

В.М. Мар'ян¹, Г.Т. Горват², М.М. Поп², Е.В. Гера¹, В.М. Рубіш¹

Фотостимульовані зміни оптичних властивостей тонких плівок сульфідів германію та миш'яку

¹Ужгородський науково-технологічний центр матеріалів оптичних носіїв
інформації ІПРІ НАН України 4, вул. Замкові сходи, м. Ужгород 88000
e-mail:center_uzh@email.uz.ua

²Ужгородський національний університет, Україна 46, вул. Підгірна, м. Ужгород 88000
e-mail : horvathalina@mail.ru

Приведені результати досліджень спектрів пропускання тонких плівок GeS₂, Ge₂S₃ та As₂S₃ у залежності від умов експонування. Встановлено, що фотоекспонування плівок GeS₂ та Ge₂S₃ призводить до зсуву краю поглинання у короткохвильову, а плівок As₂S₃ – у довгохвильову область спектру. Визначені значення ширини псевдозаборононої зони E_g та показника заломлення n плівок. Зміни оптичних параметрів плівок обумовлені фотоструктурними перетвореннями, які проходять в них при опроміненні.

Ключові слова: тонкі плівки, фотоструктурні перетворення, край поглинання, показник заломлення.

Стаття поступила до редакції 21.12.2007; прийнята до друку 15.06.2008.

Вступ

Халькогенідні склоподібні напівпровідники (ХСН) привертають до себе постійно зростаючу увагу завдяки широким можливостям практичного застосування та як унікальний об'єкт теоретичних досліджень. Завдяки високій світлочутливості аморфні плівки на основі ХСН знаходять практичне використання в голографії та різних елементах оптичного запису інформації [1-5]. Можливість створення середовищ для голографії та запису інформації на основі тонких халькогенідних плівок заснована на фотоструктурних перетвореннях, які відбуваються в них під дією лазерного опромінення. При цьому структура плівок і рівень фотоструктурних змін в значній мірі визначаються умовами одержання та опромінення [1,5]. Передісторія вихідних матеріалів (чистота вихідних компонентів, технологічні умови синтезу кристалічних і склоподібних сплавів), природа, якість очистки і температура підкладки, швидкість осадження плівки, енергія та час опромінення визначають не тільки структуру і рівень фотоструктурних перетворень халькогенідних плівок, а й рівень зміни оптичних параметрів. У зв'язку з цим зрозумілими є значні розбіжності в значеннях оптичних параметрів, визначених різними авторами, навіть для добре вивчених аморфних плівок халькогенідів миш'яку [1,6-10]. Ще більш невизначеною є ситуація у випадку тонкоплівкових конденсатів халькогенідів германію. Навіть для

плівок бінарних сполук GeS₂, GeSe₂, Ge₂S₃, Ge₂Se₃ приводяться різні значення ширини псевдозаборононої зони та показника заломлення [6,7,11,12].

В даній роботі наведені результати досліджень спектрів пропускання та розрахунків оптичних параметрів аморфних плівок GeS₂, Ge₂S₃ та As₂S₃ у залежності від часу їх опромінення.

I. Експериментальна частина

Стекля GeS₂, Ge₂S₃, та As₂S₃ готувались шляхом прямого синтезу з особливо чистих елементарних компонентів у вакуумованих (~ 1.5·10⁻³Па) кварцових ампулах. Маса наважок складала 5-10 г. GeS₂ і Ge₂S₃ у склоподібному вигляді одержані гартуванням гомогенізованих протягом 72 год. розплавів від 1100 і 930 К, відповідно, у холодну воду, а As₂S₃ – охолодженням гомогенізованого протягом 48 год. розплаву від 780 К на повітрі.

Тонкі плівки халькогенідних стекел товщиною 2-3 мкм одержувались на непідігріваних скляних підкладках шляхом вакуумного випаровування із квазізамкнених ефузійних комірок на удосконаленій вакуумній установці ВУП-5, оснащеної системою лазерного контролю товщини. Сталість товщини шарів у робочій зоні забезпечувалась планетарним обертанням підкладок.

Засвітка плівок здійснювалася розфокусованим випромінюванням напівпровідникового лазера

($\lambda = 530$ нм, $E = 72$ мВт/см²).

Дослідження спектрів пропускання плівок в області 400-800 нм проводились при кімнатній температурі по методиці, приведеній в [13], з використанням дифракційного монохроматора МДР-3. Спектральне розділення складало не більше 10^{-3} еВ.

II. Результати і їх обговорення

На рис. 1 приведені спектри пропускання свіжоприготованих плівок GeS₂, Ge₂S₃ та As₂S₃. Видно, що із збільшенням вмісту германію у складі плівок край поглинання зміщується у довгохвильову область, засвідчуючи зменшення ширини псевдозабороненої зони E_g. Величину E_g можна визначити із співвідношення Тауца [7]:

$$\alpha(h\nu) = B \frac{(h\nu - E_g)^2}{h\nu} \quad (1)$$

Тут $\alpha(h\nu)$ – коефіцієнт поглинання, $h\nu$ – енергія фотона, B – константа, яка залежить від матеріалу (наприклад, для свіжоприготованої плівки As₂S₃ $B = 876$ см^{-1/2}еВ^{-1/2} [7], а для плівки GeS₂ – 549 см^{-1/2}еВ^{-1/2} [12]) і характеризує нахил тауцівського краю поглинання. Слід відмітити, що залежність (1) справедлива в області високих енергій при значеннях коефіцієнта поглинання $\alpha \geq 10^{-4}$ см⁻¹. Значення оптичної ширини псевдозабороненої зони плівок GeS₂ і Ge₂S₃, визначені шляхом екстраполяції залежностей $(\alpha \cdot h\nu)^{1/2} \sim f(h\nu)$ до $\alpha^{1/2} = 0$ (рис. 1), подані в табл. 1. Для плівки As₂S₃ величина E_g рівна 2,359 еВ.

Якщо одержане нами значення E_g для плівки As₂S₃ досить добре співпадає із величиною E_g, приведеною в [7] (2.38 еВ), то для плівок GeS₂ і Ge₂S₃ спостерігаються значні розбіжності. Визначені в [7,12] значення E_g плівок GeS₂ і Ge₂S₃ складають 2,53 і 1.75 еВ, відповідно. Така відмінність в значеннях E_g обумовлена, на нашу думку, технологічними чинниками. Слід зауважити, що в [7,12] приведені значення оптичної ширини псевдозабороненої зони плівок GeS₂ і Ge₂S₃ товщиною < 1 мкм.

В області енергій $\alpha \leq 1 \cdot 10^{-3}$ см⁻¹ спектральна залежність α описується правилом Урбаха [14]:

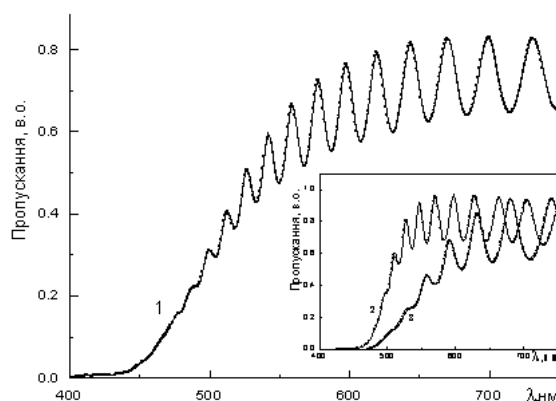


Рис. 1. Спектральні залежності пропускання плівок GeS₂(1), As₂S₃(2), та Ge₂S₃(3).

$$\alpha(h\nu) = \alpha_g \exp[\Gamma(h\nu - E_g)], \quad (2)$$

де Γ – параметр, який характеризує нахил експоненціального краю поглинання; α_g – відповідає коефіцієнту поглинання при $h\nu = E_g$. У цьому випадку оптичною шириною псевдозабороненої зони вважають значення E_g при $\alpha = 10^{-3}$ см⁻¹. Як і константа B у (1), параметр Γ може служити мірою ступеня розупорядкування структури матеріалу. Для склоподібних As₂S₃, As₂Se₃, Sb₂S₃ значення Γ рівні 18,6 [14], 20 [14] та 18 [15] еВ⁻¹, відповідно. Значення ж параметра Γ для GeS₂ та GeSe₂ відповідно рівні 13 та 11,5 еВ⁻¹ [16]. Зменшення параметра Γ , як і константи B, при переході від халькогенідів As та Sb до халькогенідів Ge свідчить про упорядкування структурної сітки стекел.

Показник заломлення плівок визначався із залежності [17]:

$$n = [N + (N^2 - s^2)^{1/2}]^{1/2}, \quad (3)$$

де

$$N = 2s \frac{T_M - T_m}{T_M T_m} + \frac{s^2 + 1}{2}. \quad (4)$$

В цих виразах s – показник заломлення підкладки; T_M і T_m – інтерференційні максимуми та мінімуми спектрів пропускання в області довжин хвиль, де відсутня дисперсія показника заломлення. Значення показника заломлення плівок GeS₂ і Ge₂S₃

Таблиця 1

Оптичні параметри плівок GeS₂ і Ge₂S₃

Параметр	Час опромінення, хв,		
	0	30	60
GeS ₂			
E _g , еВ	2,289	2,301	2,322
n(633 нм)	2,278	2,194	2,115
n(730 нм)	2,148	2,066	2,002
Ge ₂ S ₃			
E _g , еВ	2,071	2,074	2,077
n(633 нм)	2,678	2,647	2,638
n(730 нм)	2,653	2,624	2,607

на довжині хвилі 730 нм приведені в табл. 1. Для порівняння тут же приведені і значення n , визначені на $\lambda = 633$ нм. Для As_2S_3 величини n на довжинах хвиль 633 і 700 нм рівні 2,286 і 2,271, відповідно. Слід відмітити, що одержані дані для GeS_2 і Ge_2S_3 досить задовільно узгоджуються із значеннями

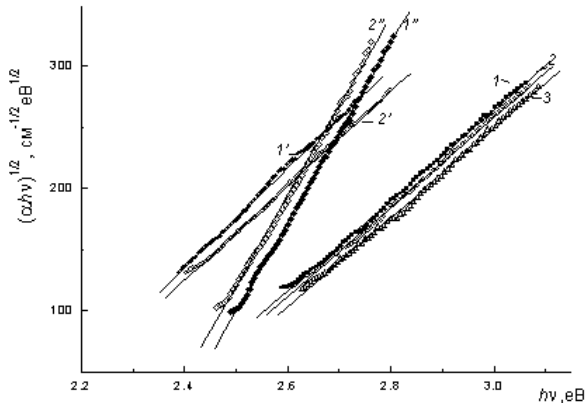


Рис. 2. Залежність краю поглинання $(\alpha h\nu)^{1/2}$ від енергії фотонів $(h\nu)$.

показника заломлення, визначеними еліпсометричним методом на $\lambda = 633$ нм (2,144 для GeS_2 і 2,616 для Ge_2S_3) [12]. Для As_2S_3 розбіжності в значеннях n , одержаних різними методами, значно більші (наприклад, значення n на $\lambda = 633$ нм, визначене в [9] еліпсометричним методом, складає 2,505).

При експонуванні плівок GeS_2 та Ge_2S_3 відбувається зсув спектрів пропускання у короткохвильову область спектру при одночасному збільшенні пропускання (рис. 3, криві 2,3). Проходить фотопросвітлення плівок. Це свідчить про зростання їх оптичної ширини псевдозабороненої зони. Розраховані із залежностей $(\alpha \cdot h\nu)^{1/2} \sim f(h\nu)$ значення E_g наведені в табл. 1. Показник заломлення цих плівок при опроміненні зменшується (табл. 1). Видно, що фотостимульовані зміни оптичних параметрів плівок GeS_2 значно більші, ніж плівок Ge_2S_3 . Наприклад зміна Δn GeS_2 майже у три рази більша, ніж плівки Ge_2S_3 .

Для As_2S_3 спостерігається протилежна картина. Опромінення плівок призводить до зсуву краю поглинання у довгохвильову область спектру. Пропускання при цьому зменшується (рис. 3, крива 2'). Визначена із залежності $(\alpha h\nu)^{1/2}$ від $(h\nu)$ (рис. 2, крива 2'') величина E_g опроміненої протягом 30 хв. плівки As_2S_3 складає 2,334 еВ. Видно, що зміна E_g плівки трисульфиду миш'яку (0,025 еВ) набагато більша, ніж плівок GeS_2 (0,012 еВ) та Ge_2S_3 (0,003 еВ) (табл. 1). Показник заломлення опроміненої протягом 30 хв. плівки As_2S_3 визначений по (3) на $\lambda = 700$ нм, рівний 2,401 (на $\lambda = 633$ нм $n = 2,415$). Різниця в значеннях n свіжоприготованих та опромінених плівок As_2S_3 складає 0,13, що значно більше, ніж для плівок GeS_2 та Ge_2S_3 (0,08 та 0,029, відповідно). Слід відмітити, що при експонуванні плівок дещо змінюється і нахил краю поглинання, який свідчить про упорядкування їх структурної сітки. Наприклад,

константа B у виразі (1) для плівки GeS_2 зростає до величини $593 \text{ cm}^{-1/2} \text{ eV}^{-1/2}$, а для плівки As_2S_3 до величини $876 \text{ cm}^{-1/2} \text{ eV}^{-1/2}$.

Зміна оптичних параметрів плівок обумовлена структурними перетвореннями, які відбуваються в них під дією лазерного опромінення. В [10,18,19] було показано, що плівки As_2S_3 мають наногетерогенну будову. Їхня матриця побудована, в основному, структурними одиницями AsS_3 , пов'язаними між собою двічі координованими атомами сірки. Однак, містить вона і молекулярні фрагменти з гомополярними зв'язками $As-As$ та $S-S$ ($S_2As-AsS_2$, S_n), відносний вміст яких залежить від умов осадження. Опромінення плівок призводить до розриву і перемикання зв'язків $As-As$ та $S-S$ у структурних угрупованнях As_4S_4 та ланцюжках сірки з утворенням структурних одиниць з гетерополярними зв'язками $As-S$. Це, в свою чергу, спричиняє полімеризацію молекулярних груп, просторово розміщених найбільш оптимально, в сітку тригональних пірамід AsS_3 при слабкій зміні кутів $S-As-S$ зв'язків.

Руйнування одних і виникнення інших хімічних зв'язків супроводжується генерацією особливого типу структурних дефектів над- і недокоординованих атомів миш'яку (As_2^- і As_4^+) та сірки (S_3^+ і S_1^-) [8,18]. При розриві гомополярних зв'язків $As-As$ та $S-S$ утворюються пари координаційних дефектів (As_2^- , S_3^+) і (As_4^+ , S_1^-). У подальшому заряджені дефектні стани трансформуються (релаксують) у структуру пірамідальних AsS_3 одиниць. Можлива і бездефектна фотополімеризація молекулярних фрагментів типу As_4S_4 і S_2 в структурну сітку $AsS_{3/2}$ [1,8]. Однак, такі трансформації можливі лише при високій концентрації вихідних молекул, оскільки для їх проходження необхідно, щоб при одночасному розриві двох гомополярних зв'язків $As-As$ та $S-S$ всі чотири атоми були в позиції, яка задовольняє утворенню двох гетерополярних зв'язків $As-S$. Генерація ж пари заряджених дефектів (As_2^- , S_3^+) або (As_4^+ , S_1^-) вимагає виконання даної умови всього для двох атомів.

Аналогічний висновок можна зробити і по

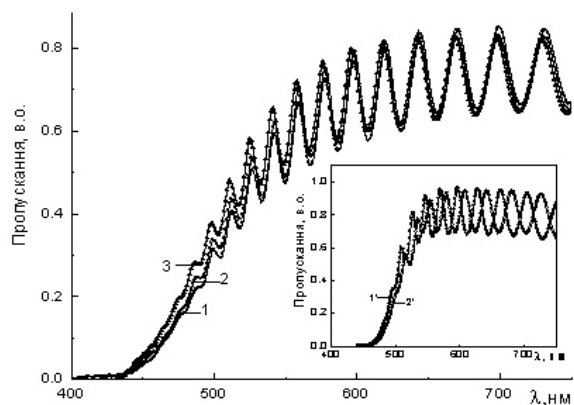


Рис. 3. Спектральні залежності пропускання плівок GeS_2 (1-3), As_2S_3 (1', 2') у залежності від часу опромінення.

відношенню до плівок GeS_2 та Ge_2S_3 . Аморфні плівки вказаних сульфідів германію, як і відповідні їм стекла, мають наногетерогенну структуру. Основою структурної сітки скла GeS_2 є ланцюжки тетраедрів $\text{Ge}(\text{S}_{1/2})_4$, які зв'язуються вершинами, і до яких приєднуються (теж вершинами) мостикові тетраедри [15,20]. Зв'язок між тетраедрами здійснюється через двічі координовані атоми сірки. Однак, матриця скла GeS_2 містить і етаноподібні структурні фрагменти $\text{Ge}(\text{S}_{1/2})_6$ з гомополярними зв'язками Ge-Ge та короткі ланцюжки S_n [21]. В плівках GeS_2 концентрація гомополярних зв'язків ще вища. Такий же висновок зроблено в [22-24] на основі дослідження спектрів комбінаційного розсіювання світла стекел і плівок в системах Ge-S та Ge-Sb-S. При опроміненні плівок проходить розрив і перемикання гомополярних зв'язків Ge-Ge та S-S з утворенням гетерополярних зв'язків Ge-S. Можлива участь у процесі фотоструктурних перетворень структурних дефектів над- і недокоординованих атомів Ge і S.

При переході від GeS_2 до Ge_2S_3 концентрація гомополярних зв'язків Ge-Ge (або структурних угруповань $\text{S}_3\text{Ge-GeS}_3$), через дефіцит сірки по відношенню до стехіометричного складу GeS_2 , в матриці стекел зростає. Виявлені в структурній сітці скла Ge_2S_3 і структурні фрагменти $\text{Ge}(\text{S}_{1/2})_6$ [22]. Відповідно кількість гомополярних зв'язків S-S в склі даного складу значно нижча, ніж в GeS_2 . В результаті жорсткість сітки скла, а відповідно і плівки Ge_2S_3 , значно вища, ніж GeS_2 . Це і обумовлює більш низький рівень фотоструктурних перетворень в плівках Ge_2S_3 по відношенню до GeS_2 .

Висновки

Опромінення плівок GeS_2 , Ge_2S_3 , As_2S_3 призводить до структурних перетворень, у результаті яких відбувається розрив і перемикання гомополярних зв'язків Ge-Ge, S-S, As-As у молекулярних фрагментах $\text{S}_3\text{Ge-GeS}_3$, S_n , $\text{S}_2\text{As-AsS}_2$ з утворенням структурних одиниць з гетерополярними зв'язками Ge-S та As-S. Полімеризація молекулярних груп супроводжується зсувом спектрів пропускання плівок у короткохвильову (GeS_2 , Ge_2S_3) і довгохвильову (As_2S_3) області спектру та зменшенням (GeS_2 , Ge_2S_3) і зростанням (As_2S_3) їх показника заломлення. Низький рівень фотостимульованих змін оптичних параметрів плівок Ge_2S_3 обумовлений підвищеною (у порівнянні з плівками GeS_2 і As_2S_3) жорсткістю їх структурної сітки і малою концентрацією гомополярних зв'язків сірка-сірка.

Мар'ян В.М. – інженер, пошукач;
Горват Г.Т. – старший лаборант, пошукач;
Поп М.М. – аспірант;
Гера Е.В. – інженер, пошукач;
Рубіш В.М. – професор, доктор фізико-математичних наук, директор.

- [1] Д.Г. Семак, В.М. Різак, І.М. Різак. *Фото-термоструктурні перетворення халькогенідів*. Закарпаття, Ужгород. 392 с. (1999).
- [2] J. Teteris, M. Reinfeld. Application of amorphous chalcogenide semiconductor thin films in optical recording technologies // *J. of Optoelectronics and Advanced Mat.*, **5**(5), pp. 1355-1360 (2003).
- [3] С.А. Костюкевич, П.Е. Шепелявий, С.В. Свечников, Н.Л. Москаленко, В.М. Томчук, А.А. Коптюх, А.В. Волков, Н.Л. Казанский, Г.Ф. Костюк. Формирование дифракционных оптических элементов с использованием неорганической лазерной литографии // *Реєстрація, зберігання і обробка даних*, **4**(3), сс. 3-14 (2002).
- [4] S.A. Kostyukevych, G.M. Morozovska, V.I. Minko, P.E. Shepeliavyi, A.A. Kudryavtsev, V.M. Rubish, V.V. Rubish, I.V. Tverdokhleba, A.S. Kostyukevych, S.V. Dyrda. Recording the highly efficient diffraction gratings by using He-Cd laser // *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, **7**(4), pp. 472-477 (2004).
- [5] В.В. Петров, А.А. Крючин, С.О. Костюкевич, В.М. Рубіш. *Неорганічна фотолітографія*. ІМФ НАНУ, К. 195 с. (2007).
- [6] *Электронные явления в халькогенидных стеклообразных полупроводниках* / Под ред. К.Д. Цэндина. Наука, СПб. 486 с. (1996).
- [7] K. Petkov. Compositional dependence of the photoinduced phenomena in thin chalcogenide films // *J. of Optoelectronics and Advanced Mat.*, **4**(3), pp. 611-29 (2002).
- [8] В.В. Рубіш, В.М. Рубіш, Д.С. Леонов, А.А. Тарнай, В.К. Кириленко. Особливості структури і структурних перетворень в халькогенідних склоподібних напівпровідниках // *Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології*. **2**(2), сс. 417-40 (2004).
- [9] М.И. Козак, В.Н. Жихарев, В.Ю. Лоя, И.П. Студеняк, И.И. Шпак, И.И. Турок. Эллипсометрические исследования релаксационных изменений оптических констант и степени неоднородности тонких пленок стеклообразного As_2S_3 // *Письма в ЖТФ*, **32**(10), сс. 82-87 (2006).
- [10] V.M. Rubish, V.O. Stefanovich, O.G. Guranich, V.V. Rubish, S.A. Kostyukevych, A.A. Kryuchyn. Raman spectra and optical properties of thin $\text{As}_{40}\text{S}_{60}$ and $\text{As}_{40}\text{S}_{50}\text{Se}_{10}$ films // *Ukr. J. Phys. Optics*, **8**(2), pp. 69-77 (2007).

- [11] M. Munzar, L. Tichý, H. Tichá. Some optical properties of Ge-S amorphous thin films // *Current Appl. Phys.*, **2**, pp. 181-85 (2002).
- [12] R. Todorov, Tz. Iliev, K. Petkov. Light-induced changes in the optical properties of thin films of Ge-S-Bi (Tl, In) chalcogenides. // *J. Non-Cryst. Solids*, **326&327**, pp. 263-267 (2003).
- [13] I.I. Shpak, I.P. Studenyak, M. Kranjcek Optical absorption edge and structural disorder in electron-irradiated As₂S₃ chalcogenide glasses // *J. Optoelectronics and Advanced Mat.*, (5), pp. 1135-1138 (2003).
- [14] Н. Мотт, Э. Дэвис. *Электронные процессы в некристаллических веществах*. Мир, М. **2**. 658 с. (1982).
- [15] P.P. Shtets, V.I. Fedelesh, V.M. Kabatsij, V.I. Malesh, I.I. Spak, A.A. Gorvat. Structure, dielectric and photoelastic properties of glasses in the system Ge-Sb-S // *J. of Optoelectronics and Advanced Mat.*, **3**(4), pp. 937-940 (2001).
- [16] Д.И. Блецкан. Край фундаментального оптического поглощения стекол Ge_xS_{1-x} // *Физ. и химия стекла*, **12**(3), сс. 368-371(1986).
- [17] R. Swanepoel. Determination of the thickness and optical constants of amorphous silicon // *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, **16**, pp. 1214-1222 (1983).
- [18] В.М. Рубіш, В.О. Стефанович, В.В. Рубіш, С.О. Костюкевич, А.А. Крючин, П.П. Штець, В.М. Дуркот, В.В. Петров. Вплив опромінення на структуру і властивості світлочутливих плівкових конденсатів As₂S₃ // *Металлофізика и новейшие технологии*, **28**(5), сс. 643-655 (2006).
- [19] Е.В. Гера, В.М. Мар'ян, В.О. Стефанович, О.А. Михайло, В.М. Рубіш, Г.Т. Горват, М.О. Дуркот, І.І. Шпак, В.В. Онопко, Д.Г. Семак. Фотоіндуковані перетворення в аморфних плівках на основі халькогенідів миш'яку та сурми // *Мат. Конф. "Нанорозмірні системи. Будова-властивості-технологія (НАНСИС 2007)"*, К. с. 5-95 (2007).
- [20] Д.И. Блецкан, В.С. Герасименко. Колебательные спектры и структура стекол системы Ge-Bi-S // *Физ. и хим. Стекла*, **13**(3), сс. 359-363 (1987).
- [21] В.М. Рубіш. Особливості одержання і кристалізації стекол на основі сульфойодиду сурми // *Фіз. і хімія тв. тіла*, **8**(1), сс. 35-40 (2007).
- [22] L. Cai, P. Boolchand. Nanoscale phase separation of GeS₂ glass // *Phil. Mag. B*, **82**(15), pp. 1649-1657 (2002).
- [23] I.P. Kotsalas, D. Papadimitriou, C. Raptis, M. Vlcek, V. Frumar. Raman study of photostructural changes in amorphous Ge_xSb_{0.4-x}S_{0.6} // *J. Non-Cryst. Solids*, **226**, pp. 85-91 (1998).
- [24] M. Vlček, C. Raptis, T. Wagner, A. Vidourek, M. Frumar, I.P. Kotsalas, D. Papadimitriou. Photo- and thermally induced phenomena in amorphous Ge₃₀Sb₁₀S₆₀ films // *J. Non-Cryst. Solids*, **192&193**, pp. 669-673 (1995).

V.M. Maryan¹, G.T. Horvat², M.M. Pop², E.V. Gera¹, V.M. Rubish¹

Photostimulated Changes in the Optical Properties of Sulphides Germanium and Arsenic Thin Films

¹*Uzhgorod Scientific-Technological Center of the Institute for Information Recording NASU, 4 Zamkovi Skhody Str., Uzhgorod, 88000, Ukraine, e-mail:center_uzh@email.uz.ua*

²*Uzhgorod National University, Ukraine
46 Pidgirna Str., Uzhgorod, 88000, Ukraine, e-mail: horvathalina@mail.ru*

The investigation results of the GeS₂, Ge₂S₃ and As₂S₃ thin films transmission spectra depending on exposition conditions are given. It was established that photographic exposition of GeS₂ and Ge₂S₃ films leads the absorption edge shift into the shortwave spectrum region while that of As₂S₃ into the longwave region. The values of pseudo-gap width E_g and film refractive index n are determined. Optical parameter changes of films are caused by photostructural transformation taking place in them under illumination.