

Механічна поведінка та електрична провідність оксидно-цинкової кераміки

Є. М. Островерх^{1*}, І. О. Полішко¹, Д. М. Бродніковський¹,
Л. Л. Коваленко², А. В. Самелюк¹, О. Д. Васильєв¹,
А. С. Островерх¹

¹Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України
03142, Київ, Україна, вул. Кржижановського, 3

*E-mail: yevhenii.ostroverkh@gmail.com

²Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського НАН України
03142, Київ, Україна, пр. Палладіна, 32/34

Кераміку, спечену з порошків оксиду цинку, які відрізняються між собою кристалічною структурою, розміром частинок та кількістю і типом домішок, вивчено щодо її механічної поведінки (міцність та мікромеханізми руйнування на двовісний згин за кімнатної температури) та електричної провідності в залежності від чистоти порошку ZnO (99,9 та 99,5% (мас.)) і температури його спікання в інтервалі 800—1250 °C протягом 2 год. Встановлено, що максимальні значення міцності та електричної провідності досягаються в ZnO-кераміці, спеченій за температур 1100—1200 та 1000—1150 °C відповідно, а мікромеханізмом руйнування керамік з обох ZnO-порошків є виключно відкол.

Ключові слова: оксид цинку, кераміка, температура спікання, поруватість, розмір зерна, мікромеханізм руйнування, міцність на згин, електрична провідність, енергія активації.

Вступ

Головною особливістю водневої енергетики є компенсація переривчастого добутку енергії з відновлювальних джерел за рахунок одержання та зберігання водню в поновлюваному замкненому циклі зеленої енергії. Водень, як носій енергії, є універсальним, чистим та безпечним видом палива. Він може бути використаний для виробництва електрики і тепла, а також як сировина для промисловості. Розвиток водневої енергетики впроваджує використання найефективнішого перетворювача енергії, а саме паливної комірки (ПК). Паливна комірка, на відміну від багатостадійного та неефективного перетворення енергії за допомогою теплових двигунів, турбін, динамічних машин тощо, здійснює одностадійне пряме перетворення хімічної енергії, яка міститься в паливі та його окиснювачі, в електричну і теплову енергію, виробляючи разом з тим надзвичайно важливий продукт — чисту воду.

Серед розмаїття ПК керамічні паливні комірки (КПК) з твердооксидним керамічним електролітом відносять до найефективніших перетворювачів енергії, але порівняно висока робоча температура (600—900 °C) уповільнює широке впровадження енергетичних систем на їхній основі. Зазвичай серцем КПК є структура з електродів (анода та катода) та розташованого між ними електроліту на основі кераміки з оксиду цирко-

© Є. М. Островерх, І. О. Полішко, Д. М. Бродніковський, Л. Л. Коваленко,
А. В. Самелюк, О. Д. Васильєв, А. С. Островерх, 2020

нию [1, 2]. Вирішення питань збільшення йонної, кисневої чи водневої (протонної) провідності електроліту та каталітичної активності електродів зосереджують науковців на всебічному структурному вивченні та оптимізації властивостей матеріалів КПК.

В цій роботі досліджено властивості кераміки на основі оксиду цинку.

Хоча основне застосування оксид цинку знайшов у виробництві варисторів, складових опто- та акустичної електроніки, для створення джерел [3] і приймачів світла, п'єзоелектричних перетворювачів, датчиків, пристроїв управління інтенсивністю світлових потоків, в системах запису і зберігання інформації тощо [4], достатньо висока провідність допованого оксиду цинку [5] дозволяє розглядати цей матеріал як додаткову [6—10] чи навіть основну складову КПК [5, 11].

Матеріали та методи дослідження

Для вивчення властивостей кераміки з оксиду цинку для її спікання використали два типи порошку ZnO, які між собою відрізняються за хімічною чистотою (дані зведені у табл. 1) та морфологічними особливостями. По кількості ZnO на загал порошок типу I має 99,9% (мас.), порошок типу II — 99,5% (мас.).

Морфологію порошоків обох типів досліджували за допомогою просвітлювального електронного мікроскопа (ТЕМ JEM 100СХІІ, JEOL, Японія), а морфологію порошкових агломератів та мікромеханізми руйнування кераміки — за допомогою сканувального електронного мікроскопа Superprobe-733 (JEOL, Японія).

Хімічний склад та структуру порошоків визначали з використанням спектрального аналізу та X-променів. Результати досліджень домішок, наявних в порошках, та їхній відсотковий вміст зведені до табл. 1. Дослідження показали, що порошки є відчутно різними; вони мають різні структурні типи та кількість домішок, а також різні геометричні властивості, які наведені у табл. 2 (визначено з ТЕМ). Розмір частинок порошку типу I в порівнянні з порошком типу II практично вдвічі менший. Порошок типу I є кубічним і в цілому значно чистішим за порошок типу II. Найбільшими за кількістю домішками у порошок типу I є Cd, Ni та S, а у порошок типу II є лужні метали Ca, Na та Pb. Порошок типу I був придбаний у Перу, типу II — вироблений в ППМ (Україна).

Зразки кераміки діаметром 15 мм і товщиною 2 мм одержували одночасним пресуванням під тиском ~30 МПа з подальшим спіканням в інтервалі температур 800—1250 °C зі швидкістю нагріву 200 град/год та з ізотермічною витримкою 2 год у повітряній печі VMK 1600, Linn High Therm (Німеччина) без додавання будь-яких домішок, які б впливали на спікання.

Результати та їх обговорення

Спечені зразки кераміки були плоскими без видимих дефектів поверхні. Зразки без будь-якої попередньої обробки їхніх поверхонь досліджували на двовісну міцність за допомогою універсальної машини типу "Інстрон", виготовленої в колишньому СРСР, за кімнатної температури зі швидкістю навантаження 10^{-3} с^{-1} . Злами зразків кераміки після їхнього руйнування вивчали за допомогою сканувального електронного мікроскопа Superprobe-733 (SEM) щодо дефектів, структури

Т а б л и ц я 1. Хімічний склад порошоків ZnO типів I і II чистотою 99,9 та 99,5% (мас.) відповідно

Елемент	Тип I	Тип II
Cl	0,0005	0,005
SO ₄	Не визначено	0,005
NO ₃	Не визначено	0,0005
Fe	0,0005	0,001
As	0,0001	0,0001
Na	Не визначено	0,025
K	Не визначено	0,005
Ca	Не визначено	0,01
Cu	0,0002	0,0005
Pb	0,002	0,01
Mn	0,0001	0,0002
KMnO ₄	Не визначено	0,008
S	0,002	Не визначено
Ni	0,0001	Не визначено
Cd	0,004	Не визначено

Т а б л и ц я 2. Геометричні та структурні властивості порошоків ZnO

Тип порошку	Розмір частинок, нм	Структура
I	150—200 (ТЕМ)	Гексагональна
II	300—350 (ТЕМ)	Гексагональна

та мікромеханізмів руйнування. Поруватість зразків вимірювали методом гідростатичного зважування.

Дані щодо впливу температури спікання на поруватість та двовісну міцність кераміки з оксиду цинку наведені на рис. 1. Видно, що поруватість зразків обох типів суттєво зменшується зі збільшенням температури спікання порошоків.

Щільною кераміка з порошоків оксиду цинку обох типів стає за температури спікання вище ~1100—1150 °С (рис. 1, *a*). Пори розташовані в основному по межах зерен. Розмір пор зростає з підвищенням температури спікання, становлячи 0,1—2,5 та 0,5—3,5 мкм за максимальної щільності в кераміках типів I та II відповідно (рис. 1, *b*). Втім, невелика кількість досить великих пор розміром до 10 мкм в обох кераміках також може бути визначена.

Очевидно (рис. 1, *b*), що з підвищенням температури спікання розмір зерна ZnO-кераміки експоненційно зростає від ~0,5 до 2,2 і 3,3 мкм за температур 900 і 1100 °С в кераміках типів I і II відповідно.

Міцність ZnO-кераміки (рис. 1, *в*) збільшується з ростом температури спікання. Разом з тим на її залежностях від температури спікання можна розрізнити по два інтервали температур: 900—1100 і 1100—1250 °С.

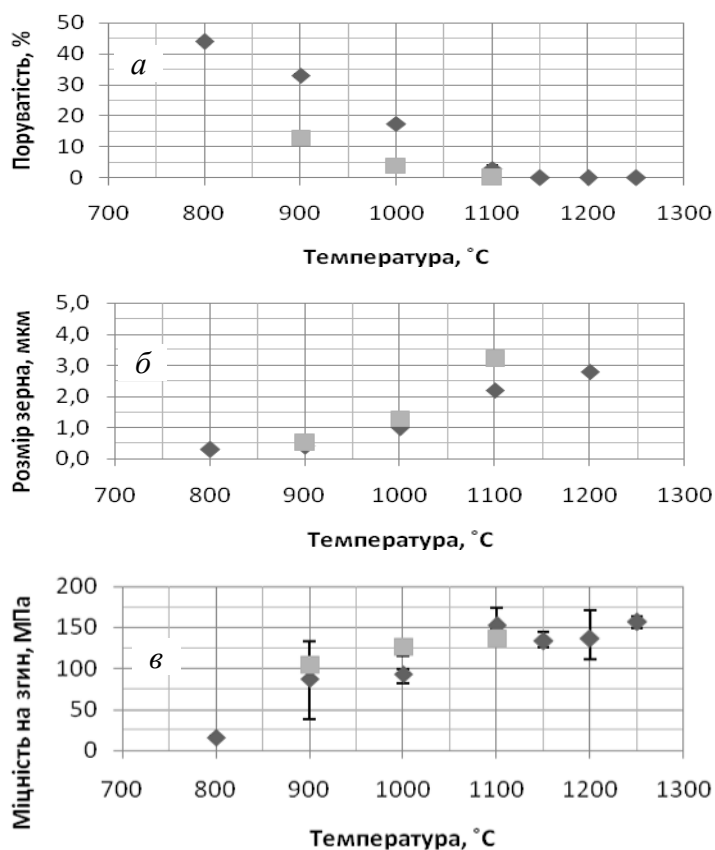


Рис. 1. Залежності поруватості (а), розміру зерна (б) та міцності на двовісний згин (в) керамік, виготовлених з порошків ZnO типів I (◆) та II (□), від температури спікання у повітрі.

В інтервалі 900—1100 °C міцність повільно збільшується до ~150 МПа, коли кераміка наближається до максимального ущільнення з температурою спікання. З подальшим підвищенням температури спікання в інтервалі 1100—1250 °C міцність практично тримається цього досягненого рівня.

СЕМ фрактографія відносить руйнування ZnO-кераміки до крихкого. Щодо його мікромеханізму, то фрактографічний аналіз свідчить, що ним є відкол в усіх зразках обох керамік, спечених за температури 1000 °C і вище (рис. 2). Зображення поверхні відколу в усіх досліджених випадках, як видно, є типовим для оксидної полікристалічної кераміки простої кубічної структури, чим є ZnO, практично без розтріскувань і міжзеренного руйнування. Дільниці меж зерен можна спостерігати лише у великих порах, оскільки вони є, як вже вказувалось, міжзеренними.

За своїм виглядом у скануючому електронному мікроскопі обидві ZnO-кераміки є подібними. Різниця між ними полягає лише у розмірі зерен та пор, які виявляються в зламах. У зламах кераміки типу II вони є дещо більшими і тому дещо яскравішими на СЕМ зображеннях.

Дані щодо електричної провідності обох ZnO-керамік, спечених за різних температур, представлені на рис. 3 в координатах рівняння Арреніуса. Зазвичай ці залежності є лінійними в доволі широких інтервалах температур, що методично досить легко можна враховувати енергію

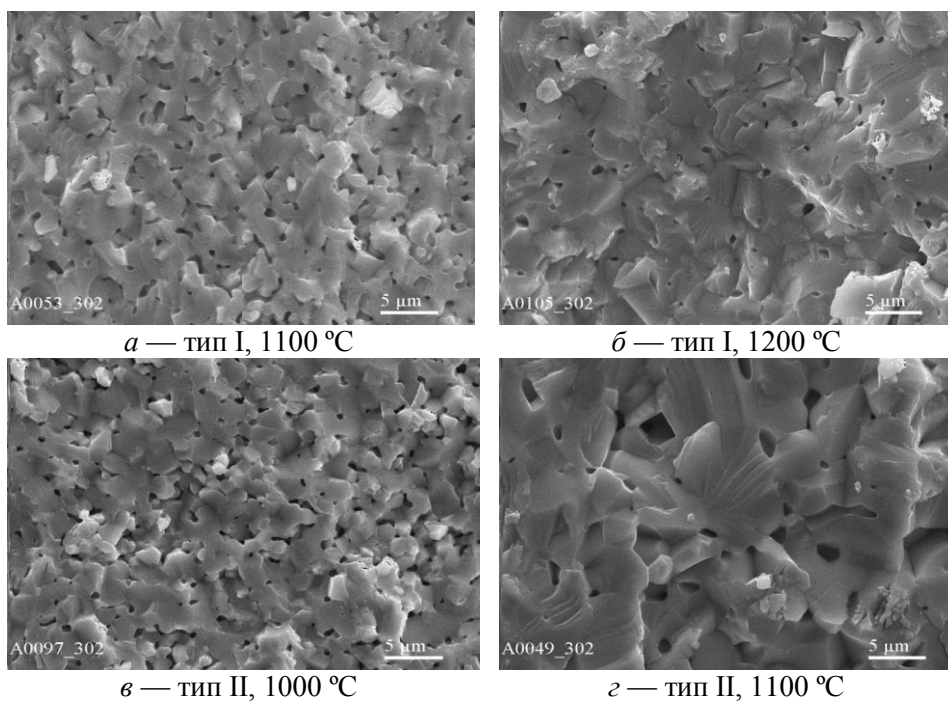


Рис. 2. СЕМ зображення зламів ZnO-керамік з порошків типів I і II, спечених за різних температур.

активації термоактивованих процесів, якими є дифузії йонів кисню та електронів у оксидних кераміках.

На отриманих залежностях і у випадку кераміки, зробленої з порошку оксиду цинку типу I, і у випадку кераміки типу II видно відхилення від однолінійної поведінки в усьому інтервалі температур випробування, навіть з двома перегинами, що особливо є характерним для кераміки типу II. Подібну поведінку провідності спостерігали і раніше в ZnO-плівках [12—14].

Порівнюючи ZnO-кераміки обох типів, зазначимо, що провідність ZnO-кераміки з порошку типу I є дещо вищою, ніж кераміки типу II (рис. 3, *a*). Кераміка ZnO типу I, спечена за температури 1200 °C, досягає своєї максимальної провідності $8,54 \cdot 10^{-3}$ См/см вже за температури випробування 265 °C. Кераміка ZnO типу II демонструє свою максимальну провідність, яка становить лише $1,6 \cdot 10^{-3}$ См/см, за значно вищої температури, а саме 600 °C, але будучи спеченою за суттєво нижчої температури — 1000 °C.

Такий розбіжний вплив температур випробування на електричну провідність і спікання порошків матеріалу на провідність ZnO-кераміки, виготовленої з різних за типами порошків ZnO, свідчить не тільки про складний вплив геометричних і хімічних параметрів структури ZnO-кераміки на її загальну провідність, а й про співвідношення між складовими провідності (електронна та йонна) в залежності від температури випробувань, які, у дивний спосіб взаємодіючи між собою, дають ілюзію лінійних залежностей в деяких інтервалах температур випробування. Чистий ZnO є напівпровідником *n*-типу, а загальна електрична провідність ZnO-кераміки має суттєву киснево-йонну складову настільки високу, що спонукає деяких авторів використовувати ZnO-кераміку як електроліт паливної комірки [5 та інші].

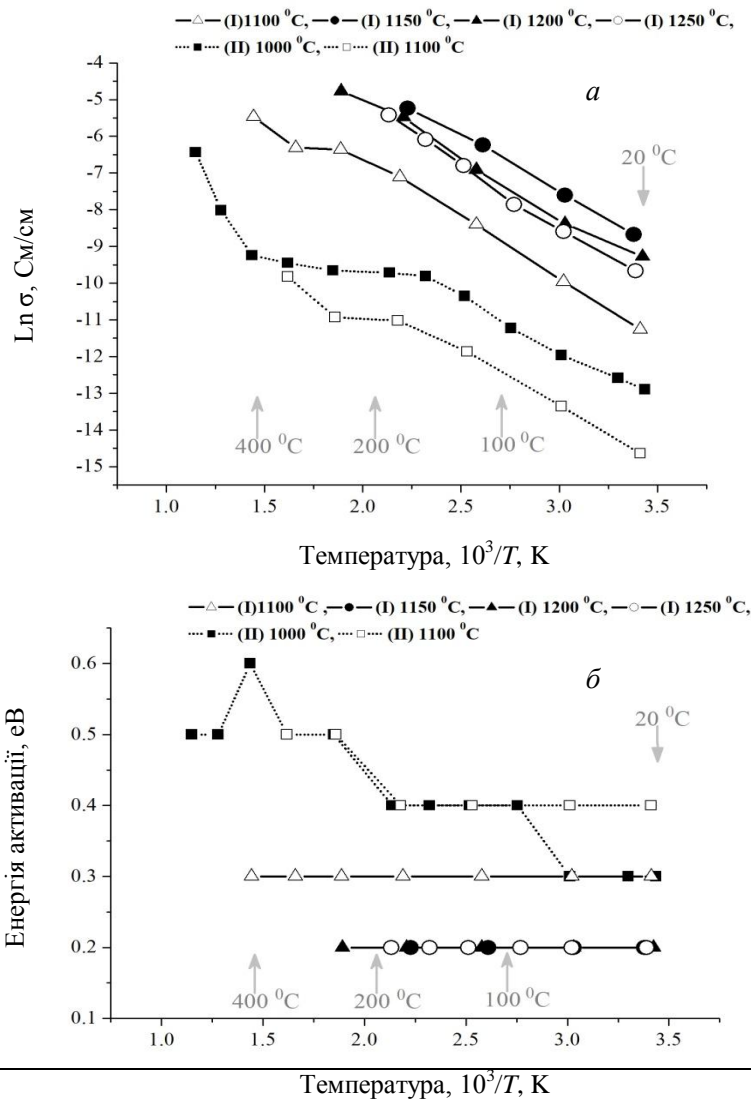


Рис. 3. Електрична провідність (а) та енергія активації (б) ZnO-кераміки типу I, спеченої в інтервалі 1100—1250 °C та кераміки типу II, спеченої за температур 1000 та 1100 °C.

Щодо енергії активації електричної провідності відмітимо, що ZnO-кераміка типу I має меншу, ніж кераміка типу II, енергію активації — 0,2—0,3 та 0,3—0,5 eV відповідно (рис 3, б).

За впливом температури випробування на енергію активації досліджені ZnO-кераміки є суттєво відмінними. Кераміка типу I має незмінні з температурою випробування енергії активації. Спечені за температур 1100, 1150 та 1200 °C зразки мають енергію активації 0,2 eV, спечені за температури 1250 °C — 0,3 eV, причому без помітних перегинів (рис. 3, б). Так, за низьких температур поблизу кімнатної енергія активації провідності становить 0,3 eV. В інтервалі 80—280 °C енергія активації збільшується і дорівнює 0,4 eV, а за вищих температур — вже 0,5 eV.

Така складна поведінка електричної провідності ZnO-кераміки в залежності від температур спікання, відповідальних за формування

структури матеріалу, та випробування, які відповідають за тип провідності, потребує подальшого глибокого вивчення будови кераміки і її впливу на складові її провідності. У підсумку, це надзвичайно коштовне дослідження приведе до оптимізації структури і властивостей електрогенеруючих систем, що, у свою чергу, позначиться на тривкій сталості їхніх споживчих властивостей.

Висновки

Порівняльне вивчення ZnO-порошків двох типів, які відрізняються між собою кристалічною структурою, розміром частинок та кількістю і типом домішок, та відповідної з них кераміки показало наступне.

Порошки ZnO добре спікаються, забезпечуючи щільну кераміку з одночасно пресованих порошків, спечених за температур 1100 °C і вище. Придбаний порошок (тип I), частинки якого вдвічі менші за розміром, ніж у розробленому в ІПМ ZnO-порошку (тип II), — 150—200 нм замість 300—350 нм, показав близьку до 100% щільність вже за температури 1150 °C, проте ІПМ-порошок спікається за температури практично на 100 °C нижчій, ніж придбаний.

Розмір зерна в ZnO-кераміці, виготовленій з порошків типів I та II, становить в середньому 2 і 3 мкм відповідно.

Кераміка типу I демонструє двохісну міцність за кімнатної температури 150—170 МПа; типу II — 120—160 МПа.

Мікромеханізмом руйнування керамік з обох ZnO-порошків є виключно відкол.

Кераміка ZnO з порошків I та II типів забезпечує максимальні електричні провідності $8,54 \cdot 10^{-3}$ і $1,6 \cdot 10^{-3}$ См/см за температур випробування 265 і 600 °C відповідно.

Енергія активації електричної провідності ZnO-кераміки є суттєво залежною від властивостей порошку і, відповідно, структури кераміки та температури випробування. Кераміка ZnO типу I в порівнянні з керамікою типу II має меншу енергію активації провідності — 0,2—0,3 та 0,3—0,5 eV відповідно. Механізм електричної провідності ZnO-кераміки типу I є практично незмінним в усьому інтервалі температур випробування, від кімнатної до 600 °C. В ZnO-кераміці типу II він змінюється принаймні двічі.

Автори вдячні НАН України за підтримку досліджень за проектом III-9-19 “Структурно-оптимізовані електроди керамічної паливної комірки” (2019—2021), НФДУ — за проектом 2020.02/0301 “Підтримка досліджень провідних та молодих учених” (2020—2022). Автори вдячні також канд. фіз.-мат. наук А. І. Євтушенко (ІПМ НАН України) за плідне обговорення результатів досліджень.

Список літератури

1. Vasylyev O.D., Brodnikovskiy Y.M., V'yunov O.I., Kovalenko L.L., Yanchevskii O.Z., Belous A.G. Zirconium oxide stabilized by scandium (III) and cerium (IV) complex oxides as the basis for preparation of thick films and multilayers structures for low temperature (600 °C) fuel cell french-Ukrainian *J. Chem.* 2018. Vol. 06. I. 01.

2. Vasylyev O.D., Brodnikovskiy Y.M., Brychevskiy M.M., Polishko I.O., Ivanchenko S.E., Vereshchak V.G. From powder to power: Ukrainian way. *J. Mater. Chem Eng.* 2018. Vol. 1. P. I.1.
3. Лашкарев Г.В., Карпина В.А., Лазоренко В.И., Евтушенко А.И., Штеплюк И.И., Храновский В.Д. Свойства оксида цинка при низких и средних температурах. *Физика низких температур.* 2011. Т. 37, № 3. С. 289—300.
4. Sotirios Baskoutas. Special issue: zinc oxide nanostructures: synthesis and characterization. *Materials.* 2018. Vol. 11. P. 873; doi: 10.3390/ma11060873.
5. Chen Xia, Zheng Qiao, Chu Feng, Jung-Sik Kim, Baoyuan Wang, Bin Zhu. Study on zinc oxide-based electrolytes in low-temperature solid oxide fuel cells. *Materials.* 2018. Vol. 11. P. 40; doi: 10.3390/ma11010040.
6. Liu Y., Lao L.E. Structural and electrical properties of ZnO-doped 8 mol% yttria-stabilized zirconia. *Solid State Ionics.* 2006. Vol. 177. P. 159—163.
7. Zheng Qiao, Chen Xia, Yixiao Cai, Muhammad Afzal, Hao Wang, Jinli Qiao, Bin Zhu. Electrochemical and electrical properties of doped CeO₂—ZnO composite for low-temperature solid oxide fuel cell applications. *J. Power Sources.* 2018. Vol. 392. P. 33—40; <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.04.096>.
8. You Hong-xin, Guo-dong Gao, Liang Zhou, Abudula Abulti. Power generating performances of ethanol on the SOFC with Ni—ZnO—ZrO₂—YSZ anode nickel instead of ZnO to prepare anode catalyst by citric acid sol-coagulation-gel method. *J. Fuel Chem. Technology.* 2010. Vol. 38(1). P. 116—120.
9. Raphael Fortes Marcomini, Dulcina Maria Pinatti Ferreira de Souza. Microstructural and electrical features of yttrium stabilised zirconia with ZnO as sintering additive. *Mater. Res.* 2016. Vol. 19(1). P. 45—50; doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2015-0161>.
10. Raphael F. Marcomini, Dulcina P.F. DeSouza, Michel Kleitz, Laurent Dessemond and Marlu César Steil. Blocking effect of ZnO in YSZ/ZnO composites. *ECS. J. Solid State Sci. and Technology.* 2012; doi: 10.1149/2.004301jss.
11. Chen Xia, Zheng Qiao, Liangping Shen, Xueqi Liu. Semiconductor electrolyte for low-operating-temperature solid oxide fuel cell: Li-doped ZnO. *Int. J. Hydrogen Energy.* 2018; <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.04.121>.
12. Nakagawa M., Mitsudo H. Temperature dependence of conductivity of ZnO. *Surface Sci.* 1986. Vol. 175. P. 157—176.
13. Mujda tCalgar, Saiha Ilican, Yasemin Calgar, Fahrettin Yakuphanoglu. Electrical conductivity and optical properties of ZnO nanostructured thin film. *Appl. Surface Sci.* 2009. Vol. 255. P. 4491—4496.
14. Sawalha A., Abu-Abdeen M., Sedky A. Electrical conductivity study in pure and doped ZnO ceramic system. *Physica B.* 2009. Vol. 404. P. 1316—1320.

References

1. Vasylyev O.D., Brodnikovskiy Y.M., Vyunov O.I., Kovalenko L.L., Yanchevskii O.Z., Belous A.G. Zirconium oxide stabilized by scandium (III) and cerium (IV) complex oxides as the basis for preparation of thick films and multilayers structures for low temperature (600° C) fuel cell. *French-Ukrainian J. of Chemistry.* 2018. Vol. 06. I. 01; <https://doi.org/10.17721/fujcV6I1P16-20>
2. Vasylyev O.D., Brodnikovskiy Y.M., Brychevskiy M.M., Polishko I.O., Ivanchenko S.E., Vereshchak V.G. From powder to power: Ukrainian way. *SF J. Mater. Chem. Eng.* 2018. Vol. 1(1). 1001 p.
3. Lashkarev H.V., Karpyna V.A., Lazorenko V.Y., Evtushenko A.Y., Shtepliuk Y.Y., Khranovskiy V.D. Svoistva oksyda tsynka pry nyzkykh y srednykh temperaturakh [Oxide properties under low and medium temperature]. *Fyzyka nyzkykh temperature.* 2011. Vol. 37, No. 3. P. 289—300 [in Russian].
4. Sotirios Baskoutas. Special issue: Zinc oxide nanostructures: Synthesis and characterization. *Materials.* 2018. Vol. 11. P. 873; doi:10.3390/ma11060873.
5. Chen Xia, Zheng Qiao, Chu Feng, Jung-Sik Kim, Baoyuan Wang, Bin Zhu. Study on zinc oxide-based electrolytes in low-temperature solid oxide fuel cells. *Materials.* 2018. Vol. 11, 40; doi:10.3390/ma11010040.
6. Liu Y., Lao L.E. Structural and electrical properties of ZnO-doped 8 mol% yttria-stabilized zirconia. *Solid State Ionics.* 2006. Vol. 177. P. 159—163.

7. Zheng Qiao, Chen Xia, Yixiao Cai, Muhammad Afzal, Hao Wang, Jinli Qiao, Bin Zhu. Electrochemical and electrical properties of doped CeO₂—ZnO composite for low-temperature solid oxide fuel cell applications. *J. Power Sources*. 2018. Vol. 392. P. 33—40; <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.04.096>.
8. You Hong-xin, Guo-dong Gao, Liang Zhou, Abudula Abulti. Power generating performances of ethanol on the SOFC with Ni—ZnO—ZrO₂—YSZ anode nickel instead of ZnO to prepare anode catalyst by citric acid sol-coagulation-gel method. *J. Fuel Chem. Technology*. 2010. Vol. 38 (1). P. 116—120.
9. Raphael Fortes Marcomini, Dulcina Maria Pinatti Ferreirade Souza. Microstructural and electrical features of yttrium stabilised zirconia with ZnO as sintering additive. *Mater. Res*. 2016. Vol. 19 (1). P. 45—50; doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2015-0161>.
10. Raphael F. Marcomini, Dulcina P.F. De Souza, Michel Kleit, Laurent Dessemond and Marlu César Steil. Blocking effect of ZnO in YSZ/ZnO composites. *ECS J. Solid State Sci. Technology*. 2012; doi: 10.1149/2.004301jss.
11. Chen Xia, Zheng Qiao, Liangping Shen, Xueqi Liu. Semiconductor electrolyte for low-operating-temperature solid oxide fuel cell: Li-doped ZnO. *Int. J. Hydrogen Energy* (2018); <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.04.121>.
12. Nakagawa M., Mitsudo H. Temperature dependence of conductivity of ZnO, *Surface Sci*. 1986. Vol. 175. P. 157—176.
13. Mujdat Calgar, Saiha Ilican, Yasemin Calgar, Fahrettin Yakuphanoglu. Electrical conductivity and optical properties of ZnO nanostructured thin film. *Appl. Surface Sci*. 2009. Vol. 255. P. 4491—4496.
14. Sawalha A., Abu-Abdeen M., Sedky A. Electrical conductivity study in pure and doped ZnO ceramic system. *Physica B*. 2009. Vol. 404. P. 1316—1320.

Mechanical behavior and electrical conductivity of zinc-oxideceramics

Y. M. Ostroverkh, I. O. Polishko, D. M. Brodnikovskiy, L. L. Kovalenko,
A. V. Samelyuk, O. D. Vasylyev, A. S. Ostroverkh

Ceramics sintered from zinc oxide powders, which differ in crystal structure, particle size and amount and type of impurities, have been studied for their mechanical behavior (strength and micromechanisms of biaxial bending at room temperature) and electrical conductivity depending on the purity of ZnO powder (99,9% byweight — type I and 99,5% byweight — type II) and its sintering temperature in the interval from 800 to 1250 °C for 2 hours. It is found that the maximum values of strength and electrical conductivity are achieved in ZnO-ceramics sintered at temperatures of 1100—1200 and 1000—1150 °C, respectively, and their micromechanism of fracture is the cleavage only. ZnO-powder developed (type II), being twice as large as the purchased (type I), 300—350 nm instead of 150—200 nm, provides close to 100% density at 1100 °C, the type II powder is sintering at almost 100 °C lower temperature than the purchased one. Type I ceramics provide biaxial strength at room temperature of 150—170 MPa; type II — 120—160 MPa. ZnO-ceramics from powders of both types provide maximum electrical conductivities of $8,54 \cdot 10^{-3} \text{ S/cm}$ and $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ S/cm}$ at temperatures of 265 and 600 °C, respectively. The activation energy of the electrical conductivity of ZnO-ceramics is dependent significantly on the properties of the powder and, accordingly, the structure of the ceramics and the test temperature. Type I ZnO ceramics have a lower conductivity activation energy than type II, 0,2—0,3 eV and 0,3—0,5 eV, respectively. The mechanism of electrical conductivity of ZnO-ceramics type I is practically unchanged in all the interval of testing temperatures, from the room one to 600 °C. In ZnO-ceramics of the type II, it changes at least twice.

Keywords: zinc oxide, ZnO ceramics, sintering temperature, porosity, grain size, micromechanism of fracture, bending strength, electrical conductivity, activation energy.