

CZU: 621.315.592

ABSORBȚIA LUMINII ÎN MICROPARTICULE NEORGANICE INDIVIDUALE DEPUSE PE SUPORT TRANSPARENT OPTIC ȘI SUSPENDATE ÎN LICHID OMOGEN OPTIC

Evtodiev S.*

Didact Vega SRL, bd. Ștefan cel Mare și Sfânt, 200, MD-2004, Chișinău, Republica Moldova

*e-mail: silvicaidi@yahoo.com

S-a studiat indicatrisa împrăștierii radiației monocromatice cu lungimea de undă 623,8 nm de la nanoparticule din cuarț și germaniu și spectrele de împrăștiere difuză a luminii de la aceste particule în intervalul spectral 400-700 nm. În calitate de difuzie etalon s-a folosit pulbere din BaF_2 .

Cuvinte-cheie: absorbție, micro- și nanoparticule, indicatrisa, reflexie difuză, împrăștiere, refractanță, absorbanță.

In this work were studied the indicatrix of monochromatic radiation scattering with 623,8 nm wavelength from quartz and germanium nanoparticles and the diffuse light scattering spectra from these particles, in 400-700 nm spectral range. As diffusion etalon a BaF_2 bulk was used.

Keywords: absorption, micro- and nanoparticles, indicatrix, diffuse reflection, scattering, refraction, absorbance.

INTRODUCERE

Printre varietatea metodelor de identificare a substanțelor cea mai răspândită este metoda optică. Unda electromagnetică interacționează cu materia în stare gazoasă, lichidă sau solidă, prin intermediul caracteristicilor optice n (indicele de refracție) și k (indicele de absorbție) [1]. Acești doi parametri caracterizează proprietățile optice ale materialelor cu orice dimensiune, inclusiv și de dimensiune moleculară. În eșantioanele cu dimensiuni mult mai mari decât lungimea de undă sondă, n și k pot fi determinați experimental din măsurători de absorbție (A) și de reflexie (R). Dimensiunile obiectelor supuse indentificației, în ultimii ani s-a redus la scala de nanometri (straturi subțiri, particule aranjate haotic, particule individuale). Aceste obiecte cu dimensiuni nanometrice se indentifică preponderent prin intermediul analizei intensității și polarizației luminii difuzate. Una din problemele actuale ale științei în domeniile mediului, biologiei, medicinei ș.a.m.d. este identificarea și caracterizarea microparticulelor disperse pe suprafață și a particulelor micro și nanometrice individuale.

În lucrare se analizează distribuția planară a luminii împrăștiată de două tipuri de particule nanometrice (SiO_2 și Ge), cu indici de refracție diferiți și spectrele de reflexie difuză a acestor microparticule dispersate în lichid transparent optic.

Împrăștierea luminii de la particule solide individuale. Informație privitor la proprietățile microparticulelor solide sau lichide se conține în caracteristicile optice ale acestora: coeficientul volumic de împrăștiere σ , coeficientul de atenuare a radiației incidente ε ($\varepsilon = \sigma + \alpha$) către coeficientul de absorbție α ($\alpha = 4\pi k/\lambda$, λ – lungimea de undă a radiației incidente), g_φ indicatrisa împrăștierii de recul ($\varphi = \pi$) coeficientul de împrăștiere de recul σ_φ .

Dacă înregistrarea se face la frecvența radiației incidente atunci caracteristicile împrăștierii radiației la microparticule sunt descrise cu egalitatea [2]:

$$\sigma \cdot g_\varphi = \sigma_\alpha g_{\varphi\alpha} + \sigma_M g_{\varphi M} + \sigma_P g_{\varphi P} + \sigma_e g_{\varphi e}, \quad (1)$$

unde σ_α este coeficientul de împrăștiere a clusterilor de microparticulelor individuale σ_M – coeficientul de împrăștiere moleculară, σ_P – coeficientul de împrăștiere rezonantă, σ_e – coeficientul de împrăștiere a electronilor, $g_{\varphi\alpha}$, $g_{\varphi M}$, $g_{\varphi P}$, $g_{\varphi e}$ sunt indicatrisele împrăștierii de recul corespunzătoare împrăștierii la frecvența ansamblului de microparticule (pentru particulele din atmosferă acestea sunt aerozoli) a moleculelor de aer, împrăștierii rezonante și a împrăștierii la electronii liberi din mediu.

Aceste caracteristici optice depind de lungimea de undă analogic ca pentru materia macroomogenă optic, iar valorile spectrale ale acestor caracteristici sunt definite prin

caracteristicile microfizice N , $f(a)$, n și factorii eficacității și se scriu sub forma [3]:

$$\begin{aligned} \varepsilon(\lambda) &= N \int_0^\infty K_\varepsilon(\rho, n) f(a) da; \\ \alpha(\lambda) &= N \int_0^\infty K_\alpha(\rho, n) f(a) da; \\ \sigma(\lambda) &= N \int_0^\infty K_\sigma(\rho, n) f(a) da, \end{aligned} \quad (2)$$

unde N este numărul de particule care împrăștie lumina în unitate de volum, $f(a)$ – funcția de distribuție a particulelor după dimensiune (probabilitatea prezenței în volumul dat a particulei cu raza „ a ” care satisfac egalitatea:

$$N'(a') da = N f(a) da, \quad (3)$$

unde $N'(a')$ este numărul de particule în unitatea de volum.

METODICA CERCETĂRII ȘI EȘANTIOANELE

Cuarțul (SiO_2) sub formă de nanoparticule cu dimensiuni de ordinul $1 \div 10$ nm au fost sintetizate din fază de vapori, iar micro și nanoparticulele de Ge au fost obținute prin despicare electrică în atmosferă normală a condensatorului cu capacitatea 100 pF, încărcat la diferența de potențial de 30 kV (scânteie) dintre electrodul de W cu diametrul 30 μm și monocristalul de $n-Ge$ cu concentrația electronilor $3,8 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$, la temperatura camerei.

Particulele cu formă preponderent sferică au fost depuse pe suport din sticlă $K-8$. Totodată, au fost studiate spectrele de reflexie difuză a acestor particule suspendate în alcool etilic. Pentru înregistrarea indicatrisei împrăștierii luminii de la nanoparticulele disperse din SiO_2 și Ge acestea au fost iluminate cu radiația laserului $He-Ne$ cu $\lambda = 632,8$ nm. Selectarea particulelor individuale s-a făcut prin focalizarea sondei laser cu o lentilă cu distanța focală de 25 cm. Măsurătorii au fost efectuați la o instalație asamblată pe baza goniometrului $GS-5$. În calitate de receptor s-a folosit fotodiodă de siliciu de tipul $FD-10KP$ cu fereastra de 0,5 mm.

Spectrele de împrăștiere difuză a luminii de la micro- și nanoparticule de SiO_2 și Ge au fost înregistrate cu spectrofotometrul de tip $Specord M-40$ cu sferă integrată.

REZULTATE EXPERIMENTALE ȘI INTERPRETĂRI

În Fig. 1 este prezentată distribuția intensității radiației monocromate cu $\lambda = 632,8$ nm de la nanoparticule de SiO_2 (curba 1) și Ge (curba 2) în funcție de unghiul ϕ de împrăștiere.

Indicele de refracție a cuarțului (SiO_2) topit la lungimea de undă 632,8 nm este egal cu 1,457. Indicele de refracție a plăcii de $n-Ge$ folosită în calitate de sursă de particule cu dimensiuni submicrometrice a fost determinat din măsurări a coeficientului de reflexie la unghiul de incidență de $\sim 5^\circ$, care la lungimea de undă corespunzătoare liniei de emisie a laserului $He-Ne$ (632,8 nm) este egal cu 0,39.

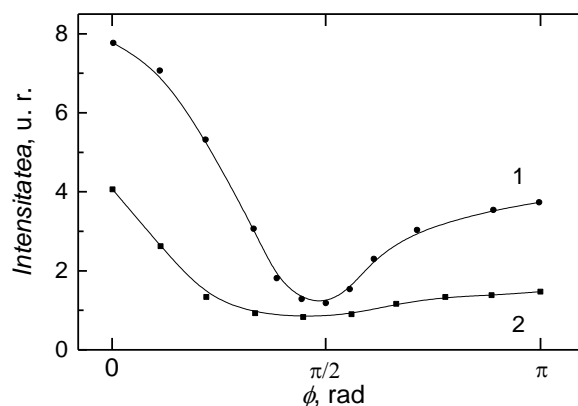


Fig. 1. Indicatrisea împrăștierii radiației laser ($\lambda = 632,8$ nm) de la nanoparticule de SiO_2 (curba 1) și Ge (curba 2)

La incidență normală indicele de refracție și coeficientul de reflexie sunt legați prin egalitatea

$$R = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2. \quad (4)$$

Astfel, indicele de refracție la $\lambda = 632,8$ nm a plăcilor din Ge folosite ca sursă de microparticule este egal cu 4,3. După cum se vede din Figura 1 intensitatea împrăștierii difuze în intervalul unghiurilor $0 \div 180^\circ$ este mai mare la materialul SiO_2 a cărui indice de refracție este de aproximativ 3 ori mai mic decât la microparticulele de Ge . Caracteristic pentru reflexia difuză a particulelor studiate este intensitatea împrăștierii mai mare în direcția de propagare a undei. Acest rezultat bine corelează cu experimentele efectuate la aerosoli din atmosferă [4].

Intensitatea împrăștierii pe direcția normală la propagarea radiației laser ($\varphi = \frac{\pi}{2}$) după cum se vede din Figura 1 capătă valoare minimă. Raportul intensității la $\varphi = 0$ și $\varphi = \frac{\pi}{2}$ este egală cu 6,5 pentru particulele din SiO_2 și 5 pentru particulele din Ge .

În cazul modelului împrăștierii moleculare a luminii coeficientul de împrăștiere moleculară $\sigma_M(\lambda)$ și indicatrisa împrăștierii sunt funcții de unghiul de împrăștiere și se prezintă prin formula [5]:

$$\sigma_M = \frac{\gamma\pi^2(n^2-1)^2}{3\lambda^4\rho} \chi \quad (5)$$

$$\chi_M(\varphi) = \frac{3}{16\pi} (1 + \cos^2\varphi) \quad (6)$$

După cum se vede din formula (6) $\chi_M\left(\frac{\pi}{2}\right) = \frac{3}{16\pi}$ și nu depinde de indicele de refracție a materialului particulei.

Tendința de apropiere a intensității radiației împrăștiate de la particulele de SiO_2 și Ge indică despre faptul că rezultatele experimentale a împrăștierii luminii de către particule solide disperse în spațiu pot fi interpretate pe baza teoriei împrăștierii moleculare.

Spectrele de reflexie difuză de la particule submicronice de SiO_2 și Ge dispersate în alcool etilic sunt prezentate în Fig. 2.

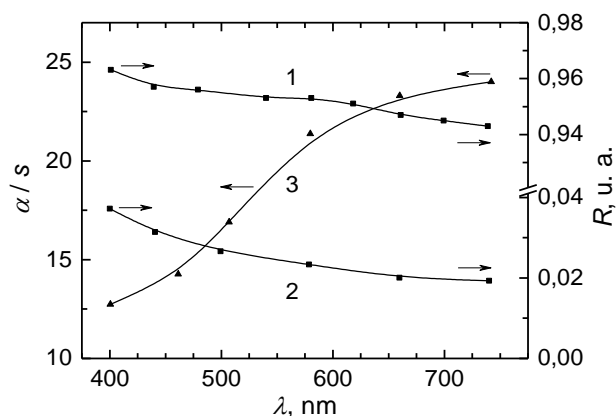


Fig. 2 Spectrele de reflexie difuză de la particule submicronice de SiO_2 (curba 1) și Ge (curba 2) dispersate în alcool etilic. Dependența spectrală a absorbției relative (α/S) a particulelor de Ge suspendate în alcool etilic (curba 3)

Micșorarea lentă a coeficientului de reflexie difuză de la particule din SiO_2 cu dimensiuni 1÷10 nm este determinată de

dispersia indicelui de refracție în regiunea de transparentă optică a cuarțului. După cum se vede din comparația curbelor 1 și 2 coeficientul de reflexie difuză de la nanoparticulele de Ge suspendate în lichid cu indice de refracție de 1,320 este de cel puțin două ori mai mic decât de la particulele de SiO_2 , pe când densitatea volumică a particulelor de Ge a fost de ~3,2 ori mai mare decât a particulelor din SiO_2 .

Valoarea relativ mică a coeficientului de reflexie difuză (Figura 2, curba 2), cât și micșorarea lentă a coeficientului de reflexie difuză la mărirea lungimii de undă poate fi determinată de faptul că o parte din radiația incidentă intens se absoarbe în particulele de Ge .

Coeficientul de absorbție a radiației în nanoparticulele din Ge suspendate în alcool etilic poate fi calculat folosind aproximația Kubelka-Munk. Pentru aceasta se consideră că radiația incidentă este difuză cu o distribuție izotropică, respectiv particulele în probă sunt orientate haotic și au dimensiuni mai mici decât stratul analizat. Reflexia difuză se prezintă prin formula [6]:

$$R_\infty = \frac{S}{\alpha + S + \sqrt{\alpha(\alpha + 2S)}} \quad (7)$$

Funcția de atenuare Kubelka-Munk este definită de expresia:

$$F(R_\infty) = \frac{\alpha}{S} = \frac{(1-R_\infty)}{2R_\infty} \quad (8)$$

aici, α este coeficientul de absorbție, S (cm^{-1}) – coeficientul de împrăștiere.

În Figura 2, curba 3, este prezentată dependența spectrală a absorbției relative (α/S) pentru particulele de Ge suspendate în alcool etilic. Creșterea absorbției relative probabil este determinată de factorul dimensiunilor mici a particulelor de Ge .

CONCLUZII

Împrăștieria difuză a luminii monocromate și polarizate liniar de nanoparticule dielectrice (SiO_2) și semiconductoare (Ge) cu dimensiuni nanometrice bine se descrie cu teoria reflexiei difuze moleculare;

Coeficientul de reflexie difuză de recul depinde de indicele de refracție a nanoparticulelor și este în creștere odată cu micșorarea indicelui de refracție a materialului din care sunt preparate microparticulele;

Coeficientul de reflexie difuză de la nanoparticule dielectrice și semiconductoare se micșorează odată cu mărirea lungimii de undă.

BIBLIOGRAFIE

1. Max Born, Emil Wolf. Principles of optics. London: Pergamon Press Ltd, 1968.
2. C. F. Bohren, D. R. Huffman. Absorption and scattering of light by small particles. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: Wiley-Interscience, 1998. p. 530.
3. T. P. Ackerman, O. B. Toon. Absorption of visible radiation in atmosphere containing mixtures of absorbing and nonabsorbing particles. 1981, Applied Optics, Vol. 20 (20), pp. 3661-3668.
4. T. P. Charlock, W. D. Sellers. Aerosol effects on climate: Calculations with time-dependent and steady-state radiative-convective models. 1980, Journal of the atmospheric sciences, Vol. 37, pp. 1327-1341.
5. R. W. Ditchburn. Light. London, Glasgow: Blackie & Son Limited, 1958. p. 680.
6. P. Kubelka, F. Munk. Ein Beitrag Zur Optik Der Farbanstriche. 1931, Zeitschrift für Technische Physik, Vol. 12, pp. 593-601.

Prezentat la redacție la 7 mai 2015