

# АКУСТООПТИЧНІ МОДУЛЯТОРИ І ДЕФЛЕКТОРИ НА ОСНОВІ ХАЛЬКОГЕНІДНИХ СТЕКОЛ (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)<sub>1-x</sub>Hg(Ge)<sub>x</sub>

**В.І. Феделеш, М.М. Стегура, І.М. Юркін, П.П. Бабидорич**

Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Підгірна, 46

Описані методи розрахунку і виготовлення широко смугових об'ємних акустооптичних модуляторів (часова модуляція) і дефлекторів (просторова модуляція). Подані критерії вибору оптимального складу скла і приведені конкретні параметри таких пристроїв.

Важливою проблемою сучасної оптоелектроніки є керування лазерним випромінюванням. Ця проблема пов'язана з пошуком нових ефективних матеріалів, які могли б використовуватись як робочі елементи пристроїв керування та модуляції. Її розв'язання дозволило б забезпечувати просторове керування, модуляцію оптичного випромінювання в широкому спектральному діапазоні, що є необхідним при використанні лазерів в таких галузях, як новітні експериментальні технології та оптичне приладобудування. Керування лазерним випромінюванням здійснюється шляхом використання електро- і акустооптичного ефектів [1-8]. Сучасні АОП класифікуються за рядом ознак [9]. Найважливішою серед них є високі значення коефіцієнта акустооптичної якості  $M_2$ , який в першу чергу залежить від швидкості поширення ультразвукових хвиль, фотопружних постійних  $\rho_{ij}$ , густини та показника заломлення середовища взаємодії.

Найбільш часто в АОП використовуються монокристали PbMoO<sub>4</sub>, TeO<sub>2</sub>, КРС-5, КРС-6 [10].

Серед матеріалів для ПЧ-області спектру слід вказати на монокристали (Ga<sub>0,4</sub>In<sub>0,6</sub>)<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> [11]. Оксидні скла (СТФЗ, важкі флінти) і скла халькогенідів миш'яку (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>) також використовуються в якості активних елементів АОП [2, 3]. При цьому найбільш детально вивчені акустооптичні властивості склоподібного трисульфиду миш'яку, що вважається одним з найкращих склоутворювачів. Для

цього скла відомі всі фотопружні властивості:  $M_2=433 \cdot 10^{-15} \text{с}^3/\text{кг}$ ,  $\rho_{11}=0,30$ ,  $\rho_{11}=0,27$ , швидкості поширення поздовжньої  $v_L=2600 \text{м/с}$ , поперечної  $v_T=1400 \text{м/с}$  і коефіцієнт згасання пружних хвиль  $\alpha_{зв}=4,6 \text{дБ/см}$  (на частоті 100 МГц) [1]. Особливо низькими значеннями акустичних втрат ( $\alpha_{зв}<1 \text{дБ/см}$ ) володіють скла на основі халькогенідів германію, зокрема скло складу Ge<sub>30</sub>As<sub>5</sub>Se<sub>65</sub> [12, 13]. Раніше було показано, що деякі оптичні властивості скла As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> з легуючими домішками сурми і германію значно покращуються [14]. В той же час в літературі не зустрічається даних по акустооптичним властивостям трисульфиду миш'яку з легуючими домішками германію і ртуті. Дана робота і присвячена дослідженню акустооптичних властивостей стекол систем (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)<sub>1-x</sub>Hg(Ge)<sub>x</sub> та створенню на їх основі пристроїв для часової і просторової модуляції світлових хвиль.

## Методика експерименту

Досліджувані зразки являли собою гомогенні рентгеноаморфні, візуально прозорі скла систем (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)<sub>1-x</sub>Hg(Ge)<sub>x</sub> (0,2 ≤ x ≤ 5 мол.%). Вони були синтезовані із компонентів високої степені чистоти у вакуумованих кварцевих ампулах. Акустооптичні вимірювання проводились на однорідних, попередньо відпалених зразках, що мали форму паралелепіпеда розмірами 10\*10\*20мм<sup>3</sup>. Критерій акустооптичної якості вимірювався традиційним методом Діксона-Коена [15], який ґрунтується на

порівнянні інтенсивностей дифрагованого світла еталонного та досліджуваного зразків. В якості еталонного зразка використовувався плавлений кварц. Для вимірювання швидкості поширення та коефіцієнта згасання УЗ хвиль використовувався акустооптичний метод. Цей метод дає високу точність вимірювання швидкості звуку, його похибка складає 1-2%.

Схема установки для вимірювання основних параметрів акустооптичних пристроїв зображена на рис. 1.

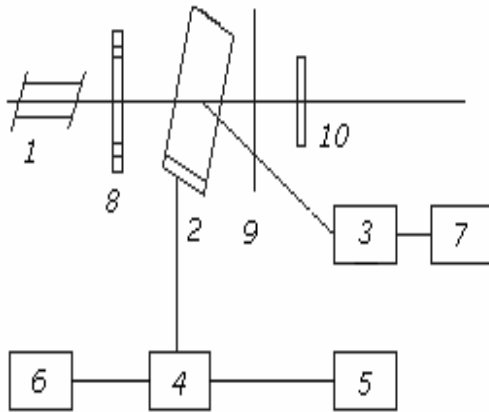


Рис. 1. Схема експериментальної установки для досліджень АОП.

Промінь світла від гелій-неонового лазера 1 падає на модулятор 2 під кутом Брега до фронту звукової хвилі. Керуючий сигнал на п'єзоперетворювач подається або від генератора ВЧ сигналів 4, який може керуватися імпульсним генератором 5, або з вихода генератора розгортки вимірювача АЧХ 6. Дифрагований або проходячий світлові пучки реєструються фотоелектронним помножувачем (ФЕП) 3, сигнал з якого потрапляє або на осцилограф 7, або на вхід вимірювача АЧХ. ФЕП встановлений на столику, який може переміщуватись у взаємно перпендикулярних напрямках. Для забезпечення максимальної інтенсивності дифракції в модуляторі *МО-633* необхідно, щоб вектор  $\vec{E}$  падаючої світлової хвилі був перпендикулярний напрямку поширення звукової хвилі. З цією метою перед модулятором встановлюється напівхвильова пластина, що дозволяє повертати площину поляризації. Для виділення корисного сигналу з шумів ФЕП при

вимірюванні дифракційної ефективності використовується механічний переривач 8.

Дія акустооптичних модуляторів заснована на дифракції світла на акустичній хвилі. Акустооптична дифракція світла відбувається при проходженні світла через середовище, в якому розповсюджується акустична хвиля. Акустична хвиля наводить фазові оптичні решітки за допомогою періодичної зміни показника заломлення, пов'язаного з полем механічних деформацій. Існують два основні режими акустооптичної взаємодії - режим Рамана-Ната і режим Брега [1, 3-5], що підрозділяються за допомогою параметра

$$Q=2\pi L*\lambda/n\Lambda^2 \quad (1)$$

де  $L$  - довжина акустичного взаємодії,  $\lambda$  та  $\Lambda$  - відповідно довжина хвилі світла та звуку,  $n$  - показник заломлення. Оцінка значення цього безрозмірного параметра для довжини взаємодії  $L=7\text{мм}$  лежить в межах 9,8-10,4. При такому значенні  $Q$  акустооптичний пристрій працює в режимі Брега, оскільки вважається, що при  $Q>7$  виконуються умови розсіювання Брега [6-8]. Для брегівської дифракції дифраговане світло в основному зосереджене в першому порядку, а його відносна інтенсивність рівна [4]:

$$\frac{I_1}{I_0} = \eta \sin^2 \left( \eta + (\Delta k L / 2)^2 \right)^{1/2} \quad (2)$$

де  $I_1$  і  $I_0$  - інтенсивність дифрагованого і падаючого світлових пучків відповідно,  $\Delta k$  - модуль різниці векторів розповсюдження падаючої і дифрагованої хвиль. Параметр  $\eta$  визначається із співвідношення:

$$\eta = \frac{\pi^2}{2\lambda_0^2} M_2 \frac{L}{H} P_a \quad (3)$$

тут  $M_2$  - критерій акустооптичної якості,  $H$  - висота ультразвукового п'єзоперетворювача;  $P_a$  - акустична потужність. Лише в випадку коли

аргумент функції  $\sin x/x$  в рівнянні (2) малий, то  $\eta$  лінійно залежить від акустичної потужності  $\eta$ , тоді набагато менше одиниці і тоді вона вважається дифракційною ефективністю пристроїв. Крім того, для малих  $\eta$  ( $\eta \ll 1$ ) акустооптична взаємодія вважається слабкою [5]. Рівняння (2) в цьому випадку пов'язує дифракційну ефективність з фізичними і геометричними параметрами пристрою. В фізичні параметри входять показник якості  $M_2$  матеріалу:

$$M_2 = \frac{n^6 p^2}{\rho v^3} \quad (4)$$

де  $p$  - пружнооптична постійна,  $v$  - швидкість акустооптичної хвилі,  $\rho$  - густина. Геометричні розміри входять в (2) у вигляді відношення  $L/\lambda$ , проте параметр  $Q$  також залежить від довжини взаємодії. У загальному випадку величина  $\Delta k$  не може бути прирівняна нулю для заданої конфігурації пристроїв [7]. Для визначення верхнього діапазону лінійного режиму роботи пристрою нами проводились вимірювання залежності дифракційної ефективності від акустичної потужності, які наведені на рис. 2, 3, 4.

Поздовжня УЗ хвиля з частотою 50 або 80 МГц, що збуджувалась п'єзоперетворювачем з ніобіту літію ( $\text{LiNbO}_3$ ) поширювалась вздовж осі X. При таких умовах експерименту спостерігався режим дифракції Брегга. При потужності керуючого електричного сигналу  $P_{\text{ел}}=0,5-0,7\text{В}$  ефективність дифракції досягала близько 40%.

Лінійна залежність дифракційної ефективності свідчить про доцільність використання слабого режиму акустооптичної взаємодії в АОМ на основі таких матеріалів.

Частотна характеристика акустооптичного модулятора визначається сукупним впливом частотної характеристики системи збудження і власною частотною характеристикою. Для того, щоб забезпечити широку смугу модуляції оптичного пучка акустооптичним модулятором, необхідно добре сфокусувати оптичний промінь в області взаємодії його з акустичною хвилею.

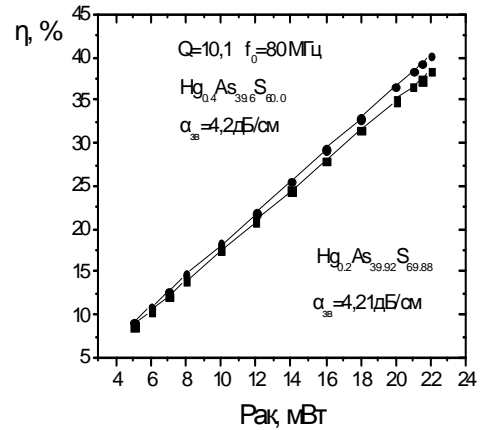


Рис. 2. Залежність дифракційної ефективності від керуючої акустичної потужності стекол  $\text{Hg}_{0.20}\text{As}_{39.92}\text{S}_{59.88}$  і  $\text{Hg}_{0.4}\text{As}_{39.60}\text{S}_{60.0}$ .

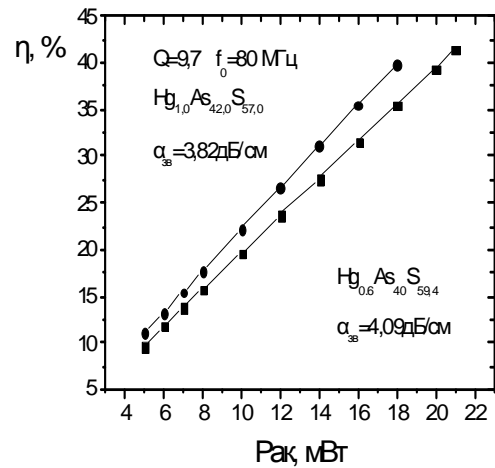


Рис. 3. Залежність дифракційної ефективності від керуючої акустичної потужності стекол  $\text{Hg}_{0.6}\text{As}_{40.0}\text{S}_{59.4}$  і  $\text{Hg}_{1.0}\text{As}_{42.0}\text{S}_{57.0}$ .

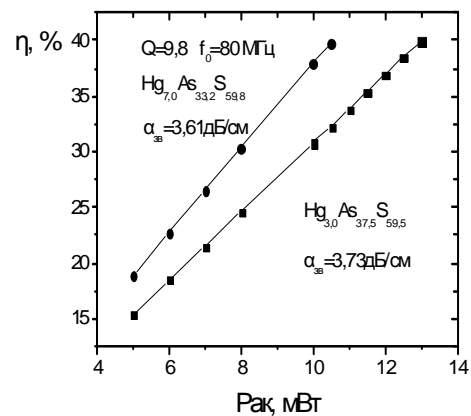


Рис. 4. Залежність дифракційної ефективності від керуючої акустичної потужності стекол  $\text{Hg}_{3.0}\text{As}_{37.5}\text{S}_{59.5}$  та  $\text{Hg}_{7.0}\text{As}_{33.2}\text{S}_{59.8}$ .

Таблиця 1

Параметри акустооптичних модуляторів

Склад	Ультразвукова хвиля			$M_2, 10^{-15}, \text{с}^3/\text{кг}$	$M_1, 10^{-8}, \text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{кг}^{-1}$	$M_3, 10^{-11}, \text{м} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$	$\tau, \text{нс}$	$\Delta f_{\text{макс}}, \text{МГц}$	$f_0, \text{МГц}$	$\eta_1 \Delta f \cdot 10^3, \text{МГц} \cdot \text{Вт}^{-1}$	$P_{\text{ак}} / \Delta f_{\text{макс}}, \text{мВт} / \text{МГц}$
	Тип коливань	$V, \text{м/с}$	Згасання $\alpha_{\text{зв}}, \text{дБ/см}$ (100 МГц)								
1. $As_{40}S_{60}$	L,S	2596	4.22	444	759	293	57	13,1	50	26,4	1,75
2. $Hg_{0.20}As_{39.92}S_{59.88}$	L,S	2604	4.21	444	759	293	57	13,3	80	26,5	1,75
3. $Hg_{0.4}As_{39.60}S_{60.0}$	L	2609	4.20	464	818	314	57	13,3	80	27,7	1,64
4. $Hg_{0.6}As_{40}S_{59.4}$	L,S	2653	4.09	501	933	352	57	13,5	80	31,0	1,49
5. $Hg_{1.0}As_{42.0}S_{57.0}$	L	2660	3.82	563	1079	406	55	13,6	80	36,1	1,32
6. $Hg_{3.0}As_{37.5}S_{59.5}$	L	2668	3.73	781	1530	573	55	13,6	80	50,3	0,96
7. $Hg_{7.0}As_{33.2}S_{59.8}$	L,S	2668	3.61	962	1904	714	55	13,6	80	61,9	0,78

Для досягнення високої контрастності та широкої смуги модуляції необхідно правильно вибрати розміри світлового променя [5]  $b = b_{\text{опт}} * s$ , де  $b_{\text{опт}} = 2\nu/\pi f_0$  - радіус перетяжки, при якій пройшовший і дифраговані промені, - перекриваються на рівні  $1/e^2$  по інтенсивності,  $s$  - коефіцієнт запасу [5]. Для акустооптичного модулятора з активним елементом  $\text{Hg}_{3.0}\text{As}_{37.5}\text{S}_{59.5}$  -  $b_{\text{опт}} = 1.1 * 10^{-4}$ . В цьому випадку ширина акустоперетворювача вибрана з коефіцієнтом запасу  $S_1 = 5$  ( $N = 2S_1 b_{\text{опт}}$ ) дорівнювала  $N = 1,1 * 10^{-3}$  м.

Смуга модулюючих частот по рівню 0,5 по інтенсивності рівна [5]:

$$\Delta f_m = 0.375\nu/b = 0.75\tau \quad (5)$$

де  $\tau = 2b/\nu$  - час проходження фронту акустичної хвилі через падаючу світлову. Оцінка значень  $\Delta f_m$ ,  $\tau$  представлені в таблиці 1. Порівняння величини вказаних параметрів, наприклад, з склом ТФ-7, для якого  $\Delta f_m = 1,36$  МГц, показує, що досліджені склоподібні сплави мають у декілька разів більшу смугу модуляції, як силікатні стекла.

При розробці акустооптичних модуляторів практичне значення представляє добуток ефективності на смугу модуляції [3, 6]:

$$\eta_1 \Delta f_m \approx 3.45 * 10^{-5} (\nu M_2) / (s s_1 \lambda^3) \quad (6)$$

де  $\eta_1$  - ефективність, віднесена до 1 Вт НВЧ потужності. Вважаючи  $\eta_1 = 0,8$ , наприклад, для скла складу  $\text{Hg}_{7.0}\text{As}_{34.2}\text{S}_{58.8}$  знайдемо, що при довжині хвилі 0,63 мкм  $\Delta f_m = (1/(SS_1)) 71.7 * 10^3$  (МГц/Вт), а для молібдату свинцю  $\Delta f_m = (1/(SS_1)) 2.7 * 10^3$  (МГц/Вт). Отже, за приведеним вище параметром досліджені і рекомендовані для практичних застосувань халькогенідні стекла  $\text{Hg}_x(\text{As}_2\text{S}_3)_{1-x}$  є більш ефективні, ніж  $\text{As}_2\text{S}_3$  (див. табл. 1).

Умови узгодження довжини взаємодії  $L$  і розміру оптичного променя необхідні також при визначенні верхньої і нижньої меж необхідної робочої потужності для даної ширини смуги. Тому для порівняння різних акустооптичних середовищ бажано приводити також критерії якості

модуляторів  $M_1 = \nu^2 M_2$  і  $M_3 = \nu M_2$ , які визначають вказані межі (див. табл. 1) і повністю залежать від постійних матеріалу та від довжини хвилі світла. При оптимальній конструкції об'ємного модулятора можна близько підійти до межі споживаної потужності [5]:

$$P_{\text{ак}} / \Delta f_m = 50.8 \lambda^3 / M_3 \quad (7)$$

З приведених даних видно, що склоподібні сплави системи Hg-As-S мають дуже низькі втрати і їх слід вважати за найбільш перспективні для активних елементів акустооптичних модуляторів.

### Акустооптичні дефлектори

Акустооптичними дефлекторами є пристрої для керування положенням оптичного променя в просторі [1, 3, 4]. Акустооптична взаємодія приводить до відхилення оптичного променя на певний кут  $\Delta\theta$  пропорційний частоті акустичної хвилі. Ефективність акустооптичного дефлектора значно зростає при правильному виборі розмірів акустичної і світлової хвиль.

Основним параметром акустооптичних дефлекторів, що входять до складу процесорів, є роздільна здатність, яку можна визначити як відношення максимального кута відхилення  $\Delta\theta$  до кутової розбіжності оптичного променя  $\lambda/D$ ,  $D$  - діаметр оптичного променя. Цей вираз спрощується, якщо врахувати, що  $\Delta\theta = \lambda \Delta f / \nu$ ,  $\tau = D/\nu$  тоді [1]:

$$N = \tau \Delta f \quad (8)$$

Отже, роздільна здатність  $N$  дорівнює добутку часу проходження акустичної хвилі через апертуру оптичного променя  $\tau$  на ширину смуги  $\Delta f$ .

Як приклад, наведемо схему розрахунку акустооптичного дефлектора на основі халькогенідного скла складу  $\text{Ge}_{2.17}\text{As}_{39.13}\text{S}_{58.70}$  з параметрами:  $\nu = 2686 \text{ м} * \text{с}^{-1}$ ,  $M_2 = 270 * 10^{-15} \text{ с}^3 * \text{кг}^{-1}$ . Для цього будувалися графіки залежності роздільної здатності від довжини хвилі (або частоти) при довільно вибраному діаметрі світлового променя. Такі

залежності для дефлектора на основі халькогенідного скла  $\text{Ge}_{2.17}\text{As}_{39.13}\text{S}_{58.70}$  наведені на рис. 6. Слід зазначити, що величина  $N$  обмежена як геометричними розмірами, так і фундаментальними властивостями матеріалу звукопроводу [7]. Першим обмеженням роздільної здатності дефлектора є його довжина  $D$ , оскільки  $N \leq (D/2) \cdot (1/\lambda)$  [7]. Вибираємо центральну робочу частоту акустооптичного дефлектора 70 МГц, що відповідає резонансній частоті п'єзоперетворювача. Акустичне згасання матеріалу звукопроводу обмежує величину  $D$ .

Композиційна залежність коефіцієнта акустичного згасання наведена на рис 5.

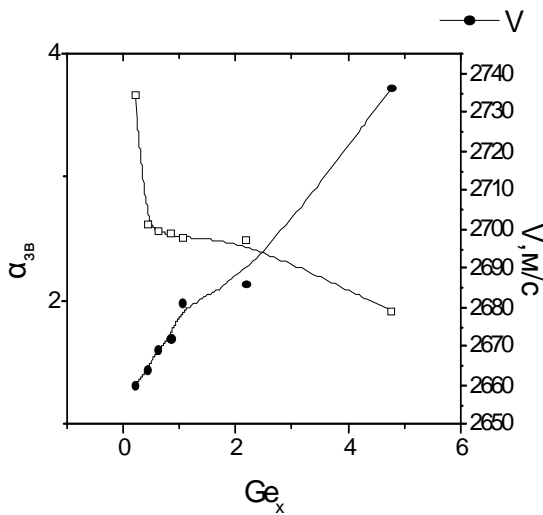


Рис. 5. Композиційні залежності коефіцієнта акустичного згасання та швидкостей поширення УЗ хвиль стекло системи  $(\text{As}_2\text{S}_3)_{1-x}\text{Ge}_x$ .

Хід експериментальних залежностей може бути описаний в рамках фононного механізму Ахієзера [16].

Якщо згасання пружних хвиль на частоті  $f_1=100$  МГц рівне  $\alpha_{3B}$ , то згасанню на 3 дБ відповідатиме:

$$D = \frac{3}{\alpha_{3B}} \left( \frac{\Lambda_0}{\Lambda_1} \right)^2 \quad (9)$$

(де  $\Lambda_1$  - довжина хвилі на частоті  $f_1=100$  МГц. Звідки отримуємо, що максимальна довжина дефлектора рівна  $D=1,5 \cdot 10^{-2}$  м. З рис. 6 знаходимо, що це відповідатиме числу вирішуваних

світлоелементів, рівному 310. Величина акустичного загасання зменшує це число до 217, оскільки [7]:

$$N \leq \frac{1.5 \Lambda_0}{\alpha_{3B} \Lambda_1} \quad (10)$$

По відомих значеннях  $D$ ,  $f_0$  знаходимо довжину п'єзоперетворювача  $L=7 \cdot 10^{-3}$  м. Розраховане значення відношення розбіжностей світлової і акустичної хвиль дорівнює  $1,5 \cdot 10^{-2}$ . Оскільки ця величина набагато менше одиниці, то вибрана геометрія акустооптичної взаємодії для дефлектора на халькогенідному склі складу  $\text{Ge}_{2.17}\text{As}_{39.13}\text{S}_{58.70}$  є достовірною.

Час проходження акустичної хвилі через апертуру світлового променя ( $\tau=D/v$ )  $\tau=7,44 \cdot 10^{-6}$  с.

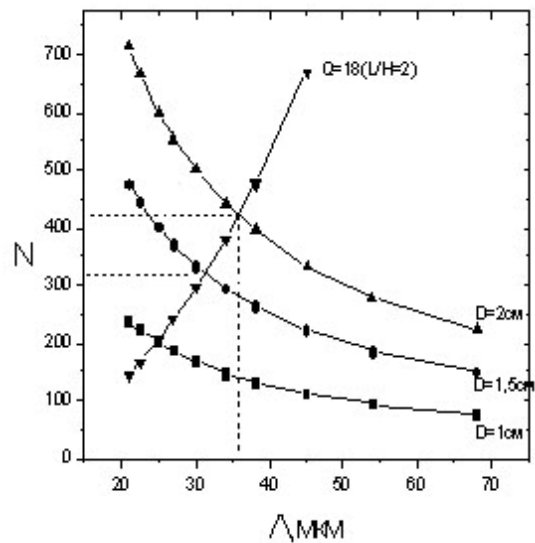


Рис. 6. Залежність роздільної здатності дефлектора на халькогенідному склі  $\text{Ge}_{2.17}\text{As}_{39.13}\text{S}_{58.70}$  від довжини ультразвукової хвилі.

Визначимо частотну характеристику дефлектора, під якою слід розуміти залежність інтенсивності дифрагованого світла від частоти при незмінному куті падіння [7]. Смугу робочих частот дефлектора можна збільшити, розширюючи діаграму спрямованості ультразвукової хвилі, тобто зменшуючи довжину п'єзоперетворювача. Акустооптична взаємодія для халькогенідних

склоподібних напівпровідників відбувається переважно в проміжній області, в якій ширина смуги не може бути більше 1-ої октави, інакше області сканування 1-го і 2-го порядків перекриються. Смуга частот акустооптичного дефлектора залежить від швидкостей розповсюдження ультразвукових хвиль [5]:

$$\Delta f = 1.8\nu^2 / \lambda_0 f_0 L \quad (11)$$

Для складу  $\text{Ge}_{2.17}\text{As}_{39.13}\text{S}_{58.70}$ , розраховане за співвідношенням (11) значення  $\Delta f$  рівне 30,3 МГц, але враховуючи рівень акустичних втрат в звукопроводі, смуга робочих частот дефлектора звужується до 17,7 МГц. Очевидною перевагою досліджених халькогенідних сплавів  $(\text{As}_2\text{S}_3)_{1-x}\text{Hg}(\text{Ge})_x$ , є той факт, що акустооптична взаємодія для них відбувається в проміжковому режимі, в якому і можливо досягти максимальної смуги робочих частот дефлекторів [5].

Іншим важливим параметром акустооптичних скануючих пристроїв є також керуюча акустична потужність  $P_{\text{ак}}$ , яка залежить від властивостей середовища взаємодії [4, 5]:

$$P_{\text{ак}} = \lambda_0^2 H / 8LM_2 \quad (12)$$

Акустооптичний дефлектор, виконаний на основі халькогенідного скла складу  $\text{Ge}_{2.17}\text{As}_{39.13}\text{S}_{58.70}$  для сканування світлового променя в смугі частот  $\Delta f = 17,7$  МГц, потребує  $\sim 0,1$  Вт управляючої потужності. Для досягнення ще менших величин ультразвукової управляючої потужності, доцільніше застосування склоподібних сплавів Hg-As-S, оскільки такі стекла характеризуються більш високими значеннями критерію акустооптичної якості. Якщо врахувати втрати при перетворенні електричного сигналу в акустичну хвилю, то реальні значення управляючої потужності для дефлекторів на основі халькогенідних стекел  $(\text{As}_2\text{S}_3)_{1-x}\text{Hg}(\text{Ge})_x$  складають 1-2 Вт (див. табл. 2).

Величину керуючої акустичної потужності можливо дещо зменшити, якщо узгодити акустичні імпеданси звукопроводу, п'єзоперетворювача та

шару акустичної зв'язки. Вплив зв'язуючого шару на частотну характеристику дефлектора можна мінімізувати, знижуючи його товщину і вибираючи для цієї мети речовини з приблизно однаковим акустичним імпедансом [6-8]. На низьких частотах (до 100 МГц) достатньо ефективно працює клейове з'єднання. Як зв'язуючий шар нами узятя епоксидна смола з різними наповнювачами – дрібнодисперсний порошок ZnO, алюмінієва пудра. В деяких випадках для забезпечення необхідного узгодження із звукопроводом застосовувалася індієва ( $\sim 10$  мкм) фольга. Проведені експерименти показали, що для стекел  $(\text{As}_2\text{S}_3)_{1-x}\text{Hg}(\text{Ge})_x$  достатньо ефективно працює зв'язка, що складається з ЕДП-09 (наповнювачем ZnO). Необхідно відзначити, що приведений склад акустичної зв'язки не є найбільш вдалим, але через відсутність вакуумної технології не представлялося можливим застосувати інші, більш ефективні способи з'єднання [6-8].

Звичайно акустооптична комірка – це п'єзоперетворювач, який акустично з'єднаний з світлозвукпроводом. В розроблених АОП п'єзоперетворювач виготовлявся із монокристалічного ніобіту літія  $\text{Y}+36^\circ$  зрізу. Фізичні властивості, які характеризують дану орієнтацію забезпечують найбільш ефективне збудження поздовжньої акустичної хвилі і мають наступні параметри [10]: максимальний коефіцієнт електромеханічного зв'язку для цієї моди коливань  $k_L = 0.52$ , максимальна швидкість поширення звукової хвилі  $V_L = 7320$  м/с, акустичний імпеданс  $\rho V_L = 34.5 \cdot 10^6$  Нс/м<sup>3</sup> (акустичний імпеданс матеріалу світлозвукпроводу  $\rho V_L = 8,6 \cdot 10^6$  Нс/м<sup>3</sup>).

П'єзоперетворювач разом із світлозвукпроводом притискався до контактної системи електродів, що були оброблені з високим класом чистоти (14 клас) і плоскопаралельністю ( $\sim 0.5$  кільця) і таким чином, забезпечувалось живлення АОП через ємнісний проміжок. Для зменшення шкідливого впливу реактивних елементів,

Параметри акустооптичних дефлекторів

Матеріал звукопроводу	$f_0$ , MHz	$\Delta f$ , MHz	$\tau$ , мкс	N	$P_{ак}$ , мВт	$M_1, 10^{-8} \text{ м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{кг}^{-1}$	$M_3, 10^{-11} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$
1. $\text{Ge}_{0.20}\text{As}_{39.92}\text{S}_{59.88}$	70	29.9	7.52	224	64	724	272
2. $\text{Ge}_{0.4}\text{As}_{39.84}\text{S}_{59.75}$	70	30.0	7.52	226	65	705	265
3. $\text{Ge}_{0.61}\text{As}_{39.75}\text{S}_{59.63}$	70	30.0	7.52	226	66	705	264
4. $\text{Ge}_{0.83}\text{As}_{39.67}\text{S}_{59.50}$	70	30.0	7.51	226	81	579	217
5. $\text{Ge}_{1.04}\text{As}_{40.26}\text{S}_{58.70}$	70	30.2	7.46	225	91	512	191
6. $\text{Ge}_{2.17}\text{As}_{39.13}\text{S}_{58.70}$	70	30.3	7.44	225	93	511	190
7. $\text{Ge}_{4.76}\text{As}_{38.10}\text{S}_{57.14}$	70	30.8	7.31	225	102	470	172

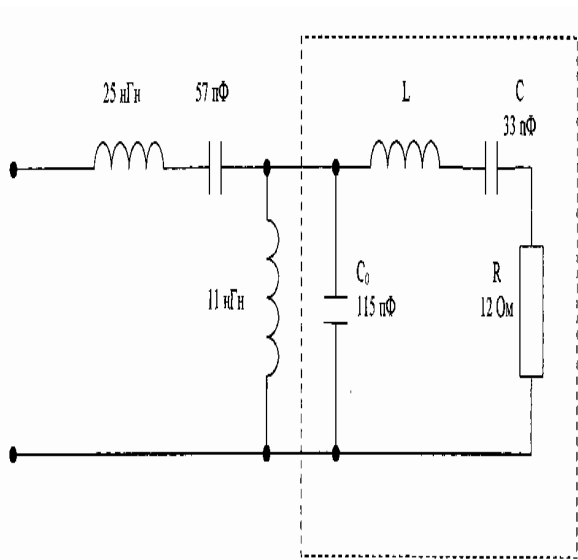


Рис. 7. Електрична схема узгодження імпедансів п'єзоперетворювача і активного елемента АОП.

електрична схема (рис. 7) узгодження вхідного опору п'єзоперетворювача з вихідним опором генератора сигналів, розташовувалась безпосередньо біля електродів живлення. Електрична схема узгодження розраховувалась виходячи із еквівалентної схеми напівхвильового п'єзоперетворювача [6-8] (площа  $S=7 \cdot 2,5 \text{ мм}^2$ ,  $f_0=80 \text{ МГц}$ ,  $C_0=110 \text{ пФ}$ ,  $R=12 \text{ Ом}$ ,  $k=C/C_0=0,3$ ,  $Q=1/2\pi f_0 RC=3$ ).

Ця схема дозволила покращити амплітудно-частотну характеристику АОМ (див. рис. 8).

Нерівномірність амплітудно-частотної характеристики складає  $\sim 3 \text{ дБ}$ .

Отже, на основі стекел систем  $(\text{As}_2\text{S}_3)_{1-x}\text{Hg}(\text{Ge})_x$  можливо реалізувати АОП з наступними параметрами: максимальна смуга модулюючих частот  $\sim 13,6 \text{ МГц}$ , дифракційна ефективність – 40%, роздільна здатність  $\sim 200$ , керуюча напруга генератора при вхідному опорі 50 Ом не більше 1В.



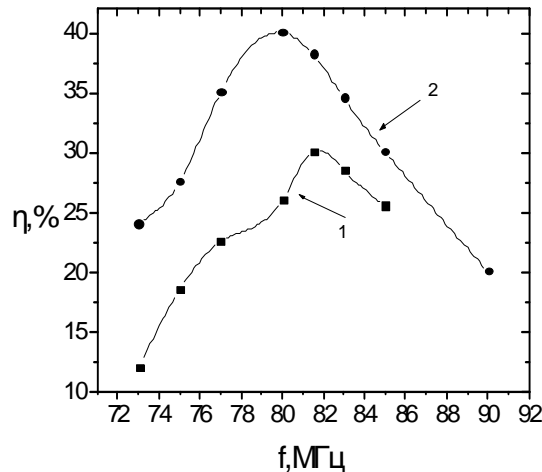


Рис. 8. Амплітудно-частотна характеристика АОМ на основі скла  $Hg_{3,0}As_{57,5}S_{59,5}$  (1 - без узгодження, 2 - з узгодженням).

### Література

1. Балакший В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики. - М.: Радио и связь, 1985. – 280 с.
2. Дамон Р., Мэлони В., Мак-Магон Д. Взаимодействие света с ультразвуком: Явление и его применение. - В кн.: Физическая акустика. Принципы и методы. - т.7 - М.: Мир, 1974. – 436 с.
3. Ребрин Ю.К. Управление оптическим лучом в пространстве. - М.: Сов. Радио, 1977. – 324 с.
4. Дьелесан Э., Руайе Д. Упругие волны в твердых телах. Применение для обработки сигналов: Пер. с франц. / Под. ред. В.В. Леманова. - М.: Наука, 1982. – 424 с.
5. Магдич Л.Н., Молчанов В.Я. Акустооптические устройства и их применение. - М.: Сов. радио, 1978. - 112 с.
6. Кулаков С.В. Акустооптические устройства спектрального и корреляционного анализа сигналов. - Л.: Наука, 1978. – 179 с.
7. Янг Э.Х., Шикай Я.О. Расчет акустооптических устройств // ТИИЭР - 1981. - т.69. - №1. – С. 61-76.
8. Бондаренко В.С., Зоренко В.П., Калова В.В. Акустооптические модуляторы света. – М.: Радио и связь, 1988. – 136 с.
9. Данилов В.В. Классификационный анализ акустооптических устройств управления лазерным пучком // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2000. - №2-3. - С. 52-59.
10. Акустические кристаллы: Справочник / Под. ред Шаскольской М.П. - М.: Наука, 1982. - 632 с.
11. Студеняк І.П., Краньчец М., Феделеш В.І. Застосування монокристала напівпровідникового твердого розчину селеніду галію-індію  $(Ga_{0,4}In_{0,6})_2Se_3$  як матеріалу для акустооптичного модулятора лазерного випромінювання. - Патент України UA 25754 U, 2007. – 2 с.
12. Krause J.T., Kurkjian C.R., Pinnow D.A., Sigety E.A. Low acoustic loss chalcogenide glasses – a new category of materials for acoustic and acousto-optic application // Appl. Physics Letters. – 1970. - v. 17. - №9. - P. 367-368.
13. Поляков Ю.А., Маковская З.Г., Дембовский С.А., Дерюгин И.А., Талалаев М.А. Критерии отбора стеклообразных халькогенидных материалов для использования в акустооптических устройствах // Неорганические материалы. - 1981. - Т.17. - №7. – С. 1166 – 1171.
14. Годовиков А.А., Курява Р.Г. Свойства и структура сульфидно-мышьяковых стекол на основе  $As_2S_3$  с добавками различных р-элементов // Физика и химия стекла. -

1983. - т.9. - №4. – С. 502 – 509.

15. Dixon R.W., Cohen M.G. New technique for measuring photoelastic tensor and its applications to lithium niobate. – Appl. Phys.

Lett. - 1966. - V. 68. - № 6. - P. 205–206.

16. Труэлл Р., Эльбаум Ч., Чик Б. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. - М.: Мир, 1972. – 307 с.

## **ACOUSTIC-OPTICAL MODULATORS AND DEFLECTORS ON THE BASIS OF HALCOGENIDE GLASSES $(As_2S_3)_{1-x}Hg(Ge)_x$**

**V.I. Fedeleš, M.M. Stegura, I.M. Yurkin, P.P. Babidorich**

Uzhhorod National University, 88000, Uzhhorod, Pidgirna, 46

The methods of calculation and making wide-band volumetric acoustic-optical modulators (sentinel modulation) and deflectors (spatial modulation) are described. The choice criteria of glass optimum composition are proposed and the concrete parameters of such devices are resulted.

## **АКУСТООПТИЧЕСКИЕ МОДУЛЯТОРЫ И ДЕФЛЕКТОРЫ НА ОСНОВЕ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКОЛ $(As_2S_3)_{1-x}Hg(Ge)_x$**

**В.И. Феделеш, М.М. Стегура, И.М. Юркин, П.П. Бабидорич**

Ужгородский национальный университет, 88000, Ужгород, ул. Пидгирна, 46

Описаны методики расчета и изготовления широкополосных объемных акустооптических модуляторов (временная модуляция) и deflectоров (пространственная модуляция). Поданы критерии выбора оптимального состава стекла и приведены конкретные параметры таких приборов.