**Звіт про науково-дослідну роботу: „ Розроблення нового покоління керамічних плівкових паливних комірок на керамічному та металокерамічному анодах для роботи при 600 °С”**

**Мета роботи** - структурна оптимізація паливної комірки з керамічним електролітом 1Ce10ScSZ та створення теорії структурної чутливості його механічної поведінки і киснево-йонної провідності.

Терміни виконання наукової роботи: початок І кв. 2012 р.

закінчення IV кв. 2016 р.

**Керівник роботи**: Васильєв Олександр Дмитрович, д. ф.-м. н., (Email:fsa@ipms.kiev.ua)

**Скорочений зміст висновків рецензентів.**

В роботі на високому експериментальному рівні вивчено закономірності формування структури складових паливної комірки та впливу взаємної дифузії складових на властивості КГЖ, що дозволяє передбачати робочі характеристики пристрою та ефективно корегувати склад складових. Це може дозволити збільшити ресурс КПК, а отже знизити ціну за рахунок збільшення терміну ефективної експлуатації.

В роботі встановлено, що в діапазоні температур 400 - 900 °С електроліти 1Се10Sс82 мають високо та низькотемпературні енергії активації руху іонів в кристалі. В ході дослідження дифузійних процесів між складовими паливної комірки було встановлено, що водень сприяє дифузійним процесам, навіть при порівняно низьких температурах (600 °С).

**Пропозиції про подальше використання результатів роботи.**

Результати роботи мажуть бути використані при виробництві керамічних паливних

комірок та паливно-комірчаних систем на їхній основі.

Дані про реєстрацію роботи: № 0112U002093

**РЕФЕРАТ**

Об’єктом дослідження є закономірності формування будови керамічного електроліту складу 1Ce10ScSZ (1-мол. % Ce – 10-мол. % Sc – 89-мол. % ZrO2) та її впливу на його механічну поведінку і киснево-йонну провідність.

Метою дослідження є структурна оптимізація паливної комірки з керамічним електролітом 1Ce10ScSZ та створення теорії структурної чутливості його механічної поведінки і киснево-йонної провідності.

Методи дослідження: просвічуюча і скануюча електронна мікроскопія, х-променевий фазовий аналіз, випробування на міцність при двовісному згині, імпендансова спектроскопія, оцінка щільності, математичне моделювання.

Вважаючи процеси консолідації порошків та вдосконалення структури їхньої кераміки термоактивованими, винайдено співвідношення, які встановлюють залежності міцності від розмірів зерен / субзерен, поруватості, якості меж поділу, механізмів руйнування та температури спікання.

Створено феноменологічну теорію утворення структури керамічного і плівкового, осадженого за допомогою електронного променя, електроліту 1Ce10ScSZ під дією особливостей вхідного матеріалу, теплової і механічної енергії, та структурної чутливості його механічної поведінки і киснево-йонної провідності. Розроблені уявлення базуються на даних щодо стану внутрішніх меж поділу, нано- і мікромеханізмів руйнування та розміру складових структури і поруватості, які є характерними для спечених матеріалів.

Створено концепцію оптимізації будови керамічної паливної комірки.

**Ключові слова:** КЕРАМІЧНА ПАЛИВНА КОМІРКА; ЕЛЕКТРОЛІТ; ДВООКИС ЦИРКОНІЮ 10Sc1CeSZ; МЕЖІ ПОДІЛУ; МЕХАНІЗМИ РУЙНУВАННЯ; ІМПЕДАНСНА СПЕКТРОСКОПІЯ; СТРУКТУРНА ОПТИМІЗАЦІЯ.

**Публікації**

1. О. Vasylyev, М. Brychevskyi, І. Brodnikovskyi, S. Firstov, М. Andrzejczuk, М. Spychalski, М. Lewandowska, К. Kurzydlowski, R. Steinberger-Wilckens, J. Mertens, and J. Malzbender. Nucleation and Growth Mechanisms of Zirconia Film Deposited on Porous Nickel Oxide - Zirconia Substrate by Electron Beam - Physical Vapor Deposition. Advances in Ceramic Science and Engineering, Vol.3,2014, 25-35.
2. Andrzejczuk, Mariusz, Vasylyev, Oleksandr, Brychevskyi, Mykola, Smirnova, Alevtina, Lewandowska, Malgorzata, Kurzydlowski, Krzysztof, Steinberger-Wilckens, Robert, Mertens, Josef, and Haanappel, Vincent, "Structural Features and Gas Tightness of EB-PVD ICelOScSZ Electrolyte Films," Mater. Sci. - Poland, <http://www.mat> erials- science.pwr.wroc.pl/DOI: 10.2478/sl 3536-012-0025-0
3. O. Vasylyev, M. Brychevskyi, Y. Brodnikovskyi, 1. Brodnikovska, S. Firstov. The boundaries and their impact on properties of zirconia electrolyte. Electron Microscopy and Strength of Materials, Vol. 21, Proc. Institute for Problems of Materials Science, Ser. Physical Materials Science, Structure and Properties of Materials, Ed. S. Firstov et al, Kyiv, 2015, p. 47-62.
4. Grzonka J. Characterization of Sc203&Ce02—Stabilized Zr02 powders via co-precipitation

or hydrothermal synthesis / [J. Grzonka, V. Vereshchak, O. Shevchenko et al.] // Microscopy and Microanalysis. - 2013. - 19, S5. - P. 29-32.

1. Kyrpa O. On the dependence of oxygen ionic conductivity of lOSclCeSZ electrolytes on temperature of their sintering / [O. Kyrpa, O. Vasylyev, M. Brychevskyi et al.] // DOI: 10.13140/RG.2.1.3916.9360. - 2016.
2. О.П. Остапі, Б.Д. Василів, В.Я. Подгурська, О.Д. Васильєв, Є.М. Бродниковський. Вплив температури відновлювально-окислювального циклування на структуру і фізико-механічні властивості кераміки YSZ-NiO. Фізико-хімічна механіка матеріалів.
3. - №4. - С.81-86
4. І. Brodnikovska. Characterization of SOFC electrolytes using impedance spectroscopy analysis (overview), Electron Comm, 2015, Vol. 20, №1 (84) 9-17.
5. O. Vasylyev, M. Brychevskyi, Y. Brodnikovskyi, I. Brodnikovska, S. Firstov. The boundaries and their impact on properties of zirconia electrolyte. Electron Microscopy and Strength of Materials, Proc. Institute for Problems of Materials Science, Ser. Physical Materials Science, Structure and Properties of Materials, Ed. S. Firstov et al, Kyiv, Vol. 21,
6. p. 47-62. / DOI: 10.13140/RG.2.1.3295.1449

10.0. Vasylyev, М. Brychevskyi, Ye. Brodnikovskyi. The Structural Optimization of Ceramic Fuel Cells. Universal Journal of Chemistry 4(2): 31-54, 2016, DOI:

10.13189/ujc.2016.040201

1. Yehor Brodnikovskyi, Bogdan Vasyliv, Viktoriya Podhurska, Mariusz Andrzejczuk, Nikkia McDonald, Oleksandr Kyrpa, Orest Ostash, Oleksandr Vasylyev, Robert Steinberger- Wilckens, Malgorzata Lewandowska. Influence of reduction conditions of NiO on its mechanical and electrical properties, J. Electrochem. Sci. Eng. 6(1) (2016) 113-121; doi: 10.5599/jese.220
2. Oleksandr Vasylyev, Mykola Brychevskyi, Iegor Brodnikovskyi, Mariusz Andrzejczuk, Maciej Spychalski, Malgorzata Lewandowska, Josef Mertens. EB-PVD Helium-Tight Zirconia Ceramic Coating on Porous Ceramic Substrate, Zastita Materijala 57 (2) 244 - 252 (2016)
3. Yu. Basaraba, Ye. Brodnikovskyi, M. Brychevskyi, N. Lysunenko, I. Polishko, O. Vasylyev, I. Perekopskyi. The quasi-perpetual electricity generating device based on ceramic fuel cell for closed systems. 7th Avia Congress, Kyiv, 2016. To be published.
4. V. Podhurska, B. Vasyliv, O. Ostash, Ye. Brodnikovskyi, O. Vasylyev. Influence of Treatment Temperature on Microstructure and Properties of YSZ-NiO Anode Materials. Nanoscale Research Letters (2016) 11:93
5. Бродніковський Є.М. Керамічні паливні комірки. Вісн. HAH України, 2016, № 2.-91- 95 с.
6. В. Vasyliv, О. Ostash, V. Podhurska, and О. Vasylyev. A Procedure of Treatment of NiO- Containing Anodes of Solid Oxide Fuel Cells, Patent of Ukraine, No.78992, April 10, 2013, in Ukrainian.
7. O. Ostash, T. Prikhna, A. Ivasyshyn, V. Podhurska, T. Basyuk, O. Vasylyev, Ye. Brodnikovskyi. Heat Resistant Material for Fuel Cells, Patent of Ukraine, No.94545, November 11, 2014, in Ukrainian.
8. Патент на винахід №111082 «Матеріал для виготовлення з’єднувальних елементів твердооксидних паливних комірок». Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи 25.03.2016. Осташ О.П., ПріхнаТ.О., Івасишин А.Д., Подгурська В.Я., Басюк Т.В., Васильєв О.Д., Бродніковський Є.М.
9. Патент на корисну модель №107260 «Пристрій для ЗО-друкування за допомогою концентрованого сонячного випромінювання». Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25.05.2016. Солоній Ю.М., Васильєв О.Д., Бродніковський Є.М., Литвинєнко Ю.М.
10. Brodllikovska І. On the impedance spectroscopy of ceria doped scandia stabilized zirconia solid electrolyte / [I. Brodnikovska, M. Brychevskyi, Ye. Brodnikovskyi et al.] // To be published in J. Electrochem. Sci. Eng. - 2017.