**Звіт про науково-дослідну роботу: „ Вивчення фазових співвідношень і властивостей утворюваних фаз в багатокомпонентних тугоплавких оксидних системах Al2O3–ZrO2–NiO і Al2O3–TiO2–Y2O3 та створення наукових основ розробки нових високотехнологічних керамічних матеріалів конструкційного та медичного призначення.**

**Мета роботи** - дослідження фазових співвідношень та побудова діаграм стану потрійних тугоплавких оксидних систем, що вміщують оксиди Al2O3, ZrO2, NiO та Y2O3; вивчення особливостей створення з нанокристалічних порошків композитів у системі ZrO2–Y2O3–CeO2–Al2O3–СоО як наукової основи для розробки нових матеріалів функціонального та конструкційного призначення, зокрема керамічних оксидних паливних комірок, біоімплантатів та конструкційної кераміки.

Терміни виконання наукової роботи: початок І кв. 2015 р.

закінчення IV кв. 2017 р.

**Керівник роботи**: Дудник Олег Викторович, (EMAIL: [dep25@ipms.kiev.ua](mailto:dep25@ipms.kiev.ua) )

**Скорочений зміст висновків рецензентів.**

Вивчено фазові рівноваги і побудовано повну діаграму стану системи Al2O3–TiO2–Y2O3, в інтервалі температур 1400 – 2440 С у вигляді проекцій ліквідусу та солідусу, ряду ізотермічних (1400 – 1550 С) перерізів, діаграми плавкості системи та схеми реакцій при рівноважній кристалізації сплавів системи. Досліджено фазові рівноваги та побудовано діаграму стану подвійної системи ZrO2–NiO та ізотермічні перерізи при 1250 оС та 1550 оС діаграми стану системи Al2O3–ZrO2–NiO; Розроблено комбіновану   технологію синтезу нанокристалічних порошків системи ZrО2-Y2O3-CeО2-Al2O3-СоО методом гідротермального синтезу у лужному середовищі / механічного змішування. Проведено ретельний аналіз залежності фізико-хімічних властивостей порошків на основі ZrО2 та Al2O3 від температури термічної обробки в інтервалі 400 – 1450 оС. Визначено фазову стійкість кольорових композитів на основі ZrО2 до процесу низькотемпературної деградації у вологому середовищі. Визначено, що фазові перетворення твердих розчинів на основі ZrO2 та міцність агломератів визначають  особливості спікання композитів на основі Al2O3, стійких до низькотемпературної деградації властивостей.

**Пропозиції про подальше використання результатів роботи.**

Побудовані нові діаграми стану є довідниковим матеріалом, необхідним для фахівців різних галузей при створенні сучасних технологій одержання матеріалів для конструкційного та функціонального застосування (термобарєрні покриття, біоімплантати, елементи паливних комірок та інше). Результати роботи будуть використані у галузі медицини при створенні різноманітного призначення та засобів спрямованої доставки ліків.

Дані про реєстрацію роботи: № 0115U002111

**РЕФЕРАТ**

**Об’єкт дослідження** - тугоплавкі оксидні сполуки, їх взаємодія та властивості, технологія виготовлення матеріалів на їх основі.

**Мета роботи** - дослідження фазових співвідношень та побудова діаграм стану потрійних тугоплавких оксидних систем, що вміщують оксиди Al2O3, ZrO2, NiO та Y2O3; вивчення особливостей створення з нанокристалічних порошків композитів у системі ZrO2–Y2O3–CeO2–Al2O3–СоО як наукової основи для розробки нових матеріалів функціонального та конструкційного призначення, зокрема керамічних оксидних паливних комірок, біоімплантатів та конструкційної кераміки.

Вперше на основі систематичних досліджень фазових рівноваг побудовано діаграму стану системи Al2O3–ТіO2–Y2O3 у вигляді ізотермічних перерізів діаграм стану при 1400 та 1550 °С, проекцій поверхонь ліквідусів та солідусу, діаграми плавкості та схеми реакцій при кристалізації сплавів. Вперше побудовано діаграму стану подвійної системи ZrО2–NiO та ізотермічні перерізи діаграми стану системи Al2O3−ZrО2–NiO при 1250 та 1550 °С. Потрійних сполук, а також областей потрійних твердих розчинів в системі не виявлено. Побудовані діаграми стану є новим довідниковим матеріалом, необхідним для створення сучасних технологій одержання матеріалів конструкційного та функціонального призначення.

Вперше комбінованим методом гідротермального синтезу / механічного змішування одержано нанодисперсні порошки на основі ZrO2 системи ZrO2−Y2O3−CeO2−Al2O3−СоО та на основі Al2O3 системи Al2O3–ZrO2(Y2O3,СеО2); визначено особливості зміни фізико-хімічних властивостей порошків при термічній обробці в інтервалі 400–1450 оС. Встановлено особливості спікання ZTA-композитів, одержаних з порошків, термічно оброблених при різних температурах. Вперше встановлено, що СоAl2O4 не знижує стабільність композитів на основі ZrO2 донизькотемпературної деградації властивостей.

Одержані порошки на основі ZrO2 використано для створення заготовок для ювелірних виробів, а порошки на основі Al2O3 - для вироблення кілець ущільнювачів насосів на наповнювачів керамічної броні.

**Ключові слова**: ФАЗОВІ РІВНОВАГИ, ОКСИДИ ЦИРКОНІЮ, ІТРІЮ, ТІТАНУ, АЛЮМІНІЮ, НІКЕЛЮ, КОБАЛЬТУ, ГІДРОТЕРМАЛЬНИЙ СИНТЕЗ, МЕХАНІЧНЕ ЗМІШУВАННЯ, НАНОРОЗМІРНІ ПОРОШКИ, КОЛЬОРОВА КЕРАМІКА, ZTA-КОМПОЗИТИ.

**Публікації**

Глабай М. С. Дослідження фазових рівноваг в системі ZrO2–NiO при низькому вмісті NiO для створення керамічних паливних комірок / М. С. Глабай, Я. С. Тищенко, Є. М. Бродніковський, М. М. Бричевський, С. М. Лакиза // Современные проблемы физического материаловедения. – Киев, ИПМ НАН Украины. – 2014. – № 23. – С. 28-33.

Дудник Е.В. Низкотемпературный синтез α-Al2О3 / Е.В. Дудник, Я.С. Тищенко, В. В. Цукренко, А.К. Рубан, В.П. Редько, В.М. Верещака // Порошковая металургія. – 2015. – №7/8.– С.79-86.

ШевченкоА. В. Синтез и исследование высокочистого нанокристаллического порошка твердого раствора CeO2 и Y2O3 в диоксиде циркония / А. В. Шевченко, В. В. Лашнева, О. К. Рубан, В.В. Цукренко, О.В. Дудник // Порошковая металлургия. – 2015. – №9/10.–С.53-59.

Смирнова-Замкова М.Ю. Випарники на основі Al2O3 для спрямованого транспорту лікарських речовин / М. Ю. Смирнова-Замкова, І. О. Марек, О. К. Рубан, О. В. Дуднік // Збірник наукових праць ПАТ «УКРНДІ Вогнетривів ім. А. С. Бережного». 2015. № 115. С. 94-98.

Fabrichnaya O. New experimentalin vestigations of phase relationsintheYb2O3–Al2O3and ZrO2–Yb2O3–Al2O3 systems and assessment of thermodynamic parameters / O. Fabrichnaya, S. M. Lakiza, M. J. Kriegel, J. Seidel, G. Savinykh, G. Schreiber // Journal of the European Ceramic Society. – 2015. – Vol. 35. – P. 2855-2871.

Jean-Claude Tedenac, Alina Makudera, Vladimir Cheverikin, Gautam Ghosh and MSIT ® (2015) G. Effenberg (ed.) MSI Eureka in Springer Materials. Mo–Ta–W Ternary Phase Diagram Evaluation <http://materials.springer.com/msi/docs/sm_msi_r_10_018990_01>.

Vladimir Cheverikin, Gautam Ghosh, Alina Makudera, Jean-Claude Tedenac and MSIT ® (2015) G. Effenberg (ed.) MSI Eureka in Springer Materials. Nd–Ta–Ti Ternary Phase Diagram Evaluation <http://materials.springer.com/msi/docs/sm_msi_r_10_022961_01>.

Vladimir Cheverikin, Gautam Ghosh, Alina Makudera, Jean-Claude Tedenac and MSIT ® (2015) G. Effenberg (ed.) MSI Eureka in Springer Materials. Mo–Nd–Ti Ternary Phase Diagram Evaluation <http://materials.springer.com/msi/docs/sm_msi_r_10_021856_01>.

Nicolas A. Mayer, Olga Fabrichnaya, Liya Dreval, Songmao Liang, Sergij M. Lakiza, Andry Watson and MSIT ® (2015) G. Effenberg (ed.) MSI Eureka in Springer Materials. Co–Cu–O Ternary Phase Diagram Evaluation <http://materials.springer.com/msi/docs/sm_msi_r_10_016424_01>.

Тищенко Я.С. Ізотермічні перерізи діаграми стану системи Al2O3–TiO2–Y2O3 при 1400 та 1550 °С / Я.С. Тищенко, С.М. Лакиза // Порошковая металлургия. 2016. №11/12.

Цукренко В.В. Влияние микродобавки СоО на свойства нанокристаллического порошка в системе ZrO2–Y2O3–CeO2–Al2O3 / В.В. Цукренко, А.К. Рубан, В.П. Редько, Е.В. Дудник // Порошковая металлургия. 2016. №1/2. С.41-50.

Тищенко Я.С. Ізотермічні перерізи діаграми стану системи Al2O3–TiO2–Y2O3 при 1550 °С / Я.С. Тищенко, С.М. Лакиза // Тр. ИПМ им. И. Н. Францевича НАН Украины “Соврем. пробл. физич. материаловеденья”. – Киев, ИПМ НАН Украины. – 2016. – № 25. – С. 29-33.

Дудник Е.В. Нанокристаллические оксидные порошки для микроструктурного проектирования материалов / Е.В. Дудник, С.М. Лакиза, В.В. Цукренко, Я.С. Тищенко, А.К. Рубан, В.П. Редько, // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2016 – т.14, №4. – C. 561-575.

Глабай М. С. Ізотермічний переріз діаграми стану системи Al2O3–ZrO2–NiO при 1550 °C / М. С. Глабай, С. М. Лакиза, Я. С. Тищенко, М. М. Бричевський, Е.В. Дудник // Збірник наукових праць ПАТ «УКРНДІ Вогнетривів ім. А. С. Бережного». 2016. № 116. С. 93-97.

Марек І.О. Властивості нанокристалічних порошків системи ZrO2–Y2O3–CeO2 після гідротермального синтезу / І.О. Марек, О.К. Рубан, В.П. Редько, О.В. Дуднік // Збірник наукових праць ПАТ «УКРНДІ Вогнетривів ім. А. С. Бережного». 2016. № 116. С. 86-92.

Смирнова-Замкова М.Ю. Синтез та фізико-хімічні властивості нанокристалічного порошку ZTA евтектичного складу / М.Ю Смирнова-Замкова, О.К. Рубан, В.П. Редько, О. В. Дуднік // Збірник наукових праць ПАТ «УКРНДІ Вогнетривів ім. А. С. Бережного». 2016. № 116. С. 110-115.

Дудник Е.В. Нанокристалічні порошки системи ZrO2–Y2O3–CeO2–Al2O3–CoO для мікроструктурного проектування кольорових композитів на основі ZrO2 / Е.В. Дудник, В.В. Цукренко, М.С. Глабай, А.К. Рубан, В.П. Редько, О.І. Хоменко // Порошковая металлургия. – 2017. – №7/8. – С. 56-67.

Тищенко Я.С. Фазові рівноваги в системах Al2O3–TiO2−Y(Er)2O3 при 1400 °C / Я.С. Тищенко, М. С. Глабай, А. О. Макудера, С.М. Лакиза, Е.В. Дудник // Журнал “Вісник ОНУ. Хімія”. 2017. № 4. С. 94-100.

Марек І.О. Нанокристалічні порошки на основі ZrO2 для виготовлення композитів, стійких до процесу старіння / І.О. Марек, О.К. Рубан, В.П. Редько, О.В. Дуднік Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2017 – т.15, №1. – C. 91-98.

Смирнова-Замкова М.Ю. Властивості нанокристалічного порошку складу (мас.%) 90% Al2O3 – 10% ZrO2, одержаного методом гідротермального синтезу / механічного змішування / М.Ю. Смирнова-Замкова, В.П. Редько, О.К. Рубан, О.В. Дуднік // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2017 – т.15, №1. – C. 309-317.

Глабай М.С. Синтез та властивості нанокристалічних порошків складу 90 ваг.% ZrO2 (3Y2O3, 2CeO2)–10 ваг.% Al2O3, легованих CoAl2O4 / М.С. Глабай, В.П. Редько, В.В. Цукренко, А.К. Рубан, Е.В. Дудник // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2017 – т.15, №2. – C. 319-328.