

# Nowoczesne sensory i czujniki

Piotr Giera

**D**obrymi materiałami do budowy takich sensorów są materiały ceramiczne. Do nich należy zaliczyć półprzewodniki: german i krzem, a także diament, beton, szkło oraz wiele innych. Coraz częściej do budowy nowoczesnych czujników stosuje się również takie elementy, jak światłowodowy, a ostatnio także ciekłe kryształy.

Wymienione materiały nie są jedynymi, które są używane do budowy nowoczesnych czujników. Nadal w wielu zastosowaniach używane są czujniki powszechnie znane, a wykonane z takich materiałów, jak: platyna, miedź, chrom, nikiel.

Głównym kierunkiem rozwoju czujników i sensorów jest ich miniaturyzacja. Umożliwia ona poszerzenie zakresu zastosowań do dziedzin, które do tej pory były niedostępne lub dostępne w minimalnym zakresie. W artykule przedstawiono zebrane informacje na temat nowoczesnych czujników i sensorów oraz możliwości ich zastosowań.

## Materiały do budowy współczesnych sensorów i ich własności

Materiały ceramiczne należą do najwcześniej stosowanych przez człowieka. Znane są narzędzia, do których budowy stosowano krzemień, kamień, glinę.

Nazwą ceramika dawniej określano wszystkie wyroby otrzymywane w wyniku wypalania gliny po uprzednim jej uformowaniu (głównie naczynia). Obecnie nazwa ta dotyczy wszystkich materiałów otrzymywanych w wyniku mieszania surowców występujących naturalnie (kwarc, glin, skalenie, kaolin) lub związków chemicznych wytworzonych przez człowieka (tlenki, krzemiany, azotki, siarczki, węgliki) i poprzez wypalanie doprowadzonych do stanu spieczenia. Do ceramiki zatem obecnie zalicza się: szkło, spoiwa mineralne, materiały ściernie, materiały magnetyczne, ferroelektryczne i dielektryczne. Do grupy ceramik zalicza się także materiały, których najważniejszym składnikiem jest węgiel. Głównie są to włókna węglowe charakteryzujące się bardzo dużą wytrzymałością termiczną i chemiczną. Dużą część wśród wymienionych wcześniej materiałów odgrywają półprzewodnikowe materiały ceramiczne, z których wykonuje się wiele elementów elektronicznych, np. fotodiody, tranzystory czy baterie słoneczne.

Niektóre z materiałów ceramicznych mają specyficzne własności. Znane są materiały o własnościach magnetycznych (np. tlenek żelaza i chromu), mają one zastosowanie w technice zapisu i odtwarzania informacji. Materiały o własnościach piezoelektrycznych (np. tytanian ołowiu, cyrkonian ołowiu) znajdują zastosowanie np. w przetwornikach gramofonowych. Następną własnością, którą charakteryzują się niektóre materiały ceramiczne, jest ferroelektryczność. Polega ona na istnieniu polaryzacji w materiale dielektrycznym po usunięciu pola, które ją wywołało. Związane jest to z trwałym uszeregowaniem dipoli elektrycznych. Materiały, które wykazują ten efekt, nazywamy ferroelektrykami. Przykładem takiego materiału jest tytanian baru ( $BaTiO_3$ ). Możliwość zachowania polaryzacji pozwala materiałowi na zatrzymanie informacji, dzięki czemu sta-

**Streszczenie:** Najnowsze technologie produkcji półprzewodnikowych elementów elektronicznych w znaczącym stopniu wpływają na konstrukcję czujników i sensorów na potrzeby pomiarów, detekcji i monitorowania. Otrzymane z czujników dane mogą w dalszym etapie być przetwarzane, analizowane i służyć np. do sterowania procesami technologicznymi. Jednym z celów budowy nowoczesnych sensorów jest ich miniaturyzacja. Umożliwia ona budowanie urządzeń pomiarowych o niewielkich rozmiarach, a co za tym idzie także zwiększyć liczbę i możliwości ich zastosowań. Warunkiem koniecznym uzyskania czujników (sensorów) o niewielkich rozmiarach jest poszukiwanie nowoczesnych materiałów, które pozwoliłyby otrzymać element o wystarczającej trwałości, wytrzymałości mechanicznej, chemicznej oraz termicznej.

## MODERN SENSORS AND ACTUATORS

**Abstract:** Emerging technologies of manufacturing semiconductor electronic components have a great impact on the design of various sensors, detectors, monitoring and measurement devices. Output data obtained from such sensors and detectors may be further processed, analyzed and used e.g. for controlling technological processes. One of the purposes of the modern sensors design is miniaturization of their form factor. Miniaturization allows you to build smaller measuring devices increasing the number and capabilities of their applications. A necessary step in miniaturization of sensors is finding modern materials, which would guarantee sufficient stability, mechanical strength, chemical and heat resistance of constructed element.

In this paper we present modern sensors for survey different physical value, detect combination and monitoring technology processing.

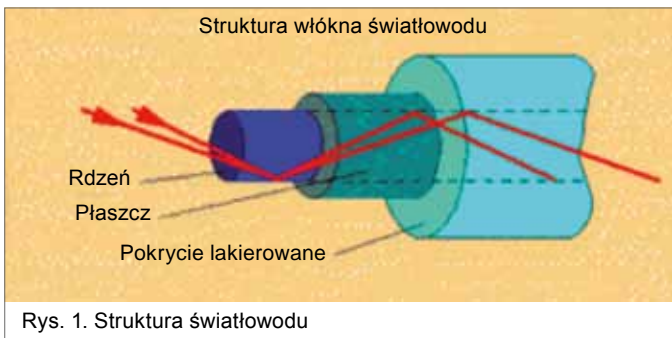
je się on użyteczny np. w obwodach komputerowych. Kolejną grupę stanowią materiały ceramiczne, które zmieniają swoje własności optyczne pod wpływem zmian pola elektrycznego.

Wiele z tych materiałów znajduje zastosowanie w elektronice, w tym także do budowy różnego typu sensorów (czujników).

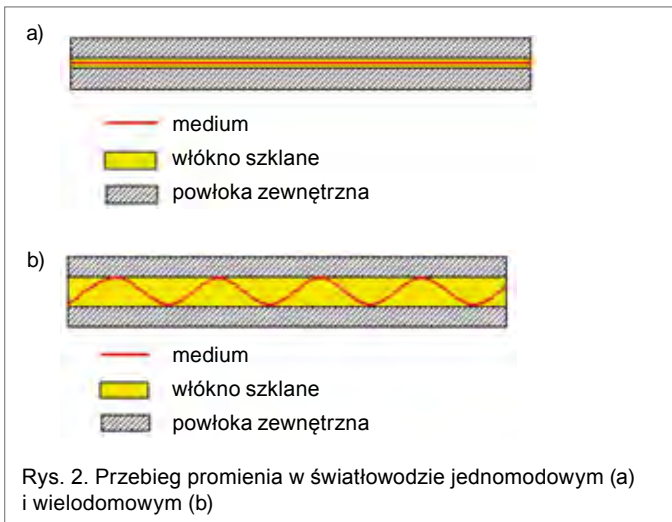
Stosowanie materiałów ceramicznych zwiększało się na przestrzeni lat. Obecnie 80% produkcji materiałów ceramicznych ma zastosowanie w przemyśle elektronicznym. Podstawowy powód tak szerokiego ich zastosowania to ich własności:

- duża odporność termiczna;
- duża odporność chemiczna;
- specjalne własności elektryczne;
- duża wytrzymałość mechaniczna;
- trwałość.

Część materiałów ceramicznych uzyskuje się z tlenków otrzymywanych syntetycznie (glinu, cyrkonu), azotków (np. krzemu, tytanu), węglików. Ważnym celem badań materiałów ce-



Rys. 1. Struktura światłowodu



Rys. 2. Przebieg promienia w światłowodzie jednomodowym (a) i wielomodowym (b)

ramicznych jest uzyskanie nadprzewodników ceramicznych, a jest to związane z ich dużą odpornością termiczną. Materiały takie mają znacznie wyższą temperaturę krytyczną  $T_c$  (powyżej 100 K, tj. powyżej  $-173,15^\circ\text{C}$ ) w porównaniu z nadprzewodnikami metalicznymi.

Stosowanie materiałów ceramicznych pozwala miniaturyzować poszczególne elementy elektroniczne (mikroelektronika). Nowe technologie obróbki krzemu umożliwiają tworzenie mikromechanicznych i elektromechanicznych struktur 3D koniecznych w wytwarzaniu nowoczesnych sensorów, czujników, a także układów optoelektronicznych i mikrośilowników. Ze względu na swoje właściwości materiały ceramiczne będą coraz szerzej stosowane w technice pomiarowej do budowy różnego rodzaju układów (mikrosystemów) o miniaturowych rozmiarach. W układach takich podstawowym problemem jest odporność na temperaturę. Wiemy, że nanotechnologia jest już faktem i tylko dzięki nowoczesnym materiałom i technologiom może dalej się rozwijać.

Następną grupą materiałów stosowaną w budowie nowoczesnych czujników i sensorów są światłowody (rys. 1). Światłowody to najczęściej włókna szklane z osłoną z tworzywa sztucznego. Osłona ta charakteryzuje się mniejszym współczynnikiem załamania światła niż wartość tego współczynnika dla szkła. Medium transmitującym dane w światłowodach jest wiązka zmodulowanego światła.

Źródłem światła może być laser lub dioda LED. Światłowody dzielimy na jedno- i wielomodowe (rys. 2). Światłowody jednomodowe charakteryzują się bardzo małymi zniekształceniami transmitowanego sygnału oraz wymiarami rdzenia rzędu 5–10 mikrometrów. W światłowodach wielomodowych wejściowa wiązka światła jest rozdzielona na wiele promieni o takiej samej długości fali, ale biegnących po różnych torach. Sygnał

wejściowy w tych światłowodach jest zniekształcony w wyniku oddziaływania na siebie poszczególnych promieni. Średnica rdzenia wynosi 50 lub 62,5 mikrometra.

Własności, jakie decydują o zastosowaniu światłowodów w budowie czujników, to:

- mała stratność;
- odporność na zakłócenia elektryczne i magnetyczne;
- mała waga;
- miniaturowe rozmiary pojedynczego włókna;
- brak pola elektromagnetycznego.

W czujnikach światłowodowych wykorzystuje się oba typy światłowodów.

Najszerze zastosowanie czujników światłowodowych następuje w przemyśle chemicznym i medycynie do określania składu chemicznego substancji, wykrywania zawartości określonego pierwiastka czy związku. Miniaturyzacja umożliwia umieszczenie w niewielkiej pojemności wielu tego typu czujników reagujących (w zależności od użytego jonoforu) na określony składnik (pierwiastek, związek). Pozwala to w bardzo szybki i tani sposób określić skład chemiczny.

Kolejnymi materiałami używanymi do budowy miniaturowych czujników i sensorów są ciekłe kryształy. Prawie przezroczyste substancje mogące znajdować się w jednym z dwóch stanów skupienia: stałym lub ciekłym. Charakteryzują się one tym, że przepuszczając przez nie światło, przebiega ono wzdłuż molekuł, które tworzą ciekły kryształ. Pobudzając ciekłe kryształy napięciem elektrycznym, powodujemy sposób ułożenia molekuł, a tym samym sposób przenikania przez nie światła. W konstrukcji czujników wykorzystywane jest zjawisko reakcji ciekłych kryształów na różne bodźce chemiczne i fizyczne.

Naukowcy odkryli zaskakujący sposób, w jaki komórki układu odpornościowego wzajemnie się komunikują. Długie cienkie rurki, nazwane nanotubułami przewodzącymi (ang. *tunneling nanotubes*), służą im do łączności i wymiany cząsteczek. Wyniki badań opublikowane w ubiegłorocznym, wrześniowym „Immunity” mogą pomóc wyjaśnić, w jaki sposób odpowiedź immunologiczna może być zainicjowana tak błyskawicznie. Struktury te zostały po raz pierwszy zauważone w hodowlach komórkowych ssaków podczas studiów przeprowadzanych przez grupy naukowców z Niemiec i Norwegii. Teraz Simon Watkins i Russell Salter z University of Pittsburgh z USA uważają, że po raz pierwszy uchwycili tubule w akcji – transmitujące sygnały z komórki do komórki. Używając zaawansowanych technologii, obserwowali ludzkie komórki dendryczne i makrofagi – składniki układu obronnego, które krążą we krwi. Naukowcy zarejestrowali przepływające fale jonów wapnia oraz niewielkich molekuł rozprzestrzeniające się przez sieć utworzoną z tubul. Nanotubule mogą rozciągać się na setki mikrometrów (same komórki mają ok. 15  $\mu\text{m}$  w przekroju), a każda komórka może mieć do 75 tych przejściowych kabli komunikacyjnych. Autorzy badań twierdzą, że również antygeny – obce substancje, które inicjują odpowiedź immunologiczną – mogą być w ten sposób rozprawdane pośród komórek jako list gończy przeciwko intruzowi. Watkins wskazuje, że jest to najwyraźniej nowo odkryta „trzecia forma międzykomórkowej komunikacji”, która w żaden sposób nie przypomina ani synaps łączących komórki nerwowe, ani połączeń szczelinowych umożliwiających wymianę molekuł przez przylegające do siebie komórki. Studia wykazują, że nie tylko neurony są zdolne do długodystansowej komunikacji, a komórki układu odpornościowego posiadają dodatkowy sposób komunikowania się niż

wydzielanie substancji sygnałowych, takich jak cytokiny. Hans-Hermann Gerdes, biolog komórkowy z Uniwersytetu w Bergen w Norwegii, jeden z pierwszych odkrywców zewnątrzkomórkowych nanotubul przewodzących u ssaków, twierdzi, że odkrycie to jest bardzo ważne, gdyż wykazuje, że fizjologicznie istotna cząsteczka sygnałowa – wapń – potrafi wędrować przez te połączenia. Naukowiec przewiduje, że ten rodzaj tubul zostanie wkrótce znaleziony w przypadku wielu innych typów komórek.

### Nanosensory oparte na DNA

Naukowcy z Uniwersytetu Pensylwania i Monell Chemical Science Center stworzyli węglowe nanotubule pokryte niciami DNA tworzące nanosensory zdolne do wykrywania zapachów i smaków. Ich odkrycie zostało opublikowane w bieżącym wydaniu magazynu „Nano letters” publikacji Amerykańskiego Stowarzyszenia Chemików. Według badaczy duża liczba nanosensory może wykryć molekuly wielkości jednej milioowej, co jest pokrewne znalezieniu jednosekundowego urywka z 278-godzinowego filmu czy odnalezienie pojedynczej osoby na Times Square w Sylwestra. Naukowcy przetestowali nanosensory na pięciu różnych chemicznych zapachach, włączając w to metanol i dinitrotoluen (DNT), który często występuje w materiałach wybuchowych stosowanych przez wojsko. Nanosensory są w stanie „wywachać” cząsteczki prosto z powietrza lub wyczuć je w płynie, co sugeruje ich przyszłe zastosowanie w zapewnieniu bezpieczeństwa wewnętrznego kraju oraz jako medycznych detektorów.

– To co mamy, to hybryda dwóch molekul, które są niezwykle czułe na sygnały świata zewnętrznego; pojedyncza nić DNA, która jest tu detektorem, i węglowa nanotubula, która działa jako transponder. Po połączeniu stają się one bardzo wszechstronnym typem sensora zdolnym do wykrycia najmniejszych liczb danych molekul. Każda nanotubula jest szerokości około bilionowej metra – mówi A.T. Charlie Johnson, profesor Wydziału Fizyki na Uniwersytecie Pensylwania.

Johnson i jego współpracownicy wierzą, że duża liczba nanosensory może służyć jako pasywny system wykrywania w prawie każdym miejscu. Powierzchnia nanosensory ma również zdolność samoregeneracji, a dodatkowo każdy z nich może być wystawiany na działanie docelowej substancji około 50 razy, co oznacza, że nie ma potrzeby częstej ich wymiany. Specyficzność pojedynczej nici DNA jest tym, co sprawia, że nanosensory mają takie zdolności. Te biomolekuly dzięki procesowi zwanemu ukierunkowaną ewolucją są w stanie rozpoznawać szeroki zakres celów, włączając w to małe molekuly i specyficzne białka. Ponadto nanotubule są idealne do sygnalizowania, kiedy DNA pochwyci docelową molekulę. Nanotubule mają budowę jednościennej, są zbudowane z jednej warstwy cząsteczek węgla połączonych razem i zrolowanych. Jest to unikatowy materiał, gdzie każdy atom jest zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz tubuli. Nanotubule są szczególnie czułe na zmiany elektrostatyczne w swoim środowisku, zarówno gdy znajdują się w powietrzu czy w płynie.

– Kiedy część DNA z nanosensory łączy się z docelową cząsteczką, następuje niewielka zmiana w ładunku elektrycznym obok nanotubuli. Nanotubula przechwytytuje ją i zamienia w sygnał elektryczny, który może później zostać odczytany – objaśnia prof. Johnson.

Według Johnsona liczba ok. 100 sensorów z różną charakterystyczną odpowiedzią i odpowiedni program rozpoznawania



Rys. 3. Przykłady membran stosowanych w czujnikach ciśnienia

mogłyby być w stanie identyfikować słaby zapach pomimo silnego i zróżnicowanego podłoża.

### Konstrukcje sensorów

Podstawą budowy nowoczesnych miniaturowych sensorów wykorzystujących krzem są dwie konstrukcje mikromechaniczne: membrany (rys. 3) i belki. Membrany stosowane są np. w konstrukcjach czujników ciśnienia i promieniowania. Belki są stosowane w budowie czujników siły, czujnikach: przepływu, analizatorów drgań, pomiaru kąta położenia itp.

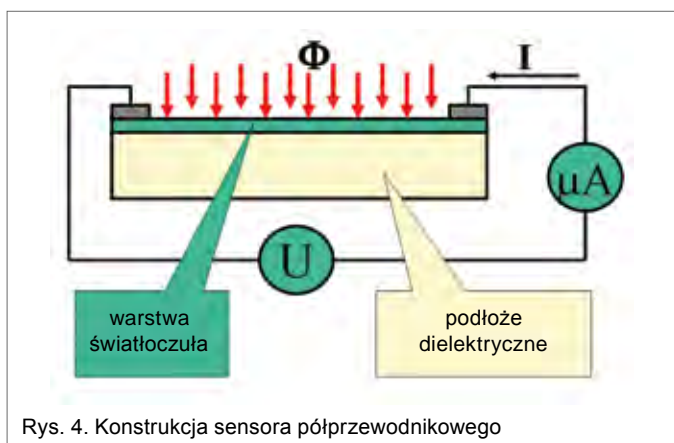
Coraz więcej miniaturowych czujników stosowanych jest w analizie chemicznej, monitoringu środowiska i kontroli procesów przemysłowych. Należą do nich jonoselektywne elektrody, pH-czułe elektrody szklane, światłowody oraz jonoczulłe tranzystory.

Jonoselektywne elektrody budowane mogą być ze szkła czy sprasowanych proszków, jednak obecnie najczęściej stosowanym materiałem stały się polimery. Materiały polimerowe umożliwiają dużą różnorodność wykonania jonoczulłych membran.

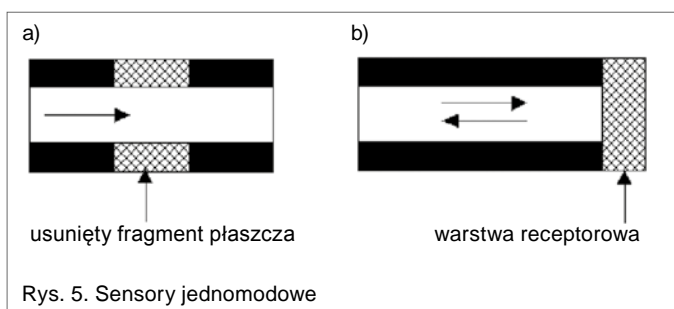
Jonofor jest rozpuszczony w odpowiednim rozpuszczalniku, a materiał polimerowy stanowi podłoże (mechaniczne). Odpowiedni dobór jonoforu pozwala zmieniać selektywność czujnika. Czujniki tego typu pozwalają dostatecznie dokładnie określać stężenie określonych jonów. Niestety wadą tych czujników jest ich nieduża trwałość. Uszkodzeniu ulegają najczęściej membrany lub następuje wymywanie substancji jonoczulłej, dlatego nie nadają się one do długotrwałych pomiarów, jak np. w badaniach środowiska. Najczęściej stosowane są w medycynie, gdyż czułość i selektywność oraz trwałość stosowanych membran jest tu wystarczająca.

Szersze możliwości zastosowania dają elektrody budowane w oparciu o krzem, tzw. elektrody na stałym podłożu (ang. *Solid-State Electrodes* – SSE) [6]. Nieco inaczej w tych elektrodach przedstawia się warstwa jonoczulła (elektrolit). Jednym z rozwiązań jest zastosowanie pośredniej warstwy hydrożelowej impregnowanej wodnym roztworem elektrolitu, na który następnie nakładany jest materiał jonoczulły.

Kolejnym rozwiązaniem stosowanym w nowoczesnych sensorach chemicznych są miniaturowe półprzewodnikowe jonoczulłe tranzystory polowe ISFET (ang. *Ion-Selective Field Effect Transistor*). Na rys. 4 przedstawiono budowę sensora. Tego typu sensory są nazywane CHEMFETami [1, 4] i stosowane są np. w badaniach żywności, wody. Możliwości zastosowań są znacznie większe i zależą tylko od użytego jonoforu. Zasada działania tych sensorów jest podobna jak w jonoczulłych elektrodach membranowych. Warstwa jonoczulła stanowi bazę takiego tranzystora.



Rys. 4. Konstrukcja sensora półprzewodnikowego



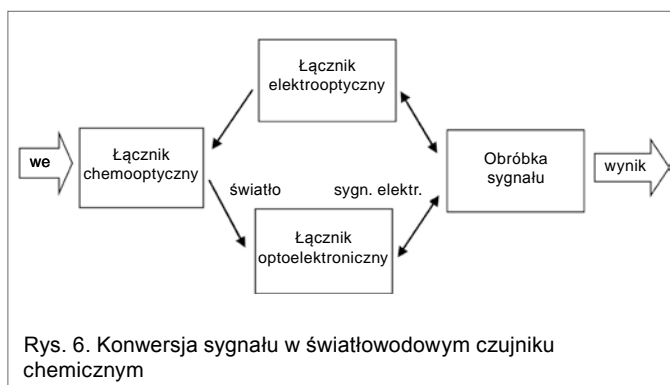
Rys. 5. Sensory jednomodowe

Badana próbka, docierając do membrany, jest w niej gromadzona przez odpowiedni jonofor, wywołując powstawanie w membranie potencjału sterującego przepływem prądu między źródłem a drenem, czyli prąd jest zależny od stężenia elektrolitu.

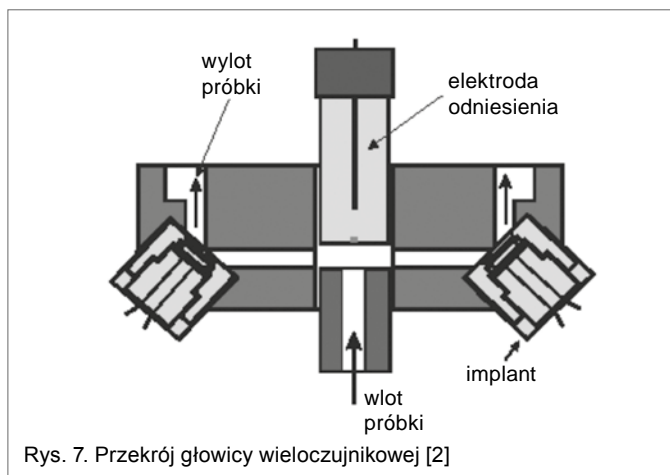
Kolejnym przykładem nowoczesnych czujników chemicznych są czujniki światłowodowe (optrody) FOCS (ang. *Fibre Optic Chemical Sensor*). Liczba analitów (składników), które wykazują wystarczającą absorpcję światła dla celów pomiarowych, jest niewielka. Stosuje się więc odpowiednie odczynniki, które wykrywają obecność analitu, a następnie przetwarzają dane o jego stężeniu na zmiany we własnościach optycznych (absorpcja, fluorescencja). Sposób wykonania sensorów jednomodowych przedstawiono na rys. 5. Jeden z nich (a) przedstawia światłowód z usuniętym fragmentem płaszczka, a w to miejsce jest naniesiona warstwa, która jest czuła na badany analit (tzw. układy transmisyjne). Powoduje to zmianę absorpcji lub współczynnika załamania światła, a tym samym własności transmisyjnych światłowodu.

W drugim przypadku (b) (tzw. układ odbiciowy) warstwa czuła na badany analit jest umieszczona na końcu światłowodu. Wiązka światła, docierając do warstwy receptorowej, ulega odbiciu. Stopień odbicia zależy od stężenia analitu. Na rys. 6 pokazano konwersję sygnału mierzonego światłowodowym czujnikiem chemicznym.

Łącznik chemooptyczny jest wykonany jako membrana z odpowiednim odczynnikiem i umieszczona na końcu pojedynczego światłowodu lub całej wiązki. Łącznik elektrooptyczny pełni funkcję właściwego źródła światła o takim zakresie, aby obejmowało maksimum absorpcji odczynnika. Wiązka światła po przejściu przez łącznik chemooptyczny jest w łączniku optoelektronicznym przetwarzana (np. przez fotodiode i wzmacniacz) na sygnał elektryczny. Tego typu czujniki znajdują coraz szersze zastosowanie pomimo ograniczonej liczby analitów, które mogą być z ich pomocą oznaczane. Ich głównymi zaletami są: odporność na zakłócenia elektryczne oraz magnetycz-



Rys. 6. Konwersja sygnału w światłowodowym czujniku chemicznym



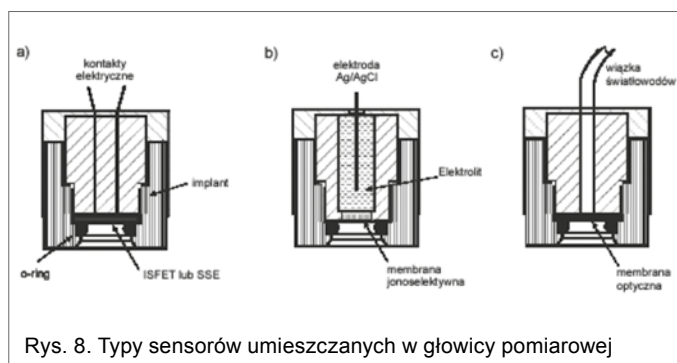
Rys. 7. Przekrój głowicy wieloczujnikowej [2]

ne, małe zużycie analitu, pomiary w czasie rzeczywistym oraz duża czułość przy zastosowaniu odpowiednich odczynników.

Szerokie możliwości zastosowań czujników optycznych wynikają z szerokiego – praktycznie nieograniczonego – spektrum substancji, które można identyfikować. Różnorodne chemiczne czujniki optyczne umożliwiają specyficzne oznaczanie gazów, prostych i złożonych substancji nieorganicznych i organicznych, a także biomolekuł (hormony, antygeny, przeciwciała, enzymy) oraz złożonych systemów biologicznych (geny, wirusy, makrofagi, bakterie itp.).

Aby była możliwość kompleksowej analizy różnych substancji (zwłaszcza ciągły pomiar substancji przepływowych), konieczne jest tworzenie wieloczujnikowych głowic, w których można montować różnego typu miniaturowe czujniki. Na rys. 7 przedstawiono przekrój głowicy z zamontowanymi czujnikami, a na rys. 8 typy czujników umieszczanych w takiej głowicy. Układ pomiarowy z głowicą wieloczujnikową pokazany jest na rys. 9. Głowica tego typu została opracowana na Politechnice Warszawskiej.

Nowością w dziedzinie budowy współczesnych czujników jest wykorzystanie w ich konstrukcji ciekłych kryształów. Jednym z głównych powodów badań nad zastosowaniem ciekłych kryształów (i nie tylko) jest konieczność szybkiego wykrywania (w czasie rzeczywistym) obecności w powietrzu składników broni biologicznej. Wydaje się być tylko kwestią czasu, kiedy terroryści użyją w zamachach tego typu broni, która jest dużo bardziej groźna. Konieczne jest w takiej sytuacji szybkie wykrycie np. bakterii węglik, ospy czy dżumy. Obecnie o takim ataku możemy dowiedzieć się dopiero po kilku dniach czy nawet tygodniach, gdy są już widoczne skutki. W czujnikach z ciekłymi kryształami wykorzystuje się zjawisko reakcji kryszta-



Rys. 8. Typy sensorów umieszczanych w głowicy pomiarowej

łów na obecność różnych czynników chemicznych i fizycznych. Prace nad budową tego typu czujników dopiero się rozpoczęły i co najważniejsze – w Polsce w Wojskowej Akademii Technicznej. W przypadku zastosowania takich czujników wykrycie ataku bronią biologiczną będzie możliwe w ciągu kilku sekund.

Mówiąc o półprzewodnikowych czujnikach, należy także wspomnieć o znanych już doskonale i często używanych termistorach. Są to elementy półprzewodnikowe wykonane z tlenków żelaza, niklu, litu i tytanu [3, 5]. Rezystancja termistorów zmienia się w sposób wykładniczy. Wyróżnia się trzy typy tych elementów:

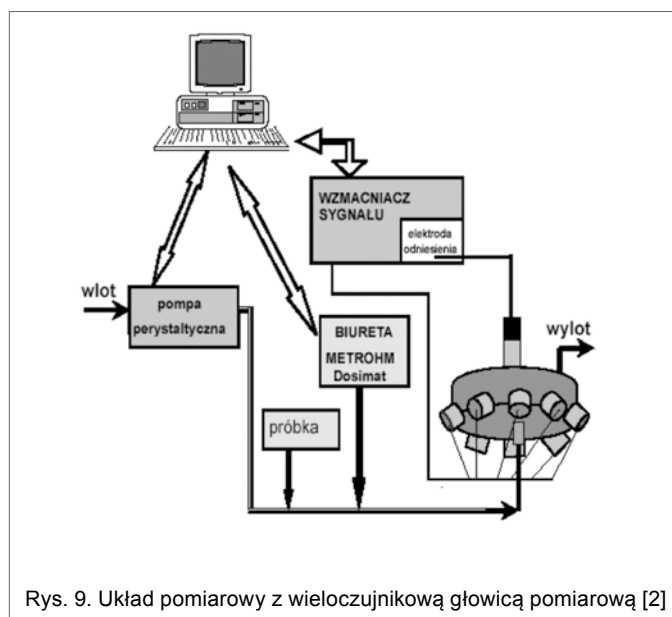
- o dodatnim współczynniku temperaturowym rezystancji (dodatni TWR) – (ang. PTC – *Positive Temperature Coefficient*) – ze wzrostem temperatury rośnie ich rezystancja;
- o ujemnym współczynniku temperaturowym rezystancji (ujemny TWR) – (ang. NTC – *Negative Temperature Coefficient*) – ze wzrostem temperatury maleje ich rezystancja;
- elementy, których rezystancja w pewnym zakresie temperatur gwałtownie maleje – (ang. CTR – *Critical Temperature Resistor*).

Termistory znajdują zastosowanie głównie w pomiarach temperatury.

## Podsumowanie

Budowa nowoczesnych miniaturowych sensorów pozwala tworzyć systemy, które w sposób kompleksowy mogą monitorować procesy chemiczne w takich dziedzinach, jak: przemysł chemiczny, ochrona środowiska, rolnictwo czy medycyna. Tradycyjne metody analizy, polegające na pobieraniu próbki i następnie poddawaniu jej analizie w laboratorium, są czasochłonne i kosztowne. Szacuje się, że kompleksowy koszt analizy jednej próbki wynosi ok. 300 \$ (koszty dostarczenia próbki do laboratorium, koszty aparatury i laboranta [2]). Kompleksowa analiza składu danej substancji to jeden z problemów budowy nowoczesnych czujników czy głowic wieloczujnikowych. Drugi to miniaturyzacja, dzięki której mogą być prowadzone analizy w bardzo małych objętościach (mikrolitrowych) lub bardzo trudnych warunkach. Szczególnie ważne są badania dotyczące opracowania miniaturowych elementów detekcyjnych. Miniaturyzacja pozwala ograniczyć do minimum zużycie próbek i odczynników, skrócić czas pomiaru oraz budowy urządzeń pomiarowych, a tym samym obniżyć koszty. Nowoczesne czujniki światłowodowe znajdują szerokie zastosowanie w niemal każdej dziedzinie współczesnej analizy i diagnostyki.

Do najważniejszych obszarów ich aplikacji można zaliczyć analizę kliniczną i biomedyczną, analitykę żywności i przemy-



Rys. 9. Układ pomiarowy z wieloczujnikową głowicą pomiarową [2]

słową (szczególnie biotechnologiczną i biomateriałów), przemysł wydobywczy i hutniczy oraz zastosowania związane z monitorowaniem stanu środowiska i z obronnością. Prace nad czujnikami budowanymi w oparciu o ciekłe kryształy są dopiero w fazie początkowej, ale zainteresowanie nimi wielu państw jest już bardzo duże. Mimo że pierwsze zastosowania są przewidziane w dziedzinie wojskowości, to należy się spodziewać, że w krótkim czasie będą one stosowane także dla celów cywilnych. Ważnym i pozytywnym elementem w dziedzinie budowy najnowszych sensorów i czujników jest fakt, iż znaczna część badań nad nimi jest prowadzona w polskich ośrodkach naukowych (Wojskowa Akademia Techniczna, Politechnika Warszawska).

## Literatura

- [1] CHUDY M., BRZÓZKA Z., WRÓBLEWSKI W.: *Jonoczułe tranzystory polowe z zastosowaniem membran polisiloksanowych RMS 033*. VII Konferencja Naukowa „Czujniki Optoelektroniczne i Elektroniczne”, Wrocław 2004.
- [2] CHUDY M., WRÓBLEWSKI W., DYBKO A., BRZÓZKA Z.: *Miniaturowe czujniki chemiczne w monitoringu wód*. „Nowe horyzonty i wyzwania w analityce i monitoringu środowiskowym”. Namieśnika J., Chrzanowski W., Szpinek P. (red.). Centrum Doskonałości Analityki i Monitoringu Środowiskowego, Gdańsk 2003.
- [3] CHWALEBA A., PONIŃSKI M., SIEDLECKI A.: *Metrologia Elektryczna*. WNT Warszawa 1998.
- [4] MIRZYŃSKA B., WRÓBLEWSKI W., BRZÓZKA Z.: *Chemia Analityczna*. Warszawa 1996.
- [5] NAWROCKI W.: *Sensory i Systemy pomiarowe*. Wyd. Politechniki Poznańskiej 2001.
- [6] WYGLĄDACZ K., MALINOWSKI E., JAŻWIŃSKI J., BRZÓZKA Z.: *Sensors and Actuators B*, 83, (109–114), Politechnika Warszawska 2002.

mgr inż. Piotr Giera – Instytut Informatyki, Politechnika Poznańska; e-mail: piotr.giera@cs.put.poznan.pl