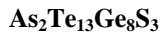


**STUDIUL MECANISMULUI DE ELECTROCONDUCTIVITATE
LA CURENT CONTINUU AL CALCOPENURII STICLOASE**



CIOBANU MARINA

Universitatea Tehnică a Moldovei

Introducere. Semiconductorii calcogenici sticloși (SCS) au devenit atractivi prin proprietățile lor aplicative cauzate de realizarea în ei a efectelor de comutare cu prag (ovonic) ori cu memorie (bistabili) [1-3].

În ultimii ani aceste materiale semiconductoare atrag atenția prin fenomenele legate de interacțiunea lor efectivă și stabilă cu gazele din mediul ambiant [4-8].

Pentru a evidenția cauza acestor fenomene și, eventual, de a avansa performanțele aplicative ale SCS cuaternari în domeniile menționate este necesar de a determina parametrii spectrului energetic al materialului concret, precum și mecanismul de transport al sarcinii electrice realizat în el. Este bine cunoscut faptul că electroconductivitatea calcopenurilor sticloase se realizează prin asistența a trei mecanisme de transport al sarcinii electrice [9-11]: a) conducția pe stările extinse, b) conducția cu participarea stărilor localizate din cozile densității de stări în vecinătatea pragurilor de mobilitate și c) conducția prin salt pe stările localizate în vecinătatea nivelului Fermi. Ultimele două mecanisme de conductivitate au loc cu participarea fononilor. Studiul dependenței conductibilității electrice a SCS de temperatură, la curent continuu, permite de a stabili care mecanism de conductivitate este prioritar pentru SCS în condițiile date, deoarece energia de activare pentru mecanismele de transport menționate este esențial diferită.

Lucrarea prezentă este dedicată studiului influenței temperaturii asupra conductivității electrice a peliculelor subțiri în baza SCS cuaternare $\text{As}_2\text{Te}_{13}\text{Ge}_8\text{S}_3$ dotate cu contacte ohmice din Ag.

Materiale și metodici de studiu. Fabricarea peliculelor în cauză a fost realizată prin metoda evaporării termice în vid a materialului $\text{As}_2\text{Te}_{13}\text{Ge}_8\text{S}_3$ prealabil sintetizat, pe substraturi din sticlă (Pyrex). Evaporarea s-a realizat la presiunea de 10^{-5} Torr. Viteza de depunere ~ 30 nm/s, iar aria $\sim 5\text{mm}^2$. Întrucât temperatura de evaporare și presiunea vaporilor saturați a elementelor constitutive ale materialului inițial diferă esențial, pentru a obține peliculele cu o compoziție chimică corespunzătoare compoziției materialului evaporat, s-a utilizat metoda depunerii discrete ("prin explozie") dintr-un evaporator de tantal în formă de luntre. Grosimea și morfologia peliculelor au fost măsurate și analizate, folosind microscopul electronic cu baleaj VEGA TESCAN TS 5130 MM (SEM) și microscopul optic interferometric MII – 4. Structura peliculelor crescute a fost studiată prin analiza difracției razelor „X”, folosind difractometrul DRON -YM1 cu radiație FeK α . Viteza de rotație a contorului de scintilație a fost 2 (sau 4) grade/min.

Pentru studierea caracteristicilor I-U a fost montată și utilizată o instalație automată de măsurare dirijată de calculator. Drept sursă programabilă de tensiune a fost utilizat unul din canalele Analog Output ale interfeței AT-MIO-16X (National Instruments", SUA) iar în calitate de convertor curent-tensiune s-a folosit amplificatorul electrometric Y5-11.

Achiziția și stocarea datelor experimentale, precum și prezentarea lor grafică a fost realizată utilizând limbajul grafic de creare ale instrumentelor virtuale Lab VIEW (National Instruments, SUA). Programele de lucru au fost elaborate de compania HEWLETT-PACKARD. Influența temperaturii asupra caracteristicilor I-U au fost studiate în intervalul (10–200) °C, fixând probele de studiu într-o sobă electrică automată, iar temperatura probei fiind controlată cu ajutorul unui termorezistor din platină de tip Pt-100.

Pentru a realiza contacte ohmice la calcogenurile sticloase în cauză au fost depuse și testate câteva tipuri de contacte simetrice, inclusiv din Pt și paste de Ag. Electrozii din Pt au fost crescuți prin imprăștierea catodică a Pt în atmosferă de Ar iar pastele de Ag de mărcile EPLOX 15 (Amepox Microelectronos, LTD, Poland) și Kontaktol (Keller chemical science & production, Russia) au fost pictate pe peliculele de calcogenură.

Rezultate și discuții

1.1 Structura și morfologia

În Fig. 1a este reprezentată imaginea suprafeții peliculei subțiri de calcogenură cuaternară $\text{As}_2\text{Te}_{13}\text{Ge}_8\text{S}_3$ realizată cu microscopul electronic cu baleaj. Se vede că, necătfînd la viteza mare de depunere (~ 30 nm/s), peliculele

crescute pe substraturi de sticlă (Pyrex) sunt continue și netede, fără urme de microcristalite. În Fig.1b este prezentat spectrul de difracție a razelor „X” (XRD) ale acestor pelicule. Se vede că spectrul nu conține picuri de difracție ce ar depista existența de faze cristaline, adică peliculele sunt amorfe.

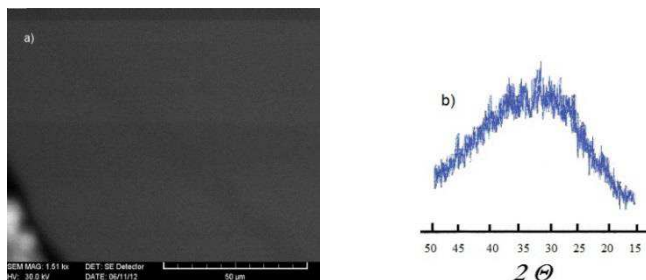


Figura 1 Microimaginea (a), și spectrul de difracție a razelor „X” (b) ale peliculelor cuaternare $As_2Te_{13}Ge_8S_3$ depuse pe substrat de sticlă (Pyrex).

1.2 Contactele. Dependența conductivității electrice de temperatură.

Studiul caracteristicilor I-U ale calcogenuri sticloase $As_2Te_{13}Ge_8S_3$ a fost realizat la temperatura camerei pentru structuri funcționale cu diverse contacte. Acest studiu ne-a permis de a evidenția cele mai potrivite contacte cu proprietăți neredresante, care s-au dovedit a fi contactele simetrice Ag-Ag pictate pe monștră, utilizând pasta ”Kontaktol”. Influența temperaturii asupra caracteristicilor current – tensiune și respectiv asupra conductivității electrice a calcogenurii în cauză, a fost studiată utilizând anume astfel de structuri funcționale. În Fig.2a sunt reprezentate caracteristicile I-U a structurilor Ag- $As_2Te_{13}Ge_8S_3$ -Ag pentru câteva temperaturi. Se vede ca indiferent de temperatură dependența I-U ramine ohmică, variaza doar înclinația, adică crește conductibilitatea electrică a materialului.

Utilizând aceste rezultate a fost determinată dependența conductivității electrice de temperatură (Fig. 2b). Se vede că această dependență constă din două linii drepte cu diferite înclinații, fapt ce scoate în evidență că transportul sarcinii electrice are loc prin diverse mecanisme. În conformitate cu acest grafic, conductivitatea electrică a peliculei poate fi exprimată prin suma a doi factori:

$$\sigma = C_1 \exp\left(-\frac{E_1}{kT}\right) + C_2 \exp\left(-\frac{E_2}{kT}\right) \quad (1)$$

Urmînd argumentele expuse de Mott și Davis într-un șir de cercetări fundamentale [9], primul factor controlează conductivitatea la temperatură

înalte, care este cauzată de transportul sarcinilor prin stări extinse mai sus de pragurile de mobilitate.

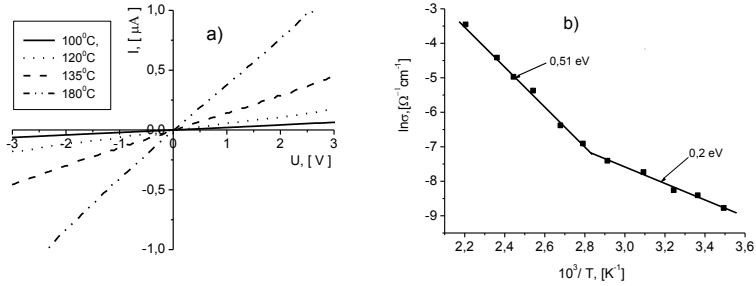


Figura 2. Caracteristicile curent – tensiune la diferite temperaturi (a) și dependența conductivității electrice de temperatură (b) a peliculelor subțiri de calcogenură sticloasă $As_2Te_{13}Ge_8S_3$.

Această conductibilitate poate fi exprimată prin relația:

$$\sigma_{ext} = C_1 \exp\left(-\frac{E_1}{kT}\right) = \sigma_{min} \exp\left(\frac{\gamma}{k}\right) \exp\left(\frac{E_0}{kT}\right), \quad (2)$$

unde σ_{min} este conducția minimă metalică, γ – este coeficientul termic de decalaj a muchiei benzii interzise, E_0 – este intervalul energetic dintre nivelul Fermi și marginea benzii de valență extrapolat la temperatura $T=0$.

Valorile E_1 și C_1 calculate din panta primii drepte, pricum și din extrapolarea ei la valoarea $10^3/T = 0$ sunt indicate în Tab 1.

Luînd $\gamma = 2 \cdot 10^{-4} \text{ eV/grad}$, [12] am obținut $\sigma_{min} \approx 10^3 \text{ } \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$. Lățimea benzii interzise electrice (distanța energetică dintre pragurile de mobilitate a electronilor și gurilor) a calcogenurii sticloase $As_2Te_{13}Ge_8S_3$ la temperatura camerei evaluată ca: $E_g \approx 2E_1 = 2(E_0 - \gamma T)$ este de asemenea indicată în Tab. 1. Factorul al doilea, în relația 1 este cauzat de salturile sarcinilor electrice între stările localizate din cozile benzilor admise cu implicarea fononilor. În cazul cînd sarcinile electrice implicate sunt gurile termic activate în coada benzii de valență, conducția prin salturi poate fi exprimată ca:

$$\sigma_{hopp} = C_2 \exp\left(-\frac{E_2}{kT}\right) = \sigma_{0hopp} \exp\left(-\frac{\Delta E + W_1}{kT}\right), \quad (3)$$

unde ΔE este lățimea cozii benzii de valență, σ_{0hopp} este conducția la marginea de sus a cozii benzii de valență, W_1 este energia de salt. Valorile experimentale ale lui C_2 și E_2 sunt indicate în Tabela 1.

Parametrii semiconductorilor a SCS $As_2Te_{13}Ge_8S_3$

Tabelul 1

Mecanismul de transport	C_1 $\Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$	C_2 $\Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$	E_1 eV	E_2 eV	E_g eV	σ_{min} $\Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$
Stări extinse	10^4	-	0,51		$\approx 1,0$	10^3
Salturi prin stări localizate	-	0,61	-	0,2		

Concluzii. Peliculele subțiri de calcogenură $As_2Te_{13}Ge_8S_3$ sunt semiconductoare și se află în stare amorfă. Distanța dintre pragurile de mobilitate constituie $E_g \approx 1,0 \text{ eV}$, iar conductibilitatea minimă metalică $\sigma_{min} \approx 10^3 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$. Conductibilitatea electrică la temperatura camerei constituie $\sigma \approx 2 \cdot 10^{-4} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ și se realizează prin stări extinse mai sus de pragurile de mobilitate. La temperaturi mai joase ($10 - 80 \text{ }^\circ\text{C}$) conducția se realizează prin salturile sarcinilor electrice între stările localizate din cozile benzilor admise, cu implicarea fononilor.

Referințe bibliografice:

1. S.R. Ovshinsky, Phys. Rev. Lett, **21**, 1450 (1968)
2. S.R. Ovshinsky, H. Fritzsche, IEEE Trans. Elect. Dev., **ED-20**, 91 (1973)
3. I. Stratan, Thesis doct. sci., cc. sibimol. bnr. md /opac/bibliographic View /333088, Chisinau, 2011, 107 p.
4. K. Koleva, C. Popov, T. Petkova, P. Petkov, I. N. Mihailescu, J-P Reithmaier, Sens. Actuators B 143 (2009) 395–399.
5. J. Wüsten, K. Potje-Kamloth, Sens. Actuators B 145 (2010) 216–224.
6. M. Ciobanu, Meridian Ingineresc, Vol. 3 (2015), pp. 58 – 62.
7. D. Tsiulyanu, M. Ciobanu, Proc. of 3rd ICNBE, Chisinau 2015, Springer, V.55, (2016) 382–388, DOI: 10.1007/978-981-287-736-9_92.
8. D. Tsiulyanu, M. Ciobanu, Sens. Actuators, B 223 (2016) 95.
9. N. F. Mott and E.A. Davis, Electron processes in non-crystalline materials, Clarendo Press, Oxford (1979).
10. P. Nagels, Electronic transport phenomena in amorphous Semiconductors (in: Amorphous Semiconductors, Ed. M.H. Brodsky), Springer (1979).

11. M. Popescu, A. Andriesh, V. Chumach, M. Iovu, S. Shutov, D. Tsiuleanu, Fizica sticlelor calcogenice, Ed. Științifică I.E.P. Știința, București –Chisinau(1996)
12. A. M. Andriesh, D.I Tsiulyanu, Phys. Stat. Sol. (a), 19(1973) 307.