SENZORII DE GAZ ȘI ROLUL LOR ÎN INDUSTRIE, AGRICULTURĂ, MEDICINĂ ȘI MONITORIZAREA MEDIULUI

DOI: 10.5281/zenodo.3631287
CZU: 621.317.39.084.2

Doctor habilitat în științe fizico-matematice, profesor universitar
Ghenadii KOROTCENKOV,
Laureat al Premiului AȘM „Ion Hăbășescu"
E-mail: ghkoro@yahoo.com
Universitatea de Stat din Moldova

GAS SENSORS AND THEIR ROLE IN INDUSTRY, AGRICULTURE, MEDICINE AND ENVIRONMENTAL MONITORING

Summary. It has been shown that gas sensors make it possible to organize effective monitoring of living and working conditions, the state of the atmosphere, the quality of food, the condition of patients and the burning conditions. Gas sensors also play a significant role in organizing security systems and combating terrorism. All this stimulates intensive research in this area.

Keywords: gas sensors, applications, control of living and working conditions, environmental monitoring, control of combustion processes, food quality control, medicine.

Rezumat. Se arată că senzorii de gaz permit organizarea unui control eficient al condițiilor de viață și de muncă, al stării atmosferei, calității produselor alimentare, stării pacienților și condițiilor de ardere a combustibilului. Senzorii de gaz joacă un rol important în organizarea sistemelor de securitate și de luptă împotriva terorismului. Toate aceste circumstanțe stimulează desfășurarea unor cercetări intense în domeniul respectiv.

Cuvinte-cheie: senzori de gaz, aplicații, controlul condițiilor de viață și de muncă, monitorizarea mediului, controlul proceselor de ardere, controlul calității alimentelor, medicină.

1. INTRODUCERE

Aerul atmosferic pe care îl respirăm conține numeroase tipuri de substanțe chimice, naturale și artificiale, dintre care unele sunt vitale pentru om, în timp ce multe altele pot fi dăunătoare pentru sănătatea lui [1]. Actualmente, producția industrială implică tot mai mult utilizarea și sinteza substanțelor extrem de periculoase, în special a gazelor toxice, combustibile și explozive. În pofida controlului strict asupra proceselor tehnologice, emisiile accidentale ale acestor gaze sunt inevitabile, ceea ce prezintă un pericol potențial pentru întreprinderea industrială, pentru angajații acesteia și oamenii care locuiesc în apropiere. Incidentele din întreaga lume, care implică sufocare, explozii și decese atenționează asupra existenței problemei date. Prin urmare, aplicarea senzorilor de gaze poate îmbunătăți semnificativ controlul proceselor în cauză și ajuta la prevenirea incidentelor menționate mai sus [2-5].

2. APLICAȚII ALE SENZORILOR DE GAZ

Exemple de utilizare a senzorilor de gaz în diferite domenii sunt prezentate în tabelul 1. După cum vedem, senzorii de gaze sunt folosiți pe scară largă în industriile chimice și petrochimice, organizațiile științifice, de mediu, instituțiile medicale, inclusiv spitalele, producția de alimente și băuturi, producția de semiconductori și dispozitive semiconductoare, agricultură, industria de prelucrare, industria auto, navală și aeronautică, generarea de energie electrică etc. [4].

Senzorii de gaz pot fi amplasați în diverse locuri, cum ar fi platformele petroliere, depozitele de gaz, magistralele de gaz etc. Acești senzori sunt capabili să detecteze scurgerile de gaz și să interacționeze cu sistemul de control, astfel ca procesul să fie oprit automat. Detectorul de gaz poate, de asemenea, să alerteze operatorii din zona de scurgere prin declanșarea unei alarme sonore, permițând lucrătorilor să părăsească zona. Detectoarele de gaz, încorporate în sistemele de control al incendiilor, pot fi utilizate pentru detectarea gazelor inflamabile și explozive, astfel prevenind declanșarea incendiilor și salvând vieți și echipamente. Dezvoltarea unor sisteme eficiente de securitate în transport și lupta împotriva terorismului necesită, de asemenea, utilizarea pe scară largă a senzorilor de gaz capabili să detecteze substanțele chimice și explozive de război și să controleze procesul de curățare și eliminare a numeroșilor compuși toxici, agenților chimici de război și muniițiilor învechite [4].

Este important de subliniat că senzorii de gaze folosiți pentru a rezolva problemele menționate diferă semnificativ după principiul de funcționare și materialele sensibile la gaz utilizate [6-13].

Tabelul 1

Exemple de aplicare a senzorilor de gaz

Domeniul de aplicare	Funcție	Gaze detectate
Mediul înconjurător	Monitorizarea gazelor toxice prezente în atmosferă în urma emisiilor industriale (stații meteo, monitorizarea poluării)	CO, CH_4, CO_2, O_3, NO_X, VOCs, SOx, HCs, NH_3, H_2S, umiditate
Siguranța la locul de muncă	Monitorizarea gazelor toxice într-un mediu de lucru, de exemplu într-o fabrică unde sunt utilizate substanțe chimice periculoase	Calitatea aerului din interior, gaze toxice, gaze combustibile, O_2
Securitatea la domiciliu	Detectarea gazelor otrăvitoare sau a fumului în gospodării, în urma accidentelor precum incendii, explozii etc.; frigider sau cuptor inteligent; alarma de incendiu; încălzire cu gaze naturale, detectarea scurgerilor; controlul calității aerului; purificatoare de aer; controlul gătitului	CO, CH_4, umiditate, CO_2, VOCs
Siguranța în mașină	Controlul ventilației auto; detectarea vaporilor de benzină; teste de alcoolemie în respirație	CO, CH_4, LPG, VOCs
Securitate publică	Detectarea substanțelor periculoase pentru siguranța unui public numeros, cum ar fi gazele inflamabile și explozibilii	Calitatea aerului din interior, gaze toxice, gaze combustibile, O_2
Medicină / clinică	Diagnostice (analiza respirației, detectarea bolilor); monitorizarea centrului de îngrijire a pacientului; monitorizarea drogurilor; organe și proteze artificiale; descoperire de droguri noi	O_2, NH_3, NOx, CO_2, H_2S, H_2, Cl_2, gaze anestezice
Agricultură	Diagnosticarea plantelor/animalelor; testarea solului și a apei; inspectarea cărnii/păsărilor de curte; monitorizarea deșeurilor/canalizării	NH_3, amine, umiditate, CO_2
Controlul calității produselor alimentare	Detectarea anumitor molecule care se formează atunci când alimentele încep să putrezească și nu mai sunt bune pentru consum	Umiditate, CO_2 etc.
Utilități/auto-moto Centrale electrice	Controlul concentrației gazelor din motorul și cazanul de gaz, pentru a garanta eficiența maximă a procesului de ardere. Același concept poate fi aplicat și la centralele electrice, deoarece energia este generată de combustie	O_2, CO, HCs, NO_x, SOx, CO_2, H_2, HCs
Industrie: Petrochimică	Monitorizarea și controlul proceselor; controlul calității; monitorizarea locului de muncă; monitorizarea fluxului de deșeuri; alarme de scurgere	HCs, poluanți convenționali
Metalurgică		O_2, H_2, CO, poluanți convenționali
Tratamentul apei		Cl_2, CO_2, O_2, O_3, H_2S, CH_4
Electronică		H_2, CH_4, HCl, AsH_3, BCl_3, PH_3, CO, HF, O_3, H_2Cl_2Si, TEOS, C_4F_6, C_5F_8, GeH_4, NH_3, NO_2, O_2
Ulei si gaz		HCs, H_2S, CO
Apărare/militar	Detectarea agenților chimici și biologici de război	Agenți, explozibili, propulsori
Industria aerospațială	Monitorizarea oxigenului, a gazelor toxice și inflamabile din atmosferă	H_2, O_2, CO_2, umiditate
Trafic/tuneluri/parcări	Controlul și gestionarea traficului urban; monitorizarea calității aerului în tuneluri sau parcări subterane	CO, O_3, NO_X, SO_2, CH_4, LPG

HCs – hidrocarburi; VOCs – compuși organici volatili.

Sursa: Date de la Taylor [2], Stetter și colab. [14] etc.

2.1. Controlul condițiilor de viață și de muncă

Pentru a trăi, cu toții trebuie să respirăm oxigenul (O_2) din aer. Într-un mediu ambiant normal, concentrația de oxigen este de 20,9 % din volum. Atunci când nivelul de oxigen scade sub 19,5 % din volum, aerul este considerat deficitar de oxigen. O concentrație de oxigen sub 16 % din volum este considerată deja periculoasă pentru om. Oxigenul, de asemenea, face parte din multe procese tehnologice. Prin urmare, este absolut necesar să se poată măsura concentrația de oxigen pentru a dirija procesele respective și a controla calitatea aerului din încăpere. Senzorii cu corp solid pot soluționa și această problemă [4-15].

Gazele asfixiante, cum ar fi CO_2, de asemenea, pot fi detectate de senzorii de gaz [16]. Dioxidul de carbon are multe utilizări: carbonatarea băuturilor, pneumatica, stingătoarele, fotosinteza. CO_2, de asemenea, joacă un rol important într-un șir de procese tehnologice. Cu toate acestea, dioxidul de carbon poate avea un efect negativ semnificativ asupra sănătății umane, inclusiv de somnolență și sufocare la concentrații suficient de mari. Limita admisibilă de expunere, recomandată de Administrația pentru Sănătate și Securitate în Muncă a SUA, este de 5 000 ppm CO_2 timp de opt ore [17].

Un alt exemplu de utilizare a senzorilor de gaz îl oferă figura 1, și anume modul în care un bloc locativ din Japonia poate fi echipat cu senzori de gaz [18] pentru a monitoriza nivelul CO_2, calitatea aerului, mirosurile, umiditatea și detectarea gazelor toxice în sistemele de monitorizare continuă și de alarmă atât în exteriorul, cât și în interiorul încăperilor. După cum se știe, chiar și în concentrații foarte mici, gazele toxice sunt deja extrem de periculoase pentru sănătatea umană (tabelul 2). În mod tradițional, o alarmă de incendiu utilizează un detector de fum sau unul de căldură. Însă, în caz de incendiu, se formează diferite gaze toxice, cum ar fi CO. Acestea apar deja la etapa de ardere, când detectoarele de incendiu tradiționale care răspund la fum sau căldură încă nu funcționează [19]. Prin urmare, utilizarea senzorilor de gaz este oportună pentru a putea detecta din timp declanșarea incendiilor și a salva vieți [20].

Tabelul 2

Limitele de expunere pe termen lung și scurt la unele gaze toxice tipice

Gaz	Limită de expunere pe termen lung, 8 h (ppm)	Limită de expunere pe termen scurt, 10 min (ppm)
H_2S	10	15
CO	50	300
NO_X	3	5
SO_2	2	5
PH_3	—	0.3
CH_3OH	200	250
Cl_2	0.5	1
NH_3	25	35
HCl	—	5

Sursa: Date de pe http://www.inspectapedia.com.

Figura 1. Senzori de gaz pentru o casă „inteligentă".

Tabelul 3

Intoxicarea cu formaldehidă, un pericol pentru sănătatea omului

Concentrație	Simptome fizice
40 ppb (8 ore în medie) 100 ppb (1 ore în medie)	Sănătatea Canada recomandă aceste limite de expunere drept ghiduri rezidențiale privind calitatea aerului interior ([on-line] https://www.canada.ca/en/health-canada/)
1-10 ppm 10-20 ppm 50-100 ppm și mai mult	Iritație la ochi; lăcrimare la 4 ppm. Tuse, palpitații cardiace, senzație de strângere în piept Edem pulmonar, pneumonită, deces
	Contact cu pielea (rășini care conțin formalină sau HCHO) – dermatită

2.2. Monitorizarea mediului

Monitorizarea mediului, adică controlul poluării aerului atmosferic de către întreprinderile industriale și gazele de eșapament ale autovehiculelor este o problemă stringentă [18]. Printre poluanții gazoși din aer se numără: oxizi de sulf și alți compuși de sulf (SO_2 etc.); oxizii de azot și alți compuși de azot (NO, NO_2, azotatul de peroxiacetil, NH_3 etc.); oxizii de carbon (CO, CO_2); agenții oxidanți O_3, Cl_2 etc.); compușii organici și compușii parțiali de oxidare (cauciucul și materialele plastice, solvenții organici, hidrocarburile clorurate și fluorocarburi, compușii organici volatili, CH_4 etc.); compușii organometalici; halogenii și compușii lor (As, AsH_3 etc.); fosforul și compușii săi (P, P_2O_5 etc.). Gazele principale care provoacă poluarea aerului sunt oxizii de azot NOx (NO și NO_2), monoxidul de carbon (CO), oxizii de sulf (SOx), gazul natural sau metanul (CH_4) ca cea mai importantă componentă și ozonul (O_3). Deoarece gazele de NOx cu oxizi de sulf (SOx), emise de centralele electrice pe cărbune, provoacă ploi acide, iar o creștere a concentrației de CO_2, CH_4 și O_3 are impact asupra încălzirii globale și apariției smogului ca urmare a reacției fotochimice, acestea trebuie detectate, iar concentrația lor în atmosferă redusă [16; 21]. Nu trebuie neglijați nici compușii organici [22], în special de formaldehidă (HCHO), care este utilizată pe scară largă în materialele de construcție și la fabricarea mobilei. Formaldehida s-a dovedit a fi cea mai periculoasă dintre substanțele ce poluează atmosfera în încăpere. Consecințele efectelor ei asupra organismului uman sunt prezentate în tabelul 3. Studiile au arătat că senzorii de gaz pot controla conținutul de gaze și de vapori periculoși în atmosferă menționați mai sus [22] și, prin urmare, utilizarea pe scară largă a senzorilor de gaz este unul dintre instrumentele menite să îmbunătățească calitatea vieții umane [4].

2.3. Controlul combustiei

Controlul proceselor de ardere este un alt domeniu important de aplicare a senzorilor de gaz [23], ba chiar constituie un obiectiv prioritar în multe cazuri. S-a constatat că monitorizarea conținutului de CO, NOx, O_2, CO_2, hidrocarburi (HC) și compuși organici volatili în produsele de ardere permite a controla mai bine procesul de ardere, ceea ce contribuie la scăderea emisiilor toxice, utilizarea mai eficientă a combustibilului și, ulterior, la economisirea energiei. Conform unui raport al Departamentului pentru Energie al SUA [24], utilizarea senzorilor de monitorizare a proceselor de ardere poate economisi anual 0,25 cvadrilioane de unități termice britanice (UTB) de energie în toate industriile consumatoare de energie.

2.4. Controlul calității produselor alimentare

Senzorii de gaz pot fi folosiți și pentru a caracteriza aromele alimentare ca parte a procesului de control al calității produselor alimentare. Cele mai potrivite dispozitive pentru această funcție sunt „nasurile electronice", unele dintre cele mai promițătoare dispozitive printre senzorii de gaz.

După cum se cunoaște, simțul olfactiv joacă un rol fundamental în dezvoltarea umană și în interacțiunile biosociale. Un „nas electronic" ca sistem de măsurare constă, de obicei, dintr-un sistem multi-senzor, o unitate de procesare a informațiilor, cum ar fi rețeaua neuronală artificială, software-ul cu algoritmi digitali de recunoaștere a modelelor și a bazelor de date din bibliotecile de referință [25-28]. Pe măsura dezvoltării tehnologiilor senzoriale, astfel de matrice senzoriale de gaz vor deveni un lucru obișnuit în industria chimică și alimentară și vor fi incluse în sistemele automate de monitorizare și control a diferitor procese tehnologice, inclusiv în producerea alimentelor. Pe lângă industria alimentară, „nasurile electronice" pot fi utilizate și în alte domenii, precum industria auto, de ambalare, de cosmetice, medicamente, industria chimică și biomedicală, pentru a controla calitatea materiei prime și a produselor finite, prospețimea și maturitatea fructelor, studiul duratei de valabilitate și evaluarea autenticității produselor, clasificarea aromelor și a parfumurilor, detectarea agenților patogeni microbieni etc. (tabelul 4).

Tabelul 4

Exemple de aplicații industriale pentru „nasuri electronice”

Sectorul industrial	Zona de aplicare	Tipuri și exemple specifice de utilizare
Agricultură	Protecție la vârf; calendarul recoltării și depozitarea; carne, fructe de mare și produse din pește; producția de plante; boli înainte și după recoltare	Securitate internă; aprovizionare sigură cu alimente; maturitatea culturilor; tratamente de conservare; prospețime; contaminare; determinarea soiurilor rebutate; diagnosticarea simptomelor de boală la plante în funcție de soi; identificarea dăunătorilor; detectarea dăunătorilor non-indigeni ai culturilor alimentare
Transport aerian	Siguranță publică și bunăstare; securitatea pasagerilor și a personalului	Detectarea materialelor explozive și inflamabile
Produse cosmetice	Produse pentru aplicații personale; aditivi de parfum	Dezvoltare parfumuri & apă de colonia; îmbunătățirea produsului; apelul consumatorilor
Mediu	Monitorizarea calității aerului și a apei; controlul calității aerului din interior; reglementările privind reducerea poluării	Detectarea poluării; deversări toxice; emisii de malodor; controlul gazelor toxice/periculoase ale degajărilor de poluare la sursă
Alimente și băuturi	Prevenirea fraudei consumatorilor; evaluări ale controlului calității; maturitate; schimbarea gustului alimentelor; caracteristicile mirosului	Confirmarea ingredientului; recunoașterea mărcilor cu standarde de conținut; starea comercializării consistenței produsului; alterare, valabilitate în afara aromei; evaluări ale soiurilor de produse
Producere	Procesarea controalelor; uniformitatea produsului; siguranță; securitate; condiții de muncă	Caracteristicile și consistența produsului; caracteristici de aromă și gust; alarme de incendiu; detectarea scurgerilor de gaze toxice
Medicină	Identificarea agentului patogen; detectarea agentului patogen sau a bolii; afecțiuni fiziologice	Determinarea tratamentului pacientului; prognoze pentru diagnosticarea bolii; tulburări metabolice; sănătate nutrițională; insuficiență renală sau hepatică
Securitate și aplicații militare	Securitatea personalului și a populației; siguranță civilă și militară	Arme biologice și chimice; detectarea materialelor explozive
Farmaceutică	Contaminare; puritatea produsului; amestecuri de produse	Controlul calității purității medicamentelor; consistența formulării și uniformitatea
Reglementare	Protecția consumatorului; protecția mediului	Siguranța produsului; caracteristici periculoase; teste de contaminare a aerului, apei și solului
Cercetare științifică	Botanică; studii ecologice; inginerie; proprietățile materialului; microbiologie; patologie	Chemotaxonomie; impactul producției industriale asupra ecosistemului; procese chimice; identificarea microbilor și a metaboliților

Sursa: Reedit. din Wilson and Baietto [29]. Publicat de MDPI cu acces deschis.

În agricultură, senzorii de gaz pot fi folosiți pentru diagnosticarea bolilor la animale și plante, detectarea contaminanților și agenților patogeni în lapte, carne și alte produse alimentare, precum și pentru determinarea calității produselor, cum ar fi maturitatea și gustul fructelor și a legumelor în câmp [2; 29].

2.5. Medicină

Medicina și produsele farmaceutice sunt un domeniu important de aplicare a senzorilor de gaz [29]. Necesitatea unei varietăți de senzori în sectorul asistenței medicale este determinată de tendința de monitorizare continuă a pacienților. Analiza respirației este una dintre opțiunile posibile pentru o astfel de monitorizare continuă a pacienților (tabelul 5).

Se știe că diagnosticul bolilor umane bazat pe simțul olfactiv s-a dovedit a fi, pe lângă examinările fizice, o metodă dintre cele mai fiabile utilizate în medicină de-a lungul timpului [30]. Mirosurile emise de pacienți erau considerate indici inițiali majori

Tabelul 5

Condițiile clinice principale pentru care senzorii chimici *in vivo* sunt considerați de ajutor

Stare clinică	Analiza și markeri de respirație	Gazele fiziologice din respirația umană
Diabetul zaharat	Vapori de acetonă	CH_4 – 4-20 ppm; C_2H_6, C_2H_{12} – 1-11 ppb; C_6H_8 – 0,012-1 ppm; C_2H_5OH – 0,013-1 ppm; CH_3OH – 0,16-2 ppm; CO_2 – 2,500-3,000 ppm; CO – 0,4-2,0 ppm; CO (*fumător*) – 1-20 ppm; NH_3 – 130-2,400 ppb; NO (*tractul respirator inferior*) – 1-9 ppb; NO (*tractul respirator superior*) – 0,2-1 ppm; NO (*nivelul nazal*) – 1-30 ppm
Monitorizarea funcției vitale în terapie intensivă/anestezice/chirurgie prelungită	NOx, O_2, CO_2, halotan etc.	
Inflamație și stres oxidativ	NO, CO	
Astm; fibroză chistică	NO, CO, H_2O_2,	
Disfuncție alografă pulmonară; cancer pulmonar	NO	
Bronșită cronică/medicamentul toracic	O_2, CO_2, pH	
Infecție epitelială bronșică	NO_2	
Monitorizare respiratorie	CO_2/O_2 proporție, NO	

Sursa: Date de la Moskalenko și colab. [31], Cao and Duan [32], Smith și colab. [33], Marczin și colab. [34].

care contribuiau la stabilirea unui diagnostic precoce. Lista unor arome descriptive care au fost raportate ca indicatori pozitivi ai anumitor boli, tulburări fiziologice sau metabolice și anomalii genetice este prezentată în tabelul 6. Analiza acestor informații arată că, în cazul utilizării unui „nas electronic" care contribuie la identificarea diverselor mirosuri, pot fi obținute informații preliminare imediate despre starea pacientului și rezultatele tratamentului aplicat, până a apela la măsurări tradiționale repetate sau a aștepta sosirea analizelor detaliate chimice și biochimice de laborator [31; 32].

Tabelul 6

Descrierea aromelor folosite la diagnosticarea bolilor specifice și a tulburărilor metabolice asociate cu mirosurile emanate de țesuturile umane afectate [29]

Boala / Tulburare	Sursa corpului	Aroma descrisă
Acromegalie	Corp	Puternic, respingător
Infecție anaerobă	Piele, transpirație	Mere putrede
Azotemie (prerenală)	Urină	Urină concentrată
Proteoliză bacteriană	Piele	Camembert supramaturat
Vaginoză bacteriană	Descarcări vaginale	Asemănător aminei
Infectie a vezicii urinare	Urină	Amoniac
Bromhidrosis	Piele, nas	Neplăcut
Boala lui Darier	Fese	Rang, neplăcut
Cetoacidoza diabetică	Respirație	Mere putrede, acetonă
Insuficiență cardiacă congestivă	Inimă (șunturi portale)	Sulfură de dimetil
Fibroză chistică	Fecale copii	Inadecvat
Diabetul zaharat	Respirație	Acetonă
Difterie	Sudoare	Dulce
Empyema (anaerobic)	Respirație	Respingător, putred
Diverticul esofagian	Respirație	Feculent, respingător
Fetor hepaticus	Respirație	Trifoi nou tuns, dulce
Gută	Piele	Miros de gută
Hidradenită suppurativă	Glande sudoripare apocrine	Miros neplăcut al corpului

Hiperhidroză	Corp	Ascuțit, neplăcut
Hiperaminoacidurie (oasthouse sindrom)	Pielea sugarului	Malţ uscat sau hamei
Hipermetioninemie	Respirația sugarului	Dulce, fructat, pește, varză fiartă, unt rânced
Obstructie intestinală	Respirație	Feculent, respingător
Corp străin intranazal	Respirație	Feculent, respingător
Acidemie izovalerică	Piele, transpirație, respirație	Picioare transpirate, brânzos
Cetoacidoză (înfometare)	Respirație	Dulce, fructat, asemănător acetonei
Cedarea ficatului	Respirație	Pește mustăcios, ficat crud, feculent, mercaptan, sulfură de dimetil
Abcesul pulmonar	Spută, respirație,	Respingător, putred, plin
Boala urinilor cu miros de sirop de arţar	Transpirație, urină, ceară la ureche	Sirop de arțar, zahăr ars
Fenilcetonurie	Pielea sugarului	Mucegai, de șoarece, de cal, urină dulce
Pneumonie (necrotizare)	Respirație	Putred
Infecție cu pseudomonas	Piele, transpirație	Struguri
Insuficiență renală (cronică)	Respirație	Urină învechită
Gastroenterita rotavirus	Fecale	Deplin
Rubeolă	Sudoare	Pene proaspăt zmulse
Schizofrenie	Sudoare	Acetic ușor
Scrofulş	Corp	Bere bătută
Scorbut	Sudoare	Putred
Shigellosis	Fecale	Rânced
Variolă	Piele	Duhoare de variolă
Carcinomul cu celule scuamoase	Piele	Respingător
Sindromul picioarelor transpirate	Urină, transpirație, respirație	Acetic lipsă
Gură tranşantă	Respirație	Halitoză
Trimethylaminuria	Piele, urină	De pește
Limfadenita tuberculoza	Piele	Bere bătută
Necroză tubulară (acută)	Urină	Apa învechită
Febră tifoidă	Piele	Pâine proaspăt coaptă
Uremie	Respirație	Pește, amoniac, urină
Boala lui Vagabond	Piele	Neplăcut
Ulcere varicoase (maligne)	Picior	Respingător, feculent
Febră galbenă	Piele	Măcelărie

Sursa: Date de la Wilson and Baietto [29]. Publicat de MDPI cu acces deschis.

3. CONCLUZII

Cu certitudine, senzorii de gaz beneficiază de o aplicabilitate foarte largă, iar necesitatea acestora va crește an de an. De aceea, în multe țări, inclusiv în Moldova, se desfășoară cercetări intense în vederea îmbunătățirii parametrilor senzorilor de gaz existenți [35-41] și dezvoltării dispozitivelor bazate pe principii de funcționare noi [42-44]. Această nouă generație de senzori urmează să rezolve eficient o serie de sarcini în continuă extindere, printre acestea numărându-se monitorizarea aerului atmosferic și a proceselor tehnologice [4].

BIBLIOGRAFIE

1. Yamazoe N. Toward innovations of gas sensor technology. In: Sens. Actuators B 8 (1-2), 2005, p. 2-14. DOI:10.1016/j.snb.2004.12.075
2. Taylor R. F., Schultz J. S. (eds.) Handbook of Chemical Sensors and Biosensors. IOP Publishing, Bristol and Philadelphia, 1996. 541 p. DOI:10.1002/9781118354162
3. Cleaver K.D. The analysis of process gases: A review. In: Accred. Qual. Assur. 6 (1), 2001, p. 8-15. DOI:10.1007/s007690000.
4. G. Korotcenkov (ed.) Chemical Sensors: Comprehensive Sensor Technologies. Volume 6. Chemical Sensors Applications. Momentum Press, New York, USA, 2011, p. 147-220, p. 221-280. DOI: 10.5643/9781606502419
5. Honeywell Analytics. Gas Handbook. [on-line] http://www.honeywellanalytics.com, 2012 (vizitat la 03.11.2019).
6. Korotcenkov G. Metal oxides for solid state gas sensors. What determines our choice? In: Mater. Sci. Eng. B 139 (1), 2007, p. 1-23. DOI:10.1016/j.mseb.2007.01.044.
7. Korotcenkov G. Practical aspects in design of one-electrode semiconductor gas sensors: status report. In:

Sens. Actuators B 121 (2), 2007, p. 664-678. DOI:10.1016/j.snb.2006.04.092.

8. Korotcenkov G., Han S.-D., Stetter J.R. Review of electrochemical hydrogen sensors. In: Chem. Rev. 109 (3), 2009, p. 1402-1433. DOI:10.1021/cr800339k.

9. Korotcenkov G. (ed.) Chemical Sensors: Fundamentals of Sensing Materials. Vols. 1-3. Momentum Press, New York, USA, 2010. Vol. I - 388 p; vol. II - 379; vol. III - 382 p.

10. Korotcenkov G., Cho B.K., Narayanaswamy R., Sevilla III F. Optical and fiber optic chemical sensors. In: Korotcenkov G. (ed.) Chemical Sensors: Comprehensive Sensor Technologies. Volume 5: Electrochemical and Optical Sensors. Momentum Press, New York, 2011, p. 311-476. DOI: 10.5643/9781606502389.

11. Stetter J. R., Korotcenkov G., Zeng X., Liu Y., Tang Y. Electrochemical gas sensors: Fundamentals, fabrication and parameters. In: G. Korotcenkov (ed.) Chemical Sensors: Comprehensive Sensor Technologies. Volume 5: Electrochemical and Optical Sensors. Momentum Press, New York, USA, 2011, p. 1-89. DOI: 10.5643/9781606502389.

12. Korotcenkov G. Handbook of Gas Sensor Materials. Vols. 1-2, Springer, New York, 2013. Vol. I – 442 p, vol. II – 454 p. DOI: 10.1007/978-1-4614-7165-3.

13. Korotcenkov G. Handbook of Humidity Measurement. Vols. 1-3. CRC Press, Boca Raton, US, 2018-2020. DOI:10.1201/b22369.

14. Stetter J. R., Penrose W. R., Yao S. Sensors, chemical sensors, electrochemical sensors, and ECS. In: J. Electrochem. Soc. 150 (2), 2003, S11–S16. DOI:10.1149/1.1539051.

15. Ast C., Schmälzlin E., Löhmannsröben H.-G., van Dongen J. T. Optical oxygen micro- and nanosensors for plant applications. In: Sensors 12, 2012, 7015-7032. DOI:10.3390/s120607015.

16. Ando M. Recent advances in optochemical sensors for the detection of H_2, O_2, O_3, CO, CO_2 and H_2O in air. In: TrAC Trends Anal. Chem. 25 (10), 2006, p. 937–948. DOI:10.1016/j.trac.2006.06.009.

17. Code of Federal Regualtions: The Superintendent of Documents. U.S. Government Printing Office: Washington, DC, USA, 1994.

18. Nakahara T. Development of gas sensors and cultivation of new markets for air quality. In: Proceedings of the 38th Chemical Sensor Symposium, March 24-26, 2004, Tokyo, Japan, p. 73-75.

19. Korotchenkov G., Brynzari V., Dmitriev S. SnO_2 thin film gas sensors for fire-alarm systems. In: Sens. Actuators B 54 (3), 1999, p. 191-196. DOI:10.1016/S0925-4005(99)00019-2.

20. Kohl D., Kelleter J., Petig H. Detection of fires by gas sensors. In: Baltes H., Gopel W., and Hesse J. (eds.) Sensors Update, Vol. 9, no. 1. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, Germany, 2001, p. 161-223. DOI: 10.1002/1616-8984(200105)9:1<161.

21. Korotcenkov G., Brinzari V., Cho B.K. In_2O_3 and SnO_2-based ozone sensors: Design and characterization. In: Crit. Rev. Solid State Mater. Sci. 43 (2), 2018, p. 83-132. DOI: 10.1080/10408436.2017.1287661.

22. Flueckiger J., Ko F.K., Cheung K.C. Microfabricated formaldehyde gas sensors. In: Sensors 9 (11), 2009, p. 9196-9215. DOI: 10.3390/s91109196.

23. Docquier N, Candel S. Combustion control and sensor: A review. In: Prog. Energy Comb. Sci. 28 (2), 2002, p. 107-150. DOI:10.1016/S0360-1285(01)00009-0.

24. Glass Industry: Technology Road Map, DOE Report, April 2002.

25. Freund M. S., Lewis N. S. A chemically diverse conducting polymer-based electronic nose. In: Proc. Nat. Acad. Sci. Am. 92 (7), 1995, p. 2652-2656. DOI:0.1073/pnas.92.7.2652.

26. Gardner J.W., Bartlett P.N. Electronic Noses. Principles and Applications. Oxford University Press, Oxford, UK, 1999. 345 p.

27. Wilson A.D., Baietto M. Applications and advances in electronic-nose technologies. In: Sensors 9 (7), 2009, p. 5099-5148. DOI:10.3390/s90705099.

28. Korotcenkov G., Stetter J.R. Chemical gas mixture analysis and the electronic nose: Current status, future trends: In: G. Korotcenkov (ed.) Chemical Sensors: Comprehensive Sensor Technologies. Volume 6: Chemical Sensors Applications. Momentum Press, New York, USA, 2011, p. 1-56. DOI: 10.5643/9781606502419.

29. Wilson A. D., Baietto M. Advances in electronic-nose technologies developed for biomedical applications. In: Sensors 11 (1), 2011, p. 1105-1176. DOI:10.3390/s110101105.

30. Fitzgerald F. T., Tierney L. M., Jr. The bedside Sherlock Holmes. In: Western J. Med. 137 (2), 1982, p. 169-175. PMC1274053.

31. Moskalenko K. L., Nadezhdinskii A. I., Adamovskaya I.A. Human breath trace gas content study by tuneable diode laser spectroscopy. In: Infrared Phys. Techn. 37 (1), 1996, p. 181-192. DOI:10.1016/1350-4495(95)00097-6.

32. Cao W., Duan Y. Breath analysis: Potential for clinical diagnosis and exposure assessment. In: Clinical Chem. 52 (5), 2006, p. 800-811. DOI:10.1373/clinchem.2005.063545.

33. Smith D., Spanel P., Davies S. Trace gases in breath of healthy volunteers when fasting and after a protein-calorie meal: a preliminary study. In: J. Appl. Physiol. 87 (5), 1999, p. 1584-1588. DOI:10.1152/jappl.1999.87.5.1584.

34. Marczin N., Kharitonov S. A., Yacoub M. H., Barnes P. J. (eds.) Disease Markers in Exhaled Breath. Taylor and Francies, Oxford, 2005. 513 p. DOI: 10.1378/chest.124.2.773-a.

35. Korotcenkov G. Gas response control through structural and chemical modification of metal oxides: State of the art and approaches. In: Sens. Actuators B 107 (1), 2005, p. 209-232. DOI:10.1016/j.snb.2004.10.006.

36. Korotcenkov G., Tolstoy V., Schwank J. Successive ionic layer deposition (SILD) as a new sensor technology: synthesis and modification of metal oxides. In: Meas. Sci. Technol. 17 (7), 2006, p. 1861-1869. DOI:10.1088/0957-0233/17/7/026.

37. Chow L., Lupan O., Chai G., Khallaf H., Ono L. K., Cuenya B. R., et al., Synthesis and characterization of Cu-doped ZnO one-dimensional structures for miniaturized sensor applications with faster response. In: Sens. Actuators A 189, 2013, p. 399-408. DOI:10.1016/j.sna.2012.09.006.

38. Korotcenkov G., Cho B.K. Engineering approaches to improvement operating characteristics of conductometric gas sensors. Part 1: Improvement of sensor sensitivity and selectivity. In: Sens. Actuators B 188, 2013, p. 709-728. DOI: 10.1016/j.snb.2013.07.101.

39. Korotcenkov G., Cho B.K. Engineering approaches to improvement operating characteristics of conductometric gas sensors. Part 2: Decrease of dissipated (consumable) power and improvement stability and reliability. In: Sens. Actuators B 198, 2014, p. 316-341. DOI: 10.1016/j.snb.2014.03.069.

40. Lupan O., Cretu V., Postica V., Ababii N., Polonskyi O., Kaidas V. et al. Enhanced ethanol vapour sensing performances of copper oxide nanocrystals with mixed phases. In: Sens. Actuators B 224, 2016, p. 434-448. DOI:10.1016/j.snb.2015.10.042.

41. Korotcenkov G., Rusu E. How to improve performance of porous silicon based gas and vapour sensors. Approaches and achievements. In: Phys. Status Solidi A 2019, ID 1900348. DOI:0.1002/pssa.201900348.

42. Lupan O., Postica V., Labat F., Ciofini I., Pauporté T., Adelung R. Ultra-sensitive and selective hydrogen nanosensor with fast response at room temperature based on a single Pd/ZnO nanowire. In: Sens. Actuators B 254, 2018, p. 1259-1270. DOI:10.1016/j.snb.2017.07.200.

43. Korotcenkov G., Cho B.K. Porous semiconductors: Advanced material for gas sensor applications. In: Critic. Rev. Solid State Mater. Sci. 35 (1), 2010, p. 1-37. DOI:10.1080/10408430903245369.

44. Korotcenkov G. Black phosphorus – new nanostructured material for humidity sensors: Achievements and limitations. In: Sensors (MDPI) 19 (5), 2019, ID 1010. DOI:10.3390/s19051010.

Eudochia Robu. *Stogul de fân. Secăreni,* 2014, 700 × 650 mm