyjne.

Sensor firmy *Instrumentation Northwest* służy do pomiaru ciśnienia wody w różnorodnych zbiornikach.

Zakres pomiarowy w zależności od modelu sięga do ponad 2000 kPa (w wersjach do pomiaru ciśnienia absolutnego i nadciśnienia).  
Rozdzielczość przetwornika wynosi 16 bitów.

Dokładność pomiaru w całym zakresie  $\pm 0.1\%$ . Komunikacja zgodna ze standardem RS485 oraz systemem Modbus (ułatwia połączenie czujnika ze sterownikiem PLC).

Nazwa	Zakres pomiarowy (i ew. zastosowanie)	Niepewność pomiarowa	Sygnał wyjściowy, standard komunikacyjny
<i>Instrumentation Northwest</i>			
PT2X	do 2000 kPa	0.1%	RS232/485, Modbus
<i>Amsys</i>			
MS5536	400 – 1000 mm Hg (ciśnienie krwi)	± 7 mbar	Cyfrowy, IC
MS5534B	10 – 1100 mbar (barometr)	± 2 mbar	Cyfrowy, IC
MS5537	0 – 300 mm H <sub>2</sub> O (poziom wody)	± 2 mbar	Cyfrowy, IC
<i>Sensor Technics</i>			
CSDX	0 – 5 bar	1%	Cyfrowy, IC
<i>Esterline Pressure Systems</i>			
Seria 970	75 – 3500 kPa	0.01%	RS422/485, RS-232
<i>HYDAC</i>			
HDA4000	do 3500 kPa	0.25%	CAN
<i>Paroscientific Inc.</i>			
Seria 9000	7 - 275 MPa	0.01%	RS232/485
8CDP, 8CB	do 7000 m H <sub>2</sub> O	0.01%	RS485

## Czujniki przyspieszenia

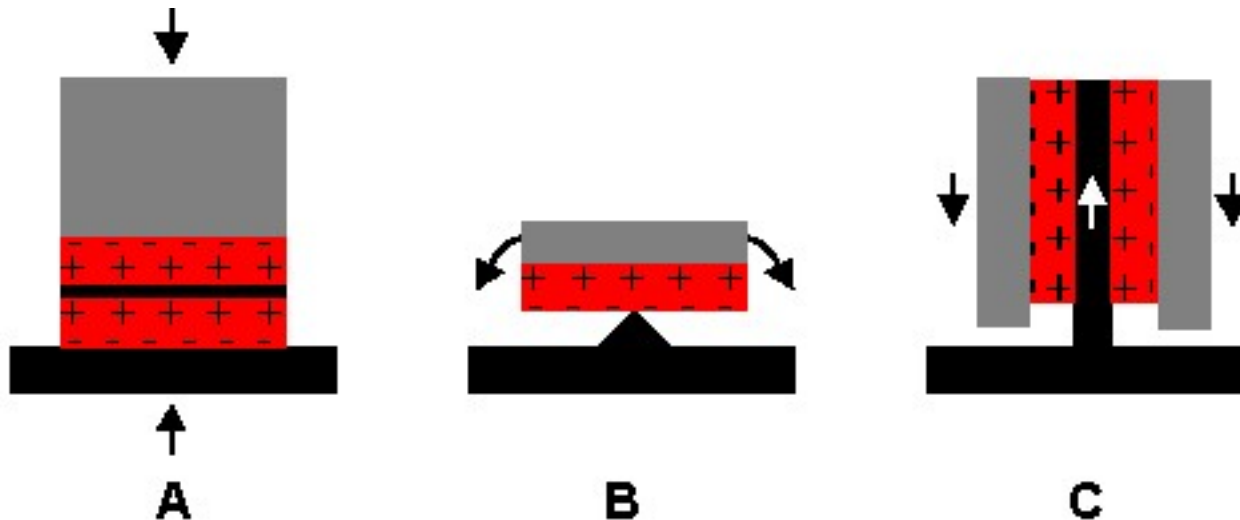
Akcelerometry są przetwornikami dostarczającymi sygnał wyjściowy proporcjonalny do przyspieszenia, drgań (wibracji) lub uderu.

Czujniki te znalazły szerokie zastosowanie zarówno w badaniach laboratoryjnych, jak i w sprzęcie codziennego użytku.

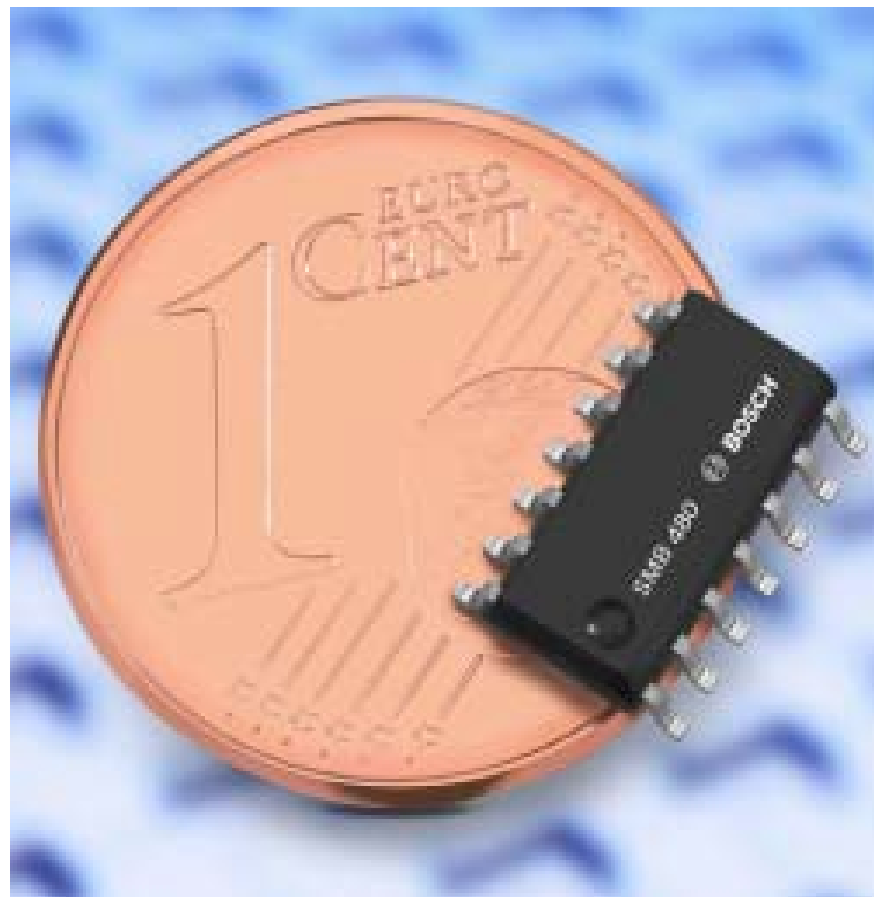
Do ich najczęściej spotykanych zastosowań należą m.in. czujniki w poduszkach powietrznych, alarmach samochodowych.

W dziedzinie badań stosowane są w celu poznania charakterystyk dynamicznych i oddziaływań testowanych obiektów na środowisko, dzięki uzyskanym wynikom można projektować elementy o zwiększonej odporności i trwałości

Ze względu na konstrukcję mechaniczną, czyli rozłożenie poszczególnych piezokryształów w czujniku rozróżniamy trzy główne konfiguracje: typ ścinania, gięcia lub ściskania (rys.) , przy czym ostatnia konstrukcja wykorzystywana jest najczęściej w czujnikach ciśnienia.



Podział czujników piezoelektrycznych ze wzg. na mierzone siły: A – ściskania, B – gięcia, C- ścinania



Czujnik dużych przyspieszeń firmy *Bosch*

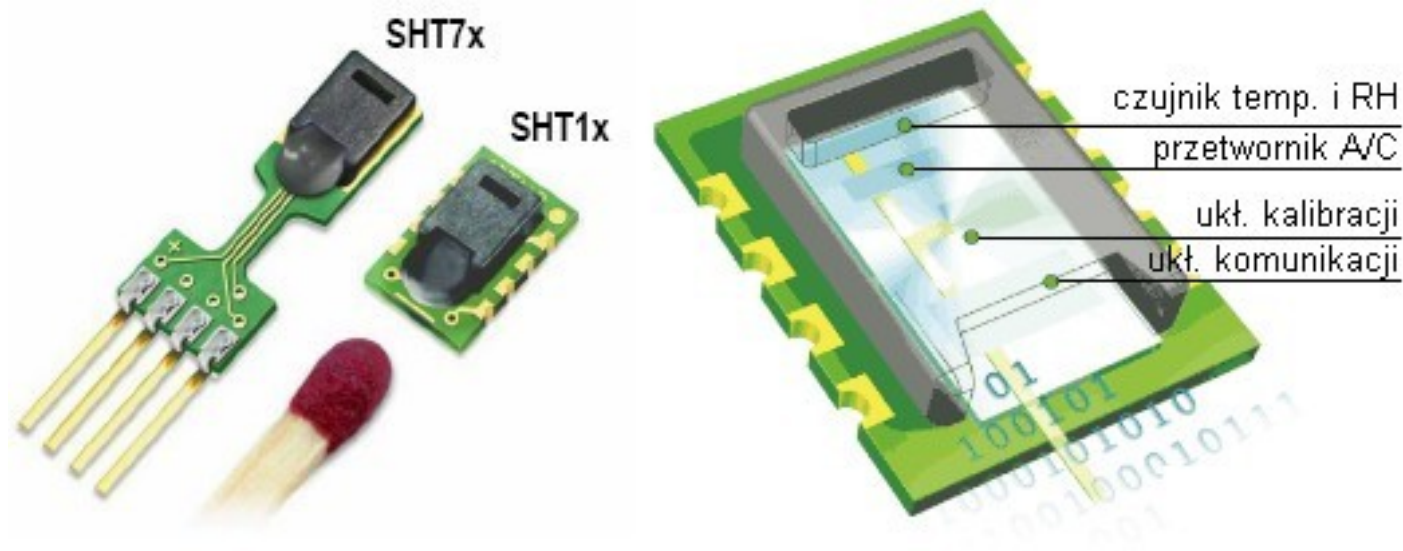
35203A/ 35200A	$\pm 1\text{g} \text{ -- } \pm 5\text{g}$ $\pm 10\text{g} \text{ -- } \pm 50\text{g}$	$< 10\text{ kHz}$ $< 0.9\text{ kHz}$	16-bit	0.5 %	RS-232/485
Analog Devices					
ADIS16201	$\pm 1.7\text{g}$	$< 2.2\text{ kHz}$	$\sim 2\text{ LSB/mg}$ (12-bit)	1 %	SPI
ADIS16204	$\pm 70\text{g}$	$< 0.4\text{ kHz}$	$\sim 17\text{ LSB/mg}$ (14-bit)	1 %	SPI
ADIS16003	$\pm 1.7\text{g}$	$< 2.2\text{ kHz}$	$\sim 800\text{ LSB/g}$	7 %	SPI
ADIS16006	$\pm 5\text{g}$	$< 2.2\text{ kHz}$	$\sim 250\text{ LSB/g}$	6 %	SPI
Kionix					
KXP74-1050	$\pm 1.5\text{g do } \pm 6\text{g}$ $\pm 1.5\text{g do } \pm 6\text{g}$	$< 3.3\text{ kHz (xy)}$	$\sim 820\text{ LSB/g}$ (12-bit)  $240\text{--}660\text{ mV/g}$ (12-bit)	2% (typ.) 3% (max.)	SPI
KXP84		$< 1.7\text{ kHz (z)}$			SPI, I <sup>2</sup> C
KXPB5-2353		$< 1\text{ kHz}$			SPI
KXR94-2353					SPI
KXPS5					SPI, I <sup>2</sup> C
STMicroelectronics					
LIS3LV02DQ	$\pm 6\text{g}$	$< 0.65\text{ kHz}$	350 LSB/g (12-bit)	3.5%	SPI, I <sup>2</sup> C
LIS3LV02DL					
LIS302DL	$\pm 8\text{g}$	$< 0.4\text{ kHz}$	$\sim 14\text{ LSB/mg}$		
Techkor					
M9E-RF	$\pm 5\text{g} \text{ -- } \pm 50\text{g}$	$< 10\text{ kHz}$	0.003 g (8-16-bit)	3 %	Wireless Ethernet 915 MHz ISM

## Czujniki wilgotności

Wilgotność zdefiniowana jest jako zawartość pary wodnej w ośrodku (powietrzu lub innym gazie). Maksymalna wilgotność ściśle zależy od temperatury. Im większa jest temperatura badanego medium, tym więcej wody może się w nim znajdować w stanie gazowym.

Najpopularniejszymi sposobami określenia poziomu wilgotności są:

- wilgotność bezwzględna (absolutna) – masy pary wodnej (w gramach) zawarta w 1 m<sup>3</sup> pozostałego gazu,
- wilgotność względna (współczynnik RH) - wyrażony w procentach stosunek rzeczywistej ilości wilgoci w gazie (powietrzu) do maksymalnej ilości wilgoci, którą może on utrzymać w danej temperaturze i ciśnieniu,
- wilgotność właściwa - masa pary wodnej (w gramach) zawarta w 1 kg gazu (razem z parą wodną).



Czujniki firmy *Sensirion* (rys.) cechują 14 bitowe przetworniki wilgotności i temperatury oraz niewielkie rozmiary fizyczne. Wykonane są w nowoczesnej technologii CMOSens® [26]. Niedokładność pomiaru wynosi od  $< \pm 2\% \text{ RH}$  (SHT75) do  $\pm 5\% \text{ RH}$

(SHT10). Dodatkowym atutem jest komunikacja zgodna z I2C i pełny zakres pomiarowy wilgotności.

Rozdzielczość pomiarów wilgotności może być regulowana w zakresie 8-12 bit, a dla temperatury 12-14 bit.



Czujnik DS1923 zamknięty jest w niewielkiej metalowej kapsule (ok. 1,6 cm średnicy i 0,6 cm wysokości), co zwiększa jego odporność na udary mechaniczne.

Pojemność pamięci wynosi 8kB, pomiary temperatury i wilgotności mogą być zapisywane z rozdzielczością 8 lub 12 bitów. Mogą być zapisywane dane temperatury i wilgotności wraz z czasem pomiaru lub sama temperatura.

Okres pomiaru jest dowolnie programowany w zakresie 1s – 276h. Istnieje również możliwość włączenia rejestracji pomiarów po przekroczeniu poziomów alarmowych temperatury lub wilgotności.

Dane przekazywane są do dalszej obróbki za pomocą czytnika, który należy zetknąć z metalową obudową czujnika.

Zasilanie układu stanowi kondensator ładowany podczas sczytywania zgromadzonych danych pomiarowych.

EE03	0-100% RH (-40 - 80°C)	0.01% RH	±3% RH	Cyfrowy, RS232
EE07			±2% RH	
Sensirion				
SHT10	0-100% RH (-40 - 120°C)	8/12 bit (12/14 bit temp.)	±(4.5-7)% RH	Cyfrowy, I <sup>2</sup> C
SHT11/71			±(3-5)% RH	
SHT15			±(2-4)% RH	
SHT75			±(1.8-3.5)% RH	
Precon				
HS-2000xx	0-100% RH (-30 - 85°C)	0.1% RH	±2% RH	Cyfrowy, RS232
HS-2000xxE	0-100% RH (-30 - 100°C)			
ICT International				
HU1	0 - 100% RH (-30 - 80°C)	0.01% RH	±2% RH	Cyfrowy, RS232, Monibus
Dallas				
DS1923	0 – 95% RH (-20 - 80°C)	8/12-bit	±5% RH	Cyfrowy, 1-Wire

## Czujniki pozycji i ruchu

Czujniki służące do pomiaru pozycji i prędkości znajdują coraz większe zastosowanie nie tylko w przemyśle, lecz przede wszystkim w zastosowaniach codziennego użytku.

Stają się standardowym wyposażeniem domów prywatnych i budynków użyteczności publicznej. Rozwój technologii pomiarowej sprawia, że urządzenia te są dostępne i coraz częściej wykorzystywane w zastosowaniach, gdzie ze względu np. na koszt lub rozmiary czujników do tej pory nie występowały.

Czujniki pozycji służą dokładnej kontroli ruchu, wykorzystując wbudowane funkcje potrafią wyznaczać położenie, prędkość, odległość lub kierunek dla badanego obiektu.



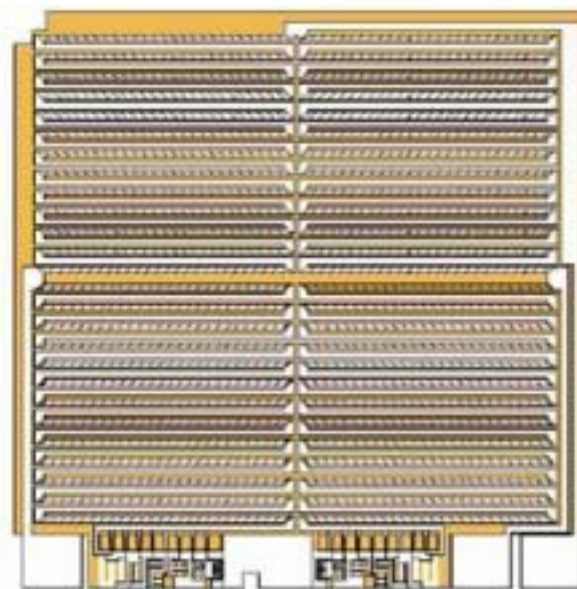
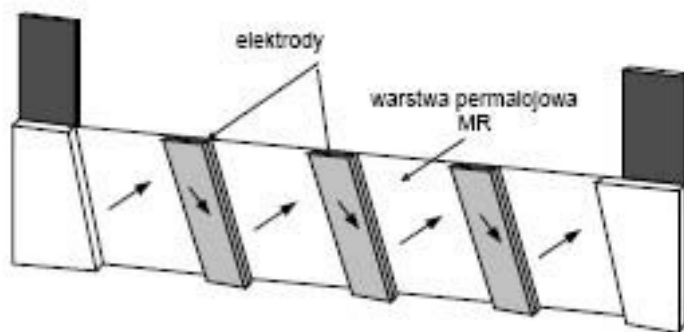
Rodzaje czujników pozycji

## **Czujniki magnetyczne**

Natężenie pola mierzą czujniki efektu Halla, kierunek pola magnetycznego – czujniki magnetorezystancyjne, bazujące na pomiarze oporu elektrycznego wywołanego polem magnetycznym.

Czujniki Halla są zbudowane z cienkich warstw materiałów przewodzących (np. InSb) ułożonych prostopadle do przepływu pola magnetycznego. W odpowiedzi na to oddziaływanie, na wyjściu czujnika Halla pojawia się napięcie proporcjonalne do natężenia badanego pola magnetycznego. Uzyskany sygnał jest wyjątkowo słaby, dlatego wymaga zaawansowanych metod kondycjonowania w celu uzyskania użytecznej wartości sygnału wyjścia.

Ogólnie czujniki magnetorezystancyjne wykrywają zmianą oporności pod wpływem zmiany orientacji namagnesowania materiału względem kierunku płynącego przez niego prądu. Cechą odróżniającą te zjawiska od zwykłego magnetooporu jest fakt, że zmiany oporu elektrycznego zachodzą w znacznie mniejszych natężeniach pola magnetycznego.



Ogólnie czujniki magnetorezystancyjne wykrywają zmianą oporności pod wpływem zmiany orientacji namagnesowania materiału względem kierunku płynącego przez niego prądu. Cechą odróżniającą te zjawiska od zwykłego magnetooporu jest fakt, że zmiany oporu elektrycznego zachodzą w znacznie mniejszych natężeniach pola magnetycznego.

W czujnikach magnetorezystancyjnych czas odpowiedzi i częstotliwość pomiarów jest ograniczona jedynie szybkością działania układów przetwarzających. W związku z powyższymi zaletami, nadają się do pomiarów położenia obiektów znajdujących się w ruchu, przede wszystkim obrotowym (np. wały, osie, głowice). W porównaniu do czujników Halla są znacznie bardziej czułe, przez co używane są w pomiarach, gdzie występują większe odległości pomiędzy sensorem, a polem magnetycznym.

Nazwa	Zakres pomiarowy	Czułość, rozdzielczość	Niepewność pomiarowa	Typ, Syg. wyjśc., stand. komunik.
<i>Waycon</i>				
LAS / LAM	0.5 - 800 mm	0.1 $\mu\text{m}$		laser., RS485
MAZ	0 - 100 mm do 4 m	5 $\mu\text{m}$	$\pm 0.2 \%$	magnet., PWM, SSI, CAN
<i>Ametek Gemko</i>				
955S Smart Brik	Do 4.5 m	0.01% zakresu	$\pm 0.1 \%$	magnet., analog
<i>Europump</i>				
DIGIMAG SMT	20 cm – 12 m	0.1 mm	$\pm 0.5 \text{ mm}$	magnet., RS485
<i>Omron</i>				
E4C-UDA	50 – 1000 mm	1% zakresu	$\pm 2 \%$	ultradź., cyfrowy
ZX-E	Do 7 mm	1 $\mu\text{m}$	$\pm 1 \mu\text{m}$	induk., cyfrowy
ZX-L	28 – 500 mm (refleksyjne) 0 – 2000 mm (nad- odb)	0.25 – 300 $\mu\text{m}$ (zal. od zakresu)	$\pm 0.2 \%$ ( $\pm 2 \%$ dla dużych zakresów)	laser., cyfrowy

## Czujniki substancji chemicznych i biosensory

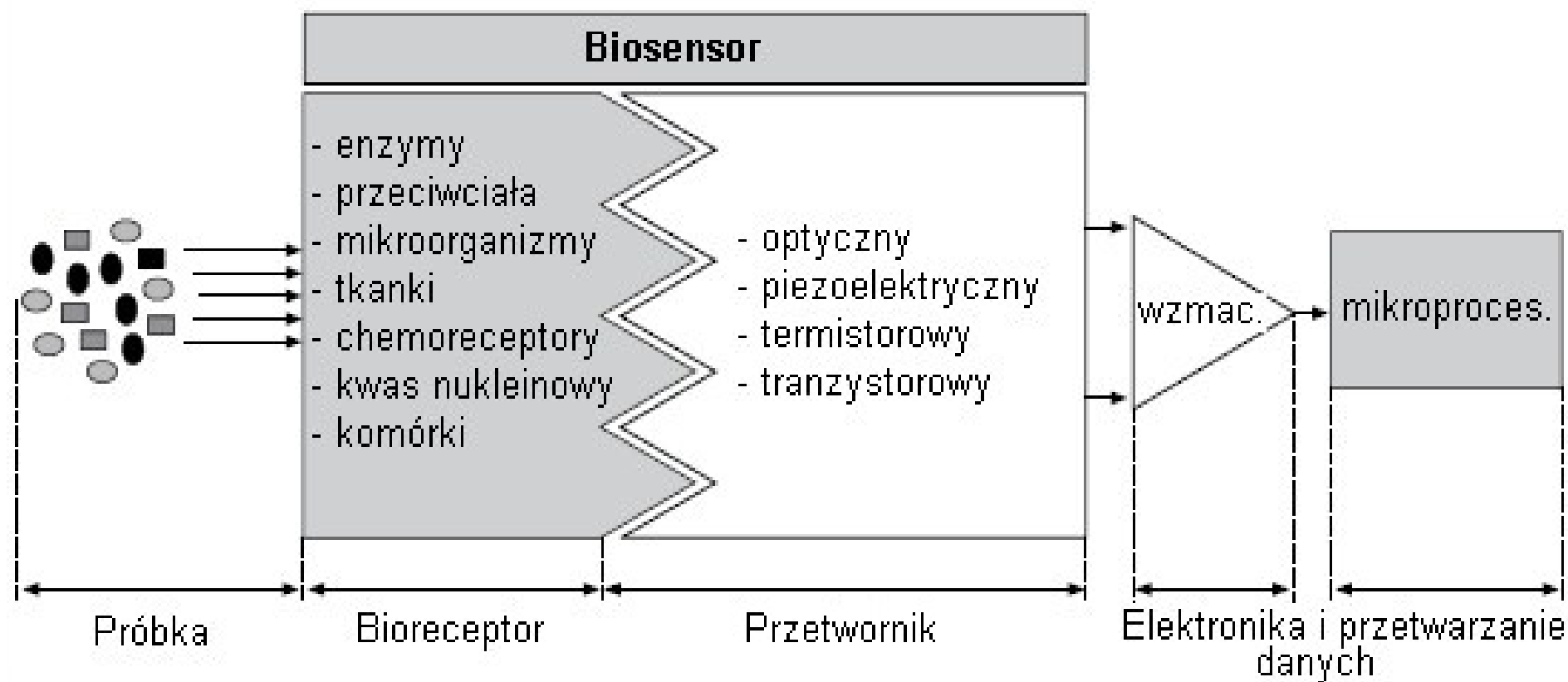
Wykorzystanie technologii biosensorów w gotowych rozwiązaniach przemysłowych nastąpiło niedawno (ok. 10 lat temu) i wiąże się bezpośrednio z rozwojem technologii czujników inteligentnych. Rozróżniamy podstawowy podział na:

- czujniki lotnych (gazowych) substancji chemicznych,
- czujniki pozostałych substancji.

W każdym biosensorze można wyróżnić dwie części: bioreceptor i przetwornika.

Pierwszy oddziałuje z substancją badaną, wykorzystuje w tym celu elementy biologiczne.

Drugi (elektroniczny) element przekształca efekt wywołany przez bioreceptor na sygnał elektryczny.



Ogólna zasada działania bioczuJNIKÓW

Dla przykładu czujnik wykrywający glukozę (np. we krwi) wykorzystuje przemianę chemiczną (z wykorzystaniem oksydazy glukozy):



Do pomiaru zawartości glukozy można wykorzystać 3 metody:

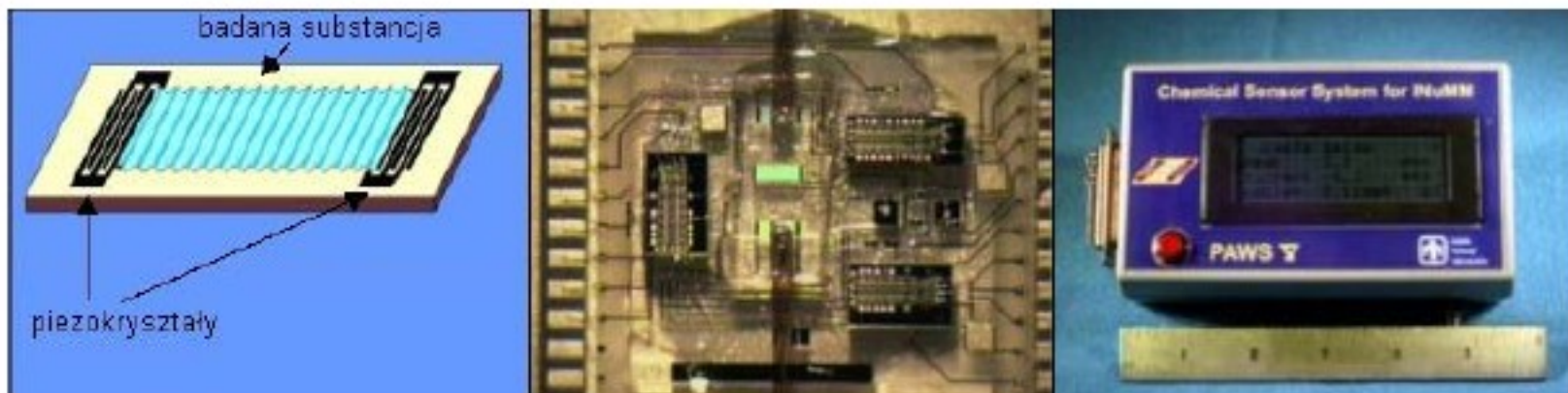
- czujnik tlenu – pomiar spadku ilości zredukowanego tlenu podczas reakcji
- czujnik pH – badanie zmiany poziomu pH powstałego w wyniku reakcji kwasu
- czujnik peroksydazy – badanie stężenia  $\text{H}_2\text{O}_2$  będącego produktem reakcji

Charakterystyka biosensorów opiera się na kilku parametrach:

- czułość – wielkość zmiany stężenia możliwej do wykrycia przez czujnik,
- zakres – zakres pomiarowy stężenia wykrywany przez układ pomiarowy,
- selektywność – zdolność do reakcji tylko na wystąpienie substancji docelowej,
- stabilność i liniowość pomiarów,
- czas reakcji i okres prawidłowej pracy.

Akustyczna fala powierzchniowa - AFP (z ang. surface-acoustic wave - SAW) -  
Układy zbudowane są z matryc czujników wraz z odpowiednimi algorytmami rozpoznawania, bazującymi na analizie wielowymiarowych układów. Pojedynczy SAW wykorzystuje dwa piezoelektryczne kryształy, z których jeden jest emiterym fali, a drugi służy do detekcji zmian powstałych w wyniku oddziaływania badanej substancji na strukturę znajdującą się pomiędzy nadajnikiem, a odbiornikiem.

Zestaw pomiarowy zbudowany jest z matrycy sześciu takich układów. Wbudowane algorytmy umożliwiają identyfikację 14 związków organicznych i 21 związków chemicznych w szerokim zakresie stężenia z dużą dokładnością.

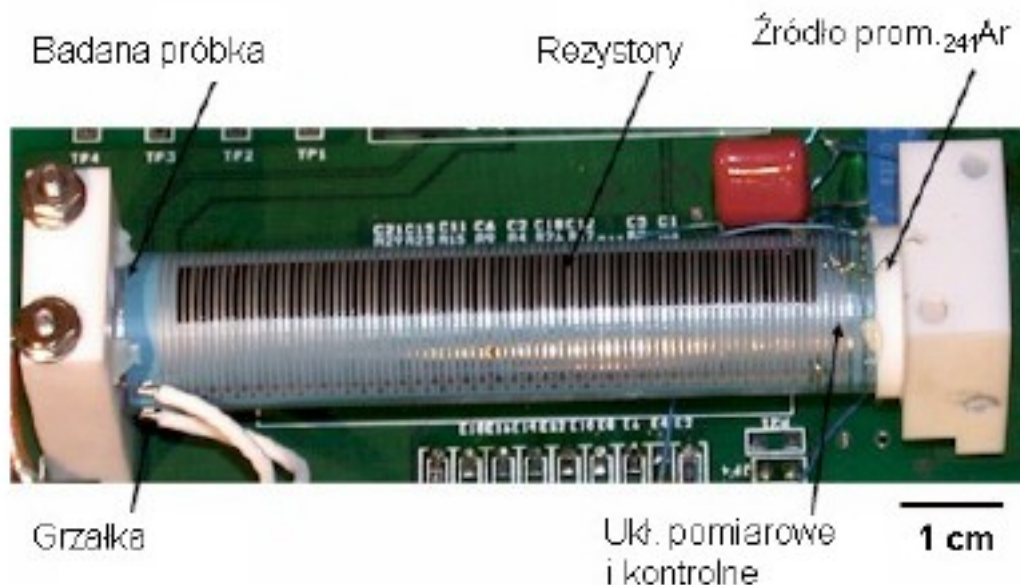


Uproszczony schemat układu SAW, płytki z układami SAW i gotowy miernik

Mobilna spektrometria jonowa (ang. Ion Mobility Spectrometry - IMS) – jest nowoczesną metodą stosowaną w zminiaturyzowanych czujnikach chemicznych.

Układ pracuje przy ciśnieniu atmosferycznym i umożliwia wykrywanie wielu substancji chemicznych. Składa się z małej ceramicznej tuby oraz zespołu elektrod i izolatorów połączonych układami elektronicznymi, zapewniającymi jednolite pole elektryczne w jej wnętrzu. Układ służy do pomiaru współczynnika ( $k$ ) ruchliwości zjonizowanych molekuł. Współczynnik zależy od czasu ( $t_d$ ) w jakim cząstka będąca pod wpływem pola elektrycznego ( $E$ ) przemieści się wzdłuż odcinka pomiarowego ( $L$ )

$$k = \frac{L}{t_d \cdot E}$$

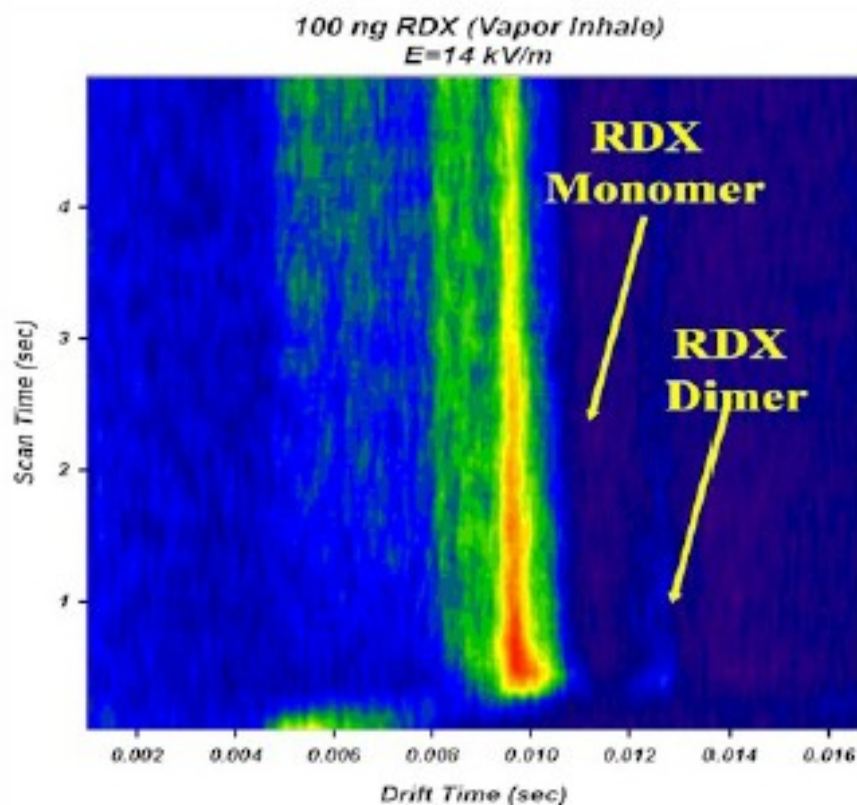


Układ pomiarowy do spektrometrii jonowej

Można dokonywać pomiaru zarówno jonów dodatnich, jak i ujemnych. Źródłem jonizującym jest pierwiastek  $^{241}\text{Am}$ . Zespół pomiarowy składa się z 80 elektrod.

Sygnał pomiarowy może być analizowany z użyciem cyfrowych metod przetwarzania.

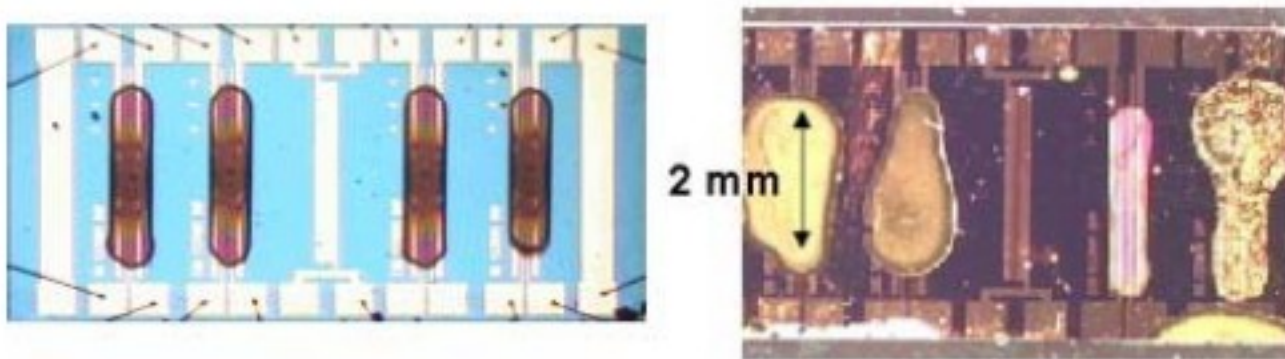
Na ich podstawie można określić rodzaj i koncentrację badanej substancji



Przykładowe widmo uzyskane metodą spektrometrii jonowej, na obrazie widoczna jest detekcja materiałów wybuchowych zawartych w badanej próbce

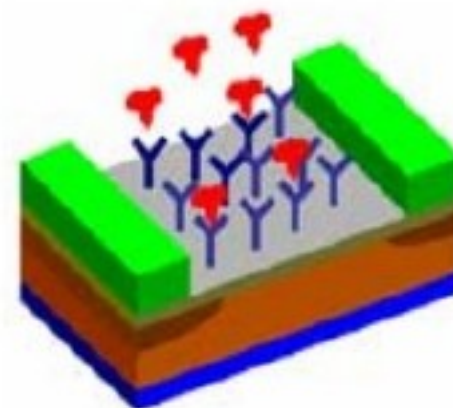
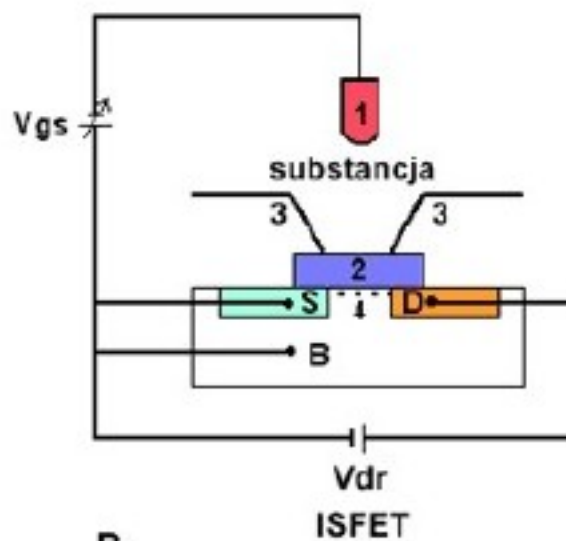
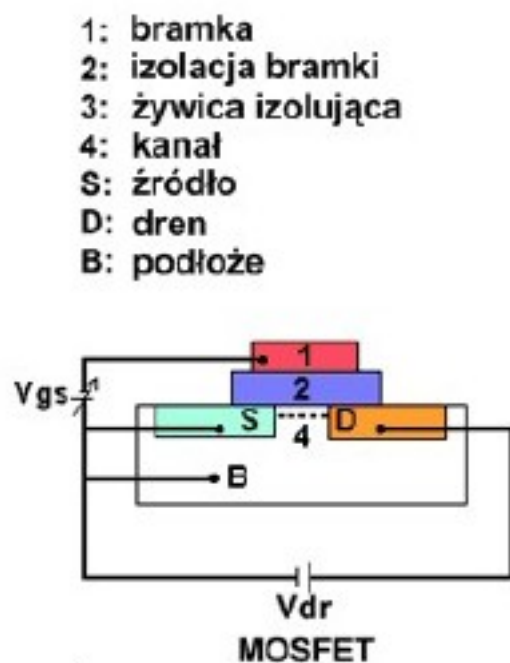
Chemorezystory – występują w postaci matryc zawierających wiele (od 25 do 50) czujników, których rezystancja jest zależna od absorbowanych przez nie substancji chemicznych. Zastosowanie materiałów polimerowych i ich domieszkowanie umożliwia odpowiednie dobranie właściwości przewodzących dla badanej substancji. Zaletą tego rozwiązania jest niewymagający dużej mocy obliczeniowej układ pomiarowy, co umożliwia pomiar w sposób ciągły.

Chemorezystory nanoszone są metodą fotolitografii na płytkę krzemową lub inny materiał bazowy i połączone ze sobą równolegle. Zbadanych i skatalogowanych jest wiele polimerów (ponad 50), co pomaga dobierać układy do pomiarów konkretnych rodzajów substancji.



Układy chemorezystorów do badania jednej (z lewej) lub wielu (z prawej) substancji

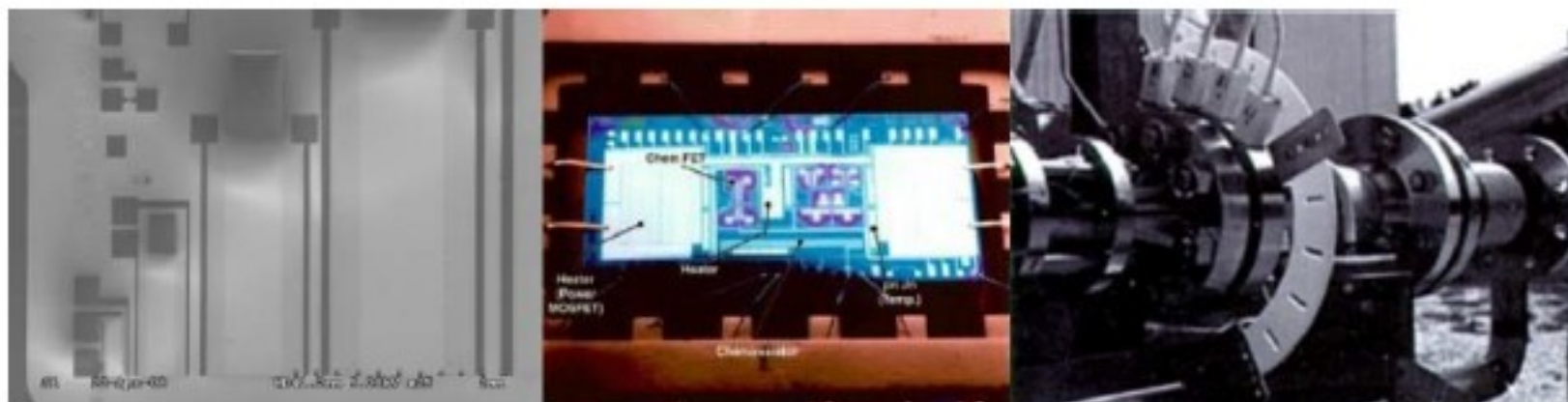
ChemFET – układy zbudowane w oparciu o technologię tranzystorów MOSFET, zadziałanie bramki uzależnione jest jednak nie od sygnału elektrycznego, ale spowodowane reakcją chemiczną, będącą wynikiem wystąpienia w badanej próbce szukanej substancji chemicznej. Do tej grupy układów zaliczamy ISFET (służą do detekcji jonów i elektronów) oraz ENFET (wykrywają istnienie określonych enzymów).



Przykładem nieorganicznego czujnika ChemFET może być czujnik Robust firmy Sandia. Jest to szeroko zakresowy układ pomiarowy służący do wykrywania wodoru.

Składa się z bramki zbudowanej ze stopu palladu z niklem, chemorezystora (PdNi) i posiada układ stabilizacji temperatury. Całość wraz z układami sterującymi i komunikacyjnymi umieszczona jest na niewielkiej krzemowej płytce (waga ok. 1g).

Umożliwia wykrywanie stężeń od 0.0001% do 100%. Używany jest m.in. przez NASA do wykrywania przecieków w zbiornikach i instalacjach wodoru.



Przykładem złożonego systemu pomiarowego są układy potocznie nazywane „elektronicznym nosem”. Zbudowane są z licznych matryc czujników chemicznych, służą do rozpoznawania, klasyfikowania substancji chemicznych i monitorowania stanu środowiska. Zawierają oprogramowanie obsługujące układ pomiarowy składający się z czujników chemicznych wielu typów. Jednym z gotowych przenośnych rozwiązań tego rodzaju jest HGVI firmy Smiths Detection.

Wykorzystuje 3 rodzaje matryc czujników: IMS (mobilny spektrometr jonowy), PID (detektor fotojonizacyjny) i TGS (czujnik gazów). Jest przeznaczony dla służb ratunkowych i bezpieczeństwa. Wykrywa i identyfikuje szereg substancji chemicznych – materiałów wybuchowych, toksyn, niebezpiecznych gazów i radioaktywnych.



Urządzenia pomiarowe HGVI (po lewej) i Bio-Seeq Plus (po prawej) firmy Smiths Detection

Podstawowym zadaniem na przyszłość jest stworzenie całej gamy inteligentnych cyfrowych czujników i systemów pomiarowych, służących do pomiarów wszystkich wielkości fizycznych i chemicznych oraz zapewniających wysoką dokładności pomiaru. Kolejnym celem jest projektowanie układów łatwych do montażu i uruchomienia, wiąże się z tym wymóg ujednolicania standardów komunikacyjnych.

Wprowadzenie w układowych funkcji diagnozujących i kalibrujących dodatkowo obciąża użytkownika.

Nadal poważnym problemem stanowi zwiększenie dokładności czujników cyfrowych, bo uzyskiwane rozdzielczości pomiaru są już w znaczący sposób przeszacowane w stosunku do rzeczywistej precyzji systemów pomiarowych. Jednocześnie stopień skomplikowania algorytmów wbudowywanych w czujnik oraz budowa samego sensora poważnie utrudnia chęć ciągłej miniaturyzacji, gdyż rosnące wymagania zmuszają do zwiększania mocy obliczeniowej i ilości pamięci potrzebnej do prawidłowego funkcjonowania układów