

обох наук, сприяє формуванню цілісного розуміння явищ. Учителі мають бути підготовлені до **застосування міжпредметних завдань**. Включення до навчальних матеріалів завдань, що потребують застосування знань як з фізики, так і з хімії сприятиме позитивному вирішенню питання. Застосування проєктних технологій, **створення міжпредметних проєктів** теж сприятиме ефективному використанню міжпредметних зв'язків фізики та хімії та активізації пізнавальної діяльності здобувачів освіти, заохочуватиме до виконання дослідницьких проєктів, що охоплюють питання на стику двох наук.

Використання міжпредметних зв'язків фізики та хімії не лише сприяє глибшому засвоєнню знань та розвитку пізнавальних навичок, але й формує в учнів науковий світогляд, розуміння єдності природи та готовність до розв'язання складних проблем, що виникають у сучасному світі. Інтеграція знань робить навчання більш змістовним, цікавим та актуальним для майбутнього здобувачів освіти.

ТЕМПЕРАТУРНА ЗАЛЕЖНІСТЬ ШИРИНИ ЗАБОРОНЕНОЇ ЗОНИ КРИСТАЛІВ $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{SnSe}_2)_x$

Іванюк Д.О.¹, Кевшин А.Г.², Кевшин Н.А.³

¹*Аспірант навчально-наукового фізико-технологічного інституту Волинського національного університету імені Лесі Українки*

²*Доцент кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій Волинського національного університету імені Лесі Українки*

³*Студент 2-го курсу Волинського національного університету імені Лесі Українки*

dima.ivaniuk29@gmail.com, Kevsyin_A@ukr.net, Kevshyn.Nazar2023@vnu.edu.ua

Оскільки напівпровідникові матеріали широко застосовуються у виробництві пристроїв оптоелектроніки, важливим є вивчення їхніх фундаментальних параметрів, які визначають придатність того чи іншого матеріалу для створення конкретного приладу з необхідними експлуатаційними характеристиками. До таких параметрів належать енергетичне положення та концентрація домішок, розподіл електронних станів у енергетичних хвостах, концентрація і розподіл поверхневих станів, ширина забороненої зони, яка є однією з найважливіших характеристик напівпровідникових матеріалів [1].

З метою вивчення оптичних властивостей кристалів $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{SnSe}_2)_x$ (при концентраціях $x=0,05$ та $0,1$), зразки були отримані шляхом сколювання з центральної частини монокристалічного злитка. Важливо зазначити, що всі досліджені кристали мали виражену шарувату структуру. Ця особливість дозволила проводити оптичні вимірювання на плоско-паралельних поверхнях високої оптичної якості без необхідності додаткової обробки, такої як шліфування або полірування.

Для дисперсії світла використовувався монохроматор MDR-206. У робочому діапазоні довжин хвиль прилад забезпечував роздільну здатність $0,5$ нм. Дослідження в температурному діапазоні від 100 до 300 К проводилися за допомогою азотного кріостата. Температура стабілізувалася терморегулятором Utrecs K41-3 з точністю $\pm 0,2$ К.

Дослідження спектральної залежності коефіцієнта поглинання в білякрайовій області показало, що в досліджуваних кристалах у досліджуваному температурному діапазоні відбуваються як прямі дозволених, так і непрямі дозволених переходи, що узгоджується з результатами попередніх досліджень [2; 3]. Щоб визначити ширину забороненої зони (як при прямих () так і при непрямих (E_g^i) дозволених переходах), ми провели екстраполяцію

$(\alpha h\nu)^2 = f(h\nu)$ та $(\alpha h\nu)^{1/2} = f(h\nu)$ до $(\alpha h\nu)^{1/2} = 0$ та $(\alpha h\nu)^2 = 0$. Результати розрахунків подані на рис. 1.

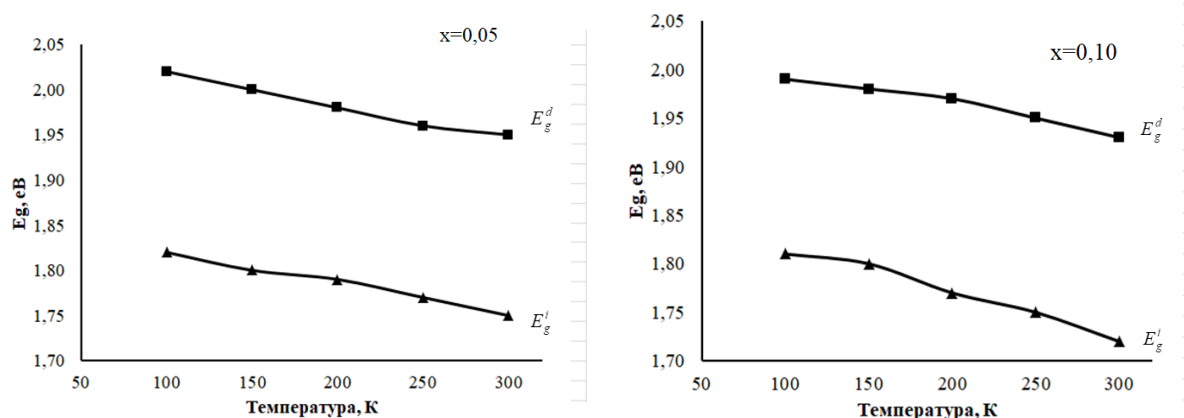


Рис. 1. Температурна залежність ширини забороненої зони кристалів $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{SnSe}_2)_x$

Як бачимо, при підвищенні температури ширина забороненої зони зменшується для всіх досліджуваних зразків. Цю температурну залежність ширини забороненої зони можна пов'язати зі змінами частоти фононів, які впливають на різні фізичні явища (теплове розширення кристалічної решітки, посилення взаємодії між електронами та фононами). Отже, зміни в ширині забороненої зони є результатом складних взаємодій між атомами, електронами та тепловими коливаннями в кристалічній структурі матеріалу.

Список використаних джерел

1. Makhnovets G.V., Myronchuk G.L., Piskach L.V., Vidrynskyi B.V., Kevshyn A.H. Study of optical absorption in $\text{TlGaSe}_2:\text{Zn}^{2+}$ single crystals. *Ukrainian Journal of Physical Optics*. **19**, 49-59 (2018).
2. Vytautas Grivickas, Vitalijus Bikbajevs, and Paulius Grivickas. Indirect absorption edge of TlGaSe_2 crystals *Phys. stat. sol. (b)*. **243**, R31–R33 (2006).
3. Simon Johnsen, Zhifu Liu, John A. Peters, Jung-Hwan Song, Sebastian C. Peter, Christos D. Malliakas, Nam Ki Cho, Hosub Jin, Arthur J. Freeman, Bruce W. Wessels, and Mercuri G. Kanatzidis. Thallium Chalcogenide-Based Wide-Band-Gap Semiconductors: TlGaSe_2 for Radiation Detectors. *Chem. Mater.* **23**, 3120–3128 (2011).