



UNIVERSITATEA DE STAT "ALECU RUSSO"

ISSN 1857-0437

FIZICĂ ȘI TEHNICĂ: **proces, modele, experimente**

**Revistă științifică a profilului de cercetare
"Proprietățile fizice ale substanțelor în diverse stări"**

1
2006

Bălți

Fondatorul: Universitatea de Stat "Alec Russo"

Colegiul de redacție: Nicolae Filip, *Academician al Academiei Internaționale a Școlii Superioare, Universitatea „Alec Russo”, Moldova (redactor sef)*
Dumitru Ghițu, *Academician al A.Ș. din Moldova*
Petru Stoicev, *conf. dr. hab., Universitatea Tehnică, Moldova*
Gheorghe Popa, *prof. dr., Universitatea "Al.I.Cuza", România*
Valeriu Ureadov, *dr. hab., Institutul de Radiofizică, Nijnii Novgorod, Rusia*
Eugen Plohotniuc, *conf. dr., Universitatea „Alec Russo”, Moldova*
Virgil Cheptea, *conf. dr., Universitatea „Alec Russo”, Moldova*
Alexandru Balanici, *conf. dr., Universitatea „Alec Russo”, Moldova (secretar științific)*

Tehnoredactare: Eugeniu Cabac, *magistru*

Design și aspectul paginii de titlu: Ghenadie Cabac, *asist. univ.*

Redactori: Ala Sainenco, *conf. dr.*
Elena Sirota, *conf. dr.*
Lara Aladin, *lect. sup.*

Recenzenți: Petru Stoicev, *conf. dr. hab., Universitatea Tehnică, Moldova*
Valeriu Ureadov, *dr. hab., Institutul de Radiofizică, Nijnii Novgorod, Rusia*
Mihail Rusanovschi, *conf. dr., Universitatea Tehnică, Moldova*
Profirie Bardațchi, *conf. dr., Universitatea Tehnică, Moldova*
Vitalie Chistol, *conf. dr., Universitatea Tehnică, Moldova*
Dumitru Luca, *conf. dr., Universitatea "Al.I.Cuza", România*

Adresa redacției: Universitatea de Stat "Alec Russo",
str. Pușchin 38, 3100, Bălți, Republica Moldova
Tel.: (231)24561, fax: (231)33039
E-mail: tfmi@usb.md

Tiparul: Tipografia Universității de Stat "Alec Russo"

© Universitatea de Stat „Alec Russo”,
Presa universitară bălțeană, 2006

ISSN 1857-0437

CUPRINS

<i>Irina Borisova, Alexandru Ursu</i> Calculul numeric al funcțiilor termodinamice ale unor sisteme cuantice	5
<i>Vitalie Ursu</i> Upper critical field on the basis of a two-band model	13
<i>Andrei Nicorici, Alexandru Rusu, Alexandru Todosiciuc, Virgil Cheptea</i> Caracteristicile unor instalații pentru studierea efectelor galvanomagnetice . .	18
<i>Mihail Popa, Gheorghe Ioan Rusu</i> Influența tratamentului termic asupra morfologiei suprafeței straturilor subțiri policristaline	26
<i>Mihail Popa, Gheorghe Ioan Rusu</i> Obținerea straturilor subțiri de ZnSe prin metoda evaporării termice în vid . .	30
<i>Simion Băncilă</i> Studiul proprietăților termice ale unor metale lichide la temperaturi înalte . . .	37
<i>Абрамчук Валерий</i> Экспериментальные исследования ионосферы в переходное время суток	45
<i>Eugeniu Plohotniuc</i> Un model parametric de propagare a undelor radio în mediul urban	52
<i>Pavel Topală</i> Proprietăți funcționale ale straturilor de depunere din pulberi formate prin metoda electroeroziunii	64
<i>Alexandru Balanici, Pavel Topală</i> Instalația experimentală pentru cercetarea procesului de uzură a suprafețelor plane	69
<i>Шарагов Василий</i> О классификации свойств веществ и материалов с позиций системного анализа	73
<i>Шарагов Василий, Азаренко Ольга, Лысенко Галина</i> HF-секционирование бесцветных прозрачных стекол промышленного назначения.	78
Exigențe privind prezentarea lucrărilor științifice pentru revista „Fizică și tehnică: Procese, modele, experimente”	85

CONTENTS

<i>Irina Borisova, Alexandru Ursu</i> Numerical computing of termodinamical functions of quantum systems	5
<i>Vitalie Ursu</i> Upper critical field on the basis of a two-band model	13
<i>Andrei Nicorici, Alexandru Rusu, Alexandru Todosiciuc, Virgil Cheptea</i> The characteristics of some installations for the study of galvanomagnetic effects	18
<i>Mihail Popa, Gheorghe Ioan Rusu</i> The influence of heat treatment upon the surface morfology of polycristallyne thin films	26
<i>Mihail Popa, Gheorghe Ioan Rusu</i> The deposition of ZnSe thin films by thermal evaporation technique under vacuum	30
<i>Simion Băncilă</i> The study of the thermal properties of some liquid metals at high temperatures	37
<i>Abramciuc Valeriu</i> Experimental investigations of the ionosphere in the before sunrise and after sunrise	45
<i>Eugeniu Plohotniuc</i> A parametric model or radio-wave propagation in urban environment	52
<i>Pavel Topală</i> Functional proprieties of the layers of depozition from powders formed by electroerozion	64
<i>Alexandru Balanici, Pavel Topală</i> The experimental installation for reseatch on the wear process of plane surfaces	69
<i>Vasilii Sharagov</i> ON classification of the properties of substances and materials from the position of system analysis	73
<i>Vasilii Sharagov, Olga Azarenko, Galina Lisenko</i> the section etching by solution HF of the transparent colourless glasses of industrial purpose	78
Requirements for the presentation of scientific papers for the journal „ <i>Physics and Technics: Processes, models, experiments</i> ”	85

C.Z.U.530.1

CALCULUL NUMERIC AL FUNCȚIILOR TERMODINAMICE ALE UNOR SISTEME CUANTICE

Irina Borisova (Gimnaziul feroviar, or. Bălți, Republica Moldova),
Alexandru Ursu (Universitatea de Stat „Alec Russo”, Republica Moldova)

Se compară metodele mecanicii clasice, ale statisticii clasice și statisticii cuantice utilizate la descrierea sistemelor macroscopice. Sunt **executate expresiile** pentru potențialele termodinamice și pentru capacitatea calorică ale sistemelor cuantice idealizate.

Introducere

În calitate de obiect de cercetare a unor sisteme cuantice, în scopul studiului funcțiilor termodinamice, alegem un gaz biatomic, ale cărui molecule constau din doi protoni și un număr anumit de electroni. Deoarece masa nucleului este cu mult mai mare decât masa electronului, nucleul se mișcă cu mult mai încet decât electronii. Studiind gazul biatomic la presiuni (temperaturi) cu mult mai mici decât presiunea (temperatura) de disociere a moleculelor, se poate considera energia moleculei egală cu suma energiei mișcării de translație a centrului maselor ei în raport cu alte molecule și a energiei interne a mișcării de agitație. Energia internă se compune, la rândul ei, din energia mișcării electronilor în raport cu nucleele în stările lor de repaus E_{el} , din energia mișcării vibratorii a nucleelor în raport cu centrul maselor moleculei E_v și din energia mișcării de rotație a moleculei ca un tot întreg E_r : $E \gg E_{el} + E_v + E_r$.

De obicei, $E_{el} \gg E_v \gg E_r$ ($E_{el} \sim 1, 2 eV$, $E_v \sim 10^{-2}, 10^{-1} eV$, $E_r \sim 10^{-5}, 10^{-3} eV$). Observăm că pentru a excita nivelele de rotație, este necesară o energie minimă, adică temperaturi joase; în condiții normale se excită nivelele vibratorii, iar la temperaturi de ordinul câtorva mii de kelvini se excită nivelele electronice.

Funcția oscilatorie de stare. Aportul oscilațiilor la calculul energiei și capacității termice ale gazului biatomic

Pentru existența stării stabile a moleculei este necesar ca energia potențială $U(R)$ să posede un minimum. R este distanța relativă dintre nuclee. Distanța R_0 , care corespunde minimumului energiei potențiale, este distanța dintre nuclee (atomi) în stare stabilă.

Ecuția Schrödinger, în cazul oscilațiile atomilor în lungul axei x , poate fi prezentată sub forma:

$$\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2m}{h^2} \left(W - \frac{m\omega_0^2}{2} x^2 \right) \Psi = 0, \quad (1)$$

unde Y este funcția de undă totală a moleculei, m – masa redusă a nucleelor, \hbar – constanta lui Planck, W – energia totală a moleculei, w_0 – frecvența circulară a oscilațiilor, x – distanța dintre nuclee.

Ecuția (1) reprezintă ecuația oscilatorului armonic în cazul temperaturilor joase (însă destul de înalte față de temperatura camerei).

În prima aproximație, molecula biatomică oscilatorie poate fi considerată oscilator armonic cuantic, ale cărui nivele energetice se calculează conform formulei:

$$E_n = h\nu \left(n + \frac{1}{2} \right), \quad (2)$$

unde ν este frecvența liniară a oscilațiilor.

Să calculăm funcțiile termodinamice ale oscilatorului armonic cuantic. Suma

statistică $Z = \sum_n e^{-\frac{E_n}{T}}$ cu evidența (2) se va calcula după următoarea formulă:

$$Z_{osc} = \exp\left(-\frac{h\nu}{2kT}\right) \sum_{n=0}^{\infty} \exp\left(-\frac{h\nu}{kT}n\right) = \frac{\exp\left(-\frac{h\nu}{2kT}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{h\nu}{kT}\right)} \quad (3)$$

unde T este temperatura absolută, k – constanta lui Boltzmann.

Vom exprima $h\nu$ în unități de energie: $h\nu = kT_c$, unde T_c este temperatura caracteristică.

În acest caz, (3) poate fi transcrisă:

$$Z_{osc} = \frac{\exp\left(-\frac{T_c}{2T}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{T_c}{T}\right)}.$$

Energia medie corespunzătoare mișcării oscilatorii este

$$E_{osc} = NE_n = NkT^2 \frac{\partial}{\partial T} \ln Z_{osc} = NkT^2 \frac{\partial}{\partial T} \ln \frac{\exp\left(-\frac{T_c}{2T}\right)}{\exp\left(-\frac{T_c}{T}\right)} = \frac{NkT_c}{2} \operatorname{ctg} \frac{T_c}{2T}, \quad (4)$$

unde N este numărul total de molecule ale gazului biatomic.

Pentru capacitatea termică obținem:

$$C_{Vosc} = \frac{\partial E_{osc}}{\partial T} = \frac{Nk}{4} \left(\frac{h\nu}{kT} \right)^2 \frac{1}{sh^2\left(\frac{h\nu}{kT}\right)} = \frac{Nk}{4} \left(\frac{T_c}{T} \right)^2 \frac{1}{sh^2\left(\frac{T_c}{2T}\right)}. \quad (5)$$

Din ecuațiile (4) și (5) observăm că dependența energiei medii de vibrație și a capacității termice de temperatura T și temperatura caracteristică T_c este destul de complexă.

În cazul temperaturilor înalte ($T \gg T_c$), pentru E_{osc} și C_{Vosc} , avem:

$$E_{osc} \approx NkT,$$

$$C_{Vosc} \approx Nk.$$

În cazul temperaturilor joase ($T \ll T_c$) $\exp\left(\frac{T_c}{T}\right) \gg 1$ și

$$E_{osc} \approx \frac{NkT_c}{2} + NkT_c \exp\left(-\frac{T_c}{T}\right); \quad (6)$$

$$C_{Vosc} \approx Nk \left(\frac{T_c}{T}\right)^2 \exp\left(-\frac{T_c}{T}\right).$$

Expresiile (6) coincid, în cazul temperaturilor înalte, cu cele clasice, însă, în cazul temperaturilor joase, se deosebesc esențial de cele clasice: la micșorarea temperaturii, energia oscilațiilor tinde spre limita constantă $E_0 = \frac{NkT_c}{2} = \frac{Nhn}{2}$, unde E_0 este energia oscilațiilor moleculei la temperatura absolută – *energie nulă*. Capacitatea termică tinde către zero când $T \rightarrow 0$. La temperaturi înalte, când energia termică kT este mare în raport cu distanța dintre nivelele energetice ($\Delta e = hn = kT$), capacitatea termică și energia se redau prin expresii clasice, însă la temperaturi joase, energia tinde către valoarea limită – energia nulă a oscilatorului cuantic, iar capacitatea termică – către zero.

Pentru alte funcții termodinamice avem:

1) *energia liberă* determinată (provocată) de mișcarea oscilatorie:

$$F_{osc} = -NkT \ln Z_{osc} = \frac{NkT_c}{2} + NkT \ln \left(1 - \exp\left(-\frac{T_c}{T}\right) \right); \quad (7)$$

2) *entropia*:

$$S_{osc} = -\frac{\partial F_{osc}}{\partial T} = Nk \frac{T_c}{T} \frac{1}{\exp\left(\frac{T_c}{T}\right) - 1} = Nk \ln \left[1 - \exp\left(-\frac{T_c}{T}\right) \right]. \quad (8)$$

În cazul $T \gg T_c$ obținem:

$$F_{osc} \approx E_0 + NkT \ln \frac{T_c}{T},$$

$$S_{osc} \approx Nk - Nk \ln \frac{T_c}{T}. \quad (9)$$

În cazul $T \ll T_c$ $\exp\left(-\frac{T_c}{T}\right) \ll 1$, avem $F_{osc} \gg E_0$, $S_{osc} \gg 0$.

În tabelul 1 sunt indicate temperaturile caracteristice oscilațiilor diferitor molecule.

Observăm că temperatura caracteristică a oscilațiilor moleculelor este diferită atingînd câteva mii de grade. De aici rezultă că, la temperaturi de cameră, valorile C_V , S , F , E trebuie să fie mici, iar nivelele vibratorii ale energiei ar trebui să fie practic “înghețate”. Pentru a confirma aceasta, calculăm cu ajutorul programului

mărimile menționate pentru hidrogen în intervalul de temperaturi $T = 300\div 8400K$ (vezi tabelul 2).

Tabelul 1.

Temperaturile caracteristice

Molecula	Temperatura caracteristică $T_c, 1000K$	Molecula	Temperatura caracteristică $T_c, 1000K$
H ₂	6,0	HJ	3,2
HD	5,3	CO	3,07
D ₂	4,3	N ₂	3,34
HCl	4,14	NO	2,69
HBr	3,7	O ₂	2,23

Tabelul 2.

Dependența C_v, S, F, E, U de temperatură

T, K	300	400	500	600	1200
T/T_c	0,05	0,0666	0,0833	0,1	0,2
C_v/R	$8,24 \cdot 10^{-7}$	$6,88 \cdot 10^{-5}$	$8,847 \cdot 10^{-3}$	$4,54 \cdot 10^{-3}$	0,17
U/R	3000	3000,018	3000,0368	3000,2724	3040,7019
F/R	$3 \cdot 10^3$	$2,99999 \cdot 10^3$	$2,99999 \cdot 10^3$	$2,99997 \cdot 10^3$	$2,99188 \cdot 10^3$
F/R	$-6 \cdot 10^{-7}$	$-1,224 \cdot 10^{-4}$	$-3,072 \cdot 10^{-3}$	-0,027	-8,112
S/R	$1,12 \cdot 10^{-7}$	$1,277 \cdot 10^{-5}$	$2,065 \cdot 10^{-3}$	$1,279 \cdot 10^{-3}$	$9,833 \cdot 10^{-2}$

T, K	2400	3000	3600	4200	4800	5400
T/T_c	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
C_v/R	0,608	0,724	0,797	0,8459	0,879	0,903
U/R	3536,5529	3909,1058	4397,1391	4891,1135	5409,3067	5944,4503
F/R	$2,794 \cdot 10^3$	$2,563 \cdot 10^3$	$2,246 \cdot 10^3$	$1,849 \cdot 10^3$	$1,379 \cdot 10^3$	843,9
F/R	-205,56	-436,24	-753,6	-1150,7	-1620,38	-2156,07
S/R	0,6434	0,8811	1,065	1,204	1,311	1,393

T, K	6000	6600	7200	7800	8400
T/T_c	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
C_v/R	0,92	0,9338	0,944	0,952	0,958
U/R	6481,8602	7048,4052	7611,9225	8180,875	8754,1423
F/R	247,9	-403,3	-1105	-1855	-2648
F/R	-2752,05	-3403,31	-4105,57	-4855,07	-5648,54
S/R	1,458	1,51	1,554	1,591	1,622

În fig.1 este indicată dependența mărimilor U, F, S și C_v de raportul $\frac{T}{T_c}$.

Observăm că, la creșterea temperaturii, valorile capacității termice, ale entropiei, ale energiei libere și ale energiei interne cresc, fapt care poate fi explicat prin excitarea nivelelor energetice mai înalte. La fel, se observă că temperaturile de ordinul a 400 K corespund cazului limită al temperaturilor joase, când capacitatea termică atinge valoarea de $10^{-5} J/mol.K$ și mai mult. Prin urmare, la temperaturi nu

prea înalte, mișcarea oscilatorie poate fi considerată înghețată, aportul ei la capacitatea termică fiind nul.

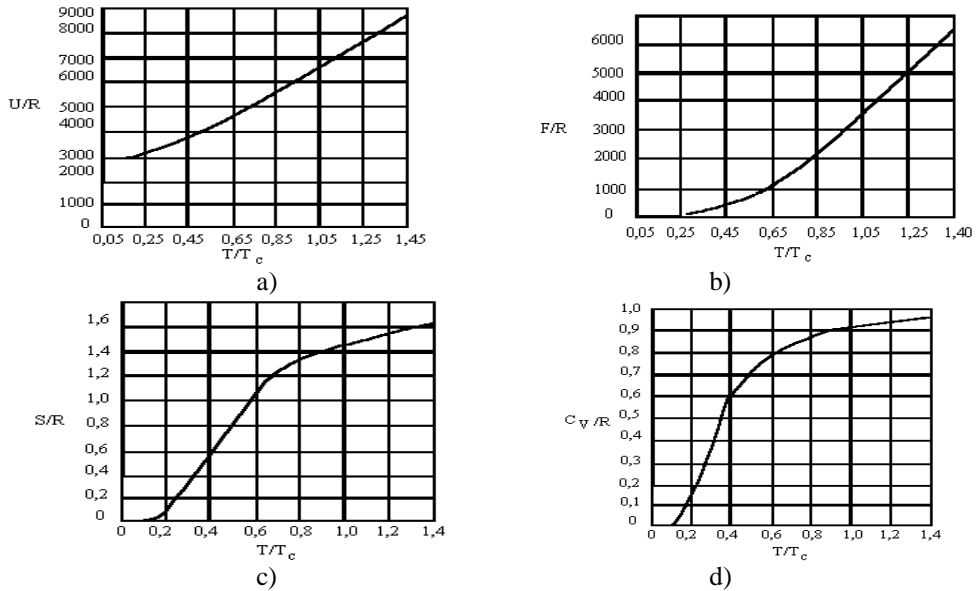


Fig. 1. Graficele dependențelor $U/R(T/T_c)$ (a), $F/R(T/T_c)$ (b), $S/R(T/T_c)$ (c), $C_v/R(T/T_c)$ (d)

Funcția de stare a mișcării de rotație și aportul rotației la funcțiile termodinamice

Energia de rotație, legată de rotația moleculei, se calculează conform formulei

$$E_{rot} = \frac{\hbar^2}{2J} l(l+1), \quad (10)$$

unde l este numărul cuantic azimutal, iar J - momentul de inerție al moleculei.

Vom calcula acum funcțiile termodinamice ale rotatorului. Pentru aceasta, calculăm mai întâi suma statistică $Z = \sum_n e^{-\frac{E_n}{T}}$. Fiecare stare cu o anumită energie de rotație este de $2l+1$ ori degenerată. Prin urmare, suma statistică (funcția de stare a mișcării de rotație) o vom reda prin formula:

$$Z_{rot} = \sum_l (2l+1) e^{-\frac{\hbar^2 l(l+1)}{2\pi I J}}. \quad (11)$$

Mărimea Z_{rot} depinde de raportul $\frac{\hbar^2}{8\pi^2 k T J} = \frac{T_c}{T}$, unde $T_c = \frac{\hbar^2}{8\pi^2 k J}$ este temperatura caracteristică a gazului în cazul rotației moleculelor:

$$Z_{rot} = \sum_l (2l+1) e^{-\frac{T_c l(l+1)}{T}}. \quad (12)$$

La temperaturi înalte (valori mari ale numărului l) rotația moleculei este cvasiclasică. Din această cauză, suma în raport cu nivelele energetice, luate în parte, poate fi substituită cu integrala în raport cu nivelele aproape contopite.

Introducând o variabilă nouă, $y = l(l+1)$, obținem:

$$Z_{rot} = \int_0^{\infty} e^{-\frac{T_c y}{T}} dy = \frac{T_c}{T}, \quad (13)$$

care coincide cu expresia corespunzătoare clasică.

În aproximația următoare, pentru calculul funcției de stare, se obține expresia:

$$Z_{rot} \approx \frac{8\pi^2 JkT}{h^2} + \left(\frac{1}{3} + \frac{h^2}{15.8\pi^2 JkT} \right). \quad (14)$$

Valoarea dintre paranteze din expresia (14) reprezintă corecții la valoarea clasică Z_{rot} . Aceste corecții sunt neesențiale la temperaturi $T > T_c$, diminuându-se și mai mult când temperatura crește.

În tabelul 3 sunt prezentate temperaturile caracteristice corespunzătoare mișcării de rotație a unor molecule biatomice.

Tabelul 3.

Temperaturile caracteristice de rotație

Molecula	Temperatura caracterist. T_c , K	Molecula	Temperatura caracterist. T_c , K
H ₂	85,4	HJ	9,0
HD	64,1	CO	2,77
D ₂	43	N ₂	2,85
HCl	15,1	NO	2,42
HBr	12,1	O ₂	2,07

Observăm că întregul domeniu de temperaturi reale se află cu mult mai sus decât T_c . Din această cauză, corecțiile cuantice la Z_{rot} pentru toate moleculele, în afară de cele mai ușoare, nu sunt semnificative.

1. La temperaturi joase, în expresia generală pentru Z trebuie păstrați numai primii termeni. Deci

$$Z_{rot} \approx 1 + 3e^{-\frac{2T_c}{T}}. \quad (15)$$

În acest caz, pentru energia medie avem

$$E_{rot} = NkT^2 \frac{\partial}{\partial T} \ln \left(1 + 3e^{-\frac{h^2}{4p^2 kT}} \right) \approx \frac{3h^2 N}{4p^2 J} e^{-\frac{h^2}{4p^2 kT}}, \quad (16)$$

iar pentru capacitatea termică:

$$C_{Vrot} \approx 3 \left(\frac{h^2}{4p^2 J} \right)^2 \frac{N}{kT^2} e^{-\frac{h^2}{4p^2 kT}}. \quad (17)$$

Astfel, la temperaturi foarte joase energia și capacitatea termică descresc exponențial odată cu creșterea temperaturii. Observarea reducerii capacității termice prin creșterea temperaturii este posibilă numai în cazul moleculelor ușoare.

Energia liberă este

$$F_{rot} \approx -3NkTe^{-\frac{2T_c}{T}}, \quad (18)$$

iar entropia:

$$S_{rot} \approx 3Nke^{-\frac{2T_c}{T}} + \frac{6NkT_c}{T} e^{-\frac{2T_c}{T}}. \quad (19)$$

2. În cazul temperaturilor înalte se obține:

$$E \approx NkT \left(1 - \frac{\mathbf{h}^2}{24p^2 JkT} \right). \quad (20)$$

Respectiv, capacitatea termică de rotație la temperaturi înalte este

$$C_V = NkT, \quad (21)$$

și deci coincide cu valoarea clasică.

Energia liberă este

$$F_{rot} = -NkT \ln Z_{rot} = -NkT \ln \left[\sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) e^{-\frac{T_c l(l+1)}{T}} \right] \approx NkT \left(\ln \frac{T_c}{T} - \frac{T_c}{3T} \right), \quad (22)$$

iar entropia:

$$S_{rot} \approx -Nk \ln \frac{T_c}{T} + Nk. \quad (23)$$

Astfel, energia de rotație și entropia de rotație la temperaturi joase descresc exponențial odată cu creșterea temperaturii.

În tabelul 4 sunt prezentate rezultatele calculului funcțiilor termodinamice și al capacității termice corespunzătoare nivelului energetic de rotație pentru hidrogen în domeniul temperaturilor joase $T = 8,54 \div 51,24 \text{ K}$ și în domeniul temperaturilor înalte $T = 93,94 \div 119,56 \text{ K}$.

Din tabelul 4 se observă că, odată cu creșterea temperaturii pentru nivelul energetic de rotație, cresc valorile entropiei, ale energiei interne, ale energiei libere după modul și ale capacității termice, deoarece se excită nivele energetice mai înalte. În domeniul temperaturilor înalte, capacitatea termică tinde, asimptotic, către unitate.

Metodele fizicii statistice de calcul numeric permit, în acest fel, determinarea valorilor funcțiilor termodinamice și ale capacității termice a gazelor ideale biatomice într-un spectru larg de temperaturi. Rezultatele aplicării metodelor *meccanicii clasice* la un așa calcul se conțin în rezultatele obținute mai sus ca caz limită a temperaturilor joase, când molecula biatomică devine rigidă și aportul la energie al oscilațiilor atomilor în moleculă și mișcarea de rotație a moleculei ca un tot întreg devine nul.

Tabelul 4.

Rezultatele calcului funcțiilor termodinamice pentru hidrogen

T, K	8,54	17,08	25,62	34,16	42,7
T/T _c	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
C _v /R	2,47.10 ⁻⁶	0,0136	0,1696	0,505	0,879
U/R	1,236.10 ⁻⁸	2,723.10 ⁻⁴	7,635.10 ⁻³	4,042.10 ⁻²	0,1098
F/R	-5,28.10 ⁻⁸	-2,32.10 ⁻³	-9,78.10 ⁻²	-0,6905	-2,346
S/R	1,298.10 ⁻⁷	1,498.10 ⁻³	2,927.10 ⁻²	0,1212	0,2747

T, K	51,24	93,94	102,48	111,02	119,56
T/T _c	0,6	1,1	1,2	1,3	1,4
C _v /R	1,18	1	1	1	1
U/R	0,214	65,47	74,01	82,55	91,09
F/R	-5,483	-37,42	-47,15	-57,59	-68,69
S/R	0,4637	1,095	1,182	1,262	1,336

Bibliografie

1. Ансельм, А.И., *Основы статистической физики и термодинамики*, Москва, Наука, 1973.
2. Landau, L.D., Lifșit, E.V., *Mecanica cuantică*, București, Editura tehnică, 1965, 622 p.
3. Ландау, Л.Д., Лифшиц, Е.М., *Статистическая физика*, Москва, Наука, 1964, 567 стр.
4. Левич, В.Г., *Введение в статистическую физику*, Москва, Наука, 1954, 588 стр.
5. Левич, В.Г., Вдовин, Ю.А., Мямлин, В.А., *Курс теоретической физики*, Москва, Изд. Физико-математической лит., т. I, 1962. 695 с; т. II, 1962, 819 стр.
6. Блохинцев, Д.И., *Основы квантовой механики*, Москва, Просвещение, 1983, 664 стр.

NUMERICAL COMPUTING OF THERMODYNAMICAL FUNCTIONS OF QUANTUM SYSTEMS

Irina Borisova (Railway Gymnasium, Bălți, Republic of Moldova),
Alexandru Ursu (State University "Alec Russo", Republic of Moldova)

A comparison of various methods, such as classical mechanics and classical and quantum statistics, is provided for the description of macroscopic systems. The formulas and the computer code for calculating thermodynamic potentials and caloric capacity of idealized quantum systems are developed. The results are presented in table and chart formats.

Prezentat la redacție la 30 noiembrie 2005

C.Z.U.537.312.62.01

UPPER CRITICAL FIELD ON THE BASIS OF A TWO-BAND MODEL

Vitalie Ursu

(Institute of Applied Physics, Academy of Sciences, Republic of Moldova)

The discovery of the high temperature of transition in superconducting state $T_c \sim 40\text{K}$ in the simple intermetallic compound MgB_2 [1] has stimulated researches of these material properties both in the experimental and theoretical plans. The significant result of these researches is the discovery of two energetic gaps in the spectrum of the elementary excitations [2] and the possibility of theoretical describing of this compound on the base of the two-band model [3].

This two-band model and its generalization for the anisotropic value of the energetic gaps D_1 and D_2 case, [4, 5] confirm the experimental results for the thermal capacity C_s dependence on temperature, the penetration depth of the magnetic field and other characteristics in the MgB_2 compound.

As it is known, the superconductivity metals undergo a transition from the superconductivity phase into normal in the magnetic field at some its value. This transition which is relevant to the full penetration of the magnetic field into the superconductor, occurs in the moment when the field achieves the value of the upper critical field H_{c2} .

The main purpose of the work is researching of pure two-band superconductor of the secondary type for arbitrary temperatures close to the upper critical field and the definition of temperature dependence of the H_{c2} value. The calculations are based on the fundamental equations of the electrodynamics of two-band superconductors [6], which are valid both for pure and doped superconductors. On the other hand, when the external magnetic field is great enough the order parameters D_m ($m = 1, 2$) of two-band superconductor is small, and we can use equations ref. [6] for pure two-band superconductor:

$$\Delta_m^{\square}(\vec{x}) = \frac{1}{b} \sum_w \sum_{nn'} V_{nm} \int d\vec{y} g_{n'n}^{\rightarrow}(\vec{y}, \vec{x}/w) \Delta_{n'}^{\square}(\vec{y}) g_{n'n}^{\rightarrow}(\vec{y}, \vec{x}/-w). \quad (1)$$

We restricted here by linear terms on Δ_n quantities in comparison with reduced in [6] because in the $H = H_{c2}$ point occurs solutions with the infinitely small values Δ_m . Green function defines by equation at presence of the magnetic field [7]:

$$g_{nn'}(r, r'/w) = e^{ij(r, r')} g_{n'n}^0(r, r'/w),$$

$$j(r, r\odot) = e \int_{r\odot}^r A(\vec{l}) d\vec{l}, \quad (2)$$

where $g_{n'n}^0$ - Green function of an electron in normal metal without magnetic field. The presence of the magnetic field is taken into account by the phase multiplier.

We decompose in equation (1) the normal metal function $g_{n'n}^0$ into the row by the Bloch functions $\Psi_{nk}^{\rightarrow}(x) = e^{i(\vec{k}x)} U_{nk}^{\rightarrow}(x)/\sqrt{N}$ (U_{nk}^{\rightarrow} - the Bloch amplitude):

$$g_{n\otimes n}^0\left(\begin{matrix} \rightarrow \\ y, x/w \end{matrix}\right) = \sum_{\substack{\rightarrow \\ k \otimes k \otimes}} g_{n\otimes n}^0\left(\begin{matrix} \rightarrow \\ k \otimes, k/w \end{matrix}\right) \Psi_{n\otimes k \otimes}^{\rightarrow}\left(\begin{matrix} \rightarrow \\ y \end{matrix}\right) \Psi_{nk}^*\left(\begin{matrix} \rightarrow \\ x \end{matrix}\right). \quad (3)$$

and use approaching of the diagonal Green functions. Magnetic field is guided along the z-axis. Besides choose the vector potential as $A_x = A_z = 0$; $A_y = H_0 x$.

On the base of (1) - (3) after calculating the integral by impulse \vec{k} , averaging by elementary cells, applying Maki and Tsuzuki methods [7] and assuming $\Delta_m(x) = \Delta_m \exp\{H_0 x^2\}$, we obtain:

$$\Delta_m^* = \sum_n V_{nm} N_n \rho_n^{-1/2} \Delta_n^* \int_1^{\infty} \frac{du}{u} \int_{\delta_n'}^{\infty} d\zeta \exp\left[-\frac{\zeta^2}{4}(u^2+1)\right] I_0\left[\frac{\zeta^2}{4}(u^2-1)\right] \frac{1}{\text{sh}\left[u\zeta\rho_n^{-1/2}\right]}, \quad (4)$$

where n_n and N_n are accordingly electron speed and electron density of state on n-th cavity of the Fermi surface,

$$d_n' = (eH_0)^{1/2} \frac{n_n}{2ge_0 w_D^{(n)}},$$

$$r_n = \frac{v_n^2 eH_0}{(2pT)^2} \quad (5)$$

where γ is the Euler constant, $w_D^{(n)}$ is the cut-off frequency.

Basing on (5) it is easy to obtain the equation for the upper critical field definition in the next view

$$-\Delta_m^2 + \sum_n V_{nm} N_n \Delta_n^2 \ln \frac{2\gamma w_D^{(n)}}{\pi T_c} + \sum_n V_{nm} N_n \Delta_n^2 \left[\ln \frac{T_c}{T} - f(\rho_n) \right] = 0, \quad (6)$$

where

$$f(r_n) = r_n^{-1/2} \int_0^{\infty} dz \int_0^{\infty} \frac{du}{u \text{sh}[uz r_n^{-1/2}]} \times \left\{ 1 - \exp\left[-\frac{z^2}{4}(u^2+1)\right] I_0\left[\frac{z^2}{4}(u^2-1)\right] \right\} \quad (7)$$

Equality to zero of the system (6) determinant corresponds to the presence of non-zero solutions, that is the connected pairs forming. The field, in the presence of which such solutions can appear, is the upper critical field H_{C2} . So the H_{C2} value defines from the condition of the system (6) solvability:

$$a f(r_1) f(r_2) + B_1 f(r_1) + B_2 f(r_2) + C = 0, \quad (8)$$

where

$$B_n = N_n V_{nm} - \alpha \xi_c^{(n)} \quad (n = 1, 2).$$

$$C = 1 - N_1 V_{11} x_T^{(1)} - N_2 V_{22} x_T^{(2)} + a x_T^{(1)} x_T^{(2)}; \quad a = N_1 N_2 (V_{11} V_{22} - V_{12} V_{21});$$

$$x_T^{(n)} = \ln \frac{2g w_D^{(n)}}{pT}; \quad x_c^{(n)} = \ln \frac{2g w_D^{(n)}}{pT_c}.$$

The analytic solutions to equation (8) could be computed for two limit cases as follows:

$$a. \rho_n \ll 1 \quad (T_c - T \ll T_c); \quad b. \rho_n \gg 1 \quad (T \ll T_c).$$

For which functions $f(r_n)$ are defined in works [7]:

$$f(r_n) = \frac{7}{6}z(3)r_n - \frac{31}{10}z(5)r_n^2 + \frac{381}{28}z(7)r_n^3, \quad r_n \ll 1 \quad (9)$$

$$f(r_n) = \ln \frac{2(2g r_n)^{1/2}}{e_0} - \frac{1}{p^2 r_n} \left[z'(2) + \frac{z(2)}{2} \ln \frac{2}{p^2 g r_n} \right], \quad r_n \gg 1. \quad (10)$$

In the case of $(T_c - T \ll T_c)$ applying the formulas in (10) and (11) we obtain the following expression for the H_{c2} value.

$$H_{c2}(T) = \frac{4p^2 T_c^2}{e} [v_1^2 h_1 + v_2^2 h_2]^{-1} \frac{6}{7x(3)} \Theta \cdot \left[1 + \Theta \left\{ \frac{\frac{v_1^2 h_1 + v_2^2 h_2}{v_2^2 h_1 + v_1^2 h_2} \frac{31}{10} x(5) \left(\frac{6}{7x(3)} \right)^2 - \frac{3}{2}}{\left(\frac{v_1 h_1 + v_2 h_2}{v_2 h_1 + v_1 h_2} \right)} \right\} \right], \quad (11)$$

$$q = 1 - \frac{T}{T_c}, \quad h_1 = \frac{1}{2}(1+h), \quad h_2 = \frac{1}{2}(1-h);$$

$$h = \frac{N_1 V_{11} - N_2 V_{22}}{\sqrt{(N_1 V_{11} - N_2 V_{22})^2 + 4N_1 N_2 V_{12} V_{21}}}. \quad (12)$$

In the b) case (T close to zero) we obtain:

$$\frac{H_{c2}(T)}{H_{c2}(0)} = \left[1 + \frac{16\gamma}{e_0^2 \pi^2} \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 e^{Sv(\lambda) - Sv(1)} \left\{ \left(\lambda \gamma^+ + \frac{1}{\lambda} \gamma^- \right) + \left[\zeta'(2) + \zeta(2) \ln \frac{4T}{e_0 \pi T_c} + \frac{S}{2} n(1) - \frac{S}{2} n(1) \right] + \frac{z(2)}{2} \left(I g^+ - \frac{1}{I} g^- \right) \ln I \right\} \right], \quad (13)$$

where

$$n(I) = \sqrt{(\ln I - h^{(-)})^2 + \frac{4N_1 N_2 V_{12} V_{21}}{a^2}}, \quad S = \pm 1$$

$$g^\pm = \frac{1}{2} \left[1 \pm \frac{h^- - \ln I}{Sv(I)} \right], \quad H_{c2}(0) = \frac{p^2 T_c^2 e_0^2}{2g e v_1 v_2} \exp[n(1) - n(I)]. \quad (14)$$

We obtained equation (8), on the base of which the value of the upper critical field in the two-band model can be calculated on the whole temperature interval $0 \leq T \leq T_c$. The analytic solutions of this equation were obtained for $T \approx T_c$ (11) and $T \approx 0$ (13). It is easy to notice that H_{c2} depends on the correlations of the speeds n_I

and n_2 of the electrons on the Fermi surface, and on the constants of the electronic-phonon interaction I_{nm} .

If $H_{c_2}^0(0)$ and T_{c0} are introduced (upper critical field and critical temperature of the one-band low-temperature superconductor), on the base of (14) we obtain:

$$H_{c_2}(0)/H_{c_2}^0(0) = (T_c/T_{c0})^2 \frac{v_1}{v_2} \exp(v(1) - v(I)). \quad (15)$$

The numerical estimations let us come to conclusion, that the upper critical field of two-band superconductors for $T=0$ can exceed the value of $H_{c_2}^0(0)$ for usual superconductors by two-three orders. These big values $H_{c_2}(0)$ are provided by high T_c and by ratio $v_1/v_2 > 1$ or $\gg 1$.

Our goal is to research the dependence from the temperature of the value H_{c_2} for the connection MgB_2 in the whole temperature interval $0 < T < T_c$. For this is necessary to estimate the parameters of the two band theory I_{nm} , using the experimental data obtained by researching this substance [8], [9]:

$$\Delta_1(0)=6,8\text{mev}; Z(0)=\frac{\Delta_1(0)}{\Delta_2(0)}=3,8, \frac{N_1}{N_2}=0,8, \left. \frac{C_S - C_N}{C_N} \right|_{T=T_c} = 0,78. \quad (16)$$

In correspondence with the two-band theory of superconductors we have [10]

$$\Delta_1(0)=6,8\text{mev}; Z(0)=\frac{\Delta_1(0)}{\Delta_2(0)}=3,8, \frac{N_1}{N_2}=0,8, \left. \frac{C_S - C_N}{C_N} \right|_{T=T_c} = 0,78, \quad (17)$$

where

$$V(0) = \frac{N_2 V_{22} - N_2 V_{12} / Z(0)}{a},$$

$$a \ln Z(0) = N_1 V_{11} - N_2 V_{22} + \frac{V_{12} N_2}{Z(0)} - N_1 V_{12} Z(0). \quad (18)$$

Let's consider that $N_2 V_{22} = 0$, which corresponds to the passivity of the second zone in forming of the Cooper pairs. On the base of data (16) and equations (18) we get: for $w_D^{(1)} = w_D^{(2)} = 700 \text{ K}$, $N_1 V_{11} = 0,3$, $N_2 V_{12} = 0,12$; for $w_D^{(1)} = 500 \text{ K}$, $N_1 V_{11} = 0,33$, $N_2 V_{12} = 0,13$; for $w_D = 300 \text{ K}$, $N_1 V_{11} = 0,42$, $N_2 V_{12} = 0,16$.

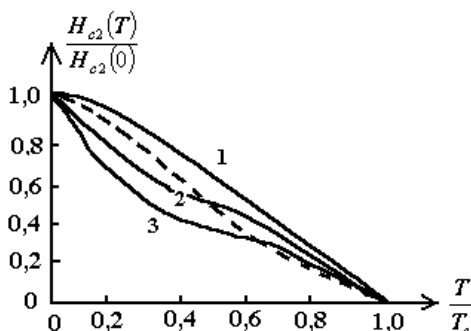
The heat capacity jump at $T = T_c$ is determined by the relation [10]

$$\frac{C_S - C_N}{C_N} = 1,43 \frac{(N_1 + N_2 / Z_c^2)^2}{(N_1 + N_2)(N_1 + N_2 / Z_c^4)},$$

$$Z_c = \frac{\Delta_1(T \rightarrow T_c)}{\Delta_2(T \rightarrow T_c)} = \frac{1 - N_2 V_{22} x_c}{N_1 V_{12} x_c}. \quad (19)$$

The estimate of the ratio Z_c on the base of experimental data (16) and on the base of the first formula (19) gives the value $Z_c = 3,19$. The second formula (19) gives the value $Z_c = 3,26$. So we conclude that $D_1(T)/D_2(T)$ isn't a constant value since $Z(0) > Z_c$.

On the fig.1 is presented the dependence of the upper critical field H_{c2} from the temperature, which is obtained by numerical method of solving the equation (8) and using its analytic solutions when $T \ll T_c$ (13) and $T \sim T_c$ (11).



The temperature dependence $H_{c2}(T)/H_{c2}(0)$ at $N_1V_{11} = 0,3$, $N_2V_{12} = 0,12$, $N_1/N_2 = 0,8$ and $v_1/v_2 = 1$, $v_1/v_2 = 2$, $v_1/v_2 = 3$ (curves 1,2,3 correspondingly), curve interrupted corresponds to the experimental dependence [11].

References

1. Nagamatsu, J., Nakagawa, N. at all, *Natura*, 2001, V.410, 63 p.
2. Tsuda, S., Yokoya, T. at all, *Phys. Rev. Lett.* 2001, V.87, 1770 p.
3. Москаленко, В.А., *Физика металлов и металловедение*, 1959, т.8, 503 стр.
4. Москаленко, В.А., Палистрант, М.Е., Вакалюк, В.М., *Успехи Физических наук*, 1991, т.161, 155 стр.
5. Mishonov, T., Drechsler, S., Penev, E., *Modern Physics Letters*, B.2003, V.17, 755 p.
6. Москаленко, В.А., *ЖЭТФ*, 1966, т.51, 1163 стр.
7. Maki, K., Tsuzuki, T., *Phys. Rev.* 1965, V. A 139, 868 p.
8. Choi, H.J., Cohen, M. L., Louie, S. G., *Physica C* 385, 66 (2003).
9. Bouquet, F., Wang, Y. at all, *Physica C* 385, 192 (2003), *Cond. mat.* 0210706.
10. Moskalenko, V. A., Kon, L. Z., Palistrant, M. E., *Low -Temperature Properties of Metals with Band Spectrum Singularities*, Kishinev, Shtiinta, 1989.
11. Confield, P.C., Bud'ko, S. L., Finnemore, D. K., *Physica C* 385, 1 (2003).

CÂMPUL CRITIC SUPERIOR ÎN BAZA MODELULUI BIZONAL

Vitalie Ursu (Institutul de Fizică Aplicată al A.Ș., Republica Moldova)

Descoperirea temperaturii înalte de tranziție în stare supraconductoare ($T_c \sim 40\text{K}$) a compușilor simpli intermetalici MgB_2 [1] a stimulat cercetările proprietăților acestor materiale atât în plan experimental, cât și în plan teoretic. Un rezultat important al acestor cercetări este constatarea unui salt energetic bizonal în spectrul excitărilor elementare [2] și posibilitatea descrierii lor teoretice pe baza modelului bizonal [3].

Prezentat la redacție la 19 ianuarie 2006

CZU 537.633.2.001.73

CARACTERISTICILE UNOR INSTALAȚII PENTRU STUDIAREA EFECTELOR GALVANOMAGNETICE

Andrei Nicorici, Alexandru Rusu, Alexandru Todosiuc

(Laboratorul Internațional de Supraconductibilitate și Electronica Solidului al A.Ș., Republica Moldova),

Virgil Cheptea (Universitatea de Stat „Alec Russo”, Republica Moldova)

Se caracterizează parametrii instalațiilor pentru măsurarea tensiunii termoelectromotoare, a rezistenței electrice și a tensiunii Hall. Pentru calibrarea lor au fost studiate trei probe de *n-InSb*. Au fost stabilite dependențele $S = f(T)$, $n = f(T)$, $R_H = f(T)$, $m_H = f(T)$.

În ultimele decenii, în electronica aplicată și în construcția aparatelor de măsură, a avut loc o revoluție, care, în fond, se datorește perfecționării dispozitivelor semiconductoare cu puritate înaltă. Perfecționarea tehnologiei de obținere a unor asemenea materiale semiconductoare a fost stimulată și de tendința de a dirija proprietățile lor fizice. Din acest motiv, prezintă un interes deosebit cercetările experimentale ale acestor materiale semiconductoare. Un material bine studiat este antimonidul de indiu. Există chiar o teorie specială dedicată acestui semiconductor (teoria lui Kane) [1, 2]. În practică, el este folosit ca etalon pentru calibrarea instalațiilor experimentale utilizate la studierea proprietăților fizice a semiconductoarelor, în particular, a fenomenelor galvanomagnetice.

Caracteristicile instalației pentru măsurarea tensiunii termoelectromotoare

Instalația pentru măsurarea tensiunii termoelectromotoare utilizată în Laboratorul Internațional de Supraconductibilitate și Electronica Solidului (LISES) al A.Ș. din Moldova constă din următoarele componente: blocul de alimentare *TEC18*, blocul de comutare, blocul de termostabilizare, un aparat de tipul *UI300*. Schema – bloc a instalației este prezentată în fig. 1.

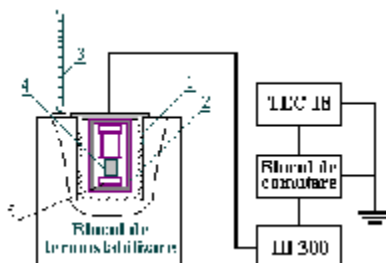


Fig. 1. Schema – bloc a instalației pentru măsurarea tensiunii termoelectromotoare: 1 – camera de măsurare; 2 – susținător cu probă; 3 – termometru; 4 – proba din *InSb*; 5 – încălzitor electric.

În partea de jos a susținătorului este montat un încălzitor electric special pentru crearea gradientului de temperatură la capetele probei. Cu ajutorul termocupurilor confecționate din $Cu-CuNi$, care se fixează la capetele probei, putem determina temperatura și gradientul de temperatură. Schema electrică a instalației date este prezentată în fig. 2.

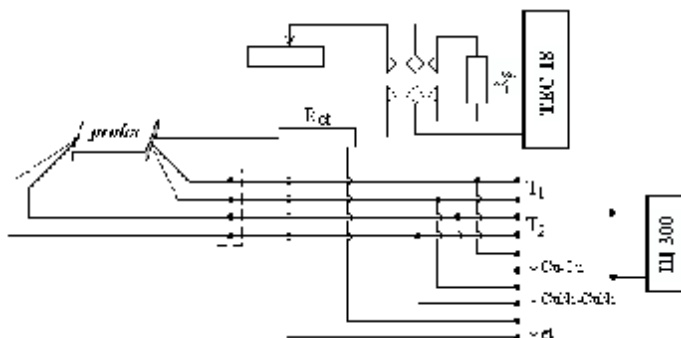


Fig. 2 Schema electrică a instalației pentru măsurarea tensiunii termoelectromotoare: T_1, T_2 termocupluri.

Această instalație poate fi folosită și pentru măsurarea conductibilității electrice a cristalelor, dar într-un interval mai îngust de temperaturi, determinat de rezoluția termostatului. Probele studiate au forma prezentată în fig. 6. Conductibilitatea electrică se determină după relația:

$$s = \frac{c \cdot I_x}{U_s \cdot S} = \frac{c \cdot U_{et}}{U_s \cdot R_{et} \cdot S} \quad (1)$$

De obicei, curentul ce trece prin probă este de ordinul a 100 mA (curenți de o intensitate mai mare pot modifica temperatura probei).

În cazul utilizării instalației date pentru determinarea dependenței coeficientului termoelectric de temperatură, se folosesc relațiile:

$$a_1 = a_{Cu-CuNi} \cdot \frac{U_1}{U_2 - U_1} + a_{Cu-proba} \quad (2)$$

$$a_2 = a_{Cu-CuNi} \cdot \frac{U_2}{U_2 - U_1} + a_{CuNi-proba} \quad (3)$$

În relațiile (1), (2), și (3), s - conductibilitatea electrică; U_1 și U_2 - tensiunile dintre contactele electrice ale termocupurilor respective; $S = b \cdot d$ - aria secțiunii transversale a probei; I_x - intensitatea curentului electric în probă; U_s - diferența de potențial dintre contactele electrice 4 și 5; c - distanța dintre contactele 4 și 5; a - coeficientul termoelectric, R_{et} - rezistența etalon, U_{et} - tensiunea de pe rezistența etalon.

De obicei, $a_{Cu-proba}$ este de ordinul a $3 \div 5 \text{ mV/K}$. Precizia măsurărilor efectuate pentru determinarea coeficientului termoelectric cu ajutorul acestei instalații nu depășește 2,5%.

Caracteristicile instalației pentru măsurarea conductibilității electrice

Instalația pentru măsurarea conductibilității electrice utilizată în *LISES* al A.Ș. din Moldova constă din următoarele componente (vezi fig. 3): susținător special (în figură nu este indicat), sursă de curent continuu de tipul *B5-49*, vasul Dewar, calculator, termocuplul *T*, aparat de măsurare de tipul *III300*.

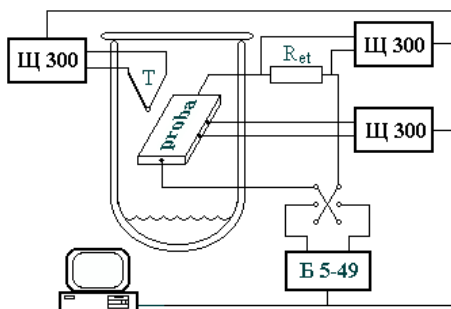


Fig. 3. Schema – bloc a instalației pentru măsurarea conductibilității electrice.

Spre deosebire de instalația pentru determinarea coeficientului termoelectric, instalația respectivă permite prelucrarea datelor experimentale în mod automat cu ajutorul calculatorului.

Măsurările se efectuează în intervalul de temperaturi 78-300 K. Instalația permite comutarea direcției curentului electric, micșorându-se, astfel, eroarea condiționată de inexactitatea aranjării contactelor electrice pe probe.

Inițial, proba se răcește pînă la 77 K, apoi, după evaporarea surplusului de azot, temperatura probei se va ridica, treptat, pînă la temperatura camerei.

Conductibilitatea electrică a probei se determină cu ajutorul relației (1).

Eroarea relativă a măsurărilor este de circa 7%.

Măsurările pentru determinarea conductibilității electrice a probelor din InSb au fost efectuate și cu ajutorul unor instalații care au la bază puntea de curent continuu *P3009* și potențiometrul *P363-3*, confecționate în laboratorul "Metode experimentale de studiere a proprietăților fizice ale substanței" al Universității de Stat "Alecu Russo". Aceste instalații asigură promovarea măsurărilor cu o precizie înaltă, iar rezultatele obținute cu ajutorul lor pot servi ca măsurări de control (la temperatura respectivă). Schemele instalațiilor pentru măsurarea rezistenței electrice cu ajutorul punții *P3009* și potențiometrului *P363-3* sunt prezentate în fig. 4.

În fig. 4a și 4b, *SCC* – sursa de curent continuu; *S* – întrerupător; *V* – voltmetru (cu limitele de măsurare respective); R_p – rezistență adițională variabilă; S_I – cheie dublă pentru inversarea sensului curentului electric; R_x – rezistență necunoscută (în cazul nostru proba din InSb); *AC* – autocompensator; r_c – fire de conexiune ($r_c \leq 0,001 W$); 1, 2, 3, 4, $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, T_1, T_2, T_3, T_4$ – cleme pentru conectarea rezistenței necunoscute și rezistenței etalon; *A* – ampermetru (cu limitele de măsurare respective); R_{sc} – rezistență a firelor de scurtcircuitare; X_I și X_2

– borne pentru măsurarea căderilor de potențial pe rezistența necunoscută și rezistența etalon, B - sursă de curent exterioră.

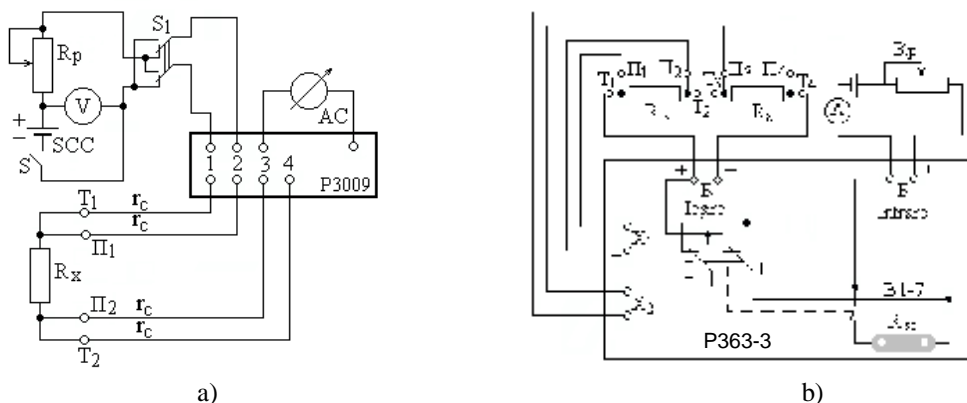


Fig. 4. Schema-bloc a instalației pentru măsurarea rezistenței electrice cu ajutorul punții P3009 (a); Schema-bloc a instalației pentru măsurarea rezistenței electrice cu ajutorul potențiometrului P363-3 (b).

Precizia măsurărilor la instalația confecționată pe baza punții duble este de ordinul a $0,02 \pm 0,2\%$. O precizie și mai înaltă la determinarea rezistenței electrice a probei se poate obține efectuând măsurările cu ajutorul instalației confecționate pe baza potențiometrului P363-3 (fig. 4.b).

Rezultatele experimentale obținute la determinarea conductibilității electrice cu ajutorul acestor instalații corelează cu rezultatele obținute prin utilizarea instalației prezentate în fig. 3.

Caracterizarea instalației pentru măsurarea tensiunii Hall

Instalația utilizată în LISES al A.Ș. din Moldova pentru măsurarea tensiunii Hall constă din următoarele componente (vezi fig. 5): susținător special (în figură nu este indicat), sursă de curent continuu de tipul B5-49, vas Dewar, calculator, termocuplu T , aparate de măsurare de tipul III300, solenoid, bloc de alimentare al solenoidului.

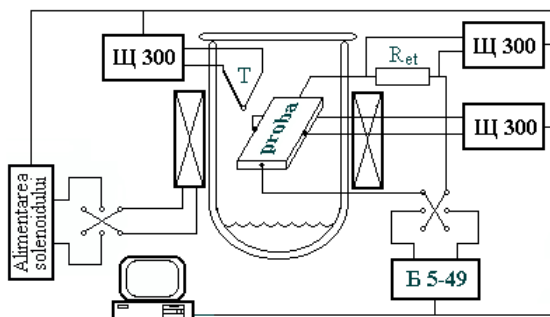


Fig. 5. Schema-bloc a instalației pentru măsurarea tensiunii Hall.

Instalația permite modificarea simultană a direcției curentului electric ce trece prin probă și prin solenoid. Constanta Hall și mobilitatea se determină după formulele [3]:

$$R_H = \frac{b}{I_x} \cdot \frac{U_y}{B_z};$$

$$m_H = \frac{c}{d} \cdot \frac{U_y}{U_s} \cdot \frac{1}{B_z},$$

iar concentrația purtătorilor de curent – după formula:

$$s = n \cdot e \cdot m_H,$$

unde b – distanța între contactele electrice 3 și 4 (fig. 6); B_z – inducția câmpului magnetic; U_s – diferența de potențial dintre contactele electrice 4 și 5; U_y – tensiunea Hall; d – grosimea probei.

Măsurările pot fi efectuate în intervalul de temperaturi de la 78 K până la 300 K peste fiecare 4 K. Câmpul magnetic este de ordinul $B = 0,84 T$. Precizia măsurărilor la această instalație nu se deosebește esențial de cea obținută la instalația pentru măsurarea conductibilității electrice, însă există un șir de efecte secundare de care trebuie să se țină cont: T.E.M. nechipotențialității, efectul magnetorezistiv, tensiunea termoelectromotoare, galvano-termomagnetice transversală, termogalva-nomagnetice, termomagnetice, electrotermice (tensiunea electrotermică și termomagnetice depind de direcția curentului electric și a câmpului magnetic).

Din această cauză, tensiunea măsurată la contactele Hall se definește ca suma algebrică:

$$U_\Sigma = U_y + \sum_i U_i.$$

Pentru a micșora influența efectelor galvano- și termomagnetice, este necesară asigurarea unei geometrii corecte a plasării contactelor și balansarea lor electrică, iar câmpurile primare (E_x și B_z) trebuie să fie omogene.

Probele semiconductoare studiate

Au fost cercetate trei probe de tipul $n - InSb$ (fig. 6).

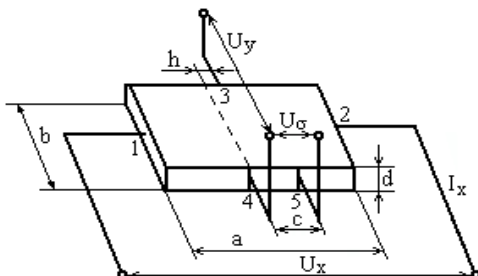


Fig. 6. Proba pentru măsurarea efectului Hall și conductibilității electrice.

Dimensiunile probelor utilizate, care au forma unui paralelipiped regulat, sînt date în tabelul 1.

Tabelul 1.

Parametrii geometrici ai probelor

Nr. probei	a	b	d	h
1	3,7 mm	2,9 mm	0,7 mm	0,05 mm
2	4,5 mm	2,2 mm	0,6 mm	0,07 mm
3	3,5 mm	3,0 mm	0,7 mm	0,08 mm

E de menționat că forma și dimensiunile probelor pot influența considerabil asupra fenomenelor galvanomagnetice. Cercetările detaliate ale influenței geometriei probei asupra lor au fost efectuate în [3, 5].

În fig. 7 este reprezentată dependența tensiunii Hall de raportul dintre lungimea și lățimea probei. Se observă că, pentru $a/b < 3$, este necesară raportarea tensiunii Hall la coeficientul de corecție $K_{a/b} = U_{m\grave{a}s}/U_y$. Dacă $a/b > 3$, se consideră că tensiunea măsurată U_y este egală cu tensiunea Hall.

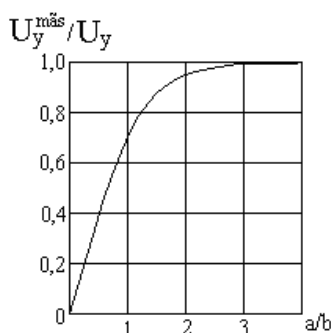


Fig. 7. Dependența coeficientului $K_{a/b} = U_{m\grave{a}s}/U_y$ de raportul a/b .

Pentru determinarea coeficientului de corecție $K_{a/b}$, s-a folosit următoarea expresie [5]:

$$K_{a/b} = 1 - \frac{16}{p^2} e^{-\frac{p \cdot a}{2 \cdot b}} \left(1 - \frac{8}{9} e^{-\frac{p \cdot a}{b}} \right) \cdot \left(1 - \frac{q^2}{3} \right). \quad (4)$$

În tabelul 2 sunt prezentate valorile coeficientului de corecție $K_{a/b}$, calculate după relația (4) pentru câteva valori ale raportului a/b și eroarea corespunzătoare δ , ce apare dacă nu ținem cont de coeficientul de corecție $K_{a/b}$:

Tabelul 2.

Valorile coeficienților de corecție

a/b	0,5	1	2	3	4	5
$K_{a/b}$	0,394	0,683	0,930	0,985	0,997	0,9994
$d, \%$	60,6	31,7	6,96	1,46	0,3	0,06

Ținându-se cont și de factorul geometric, se poate afirma că eroarea admisă la efectuarea măsurărilor pentru cercetarea efectului Hall cu instalația descrisă este de ordinul a $8 \div 10$ %.

Rezultatele experimentale

Rezultatele experimentale obținute cu ajutorul instalațiilor analizate mai sus sînt prezentate în fig. 8 -12.

S-a măsurat, de asemenea, tensiunea termoelectromotoare în intervalul de temperaturi $280 \div 308$ K. Valoarea coeficientului a în acest diapazon de temperaturi variază între $198,7$ și $210,5$ mV/K.

Rezultatele obținute cu ajutorul instalațiilor descrise mai sus sînt în concordanță cu rezultatele lucrărilor [4, 6, 7, 8, 9].

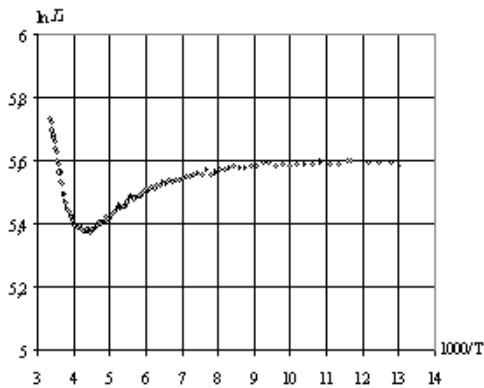


Fig. 8. Dependenta conductivității electrice de temperatură

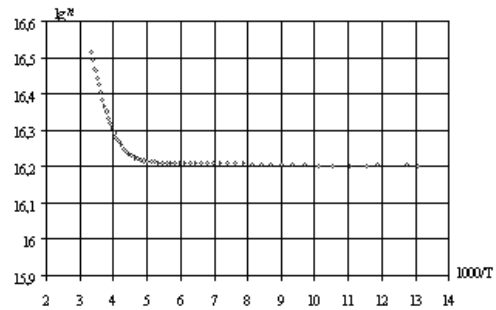


Fig. 9. Dependenta concentrației electronice în InSb de temperatură

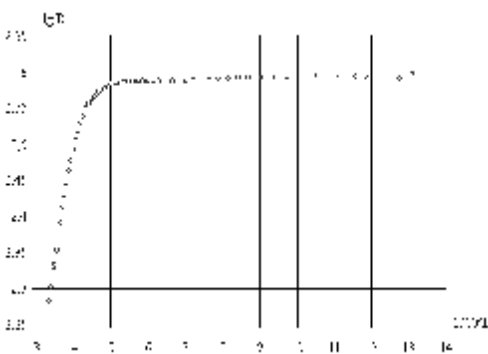


Fig. 10. Dependenta constantei Hall de temperatură

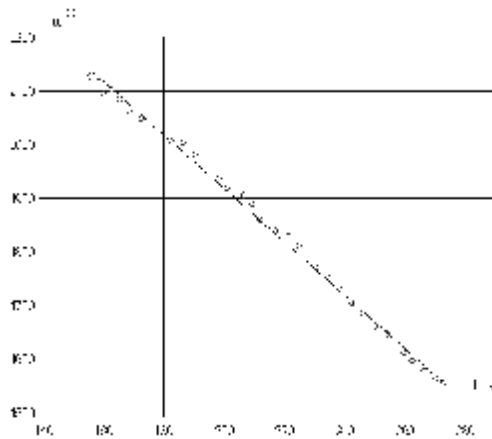


Fig. 11. Dependenta $\mu^{2/3}$ de temperatură

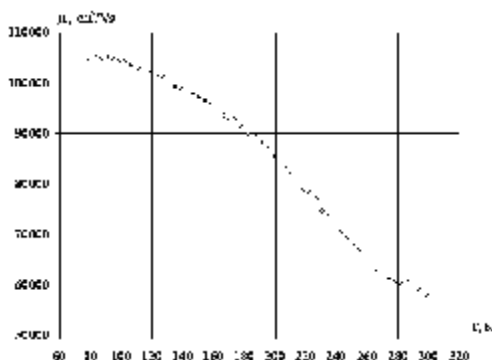


Fig. 12. Dependența mobilității Hall de temperatură

Bibliografie

1. Маделунг, О., *Физика полупроводниковых соединений элементов III и IV групп*, Москва, 1967, 483 стр.
2. *Материалы, используемые в полупроводниковых соединениях* // Под ред. Хогартаб Москва, 1968, 280 стр.
3. Кучис, Е. С., *Методы исследования эффекта Холла*, Москва, Советское радио, 1974, 180 стр.
4. Madelung, O., Weiss, H. Zs., *Naturforsch*, 9a, 527.
5. Kuhrt, F., Lippmann, H. J., *Hallgeneratoren und Muwendungen*, Springer, Verlag, 1968.
6. Кайданов, В. И., Лискер, И. С., *К вопросу об определении гальвано- и термомагнитных явлений в полупроводниках* // т. 8, 1965, 190 стр.
7. Hrostowski, H. J., Morin, F. J., Geballe, T. H., Wheatley, G.H., *Phys. Rev.*, 100, 1672.
8. Rupprecht, H., Weber, J. E., Weiss, H. Zs., *Naturforsch*, 15a, 783.
9. Roberts, V., Quarrington, J.E., *Journ. Electron.*, 1, 152, 1955.

THE CHARACTERISTICS OF SOME INSTALLATIONS FOR THE STUDY OF GALVANOMAGNETIC EFFECTS

Andrei Nicorici, Alexandru Rusu, Alexandru Todosiciuc

(International Laboratory of Superconductivity and Electronics of Solid of the Academy of Sciences, Republic of Moldova),

Virgil Cheptea (State University „Alecus Russo”, Republic of Moldova)

The parameters of installations for measurement of thermoelectromotive force, electroresistance and voltage of Hall are characterized. Three samples of n- InSb were investigated. The dependences $d = f(T)$, $n = f(T)$, $R_H = f(T)$, $\mu = f(T)$ were established.

Primit la redacție la 22 decembrie 2005

C.Z.U.538.9

INFLUENȚA TRATAMENTULUI TERMIC ASUPRA MORFOLOGIEI SUPRAFETEI STRATURILOR SUBȚIRI POLICRISTALINE

Mihail Popa (Universitatea de Stat „Alecu Russo”, Republica Moldova),
Gheorghe Ioan Rusu (Universitatea „Al. I. Cuza”, România)

Straturile subțiri de $ZnSe$ (cu grosimea $d = 0.42 - 1.23 \text{ nm}$) au fost preparate pe suporturi de sticlă prin evaporare termică în vid, în volum cvasi-închis.

Morfologia suprafeței straturilor subțiri policristaline a fost studiată prin microscopie electronică de baleaj. Imaginile obținute arată că straturile sunt compacte și uniforme, cu granulație fină. Rugozitatea straturilor are valori cuprinse între 20 și 60 nm. S-a constatat, de asemenea, că pentru eșantioanele tratate termic grăunții cristalini devin mai mici.

Micșorarea dimensiunilor cristalitelor, ca rezultat al tratamentului termic, a fost stabilită și prin calculul acestor dimensiuni din difractogramele trasate pentru straturile subțiri tratate termic.

Introducere

Metodele de studiu ale straturilor subțiri se divizează în metode pentru studiul straturilor superficiale ale probelor și metode pentru studiul structurii întregului strat (în volum) pe întreaga sa adâncime. Pentru studiul structurii straturilor subțiri se folosesc cu mult succes radiațiile X și electronice, precum și alte metode de analiză. Cu ajutorul radiațiilor X poate fi studiată atât starea suprafeței, cât și stratul în toată profunzimea sa (analiza în volum). În acest scop se folosește fie difracția radiațiilor X pe planele cristaline, fie reflexia fluxului de radiații X pe suprafața probelor (metoda topografică).

Pentru investigarea morfologiei suprafeței straturilor subțiri se folosește pe larg Microscopia cu Forță Atomică (Atomic Force Microscopy – AFM), Microscopia Electronică de Baleaj (Scanning Electron Microscopy – SEM) și Microscopia Electronică prin Transmisie (Transmission Electron Microscopy – TEM).

Scopul acestei lucrări este de a prezenta influența tratamentului termic asupra morfologiei suprafeței straturilor subțiri de $ZnSe$. Rezultatele obținute au fost analizate raportate fiind la rezultatele obținute în studiul structurii straturilor subțiri.

Conținutul lucrării

Investigarea suprafeței straturilor subțiri a fost realizată prin microscopie electronică de baleaj (SEM) folosindu-se un microscop electronic cu baleaj tip TESLA BS-300, cu rezoluție de 10 nm.

Caracteristicile structurii cristaline și orientarea cristalitelor în straturile subțiri de $ZnSe$ au fost studiate prin difracție de radiații X cu ajutorul unui difractometru tip DRON-2, care folosește radiația CoK_{α} cu lungimea de undă $\lambda =$

1,790 Å. Parametrii tubului Roentgen: tensiunea de accelerare $U = 20 - 32$ kV; curentul din tub $i = 10 - 22$ mA; lățimea ferestrei: $F_1 = 2$ mm, $F_2 = 0.5$ mm; viteza unghiulară, $w = 10 - 20$ °/min; viteza liniară de derulare a hârtiei inscriptorului, $v = 720 - 780$ mm/s.

Rezultate experimentale. Analiza rezultatelor experimentale

În scopul obținerii informației referitoare la structura straturilor, am apelat la microscopia electronică de baleaj (SEM). Imaginile SEM au fost obținute prin mărimi succesive ale unor porțiuni din ce în ce mai mici de pe suprafața probei respective pentru a putea distinge structura policristalină a stratului.

Imaginea SEM a suprafeței unui strat subțire de *ZnSe* este prezentată în figura 1a. Se observă că eșantionul prezintă cristalite de dimensiuni mici, iar forma și dimensiunile acestora sunt asemănătoare. Rugozitatea straturilor are valori cuprinse între 20 și 60 nm. Imaginea suprafeței stratului constituie un indiciu al unei creșteri de tip “columnar” a straturilor (cristalitele au forma unor coloane crescute perpendicular pe suport).

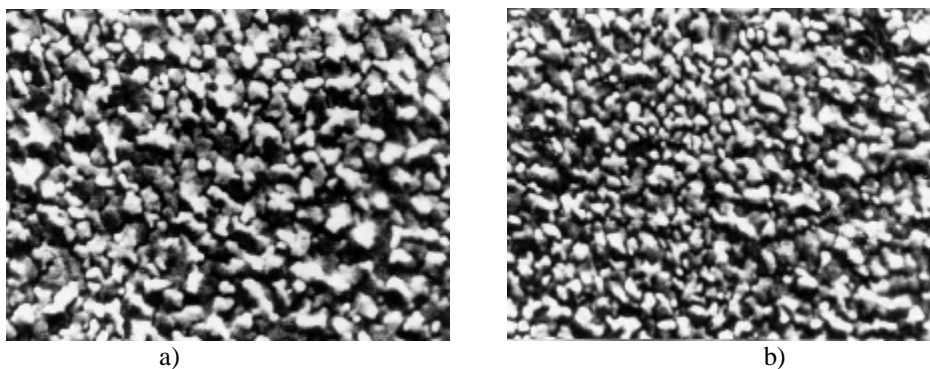


Fig. 1. Efectul tratamentului termic asupra imaginilor SEM ($\times 12000$) ale suprafeței unui strat subțire de *ZnSe* ($d = 0.91$ nm, $T_{sup} = 300$ K, $r_d = 1.72$ nm/s): a) probă netratată termic, b) probă tratată termic.

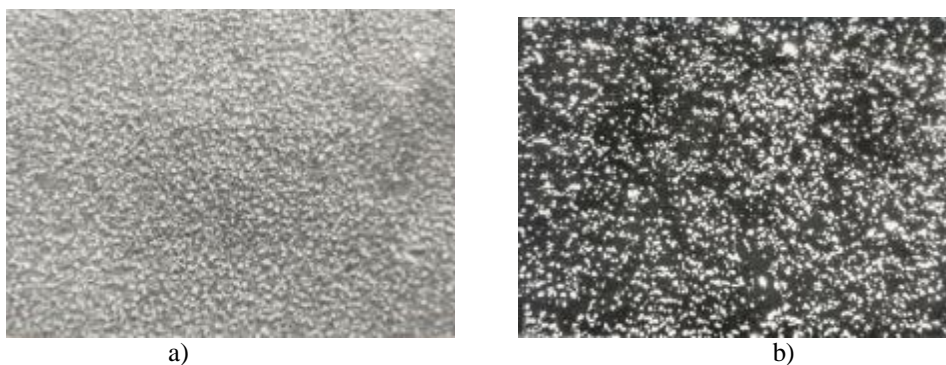


Fig. 2. Efectul tratamentului termic asupra imaginilor SEM ($\times 3000$) ale suprafeței unui strat subțire de *ZnSe* ($d = 0.91$ μm, $T_{sup} = 300$ K, $r_d = 1.72$ nm/s): a) probă netratată termic, b) probă tratată termic.

Aici sunt reprezentate, de asemenea, imaginile SEM pentru straturile subțiri de *ZnSe* obținute înainte (fig. 1a și 2a) [1, 2] și după tratamentul termic (fig. 1b și 2b) [1, 2]. Se observă că tratamentul termic determină o micșorare a dimensiunilor cristalitelor. În același timp, ar putea avea loc și o creștere a înălțimii cristalitelor, adică o alungire a acestora, fapt pus în evidență și prin apariția unor mici domenii negre pe imaginile din figura 2b, **care vorbește** despre apariția unor zone adânci în structura straturilor subțiri de *ZnSe*.

Anume aceste modificări de structură influențează proprietățile electrice și optice ale straturilor subțiri de *ZnSe*.

Micșorarea dimensiunilor cristalitelor, ca rezultat al tratamentului termic, a fost stabilită și prin determinarea acestor dimensiuni din difractogramele trasate pentru straturile subțiri de *ZnSe* tratate termic (fig. 3 și 4).

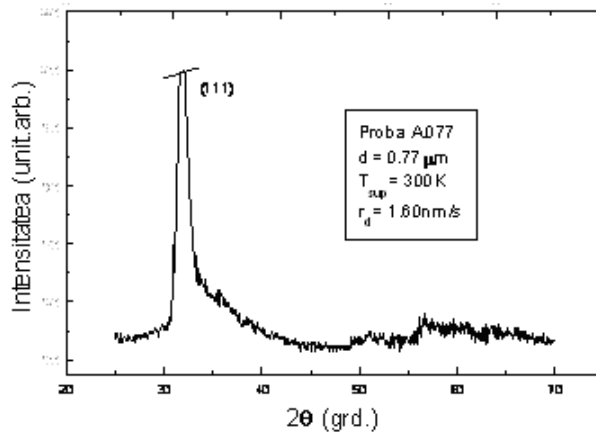


Fig. 3. Difractograma de radiații X (CoK_{α} , $\lambda = 1,790\text{\AA}$) pentru proba A.077.

Datorită faptului că difractogramele straturilor subțiri de *ZnSe*, studiate de noi, prezintă un singur maxim intens corespunzător planelor (111), dimensiunea cristalitelor a fost determinată folosindu-se **doar** datele pentru acest maxim.

În condițiile în care profilul liniei de difracție este considerat de tip gaussian, dimensiunea cristalitelor în direcția normală la suprafața stratului se poate determina cu ajutorul relației [3, 4, 5]

$$\beta^2 \approx \left(\frac{0.9\lambda}{L \cos \theta} \right)^2 + \left(4 \frac{\Delta d}{d} \tan \theta \right)^2, \quad (1)$$

unde: b reprezintă semilărgimea corectată a maximului de difracție (111), \AA ; L este lungimea de undă a radiației X utilizate, \AA ; θ – unghiul de difracție, grade; d – distanța interplanară calculată după relația Bragg (4.6), nm ; $\Delta d/d$ – microtensiunea, iar L – dimensiunea medie a cristalitelor pe direcția perpendiculară la planul de difracție, \AA .

Microtensiunile din strat au fost estimate în conformitate cu relația:

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{d - d_0}{d}, \quad (2)$$

în care $d_0 = 3.272 \text{ \AA}$ este distanța interplanară în direcția [111].

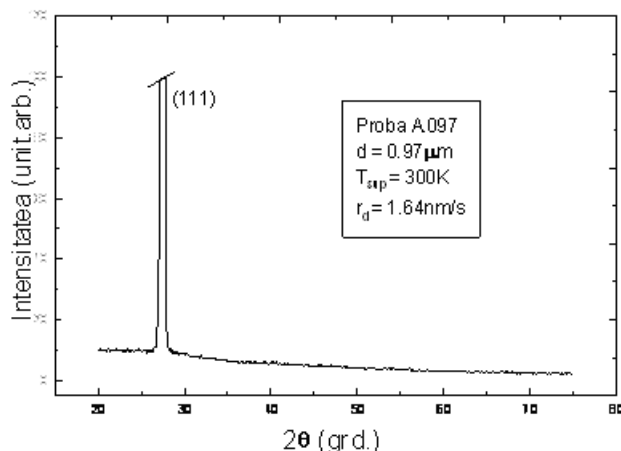


Fig. 4. Difractograma de radiații X ($\text{CuK}\alpha$, $I = 1.5418 \text{ \AA}$) pentru proba A.097.

Valorile medii ale dimensiunilor cristalitelor în direcția [111], L , evaluate în conformitate cu relația (1), pentru probe obținute în diverse condiții experimentale sunt prezentate în tabel.

Se constată că tratamentul termic duce la o ușoară scădere a dimensiunilor cristalitelor, determinate prin acest procedeu.

Dimensiunile cristalitelor straturilor subțiri de ZnSe

Proba	$d, \text{ nm}$	$T_{sup}, \text{ K}$	Radiația	$r_d, \text{ nm}$	$L, \text{ \AA}$	
					probă netratată termic	probă tratată termic
A.050	0.50	300	$\text{CoK}\alpha$	1.790	320	300
A.077	0.77	300	$\text{CoK}\alpha$	1.790	336	310
A.065	0.65	300	$\text{CuK}\alpha$	1.542	330	303
A.099	0.99	300	$\text{CuK}\alpha$	1.542	338	316

Concluzii

Analiza eșantioanelor obținute au demonstrat că straturile subțiri de ZnSe sunt policristaline, cu cristalite de dimensiuni mici și au o structură cubică de tip blendă de zinc. Straturile sunt compacte și prezintă o rugozitate mică.

În rezultatul tratamentului termic, dimensiunea medie a cristalitelor se micșorează de la 338 \AA până la circa 300 \AA .

Bibliografie

1. Rusu, G.I., Popa, M.E., Salaoru, Iu., Rusu, G. G., The influence of the heat treatment on the electrical and optical properties of polycrystalline ZnSe films // Analele Științifice ale Universității "Al.I.Cuza" din Iași, seria "Fizica Plasmei și Spectroscopie", 2001, T. XLVII, p. 149-156.

2. Popa, M.E., Salaoru, Iu., Rusu, G. I., *Studies on the optical properties of polycrystalline ZnSe thin films* // Conferința Națională de Fizică, Iași, 18-20 octombrie, 2001, p. 121.
3. Popa, M.E., *Contribuții la studiul proprietăților electrice și optice ale unor compuși semiconductori binari în straturi subțiri: Rezumatul tezei de doctorat*, Universitatea "Al. I. Cuza", Iași, 2003, 56 p.
4. Klug, H.P., Alexander, L. E., *X-ray Diffraction Procedures for Polycrystalline and Amorphous Materials*, 2nd ed.-New York, Wiley, 1974, 420 p.
5. Cullity, B.D., *Elements of X – ray Diffraction*, London, Addison Wesley, 1990, 450 p.

THE INFLUENCE OF HEAT TREATMENT UPON THE SURFACE MORPHOLOGY OF POLYCRYSTALLINE THIN FILMS

Mihail Popa (State University „Alec Russo”, Republic of Moldova)
Gheorghe Ioan Rusu (University „Al. I. Cuza”, România)

Zinc selenide (*ZnSe*) thin films (with thickness $d = 0.42 - 1.23 \text{ } \mu\text{m}$) were deposited onto glass substrates by quasi – closed volume technique under vacuum.

The surface morphology of polycrystalline thin films has been investigated by scanning electron microscopy. The obtained images show that thin films are compact and uniform, with gentle granulation. The films roughness has dimensions between 20 and 60 nm. It has also been proven that for the heat treated probes the crystal granules become smaller.

The decrease of the crystallite sizes, after heat treatment, was established by calculating these dimensions from the diffractograms obtained for the heat treated thin films.

Prezentat la redacție la 18 noiembrie 2005

C.Z.U.538.9

OBTINEREA STRATURILOR SUBȚIRI DE ZnSe PRIN METODA EVAPORĂRII TERMICE ÎN VID

Mihail Popa (Universitatea de Stat „Alec Russo”, Republica Moldova),
Gheorghe Ioan Rusu (Universitatea „Al. I. Cuza”, Romania)

Au fost obținute straturi subțiri de *ZnSe* prin metoda evaporării termice în vid, în volum cvasi-închis, folosind instalația de tip UVN-70A-1. Pentru a prepara probe cu caracteristici structurale diverse și deci cu proprietăți electrice și optice posibil diferite, au fost proiectate și realizate unele dispozitive suplimentare la instalația de depunere: dispozitiv de fixare a suporturilor, măști pentru prepararea straturilor subțiri și a suporturilor, ecrane de protecție etc. Dispozitivele realizate au permis obținerea unor straturi subțiri policristaline de *ZnSe* în diverse condiții: temperatura suportului în timpul depunerii a variat între 1000 și 1500 K. Distanța evaporator – suport a fost modificată între 70 și 120 mm. Au fost obținute straturi subțiri cu grosimi cuprinse între 0.15 și 1.70 μm .

Introducere

Straturile subțiri se aplică pe scară largă în numeroase domenii ale științei și tehnicii. Cele mai spectaculoase aplicații ale straturilor subțiri metalice, semiconductoare, dielectrice etc. se fac în microelectronică, electronica frecvențelor înalte, tehnica laserilor, automată și calculatoare etc.

Cu straturi subțiri se construiesc filtre și oglinzi optice speciale, tensometre, detectoare de radiații, bolometre, baterii solare, dispozitive optoelectronice și alte numeroase și variate dispozitive mult solicitate în industrie și tehnică [1-3].

Ca urmare, odată cu creșterea aplicațiilor straturilor subțiri, a crescut și interesul față de proprietățile și caracteristicile acestor straturi, au fost elaborate metode noi de obținere a acestora.

Straturile subțiri pot fi obținute prin metode mecanice, chimice, precum și prin condensare din fază gazoasă. Metoda condensării din fază gazoasă înscrie mai multe procedee prin care pot fi obținute straturile subțiri: evaporare termică în vid, pulverizare catodică, pulverizare în plasmă, reacție în fază de vapori (creștere epitaxială), reacții de oxidare etc.

Cel mai frecvent utilizat procedeu de obținere a straturilor subțiri prin condensare din fază gazoasă este evaporarea termică în vid sau în atmosferă inertă, acest procedeu prezentând avantajele care-l fac accesibil și, ca atare, destul de răspândit.

În calitate de material de evaporat am folosit cristale de seleniură de zinc. Straturile obținute au fost utilizate pentru studiul proprietăților electrice, optice și fotoelectrice ale ZnSe. Obținerea straturilor de înaltă calitate, corelarea condițiilor de depunere cu structura acestora au constituit obiectivele cercetării noastre. O altă sarcină importantă a fost studierea influenței tratamentului termic asupra structurii și morfologiei de suprafață a eșantioanelor obținute.

Conținutul lucrării

Procesul de obținere a straturilor subțiri prin evaporare termică în vid decurge în două etape principale: evaporarea substanței care trebuie depusă și condensarea ei ulterioară pe un suport adecvat. Procesul de condensare depinde **puternic** de temperatura suportului, de natura și gradul lui de curățenie, precum și de alți parametri, care pot varia în timpul formării stratului pe suportul de condensare. Dintre aceștia pot fi menționați unii parametri intrinseci, proprii substanței evaporate (temperatura de topire, de sublimare, natura materialului etc.), precum și unii parametri care caracterizează procesul de evaporare-condensare, cum ar fi distanța evaporator-suport, gradul de vid, densitatea fasciculului atomic (molecular), temperatura critică de condensare, mobilitatea atomilor pe suprafața suportului, prezența câmpurilor magnetice sau electrice, a radiațiilor, a impurităților etc. De parametrii enumerați depinde în mare măsură structura

cristalină, aderența la suport, grosimea, compoziția stoechiometrică, precum și alte proprietăți fizico-chimice ale straturilor subțiri obținute.

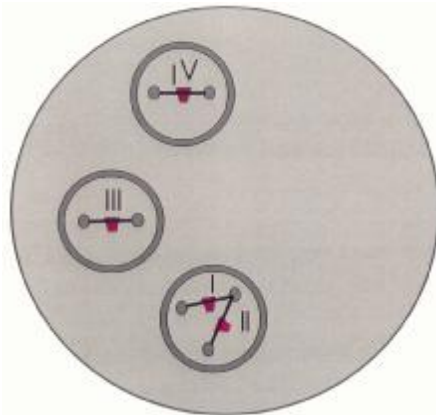


Fig. 1. Poziția evaporatoarelor în interiorul camerei de evaporare.

Pentru prepararea straturilor subțiri de ZnSe s-a utilizat instalația automată de depunere în vid tip UVN – 70A – 1, în care depunerea straturilor se poate face simultan cu patru evaporatoare (trei poziții de evaporare) (fig. 1) cu posibilitatea de a obține 6×18 eşantioane (18 dispozitive de fixare \times 6 suporturi) în același timp sau se poate utiliza un singur evaporator, într-o cameră de depunere semiînchisă și cu un volum mai mic decât al incintei de lucru (fig. 2).

În cazul folosirii simultane a celor patru evaporatoare, se acționează un mecanism special (9) care rotește suporturile (7) cu o viteză constantă. Aceasta poate fi modificată în funcție de condițiile de depunere.

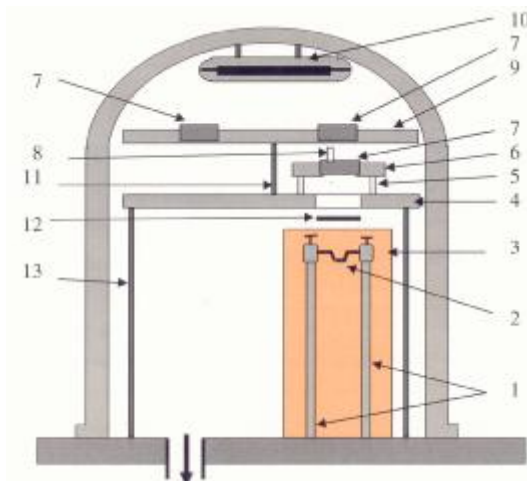


Fig. 2. Incinta de depunere a straturilor subțiri de ZnSe prin evaporare termică în vid. Elemente componente: 1 – tije metalice; 2 – evaporator; 3 – cameră de depunere semiînchisă; 4 – mască metalică; 5 – suporturi izolatoare; 6 – placă-suport; 7 – dispozitiv de fixare a suporturilor; 8 – termistor; 9 – dispozitiv de rotire a suporturilor; 10 – lămpi cu halogen; 11 – ax rotitor; 12 – ecran mobil; 13 – tije metalice.

Partea principală a instalației de vid este clopotul (fig. 2), care este confecționat din oțel inoxidabil și nemagnetic și are două ferestre rotunde cu diametrul de 150 mm fiecare, destinate observării și controlului evaporării substanței din evaporator. Pe peretele exterior al clopotului este fixată o serpentină prin care circulă apa necesară răcirii sistemului. Ridicarea și coborârea clopotului se face cu un dispozitiv de acționare hidraulică [4].

Vidul preliminar ($5 \times 10^{-2} - 1 \times 10^{-2}$ Torr) se realizează cu ajutorul unei pompe rotative mecanice. În cazul în care instalația funcționează cu răcire cu apă, pompa de difuzie cu ulei realizează un vid de 10^{-5} Torr, iar în cazul folosirii azotului lichid se poate atinge o presiune de 10^{-6} Torr [4].

Timpul de evaporare se poate măsura fie direct cu un cronometru, fie cu un dispozitiv de înregistrare automată a timpului. Ecranul mobil (12) se deplasează marcând începutul evaporării și se închide la sfârșitul acesteia.

Încălzirea suporturilor se face cu două lămpi cu halogen (10) fixate în partea superioară a clopotului și funcționarea lor este comandată de pe un panou special al dispozitivului pentru măsurarea și reglarea temperaturii tip KS 2.

Instalația de evaporare termică în vid tip UVN – 70A –1 poate funcționa în două regimuri [4]:

- a) *manual*, în care succesiunea conectării elementelor este aleasă de un operator și se efectuează manual;
- b) *automat*, în care toate operațiile procesului de evacuare după pregătirea instalației de lucru și pornirea pompei mecanice se efectuează automat.

Pentru prepararea straturilor subțiri de ZnSe, s-au folosit evaporatoare din wolfram, confecționate în formă de tăviță. Cristalele de ZnSe, fiind încălzite prin efect Joule, trec direct din stare solidă în stare de vapori, adică sublimază, și, după parcurgerea distanței evaporator-suport, condensează pe suport.

Calitatea și proprietățile straturilor subțiri depind foarte mult de natura și alte caracteristici ale suportului, cum ar fi gradul de curățenie, asperitățile suprafeței, temperatura suportului în timpul depunerii, coeficientul de dilatare termică etc. Suportul trebuie să nu reacționeze chimic cu substanța depusă, să aibă coeficient de dilatare termică cât mai apropiat de al materialului depus, să aibă o rezistență mecanică bună, grosime adecvată etc. În cazul în care este necesar, suportul trebuie să permită încălziri la temperaturi ridicate (sute de grade) sau răcirii la temperaturi joase (azot sau heliu lichid).

Este evident că numărul materialelor care satisfac aceste cerințe este relativ mic, iar în prezent se fac cercetări intense în vederea obținerii unor materiale speciale pentru suporturi, se îmbunătățesc mereu vechile materiale (sticla, ceramica, mica etc.).

Pentru prepararea straturilor subțiri de ZnSe s-au folosit suporturi de sticlă (lame de microscop), care au fost tăiate cu diamantul de diferite dimensiuni ($1,5 \times 1,5$ cm, $1,5 \times 3,5$ cm și $2,0 \times 4,0$ cm). Pentru unele măsurători s-au folosit și suporturi de Al_2O_3 .

Anterior depunerii, pentru îndepărtarea impurităților, suporturile se introduceau în amestec cromic unde se mențineau un timp îndelungat (peste 24h). După aceea, se scoteau și se clăteau cu apă distilată de câteva ori. Pentru îndepărtarea urmelor de săruri, suporturile se clăteau apoi și în alcool etilic (98%) și se puneau la uscat.

Amestecul cromic folosit la curățire se prepară în felul următor. La început, se prepară o soluție saturată de bicromat de potasiu ($K_2Cr_2O_7$). Se pune pe baia de apă la $60 - 70 ^\circ C$ și se toarnă cu atenție acid sulfuric. Trebuie menționat că în ambele operații se agită permanent soluția cu un agitator. Ca rezultat, va precipita anhidrida cromică. Se toarnă, în continuare, acid sulfuric până la dizolvarea completă a anhidridei cromice și soluția devine bună de utilizat.

Această metodă de curățare a suporturilor înainte de depunerea straturilor subțiri, precum și alte metode de pregătire a acestora, sunt descrise mai detaliat în alte izvoare [1, 2, 5, 6].

Pentru fixarea suporturilor în timpul evaporării, s-a confecționat un dispozitiv special (fig. 3), care reprezintă o placă metalică în care au fost săpate șase locașuri de dimensiuni egale cu cele ale suportului. De asemenea, au fost confecționate măști pentru prepararea straturilor subțiri cu o configurație geometrică dorită (fig. 4a) și pentru depunerea electrozilor (fig. 4b și 4c). Acestea au fost confecționate din folii metalice (alamă, duraluminiu etc.) care au o presiune mică de vapori la temperaturile de depunere a straturilor și un coeficient de dilatare termică redus.

Temperatura evaporatorului (T_{ev}) în timpul depunerii a fost măsurată cu un termocuplu $Pt-PtRh$ și putea varia în intervalul $1000 - 1500 K$. Temperatura suporturilor (T_{sup}) a fost măsurată cu ajutorul unui termistor (8) și a unui milivoltmetru, care are două ace limitatoare. Unul dintre acestea se fixează la temperatura camerei, cel de-al doilea se stabilește la temperatura necesară a suportului. Acul milivoltmetrului, odată cu creșterea temperaturii în incintă, se deplasează între cele două limitatoare și, ajungând în dreptul acului roșu, se oprește, indicând momentul începerii evaporării. Temperatura suporturilor (T_{sup}) în timpul depunerii a fost aleasă între 300 și $600 K$.

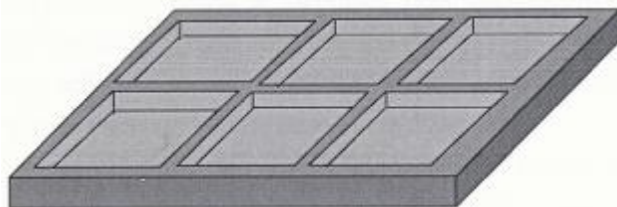


Fig. 3. Dispozitiv de fixare a suporturilor.

Modificarea condițiilor de depunere s-a efectuat prin variația temperaturii suportului și a temperaturii evaporatorului. În varianta utilizată (fig. 2) spațiul de depunere a fost limitat printr-o incintă cilindrică de sticlă. Distanța evaporator – suport putea fi modificată fie prin schimbarea înălțimii electrozilor metalici (1), fie

prin modificarea înălțimii suporturilor izolatoare (6). Ea a variat între 70 și 120 mm.

O serie de eșantioane cu ZnSe au fost preparate folosind instalația semiautomată de depunere în vid VUP-5 [7]. Incinta de depunere reprezintă un clopot din inox (de dimensiuni mai mici față de instalația UVN-70A-1) prevăzut cu două ferestre pentru observarea procesului de evaporare. Camera de depunere reprezintă un cilindru din sticlă termorezistentă cu diametrul de 7 cm și înălțimea de 8 cm. Evaporarea se face de la un singur evaporator, suporturile pot fi rotite în timpul depunerii, iar încălzirea suporturilor se face cu un cuptor special. Distanța evaporator-suport este constantă. Construcția, principiul de funcționare și modul de operare este analog cu cel al instalației de evaporare termică în vid, tip UVN-70A-1.

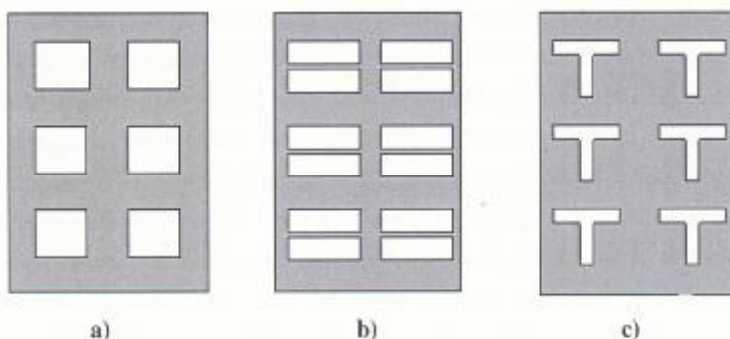


Fig. 4. Măști folosite pentru prepararea straturilor subțiri (a) și a electrozilor (b, c).

În scopul cercetării dependenței de temperatură a conductivității electrice, precum și pentru studiul curbelor de relaxare a fotoconductivității, s-au confecționat celule de măsură tip suprafață cu electrozi sub formă de straturi subțiri cu grosimi de 1 – 2 nm, depuși pe suport prin evaporare termică în vid înainte sau după depunerea stratului (fig. 5a și 5b). Distanța dintre electrozi a variat între 2 – 5 mm. În calitate de material pentru prepararea electrozilor s-a folosit In și In-Ga.

Pentru studiul caracteristicilor curent-tensiune, s-au folosit celulele de tip sandwich (fig. 5c). Pentru confecționarea acestor celule, la început, se depune primul electrod de In (folosind masca 4c) pe suportul de sticlă, după care urmează depunerea stratului subțire de ZnSe (folosind masca 4a) și în final – al II-lea electrod pe direcție perpendiculară pe primul electrod.

Pentru studiul proprietăților optice (transmisia, reflexia, absorbția), s-au folosit eșantioane fără electrozi (de tip „suport – strat”). Grosimile straturilor subțiri de ZnSe, utilizate de noi, au avut valori cuprinse între 0,15 nm și 1,70 nm.

Pentru straturile subțiri de ZnSe am efectuat studii de structură prin difracție de radiații X (X-ray Diffraction – XRD), difracție de electroni (Electron Diffraction) și investigații ale morfologiei suprafeței prin microscopie cu forță atomică (Atomic Force Microscopy – AFM), microscopie electronică de baleaj

(Scanning Electron Microscopy – SEM) și microscopie electronică prin transmisie (Transmission Electron Microscopy – TEM) [8].

Analiza eșantioanelor obținute a demonstrat că straturile obținute sunt policristaline, cu cristalite de dimensiuni mici și au o structură cubică de tip blendă de zinc. Straturile sunt compacte și prezintă o rugozitate mică [8].

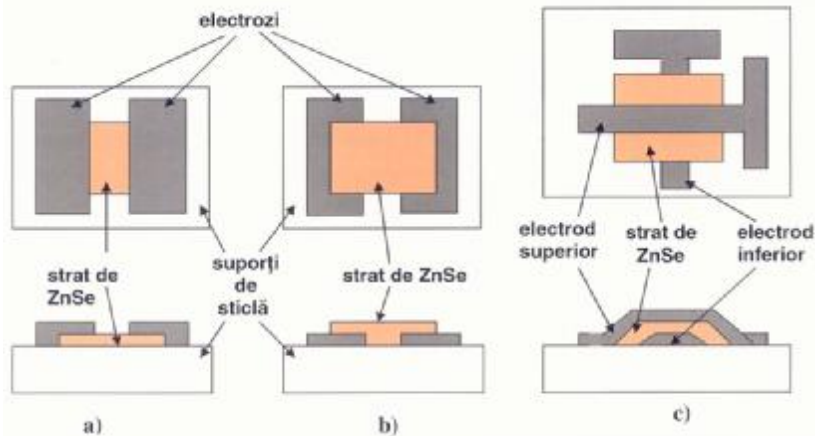


Fig. 5. Celule tip suprafață (a, b) și tip sandwich (c).

Concluzii

În comparație cu alte metode de obținere, evaporarea termică în vid prezintă o serie de avantaje, dintre care menționăm: utilizarea unor instalații de depunere mai simple (în comparație, de exemplu, cu pulverizarea catodică; obținerea unor viteze mari de depunere; posibilitatea efectuării unui control riguros al parametrilor de depunere; posibilitatea de control a grosimii stratului în timpul procesului de depunere și, drept urmare, posibilitatea obținerii straturilor cu grosimi prestabilite; obținerea straturilor de puritate înaltă, întrucât procesele au loc în vid înaintat.

Bibliografie

1. Maissel, L. I., Glang, R., *Handbook of Thin Film Technology*, New York, McGraw Hill Book, 1970, 568 p.
2. Слудкая, В. В., *Тонкие пленки в технике сверхвысоких частот*, Москва, Советское Радио, 1967, 320 стр.
3. Spîulescu, I., *Fizica straturilor subțiri și aplicațiile acestora*, București, Ed. Științifică, 1975, 458 p.
4. *Prospectul instalației de evaporare termică în vid UVN-70A-1 (DEM 3.270.003Ф)*, 80 p.
5. Gîdea, S., Protopopescu, M., Drimer, D., *Metalurgia fizică a semiconductorilor*, București, Ed. Acad., 1963, 340 p.
6. Gîdea, S., Protopopescu, M., Drimer, D., *Metalurgia fizică a materialelor semiconductoare*, București, Ed. Acad., 1967, 540 p.

7. *Prospectul instalației de evaporare termică în vid VUP-5 (Nr.2.950.122.TO)*, 80 p.
8. Popa, M. E., *Contribuții la studiul proprietăților electrice și optice ale unor compuși semiconductori binari în straturi subțiri. Rezumatul tezei de doctorat*, Universitatea „Al. I. Cuza”, Iași, 2003, 56 p.

THE DEPOSITION OF ZnSe THIN FILMS BY THERMAL EVAPORATION TECHNIQUE UNDER VACUUM

Mihail Popa (State University „Alec Russo”, Republic of Moldova)
Gheorghe Ioan Rusu (University „Al. I. Cuza”, Romania)

ZnSe thin films by quasi-closed volume thermal evaporation technique under vacuum, using machine UVN-70A-1, have been obtained. To prepare samples with varied structural characteristics and probably optical and electrical properties, some additional devices at the installation of deposited were projected and realized: a device to fix the supports, masks for preparing the thin films and electrodes, protection fences, etc. The realized devices gave the possibility to obtain some thin polycrystalline films of ZnSe in different conditions: the support's temperature during the deposition varied from 1000 to 1500 K. The distance between the support and the evaporator was modified from 70 to 120 mm. The thickness of the obtained films was from 0.15 to 1.70 μm .

Prezentat la redacție la 12 ianuarie 2006

C.Z.U.538.9

STUDIUL PROPRIETĂȚILOR TERMICE ALE UNOR METALE LICHIDE LA TEMPERATURI ÎNALTE

Simion Băncilă
(Universitatea de Stat „Alec Russo”, Republica Moldova)

Este argumentată studiarea proprietăților termice ale metalelor lichide (difuzivității, conductivității și capacității termice). Este descrisă instalația destinată studierii experimentale a parametrilor termici în intervalul de temperaturi 1000 – 2500 K, utilizându-se metoda undelor radiale de temperatură. Sînt prezentate rezultatele studiului metalelor lichide *In*, *Sn*, *Ga* și *Pb*.

Lucrarea de față reprezintă una dintre etapele de cercetare experimentală a stării lichide a substanței, care se efectuează în cadrul catedrei de Fizică moleculară a facultății de Fizică din Universitatea de Stat “M.V. Lomonosov” din Moscova și a catedrei de Fizică și metodică predării fizicii a Universității de Stat “A. Russo” din mun. Bălți [1, 2]. Printre studiile orientate în vederea soluționării acestei probleme un rol aparte, și nu în ultimul rând, îi revine cercetării unor proprietăți termice ale substanțelor cum ar fi: conductivitatea termică, difuzivitatea termică și

căldura specifică, adică a acelor caracteristici a căror valoare este determinată esențial de mișcarea termică.

Dintre aspectele importante ale problemelor examinate menționăm cercetarea specificului manifestat de mișcarea termică în metalele lichide, relevarea influenței electronilor constitutivi ai metalului asupra proprietăților termodinamice, cercetarea rolului electronilor în procesele de transfer. Studiul proprietăților termice ale metalelor lichide este important și pentru tehnica modernă în legătură cu aplicarea pe scară tot mai largă a metalelor lichide în energetica nucleară, tehnica rachetară, metalurgie și instalațiile energetice (M.H.Д.).

În studiul proprietăților termice ale metalelor lichide pot fi evidențiate următoarele probleme:

1. cercetarea căldurii specifice a metalelor lichide într-un interval larg de stări, compararea ulterioară a acesteia cu căldura specifică a substanțelor nemetalice monoatomice, precum și dezvoltarea proprietăților specifice metalelor lichide. Aceste particularități pot servi ca instrument de elucidare a problemei participării electronilor metalelor lichide în mișcarea termică, dar pot fi aplicate și pentru analiza influenței acțiunii reciproce dintre particulele topiturilor metalice;
2. un interes aparte ar trebui să prezinte cercetarea căldurii specifice în acel domeniu al presiunilor și temperaturilor, în care se produce tranziția de la proprietățile metalelor la cele ale dielectricilor. Problema despre domeniul și natura acestei tranziții rămâne deocamdată deschisă. Probabil, comportarea căldurii specifice în domeniul stărilor, în care au loc modificări calitative semnificative ale naturii topiturii, ar da o informație suplimentară despre caracterul acestei transformări;
3. de o importanță majoră sunt cercetările conductivității termice și electrice și analiza comportării numărului Lorentz pentru examinarea rolului electronilor conductibili ai metalelor lichide în procesul de transfer de căldură.

Rolul principal în cercetarea problemelor enumerate ar trebui să-i revină studiului experimental. Dar, deocamdată, teoria stării lichide nu a fost creată. Nu au fost elaborate nici metode efective de descriere cantitativă a proprietăților lichidelor. Incertitudini există și în privința naturii mișcării termice în lichide.

Un progres semnificativ în problema cercetării proprietăților termice ale metalelor lichide a fost realizat la catedra de Fizică moleculară a facultății de Fizică din cadrul Universității de Stat din Moscova. Aici au fost elaborate mai multe metode de cercetare, care se fac distincte prin caracterul lor complex, adică prin posibilitatea obținerii într-un experiment a unei multitudini de caracteristici termice principale: căldura specifică, difuzivitatea termică și conductivitatea termică. Una dintre aceste metode, metoda undelor radiale de temperatură, a fost utilizată pentru cercetarea sistematică a proprietăților metalelor lichide într-un interval larg de temperaturi. Cu ajutorul ei au fost studiate caracteristicile termice ale unor metale lichide ca: praseodim, disproziu, lantan, galiu, taliu, indiu, cositor și plumb [2, 3, 4]. Alegerea metalelor rare în calitate de obiect de studiu nu a fost întâmplătoare și

se explică prin faptul că metalele rare posedă calități specifice deosebite cum ar fi: participarea unui număr relativ mare a electronilor din învelișurile interioare la mișcarea termică, fapt care se reflectă printr-o anomalie exagerată în valorile căldurii specifice, anomalia mică în variația conductivității termice și electrice în timpul topirii, ceea ce, probabil, se explică prin rolul electronilor învelișurilor interioare. Rezultatele cercetărilor expuse în prezentul studiu vin să completeze cunoștințele despre o serie de metale rare.

Studiul proprietăților termice ale metalelor ușor fuzibile a avut ca obiectiv cercetarea variației caracteristicilor studiate într-un interval cât mai larg posibil de temperaturi și compararea conductivității termice cu a celei electrice. În timpul acestor investigații, au fost obținute rezultate, care pentru cositor și plumb sunt în dezacord cu datele lucrărilor precedente. În legătură cu aceasta, a devenit necesară studierea suplimentară și mai amănunțită a problemelor de ordin metodic. O parte a problemei în cauză (și anume controlul deplin al calității umplerii cu metal a celulelor de lucru ale dispozitivului de măsurat) a fost soluționată prin folosirea defectoscopului γ [2]. Pentru studierea unei alte probleme, cum este cea a influenței posibile a transferului convectiv, autorul a realizat o nouă variantă a metodicii de măsurare și anume metoda încălzirii exterioare a probei găunoase prin bombardarea cu electroni, spre deosebire de metoda încălzirii interioare folosită anterior [2, 5]. Cu acest prilej, s-a cerut modificarea cardinală a întregii părți de lucru a instalației experimentale și elaborarea teoriei metodicii noi.

Studiul experimental efectuat a demonstrat că datele noi, obținute de autor, sunt pe deplin veridice și că trebuie pusă problema revizuirii uneia dintre concluziile la care s-a ajuns în lucrările anterioare, concluzie asupra existenței unor devieri sensibile negative de la legea Wiedemann-Franz [2].

În ultimul timp, în practica studiilor termofizice se aplică metode de determinare a caracteristicilor termice (conductivitatea termică, difuzivitatea termică și căldura specifică) bazate pe folosirea încălzirii periodice [3]. Aceste metode presupun un șir de avantaje: reproducerea continuă a datelor, posibilitatea controlului interior al rezultatelor, corecția mică ce ține de influența transferului de căldură etc. Metodele de încălzire periodică cunosc câteva variante, distincte prin configurația câmpului de temperatură și forma semnalului periodic. Într-un număr covârșitor de variante se aplică mai cu seamă modularea puterii în formă de Π [5]. De regulă, modularea în cauză este mai simplă în realizare decât modularea armonică, care necesită aplicarea unor metode dificile ale analizei armonice pentru prelucrarea rezultatelor.

Esența metodei date constă în următoarele. Proba cercetată reprezintă un cilindru tubular (găunos) sau o celulă umplută cu un metal lichid și este formată din două tuburi coaxiale. Suprafața cavității este supusă încălzirii periodice datorită bombardării cu electroni. Variațiile de temperatură produse la suprafața opusă se înregistrează fie prin metoda fotoelectrică, fie cu ajutorul unui termocuplu. Difuzivitatea termică a unui sistem cu geometria cunoscută se determină în funcție de caracterul deplasării curbilor periodice de variație a puterii de încălzire și de

variație a temperaturii. La calculul căldurii specifice se folosește informația despre aceleași curbe de variație a temperaturii și puterii [2].

În ambele variante eșantionul cercetat prezintă un vas cilindric cav umplut cu un metal lichid. Vasul se confecționează din două tuburi cu pereții subțiri din tantal, cu grosimea de 0,1 mm, diametrul interior 6 mm, cel exterior 14 mm și lungimea 70...80 mm. Fundul și capacul probei se execută din foi de tantal cu grosimea de 1...2 mm, care, ulterior, se sudează de probă prin metoda sudării electronice. Pentru diminuarea posibilității de apariție a convecției, în probă la distanța de 5...10 mm, se montează pereți despărțitori din lamele de tantal cu grosimea de 0,1 mm. Camerele vidate, în care se montează proba, reprezintă capace din alamă cu pereții dubli răciți cu apă. Camerele se montează pe agregatul de tipul BA-0,5-A cu ajutorul garniturilor de vid și al suporturilor confecționate din oțel inoxidabil și care conțin orificii pentru electrozi, iar în unul din ele (cazul variantei exterioare) – o fereastră de observație.

În timpul măsurărilor, în spațiul de lucru, se menține un vid de ordinul $10^{-5} \dots 10^{-6}$ Torr. Pereții camerelor sunt prevăzuți cu ferestre de observație; o fereastră este amplasată în peretele frontal (cazul încălzirii interioare) și două ferestre în peretele lateral (cazul încălzirii exterioare). Ferestrele sunt destinate pentru înregistrarea pulsațiilor temperaturii și măsurarea temperaturii medii.

În cazul încălzirii interioare, catodul reprezintă o sârmă din wolfram cu diametrul de 0,4...0,8 mm, care se montează pe axa probei. În cazul încălzirii exterioare, catodul reprezintă 12 sârme de wolfram cu diametrul de 0,15 mm dispuse uniform în jurul probei la distanța de 4 mm de aceasta. Între catod și probă se aplică o tensiune în formă de Π de la o schemă electronică de modulare. Oscilațiile staționare ale temperaturii probei se înregistrează după oscilațiile luminozității suprafeței probei (în apropiere de centrul ei), care apoi sunt orientate spre un multiplicator fotoelectronic (de tip ФЭУ-29). La ieșirea din aparatul ФЭУ-29, componenta constantă, corespunzătoare temperaturii medii a probei, este compensată de tensiunea de polaritate inversă introdusă prin schema de compensare. Componenta variabilă este amplificată de un amplificator de curent constant, al cărui coeficient de amplificare a curentului constituie $10^3 \dots 10^5$, apoi se înregistrează de un oscilograf cu buclă pe hîrtie fotosensibilă. În același timp, pe aceeași hîrtie, se înregistrează timpul, curbele de variație a intensității curentului și tensiunii.

Interpretarea rezultatelor experimentale obținute prin metoda încălzirii periodice în formă de Π se bazează pe faptul că curbele de variație a temperaturii, care servesc drept surse de informare despre proprietățile termice ale mediului, au, în majoritatea cazurilor, un sector liniar clar pronunțat. Pentru exemplu, în figură se reprezintă curbele de măsurare a temperaturii la suprafața exterioară a cilindrului metalic găunos, a cărui suprafață interioară se încălzește prin bombardare cu electroni dirijată de semnalul în formă de Π .

Prezența sectorului cu încălzire (răcire) liniară presupune că, în limitele unei semiperioade a procesului, în probă, reușește să se stabilească așa-numitul regim

regulat de genul al doilea [1]. Caracteristică pentru acest regim este invariabilitatea vitezei de variație a temperaturii tuturor punctelor probei. Examinarea acestei faze a procesului poate da o informație complexă despre caracteristicile termice ale materialului studiat. În lucrarea [2] s-a demonstrat că unghiul de înclinare a sectoarelor liniare ale curbei de variație a temperaturii, adică viteza de încălzire, face posibilă determinarea căldurii specifice în aceste experimente. Ulterior, se va demonstra că poziția reciprocă a liniilor de încălzire și de răcire permite determinarea difuzivității termice. Valoarea difuzivității termice este determinată univoc de segmentul δt de pe oscilogramă, fiind similară, de altfel, cu cea din figură.

În continuare, se va examina fundamentarea metodei referitoare la experimentele cu unde radiale de temperatură (în limită se poate obține și cazul încălzirii probelor plane). Fie că suprafața interioară a probei cilindrice găunoase se încălzește de la o sursă, a cărei putere pe durata unei semiperioade variază de la $+\Delta W$ până la $-\Delta W$ (vezi fig. a). În aceste condiții se vor examina devierile mici de la temperatura medie corespunzătoare unei puteri medii, adică:

$$\theta = T - \bar{T} \ll \bar{T} . \quad (1)$$

Condiția la suprafața de încălzire poate fi redată prin formula:

$$\Delta W = -\lambda \left. \frac{\partial \theta}{\partial r} \right|_{r=R_1} 2\pi R_1 L, \quad (2)$$

unde λ este conductivitatea termică, L – lungimea probei, R_1 – raza internă a probei.

Pentru suprafața exterioară a probei ($r = R_2$), condiția la limită se va scrie sub forma

$$\left. \frac{\partial \theta}{\partial r} \right|_{r=R_2} = 0 . \quad (3)$$

Se neglijează, astfel, variațiile mici ale transferului de căldură în limitele unei semiperioade de variație a puterii. (Prezența regimului liniar de încălzire și răcire confirmă posibilitatea unei asemenea ipoteze simplificatoare.) Ecuația diferențială a conducției termice în faza regulată pentru $J = q - Kt$ este

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} \left(r \frac{dq}{dr} \right) = \frac{K}{a} \quad (4)$$

unde K este viteza de încălzire.

Soluția generală a acestei ecuații conține două constante de integrare C_1 și C_2 :

$$q = \frac{Kr^2}{4a} + C_1 \ln r_1 + C_2 . \quad (5)$$

Condițiile (2) și (3) permit explicitarea uneia dintre constante și exprimarea lui K prin ΔW :

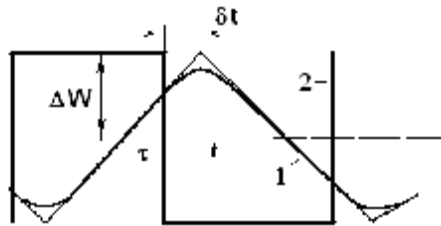
$$K = \frac{2a\Delta W_1 R_1}{l(R_2^2 - R_1^2)} . \quad (6)$$

Apariția termenului constant în relația (5), care, de altfel, nu este determinat de condițiile limită (2) și (3), este rezultatul “moștenirii” fazei neregulate și a rolului procesului condițiilor inițiale. Pentru determinarea celei de-a doua

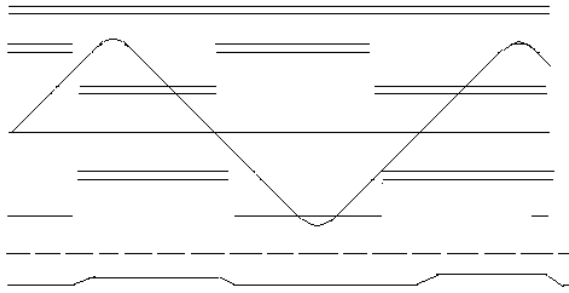
constante, este necesară luarea în considerație a condițiilor inițiale. Aceasta se poate face prin aplicarea ecuației bilanțului integral, în care cantitatea de căldură introdusă în probă $Q = \int_0^t W dt$ se egalează cu variația entalpiei:

$$\int_u C_p (q - J_0) dV \quad (7)$$

(integrarea se face după volumul probei), unde ϑ_0 reprezintă distribuția temperaturii în faza inițială a procesului (pentru $t=0$); C_p – capacitatea termică molară la presiune constantă.



a)



b)

Curbele oscilațiilor temperaturii: a) teoretică, b) experimentală.

În consecință, se obține:

$$\bar{q} = \bar{J}(r), \quad (8)$$

de unde rezultă:

$$C_2 = \frac{K}{8a} (R_2^2 - R_1^2) - \frac{K}{2a} \cdot \frac{R_2^4}{R_2^2 - R_1^2} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{K}{4a} R_2^2. \quad (9)$$

Prin urmare, în faza de încălzire ecuația asimptotei curbei periodice are forma:

$$J(R_2, t) = J_0 + Kt - \frac{K}{8a} (R_2^2 + R_1^2) + \frac{K}{2a} \cdot \frac{R_1^2 R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \ln \frac{R_2}{R_1}. \quad (10)$$

Pentru curba de răcire se poate obține o expresie similară:

$$J = q_0 + 2Kt - Kt + \frac{K}{8a} (R_1^2 + R_2^2) - \frac{K}{2a} \cdot \frac{R_1^2 R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \ln \frac{R_2}{R_1}, \quad (11)$$

în care τ reprezintă momentul de timp corespunzător schimbării polarității semnalului puterii.

La deducerea relației (11) s-a luat în considerație că, pentru curba de răcire, distribuția inițială a temperaturii J_0 este $q(r, t)$ calculată după expresia (10).

Ecuatiile asimptotelor (10) și (11) determină punctul lor de intersecție. Pentru intervalul de timp de la $t = \tau$ până la punctul de intersecție se obține formula

$$dt = \frac{R_2^2}{8a} \left(1 + S^2 + \frac{4S^2}{1 - S^2} \ln S \right) \quad (12)$$

unde $S = R_1 / R_2$. Din această relație se poate determina difuzivitatea termică.

Pentru $S \ll 1$ aceste relații se transformă în formulă pentru stratul plan:

$$dt = \frac{L^2}{6a} \quad (\text{unde } L - \text{grosimea stratului}). \quad (13)$$

Atât relațiile propriu-zise, cât și metoda de obținere a lor sunt mai simple decât în cazul în care s-ar fi examinat același proces din perspectiva regimului regulat de genul al treilea [2].

Rezultatele măsurărilor capacităților termice molare ale metalelor cercetate sunt date în tabel.

Capacitățile termice molare ale metalelor

Metalul \ T, K	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100
In	6,95	6,87	6,79	6,71	6,63	6,55	6,47	6,39	6,31	6,23	6,15
Ga	6,27	6,28	6,30	6,31	6,32	6,33	-	-	-	-	-
Sn	6,56	6,52	6,48	6,44	6,41	6,37	6,33	6,29	6,25	6,22	6,18
Pb	6,85	6,79	6,73	6,68	6,62	6,56	6,51	6,45	6,40	6,34	6,28

Eroarea relativă la determinarea capacității termice a constituit circa 3...5%.

Compozițiile metalelor studiate, exprimate în procente de greutate, sunt următoarele: 99,995 Sn; $5 \cdot 10^{-5}$ Sb; 10^{-5} (Fe, Ga, Au, Zn, Ar); 10^{-6} (Cu, Bi, Al); 99,99 In; $\sim 10^{-5}$ Fe; $4 \cdot 10^{-6}$ Cu; $2 \cdot 10^{-5}$ Ni; 10^{-5} Pb; 10^{-4} Sn; $2 \cdot 10^{-5}$ Zn; 10^{-5} Tl; 99,997 Ga; 99,995 Pb; 10^{-5} Sn; 10^{-4} - 10^{-5} (Fe, Ag, Cu, Zn).

Pentru metalele ușor fuzibile este caracteristică descreșterea monotonă a capacității termice la presiune constantă invers proporțională cu creșterea temperaturii. Prin această comportare metalele lichide se deosebesc de substanțele nemetalice monoatomice, cum ar fi gazele inerte lichide. La acestea din urmă, C_p crește corespunzător cu mărirea temperaturii. Deosebirea dintre comportarea substanțelor nemetalice și cele metalice demonstrează influența esențială a tipului de interacțiune moleculară asupra proprietăților termodinamice ale substanței, specificul manifestării legăturii metalice.

Dependența de temperatură a conductivității electrice a probelor a fost studiată anterior de către autor prin metoda potențiometrică [2]. Pe baza rezultatelor experimentale acumulate s-a calculat numărul lui Lorentz.

Experiențele efectuate confirmă valabilitatea legii lui Wiederman-Frantz pentru toate metalele studiate într-un interval de variație a temperaturii mai mare cu circa 1600 K decît punctul lor de topire.

Bibliografie

1. Филиппов, Л.П., *Измерение тепловых свойств твердых и жидких металлов при высоких температурах*, Москва, МГУ, 1967 325 стр.
2. Банчила, С.Н., *Исследование тепловых свойств жидких металлов при температурах до 2000 К. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук*, Москва, Московский Государственный Университет, 1973, 189 стр.
3. Băncilă, S. Proprietățile termice ale metalelor rare // Conferința Națională de Termotehnică, ediția a VIII – a. Vol.I, Pitești, 1998. p.5-7.
4. Банчила, С.Н., *Экспериментальное изучение комплекса тепловых свойств некоторых редкоземельных металлов при высоких температурах* // Инженерно – физический журнал, т. XXVII, № 1, Минск, 1974, стр. 68-71.
5. Аталла, С.Р., Банчила, С.Н., Дроздова, Н.П., Филиппов, Л.П., *Об измерении комплекса тепловых свойств металлов при высоких температурах методом периодического нагрева* // Вестник Московского университета, № 8, 1973, стр. 638-643.

THE STUDY OF THE THERMAL PROPERTIES OF SOME LIQUID METALS AT HIGH TEMPERATURES

Simion Băncilă

(State University „Alec Russo”, Republic of Moldova)

The study of the thermal properties of liquid metals and namely of diffusion, conductivity and thermal capacity is motivated. The given article also describes the installation for the experimental study of thermal characteristics of liquid metals for the temperature 1000 – 2500 K using the method of radial waves of temperature. The results of the investigation of liquid metals In, Sn, Ga and Pb are presented.

Prezentat la redacție la 15 decembrie 2005

C.Z.U. 550.388.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ В ПЕРЕХОДНОЕ ВРЕМЯ СУТОК

Абрамчук Валерий

(Государственный Университет им. А.Руссо, Республика Молдова)

Приведены результаты экспериментальных исследований неоднородностей E - и F -областей среднеширотной ионосферы в предвосходное и послезаходное время суток, в основном около зимнего солнцестояния. Указанные исследования являются продолжением предыдущих работ. Статистический анализ данных выявил закономерности временных вариаций вероятности появления спорадического слоя E_S и его высотно-частотных характеристик, критической частоты слоя $F2$ и вероятности появления F -spread в указанные периоды. Отмечено, что обнаруженные закономерности могут быть объяснены в рамках ранее рассмотренного автором механизма передачи возмущений между магнитно-сопряженными областями ионосферы посредством альфвеновских волн.

Введение

В результате длительных наблюдений за ионосферой с помощью ракет, спутников и другой сложной наземной аппаратуры (вертикального наземного и внешнего радиозондирования, установки некогерентного рассеяния радиоволн, доплеровских установок, использования сложнокодированных сигналов и крупных фазированных антенных систем) установлено, что ионосфера характеризуется большой изменчивостью и широким спектром неоднородностей. Исследование неоднородной структуры ионосферы имеет большое фундаментальное и прикладное значение.

В работах [1, 2] было установлено, что на средних широтах неоднородность ионосферы проявляется особым образом в переходное время суток и выражается в увеличении интенсивности образования спорадических неоднородностей в E -области.

Целью данной работы является проведение дальнейшего анализа неоднородностей E - и F -областей среднеширотной ионосферы в предвосходное и послезаходное время суток, в основном около зимнего солнцестояния, с привлечением дополнительных экспериментальных данных, касающихся вероятности появления слоя E_S и его высотно-частотных характеристик, критической частоты слоя $F2$ и вероятности появления F -spread.

Результаты экспериментальных исследований

Наземное вертикальное радиозондирование продолжает оставаться основным непрерывным и самым распространенным методом исследования ионосферы. Для изучения неоднородной структуры ионосферы этот метод имеет ряд значительных преимуществ по сравнению с другими, необходимо

также учитывать, что некоторые из указанных методов предназначены для исследования областей больших высот ионосферы.

В данной работе с целью выявления связи с результатами работ [1-3] были проанализированы экспериментальные данные наземного вертикального радиозондирования на ионосферной станции Москва за периоды около зимнего солнцестояния. Были обработаны ионограммы, получаемые через каждые 15 минут и охватывающие лишь переходное время суток. В работе [1] были выявлены и проанализированы статистически значимые максимумы вероятности появления слоев E_S в предвосходный и послезаходный периоды зимнего времени. В связи с этим была поставлена цель провести статистический анализ высотно-частотных характеристик этих неоднородностей в указанное время.

Было экспериментально установлено, что в нижней ионосфере, наряду с регулярным слоем E , существуют разнообразные по характерным параметрам неоднородности электронной концентрации, обозначаемые общим термином – спорадический слой E_S . Специфичность этого слоя по сравнению с регулярными слоями ионосферы обнаруживается в особенностях его проявления. Прежде всего, отмечают нерегулярность появления спорадического слоя E_S [1], что позволяет говорить лишь о вероятности его возникновения, которая зависит от времени суток и года, положения места наблюдения на Земле, от ряда гелиогеофизических факторов.

Другой характеристикой спорадического слоя E_S является полупрозрачность, выражающаяся в том, что при наземном радиозондировании ионосферы в определенном интервале частот одновременно наблюдаются радиоволны, отраженные от E_S и от вышележащих слоев (чаще всего от регулярного слоя F_2). Исходя из этого, спорадический слой E_S характеризуется двумя частотными параметрами: $f_b E_S$ – называемой частотой экранирования (для рабочих частот $f < f_b E_S$ слой E_S является непрозрачным, а значит, полностью экранирует вышележащие слои) и $f_0 E_S$ – предельная частота отражения обыкновенной волны, т. е. максимальная частота радиоволны, отражаемая от этого слоя. Таким образом, разность $Df E_S = f_0 E_S - f_b E_S$ определяет диапазон радиополупрозрачности слоя E_S . Отметим, что иногда можно обнаружить слои, для которых $Df E_S = 0$. Важной особенностью спорадического слоя E_S является отсутствие группового запаздывания в области предельной частоты отражения, которое, однако, всегда наблюдается для регулярных слоев.

Результаты численной обработки ионограмм позволила выявить временные зависимости средних значений частотных характеристик спорадических образований. На рис. 1 приведены временные вариации средних значений предельной частоты $f_0 E_S$ и частоты экранирования $f_b E_S$, полученные в результате обработки экспериментальных данных станции Москва за декабрь 1980 г. Можно заметить, что наблюдается достаточно высокое подобие во временном ходе $f_b E_S$ и $f_0 E_S$ в предрассветный период. Диапазон радиополупрозрачности $Df E_S$ слоя E_S чаще всего принимает значения в диапазоне $0,5 \div 1$ МГц, од-

нако в интервале времени ~ 5 час. 15 мин. \div 6. час. 30 мин. значение больше среднего за месяц. В этом временном интервале наблюдается выраженный максимум значений f_oE_s .

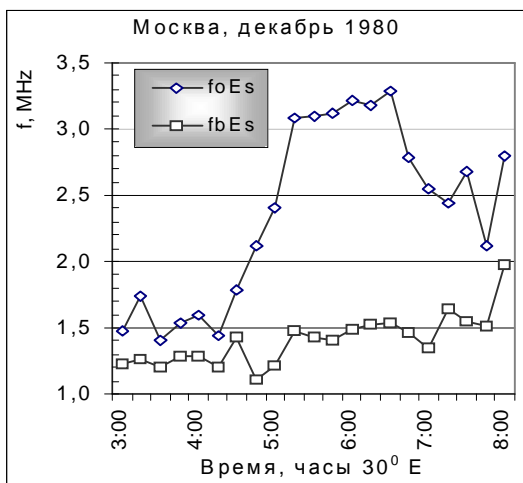


Рис. 1. Временные зависимости f_oE_s и f_bE_s

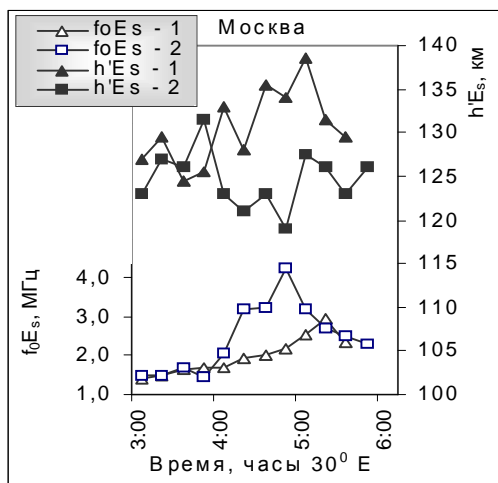


Рис. 2. Вариации $h'E_s$ и f_oE_s в предрассветное время

На рис. 2 приведены два примера (станция Москва, 14 и 23 декабря 1980 г. — кривые 1 и 2 соответственно), иллюстрирующие типичное поведение действующей высоты $h'E_s$ и предельной частоты f_oE_s спорадического слоя E_s , которая обнаруживается в предрассветное время зимнего периода. Отметим, что действующая высота $h'E_s$ спорадического слоя E_s испытывает в указанный интервал времени достаточно высокую, имеющую в основном иррегулярный характер изменчивости, тогда как ход предельной частоты согласуется со среднестатистическими данными, приведенными на рис. 1.

Одно из наиболее интересных явлений, выявляемых при импульсном вертикальном зондировании ионосферы, состоит в том, что иногда отраженный сигнал теряет свою строго определенную структуру, становится размытым (диффузным), имеет значительно большую продолжительность, чем зондирующий импульс. Данное явление, получившее название F -spread, обычно наблюдается при исследовании области F ионосферы и, согласно современным представлениям о динамике ионосферы, является индикатором неоднородной структуры области отражения радиоволн (см., например, [4]). Исследования неоднородной структуры ионосферы на основе анализа случаев F -spread представляют ценность как для изучения физики, морфологии и механизмов явления, так и для прогнозирования условий устойчивой радиосвязи и неискаженной передачи информации по каналам связи, зависящим от состояния ионосферы.

Учитывая этот факт, были проанализированы экспериментальные данные вертикального радиозондирования ионосферы на станции Москва для

установления закономерностей появления F -spread. Полученные результаты дадут возможность судить о наличии неоднородностей в области отражения радиоволн. С этой целью рассчитывалась вероятность $PF(\%)$ появления на ионограммах всех типов F -spread в интервале времени от полуночи до 9 часов (при этом используется местное $UT+2h$, а не декретное время). Результаты статистической обработки экспериментальных данных за декабрь 1980 г. были обобщены и представлены на рис. 3. Для сравнения приведена временная зависимость вероятности $PE_s(\%)$ появления спорадических образований в E -области ионосферы за тот же период.

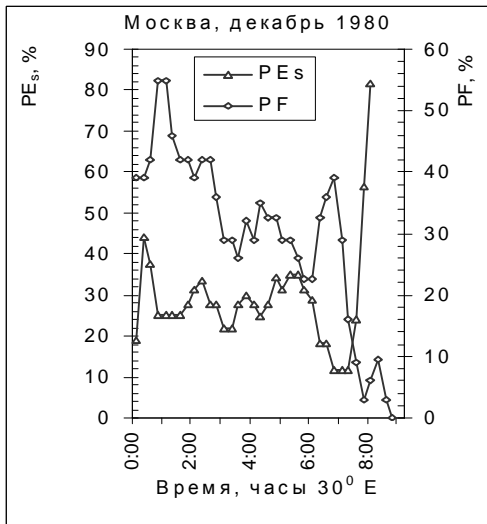


Рис. 3. Временные зависимости средних значений PE_s и PF

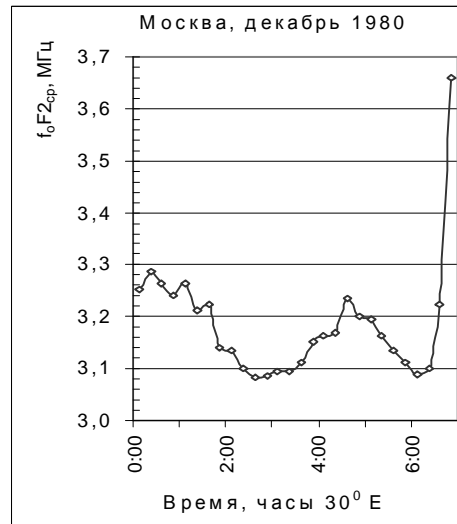


Рис. 4. Вариации f_0F2_{cp} в предрассветное время

Анализ экспериментальных данных демонстрирует удовлетворительную корреляцию между зависимостями PE_s и PF в указанное время, а это может свидетельствовать о том, что в рассматриваемый период ионосфера подвержена интенсивному воздействию определенных факторов во всем диапазоне высот E - и F -областей.

В работе также проанализированы частотные характеристики слоя $F2$ ионосферы за указанный месяц. Оказалось (см. рис. 4), что временная зависимость среднего значения критической частоты f_0F2_{cp} в предрассветное время также характеризуется двумя минимумами (первый - в ~ 2 час. 30 мин. и второй - в ~ 6 час.) и одним максимумом (в ~ 4 час. 30 мин.). В ходе исследования обнаружено, что значения f_0F2 в указанные минимумы незначительно отличаются друг от друга, а разность между значением в максимуме и средним значением этих двух минимумов равна $\sim 0,15$ МГц. Это свидетельствует о том, что в ~ 4 час. 30 мин. максимальная концентрация электронов в слое $F2$ ионосферы была больше на $DN_e \gg 2,8 \times 10^8$ эл./м³, чем в периоды, соответствующие минимумам.

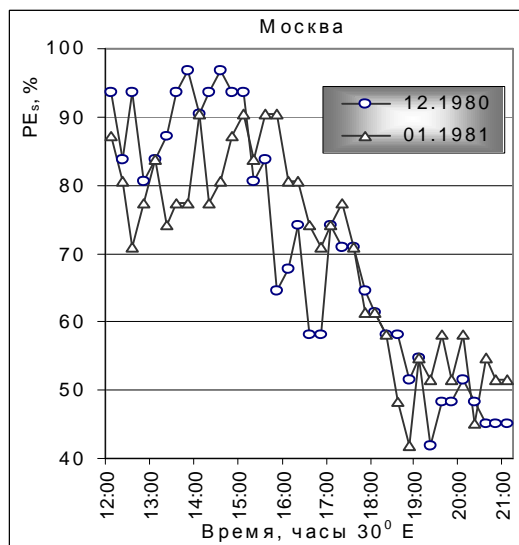


Рис. 5. Временные вариации PE_s в послезакходный период

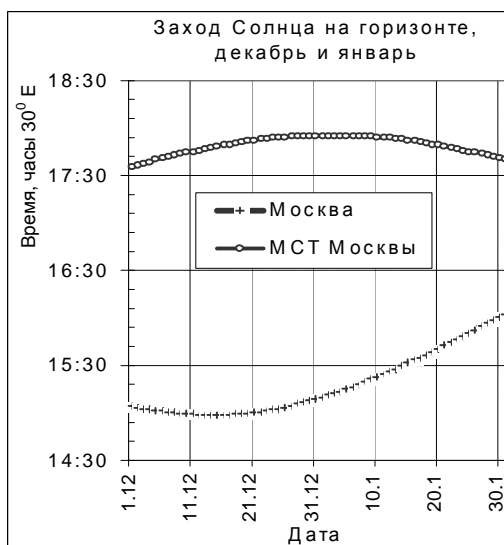


Рис. 6. Время захода Солнца на горизонте

В результате наблюдений обработаны и проанализированы ионосферные данные, касающиеся послезакходного времени зимнего периода. Необходимо заметить, что временная зависимость вероятностной характеристики спорадического слоя E_s испытывает достаточно сложные флуктуации, однако на её постепенном временном спаде обнаружены две характерные точки: начало уменьшения PE_s и момент, когда этот параметр принимает минимальное значение. На рис. 5 приведены зависимости PE_s от времени по данным станции Москва для декабря 1980 г. и для января 1981 г., имеющие высокий уровень подобия формы и временное смещение.

В поведении высотно-частотных параметров слоя E_s в послезакходный период наблюдается сложный характер изменений, который контролируется временем захода Солнца, но для установления надежных зависимостей необходим также учет смещения времени захода Солнца относительно зимнего солнцестояния (см. рис. 6). Это относится и к вариациям f_oF2 и PF в указанный период.

Интерпретация экспериментальных данных и выводы

В результате обработки экспериментальных данных установлено, что в переходное время суток на высотах областей E и F ионосферы наблюдается высокий уровень образования неоднородностей. На ионограммах вертикального радиозондирования эти неоднородности проявляются в E -области в виде спорадических образований E_s , а в области F – в виде рассеянных отражений F -spread. Выявлены два временных интервала, проявляющихся в предвосходное и послезакходное время и характеризующихся специфической временной вариацией. Как указывалось в работе [1], в

предвосходном периоде зимнего времени интенсивность образования спорадических неоднородностей в E -области достаточно жестко контролируется временем восхода Солнца в магнитно-сопряженной области точки наблюдения.

Достаточно большой диапазон полупрозрачности слоя E_s , наблюдаемый в предвосходное время (см. рис. 1), указывает на то, что значительную роль в образовании неоднородностей играет турбулентность ионосферы [5].

В результате вышеприведенного анализа установлено, что концентрация электронов в слое $F2$ испытывает предвосходное увеличение, проявляющееся в росте критической частоты f_oF2 (рис. 4). Увеличивается в этот период и вероятность появления рассеянных отражений F -spread (рис. 3), явление, которое полностью исчезает после местного восхода Солнца. Выявленные закономерности подтверждаются теорией, согласно которой перенос возмущений между магнитосопряженными областями ионосферы осуществляется посредством альфвеновских волн (см. работы [1, 3, 5]).

Проанализируем поведение PE_s вблизи захода Солнца. В декабре месяце сравнительно постоянная временная зависимость PE_s в дневное время испытывает резкое уменьшение в период с ~ 15 час. ($PE_s = 93,6\%$), образуя один минимум в ~ 19 час. 15 мин. ($PE_s = 42\%$). Для сравнения на рис. 5 приведены такие же данные для января 1981 г. В этом случае началу уменьшения PE_s и указанному минимуму соответствуют следующие значения: в 15 час. 45 мин. $PE_s = 90,3\%$, а в 18 час. 45 мин. $PE_s = 42\%$. Таким образом, данным характерным точкам соответствуют одинаковые значения вероятности появления спорадического слоя E_s , которые по времени оказываются смещенными относительно друг друга. Анализ показал, что подобное поведение PE_s в рассматриваемое время контролируется заходом Солнца в точке наблюдения, что также коррелирует с началом уменьшения PE_s , и с заходом Солнца в магнитно-сопряженной точке, что коррелирует с минимумом значения PE_s , после которого наблюдается её увеличение (см. рис. 6). Так, было замечено, что для географических координат станции Москва заход Солнца на горизонте 1 декабря и 31 декабря происходит почти в одно и то же время - в 15 час. 05 мин. и в 15 час. 09 мин. соответственно. При учете пятнадцатиминутного интервала получения экспериментальных данных указанное время не оказывает влияния на наблюдаемую картину. Совершенно иная ситуация в январе: для станции Москва момент захода Солнца на горизонте 1 января и 31 января значительно отличается и происходит в 15 час. 10 мин. и в 16 час. 03 мин. соответственно. Это и обуславливает смещение момента спада PE_s в январе по сравнению с декабрем. Время захода Солнца в магнитно-сопряженной точке станции Москва (географические координаты: широта, $j = -42,6^{\circ}S$, долгота, $l = 56,4^{\circ}E$) в течение декабря и января изменяется незначительно (в пределах 20 мин.). Анализ показал, что время захода Солнца в магнитно-сопряженной точке контролирует наступление минимума PE_s . На рис. 5 отражено смещение этого ми-

нимума на ~ 30 мин. в январе по сравнению с декабрем, что согласуется с расчетными данными.

Таким образом, учитывая результаты обработки экспериментальных данных, можно заключить, что в переходное время суток около зимнего солнцестояния ионосфера подвержена интенсивным воздействиям, приводящим к образованию неоднородностей в *E*- и *F*- областях. Механизмы образования неоднородностей в значительной степени контролируются временем восхода и захода Солнца в точке наблюдения и в магнитно-сопряженной области. Как отмечено в [1], в переходное время суток в зимний период создаются благоприятные условия для реализации эффективной связи между магнитносопряженными областями ионосферы средних широт посредством альфвеновских волн. При этом наиболее вероятным источником возмущений является солнечный терминатор [6].

Можно заметить, что на средних широтах явление *F*-spread может быть вызвано и распространением внутренних гравитационных волн (ВГВ), подтверждением чего являются результаты серии работ Боумана (см. [7]).

Список литературы

1. Abramchuk, V.P., Oraevsky, V.N., Ruzhin, Yu.Ya., *Sporadic E layer in the twilight period during winter and its relations to sunrise in the conjugate area* // Acta Geod., Geoph. Mont. Hung., 1987, V. 2, N. 1-2, p.199 - 209.
2. Абрамчук, В.П., Ружин, Ю.Я., *Статистические характеристики спорадических образований средних широт и их роль в распространении радиоволн* // Методы и средства обработки сигналов. Межведомственный сборник, Московский Физико-Технологический Институт, Москва, 1988б стр. 114 – 120.
3. Abramciuc, V., *Reflecții asupra mecanismelor de creare a stratului sporadic E al ionosferei* // Conferința Națională de comunicări științifice / Universitatea „Ștefan cel Mare”, Suceava, 2004, p. 31 - 34.
4. Гершман, Б.Н., Казимировский, Э.С., Кокоуров, В.Д., Чернобровкина, Н.А., *Явление F-рассеяния в ионосфере*, Москва, Наука, 1984, 141 стр.
5. Ружин, Ю.Я., Абрамчук, В.П., *Вклад турбулентности в образовании неоднородностей E-области ионосферы* // Материалы научной конференции по вопросам исследования неоднородной структуры ионосферы, Алма-Ата, 2001, стр. 67- 69.
6. Сомсиков, В.М., *Солнечный терминатор и динамика атмосферы*, Алма-Ата, Наука, 1983, 192 стр.
7. Bowman, G.G., *The nature of ionospheric spread-F irregularities in midlatitude regions* // Journal Atmospheric and Terrestrial Physics, 1981, V. 43, n.1, p. 65-79.

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF THE IONOSPHERE DURING SUNRISE AND SUNSET IMMEDIATE PERIODS

Valeriu Abramciuc

(State University „Alec Russo”, Republic of Moldova)

The article being the continuation of the previous investigations of the author presents the results of experimental investigations of the heterogeneity in the E and F region of the ionosphere in the middle latitudes, during the sunrise and sunset immediate periods, basically about the winter solstice. The statistical analysis of the obtained data revealed the regularity of temporary variation of the probability of the appearance of the sporadic E_S layer and its high-frequency characteristics, as well as the critical frequency of the F2 layer and F-spread events in the indicated periods. It is shown that the discovered regularity is likely to be interpreted on the basis of the previous analysis of the transfer mechanism of the perturbation between the magnetically conjugated areas by means of Alfvén waves.

Prezentat la redacție la 4 ianuarie 2006

C.Z.U.621.391

UN MODEL PARAMETRIC DE PROPAGARE A UNDELOR RADIO ÎN MEDIUL URBAN

Eugeniu Plohotniuc

(Universitatea de Stat „Alec Russo”, Republica Moldova)

Este prezentat un model parametric de calcul al intensității semnalului radio în benzile VHF-UHF, în condițiile propagării în mediul urban. Rezultatele obținute în cadrul acestui model sunt verificate prin comparare cu datele experimentale obținute în urma unor serii de măsurări efectuate în orașele Holon (Israel), Kingston (Jamaica) și Bălți (Moldova). Modelul teoretic permite determinarea intensității semnalului radio la recepție cu o precizie de 8 - 18 dB. Rezultatele demonstrează că, pentru condițiile de mediu urban și rural, modelul propus oferă rezultate concordante cu măsurările.

Introducere

Orașele moderne au o topografie complicată, cu clădiri distribuite aleatoriu pe o suprafață neregulată. Configurația specifică a topografiei acestora determină condiții specifice de propagare la nivelul stradal a undelor radio din benzile VHF-UHF. În aceste condiții sunt prezente arii de umbră și au loc fenomene de împrăștiere, difracție, reflexie și interferență [1–8].

Modelarea analitică a propagării undelor radio în condiții urbane reale, vizând determinarea intensității semnalului radio la recepție, este foarte dificilă și nu poate fi generalizată pentru toate orașele. Totuși un model parametric simplificat, care ar putea fi folosit pentru calculul intensității semnalului radio la recepție poate fi construit prin substituirea distribuției reale a clădirilor și a

profilului intraurban al terenului printr-un model statistic [9–12]. Rezultatul unei astfel de abordări este discutat în lucrarea de față, prin confruntarea modelului propus cu măsurările intensității semnalului radio în banda VHF/UHF în puncte de recepție plasate la nivel stradal în orașele Holon (Israel), Kingston (Jamaica) și Bălți (Moldova).

1. Un model parametric de propagare a semnalelor radio în mediul urban cu clădiri distribuite aleatoriu

În lucrarea [12] este descris un model parametric de calcul al intensității semnalului radio în banda VHF/UHF, în puncte de recepție din mediul urban. Aici se iau în considerație distribuția spațială a clădirilor, dimensiunile secțiunilor suprafețelor de reflexie, distribuția punctelor de reflexie, distribuția spațială a punctelor de împrăștiere, efectele difracției la nivelul ansamblurilor de clădiri, precum și profilul acestora. În acest model, partea coerentă a intensității semnalului radio se calculează după formula:

$$\langle I_{co} \rangle = \exp \left\{ -g_0 d (z_2 - z_1)^{-1} \int_{z_1}^{z_2} P_h(z) dz \right\} \frac{\sin^2(kz_1 z_2 / d)}{4p^2 d^2}, \quad (1)$$

unde $P_h(z)$ reprezintă profilul înălțimii clădirilor:

$$P_h(z) = H(h_1 - z) + H(z - h_1) H(h_2 - z) \left(\frac{h_2 - z}{h_2 - h_1} \right)^n, \quad (2)$$

cu $n > 0$, iar $0 < z < h_2$. De asemenea, $g_0 = 2\bar{L}u/p$, unde u este densitatea clădirilor în aria de 1 km^2 , iar \bar{L} – lungimea medie a clădirilor din vecinătatea traseului dintre antena de emisie și antena de recepție; z_1 – altitudinea antenei de recepție în m , z_2 – altitudinea antenei de emisie în m ; d – distanța între antena de emisie și antena de recepție în m ; $k = 2p/l$, unde l este lungimea de undă a semnalului radio în m ; h – înălțimea medie a clădirilor în m , determinată prin expresia: $h = h_2 - n(h_2 - h_1)/(n + 1)$; h_1 este înălțimea minimă a clădirilor, h_2 este înălțimea maximă a acestora, iar n – parametrul profilului polinomial al înălțimii clădirilor ($n = 0, 1$ dacă $h(z)$ este aproape de înălțimea maximă h_2 a clădirilor orașului, $n = 1$ dacă $h(z) = (h_1 + h_2)/2$ și $n = 5$ pentru $h(z)$ apropiat de înălțimea minimă h_1 a clădirilor).

Partea necoerentă a intensității semnalului radio se determină în funcție de modelul ales:

1. mono-disipare;
2. mono-disipare și mono-difracție pe colțurile și acoperișurile clădirilor;
3. dublu-disipare și dublu-difracție.

Pentru cazul mono-disipării, fără a lua în considerație fenomenul difracției, intensitatea semnalului radio poate fi calculată în conformitate cu formula:

$$\langle I_1(d) \rangle = \frac{\Gamma I l_v}{8p [I^2 + (2pl_v g_0 f(z_1))^2] d^3} (z_2 - h). \quad (3)$$

În cazul mono-disipării și mono-difracției pe colțurile și acoperișurile clădirilor intensitatea semnalului radio poate fi calculată în modul următor:

$$\langle I_2(d) \rangle = \frac{\Gamma I l_v}{8p [I^2 + (2pl_v g_0 f(z_1))^2] d^3} [(Id/4p^3) + (z_2 - h)^2]^{1/2}. \quad (4)$$

Pentru undele radio dublu-disipate și dublu-difRACTATE calculele intensității semnalului radio pot fi efectuate conform formulei [12]:

$$\langle I_3(d) \rangle = \frac{\Gamma^2 I^3 l_v^2}{24p^2 [I^2 + (2pl_v g_0 f(z_1))^2] [I^2 + (2pl_v g_0 f(z_2))^2] d^3}. \quad (5)$$

În formulele anterioare, Γ reprezintă coeficientul de reflexie (aici se ține cont de permitivitatea betonului $e \approx 6,49$ și conductibilitatea sa $\sigma \approx 1,37 \text{ m}\Omega/\text{m}$), iar l_v —distanța medie dintre balcoane (ferestre) în direcție verticală.

În formulele (3-5) $f(z_1)$ și $f(z_2)$ reprezintă funcțiile de distribuție cvasi-omogenă a clădirilor la altitudinea antenei de recepție și de emisie:

$$f(z_1) = H(h_1 - z_1)(h - z_1) + H(z_1 - h_1)H(h_2 - z_1) \frac{(h - z_1)^{n+1}}{(n+1)(h_2 - h_1)^n}, \quad (6)$$

$$f(z_2) = H(h_2 - z_2)(h - z_2) + H(z_2 - h_2)H(h_2 - z_2) \frac{(h - z_2)^{n+1}}{(n+1)(h_2 - h_1)^n}. \quad (7)$$

Funcția $H(x)$ este funcția-treaptă a lui Heaviside și este egală cu 1, dacă $x > 0$, sau egală cu 0, dacă $x < 0$.

2. Simularea numerică a propagării undelor radio în condiții urbane

Pentru a examina influența diferitor factori (fenomenele multiple de reflexie, împrăștiere, difracția, ca și parametrii clădirilor, inclusiv locul plasării antenelor de emisie și recepție) asupra atenuării intensității semnalelor radio în condiții urbane, a fost elaborat un program de calcul pe baza modelului parametric descris de relațiile (1– 7). Acest model permite calculul separat al părților coerente, necoerente și totale ale atenuării semnalului radio.

În conformitate cu [13, 14], intensitatea totală a câmpului de unde radio în regiunea receptorului este o superpoziție a semnalului coerent $\hat{a}l_{co}\tilde{n}$ și a semnalului necoerent $\hat{a}l_{neco}\tilde{n} = \hat{a}l_i\tilde{n}$ unde $i = 1, 2, 3$. Prin urmare:

$$\hat{a}l_{total}\tilde{n} = \hat{a}l_{co}\tilde{n} + \hat{a}l_{neco}\tilde{n}$$

Pentru reprezentarea grafică a dependenței atenuării semnalului radio în funcție de distanța dintre antena de emisie și cea de recepție sunt folosite mărimile $10\log\hat{a}l_{co}\tilde{n}$, $10\log\hat{a}l_{neco}\tilde{n}$ și $10\log\hat{a}l_{total}\tilde{n} = 10\log[\hat{a}l_{co}\tilde{n} + \hat{a}l_{neco}\tilde{n}]$, exprimate în dB.

Parametrii din formulele (1) – (7) au primit următoarele valori: $G = 0,8$; $\bar{L} = 40 \text{ m}$; $u = 140 \text{ km}^2$; $I = 0,5 \text{ m}$; $l_v = 2 \text{ m}$; $z_l = 2 \text{ m}$; $h_1 = 5 \text{ m}$; $h_2 = 30 \text{ m}$. În acest caz se obține: $h \approx 27,7 \text{ m}$ pentru $n = 0,1$; $h = 17,5 \text{ m}$ pentru $n = 1$; $h \approx 9,2 \text{ m}$ pentru $n = 5$.

a. Antena de emisie este plasată la înălțimea $z_2 = 40 \text{ m}$ sau $z_2 > h_2$

Dependențele de distanță ale semnalului coerent, $10\log\hat{a}l_{co}\hat{n}$ ale semnalului necoerent $10\log\hat{a}l_1\hat{n}$ în cadrul modelului monodisipare (MD), ale semnalului necoerent $10\log\hat{a}l_2\hat{n}$ în cadrul modelului monodisipării cu monodifracție (MDD) și a semnalului necoerent $10\log\hat{a}l_3\hat{n}$ conform modelului dubludisipării cu dubludifracție (DDD) sunt prezentate în fig. 1 (a-c) (curbele mai subțiri corespund componentelor coerente, iar cele mai groase – componentelor necoerente).

În fig. 1 se observă că partea coerentă a semnalului radio este atenuată exponențial, cu oscilații suprapuse, pînă la distanțe de ordinul a 500 – 600 m de la antena de emisie. La distanțe mai mari se constată o atenuare mai puternică a semnalului $\hat{a}l_{co}\hat{n}$ decât o atenuare polinomială, $\sim d^{-3}$, pînă la distanța de 5 000 m.

Referitor la componenta necoerentă se pot menționa următoarele:

a) pentru modelele MD și MDD rezultatele sunt practic identice, iar componenta coerentă a semnalului depășește partea necoerentă, pînă la distanțe de 1,6 - 2,2 km, ceea ce înseamnă că efectele mono-împrăștierii pe clădiri și monodifracției sunt importante doar pentru regiunile îndepărtate față de emițător. În regiunile din vecinătatea emițătorului (distanțe mai mici decât 1 km), doar undele directe și cele reflectate de stratul de clădiri, care formează componenta coerentă a câmpului total de unde, ajung la punctul de recepție;

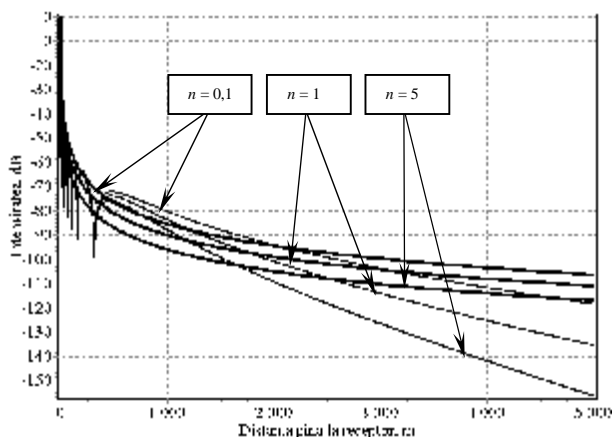


Fig. 1a. Componenta coerentă și necoerentă a semnalului radio pentru modelul MD, $z_2 > h_2$.

b) pentru modelul DDD (fig. 1c) componenta coerentă a semnalului radio depășește partea necoerentă pînă la distanța de 5 km pentru $n = 0,1$, pînă la distanța de 4,5 km pentru $n = 1$ și pînă la distanța de 3,2 km pentru $n = 5$. Totodată, valorile

intensității semnalului componentei necoerente pentru modelul DDD sunt mai mici cu aproape 20 dB față de valorile intensităților semnalului componentei necoerente în cadrul modelelor MD și MDD.

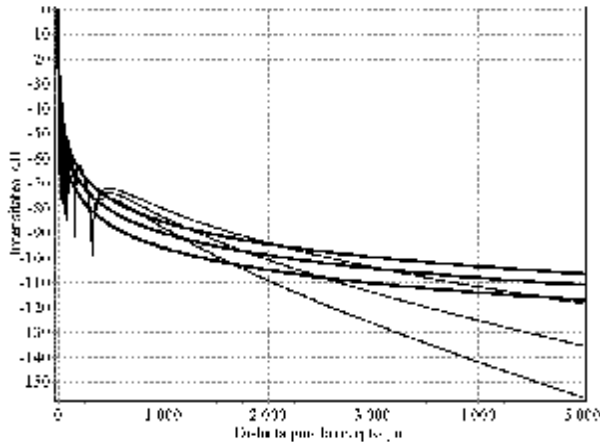


Fig. 1b. Componenta coerentă și necoerentă a semnalului radio pentru modelul MDD, $z_2 > h_2$.

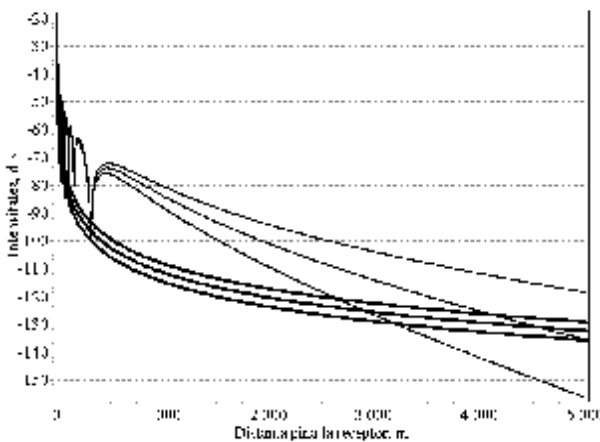


Fig. 1c. Componenta coerentă și necoerentă a semnalului radio pentru modelul DDD, $z_2 > h_2$.

b. Antena de emisie este plasată la înălțimea $z_2 = 30\text{ m}$ sau $z_2 = h_2$

Rezultatele calculelor componentelor coerente în modelele MD, MDD și DDD sunt prezentate în fig. 2(a-c). Se observă că, în cazul componentelor coerente, apare o mică creștere (cu aprox. 2 dB) a intensității semnalului, care, ulterior, devine nulă pentru $d = 1\text{ km}$. Pentru $d > 1\text{ km}$ intensitatea componentelor coerente descrește mai mult în comparație cu cazul $z_2 > h_2$. De exemplu, pentru $d = 5\text{ km}$ intensitatea semnalelor coerente se micșorează cu aprox. 5 dB pentru $n = 0.1$, cu aprox. 15 dB, pentru $n = 1$ și cu aprox. 20 dB pentru $n = 5$.

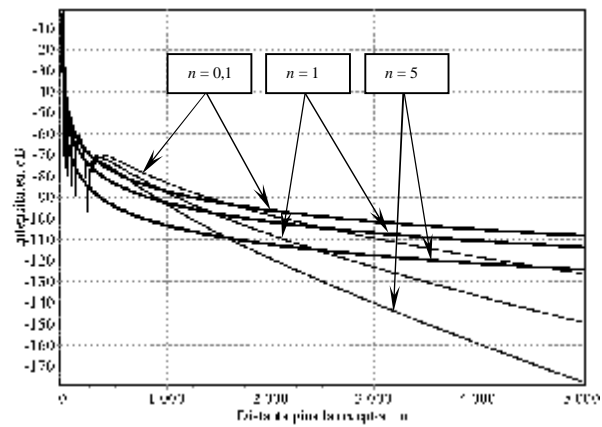


Fig. 2a. Componenta coerentă și necoerentă a semnalului radio pentru modelul MD, $z_2 = h_2$.

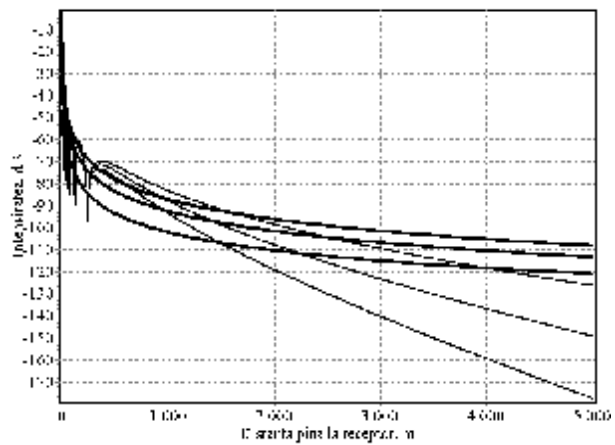


Fig. 2b. Componenta coerentă și necoerentă a semnalului radio pentru modelul MDD, $z_2 = h_2$.

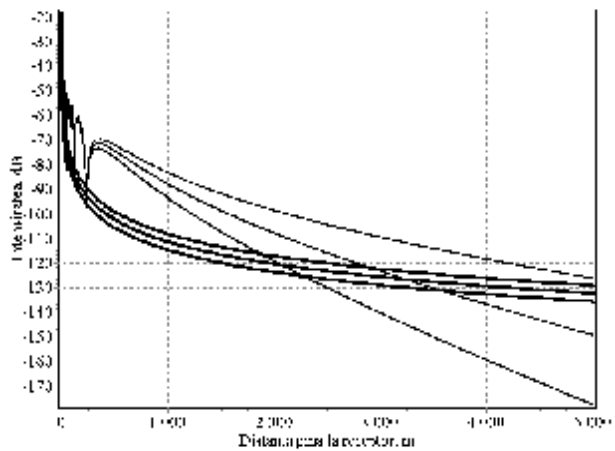


Fig. 2c. Componenta coerentă și necoerentă a semnalului radio pentru modelul DDD, $z_2 = h_2$.

Aceasta se explică prin faptul că, odată cu creșterea distanței de la antena de emisie, numărul obstacolelor pentru undele directe și cele reflectate de stratul de clădiri crește.

Referitor la componentele necoerente, în cazul plasării antenei de emisie la înălțimea z , ($z_2 \leq z \leq h_2$), se poate afirma că intensitatea lor rămâne practic aceeași ca și pentru cazul $z_2 > h_2$.

c. Antena de emisie este plasată la înălțimea $z_2 = 10 \text{ m}$ sau $z_2 < h_2$

În fig. 3 sunt prezentate rezultatele calculelor pentru componentele coerente, în modelele MDD și DDD. În acest caz, nu poate fi utilizat modelul MD (vezi formula (2)). În raport cu cazul $z_2 > h_2$, intensitatea componentelor coerente descrește mai mult. De exemplu, pentru $d = 5 \text{ km}$ intensitatea semnalelor coerente se micșorează cu aprox. 55 dB pentru $n = 0.1$; cu aprox. 50 dB când $n = 1$ și cu aprox. 40 dB pentru $n = 5$. În acest caz, rolul obstacolelor devine esențial.

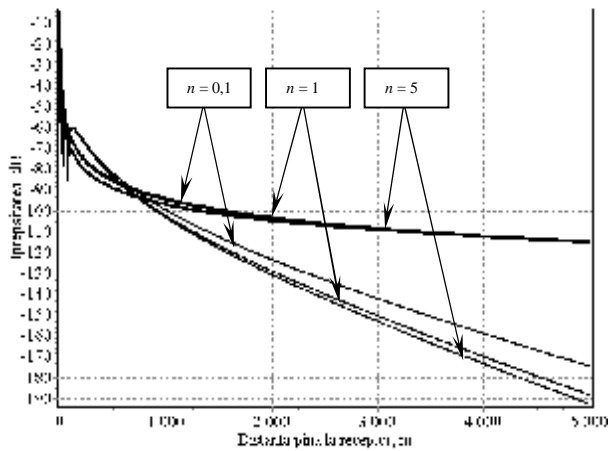


Fig. 3a. Componenta coerentă și necoerentă a semnalului radio pentru modelul MDD, $z_2 < h_2$.

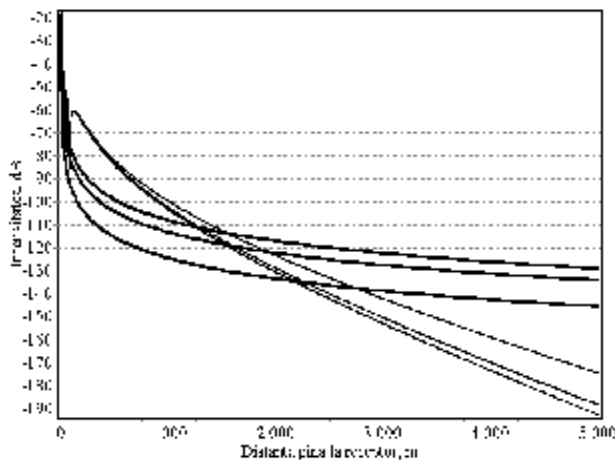


Fig. 3b. Componenta coerentă și necoerentă a semnalului radio pentru modelul DDD, $z_2 < h_2$.

Este necesar să menționăm că, în limitele modelului MDD, graficele componentelor necoerente cu $n = 0, 1, 1$ și 5 au aceleași valori. Altfel-zis, intensitatea semnalului la recepție nu depinde de profilul înălțimii clădirilor orașului. Pentru modelul DDD, este evidentă dependență intensității semnalului la recepție de profilul clădirilor.

Componenta necoerentă în modelul MDD devine mai mare în raport cu componenta coerentă pentru $d > 700m$; în modelul DDD - pentru $d > 1,5 km$ ($n = 0.1$), $d > 1,6 km$ ($n = 1$) și $d > 2,2 km$ ($n = 5$), iar pentru cazul $z_2 < h_2$, ponderea componentei necoerente în intensitatea totală a semnalului devine determinantă.

3. Evaluarea atenuării semnalului radio în mediu urban

În cele ce urmează este examinată posibilitatea utilizării acestui model parametric pentru evaluarea caracteristicilor de atenuare a semnalului radio în condiții urbane neregulate. În acest scop vor fi prezentate, comparativ, rezultatele evaluării teoretice a atenuării totale intensității semnalului radio cu rezultatele experimentale obținute în cadrul unor sesiuni de măsurători realizate în Holon (Israel), Kingston (Jamaica) și Bălți (Moldova).

Terenul în Holon și Bălți este relativ plan, în timp ce localitatea Kingston se caracterizează prin condiții cvasi-rurale. Noțiunea de regiune urbană medie este relevantă în cazul orașelor Holon și Bălți. Datele experimentale pentru orașele Kingston și Holon sunt prezentate în [12]. Pentru orașul Bălți, au fost efectuate măsurări ale intensității semnalului prin utilizarea unui emițător radio cu localizare fixă și un receptor mobil. În fiecare punct au fost efectuate 2-3 măsurători cu precizia de 2 dB.

Evaluarea teoretică a atenuării intensității totale a semnalului radio, în conformitate cu modelul parametric propus, a fost efectuată pentru datele prezentate în tabel, cu presupunerea că toate clădirile sunt din beton armat.

Parametrii modelului pentru evaluarea caracteristicilor de atenuare a semnalului radio

Orașul	ν, km^{-2}	\bar{L}, m	z_1, m	z_2, m	h_1, m	h_2, m	h, m	l_v, m	G	λ, m	n
Holon	258	30	6	30	5	21	13	1,85	0,8	0,16	1
Kingston	213	32	11,2	26	5	15	10	1,85	0,8	0,16	1
Bălți	190	30	3	33	5	19	12	1,85	0,8	0,2	1

Datele experimentale și rezultatele evaluării teoretice a intensității totale a semnalului radio $10 \log \bar{a}l_{total} \bar{n} = 10 \log [\bar{a}l_{co} \bar{n} + \bar{a}l_{neco} \bar{n}]$ sunt prezentate în figurile 4–6. În aceste figuri, datele experimentale sînt indicate prin puncte, iar funcția analitică – prin linie continuă. Δ_{err} reprezintă deviația între două mulțimi de puncte:

$$\Delta_{err} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R_i - r_i)^2}, \quad (8)$$

unde N este dimensiunea mulțimii, R_i - mărimea măsurată și r_i - valoarea teoretică, pentru $d = const.$

În fig. 4(a, b) sunt prezentate, comparativ, rezultatele experimentale obținute în Holon, și rezultatele teoretice, calculate în conformitate cu modelul parametric și parametrul polinomial al profilului înălțimii clădirilor, $n = 1$. În cazul modelului MDD avem $\Delta_{err} = 18 \text{ dB}$, iar în cazul modelului DDD - $\Delta_{err} = 14 \text{ dB}$.

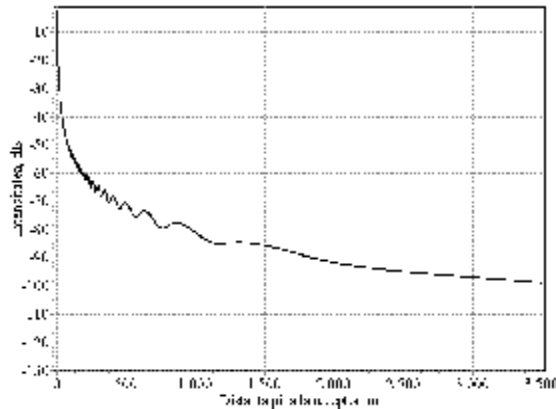


Fig. 4a. Rezultatele experimentale și teoretice pentru modelul MDD (Holon), $\Delta_{err} = 18 \text{ dB}$.

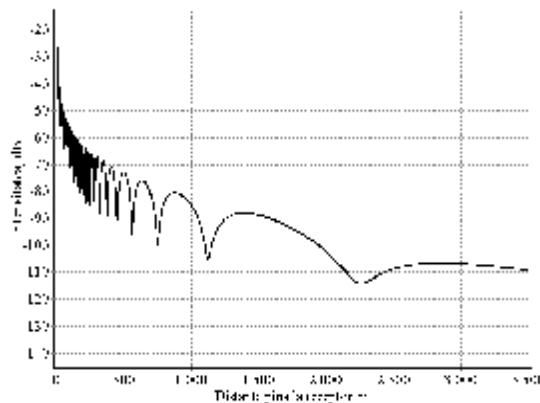


Fig. 4b. Rezultatele experimentale și teoretice pentru modelul DDD (Holon), $\Delta_{err} = 14 \text{ dB}$.

În fig. 5(a, b) sunt prezentate rezultatele datelor experimentale obținute la Kingston, și rezultatele teoretice, calculate pentru parametrul profilului polinomial al înălțimii clădirilor cu $n = 1$. În cazul modelului MDD avem $\Delta_{err} = 16 \text{ dB}$, iar în cazul modelului DDD - $\Delta_{err} = 11 \text{ dB}$. În fig. 5, prin puncte, sunt prezentate datele experimentale obținute atunci când între antena de emisie și antena de recepție sînt obstacole, iar prin pătrate sunt prezentate datele experimentale obținute în condițiile vizibilității directe între cele două antene. Rezultatele prezentate demonstrează o diferență practic nulă dintre datele experimentale obținute în condiții diferite.

În fig. 6 sunt prezentate comparativ datele experimentale obținute la Bălți și rezultatele teoretice calculate pentru parametrul profilului polinomial al înălțimii

clădirilor $n = 1$. În limitele modelului MDD, $\Delta_{err} = 8,8 \text{ dB}$, iar în cazul modelului DDD, $\Delta_{err} = 8,4 \text{ dB}$. În acest caz, datele experimentale au fost culese nediferențiat, în prezența, respectiv absența, obstacolelor între antena de emisie și cea de recepție.

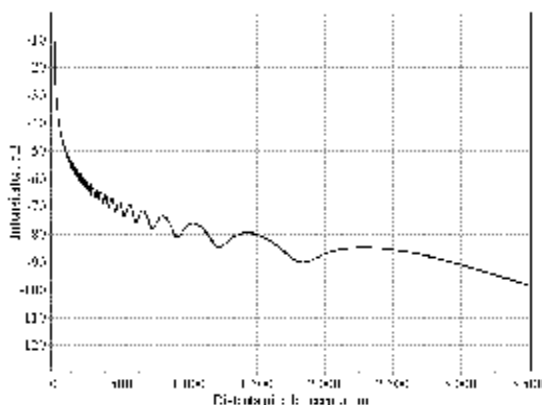


Fig. 5a. Rezultatele experimentale și teoretice pentru modelul MDD (Kingston), $\Delta_{err} = 16 \text{ dB}$.

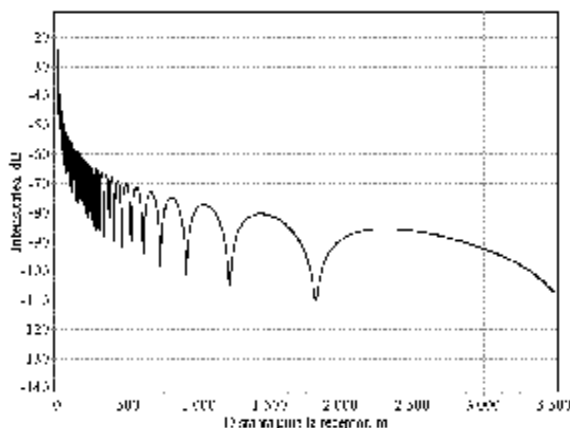


Fig. 5b. Rezultatele experimentale și teoretice pentru modelul DDD (Kingston), $\Delta_{err} = 11 \text{ dB}$.

Mărimea Δ_{err} obținută poate fi justificată prin faptul că, în modelul teoretic, nu se ia în considerație profilul terenului. O convergență mai mare între rezultatele teoretice și datele experimentale poate fi obținută, luându-se în considerație relieful real al Pământului. Astfel, valorile Δ_{err} ar putea mai mici cu $3 - 6 \text{ dB}$.

Rezultatele prezentate în fig. 4–6 demonstrează că, în mediile urbane medii și rurale, modelul parametric propus permite o interpretare satisfăcătoare a mărimii intensității semnalului radio. O precizie mai bună se obține în cazul utilizării modelului DDD.

O problemă serioasă apare în situația când se testează modelul parametric în mediul urban complex, cu terenuri și diferențe semnificative de înălțime între puncte relativ apropiate. În această situație, precizia calculului teoretic este redusă. Mai mult decât atât, terenul complex poate afecta distanța vizibilității directe și, în aceste cazuri, trebuie luat în considerație fenomenul difracției. Pentru a înlătura

aceste dificultăți, trebuie determinate înălțimile clădirilor și înălțimile reale ale antenelor de emisie și de recepție, utilizându-se hărțile topografice. După hărți se determină densitatea, lungimea medie și înălțimea medie a clădirilor.

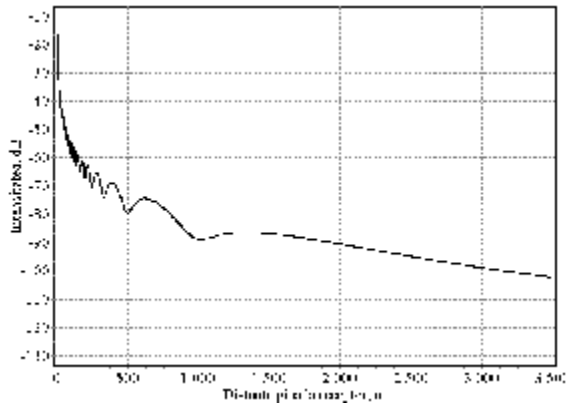


Fig. 6a. Rezultatele experimentale și teoretice pentru modelul MDD (Bălți), $\Delta_{err} = 8,8$ dB.

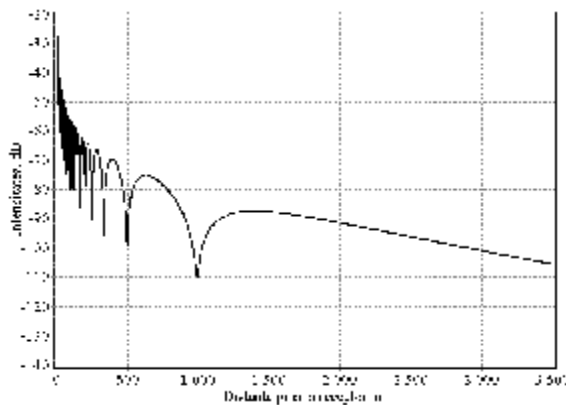


Fig. 6b. Rezultatele experimentale și teoretice pentru modelul DDD (Bălți), $\Delta_{err} = 8,4$ dB.

Avantajul substanțial al modelului parametric prezentat constă în relativa lui simplitate și precizia mai mare în comparație cu modelul Hata [2].

Bibliografie

1. Sato, K., Manabe, T., Polivka, J., Ihara, T., Kasashima, Y., Yamaki, K., *Measurement of the complex refractive index of concrete at 57.5 GHz*, IEEE Trans. Anten. Propagat., Vol. 44, No. 1, 1996, pp. 35–39.
2. Parsons, J. D., *The Mobile Radio Propagation*, New York, Halsted Press, 1992.
3. Lin, S. H., *Statistical behaviour of a fading signal*, Bell Syst. Tech. J., Vol. 50, No. 10, 1971, pp. 3211–3270.

4. Kozono, Sh. and Watanabe, K., *Influence of environmental buildings on UHF land mobile radio propagation*, IEEE Trans. Communic., Vol. 25, No. 10, 1977, pp. 1133–1143.
5. Black, D. M., Reudink, D. O., *Some characteristics of mobile radio propagation at 836 MHz in the Philadelphia area*, IEEE Trans. Vehicular Technol., Vol.21, No. 2, 1972, pp. 45–51.
6. Reudnik, D. O., *Comparison of radio transmission at X-band frequencies in suburban and urban areas*, IEEE Trans. Anten. Propagat., Vol. 20, No. 4, 1972, pp. 470–473.
7. Cox, D. C., Leck, R. P., *Distribution of multipath delay spread and average excess delay for 910-MHz urban mobile radio paths*, IEEE Trans. Anten. Propagat., Vol. 23, No. 2, 1975, pp. 206–213.
8. Zander, J., *A stochastic model of urban UHF radio channel*, IEEE Trans. Vehicular Technol., Vol. 30, No. 1, 1981, pp. 145–155.
9. Charnotskii, M. I., Tatarskii, V. I., *Tilt-invariant theory of rough-surface scattering: I*, Waves in Random Media, Vol. 5, No. 4, 1995, pp. 361–380.
10. Tatarskii, V. I., Charnotskii, M. I., *On the universal behaviour of scattering from a rough surface from small grazing angles*, IEEE Trans. Anten. Propagat., Vol. 46, No. 1, 1995, pp. 67–72.
11. Blaunstein, N. et al., *Prediction of loss characteristics in urban environments with nonregularly distributed buildings placed at the rough terrain*, Proc. of International URS IEEE Conference, Athens, Greece, May 14–18, 1998, pp.121–124.
12. Blaunstein, N., *Radio propagation in cellular networks*, Boston-London, Artech House, 1999.
13. Al'pert, Ya. L., V. L. Ginsburg, Feinberg, E. L., *Radiowave Propagation*, Moscow State Printing House for Technical-Theoretical Literature, 1953.
14. Voronovich, A. G., *Wave Scattering from Rough Surfaces*, Berlin, Springer-Verlag, 1994.

A PARAMETRIC MODEL OF RADIO-WAVE PROPAGATION IN URBAN ENVIRONMENT

Eugeniu Plohotniuc

(State University „Alecus Russo”, Republic of Moldova)

The article deals with a parametric model of calculation of radio signal intensity in VHF-UHF frequency bands in urban environment propagation. The results obtained in this model are verified by comparison with experimental data obtained by a series of measurements in the cities of Holon (Israel), Kingston (Jamaica), and Bălți (Moldova). The theoretic model allows to determine the intensity of the radio signal at reception with 8-18 dB precision. The obtained results demonstrate that, in urban and rural conditions, the suggested model leads to results that correspond to measurements.

Prezentat la redacție la 14 februarie 2006

C.Z.U.621.9.048.4

PROPRIETĂȚI FUNCȚIONALE ALE STRATURILOR DE DEPUNERE DIN PULBERI FORMATE PRIN METODA ELECTROEROZIUNII

Pavel Topală

(Universitatea de Stat „Alecu Russo”, Republica Moldova)

Lucrarea este consacrată unei analize ample a proprietăților de bază a straturilor de depunere formate din pulberi metalice cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls. S-a stabilit că astfel de proprietăți cum ar fi antiuzura, antipriza, anticoroziunea etc. sunt funcție de proprietățile inițiale ale materialului de depunere, pe când continuitatea, compactitatea și grosimea straturilor depind, în primul rând, de corectitudinea determinării elementelor regimului tehnologic de prelucrare și de respectarea acestuia.

În cazul formării straturilor de depunere prin metode tradiționale [1] și neconvenționale [2, 3], se cer respectate un șir de prescripții: proprietăți antiuzură, duritate înaltă, proprietăți anticorozive, continuitate, compactitate și nu în ultimul rând, grosime. Ultima prescripție este importantă, fiindcă anume grosimea straturilor depuse determină posibilitatea aplicării unei sau altei metode de depunere, într-un caz sau altul. Dacă grosimea stratului format este mai mică decât cea prescrisă, metoda nu este aplicabilă, fiindcă nu este asigurată durabilitatea necesară a acestuia, dacă este mai mare, atunci necesită prelucrări premărgătoare care nu totdeauna sunt realizabile. Din motivele enumerate mai sus, este necesară cercetarea și analizarea proprietăților straturilor de depunere obținute cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls.

Proprietățile antiuzură ale straturilor de depunere obținute cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls sunt, în primul rând, determinate de proprietățile fizico-mecanice ale materialului electrodului-sculă sau cele ale pulberii introduse în interstițiu și, desigur, de structura obținută în rezultatul prelucrării. Straturile au fost formate în mediu gazos, introducându-se în interstițiu material de aliere sub formă de pulberi (TiN , TiC , Cr_3C_2 , $TiN+C$, Cr_3C_2+Mo) cu granulația cuprinsă între 30...100 μm . Cercetările experimentale au fost executate pe instalația de tipul „Razread” cu următorii parametri ai regimului tehnologic de prelucrare: frecvența descărcărilor electrice în impuls – 50 Hz, energia degajată în interstițiu $W = 2,15 J$, timpul specific de prelucrare $\tau = 1,5 min/cm^2$ și mărimea interstițiului $S = 0,3 mm$.

Caracteristicile calitative ale straturilor de depunere formate pe suprafețele pieselor executate din oțeluri de mărcile $H18N10T$ și $X12$ sunt prezentate în tabelul de mai jos, în care: R_a – rugozitatea suprafețelor prelucrate, iar d – grosimea straturilor de depunere.

Pentru cazul formării depunerilor din amestecuri de pulberi de tipurile $TiN+C$ și $Cr_3C_2 + Mo$, se atestă micșorarea rugozității și sporirea grosimii stratului format în aceleași condiții de prelucrare.

Compoziția chimică, rugozitatea și grosimea straturilor de depunere

Materialul de aliere	Oțel H18N10T		Oțel X12	
	$R_a, \mu m$	$\delta, \mu m$	$R_a, \mu m$	$\delta, \mu m$
TiN	1,40 – 1,80	38 – 40	0,95 – 1,65	40 – 42
TiC	0,65 – 1,25	46 – 50	0,85 – 1,35	42 – 46
Cr_3C_2	0,90 – 1,25	56 – 60	0,73 – 1,10	48 – 50
TiN+C	1,0 – 1,25	44 – 46	0,65 – 0,85	45 – 46
Cr_3C_2+Mo	0,75 – 0,90	54 – 56	0,70 – 0,75	52 – 54

Rezultatele cercetărilor privind intensitatea uzurii în funcție de durata încercărilor este prezentată în fig. 1. S-a stabilit că, pentru primele ore de încercări, viteza de uzare a stratului de depunere pentru toate probele scade repede, iar după cca 9...12 ore se stabilizează și este relativ mică. În faza inițială, intensitatea uzării este accelerată din motivul rugozității sporite a suprafeței prelucrate. Pe măsura rodării are loc micșorarea acesteia, crește suprafața de contact dintre piesele cuplului, se micșorează densitatea de sarcină pe o unitate de suprafață și, ca rezultat, scade viteza de uzare.

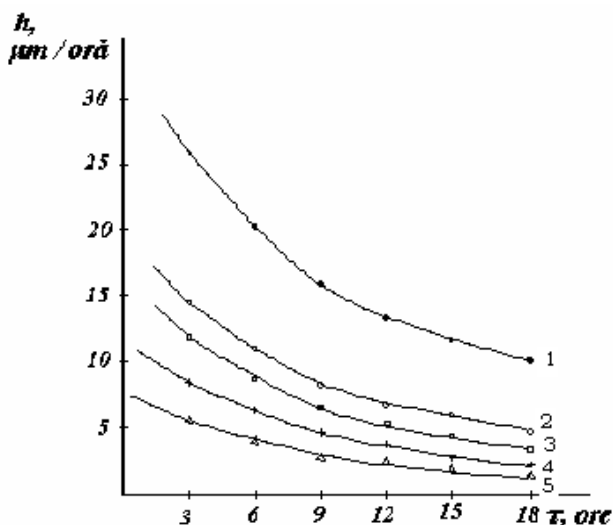


Fig.1. Variația vitezei de uzare în timp pentru straturi depuse din: 1 – Cr_3C_2 ; 2 – $Cr_3C_2 + Mo$; 3 – TiN; 4 – TiN+C; 5 – TiC.

În aceleași condiții de încercare, pentru straturile formate din amestecurile de pulberi TiN+C și Cr_3C_2+Mo , se observă încă de la începutul încercărilor, o viteză relativ mică de uzare. Acest efect se datorește faptului că în straturile de depunere formate se depistează incluziuni de Mo și grafit în stare liberă care, în stare uscată, servesc în calitate de lubrifianți.

Analizând rezultatele experimentale ale încercărilor la uzură a straturilor din bronzuri, s-a stabilit că acestea, în cazul lubrifierii cu ulei tehnic în sisteme închise, pot funcționa, practic, fără uzură, în baza transferului selectiv al cuprului la disocierea electrolică (așa numitul efect Garcunov). Spre deosebire de materialele tradiționale antipriză cum sunt bronzurile, în cazul utilizării în calitate de materiale

de depunere a carburilor metalice (TiC , WC , Cr_3C_2), nitrurilor de titan și a amestecurilor acestora cu grafit, se obțin straturi de protecție cu duritate deosebit de înaltă

(3,5 MPa), care asigură o rezistență la uzare de ordinul a 0,1 mm/oră în cazul frecării „uscate” și cca 0,01 mm/oră în cazul frecării cu lubrifiere.

Cercetările experimentale au demonstrat că, în cazul formării straturilor de depunere din pulberi sau amestecuri ale acestora, în straturile formate pot fi observați pori, care, la rândul lor, joacă un rol benefic pentru menținerea lubrifianților prin mărirea considerabilă a suprafeței de contact dintre lichid și depunerea din materialul solid în cazul cuplurilor tribotehnice. Simultan cu porii, în acestea, pot fi observate fisuri și goluri. Ultimile pot apărea datorită mecanismului destul de complicat al procesului (de obicei, pe suprafața metalului lichid se dezvoltă unde capilare care provoacă apariția craterelor și a aspirităților sub formă de valuri sau vîrfuri care, de fapt, și împiedică formarea straturilor continui) [4].

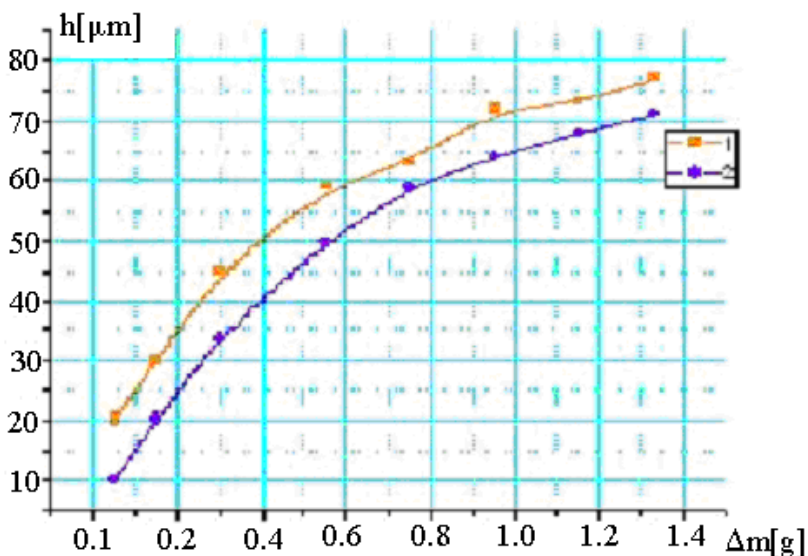


Fig. 2. Grosimea stratului de depunere ca funcție de sporul masei piesei.

Defectele straturilor de depunere formate din materiale compacte, materiale compacte și pulberi, pulberi sau amestecuri ale acestora pot fi remediate prin diferite metode: prelucrări prin așchiere, deformări plastice cu bile sau role, tratamente termice etc. Fiecare dintre metodele de prelucrare ulterioară a straturilor de depunere obținute prin metoda aplicării descărcărilor electrice în impuls se aplică în funcție de prescripțiile tehnice impuse. Prelucrările ulterioare nu sunt necesare întotdeauna. În cazul sculelor așchietoare ori a celor de prelucrare a materialelor prin deformare plastică, de exemplu, rugozitatea dezvoltată a suprafețelor durificate le asigură o funcționare mai bună.

Una dintre proprietățile de importanță majoră este cea de anticoroziune, care trebuie să asigure funcționarea mașinilor și aparatelor în condițiile temperaturilor înalte și a mediilor agresive ale tehnologiei moderne de producere. În scopul

obținerii straturilor de depunere cu astfel de proprietăți, au fost utilizate materiale compacte de paladiu și ruteniu care sunt relativ scumpe. Din acest motiv au fost făcute încercări de substituție a acestora cu amestecuri de pulberi de *Ni* și *Cr*. Epruvetele cu straturile formate din aceste materiale au fost supuse procesului de recoacere, de normalizare și omogenizare în vid, după care au fost executate încercări la coroziune în medii agresive ce prezentau soluții de H_2SO_4 în apă cu un conținut de 10...40 %, la temperaturi de 20...90°C. Rezultatele experiențelor au demonstrat că straturile de depunere din materialele respective permit creșterea potențialului de coroziune de cca 10² ori [5] pentru piesele executate din titan tehnic pur și din aliajele acestuia. Investigările detaliate ale straturilor de depunere formate în acest scop au demonstrat că, pentru acestea, nu este obligatorie continuitatea. Proprietățile lor anticorozive se datorează nu numai celor ale materialelor de depunere, ci și formării a noi compuși intermetalici, cum ar fi oxizii și hidrooxizii în stare amorfă [6], fapt care explică potențialul atât de înalt de coroziune al acestor depuneri.

Pentru formarea straturilor de depunere prin metoda descărcărilor electrice în impuls din materiale compacte și din pulberi, este caracteristic faptul că grosimea acestora este limitată [4, 5] din mai multe motive, unul dintre principalele motive fiind apariția tensiunilor remanente de natură termică, care, în anumite condiții, pot provoca distrugerea lui.

În funcție de regimul energetic de prelucrare, calitatea suprafeței prelucrate poate fi diferită. Se observă, astfel, rugozitatea mult mai dezvoltată pentru energii mai mari degajate în interstițiu.

Dacă se ține cont de faptul că, pe suprafața de prelucrare a piesei, se formează cratere (în cazul prelucrărilor dimensionale) sau băi de metal lichid din amestecul materialului piesei de prelucrat și celui a materialului de depunere în cazul alierii, atunci calitatea suprafeței prelucrate va fi funcție de coeficientul de suprapunere ($k = 0...10$) a efectelor cauzate de actele elementare. Fiecare act elementar provoacă apariția pe suprafața prelucrată a unei urme, de obicei, sub formă de calotă sferică înconjurată de o undă (val) de metal expulzată din acestea.

Din punct de vedere tehnologic, un parametru care necesită a fi pronosticat, fiind determinativ pentru aplicabilitatea metodei, este grosimea stratului de depunere. Având la dispoziție rezultatele experimentale proprii și pe cele din lucrarea [2], în cazul formării straturilor de depunere din bronzuri, pentru determinarea grosimii straturilor formate a fost obținută următoarea relație:

$$H = \frac{\Delta m}{rA} n,$$

unde creșterea de masă $\Delta m = P^c f^d W^k (a-bS^2) r^m$, în care P - debitul de pulberi, g/min; f - frecvența descărcărilor în impuls, Hz; r - raza echivalentă a particulelor de pulberi, mm; W - energia degajată în interstițiu, J; S - mărimea interstițiului, mm; ρ - densitatea materialului particulelor, kg/m³; A - aria suprafeței prelucrate, mm²; n - numărul de treceri ale electrodului-sculă pe suprafața prelucrată a piesei; a și b - constante proprii pentru materiale de depunere; c , d , k și m - exponenți care se stabilesc experimental și sînt funcție atât de proprietățile materialului pulberii, cât

și de condițiile de prelucrare (fig. 2). Astfel, cercetările experimentale executate de diferiți autori și cele proprii au permis de a stabili că proprietățile straturilor de depunere sunt destul de diverse, au posibilități largi de aplicabilitate în practică și acest domeniu al cercetării prezintă interes atât teoretic, cât și practic.

Concluzii

1. Cercetările tehnologice au demonstrat că intensitatea masică de formare a depunerilor este influențată de următorii parametri: mărimea interstițiului, frecvența descărcărilor în impuls, energia degajată în interstițiu, dimensiunile particulelor pulberilor metalice, debitul pulberilor metalice și timpul specific de prelucrare.
2. S-a stabilit că, pentru a obține depuneri calitative din punct de vedere al grosimii, continuității, și defectuoziității minime, se vor respecta următoarele limite: interstițiu de 0,3...1,0 mm; energia de 0,7...7 J; frecvența descărcărilor în impuls până la 120 Hz.
3. Proprietățile stratului de depunere depind în mare măsură de proprietățile materialul pulberii metalice. În cazul formării straturilor de antifricțiune, formarea straturilor poroase este benefică.
4. Compozițiile din pulberi ce conțin molibden și grafit sunt benefice pentru formarea straturilor antiuzură.

Bibliografie:

1. Nanu, A., *Tehnologia materialelor*, Chișinău, Știința, 1999, 498 p.
2. Артомонов, Б.А., Волков, Ю.С., Дрожалова, В.И., *Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов*, Москва, Высшая школа, 1983, часть I и 2.
3. Topală, P., *Cercetări privind obținerea straturilor din pulberi metalice prin descărcări electrice în impuls. Rezumatul tezei de doctorat*, Universitatea Politehnică, București, 1993, 32 p.
4. Топала, П.А., Гитлевич, А.Е., Беляков, А.В., *Упрочнение металлических поверхностей при электроискровом нанесении покрытий из порошковых материалов* // Повышение надежности и долговечности материалов деталей машин на основе методов термической и химико-термической обработки, Москва, 1988, стр. 73-80.
5. Топала, П.А., *Электроискровое легирование металлических поверхностей в режиме недонапряжения* // Всесоюзная школа – семинар Электрофизические методы и технологии воздействия на структуру и свойства материалов, Ленинград, Судостроение, 1990, стр.90-91.
6. Немошкаленко, В.К., Топала, П.А., Томашевский, Н.А., Мазанко, В.Ф., Носовский, О.И., *Особенности формирования поверхностных слоев при искровых разрядах* // Металлофизика, Киев, 1990, Том.12, Nr.3, стр.132-133.

FUNCTIONAL PROPERTIES OF THE LAYERS OF DEPOSITION FROM POWDERS FORMED BY ELECTROEROSION

Pavel Topala

(State University „Alec Russo”, Republic of Moldova)

The work presents an ample analysis of stratum properties obtained by application of metallic powder materials. It was established that properties such as wear hardness, anticorrosiveness, etc, depend on the initial properties of the laid material, while continuity, density and layer thickness depend first of all on the correctness in determination of the elements of the technological process.

Prezentat la redacție la 14 decembrie 2005

C.Z.U.539.538

INSTALAȚIA EXPERIMENTALĂ PENTRU CERCETAREA PROCESULUI DE UZURĂ A SUPRAFETELOR PLANE

Alexandru Balanici, Pavel Topală

(Universitatea de Stat „Alec Russo”, Republica Moldova)

În lucrare se descrie construcția și principiul de funcționare a instalației pentru cercetarea procesului de uzură a suprafețelor plane, indicându-se, de asemenea, particularitățile constructive și caracteristicile tehnice ale acesteia.

Cercetarea procesului de uzură a organelor de mașini, în particular a ghidajelor mașinilor-unelte, precum și aprecierea coeficientului de uzură a materialelor se pot realiza doar având la dispoziție o instalație experimentală. Pentru a obține un tablou integral al procesului de uzare a cuplurilor cinematice este important ca utilajul experimental să reproducă întocmai spectrul de sarcini și condițiile reale de exploatare ale acestora. Trebuie să menționăm că procesul de uzare are un caracter probabil și este influențat de un șir de factori, majoritatea dintre ei schimbându-se într-un diapazon relativ mare.

În prezent, nu există mașini universale de cercetare a procesului de uzură. Analiza unor instalații existente [1, 2] arată că acestea imită condițiile de frecare ce corespund condițiilor de lucru al ghidajelor mașinilor-unelte; ele sînt diverse după construcție și destinație, au anumite priorități particulare, însă, deseori, sînt executate doar într-un singur exemplar pentru realizarea unor sarcini concrete. În majoritatea cazurilor, nu sînt indicați, de regulă, parametrii tehnici, schemele cinematice, principiul de funcționare. În literatura de specialitate este descris doar aspectul general al acestora.

În scopul efectuării unor cercetări privind modelarea procesului de uzură a suprafețelor plane, al aprecierii coeficientului de uzură pentru diferite materiale, la catedra *Tehnică și tehnologii* a fost proiectată și construită o instalație experimentală. Aceasta instalație reprezintă o mașină de încercare la uzură prin frecare (vezi fig. 1), cu o mișcare rectilinie du-te-vino. Ea constă din următoarele componente: (1) masa de lucru, (2) căruciorul, (3) subansamblul de forță, sub formă de tub cilindric vertical, (4) mecanismul bielă-manivelă, (5) motorul electric, (6) reductorul cu melc, (7) panoul de comandă, (8) probele de încercare.

Elementul de bază al instalației îl constituie masa de lucru (690 x 300 x 16 mm), confecționată din ghetinax și fixată pe patru piciorușe. Pe masă, în partea stîngă, se fixează o placă din oțel, pe suprafața căreia un cărucior efectuează o mișcare de du-te-vino. Pe cărucior se prinde rigid proba experimentală inferioară, confecționată sub formă de paralelipiped de dimensiunile 175 x 70 x 10 mm.

Deasupra căruciorului, perpendicular pe masă, este instalată subansamblul de forță, care constă dintr-un tub cilindric, fixat pe masă prin intermediul unui suport sub formă de T. În interiorul tubului se găsește un arc, fixat în partea superioară de însăși construcția tubului, iar în partea inferioară de o bucășă liberă de sprijin.

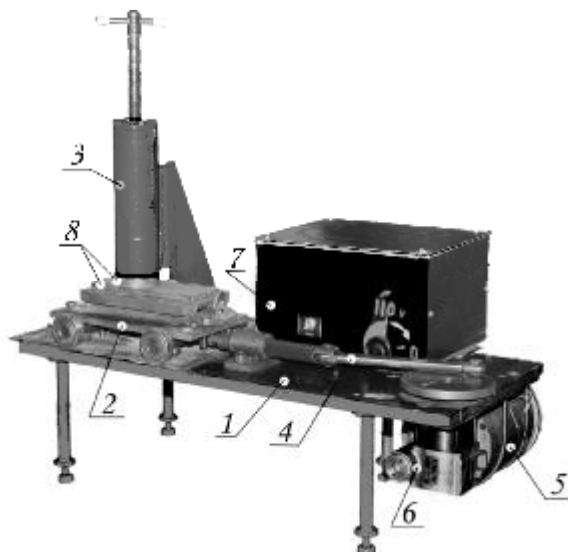


Fig. 1. Instalația pentru cercetarea procesului de uzură a suprafețelor plane.

La rotirea șurubului de strîngere, de capul inferior al căruia se prinde o șaibă de reazem, instalat în partea superioară a tubului cilindric, se comprimă arcul, iar acesta transmite efortul de comprimare, prin intermediul bucășei de sprijin, probei experimentale superioare. Ultima este confecționată sub formă de cilindru în două trepte: treapta superioară avînd diametru 40 mm și înălțimea 5 mm se fixează în bucașă de sprijin, iar treapta inferioară cu diametrul de 70 mm și înălțimea 10 mm alunecă pe proba cercetată.

Pe tubul cilindric este tăiat un canal, de-a lungul căruia este fixată o riglă milimetrică. Acul indicator, care e prins pe șaiba de reazem și care se poate deplasa de-a lungul canalului, indică alungirea arcului. Cunoscînd mărimea deformației, se

poate determina, cu ajutorul graficului obținut în rezultatul etalonării, valoarea efortului ce acționează asupra probelor experimentale. Etalonarea se efectuează prin metoda cântăririi. Graficul obținut în urma etalonării este lipit pe panoul de comandă.

Efortul transmis probelor supuse solicitării la uzură prin frecare poate varia în limitele 0...500 *N*.

Mecanismul bielă–manivelă asigură mișcarea relativă a probelor experimentale. Acesta este destinat pentru a transforma mișcarea de rotație a roții–manivelă în mișcare rectilinie alternativă a căruciorului. Pe roata-manivelă sînt găurite patru orificii. La mutarea bolțului manivelei în una din cele patru poziții, ce poate regla lungimea cursei de lucru al căruciorului, care poate avea valori de 50, 60, 80 și 100 *mm*.

Căruciorul este pus în mișcare de un motor electric cu curent continuu, prin intermediul unui reductor cu melc. Motorul cu curent continuu are o putere de 230 *W*. Frecvența maximă de rotație a rotorului este de 2400 *rot/min*. Tensiunea de alimentare a motorului electric este de 110 *V*. Momentul de rotație de la motor se transmite la reductor cu ajutorul cuplajului cu craboți, alcătuit din două semicuplaje cu camă. Pe arborele vertical al reductorului este instalată roata–manivelă. Reductorul micșorează frecvența de rotație a roții-manivelă de 40 ori. Reductoarele cu angrenaj melcat se utilizează în caz de transmisie a mișcării între arbori, axele cărora se intersectează. Deosebim trei scheme de bază ale reductoarelor cu melc: cu așezare inferioară, superioară și laterală a melcului. În instalația elaborată se folosește un reductor cu așezare laterală a melcului și cu ieșire verticală a arborelui roții melcate. În acest caz, în pofida faptului că condițiile de ungere a cuplajului sînt mai puțin favorabile, probabilitatea ca produsele uzării să nimerească în cuplaj este mai mică. Pentru a obține o construcție compactă, motorul electric și reductorul sînt instalate sub masă. Mecanismul de transmisie (motorul electric, reductorul și mecanismul bielă–manivelă) permite reglarea lentă a vitezei relative de alunecare a probelor experimentale de la 0,003 *m/s* pînă la 1,25 *m/s*.

Blocul (panoul) de comandă al instalației este așezat pe masă, în partea dreaptă. El constă dintr-un redresor, transformator de 220 / 110 *V*, reglator de tensiune și întrerupător. Schema electrică (fig. 2) este alcătuită dintr-un autotransformator standard de tipul JIATP (2), de putere 500 *W*, cu ajutorul căruia se poate de reglat lin tensiunea în limitele 0 ... 250 *V*. Tensiunea necesară de lucru se ia de pe bobina secundară și se aplică la puntea de redresare (3), montată din diode cu capacitatea de redresare de pînă la 10 *A*. Conectarea și deconectarea mașinii se efectuează cu ajutorul întrerupătorului (1). Curentul electric redresat se transmite motorului electric cu colector (4). Acest tip de motor permite variația caracteristicilor cinematice de mișcare a suprafețelor de frecare în procesul de lucru al instalației. Este cunoscut faptul că frecvența de rotație a motorului electric cu colector se poate de reglat lin într-un diapazon larg. Reglarea lină și ușoară a frecvenței de rotație este principalul motiv de alegere a acestui tip de motor.

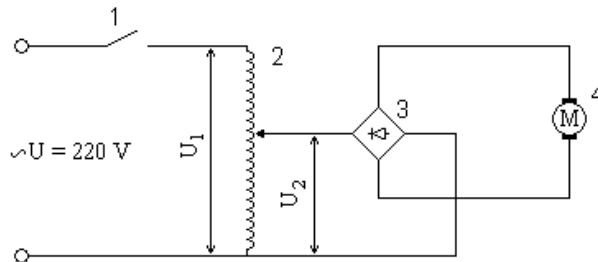


Fig. 2 Schema electrică principală a instalației.

Reglarea condițiilor de frecare dintre probele experimentale se poate efectua și prin aducerea lubrifianților în zona de contact prin cădere liberă.

Parametrii tehnici ai instalației:

<i>Dimensiunile de gabarit</i>	690 x 380 x 660 mm;
<i>Lungimea cursei duble a căruciorului</i>	50; 60; 80; 100 mm;
<i>Viteza relativă a căruciorului</i>	0,003 ... 1,25 m/s;
<i>Efortul de solicitare a probelor experimentale</i>	0 ... 500 N;
<i>Puterea motorului electric</i>	230 W;
<i>Frecvența maximă de rotație a motorului</i>	2400 rot/min;
<i>Frecvența maximă de rotație a roții-manivelă</i>	60 rot/min;
<i>Tensiunea de alimentare a instalației</i>	220 V.

În comparație cu mașinile experimentale cunoscute, instalația dată are un subansamblu de forță mult mai simplu, iar din punct de vedere constructiv, este mai compactă și mai simplă în exploatare.

Bibliografie

1. Проников, А.С., Садыков, В.В., *Установка для исследования износа направляющих металлорежущих станков на образцах*, Буряцкий ЦНТИ, 1989.
2. Счастливенко, Ф. Е., Броневец, М.А., *Машина трения М-1 для испытания образцов направляющих на износостойкость* // Некоторые вопросы технологической надежности и ускоренных испытаний металлорежущих станков, Минск, ЦНТИП, 1988.

THE EXPERIMENTAL INSTALLATION FOR RESEARCH ON THE WEAR PROCESS OF PLANE SURFACES

Alexandru Balanici, Pavel Topală
(State University „Alec Russo”, Republic of Moldova)

The article describes the construction and the principle of working of the installation for research on the wear process of plane surfaces. Constructive particularities and technical parameters of the installation are given.

Prezentat la redacție la 10 ianuarie 2006

C.Z.U.54-1:691.004.12-002.3

О КЛАССИФИКАЦИИ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ С ПОЗИЦИЙ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Шарагов Василий

(Государственный Университет им. А.Руссо, Республика Молдова)

Впервые предложено использовать системный анализ для классификации свойств веществ и материалов. Показана связь свойств веществ и материалов с основными формами движения материи. Приводится классификация основных классов и групп свойств для твердых тел.

Введение

Любое вещество или материал характеризуется совокупностью разного рода свойств: механических, тепловых, электрических, магнитных, оптических и т. д.

В литературе описаны разные критерии для составления классификации свойств веществ и материалов. Отсутствие единого подхода при классификации свойств приводит к тому, что для одних и тех же материалов в разных работах приводятся резко отличающиеся классификации свойств. Кроме того, в названии ряда групп свойств используется некорректная терминология. В некоторых исследованиях наблюдается смешение физических и химических свойств.

На наш взгляд, это объясняется отсутствием четких критериев, на основе которых производится классификация свойств объектов и явлений. Грамотная классификация свойств объектов, на наш взгляд, будет способствовать лучшему пониманию и более глубокому запоминанию.

Цель настоящей работы состоит в разработке критериев для классификации свойств веществ и материалов на основе системного анализа.

Аналитическая часть

Сначала рассмотрим наиболее типичные классификации свойств материалов, применяемых в строительстве и машиностроении. Так, в учебнике Воробьева В. А. [1] классификация основных свойств строительных материалов дается следующим образом:

„К первой группе свойств относят физические свойства материалов: удельный вес, объемный вес, плотность и пористость. От них в большей степени зависят другие важные в строительном отношении свойства строительных материалов.

Вторую группу составляют свойства, характеризующие отношение строительного материала к действию воды и мороза: водопоглощение, влаж-

ность и отдача влаги, гигроскопичность, водопроницаемость, водо – и морозостойкость.

К третьей группе относят механические свойства материалов: прочность, твердость, истираемость и др.

В четвертую группу объединены свойства, характеризующие отношение материалов к действию тепла: теплопроводность, теплоемкость, огнеустойкость и огнеупорность” [1].

Далее автор добавляет: "Помимо основных, различают еще специальные свойства, присущие лишь отдельным видам строительных материалов. Свойство некоторых материалов сопротивляться разрушаемому действию кислот, щелочей, солей и газов имеет общее название химической (или коррозионной стойкости). Особую группу составляют так называемые технологические свойства, которые характеризуют способность материала подвергаться механической обработке" [1] (выделено нами).

Вышеприведенная классификация свойств строительных материалов имеет следующие недостатки. Во-первых, вторая и четвертая группы свойств определены описательно. Во-вторых, неправомерно называть первую группу свойств физическими, т. к. все четыре группы свойств относятся к физическим свойствам (далее это будет аргументировано). Не корректно выделение химических свойств в виде специальных свойств (причем, по мнению автора популярного учебника, присущих лишь отдельным видам строительных материалов), в то время как технологические свойства почему-то называются особыми. Не вызывает сомнений, что и химические и технологические свойства присущи любому материалу. Водостойкость материалов отнесена ко второй группе свойств, хотя это классическое химическое свойство. Такая классификация имеет и другие недостатки.

Отсюда следует, что у Воробьева В. А. отсутствовали четкие критерии, по которым составлялась классификация свойств материалов. Подобного рода классификации свойств строительных материалов приводятся не только в учебниках, но и в справочниках и научных изданиях.

Такого же характера классификации даются для свойств конструкционных материалов. Например, в учебнике [2] свойства материалов подразделяются на эксплуатационные, технологические и стоимостные. Такая классификация имеет ряд просчетов.

Во-первых, „эксплуатационные свойства” включают большое число групп свойств, которые следует отнести к двум разным классам свойств: физическим и химическим. К тому же, конкретные критерии для определения того, какие свойства следует отнести к группе „эксплуатационных свойств”, отсутствуют. Вследствие этого, выделение некоторых свойств в отдельную группу „эксплуатационные свойства” в значительной мере является условным. Во-вторых, „технологические свойства” фактически относятся только к классу физических свойств. В-третьих, экономические показатели производства материалов и изделий в указанной классификации отнесены к стоимост-

ным свойствам. Следовательно, в рамках данной классификации отсутствует четкое понимание термина “свойство”.

Каким же образом правильно составить классификацию свойств любого объекта? На наш взгляд, для этого необходимо использовать системный анализ. В общем случае системный анализ представляет собой совокупность методических средств и процедур, используемых для подготовки, обоснования и осуществления решений по дискуссионным проблемам самого разного характера. Самой сложной и ответственной процедурой в системном анализе является построение обобщенной модели, отображающей все те факторы и взаимосвязи между ними, которые могут влиять на процесс принятия решения [3-5]. С помощью системного анализа можно получить целостное представление о любом объекте и явлении и их взаимодействии с окружающей средой.

Учитывая вышеизложенное, все многообразие свойств мы разделим на наиболее важные классы. В качестве критерия для определения основных классов свойств нами взята классификация основных форм движения материи (или основных явлений) [6], представленная на рис. 1.



Рис. 1. Классификация основных форм движения материи

В свою очередь, конкретное явление определяется по простейшим носителям [6], иерархия которых представлена на рис. 2.

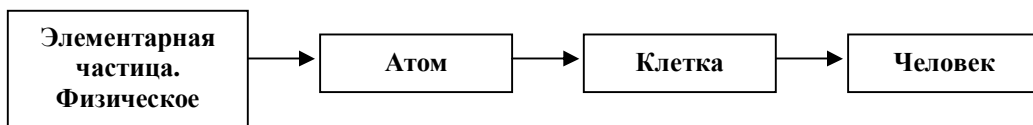


Рис.2. Иерархия простейших носителей для основных форм движения материи

Такой подход мотивируется тем, что при определении характеристики любого свойства в процессе испытания вещества или материала всегда возникают разного рода явления. Поясним сказанное на примере. При определении механической прочности материала происходят следующие явления: деформируется структурная решетка, возникает напряжение растяжения и сжатия, появляются микро- и макротрещины и т. д. В результате испытания образец разрушается. Следовательно, зная природу явлений, возникающих при испытании объекта, можно установить, к какому классу свойств относится данное свойство.

В нашем подходе по аналогии с классификацией основных явлений все свойства подразделяются на четыре класса: физические, химические, биологические и социальные. В настоящей статье рассматриваются только физические и химические свойства.

Прежде всего поясним, что следует понимать под физическими и химическими явлениями. Физические явления характеризуются взаимодействием элементарных частиц между собой и взаимодействием любых материальных объектов, осуществляемых посредством полей [6].

Химические явления характеризуются превращением одних веществ в другие [6]. Необходимо отметить, что при химических реакциях атом, как простейший носитель, частично изменяясь, в целом сохраняет свою индивидуальность.

Теперь на основе указанных критериев можно однозначно определить, к какому классу относится то или иное свойство. Если при испытании объекта возникают только физические явления, то вещество или материал характеризуется физическими свойствами (но не химическими). Например, механическая прочность является физическим свойством, так как данное свойство определяется посредством физических явлений.

Особо следует остановиться на химических свойствах веществ и материалов. Как уже было отмечено, критерием протекания химической реакции является образование новых веществ. И здесь необходимо обратить внимание на то, что любое химическое превращение всегда связано с физическими явлениями. Например, при горении природного газа происходят такие физические явления, как перемещение газа и кислорода в зону реакции и их перемешивание, выход продуктов горения из зоны реакции, нагрев окружающего воздуха, свечение пламени и т. д. Следовательно, излишне химические явления называть физико-химические. Отсюда следует, что свойства веществ и материалов необходимо разделять на свойства физические и химические.

Конкретизируем разбивку отдельного класса свойств веществ и материалов на группы и подгруппы свойств. Для твердых тел с позиции системного анализа в классе физических свойств мы предлагаем выделить следующие группы: структурно-физические, тепловые, гидрофизические, механические, электрические, магнитные, оптические, акустические, технологические и др. Обычно каждая группа свойств разбивается на подгруппы. Например, группа механических свойств делится на такие подгруппы, как механическая прочность, твердость, упругость и др. В свою очередь подгруппа свойств „механическая прочность” включает такие виды прочности, как изгиб, растяжение, сжатие, излом, кручение, сдвиг и т. д.

Особо считаем необходимым остановиться на группе „структурно-физические свойства”. В эту группу мы включаем следующие подгруппы свойств: плотность, пористость и однородность. Указанные свойства в литературе называются физическими. Однако такое название относится ко всему классу свойств. Поэтому в литературе наблюдается путаница с названиями отдельных групп свойств. Примером неудачной классификации свойств материалов может служить классификация, приведенная в учебнике [7]: „При выборе материала для конструкции исходят из комплекса свойств, которые подразделяются на механические, физико-химические, технологические и

эксплуатационные. К физическим свойствам металлов и сплавов относятся температура плавления, плотность, температурные коэффициенты линейного и объемного расширения, электросопротивление и электропроводность”.

Таким образом, на основе системного анализа можно составить классификацию свойств для любых веществ и материалов, даже тех, которые находятся в разных агрегатных состояниях.

Заключение

В нашей работе, на основе системного анализа впервые разработана классификация классов, групп и подгрупп свойств для веществ и материалов на основе системного анализа.

Указанная классификация аналогична классификации основных форм движения материи (или основных явлений).

Место отдельного свойства в общей классификации свойств определяется на основе явлений, возникающих при испытании данного вещества или материала.

Так, предлагается физические свойства твердых тел разбивать на следующие группы свойств: структурно-физические, тепловые, гидрофизические, механические, электрические, магнитные, оптические, акустические, технологические и др.

Список литературы

1. Воробьев, В. А., *Строительные материалы: Учебник для инж.-строит. Вузов*, Москва, Высшая Школа, 1973, 376 стр.
2. *Материаловедение: Учебник для вузов* / Арзамасов, Б. Н., Макарова, В. И., Мухин, Г. Г. и др. 5-е изд., стереотип, Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003, 648 стр.
3. Смирнов, В. Н., *Системное исследование показателей качества изделий*, Ленинград, Машиностроение, 1981, 183 стр.
4. Владимирский, С. Р., *Системотехника машиностроения. Методология и практические приложения*, СПб: Питер, 1994, 286 стр.
5. Абовский, Н. П., *Творчество в строительстве. Системный подход*, Красноярск, Стройиздат, 1992, 292 стр.
6. *Общая химия: Учебник для студентов нехимических специальностей университетов* // Под ред. Соколовской, Е. М. и Гузея, Л. С.. 3-е изд. Перераб. И доп., Москва, Изд-во Моск. Ун-та, 1989, 640 стр.
7. *Технология конструкционных материалов: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов* // Дальский, А. М., Барсукова, Т. М., Бухаркин, Л. Н. и др. 5-е изд., испр., Москва, Машиностроение, 2004, 512 стр.

CLASSIFICATION OF THE PROPERTIES OF SUBSTANCES AND MATERIALS FROM THE POSITION OF SYSTEM ANALYSIS

Vasili Sharagov

(State University „Alec Russo”, Republic of Moldova)

For the first time a system analysis for the classification of the properties of substances and materials is proposed to be used. The link of the properties of substances and materials with fundamental forms of motion matter is shown. The classification of the main classes and groups of properties for solids is given here.

Prezentat la redacție la 26 ianuarie 2006

C.Z.U. 666.11.01

HF-СЕКЦИОНИРОВАНИЕ БЕСЦВЕТНЫХ ПРОЗРАЧНЫХ СТЕКОЛ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Шарагов Василий, Азаренко Ольга, Лысенко Галина

(Государственный Университет им. А.Руссо, Республика Молдова)

Для анализа поверхностных слоев бесцветных прозрачных стекол промышленного назначения предлагается использовать метод *HF*-секционирования. Приводятся данные для скорости растворения поверхностных слоев промышленных стекол на глубину до 10 мкм. Анализируются графики скорости растворения стекла в зависимости от продолжительности одного травления. Рассматривается возможность выявления слоистой структуры в стеклах.

Введение

Промышленные стекла характеризуются неоднородной структурой. В литературе разработаны различные методы для определения показателя неоднородности стекла [1]. Однако все эти методы позволяют установить степень неоднородности стекла для всего объема образца. В то же время во многих случаях важно знать характер неоднородной структуры поверхностных слоев стекла. В работах [2-4] показано, что промышленные стекла в процессе формования образуют слоистую структуру. Установить характер и параметры слоистой структуры неорганических стекол является задачей важной и сложной одновременно.

Цель проведенных экспериментов заключалась в анализе поверхностных слоев прозрачных бесцветных стекол разных составов и назначений с помощью метода *HF* – секционирования.

Необходимо отметить, что подобные исследования в литературе не описаны.

Методика эксперимента

Объектами исследований явились следующие промышленные стекла: листовое, тарное обесцвеченное, прозрачное бесцветное медицинское и прозрачное бесцветное светотехническое.

Химические составы листового и тарного стекол близки между собой, в то время как медицинское и светотехническое стекла имеют совершенно иные составы. Условия варки стекломассы и формования стеклоизделий разного назначения значительно отличаются друг от друга.

Химический состав листового стекла (массовые доли, %): 72,55 SiO_2 , 1,83 Al_2O_3 , 0,10 Fe_2O_3 , 7,65 CaO , 3,61 MgO , 13,57 Na_2O , 0,46 K_2O , 0,31 SO_3 .

В качестве образцов тарного стекла использовались банки и бутылки разного ассортимента. Банки вместимостью от 0,2 до 1,0 л вырабатывались на машинах секционного типа IS-8-2. Банки отбирались из секций № 1 и № 8, то есть из форм, расположенных как ближе всего к леру, так и на наибольшем расстоянии от него. Это объясняется тем, что банки, отформованные в этих секциях, при перемещении их к леру охлаждаются в наибольшей и наименьшей степени. Первоначально допускалось, что разная степень охлаждения свежееотформованных банок может повлиять на процесс формирования структуры стекла. Бутылки вместимостью 0,5 л вырабатывались на роторных машинах типа ВВ-12-2. Образцы для исследований вырезались из стенок стеклоизделий в виде пластинок.

На первой стадии исследований химический состав тарного стекла был следующим (массовые доли, %): 72,02 SiO_2 , 1,97 Al_2O_3 , 0,07 Fe_2O_3 , 7,07 CaO , 4,79 MgO , 13,68 Na_2O , 0,32 SO_3 . В последующих экспериментах компоненты SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO и Na_2O отличались от вышеприведенного состава не более, чем на $\pm 0,1$ %.

Прозрачное бесцветное стекло применяется для ручной выработки светотехнических рассеивателей и сортовых изделий. Химический состав светотехнического стекла (массовые доли, %): 71,52 SiO_2 ; 4,43 Al_2O_3 ; 0,03 Fe_2O_3 ; 6,75 CaO ; 0,15 MgO ; 16,67 Na_2O ; 0,25 K_2O ; 0,20 SO_3 . Образцы светотехнического стекла готовились следующим образом. Сначала из стекломассы отливались лепешки толщиной около 5 мм, которые затем отжигались. В экспериментах также применялись пластинки стекла, вырезанные из стенок рассеивателей.

Заданный химический состав прозрачного бесцветного медицинского стекла для производства ампул, взятый для эксперимента, следующий (массовые доли, %): 72,8 SiO_2 ; 4,5 Al_2O_3 ; 6,1 CaO ; 0,8 MgO ; 8,1 Na_2O ; 1,7 K_2O ; 6,0 B_2O_3 .

Метод HF-секционирования разработан в Будапештском университете им. Л. Этвеша [5-6] и уже нашел применение для анализа модельных стекол простых составов [5-9]. Сущность метода заключается в послойном растворении стекла в растворе HF. Определяя потери массы стекла за одно травле-

ние, можно рассчитать толщину растворенного слоя и скорость его растворения [10].

Нами установлено, что скорость растворения стекла зависит от многих факторов: состава и структуры стекла, однородности образцов, концентрации, объема и температуры раствора *HF*, гидродинамических условий и др. Методика секционного травления промышленных стекол описана в [10].

Во всех экспериментах одновременно травилось три образца общей площадью каждый примерно 10 см^2 . Продолжительность одного травления варьировалась в ходе эксперимента и составляла от 5 до 60 мин. Образцы травились в стационарном положении.

Максимальная относительная погрешность определения толщины растворенного слоя не превышала $\pm 5 \%$, а скорости травления $\pm 4 \%$.

В вытяжках после травления стекла на пламенном фотометре определялась концентрации Na^+ , K^+ и Ca^{2+} . Для описания эксперимента применялась общепринятая методика анализа.

Полученные результаты и их обсуждение

В данной работе при анализе поверхностных слоев стекла за одно травление растворялся слой толщиной от 0,1 до 1,0 мкм. Толщина растворенного слоя стекла регулировалась путем изменения только одного параметра, а именно: продолжительности травления. Все другие параметры (объем, концентрация и температура раствора, гидродинамические условия и др.) оставались при этом неизменными. При расчете толщины растворенного слоя и скорости его растворения делались следующие допущения: все поверхности образца растворяются с одинаковой скоростью, плотность образца во всем его объеме одинакова.

Графики скоростей растворения тарного и листового стекол при продолжительности одного травления 10 мин представлены на рис. 1.

Полученные данные свидетельствуют о следующем.

1. Графики скоростей растворения двух серий образцов, вырезанных из одной и той же банки, имеют нестабильный характер, хотя в целом зависимости подобные. Образцы стекла из бутылки имеют примерно такую же структуру поверхностных слоев. Более того, общий характер растворения пластинок листового стекла такой же, как и для трех серий образцов тарного стекла.

2. Средние скорости растворения листового стекла и образцов тарного стекла находятся на одном и том же уровне.

Многократное травление образцов тарных изделий (бутылок и банок), отобранных как в одно и то же время, так и в разные дни подтвердило нестабильный характер скорости растворения стекла. Такая закономерность наблюдалась при травлении промышленных стекол на глубину до 10 мкм. Следовательно, значительный разброс данных для скорости растворения поверх-

ностных слоев промышленных стекол можно объяснить только его неоднородной структурой.

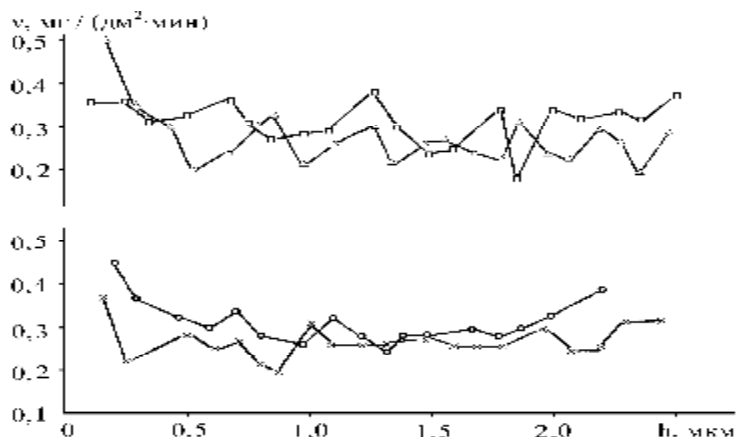


Рис.1. Скорость растворения поверхностных слоев тарного и листового стекла. Продолжительность одного травления 10 мин. *O* – листовое стекло; Δ – банка (секция 5); *П* – банка (секция 5); *X* – бутылка.

В последующих экспериментах длительность одного травления была увеличена до 20 мин. Некоторые данные о скорости растворения промышленных стекол на глубину до 2,5 мкм представлены на рис. 2.

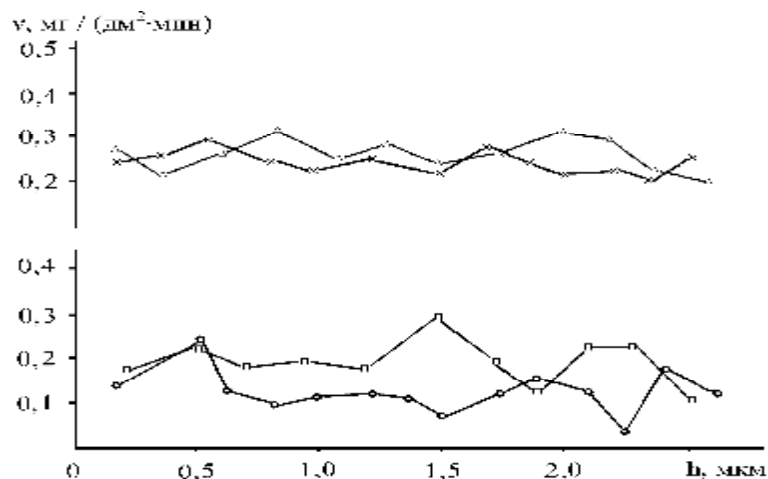


Рис.2. Скорость растворения поверхностных слоев тарного стекла. Продолжительность одного травления 20 мин. *X* – бутылка (форма 19); Δ – бутылка (форма 19); *П* – листовое стекло; *O* – бутылка (форма 28).

Сопоставление результатов, приведенных на рис. 1 и рис. 2, наглядно демонстрирует, что с увеличением продолжительности одного травления в два раза толщина растворенного слоя также возросла примерно в два раза.

Однако разброс данных для скорости растворения стекла при длительности одного травления 20 минут существенно уменьшается.

Рис. 2 также показывает, что разброс результатов между сериями образцов из одной и той же бутылки (форма 19) меньше, чем между образцами тарного и листового стекла. Травление образцов всех серий на глубину до 10 мкм не изменило закономерности изменения скоростей растворения стекол. Отсюда следует, что структура исследованных стекол имеет примерно один и тот же характер в слое толщиной 10 мкм. По данным разброса скорости растворения образцов можно ориентировочно оценить степень неоднородности промышленных стекол разного назначения.

При дальнейшем увеличении времени одного травления до 60 минут графики скоростей растворения всех видов стекол (разных по составу и назначению) сглаживаются и принимают вид, приближенный к прямым линиям, о чем свидетельствуют данные рис. 3.

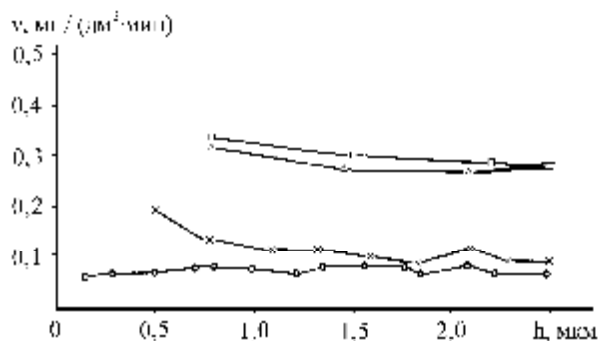


Рис.3. Скорость растворения поверхностных слоев промышленных стекол. Продолжительность одного травления 60 мин. X – светотехническое стекло; Δ – листовое стекло; П – тарное стекло; O – медицинское стекло.

Полученные данные позволяют утверждать, что листовое и тарное стекло имеют близкие средние скорости растворения. Следовательно, химические составы указанных стекол являются более важным фактором, чем различия при условиях варки стекломассы и способах формования стеклоизделий.

Скорости растворения медицинского и светотехнического стекол примерно в 3-4 раза меньше скоростей растворения листового и тарного стекол. Высокая химическая стойкость медицинского стекла обеспечивается наличием в его составе B_2O_3 , повышенным содержанием Al_2O_3 и пониженным содержанием щелочных оксидов. Менее очевидным является влияние химического состава на скорость растворения светотехнического стекла.

Форму графиков на рис. 1 - рис. 3 можно объяснить слоистой структурой промышленных стекол. Толщина отдельных слоев ориентировочно изменяется от долей мкм до нескольких мкм. Полученные результаты хорошо согласуются с работами [2-4], в которых доказано наличие в промышленных стеклах слоистой структуры. Наиболее оптимальным временем травления яв-

ляется 20 мин. В этом случае можно более точно оценить толщину отдельных слоев стекла (см. рис. 2).

Рис. 1 и рис. 2 также демонстрируют, что структура поверхностных слоев банок и бутылок примерно одна и та же, несмотря на различия в способах формирования стеклоизделий.

Эксперименты показали, что разная степень охлаждения свежесформованных банок (на стадии транспортирования их на отжиг) практически не влияет на процесс формирования структуры поверхностных слоев тарного стекла.

Анализ вытяжек после травления показал, что корреляция между скоростью растворения поверхностных слоев стекла и концентрацией в них щелочных катионов отсутствует.

Заключение

В данном исследовании впервые выполнен послойный анализ бесцветных прозрачных стекол промышленного назначения на глубину до 10 мкм.

Получены графики для скоростей растворения разных видов стекол (листового, тарного обесцвеченного, светотехнического прозрачного бесцветного и медицинского прозрачного бесцветного) с учетом зависимости от разной продолжительности одного травления (от 10 до 60 мин).

Было установлено, что значение скорости растворения поверхностных слоев промышленных стекол зависит от толщины слоя, растворенного за одно травление. С увеличением толщины растворенного слоя за одно травление графики скоростей растворения всех стекол сглаживаются.

Полученные результаты свидетельствуют о наличии в промышленных стеклах слоистой структуры. Данные по HF-секционированию позволяют ориентировочно оценить характер и толщину отдельных слоев стекла.

Список литературы

1. Шелюбский, В. И., *Контроль однородности и постоянства состава стекла*, Москва, Стройиздат, 1990, 197 стр.
2. Короткова, В. Н., Смирнов, Е. И., *О слоистости листового стекла, вырабатываемого различными способами* // *Стекло и керамика*, 1978, №4, стр. 9-11.
3. Смирнов, Е. И., Короткова, В. Н., *Метод определения однородности листового стекла по его слоистости* // *Стекло и керамика*, 1974, №11, стр. 6-7.
4. Ящишин, И. Н., Вахула, Я. И., Скрипец, М. М., Горбай, З. В., *Исследование однородности и слоистой структуры листового стекла* // *Стекло и керамика*, 1978, №4, стр. 6-7.

5. Csakvari, B., Boksay, Z., Bouquet, G., *Investigation of surface layers on electrode Glasses for pH measurement* // Anal. Chim. Acta, 1971, V.56, p. 279-284.
6. Чаквари, Б., Бокшай, З., Букэ, Г., Ивановская, И., *Структура поверхностных слоев стекла Мак-Иннеса и Дола при его взаимодействии с растворами* // Стеклообразное состояние. Труды V Всесоюз. совещ., Ленинград, Наука, 1971, стр. 310-313.
7. Белюстин. А. А.. *Современные представления о строении поверхностных слоев щелочно-силикатных стекол, взаимодействующих с растворами* // *Физика и химия силикатов* / Сб. науч. работ., Ленинград, Наука, 1987, стр. 223-242.
8. Шольце, Х., *Изучение поверхностных слоев выщелоченных натриевокальцевосиликатных стекол методами секционирования и ИК - спектроскопии* // Физика и химия стекла, 1975, Т.1, №6, стр. 567-571.
9. Белюстин, А. А., *Концентрационное распределение ионов в поверхностных слоях щелочно-силикатных стекол, обработанных щелочными растворами* // Физика и химия стекла, 1985, Т.11, №3, стр. 257-277.
10. Шарагов, В. А., Азаренко, О. В., Цуркан, Д. Б., Павлова, С. В., *Методика выявления слоистой структуры в поверхностных слоях листового стекла* // *Analele Ştiinţifice ale Universităţii de Stat „Alec Russo” din Bălţi (serie nouă)*, а. Matematică, Fizică, Tehnică, Bălţi, 2001, Т. XIX, p. 119-123.

THE SECTION ETCHING BY SOLUTION HF OF THE TRANSPARENT COLOURLESS GLASSES OF INDUSTRIAL PURPOSE

Vasilii Sharagov, Olga Azarenko, Galina Lisenko
(State University „Alec Russo”, Republic of Moldova)

The method of the section etching by solution HF is proposed to be used for the analysis of the surface layers of the transparent colourless glasses of industrial purpose. The data for the dissolving rate of the industrial glasses surface layers at the depth of not more than 10 μm are given here. The graphs of the dissolving rate of glasses in dependence to the duration of one etching are analyzed. The possibility of the revealing of the stratified structure in the industrial glasses of different purpose is discussed.

Prezentat la redacție la 10 februarie 2006

Exigențe privind prezentarea lucrărilor științifice pentru revista „Fizică și tehnică: Procese, modele, experimente”

I. Destinația revistei

Materialele prezentate vor reflecta realizările obținute în ultimii ani în cadrul catedrelor, laboratoarelor de cercetări științifice ale USB, instituțiilor de învățământ și de cercetare din Republica Moldova și de peste hotarele ei.

II. Cerințe față de articolele prezentate

1. Dispoziții generale

Nu se vor admite pentru publicare materiale care au fost publicate în alte ediții. Articolele vor fi însoțite de extrasul din procesul verbal al ședinței de catedră, al laboratorului sau seminarului științific la care au fost discutate și propuse pentru publicare. Lucrările primite la redacție vor fi recenzate de specialiști calificați în domeniul respectiv, numiți de colegiul de redacție.

2. Structura lucrărilor și regulile de prezentare

O persoană poate fi autor sau/și coautor la maximum două articole. Volumul unui articol nu va depăși, ca regulă, 7 pagini.

Fiecare articol va cuprinde:

- CZU;
- titlul în limbile română /rusă și engleză;
- date despre autor/autori în limbile română/rusă și engleză;
- rezumatul în limbile română/rusă și engleză;
- articolul propriu-zis;
- bibliografie.

2.1. Întrebuințarea suportului electronic

Materialele vor fi redactate în **Microsoft Word**, fontul **Times New Roman** și vor fi prezentate pe foi în formatul B5 (257X182mm). Parametrii paginii: 25 - stînga (Left), 20 - sus (Top), 20 - jos (Bottom), 15 - dreapta (Right), 17,5 - antet (Header), 0 - subantet (Footer), orientarea portret. Dimensiunile fontului de imprimare - 12 points. Aliniatale – 1 cm. Spațiul dintre liniile (Line Spacing) aceluiași paragraf, inclusiv titlul lucrării și informațiile despre autori - un interval. Se va accepta trecerea cuvintelor dintr-un rînd în altul. Ultima pagină, în limita posibilităților, va fi completă.

2.2. Structura articolului

CZU se va situa în partea stângă a paginii.

Titlul se va da complet, maximum 3 rînduri, pe toată lățimea paginii (14 points, BOLD, CENTER, ALL CAPS).

Informațiile despre autori se vor da cu aldine, în limba în care este scrisă lucrarea, în următoarea consecutivitate: Prenumele și Numele autorului (complet), afilierea. Dacă coautorii lucrării sînt angajații aceleiași instituții, denumirea ei se va da o singură dată.

Rezumatul va cuprinde descrierea succintă a obiectului, metodelor și rezultatelor cercetării și nu va depăși 10 rînduri. Mărimea caracterilor – 10 points. Cuvîntul „Rezumat” nu se va indica.

Introducerea va reflecta stadiul actual al cercetărilor în domeniu. În caz de necesitate, va cuprinde o scurtă analiză istorică. Introducerea se va încheia cu expunerea scopului lucrării.

Conținutul lucrării va include expunerea metodicii cercetării (experimentală sau teoretică), obiectul cercetării, echipamentul, metodele de măsurare și de observare, precizia și erorile metodicii experimentului. Se vor indica rezultatele obținute și analiza lor. Nu se va admite repetarea datelor în tabele, desene și texte.

În concluzii se va expune succint esența cercetării efectuate, reliefindu-se importanța și gradul de noutate a rezultatelor obținute.

Titlul fiecărui paragraf se va evidenția cu aldine. Titlurile de capitol vor fi separate de textul curent printr-un spațiu.

În fața textului fiecare titlu de subcapitol cu doi indici se lasă un spațiu liber de un rînd. Aliniatele se vor marca prin introducerea unui „<Tab>”. Pentru scoaterea în relief a unor concepte se vor folosi aldinele (**fără subliniere**).

Tabelele se vor numerota cu cifre arabe în partea dreaptă, la sfîrșitul rîndului (de ex.: „Tabelul 1”), după care, în următorul rînd, va urma denumirea și tabelul propriu-zis. Tabelele vor fi separate de textul curent printr-un spațiu. Toate liniile ce formează coroaia tabelului vor avea aceeași grosime (1 points). În tabela textuală cifrele se va scrie cu fontul 10 points, normal. Dacă textul va conține un singur tabel, acesta nu se va numerota.

Ilustrațiile (figurile, schemele, diagramele, fotografiile etc.) se vor prezenta în alb-negru, inserate în textul de bază sau pe foi aparte. Toate figurile se vor numerota cu cifre arabe (în ordinea apariției lor în lucrare), după care se va da legenda lor. Toate semnele sau marcările ilustrate se vor defini în legendă. În cazul mărimilor fizice, se vor indica unitățile de măsură. Dacă lucrarea va conține o singură figură, ea nu se va numerota. Figurile vor fi separate de textul curent printr-un spațiu. Fotografiile introduse în text se vor scana cu o rezoluție de minim 300 dpi (preferabil 600 dpi) și se vor prelucra pentru un contrast bun.

Nu se admite lipirea fotografiilor sau desenelor pe foi separate. Adnotările de pe figuri se vor face în cifre sau litere cu înălțimea caracterelor echivalentă fontului 10 points. Legenda se va culege cu 10 points.

Formule matematice. Toate formulele matematice se vor scrie, în mod obligatoriu, cu editorul de ecuații din procesorul de texte Microsoft Word for Windows'95/, 97/, 98/, 2000, (Version 6.0/,Version 7.0, 2000) italice, centrat, prin culegerea fiecăreia din rând nou. Exigențele corespunzătoare vor urma imediat după formulă și se vor introduce prin „unde”, respectându-se ordinea semnelor din ecuație sau relație. Dacă textul va conține mai multe ecuații sau relații, acestea se vor numerota cu cifre arabe la sfârșitul rândului, în partea dreaptă a foii. După descifrarea simbolului-literă, se va pune virgula, apoi se va indica unitatea de măsură.

Unitățile de măsură ale mărimilor fizice se vor prezenta în sistemul internațional de unități (SI).

Bibliografia. Termenul *Bibliografie* va fi separat de textul curent prin spațiu. În text, referințele se vor insera prin cifre încadrate între croșete, de exemplu: [2],[5-7], și se vor prezenta la sfârșitul articolului într-o listă aparte, în ordinea apariției lor în text. Referințele bibliografice se vor da în limba originalului. Nu se vor accepta referințe la surse nepublicate.

Referințele se vor prezenta în modul următor:

- a) revistele și culegerile de articole: numele autorilor, titlul articolului, denumirea revistei (culegerii) cu paginile de început și sfârșit (ex.: Castro, P.R., *Curve behavior of a struct ural steel* // Engl. Fract. Mech, 1984, V.19, N2, p. 341-357);
- b) cărțile: numele autorilor, denumirea completă a cărții, locul editării, anul editării, numărul total de pagini (de ex.: Матвеев, А.Н., *Молекулярная физика: Учеб. для физ. спец. Вузов*, 2-е изд., перераб. и доп., Москва, Высшая школа,1987, 360 стр.);
- c) referințe la brevete (adeverințe de autor): în afară de autori, denumire și număr, se indică și denumirea, anul și numărul Buletinului de invenții în care a fost publicat brevetul (ex.: Nicolescu, A., *Robot indrustial* // Brevet de invenție nr. 1344 MD. Publ- BOPI, 1996, nr.7);
- d) în cazul tezelor de doctorat, referințele se dau la autoreferat, nu la teză (ex.: Bologa, A., *Generarea și utilizarea electroaerosolilor apoși: Autoreferat al tezei de doctor habilitat în științe tehnice*, Chișinău,1998, 16 p.).

3. Observații finale

Informația despre autori și rezumatele în alte limbi decât originalul se vor plasa după bibliografie. Conținutul rezumatului expus în trei limbi va fi identic.

Materialul cules se va prezenta pe dischetă, precum și într-un exemplar printat (cu contrastul bun) semnat de toți autorii (după bibliografie).

Pentru relații suplimentare se va indica adresa, numărul de telefon și E-mailul unuia dintre autori.

Articolele care nu vor corespunde cerințelor expuse, normelor limbii și stilului vor fi respinse.

Materialele prezentate la redacție nu se vor restitui autorului.

FIZICĂ ȘI TEHNICĂ:
procese, modele, experimente

**Revistă științifică a profilului de cercetare
“Proprietățile fizice ale substanțelor în diverse stări”**