

PACSnumbers: 65.40.Ba, 65.40.De, 65.60.+a, 66.70.Hk, 68.60.Dv, 73.61.Ng, 81.05.Je, 81.15.Cd

## Теплофізичні властивості склокристалічних ізоляційних шарів для плоских нагрівних елементів

З. А. Дурягіна<sup>\*,\*\*</sup>, Т. М. Ковбасюк<sup>\*</sup>, М. Zagula-Yavorska<sup>\*\*\*</sup>,  
С. А. Беспалов<sup>\*\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. Степана Бандери, 12,  
79013 Львів, Україна

<sup>\*\*</sup>The John Paul II Catholic University of Lublin,  
al. Raclawickie 14,  
20-950, Lublin, Poland

<sup>\*\*\*</sup>Rzeszow University of Technology,  
al. Powstańców Warszawy 12,  
35-959 Rzeszów, Poland

<sup>\*\*\*\*</sup>Президія НАН України,  
вул. Володимирська, 54,  
01030 Київ, Україна

Здійснено синтезу ізоляційних покриттів на основі склокристалічного матеріалу системи PbO–ZnO–V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> та на основі сполук AlN і MgO, одержаних методом магнетронного розпорошення. Досліджено теплофізичні властивості сталі 40X13 та алюмомагнієвого стопу АМг2, які використовували в якості підкладинок. Методом лазерного спалаху (LFA) досліджено тепломісткість, температуропровідність і теплопровідність одержаних покриттів, які порівняно із аналогічними властивостями підкладинок. Про-

Corresponding author: Zoya Antonivna Duriagina  
E-mail: zduriagina@ukr.net

<sup>\*</sup>Lviv Polytechnic National University, 12 Bandera Str., 79013 Lviv, Ukraine

<sup>\*\*</sup>The John Paul II Catholic University of Lublin, 14, al. Raclawickie, 20-950 Lublin, Poland

<sup>\*\*\*</sup>Rzeszyw University of Technology, 12, al. Powstańcyw Warszawy 12, 35-959 Rzeszyw, Poland

<sup>\*\*\*\*</sup>Presidium of the N.A.S. of Ukraine, 54 Volodymyrs'ka Str., 01030 Kyiv, Ukraine

Please cite this article as: Z. A. Duriagina, T. M. Kovbasyuk, M. Zagula-Yavorska, and S. A. Bepalov, Thermal Properties of Insulating Glass-Ceramic Layers for Flat Heating Elements, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, **38**, No. 10: 1367–1378 (2016) (in Ukrainian), DOI: 10.15407/mfint.38.10.1367.

аналізовано можливості використання одержаних ізоляційних покриттів в якості функціональних шарів для плоских нагрівних елементів.

**Ключові слова:** склокристалічний матеріал, ізоляційні покриття, теплофізичні властивості, плоский нагрівний елемент.

The insulating coatings based on both glass-ceramic material of the PbO–ZnO–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> system and the AlN and MgO compounds obtained by magnetron sputtering are synthesized. The thermophysical properties of stainless steel 40X13 and aluminium–magnesium alloy AMg2 used as substrates are studied. The specific heat, thermal diffusivity, and heat conductivity of the obtained coatings and substrates are investigated by the method of laser flash analysis (LFA). The possibilities of using obtained insulating coatings as the functional layers for the flat heating elements are analysed.

**Keywords:** glass-ceramic material, insulation coatings, thermophysical properties, flat heating element.

Проведён синтез изоляционных покрытий на основе стеклокристаллического материала системы PbO–ZnO–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, а также на основе соединений AlN и MgO, полученных методом магнетронного распыления. Исследованы теплофизические свойства стали 40X13 и алюмомагниевого сплава AMg2, которые использовались в качестве подложек. Методом лазерной вспышки (LFA) исследованы теплоёмкость, температуропроводность и теплопроводность полученных покрытий, которые сравнены с аналогичными свойствами подложек. Проанализированы возможности использования полученных изоляционных покрытий в качестве функциональных слоёв для плоских нагревательных элементов.

**Ключевые слова:** стеклокристаллический материал, изоляционные покрытия, теплофизические свойства, плоский нагревательный элемент.

*(Отримано 22 червня 2016 р.)*

## 1. ВСТУП

Вимоги до захисних функціональних діелектричних покриттів залежать від умов їх експлуатації. Тому вибір покриття повинен відбуватися залежно від виду середовища, стану поверхні та властивостей матеріалу підкладинки.

При формуванні ізолювального шару важливо забезпечити його надійне з'єднання з підкладинкою, адже порушення суцільності буде зменшувати його експлуатаційну надійність. Це стосується діелектричних покриттів для плоских нагрівних елементів (ПНЕ) виготовлених за технологією товстих плівок, що тривало працюють за підвищених температур (150–350°C). Такі покриття мають не відшаровуватися від підкладинки при багаторазовому нагріванні від кімнатної до робочої температури. Саме тому показники теплофізичних властивостей функціональних покриттів мають бути мак-

симально наближеними до властивостей підкладинки. Під час тривалої експлуатації в їх структурі мають не відбуватися фазові перетворення, що викликали б зміну діелектричних властивостей. Такі покриття повинні мати підвищену стійкість до дії агресивних середовищ, а структурно-герметичні параметри мікрогеометрії поверхні мають бути такими, щоб забезпечувати якісне нанесення резистивного шару [1].

В роботі досліджено питому теплоємність, теплопровідність і температуропровідність діелектричних покриттів на основі склокристалічної системи  $\text{PbO-ZnO-B}_2\text{O}_3$ , леґованої оксидами  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  та  $\text{BaO}$ , на підкладинках із неіржавійної сталі 40X13. Аналогічні дослідження проведено для ізоляційних покриттів на основі сполук  $\text{AlN}$  і  $\text{MgO}$ , одержаних методом магнетронного розпорошення у вакуумі на підкладинках із алюмомагнійового стопу АМг2. Досліджено значення відносного теплового розширення та питомої теплоємності підкладинок зі сталі 40X13 та стопу АМг2. Встановлено переваги й недоліки покриттів сформованих обома методами.

## 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Для приготування покриттів на основі склокристалічної системи  $\text{PbO-ZnO-B}_2\text{O}_3$  використовували суміш порошків, склад яких наведено в табл. 1. Одержану суміш засипали в алундовий тигель та розтоплювали за температури у  $1180^\circ\text{C}$ . Після витримки при цій температурі протягом 60 хвилин розтоп швидко охолоджували для формування аморфної структури та запобігання кристалізації. Висушений гранулят подрібнювали та просіювали для одержання фракцій порошку з розміром гранул не більше ніж 56 мкм.

Для виготовлення діелектричної пасти до суміші порошків додавали 25–35% бутилацетату та 2–3% нітроцелюлозного лаку. Суспензію перемішували впродовж 2–3 годин у вертикальному млині для утворення відповідних молекулярних зв'язків між частинками. Одержану суміш наносили на попередньо підготовану поверхню

**ТАБЛИЦЯ 1.** Хімічний склад порошків для синтезу покриттів на основі склокристалічної системи  $\text{PbO-ZnO-B}_2\text{O}_3$ .

**TABLE 1.** Chemical composition of powder for the synthesis of coatings based on glass-ceramic system  $\text{PbO-ZnO-B}_2\text{O}_3$ .

Маркування	PbO	ZnO	$\text{B}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	BaO
SC 100-1	75,5	12,0	8,4	2,1	2,0	–
SC 90-1	75,3	11,6	8,5	2,1	0,8	1,7
SC 88	75,1	11,2	9,4	1,9	–	1,9

підкладинки із сталі 40X13 та висушували за температури 70°C. Для усіх зразків проводили стандартне термічне оброблення з двоступеневим відпалом за температур 380°C та 440°C, з витримкою за цих температур протягом 45 хв. [2]. Термічне оброблення нанесених покриттів проводилося без захисної атмосфери для активізації процесів утворення оксидів.

Для одержання діелектричного покриття на основі чистих сполук AlN та MgO, використовували методу магнетронного розпорощення у вакуумі. В якості підкладинок використовували алюмомагнійовий стоп AMg2 через його застосування в якості матеріалу для виготовлення радіаторів ПНЕ [1, 3, 4].

Дослідження питомої теплоємності, теплопровідності та температуропровідності функціональних покриттів по відношенню до підкладинок проводили методом лазерного спалаху в інтервалі температур від 0 до 500°C на установці Netzsch LFA-427. Вона складається з трьох взаємопов'язаних частин: лазер, високотемпературна електропіч і детектор інфрачервоного випромінювання, який охолоджується рідким азотом (рис. 1). Використовувався твердотільний імпульсний гранатовий лазер, легований неодимом, з довжиною хвилі 1,064 мкм і енергією одинарного імпульсу до 40 Дж. Тривалість імпульсу коливалася в межах від 0,3 до 1 мс. Лазерне випромінювання за допомогою світловода підводиться до нижньої поверхні зразка, який знаходиться в високотемпературній печі. Система лінз забезпечує рівномірний розподіл інтенсивності на плямі діаметром 13 мм. Високотемпературна піч складається з двох герметично розділених об'ємів, в одному з яких знаходиться графітовий нагрівач і система терморадіаційних екранів, а в іншому — тримач зразка. Така конструкція дозволяє проводити вимірювання в вакуумі або інертній атмосфері за температур до 2000°C, а також на повітрі — до 1600°C. Зразок встановлюється в тримачі на голчастій підставці, а лазерне випромінювання до нього підводиться знизу. При цьому випромінювання з верхньої поверхні (сигнал, що реєструється) фокусується лінзою з CaF<sub>2</sub> і потрапляє на інфрачервоний детектор. Детектор реєструє випромінювання не з усієї верхньої поверхні, а з площі діаметром близько 6 мм. Початкова температура зразка вимірюється термопарою, робочий спай якої розташована в тримачі. Для визначення теплопровідності використовувалась методика вимірювань температуропровідності, теплоємності і густини залежно від температури випробувань [5]. Дослідження відносного теплового розширення підкладинок проводили на горизонтальному дилатометрі в атмосфері захисного газу.

### 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Для синтезу функціональних ізоляційних покриттів на ПНЕ обра-

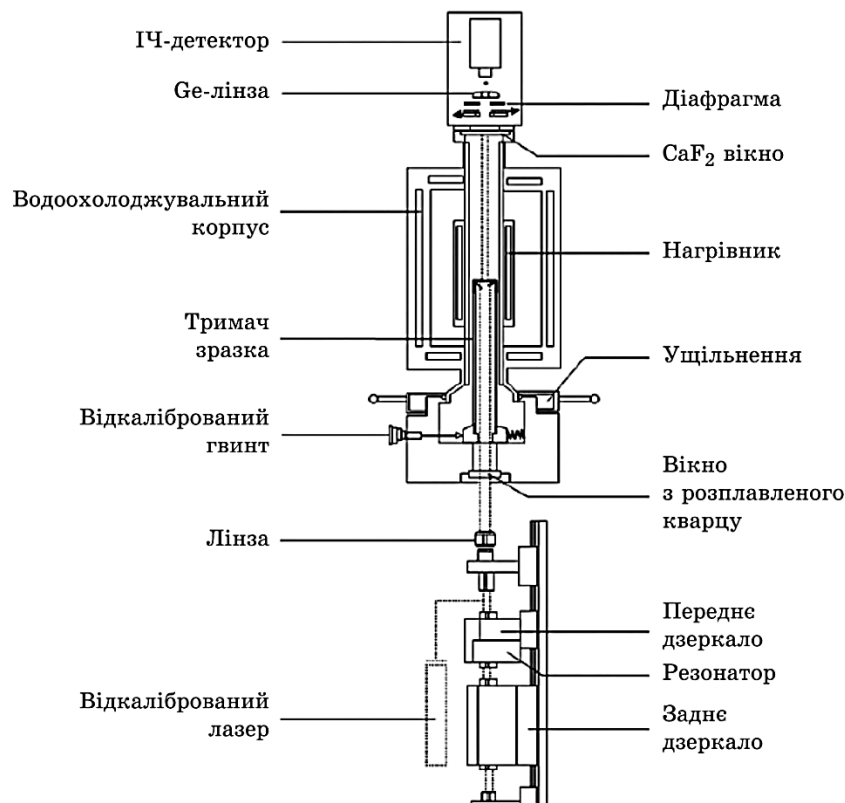
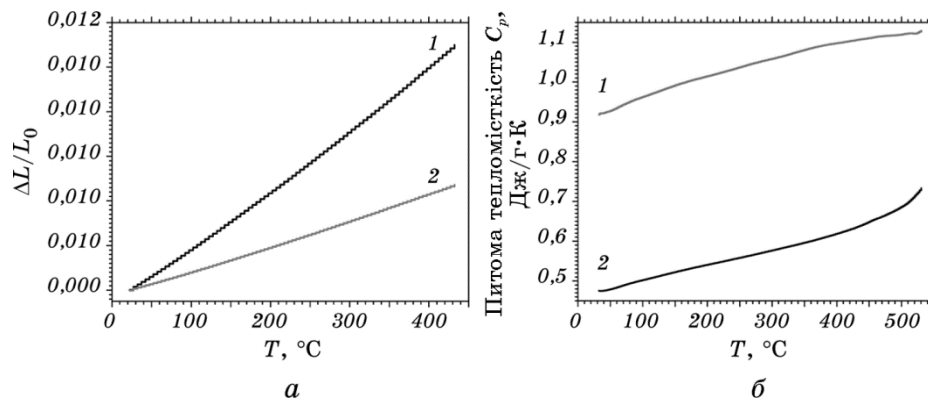


Рис. 1. Схема експериментальної установки LFA-427.

Fig. 1. Scheme of the experimental device LFA-427.

но чисті сполуки AlN, MgO та склокристалічні матеріали системи PbO–ZnO–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, леговані сполуками BaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та SiO<sub>2</sub>. Ці матеріали при правильно проведеному технологічному процесі нанесення на підкладку мають високі ізоляційні властивості [6–11]. Діелектрична міцність таких покриттів становить  $(8–23) \cdot 10^6$  В/м, що задовольняє технологічні умови виготовлення ПНЕ.

В якості підкладок для ізоляційних покриттів обрано матеріали з мінімальними показниками теплового розширення (сталь 40X13) або з високими показниками тепловіддачі (стоп АМг2), в яких не відбуватимуться фазові перетворення в інтервалі робочих температур нагрівного елемента. Для підтвердження коректності вибору матеріалу підкладок досліджено вплив температури на зміну значень їх відносного теплового розширення (рис. 2, а) та питомої теплоємності (рис. 2, б). Видно, що стопу АМг2 притаманні відносно високі показники тепловідведення та теплового розширення. Таке поєднання його властивостей дозволяє формувати діе-



**Рис. 2.** Експериментальні значення відносного теплового розширення (а) та питомої теплоємності (б) підкладок з алюмомагнійового сплаву АМg2 (1) та неіржавійної сталі 40Х13 (2).

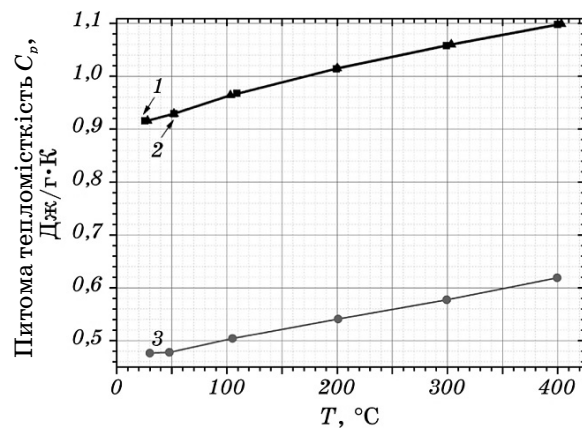
**Fig. 2.** Experimental values of relative thermal expansion (a) and specific heat (b) of substrates from aluminium–magnesium alloy AMg2 (1) and stainless steel 40X13 (2).

лектричні та резистивні шари одразу на поверхні радіатора ПНЕ, виготовленого з цього матеріалу.

Функціональні покриття на основі склокристалічної системи  $\text{PbO-ZnO-B}_2\text{O}_3$  наносили на поверхню сталі 40X13 за технологією товстих плівок. Оскільки ця система оксидів відноситься до легкотопких склокристалічних цементів, то можуть виникнути сумніви щодо можливості застосування його в якості ізолювального покриття ПНЕ, що експлуатується за підвищених температур. Але ситалоцементи позбавлені недоліків, що притаманні традиційним аморфним скляним матеріалам. Після розтікання поверхнею під час нанесення та наступної кристалізації в таких покриттях утворюється повністю кристалічна структура, типова для ситалу. В результаті фазових перетворень їх стійкість до високих температур різко збільшується та визначається не фізичними властивостями вихідного скломатеріалу, а температурою ліквідус кристалічного матеріалу. Як показали дилатометричні вимірювання, температура розм'якшення ситалоцементу марки SC 90-1 у аморфному стані становить приблизно  $330^\circ\text{C}$ , тоді як у кристалічному —  $480\text{--}500^\circ\text{C}$  [12].

Легування склокристалічної системи  $\text{PbO-ZnO-B}_2\text{O}_3$  оксидами  $\text{Al}_2\text{O}_3$  та  $\text{SiO}_2$  зменшує здатність покриттів такого складу до кристалізації, але одночасно збільшує їх вологостійкість. При цьому додаткове введення оксиду ВаО викликає поліпшення адгезії сформованих покриттів до підкладки [13].

Для оцінювання здатності нанесених ізоляційних покриттів проводити тепло від резистивного шару до підкладки, яку прик-



**Рис. 3.** Значення питомої теплоємності покриттів AlN (2) та MgO (3) на підкладках з алюмомагнієвого сплаву AlMg2 (1).

**Fig. 3.** Specific heat of AlN (2) and MgO (3) coatings on substrate from aluminium–magnesium alloy AlMg2 (1).

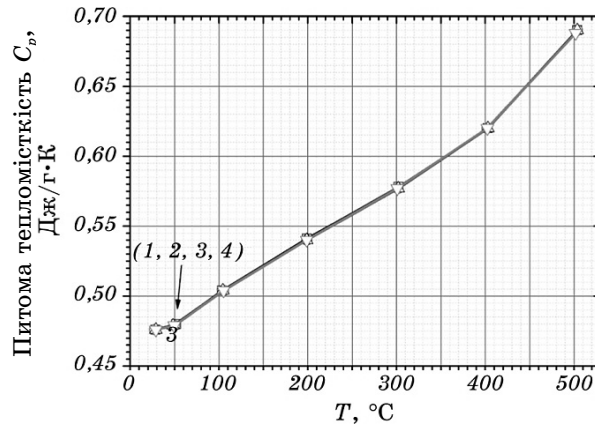
ріплено до радіатора, нами досліджено їх питому теплоємність  $C_p$ .

Зі збільшенням температури питома теплоємність  $C_p$  покриттів як на основі чистих сполук AlN та MgO, так і на основі склокристалічного матеріалу збільшується. Але значення  $C_p$  підкладки зі сплаву AlMg2 суттєво вищі від таких для покриття на основі оксиду MgO (рис. 3). Тому використання оксиду магнію в якості функціонального шару нагрівного елемента порівняно з нітридом алюмінію є менш ефективним через більші втрати теплової енергії при її передачі від покриття до підкладки. Дослідження питомої теплоємності  $C_p$  системи «підкладка 40X13–покриття PbO–ZnO–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>» показало, що одержані діелектричні покриття практично не впливають на здатність передачі теплової енергії та повторюють властивості підкладки (рис. 4).

Отже, використання склокристалічного матеріалу в якості ізоляційного шару уможливить одержати більш ефективний та якісний ПНЕ з рівномірним нагріванням поверхні підкладки 40X13 та відносно малими втратами тепла при цьому. Для порівняння термодинамічних властивостей одержаних діелектричних шарів та підкладок досліджено їх температуропровідність (рис. 5, 6) та теплопровідність (рис. 7, 8) в інтервалі температур 0–500°C. Велика неоднорідність теплових властивостей між покриттями AlN/MgO та підкладкою зі сплаву AlMg2 може викликати появу структурних дефектів під час циклів «охолодження–нагрівання» поверхні. Це відповідно призведе до погіршення експлуатаційних характеристик ПНЕ. На відміну від цього, покриття, сформовані на основі склокристалічних матеріалів марок SC 90-1, SC 100-1 та SC 88, ма-

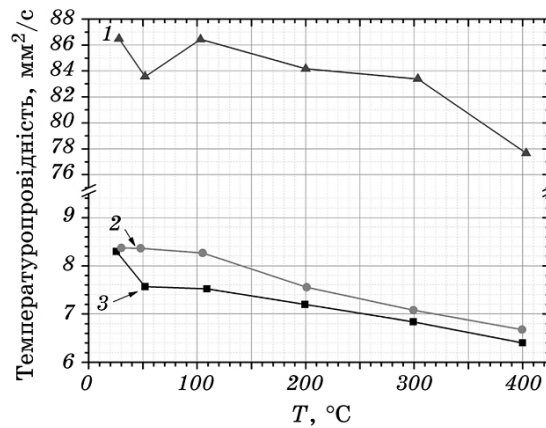
ють кращу відповідність значень питомої теплопровідності та температуропровідності з підкладинкою, що забезпечить стабільність передачі тепла від резистивного шару через діелектричний до підкладинки ПНЕ.

Слід зазначити, що обидві методи нанесення уможливають оде-



**Рис. 4.** Значення питомої теплоємності покриттів на основі ситалоцементів SC 90-1 (2), SC 100-1 (3), SC 88 (4) на підкладинках з неіржавійної сталі 40X13 (1).

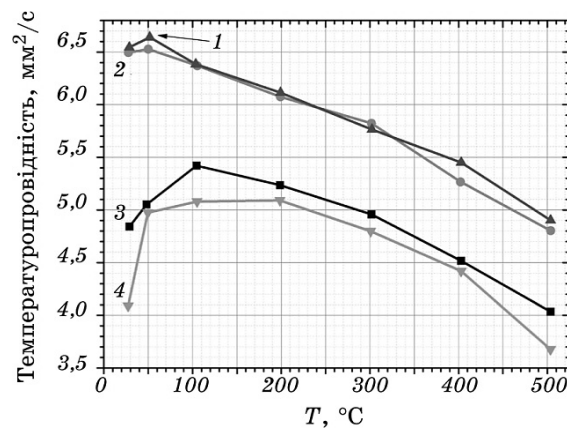
**Fig. 4.** Specific heat of SC 90-1 (2), SC 100-1 (3), SC 88 (4) sealant coatings on substrate from stainless steel 40X13 (1).



**Рис. 5.** Значення температуропровідності покриттів AlN (3) та MgO (2) на підкладинках з алюмомагнієвого сплаву АМг2 (1).

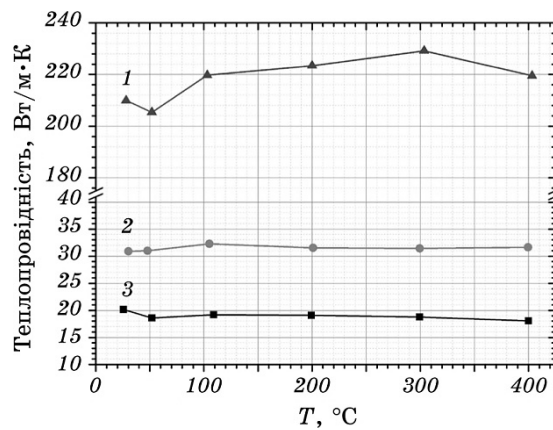
**Fig. 5.** Thermal diffusivity of AlN (3) and MgO (2) coatings on substrate from aluminium–magnesium alloy AMg2 (1).





**Рис. 6.** Значення температуропровідності покриттів на основі ситалоцементів SC 90-1 (2), SC 100-1 (3), SC 88 (4) на підкладках з неіржавійної сталі 40X13 (1).

**Fig. 6.** Thermal diffusivity of SC 90-1 (2), SC 100-1 (3), SC 88 (4) sealant coatings on substrate from stainless steel 40X13 (1).

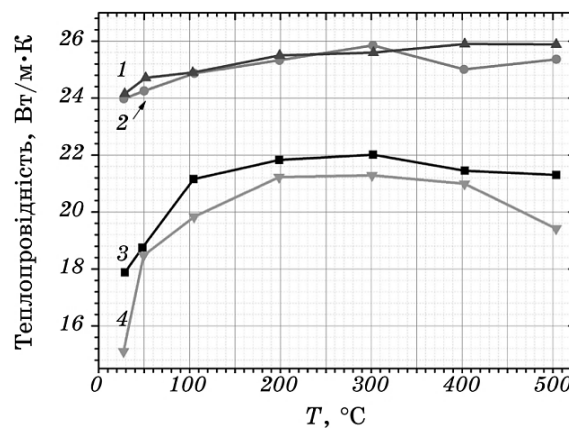


**Рис. 7.** Значення питомої теплопровідності покриттів AlN (3) та MgO (2) на підкладках з алюмомагнієвого сплаву АМг2 (1).

**Fig. 7.** Heat conductivity of AlN (3) and MgO (2) coatings on substrate from aluminium–magnesium alloy АМг2 (1).

ржати якісні за структурою та адгезією до підкладки діелектричні покриття [1].

В той же час теплофізичні властивості ізоляційних шарів, синтезованих магнетронним розпорощенням, відрізняються від аналогічних характеристик підкладки із сплаву АМг2. Це суттєвий недо-



**Рис. 8.** Значення питомої теплопровідності покриттів на основі ситалоцементів SC 90-1 (2), SC 100-1 (3), SC 88 (4) на підкладках з неіржавійної сталі 40X13 (1).

**Fig. 8.** Heat conductivity of SC 90-1 (2), SC 100-1 (3), SC 88 (4) sealant coatings on substrate from stainless steel 40X13 (1).

лік, який буде погіршувати експлуатаційні характеристики нагрівних приладів. Використання в якості матеріалу підкладки ПНЕ сталі 40X13 із нижчою тепловіддачею та меншим тепловим розширенням уможливить істотно збільшити термін експлуатації нагрівного приладу в цілому. При цьому можна використовувати обидві методи нанесення функціональних діелектричних покриттів.

#### 4. ВИСНОВКИ

На підкладках з неіржавійної сталі та алюмомагнієвого ступу здійснено синтезу ізоляційних покриттів для плоских нагрівних елементів методом магнетронного розпорошення та на основі суспензій склокристалічних матеріалів. Встановлено що, використання ступу АМг2 в якості підкладки ПНЕ є неефективним, через великі розбіжності теплофізичних властивостей матеріалу покриття і матеріалу підкладки. Використання підкладки зі сталі 40X13, що має низькі значення теплового розширення і, відповідно, низьке тепловідведення, дозволить продовжити термін експлуатації нагрівного елемента. Покриттям, одержаним як методом магнетронного розпорошення, так і методом нанесення склокристалічних суспензій, притаманні високі електроізоляційні характеристики. Про це свідчать їх теплофізичні властивості. При цьому слід зазначити, що процес виготовлення діелектричних покриттів на основі склокристалічної системи PbO–ZnO–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> є значно продук-

тивнішим, а технологічно — більш простим та економічним порівняно із процесом магнетронного розпорошення. Причому, склокристалічним покриттям запропонованої нами системи притаманні краща відповідність значень температуропровідності та теплопровідності до таких у підкладинці зі сталі 40Х13 порівняно із покриттями з AlN та MgO, сформованими магнетронним розпорошенням.

## ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. З. А. Дурягіна, Т. М. Ковбасюк, С. А. Беспалов, *Успехи физики металлов*, **17**, № 1: 29 (2016).
2. Н. М. Павлушкин, М. А. Калмановская, *Неорганические материалы*, **12**, № 11: 2043 (1976).
3. З. А. Дурягіна, С. А. Беспалов, В. Я. Підкова, Д. Ю. Полоцький, *Металлофиз. новейшие технол.*, **33**, спецвып.: 393 (2011).
4. З. А. Дурягіна, С. А. Беспалов, А. К. Борисюк, В. Я. Підкова, *Металлофиз. новейшие технол.*, **33**, № 5: 615 (2011).
5. С. В. Пономарев, С. В. Мищенко, А. Г. Дивин, В. А. Вертоградский, А. А. Чуриков, *Теоретические и практические основы теплофизических измерений* (Ред. С. В. Пономарев) (Москва: Физматлит: 2008).
6. А. I. Ermolaeva, *Glass Physics and Chemistry*, **27**, No. 4: 306 (2001).
7. J. Honkamo, J. Hannu, H. Jantunen, M. Moilanen, and W. Mielcarek, *J. Electroceram.*, **18**: 175 (2007).
8. Y. Cheng, H. Xiao, and W. Guo, *Mater. Sci. Eng. A*, **464**, Nos. 1–2: 210 (2007).
9. Z. A. Duriagina, V. Ya. Pidkova, and S. O. Olshevska, *Functional Materials*, **20**, No. 2: 1 (2013).
10. V. Pidkova, I. Brodnikovska, Z. Duriagina, and V. Petrovskyy, *Functional Materials*, **22**, No. 1: 35 (2015).
11. Z. A. Duriagina, A. K. Borysyuk, S. A. Bepalov, and V. Ya. Pidkova, *Mater. Sci.*, **48**, No. 3: 364 (2012).
12. Э. М. Рабинович, *Неорганические материалы*, **7**, № 4: 546 (1971).
13. З. А. Дурягіна, Т. М. Ковбасюк, Т. Л. Тепла, А. П. Оксенюк, О. Ю. Грималаяк, *Спосіб отримання електроізоляційного покриття із ситалоцементу*: Патент України № 102986 (опубл. 25 листопада 2015 р.).

## REFERENCES

1. Z. A. Duriagina, T. M. Kovbasyuk, and S. A. Bepalov, *Uspehi Fiziki Metallov*, **17**, No. 1: 29 (2016) (in Ukrainian).
2. N. M. Pavlushkin and M. A. Kalmanovskaya, *Neorganicheskie Materialy*, **12**, No. 11: 2043 (1976) (in Russian).
3. Z. A. Duryagina, S. A. Bepalov, V. Ya. Pidkova, and D. Yu. Polockyj, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, **33**, Special Issue: 393 (2011) (in Ukrainian).
4. Z. A. Duryagina, S. A. Bepalov, A. K. Borysyuk, and V. Ya. Pidkova, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, **33**, No. 5: 615 (2011) (in Ukrainian).
5. S. V. Ponomarev, S. V. Mishchenko, A. G. Divin, V. A. Vertogradskiy, and

- A. A. Churikov, *Teoreticheskie i Prakticheskie Osnovy Teplofizicheskikh Izmereniy* (Ed. S. V. Ponomarev) (Moscow: Fizmatlit: 2008) (in Russian).
6. A. I. Ermolaeva, *Glass Physics and Chemistry*, **27**, No. 4: 306 (2001).
  7. J. Honkamo, J. Hannu, H. Jantunen, M. Moilanen, and W. Mielcarek, *J. Electroceram.*, **18**: 175 (2007).
  8. Y. Cheng, H. Xiao, and W. Guo, *Mater. Sci. Eng. A*, **464**, Nos. 1–2: 210 (2007).
  9. Z. A. Duriagina, V. Ya. Pidkova, and S. O. Olshevska, *Functional Materials*, **20**, No. 2: 1 (2013).
  10. V. Pidkova, I. Brodnikovska, Z. Duriagina, and V. Petrovskyy, *Functional Materials*, **22**, No. 1: 35 (2015).
  11. Z. A. Duriagina, A. K. Borysyuk, S. A. Bespalov, and V. Ya. Pidkova, *Mater. Sci.*, **48**, No. 3: 364 (2012).
  12. E. M. Rabinovich, *Neorganicheskie Materialy*, **7**, No. 4: 546 (1971) (in Russian).
  13. Z. A. Duriagina, T. M. Kovbasyuk, T. L. Tepla, A. P. Oksenyuk, and O. Yu. Hrimalyak, *Sposib Otrymannya Elektroizolyatsynogo Pokryttya iz Sitalotsementu* [Method for Obtaining of Insulating Coating Based on Glass-Ceramic Sealant]: Patent of Ukraine No. 102986 (publ. November 25, 2015) (in Ukrainian).