

## ВІДГУК

на дисертаційну роботу **Макудери Аліни Олександрівни** “ $ZrO_2$ , стабілізований рядом оксидів РЗЕ ітрієвої підгрупи, як основа для створення новітніх термобар’єрних покриттів”, що подається на здобуття наукового ступеня кандидата хімічних наук

Дисертаційна робота **Макудери А.О.** присвячена визначенню особливостей фізико-хімічної взаємодії в системах на основі  $ZrO_2$  і компонентів концентрату оксидів РЗЕ природного походження та встановленню фізико-хімічних властивостей порошків і матеріалів на їх основі в залежності від температури термічної обробки для застосування при виготовленні керамічного шару термобар’єрних покриттів при температурах понад  $1200^\circ C$ . Оскільки науковою основою для створення матеріалів керамічного шару термобар’єрних покриттів на основі  $ZrO_2$  і концентрату оксидів РЗЕ ітрієвої підгрупи з необхідним комплексом властивостей є діаграми стану відповідних оксидних систем, а взаємодія оксидів ітрію та церію з оксидами лантаноїдів викликає окремий інтерес, оскільки тверді розчини на основі  $ZrO_2$ , стабілізовані  $Y_2O_3$  та  $CeO_2$ , широко використовують в високотехнологічній кераміці, то можна стверджувати, що дисертаційна робота **Макудери Аліни Олександрівни** виконана в одному з найбільш актуальних сучасних напрямків фізичної хімії.

Дисертація викладена на 219 сторінках, містить 83 рисунки та 18 таблиць і складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел, що містить 212 найменувань, та одного додатку.

У вступі автором обґрунтовано актуальність вибраної теми дисертації, сформульовано мету та наукові завдання роботи, визначено методи, об’єкт та предмет дослідження, а також розкрито наукову новизну одержаних результатів та їх практичну цінність, особистий внесок автора, наведено дані щодо апробації роботи та кількості публікацій, а також описано структуру та обсяг дисертації.

У першому розділі критично проаналізовано літературні джерела за темою дисертаційної роботи, розглянуто будову та вимоги до термобар’єрних покриттів лопаток газотурбінних двигунів на основі твердих розчинів  $ZrO_2$ . Показано, що однією з найбільш важливих функцій термобар’єрних покриттів є зниження температури металевих деталей турбіни, яке обернено пропорційне теплопровідності покриття, отже його теплопровідність повинна бути

максимально низькою. Підкреслено, що фазова стабільність верхнього шару визначає термомеханічні властивості термобар'єрного покриття. Проведено аналіз подвійних  $ZrO_2-Ln^I_2O_3$ ,  $Ln^I_2O_3-Ln^{II}_2O_3$  та потрійних діаграм стану систем  $ZrO_2-Ln^I_2O_3-Ln^{II}_2O_3$ , де  $Ln = Ce, Tb, Dy, Y, Ho, Er, Tu, Yb$  та  $Lu$ . Аналіз характеру взаємодії між оксидами лантаноїдів у кожній підгрупі на побудованих діаграмах стану показав існування широких областей твердих розчинів на основі різних поліморфних модифікацій оксидів РЗЕ. На підставі цього зроблено висновок, що комплексні добавки можна розглядати як один компонент у квазіподвійній системі  $ZrO_2$ -комплексна добавка. На основі аналізу літературних джерел сформульовано мету та завдання дисертаційного дослідження.

В другому розділі обґрунтовано вибір об'єктів дослідження, розглянуто методи, які використано для визначення властивостей складно-композиційних порошків та матеріалів  $ZrO_2$ -концентрат оксидів РЗЕ ітрієвої підгрупи.

Третій розділ представляє прогноз характеру взаємодії в квазібінарних системах  $CeO_2-Ln_2O_3$  та  $Y_2O_3-Ln_2O_3$  і уточнені діаграми стану систем  $ZrO_2-Sc_2O_3$  та  $Al_2O_3-Sc_2O_3$  та побудовані ізотермічні перерізи квазіпотрійних діаграм стану  $ZrO_2-Ln^I_2O_3-Ln^{II}_2O_3$  при  $1400^\circ C$  та  $ZrO_2-Al_2O_3-Sc_2O_3$  при  $1300^\circ C$ . Вперше представлено квазічетверну діаграму стану системи  $ZrO_2-Ln^I_2O_3-Ln^{II}_2O_3-Ln^{III}_2O_3$ . Показано, що утворення сполуки  $ScAlO_3$  викликає необхідність створення багат шарових керамічних термобар'єрних покриттів з метою уникнення їх руйнування в процесі експлуатації при підвищених температурах.

У четвертому розділі представлено результати вивчення фізико-хімічних властивостей складно-композиційних порошків і матеріалів в залежності від вмісту концентрату оксидів РЗЕ ітрієвої групи та термічної обробки при  $800^\circ C$  та  $1400^\circ C$ . Встановлено, що синтезовані при  $1400^\circ C$  складно-композиційні матеріали відповідають вимогам фазової стабільності і відсутності спікання, що пред'являються до керамічного шару термобар'єрного покриття.

В п'ятому розділі висвітлено результати дослідження теплопровідності складно-композиційних матеріалів в інтервалі  $40-400^\circ C$  і показано, що комплексна стабілізація  $ZrO_2$  концентратами оксидів РЗЕ природного походження сприяє зниженню теплопровідності кераміки, перспективної для застосування в термобар'єрних покриттях. Показано, що при нанесенні двошарових термобар'єрних покриттів метал/складно-композиційна кераміка за один технологічний цикл на лопатки першої ступені турбіни одержано гладко-шорсткуваті щільні

глянцеві покриття завтовшки від 75 до 95 мкм. Проведення порівняльного аналізу одержаних керамічних шарів і стандартного покриття показало, що термоциклічна довговічність розробленого покриття на 16 % перевищує стандартне покриття.

Отримані в дисертаційній роботі результати вирізняються не тільки фундаментальністю, але й практичною цілеспрямованістю, оскільки дозволили запропонувати новий склад мішеней для нанесення термобар'єрних покриттів. Результати проведених досліджень можуть бути використані в оборонно-промисловому комплексі, а також для розвитку машинобудівної галузі, авіа- та суднобудування.

Узагальнюючи можна сказати, що **Макудера А.О.** виконала значне за обсягом наукове дослідження, яке позбавлене суттєвих недоліків, але до якого можна зробити наступні зауваження.

1. Не зовсім вдалою є назва дисертаційної роботи, оскільки автор старалася відобразити в назві практичне значення свого дослідження.

2. У висновку 1 перше речення не закінчено і не зовсім зрозуміло, що автор мала на увазі. Не зовсім коректно сформульовано об'єкт дослідження оскільки згідно нормативних документів "*об'єкт дослідження* – це процес або явище, що породжує проблемну ситуацію і обране для вивчення", тобто морфологія, розмір частинок, питома поверхня складно-композиційних порошків, фазова стабільність і теплопровідність матеріалів на їх основі не можуть бути об'єктом дослідження

3. Якщо є повна розчинність у рідкому і твердому станах, то не потрібно писати, що потрібних фаз в системах не виявлено, бо утворений твердий розчин і є потрібною фазою. Очевидно, автор мала на увазі хімічні сполуки. Крім того, на с. 109 написано, що "у системі відсутня взаємодія між компонентами, а діаграма стану відноситься до простого евтектичного типу". Значить евтектична взаємодія все-таки є.

4. Рис. 3.8 в дисертації зовсім не потрібний, оскільки в системі при вказаній температурі утворюється необмежений ряд твердих розчинів, на рис. 3.15 граничні точки твердих розчинів на основі  $ZrO_2$  повинні бути однакові, а на рис. 3.16 повинна бути ще одна невелика область твердих розчинів на основі  $ZrO_2$  (фаза Т).

5. Дисертаційна робота та автореферат написані в основному грамотно, але зустрічаються невдалі вирази (об'єм твердих розчинів, нетрансформуєма, глазурів), русизми (тиск парів, в

якості) описки і граматичні помилки. Температура приводиться і в градусах Цельсія, і в Кельвінах, не для всіх журналів використана їх аббревіатура, а посилання 104 і 137 тотожні. Знаки переносів краще не використовувати, а то при копіюванні тексту вони появляються посеред рядка.

6. Розроблену методику створення новітніх термобар'єрних покриттів варто було запатентувати.

Однак, вказані зауваження носять дискусійний, технічний або доповнювальний характер і не знижують високої наукової вартості дисертаційної роботи **Макудери А.О.** Аналіз змісту дисертації, її автореферату та друківаних робіт автора за темою дисертаційної роботи показав достатню ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій та високу достовірність викладених експериментальних даних і новизну теоретичного обґрунтування. Автореферат дисертації та друківані роботи автора за темою дисертаційної роботи повністю відображають її основний зміст.

Вважаю, що подана до захисту дисертаційна робота “ $ZrO_2$ , стабілізований рядом оксидів РЗЕ ітрієвої підгрупи, як основа для створення новітніх термобар'єрних покриттів” відповідає всім вимогам нормативних документів МОН України, а її автор – **Макудера Аліна Олександрівна** – заслуговує присудження наукового ступеня кандидата хімічних наук за спеціальністю 02.00.04 – фізична хімія.

Офіційний опонент,  
докт. хім. наук, професор,  
провідний науковий співробітник  
Інституту фізики напівпровідників  
ім. В.Є.Лашкарьова НАН України



Василь Томашик

Підпис Василя Томашика засвідчую  
В.о. вченого секретаря Інституту фізики напівпровідників  
ім. В.Є.Лашкарьова НАН України  
канд. фіз.-мат. наук




Роман Редько