

УДК 666.242.4

*Маценко С.В., Рижова О.П.***ВПЛИВ СКЛАДУ ТА СТРУКТУРИ НАТРІЙБОРОСИЛКАТНИХ СТЕКОЛ НА ОПТИКО-КОЛІРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХРОМОВОГО АВАНТЮРИНОВОГО СКЛА У ПРИСУТНОСТІ КОБАЛЬТ(II) ОКСИДУ**

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна

У роботі досліджено вплив добавки кобальт(II) оксиду в кількості 1–3 мол.% на структуру та оптико-колірні характеристики хромвмісного скла складу (мол.%): 29,6 Na<sub>2</sub>O; 19,7 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 49,3 SiO<sub>2</sub>; 1,5 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Встановлена залежність оптико-колірних характеристик дослідних стекол від термічної обробки склорозплаву при температурі 1050°C протягом 20 хвилин, під час якої відбувається об'ємна кристалізація з подальшим проявом авантюринового ефекту. Згідно з даним рентгенофазового аналізу декоративний ефект викликають кристали Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. З використанням ІЧ-спектроскопії і диференційно-термічного аналізу досліджено структуру дослідних стекол і встановлено вплив термічної обробки склорозплавів на формування структури склокристалічного матеріалу. Одержано авантюринове скло темного синьо-зеленого кольору з колірним тоном  $\lambda=490$  нм, чистотою кольору  $P=11,35\%$  та світлотою  $L=5,454\%$ . Виявлені закономірності впливу кобальт(II) оксиду на оптико-колірні характеристики хромового авантюринового скла на основі системи Na<sub>2</sub>O–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> можуть бути використані при подальшій розробці нових складів декоративних керамічних глазурей та емалевих покриттів.

**Ключові слова:** авантюринове скло, хром(III) оксид, кобальт(II) оксид, колірний тон, чистота кольору, світлота кольору, координати кольору.

DOI: 10.32434/0321-4095-2024-154-3-98-104

**Вступ**

Останніми роками виробництво декоративних будівельних та оздоблювальних матеріалів нерозривно пов'язане з тенденцією відтворення текстури та кольорового забарвлення, які притаманні природним матеріалам. Особливою увагою серед декоративних стекол і склопокриттів користуються штучні авантюрини, які імітують однойменні природні напівдорогоцінні камені [1].

Загальноприйнято вважати, що авантюринові стекла – це кольорові стекла з присутніми кристалами сполук хрому, заліза чи міді, які здатні мерехтіти при потраплянні світла на поверхню скла. Такі стекла зазвичай мають зелений, коричневий чи червоний колір, обумовлений присутністю барвників, які за певних умов, крім забезпечення процесів забарвлення, здатні також брати участь у кристалоутворенні. Саме тому роз-

робка нових кольорів авантюринових стекол і покриттів має одночасно поєднувати в собі врахування процесів забарвлення та кристалізації.

Для авантюринових стекол характерним є забарвлення за рахунок іонних барвників, які здатні знаходитися в декількох ступенях окиснення. Для хромових авантюринових стекол колір визначається станом рівноваги іонів Cr<sup>3+</sup>–Cr<sup>6+</sup>. Зміщення ступеня окиснення іона барвника напряму впливає на колір скла і, в свою чергу, залежить від температури і часу варки, атмосфери в печі, присутності в складі скла окиснювачів чи відновників. Відомо, що при виконанні варки скла в окиснювальному середовищі відбувається зміщення рівноваги в сторону Cr<sup>6+</sup>, що сприяє утворенню тетраедричних координаційних груп [CrO<sub>4</sub>], для яких характерним є жовто-зелене чи жовте забарвлення скла. Для октаедричних груп трьохвалент-

© Маценко С.В., Рижова О.П., 2024



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

*S. Matsenko, O. Ryzhova*

ного хрому  $\text{Cr}^{3+}$  характерним є забарвлення скла в зелено-синій колір з максимумом спектрально-го пропускання при 550–560 нм [2].

Оскільки кристалічною фазою, здатною викликати декоративний ефект в хромових авантюринових стеклах, є есколаїт ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) [1], то для забезпечення протікання процесу кристалізації  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  склорозплав необхідно наситити октаедричними групами тривалентного хрому, що, в свою чергу, може привести до забарвлення скла в зелено-синій колір.

Очікується, що введення до складу хромового авантюринового скла додаткового барвника  $\text{CoO}$  дозволить змістити рівновагу в зелено-синьому кольорі скла в бік синього тону. Відомо, що кобальт(II) оксид, з яким до складу скла надходять іони  $\text{Co}^{2+}$ , є одним із найбільш ефективних і технологічно стабільних барвників стеклок [3]. При умові перебування іонів  $\text{Co}^{2+}$  в тетраедричній координації, скло здатне одержувати синє забарвлення склофази, а в стані октаедричної координації – світло-рожеве. Поєднання у складі стеклок іонів хрому та кобальту у співвідношенні  $\text{Cr}_2\text{O}_3:\text{CoO}=1:1-4:1$  дозволяє одержати забарвлення скла в межах від синього до зеленого [2].

Мета даної роботи: встановлення впливу складу та структури натрійборосилікатних стеклок на їх оптико-колірні характеристики при одержанні хромового авантюринового скла у присутності 1–3 мол. % кобальт(II) оксиду.

#### Методика експерименту

Як базове скло при здійсненні досліджень використовували натрійборосилікатне скло 6. Склади дослідних хромвміщуючих стеклок з добавкою кобальт(II) оксиду наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Склад дослідних стеклок

№ скла	Вміст, мол. %				
	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{B}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\text{CoO}$
6.0	30,0	20,0	50,0	0,0	0,0
6.0	29,6	19,7	49,3	1,5	0,0
6.1	29,3	19,5	48,8	1,5	1,0
6.2	29,0	19,3	48,3	1,5	2,0
6.3	28,7	19,1	47,8	1,5	3,0

Стекла варили в корундизових тиглях об'ємом 100 мл в лабораторній електричній печі із карбідкремнієвими нагрівачами протягом 30 хв при температурі 950°C (скло 6) та 1300°C (скла 6.0–6.3). Термічну обробку розплавів хромвмісних стеклок 6.0–6.3 проводили при температурі 1050°C протягом 20 хвилин. Склади стеклок із здійсненою термічною обробкою розплавів по-

значали додатковою літерою А (6.0А, 6.1А, 6.2А, 6.3А). Температуру в печі вимірювали за допомогою Pt–Pt–Rh термопари. Готовність скла визначали візуально пробою на нитку. Для приготування сировинних шихт дослідних стеклок використовували тонкомелений кварцовий пісок, а також сировинні матеріали марки «х.ч.» та «ч.д.а.»: борну кислоту ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ), соду кальциновану ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), хром(III) оксид ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), кобальт(II) оксид ( $\text{CoO}$ ).

Визначення оптико-колірних характеристик дослідних стеклок здійснювали з використанням компаратора кольору КЦ-3 у відбитому світлі відносно джерела світла «А» та еталонної колірної моделі CIE XYZ (графік МКО) і подальшим обробленням отриманих результатів та визначенням параметрів (колірний тон, чистота та світлота кольору) з використанням комп'ютерної програми COLOR GLASS [4].

Дослідження структури стеклок вивчали за допомогою ІЧ-спектроскопії на ІЧ-Фур'є спектрометрі Shimadzu IRAffinity-1 в межах 400–2200  $\text{cm}^{-1}$ .

Рентгенофазовий аналіз дослідних матеріалів виконували порошковим методом Дебая-Шерера на дифрактометрі ДРОН-3 в  $\text{CuK}_\alpha$  випромінюванні.

Диференційно-термічний аналіз стеклок здійснювали на дериватографі MOM Q-1500D системи Ф. Паулік, Н. Паулік, Н. Ердей в інтервалі температур 20–1000°C при швидкості зростання температури 10°C/хв.

#### Результати та обговорення

Оптико-колірні характеристики та візуальна оцінка кольору та кристалізаційної здатності дослідних стеклок наведено в табл. 2. Розрахунок фізичних колірних характеристик (колірного тону із домінуючою  $\lambda$ , нм; чистоти кольору Р, %; світлоти L, %) проводили з використанням програми COLOUR GLASS. Відомо, що кількісний показник кольору світлота L, % дорівнює координаті кольору Y [5].

При аналізі оптико-колірних характеристик та розташування точок колірного тону дослідних стеклок на графіку МКО (рис. 1) було встановлено, що додавання  $\text{CoO}$  в кількості 1–3 мол. % до скла 6.0 викликає зміни показників колірного тону та чистоти кольору, проте візуально не забезпечує синіх (440–500 нм) колірних тонів забарвлення (рис. 1, крива 1).

Здійснення термічного оброблення розплавів даних стеклок приводить до зміни колірного тону дослідних стеклок (рис. 1, крива 2) та збільшення чистоти і світлоти кольору. Таким чином, за ра-

Таблиця 2

## Оптико-колірні характеристики дослідних стекл

№ скла	Координати кольору			Колірний тон $\lambda$ , нм	Чистота кольору P, %	Колір скла/кристалізація
	X	Y	Z			
без термічної обробки						
6.0	5,427	5,083	2,068	491	3,16	темний зелений/відсутня
6.1	5,932	5,212	1,637	592	11,79	темний зелений/відсутня
6.2	5,305	5,067	1,779	511	4,83	темний зелений/відсутня
6.3	4,950	5,067	2,135	498	11,31	темний зелений/відсутня
з термічною обробкою						
6.0A	4,831	4,761	2,171	493	8,22	темний зелений/авантюрин
6.1A	5,801	5,501	1,566	573	20,13	темний зелений/авантюрин
6.2A	5,403	5,357	2,135	499	8,32	темний зелено-синій/авантюрин
6.3A	5,393	5,454	2,990	490	11,35	темний синьо-зелений/авантюрин
№ скла	Координати кольору			Колірний тон $\lambda$ , нм	Чистота кольору P, %	Колір скла/кристалізація
	X	Y	Z			
без термічної обробки						
6.0	5,427	5,083	2,068	491	3,16	темний зелений/відсутня
6.1	5,932	5,212	1,637	592	11,79	темний зелений/відсутня
6.2	5,305	5,067	1,779	511	4,83	темний зелений/відсутня
6.3	4,950	5,067	2,135	498	11,31	темний зелений/відсутня
з термічною обробкою						
6.0A	4,831	4,761	2,171	493	8,22	темний зелений/авантюрин
6.1A	5,801	5,501	1,566	573	20,13	темний зелений/авантюрин
6.2A	5,403	5,357	2,135	499	8,32	темний зелено-синій/авантюрин
6.3A	5,393	5,454	2,990	490	11,35	темний синьо-зелений/авантюрин

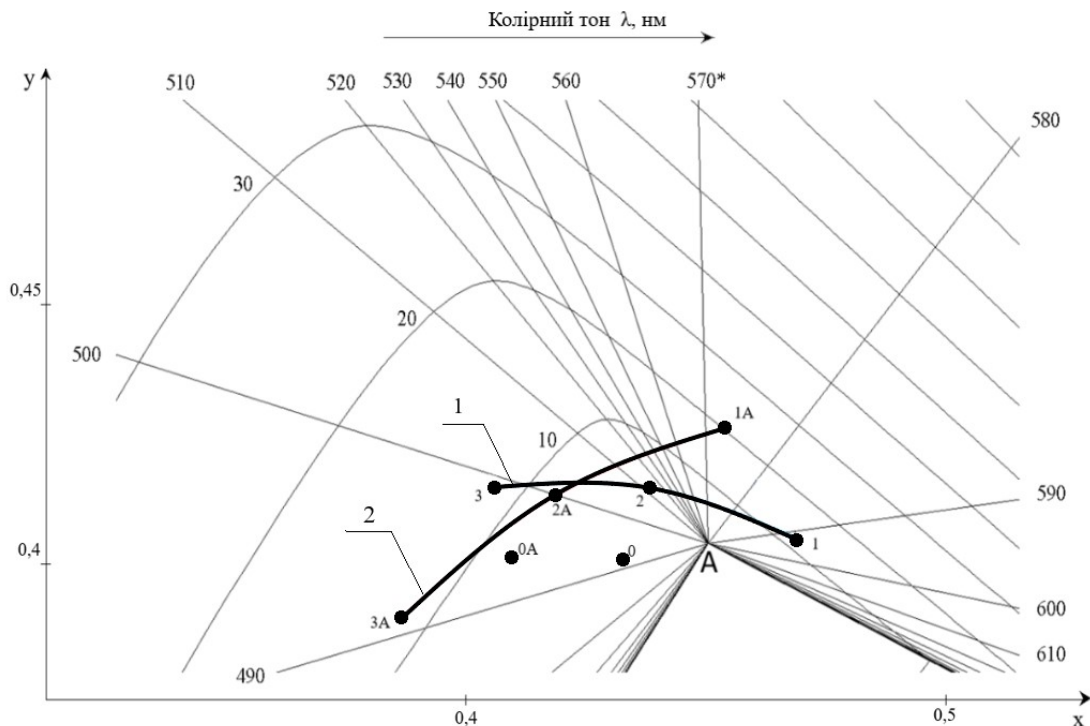


Рис. 1. Розташування точок кольору дослідних стекл на графіку МКО:

1 – стекла 6.1, 6.2 та 6.3 без термічного оброблення; 2 – стекла 6.1A, 6.2A та 6.3A з термічним обробленням

хунок перетворень структури стекел, утворення кристалічної фази в об'ємі скла та прояву ефекту мерехтіння кристалів, було досягнуто візуальної зміни кольору скла 6.3А в бік блакитного колір-ного тону, що підтверджено значеннями визначених оптико-колірних характеристик: колірний тон 490 нм; чистота кольору 11,35%; світлота 5,454%.

При візуальному огляді авантюринових стекел 6.0А–6.3А складається враження, що кількість кристалічної фази переважає над скловидною, проте рентгенограми стекел 6.0А та 6.3А свідчать про їх рентгеноаморфність (рис. 2). Для встановлення природи кристалічної фази, яка викликає декоративний авантюриновий ефект в склі 6.3А, подрібнене скло було розчинене в плавиковій кислоті, а виділені кристали піддані рентгенофазовому аналізу. Згідно з отриманими результатами кристалічна фаза представлена кристалами есколаїту ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) та сполукою, що утворилася в результаті взаємодії плавикової кислоти та дослідного скла, а саме –  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ .

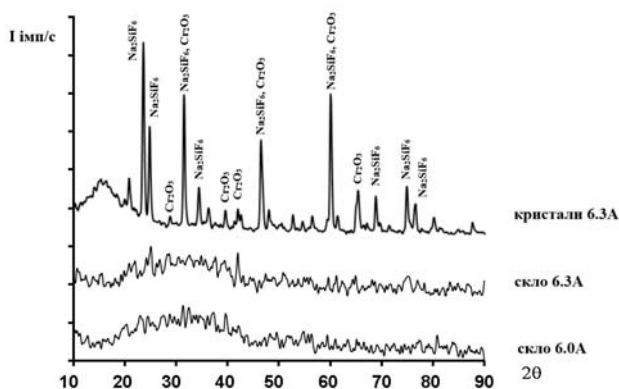


Рис. 2. Рентгенограми дослідних матеріалів

При дослідженні структури дослідних стекел методом ІЧ-спектроскопії, було встановлено, що на спектральних кривих (рис. 3) присутні основні смуги:  $1400\text{ см}^{-1}$ ;  $1070\text{--}1180\text{ см}^{-1}$ ;  $705\text{--}720\text{ см}^{-1}$ ;  $470\text{--}500\text{ см}^{-1}$ , а також смуги-дуплекси в межах  $870\text{--}1035\text{ см}^{-1}$ , які є характерними для кремнійборокисневого склокаркасу [6–9].

Так, смуга при  $1400\text{ см}^{-1}$  характеризує наявність в дослідних стеклах і стабільність коливань зв'язків трикутників  $[\text{BO}_3]$ , що залишилися в складі скла після часткового переходу іонів бору в тетраедричну координацію з утворенням груп  $[\text{BO}_4]$ , які здатні приймати участь в побудові каркасу.

Смуга поглинання в межах  $705\text{--}720\text{ см}^{-1}$  також обумовлена присутністю в склі трикутників  $[\text{BO}_3]$  та їх деформаційними і валентними коли-

ваннями. При збільшенні кількості трикутників  $[\text{BO}_3]$  в структурі скла на спектральних кривих одночасно із цією смугою може проявлятися коливання при  $1290\text{ см}^{-1}$ .

Смуга поглинання при  $1070\text{--}1180\text{ см}^{-1}$  при-таманна кремнійкисневному каркасу скла, і визначає ступінь полімеризації кремнійкисневих угруповань тетраедрів  $[\text{SiO}_4]$ . При цьому, окремі смуги поглинання та можливі прояви смуг-дуплексів в межах  $800\text{--}1000\text{ см}^{-1}$  можуть характеризувати наявність та поєднання в склі кремнійкисневого та борокисневого каркасів, і бути обумовленими присутністю угруповань тетраедрів  $[\text{SiO}_4]$  та  $[\text{BO}_4]$ , коливаннями місткових зв'язків  $\text{Si-O-Si}$ , немісткових зв'язків  $\text{Si-O}$ , а також присутністю ортосилікатних угруповань ( $870\text{ см}^{-1}$ ). Про коливання місткових зв'язків  $\text{Si-O-Si}$  також свідчить і смуга поглинання  $470\text{--}500\text{ см}^{-1}$ .

Аналіз структури дослідних стекел показує, що присутність  $1,5\text{ мол.}\%$   $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в натрійборо-силікатному склі (скло 6.0, рис. 3, крива 2) викликає появу смуг поглинання  $1035\text{ см}^{-1}$ ,  $930\text{ см}^{-1}$ ,  $870\text{ см}^{-1}$ , що вказує на неоднорідність скла, процеси деполімеризації угруповань тетраедрів  $[\text{SiO}_4]$  та утворення незв'язаних ортосилікатних угруповань. Роздвоєння високочастотної смуги на  $1400\text{ см}^{-1}$  та  $1290\text{ см}^{-1}$  і одночасне підвищення інтенсивності смуги  $705\text{ см}^{-1}$  вказує на збільшення присутності ділянок  $[\text{BO}_3]$ , що також обумовлено частковою присутністю іонів хрому в тетраедричній координації.

Здійснення термічного оброблення розплаву скла 6.0 приводить до стабілізації однорідності загального кремнійборокисневого каркаса, а також зменшення кількості угруповань трикутників  $[\text{BO}_3]$ , що підтверджується зникненням смуг поглинання при  $1290\text{ см}^{-1}$  та  $870\text{ см}^{-1}$  (скло 6.0А, рис. 3, крива 3). Така зміна структури стекел, ймовірно, відбулася саме за рахунок об'ємної кристалізації  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  та участі більшої кількості іонів бору в побудові каркаса.

Встановлено, що при введенні до скла 6.0 добавки  $\text{CoO}$  в кількості  $3\text{ мол.}\%$  відбувається утворення спільного кремнійборокисневого каркаса із більш однорідною структурою, про що свідчить зміна положення смуги поглинання  $1170\text{ см}^{-1}$  до показників  $1070\text{ см}^{-1}$  (скло 6.3, рис. 3, крива 4). Вірогідно, це обумовлено впливом  $\text{CoO}$  в розплаві скла на зниження його в'язкості та покращення ступеня розчинення  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

Здійснення термічного оброблення розплаву скла 6.3, під час якої відбувається об'ємна кристалізація  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , приводить до утворення структури із більшою кількістю угруповань трикутників

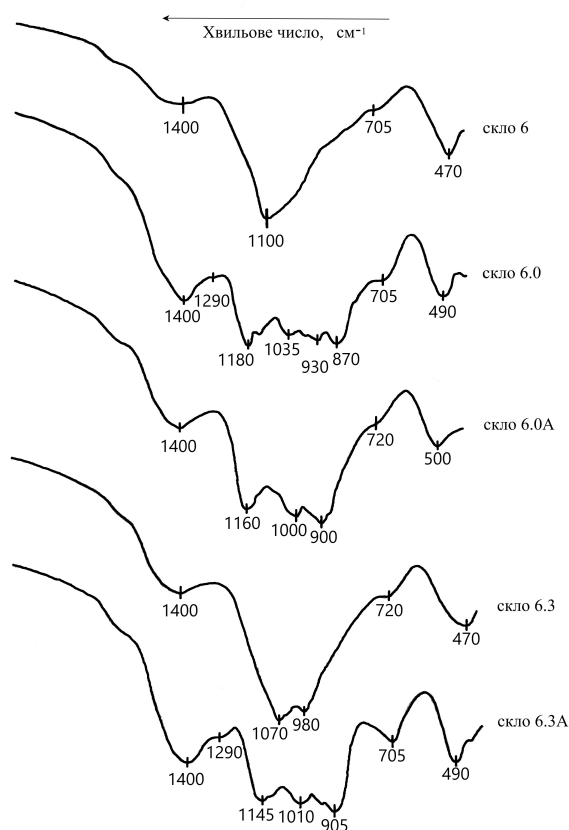


Рис. 3. ІЧ-спектри дослідних стекел

[ $\text{BO}_3$ ], що підтверджується смугами поглинання при  $1290\text{ cm}^{-1}$  та  $705\text{ cm}^{-1}$ . Тобто, у випадку присутності в склі кобальт(II) оксиду, утворення та зростання кристалів  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  при здійсненні термічного оброблення розплаву відбувається за рахунок координаційних змін груп [ $\text{BO}_4$ ] на [ $\text{BO}_3$ ].

При виконанні ІЧ-спектроскопії дослідних стекел неможливо ідентифікувати окремо вібрацію тетраедричних координаційних груп [ $\text{CrO}_4$ ] при характерних хвилях поглинання  $885\text{ cm}^{-1}$  [9] та  $891\text{ cm}^{-1}$  [10], вібрацію кристалічної фази  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  при  $443\text{ cm}^{-1}$ ,  $566\text{ cm}^{-1}$ ,  $621\text{ cm}^{-1}$  [11] чи зв'язків  $\text{O}-\text{Cr}-\text{O}$  при  $582\text{ cm}^{-1}$  [12], оскільки ці значення поглинання маскуються під смугами, характерними для кремнійборокисневого каркаса, що мають більшу інтенсивність.

Для підтвердження структурних особливостей скла складу 6, 6.0 та 6.3 були піддані диференційно-термічному аналізу (рис. 4).

Встановлено, що на кривих ДТА стекел при нагріванні фіксуються два ендоефекти в інтервалі температур  $630-645^\circ\text{C}$  та  $750-800^\circ\text{C}$ , які, ймовірно, обумовлені процесами розм'якшення двох складових в структурі натрійборосилікатного скла –

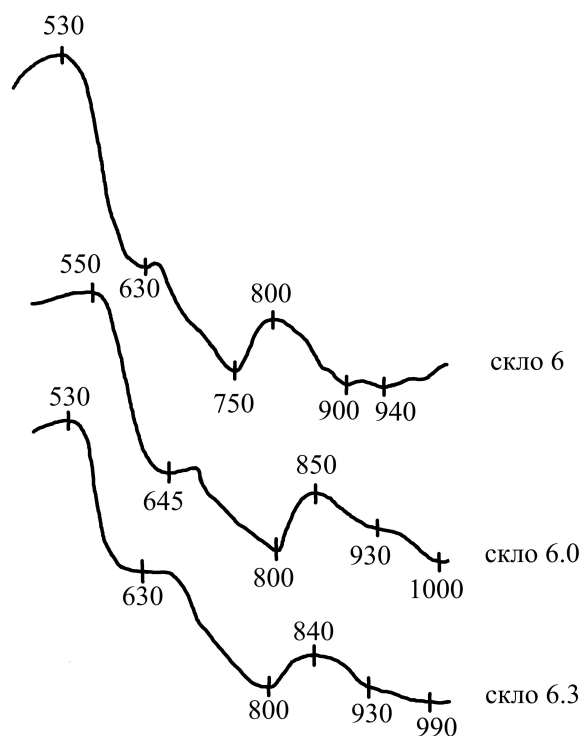


Рис. 4. Криві диференційно-термічного аналізу дослідних стекел

кремнійкисневого та борокисневого каркасів. При подальшому нагріванні стекел до температур  $940-1000^\circ\text{C}$  відбуваються трансформаційні перетворення та упорядкування структурних угруповань загального каркаса стекел.

#### Висновки

В роботі досліджено вплив добавки кобальт(II) оксиду в кількості 1–3 мол.% на структуру та оптико-колірні характеристики хромовмісного скла складу (мол.%) 29,6  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 19,7;  $\text{B}_2\text{O}_3$ ; 49,3  $\text{SiO}_2$ ; 1,5  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , а також встановлена залежність оптико-колірних характеристик дослідних стекел при здійсненні термічного оброблення склорозплаву при температурі  $1050^\circ\text{C}$  протягом 20 хвилин, під час якої відбувається об'ємна кристалізація з подальшим проявом авантюринового ефекту. Згідно з даним рентгенофазового аналізу декоративний ефект викликають кристали  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

З використанням ІЧ-спектроскопії та диференційно-термічного аналізу досліджено структуру дослідних стекел та встановлено вплив термічного оброблення склорозплавів на формування структури склокристалічного матеріалу.

Одержано авантюринове скло темного синьо-зеленого кольору з колірним тоном  $\lambda=490\text{ nm}$ , чистотою кольору  $P=11,35\%$  та світлотою  $L=5,454\%$ . Характер впливу кобальт(II) оксиду на

оптико-колірні характеристики хромового авантюринового скла на основі системи  $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  становить інтерес при подальшій розробці нових складів декоративних керамічних глазурей та емалевих покриттів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Авантюриновое стекло в строительстве* / Щеглова М.Д., Дворниченко И.Н., Беляева Н.Я. и др. – К.: Будівельник, 1986. – 70 с.
2. Коцик И., Небрежский И., Фандерлик И. Окрашивание стекла. – М.: Стройиздат, 1983. – 210 с.
3. Рижова О.П., Положай С.Г., Лыченко Н.Ю. Іонне забарвлення емалевих стекол в оксидній системі  $\text{Na}_2\text{O}-\text{BaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  // Питання хімії та хім. технол. – 2019. – № 3. – С.145-150.
4. Color modeling method at the preparation of colored silicate materials / Ryzhova O., Polozhai S., Kyslychnaia R., Nagornaia T., Naymenko S. // *Slovak Int. Sci. J.* – 2019. – Vol.29. – P.29-32.
5. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике. – М.: Мир, 1978. – 592 с.
6. Плюснина И.И. Инфракрасные спектры силикатов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1966. – 189 с.
7. Influence of chromium ions on dielectric and spectroscopic properties of  $\text{Na}_2\text{O}-\text{PbO}-\text{B}_2\text{O}_3$  glass system / Brahmaiah A., Bala Murali Krishna S., Kondaiah M., Bala Narendra Prasad T., Krishna Rao D. // *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* – 2009. – Vol.2. – Art. No. 012028.
8. Ardelean I., Muresan N., Pascuta P. FT-IR and Raman spectroscopic study of  $\text{Cr}_2\text{O}_3-\text{TeO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SrF}_2$  glasses // *Mod. Phys. Lett. B.* – 2006. – Vol.20. – No. 18. – P.1107-1114.
9. Structural study of  $\text{PbO}-\text{NaF}-\text{B}_2\text{O}_3$  glass system doped with  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  through spectroscopic and magnetic properties / Sailaja G., Nagalakshmi T.V., Veerabhadra Rao A., Emmanuel K.A. // *Int. J. Chem. Environ. Pharm. Res.* – 2011. – Vol.2. – No. 2-3. – P.101-110.
10. Role of chromium ion valence states in  $\text{ZnO}-\text{As}_2\text{O}_3-\text{Sb}_2\text{O}_3$  glass system by means of spectroscopic and dielectric studies / Bala Murali Krishna S., Vinaya Teja P.M., Krishna Rao D. // *Mater. Res. Bull.* – 2010. – Vol.45. – P.1783-1791.
11. Abdullah M.M., Rajab F.M., Al-Abbas S.M. Structural and optical characterization of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  nanostructures: evaluation of its dielectric properties // *AIP Adv.* – 2014. – Vol.4. – Art. No. 027121.
12. Crystallization of cristobalite in sodium borosilicate glass in the presence of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  / Konon M., Polyakova I.G., Mazur A.S., Saratovskii A.S., Danilovich D.P., Alikin M. // *Materials.* – 2023. – Vol.16. – No. 14. – Art. No. 5016.

## INFLUENCE OF THE COMPOSITION AND STRUCTURE OF SODIUM BOROSILICATE GLASSES ON THE OPTICAL-COLOR CHARACTERISTICS OF CHROMIUM AVENTURINE GLASS IN THE PRESENCE OF COBALT (II) OXIDE

S. Matsenko \*, O. Ryzhova

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

\* e-mail: sermats.dcb@gmail.com

We investigated the influence of cobalt (II) oxide additive in the amount of 1–3 mol.% on the structure and optical-color characteristics of chromium-containing glass with the following composition (mol.%): 29.6  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 19.7  $\text{B}_2\text{O}_3$ ; 49.3  $\text{SiO}_2$ ; and 1.5  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . The dependence of the optical-color characteristics of the glasses under study on the thermal treatment of the glass melt at a temperature of 1050°C for 20 minutes was established. The thermal treatment resulted in the volumetric crystallization with the subsequent development of the aventurine effect. According to X-ray phase analysis data, the decorative effect was caused by  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  crystals. By using IR spectroscopy and differential thermal analysis, the structure of the experimental glasses was studied, and the influence of thermal treatment of glass melts on the formation of the structure of glass-ceramic material was established. Aventurine glass of dark blue-green color was obtained with a color tone  $\lambda=490$  nm, color purity  $P=11.35\%$ , and lightness  $L=5.454$  %. The nature of the influence of cobalt (II) oxide on the optical-color characteristics of chromium-containing aventurine glass based on the  $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  system is of interest for further development of new compositions of decorative ceramic glazes and enamel coatings.

**Keywords:** aventurine glass; chromium (III) oxide; cobalt (II) oxide; color tone, color purity; brightness of color; color coordinates.

## REFERENCES

1. Shcheglova MD, Dvornichenko IN, Belyaeva NYa. *Aventurinovoe steklo v stroitel'stve* [Aventurine glass in building]. Kyiv: Budivelnik; 1986. 70 p. (in Russian).
2. Kotsik I, Nebrezhskiy I, Fanderlik I. *Okrashivanie stekla* [Glass coloring]. Moscow: Stroyizdat; 1983. 210 p. (in Russian).
3. Ryzhova OP, Polozhai SG, Ilchenko NYu, Gurzhyi OB. Іонне забарвлення емалевих стекол в оксидній системі  $\text{Na}_2\text{O}-\text{BaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  [Ionic dyeing of enamel glasses prepared in oxide system  $\text{Na}_2\text{O}-\text{BaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ ]. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2019; (3): 145-150. (in Ukrainian). doi: 10.32434/0321-4095-2019-124-3-145-150.
4. Ryzhova O, Polozhai S, Kyslychnaia R, Nagornaia T, Naymenko S. Color modeling method at the preparation of colored silicate materials. *Slovak Int Sci J*. 2019; 29: 29-32.
5. Judd D, Wyszecky G. *Tsvet v nauke i tehnike* [Color in science and technology]. Moscow: Mir, 1978. 592 p. (in Russian).
6. Plusnina II. *Infrakrasnye spektry silikatov* [Infrared spectra of silicates]. Moscow: Moscow University Publishing House; 1966. 189 p. (in Russian).

Надійшла до редакції 19.02.2024

7. Brahmaiah A, Bala Murali Krishna S, Kondaiah M, Bala Narendra Prasad T, Krishna Rao D. Influence of chromium ions on dielectric and spectroscopic properties of  $\text{Na}_2\text{O-PbO-B}_2\text{O}_3$  glass system. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*. 2009; 2: 012028. doi: 10.1088/1757-899X/2/1/012028.

8. Ardelean I, Muresan N, Pascuta P. FT-IR and Raman spectroscopic study of  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-TeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-SrF}_2$  glasses. *Mod Phys Lett B*. 2006; 20(18): 1107-1114. doi: 10.1142/S0217984906011426.

9. Sailaja G, Nagalakshmi TV, Veerabhadra Rao A, Emmanuel KA. Structural study of  $\text{PbO-NaF-B}_2\text{O}_3$  glass system doped with  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  through spectroscopic and magnetic properties. *Int J Chem Environ Pharm Res*. 2011; 2(2-3): 101-110.

10. Bala Murali Krishna S, Vinaya Teja PM, Krishna Rao D. Role of chromium ion valence states in  $\text{ZnO-As}_2\text{O}_3\text{-Sb}_2\text{O}_3$  glass system by means of spectroscopic and dielectric studies. *Mater Res Bull*. 2010; 45: 1783-1791. doi: 10.1016/j.materresbull.2010.09.026.

11. Abdullah MM, Rajab FM, Al-Abbas SM. Structural and optical characterization of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  nanostructures: evaluation of its dielectric properties. *AIP Adv*. 2014; 4: 027121. doi: 10.1063/1.4867012.

12. Konon M, Polyakova IG, Mazur AS, Saratovskii AS, Danilovich DP, Alikin M. Crystallization of cristobalite in sodium borosilicate glass in the presence of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . *Materials*. 2023; 16(14): 5016. doi: 10.3390/ma16145016.