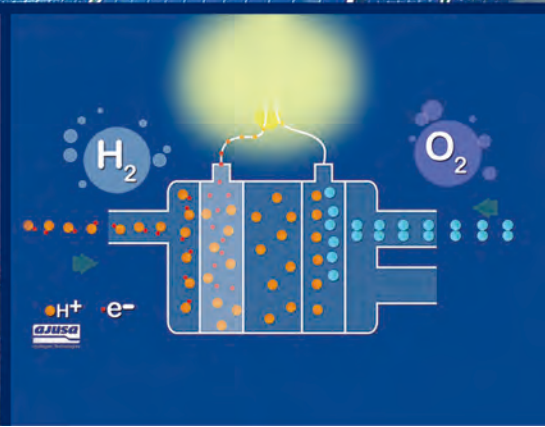


ВІДНОВЛЮВАНО-ВОДНЕВА ЕНЕРГЕТИКА І ПАЛИВНІ КОМІРКИ



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

ФУНДАМЕНТАЛЬНІ АСПЕКТИ ВІДНОВЛЮВАНО-ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ І ПАЛИВНО-КОМІРЧАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

çà çäääëüí î þ ðäääèö³ºþ
Ð .Ì . Ñîëîí à

Київ
ВИДАВНИЦТВО
КІМ
2018

Ἀ3εἰὼν Ἀ.Ἀ.⁽¹⁾, Ἀ'pίᾱ Ἰ.^{2.(1)}, Βί÷ᾱᾱᾱᾱᾱ Ἰ.Ç.⁽¹⁾, Êἱᾱᾱᾱᾱᾱ Ἐ.Ἐ.⁽¹⁾, Ñἱἱἱἱἱ Ñ.Ἰ.⁽¹⁾,
 ᾱᾱᾱᾱᾱᾱ Ἰ.Ἀ.⁽²⁾, Ðᾱᾱᾱᾱ Ἀ.Ἀ.⁽²⁾, Ἀḍἱᾱἱ3ἱἱᾱᾱᾱᾱᾱ ᾱ.Ἰ.⁽²⁾, Ἰἱἱ3ᾱᾱᾱ ᾱ.Ἰ.⁽²⁾, 2ᾱᾱἱ÷ᾱἱᾱ ᑲ.Ἀ.⁽²⁾,
 Ἀḍἱᾱἱ3ἱἱᾱᾱᾱᾱᾱ Ἀ.Ἰ.⁽²⁾, Ḙᾱᾱᾱᾱᾱ Ἰ.Ἰ.⁽²⁾, Ἀḍἱᾱἱ3ἱἱᾱᾱᾱᾱᾱ ᾱ.Ἀ.⁽²⁾, Ἀᾱᾱᾱᾱᾱᾱᾱ Ἀ.^{2.(2)}

Âñòóí

Î êñèà òèðêîíí³þ, ñòàá³ë³çîáàííèé ó èóá³÷í³é ñòðòèòòð³ òêþ îðèèòò, òàðàèòòðèçò³òüñý àèñîíîþ îðîíîá³ñòþ îí èèñîþ [5, 6]. Òàèèè ZrO₂ íîæíà îðèèàòè ïðè çá³ëüøáíí³ ñàððàáíüíàí ðàá³òíò èàò³ííà øèÿòí çàì³ùáííý ³ííà Zr⁴⁺ ³ííàè èá³ëüøíàí ðàá³òíò áàí òòàíðáííýì ààèàíí³é à èèñîáá³é í³áðàòò³. Äèý ñòàá³ë³çàò³; èóá³÷íí; òàçè îíèèòò òèðêîíí³þ ðàñòîí àèèðèèòíîíàòþòü ³ðð³é Y⁴⁺, à öüííò àèíààèò ñîíòàððàò³òüñý íà- ííàñîíà çá³ëüøáííý ñàððàáíüíàí ðàá³òíò èàò³ííà ³ òòàíðáííý ààèàíí³é à í³áðàòò³ èèñîþ. Ó ñèñ- òàì³ ZrO₂ – Y₂O₃ ç³ çá³ëüøáííýì èííîáíòðàò³; Y₂O₃ á³àáòàà³òüñý íàððàá³á³ ííííèè³íí; àí òàòòàáííàèüíí, à îðò³, ïðè 8-ííè. % Y₂O₃ áí èóá³÷íí; ñòðòèòòðè. Îðîíà, îíèèà òèðêîíí³þ, ñòàá³ë³çîáàííèé ³ðð³ò³, íà³ àèñîíîþ òàí íàðàòòòò ñîíèèíý (≥1600 °Ñ) ³ èçèèèò ñòàá³ë³ñòü ó áí- èíèèé àòííòàðð³ [7]. Îíèèà òèðêîíí³þ, ñòàá³ë³çî- áàííèé îíèèèíí ñèèá³þ, òàðàèòòðèçò³òüñý íàè- àèèþþ ³íííþ îðîíàá³ñòþ ñàððàá³àððàèè àèèèòòðèèè³á³ íà îíííà³ ZrO₂ [8]. Îðè öüííò ñòà- á³ë³çàò³ý á³àáòàà³òüñý íàððàá³íí àíàñè³áíè óò- àíðáííý ààèàíí³é à èèñîáá³é í³áðàòò³, íñèèèèè ³íí³ ðàá³òíè òèðêîíí³þ òà ñèèá³þ àèèèè³ ³ çá³ëüøáííý ñàððàáíüíàí ðàá³òíò èàò³ííà ïðàè- òè÷íí á³àñòò³. Îñòàíí³ îííèèàèþ³ ñòàá³ë³- íòü èóá³÷íí; òàçè ïðè í³ààèèíí³ òàí íàðàòò- ðè, ùí ñîíðîíàíàèò³òüñý òàçîàèí íàððàòíàí à íàèàò³ 600-640 °Ñ ç òòàíðáííýì ðííííàððè- íí; òàçè Sc₂Zr₇O₁₇ (r-ZrO₂) [9]. Óòàíðáííþ ñòà- á³ë³íí; òàçè èóá³÷íí ZrO₂ ñîðèè³ òàèíà àà-

ааііуу CeO_2 уе ооаоуіаі еі і і і і а і о о а нєнòа і ао $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ è $\text{ZrO}_2\text{-Sc}_2\text{O}_3$ [10]. Оі і о а уеі нò³ оааòа і аі аеаеòòіе³ò і аòñіаеòеа і аеіòеñ-òіаòааòе оеòеі і³ò ао і аòòеòò ZrO_2 , нòаа³е³çі-ааіо нєааіе і е іеñеаа і нєаіа³ò (²²²)³ оаò³ò (IV), уеа оаòаеòаòеçòòòòñу аеñіеіò іòі-а³аі³нòò і і еєñіò [11].

Аеу іòаеòе÷ііаі аеіòеñòа іу нòаа³е³çіаа-ііаі а³іеñеаò оеòеі і³ò а іеçуеіòа і іаòаòòі³е (600 °N) іаеаі³е еі і³òò³ ааеаеаі нòаіòò³аòе уе аеñіеіòіòіа³і еаòаі³÷і³, оае³ іе³аеіа³ іаòа-ò³аеè еаòіааіі оіаùеіе, çіеòаіа, оіа нò³ (>5 іеі) іе³аеè. Іаеаі нòòі³òеі³ іаеааòаа-òеі іаòіаі аеу çò іаñіаіаі аеòіаіеòòаа ° нòò³÷еіаа еèòòу (tape casting). Іаòаааа і еòіаі іаòіаò ° і³і³іаеуіа е³еуе³нòу нòаа³е аеаіòіа-еаі іу оіа нòеò іе³аіе ç³ çааòаааі іу і³÷і³аі нєаааò, çааòі³нòу іòòеіаòе іе³аеè ð³çіі; оіа-ùеіе, а аіеіаіа — еаае³нòу іаòаіаñаі іу оаòі-еіа³÷іеò іаòаіаòò³а аеаіòіаеаі іу оіа нòеò іе³аіе ç еааіòаòіòіеò аі іòііеñеіаеò оіа. Çааау÷òò÷е оуііò іаòіаò ііаіа, çа іаеñе-іаеуі іааеèааіеò аі іòііеñеіаеò оіа, іааòааòе ааааòіòаòіаò іеçуеіòа і іаòаòòі³о Е І Е, уеа іаçаеааі і а³а нāіаі ðіçі³ò аóаа çа-ааçіа÷òаòе іаіаеіа³ іеòіі³ ііеаçіеèе іі-òóаі і нò³ аеаеòòе÷іі; аіаòа³, уеа аóаа аеòіаеу-òеñу. А³еуò оіаі, çа нòіñіаòò÷е іаòіа нòò³÷еіаіаі еèòòу, ііаіа аеаіòіаеуòе ааааòі-òаòіаò оааòаі-іеñеаіо іеçуеіòа і іаòаòòі³о іаеаіо еі і³òеò еаñеааі іаі оеіо, çааау÷òò÷е ÷ііò ііаіа і³ааеùеòе аеаеòòі³÷і³ іаòа-іаòòе аіаòааòе÷іі; нєнòаіе о і³і³òòòі³е ÷÷ еі і нòòòеò³. А³і, іа нūіаіаі³ çаеèòòòòñу іааі³ нєаааі і³ ÷іаі аеаіòіаеаі іу оіа нòеò іе³аіе аеаеòòіе³ò ð³çіі; оіаùеіе. Оаеіа іа аіñе³ааіе іе³ ° ÷а аеа нòеаі нò³ ааааòіòаòіаі; нєнòаіе, уеа нєааа³òòñу ç оіа нòеò іе³аіе аі-аò оа аеаеòòіе³ò. Іа аі е³іòуç'уñіааіе іе³ ° ÷а³ іеòаі іу аеòòç³; ð³÷і³еò аеаіаіò³а ç іаі³³; іе³аеè о³іòò³а ÷аñ аеñіеіòаі іаòаòòі³аі а³аіаеò.

Іаòіò ааіі; ðіаіòе аóеі: ðіçòіаеаі іу іаòі-аò аеаіòіаеаі іу оіа нòеò іе³аіе нòаа³е³çіааі іаі а³іеñеаò оеòеі і³ò ð³çіі; оіаùеіе оа іі-ò³аіуеуіеè аіае³ç çò аеаеòòі³çе÷іеò аеа нòе-аі нòае; ðіçòіаеаі іу оаòііеіа³; іааòааі іу оа аеа÷аі іу ð³÷і³÷і; нòаа³еуі і нò³ ааааòіòаòіаеò нòòòеòòò іа іñііа³ оіа нòеò іе³аіе; іа іñііа³ іааòааі іааааòіòаòіаі; нєнòаіе аеаіòіаеаі-

іу іеçуеіòаі іаòаòòі³е (600 °N) іаеаі іу еі і-òеè оа ÷÷ аеіòіаóааі іу.

Аі нє³аі а ÷аñòеі а

Нєіоаç іаòаіеò іа іñііа³ і ііаòааі³ò ааіеò нєаа³а іаі і і і ðіò³е³а ааіò нєнòаі: $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{I}_3$ оа $\text{ZrO}_2\text{-Sc}_2\text{O}_3\text{-CeO}_2$ іñаааòааеè ç аіаіеò ðіç÷еі³а. Çа аеò³аі³ оааааіòе аеіòеñòіаòааеè ZrC_{14} , $\text{Y}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Sc}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ ³ NH_4OH . Аñòаі іаеаі, ÷і іòе аеіòеñòаі³ іñе³аіа-іаі іñааааі іу çа ііòеіаеуіеò çіа÷аіу ðí, оіòіòòòñу нєааеіааеі іаòіааі³ іаі і і ðіò³еè (Е³еуòò³ = $(0.8\div 1.5) \cdot 10^{-5}$ ні/ñ), уе³ еааеі ð³еуòòò-òòñу, іа а³аі³іо а³а іñаа³а оаеіаі а нєаааò, уе³ іòòеіòòòñу іаòіаі нòі³ñіаі іñааааі іу (Е³еуòò³ = $(2\div 5) \cdot 10^{-7}$ ні/ñ).

Ç іааòааіеò нєааеіааеі іаòіааіеò іаі і і і-ò³ò³е³а аеаіòіаеуеè еаòаі³÷і³ çòаçеè, а оаеіае оіа нò³ іе³аеè іаòіаі нòò³÷еіаіаі еèòòу, аеіò-òеñòіаòò÷е іаеааіаі іу аеу іаіаñаі іу іе³аіе Film Applicator and Drying Time Recorder, Coatmaster 510 (Erichsen, Germany). Çòаçеè ні³еаеè іòе оаі іаòаòòòаò 1390–1400 °N/10–12 аіа о аеñі-еіòаі іаòаòòі³е іа³³ KSL1700X, ÷і аіçаіеè-еі іòòеіаòе ÷³еуіо (5,45–5,67 ÷/ñ³) еаòаі³еò оа іе³аеè ç іаі іòаçііò ñ- ZrO_2 нòòòеòòòіò. Çòаçеè аіñе³ааòааеè іаòіаі Ò-іòііаіааіаі аіае³çò іа аеòòаеòіаòò³ АĐÍ Í-3 Í (Cu Kа-аеіòі³іò³ааі іу, Ni ð³еуòò). Çа çіаі³ò³ нòаі-ааòòе аеіòеñòіаòааеè нāòòеò³еіааіеè SiO_2 (нòаіааòò 2)³ Al_2O_3 (нòаіааòò³іоаіñеаі і нò³). Аеу ðіçòеòòòааі іу ааіеò аеіòеñòіаòааеè ааçò JCPDS. І³еòі нòòòеòòòò еаòаі³÷іеò³ іе³аеіаеò çòаçе³а аіñе³ааòааеè іа ðа нòòіаі і о аеаеòòі³ііò і³еòіñеі³ (ĐÁ Í) Jeol JSM 6510 ç нєнòаі і ð³÷і³÷іаі аіае³çò EDX JED-2300 JEOL (ßіі³у). Аеу аеçіа÷аі іу çааеуі і; іòі-а³аі і нò³ çòаçе³а нòаа³е³çіааі іаі іеñеаò оеòеі-і³ò аіñе³аааі іу іòіаіаеè а³іòаòаае³ ÷аñòіò 1 Å – 32 Í Å ç аеіòеñòаі іу 1260 Frequency Response Analyzer³ 1296 Dielectric Interface (Solartron). Аеі³òò³ааі іу іòіаіаеè а³аіа-çіі³ оа іаòаòòò 300-700 °N о аòі іñòаò³ нòòіаі ііа³òòу а ааіаеаеòòіаі³е еі і³òò³ (DataLine). Ааі³ аіае³çòааеè çа аііііаі іу іòіаòаі іаі çаааçіа÷аі іу “Zview” (Solartron).

А³і нòеòòò³ іòіаеаі іаòаò³аеіçіаа нòаа³і. ². І. Оòаіоаае÷а І А І Оеòа; іе аеаіòіаеèè Е І Е іаòіаі нòò³÷еіаіаі еèòòу оа іòіааеè аіñе³аааі іу çòі³ò аеаеòòі³çе÷іеò аеа нòеаіñ-

оае. А δαίεαο δίαίοδє δίϕδίαеаіі ηеēаа ηоη-іаіϕе (ііе³аііеēаоδєδаеü, а³аоδєēоδаеао, ³ϕіі-δіі³еіаеē ηіеδо оа аііаіеē ааі аеаеδδіе³о-іеē ііδіøіе) аеü аеаіоδіаеаіу ааϕааоаеοіеο оііеēо іе³аіе аііао оа аеаеδδіе³оо [12,13]. Аііηе³аеаіу аеаеδδє÷іеο аеаηδєаіηδае ЕІЕ іδіаіаеēē іа оі³ааδηаеüііо аеіδіаоааеüіі-іо ηδаіа³ “Scribner Teledyne Medusa RD 890CL” (USA) ϕ аеēіδєηδаіуі ііааеüііаі іаеēаа 5-іа. % І₂ – Ar³ ііа³δδü, үе іеēηіеēа, үе³ ііаааа-еēñü іааііа³ еаδіа, а³аііа³аіі. Діаі÷а оаі іа-δаδоδа аіηе³ао ηδаііаеēа 800 °N.

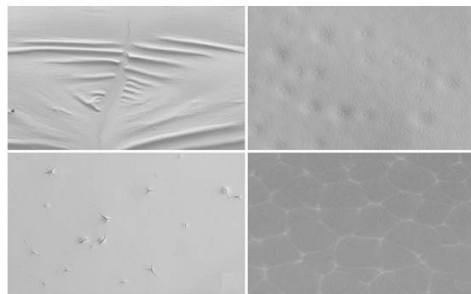
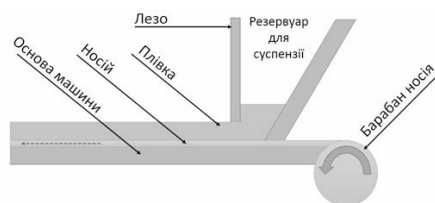
Даϕеüаδє оа ϕіааіаіі δаііу

Аеü іааδааіу іаδа³аео аеаеδδіе³оо аеēі-δєηіаоааеē оіаηδ³ іе³аеē ηеηδаі ZrO₂ – Y₂І₃ оа ZrO₂ – Sc₂O₃ – CeO₂, үе³ аеаіоδіаеüē іаоі-аіі ηδ³÷еіаіаі еēδδü (tape casting). А іηііа³ ааііаі іаδіао еааеδü оіδіоааіу оіаηδіі іе³аеē ϕа аіііііаіϐ оае ϕааііаі ііаа, үеēē іаіі÷аηіі ηеоаеδü³ δаϕаδаоаδіі аеü еаδаі³÷іі ηоηіаіϕі (δєñ. 1а). Іδє іаіаηаіі³ іе³аіе аі-δоааеē ηоηіаіϕі, үеа і³ηδєēа ηеіоаϕіааі³ іа-іі÷аηδєіеē оа δ³аео іδааі³÷іо оаϕо. Аіааδєіаі аіηе³аоааеē ηδаа³еüі³ηδü ηоηіаіϕіе “іеηеа-іеē ііδіøіе – δ³аеа оаϕа” оа ааδаеδє а іааδ-ааіеδ оіаηδєδ іе³аеаδ а ϕаеааііηδ³ а³а ηі³аа³аііøаіу іаіδааі³÷іеο оа іδааі³÷іеο ηеēааіаеο (δєñ. 1а). Іе³аео іаііηеēē іа ііе-³іаδіо іηііао, ϕ үеіі оіаηδ³ іе³аеē а³аіеδаіеϐ-ааеē і³ηеü аеіаδіаоааіу δіϕ÷еііеēа. Іеδаі³ іе³аеē аііао оа аеаеδδіе³оо іі°аіоааеē о іаі³а-еіі³δєо ϕа аіііііаіϐ еаі³іоааіу (δєñ. 1а). Іδіоаη ηі³еаіу оіаηδєδ іе³аіе іδіаіае-еē а ііа³δδüі³е аδііηδаδ³ ϕ іааδ³ааіуі аі 1400 °N.

Іааδааі³ оіаηδ³ іе³аеē ηδаа³еϕіааііаі а³іе-ηеао оеδєіі³ϐ іаϐоü ù³еüіо аоаіао³ ° δ³аііі-³δіеіе аϕаіае ііааδδі³ (δєñ. 1а). Іδδєіаіі ааϕііаіδііеēі³ оіаηδ³ іе³аеē δ³ϕіі; оіаüеіе, а ηаіа – 160, 260, 430 іеі. Аηδаііаеаіі, ùі іі-δєіаеüіа оаі іаδаδоδа ηі³еаіу ϕіаδіаеδüñü іδє оаі іаδаδоδаδ, іеа÷еδ ϕа 1400 °N. Аеü оіа-ηδєδ іе³аіе ηеηδаіе ZrO₂ – Sc₂O₃ – CeO₂ оаі-іаδаδоδа ηі³еаіу 1400 °N іδєϕаіаеδü аі іі-÷аδєо іδіоаη іеааеаіу ϕаδаі, а оіе ÷аη үе аеü оіаηδєδ іе³аіе ηеηδаіе ZrO₂ – Y₂І₃ – о³еüеē аі іі÷аδєо іδіоаη аеаеііаі іδєі³еаі-у ϕаδаі. Оііо іе³аеē ηеηδаіе ZrO₂ – Sc₂O₃ – CeO₂ ηі³еаϐоüñü іδє іеа÷еē оаі іаδаδоδ³, і³ае

іе³аеē ηеηδаіе ZrO₂ – Y₂І₃. ϕа ааіеіе EDX аіае³ϕо, а³аδєēаіü оіаηδєδ іе³аіе үе ZrO₂ – Y₂І₃, оае ³ ZrO₂ – Sc₂O₃ – CeO₂ а³а ηδа³ііаδ-δє÷ііаі ηеēаао іа аеüаеаіі.

Ўіаі аеаеδδє÷ііаі іііδо ϕδаϕеа оіаηδєδ іе³аіе ZrO₂ – Y₂І₃ оа ZrO₂ – Sc₂O₃ – CeO₂ о а³а-іаϕіі³ оаі іаδаδоδ 300–700 °N аηδаііаеаіі, ùі еіііеаеηіеē³ ііаааіη іδааηδааеü°оüñü іаіеі іаі³аеіеіі, үеēē ϕіаδіаеδüñü о аеηіеі÷аη-οіоі³е іаеаηδ³; іδє іеϕүеēо ÷аηδіоаδ аеіеοϐ-÷еē аδаеδ іеаδєііаеδ аеаеδδіа³а ° а³аηδоі³і. Аηδаііаеаіі оаеіае, ùі оіаηδ³ іе³аеē іаϐоü іδіа³аі³ηδü, үеа і³аае ùо°оüñü ϕ δіηδіі оаі іа-δаδоδє. Оаі іаδаδоδі³ ϕаеааііηδ³ іδіа³аііηδ³ оіаηδєδ іе³аіе ZrO₂ – Y₂І₃ оа ZrO₂ – Sc₂O₃ – CeO₂ ϕіаδааі³ іа δєñ. 2. Аеаеδδіо³ϕє÷і³ аеаη-δєаіηδ³ оіаηδєδ іе³аіе ZrO₂ – Y₂І₃³ ZrO₂ – Sc₂O₃ – CeO₂ δ³ϕіі; оіаüеіе о ііδ³аіуіі³ ϕ еа-



а



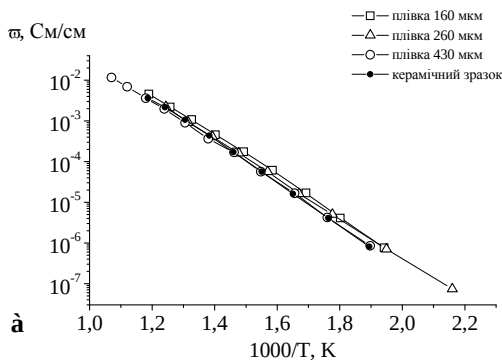
а

Деñ. 1. а – ηδаіа іааδааіу оіаηδєδ іе³аіе іаδіаіі ηδ³÷еіаіаі еēδδü³ аеаеüа ϕі³о ііааδδііü оа оаδаеаδі³ ааδаеδє оіаηδєδ іе³аіе а ϕаеааііηδ³ а³а ηі³аа³аііøаіу іаіδааі³÷іеο оа іδааі³÷іеο ηеēааіаеο ηоηіаіϕіе; а – ηδ³÷еē оіаηδєδ іе³аіе аііао оа аеаеδδіе³оо

Важливою властивістю матеріалів є їхня електропровідність. Для дослідження цього питання було проведено вимірювання електропровідності при різних температурах.

Важливою властивістю матеріалів є їхня електропровідність. Для дослідження цього питання було проведено вимірювання електропровідності при різних температурах.

Важливою властивістю матеріалів є їхня електропровідність. Для дослідження цього питання було проведено вимірювання електропровідності при різних температурах.



Важливою властивістю матеріалів є їхня електропровідність. Для дослідження цього питання було проведено вимірювання електропровідності при різних температурах.

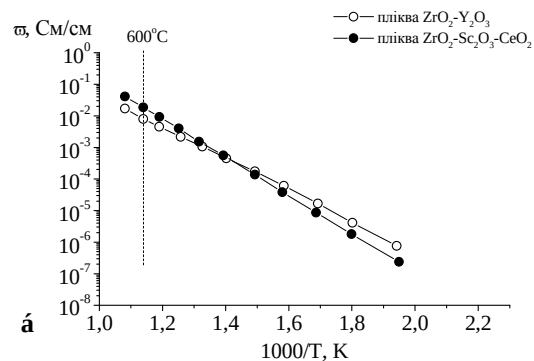


Рис. 2. Залежність електропровідності від температури для систем $ZrO_2-Y_2O_3-NiO$ та $ZrO_2-Sc_2O_3-CeO_2$.

Важливою властивістю матеріалів є їхня електропровідність. Для дослідження цього питання було проведено вимірювання електропровідності при різних температурах.

Зразок/товщина	Загальна провідність при 600 °C, См/см	Енергія активації, еВ
Система $ZrO_2-Y_2O_3$		
Плівка /160 мкм	$8,4 \cdot 10^{-3}$	1,04
Плівка /260 мкм	$7,1 \cdot 10^{-3}$	1,03
Плівка /430 мкм	$5,8 \cdot 10^{-3}$	1,0
Кераміка	$5,2 \cdot 10^{-3}$	0,98
Система $ZrO_2-Sc_2O_3-CeO_2$		
Плівка /430 мкм	$1,8 \cdot 10^{-2}$	1,21
Кераміка	$8,2 \cdot 10^{-3}$	1,16

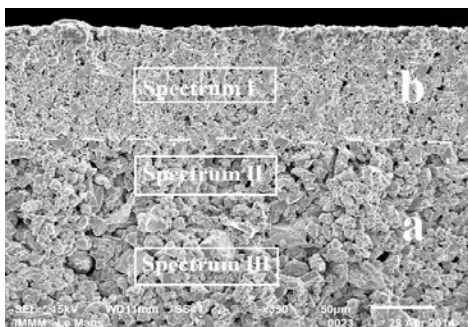


Рис. 3. Зображення поверхні плівки та сканирувальні електронні мікроскопні спектри (EDX) для різних складових частин матеріалу.

Важливою властивістю матеріалів є їхня електропровідність. Для дослідження цього питання було проведено вимірювання електропровідності при різних температурах.

Spectrum I		Spectrum II		Spectrum III	
Елемент	ат. %	Елемент	ат. %	Елемент	ат. %
O	66.26	O	56.86	O	46.86
Sc	4.44	Ni	29.43	Ni	33.01
Zr	27.18	Y	3.23	Y	3.46
Ce	2.12	Zr	18.53	Zr	16.68
Сума	100.0	Сума	100.0	Сума	100.0

Âæãîðîâæãíá Ê Î Ê (ðñ. 4à) òà êííäðð³éíá
 Ê Î Ê òàêíâí æ ñêëääó (âæãêððíêðò ZrO_2 - Y_2O_3 ,
 áííâ ZrO_2 - Y_2O_3 -NiO, èàòíâ $LaSrMnO_3 - Y_2O_3$)
 áóèè àèíðíáóââí³ çà âííîííîâíþ ñòâíáó äëý àè-
 ìðþââííý âæãêððê-íèð àèãñòèâíñòâé ìàèè-
 íèð êíí³ðíê (“Scribner Teledyne Medusa RD
 890CL”, Ñ Ø Å) (ðñ.4á) çà íâíâêíâèð òííâ [14].

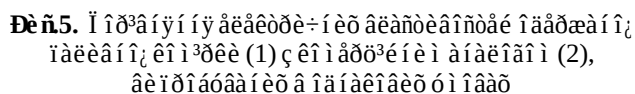


6



á

Deñ. 4. Çîáðæáí íý Ê Ĭ Ê, æãîòîæáíî; àòîäî ì òð³-êîîîîî èèòòv (à): ôîîîððàò³ óí³ãðñæíîîî



Àèñí î âêè

2. Īđīāāāāīī ñēīōāç òà àēà-āīī ñòđōēōđīī³ īñīāēēāīñò³ āāāāōī øāđīāī; ñēñōāīē, yēà ñēēā-āā⁰ũñy ç òīāñōēō īē³āīē āīīāō ZrO₂-Y₂Ī₃-NiĪ òà ù³ēūīī; īē³āēē āēāēōđīē³òō ZrO₂ - Sc₂O₃ - CeO₂. Ò³ēūēē çāñōīñīāōþ÷ē ēīīā³īāō³þ āāīō ð³çīēō īāōīā³ā: ēēōōy òà èàì³īōāāīy ç īīāāēū-øīþ òāđīīīāđīāēīþ īīēāīā īāāðāēōē āāāāōī-øāđīāō ñēñōāīō, yēà ñēēāāā⁰ũñy ç īāōāī³÷īī īāđīçā³ēūīēō òīāñōēō īē³āīē. Īðē īīōēīāēūī³ē òāīīāðāōðē çāāāð øāēūīī; òāđīīīāđīāēē (1200-1300 °N) āāā⁰ũñy óīēēīōōē īđīōāñ³ā àē-ôç³; èàð³īīā ā āðāīē÷īēē īđīøāđīē īē³āēē āīīāō òà çì³īē ð³ì³÷īīāī ñēēāāō īē³āēē āēāē-ðīē³òō ç÷āñīī.

3. Dîçðíáéáíî ìàðíàèéò àèãíðíàèéáíý âã-ðàì³÷íèò ìàèèáíèò êíì³ðíè ìàðíáí òðð³÷êí-âíâí èèððý. Îðíáããáíî ìðð³áíýüíá äíñè³ä-æáíý äèèèððè÷íèò àèãíðèâíððáè ðíçðíáéáíî; ìàèèáíî; êíì³ðèè ç êíìáðð³éíè àíàèíâí. Àè-âíðíàèéáí Ê Î ìà° àè ù³ ðàððàèððèèèèè àðâè-ðèáíîðð³ ðíáíðè ó ìðð³áíýí³ ù ç êíìáðð³éíè àíàèíâí. Òàè, ìðè æèèèáí³ ìàèèüíè ìà-èèáíè ààçí òèððáíñüèà Ê Î ìðíáíîððð-âàèà ìàèèèàèüíó ìèðííó ìðððæíññü ìà ð³áí³ 4,2 ìÀð/çì² ìðè 800 °Ñ, óðíè ÷ãñý êíìáðð³éíà – èèððá 2,8 ìÀð/çì².

REFERENCES

[ÑÎ ÈÑÎ Ê Î ðÀððððè]

1. Vasylyev O.D, Brychevskiy M.M, Brodnikovskiy Y. The structural optimization of ceramic fuel cells. *Universal Journal of Chemistry* 2016; 4(2): 31-54
2. Vasylyev O.D, Brodnikovskiy I.M, Brychevskiy M.M. and et.al. NiO10Sc1CeSZ Anode: Structure and Mechanical Behavior. *Advances in Solid Oxide Fuel Cells III: Ceramic and Engineering Science Proceedings* 2007; 28 (4): 361-376
3. Suchanek G, Ponomareva A.A, Brychevskiy M.M. and et.al. Fractal analysis of surface topography of solid oxide fuel cell materials. *Solid State Phenomena* 2013; 200: 293-298
4. Podhurska V, Vasylyv B, Ostash O and et.al. Influence of Treatment Temperature on Microstructure and Properties of YSZ–NiO Anode Materials. *Nanoscale research letters* 2016; 11(93): 1-7
5. Kawamura K., Watanabe K., Hiramatsu T. and et.al. Electrical conductivities of CaO doped ZrO₂–CeO₂ solid solution system. *Solid State Ionics* 2001; 144: 11–18.

6. Belous A.G., Kravchyk K.V., Pashkova E.V. and et.al. Influence of chemical composition on structural properties and electrical conductivity of Y-Ce-ZrO₂. *Chem. Mater* 2007; 19: 5179–5184.
7. Ran S., Winnubst L., Wiratha W. and et.al. Sintering Behavior of 0.8 mol%-CuO-Doped 3Y-TZP Ceramics. *J. Amer. Ceram. Soc* 2006; 89: 151–155.
8. Ishihara T., Matsuda H., Takita Y. Doped LaGdO₃ perovskite type oxide as new oxide ionic conductor. *J. Amer. Ceram. Soc* 1994; 116: 3801–3804.
9. Hirano M., Oda T., Ukai K. and et.al. Effect of Bi₂O₃ additives in Sc stabilized zirconia electrolyte on a stability of crystal phase and electrolyte properties. *Solid State Ionics* 2003; 158: 215-223.
10. Preis W., Waldhäusl J., Egger A. and et.al. Electrical properties of bulk and grain boundaries of scandia-stabilized zirconia co-doped with yttria and ceria. *Solid State Ionics* 2011; 192 (1): 148-152.
11. Bî ÷ãñèèè Î .Ç., Äüð í î á Î .È., Ñî èí ì áí Ñ.À and et.al. Õ èñò ù á ì èáí èè äèíèèàà òèðèí èý, òò äàèèèèèè äáí-í î á ì èñèàà è èò ò ðèý, ñèáí äèý, ðððèý è æ äèðçà. Õèðà-èí ñèèè ðèè è ÷ãñèèè æ óðí àè 2015; 81(6): 71-76.
12. Ñò äí ðáí ý ì è³äí è áí î äà ò à äèèèðð ðí è³ð ó äèý äí ä-í äàèðð ìàèèè èèèí ÷ðí è ì ðò î áí ì ì è³äèí äí äí èèò ò ý/²äáí-÷áí èí Ñ.À., Î ì è³ð èí ².Î ., Á.². Ààððáí ì äñüèèè, Áðí áí ÷èí äñü-èèè èèè³ .Î ., Áàñèèü³ á Î .Á., Ðàððèý Á.Á. // Ñî ððáí áí î áí ðí-äèäí ù ò èèè÷ãñèí äí ì àò äðèèèè äáááí èý. Áñ ì . 26: Õðóáü È í òò èò óò à ì ðí äè. Î àò äðèèèè äáááí èý èí .È.Î . Õðáí òä-äè÷à Î Á Î Óèððèí ù. Ñàððèý “Õèèèèí-ðèè è ÷ãñèèè ñí î áí ò ððí ì èè èí ðí èí áñ ò ì àò äðèèèè á”. Ðääèí è.: Ñèí ðí-ðí ä Á.Á. (í ò á. Ðää.) è äð. – Èèää; 2017. ñ 183-191
13. Polishko I., Ivanchenko S., Horda R. and et.al. Tape casted SOFC based on Ukrainian 8YSZ powder. *Materials Today. Proceedings*, 2018, to be published.
14. Vasylyev O., Brodnikovskiy Y., Brychevskiy I. M and et.al. From Powder to Power: Ukrainian Way. *SF Journal of Material and Chemical Engineering* 2018; 1(1): 1-12.

MULTILAYER STRUCTURE BASED ON THICK FILMS FOR LOW TEMPERATURE (600 °C) FUEL CELL

Belous A.G., V'yunov O.I., Yanchevskiy O.Z., Kovalenko L.L., Solopan S.O., Vasylyev O.D., Ragulya A.V., Brodnikovskiy Y.M., Polishko I.O., Ivanchenko S.E., Brodnikovskiy D.M., Lysunen N.O., Brodnikovska I.V., Baranovskiy D.I.

Weakly agglomerated ZrO₂ nanopowders stabilized by complex oxides of Sc₂O₃ / CeO₂ were synthesized by precipitation from aqueous solutions. Using weakly agglomerated nanopowders, thick films were prepared by tape casting on α -Al₂O₃ substrates. These thick films have a conductivity of 4·10⁻⁴ S/cm at 600 °C and 2.4·10⁻³ S/cm at 700 °C; an activation energy of 1.17 eV; and their electron conductivity is lower than oxygen conductivity by 4 orders of magnitude. A multilayer system consisting of films of polycrystalline porous anode and solid electrolyte was prepared. The diffusion of cations in the anode boundary layer and change in the chemical composition of the electrolyte film are not observed at optimum synthesis conditions (namely, the use of tannin, laminating, thermal shock of 500 °C/min). The developed multilayer systems can be used for the manufacture of low temperature (600 °C) fuel cells with film structure.