

В.Ф. Зінченко¹, І.Р. Магунов¹, О.В. Мозгова², Г.В. Нечипоренко¹, І.В. Стоянова¹

Вивчення взаємодії у системі GeO – V₂O₃ спектроскопічними методами

¹Фізико-хімічний інститут ім. О.В. Богатського Національної академії наук України, Люстдорфська дорога, 86, Одеса, 65080, Україна, vfzinchenko@ukr.net

²Казенне підприємство спеціального приладобудування "Арсенал", вул. Московська, 8, Київ, 02010, Україна, borisgor@i.com.ua

Через рентгеноаморфний характер GeO та V₂O₃ для вивчення взаємодії між ними застосовані методи ІЧ спектроскопії пропускання та спектроскопії дифузного відбиття. Встановлено суттєву зміну положення й інтенсивності смуг поглинання у системі GeO–V₂O₃ (H₃BO₃) при нагріванні та термічному випаровуванні у вакуумі. Спостерігається суттєвий гіпсохромний зсув короткохвильової межі і батохромний зсув довгохвильової межі області оптичної прозорості покриття порівняно з вихідним GeO, що свідчить на користь зміни природи матеріалу. Покриття з оксиду Германію(II) володіють високими оптичними й експлуатаційними параметрами та є перспективними для інтерференційної оптики ІЧ діапазону спектру.

Ключові слова: оксид Германію(II), оксид Бору, спектроскопічні методи, тонкоплівкові покриття

Стаття поступила до редакції 28.05.2018; прийнята до друку 15.06.2018.

Вступ

Оксидні сполуки Германію, як і елементарна речовина, викликають у дослідників неослабний інтерес. По-перше, це пов'язано з їх незвичними хімічними й фізичними властивостями, не характерними для аналогів Германію, а саме, сполук Силіцію та Стануму. Так, наприклад, α - й β -модифікації GeO₂ поведуть себе так, нібито вони є різними за складом сполуками; більш того, високотемпературну β - (тобто гексагональну) модифікацію GeO₂ одержати значно простіше, ніж α - (тетрагональну) модифікацію, за звичайних умов [1].

Що стосується монооксиду Германію, GeO, то він є метастабільним (на відміну, наприклад, від SnO) у твердому стані, з плином часу, особливо при підвищених температурах [2], перетворюючись на композит Ge-GeO₂ (склоподібна речовина); через таку структуру його завжди одержують у рентгеноаморфному стані. Саме через це найефективнішими методами дослідження GeO та систем на його основі є спектроскопічні, а не рентгенівський аналіз. Будучи якісно подібними між собою, ІЧ спектри пропускання GeO_{2(гекс.)} та GeO суттєво різняться в деталях [3]. Так, смуги поглинання першої з речовин є набагато інтенсивнішими, виразнішими й добре розділеними;

натомість у GeO вони є розмитими й гірше розділеними, а їхня інтенсивність майже на порядок нижча. Характерною рисою як GeO, так і систем, у яких має місце його утворення (Ge-GeO₂, Ge-SnO₂ тощо) є прояв осциляції на певних ділянках, що нагадує картину накладання обертових рухів на коливні спектри [4]. Природа цього явища, яке, до речі, виявляють й деякі інші наноструктуровані системи, поки що залишається незрозумілою.

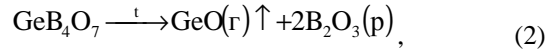
Другою причиною зацікавленості у елементарному Германії та його сполуках, особливо оксидних, є можливість їх практичного застосування – для виготовлення елементів ІЧ оптики із використанням у тепловізійній техніці, виготовлення оптичного волокна, фотоелектричних перетворювачів (переважно космічного базування). Останнім часом монокристалічний Германій широко використовують для одержання покриттів з високим показником заломлення (~ 4,0) [5, 6] у інтерференційній оптиці ІЧ діапазону аж до 20 мкм спектру. Проте, ширшому застосуванню германію у багатошарових покриттях дещо заважає не надто добра сумісність шарів германію та будь-якої іншої речовини з нижчим показником заломлення. Може здатися, що ідеальним варіантом міг би бути монооксид Германію, показник заломлення якого (~ 2,1 – 2,2) не надто відрізняється

від оптимального співвідношення, а саме, $n_1 = \sqrt{n_h}$, де n_l , n_h – показники заломлення матеріалів з низьким (low) та високим (high) значеннями, відповідно. Зважаючи на потенційно високу взаємну адгезію шарів через близькість хімічної природи речовин, для таких багатшарових покриттів слід було б очікувати на високу механічну міцність. Проте, спроби застосування як GeO, так і композитів GeO-GeO₂, Ge-GeO₂, Ge-SnO₂ для одержання покриттів з оксиду Германію виявилися не вельми успішними [4]. У перших двох випадках утворювалися покриття низької міцності, а у останніх – надто тонкі покриття через необхідність у застосуванні струму значно вищої сили й перегорання випарника. Аналогічна картина мала місце при застосуванні системи GeO₂-SiO, яка до того ж виявилася нетехнологічною через розбрикування матеріалу (переважно частинок на основі SiO) у процесі випаровування й, відповідно, налипання їх на підкладку [7]. Очевидно, вихід з ситуації мав би полягати у формуванні потрійної системи за кислотно-основними принципами. Дійсно, для стабілізації валентного стану Ge(II) в оксиді, який володіє амфотерними властивостями (з переважанням основних) слід підібрати як партнера оксид з виразними, але не надто сильними кислотними властивостями. При цьому він повинен мати досить низьку температуру топлення й водночас високу (набагато вищу за таку для GeO) температуру кипіння (сублімації), середню за значенням в'язкість – аби не дозволяти розплаву вихлюпуватися випарника або мішені й у той же час сприяти взаємодії з GeO або компонентами складніших систем. Таким ідеальним "компаньйоном" для GeO виявився оксид Бору, температури топлення (460°C) та кипіння (2100°C) якого різняться більш ніж на 1700°C. За фактором кислотності (χ) B₂O₃ поступається лише P₂O₅, SO₃ та деяким іншим оксидам, які до того ж є легколеткими і нестабільними [8]. Характер взаємодії у системі GeO-B₂O₃ досі не досліджено. Виходячи з того, що GeO виявляє переважно основні властивості, а B₂O₃ є ангідридом кислоти, тобто володіє помітно вираженими кислотними властивостями, слід очікувати помітної хімічної взаємодії між компонентами системи за кислотно-основним механізмом. Оскільки в якості вихідного борвмісного компонента виступає H₃BO₃, одним з продуктів взаємодії має бути вода (через високу температуру термообробки (понад 700°C) – у пароподібному стані). Таким чином, схеми у реакцій можуть бути записані у вигляді:



Виходячи з можливих аніонних форм, можна передбачити утворення сполук типу Ge₃(BO₃)₂, GeB₂O₄, GeB₄O тощо. Експериментальним методом підброне в якості оптимального співвідношення компонентів GeO : B₂O₃ = 3 : 1 відповідає першій зі сполук, яку можна назвати за гіпотетичним складом ортоборатом Германію (II). Оскільки стабільність сполук бору, як і кислотні властивості відповідних

гідроксидів, зростають від ортоборатів до метаборатів й, далі тетраборатів, слід очікувати, що у системі запропонованого складу, скоріш за все, буде мати місце рівновага між GeO та GeB₄O₇. В останній зі сполук має відбуватися (завдяки вираженій кислотно-основній взаємодії) стабілізація валентного стану Ge(II), з якої при достатньо високій температурі вилітатиме GeO у молекулярній формі (минаючи взаємодію Ge з GeO₂, характерну для твердого "GeO") за схемою:



Це має забезпечувати високу стехіометрію сполуки у парі, а отже, й її збереження при конденсації на підкладці у метастабільному (однак, достатньо тривкому) стані:



без диспропорціонування або з мінімальним його ефектом та утворення наноструктурованого покриття.

Певним недоліком B₂O₃ є його добра розчинність у воді, а також гігроскопічність, але можна сподіватися на зниження цього фактора завдяки взаємодії його з GeO з утворенням більш-менш стійких сполук.

I. Методики синтезу та експериментального дослідження

В якості базових матеріалів – оксидів Германію використовували GeO – препарат кваліфікації х.ч. виробництва ВО "Хімреактив" (м. Донецьк), а як вихідний матеріал для одержання B₂O₃ – борну кислоту, H₃BO₃, яка є зручнішою у поводженні (м'які лушпайки, натомість плавлений B₂O₃ є вельми й гігроскопічний твердий), марки 14-3 (вміст основної речовини не менш 99,5%, (препарат наявний у широкому продажу).

Зразки системи GeO-B₂O₃ (3 : 1) отримували змішуванням вихідних компонентів (GeO та H₃BO₃) у потрібному співвідношенні і наступною термообробкою у високотемпературній трубчастій (горизонтальній) печі RHTC 804-450 (фірма Nabetherm, ФРН) у середовищі очищеного інертного газу (аргону). Термообробка проводилася у дві стадії. На першій стадії термообробка ведеться у вакуумі за тиску 10⁻² атм. При 250°C - 10 хвилин, при 300°C - 10 хвилин, при 350°C - 10 хвилин, при 400°C - 10 хвилин. Закінчення термообробки у вакуумі відбувається після повного зникнення пари води. Візуально це проявляється як відсутність конденсату на холодних кінцях кварцового реактора. На другій стадії термообробки, яка проводиться в інертному середовищі газу аргону (при надлишковому тисковій – 1,05 - 1,1 атм.). Відпал ведеться при повільному підвищенні температури в печі. Стадії нагріву - 500, 600, 700°C - по 10 хвилин, 750°C - 30

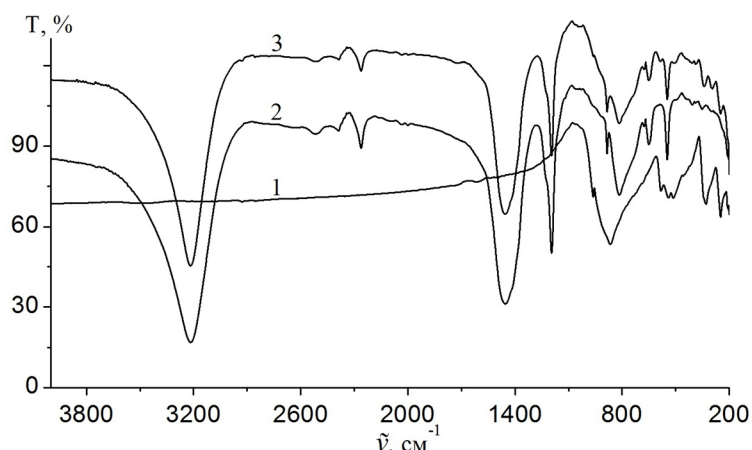


Рис. 1. ІЧ спектри пропускання системи GeO-H₃BO₃: 1 – GeO; 2 – H₃BO₃; 3 – GeO-H₃BO₃ (шихта).

хвилин до появи темного нальоту на холодних частинах реактора. Потім проводять повільне охолодження печі до кімнатної температури. Плівкоутворюючий матеріал GeO-B₂O₃ (3 : 1) являє собою плав чорного кольору зі скляним блиском.

Вихідні реагенти, шихту та одержані плави та залишки після термічного випаровування у вакуумі досліджували, зважаючи на склоподібний та рентгеноаморфний характер продуктів взаємодії, спектроскопічними методами. Як методи дослідження використовували ІЧ спектроскопію пропускання та електронну спектроскопію дифузного відбиття.

ІЧ спектри пропускання записували для зразків, запресованих у матрицю попередньо зневодненого нагріванням при 180°C CsI кваліфікації *ос.ч.* (виробництво Інституту монокристалів НАН України, м. Харків) у масовому співвідношенні зразок : матриця 1:20. Запис спектрів проводили на спектрофотометрі із Фур'є перетворенням Frontier (фірма Perkin-Elmer, США) у діапазоні хвильових чисел ($\tilde{\nu}$) 4000-200 cm^{-1} .

Запис спектрів дифузного відбиття (ДВ) в координатах $F(R) = f(\lambda)$, де $F(R)$ – функція Кубелки-Мунка, що описується рівнянням:

$$F(R) = \frac{(1 - R)^2}{2R} = \frac{k}{s}, \quad (4)$$

де R – відносне відбиття зразка, k – коефіцієнт поглинання, s – коефіцієнт розсіювання, проводили на спектрофотометрі Lambda 9 фірми (Perkin Elmer, США) зі спеціальною приставкою у кюветах з товщиною шару досліджуваного порошкоподібного матеріалу 3 мм відносно зразка порівняння (MgO) в інтервалі довжин хвиль 200 - 2200 нм. Всі матеріали розтирали в агатовій ступці безпосередньо перед записом спектрів ДВ. Відтворюваність вимірів значень довжин хвиль: $\pm 0,05$ нм для УФ й видимого діапазонів, $\pm 0,2$ нм для ближнього ІЧ діапазону.

Тонкоплівкові покриття одержували термічним випаровуванням (резистивний варіант) у вакуумі на установці ВУ-1А. Подрібнений на уламки матеріал закладали у молібденовий випарник. Режим випаровування і нанесення покриття: сила струму

через молібденовий випарник 100А; тривалість випаровування й нанесення покриття – біля 5 хв.; температура підкладки 200°C. Покриття наносили на підкладки з наступних матеріалів: германій (плоскопаралельна пластина); кварцове скло (плоскопаралельна пластина); скло К-8 (клиноподібна пластина, кут клину – 12°).

Визначення показника заломлення покриття проводили на клиноподібній пластині зі скла К-8. Визначення n покриття проводили шляхом визначення коефіцієнта відбиття (R) від клиновидної пластини, вимірюючи екстремальні значення R на інтерференційній картині. Оптична (d_{opt}) та фізична (d) товщини пов'язані через n , тобто, $d_{\text{opt}} = nd$.

II. Результати та їх обговорення

На рис.1 представлено ІЧ спектри пропускання вихідних реагентів, GeO та H₃BO₃, а також їх механічної суміші у співвідношенні 3 : 1 при перерахунку на B₂O₃. ІЧ спектри компонентів суттєво різняться між собою: так, смуга поглинання H₂O у GeO – як валентних, так і деформаційних коливань – суттєво (~ на 250 і 150 cm^{-1} , відповідно) зсунуті у бік вищих частот порівняно із такими для смуг O–H у H₃BO₃. Це пов'язано, очевидно, із більш кислотним характером зазначених груп у випадку борної кислоти. Решта смуг у GeO, навпаки, зсунуті батохромно порівняно із смугами з валентних і деформаційних коливань зв'язків B–O. При цьому інтенсивність усіх смуг у H₃BO₃ є значно – на порядок – вищою. Тому у шихті, що складається з вихідних компонентів, в основному, проявляються смуги поглинання H₃BO₃; на їх фоні смуги поглинання зв'язків GeO видаються мало помітними.

Проте, як впливає з рис. 2, після термообробки шихти інтенсивності піків компонентів у значній мірі зрівнюються: смуги поглинання B₂O₃, що утворюється з H₃BO₃ після прожарювання, стають значно слабшими порівняно з такими для H₃BO₃, а також менш виразними. Очевидно, це пов'язано зі склуванням як самого B₂O₃, так і, частково, усієї системи GeO-B₂O₃. Завдячуючи цьому, на ІЧ спектрах поглинання смуги, властиві обом компонентам, проявляються якщо не в однаковому

ступені, то майже співмірно (табл. 1).

Додаткову інформацію про характер взаємодії у

досліджуваній системі можна дістати, порівнюючи спектри ДВ вихідного GeO та його сплаву з B₂O₃

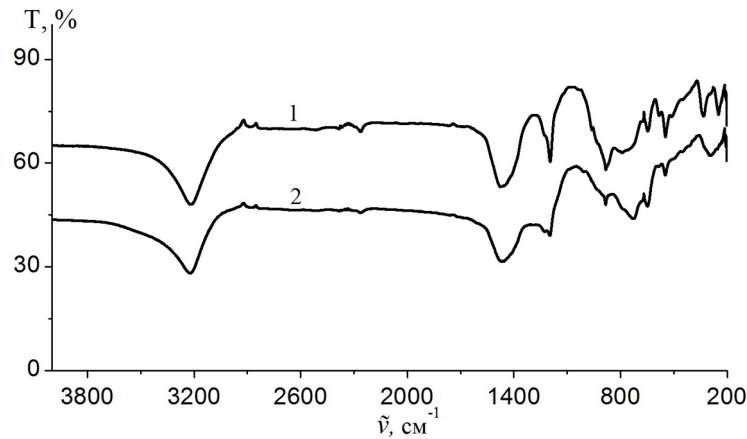


Рис. 2. ІЧ спектри пропускання системи GeO-B₂O₃: 1 – після термообробки системи GeO-H₃BO₃; 2 – залишок після термічного випаровування у вакуумі.

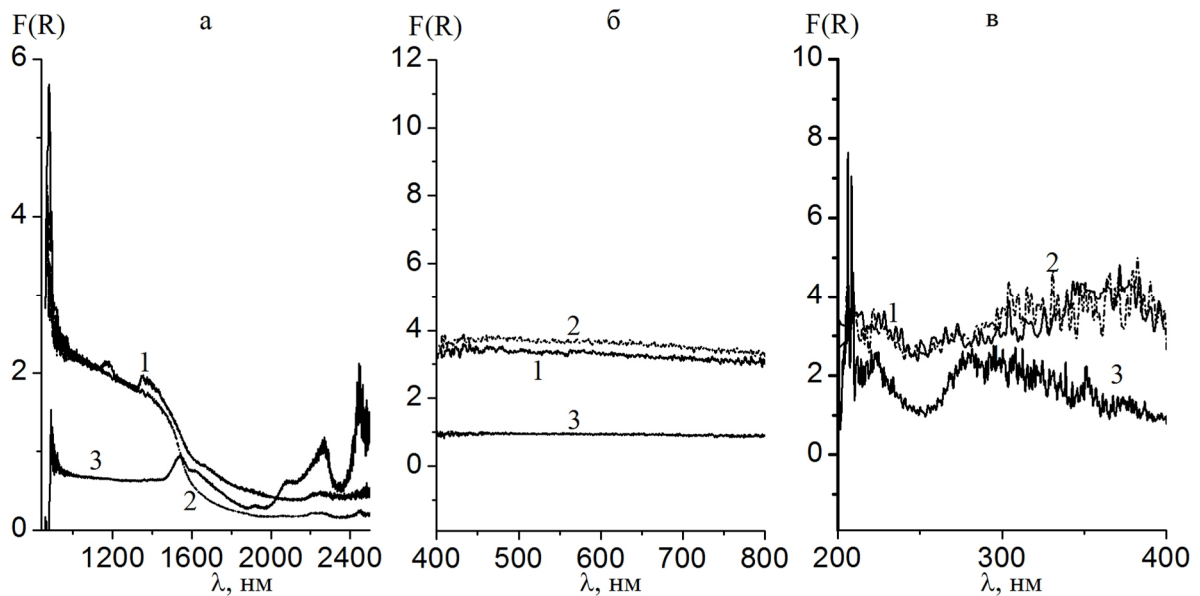


Рис. 3. Спектри дифузного відбиття системи GeO-B₂O₃ у ближньому ІЧ діапазоні (а), видимому (б) й УФ (в) діапазонах спектру: 1 – вихідний GeO; 2 – після термообробки системи GeO-H₃BO₃; 3 – залишок після термічного випаровування у вакуумі.

Таблиця 1

Положення й інтенсивність характеристичних смуг поглинання в ІЧ діапазоні спектру системи GeO-B₂O₃

Зразок	Положення піків (хвильове число, см ⁻¹)									
	3480.4	1617.7	961.9	866.8	582.4	540.1	513.0	458.9	329.5	248.1
GeO	3216.4	1455.5	1195.3	884.2	816.4	678.6	651.2	548.0	495.0	410.7
H ₃ BO ₃	3216.7	1455.0	1195.6	958.5	884.1	817.5	678.6	651.2	585.3	547.9
GeO-H ₃ BO ₃ шихта	3216.7	1455.0	1195.6	958.5	884.1	817.5	678.6	651.2	585.3	547.9
GeO-B ₂ O ₃ *	3224.8	1425.9	1197.8	961.8	883.3	866.0	814.0	777.9	735.8	651.5
GeO-B ₂ O ₃ **	3222.5	1470.9	1197.6	1006.7	884.4	790.0	727.3	649.2	585.3	548.2

Примітка: *після термообробки; **залишок після термічного випаровування у вакуумі; прямим шрифтом позначено смуги, що стосується сполук В; курсивом позначено смуги, що стосується сполук Ge; напівжирним шрифтом позначено сильні або середньої інтенсивності смуги.

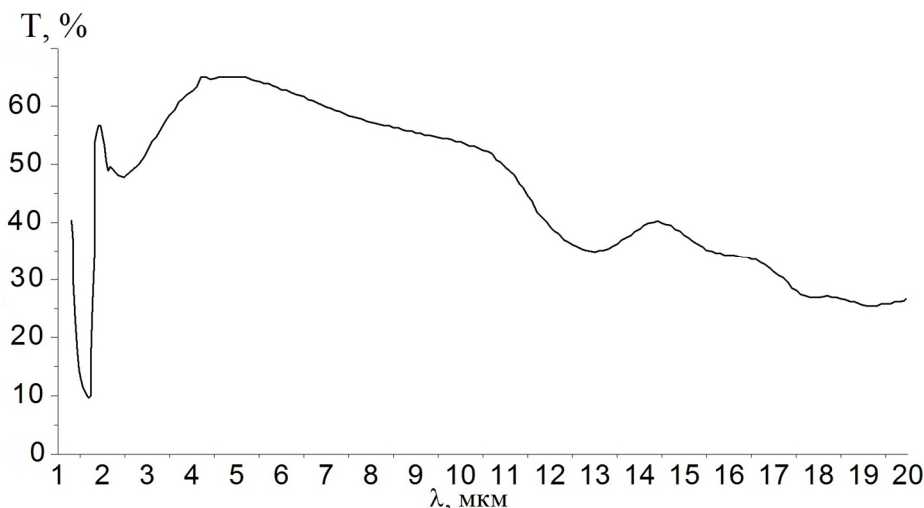


Рис.4. Спектр пропускання пластини з германію з нанесеним покриттям з GeO.

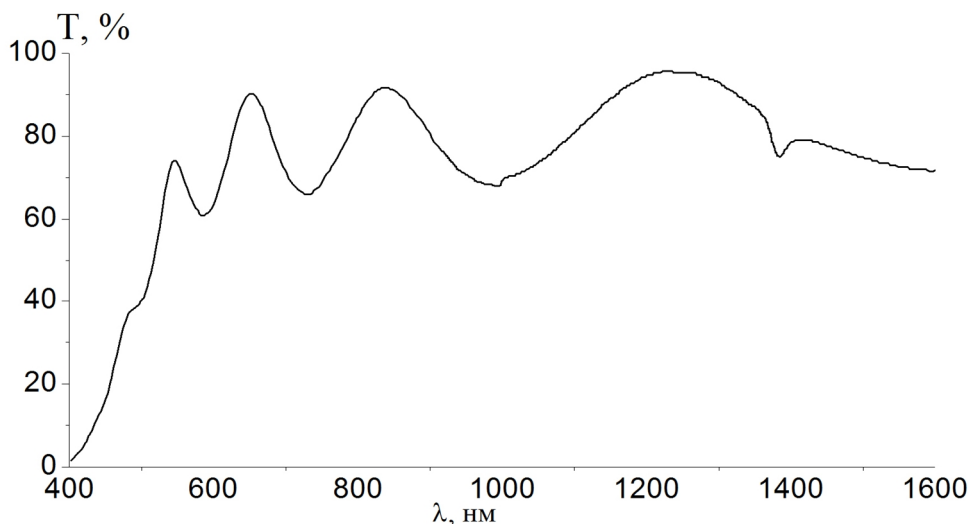


Рис. 5. Спектр пропускання плоскопаралельної пластини з кварцового скла з покриттям з GeO.

(рис. 3). Спектральні залежності GeO (крива 1) та його сплаву з B₂O₃ (крива 2) у ближньому ІЧ діапазоні спектру мають схожу, S-подібну форму і своєю появою завдячують електронним переходам через заборонену зону дрібнокристалічного елементарного Германію; в обох випадках в області 1400 – 1900 нм спостерігається перегін, причому, точка перегину, що лежить у випадку GeO при 1570 нм, зсувається ближче до 1550 нм при переході до сплаву GeO-B₂O₃. Смуги поглинання сплаву GeO-B₂O₃ і вихідного GeO є достатньо близькими за інтенсивністю, хоча у точці перегину вони відрізняються – F(R) є більшим для GeO у ~ 1,5 рази. Очевидно, останнє пов'язано з ефектом розведення речовини, що поглинає (GeO) при топленні з не поглинаючим у цьому діапазоні B₂O₃. Однак, при переході у короткохвильовий (видимий і, далі, УФ) діапазон картина змінюється: інтенсивність смуги поглинання чистого GeO стає нижчою за таку для сплаву GeO-B₂O₃, можливо, через часткову заміну GeO₂ у наноккомпозиті Ge-GeO₂, яким є по суті GeO, на B₂O₃ з нижчим показником заломлення.

Оскільки у процесі термічного випаровування основним (практично єдиним) компонентом, що вилітає, є GeO через значно нижчу леткість B₂O₃, слід очікувати, що у залишку після термічного випаровування вміст GeO мав би бути значно нижчим порівняно з вихідним зразком системи GeO-B₂O₃. Дійсно, на ІЧ спектрах пропускання зразка після випаровування майже не залишається смуг поглинання, характерних для GeO (табл. 1, рис. 2). Те ж стосується спектрів ДВ (рис. 3), з яких випливає значне зниження інтенсивності смуги поглинання GeO з характерним перегиним; натомість стають виразнішими смуги поглинання в області 1500 – 2500 нм, властиві сорбованій воді, через зростання вмісту B₂O₃ у плаві (B₂O₃, як вже зазначалося, є вельми гігроскопічною речовиною). Суттєве зниження рівня поглинання GeO (F(R) падає з 3,5 – 4,0 й вище до 0,9 ÷ 1,0 у видимому діапазоні й з 2,5 – 5,0 до 1,0 ÷ 2,5 в УФ діапазоні) спостерігається й у інших областях спектру.

Спектр пропускання покриття, нанесеного на пластині з Ge, представлено на рис. 4.

Експериментальна крива пропускання покриття на підкладці лежить вище кривої для підкладки (пропускання майже 0.65, у той час як підкладка має пропускання біля 0.47) з максимумом при 4,5 - 5,0 мкм. У середньому ІЧ діапазоні (~ 11,1 - 11,3 мкм) експериментальні значення пропускання покриття стають нижчими за пропускання підкладки, що свідчить про досягнення довгохвильової межі області його прозорості. Зазначена вище межа області пропускання покриття корелює з положенням основного піка поглинання у GeO (13,0 мкм), що завдячує своєю появою валентним коливанням зв'язків Ge-O. Певний батохромний зсув мінімуму, очевидно, свідчить про утворення на поверхні підкладки "справжньої" сполуки Ge(II) або нанокompозиту за її участю.

У спектрі пропускання покриття на підкладці з кварцового скла (рис. 5) проявляється характерна інтерференційна картина, розташована нижче за пропускання самої підкладки, через співвідношення $n_{\text{шару}} > n_{\text{підкл.}}$. Таким чином, у даному випадку має місце утворення відбивної системи. Початок

помітного поглинання покриття лежить поблизу 550 нм, що підтверджується його жовтим (темно-жовтим) кольором.

З кривої відбиття від клиноподібної пластини з покриттям (рис. 6), що також має характерний періодичний вигляд, розраховано дисперсію показника заломлення самого покриття (рис. 7). В області спектру, близькій до короткохвильової межі, значення показника заломлення становлять 2.3 й вище, суттєво зменшуючись при переході в ІЧ діапазон до 2,15 - 2,20.

Усі покриття мають добру адгезію до підкладки з будь-якого матеріалу й задовільні термічну й кліматичну стійкість. Механічна міцність, оцінена згідно ОСТ3-1901-85 на приладі СМ-55, становить біля 20000 обертів до появи подряпини, що відповідає групі міцності 0.

Суттєвий зсув смуги поглинання при 13,0 мкм порівняно з такою для вихідного є свідченням на користь збереження у покритті саме сполуки GeO, а не нанокompозиту $\text{Ge}_{\text{нано}}\text{-GeO}_{2\text{скл.}}$, яким є по суті вихідний матеріал. Дійсно, оскільки розміри йона

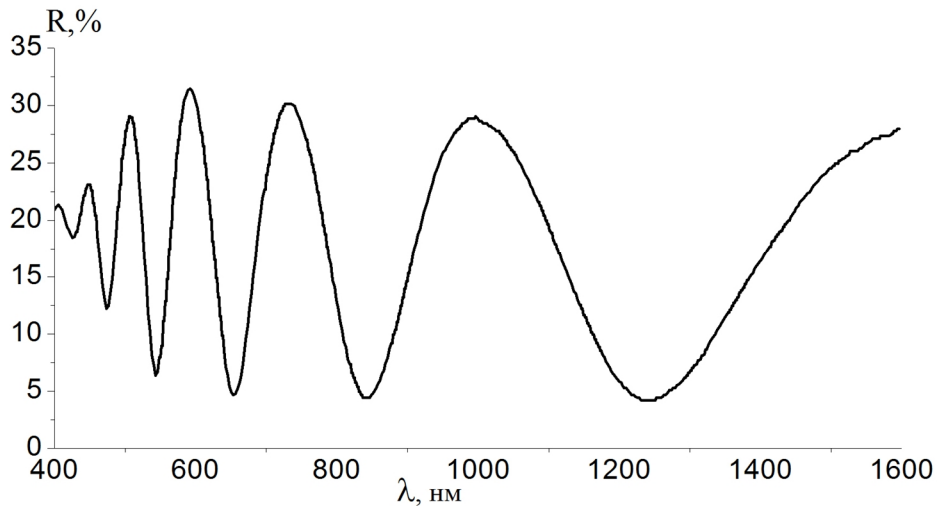


Рис. 6. Спектр відбиття від клиноподібної пластини зі скла К-8 з покриттям з GeO.

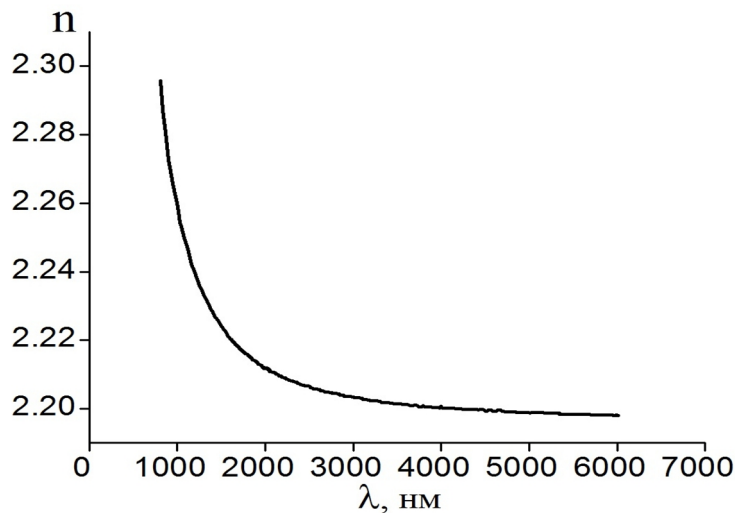


Рис. 7. Дисперсія показника заломлення покриття GeO, розрахованого за відбиттям від клиноподібної пластини зі скла К-8.

Ge²⁺ (0,087 нм) є суттєво більшими за такі для йона Ge⁴⁺ (0,067 нм), то й довжини відповідних зв'язків Ge(II)–O мають бути більшими, ніж такі для зв'язків Ge(IV)–O.

Так, співвідношення зазначених довжин зв'язків становить 1,11, що є близьким до співвідношення положень максимумів смуг поглинання (1,12). На користь "наявності" справжньої сполуки GeO у покритті свідчить також значна різниця у положеннях короткохвильових меж поглинання вихідного матеріалу (1550 нм) та покриття з нього (550 нм), а також незвично низькі значення показника останнього.

Висновки

1. Спостерігається суттєва зміна ІЧ спектрів пропускання прожареного зразка системи GeO–B₂O₃ порівняно з шихтою, що свідчить про перебіг реакції з можливим утворенням сполук Ge(II). Натомість спектри дифузного відбиття системи є подібними до таких для GeO.

2. Термічне випаровування у вакуумі зразка системи GeO–B₂O₃ викликає кардинальну зміну спектральних кривих, що свідчать про збіднення зразка на GeO через його вилітання.

3. Тонкоплівкове покриття, одержане з системи GeO–B₂O₃, очевидно, містить сполуки саме Ge(II), а

не композит, що підтверджується різкою зміною меж області прозорості (0,55 ÷ 11 мкм) порівняно з вихідним матеріалом (1,55 ÷ 9 мкм), а також значеннями показника заломлення (2,15 ÷ 2,25 мкм).

4. Матеріал на основі GeO–B₂O₃ слід вважати перспективним для інтерференційної оптики ІЧ діапазону спектру.

Роботу виконано в рамках науково-технічного проекту "Розробка матеріалу на основі сполук германію для інтерференційного покриття з полішеними характеристиками, прозорого у діапазоні 3 – 5 мкм" на замовлення КП Спеціального приладобудування "Арсенал" (м.Київ).

Зінченко В.Ф. - доктор хімічних наук, професор, завідувач відділу хімії функціональних неорганічних матеріалів;
Магунов І.Р. - кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник відділу хімії функціональних неорганічних матеріалів;
Мозгова О.В. - провідний технолог;
Нечипоренко Г.В. - кандидат хімічних наук, науковий співробітник відділу хімії функціональних неорганічних матеріалів;
Стоянова І.В. - кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник відділу аналітичної хімії та фізико-хімії координаційних сполук.

- [1] И.В. Тананаев, М.Я. Шпирт, Химия германия (Химия, Москва, 1967).
- [2] Н.А. Васютинский, Ю.И. Рысьева, Г.И. Петров, А.П. Сидоренко, Неорганические материалы 1(7), 1057(1965).
- [3] В.Ф. Зінченко, В.П. Антонович, В.Е. Чигринов, Фізика і хімія твердого тіла 13(4), 1006(2012).
- [4] В.Ф. Зінченко, В.Е. Чигринов, О.В. Мозкова, І.Р. Магунов, Л.В. Садковська, Український хімічний журнал 79(10), 91(2013).
- [5] И.Я. Бубис, В.А. Вейденбах, И.И. Духопел, В.Г. Зубаков, С.С. Качкин, С.М. Кузнецов, Ю.В. Лисицын, М.А. Окатов, Г.Т. Петровский, Г.Д. Придатко, Л.В. Сергеев, В.И. Смирнов, Н.В. Суйковская, И.Д. Торбин, Б.А. Чунин, Справочник технолога-оптика (Машиностроение, Ленинград, 1983).
- [6] Г.А. Абыльсиитов, В.С. Голубев, В.Г. Гонтарь, Ю.А. Горохов, А.А. Колпаков, В.С. Майоров, Л.А. Новицкий, Г.И. Рукман, А.Н. Сафонов, В.В. Сумерин, В.П. Якунин, Технологические лазеры. Справочник (Машиностроение, Москва, 1991).
- [7] В.Ф. Зінченко, А.В. Нечипоренко, І.Р. Магунов, І.В. Стоянова, Л.В. Садковская, Р.Н.Пшеничний, Український хімічний журнал 82(11), 52 (2016).
- [8] В.Ф. Зінченко, В.В. Менчук, В.П. Антонович, Е.В. Тимухин, Кислотно-основные свойства неорганических соединений (Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова, Одесса, 2016).

Interaction Studying in System GeO - B₂O₃ by Spectroscopic Methods

¹*O.V.Bogatsky Physico-chemical institute of National academy of Sciences of Ukraine, Lustdorfska road, 86, Odessa, 65080, Ukraine, e-mail: yfzinchenko@ukr.net*

²*State the enterprise of Special instrument making "Arsenal", Moscow street, 8, Kyiv, 02010, Ukraine, e-mail: borisgor@ukr.net*

Because of X-ray amorphous character of GeO and B₂O₃ for study of interaction between them methods of IR transmission spectroscopy and spectroscopy of diffuse reflectance are applied. Essential change of position and intensity of bands of absorption in system GeO-B₂O₃ (H₃BO₃) at heating and thermal evaporation in vacuum is established. It is observed essential gypsochromic shift of short-wave border and bathochromic shift of long-wave border of domain of an optical transparency of a coating compared with initial GeO that testifies in favour of change of the nature of a material. A coating from Germanium (II) oxide exhibits high optical and operational parameters and are perspective for interference optics of an IR range of a spectrum.

Keywords: Germanium (II) oxide, Boron oxide, spectroscopic methods, thin-film coatings.