

# SENZORI DE GAZE PE BAZA DIODELOR LASER

*P.Cociu, T.Vieru, S.Vieru, L.Tarălungă*

## Introducere

Senzorii de gaze sunt dispozitivele care permit de a determina concentrația unui anumit gaz sau grup de gaze într-un volum arbitrar de aer (tub experimental, cameră industrială, aerul din mediul înconjurător). Ei pot fi de mai multe feluri, în dependență de tipul dispozitivului sensibil (piezoacustic, optic, chimic, etc.).

Senzori de gaze interacționează cu un gaz pentru măsurarea concentrației sale. Senzorul de gaz furnizează apoi date la un dispozitiv final măsurările efectuate. De obicei senzorii de gaze pot detecta orice gaz, însă se crează cel mai des senzori pentru așa grupuri de gaze ca : amoniacul, aerosoli, arsine, bromuri, dioxid de carbon, monoxid de carbon, cloruri, diborane, fluoruri, halocarbură sau agenți frigorifici, sulfuri, hidrocarburi, hidrogenuri toxice, vapori de mercur, nitrați toxici, solvenți organici, fosfină, silan, și vapori de apă.

Factori importanți ai senzorilor de gaze la măsurarea concentrației gazelor sunt:

- Timpul de răspuns este timpul necesar de la contactul inițial al senzorului cu gazul până la prelucrare a semnalului.
- Distanță este cea distanță maximă de la sursa de scurgere sau de gaze care senzorul poate detecta aceste gaze.
- Cantitatea de gaz reprezintă o anumită cantitate necesară de aer sau de gaz în care senzorul de gaz poate produce un semnal informativ despre respectivul gaz.

Informația primită de la senzorii de gaze poate fi procesată și afișată în diferite moduri în dependență de scopul final. De obicei informația primită de la senzori este în procente (cantitatea minimă de gaz la care gazul poate autoexploda LEL(lower explosion limit), sau autoinflama LFL(lower flammable limit); în ppm, ppb (urme de gaze); în ml/oră, ml/min (scurgerile de gaze), mg/m<sup>3</sup> (densitatea) și cromatogramele pentru spectrele gazelor. Aceste informații sunt primite din tensiuni și curenți analogici, la valoarea acestor parametrice poate influența temperatura și umiditatea mediului în care se află senzorul.

Fiecare tip de sensor are caracteristicile lui de sensibilitate, ceea ce permite de a-i clasifica după gradul de sensibilitate și de a determina mai precis domeniul în care poate fi utilizat un tip sau altul. Domeniile de utilizare a senzorilor de gaze au o varietate foarte mare :

- Nano și microelectronică – la crearea dispozitivelor semiconductoare așa ca microprocesoare, doparea cu gaze a diferitor nanostructuri
- Medicină – se folosesc senzori în camerele de creare a medicamentelor, în unile cabinet în care se practică tratamente cu ajutorul gazelor, etc.
- Sisteme fizico-chimice – în dispozitive pentru cercetarea spectrelor gazelor, concentrația și structura moleculelor, etc.
- Industrie – la diferite procese tehnologice în care sunt folosite gaze.

## 1. Tehnici utilizate în detectarea gazelor

### 1.1 Spectroscopia prin emisie

Spectroscopia prin emisie este o tehnica spectroscopică care examinează lungimi de undă de fotoni emise de atomi sau molecule în timpul tranziției de la o stare de energie superioară excitată la una mai joasă. Fiecare gaz emite un set caracteristic de lungimi de undă discrete în funcție de structura sa, cu respectarea aceste lungimi de undă compoziția elementară a eșantionului poate fi determinată. Spectroscopie prin emisie a fost dezvoltată în secolul al 19-lea iar eforturile în explicarea teoretică a spectrelor de emisie atomică în cele din urmă a condus la crearea mecanicii cuantice.<sup>[1]</sup>

Există multe moduri în care atomii pot fi aduși într-o stare de excitare. Interacțiunea cu radiații electromagnetice, bombardarea eșantionului cu protoni sau alte particule mai grele, particule ce induc de emisii de raze X. Cea mai simplă metodă este aceea de a încălzi gazul la o temperatură ridicată, după care excitațiile sunt produse de coliziunile dintre atomii de gaz.

### 1.2. Spectroscopia Raman

Este o tehnică în spectroscopie pentru studierea stărilor vibrațional-rotazionale și a altor sisteme de joasă frecvențe. Această tehnică se bazează pe efectul împrăștierii Raman, creată de o lumină monocromatică de obicei de la un laser în spectru vizibil, infraroșu (IR) , sau ultraviolet (UV). Lumina laser interacționează

cu vibrațiile moleculare, fononi sau alte excitații în sistemă, astfel energia fotonilor este deplasată sau în jos sau sus. Energia acestei deplasări ne oferă informații despre modul fononilor din sistemă.

De obicei proba de gaz este iluminată de un fascicul laser, apoi este colectată de o lentilă și transmisă la un monocromator, Lungimile de undă apropiate de cele a laserului, în urma împrăștierii Rayleigh sunt filtrate, în timp ce restul luminii este dispersată pe un detector.

Împrăștierea Raman spontană de obicei este foarte slabă, ca urmare principala dificultate în această tehnică este separarea împrăștierii Rayleigh din lumina laser.<sup>[2]</sup>

### 1.3. Spectroscopia prin absorbție

Spectroscopia prin absorbție se referă la tehnici spectroscopice care măsoară absorbția de radiație, în funcție de frecvență sau lungime de undă, ca urmare a interacțiunii sale cu un eșantion. Intensitatea de absorbție variază în funcție de frecvență, și această variație este spectrul de absorbție. Spectroscopia prin absorbție este realizată în cadrul spectrului electromagnetic.

Spectroscopia prin absorbție este folosită ca un instrument în chimia analitică pentru a determina prezența unei anumite substanțe într-un eșantion și, în multe cazuri, pentru a cuantifica valoarea de substanței prezente. Spectroscopia prin absorbție, de asemenea se folosește în studiile de fizică moleculară și atomică, spectroscopie astronomică și teledetecție.

Există o gamă largă de metode experimentale de măsurare a spectrelor de absorbție. Cel mai comun aranjament este de a direcționa un fascicul generat de radiație către un eșantion și detecta intensitatea radiației care trece prin ea. Energia transmisă poate fi folosit pentru a calcula datele despre absorbție. Sursa, metoda de aranjament și tehnica de detectare variază semnificativ în funcție de domeniul de frecvență și scopul experimentului. Acest tip de spectroscopie este cel mai des utilizat și are o varietate mare de utilizare în diferite domenii.<sup>[3]</sup>

### 1.4. Spectroscopia optoacustică

Spectroscopia optoacustică sau fotoacustică constă în absorbția de energie electromagnetică (în special de lumina) de către gaz, și apoi după excitarea moleculelor are loc emisia de unde acustice, iar frecvența acestor unde diferă de la un gaz la altul. Efectul fotoacustic a fost descoperit în 1880, când Alexander Graham Bell a arătat că discurile subțiri emit sunet atunci când sunt expuse la un fascicul al luminei soarelui, care a fost întrerupt rapid cu un disc cu fante în rotație. Energia luminii absorbite este transformată în energie cinetică a gazului prin procese de schimb de energie. Acest lucru duce la încălzire locală și, respectiv, la crearea unui val de presiune sau un sunet. Mai târziu, Bell a arătat că materialele expuse la porțiunile non-vizibile a spectrului solar (de exemplu, IR și UV) pot, de asemenea, produce sunete.

Un spectru fotoacustic a unui eșantion poate fi înregistrat prin măsurarea sunetului la lungimi de undă diferite. Acest spectru poate fi utilizat pentru a identifica componentele de absorbție a probei. Efectul photoacoustic poate fi folosit pentru a studia solide, lichide și gaze.<sup>[5]</sup>

Spectroscopia fotoacustică a devenit o tehnică puternică și foarte precisă în studierea concentrațiilor de gaze de la ppb (particule per miliard) sau chiar ppt (particule per trilion). Detectoarele fotoacustice moderne încă se bazează pe aceleași principii ca ale aparatul lui Bell, în figura 1 este prezentată schema unui astfel de dispozitiv de detectare a gazelor.<sup>[6]</sup>

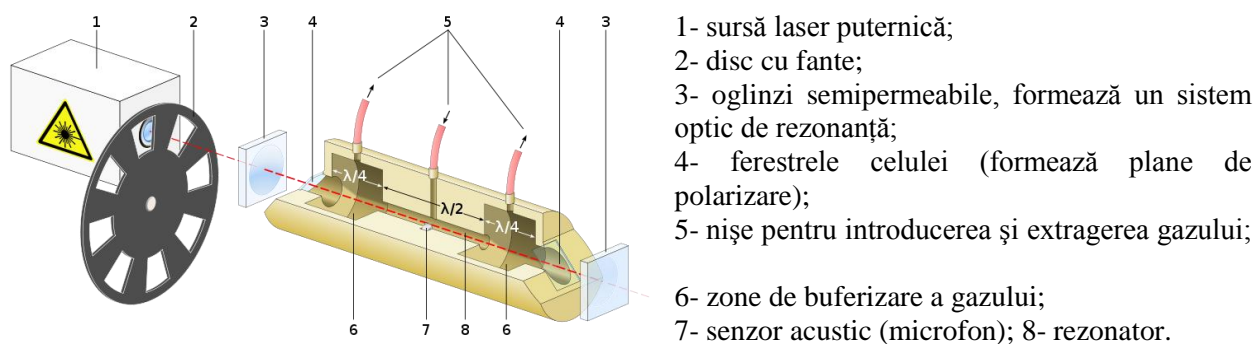


Fig. 1. Schema aparatului pentru obținerea spectroscopiei optoacustice.

## 2. Principiile senzorilor pe baza spectroscopiei prin absorbție

În spectroscopia prin absorbție principala condiții sunt este de a genera radiații de la o sursă, de a măsura un spectru de referință cu ajutorul unui detector de radiații și apoi re-măsura spectrul probei după introducerea materialului de interes între sursă și detector. Cele două spectre măsurate pot fi apoi combinate

pentru a determina spectrul de absorbție a materialului. Spectrul de probă în sine nu este suficient pentru a determina spectrul de absorbție, deoarece acesta va fi afectat de condițiile experimentale, spectrul sursei, spectrelor de absorbție a altor materiale între sursă și detector și caracteristicile dependente de lungimea de undă a detectorului.

O mare varietate de surse de radiații sunt utilizate în scopul de a acoperi întreg spectrul electromagnetic. Unele surse emit în mod inerent un spectru larg. Exemple de acestea includ globar<sup>[7]</sup> sau alte corpuri absolut negre<sup>[8]</sup> în cazul surselor IR, lămpile de mercur pentru spectrul vizibil și surse UV și raze X. Alte surse de radiații pot genera un spectru îngust, dar lungimea de undă de emisie poate fi acordată pentru a acoperi o gamă spectrală largă. Exemple de acesta poate fi laserul în întreaga regiune IR, vizibilă și UV (deși nu toate laserele sunt acordabile).

Detectorul folosit pentru a măsura puterii radiației va depinde, de asemenea, pe lungimea de undă cointereseată. Exemple de detectoare folosite în spectroscopie: receptoare heterodine, bolometere, detectoare răcite din materiale semiconductoare pentru spectre IR, fotodiode și tuburi fotomultiplicatoare pentru spectre vizibile și UV.

Două condiții care trebuie luate în considerare la crearea unui experiment de spectroscopie prin absorbție includ materialele optice folosite pentru a direcționa radiațiile și mediile în care se conțin materiale de probă (numite celule). Pentru majoritatea spectrelor UV, vizibile, IR apropiat utilizarea celulelor de cuarț oferă o precizie mare. În ambele cazuri, este important de a selecta materialele care au absorbție relativ mică în gama lungimilor de undă de interes. Absorbția în alte materiale ar putea interfera sau masca absorbția din eșantion.<sup>[3]</sup>



Fig. 2. Schema generală a spectroscopiei prin absorbție

### 3. Structura unui senzor de gaze pe baza diodei laser

Un senzor pe baza DL are următoarele părți componente: emițătorul, care trebuie să aibă apertura și lățimea benzii de emisie cât mai îngustă pentru a asigura o sensibilitate înaltă a dispozitivului și o protecție bună contra zgomotelor generate de modele de ordin inferior.

Unul din neajunsurile sistemelor de detectare optice este sensibilitatea la unele lungimi de undă optice, și o influență negativă asupra sistemului la variația temperaturii, mai ales în cazul dispozitivelor semiconductoare.

Altă parte componentă a sensorului optic este receptorul, care în cazul dat este o fotodiodă, cu sensibilitatea în zona de absorbție a gazului detectat. Fotodioda trebuie să aibă o sensibilitate foarte înaltă la diferențele fluxului optic rezultat în urma absorbției unor lungimi de undă în rezultatul interacțiunii cu gazul studiat. Deoarece variația curentului din fotodiodă este foarte mică, trebuie realizat modularea fluxului luminos care parcurge mediul cu gazul studiat și apoi respectiv demodularea semnalului recepționat de fotodiodă.

Un alt factor important este distanța parcursă de fluxul optic până este recepționată în celălalt capăt al instalației. De regulă este respectată legea că cu cât este mai mare distanța dintre receptor și emițător cu atât este mai mare precizia dispozitivului. Pentru aceasta sunt utilizate diferite instalații de focusare și colimare a fluxului luminos, care dau posibilitatea de a crea dispozitive compacte și de precizie mare. În figura 3 este prezentată o instalație care utilizează sisteme de lentile optice pentru mărirea drumului parcurs de lumină între emițător și receptor.

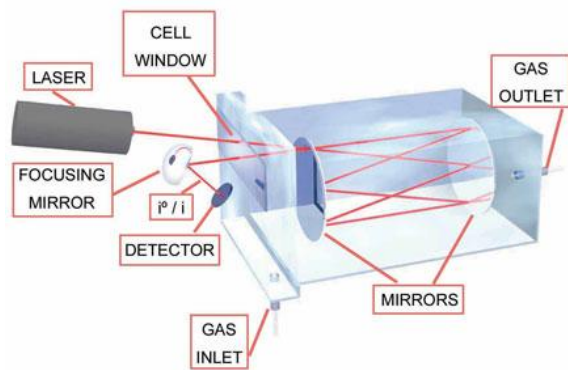


Fig. 3. Schema experimentală de unui senzor de gaze

În figurile 4 vor prezentate structura spectrului diodei laser la interacțiunea cu gazul dintr-un volum studiat

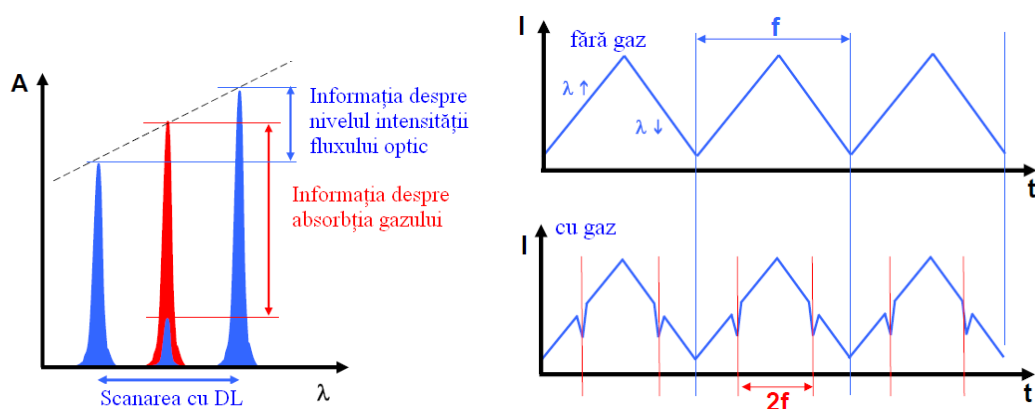


Fig. 4. Exemplu de reacție a gazului la iradiere, în zona de absorbție a liniei spectrale și exemplu de reacție a gazului la iradiere cu un flux luminos modulat(imaginea din dreapta)

În urma cercetării tuturor avantajelor și dezavantajelor detectorii de gaze fabricate pe baza diodelor laser, pot fi folosite la un preț avantajos în așa domeniile industriale la monitorizarea creșterii temperaturii, concentrației, și tipul gazului detectat, acești detectori pot fi folosiți în cercetări ecologice la detecția poluanților atmosferici, mai poate fi utilizat și în domenii științifice la cercetarea profilurilor spectrelor de absorbție a diferitor substanțe.

### Bibliografie

1. <http://physics.nist.gov/PhysRefData/contents-atomic.html>
2. Gardiner, D.J. (1989). Practical Raman spectroscopy . Springer-Verlag . ISBN 978-0387502540
3. Modern Spectroscopy (Paperback) by J. Michael Hollas ISBN 978-0-470-84416-8
4. [http://www.spectroscopyeurope.com/images/stories/ArticlePDFs/PAS14\\_5.pdf](http://www.spectroscopyeurope.com/images/stories/ArticlePDFs/PAS14_5.pdf)
5. David W. Ball Photoacoustic Spectroscopy Spectroscopy, Volume 21, Issue 9, Sep 1, 2006
6. <http://www.ir-spektroskopie.de/spec/basics/#2>
7. S.E.Friș, A.V.Timoreva, Curs de Fizică Generală, vol.III,cap.XXVII, Editura Tehnică, București 1995