

CAPITOLUL 12

TRADUCTOARE CHIMICE

12.1 Traductoare pentru analiza gazelor

Traductoarele pentru analiza gazelor (*analizoarele de gaze*) sunt destinate, în general, măsurării unui singur component dintr-un amestec de gaze. Funcționarea lor se bazează pe măsurarea unui parametru fizic sau electrochimic al amestecului analizat.

În funcție de parametrul măsurat, analizoarele de gaze sunt de mai multe tipuri:

- cu măsurarea conductivității termice;
- cu măsurarea căldurii de reacție;
- cu măsurarea absorbției în infraroșu;
- cu măsurarea susceptibilității magnetice;
- cu măsurarea emisiei optice;
- cu măsurarea masei atomice, etc.

a) Analizoare de gaze cu măsurarea conductivității termice

Conductivitatea termică a unui amestec de gaze este media aritmetică ponderată a conductivităților termice ale gazelor componente. Măsurarea conductivității termice a unui amestec de două gaze, cunoscând conductivitățile termice ale gazelor componente, permite determinarea concentrației procentuale a componentelor.

Măsurarea conductivității termice se face prin determinarea puterii disipate de un fir subțire, metalic, în regim staționar. Aplicațiile tipice sunt: măsurarea conținutului de CO₂ în gazele de ardere, măsurarea hidrogenului și SO₂ din aer.

b) Analizoare de gaze cu măsurarea căldurii de reacție

Conținutul în componenți combustibili sau în oxigen al unui amestec gazos se stabilește prin arderea lui catalitică. Căldura de reacție determină creșterea temperaturii catalizatorului, care este măsurată pe cale electrică (de exemplu catalizatorul este din platină și i se măsoară variația de rezistență electrică).

Microcalorimetrele sunt senzori de tip generator, în care se detectează căldura unei reacții chimice. La ieșire se obține o tensiune electrică ce depinde de concentrația substanței care se măsoară.

Microcalorimetrele pot fi utilizate în medii gazoase și în medii lichide. În ambele cazuri, substanța de măsurat este convertită într-o altă substanță printr-o reacție catalitică sau enzimatică care produce căldură. Catalizatorul sau enzima se depune pe suprafața sensibilă de interacțiune a senzorului termic.

Există mai multe tipuri de microcalorimetre: bazate pe termistoare, straturi din mylar cu termopile din bismut - antimoniu, termopile integrate din siliciu și termopile integrate din polisiliciu cu membrane din nitruri.

Dispozitivele cu termopile integrate pentru lichide conțin o membrană închisă din siliciu, pe spatele ei fiind depusă o membrană din enzimă. Lichidul este separat astfel de partea electronică.

c) Analizoare de gaze cu măsurarea absorbției în infraroșu

Nivelul de absorbție al radiației infraroșii (IR) de către molecule, la orice frecvență, este constant și independent de intensitatea radiației IR, acest nivel oferind informații cantitative despre compoziția gazului din mediul monitorizat. Aceste două proprietăți ale spectroscopiei cu absorbție permit realizarea de senzori care măsoară nivelul absolut al unui component, cu o calibrare constantă, ce este transferată între instrumentele de măsurare.

Dezavantajul spectrometrelor cu absorbție în IR este că nu pot măsura molecule simetrice (de exemplu N_2 , O_2 , H_2) sau specii cu un singur atom, datorită lipsei momentului de dipol.

d) Analizoare de gaze cu măsurarea susceptibilității magnetice

Se bazează pe diferența între componenții unui amestec de gaze în ceea ce privește susceptibilitatea magnetică χ . Dintre gaze, cea mai mare susceptibilitate magnetică specifică (χ / densitate) o are oxigenul, apoi dioxidul de azot (aproximativ 0,43 din cea a O_2). Pentru restul gazelor de interes (N_2 , H_2 , CO_2 , NH_3 , CH_4 , C_2H_2 , etc.) sunt caracteristice valori negative, de 500 ... 1000 ori mai mici decât la oxigen. Din acest motiv, analizoarele bazate pe măsurarea susceptibilității magnetice se folosesc numai ca analizoare de oxigen, având gama de măsurare cea mai sensibilă, de aproximativ 1 % O_2 .

e) Spectrometre cu emisie optică

Sunt folosite în aplicații de producție de materiale semiconductoare. O condiție necesară este ca eșantionul să emită radiație optică, uzual folosind descărcare electrică sau plasmă.

Spectrometrele cu emisie optică fac analize calitative, prin detectarea spectrului emis la una sau la mai multe lungimi de undă. Nu pot face însă analize

cantitative corecte, datorită variațiilor plasmei, câmpului de vedere al instrumentului și degradării materialului ferestrei optice.

f) Spectrometre de masă

Permit determinarea exactă a masei atomice, pe baza diferenței între masele atomilor individuali, cu ajutorul deviației ionilor substanțelor în câmp electric și/sau magnetic. Spectrometria de masă se bazează pe ionizarea atomilor sau moleculelor, accelerarea ionilor, separarea lor în funcție de raportul masă/sarcină, detectarea ionilor, amplificarea semnalului, înregistrarea și interpretarea spectrului.

Energia necesară pentru ionizarea moleculelor provine de la fascicule de electroni, ioni sau atomi, câmpuri sau descărcări electrice, fascicule laser sau energie termică. Ionii sunt accelerați folosind câmpuri electrice obținute cu tensiuni de 400 ... 4000 V, aplicate între electrozi cu fante.

Separarea ionilor se face în câmpuri electrostatice, magnetice, pe baza timpului de tranzit, prin focalizarea cicloidală sau în câmpuri de radiofrecvență.

Detectoarele de ioni folosite cel mai frecvent sunt: plăcile fotografice, detectoare cu tub Faraday, multiplicatoare cu emisie secundară, etc.

Spectrul de masă este o amprentă a unei molecule, deoarece doi compuși nu se fragmentează la fel. Aplicațiile spectrometriei de masă sunt în chimia organică și biochimie, pentru determinări calitative, cantitative și de structură.

g) Analizor de oxigen cu diodă laser și emisie de suprafață

Analizorul este proiectat pentru o lungime de undă centrală de aproximativ 763 nm, unde absorbția datorată tranzițiilor dipolilor magnetici din molecula de oxigen este prezentă fără interferențele de la alte gaze.

Dioda laser folosită este cu cavitate verticală și emisie de suprafață (VCSEL) din GaAs/AlGaAs și trebuie să aibă un singur mod transversal. Pentru funcționare, lățimea spectrală trebuie să fie îngustă, mai mică decât 30 MHz, iar nivelul de zgomot, scăzut. Variația de frecvență optică pe termen lung, mai mică decât 1 GHz/lună, corespunde unei stabilități a lungimii de undă de 0,002 nm/lună.

Dioda laser are temperatura controlată, iar curentul provine de la o sursă de curent de zgomot scăzut, modulată extern cu două generatoare de funcții. Fascicolul optic este trimis spre un despicător de fascicol, de la care o parte este focalizată direct pe o fotodiodă de Si, plasată la 3 cm de dioda laser. Cealaltă parte a fascicolului este transmisă printr-o cale de 1 m de aer (concentrația de oxigen 20 %) spre a doua fotodiodă de Si. Lungimea de undă a diodei laser este variată în jurul unui curent continuu de polarizare, cu un semnal sinusoidal suprapus, care permite detecția la ieșire a armonicii a doua. La creșterea curentului prin dioda laser, amplitudinea crește, datorită creșterii absorbției optice a liniilor cu lungimi de undă mai mari. Rezoluția analizorului de oxigen descris este de 0,2 % O_2/m de cale optică.

Creșterea sensibilității pentru aceeași lungime a căii optice se obține prin reducerea gradientilor termici, a curenților de aer și a zgomotului provenit de la sursa de alimentare.

12.2 Cromatografe de gaze

Cromatografele de gaze realizează separarea componentelor unui amestec de gaze, prin injecția sa într-o coloană prin care este vehiculat de un gaz purtător. Durata de reținere de către coloană diferă pentru fiecare component, astfel că, la ieșirea din coloană componentii apar succesiv. Concentrația fiecărui component se determină folosind un traductor termoconductometric.

12.3 Traductoare electronice de umiditate

Umiditatea reprezintă conținutul de apă dintr-un material solid, lichid sau gazos. Umiditatea materialelor solide sau lichide se exprimă ca umiditate relativă, iar măsurarea ei se realizează cu instrumente denumite *umidimetre*. Măsurarea umidității gazelor se realizează cu instrumente denumite *higrometre*.

Umidimetrele electronice se pot grupa în:

- umidimetre bazate pe măsurarea caracteristicilor electrice ale corpurilor, în funcție de conținutul lor de apă: conductivitate, permitivitate, absorbția energiei la frecvență ultraînaltă, etc.;
- umidimetre în infraroșu, bazate pe absorbția relativă a energiei infraroșii de către corpurile umede.

Variația de rezistivitate a materialelor solide, care în stare uscată sunt izolante, este de forma: $p \approx (\text{umiditatea})^{-n}$, unde $n = 8, \dots, 16$, în funcție de natura materialului.

În cazul lichidelor sau pulberilor, permitivitatea dielectrică depinde liniar de concentrația volumetrică a apei.

Umiditatea gazelor se determină prin măsurarea permitivității dielectrice (care crește la creșterea conținutului de apă), prin variația de rezistență sau capacitate electrică a senzorului datorită absorbției apei din gaz, etc.

12.3.1 Traductoare pentru măsurarea umidității gazelor

Pentru calibrarea instrumentelor de măsurare a umidității se folosesc următoarele standarde: *standarde primare*, *standarde de transfer* și *dispozitive secundare*.

1. Standardele primare de umiditate se bazează pe principii fundamentale și unități de măsură de bază. Instrumentul standard folosit de laboratoarele de calibrare naționale pentru măsurarea umidității este *higrometrul gravimetric*.

Principiul de măsurare este următorul: o cantitate de gaz uscat este cântărită și comparată cu greutatea gazului de test, de volum egal. Se determină mai întâi cantitatea de apă și apoi se calculează presiunea vaporilor. Precizia măsurătorilor este bună, dar metoda este dificilă și scumpă.

La nivele scăzute de umiditate, dispozitivul are nevoie de mai multe ore de funcționare pentru a obține un eșantion destul de mare, de aceea, nu este un sistem practic pentru folosire zilnică. La nivele mai scăzute de umiditate și acuratețe mai slabă, se folosesc ca standarde primare: generatoare cu două presiuni, generatoare cu două temperaturi, etc.

2. Standardele de transfer de umiditate se bazează de asemenea pe principii fundamentale și au rezultate bune, stabile și repetabile, dacă sunt folosite corect. Ca standarde de transfer se folosesc: higrometrul cu oglindă răcită, higrometrul electrolitic și psihrometrul.

a) Higrometrul cu oglindă răcită

Folosește o suprafață oglindă, aflată în contact cu debitul de gaz care trebuie monitorizat, care este răcită până se formează condens. Temperatura la care se formează condensul se numește *punct de rouă* sau *punct de înghețare* al gazului și depinde de presiunea vaporilor saturați de apă ai eșantionului. Se poate calcula orice parametru echivalent higrometric, cu condiția să fie cunoscute alte informații (de exemplu, presiunea și temperatura gazului). Oglinda este încălzită și răcită electric cu o pompă de căldură termoelectrică. Temperatura oglinzii se măsoară cu o termorezistență bobinată, legată într-o schemă de măsurare cu patru fire, fixată sau inclusă în oglindă.

Punctul de rouă este valoarea la care trebuie să scadă temperatura, la presiune constantă, a unui gaz umed, pentru a satura vaporii de apă. Metoda punctului de rouă folosește relația dintre presiunea de saturație a vaporilor de apă, p_s și temperatură. Independent de temperatura ambiantă T_a , presiunea vaporilor p_v este exprimată de temperatura punctului de rouă T_r , pentru care: $p_s(T_r) = p_v(T_a)$.

O alternativă la detectarea optică a picăturilor este folosirea unui senzor capacitiv pe un element Peltier și detectarea variației de capacitate între două perechi de electrozi cu structură interdigitată. Când are loc condensarea, impedanța dintre electrozi scade brusc, datorită creșterii constantei dielectrice, care variază între 1 pentru aer umed și 80 pentru apă.

Avantajele detecției electrice a picăturilor de rouă față de detecția optică sunt dimensiunile de gabarit mai mici, datorită structurii plate și construcția mai simplă, deoarece nu necesită aliniere optică. Aceste proprietăți facilitează construirea

traductoarelor de umiditate sub formă de sonde, care pot fi introduse în conducte sau vase care conțin gazul umed ce trebuie măsurat.

Traductoarele de umiditate tip sondă nu necesită pompă de aer, ca în cazul instrumentelor optice. Structurile capacitive plane sunt obținute în tehnologia siliciului, permițând integrarea unui senzor de temperatură în același ansamblu.

b) Higrometrul electrolitic

Folosește principiile legii electrolizei lui Faraday pentru a determina cantitatea de umezeală dintr-un debit de gaz. Vaporii de apă din gaz trec prin celula de măsurare a instrumentului și, în urma electrolizei, sunt separați în H_2 și O_2 . Curentul consumat în acest proces depinde de cantitatea de apă supusă electrolizei. Presupunând că celula convertește toată apa din debitul de gaz în părțile sale componente, măsurarea curentului reprezintă o măsură absolută a conținutului de umezeală. Instrumentul se folosește în instalații automatizate.

La măsurarea electrolitică a umezelii din gazele naturale, senzorul electrolitic constă din două fire (electrozi) bobinate pe un suport izolator. Spațiul dintre fire este umplut de un electrolit într-un strat subțire, de exemplu oxid fosforic, P_4O_{10} , care adsorbe vaporii de apă din gaz.

Măsurarea umidității gazelor naturale se poate realiza și prin alte tehnici: punctul de rouă (dew), tehnici capacitive, conductivitate, titrare, absorbție în infraroșu și cromatografie.

Deoarece doar senzorul necesită calibrare, electroliza este una din cele mai precise metode de măsurare a umidității gazelor. Frecvența de calibrare este determinată de eficiența senzorului, sistemul de manipulare a eșantionului de gaz, compoziția gazului, condițiile mediului ambiant și specificațiile gazului.

c) Psihrometrul

Diferența de temperatură psihrometrică se măsoară cu doi senzori de temperatură: unul uscat și unul umed, expuși simultan la un jet de gaz umed.

Într-un psihometru cu balon uscat sau umed se evaporă apa pură dintr-un tampon care înconjoară sonda de temperatură, plasată în curentul de gaz care trece peste tampon la o anumită viteză. După evaporare, temperatura balonului umed scade direct proporțional cu umiditatea relativă a gazului (umiditatea relativă a unui gaz se măsoară la temperatura predominantă a gazului, cu un termometru cu balon uscat).

Deoarece diferența de temperatură depinde de căldura de evaporare a apei, dacă toți parametrii de măsurare sunt cunoscuți, se poate determina presiunea absolută a vaporilor de apă.

Tehnica este folosită destul de rar, datorită numărului mare de variabile care influențează rezultatele măsurătorilor și care trebuie controlate cu acuratețe.

3. Standardele secundare de umiditate nu sunt instrumente fundamentale și trebuie calibrate frecvent, folosind un standard de transfer sau un alt sistem fundamental. Sistemele secundare sunt rar folosite pentru calibrări de laborator, dar au aplicații în industrie și monitorizarea clădirilor (de exemplu, condiționarea aerului).

Un senzor secundar măsoară variațiile din propriile caracteristici, ca rezultat al expunerii la un fenomen sau proprietate. Senzorii secundari răspund fie la umiditatea relativă, fie la cea absolută, prin detectarea:

- variației de lungime a unui material (principiul higrometrului cu extensie);
- variației de greutate (principiul higrometrului cu absorbție);
- variației de impedanță sau capacitate (higrometre electronice).

Umiditatea relativă (RH) este raportul dintre presiunea vaporilor de apă, p_a și presiunea vaporilor saturați, p_s la temperatura predominantă a balonului uscat:

$$\%RH = 100 \frac{p_a}{p_s}$$

Măsurând temperatura balonului uscat, se poate calcula presiunea vaporilor saturați în funcție de temperatură, cu relația:

$$p_{as} = (1,0007 + 3,46 \cdot 10^{-6} \cdot p) \cdot 6,112^{[17,502 \cdot T / (240,97 + T)]}$$

Aceeași formulă se folosește și pentru a calcula numărătonul, prin introducerea temperaturii punctului de rouă, T_d . Se spune că un gaz este saturat atunci când este la temperatura punctului de rouă.

Notațiile folosite sunt: p_a = presiunea vaporilor, [milibari]; p_{as} = presiunea vaporilor saturați în raport cu apa, [milibari] la T_d ; p = presiunea totală [milibari]; T = temperatura [°C]; T_d = temperatura punctului de rouă [°C].

Exemple de senzori secundari sunt higrometrele cu variația impedanței și senzorii pentru umiditate relativă cu strat de polimer.

Higrometrele cu variația impedanței sunt realizate în trei variante: ceramice, cu oxid de aluminiu și cu oxid de siliciu și se bazează pe variația unei mărimi electrice (capacitate, rezistență sau impedanță) a unui strat poros. Calibrate și folosite corect, aceste dispozitive asigură funcționare continuă bună. Acuratețea este însă slabă, fiind nevoie de o calibrare regulată și ajustări dese.

Senzorii pentru umiditate relativă cu strat din polimer sunt construiți din polimer cu dielectric higroscopic și au răspuns electric corespunzător umidității relative (RH). Au preț scăzut, dar aplicații limitate datorită variabilelor multiple (temperatura, presiunea, debitul, factorii contaminanți, etc.).

12.3.2 Generatoare de umiditate

Generatoarele de mediu cu umiditate cunoscută sunt folosite pentru analiza performanțelor senzorilor de umiditate. Sunt de mai multe tipuri: băi cu sare saturată, generatoare de umiditate cu debit divizat, generatoare cu două presiuni și două temperaturi, etc.

Băile cu sare saturată sunt printre cele mai vechi metode de generare de umiditate cunoscută, la diferite nivele. Valoarea reală a umidității este funcție de proprietățile chimice ale sării. Cu toate că o implementare bună a unei băi cu sare este un mediu adecvat pentru testarea senzorilor de umiditate relativă, aceste băi sunt însă, grele și lente. Băile nu pot fi automatizate iar senzorii trebuie mutați fizic de la o baie la alta, când se dorește o schimbare a nivelului umidității.

Generatoarele de umiditate cu debit divizat sunt realizate în două variante. Variantele vechi divid debitul, mixând aer saturat și uscat și reglând debitul ambelor jeturi. Variantele noi divid debitul în domeniul timp, printr-o simplă deschidere a unei supape, alternând debitul de aer uscat și aer saturat cu un ciclu de încărcare corespunzător. Avantajul dispozitivelor cu funcționare în domeniul timp este prețul scăzut. Generatoarele de umiditate cu debit divizat nu sunt fundamentale și necesită un higrometru cu oglindă răcită cu măsurarea punctului de rouă pentru verificarea mediului ambiant al camerei.

Generatoarele cu două presiuni și două temperaturi funcționează prin saturarea unui jet de gaz la temperatură și presiune cunoscute.

Temperatura și presiunea gazului pot fi modificate, pentru a obține un gaz cu punct de rouă și / sau umiditate relativă, cunoscute. Tehnologia este precisă și se folosește în laboratoarele naționale de calibrare. Dispozitivele sunt fundamentale și nu necesită măsurarea umidității pentru verificare. Au nevoie însă de o calibrare periodică a tuturor componentelor de măsurare a temperaturii și presiunii.

12.3.3 Senzori multifuncționali de umiditate, temperatură și presiune

Un astfel de senzor are elementul sensibil construit dintr-un amestec polimeric special, semiconductor, cu rezistența electrică în gama $100 \Omega \dots 1 \text{ M}\Omega$. Caracteristica de transfer este aceeași ca tip de curbă și pantă, indiferent de proprietatea detectată: variație pozitivă a rezistenței la o variație pozitivă a umidității, variația presiunii și / sau temperaturii.

Senzorii pot fi proiectați și să dea o variație negativă a rezistenței, ca răspuns la o variație pozitivă a mărimii măsurate, fig. 12.1.

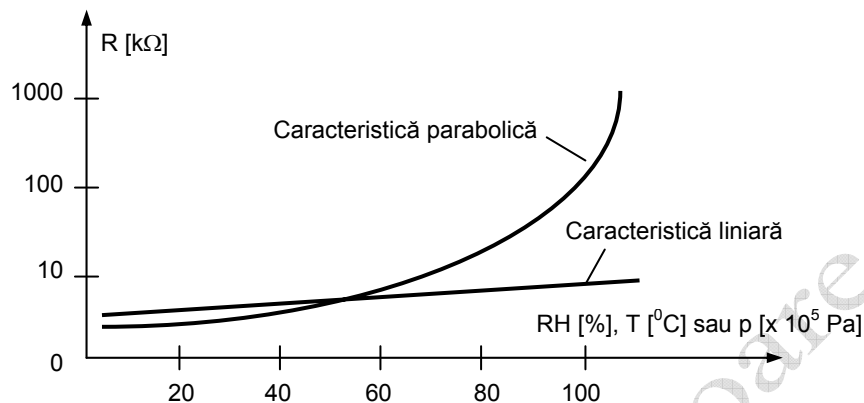


Fig. 12.1

În fig. 12.1, în abscisă, mărimea măsurată poate fi: umiditate relativă (% RH) la 25 $^{\circ}C$, temperatură în $^{\circ}C$ sau presiune ($\times 10^5 Pa$) la 25 $^{\circ}C$.

Senzorii cu caracteristică de răspuns liniară se folosesc pentru circuite simple de condiționare a semnalului. Senzorii cu caracteristică de transfer parabolică au pantă mai mare și se folosesc în circuitele de control.

Gama de variație a umidității relative este 0 % ... 100 %, a presiunii este (10 % ... 90 %) $\times 10^5 Pa$ și a temperaturii (- 40 $^{\circ}C$... +80 $^{\circ}C$).

Senzorul este realizat în mai multe variante, și anume:

- senzor închis într-o carcasă de plastic prevăzută cu găuri, pini de legătură și elemente de montare pe placă de circuit imprimat; se pot monta unul până la patru senzori pe același substrat, într-o singură carcasă;
- ansamblu de circuit în carcasă, cu comutator cu trei poziții: ON, Automatic și OFF; se montează pe perete și poate comanda un dispozitiv (de exemplu, un ventilator);
- sondă cilindrică din oțel inoxidabil cu substrat intern, cu până la patru senzori. Curentul de excitație este de aproximativ 1 mA pentru un senzor. Se pot folosi trei senzori pe același substrat (de exemplu, doi în față și unul în spate).

Senzorii multifuncționali se folosesc în circuite de comutare, pentru aplicații de control, în mai multe variante:

- cu prag fix (un punct fix pentru umiditate, presiune și / sau temperatură);
- cu prag reglabil (trei puncte prestabilite pentru umiditate, presiune și/sau temperatură);
- alte variante combinate.

12.4 Traductoare electrometrice de pH

Măsura gradului de aciditate sau alcalinitate al unei soluții este dată de concentrația ionilor de hidrogen, exprimată prin pH.

Potențialul de hidrogen este:

$$\text{pH} = -\log(a_{\text{H}^+}), \text{ unde } a_{\text{H}^+} \text{ este activitatea ionilor de hidrogen.}$$

Apa pură, la temperatura de 25 °C, are $\text{pH} = 7$.

Gama de valori pentru pH este 1 ... 14, valorile 1, ... 6,9 corespunzând soluțiilor acide, iar valorile 7,1... 14 corespund soluțiilor bazice.

Metodele electrometrice de măsurare a pH-ului se bazează pe diferența de potențial care apare între un electrod metallic cufundat într-o soluție care conține ionii săi, dependentă de concentrația acestor ioni și de temperatură, și soluție. Potențialul unui electrod față de o soluție nu se poate măsura fără un al doilea electrod, care realizează contactul la electrolit.

Primul electrod al cărui potențial depinde de concentrația ionilor de hidrogen se numește *electrod de măsurare*. Ca electrozi de măsurare se utilizează electrodul de hidrogen și electrodul de sticlă. Electrodul de hidrogen se compune dintr-o plăcuță sau fir de platină cufundat în soluție, peste el barbotându-se continuu hidrogen. Electrodul de sticlă este o membrană sferică de sticlă; în interiorul sferei se introduce o soluție tampon cu un pH constant și un electrod de contact.

Al doilea electrod, al cărui potențial trebuie să fie independent de concentrația de ioni de hidrogen din soluție, se numește *electrod de referință*. Ca electrod de referință se folosește electrodul de calomel, Hg_2Cl_2 , saturat. Electrodul de măsurare și electrodul de referință se închid în același ansamblu, formând o sondă de măsurare.

Rezistența internă a traductorului de pH este foarte mare, de 1 ... 1000 M Ω , de asemenea, preamplificatorul de tensiune are rezistența de intrare foarte mare, în gama 1 ... 10 G Ω .

12.5 Senzori cu TECMOS pentru detecția gazelor și a ionilor

12.5.1 Principiul senzorilor cu TECMOS pentru detecția gazelor și a ionilor

Tranzistoarele TECMOS sunt sensibile la anumite gaze sau ioni dacă se expune grila. Structura unui asemenea TECMOS este dată în fig.12.2.

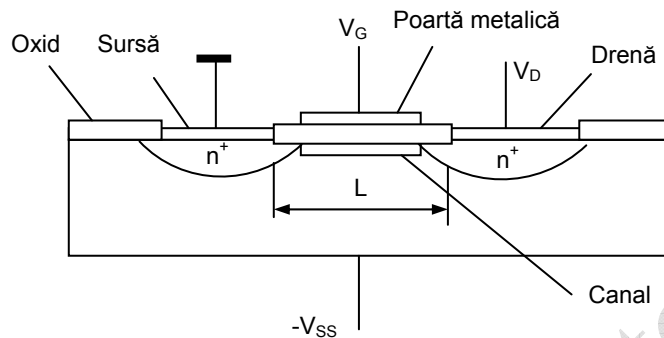


Fig. 12.2

La aplicarea unei tensiuni pozitive pe poartă, la suprafața canalului (Si p) se creează un strat de inversiune și se induce o sarcină proporțională cu capacitatea: $Q = C \cdot U$. Dacă tensiunea porții este mare și pozitivă, anumite sarcini electrice apar ca electroni în stratul de inversiune. Se măsoară continuu curentul drenă - sursă, I_{DS} . Izolatorul folosit este SiO_2 .

Stările de interfață sunt nivele de energie localizate, datorită neîmperechierii rețelelor cristaline, impurităților sau altor defecte. Dacă există multe stări de interfață, sarcina indusă de potențialul de grilă V_G și care trebuie să fie în canal, este prinsă în stările de interfață. Ca urmare, conductivitatea nu se modifică.

Prin canal trece curentul I_{DS} , deoarece regiunile n^+ fac un contact bun cu electronii din canalul indus. Pentru măsurarea curentului se aplică o tensiune pozitivă V_D la drenă. La creșterea tensiunii V_D , tranzistorul se saturează.

Pentru a funcționa ca senzor, potențialul de grilă V_G este menținut constant și adsorbția gazului sau ionului de măsurat determină un mic câmp electric, care schimbă potențialul de poartă, deci și curentul drenă-sursă.

12.5.2 Senzori cu TECMOS pentru detecția gazelor (GazFET)

În cazul senzorului de H_2 cu TECMOS cu poartă de paladiu, hidrogenul dizolvat în Pd (la aprox. $150^\circ C$) se mută la interfața Pd / SiO_2 și formează un strat dipol. Dipolul modifică diferența funcțiilor de lucru între metal și SiO_2 , rezultând o variație a potențialului de poartă.

Acest tip de senzor de H_2 cu TECMOS cu poartă de Pd, poate detecta și alte gaze, de exemplu H_2S și NH_3 , deoarece moleculele ce trebuie detectate disociază și produc hidrogen.

În cazul senzorului cu TECMOS sensibil la CO, cu poartă din Pd / PdO, monoxidul de carbon trece prin pori și interacționează mai mult cu PdO decât cu Pd, care va fi doar puțin oxidat.

La senzorul cu TECMOS cu absorbție, cu strat de oxid izolator subțire, absorbția moleculelor polare din faza de gaz, într-un strat foarte subțire de oxid (5 nm), are ca efect crearea unui câmp electric care afectează sarcina din canal. Se pot detecta astfel: H₂O, NH₃, HCl, CO, NO, NO₂ și SO₂.

12.5.3 Senzori cu TECMOS pentru detecția ionilor (ISFET)

Pentru detecția pH-ului sau a ionilor din soluție, tranzistorul cu efect de câmp TECMOS este pregătit fără poarta din metal, fig. 12.3.

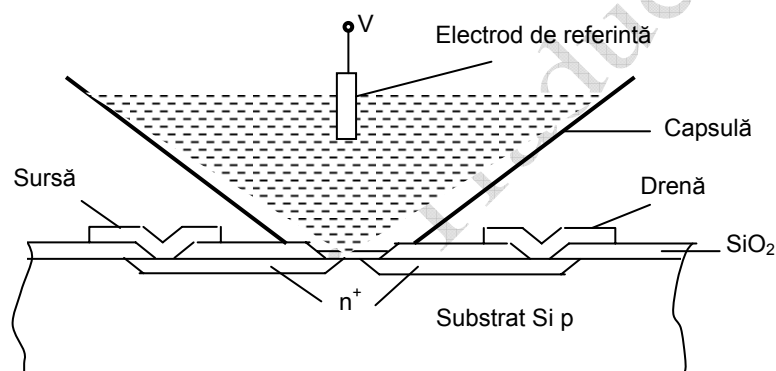


Fig. 12.3

Pentru realizarea canalului, se aplică tensiunea V la electrodul de referință din soluția conductivă ionică, electrod care este plasat deasupra fostei porți. Electrodul de referință reflectă cu acuratețe potențialul în soluție, independent de variațiile substanțelor chimice dizolvate sau de valoarea pH-ului soluției.

La interfața oxid - soluție sunt adsorbiți ioni. Pentru valori scăzute ale pH-ului sunt adsorbiți protoni iar pentru valori mari ale pH-ului sunt adsorbiți ionii OH⁻. Sarcinile adsorbite sunt atrase apoi și neutralizate de ionii de semn contrar din soluție. Se formează astfel un strat dublu, denumit strat Helmholtz. La interfață apare o diferență de potențial a stratului dublu. De exemplu, în cazul acidului azotic HNO₃, care are un pH mic (soluție puternic acidă), protonii H⁺ sunt adsorbiți la suprafață formând o față a stratului dublu, iar ionii negativi NO₃⁻ din soluție sunt atrași aproape de regiunea de suprafață, formând cealaltă față a stratului dublu.

Dezavantajele acestor dispozitive sunt lipsa stabilității și dificultatea realizării unui electrod de referință fiabil. Problema stabilității este legată de stratul izolator, SiO_2 . De aceea SiO_2 nu se folosește singur; se aplică procese de hidrare care schimbă grosimea sau constanta dielectrică a izolatorului. O alternativă este acoperirea stratului de SiO_2 cu Si_3N_4 sau Al_2O_3 .

12.5.4 Exploatarea senzorilor chimici din semiconductoare

Senzorii chimici din semiconductoare au o mare problemă. Pentru a detecta specia chimică de interes, senzorii trebuie expuși neprotejați în soluție sau gaz. Este dificil ca senzorii să fie reversibil reactivi la gazele de interes și nereactivi față de toate celelalte specii chimice din atmosferă sau din lichid.

Din fericire, în multe cazuri este cunoscut modul de interferență și nu este nevoie de un senzor ideal. De exemplu, efectul degradant al H_2S sau Cl_2 asupra unor senzori nu este o problemă, dacă utilizatorul este sigur că aceste specii nu vor fi prezente.

Senzorii din metal - oxid semiconductor au cost scăzut, sensibilitate bună și răspuns bun (variație de rezistență). Au însă probleme de reproductibilitate, stabilitate și selectivitate.

Senzorii GasFET au deriva mai scăzută pentru că nu sunt folosiți în mediu prea reactiv și au mai puține probleme cu hidrarea. Sunt însă limitați la reacțiile catalitice posibile, deoarece trebuie să funcționeze la temperatură mai scăzută decât senzorii metal-oxid.

12.6 Microsisteme de detecție chimică

Pentru a trece mai ușor de la variantele de detecție convenționale cu senzori chimici singulari la noile variante controlate de calculator, senzorii sunt combinați cu alte elemente de detecție, într-un microsistem de detecție chimic, care poate fi înlocuit ca un bloc dintr-un sistem de detecție complex.

Problemele realizării unui microsistem practic de măsurări chimice sunt:

- partiționarea sistemului;
- proiectarea carcasei senzorului în același timp cu proiectarea senzorului;
- optimizarea procesului: microsistemul trebuie să aibă abilitatea de a exploata materialul și caracteristicile termice ale stratului senzor, în scopul optimizării răspunsului pentru un anumit gaz. Variația treptată a tensiunii de încălzire este folosită pentru a obține un răspuns tranzitoriu dependent de gaz. Răspunsul senzorului trebuie optimizat pentru un anumit gaz specific, din gazele din mediul ambiant ce interferă sau chiar se poate ca

un senzor de gaz singular să fie folosit la caracterizarea un amestec de gaze, de exemplu: H₂, CO și CH₄ (metan).

Există, de asemenea, microsisteme de detecție chimică sub formă de platformă sistem, utile în numeroase aplicații specifice de detecție prin modificări simple ale blocurilor constructive, de exemplu:

- algoritmi de control diferiți, cu schimbări simple în pachetele de programe;
- algoritmi de control combinat care pot reconfigura automat senzorul, pentru a detecta secvențial mai multe gaze diferite sau pot pune senzorul într-un mod de lucru de așteptare sigur, care să-l protejeze de condiții neadecvate;
- utilizatorul poate selecta diferite filtre chimice, pentru a înlătura anumite amestecuri chimice specifice (pentru protecția senzorului);
- combinația de filtre chimice și partea analogică, până la algoritmi de control, pot fi specificate de beneficiar și instalate de firma constructoare;
- diferite straturi de oxid de metal depuse pe același substrat de Si pot crea platforme de traductoare chimice integrate.

Pentru variantele viitoare, se vor dezvolta tehnici avansate de procesare a semnalelor, tehnici chemometrice, logică fuzzy și rețele neurale, obținute prin introducerea în aceeași capsulă a unui microcontroler.

12.7 Biosenzori

Biosenzorii sunt o clasă specială de senzori chimici, ce folosesc avantajele marilor sensibilități și selectivități ale materialelor biologice active. Comunicarea între organismele biologice se bazează pe semnale chimice. Aceste procese de comunicare pot fi considerate procese de biorecunoaștere, ce pot fi folosite ca intrări pentru senzori.

Există o mare varietate de biosenzori, datorită faptului că există organisme, țesuturi, celule, organe și compuși chimici biologici ce reacționează cu o gamă mare de compuși, de la molecule anorganice mici ca O₂, până la proteine mari și complicate și diverși carbohidrați.

Biosenzorul este un dispozitiv ce încorporează un element sensibil biologic și un convertor intermediar tradițional, fizic sau chimic. Elementul sensibil biologic recunoaște selectiv o moleculă biologică particulară, printr-o reacție tip adsorbție sau alt proces fizic sau chimic, iar convertorul intermediar convertește rezultatul acestei recunoașteri într-un semnal utilizabil, de obicei electric sau optic.

După metoda de detecție, există două procese de biorecunoaștere:

- procese cu bioafinitate și
- procese biometabolice.

Ambele procese implică legarea unei specii chimice cu alta, cu structură complementară. Elementul de recunoaștere biologică este imobilizat într-o

membrană, la suprafața convertorului intermediar tradițional. Astfel, elementul de biorecunoaștere este un bioreactor deasupra convertorului intermediar, răspunsul biosenzorului fiind determinat de difuzia elementelor analitice, produselor de reacție, coreactanților și speciilor de interferență și de cinetica procesului de recunoaștere.

Primul biosenzor realizat a fost electrodul cu enzimă glucoză oxidază, immobilizată pe un electrod de oxigen electrochimic.

Biosenzorii se bazează pe dispozitive semiconductoare sensibile chimic, fibre optice, termistoare, unde ultrasonore de suprafață, electrozi chimici, microbalanțe piezoelectrice, etc.

Senzori si Traductoare