

УДК 539.219.1; 538.958

PACS 42.79.Gn, 61.43.Dq, 78.20.Ci

DOI: 10.24144/2415-8038.2017.41.51-57

В. М. Кришеник

Ужгородський національний університет, вул. Волошина, 54, 88000, Ужгород  
e-mail: kryshenik@gmail.com

## АКТИВНИЙ ВПЛИВ ОПТИЧНИХ МОД У ПЛІВКОВИХ ХВИЛЕВОДАХ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ As-S

З використанням високочутливої хвилеводної методики досліджено динамічні ефекти наведення зовнішнім випромінюванням оптичного запису з фотоіндукованим збільшенням рівня поглинання (затухання) оптичних хвиль у тонкоплівкових хвилеводах на основі системи As-S, а також характеру її усунення при супутній активній дії на ділянку зовнішнього опромінення контролюючої оптичної моди. Визначені часові характеристики процесів створення зовнішнього оптичного запису і його стирання в режимі хвилеводного розповсюдження світлової моди. Показано, що згадані часові параметри істотно залежать від хімічного складу плівок, також від густини потоків ініціюючого зовнішнього випромінювання та контролюючої моди в плівковому хвилеводі. Запропоновано використати досліджуваний ефект для створення інтегрально-оптичних атенуаторів.

**Ключові слова:** оптичний запис, інтегральна оптика, аморфні халькогеніди, тонкоплівкові хвилеводи, оптична хвилеводна технологія, затухання оптичних хвиль, оптичні втрати.

### Вступ

Аморфні халькогеніди (АХ) розглядають як перспективні матеріали для сучасної оптоелектроніки та нанооптики, оскільки вони є прозорими в широкому спектральному діапазоні (2 – 12 мкм), а відтак придатні для створення якісних ІЧ-хвилеводів. Окрім того, в них можуть бути реалізовані нелінійні оптичні ефекти, що на два порядки сильніші, ніж у кварцових стеклах. У плівках АХ під впливом лазерного випромінювання проходять інтенсивні фотоструктурні перетворення, яких супроводжують зміни їх основних оптичних параметрів. У цій роботі ми досліджували властивості плівкових хвилеводів (ПХ) на основі системи As-S, що перебувають під впливом зовнішнього лазерного випромінювання з довжиною хвилі, співвідносною з положенням краю власного поглинання матеріалу плівок. Раніш в цих плівкових об'єктах з використанням високочутливих хвилеводних методик ми досліджували динамічні фотостимульовані ефекти, що пов'язані з динамічними змінами показника

заломлення [1]. Втім, згадувана поведінка показника заломлення для чутливого аморфного середовища на опромінюваних ділянках ПХ загалом відрізняється від іншого супровідного оптичного ефекту зростання рівня оптичного затухання в ПХ при зовнішньому лазерному опроміненні, якщо це збудження відповідає спектральній ділянці з відносно сильним поглинанням ініціюючих оптичних хвиль. Таке раніш виявили в плівках системи As-S і це явище отримало назву запірного ефекту (stopping-effect) [2,3]. Вказаний ефект – ефект від накопичення втрат світлової енергії хвилеводної моди в плямі здійснюваного зовнішнього “запису”. Визначальною його ознакою, як виявилось, є активна (стираюча) дія контролюючої оптичної моди (в нашому випадку  $TE_0$ -типу) в каналі ПХ при її взаємодії з матеріалом плівки [1]. Встановлено, що оптична мода в часі розповсюдження хвилеводним каналом частково або ж повністю усуває спричинений ззовні амплітудний оптичний запис.

У роботі представлені результати, що дозволяють чітко розрізнити присутність в

досліджуваному ефекті кількох складових: окремих вкладів тимчасово створеної в середовищі ПХ оптичної пам'яті від зовнішнього оптичного запису та спричиненого хвилеводною модою процесу його стирання. Отримана інформація важлива для з'ясування дійсної природи цього явища.

### Методика експерименту

Експериментальні виміри виконували на свіжо виготовлених плівках  $As_xS_{1-x}$  ( $0,20 \leq x \leq 0,40$ ). Їх осадження велося з використанням стандартного методу термічного вакуумного випаровування ( $5 \cdot 10^{-5}$  мм. рт. ст.). Вихідним матеріалом для випаровування служили відповідні стекла системи As-S. Плівки осаджували на попередньо очищені підкладки з кварцового скла, чия температура складала близько 300 К. Швидкість конденсації знаходилась на рівні  $3-4 \text{ нм} \cdot \text{с}^{-1}$ . Контроль хімічного складу плівок здійснювали методом локального рентгеноспектрального аналізу. Товщина досліджуваних плівок витримувалась у межах від 0,9 до 1,2 мкм.

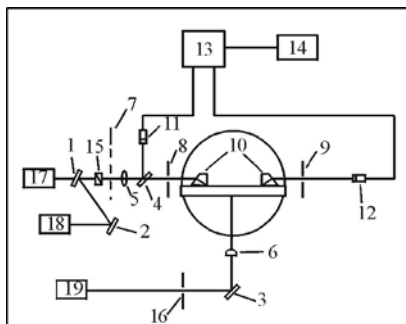


Рис. 1. Схема стану для дослідження оптичних характеристик плівкових хвилеводів (1,2,3,4 – спрямовуючі дзеркала; 5,6 – лінзові системи; 7 – модулятор, 8,9 – діафрагми, 10 – призмове розгалужувачі, 11,12 – фотоприймачі; 13 – підсилювач; 14 – реєструюча система; 15 – поляризатор; 16 – затвор; 17 і 18 – лазерні джерела ЛГ-113 і ЛГН-207; 19 – лазер ЛГН-506).

Застосували техніку хвилеводного резонансного збудження спрямованих оптичних мод в ПХ за допомогою призмових розгалуджувачів, виготовлених з кристалу фосфіду галію. Експериментальна реалізація виходила з того, що призмовим розгалуджувачем генерували у плівці контро-

люючі оптичні моди ТЕ- поляризації на довжині хвилі випромінювання He-Ne лазера (633нм). У наших експериментах застосована схема, зображена на рис. 1.

Вимірювання параметру затухання  $\alpha$  оптичних мод у ПХ здійснювали за стандартною методикою, тобто з використанням двох призм зв'язку: ввідної (нерухомої) для збудження оптичних мод та вивідної, відтак зміна ефективної довжини проходження оптичних мод досягаласть покрововим переміщенням вздовж хвилевода зі щоразовим наближенням до ввідної призми (рис. 1).

Мінімальні “фонові” значення параметру затухання ( $\alpha \cong 1,5 \div 2,0 \text{ дБ/см}$ ), зняті на довжині хвилі  $\lambda=633 \text{ нм}$ , мали в ПХ з доволі вузького композиційного інтервалу, де  $0,23 \leq x \leq 0,27$ . Для складу  $As_{0,40}S_{0,60}$  параметр  $\alpha = 5 \div 6 \text{ дБ/см}$ .

Натомість при вивченні запірного ефекту в плівках АХ ініціюючий зміни оптичних властивостей світловий пучок аргонного лазера зі спектральної ділянки поблизу краю власного поглинання матеріалу плівки ( $\lambda=480 \div 510 \text{ нм}$ ), спрямовували ззовні на тильну сторону підкладки – на вільну від призми ділянку розповсюдження хвилеводною модою ТЕ<sub>0</sub> поляризації. Дотримувались жорстких обмежень щодо допустимої густини потоку світлової енергії при збудженні в ПХ контролюючих світлових мод, аби уникнути небажаного ефекту “самозапису” оптичною модою [4]. Відтак обмежили густину спрямованого на зовнішню грань ввідної призми контролюючого світлового потоку – при резонансному збудженні оптичних мод  $P_0 < 0,25 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$ . Відповідно, оціночне значення інтенсивності хвилеводною модою не могло перевищувати  $10^3 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$ .

Досліджуваний ефект полягав у фотоіндукованому зростанні рівня поглинання контролюючих оптичних хвиль у ПХ за умов “випереджаючого” або ж “синхронного” впливу ініціюючого випромінювання на ділянці розповсюдження оптичних мод. Для ПХ спосіб фіксації ініційованих змін при зовнішньому оптичному запису контролюючою модою зі спектральної ділянки так званих тауцівських “хвостів” і при відносно слабкому фоновому оптично-

му поглинанні хвильоводних мод ( $\lambda=633\text{нм}$ ) є особливо придатним, оскільки здатен фіксувати найменші відхилення в поглинальній здатності плівкового середовища. Це можливо, оскільки розмір “активної” ділянки взаємодії контролюючого променя з матеріалом опромінюваної плівки складає щонайменше кілька міліметрів (заданий діаметром ініціюючого зміни променя).

### Експериментальні результати та їх обговорення

До моменту проведення нами досліджень з вивчення заперного ефекту в плівках As-S дослідники вважали, що сам stopping-effect – це проста реакція матеріалу на фотозбудження вільних носіїв заряду [2,3]. Носії ж, як гадали, швидко локалізуються на різного роду дефектних центрах у забороненій зоні, збільшуючи поглинальну здатність матеріалу. Переривчасте засвічування спричиняло амплітудну модуляцію інтенсивності контролюючої оптичної моди. Рівень вияву ефекту доволі значний, позаяк можливо досягти майже повної “зупинки” світлового потоку в хвильоводному каналі [1,2]. Припускали, що з припиненням зовнішнього засвічування динамічний за природою ефект “запирання” повинен був швидко зникати через самочинні релаксаційні перетворення. Отже, попервах активну роль контролюючої хвильоводної моди дослідники взагалі не приймали до уваги.

Насамперед зазначимо, що ефективність заперного ефекту помітно залежить від складу плівок  $\text{As}_x\text{S}_{1-x}$  [1,3]. У наших експериментах цей ефект найкраще виражений у ПХ, де  $0,25 \leq x \leq 0,35$ . Більша концентрація миш’яку в плівці зводить ефект майже до мінімуму. Аморфні шари з надлишком сірки, таким чином, сприятливі для ефекту. Їх розглядають як структурну суміш  $\text{AsS}_3$ -пірамід та  $\text{S}_n$ -ланцюжків, і вони переважно схильні до молекулярно-фазової сепарації [5]. Значна концентрація заряджених дефектів у таких метастабільних середовищах, також чимале число так званих неподілених електронних пар спричиняють помітні спотворення атомної сітки, а це веде не тільки до появи локалізованих

дефектних станів в забороненій зоні, але й до аномальних електронних конфігурацій з недо- та перекоординованими атомами. Наслідком чого мають локальні перерозподіли поляризації і формування самозахоплених поляронних станів в аморфному середовищі. Все це разом лиш сприяє реалізації заперного ефекту в ПХ.

Рис. 2 відтворює нами отримані часові залежності фотоіндукованого поглинання  $\text{TE}_{0-}$  моди, що найповніше ілюструють заперний ефект у плівці  $\text{As}_{0,30}\text{S}_{0,70}$ . Ясно, що спостережуваний ефект можна кваліфікувати як реверсивний оптичний запис в поєднанні з його оптичним стиранням в часі проходження контролюючої оптичної моди.

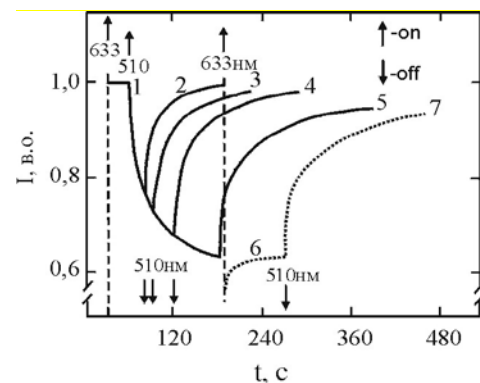


Рис. 2. Часові залежності фотоіндукованого поглинання  $\text{TE}_{0-}$  моди в плівці  $\text{As}_{0,30}\text{S}_{0,70}$  при заперному ефекті: 1 – затухання моди з засвічуванням ділянки її розповсюдження ініціюючим випромінюванням; 2-5, 7 – відновлення інтенсивності моди з припиненням зовнішнього експонування в різні моменти часу; 6 – часткове відновлення інтенсивності моди з випереджуючим зовнішнім експонуванням.

Крива 1 на рис. 2 показує динаміку зменшення інтенсивності оптичної моди при вмиканні зовнішнього засвічування пучком аргонового лазера ( $\lambda=510\text{нм}$ ), який діє на ділянку треку її розповсюдження. Реверсивне стирання такого запису спричинене помірно інтенсивними оптичними хвилями, тобто спрямованою модою в хвильоводному каналі. Криві 2-5, а також 7 ілюструють характер динамічного відновлення інтенсивності оптичної моди саме з моменту припинення зовнішнього засвічування. Крива 6 розкриває важливі деталі процесу часткового відновлення інтенсивності контролюючої моди в разі несин-

хронної (випереджаючої) дії зовнішнього засвічування. В цьому разі використано режим “темнової” витримки – вмикання моди зчитування з певним часовим запізненням. Бачимо, що випереджуюче зовнішнє засвічування (за відсутності контролюючої оптичної моди) дозволяє не лишень надійно фіксувати, а й виявляти особливості для складових динамічних змін в картині ефекту “запирання”.

Рис. 3 відтворює вид осцилограми відновлення інтенсивності  $TE_0$ -моди в плівці  $As_{0,20}S_{0,80}$ , де в ПХ попередньо засвічували ділянку треку пучком аргонного лазера ( $P_3=210 \text{ мВт}\cdot\text{см}^{-2}$ ;  $\lambda_3=0,48\text{мкм}$ ;  $\Delta t_3=0,5\text{с}$ ). Тут чітко проявляє себе “відновлююча” роль контролюючої хвилеводної моди в можливих варіантах реалізації переривчастого режиму її розповсюдження.

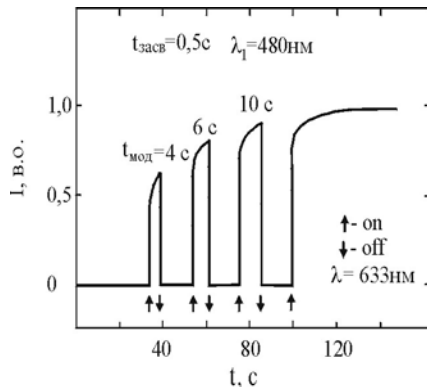


Рис. 3. Відновлення інтенсивності  $TE_0$ -моди ( $\lambda=633\text{нм}$ ) після попереднього засвічування для плівки  $As_{0,20}S_{0,80}$  ( $\lambda_1=480\text{нм}$ ).

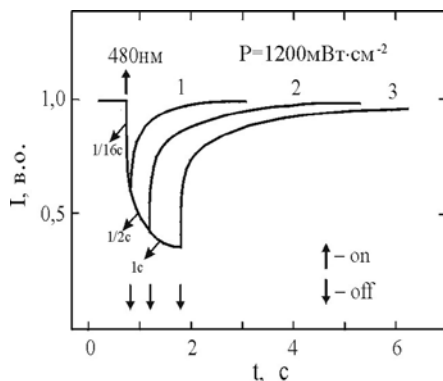


Рис. 4. Осцилограми змін інтенсивності  $TE_0$ -моди ( $\lambda=633\text{нм}$ ) при різній зовнішній експозиції ( $\lambda_1=480\text{нм}$ ,  $P=1200 \text{ мВт}/\text{см}^2$ ) в плівці  $As_{0,25}S_{0,75}$ : час експозиції –  $t_e = 0,0625\text{с}$  (1); –  $t_e = 0,5\text{с}$  (2); –  $t_e = 1\text{с}$  (3).

На рис. 4 приведені осцилограми змін інтенсивності  $TE_0$ -моди для плівки  $As_{0,25}S_{0,75}$  з різними отриманими експози-

ційними дозами від зовнішнього синхронного засвічування ( $P_{31}=120\text{мВт}\cdot\text{см}^{-2}$ ;  $P_{32}=210\text{мВт}\cdot\text{см}^{-2}$ ).

Бачимо, що відновлення оптичної моди до рівня її початкової (доекспозиційної) інтенсивності вдається досягти значно швидше, якщо зменшувати експозиційну дозу попереднього зовнішнього засвічування. Так само можна прискорити “відновлюючий” процес, якщо збільшувати густину світлової енергії моди в хвилеводному каналі.

Рис. 5 розкриває деталі “відновлюючого” процесу з переривчастим характером дії ініціюючого випромінювання – за варіації умов запису і стирання. Так, крива 1 показує динаміку відновлення інтенсивності моди, коли між актами запису і стирання була пауза (затримка), яка складала 0,25с. Криві 2 і 3 відтворюють характерні залежності за умови значно тривалішого запису (300с), а втім, зі все тою ж часовою затримкою для моди “зчитування”. Натомість крива 4 демонструє динаміку “самовідновлення” інтенсивності моди, передісторією чого була синхронна дія обох випромінювань в звичайному режимі запису-стирання і наступне (впродовж 300с) “темнове” зберігання плівки.

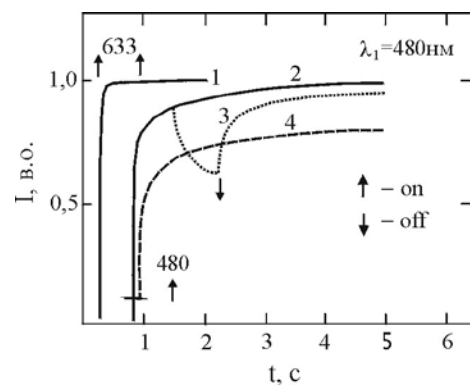


Рис. 5. Відновлення інтенсивності  $TE_0$ -моди ( $\lambda=633\text{нм}$ ) при випереджуючому засвічуванні плівки  $As_{0,28}S_{0,72}$ : (1) – з тривалістю “темнової” паузи 0,25с; (2) – з тривалістю “темнової” паузи 300с; (4) – з тривалістю “темнової” паузи 300с, але при попередній дії зовнішнього ініціюючого випромінювання ( $\lambda_1=480\text{нм}$ ) при синхронному розповсюдженні моди впродовж 300с.

Аналіз представлених на рис. 1-5 залежностей показав, що в сумісному оптичному запису і стиранні (відновленні інтен-

сивності моди) загалом присутні два процеси – з власними часами відклику: для швидкої складової  $\tau_1$  може скласти одну-дві сотень мілісекунд, тоді як для повільного процесу параметр  $\tau_2$  оцінюється щонайменше секундами. Параметри  $\tau_1$  і  $\tau_2$ , водночас проявлені вже в процесі відновлення інтенсивності контролюючої світлової моди, залежать від хімічного складу плівок, проте їх мінімальні значення отримують при відносно більшій інтенсивності як ініціюючого зовнішнього, так і контролюючого хвилеводного випромінювання. Як ми виявили, часові константи динамічних змін показника заломлення в досліджуваних плівках [6] загалом майже не корелюють з сумісно проявленими характеристиками для запірнього ефекту.

Відносно швидкі зміни, що їх спостерігали при вмиканні джерела оптичного запису і в наступному відновленні (зростанні) інтенсивності контролюючої оптичної моди в ПХ після припинення зовнішньої ініціюючої дії, як ми вважаємо, задаються швидкостями генерації та рекомбінації самозахоплених на дефектні рівні збуджених електронів, їх наступним переведенням в зону провідності внаслідок поглинання світлової енергії контролюючих оптичних мод. Повільна складова процесу пов'язана з потраплянням залишкових електронів на глибокі дефектні рівні, з їх тривалим “замороженням” у потенційних ямах від утворених поляронів малого радіусу. Така ситуація ймовірно зумовлює і виявлену нами при дослідженні запірнього ефекту тривалу “пам'ять” після оптичного запису – стирання якої контролюючою оптичною модою може відбуватися з відчут-

ним часовим запізненням (аж до кількох годин).

Попутно зауважимо, що найпомітніші фотоіндуковані зміни в запірньому ефекті виявлені в плівках, що в околі складу  $As_2S_5$  [7]. Структура таких плівок демонструє певні ознаки організації їх аморфного стану, що сприяло появі в них оптичного двоприменезаломлення. Склад  $As_2S_5$  належить до області так званої проміжної топологічної фази, яка розділяє топологічно м'яку та жорстку фази.

### Висновки

При вивченні запірнього ефекту в ПХ на основі аморфних плівок системи As-S виявлена можливість відносно тривалого зберігання оптично записаної інформації та її помірно швидкого оптичного зчитування в зручному режимі розповсюдження світлової моди.

При дослідженні цього ефекту встановлено, що в каналі розповсюдження хвилеводних мод зазвичай присутня конкуренція двох процесів (від сумісного впливу оптичних опроміненнь з різною довжиною хвилі, якими здійснюють зовнішній запис та оптичне стирання з активною функцією контролюючої моди).

Досліджені особливості розповсюдження оптичних мод за умов випереджаючого чи то синхронного в часі опромінення хвилеводного треку в ПХ на основі АХ. Їх результати вказують на можливість зовнішнього регулювання інтенсивності оптичної моди (її амплітудна модуляція), що є фізичним обґрунтуванням методу керування світловою модою за принципом світло-світлом. Відтак на основі АХ можливе створення керованих світловою енергією інтегрально-оптичних атенуаторів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Власов В.И., Суран Г.Г., Крышеник В.М. Управление прохождением волноводных мод в ХСП посредством эффекта оптической памяти// Тез. докл. конф. “Строение, свойства и применение фосфатных, фторидных и халькогенидных стекол”. – Рига. – 1990. – С. 230.
2. Matsuda A., Mizuno H., Takayama T. et al. “Stopping-effect” on guided light in As-S films by a laser beam// Applied Phys. Lett. – 1974. – V.24, №2. – P. 314-315.
3. Tanaka K. Photo-induced dynamical changes in refractive index of amorphous As-S films // Sol. State Com. – 1978. – V. 28, №7. – P. 541-545.

4. Kryshenik V.M., Ivanitsky V.P., Kovtunencko V.S., Baran M.Y. Stimulated relaxational transformations in amorphous chalcogenide films // Journ. of Optoelect. and Adv. Material. – 2006. –V.8, №5. – P. 1806-1813.
5. Kyriazis F. and Yannopoulos S. N. Colossal photostructural changes in chalcogenide glasses: Athermal photoinduced polymerization in  $As_xS_{100-x}$  bulk glasses revealed by near-bandgap Raman scattering // Appl. Phys. Lett. – 2009. – V.94, №10. – P.101901.
6. Кришеник В.М., Мікла В.І. Кінетика фотостимульованих змін показника заломлення в аморфних плівках системи As-S // Науковий вісник Ужгородського університету: Серія: Фізика. – 2010. – Вип.28. – С. 80-86.
7. Мікла В.І., Кришеник В.М. “Власна” та фотоіндукована анізотропія в свіжовиготовлених аморфних плівках  $As_xS_{1-x}$  // Укр. фіз. журн. – 2004. – Т.49, №8. – С. 787-792.

Стаття надійшла до редакції 20.03.2017

**В.М.Кришеник**

Ужгородський національний університет, ул. Волошина, 54, 88000, Ужгород  
e-mail: kryshenik@gmail.com

## АКТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ ОПТИЧЕСКИХ МОД В ПЛЕНОЧНЫХ ВОЛНОВОДАХ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ As-S

С помощью высокочувствительной волноводной методики исследованы динамические характеристики эффекта наведения внешним иницирующим излучением оптической записи с фотоиндуцированным возрастанием уровня поглощения (затухания) оптических волн в тонкопленочных волноводах на основе системы As-S, а также особенностей ее устранения при сопутствующем активном воздействии на облучаемый участок контролирующей оптической моды. Определены временные характеристики процессов наведения оптической записи и ее стирания в режиме волноводного распространения световой моды. Показано, что их временные параметры существенно зависят от состава пленок, от плотности потоков иницирующего внешнего излучения и контролирующей моды в пленочном волноводе.

**Ключевые слова:** оптическая запись, интегральная оптика, аморфные халькогениды, тонкопленочные волноводы, оптическая волноводная технология, затухание оптических волн, оптические потери.

PACS 42.79.Gn, 61.43.Dq, 78.20.Ci

DOI: 10.24144/2415-8038.2017.41.51-57

**V.M. Kryshenik**

Uzhhorod National University, Voloshin st. 54, 88000, Uzhhorod  
e-mail: kryshenik@gmail.com

## ACTIVE INFLUENCE OF OPTICAL MODES IN FILM WAVEGUIDES BASED ON As-S SYSTEM

**Introduction:** The recovery response characteristics of optical stopping-effect on the  $As_xS_{100-x}$  system ( $20 \leq x \leq 40$ ) film waveguides are investigated in detail. We analyzed the chemical bond structure of the samples. The hybrid orbital theory and en-

ergy bandgap theory are applied in order to establish the model of optical stopping and the recovery process.

**Purpose:** Amorphous semiconductor chalcogenides are potentially useful materials for integrated nonlinear optical components offering low-phonon energies, ultra-fast broadband optical response times. These unique optical properties make them very interesting for integrated optical devices and all-optical signal processing. The article is devoted to consideration of usage As-S films as an active element of waveguide attenuators.

**Results:**  $As_xS_{100-x}$  thin-film waveguides demonstrated the slow recovery propagation process with the disappearance of the fast rising edge in the optical stopping-effect. It is shown that in the propagation channel of waveguide modes there is a competition between two processes of changes in optical losses (the fast creation of an external optical recording from the initiating irradiation and its optical erasure by a controlling optical mode). The slow process taking several seconds for full recovery, moreover meaning that the actions of the photon pumping and thermal disturbance are equal and opposite in direction. The time parameters of processes essentially depended on the composition of the films, on the flux density of the initiating external radiation and on the control mode in the film waveguide. We have established that the time constants for dynamic changes in the refractive index under external illumination are weakly correlated with similar characteristics of the stopping-effect.

**Conclusion:** The article is devoted to consideration of usage As-S films as an active, and it was confirmed that the device exhibits useful switching functionality based on the photo-optical effect (light-controlled waveguide optical attenuators).

**Keywords:** optical recording, integrated optics, amorphous chalcogenides, thin-film waveguide, optical waveguide technology, propagation loss.

PACS NUMBER: 42.79.Gn, 61.43.Dq, 78.20.Ci

## REFERENCES

1. Vlasov, V.I., Suran, G.G., Kryshenik, V.M. (1990), "Controlling of the waveguide modes propagation in ChG by the optical memory effect" ["Upravlenie prokhozhdeniem volnovodnykh mod v HSP posredstvom efekta opticheskoi pamyati"] Abstr. Conf. Rep.: Structure, properties and application of phosphate, fluoride and chalcogenide glasses, Riga, pp. 230.
2. Matsuda, A., Mizuno, H., Takayama, T. et al. (1974), "Stopping-effect" on guided light in As-S films by a laser beam", *Applied Phys. Lett.*, Vol. 24, No. 2, pp. 314-315.
3. Tanaka, K. (1978), "Photo-induced dynamical changes in refractive index of amorphous As-S films", *Sol. State Com.*, Vol. 28, No. 7, pp. 541-545.
4. Kryshenik, V.M., Ivanitsky V.P., Kovtunencko, V.S., Baran, M.Y. (2006), "Stimulated relaxational transformations in amorphous chalcogenide films", *Journ. of Optoelect. and Adv. Material.*, Vol. 8, No. 5, pp. 1806-1813.
5. Kyriazis, F. and Yannopoulos, S. N. (2009), "Colossal photostructural changes in chalcogenide glasses: Athermal photoinduced polymerization in  $As_xS_{100-x}$  bulk glasses revealed by near-bandgap Raman scattering", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 94, No. 10, P.101901.
6. Kryshenik, V.M., Mikla, V.I. (2010), "Kinetics of photostimulated changes of the refractive index in As-S amorphous films" ["Kinetika fotostymulyovanykh zmin pokaznyka zalomlennya v amorfnykh plivkakh systemy As-S"], *Visnyk Uzhhorod Univ. Ser. Phys.*, No. 28, pp. 80-86.
7. Mikla, V.I., Kryshenik, V.M. (2004) "Intrinsic" and photoinduced anisotropies in as-deposited amorphous  $As_xS_{1-x}$  films" ["Vlasna ta photoindukovana anisotropiya v svizhovyhotovlenykh amorfnykh  $As_xS_{1-x}$ "], *Ukr. Journ. Phys.*, Vol. 49, No. 8, pp. 787-792.