



Pomiary i Sterowanie w Budynkach Inteligentnych

CZUJNIKI POMIAROWE ZASADA DZIAŁANIA

Wydział: Automatyki, Elektroniki i Informatyki

Katedra: Pomiarów i Systemów Sterowania

Kierunek: Automatyka i Robotyka

Specjalność: Systemy Pomiarowe i Informacyjne - edycja 2024

CZUJNIKI WILGOTNOŚCI POWETRZA

WILOGTNOŚĆ POWIETRZA

Wilgocią lub wilgotnością bezwzględną (absolutną) mieszaniny pary wodnej i suchego powietrza, jako ilość masy pary zawartej w 1m³ powietrza wilgotnego

$$\rho_w = \frac{m_w}{V}$$

Wilgotność względna φ jest stosunek ciśnienia cząstkowego pary wodnej w powietrzu wilgotnym p_w do ciśnienia nasycenia pary wodnej p_n przy stałej temperaturze powietrza.

$$\varphi = \frac{p_w}{p_n} \cdot 100[\%RH]$$

Zawartość wilgoci (stopień nawilżenia, wilgotność właściwa) jest to stosunek masy pary wodnej zawartej w powietrzu do masy powietrza suchego tworzącego mieszaninę z parą wodną

$$X = \frac{m_w}{m_g} \frac{\text{kg } H_2O}{\text{kg gazu suchego}}$$

TEMPERATURA PUNKTU ROSY

Temperatura punktu rosy: temperatura do której należy schłodzić powietrze aby rozpoczęły się w nim procesy kondensacji.

Przybliżona zależność na wyznaczenie temperatury punktu rosy: gdzie:

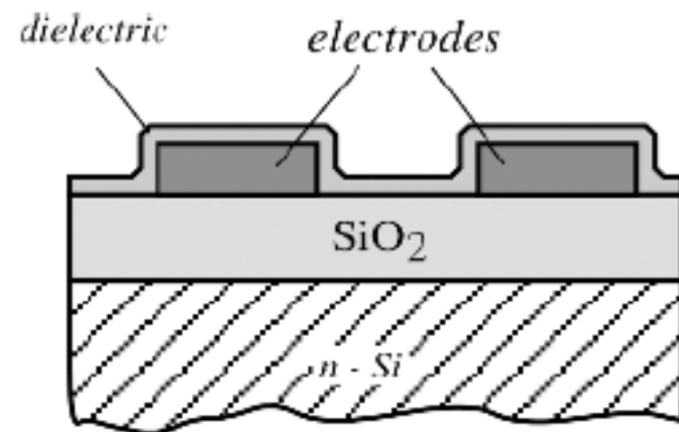
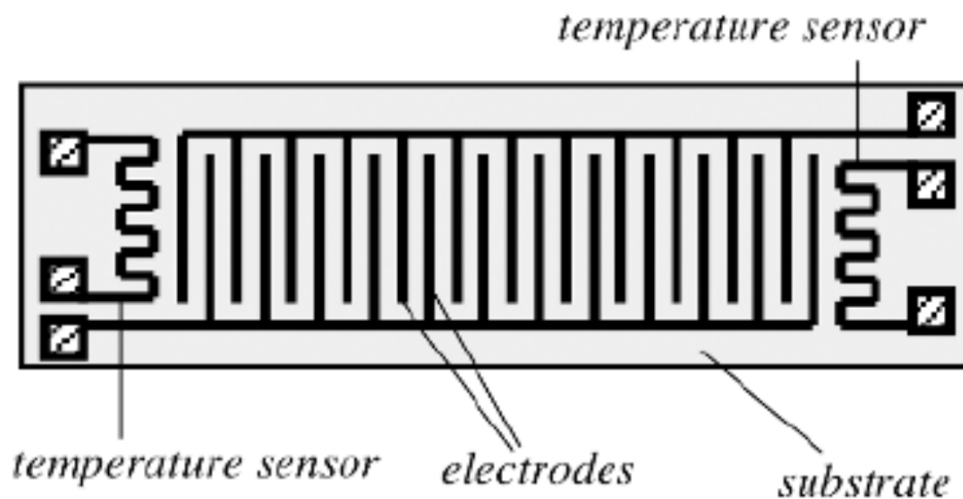
$$T_d = \sqrt[8]{\frac{\varphi}{100} \cdot [112 + (0,9 \cdot T)] + (0,1 \cdot T)} - 112$$

T_d - temperatura punktu rosy °C

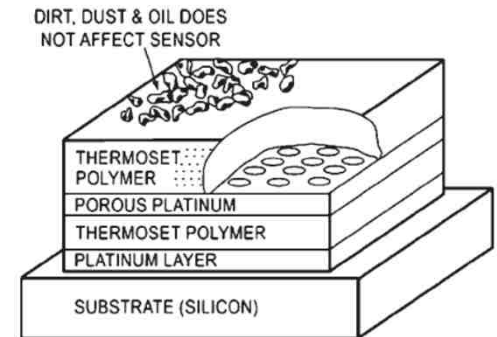
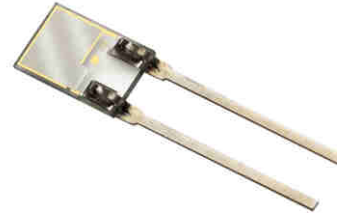
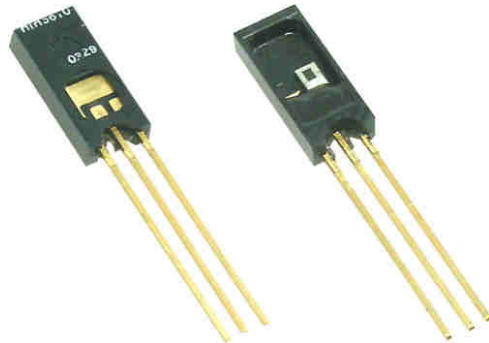
T - temperatura °C

φ - wilgotność względna w %

Często spotyka się zintegrowany z czujnikiem wilgotności czujnik temperatury.



POJEMNOŚCIOWE CZUJNIKI WILGOTNOŚCI WZGLĘDNEJ

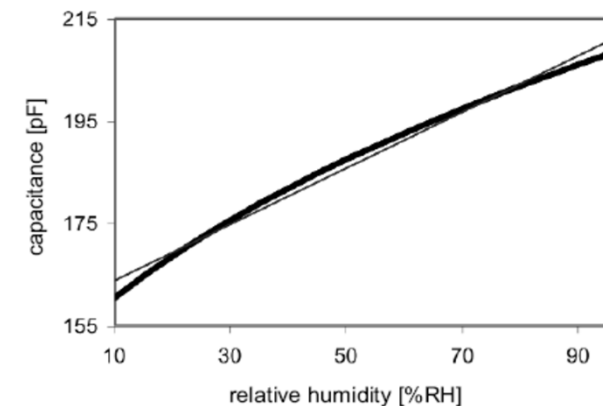
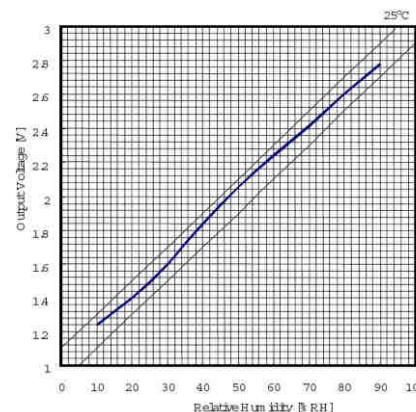


Można wykorzystać sam fakt, że przenikalność elektryczna powietrza zmienia się wraz z wilgotnością.



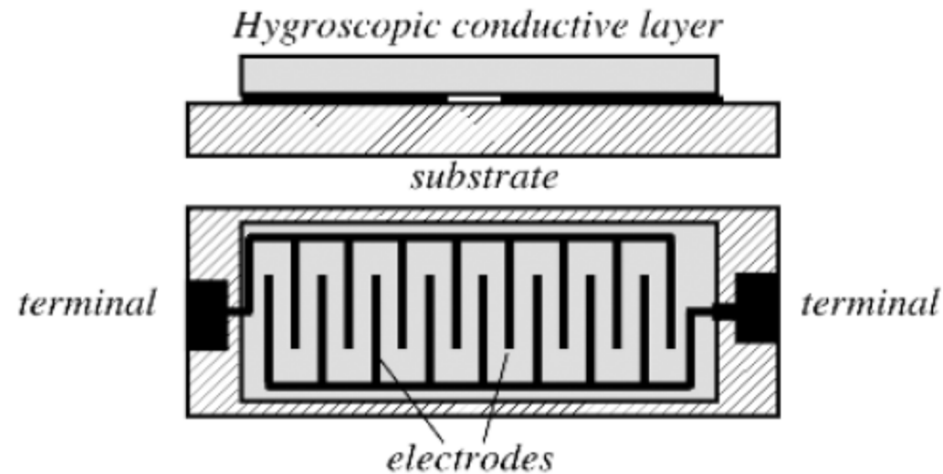
Pojemnościowy czujnik wilgotności względnej przypomina strukturą kondensatora. Zawiera dwie metalowe elektrody oraz umieszczoną pomiędzy nimi cienką warstwę higroskopijnego polimeru pełniącego rolę dielektryka.

Powierzchnia górnej elektrody jest zazwyczaj porowata, co ma na celu ochronę warstwy higroskopijnej przed kondensacją i zanieczyszczeniami. Podłoże czujnika jest wykonane najczęściej ze szkła, ceramiki lub krzemu. Zmiana stałej dielektrycznej materiału higroskopijnego jest proporcjonalna do wilgotności względnej w otoczeniu czujnika.



REZYSTANCYJNE CZUJNIKI WILGOTNOŚCI

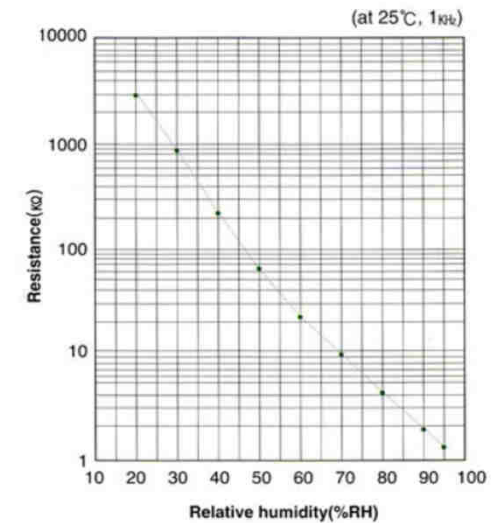
W rezystancyjnych czujnikach wilgotności względnej mierzona jest przewodność higroskopijnego materiału (np. przewodzącego polimeru), która zmienia się w wyniku pochłaniania wody.



Standard Characteristics

%RH	Spec.(kΩ) SYH-1, SYH-1s
20	3000
30	920
40	220
50	66
60	23
70	9.6
80	4.2
90	1.9
95	1.3

Characteristics Curve



Wadą higrometrów rezystancyjnych jest tendencja do wskazywania błędnych wyników w przypadku pojawienia się kondensacji na powierzchni czujnika. Aby temu zapobiegać stosuje się specjalne powłoki ceramiczne.

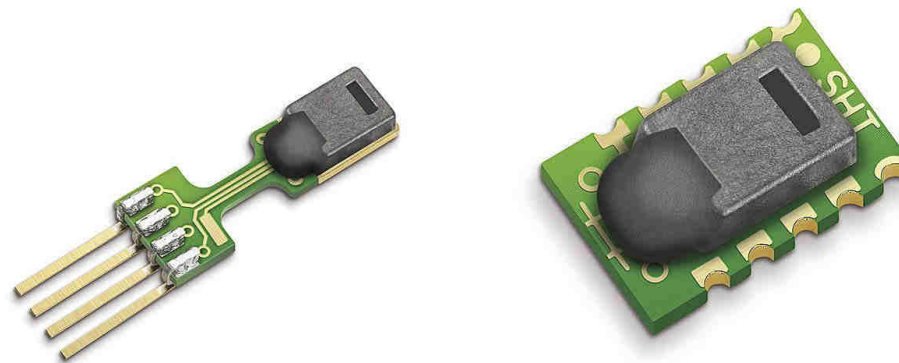
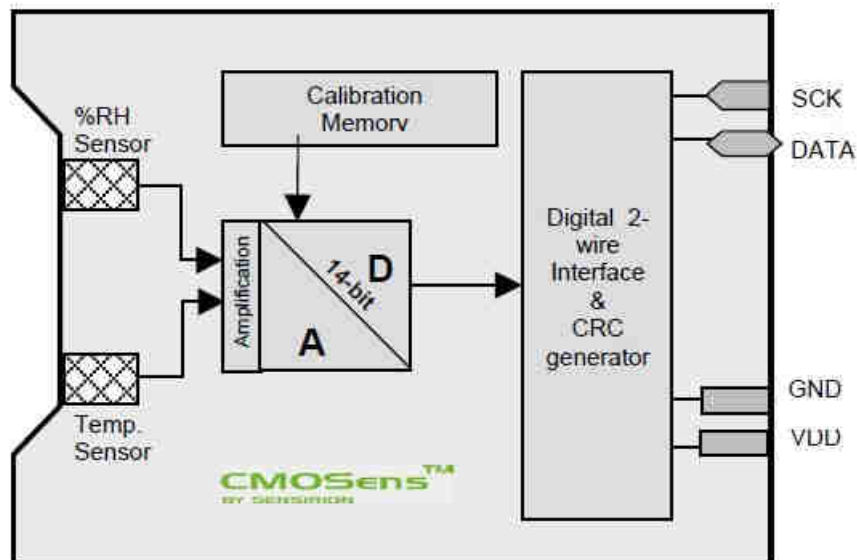
Przykładowe dane czujnika firmy Syhitech (www.syhitech.com)

Napięcie zasilania : 1 VRMS AC (1 kHz)
Moc : 0,22 mW AC (SYH-1, SYH-1S - 0,26 mW AC)
Temperatura pracy : od 0°C do +60°C
Wilgotność : 20 - 95% RH
Dokładność : $\pm 5\%$ RH
Czas odpowiedzi : <60 sek.
Histereza : $\pm 2\%$ RH

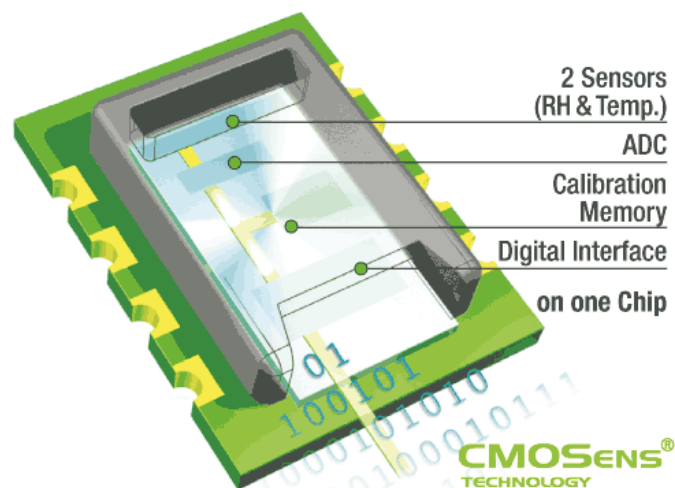


ZINTEGROWANE CZUJNIKI WILGOTNOŚCI (I TEMPERATURY)

Block Diagram



Sensorion (Szwajcaria)



- moduł skalibrowany
- małe wymiary
- cyfrowe wyjście (2-wire)
- nie wymaga dodatkowych elementów
- niski pobór mocy, automatyczne wyłączanie
- dobra stabilność długookresowa
- krótki czas odpowiedzi
- odporność na zewnętrzne zakłócenia EMC

Relative Humidity

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution ¹		0.4	0.05	0.05	%RH
		8	12	12	bit
Accuracy ² SHT71	typ		±3.0		%RH
	max	see Figure 2			
Accuracy ² SHT75	typ		±1.8		%RH
	max	see Figure 2			
Repeatability			±0.1		%RH
Hysteresis			±1		%RH
Nonlinearity	raw data		±3		%RH
	linearized		<<1		%RH
Response time ³	tau 63%		8		s
Operating Range		0		100	%RH
Long term drift ⁴	normal		< 0.5		%RH/yr

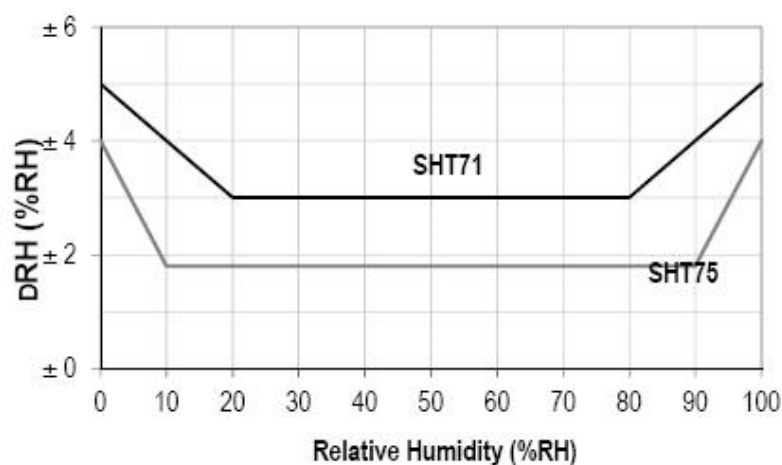


Figure 2: Maximal RH-tolerance at 25°C per sensor type.

Temperature

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution ¹		0.04	0.01	0.01	°C
		12	14	14	bit
Accuracy ² SHT71	typ		±0.4		°C
	max	see Figure 3			
Accuracy ² SHT75	typ		±0.3		°C
	max	see Figure 3			
Repeatability			±0.1		°C
Operating Range		-40		123.8	°C
		-40		254.9	°F
Response Time ⁶	tau 63%	5		30	s
Long term drift			< 0.04		°C/yr

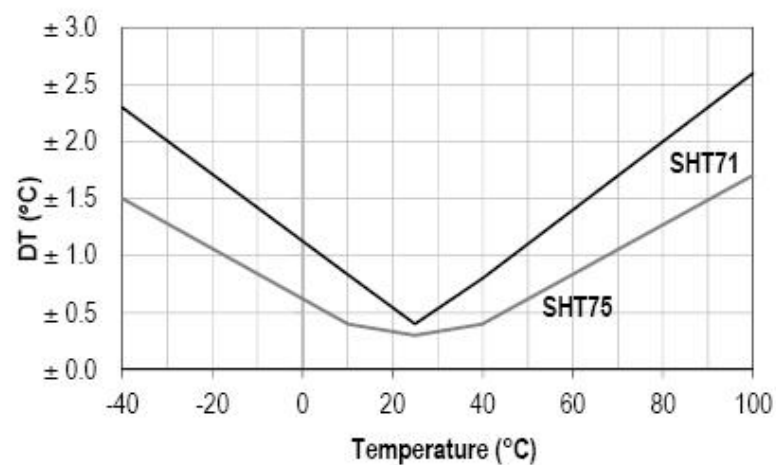
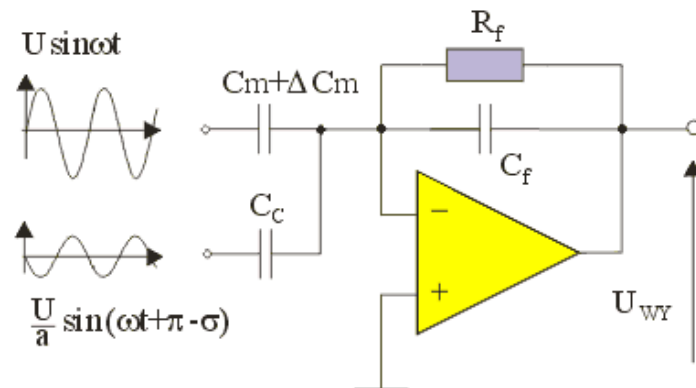
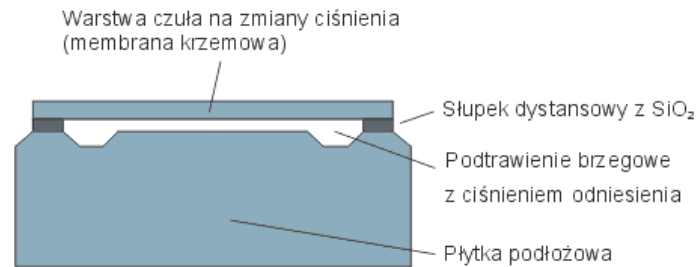


Figure 3: Maximal T-tolerance per sensor type.

CZUJNIKI CIŚNIENIA

CZUJNIKI CIŚNIENIA

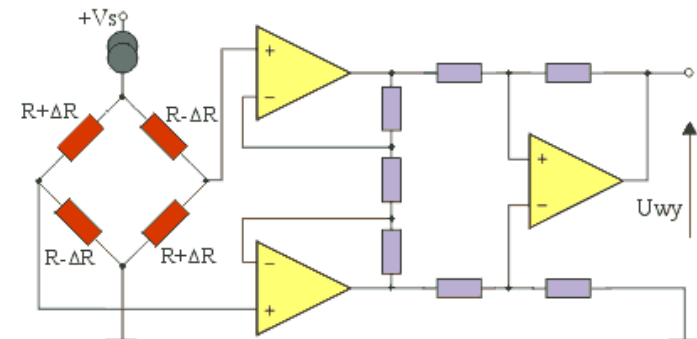
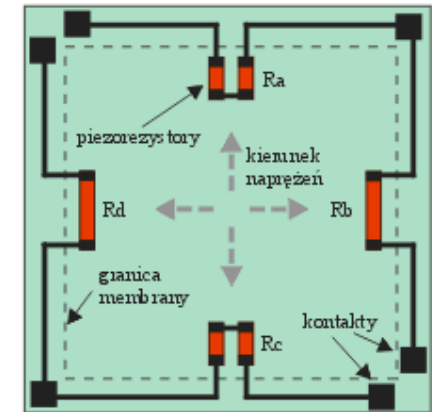
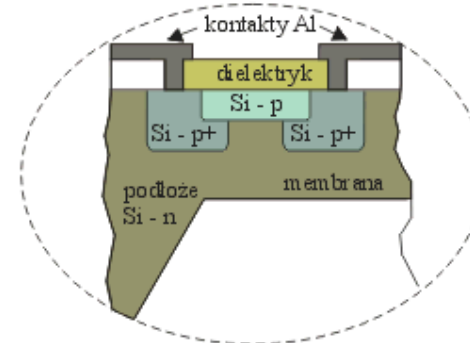
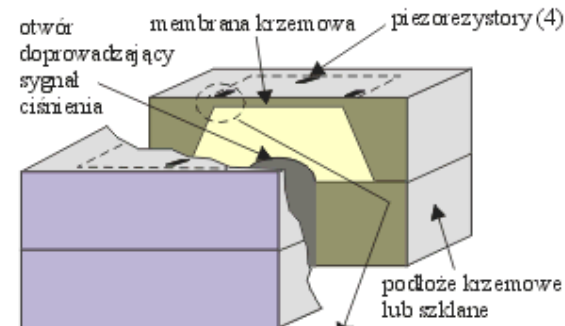
Budowa czujnika pojemnościowego.



Czujnik może mierzyć:

- ciśnienie bezwzględne (absolutne),
- względne (różnicowe)
- nadciśnienie

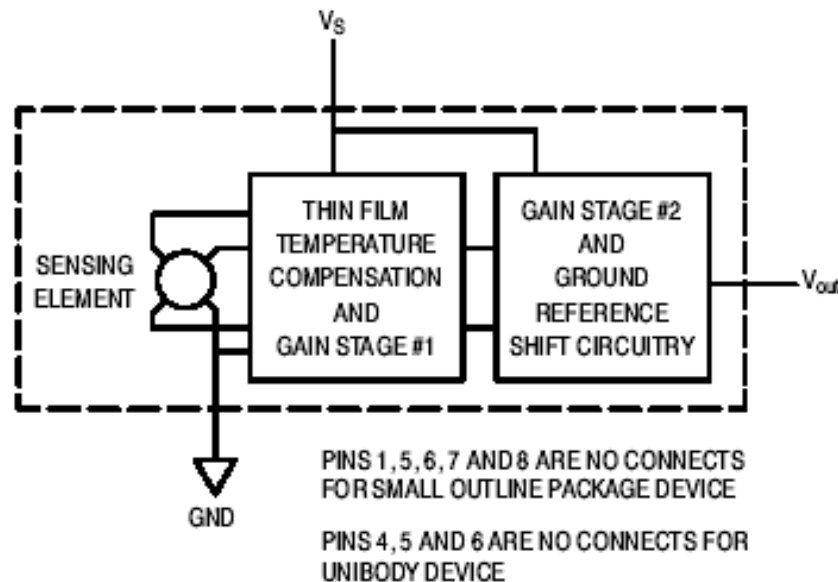
Budowa czujnika piezorezystancyjnego.



CZUJNIKI CIŚNIENIA ATMOSFERCZNEGO

Krzemowy czujnik ciśnienia MPX411A

- Czujnik piezoelektryczny, 15 – 115 kPa
- Zawiera kompensację temperaturową w zakresie temperatur -40 do 125°C
- Wyjście analogowe (napięcie w przedziale 0.2-4.8V)
- Maksymalny błąd ciśnienia 1.5%



CZUJNIKI CIŚNIENIA ATMOSFERCZNEGO

Moduły cyfrowe do pomiaru ciśnienia MS5534A (Intersema)

- Piezoelektryczny czujnik ciśnienia
- Zakres pomiaru ciśnienia 300-1100 mbar
- Kompensacja temperaturowa za pomocą wielomianu 5-go rzędu (sześć współczynników)
- 3 przewodowy interface szeregowy
- Zasilanie 2.2-3.6V
- Przetwornik A/D 15 bitowy – rozdzielczość 0.025 hPa.

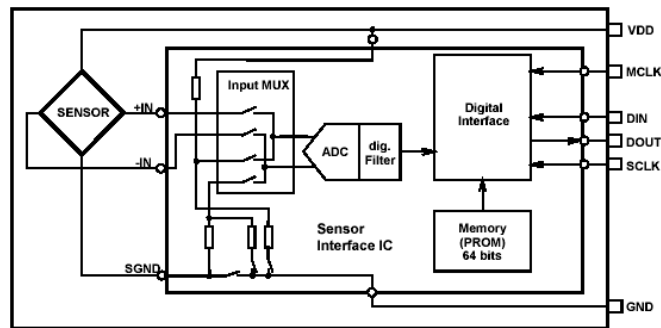
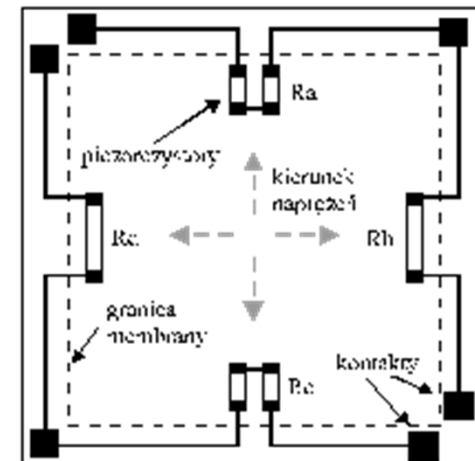


Fig.: 1 Block Diagram 5534



CZUJNIKI TEMPERATURY

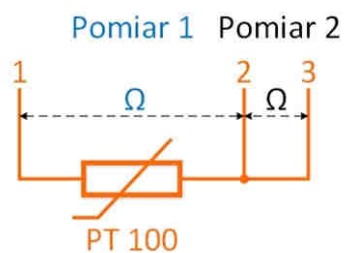
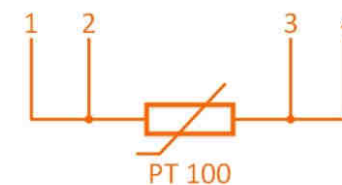
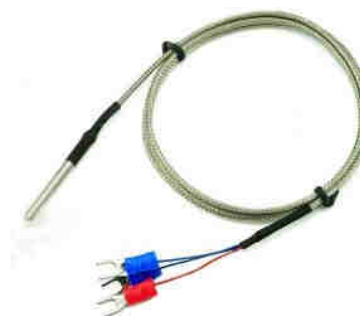
CZUJNIKI TEMPERATURY



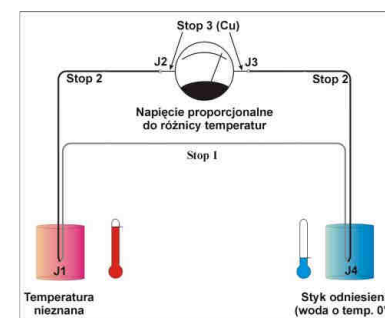
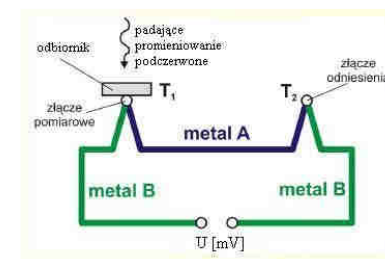
termistor



PT100



termopara



CZUJNIKI GAZÓW

CHARAKTERYSTYKA CHEMICZNYCH CZUJNIKÓW GAZÓW

1. **Dokładność i powtarzalność czujnika**
2. **Granica oznaczalność czujnika** – stężenie, w którym średnia wartość mierzonego sygnału jest równa wartości dwóch odchyłeń standardowych
3. **Czułość** czujnika – nachylenie krzywej odpowiedzi sensora wyrażonej jako wartość sygnału na jednostkę stężenia
4. **Zakres dynamiczny** – zakres stężeń, w którym czułość jest > 0 .
5. **Selektywność** – zdolność sensora do pomiaru jednego chemicznego składnika w obecności innych,
6. **Czas odpowiedzi**, czas po którym stężenie osiągnie 90% wartości zadanej.
7. **Czas życia czujnika** – okres czasu, kiedy sensor działa poprawnie.

CZUJNIKI KATALITYCZNE – EFEKT CIEPLNY , CH₄, CO, H₂S

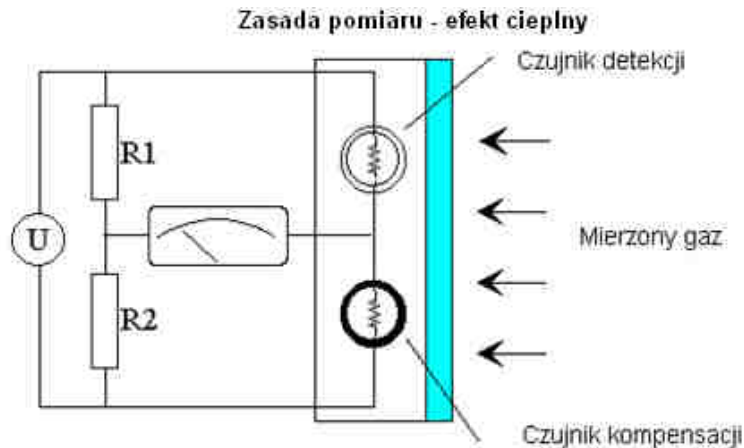
W przyrządach **ostrzegawczo - pomiarowych** do gazów wybuchowych i pary cieczy palnych do **100% DGW**.

Pomiary następują wg zasady katalitycznego spalania z pomocą dwóch sensorów, które znajdują się w komorze sensora.

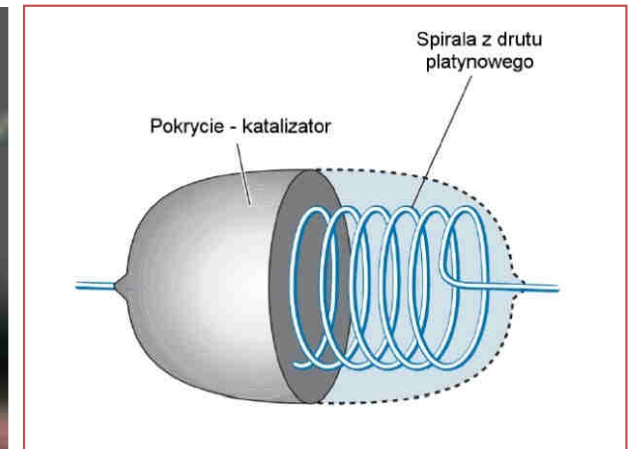
Czujniki te, zwane pelistorami, są owinięte np. delikatnym platynowym drutem

Przy spalaniu gazu wraz z otaczającym go tlenem powstaje ciepło, które powoduje podwyższenie temperatury sensora a przez to zmianę oporności elementu pomiarowego, która jest proporcjonalna do ilości powstałego w wyniku spalania energii.

Drugi czujnik (kompensacji) jest katalitycznie nieczynny (nie ma spalania). Jego zadaniem jest eliminacja czynników zakłócających jak temperatura, ciśnienie powietrza czy wilgotność.



mostek pomiarowy Wheatstone'a nie zrównoważony



Pewność kalibracji !

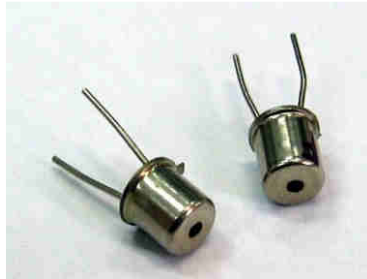
Zaletą tej zasady pomiaru jest zdolność do detekcji **WSZYSTKICH** gazów palnych i pary cieczy palnych.

Dzięki temu zapewnione jest prawidłowe w czasie alarmowanie, niezależnie od nagromadzonego gazu.

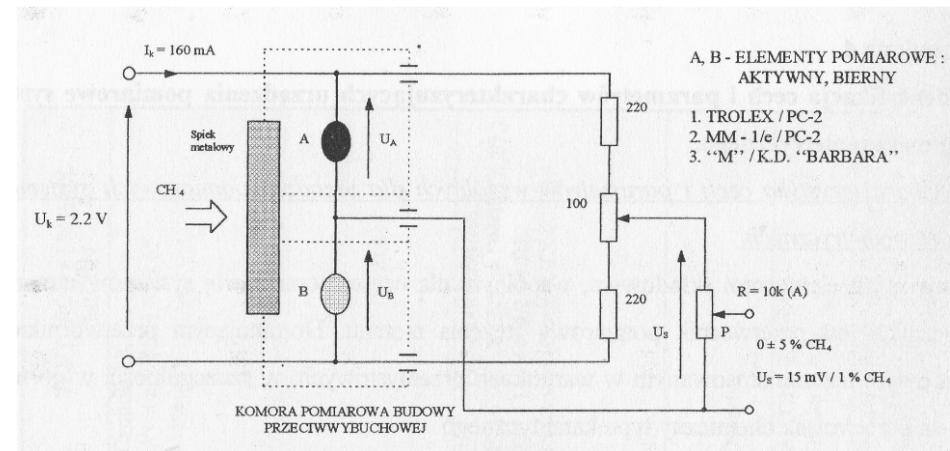
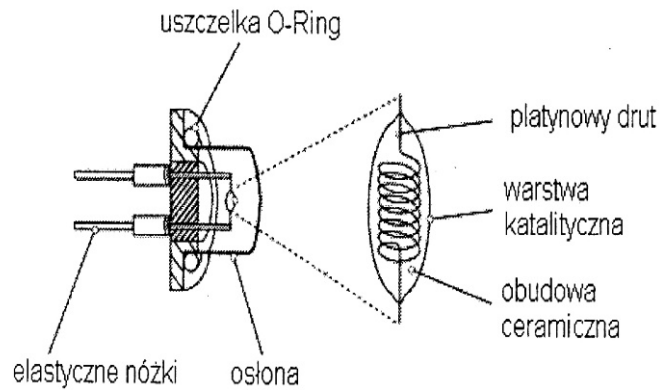
Związki zakłócające !

W zasadzie pomiaru należy zwrócić uwagę na fakt, że niektóre związki (w szczególności związki metali ciężkich (ołów, rtęć itd., związki siarki i chloru jak też silikony) mogą negatywnie wpływać na sensory powodując ich "zatrucie".

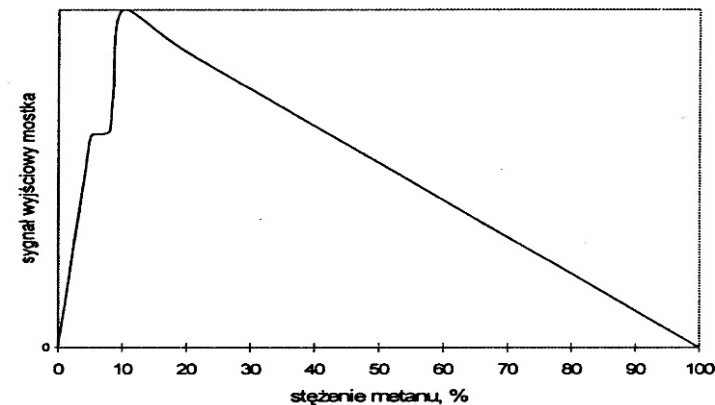
CZUJNIKI KATALITYCZNE – EFEKT CIEPLNY



Czujniki pellistorowe



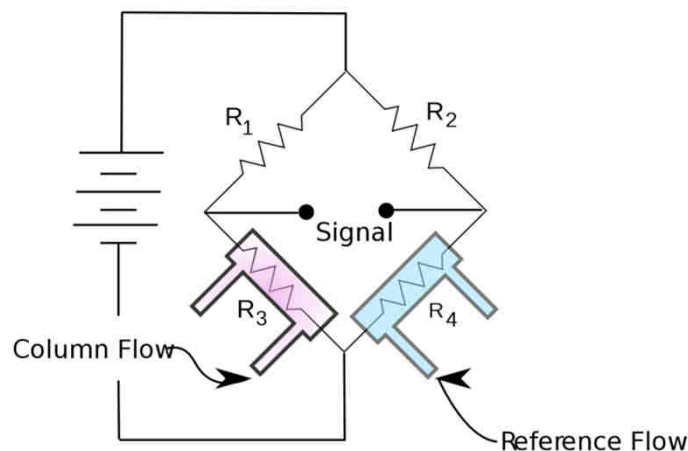
- **nieselektywny** (wszystkie gazy palne, wada/zaleta)
- duża czułość
- prosta konstrukcja
- nośnik Al_2O_3
- liniowy w zakresie do 5% CH_4 , dokładność 0,1% CH_4
- warstwa katalityczna pallad
- reakcja utleniania katalitycznego: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + Q_s$
- potrzeby tlen !!!
- „hot wire” temp. 900-1000°C, pelistor 400-600°C
- czas odpowiedzi: 6-15sek.



CZUJNIKI TERMOKONDUKTOMETRYCZNE (KATAROMETRY) CH₄, CO, H₂

Zasada przewodności cieplnej wykorzystywana jest do pomiaru wysokich koncentracji gazów - do 100 % obj. Zasadę tą stosuje się do pomiaru gazów **palnych i toksycznych**. Zasada ta opiera się na różnych zdolnościach przewodności gazów i par cieczy palnych. W sensorze znajdują się dwa czujniki, które są **katalitycznie nieczynne**. Czujnik **detekcji** znajduje się w komorze z gazem a **czujnik kompensacji** w komorze wypełnionej powietrzem i do której nie może przeniknąć żaden gaz pomiarowy. W zależności od wyższej lub niższej przewodności gazu pomiarowego w porównaniu do powietrza, zmienia się temperatura i tym samym zmienia się oporność **elementu pomiarowego**. Zmiana oporności jest rejestrowana i jest ona proporcjonalna do koncentracji gazu. Aby stwierdzić, że wywołana zmiana temperatury nie jest spowodowana innymi czynnikami jak np. zmiana temperatury zewnętrznej, konieczny jest **czujnik porównawczy**.

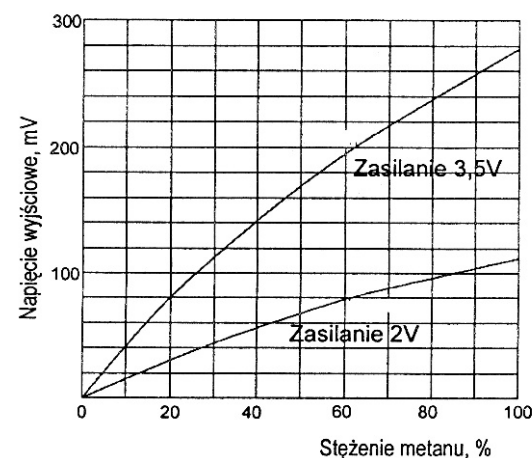
czujniki
katalitycznie
nieczynne



Przewodność cieplna wybranych gazów, odniesiona do przewodności powietrza

Gaz	Przewodność cieplna gazów w różnych temperaturach		
	0°C	50°C	100°C
Powietrze	1,000	1,000	1,000
Metan	1,244	1,344	1,500
Azot	0,996	1,003	0,993
Tlen	0,987	1,025	1,026
Tlenek węgla	0,961	0,967	0,962
Dwutlenek węgla	0,621	0,667	0,745

- nieselektywny
- element kompensacyjny umieszczony w powietrzu
- pomiar CH₄, CO₂, CO w zakresie 0-100%V/V
- pomiar przewodności cieplnej gazu
- duża czułość
- prosta konstrukcja - niezawodne
- pomiar w szerokim zakresie
- temperatura pracy grzejnika 200-500°C
- typowy zakres 0-100%CH₄, dokładność : ±3%CH₄



$$\lambda_m = C_m \lambda_m + (1 - C_m) \lambda_p^0$$

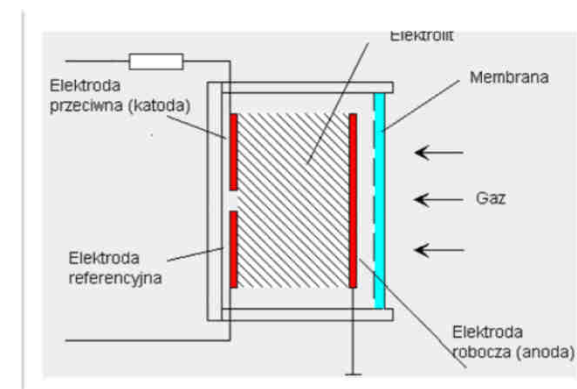
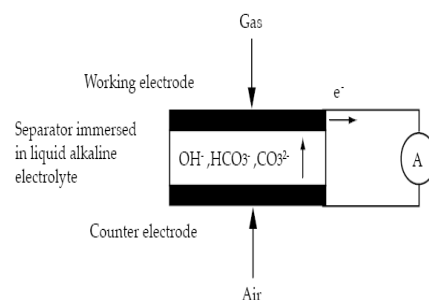
λ_m - przewodność cieplna mieszaniny CH₄+pow. o stężeniu C_m

λ_{CH_4} - przewodność cieplna metanu

λ_p - przewodność cieplna powietrza

CZUJNIKI ELEKTROCHEMICZNE Z ELEKTROLITEM CIEKŁYM – O₂, CO, CO₂

Sensor elektrochemiczny składa się z dwóch lub trzech elektrod i przewodzącego jony elektrolitu. W celu pomiaru gazu uszczelnia się sensor membraną (np. folia PTFE) zabezpieczającą wyciek elektrolitu. Elektrody składają się najczęściej z membran powlekanych platyną lub złotem. Próbkę gazu przenika przez barierę do elektrody roboczej, na której mierzalne komponenty gazu są elektrochemicznie przetwarzane. W procesie tym uwalniają się elektrony, które dyfundują do elektrody przeciwnej. Między elektrodą roboczą a przeciwną płynie prąd, którego wartość jest proporcjonalna do ilości gazu przetworzonego na elektrodzie roboczej.



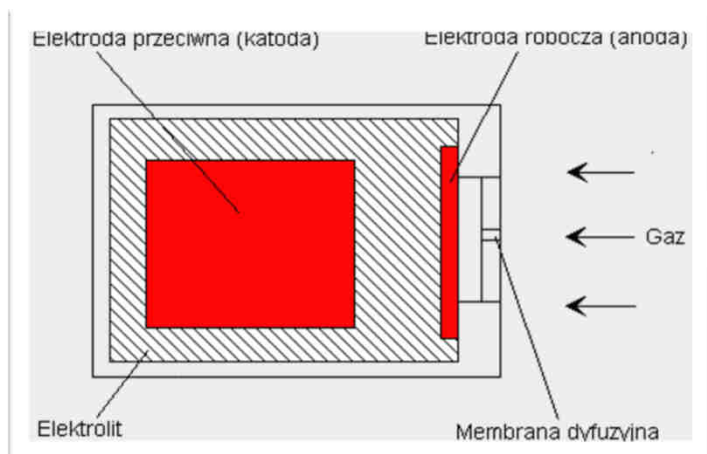
- przedłużony czas życia (ok.5 lata w powietrzu)
- elektrolit ciekły zasadowy
- reakcja: el.robocza-anoda: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
el.przeciwna- katoda: $\text{O}_2 + 4\text{H} + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
- liniowy w całym zakresie
- zerowy (lub znikomy) pobór mocy
- czujnik amperometryczny
- Zakres np. 0-1000ppmCO

Gaz	Elektroda robocza	Elektroda przeciwna
H ₂ S	$\text{H}_2\text{S} + 4 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + 8 \text{H}^+ + 8\text{e}^-$	$\text{O}_2 + 4 \text{H} + 4\text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$
HCN	$2 \text{HCN} \rightarrow 2 \text{H} + 2 \text{CN}^-$	$\text{O}_2 + 2 \text{H} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$
CO	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}^+ + 2\text{e}^-$	$\text{O}_2 + 4 \text{H} + 4\text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$
Cl ₂	$2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4\text{e}^-$	$2 \text{H}^+ + \text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2 \text{HCl}$
SO ₂	$\text{SO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + 2 \text{H}^+ + 2\text{e}^-$	$\text{O}_2 + 4 \text{H} + 4\text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$
H ₂	$\text{H}_2 \rightarrow 2 \text{H}^+ + 2\text{e}^-$	$\text{O}_2 + 4 \text{H} + 4\text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$
NO	$\text{NO} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HNO}_3 + 3 \text{H}^+ + 3\text{e}^-$	$\text{O}_2 + 4 \text{H} + 4\text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$
NO ₂	$2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4\text{e}^-$	$\text{NO}_2 + 2 \text{H} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$

Aby utrzymać stałe napięcie między elektrodą roboczą i przeciwną potrzebna jest **elektroda referencyjna**.

CZUJNIKI ELEKTROCHEMICZNE Z ELEKTROLITEM CIEKŁYM – O₂, CO, CO₂

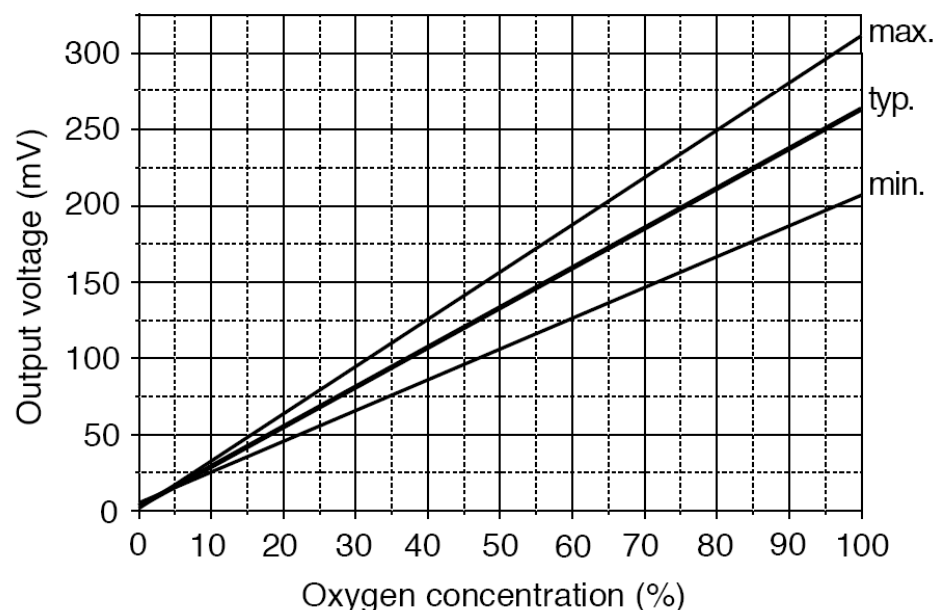
Komory elektrochemiczne są zbudowane są podobnie jak element galwaniczny z 2 lub 3 elektrodami z różnych metali i z rozpuszczalnika elektrolitu. W sensorach do pomiaru tlenu stosowane są złote i ołowiowe elektrody. Tlen przenika przez przepuszczającą gaz membranę do środka elektrochemicznej komory. Między elektrodą roboczą i przeciwną wytwarza się odpowiednio proporcjonalne do koncentracji gazu napięcie elektryczne zgodnie z równaniem reakcji.



Elektroda robocza: $4 \text{ OH}^- + 2 \text{ Pb} \rightarrow 2 \text{ PbO} + 2 \text{ H}_2\text{O} + 4 \text{ e}^-$
Elektroda przeciwna: $\text{O}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O} + 4 \text{ e}^- \rightarrow 4 \text{ OH}^-$

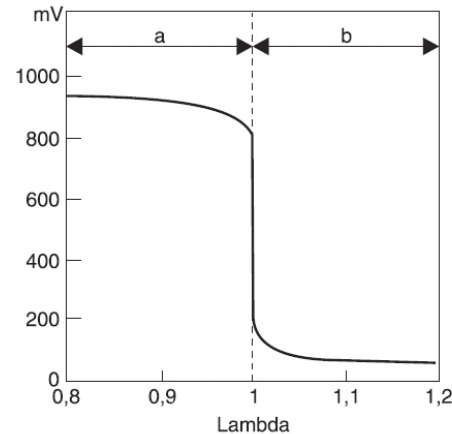
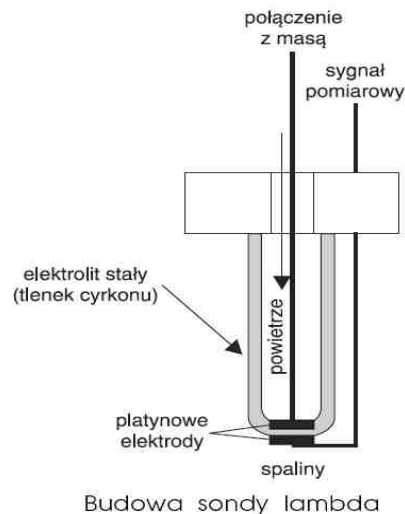


- krótki czas życia (2-3 lata w powietrzu)
- liniowe wskazania
- dosyć drogi
- wrażliwość na temp. i ciśnienie
- wolny czas odpowiedzi $T_{90}=60\text{sek.}$
- zerowy (lub znikomy) pobór mocy
- nie wymaga zasilania (instalacje iskrobezpieczne)
- sensor O₂ zakres 0-25%O₂ ($\pm 0,6\% \text{O}_2$) lub 0-100%

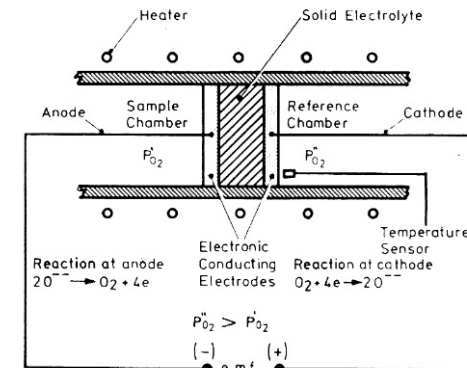


CZUJNIKI ELEKTROCHEMICZNE Z ELEKTROLITEM STAŁYM

Pomiar stężenia tlenu odbywa się przy pomocy **ogniwa galwanoelektrycznego** z elektrolitem w stanie stałym – tzw. ogniwa Nernst’a. Jeżeli stężenie tlenu z obu stron sondy jest różne to na elektrodach powstaje potencjał.



Obszar "a" - mieszanka bogata, obszar "b" - mieszanka uboga

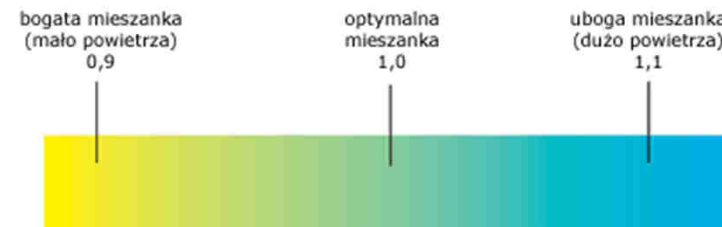


Basic structure of a Servomex solid electrolyte oxygen concentration cell.

Nernst equation:

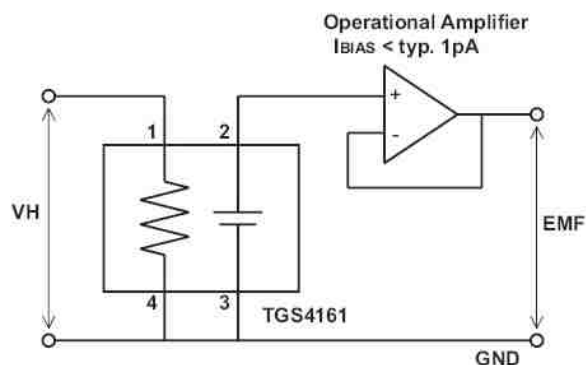
$$EMF = \frac{RT}{4F} \ln \frac{PO_2''}{PO_2'}$$

Where R = Universal gas constant
 T = Absolute temperature
 F = Faraday constant
 PO_2'' = Partial pressure of O_2 reference
 PO_2' = Partial pressure of O_2 sample



- głównie pomiar O_2 (sonda lambda Bosch 1976)
- długi czas życia
- temp pracy około 600°C
- krótki czas odpowiedzi
- niewrażliwy na wstrząsy
- ceramika cyrkonowa ZrO_2 i stabilizowana tlenkiem itru
- dokładny pomiar
- duży pobór energii (podgrzewanie)

CZUJNIKI ELEKTROCHEMICZNE Z ELEKTROLITEM STAŁYM



When the sensor is exposed to CO₂ gas, the following electrochemical reaction occurs:

Cathodic reaction: $2\text{Li}^+ + \text{CO}_2 + 1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^- = \text{Li}_2\text{CO}_3$

Anodic reaction: $2\text{Na}^+ + 1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^- = \text{Na}_2\text{O}$

Overall chemical reaction:



As a result of the electrochemical reaction, electromotive force (EMF) would be generated according to Nernst's equation:

$$\text{EMF} = E_c - (R \times T) / (2F) \ln (P(\text{CO}_2))$$

where

$P(\text{CO}_2)$: Partial pressure of CO₂,

E_c : Constant value R : Gas constant

T : Temperature (K) F : Faraday constant

By monitoring the electromotive force (EMF) generated between the two electrodes, it is possible to measure CO₂.

Solid electrolyte – BaCO₃
(węglan baru)

Heater – RuO₂

Substrate – Al₂O₃ (alumina)

Cathode electrode – Li₂CO₃/Ag

Anode electrode - Ag

- zakres: CO₂ 350ppm – 10'000ppm
- długi czas życia
- wysoce selektywny
- tani
- mały pobór mocy
- mała zależność od wilgotności

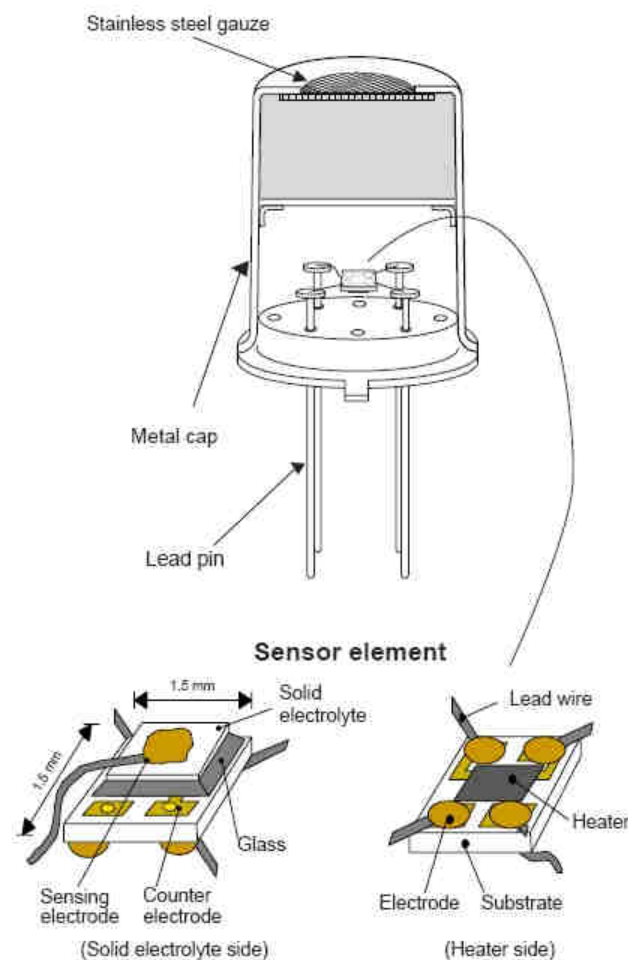
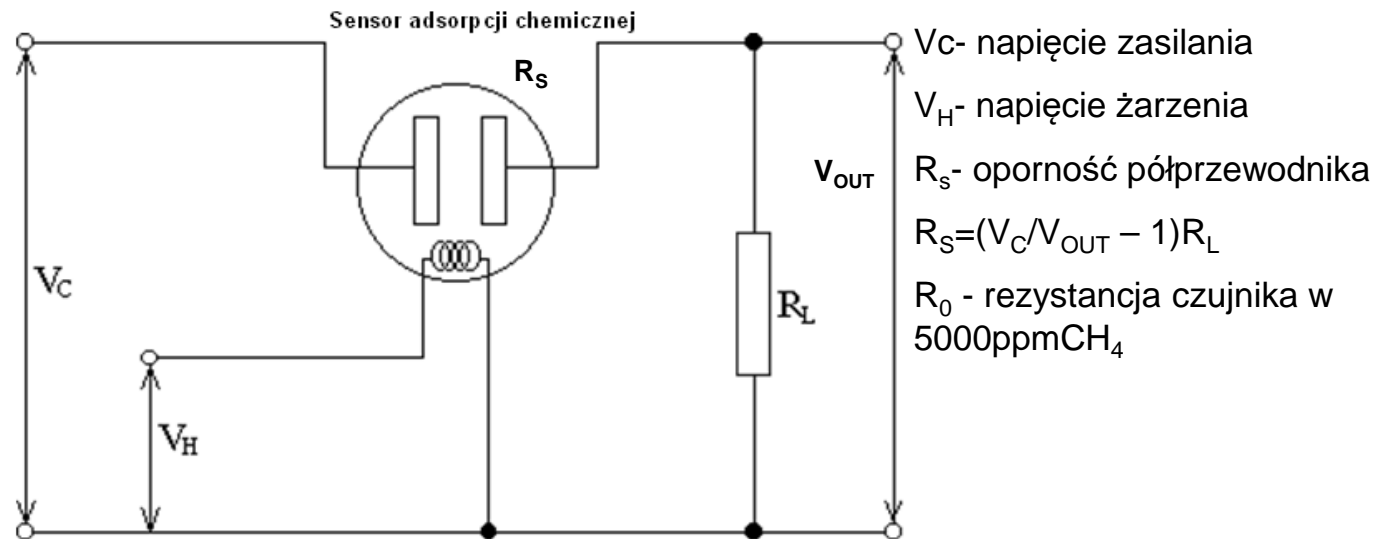


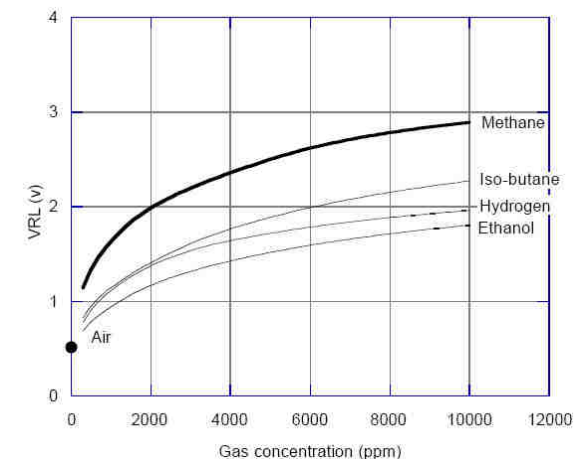
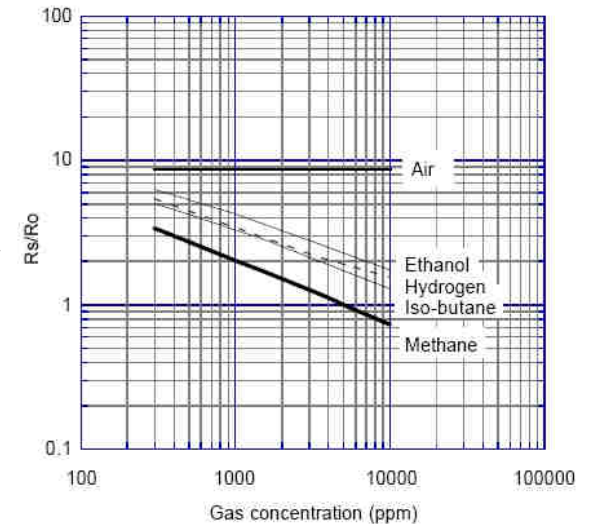
Fig. 1 - Sensor structure

CZUJNIKI PÓŁPRZEWODNIKOWE REZYSTANCYJNE

Adsorpcja molekuł gazu na powierzchni półprzewodnika prowadzi do transferu elektronów, co spowodowane jest różnicą potencjałów energii między molekułami gazu a powierzchnią półprzewodnika. Tlen, który może odbierać elektrony jest **adsorbowany** na powierzchnię półprzewodnika typu N. Transfer elektronów z poziomu donorowego półprzewodnika na powierzchnię **adsorbowanego** gazu prowadzi w rezultacie do zmniejszenia przewodności półprzewodnika.



- zasada działania – adsorpcja chemiczna
- konieczność stabilizacji temp. (element sens. podgrzewany do 300°C)
- zmiana czułości w czasie
- liniowość w wąskim zakresie
- niski koszt
- niski pobór energii
- niewielkie rozmiary
- odporność mechaniczna
- odporność na etanol i izobutan (wersja z filtrem)



CZUJNIKI PÓŁPRZEWODNIKOWE REZYSTANCYJNE

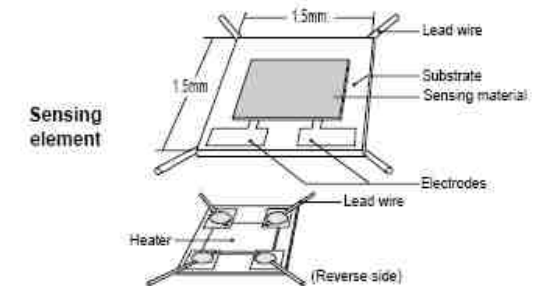
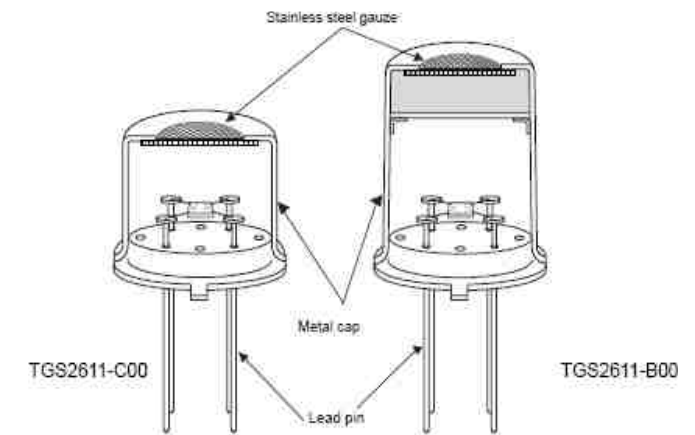
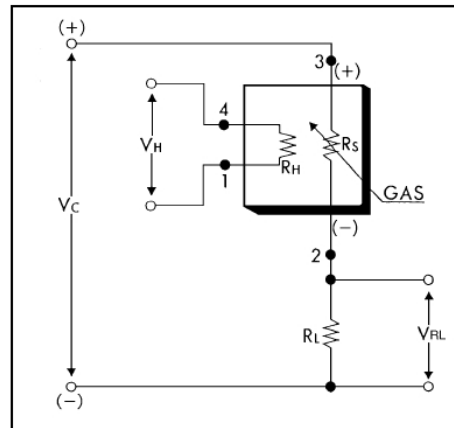
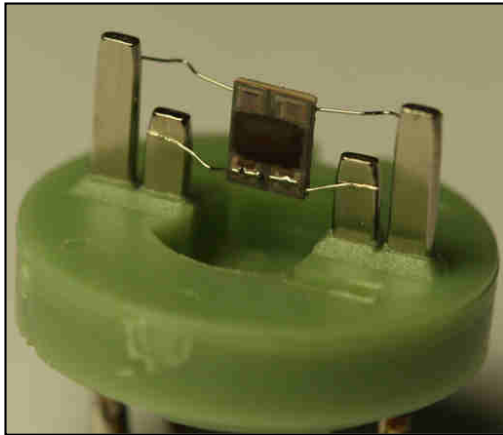
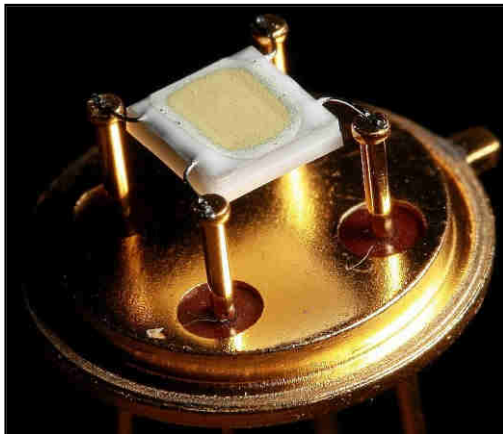


Fig. 1 - Sensor structure



Pomiar CH_4 500-10000ppm

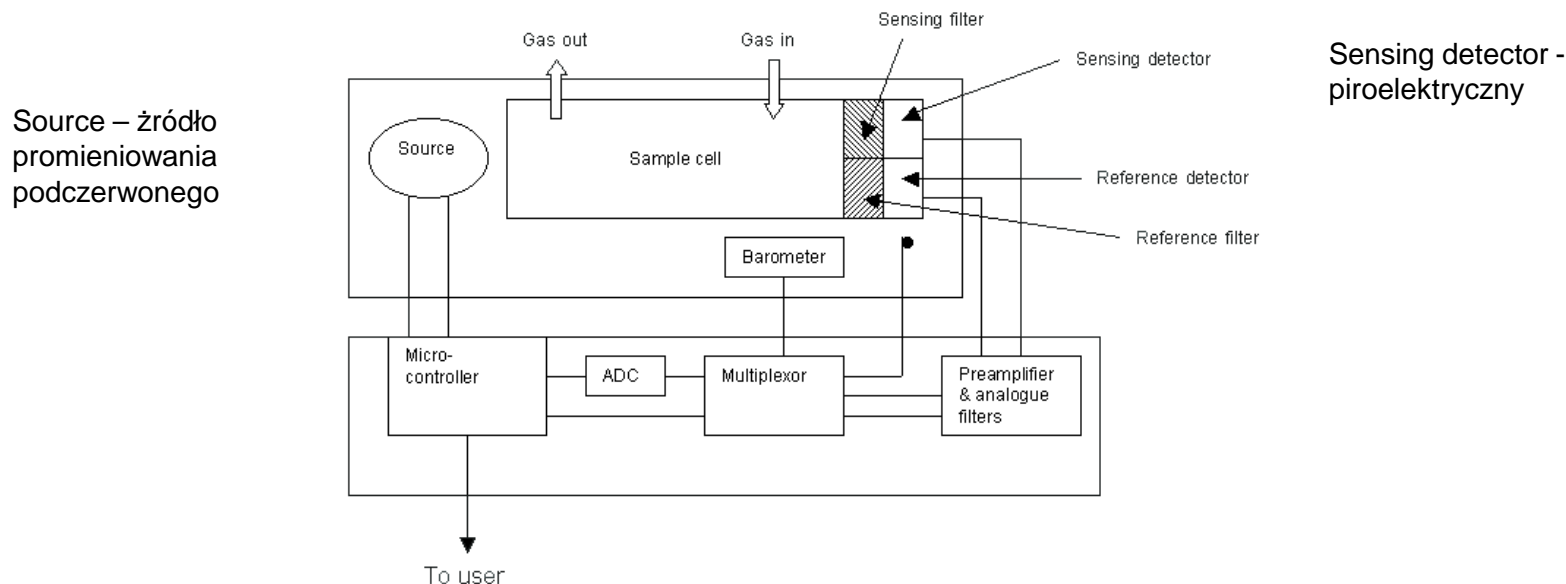
Sensing material – SnO_2 (dwutlenek cyny)

Heater – RuO_2 (dwutlenek Rutenu) lub Pt

Substrate – Al_2O_3 (Alumina)

CZUJNIKI Z ABSORBCJĄ PROMIENIOWANIA PODCZEROWNEGO

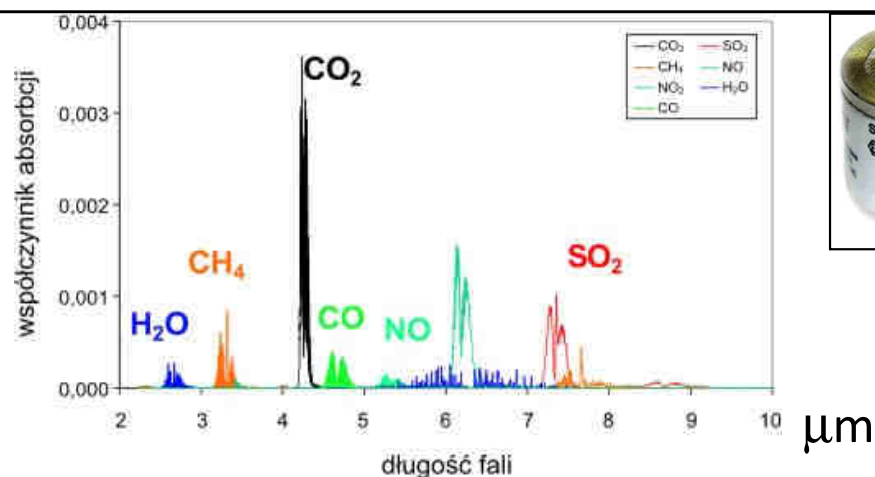
Ta metoda pomiaru wykorzystuje właściwość niektórych gazów do **absorpcji światła** w określonych zakresach długości fal. Do gazów tych należą wszystkie gazy *heteroatomiczne* np. CO_2 , CH_4 , NO_2 , C_2H_2 . Jako źródło promieniowania służy w zależności od detektora podgrzany drut lub lampka. **Światło podczerwone** kierowane jest do komory pomiarowej zawierającej próbkę gazu. Mierzony gaz **absorbując** część światła w określonym zakresie spektrum wpływa na osłabienie energii promieniowania. Wielkość **absorpcji promieniowania podczerwonego** w próbce gazu w określonym zakresie długości fal jest proporcjonalna do koncentracji mierzonego gazu. Wywołany przez absorpcję spadek energii promieniowania podczerwonego mierzony jest sensorami. Jednocześnie w celu uzyskania pomiaru referencyjnego światło podczerwone mierzone jest w innym zakresie długości fal, w którym nie zachodzi absorpcja promieniowania. Dzięki temu zachowana zostaje dokładność pomiarów również w warunkach zmieniającego się źródła promieniowania lub przy zabrudzeniu elementów optycznych.



Schemat blokowy wysokiej dokładności 2 kanałowego czujnika gazu

Na pojawienie się linii absorpcyjnych mają wpływ rezonansowe wzbudzenia drgań cząstek.

CZUJNIKI Z ABSORBCJĄ PROMIENIOWANIA PODCZEROWNEGO

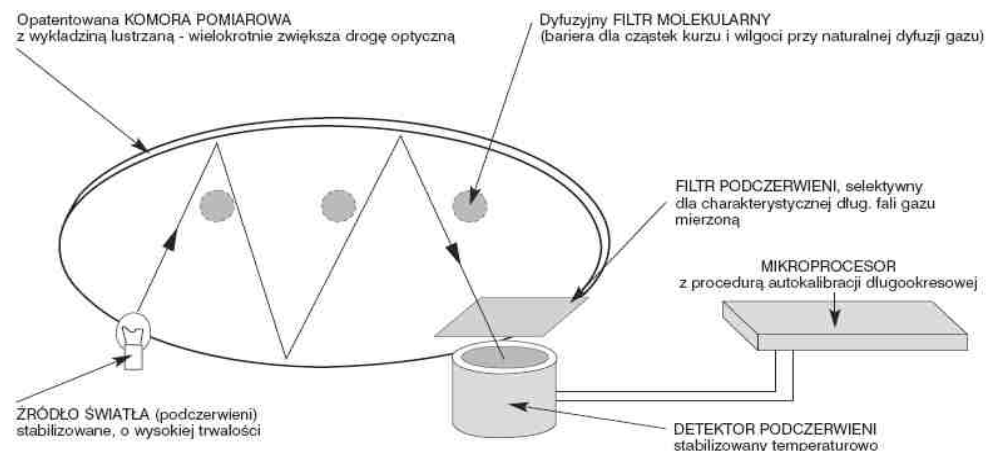
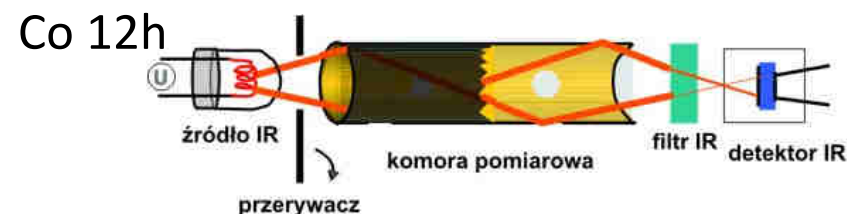
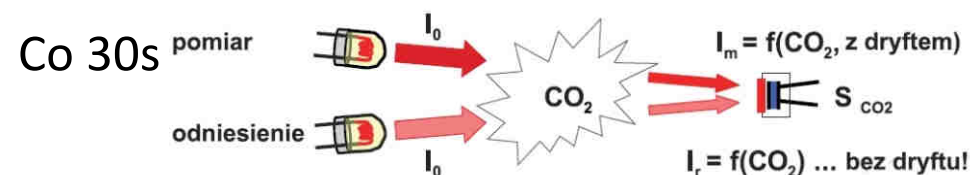


E+E IR CO2 sensor



Drugie źródło IR do autokalibracji.
- kompensacja starzenia się źródła IR
- długotrwała stabilność

- bardzo selektywny
- wysoki koszt
- mały wpływ ciśnienia
- odporny na wibracje
- brak możliwości pomiaru gazów jednoatomowych
- liniowy w szerokim zakresie od ppm do 100%V/V
- duża czułość
- typowa dokładność w zak. 0-2000ppm ($\pm 50\text{ppm} \pm 2\%$)



CZUJNIKI INTERFEROMETRYCZNE

Stężenie metanu :

$$\text{CH}_4[\%] = (n_m - n_p) / (n_{\text{CH}_4} - n_p)$$

n_p - współczynnik zał. światła w powietrzu

n_{CH_4} - wsp. zał. światła w metanie

n_m - wsp. zał. światła mieszaniny metanu z powietrzem

Każdy gaz ma swój współczynnik załamania światła

Wybrane współczynniki załamania (dla długości fal 589 μm):

N₂ – 299,1

CO₂ – 450,6

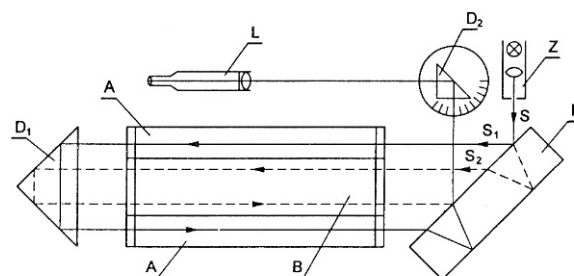
CO – 336,0

CH₄ – 443,3

H₂ – 140,2

O₂ – 272,3

Pow. – 276,0



Zasada czujnika interferencyjnego: A - komora z czystym powietrzem, B - komora z badanym powietrzem, D1 - pryzmat szklany prostokątny, D2 - pryzmat odbijający, L - luneta, P - płytka równoległościenna, S, S₁, S₂ - wiązki promieni świetlnych, Z - źródło światła

Warunek powstawania prążków interferencyjnych:

$$\lambda m = n(l_1 - l_2)$$

n – współczynnika zał. światła

l_1, l_2 – drogi optyczne

m - rząd interferencji

λ - długość fali promieniowania

Mierzy się przesunięcie prążków interferencyjnych spowodowane różnicą współczynników załamania światła przechodzących przez wzorcową i badaną mieszkę gazową.



Możliwość zastosowania fotodetektora (konwersja sygnału na elektryczny)

Pomiar: metanu, wodoru oraz dwutlenku węgla w zakresie 0-100%V/V
pomiar nieselektywny (duży wpływ CO₂ i pary wodnej, ciśnienia i H₂, filtry)

Rozdzielczość: 0,1%CH₄, dokładność: (0-10% \pm 0,05% oraz 10-100% \pm 3% zakresu)

POMIARY STĘŻENIA PYŁÓW

Pyły PM10 i PM2.5 są mieszaninami substancji organicznych i nieorganicznych zawierającymi substancje toksyczne. W przypadku PM10 są to metale ciężkie, rakotwórczy benzo(a)piren, dioksyny i furany; w skład PM2.5 wchodzi natomiast zanieczyszczenia wtórne, które wykształciły się z przemian dwutlenku azotu, siarki i amoniaku.

Pyły te określa się mianem drobnych – cechują się bowiem małą średnicą (do 10 i do 2.5 mikrometrów), co umożliwia im swobodne przenikanie do ludzkich płuc, a nawet naczyń krwionośnych (PM2.5). **Pył ma wpływ także na środowisko** – zatyka aparaty szparkowe roślin, przez co pochłania światło i utrudnia fotosyntezę.

Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) ustaliła konkretne **normy stężeń pyłu zawieszonego**.

Obecnie są to:

norma średniego dobowego stężenia pyłu PM10: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

norma średniego rocznego stężenia pyłu PM10: 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

norma średniego dobowego stężenia pyłu PM2,5: 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

norma średniego rocznego stężenia pyłu PM2,5: 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



DOPUSZCZALNE STĘŻENIA PYŁÓW

W Polsce normy dla pyłów drobnych **PM10** są ustalone na trzech poziomach:

poziom dopuszczalny 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (dobowy)
poziom informowania 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (dobowy)
poziom alarmowy 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (dobowy)

Poziom dopuszczalny – **50** $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mówi o tym, że jakość powietrza nie jest dobra, ale nie wywołuje ciężkich skutków dla ludzkiego zdrowia.

Poziom informowania - **200** $\mu\text{g}/\text{m}^3$, oznacza, że jest źle i trzeba ograniczyć aktywności na powietrzu, bo norma przekroczona jest czterokrotnie.

Poziom alarmowy – **300** $\mu\text{g}/\text{m}^3$, oznacza, że jest bardzo źle, norma przekroczona jest sześciokrotnie i należy bezwzględnie ograniczyć przebywanie na powietrzu, a najlepiej zostać w domu, szczególnie osoby chore.

Poziomy alarmowe zdarzają się w Polsce rzadko. W tym roku poziom alarmowy został przekroczony raz, w Zabrzu – 5 listopada. Wówczas dobowe stężenie pyłu PM10 wyniosło tam **330** $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Natomiast poziomy informowania są przekraczane kilkadziesiąt razy w roku na różnych obszarach, czyli stężenie w kilku miejscach w Polsce przekracza **200** $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na dobę.

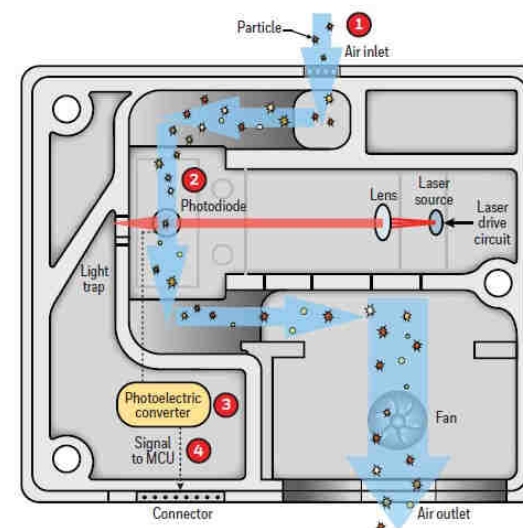
Konkluzja jest taka, że jakość powietrza szczególnie w regionach Polski południowej okresowo jest zła i mają na to wpływ zarówno czynnik ludzki jak i pogoda

CZUJNIK STĘŻENIA PYŁÓW – ZASADA DZIAŁANIA

Czujnik pyłu zawieszonego PM_{2,5} w powietrzu LB-930 działa w oparciu o wysokiej jakości sensor cząstek produkcji renomowanej firmy Honeywell lub jego odpowiednik. Wentylator sensora zasysa powietrze przez wlot (1, na rysunku obok). Sensor cząstek dokonuje pomiaru układem laserowym, który wykorzystuje metodę rozpraszania światła do wykrywania i zliczania cząstek w zakresie stężeń od 0 µg/m³ do 1000 µg/m³. Źródło światła laserowego oświetla cząsteczkę podczas przeciągania jej przez komorę detekcji (2). W miarę przechodzenia cząstek przez wiązkę laserową źródło światła zostaje zasłonięte co jest rejestrowane przez detektor światła (3). Sygnał z detektora światła jest analizowany i konwertowany na sygnał elektryczny w celu obliczenia stężenia w czasie rzeczywistym (4). Sensor cząstek mierzy stężenie cząstek PM_{2,5} i na tej podstawie interpoluje ilość cząstek PM₁₀, podając jednocześnie oba wyniki pomiarów w czasie rzeczywistym.



Czujnik pyłu / stężenia cząstek - monitor czystości powietrza PM_{2.5} - GP2Y1010AU0F



CLEAN ROOM



cząstki/stopa sześcienna						
Klasa	0,1 μm	0,2 μm	0,3 μm	0,5 μm	1 μm	5 μm
1	35	7	3	1		
10	350	75	30	10	1	
100	3 500	750	300	100	10	1
1 000				1 000	100	10
10 000				10 000	1 000	100
100 000				100 000	10 000	1 000

Norma US FED STD 209E

Pomieszczenie czyste (z ang. *cleanroom* lub *clean room*) – jest to rodzaj pomieszczenia o kontrolowanych parametrach środowiskowych, w szczególności zanieczyszczeń typu: pył, kurz, bakterie, opary chemiczne itp.

Pomieszczenia takie są używane do badań naukowych, jak również do produkcji z wykorzystaniem materiałów o wysokiej czystości (np. procesory komputerowe). W zależności od wymaganej czystości atmosfery pomieszczenia *clean room* dzielone są na klasy, w których definiuje się ilość i rozmiar zanieczyszczeń na metr sześcienny atmosfery.

Normy: **Norma US FED STD 209E, Norma ISO 14644-1**

URZĄDZENIA POMIAROWE używane w Automatyce Budynkowej

Kamera termowizyjna Flir i7



TM-414 Anemometr z pomiarem temperatury i ciśnienia



Miernik parametrów środowiska IAQ Delta OHM HD12ABE17



Miernik cząstek BQ20 - TROTEC



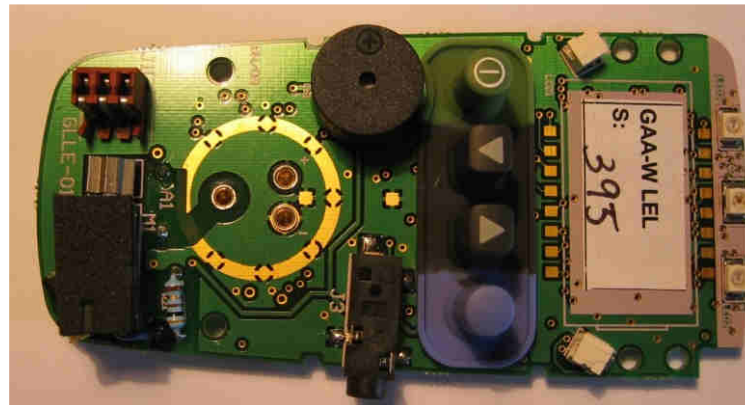
PRZENOŚNE URZĄDZENIA OCHRONY OSOBISTEJ KONTROLA SZCZELNOŚCI INSTALACJI GAZOWYCH



elektrochemiczny



półprzewodnikowy



katalityczny

KONTROLA JAKOŚCI WENTYLACJI – POMIAR CO₂ [ppm]



HODOWLA ROŚLIN ORAZ STEROWANIE CO₂



ZESTAWIENIE NORM stężenia CO ₂ ZALECANYCH przy UPRAWIE SZKLARNIOWEJ				
GATUNEK UPRAWNY	norma hodowlana CO ₂		plon / efekt	możliwy przyrost plonu [%]
	[ppm]	[% obj.]		
ogórek	600 – 800	0,06 – 0,08	świeża masa owoców, liści lub korzeni	40
papryka	900	0,09		30
pomidor	1000	0,10		50
rzodkiew	900 – 1200	0,09 – 0,12		100
sałata	1000	0,10		200
chryzantemy	900	0,09	liczba kwiatów na roślinie lub krzaku	20
cyklameny	600 – 1000	0,06 – 0,10		70
dianthus	500	0,05		30
nasturcje	600 – 1000	0,06 – 0,10		90
pelargonie	2000	0,20		200
róże	600 – 1000	0,06 – 0,10	świeża masa	25
hibiscus	1200	0,12		100

DOPUSZCZALNE STĘŻENIA WYBRANYCH GAZÓW W POWIETRZU

stężenie objętościowe CO w powietrzu	objawy zatrucia
100-200 ppm (0,01% - 0,02%)	lekki ból głowy przy ekspozycji przez 2-3 godziny
400 ppm (0,04%)	silny ból głowy zaczynający się ok. 1 godzinę po wdychaniu tego stężenia;
800 ppm (0,08%)	zawroty głowy, wymioty i konwulsje po 45 minutach wdychania; po dwóch godzinach trwała śpiączka;
1 600 ppm (0,16%)	silny ból głowy, wymioty, konwulsje po 20 minutach; zgon po dwóch godzinach
3 200 ppm (0,32%)	intensywny ból głowy i wymioty po 5-10 minutach; zgon po 30 minutach;
6 400 ppm (0,64%)	ból głowy i wymioty po 1-2 minutach; zgon w nocy 20 minut;
12 800 ppm (1,28%)	utrata przytomności po 2-3 wdechach; śmierć po 3 minutach.

Nazwa Substancji	T _{zapłonu} °C	DGW % obj.	GGW % obj.	T _{samozapłonu} °C
Aceton C ₃ H ₆ O	-19	2,1	13	535
Acetylen C ₂ H ₂	-	2,3	82	305
Amoniak NH ₃	-	15	28	630
Eter etylowy C ₄ H ₁₀ O	-30	1,6	48	160
Etylenu tlenek C ₂ H ₄ O	-50	3	100	440
Hydrazyna N ₂ H ₄	52	4,7	100	267
Metan CH ₄	-	5	15	537
Metanol CH ₃ OH	9,5	6,5	36,5	386
Siarkowodór H ₂ S	-	4,3	45	290
Tlenek węgla CO	-	12,5	75	805
Wodór H ₂	-	4	75	560

Stężenie CO ₂ % objętości (ppm)	Wpływ na człowieka
0.033 (330ppm)	powietrze w naturze
0.07 (700ppm)	powietrze w wolnej przestrzeni w mieście
0.08 (800ppm)	wzrastająca wrażliwość zapachowa
0.1 (1000ppm)	maksymalna dopuszczalna zawartość CO ₂
0.14 (1400ppm)	maksymalne dopuszczalne stężenie w pomieszczeniach biurowych
0.4 (4000ppm)	maksymalna wartość w izbie klasowej
0.5 (5000ppm)	uczucie zmęczenia, NDS - 5000ppm, 9000mg/m ³
2.0 (20000ppm)	fizjologiczna wartość krótkotrwale tolerowana
3 – 4	trudności z oddychaniem
6 – 8	zjawisko bezwładu
8 – 10	dawka śmiertelna przy długotrwałym wdychaniu
10	gaśnięcie świecy

Zawartość tlenu [% obj.]	Efekty i objawy (przy ciśnieniu atmosferycznym)
18 – 22	Wszystkie funkcje normalne, powietrze atmosferyczne ~21%
ok. 16%	Gaśnię płomień świecy
11 – 14	Nieświadome obniżenie sprawności fizycznej i intelektualnej. Poważne oparzenia, stłuczenia, złamania kości mogą nie wywoływać bólu. Wysiłek fizyczny powoduje bardzo szybkie wyczerpanie może doprowadzić do nieodwracalnego uszkodzenia.
8 – 11	Możliwość zasłabnięcia bez objawów ostrzegawczych. Mogą występować nudności i wymioty. Zanika zdolność poruszania, nie można chodzić, stać a nawet się czołgać. Człowiek może zdawać sobie sprawę z tego, że umiera, lecz jest na to obojętny. Wszystkie wymienione procesy zachodzą bez wystąpienia bólu.
6 – 8	Zemdlenie w ciągu kilku minut. Reanimacja jest możliwa, jeżeli zostanie podjęta natychmiast.
0 – 6	Utrata przytomności prawie natychmiastowa. Oddech jest urywany, następnie występują konwulsje i zatrzymanie procesu oddychania. Następuje nieodwracalne uszkodzenie mózgu. Śmierć następuje w bardzo krótkim czasie.