

SINTEZA ȘI CARACTERIZAREA AMESTECULUI CuO/CeO₂ OBȚINUT PRIN PRECIPITARE CHIMICĂ ÎN VEDEREA UTILIZĂRII CA ANOD PENTRU SOFC- IT

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF THE CuO/CeO₂ MIXTURE RESULTED FROM CHEMICAL PRECIPITATION IN VIEW OF USING IT AS AN ANODE FOR SOFC- IT

GEORGETA VELCIU^{1*}, ALINA MELINESCU², PETER STORCH³, VIRGIL MARINESCU¹

¹Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Inginerie Electrică ICPE-CA, Splaiul Unirii nr.313, 030138, București, România

²Universitatea "POLITEHNICA" București, Str. Gheorghe Polizu nr. 1, sector 1, cod 011061, București, România

³UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI, Bd. M. Kogălniceanu nr.36-46, 050107, București, România

Scopul prezentei lucrări este de a realiza un material ceramic pe bază de dioxid de ceriu și cupru care să stea la baza optimizării proprietăților unui anod folosit în cazul pilelor de combustie de temperatură intermediară tipul SOFC-IT.

Sinteza materialului s-a realizat prin metoda precipitării. Parametrii rutei de precipitare, (pH-ul soluției precum și temperatura de sinteză) au fost controlați riguros, în vederea obținerii unui material omogen, din particule de oxid de ceriu acoperite uniform cu nanoparticule de oxid de cupru. Materialul obținut a fost caracterizat prin: difracție de RX, microscopie electronică de baleiaj, determinări de suprafață specifică, densitate și porozitate.

Rezultatele caracterizărilor au pus în evidență formarea unui material cu un grad de cristalinitate ridicat și difuzia reciprocă a celor două componente în granule. De asemenea s-a obținut un material cu o porozitate care permite utilizarea lui în celule de tipul SOFC.

The purpose of this paper is to achieve a ceramic material based on cerium dioxide and copper as an attempt to optimize the properties of the anode used for intermediate temperature fuel cells SOFC-IT.

The synthesis of the material was accomplished by the precipitation method using the corresponding salts. The parameters of the precipitation route (solution pH as well as synthesis temperature) have been carefully controlled in order to obtain a homogenous material of cerium oxide particles uniformly coated with copper oxide nanoparticles. The obtained material was characterized by XR diffraction, scanning electron microscopy, measurements of specific surface area, density and porosity.

Characterization results revealed the formation a material of high crystallinity level and the mutual diffusion of the two components. A material of a porosity which allows its use in cells such as SOFC was also obtained.

Keywords: anodes, solid electrolyte fuel-cell, precipitation method, copper oxide, ceria oxide

1. Introducere

Pilele de combustie cu electrolit solid sunt dispozitive electrochimice care transformă direct energia chimică în energie electrică, cu randamente superioare în comparație cu echipamentele clasice care folosesc combustia. Față de tehnologiile convenționale acestea au avantajul fiabilității și construcției modulare și de asemenea prezintă emisii scăzute de gaze poluante cum ar fi oxizii de azot și respectiv de sulf.

SOFC sunt instalații energetice care produc energie prin conversia directă a combustibililor gazoși (hidrogen, gaz natural, gaz de carbune, etanol, metanol, etc.) reducând emisiile poluante de NO_x, SO_x și gazele de seră.

Celulele de combustie sunt constituite din trei părți componente principale, adică electrolitul solid, catodul și anod, aceștia din urmă constituind electrozii. Utilizarea materialelor ceramice ca electrozi pentru pilele de combustie cu electrolit

1. Introduction

Solid oxide fuel cells (SOFC) are electrochemical devices with solid electrolyte that convert chemical energy directly into electricity with higher efficiency compared with conventional equipment using combustion. As opposed to conventional technologies they have the advantage of being feasible, of modular construction and give out low emissions of polluting gas such as nitrogen or sulfur oxides.

SOFC are power plants that produce energy by direct conversion of gaseous fuels (hydrogen, natural gas, coal, ethanol, methanol, etc.) reducing emissions of NO_x, SO_x and greenhouse gases.

Combustion cells are made up of three main components: solid electrolyte, cathode and anode - the latter consist of electrodes. The use of ceramic materials such as electrodes for the fuel cells with a solid electrolyte is the most opportune solution presently accepted by the constructors of

* Autor corespondent/Corresponding author,
Tel.: +40 21 3468297, e-mail: gvelciu@icpe-ca.ro

solid, constituie cea mai avantajoasă soluție acceptată în prezent de constructorii acestor surse energetice [1,2]. Electrozii, catodul și anodul, reprezintă suportul activării reacțiilor electrochimice. Ei asigură transportul purtătorilor de sarcini, total pentru electroni și parțial pentru ioni, formând împreună cu electrolitul un punct triplu gaz – solid electronic – solid ionic, la nivelul căreia are loc o schimbare bruscă a mecanismului de conducție de la ionic la electronic. Anodul este electrodul care asigură activitate electrochimică de oxidare, trebuie să fie stabil în condiții reducătoare și să reziste la atacul chimic cu sulf dacă se utilizează hidrocarburile în calitate de combustibil. De asemenea, trebuie să fie compatibil cu electrolitul solid și să posede coeficienți de dilatare apropiați, o porozitate cuprinsă între 20 și 40% pentru a asigura transportul de reactant și respectiv de produși de reacție [3, 5]. În prezent o problemă importantă a pilelor de combustie este scăderea temperaturii de funcționare, ceea ce duce la avantaje cum ar fi, utilizarea unor materiale mai ieftine, rezolvarea problemelor de etanșare, pornirea și oprirea rapidă a instalațiilor.

În prezent cele mai folosite compoziții de materiale pentru anodul unei pile SOFC-IT sunt cele de tipul Cu-CeO₂ [6 -12]. Acest tip de anod permite oxidarea directă a hidrocarburilor, eliminând necesitatea prelucrării lor anterioare și în plus nu este activ la depunerea carbonului rezultat din arderea combustibilului, iar dioxidul de ceriu are o activitate catalitică ridicată pentru reformarea hidrocarburilor.

Scopul prezentei lucrări este de a realiza un material ceramic pe bază de dioxid de ceriu și cupru care să stea la baza optimizării proprietăților unui anod folosit în cazul pilelor de combustie cu electrolit solid cu funcționare la temperatură intermediară.

2. Materii prime, modul și metodele de lucru

Pentru realizarea amestecului de pulberi s-au folosit săruri solubile în apă adică Ce(NO₃)₄ · 6 H₂O și Cu(NO₃)₂ · 3H₂O de puritate chimică. Din sarea de cupru s-a realizat o soluție de 0,2mol , care s-a încălzită la 60⁰C. În această soluție s-a introdus NH₄OH astfel încât pH-ul acesteia să fie egal cu 6,5, conform reacției: Ce(NO₃)₄ + 4NH₄OH → Ce(OH)₄+4NH₄NO₃. pH a fost menținut constant timp de 40 minute.

S-a obținut un precipitat, care a fost filtrat și spălat cu apă și apoi cu alcool etilic. Acest precipitat s-a uscat în etuvă la 60⁰C timp de 6 ore. Pulberea a fost apoi calcinată la 350⁰C și 400⁰C cu 2 ore palier la ambele temperaturi de ardere.

Din pulberea de CuO obținută s-a realizat o suspensie în apă distilată cu o concentrație de 0,5% CuO care s-a omogenizat prin ultrasonare timp de 10 -15 minute. În această suspensie s-a

these energy sources [1,2]. The electrodes, the cathode and the anode are activated supports of electrochemical reactions. They ensure the transportation of the charge carriers- total for electrons and partial for ions -and together with the electrolyte form a triple point gas-electronic solid-ionic solid; at this level a sudden change of the conduction mechanism occurs from ionic to electronic. The anode is the electrode that provides oxidation electrochemical activity; it should be stable under reducible conditions and resist to sulfur chemical attack if hydrocarbons are utilized as fuel. Furthermore, it should be compatible with the solid electrolyte and have a porosity degree between 20 and 40% to ensure the transportation of the reactant respectively reaction products [3,5].

At present a significant problem of the fuel cells is the decrease of the functioning temperature, which leads to advantages such as the use of cheaper materials, sealing problems, rapid start and stop facility.

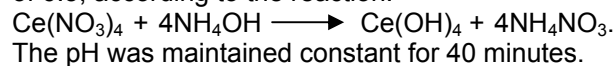
The most frequently used material compositions for the anode of a SOFC-IT are of Cu-CeO₂ type [6-12]. This type of anode allows direct oxidation of hydrocarbons, thus eliminating the need of their prior processing and additionally it is not active at the deposition of the carbon resulted from the combustion of carbon and the cerium dioxide has a high catalytic activity to reform the hydrocarbons.

The purpose of this paper is to achieve a ceramic material based on cerium dioxide and copper as an attempt to optimize the properties of the anode used for solid electrolyte fuel cells operated at intermediate temperature.

2. Raw materials, approach and work methods

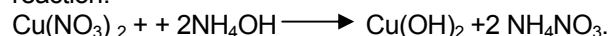
To obtain the powders mixture, water-soluble salts were used, namely Ce(NO₃)₄·6 H₂O and Cu(NO₃)₂·3H₂O of chemical purity. A 0.2 mol solution was prepared from the copper salt which was heated to 60⁰C.

NH₄OH was added to this solution to a pH of 6.5, according to the reaction:

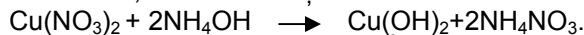


The resulted precipitate was filtered and washed with water and then with ethylic alcohol. This precipitate was dried in an oven at 60⁰C for 6 hours. The powder was then calcined at 350⁰C and at 400⁰C with a 2 hours plateau for both previously mentioned temperatures. From the obtained CuO powder, a suspension made in distilled water at a concentration of 0.5% CuO, which was ultrasonically homogenized for 10 -15 minutes.

In this suspension a solution of 6.2% cerium nitrate hexahydrate was introduced, according to the reaction:



introdus apoi o soluție de 6,2% azotat de ceriu hexahidrat, conform reacției:



Soluția s-a menținut la 5^oC timp de 3 ore și un pH egal cu 6,5. Precipitatul s-a filtrat și s-a spălat de patru ori cu apă distilată și de două ori cu alcool etilic, după care s-a uscat în etuvă la temperatura de 105^oC. Raportul volumic între soluția de azotat de cupru hexahidrat și soluția de azotat de ceriu hexahidrat este de 1 la 4.

Din pulberea sintetizată s-au presat uniaxial discuri cu diametrul de 17mm și înălțime de 0,5 mm la 1000 daN/m². Probele au fost tratate termic la temperaturi cuprinse între 950^oC și 1050^oC cu palier de două ore la temperaturile de ardere. Răcirea probelor s-a făcut lent împreună cu cuptorul.

Pe probele sintetizate și respectiv tratate termic s-a determinat compoziția mineralogică prin difracție de raze X utilizând difractometrul BRUKER AXS D8 Advance, folosind radiația Cu_αK_α. Textura probelor s-a examinat cu microscopul electronic tip FESEM-FIB coloană SEM Gemini de rezoluție minimă de 1nm la 15 kV. Caracterizările de suprafață specifică s-au efectuat cu aparatul AUTOSORB-1.

Pe probele tratate termic s-a determinat densitatea aparentă prin metoda imersiei, folosind o balanță hidrostatică AND model GH200, cu o precizie de 0,1%.

3. Rezultate și discuții

3.1 Caracterizarea pulberii rezultată în urma precipitării

3.1.1. Compoziția mineralogică

Spectrul de difracție a razelor X pentru proba precipitată din azotatul de cupru și tratată termic la 350^oC și 400^oC este prezentată în figura 1. Se constată că în ambele cazuri rezultă oxidul de cupru. Pentru proba rezultată din precipitarea soluției de azotat de ceriu, în prezența oxidului de cupru, tratată termic la 1000^oC s-a obținut spectrul de difracție prezentat în figura 2. Se constată că această pulbere este constituită dintr-un amestec de oxid de cupru cu structură monoclinică și dioxid de ceriu cu structură cubică de tip fluorit.

3.1.2. Textura

Prin microscopie electronică s-a determinat textura pe pulberea sintetizată la temperatura camerei (figura 3). S-au observat două tipuri de granule, unele de formă prismatică, iar celelalte de formă plată regulată. Primul tip corespunde oxidului de cupru, iar cel de al doilea Ce(OH)₄. Prin tratarea acestei pulberi la temperatura de 1000^oC s-a constatat o creștere a dimensiunilor granulelor, observându-se granule prismatice de CuO și granule de CeO₂ cu suprafața rotunjită (figura 4). Prin analiza EDX s-a constatat că, granulele prismatice conțin în principal oxid de cupru (figura

The solution was kept at 5^oC for 3 hours and a pH of 6.5. The precipitate was filtered and washed four times in distilled water and twice in ethylic alcohol and then dried in the drying stove at 105^oC. The volume ratio between copper nitrate hexahydrate solution and cerium nitrate hexahydrate solution is 1:4.

From the synthesized powder, Disks of 17 mm diameter and 0.5 height were pressed uniaxially at 1000 daN/cm².

The samples were thermally treated between 950^oC and 1000^oC with a two hours plateau at the maximum burning temperature. The samples were let to slowly cool with the oven. The mineralogical composition of the synthesized and thermally treated samples was determined by X-ray diffraction using BRUKER AXS D8 Advance diffractometer and Cu_αK_β radiation.

The texture of the samples was examined with a scanning electron microscope FESEM-FIB type Gemini SEM column with a minimum resolution of 1 nm at 15 kV. The characterisations of the specific surface were performed by the AUTOSORB-1 device.

The apparent density was determined on the heat treated samples by the immersion method, using an AND hydrostatic balance model GH200, of 0.1% precision.

3. Results and discussions

3.1. Characterisation of the powder resulted from precipitation

3.1.1. Mineral composition

The X-ray diffraction spectrum of the sample precipitated from copper nitrate and thermally treated at 350^oC/2h and 400^oC/2h is shown in figure 1. Copper oxide results in both cases. For the sample resulting from the precipitation of cerium nitrate solution in the presence of copper oxide, heat treated at 1000^oC the diffraction spectrum shown in figure 2 was obtained. It appears that the powder consists of a mixture of copper oxide and monoclinic structure of cerium dioxide with fluorite-type cubic structure.

3.1.2. Structure

The texture of the synthesised powder at room temperature was determined by scanning electron microscopy (figure 3). One can see two types of granules, some of them are prismatic shape, the others presents a regular flat shape. The first type corresponds to the copper oxide and the second to Ce(OH)₄.

By treating the powder at a temperature of 1000^oC the grain size increased, some prismatic grain of CuO and and some CeO₂ grains with a round surface were noticed. (figure 4).

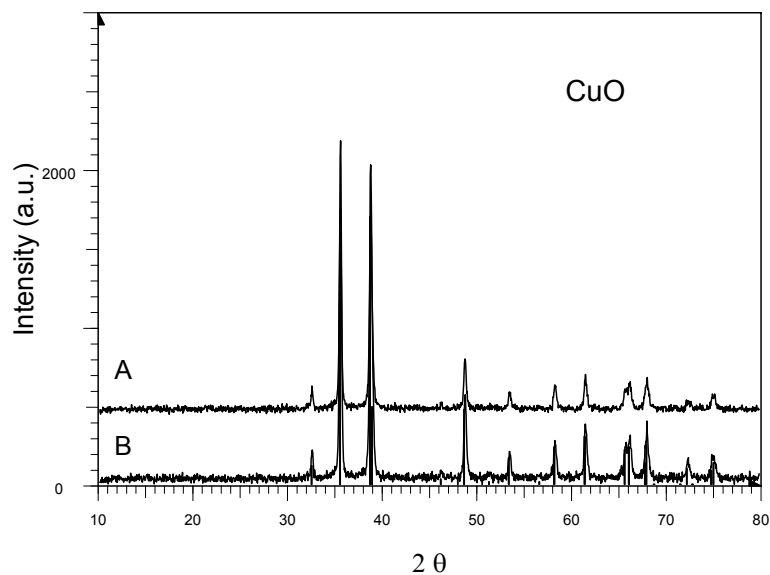


Fig. 1- Spectrul de raze X pentru oxidul de cupru obținut prin precipitare tratat termic la: A.350°C și B.400°C/ X-ray spectrum of copper oxide obtained by precipitation heat treated at: A.350°C; B.400°C.

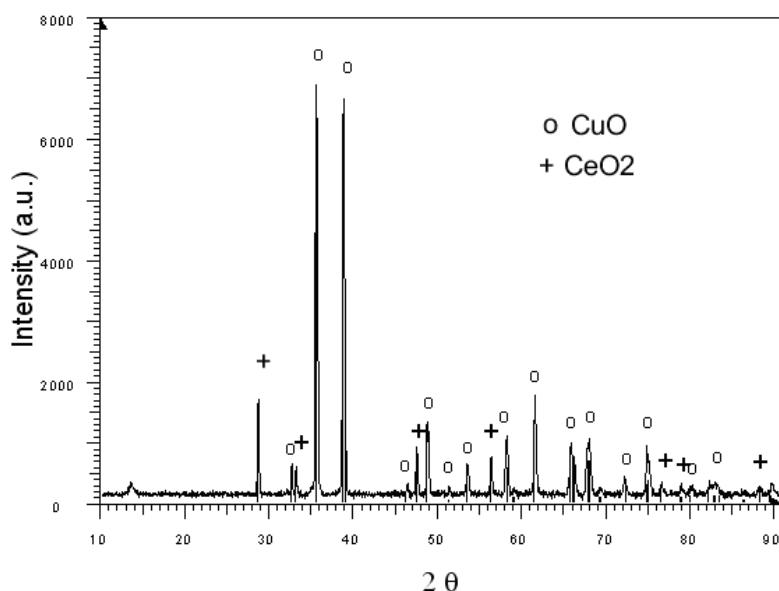


Fig. 2- Spectrul de raze X pentru amestecul de oxid de cupru și dioxid de ceriu obținut prin precipitare și tratat termic la 1000°C/ X-ray spectrum for the mixture of copper oxide and cerium dioxide obtained by precipitation and heat treated at 1000°C.

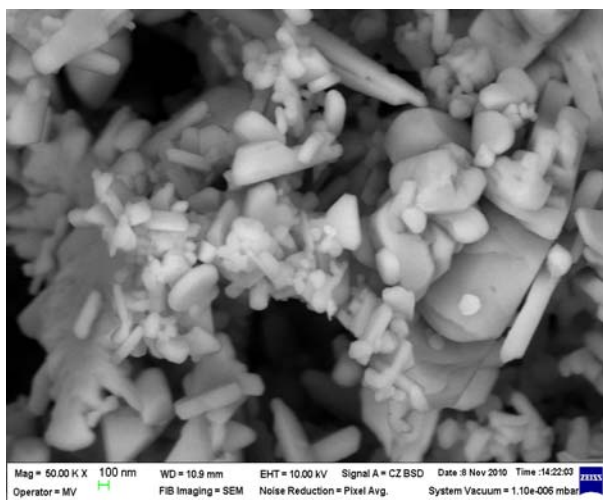


Fig. 3- Imaginea electronmicroscopică SEM a pulberii CuO-CeO₂ obținută prin precipitare/ SEM image of CuO-CeO₂ powder produced by precipitation.

The EDX analysis shows that, prismatic grains contain mainly copper oxide (figure 4b) and the rounded off grains, cerium dioxide (figure 4c).

In both cases there is a basic oxide contamination with other oxides. The spheric cerium dioxide granules shows that a small amount of the melt might appear in the sample.

3.1.3. Specific surface

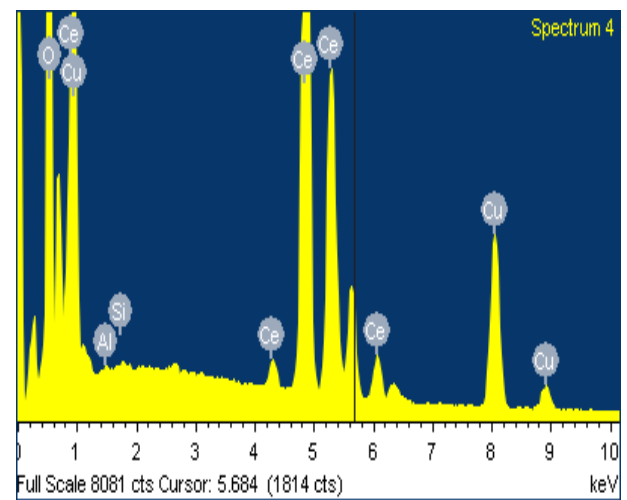
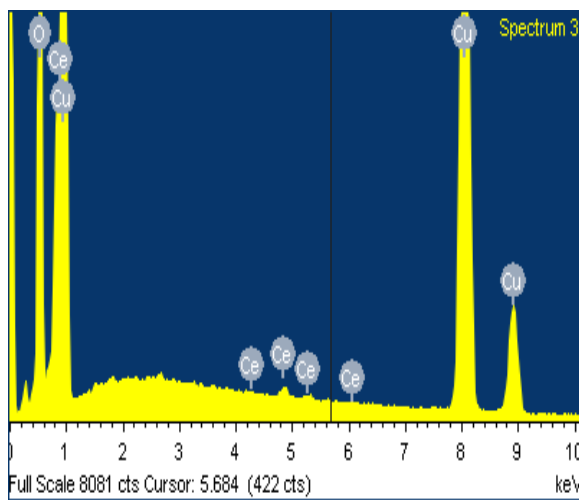
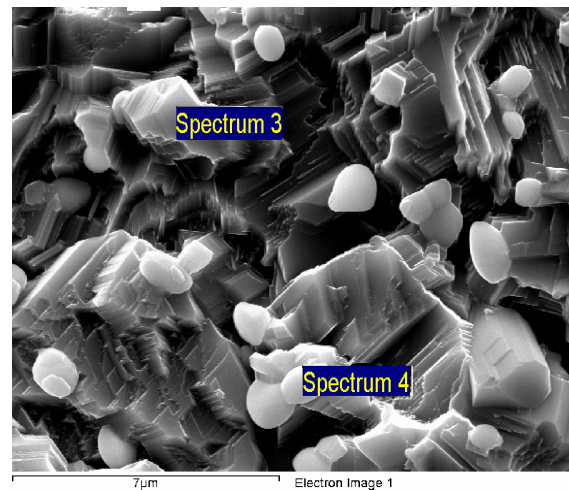
Specific surfaces of obtained powders were determined. The adsorption – desorption curve isotherm (figure 5) indicates that the material is less porous, consistent with the low value of BET specific surface area 2.68 m²/g (figure 6), and the total volume of pores is 1.56·10⁻² cm³/g for the pores with diameters less than 273 nm (figure 7).

The material contains mesopores which is confirmed by the hysteresis on the isotherm but the main adsorption takes place in the macro-

4b), iar cele rotunjite granule de dioxid de ceriu (figura 4c). În ambele cazuri se constată o impurificarea a oxidului de bază cu celălalt oxid. Rotunjirea granulelor de dioxid de ceriu arată că este posibil ca în probă să apară o proporție redusă de topitură.

3.1.3. Suprafața specifică

Pentru pulberile obținute s-a determinat suprafața specifică. Forma izotermei de adsorbție-desorbție (figura 5), indică faptul că materialul este puțin poros, în concordanță cu valoarea scăzută a ariei suprafeței specifice BET: 2,68 m²/g (figura 6) și valoarea volumului total de pori de 1,56·10⁻² cm³/g pentru pori cu diametru mai mic de 273 nm (figura 7).



b

c

Fig. 4 - Imaginea electronmicroscopică SEM a probei CuO tratată termic la 1000°C: a) imagine generală; b,c) spectru EDX. SEM image of sample CuO thermally treated at 1000°C a) overview; b,c) EDX spectrum.

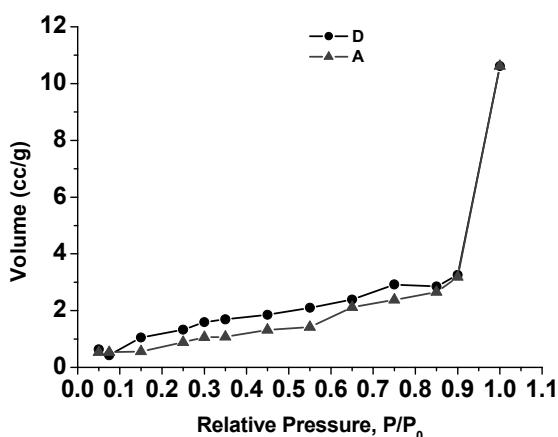


Fig.5 - Izoterma de adsorbție-desorbție a pulberii sintetizate la temperatura camerei/ Adsorption-desorption isotherm of the powder synthesized at room temperature.

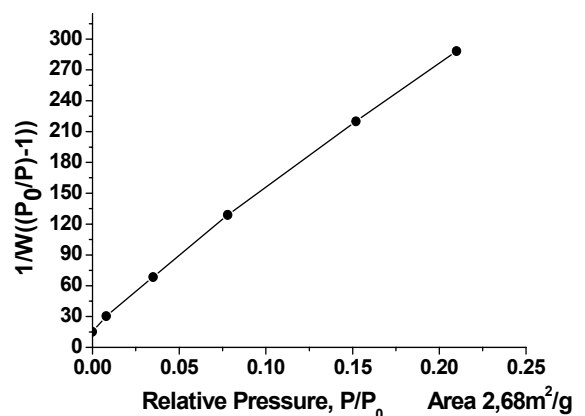


Fig.6 - Suprafața specifică BET/ BET surface area.

Materialul conține mezopori fapt confirmat de apariția histerezisului pe izotermă, dar adsorb-

pores, so that the largest gas quantity adsorbed by the sample turns out in the point of maximum pressure of the isotherm.

ția majoritară are loc în macropori, astfel încât cea mai mare cantitate de gaz adsorbit de probă are loc în punctul de presiune maximă al izotermei. Acest fapt este în concordanță cu diagrama distribuției de pori (figura 7), unde se observă un volum mic de gaz adsorbit în mezopori, aproximativ 0,011cm³/g, în porii cu diametru de 50 nm.

3.2. Caracterizarea probelor fasonate

Probele obținute prin presare uniaxială au fost tratate termic în intervalul 950-1050°C cu palier de două ore. Pe aceste probe s-au determinat absorbția apei, densitatea aparentă și porozitate aparentă, rezultatele obținute fiind prezentate în tabelul 1. Se observă că între 950 și 1050°C porozitatea variază între 46 și 25 %. Aceasta este corespunzătoare pentru un material de tip anod, care trebuie să permită difuzia gazelor.

This complies with the pore distribution diagram (figure 7), where a low volume of gas adsorbed in the mesopores can be noticed-approx. 0.011cm³/g in the pores of 50nm diameter.

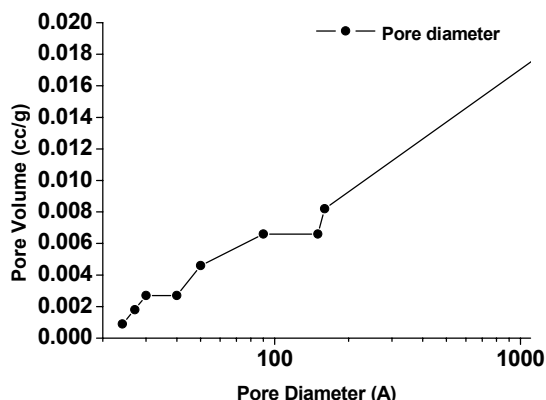


Fig. 7 - Diagrama distribuției porilor pentru pulberea sintetizată la temperatura camerei/ Pore distribution diagram for the powder synthesized at room temperature.

Tabelul 1

Caracteristicile probelor sintetizate după tratament termic
Characteristics of synthesized samples after thermal treatment

Compoziție Composition	Temperatura de sinterizare Sintering temperature (°C)	Palier Soaking time (h)	Densitatea aparentă Apparent density (g/cm ³)	Porozitatea aparentă Apparent porosity (%)
CuO-CeO ₂	950	2	3.60	46.13
	1000	2	5.10	26.12
	1050	2	4.77	25.00

4. Concluzii

S-a preparat un amestec de oxid de cupru și dioxid de ceriu prin metoda precipitării chimice din soluții. Analiza de difracție de raze X a arătat că pentru pulberea tratată termic în intervalul 350 - 400°C s-a obținut oxid de cupru. Prin microscopie electronică s-au constatat forme diferite pentru cei doi oxizi, adică prismatic pentru oxidul de cupru și rotunjite pentru dioxidul de ceriu. După calcinarea pulberii la temperatura de 1000°C gradul de cristalinitate al probei este mai mare și se constată o difuzie reciprocă a celor două componente în granule. Datorită faptului că granulele de dioxid de ceriu se rotunjesc este probabil ca în pulbere să apară fază lichidă la această temperatură. Realizarea de epruvete prin presare uniaxială și arderea lor în intervalul 950-1050°C a arătat că se poate obține porozitatea indicată pentru un anod utilizat în celulele de tipul SOFC-IT.

3.2. Characterisation of the samples shaped

The samples obtained by uniaxial molding were thermally treated in the range of 950-1050°C with a sintering time of 2 hours at the maximum temperature. We determine water absorption, apparent density and apparent porosity on these samples. The obtained results were presented in table 1. We observed that between 950 and 1050°C the porosity varies in the range 46 - 25%. The results correspond to an anode type material which must permit gas diffusion.

4. Conclusions

A mixture of copper oxide and cerium dioxide was prepared using the chemical precipitation method. The X ray diffraction analysis indicated that for the annealed powder at 350-400°C copper oxide was obtained. By using the electron microscope different shapes could be observed for the two oxides, prism shape for the copper oxide and round shape for the cerium dioxide. After the calcination of the powder at 1000°C, the sample crystallinity degree is higher and a mutual diffusion is found between the two granule components. Due to the rounding off process of the cerium dioxide, a liquid phase may appear at this temperature. Achieving samples by

REFERENCE

1. W.A.Surdoval, et al., The Solid State Energy Conversion Alliance (SECA) – A, US Department of Energy initiative to promote the development of mass customized solid oxide fuel cells for low-cost power; in SOFC VII ELECTROCHEMICAL SOCIETY INC, PENNINGTON, 2001, 16, 53.

2. Maria Preda, and Alina Melinescu, "Fuel Cells", Ed. Politehnica PRESS, 2007, pag.58
 3. E.Enescu, G.Velciu, and Cr.Şeitan, "Special ceramic materials for SOFC-IT type fuel cells", 1th European Conference H₂ Fuel Cells Millenium Convergence 2007, vol. Conferintei, 21-22 septembrie 2007, Ed. Publishing House IPA, 2007
 4. X. Zhang, S. Ohara, et al, Ni-GDC cermet anode for medium – temperature solid oxide fuel cell with lanthanum gallate electrolyte, Journal of Power Sources, 1999, **83** (1-2), 170.
 5. G.Velciu, Cr. Şeitan, F.Bogdan, and G.Sbârcea, Composites materials used as anode for SOFC fuel-cells, Romanian Journal of Materials 2009, **39** (3), 180.
 6. Shaowu Zha, Ni-Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{1.95} anode for GDC electrolyte-based low-temperature SOFCs, et al., Solid State Ionics, 2004, 166 (3-4), 241.
 7. Tatsumi Ishihara, et al., Nickel-Gd-doped CeO₂ cermet anode for intermediate temperature operating solid oxide fuel cells using LaGaO₃-based perovskite electrolyte, Solid State Ionics, 2000, 132, (3-4), 209.
 8. Qianli Ma, RanRan Peng, et al., Direct utilization of ammonia in intermediate-temperature solid oxide fuel cells , Electrochemistry Communications, 2006, 8 (1), 1791.
- *****
9. Xiao-Feng Ye, Bo Huang et al., Preparation of a Cu-CeO₂-ScSZ composite anode for SOFCs running on ethanol fuel, Journal of Power Sources, 2007, **164**, 203.
 10. Amel Benyoucef, Didier Klein, et al., Development and characterisation of (Ni, Cu, Co)-YSZ and Cu-Co-YSZ cermets anode materials for SOFC application, Surface & Coatings Technology 13 may 2007.
 11. Jun lee, Seunghun Lee, et al., Synthesis of Ceria-Coated Copper Oxide Particles for Direct Hydrocarbon SOFCs Anode, Materials Science Forum, 2006, **510-511**, 1118.
 12. A. Melinescu, G.Cotigă, S. Mihaiu, M.Preda, G. Velciu, Ceramic Conductors in the CeO₂-RO Pseudobinary System, Conference & Exhibition of the European Ceramic Society – ECRS, Conference Proceedings, 17-21 June 2007.
- *****

MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE / SCIENTIFIC EVENTS

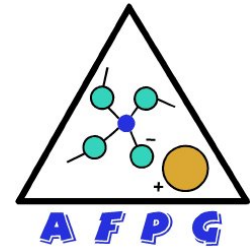


PAC RIM 9

THE 9TH INTERNATIONAL MEETING OF
PACIFIC RIM CERAMIC SOCIETIES

INCORPORATING AUSTCERAM 2011
CAIRNS 10 - 14 JULY

**PacRim 9 - The 9th International Meeting of
Pacific Rim Ceramic Societies
Cairns, Australia, 10th – 14th July. 2011**



The Australian Ceramic Society and Materials Australia invite you to attend the 9th in the series of Pacific Rim Conferences on Ceramic and Glass Technology, incorporating MA2011, Materials and Austceram 2011.

PacRim 9 will also incorporate AFGP-9, The Ninth International Conference on Advances in the Fusion and Processing of Glass, which is endorsed by the International Commission on Glass.

Preliminary list of symposia for the technical program:

- * Advanced Powder Processing * Bioceramics
- * Ceramic Coatings * Ceramics Enabling Environmental Protection
- * Ceramics for Energy Generation * Ceramics & Ceramic Matrix Composites
- * Computational Materials Research & Design * Electroceramics
- * Geopolymers * Glasses & Ceramics for Nuclear and Hazardous Waste Glass Science & Technology
- * Glasses for Optoelectronics and Optical Applications Engineering * Fuel Cells and Hydrogen Storage Materials
- * Microwave Materials * Nano powders and Nanostructured Materials
- * Novel Processing and Manufacturing Technologies * Photocatalytic Materials
- * Refractory Technology * Synthesis and Processing * Thermal Management Materials

Contact: pacrim9@austceram.com

Materials Australia, Tel: +61 3 93267266, Fax: +61 3 93267272, husein@materialsaustralia.com.au
