

- [2] Dutta, T., Yadav, N., Wu, Y., Cheng, G. J., Liang, X., Ramakrishna, S. (2024). Electronic properties of 2D materials and their junctions. *Nano Materials Science*, 6 (1), 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.nanoms.2023.05.003>
- [3] Luniov S.V. (2019). Calculation of Electron Mobility for the Strained Germanium Nanofilm. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 11 (2), 02023.
- [4] Yu, X., Jia, H., Yang, J., Masteghin, M. G., Beere, H., Mtunzi, M., Liu, H. (2024). Effects of phosphorous and antimony doping on thin Ge layers grown on Si. *Scientific Reports*, 14 (1), 7969. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57937-8>.
- [5] Luniov S.V. (2020). Calculation of band structure of the strained germanium nanofilm, doped with a donor impurity. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 118, 113954; <https://doi.org/10.1016/j.physe.2020.113954>.
- [6] Luniov S., Shygorin P., Venhryn B. (2024). The influence of mechanical strains and quantum-size effects on the photosensitivity of Ge/Ge(x)Si(1-x) nanofilm. *Romanian Journal of Physics*, 69 (1-2), 602. <https://doi.org/10.59277/RomJPhys.2024.69.602>.

ІНТЕРФЕРОМЕТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОПРУЖНОСТІ БОРАТНОГО СКЛА ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$), ЛЕГОВАНОГО СРІБЛОМ

**Б. Мицик¹, В. Адамів², А. Андрушак³, Т. Вороняк¹, Н. Дем'янишин¹,
О. Лішук³, І. Стасишин¹, І. Теслюк²**

¹Фізико-механічний інститут імені Г.В.Карпенка НАН України, 79601 Львів, mytsykb@ukr.net

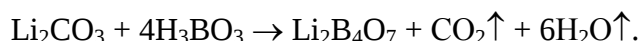
²Львівський національний університет імені Івана Франка, 79001 Львів, Україна

³Національний університет «Львівська політехніка», 79046 Львів, Україна

Монокристали боратів, такі, наприклад, як борати літію, калію та цезію ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, LiKB_4O_7 , $\text{LiCsB}_6\text{O}_{10}$) відзначаються високою прозорістю в широкому спектральному діапазоні, включаючи вакуумний ультрафіолет. Ці кристали придатні для прикладного застосування в нелінійній оптиці, лазерній техніці та дозиметрії. Разом з тим вирощування боратних монокристалів є технічно складним і тривалим процесом, що робить такі кристали надто вартісними. До недоліків вказаних монокристалів слід віднести також високу в'язкість їх розплавів, що зумовлює принципові труднощі із легуванням таких матеріалів [1]. Тому увагу дослідників привертають склоподібні боратні сполуки, які легко піддаються легуванню, а технологія склоподібних боратних сумішей дозволяє синтезувати ізотропні боратні матеріали низької вартості. Крім того, з наукової та практичної точок зору важливим є порівняння властивостей кристалічних та склоподібних боратних матеріалів.

Наприклад, в роботах [2, 3] досліджено фотопружні та акустооптичні (АО) властивості монокристалів тетраборату літію (ТБЛ, $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$). Доцільним є порівняти відповідні результати з аналогічними для склоподібної системи $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$. Відомо також, що легування боратних сполук сріблом (Ag) змінює фізичні властивості таких сполук. В даному дослідженні зроблено порівняння фотопружних та АО властивостей легованого Ag та нелегованого боратного скла. Ці ж властивості досліджено після відпапу чистого та легованого ТБЛ скла, оскільки невідпалені зразки мають неоднорідні ділянки, зумовлені внутрішніми механічними напруженнями.

Технологія отримання нелегованого $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ та легованого $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Ag}$ скла. Для приготування ТБЛ скла використовували карбонат літію Li_2CO_3 , борну кислоту H_3BO_3 і азотнокисле срібло AgNO_3 від фірми Sigma-Aldrich особливо високої степені чистоти. Підготовлену згідно стехіометричного складу $\text{Li}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ подрібнену суміш вихідних хімреактивів поміщали в керамічний тигель і проводили багатоступінчатий високотемпературний синтез за хімічною реакцією:



Після подрібнення отримували порошок $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ з температурою плавлення 1198 К. Склад шихти підтверджено рентгеноструктурним аналізом.

Скло готували методом плавлення отриманої шихти ТБЛ в алуновому тиглі і в атмосфері повітря за температури 1270 К. Для отримання легованого сріблом тетраборатного скла $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ в шихту перед нагріванням до температури плавлення скла додавали 1 ваг. % AgNO_3 . Розплав гомогенізували на протязі 0.5 годин і впродовж однієї години охолоджували до температури 673 К з наступним інерційним охолодженням до кімнатної температури.

Характеристика зразків. Із синтезованих матеріалів виготовлено зразки кубічної форми із розмірами ребер ~ 7 мм, із полірованими гранями і мізерною клиновидністю, а саме, відхилення товщини зразка на усій площі паралельних граней не перевищували 1-2 мкм. В цьому випадку відсутня похибка визначення п'єзооптичних коефіцієнтів (ПОК) π_{im} , зумовлена мікроклиновидністю оптичних граней зразків, яка детально описана в роботах [2, 4]. Підкреслимо, що виготовлені зразки мають недоліки двох типів: 1) сферичні дефекти-пустоти з діаметрами від ~ 0.005 до ~ 0.110 мм, густина яких в деяких частинах зразків досягає близько 200 дефектів у см^3 (рис. 1); 2) оптично неоднорідні ділянки, зумовлені внутрішніми механічними напруженнями; розміри таких ділянок в перерізі можуть складати ≤ 1 мм². Тому для дослідження фотопружності вибиралися найбільш однорідні частини зразків ТБЛ скла, розташовані поблизу центра зразка.

Вигляд типової інтерферометричної картини для однорідної ділянки зразка із тетраборатного скла, створеної на базі однопрохідного інтерферометра Маха-Цендера, подано на рис. 2.

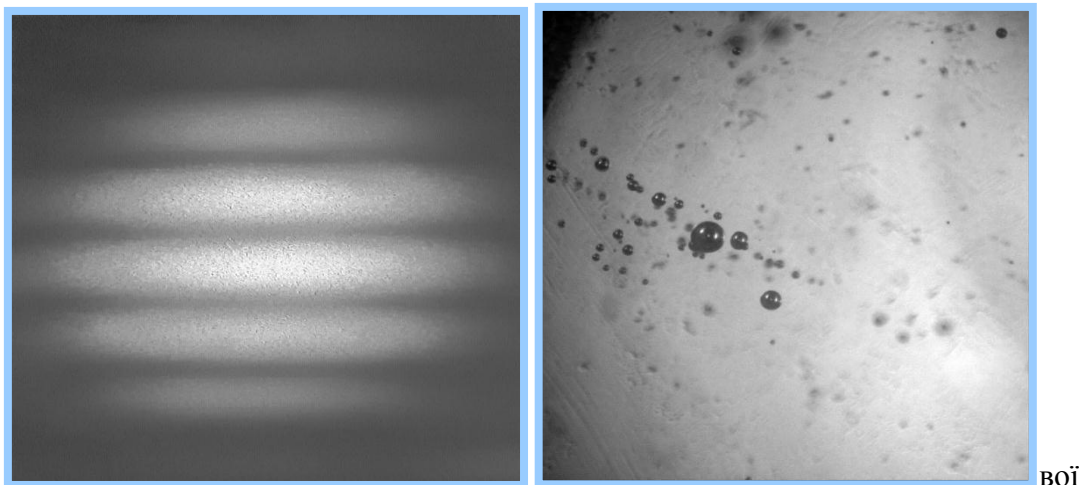


Рис. 1 (зліва). Вигляд сферичних дефектів-пустот всередині зразка; розміри зображення 2×2 мм².

Рис. 2 (справа). Типова інтерферометрична картина на екрані 20×20 мм² для однорідної ненапруженої ділянки зразка; діаметр променя у зразку ~ 2 мм; за дії одновісного тиску екстремуми рухаються вгору-вниз.

Методика визначення п'єзо- та пружнооптичних коефіцієнтів (π_{im} та p_{ik}) в ТБЛ склі детально описана в [5].

Результати. Зазначимо, що величини коефіцієнтів π_{11} та π_{12} , визначені у напружених і ненапружених ділянках, розташованих в околі центра зразка, є однаковими в межах похибок визначення вказаних ПОК. Більше того, значення цих ПОК, визначені в попередній роботі авторів [5] і визначені в даній роботі на нових синтезованих зразках ТБЛ скла, збігаються в межах похибок визначення ПОК, а саме [5] (усе в од. 10^{-12} м²/Н = = 1Бр = 1 Брюстер):

$$\pi_{11} = -0.45 \pm 0.10(22\%); \quad \pi_{12} = 1.18 \pm 0.25(21\%) \quad (1)$$

для чистого ТБЛ скла,

$$\pi_{11} = 0.23 \pm 0.16 (70\%); \quad \pi_{12} = 2.30 \pm 0.36(16\%) \quad (2)$$

для ТБЛ скла, легованого сріблом.

Пружнооптичні коефіцієнти (ПрОК) p_{ik} розраховано на основі відомого тензорного виразу [6, 7]

$$p_{ik} = \pi_{im} C_{mk}, \quad (3)$$

де C_{mk} – коефіцієнти пружної жорсткості, визначені на основі швидкостей акустичних хвиль (детальніше про це див. у роботі [5]).

З використанням виразу (3) отримано такі значення ПрОК:

$$p_{11} = 0.041 \pm 0.015(37\%), \quad p_{12} = 0.125 \pm 0.024(19\%) \quad (4)$$

для чистого ТБЛ скла,

$$p_{11} = 0.174 \pm 0.022(12.5\%), \quad p_{12} = 0.280 \pm 0.035(12.5\%) \quad (5)$$

для ТБЛ скла, легованого сріблом.

Із результатів (1), (2) та (4), (5) бачимо, що поперечні ефекти п'єзооптичного і пружнооптичного ефектів (коли напрям i поляризації світла та напрям m дії оlnовісного тиску чи напрям k деформації зразка) мають суттєво більші значення, ніж ефекти поздовжні (коли $i \parallel m$ або $i \parallel k$). Особливо великими є ПОК π_{12} (див. результат (2)) та ПрОК p_{12} (див. результат (5)) для скла ТБЛ+Ag. Саме велике значення коефіцієнта p_{12} зумовлює велике відповідне значення коефіцієнта АО якості M_2 для ТБЛ+Ag, яке становить $2.0 \cdot 10^{-15}$ сек³/кг. За цим значенням коефіцієнта M_2 леговане сріблом ТБЛ скло відповідає кристалічному тетраборату літію $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ [2, 8], а також кристалічному кварцу [9] і у ~ 5 разів переважає максимальне значення M_2 борату стронцію SrB_4O_7 , придатному для АО модуляції світла в ультрафіолетовій області спектру [10].

Нагадаємо про недоліки синтезованих боратних матеріалів: низька оптична якість, зумовлена великою кількістю сферичних дефектів-пустот, та напружені ділянки зразків. Тому проведено відпал чистих і легованих сріблом зразків. В доповіді детально обговорюються результати впливу температурного відпалу на фотопружні та АО властивості синтезованих боратних матеріалів. Відпал зразків проведено за температури 450 ± 20 °C на протязі двох годин.

Подяка. Ця робота підтримана Міністерства освіти і науки України (реєстраційний номер проєкту ДБ/Нанoeлектроніка 0123U101695).

Список літератури

1. Adamiv V.T., Burak Ya.V., Gamernyk R.V., Romanyuk G.M., Teslyuk I.M. Optical properties, electronic polarizability and optical basicity of lithium borate glasses. *Phys. Chem. Glasses: Eur. J. Glass Sci. Technol. B*, 2011, V. 52, P. 152–156.
2. Mytsyk B.G., Andrushchak A.S., Vynnyk D.M., Demyanyshyn N.M., Kost' Ya.P., Kityk A.V. Characterization of photoelastic materials by combined Mach-Zehnder and conoscopic interferometry. *Opt. Laser. Eng.*, 2020, V. 127, P. 105991/1–8.
3. Martynyuk-Lototska I., Dudok T., Mys O., Romanyuk G., Vlokh R. Acoustooptic interaction and photoelastic properties of $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ and $\delta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ crystals at the wavelength of 442 nm. *Ukr. J. Phys. Opt.*, 2009, V. 10, P. 218–225.
4. Мицик Б.Г., Андрущак А.С., Гаськевич Г.І. Повне вивчення п'єзооптичного ефекту в кристалах лангаситу. *Укр. фіз. ж.*, 2007, Т. 52, С. 800–809.
5. Mytsyk B., Adamiv V., Demyanyshyn N., Teslyuk I., Shchepanskyi P., Kost' Ya. Photoelasticity of glassy lithium tetraborate and its acousto-optic efficiency. *Proc. 17th IEEE* International Confe-*

6. Nye J.F. Physical properties of crystals. *Oxford: Clarendon Press*, 1964.
7. Narasimhamurty T. Photoelastic and electro-optic properties of crystals. *New York and London: Plenum press*, 1981.
8. Krupych O., Mys O., Kryvyi T., Adamiv V., Burak Y., Vlokh R. Photoelastic properties of lithium tetraborate crystals. *Appl. Opt.*, 2016, V. 55, P. 10457–10462.
9. Uchida N., Niizeki N. Acoustooptic deflection materials and techniques. *Proc. IEEE*, 1973, V. 61, P. 1073–1092.
10. Demyanyshyn N.M., Mytsyk B.G., Sakharuk O.M. Elasto-optic effect anisotropy in strontium borate crystals. *Appl. Opt.*, 2014, V. 53, P. 1620–1628.

СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ЖИРНО-КИСЛОТНИЙ СКЛАД КУКУРУДЗЯНОЇ ОЛІЇ ТА КУКУРУДЗЯНО-ЛЛЯНОГО КУПАЖУ

**Мягkota С.В.¹, Шевчук Р.С.¹, Сукач О.М.¹, Пушак А.С.², Соловодзінська І.С.¹,
Голубець О.В.³, Лень Ю.Т.⁴, Мазурак О.Т.¹, Кушнір О.П.¹**

¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, 30831 вул. Володимира Великого 1, Дубляни, Україна

²УЛьвівський національний університет імені Івана Франка, 89005 вул. Кирила і Мефодія 8, Львів Україна, apushak@gmail.com

³Науково-дослідний центр випробувань продукції «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ», вул. Метрологічна 4, Київ, Україна

⁴Львівський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України, 79040 вул. Конюшинна 24, Львів, Україна

Досліджено спектрально-люмінесцентні властивості кукурудзяної олії, приготовленої методом хімічної екстракції; лляної олії, отриманої методом холодного пресування та кукурудзяно-лляних купажів, отриманих в результаті змішування кукурудзяної та лляної олій у межах від 0,95:0,05 до 0,73:0,27 з кроком 0,02 мас.% вмісту лляної олії. Методом газової хроматографії оцінено відповідність розрахованому відношення лінолевої та ліноленової поліненасичених жирних кислот в складі означених кукурудзяно-лляних купажів. Встановлено хімічний склад купажів, придатних для щоденного профілактичного вживання та купажів, придатних для лікування серцево-судинної системи.

Люмінесцентний аналіз підтвердив літературні дані про те, що:

1. кукурудзяна олія, приготовлена методом хімічної екстракції, є збідненою щодо хімічно-активних її складників: фенолів, токоферолів (різновиду вітаміну Е), поліненасичених жирних кислот (лінолевої, ліноленової), моно ненасиченої жирної кислоти-олеїнової, вітаміну В₂, попередника вітаміну А (каротину), пігмента хлорофілу. Натомість в олії домінують продукти окислення її складових.

2. Лляна олія, приготовлена методом холодного пресування, містить люмінесцентно-активні сполуки: феноли, токоферолі (різновид вітаміну Е), поліненасичені жирні кислоти (лінолеву), мононенасичену жирну кислоту-олеїнову, вітамін В₂, попередник вітаміну А, пігмент хлорофіл та продукти окислення складових лляної олії [1, 2].

Зареєстровано високу інформативність люмінесцентно-активних компонент вказаних олій (токоферолів, поліненасичених жирних кислот, вітамінів, пігментів), продуктів окислення про якість олії залежно від способу отримання. Встановлено, що спектрально-люмінесцентні характеристики кукурудзяно-лляного купажу є подібними з такими, характерними для