Í ÀÖ²Î Í ÀËÜÍ À ÀÊÀÄÅÌ ²ß Í ÀÓÊ ÓÊÐÀ¯Í È

ВОДЕНЬ В АЛЬТЕРНАТИВНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ ТА НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЯХ

çà çàãàëüíîþ ðåäàêö³ þ
Â.Â. Ñêîðîõîäà, Þ.Ì. Ñîëîí³íà

Êèºâ
«Âèäàâíèöòâî «Ê²Ì»
2015

ÓÄÊ 620.9:546.11
ÁÁÊ 31.2
Â 94

Ðåäàêö³éí à êî ëåã³ÿ:
ãî ëî âà – àêàäåì ³ê Í ÀÍ Óêðàï è Þ .Ì . Ñîëîí ³í ;
çàñò. ãî ëî âè – àêàäåì ³ê Í ÀÍ Óêðàï è Â.Â. Ñêî ðî ñî ä;
â³äï î â³äàëüí è é ñåêðåòàð – Î .Ã ª ðø î âà

×ëåí è ðåäàêö³éí î ¿êî ëåã³ï:
².². Á³ëàí , Ë.². ×åðí èø åâ, ÒÂ. Ãóäèì åí êî , Ë.Î . Êî âàëüî âà, Â.². Ñåì åí öî â

Äðóêóºòüñÿ çã³äí î ç ð³ø åí í ÿì Í àóêî âî ¿ðàäè êî ì ïåêñí î ¿ï ðî ãðàì è í àóêî âèõ äî ñë³äæåí ü Í ÀÍ Óêðàï è «Âî äåí ü â àëüòåðí àòèâí ³é åí åðãåòè ³ò à í î â³òí ³õ òåõí î ëî ã³ÿõ»

Âî äåí ü â àëüòåðí àòèâí ³é åí åðãåòè ³ò à í î â³òí ³õ òåõí î ëî ã³ÿõ/ çà ðåä. Â.Â. Ñêî ðî ñî ä,
Â 94 Þ .Ì . Ñîëîí ³í à. – Ê.: «Ê²Ì », 2015. – 294 ñ.

ISBN 978-617-628-045-3

Âèäàí ÿ âêëþ ÷àº î ñí î âí ³ ðåçóëüòàòè í àóêî âèõ äî ñë³äæåí ü âèêî í àí èõ â ï ðî â³äí èõ ³í ñòèòóòàõ Í àö³î í àëüí î ¿àêàäåì ³¿í àóê Óêðàï è â ðàì êàõ àêàäåì ³÷í î ¿ï ðî ãðàì è «Âî äåí ü â àëüòåðí àòèâí ³é åí åðãåòè ³ò à í î â³òí ³õ òåõí î ëî ã³ÿõ» î òðèì àí èõ í à ï ðî òÿç³ 2011 – 2015 ðî ê³â. Ì í î ãðàô ³ÿ áóäå êî ðèñí à äëÿ í àóêî âö³â, ÿê³ ö³êàâëÿòüñÿ ï ðî áëåì àì è ñó÷àñí î ¿«çåëåí î ¿» åí åðãåòèêè, âèêî - ðèñòàí í ÿì àëüòåðí àòèâí èõ äæåðåë åí åðã³¿, òàêèõ ÿê ñî í ÿ÷í à, â³òðî âà òà ³í ø ³, î ñî áëèâî â ¿õ ò³ñí î ì ó ï î ºäí àí í ³ ç òåõí î ëî ã³ÿì è âî äí åâèõ ï àëèâí èõ êî ì ³ðî ê.

ÓÄÊ 620.9:546.11
ÁÁÊ 31.2

ISBN 978-617-628-045-3

ЕЛЕКТРОЛІТНІ ТА ЕЛЕКТРОДНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ (600 °С) ПАЛИВНОЇ КОМІРКИ НА ОСНОВІ ОКСИДУ ЦИРКОНІЮ, СТАБІЛІЗОВАНОГО КОМПЛЕКСНИМИ СКАНДІЄВМІСНИМИ ДОБАВКАМИ

Ââåäåí ÿ

Î êñèä öèðêî í³þ , ñòàá³ë³çî âàí èé â êóá³÷í ³é ñòðóêòóð³ ôåþ î ðèòó, õàðàêòåðèçóº òüñÿ âèñî êî þ ï ðî â³äí ³ñòþ ï î êèñí þ . Â³í ñòàí î âèòü çí à÷í èé í àóêî âèé ³ï ðàêòè÷í èé ³í òåðåñó çâ'ÿçêó ç ì î æëèâ³ñòþ éî ãî çàñòî ñóâàí ÿ â òàåðäî ò³ëüí èõ ï àëèâí èõ åëà ì åí òàõ, êèñí åâèõ äàò÷èêàõ, ôî ù î [1, 2]. Â³äî ì î , ù î î êñèä öèðêî í³þ ï ðè ê³ì í àòí ³é òåì ï åðàòóð³ êðèñòàë³çóº òüñÿ â ì î í î êë³í í î ¿ñèí ãî ³¿ Ë. Ï àóë³í ãî ì [3] áóëî ï î êàçàí î , ù î ãðàí èöÿ ñòàá³ëüí î ñò³ ñòðóêòóðè òèï î ô ëþ î ðèòó î áì åæåí à ñï ³ââ³äí î ø åí ÿì ³î í í èõ ðàä³óñ³â ì åòàëó (Rm) äî ³î í í î ãî ðàä³óñó êèñí þ ($R_î$): $R_m/R_î \geq 0,73$. Êóá³÷í èé ZrO2 ì î æí à î òðèì àòè ï ðè çá³ëüø åí í ³ ñåðåäí üî ãî ðàä³óñó êàò³î í à ø ëÿõî ì çàì ³ù åí ÿ ³î í ³â Zr^{4+} ³î í àì è á³ëüø î ãî ðàä³óñó àáî óòàî ðåí ÿì âàêàí ñ³é â êèñí åâ³é ï ³äãðàòö³. Äëÿ ñòàá³ë³çàö³¿êóá³÷í î ¿ô àçè î êñèäó öèðêî í³þ ÷àñòî âèêî ðèñòî âóþ öü î êñèä ³òð³þ (Y_2O_3), â öüî ì ó âèï àêó ñï î ñòåð³ãàº òüñÿ î äí î ÷àñí å çá³ëüø åí í ÿ ñåðåäí üî ãî ðàä³óñó êàò³î í à ($rY^{3+}_{ê.÷.8}$=0,1019 í ì , $rZ^{4+}_{ê.÷.8}$=0,084 í ì) ³ óòàî ðåí ÿ âàêàí ñ³é â ï ³ãðàòö³ êèñí þ . Â ñèñòåì ³ $ZrO_2 – Y_2O_3$ ç³ çá³ëüø åí í ÿì êî í óåí òðàö³¿Y_2O_3 â³äáóâàº òüñÿ ï åðåð³ä â³äà ì î í î êë³í í î ¿äî òåòðàãî í àëüí î ¿³ï î ò³ì ï ðè 8% ì î ë. Y_2O_3 – äî êóá³÷í î ¿ñòðóêòóðè. Ï ðî òåî î êèñä öèðêî í³þ , ñòàá³ë³çî âàí èé î êèñäî ì ³òð³þ , ì àº âèñî êó òåì ï åðàòóðó ñï ³êàí í ÿ (³ 1600 °Ñ) ³ í èçüêó ñòàá³ëüí ³ñòü ó âî ëî ã³é àòì î ñò åð³ [4].

Î êñèä öèðêî í³þ , ñòàá³ë³çî âàí èé î êèñäî ì ñêàí ä³þ , ôàðàêòåðèçóº òüñÿ í àéâèù î þ ³î í í î þ ï ðî â³äí ³ñòþ ñåðåä òâåðäèõ åëåêòðî ë³ò³â í à î ñí î â³ ZrO_2 [5]. Ï ðè öüî ì ó ñòàá³ë³çàö³ÿ â³äóâàº òüñÿ ï åðåâàæí î âí àñë³äî ê óòâî ðåí ÿ âàêàí ñ³é â êèñí åâ³é ï ³ãðàòö³, î ñê³ëüêè ³î í í ³ ðàä³óñè öèðêî í³þ òà ñêàí ä³þ áèèçüê³ ($rZr^{4+}_{ê.÷.8}$=0,084 í ì , $rSc^{3+}_{ê.÷.8}$ = 0,087 í ì) ³ çá³ëüø åí í ÿ ñåðåäí üî ãî ðàä³óñó êàò³î í à ï ðàêòè÷í î â³äñóòí º . Î ñòàí º ï î ñëàáëþ º ñòàá³ëüí ³ñòü êóá³÷í î ¿ô àçè ï ðè ï ³ââèù åí í ³ òåì ï åðàòóðè, ù î ñóï ðî âî äæº òüñÿ ô àçî âèì ï åðåõî äî ì â î áèàñò³ 600–640 °Ñ çóòâî ðåí ÿì ðî ì áî åäðè÷í î ¿ô àçè $Sc_2Zr_7O_{17}$ (r-ZrO_2) [6].

Ó ðÿä³ ðî á³ò ï î êàçàí î , ù î âåäåí ÿ î êñèäó çàë³çà ÿê ðåòóîî ãî êî ì î í åí òà ÿê â ñèñòåì ó $ZrO_2 – Y_2O_3$ [7], òàê ³ â ñèñòåì ó $ZrO_2 – Sc_2O_3$ [8] ñï ðèÿº óòâî ðåí í þ êóá³÷í î ¿ô àçè î êñèäó öèðêî í³þ . Ï ðî òå ³í ô î ðì äò³ÿï ðî ï ðèðî äó âï ëèâó î êñèäó çàë³çà í à ñòàá³ë³çàö³þ êóá³÷í î ¿ô àçè î êñèäó öèðêî í³þ ï ðàêòè÷í î â³äñóòí ÿ. Ñóï åðå÷ëèâ³ ë³òåðàòóðí ³ äàí ³ï ðî âï ëèâ Fe_2O_3 í à ï ðî â³äí ³ñòüî êñèäó öèðêî í³þ . Òàê, â ðî áî ò³ [9] ï î êàçàí î , ù î äî äàâàí ÿ Fe_2O_3 çì åí ø óº ï ðî â³äí ³ñòüî á'º ì ó ³ ãðàí èöü çåðåí , à â [10] ñòåðäæº òüñÿ, ù î äî äàâàí ÿ Fe_2O_3, í àâï àêè, çá³ëüø óº ï ðî â³äí ³ñòüî ãðàí èöü çåðåí . Ï ðè öüî ì ó àâôî ðè í å äî ñë³äæóâàòè åëåêòðî í í ó ï ðî â³äí ³ñòüî ï ðè äî äâàí í ³ î êñèäó çàë³çà, ù î í å äî çâî ëÿº êî ðåêòî î ñóäèòè ï ðî âî äæ Fe_2O_3 í à ³î í í ó ï ðî â³äí ³ñòüñòà-á³ë³çî âàí î ãî î êñèäó öèðêî í³þ .

Óòâî ðåí í þ ñòàá³ëüí î ¿ô àçè êóá³÷í î ãî ZrO_2 ñï ðèÿº òàêî æ âåäåí ÿ CeO_2 ÿê òðåòüî ãî êî ì î í åí òó â ñèñòåì àõ ZrO_2-Y_2O_3 è ZrO_2-Sc_2O_3 [11]. Äëå âåäåí ÿ ÑåÎ $_2$ (äî 10 ì î ë.%) ì î æå ñóï ðî âî äæóâàòèñÿ ï î ÿâî þ ì åòàñòàá³ëüí î ¿ òåòðàãî í àëüí î ¿ô àçè [12]. Çí à÷í î âï ëèâàº í à ô³çè÷í ³ òà åëåêòðè÷í ³ âëàñòèâî ñò³ êåðàì ³êè ñï î ñ³á î òðèì àí í ÿ ï î ðî ø êó áëÿ ¿¿ñï ³êàí í ÿ. Ï åðåä³ñòî ð³ÿ ì î æå áóòè î äí ³º þ ç ï ðè÷èí , ÷î ì ó êåðàì ³êà ç öåð³º âèì è äî áàâêàì è ï î ãàí î ñï ³êàº òüñÿ òà ÷î ì ó ³ñí óþ öü ñóòòº â³ ðî çá³æí î ñò³ ó î ï òèì àëüí èõ êî í öåí òðàö³ÿõ öåð³þ äëÿ äî ñÿãí åí ÿ í áéâèù î ¿ êèñí åâî ¿ï ðî â³äí î ñò³ [13, 14].

Ó ï î ë³êðèñòàë³í èõ ³î í í èõ ï ðî â³äí èêàõ çàãàëüí à ï ðî â³äí ³ñòü âèçí à÷à º òüñÿ î ï î ðî ì î á'º ì ó òà ãðàí èöü çåðåí . Á³ëüø ³ñòü äî ñë³äæåí ü ñï ðÿì î âàí ³ í à ï ³äâèù åí í ÿ ï ðî â³äí î ñò³ î á'º ì ó çåðåí . Â òî é æå ÷àñ äëÿï î ø óêó ø ëÿõ³â ï ³äâèù åí í ÿ ³î í í î ¿ï ðî â³äí î ñò³ ï î ë³êðèñòàë³í èõ ñèñòåì í åî áõ³äí à ³í ô î ðì òà³ÿ ÿê ï ðî çàãàëüí ó ï ðî â³äí î ñò³, òàê ³ ï ðî ï ðî â³äí ³ñòü î á'º ì ó çåðåí .

Ï äëèâí ³ åëàì åí òè ï ðàöþ þ òü â ø èðî êî ì ó ³í òåðâàë³ âêòèâí î ñò³ (ï ðàö³äëüí î ãî òèñêó) êèñí þ , ù î ì î æå â çí à÷-í èõ ì åæàõ çì ³í þ âàòè åëåêòðî í í ó ï ðî â³äí ³ñòü òâåðäèõ åëåêòðî ë³ò³â [15]. Òî ì ó äî ñë³äæåí ÿ åëåêòðî í í î ¿ ï ðî â³äí î ñò³ òâåðäèõ åëåêòðî ë³ò³â í à î ñí î â³ ñòàá³ë³çî âàí î ãî î êñèäó öèðêî í³þ ñòàí î âèòü çí à÷í èé ³í òåðñ.

Ï åðñï âêòèâí èì º âèêî ðèñòàí ÿ êóá³÷í î ãî ä³î êñèäó öèðêî í³þ â ï äëèâí èõ åëåì åí òàõ óâèãëÿä³ òî ãñòèõ ï ë³âî ê (20–50 ì êì). Öå äî çâî ëÿº ì ³í ³àòþ ðèçóâàòè ðî çì ³ð ï äëèâí èõ åëåì åí ò³â òà çá³ëüø èòè êî åô ³ö³º í òêî ðèñí î ¿ä³¿, Òî ì ó âàæëèâèì º òàêî æ ñèí òåçòî âñòèõ ï ë³âî ê êóá³÷í î ãî ä³î êñèäó öèðêî í³þ òà ï ðî åâååí ÿ ï î ð³âí ÿí í ÿ åëåêòðî ³çè÷í èõ âëàñòèâî ñòåé î á'º ì í èõ ³ ï ë³âêî âèõ ì àòåð³äë³â í à î ñí î â³ êóá³÷í î ãî ä³î êñèäó öèðêî í³þ .

Ì åòî þ äàí î ¿ðî áî òè áóëî : äî ñë³äæåí ÿ ðî ë³ î êñèä³â çàë³çà òà öåð³þ â ñòàá³ë³çàö³¿êóá³÷í î ¿ô àçè ä³î êñèäó öèðêî í³þ ; î ï ø óê î ï òèì äëüí èõ còàá³ë³çóþ ÷èõ êî í öåí òðàö³é Fe_2O_3 òà CeO_2, âèâ÷åí í ÿ òà ï ðî åâåäí ÿ ï î ð³âí ÿí í ÿ ³î í í î ¿ ï ðî â³äí î ñò³, âêëþ ÷àþ ÷è çàãàëüí ó ï ðî â³äí ³ñòü ³ ï ðî â³äí ³ñòü î á'º ì ó çåðåí , à òàêî æ åëåêòðî í í î ¿ ï ðî â³äí î ñò³ ñòàá³ë³çî âàí î ãî ä³î êñèäó öèðêî í³þ â ø èðî êî ì ó ³í òåðâàë³ âêòèâí î ñò³ êèñí þ â î áëàñò³ ñåðääí ³ õ òàì ï åðàòóð

(600–750 °Ñ); ðîí çðîí áêà ñèí òåçóòîí âñòèõ ï ë³âî ê ñòàá³ë³çî âàí î ãî ä³î êñèäó öèðêî í ³þ òà ï î ð³âí ÿëüí è é àí àë³ç åëåêòðîô³çè÷í èõ âèäàñòèâî ñòåé î á'ì í èõ ³ï ë³âêî âèõ ì àòåð³àë³â í à î ñí î â³ êóá³÷í î ãî ä³î êñèäó öèðêî í ³þ .

Åêñï åðèì åí òàëüí à ÷àñòèí à

Ñèí òåç î áðàí èõ í à î ñí î â³ ï î ï åðåäí ³õ äàí èõ ñêëàä³â ï î ñòî ø ê³â (ZrO$_2$)$_{0,90}$(Y$_2$O$_3$)$_{0,07}$(Fe$_2$O$_3$)$_{0,03}$, (ZrO$_2$)$_{0,90}$(Sc$_2$O$_3$)$_{0,07}$(Fe$_2$O$_3$)$_{0,03}$, (ZrO$_2$)$_{0,80}$(Y$_2$O$_3$)$_{0,14}$(Ce$_2$O$_3$)$_{0,06}$, (ZrO$_2$)$_{0,80}$(Sc$_2$O$_3$)$_{0,14}$(Ce$_2$O$_3$)$_{0,06}$ ï ðî âî äëëè ì åòî äî ì ï î ñë³äî âí î ãî äâî ñòà ä³é î ãî î ñàäæåí ï ÿ [16]. Ñï ³êàí ï ÿêåðàì ³êè çàëæí î â³ä ñêëàäó ñèí òåçî âàí î ãî ï î ðî ø êó ï ðî âî äëëè ï ðè òåì ï åðàòóð³ 1400–1500 °Ñ. Ñèí òåçî âàí ³ ï î ðî ø êè âèêî ðèñòî âóâàëè ï ðè î òðèì àí í ³ òî âñòèõ ï ë³âî ê ì åòî äî ì type casting ç âèêî ðèñòàí í ÿì î áëàäí í ÿ äëÿ í äí ññí³ëåí í ÿ ï ë³âî ê Film Applicator and Drying Time Recorder, Coatmaster 510 (Erichsen, Germany).

Çðàçêè äî ñë³äæóâàëè ì åòî äî ì ðåí òãåí î ô àçî âî ãî àí àë³çó (ÐÔÀ) í à äè ô ðàêòî ì åòð³ ÄÐÎ Í -3Ì (Cu*K*α-âèï ðî ì ³-í þ âàí í ÿ, Ni ô ³ëüòð). ß ê çî âí ³ø í ³ ñòàí äàðòè âèêî ðèñòî âóâàëè ñåðòè ô ³êî âàí èé SiO$_2$ (ñòàí äàðò 2Θ) ³ Al$_2$O$_3$ (ñòàí äàðò ³í åí ñèâí î ñò³). Äëÿ ÐÔÅ âèêî ðèñòî âóâàëè áàçó äàí èõ JCPDS. Äëÿ äî ñë³äæåí í ÿ ê³í åòèêè çì ³í è ðî çì ³ð³â êåðàì ³÷-í èõ ì àòåð³àë³â â ï ðî öåñ³ ñï ³êàí í ÿ âèêî ðèñòî âóâàëè åðòèêàëüí èé äèëàòî ì åòð SETSYS Evolution (Setaram Instrumentation, Ôðàí ö³ÿ).

Ì ³êðî ñòðóêòóðó êåðàì ³÷-í èõ ³ï ë³âêî âèõ çðàçêî â äî ñë³äæóâàëè í à ðàñòðî âî ì ó åëåêòðî í í î ì ó ì ³êðî ñêî ï ³ (ÐÅÌ) Jeol JSM 6510 ç ñèñòåì î þ õ³ì ³÷-í î ãî àí àë³çó EDX JED-2300 JEOL (ß ï î í ³ÿ).

Äëÿ âèçí à÷åí í ÿ çàãàëüí î ¿ ï ðî â³äí î ñò³ òà î á'º ì í î ¿ ï ðî â³äí î ñò³ çåðåí ñòàá³ë³çî âàí î ãî î êñèäó öèðêî í ³þ äî ñë³äæåí í ÿ ï ðî â³äí î âèëè â ³í òåðâàë³ ÷àñòî ò 1 Ãö – 2 Ì Ãö ç âèêî ðèñòàí í ÿì 1260 Frequency Response Analyzer ³ 1296 Dielectric Interface (Solartron). Âèì ³ðþ âàí í ÿ ï ðî â³äèëè â ä³ïï àçî í ³ òåì ï åðàòóð 600-1073 Ê â àòì î ñô åð³ ñóõî ãî ï î â³ððÿ â äâî åëåêòðî äí ³é êî ì ³ðö³ (DataLine). Àí àë³ç äàí èõ ï ðî â³äèâñÿ çà äî ï î ì î ãî þ ï ðî ãðàí í î ãî çàáåçï å÷åí í ÿ "Zview" (Solartron).

Ì åñíàóåð³âñüê³ ñï åèòðè (Ì Ñ) î ðèì óâàëè ï ðè ê³ì í àòí ³é òåì ï åðàòóð³ í à ñï åêòðî ì åòð³, ù î ï ðàöþ º â åæèì ³ ï î ñò³éí èõ ï ðèñêî ðåí ü, ç âèêî ðèñòàí í ÿì äæåðåëà ãêîâàí ò³â Ññ ³ â ì àòðèö³ Rh [17]. Î áðî áëÿëè Ì Ñ çà ì åòî äî ì í àéì åí ø èõ êâàäðàò³â çâèêî ðèñòàí í ÿì ï ðî ãðàì è Univem2. Ï ðè ì î åëåþ âàí í ³ ï ðî ô ³ë³â âèêî ðèñòî âóâàëè äàí ³ ðåñòàâðàò³¿ô óí êò³é ðî çï î ä³ëó êâàäðóï î ëüí î ãî ðî çù åï ëåí í ÿ.

Âåëè ÷è í óëåêòðî í í î ¿ï ðî â³äí î ñò³ çðàçê³â âèçí à÷àëè çà äî ï î ì î ãî þ ï î ëÿðèçàò³éí î ¿ì åòî äèêè Õåááà-Âàãí åðà. Äëÿ áëî êóâàí í ÿ ³í í ³â êèñí þ âèêî ðèñòî âóâàëèñÿ ï ëàòè í î â³ì ³êðî åëåêòðî äè ç ðàä³óñî ì êî í òàêòó 120 ± 20 ì êì . Ù î á Pt åëåêòðî ä áóâ ï î â³ñòþ áëî êóþ ÷èì ³ù î á óí èêî óòè åëåêòðî ñ³ ³÷-í î ¿ðåàêò³¿ì ³æ O$_2$ çðàçêà ³ O$_2$ ç çî â³ø í ïï ¿ ãàçî â³ ¿ô àçè, í àí î ñèëè âèñî êî òåì ï åðàòóðî è é â³ë î ãî ñò³éêèé êåðàì ³÷-í èé êêåé RESBOND 908 (Cotronics Corporation) í àâêî ëî ì ³êðî åëåêòðî äà, à òàêî æ í à ï î â³åðõí þ çðàçêà. Áëî êóþ ÷èé õàðàêòåð Pt ì ³êðî åëåêòðî äà ï åðåä âèì ³ðþ âàí í ÿì è ðåòåëüí î ï åðåå³ðÿëè. Âñ³ ³åñí åðèì åí òè ï ðî â³äèëè â í àï ðÿì êó â³ä í èçüêî ¿âêòèâí î ñò³ êèñí þ (10^{-25}) äî âèñî êî ¿âêòèâí î ñò³ êèñí þ (10^{3}) [18].

Ðåçóëüòàòè òà ¿õ î áãî âî ðåí í ÿ

1. Ðî ëü î êñèäó çàë³çà â ñò àá³ë³çàö³¿ êóá³÷í î ¿ô àçè äèî êñèäó öèðêî í ³þ â ñèñò ãì àõ (ZrO$_2$)$_{0,9}$(Y$_2$O$_3$)$_{0,1-δ}$(Fe$_2$O$_3$)$_δ$ ³ (ZrO$_2$)$_{0,9}$(Sc$_2$O$_3$)$_{0,1-δ}$(Fe$_2$O$_3$)$_δ$

Ñèñòåì à ZrO$_2$-Y$_2$O$_3$-*F*e$_2$O$_3$. Â ï î òð³éí ³é ñèñòåì ³ ZrO$_2$-Y$_2$O$_3$-Fe$_2$O$_3$, Fe$_2$O$_3$ î áì åæåí î ðî ç÷èí ÿº òüñÿ â êðèñòàë³÷-í ³é ãðàòö³ ZrO$_2$, àëå í å º ñòàá³ë³çàòî ðî ì éî ãî âèñî êî òåì ï åðàòóðî è ò ì î äè ô ³êàö³é, õî ÷à ñï ðèÿº ñòàá³ë³çàö³¿ZrO$_2$, ³ñòî ò î çá³ëüø óþ ÷è åô åêòèâí ³ñòü Y$_2$O$_3$ ÿê ñòàá³ë³çàòî ðà âèñî êî òåì ï åðàòóðî í ãî ZrO$_2$ [7]. Òî é ô âêò, ù î Fe$_2$O$_3$ ñòàá³ë³çóº ZrO$_2$ ò³ëüêè â ï ðèñóòí î ñò³ Y$_2$O$_3$, í àâî ï äèòü í à äóì êó ï ðî ñòåðè÷-í èé ô àêòî ð (ô àêòî ð òî ëåðàí òí î ñò³), ï ðè ÿêî ì ó çàáåçï å÷óº òüñÿ ñòàá³ë³çàö³ÿ âèñî êî òåì ï åðàòóðî è ò ì î äè ô ³êàö³é, àáî ï ðî óòâî ðåí í ÿ ñòàá³ë³çóþ ÷î ¿ñï î ëóêè Y-Fe-O.

Ï î ðÿä ç áåçñóì í ³âí èì âï ëèâî ì ðî çì ³ðí î ãî ô àêòî ðà í à ñòàá³ë³çàö³þ âèñî êî òåì ï åðàòóðî ãî ZrO$_2$ î ÷åêèâí èì º òàêî æ âï ëè â ³í ø è ò ô àêòî ð³â. Ì è âîâàæàº ì î , ù î ñòàá³ë³çàö³ÿ ñ-ZrO$_2$ â ñèñòåì ³ ZrO$_2$-Y$_2$O$_3$-Fe$_2$O$_3$ ì î æå áóòè î áóì î âëåí à óòâî ðåí í ÿì õ³ì ³÷-í î ¿ñï î ëóêè, ³çî ì î ðô í î ¿äî ñ-ZrO$_2$. Çã³äí î [19], â á³í äðí ³é ñèñòåì ³ Y$_2$O$_3$-Fe$_2$O$_3$ ï ðè òåðì î î áðî áö³ êñåðî ãåë³â (ã³äðî êñè ä³â ³ äèêî ãî ëÿò³â) âñòàí î âëåí î óòâî ðåí í ÿ äâî õ ñï î ëóê: î ðòî ô åðèò³â YFeO$_3$ ç³ ñòðóêòóðî þ äåî ðò î êàí î ãî ï åðî âñê³òó ³ ô åðî ãðàí àò³â Y$_3$Fe$_5$O$_{12}$. ²åáí òèô ³êàö³ÿ ô àçè î ðòî ô åðèò³â YFeO$_3$ í à Ì Ñ çðàçê³â (ZrO$_2$)$_{0,9}$(Y$_2$O$_3$)$_{0,07}$(Fe$_2$O$_3$)$_{0,03}$ ï ³ñëÿòåðì î î áðî áêè ï ðè 1470Ê, ³ ¿â³äñóòí ³ñòüí í à Ì Ñ öèõ æå çðàçê³â ï ³ñëÿòåðì î î áðî áêè ï ðè 1620 Ê âêàçóº í à ðî ç÷èí í ³ñòü YFeO$_3$ â ñ-ZrO$_2$. Â³äí ì ³ äâ³ì î äèô ³êàö³¿YFeO$_3$. Çà äàí èì è ðî áî òè [20] YFeO$_3$ çåâêñàãî í äëüí èì åëåì åí òàðí î þ êî ì ³ðêî þ (a = 0,3511 í ì ; c = 1,172 í ì ; V = 12,512 í ì ³; Z = 2 ç êóóî ì , ð³âí èì 60°) óòâî ðþ º òüñÿ ï ðè òåðì î î áðî áö³ êñåðî ãåë³â â ³í òåðâàë³ Ò= 990–1070 Ê, à ç ï ³äâèù åí í ÿì òåì ï åðàòóðè äî 1150–1200 Ê ãåêñàãî í äëüí à êî ì ³ðêà òðàí ñîî ðì óº òüñÿ â î ðòî ðî ì á³÷-í ó (a = 0,5280 í ì ; b = 0,5592 í ì ; c = 0,77602 í ì ; V = 22,476 í ì ³; Z = 4). Ï ðè âèñî êêõ òåì ï åðàòóðàõ ï åðî âñêêò ì î æå ï åðåõî äèòè â êóá³÷-í ó ì î äèô ³êàö³þ , ï ðè ÷î ì ó ðî ì áî åðàòóðè ÷-í à ô àçà º ï ðî ì ³æí î þ ì ³æ ðî ì á³÷-í î ¿³êóá³÷-í î ¿ Çí àâåâåí î ãî àí àë³çó âèï ëèâàº , ù î ãåêñàãî í äëüí èé YFeO$_3$ ì î æå óòâî ðþ âàòè òâåðä³ ðî ç÷èí è ç ZrO$_2$ âæå ï ðè ï î ð³âí ÿí î í èçüêèõ òåì ï åðàòóðàõ (ï ðè òåì ï åðàòóðàõ óòâî ðåí í ÿ h-YFeO$_3$), ù î ñï ðèÿº óòâî ðåí í þ ø èðî êî ¿î áèàñò³ c ZrO$_2$ [16].

Ñòàá³ëüí ³ñòü ñòðóêòóðè çàë³çî âì ³ñí èõ òâåðäèõ ðî ç÷èí ³â ç³ ñòðóêòóðî þ òåòðàãî í äëüí î äåô î ðî ì î âàí î ãî ô ëþ î ðèòó ï ðè òðèâàëî ì ó çáåð³ãàí í ³ äî âåäåí à ì åòî äî ì Ì Ñâ [16]. Öåñ ñâ³ä÷èòüí ï ðî òà, ù î ÷àñòèî âåà çàì ³ù åí í ÿ ³î í ³â Y^{3+} í à Fe^{3+} ñï ðèÿº ñòàá³ëüí î ñò³ ñòðóêòóðè âèñî êî òåì ï åðàòóðî í î ãî ZrO$_2$ â ÷àñ³. Àâôî ðè [21] äåãðàäàö³þ ñòðóêòóðè ñòàá³ë³çî âàí î ãî ³òð³º ì ä³î êñèäó öèðêî í ³þ ï î â'ÿçóþ òü ç ì àðòåí ñèòí èì ï åðåõî äî ì t-ZrO$_2$→m-ZrO$_2$, î áóì î âëåí èì àäñî ðáö³º þ âî äè. Î òæå, ñòàá³ëüí ³ñòü ñòðóêòóðè âèñî êî òåì ï åðàòóðî í ãî ZrO$_2$ â äî ñë³äæóâàí ³é ñèñòàì ³ì î æí à ï î ÿñí èòè çì åí ø åí í ÿì ¿ã³äðî ô ³êüí î ñò³, î áóì î âëåí î ¿óòâî ðåí í ÿì ñï î ëóêè YFeO$_3$. Ðåçóëüòàòè äî ñë³äæåí í ÿ SEM ³ EDS ï ³äòâåðäæóþ òü, ù î ï ³äâèù åí í ÿ ñòàá³ë³çàö³¿Y-ZrO$_2$ ï ðè äî äàâàí í ³ Fe$_2$O$_3$ â³äóóâàº òüñÿ çà ðàõóí î ê çì åí ø åí í ÿ ñåãðåãàö³¿³òð³þ í à ãðàí è ö³ çåðåí .

Ñèñòåì à (ZrO$_2$)$_{0,9}$(Sñ$_2$O$_3$)$_{0,1-x}$(Fe$_2$O$_3$)$_δ$. Çã³äí î çï ðàâèëî ì Î ñòâàëüäà, ï ðè ï åðåõî ä³ç àì î ðô í î ãî â êðèñòàë³÷-í è é ñòàí

âï åðø ó ÷åðãóï î âèí í à óòâîð ðþ âàòèñÿ êóá³÷í à ì î äèô³êà-ö³ÿ c-ZrO_2. Öåï ³äòâåðäæóþ òù äèô ðàêòî ãðàì è çðàçê³â $(ZrO_2)_{0,90}(Sc_2O_3)_{0,10-x}(Fe_2O_3)_{ð}$ï ³ñëÿ òåðì î î áðî áêè ï ðè òåì - ïåðàòóð³ 870 Ê, í à ÿêè õ âñ³ðåô ëåêñè â³äí î ñÿòùñÿ äî c-ZrO_2. Ë³í ³éí å çì åí ø åí í ÿ î á'º ì ó åëàì åí òàðí î ¿êî ì ³ðêè c-ZrO_2 â î áëàñò³ ãî ì î ãåí í î ñò³ óçãî äæóº òùñÿ çï ðàâèêî ì Âåãàðäà ($rSc^{3+}_{к.ч.6} = 0,0745$ í ì > $rFe^{3+}_{к.ч.6} = 0,0645$ í ì [22]) ³ âêàçóº í à óòâî ðåí ÿ òâåðäî ãî ðî ç÷èí ó çàì ³ù åí í ÿ.

Í à ï ³äñòàâ³ ÐÔÀ äëÿ ì åñáóåð³âñüêè õ äî ñë³äæåí ü áóâ î áðàí èé çðàçî ê $(ZrO_2)_{0,9}(Sc_2O_3)_{0,1-x}(Fe_2O_3)_x$ ç $x = 0,04$ ï ³ñëÿ òåðì î î áðî áêè ï ðî òÿãî ì 2 ãî ä. ï ðè 1670 òà 1800 Ê. Ï åð-ø èé çðàçî ê ñêêàäàâñÿ ç ô àç c-ZrO_2 ³ m-ZrO_2, à äðóãèé ì ³ñòè â ò ëüêè ô àçó c-ZrO_2.

Â ðî áî ò³ [23] âñòàí î âëåí î , ù î ï ðè òåðì î î áðî áó³ ñó-ì ³ø ³î êñè ä³â ñêàí ä³þ ³çàë³çà â ñï ³ââ³äí î ø åí í ³ $Fe^{3+}/Sc^{3+} \le 1$ óòâî ðþ þ òüñÿ òååðä³ ðî ç÷èí è çà ì ³ù åí í ÿ Sc_2 x$FexO_3$. Ì å-òî äà ì è åëåêòðî í í î ¿ òà í åéòðî í í î ¿ äè ô ðàêö³¿ ï î êàçàí î , ù î $ScFeO_3$ õàðàêòåðèçóº òùñÿ êóá³÷í î ¿ ñòðóêòóðî þ òèï ó á³êñá³òà í à î ñí î â³ Sc_2O_3 (ï ð. ãð. Ia_3).

Í à ñïûî ãî äí ³ø í ³é äåí ü í åì àº ÷³òêî ãî óÿâëåí í ÿ ï ðî ì å-õàí ³çì è ñòàá³ë³çàö³¿ âèñî êî òåì ï åðàòóðí è ò ì î äè ô ³êàö³é ä³î êñè äó ôèðêî í ³þ . Á³ëüø ³ñòü äî ñë³äí è êê³â âàæàº, ù î âè³-ø äëüí à ðî ëü ó ñòàá³ë³çàö³¿ ZrO_2 ãðàº çì åí ø åí í ÿ åëåêòðî-ñòàòè ÷í î ãî â³äø òî âõóâàí í ÿ ì ³æ ³î í àì è êèñí þ â äí ³î í í è ï î ë³åðàõ çà ðàõóí î ê ååòåðî âàëåí òí î ãî çàì ³ù åí í ÿ ³î í ³â Zr^{4+} í à ³î í è ç âåèêèì ³î í í è ì ðàä³óñì ì ³ì åí ø è ì ñòóí å-í åì î êèñëåí í ÿ (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Y^{3+}, Ln^{3+}). Ï ðî òà â á³í àðí ³é ñèñòàì ³ ZrO_2-Sc_2O_3 ï ðè çàì ³ù åí í ³ ³î í ³â Zr^{4+} í à ³î í è Sc^{3+} ï ðàì åòðè êðèñòàë³÷í î ¿ ðàòêè ñòàá³ë³çî âàí î ãî ZrO_2 çì åí ø óþ òüñÿ [24].

Çã³äí î ßÌ Ðäî ñë³äæåí í ÿì è, ³î í è Sc^{3+} çàéì àþ òü ï î çè ö³¿ çê.÷.8 (0,087 í ì) ³ê.÷.6 (0,0745 í ì) ï î ð³âí ó çñåðåäí ³ì ðàä³ó-ñì ì 0,08075 í ì [25]. Òàêèé ðî çï î ä³ë ³î í ³â Sc^{3+}, éì î â³ðí î , ñï ðè ÷èí ÿº í è çüêó ñòàá³ëüí ³ñòü êóá³÷í î ¿ô àçè ï î ñõåì à :

$$c\text{-}ZrO_2 \rightarrow m\text{-}ZrO_2;\ c\text{-}ZrO_2 \rightarrow r\text{-}ZrO_2.$$

Â $(ZrO_2)_{0,90}(Sc_2O_3)_{0,10-x}(Fe_2O_3)_{ð}$ çàì ³ù åí í ÿ ³î í ³â Sc^{3+} (0,08075 í ì) í à ³î í è Fe^{3+} (0,0645 í ì) òàêî æ ï ðè çâî ä è òü äî ï î äàëüø î ãî çí è æåí í ÿ ï ðàì åòð³â åëåì åí òàðí î ¿êî ì ³ðêè, ù î ï î âèí í î ñï ðèÿòè óòâî ðåí í þ í åñòàá³ëüí î ãî c-ZrO_2. Î äí âê c-ZrO_2 â î áëàñò³ õ = 0,02–0,04 º ñòàá³ëüí èì . Î ÷åâèä-í î , ñòàá³ëüí ³ñòü ñòðóêòóðè òèï ó ô ëþ î ðèòó â ï î òð³éí ³é ñè-ñòàì ³ ï î â'ÿçàí à ç óòâî ðåí í ÿì $ScFeO_3$, ðî ç÷èí åí î ãî â c-ZrO_2. Ðî ëü çàë³çà ï ðî ÿñëÿº òùñÿ ó çâ'ÿçóâàí í ³ ³î í ³â ñêàí ä³þ òà ñòâî ðåí í ³ í àéáëèæ÷î ãî î êòàåäðè ÷í î ãî êèñí åâî ãî î òî-÷åí í ÿ. Òàêèì ÷èí î ì , âåäåí í ÿ Fe_2O_3 ï ³âèòù óº åô âê-òèâí ³ñòü Sc_2O_3 ÿêî ñòàá³ë³çàòî ðà (äëÿ ñòàá³ë³çàö³¿ c ZrO_2 ñòàº äî ñèòü 6–7% ì î ë. Sc_2O_3 çàì ³ñòü 10–15% ì î ë.) [26]. Óòâî-ðåí í ÿ $ScFeO_3$ í å äî çâî ëÿº Sc_2O_3 ñäððãóóâàòè äî ðàí è öü çåðí à ³ âèêëèêàòè äåððääàö³þ âèñî êî òåì ï åðàòóðí î ¿ô àçè c-ZrO_2.

2. Ðî ëü î êñèäó öåð³þ â ñò àá³ë³çàö³¿ êóá³÷í î ¿ô àçè ä³î êñèäó öè ðêî í ³þ â ñèñò ãì àõ $(ZrO_2)_{0,89}(Sc_2O_3)_{0,11-x}(CeO_2)_x$ ³ $(ZrO_2)_{0,89}(Y_2O_3)_{0,11-x}(CeO_2)_x$

Äëÿ âèçí à÷åí í ÿ î ñí áëèâî ñòåé ñòàá³ë³çàö³¿ ZrO_2-Sc_2O_3 öåð³ì , áóëè âèâ÷åí ³ ñèñòåì è ñêàí ä³º âì ³ñí èõ çðàçê³â $(ZrO_2)_{0,89}(Sc_2O_3)_{0,11-x}(CeO_2)_x$ $(0,01 \le x \le 0,04)$ ³ àí àëî ã³÷í èõ ³ðð³º âì ³ñí èõ çðàçê³â â ø è ðî êî ì ó ³í òåðâàè³ òåì ï åðàòóð. Ðåçóëüòàòè ðåí òàçî âî ãî àí äè³çó (ÐÔÀ) çðàçê³â âèàçàí èõ ñèñòàì ì ³ñòÿòüí í åáàæàí ³ ô àçè (ì î í î êë³í í à ³ òåòðàãî í àëüí à), ÿê³ â³äñóòí ³ ëèø â çðàçêàõ $(ZrO_2)_{0,80}(Sc_2O_3)_{0,070}(CeO_2)_{0,06}$ ³ $(ZrO_2)_{0,82}(Sc_2O_3)_{0,07}(Y_2O_3)_{0,01}(CeO_2)_{0,02}$ ï ðè 1570 Ê. Âèõî-äÿ÷è ç î òðèì àí èõ ðåçóëüòàò³â, ö³ çðàçêè áóëè î áðàí ³ äëÿ ï î äàëüø èõ ï î ð³âí ÿëüí èõ äî ñë³äæåå ü. Ðåçóëüòàòè ÐÔÀ ï î-êàçàëè, ù î ï ðè ï åðåõî ä³ ç ðåí òàåí î àì î ðô í î ãî â êðèñòà-ë³÷í èé ñòàí ì åòàñòàá³ëüí î þ ô àçî þ ä³î êñè äó öèðêî í ³þ º í å êóá³÷í à (ÿê ó âèï ääêó çà ì ³ù åí í ÿ çàë³çî ì), à ñóì ³ø ô àç ñ-ZrO_2 ³ t-ZrO_2. Öåº õàðàêòåðí î þ î ñî áëèâ³ñòþ öåð³º âì ³ñí èõ òâåðäèõ ðî ç÷èí ³â í à î ñí î â³ ZrO_2 ³ ì î æå áóòè ï î ÿñí åí î í à î ñí î â³ ô àçî âî ¿ä³ãàðàì è ñòàí ó ñèñòåì è ZrO_2-CeO_2, çã³äí î ç ÿêî þ äëÿ ñòàá³ë³çàö³ÿ êóá³÷í î ¿ô àçè ï î òð³áí ³ äî ñèòü âèñî ê³ êî í öåí òðàö³¿ (40–45 ì î ë.%) ÑåÎ$_2$ [27]. Êð³ì òî ãî , ï ðè êî í-öåí òðàö³ÿõ $CeO_2 \le 4$ ì î ë.% ñòàá³ë³çàö³¿ âèñî êî ñèì åòðè ÷í èõ (êóá³÷í ³é ³ òåòðàãî í àëüí ³é) ô àç ZrO_2 í å ñï î ñòåð³ãàº òüñÿ: ï ðè òåì ï åðàòóðàõ òåðì î î áðî áêè ï î ðî ø êó ï î í àä 870 Ê â³äáóâàº òüñÿ ÷ãñòêî âèé ðî çï ää òâåðäî ãî ðî ç÷èí ó í à î ñí î â³ ZrO_2 ç ñï ³â³ñí óâàí í ÿì â ø è ðî êî ì ó ä³äï âçî í ³ òåì ï åðàòóð (1070–1570 Ê) ï î ðÿä ç åòðàãî í à ëüí î ¿òàêî æ ³ì î í î êë³í í î ¿ô àçè (≈ 40–50 ì î ë.%). Çàì ³ù åí í ÿ öåð³þ ï î -ð³çí î ì ó âï ëè-âàº í à ñòóï ³í ü ³ òåì ï åðàòóðó äåñòàá³ë³çàö³¿ òð³é - ³ ñêàí ä³é-âì ³ñí è ñ çðàçê³â. Äëÿ $(ZrO_2)_{0,89}(CeO_2)_{0,04}(Sc_2O_3)_{0,07}$ ì àêñè-ì àëüí èé âì ³ñò ô àçè m-ZrO_2 (53 ì î ë.%) ñï î ñòåð³ãàº òüñÿ ï ðè 1270 Ê; äëÿ àí àëî ã³÷í î ãî $(ZrO_2)_{0,89}(CeO_2)_{0,04}(Y_2O_3)_{0,07}$ âì ³ñò ô àçè m-ZrO_2 ì åí ø å, ï ðî òà â³í ðî ñòå ç ï ³äêù åí í ÿì òåì ï åðàòóðè äî 1570 Ê. Ï ³äâèù åí í ÿ âì ³ñóó ì î í î êë³í í î ¿ô àçè ï ðè ï ðî ì ³æí è ò òåì ï åðàòóðàõ ï ðè ï ³äâèù åí í ³ êî í-öåí òðàö³¿ öåð³þ â ñèñòåì ³ $(ZrO_2)_{0,89}(Sc_2O_3)_{0,11-x}(CeO_2)_x$ ì î æí à ï î ÿñí è òè çí èæåí í ÿì âì ³ñóó ñèàí ä³þ ³, â³äï î â³äí î , – çí èæåí í ÿì ÷ãñòêè êèñí åâèõ âàêàí ñ³é ó ï î ð³âí ÿí í ³ çõ = 0,01.

Ï åðåâàèãàì è öåð³º âî ãî ëåãóòàí í ÿ ó ï î ð³âí ÿí í ³ ç ³òð³º âèì º á³ëüø à ñòàá³ëüí ³ñòþ ñòðóêòóðè â ÷àñ³³ï ðè öèêë³÷í èõ çì ³í àõ òàì ï åðàòóðè [28]. Êð³ì öüí ãî , òååðä³ ðî ç÷è-í è í à î ñí î â³ ZrO_2-CeO_2 õàðàêòåðèçóþ òüñÿ á³ëüø âèñî êî þ â'ÿçê³ñòþ ðóéí óâàí í ÿ (> 25 Ì Ï à·ì $^{-2}$) ³ì åí ø î þ âàðò³ñòþ [29]. ²î í í è é ðàä³óñ ³î í à öåð³þ Ñå$^{4+}$ (0,097 í ì) á³ëüø å, í ³æ Zr^{4+} (0,084 í ì), ù î ñï ðèÿº ñòàá³ë³çàö³¿ âèñî êî ï ðî â³äí î ¿ êóá³÷í î ¿ì î äèô ³êàö³¿ ZrO_2. Í à â³äì ³í ó â³ä çà ì ³ù åí í ÿ ÷ãñ-òèí è ³î í ³â Zr^{4+} ³î í àì è Fe^{3+}, ó âèì ääêó ââåäåí í ÿ â êðèñòà-ë³÷í ó ãðàòêó î êñèäó öèðêî í ³þ ÑåO$_2$ í å çá³ëüø óº òüñÿ ê³ëüê³ñòü êèñí åâèõ âàêàí ñ³é ³ ä³äï àçî í ³ ðî áî ÷èõ êî í öåí òðàö³é öåð³º âèõ äî áàâî ê ì î æå áóòè ø èðø å. Î äí âê î ï òè-ì àëüí à çòî ÷êè çî ðóï ðî â³äí î ñò³ êî í öåí òðàö³ÿ ÑåO$_2$ çàëå-æèòüí â³ä ñêëääó òâåðäî ãî ðî ç÷èí ó ³ ñòàí î âèòü y » 6 ì î ë.% äëÿ ñèñòåì è (ZrO_2)õ(Sc_2O_3)0,070(ÑåO$_2$)$_y$.

3. ²î í í à ï ðî â³äí ³ñò ü ä³î êñèäó öè ðêî í ³þ , ñò àá³ë³çî âàí î ãî î êñèäàì è ³ò ð³þ ò à ñêàí ä³þ

Ó òàáëèö³ 1 í àâåäåí ³ ÷èñëî â³ çí à÷åí í ÿ çàãàëüí î ¿ï ðî-â³äí î ñò³ òà ï ðî â³äí î ñò³ î á'º ì ó çåðåí êîðàì ³êè ñòàá³ë³çî âàí î ãî ZrO_2 â ³í òåðâàë³ òåì ï åðàòóð 770–870 Ê. Çí àâäåí è ò äàí è ò âèäí î , ù î ñèí òåçî âàí à êåðàì ³êà ðàððàêòåðèçóº òüñÿ äî ñèòü âèñî êî þ êèñí åâî ¿ï ðî â³äí ³ñòþ â î áèàñò³ ñåðåäí ³ð òåì ï åðàòóð (850–1000Ê). Âèõî äÿ÷è ç âèñî êèõ çí à÷åí ü ³î í í î ¿ ï ðî â³äí î ñò³ î êñèäó öèðêî í ³þ , ñòàá³ë³çî âàí î ãî ñêëääí èì è î î êñèäàì è í à î ñí î â³ ñêàí ä³þ , ö³ì àòðð³àëè ì î-æóòü çàäî âî ëüí ÿòè âèì î ãàì äî òååðäî ãî åëåèòðî ë³òó ñåðåäí üî òåì ï åðàòóðí èõ ï äëåì åí ò³â.

Â³äî ì î , ù î â³ í í è õ ï ðî â³äí è êàõ î ï ³ð ãðàí è öü çåðåí âèù å î ï î ðóó î á'º ì ó çåðåí . ß ê î í ññ³äî ê, çàãàëüí à ï ðî-

Òàáëèöÿ 1.

Çí à÷åí í ÿ åí åðã³¿ àêòèâàö³¿ çàãàëüí î þ ï ðî â³äí î ñò³ òà ï ðî â³äí î ñò³ î á'º ì ó çåðåí êåðàì ³êè í à î ñí î â³ ñòàá³ë³çî âàí î ãî ä³î êñèäó öèðêî í ³þ

Хімічний склад	Енергія активації, еВ	Провідність, Ом$^{-1}$·см$^{-1}$							
		Загальна				Об'єму зерен			
		773 K	873 K	973 K	1073K	773 K	873 K	973 K	1073K
$(ZrO_2)_{0,90}(Y_2O_3)_{0,10}$	1,17	$2,6\cdot10^{-4}$	$3,1\cdot10^{-3}$	$1,5\cdot10^{-2}$	$5,6\cdot10^{-2}$	$4,3\cdot10^{-4}$	$5,1\cdot10^{-3}$	$2,5\cdot10^{-2}$	$9,3\cdot10^{-2}$
$(ZrO_2)_{0,90}(Y_2O_3)_{0,07}(Fe_2O_3)_{0,03}$	1,15	$4,6\cdot10^{-5}$	$5,2\cdot10^{-4}$	$2,5\cdot10^{-3}$	$9,0\cdot10^{-3}$	$5,6\cdot10^{-5}$	$6,4\cdot10^{-4}$	$3,0\cdot10^{-3}$	$1,1\cdot10^{-2}$
$(ZrO_2)_{0,80}(Y_2O_3)_{0,07}(Ce_2O_3)_{0,06}$	1,07	$3,3\cdot10^{-4}$	$3,2\cdot10^{-3}$	$1,3\cdot10^{-2}$	$4,5\cdot10^{-2}$	$4,2\cdot10^{-4}$	$4,1\cdot10^{-3}$	$1,7\cdot10^{-2}$	$5,8\cdot10^{-2}$
$(ZrO_2)_{0,90}(Sc_2O_3)_{0,07}(Fe_2O_3)_{0,03}$	1,18	$2,8\cdot10^{-4}$	$3,4\cdot10^{-3}$	$1,7\cdot10^{-2}$	$6,2\cdot10^{-2}$	$3,2\cdot10^{-4}$	$3,9\cdot10^{-3}$	$2\cdot10^{-2}$	$7,1\cdot10^{-2}$
$(ZrO_2)_{0,80}(Sc_2O_3)_{0,07}(Ce_2O_3)_{0,06}$	1,16	$7,0\cdot10^{-4}$	$8,2\cdot10^{-3}$	$4,0\cdot10^{-2}$	$1,4\cdot10^{-1}$	$9,0\cdot10^{-4}$	$1,1\cdot10^{-2}$	$5,1\cdot10^{-2}$	$1,9\cdot10^{-1}$

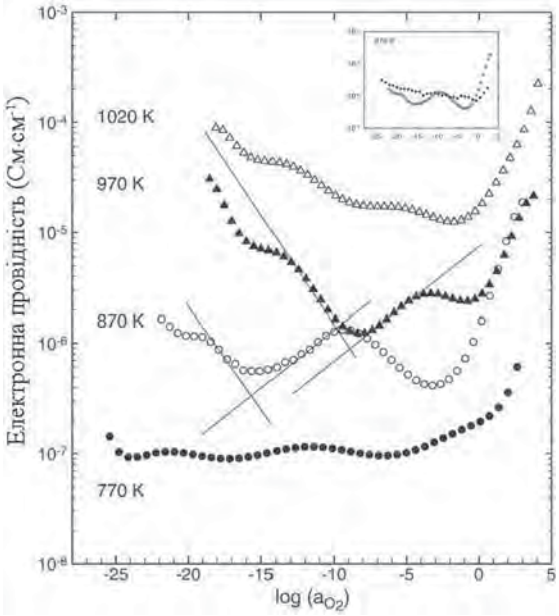
â³äí ³ñòü â ³î í í è õ ï ðî â³äí è êâàõ í è æ÷å ï ðî â³äí î ñò³ î á'º ì ó çåðåí , î ñê³ëüêè ÷àñòèí à ï ðî â³äí î ñò³ âòðà÷à º òüñÿ ÷åðåç âèñî êèé î ï î ð ãðàí è öü çåðåí . Í àéá³ëüø çí à÷í ³ âòðàòè ï ðî â³äí î ñò³ ñï î ñòåð³ãàþ òüñÿ â çðàçêàõ $(ZrO2)_{0,90}(Y_2O_3)_{0,10}$, äå çàãàëüí à ï ðî â³äí ³ñòü ñòàí î âèòü 60% â³ä ï ðî â³äí î ñò³ î á'º ì ó çåðåí â ø èðî êî ì ó òåì ï åðàòóðí î ì ó ³í òåðâàë³ [30].

×àñòêî åâ çàì ³ù åí í ÿ ³î í ³â ³òð³þ í à ³î í è öåð³þ àáî çà ë³çà ³ñòî òí î çá³ëüø º ÷àñòêó çàãàëüí î ¿ ï ðî â³äí î ñò³ ï î â³äí î ø åí í þ äî ï ðî â³äí î ñò³ î á'º ì ó çåðåí . Ï ðè ÷àñòêî âî ì ó çàì ³ù åí í ³ ³î í ³â ³òð³þ í à ³î í è çàë³çà òàêî æ çí à÷í î çí è æóº òüñÿ ï ðî â³äí ³ñòü î á'º ì ó çåðåí (~ 80%) â ø èðî êî ì ó òåì ï åðàòóðí î ì ó ³í òåðâàë³ [30]. Ó âèï ääêó ÷àñòêî âî ãî çà ì ³ù åí í ³î í ³â ³òð³þ í à ³î í è ñêàí ä³þ ï ðî â³äí ³ñòü î á'º ì ó çåðåí òàêî æ çí è æóº òüñÿ. Î ñî áëèâî öå ï î ì ³òí î í à âèñî êèõ òåì ï åðàòóðàõ – ï ðè 1073 Ê ï ðî â³äí ³ñòü î á'º ì ó çåðåí çí è çèëèñÿ í à ~ 38% [31].

Ï î ð³âí ÿëüí è é àí àë³ç âëàñòèâî ñòåé çðàçê³â $(ZrO_2)_{0,90}(Y_2O_3)_{0,07}(Fe_2O_3)_{0,03}$ ³ $(ZrO_2)_{0,90}(Sc_2O_3)_{0,07}(Fe_2O_3)_{0,03}$ ï î êàçóº, ù î ï ðî â³äí ³ñòü î á'º ì ó çåðåí ³ çàãàëüí à ï ðî â³äí ³ñòü ñêàí ä³º âì ³ñí î ãî çðàçêà á³ëüø å í à ~85% ï î ð³âí ÿí î ç ³òð³º âì ³ñí èì çðàçêî ì . Ï ðè öüî ì ó ÷àñòêà çàãàëüí î ¿ ï ðî â³äí î ñò³ ï î â³äí î ø åí í þ äî ï ðî â³äí î ñò³ î á'º ì ó çåðåí òàêî æ äåù î á³ëüø å.

4. Åëåêò ðî í í à ï ðî â³äí ³ñò ü î êñèä³â öèðêî í ³þ, ñò àá³ë³çî âàí î ãî î êñèäàì è ³ò ð³þ ò à ñêàí ä³þ

ßê âèäí î ç ðèñ. 1, äëåêòðî í í à ï ðî â³äí ³ñòü çðàçêà $(ZrO_2)_{0,90}(Y_2O_3)_{0,07}(Fe_2O_3)_{0,03}$ í èçüêà ³ ñòàí î âèòü $\approx10^{-7}$ Ñì ·ñì $^{-1}$ ï ðè Ò = 770 Ê ³ $\approx10^{-6}$ Ñì ·ñì $^{-1}$ ï ðè Ò = 870 Ê â ø èðî êî ì ó ä³äï àçî í ³ àêòèâí î ñò³ êèñí þ ($10^{25} < à_{1/2} < 1$). Ï î ð³âí ÿí í ÿëëåêòðî í í í î ¿ ï ðî â³äí î ñò³ çðàçê³â $(ZrO_2)_{0,90}(Y_2O_3)_{0,07}(Fe_2O_3)_{0,03}$ ³ $(ZrO_2)_{0,90}(Y_2O_3)_{0,10}$ (âñòàâêà í à ðèñ. 1) äî âî ðèòü ï ðî â³äñóòí ³ñòü ðî ñòó åëåêòðî í í í ¿ ï ðî â³äí î ñò³ ï ðè äî äàâàí ³ 3% ì î ë. î êñèäó çàë³çà. Ó â³äï î â³äí î ñò³ ç ì î äëëëþ äåô åêò³â, çàëåæí ³ñòü åëåêòðî í í í ¿ ï ðî â³äí î ñò³ óe â³ä àêòèâí î ñò³ êèñí þ ï î âèí í à ì àòè í àõèë ä³ëÿí î ê 0,25 (ð³ñò ê³ëüêî ñò³ e$^-$) ³ -0,25 (ð³ñò ê³ëüêî ñò³ p$^+$) â î áëàñò³ âèñî êî ¿ ³ í èçüêî ¿ àêòèâí î ñò³ êèñí þ . Ì ³í ³ì óì ðî çä³ëÿº î áëàñò³ n- ³ ð-òèï ó ï ðî â³äí î ñò³, â ö³é òî ÷ö³ åëåêòðî í í à òà ä³ðêî ãà ï ðî â³äí î ñò³ ð³âí ³. Äåÿêê³ ä³ëÿí êè í à çàëåæí î ñòÿõ, ÿê³ ñï î ñòåð³ãàþ òüñÿ âêñï åðèì åí òàëüí î (äèâ ðèñ. 1), í å óçãî äæóº òüñÿ çì î äåëëþ äåô åêò³â. Ï ðè í è çüê³é âèòèâí î ñò³ êèñí þ í à çàëåæí î ñò³ ñï î ñòåð³ãàº òüñÿ ï ëàòî , äå â³äñóòí º çðî ñòàí í ÿ êî í óåí ðàö³¿ åëåêòðî í ³â ç³ çì åí ø åí í ÿì âèòèâí î ñò³ êèñí þ . Ó ö³é î áëàñò³ âèòèâí ³ñòü êèñí þ êî í òðî ëþ º òüñÿ í å ï ðèêèäåí î þ í àï ðóãî þ , à çàëåæèòü â³ä çàõâàòó åëåêòðî í ³â ðåäî êñ-âèòèâí è ³ î í àì è Fe^{3+}. Â³äí î âëåí í ÿ ³î í ³â Fe^{3+} äî Fe^{2+} â î áëàñò³ Pt ì ³êðî êî í òàêòó ï ðî õî äè òü ³ç çàõî ï - ëåí í ÿì åëåêòðî í ³â, òî ì ó çàãàëüí à ê³ëüê³ñòü åëåêòðî í ³â çàëèø àº òüñÿ í åçì ³í í èì . Äàë³, ÷åðåç çì åí ø åí í ÿ âèòèâí î ñò³ êèñí þ ³ â³äñóòí ³ñòü è è ò³ëüêè âèõî äè òü í à ï ëàòî , äëå çì åí ø óº òüñÿ, ù î âèàçóº í à ï ðî öåñè ³ç çàõî ï ëåí í ÿì ä³ðî ê. Î ñê³ëüêè â î áëàñò³ Pt ì ³êðî êî í òàêòó ï ðèñóòí ³ ³î í è Fe^{2+}, ì î æåì î ï ðèï óñòèòè, ù î âî í è î êèñëþ þ òüñÿ äî Fe^{3+}. Î êèñëåí í ÿ î áì åæóº åëåêòðî í í ó ï ðî â³äí ³ñòü ð-òèï ó. Ï ³ñëÿ òî ãî , ÿê âñ³ ³î í è î êèñëÿòüñÿ, í àõèë çá³ëüø óº òüñÿ. Î ï è ñàí ³ î êèñëþ âàëüí î -â³äí î âí ³ ï ðî öåñè çà ó÷àñòþ ³î í ³â çàë³çà ðî çø èðþ þ òü î áëàñòü âèòèâí î ñò³ êèñí þ , â ì åæõ ÿêî ¿åëåêòðî í í à ï ðî â³äí ³ñòü î êñèäó öèðêî í ³þ í åçí à÷í à â ï î ð³âí ÿí í ³ ç ³î í í î þ .



Èñ. 1. Çàëåæ í ³ñò ü åëåêò ðî í í î ¿ ï ðî â³äí î ñò ³ $(ZrO_2)_{0,90}(Y_2O_3)_{0,07}(Fe_2O_3)_{0,03}$ ³ $(ZrO_2)_{0,90}(Y_2O_3)_{0,10}$ ï ðè 870Ê (âñò àâêà) â³ä àêò è âí î ñò ³ êèñí þ ï ðè ð³çí è ò ò åì ï åðàò óðàõ.

5. Ñèí ò åç ï ë³ãî ê í à î ñí î â³ î êñèäó öèðêî í ³þ, ñò àá³ë³çî âàí î ãî êî ì ï ëåêñí è ì è ñêàí ä³éâì ³ñí è ì è äî áàâêàì è ì åò î äî ì type casting

Ò î âñò³ ï ë³âêè ñèñòåì $(ZrO_2)_{0,80}(Y_2O_3)_{0,07}(CeO_2)_{0,06}$, $(ZrO_2)_{0,80}(Sc_2O_3)_{0,07}(CeO_2)_{0,06}$, $(ZrO_2)_{0,90}(Y_2O_3)_{0,07}(Fe_2O_3)_{0,03}$, $(ZrO_2)_{0,90}(Sc_2O_3)_{0,07}(Fe_2O_3)_{0,03}$ ñèí òåçóâàëè ì åòî äî ì type casting (ëèòóÿ ñì óãè), â î ñí î â³ ÿêî ãî ëåæèòü ô î ðì óâàí ÿ

òî âñòî ¿ï ë³âêè çà äî ï î ì î ãî þ í î æà, ÿêèé î äí î ÷àñí î ñëóãóº ðåçåðâóàðî ì äëÿ ðî ç÷èí ó. Ï ðè í àí åñåí ³ ï ë³âî ê ãî òóâàëè ñóñï åí ç³þ , ÿêà ì ³ñòèëà ñèí òåçî âàí ³ í àí î ÷àñòèí êè òà ð³âêó ôàçó, ÿêà âêëþ ÷àëà: àöåòèëàòåòî í , ³çî ï ðî ï àí î ë, ï î ë³ì åòèëì åòàêðèëàò, äèáóòèëôòàëàò, äèáóòèëôî ñôàò, ãàëëî òàí ³í , ï î ë³åòèëåí ãë³êî ëü-4000 äî äàòêî âî äî ñë³äæóâàëàñÿ ñòàá³ëüí ³ñòü ñóñï åí ç³é «î êñèäí èé ï î ðî ø î ê – ð³äêà ôàçà».

ßê âèäí î ç ì ³êðî ôî òî ãðàô ³é ï åðåð³çó òà ï î âåðõí ³ (ðèñ. 2), î äåðæàí ³ òî ññò³ ï ë³âêè ñòàá³ë³çî âàí î ãî äèî êñèäó öèðêî í ³þ ì àþ òü ö³ëüí ó áóäî âó òà ð³âí î ì ³ðí ³ âçâî âæ ï î - âåðõí ³ ï ³âêëàäêè ï î ë³êî ðó. Ñèñòåì à Ñå-âì ³ñí èõ ï ë³âî ê à º á³ëüø ó òî âù èí ó (15–20 ì êì), ï î ð³âí ÿí î çñèñòåì î þ Fe-âì ³ñí èõ (10–12 ì êì). Ðî çì ³ð çåðåí , ù î óòâî ðþ þ òü ï ë³âêè, òàêî æ â³äð³çí ÿº òüñÿ: â³ä 0,5–1,5 ì êì (Ñå-âì ³ñí ³ ï ë³âêè) äî 2–3 ì êì (Fe-âì ³ñò ï ë³âêè). Ï î ì ³òí å çðî ñòàí ÿ çåðåí Fe-âì ³ñí èõ ï ë³âî ê âêàçóº í à òå, ù î î ò èì àëüí à òåì ï åðàòóðà ¿õ ñèí òåçó, éì î â³ðí î , çí àõî äè òüñÿ ï ðè òåì ï åðàòóðàõ, òðî õè í èæ÷å, í ³æ 1670 Ê. Äëÿ òî ñòèõ ï ë³âî ê çàë³çî âì ³ñí èõ ñèñòåì òåì ï åðàòóðà ñï ³êàí í ÿ 1670Ê ï ðèçâî äèòüäî ï î ÷àòêó ï ðî öåñó ï ëàëåí í ÿ çåðåí , â òî é ÷ãñÿê äëÿ öåðåâ³º âì ³ñí èò³ëüêè äî ï î ÷àòêó ï ðî öåñó ï ðèï ³êàí í ÿ çåðåí . Çã³äí î ðåçóëüòàò³â EDX àí àë³çó ï ðè 1670 Ê â³äñóòí ÿ äèôóç³ÿ â ï ³âêèàêó (ï î ë³êî ð). Áåðó÷è äî óâàãè, ì î æí à ñòåðåäæóâàòè, ù î ñêèàä î òðèì àí èõ ï ë³âî ê áèçüêèé äî çàäàí î ãî (ç òî ÷í ³ñòþ äî ï î õèâêè åí åðãî äèñï ðñ³éí î ãî ì åòî äó, ÿêà ñêëàäàº 1% äëÿ ì åòàë³â).

6. Ï î ð³âí ÿëüí èé àí àë³ç åëåêò ðî ô ³çè÷í èõ âëàñò èâî ñò åé ï ë³âî ê í à î ñí î â³ î êñèäó öèðêî í ³þ , ñò àá³ë³çî âàí î ãî êî ì ï åêñí èì è ñêàí ä³º âì ³ñí ³ì è äî áàâêàì è, î ò ðèì àí èõ ì åò î äî ì type casting.

Â òàáëèö³ 2 í àâåäåí ³ åëåêòðî ô ³çè÷í ³ õàðàêòåðèñòèêè î á'º ì í èõ çðàçê³â ³ ôî âñòèõ ï ë³âî ê ñêëàäó

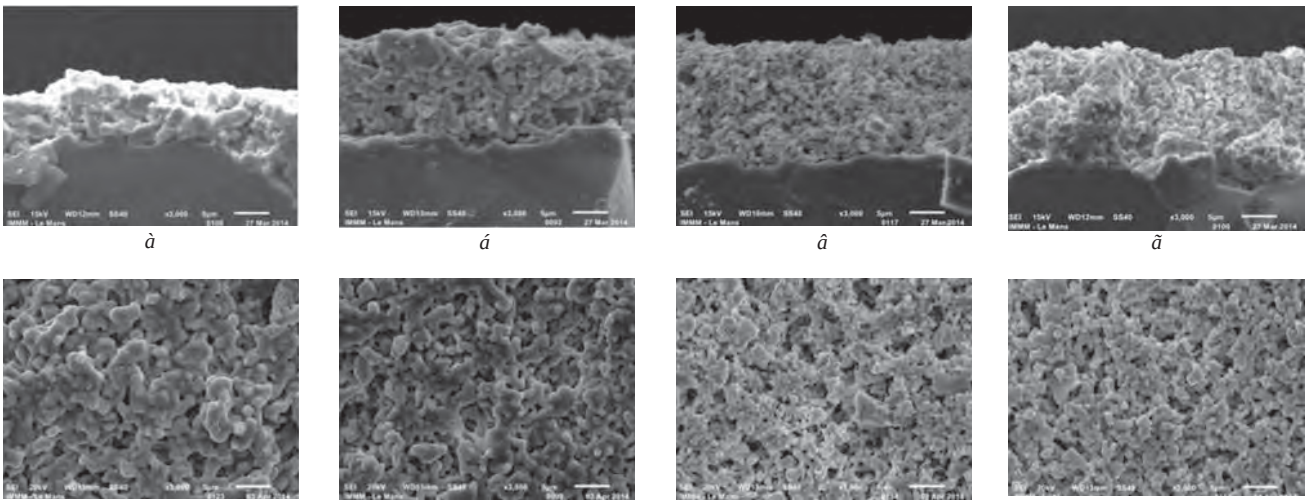
$$(ZrO_2)_{0,90}(Y_2O_3)_{0,07}(Fe_2O_3)_{0,03} \quad (1),$$

$$(ZrO_2)_{0,90}(Sc_2O_3)_{0,07}(Fe_2O_3)_{0,03} \quad (2),$$

$$(ZrO_2)_{0,80}(Y_2O_3)_{0,07}(CeO_2)_{0,06} \quad (3),$$

$$(ZrO_2)_{0,80}(Sc_2O_3)_{0,07}(CeO_2)_{0,06} \quad (4).$$

ßê âèäí î ç í àâåäåí èõ äàí èõ, ï ðî â³äí ³ñòü êåðàì ³êè ï ðè 990–1000Ê çì åí ø óº òüñÿ ó í àï ðÿì êó ócer(4) > σ_{cer}(2) > σ_{cer}(3) > σ_{cer}(1), â òî é ÷àñ ÿê ï ðî â³äí ³ñòü òî âñòèõ ï ë³âî ê – ó í àï ðÿì êó σ_{film}(2) > σ_{film}(1) > σ_{film}(4) > σ_{film}(3). Ð³çí èöÿ î áó- ì î âëåí à ð³çí èì è ðåæèì àì è ñï ³êàí ÿ êåðàì ³êè òà ºäè- í èì ðåæèì î ì ñï ³êàí ÿ òî âñòèõ ï ë³âî ê: ó âèï äêóöåð³º- âì ³ñí èõ î á'º ì í èõ çðàçê³â ($(ZrO_2)_{0,80}(Y_2O_3)_{0,07}(CeO_2)_{0,06}$ òà $(ZrO_2)_{0,80}(Sc_2O_3)_{0,07}(CeO_2)_{0,06}$) âèòðèì êà º í åäî ñòàò- í üî þ äëÿ ï î áí î ãî óï î ðÿäêóâàí í ÿ òåðàîãî ðî ç÷èí ó, à ó âèï äêóó çàë³çî âì ³ñí èõ ($(ZrO_2)_{0,90}(Y_2O_3)_{0,07}(Fe_2O_3)_{0,03}$ òà $(ZrO_2)_{0,90}(Sc_2O_3)_{0,07}(Fe_2O_3)_{0,03}$) óï î ðÿäêóâàí í ÿ çà ðàõóí î ê óò- âî ðåí í ÿ ñï î ëóê $Y_{2-x}FexO_3$, $Sc_{2-x}Fe_xO_3$ â³äóâàºòüñÿ ø âèäø å. Ï ðè òåì ï åðàòóðàõ â³äï ïèëó çàë³çî âì ³ñí èõ òî âñòèõ ï ë³âî ê ($(ZrO_2)_{0,90}(Y_2O_3)_{0,07}(Fe_2O_3)_{0,03}$ òà $(ZrO_2)_{0,90}(Sc_2O_3)_{0,07}(Fe_2O_3)_{0,03}$) í à 20–30 Ê âèù å, í ³æ äëÿ â³äï î â³äí î ¿êåðàì ³êè, ï ðî â³äí ³ñòü ï ë³âî ê í àáèæàºòüñÿ äî ï ðî â³äí î ñò³ êåðàì ³êè. Ñêàí -



Èñ. 2. Ì ³êðî ñò ðóêò óðà ï åðåð³çó (à, á, â, ã) ò à ï î âåðõí ³ (à′, á′, â′, ã′) ò î âñò èõ ï ë³âî ê ñèñò àì ($(ZrO_2)_{0,90}(Y_2O_3)_{0,07}(Fe_2O_3)_{0,03}$ (à, à′), $(ZrO_2)_{0,90}(Sc_2O_3)_{0,07}(Fe_2O_3)_{0,03}$ (á, á′), $(ZrO_2)_{0,80}(Y_2O_3)_{0,07}(CeO_2)_{0,06}$ (â, â′), $(ZrO_2)_{0,80}(Sc_2O_3)_{0,07}(CeO_2)_{0,06}$ (ã, ã′). Óñï ³êàí í ÿ =1670Ê.

Òàáëèöÿ 2.

Åëåêòðî ô ³çè÷í ³ âëàñòèâî ñò³ ï ðè 990 Ê î áº ì í èõ çðàçê³â òà òî âñòèõ ï ë³âî ê î êñèäó öèðêî í ³þ , ñòàá³ë³çî âàí î ãî êî ì ï åêñí èì è äî áàâêàì è

№ п/п	Хімічний склад	провідність, Ом$^{-1}$·см$^{-1}$		Енергія активації, еВ	
		об'ємний зразок	товста плівка	об'ємний зразок	товста плівка
1	$(ZrO_2)_{0,90}(Y_2O_3)_{0,07}(Fe_2O_3)_{0,03}$	$3,5\cdot10^{-3}$	$3,5\cdot10^{-3}$	1,284	1,148
2	$(ZrO_2)_{0,90}(Sc_2O_3)_{0,07}(Fe_2O_3)_{0,03}$	$8,5\cdot10^{-3}$	$7,2\cdot10^{-3}$	1,256	1,170
3	$(ZrO_2)_{0,80}(Y_2O_3)_{0,07}(CeO_2)_{0,06}$	$8,4\cdot10^{-3}$	$1,8\cdot10^{-3}$	1,290	1,137
4	$(ZrO_2)_{0,80}(Sc_2O_3)_{0,07}(CeO_2)_{0,06}$	$11,2\cdot10^{-3}$	$2,0\cdot10^{-3}$	1,344	1,167

ä³º âì ³ñí ³ì àòåð³àëè äåì î í ñòðóþ òü â ö³ëî ì ó ó 1,5–2 ðàçè âèù ó ï ðî â³äí ³ñòü, í ³æ ³òð³º âì ³ñí ³. Ï ³äáèðàþ ÷è ñêëàä òà òåõí î ëî ã³÷í ³ ï àðàì åòðè, ì î æëèâî ñòâî ðþ âàòè òî âñòó ï ë³âèì à î ñí î â³ ñòàá³ë³çî âàí î ãî î êñëàó öèðêî í ³þ, ÿê³ ì àéæå í å ï î ñòóï àþ òüñÿ êåðàì ³÷í èì çðàçêàì .

Ï ðî â³äí ³ñòü òî âñòèõ ï ë³âî ê ï ðè 990Ê â 2,5÷3 ðàçè ì åí ø å, í ³æ êåðàì ³÷í èõ çðàçê³â â³äï î â³äí èõ ñêëàä³â. Â òî é æå ÷àñ åí åðã³ÿ àêòèâàö³¿ ï ë³âî ê º í èæ÷î þ, âí àñë³äî ê ÷î ãî ð³çí è öÿ ï ðî â³äí î ñò³ òî âñòèõ ï ë³âî ê ³ êåðàì ³êè ç³ çí èæåí í ÿì òåì ï åðàòóðêè çì åí ø óº òüñÿ. Ñêâí ä³º âì ³ñí ³ì àòåð³äëè õàðàêòåðèçóþ òüñÿ á³ëüø âèñî êî þ ï ðî â³äí ³ñòþ ï î êèñí þ, í ³æ ³òð³º âì ³ñí ³. Ò Î âñò³ï ë³âêè ì àþ òü ï ðî â³äí ³ñòü: ñèñòåì à $(ZrO_2)_{0,80}(Sc_2O_3)_{0,07}(CeO_2)_{0,06}$ ï ðè 870Ê – $4\cdot10^{-4}$ Ñì /ñì , ï ðè 970Ê – $5,6\cdot10^{4}$ Ñì /ñì ; ñèñòåì à $(ZrO_2)_{0,90}(Sc_2O_3)_{0,07}(Fe_2O_3)_{0,03}$ ï ðè 870Ê – $2,4\cdot10^{-3}$ Ñì /ñì , ï ðè 970Ê – $3\cdot10^{3}$ Ñì /ñì ; ï ðè öüî ì ó åëåêòðîí à ï ðî â³äí ³ñòü í à 2 ï î ðÿäêè í èæ÷à, ï î ð³âí ÿí î ç êèñí åâî þ .

Âèñí î âêè

1. Ï î êàçàí î , ù î â ñèñòåì à òð $(ZrO_2)_{0,9}(Y_2O_3)_{0,1-x}(Fe_2O_3)_{ð}$ è $(ZrO_2)_{0,9}(Sc_2O_3)_{0,1-x}(Fe_2O_3)_{ð}$ $(0 \le ð \le 0,05)$ Fe_2O_3 ðî ç÷è í ÿº òüñÿ â ZrO_2, àëå í å º ñòàá³ë³çàòî ðî ì éî ãî âèñî êî òåì ï åðàòóðí è ðî ô àç. Ï î êàçàí î , ù î ÷àñòêî åå çàì ³ù åí í ÿ ³î í ³â Y^{3+} í à Fe^{3+} ï ³äâèù óº åô åêòèâí ³ñòü Y_2O_3 ÿê ñòàá³ë³çàòî ðà âèñî êî òåì ï åðàòóðí î ãî ZrO_2 âí àñë³äî ê óòâî ðåí ÿ î ðòî ô åðèòó ³òð³þ $(YFeO_3)$, ³çî ì î ðô í î ãî äî ñ-ZrO_2, à òàêî æ çà ðàðóí î ê çì åí ø åí í ÿ ñåãðåãàò³¿³òð³þ í à ãðàí èöÿõ çåðåí . Ó âèï ääêó ñèñòåì è $(ZrO_2)_{0,9}(Sc_2O_3)_{0,1-x}(Fe_2O_3)_{ð}$, äå $0 \le ð \le 0,05$, î ñèë çàè³çà (III), ðî ç÷èí ÿº òüñÿ â ñ-ZrO_2 ñï ³ëüí î ç î êñèâî ì ñèàí ä³þ ó âèãëÿä³ êóá³÷í î ãî òååðäî ãî ðî ç÷èí ó $Sc_{2-x}Fe_xO_3$ ç³ ñòðóêòóðî þ á³êñá³òó, ³çî ì î ðô í î ãî ñ-ZrO_2. Âñòàí î ãëåí î , ù î åô åêòèâí ³ñòü Sc_2O_3 ÿê ñòàá³ë³çàòî ðà ñ-ZrO_2 â ï ðèñóòí î ñò³ Fe_2O_3 çá³ëüø óº òüñÿ â 1,5–2 ðàçè. Ï ³äâèù åí í ÿ ñò³êêî ñò³ âèñî êî òåì ï åðàòóðí î ¿êóá³÷í î ¿ì î èô ³êàö³¿ä³î êñèäó öèðêî í ³þ ì î æå áóòè ï î ÿñí åí î âî ëèâî ì ScFeO3, ðî ç÷èí åí î ãî â ñ-ZrO_2.

2. Ï ðè âîåäåí ³ â î êñèä öèðêî í ³þ î êñèäó öèðêî í ³þ ÑåO$_2$ ê³ëüê³ñòü êèñí åâè õ âàêàí ñ³é çáåð³ãàº òüñÿ, òî ì ó ä³à-ï àçî í ðî áî ÷èõ êî í öåí òðàö³é äî áàâêè ø èðø å â ï î-ð³âí ÿí í ³ ç äî áàâêî þ Fe_2O_3. Äî áàâêà öåð³þ äî çâî ëÿº ói èêí óòè ôî ðì óâàí ï ÿ çí à÷í èõ ê³ëüêî ñòåé ì î í î êê³í í î ¿ ³, ù î î ññ áëèâî âàæëèâî , ðî ì áî åðèð÷í î ¿ ì î äô ³êàö³¿ ä³î êñèäó öèðêî í ³þ .

3. Áóëî ï ðî âåäåí î äî ñë³äæåí í ÿ ñòðóêòóðí èõ î ñî áëèâî ñòåé ³ ³î í í î ¿ï ðî â³äí î ñò³ â î áëàñò³ ñåðåäí ³õ òåì ï åðàòóðð (600–750 °Ñ) î á'º ì ó çåðåí ³ ãðàí èöü çåðåí î êñèäó öèðêî í ³þ , ñòàá³ë³çî âàí î ãî ñêëàäí èì è î êñèäàì è í à î ñí î â³ ³òð³þ , ñêâí ä³þ ³ çàë³çà, âñòàí î âëåí î ï ðè ÷èí è ï î ÿâè ³ î áëàñò³ ³ñí óâàí í ÿ ã³ñòåðåçèñó ï ðî â³äí î ñò³.

4. Âñòàí î âëåí î , ù î ï ðè äî äàâàí í ³ í åâåëèêî ¿ê³ëüêî ñò³ Fe_2O_3 (3% î ïëü) â ñòàá³ë³çî âàí èé ZrO_2 ï ðî õî äÿòüî î êèñëþ-âàëüí î -â³äí î âí ³ ï ðî öåñè çà ó÷àñòþ ³î í ³â çàë³çà, ÿê³ ðî çø è-ðþ þ òü î áèàñòü âèòàí î ñò³ êèñí þ , â ì åæàõ ÿêî ¿åëåêòðî í-í à ï ðî â³äí ³ñòü î êñèäó öèðêî í ³þ í åçí à÷í à â ï î ð³âí ÿí í ³ ç ³î í í î þ .

5. Ì åòî äî ì type-casting î äåðæàí ³ òî âñò³ï ë³âêè äèî êñèäó öèðêî í ³þ , ñòàá³ë³çî âàí î ãî êî ì ï ëåñí èì è ñêàí ä³º âì ³ñí èì è äî áàâêàì è òî âù è í î þ 9÷18 ì êì ³ ç ðî çì ³ðî ì çåðåí 0,5÷3 ì êì . Î äí ³º þ çóì î â î òðèì àí í ÿù ³ëüí è ë³âî êº í àäø âèäêå ï ³äâèù åí í ÿ òåì ï åðàòóðè, òåðì î î áðî áêó ì î æí à ï ðî âî äèòè çà òåì ï åðàòóð í à 200 °Ñ í èæ÷å, í ³æ êåðàì ³êè.

6. Ï î êàçàí î , ù î ï ðî â³äí ³ñòü òî âñòèõ ï ë³âî ê ï ðè 700 °Ñ â 2,5÷3 ðàçè ì åí ø å, í ³æ êåðàì ³÷í èõ çðàçê³â â³äï î â³äí èõ ñêëàä³â. Â òî é æå ÷àñ åí åðã³ÿ àêòèâàö³¿ï ë³âî ê º í èæ÷î þ , âí àñë³äî ê ÷î ãî ð³çí è öÿ ï ðî â³äí î ñò³ òî âñòèõ ï ë³âî ê ³ êåðàì ³êè ç³ çí èæåí í ÿì òåì ï åðàòóðêè çì åí ø óº òüñÿ. Ñêâí ä³º âì ³ñí ³ì àòåð³äëè õàðàêòåðèçóþ òüñÿ á³ëüø î þ ï ðî â³äí ³ñòþ ï î êèñí þ, í ³æ ³òð³º âì ³ñí ³.

Ï ÅÐÅË²Ê Ï Î ÑÈÑÊÀÍ Ü

1. *Kawamura K., Watanabe K., Hiramatsu T. et al. Electrical conductivities of CaO doped ZrO_2–CeO_2 solid solution system // Solid State Ionics. – 2001. – **144**. – P. 11–18.*

2. *Belous A.G., Kravchyk K.V., Pashkova E.V. et al. Influence of chemical composition on structural properties and electrical conductivity of Y-Ce-ZrO_2 // Chem. Mater. – 2007. – **19**. – P. 5179–5184.*

3. *Ï àóëèí ã Ë. Ï ðèðî äà õèì è÷åñêî é ñäÿçè. – Ì .: Ãî ñõèì èçäàò , 1947. – 440 c.*

4. *Ran S., Winnubst L., Wiratha W. et al. Sintering Behavior of 0?8 mol%-CuO-Doped 3Y-TZP Ceramics // J. Amer. Ceram. Soc. – 2006. – **89**. – P. 151–155.*

5. *Ishihara T., Matsuda H., Takita Y. Doped LaGdO3 perovskite type oxide as new oxide ionic conductor // J. Amer. Ceram. Soc. – 1994. – **116**. – P. 3801–3804.*

6. *Hirano M., Oda T., Ukai K. 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**. – P. 215–223.*

7. *Belous A.G., Pashkova E.V., V'yunov O.I. et al. Effect of combined doping (Y3+ + Fe3+) on structural features of nanodispersed zirconium oxide. // J. Mater. Sci. – 2005. – **40**. – P. 5273–5280.*

8. *Í åóéì èí À.Ä., Êàðàâàåâ Þ .Í ., Ï àëüäóââ Ñ.Ô. Èññëåäîâàíèå ñòðóêòóðû , ýëåêòðîï ðî ï ðî âî äí î ñò è è åå õàðàêòî åðà â ñèñò åì å ZrO2-Sc2O3-Fe2O3 // Òð. Èí -ò à ýëåêò ðî õèì èè. – 1974. – **21**. – Ñ.132–141.*

9. *Verkerk M.J., Middelhuis B.J., Burggraaf A.J. Effect of grain boundaries on the conductivity of high-purity ZrO2-Y2O3 ceramics / / Solid State Ionics. – 1982. – **6**. – P. 159–170.*

10. *Foschini C.R., Souza D.P., Filho P.I. et al. AC impedance study of Ni, Fe, Cu, Mn doped ceria stabilized zirconia ceramics // J. Eur. Ceram. Soc. – 2001. – **21**. – P. 1143–1150.*

11. *Preis W., Waldhäusl J., Egger A., Sitte W., Carvalho E. D., Irvine J. T. S. Electrical properties of bulk and grain boundaries of scandia-stabilized zirconia co-doped with yttria and ceria // Solid State Ionics. – 2011. – **192**. ¹ 1. – P. 148-152.*

12. *Wang Zh, Cheng M., Bi Zh. et al. Structure and impedance of ZrO_2 doped with Sc2O3 and CeO2 //Mat.Letters - 2005. – **59**. – P. 2579–2582.*

13. *Wang Zh., Cheng M., Dong Y., at al. Anode-supported SOFC with 1Ce10ScZr modified cathode/electrolyte interface // Journal of Power Sources **156**. – 2 -P. 306-310.*

14. *Liu M., He Ch., Wang J., et al. Investigation of (CeO2)x(Sc2O3)(0.11"x)(ZrO2)0.89 (x = 0.01–0.10) electrolyte materials for intermediate-temperature solid oxide fuel cell // J. Alloys and Compounds. – 2010. – **502**. – P. 319–323.*

15. *Yamamoto O. Solid oxide fuel cells: fundamental aspects and prospects // Electrochimica Acta. – 2000. – **45**. – P. 2423-2435.*

16. *Kravchyk Ê.V., Bohnke O., Gunes V. et al. Ionic and electronic of 3 mol% Fe2O3-substituted cubic Y-stabilized ZrO_2 // Solid State Ionics. – 2012. – **226**. – P. 53–58.*

17. *ß í ÷åñêèé Î .Ç., Ï àø êî âà Å.Â., Èâàí èóêèé Â.Ï . è äð. Ì åññàóýðî âñèêå è ðåí ò ãåí î ãðàô è÷åñèêå èññëåäî âàí èÿ êóáè÷åñêèõ ò âåðäûõ ðàñò âî ðî â (ZrO$_2$)0,9(Sc$_2$O$_3$)$_{0,1-x}$(Fe$_2$O$_3$)$_x$ // Í åî ðã. ì àò åðèàëû . – 2012. – **48.** – C. 700–705.*

18. *Áåëî óñ À.Ã., Âüþ í î â Î .È., Gunes V. at al. Èî í í ïàÿ è ýëåêò ðî í í ïàÿ ï ðî âî äè ì î ñò ü î êñèäà öèðêî í èÿ, ñò àáèëèçèðî âàí í î âî î êñèäàì è èò ò ðèÿ è ñêàí äèÿ // Í åî ðã. ì àò åðèàëû . – 2014. – **50**. – C. 1333–1340.*

19. *Ëóêà÷èí à Å.Ï , Ñò åöåí êî Â.È., Åðì î ëåí êî È.Â. Ì åõàí èçì î áðàçî âàí èÿ $Y_3Fe_5O_{12}$ â ñèñò åì å Y(OH)$_3$-Fe(OH)$_2$ // Í åî ðãàí . ì àò åðèàëû . – 1978. – **14**. – Ñ. 102–105.*

*20. Keth M. L., Roy R. Structural relations among double oxides of trivalent elements // Amer. Miner. – 1954. – **39**. – P. 1.*

*21. Àëåêñåéí êî Â.È. Âî ëêî âà Ã.Ê. Àäñî ðáöèî í í ûé ì åõàí èçì ô àçî âî ãî ï ðåâðàù åí èÿ ñò àáèëèçèðî âàí í î ãî äèî êñèäà öèðêî í èÿ // Æóðí. òåõí è÷. ô èçèêè. – 2000. – **70**. – Ñ. 57–62.*

*22. Shannon R.D. Revised Effective Ionic Radii and Systematic Studies of Interatomic Distances in Halides and Chalcogenides // Àcta Crystallogr., Sect. A. – 1976. – **32**. P. 751–767.*

*23. Breard Y., Fjellvag H., Hauback B. Investigation of Bixbite Type Scandium Oxides Involving a Magnetic Cation: $Sc_{2-x}FexO_3$ (0 < x < 1) // Solid State Commun. – 2011. – **151**. – P. 223–226.*

*24. Abdala P.M., Craievich A.F., Fantini M.C.A. et al. Metastable Phase Diagram of Nanocrystalline ZrO_2–Sc_2O3 Solid Solutions // J. Phys. Chem. 2009. – **113**. – P. 18661–18666.*

*25. Kim N., Hsieh C.H., Stebbins J.F. Scandium Coordination in Solid Oxides and Stabilized Zirconia: 45Sc NMR // Chem. Mater. – 2006. – **18**. – P. 3855–3859.*

*26. Striker D.W., Carlson W.G. Electrical Conductivity in the ZrO_2-Rich Region of Several M_2O_3–ZrO_2 Systems // J. Am. Ceram. Soc. – 1965. – **48**. – P. 286–289.*

*27. Duran P., Gonzalez M., Moure C., et al. A new tentative phase equilibrium diagram for the ZrO_2-CeO_2 system in air // Journal of Materials Science. – 1990. –**25**. – P. 5001–5006.*

28. Duh J.G. Lee M.Y. Fabrication and sinterability in Y_2O_3-CeO_2-ZrO_2 // J. Mater. Science. – 1989. –24. – P. 1959.

*29. Àí äðèåâñêàÿ Å. Ð. Ãåðàñèì þê Ã. È., Êî ðí èåí êî Î. À. è äð. Ôàçî âû å ðàâí î âåñèÿ â ñèñò åì å HfO_2-ZrO_2-CeO_2 ï ðè ò åì ï åðàò óðå 1500 °Ñ // Ï î ðî ø êî âàÿ ì åò àëëóðãëÿ.–2006. – **9/10**. – Ñ. 54–63.*

*30. Kravchyk K.V., Bohnke O., Gunes V., at al. Ionic and electronic conductivity of 3 mol% Fe_2O_3-substituted cubic Y stabilized ZrO_2 // Solid State Ionics. – 2012. – **226**. – P. 53–58.*

*31. Áåëî óñ À.Ã., Êðàâ÷èê Ê.B., ßí ÷åâñêèé Î .Ç. è äð. Âëèÿí èå Fe_2O_3 í à ñò ðóêò óðó è ñâî éñò âà ñò àáèëèçèðî âàí í î ãî î êñèäà öèðêî í èÿ // Óêð. õèì . æ óðí . – 2012. – **78.** – C. 3–19.*

ЗМІСТ

Розділ 1. ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ

ÇÀÊÎ Í Î Ì ²ÐÍ Î ÑÒ² Í ÀÄÀÍ Í ß ÂÈÑÎ ÊÎ ¯ÐÅÀÊÖ²ÉÍ Î ¯ÇÄÀÒÍ Î ÑÒ² ÀËÞ Ì ²Í ²Þ É Ì ÀÃÍ ²Þ ÄËß ÂÈÄ²ËÅÍ Í ß ÂÎ ÄÍ Þ ÇÂÎ ÄÈ ÇÂÈÑÎ ÊÎ Þ Ø ÂÈÄÊ²ÑÒÞ ÁÅÇÄÎ Ï Î Ì Î ÃÈ Õ²Ì ²×Í È Õ ÐÅÀÃÅÍ Ò²Â 4

Âî ëêî â Ñ.Â., Êî ç³í Ë.Õ., Ñâÿò î ãî ð À.Â., Äàí èëüöåâ Á.².

²í ñòèòóò çàãàëüí î ¿ òà í åî ðãàí ³÷í î ¿ õ³ì ³¿ ³ì . Â.².Âåðí àäñüêî ãî Í ÀÍ Ó,
03680, ì . Êè¿â-142, ï ðî ñï . Àêàäåì èêà Ï àëëàäèí à, 32/34, kozin@ionc.kiev.ua

Ï Î ÂÅÐÕÍ ÅÂÀ Ì Î ÄÈÔ²ÊÀÖ²ß ÄËÅÊÒÐÎ Ä²Â ÄËß ÐÅÃÓËÞ ÂÀÍ Í ß Ï ÅÐÅÍ ÀÏ ÐÓÃÈ ÊÀÒÎ ÄÍ Î ÃÎ ÒÀ ÀÍ Î ÄÍ Î ÃÎ Ï ÐÎ ÖÅÑ²Â Ï ÐÈ Í ÈÇÜÊÎ ÒÀÌ Ï ÅÐÀÒÓÐÍ Î Ì Ó ÅËÅÊÒÐÎ Ë²Ç² ÂÎ ÄÈ 10

Êî ç³í Ë.Õ., Ì àí ³ëåâè÷ Ô.Ä., Ë³ñî ãî ð Î .²., Êóöèé À.Â.

²í ñòèòóò çàãàëüí î ¿ òà í åî ðãàí ³÷í î ¿ õ³ì ³¿ ³ì . Â.².Âåðí àäñüêî ãî Í ÀÍ Óêðà¿í è
03680, ì . Êè¿â, ï ðî ñï . Ï àëëàä³í à, 32/34, kozin@ionc.kiev.ua

Ï ÅÐÑÏ ÅÊÒÈÂÈ ÑÒÂÎ ÐÅÍ Í ß Ï ÐÎ Ì È ÑËÎ ÂÈÕ ÒÅÕÎ Ë ÃÎ Ë²É ÑÈÍ ÒÅÇÓ Á²Î ÂÎ ÄÍ Þ Ï ÐÈ Ì ²ÊÐÎ ÁÍ Î Ì Ó ÇÁÐÎ ÄÆÓÂÀÍ Í ² ÁÀÃÀÒÎ ÊÎ Ì Ï Î Í ÅÍ ÒÍ È Õ ÕÀÐ×Î ÂÈÕ Â²ÄÕÎ Ä²Â 17

Òàø èðåâà ÃÎ ., Òàø èðåâ Î .Á., Ï ðèò óëà I.Ð.

²í ñòèòóò ì ³êðî á³î ëî ã³¿ ³ â³ðóñî ëî ã³¿ ³ì . Ä.Ê.Çàáî ëî òí î ãî Í ÀÍ Óêðà¿í è,
03680, ì . Êè¿â, âóë. Çàáî ëî òí î ãî, 154, anna_tach@ukr.net

Î ÒÐÈÌ ÀÍ Í ß ÂÎ ÄÍ Þ ÃÅÒÅÐÎ ÃÅÍ Í Î -ÊÀÒÀË²ÒÈ×Í Î Þ ÊÎ Í ÂÅÐÑ²ª Þ ÒÂÅÐÄÈ Õ Î ÐÃÀÍ ²×Í È Õ Â²ÄÕÎ Ä²Â 24

Äóäí èê Î .Ì .(1), Òðèï î ëüñüêèé À.².(2), Ñò ðæ àê Ï .Å.(2), Êàë³ø èí ª .Þ .(2), Ñî êî ëî âñüêà ².Ñ.(1)

(1)²í ñòèòóò âóã³ëüí è õ åí åðãîì òåõí î ëî ã³é Í ÀÍ Ó, 04070, ì . Êè¿â, âóë. Àí ä³¿âñüêà, 19, aldudnik@bigmir.net
(2)²í ñòèòóò ô³çè÷í î ¿ õ³ì ³¿ ³ì . Ë.Â. Ï èñàðæåâñüêî ãî Í ÀÍ Ó, 03028, ì . Êè¿â, ï ðî ñï åêò Í àóêè, 31, atripolski@gmail.com

Î ÄÅÐÆÀÍ Í ß ÂÎ ÄÍ Þ Ø ËßÕÎ Ì Ï ÀÐÎ ÂÎ ÃÎ ÐÈ ÔÎ Î ÐÌ ²Í ÃÓ Á²Î ÅÒÀÍ Î ËÓ Í À Í ÀÍ Î ÐÎ Ç² ²ÐÍ È Õ ÔÅÐÈ ÒÀÕ Ø Ï ²Í ÅËÜÍ Î ¯ÑÒÐÓÊÒÓÐÈ 33

Äî ëã³õ Ë.Þ ., Ï ÿò í èöüêèé Þ .².,Ñò î ëÿð÷óê ².Ë., Ñò ðæ àê Ï .ª .

²í ñòèòóò ô³çè÷í î ¿ õ³ì ³¿ ³ì . Ë. Â. Ï èñàðæåâñüêî ãî Í ÀÍ Óêðà¿í è,
03028, ì . Êè¿â, ï ðî ñï åêò Í àóêè, 31, admini@inphyschem-nas.kiev.ua

ÐÎ ÇÐÎ ÁÊÀ ÔÓÍ ÄÀÌ ÅÍ ÒÀËÜÍ È Õ Î ÑÍ Î Â ÑÒÂÎ ÐÅÍ Í ß Í Î ÂÈ Õ Í ÀÍ Î ÑÒÐÓÊÒÓÐÎ ÂÀÍ È Õ ÑÈ ÑÒÅÌ ÄËß Ï ÐÎ ÖÅÑ²Â ÅËÅÊÒÐÎ Õ²Ì ²×Í Î ÃÎ ÂÈ Ä²ËÅÍ Í ß ÂÎ ÄÍ Þ ÒÀ Â²ÄÍ Î ÂËÅÍ Í ß ÊÈÑÍ Þ ÄËß Ï ÀÈÈÂÍ È Õ ÅËÅÌ ÅÍ Ò²Â 40

Ò²ò î â Â.ª ., Êóðèñü ß .².,Êî ø å÷êî Â.Ã., Ï î õî äåí êî Â.Ä.

²í ñòèòóò ô³çè÷í î ¿ õ³ì ³¿ ³ì . Ë.Â. Ï èñàðæåâñüêî ãî Í ÀÍ Ó,
02028, ì . Êè¿â-28, ï ð. Í àóêè, 31, admini@inphyschem-nas.kiev.ua

Î ÄÅÐÆÀÍ Í ß ÂÎ ÄÍ Þ Ø ËßÕÎ Ì ÊÎ Ì Á²Í Î ÂÀÍ Î ÃÎ ÐÈ ÔÎ Î ÐÌ ²Í ÃÓ Ï ÐÈ ÐÎ ÄÍ Î ÃÎ ÃÀÇÓ ÒÀ Ì ÅÒÀÍ Î ËÓ Í À ÑÒÐÓÊÒÓÐÎ ÂÀÍ È Õ Ê ÀÒÀË²ÇÀÒÎ ÐÀÕ 48

Î ðëèê Ñ.Ì ., Ñî ëî âéî â Ñ.Î ., Êàï ðàí À.Þ ., Ãóáàðåí ³ª .Â.

²í ñòèòóò ô³çè÷í î ¿ õ³ì ³¿ ³ì . Ë.Â. Ï èñàðæåâñüêî ãî Í ÀÍ Ó,
03028, ì .Êè¿â-28, ï ðî ñï . Í àóêè, 31, orlyk@inphyschem-nas.kiev.ua

ÊÀÒÀË²ÒÈ×Í À ÃÀÇÈ Ô²ÊÀÖ²ß ÂÎ ÄÍ Î ¯ÑÓÑÏ ÅÍ Ç¯ÁÓÐÎ ÃÎ ÂÓÃ²ËËß ÓÊÐÀ¯Í È ÇÀ Í ÀÄÊÐÈÒÈ×Í È Õ ÓÌ Î Â 55

Áî ðò èø åâñüêèé Â.À., Êî ðæ Ð.Â.

²í ñòèòóò á³î ðãàí ³÷í î ¿ õ³ì ³¿ òà í àô òî õ³ì ³¿ Í ÀÍ Ó,
02094, ì . Êè¿â-94, âóë. Ì óðì àí ñüêà, 1, *bort2001@gmail.com*

Î ÒÐÈÌ ÀÍ Í ß ÂÎ ÄÍ Þ ÒÀ ËÓÃÓ Ï ÐÈ Î × ÈÙ ÅÍ Í ² ÂÎ ÄÈ Â²Ä ²Î Í ²Â ÂÀÆÊÈÕ Ì ÅÒÀË²Â ÅËÅÊÒÐÎ ÁÀÐÎ Ì ÅÌ ÁÐÀÍ Í ÈÌ Ì ÅÒÎ ÄÎ Ì 64

Ä.Ä. Êó÷åðóê,ÒÞ .Äóëüíó åâà

²í ñòèòóò êî ëî ¿äí î ¿ õ³ì ³¿ òà õ³ì ³¿ âî äè ³ì . À.Â. Äóì àí ñüêî ãî Í ÀÍ Ó,
ì .Êè¿â 03680, Ì ÑÏ , Êè¿â-142, áóë. Åðð î äàñüêî ãî , 42, t_dulneva@ukr.net

ÔÎ ÒÎ ÅËÅÊÒÐÎ Õ²Ì ²×Í À ÊÎ Ì ²ÐÊ À ÄËß Î ÒÐÈÌ ÀÍ Í ß ÂÎ ÄÍ Þ ÇÃ²ÁÐÈ ÄÌ ÈÌ ÔÎ ÒÎ ÀÍ Î ÄÎ Ì Í À Î ÑÍ Î Â² Ä²Î ÊÑÈ ÄÓ ÒÈ ÒÀÍ Ó 69

Äàí üêî Ä.Á., Ñèëåí êî Ï .Ì ., Ø ëàï àê À.Ì ., Õèæ ói Î .Þ .,
Ù åðáàêî âà Ë.Ã., ª ðø î âà Î .Ã, Àí äðóù åí êî Ä.².,Ñî ëî í ³í Þ .Ì .

²í ñòèòóò ï ðî áëåì ì àòåð³àëî çí àâñòâà Í ÀÍ Óêðà¿ è ³ì . ².Ì . Ôðàí öåâè÷à,
03680, Êè¿â-142, âóë. Êðæèæàí î âñüêî ãî , 3, òåë. (044) 424 3228, ô àêñ. +38 44 424 21 31; d.danko@ipms.kiev.ua

Ï ËÀÇÌ Î Â² ÒÅÕÍ Î ËÎ Ã²¯ÊÎ Í ÂÅÐÑ²¯Â²ÄÍ Î ÂËÞ ÂÀËÜÍ Î ¯ÑÈ ÐÎ ÂÈ Í È ßÊ Ï ÐÈ ÊËÀÄ ÂÈ Þ²Ø ÅÍ Í ß Ï ÐÎ ÁÅÅÌ È Ï ÅÐÅÐÎ ÁÊÈ Ì ÓËÎ ÂÈ Õ Î ÑÀÄ²Â ÑÒ²×Í È Õ ÂÎ Ä 75

Æî âò ÿí ñüêèé Â.À., ßêèì î âè÷Ì .Â.

²í ñòèòóò ãàçó Í ÀÍ Ó, 03113, ì . Êè¿â-113, âóë. Äåãòÿð³âñüêà, 39, zhovt@ukr.net

ÑÂ²ÒËÎ ÇÀÈÅÆÍ Å Ï ÐÎ ÄÓÊÓÂÀÍ Í ß ÂÎ ÄÍ Þ Ì ²ÊÐÎ ÂÎ ÄÎ ÐÎ ÑÒßÌ È (*CHLOROPHYTA*) ² ÔÎ ÒÎ ÑÈÍ ÒÅÒÈ×Í È Ì È ÁÀÊÒÅÐ²ßÌ È (*RHODOBACTER*) 84

Ï î äî ðâàí î â Â.Â., Ï î ë³ù óê Î .Â., Çî ëî ò àðüí âà Î .Ê.

²í ñòèòóò áî òàí ³êè Í ÀÍ Ó,
01004, ì . Êè¿â-4, âóë. Òåðåù åí ê³âñüêà, 2, membrana@ukr.net

ÄÎ ÑË²ÄÆÅÍ Í ß Ï ÐÎ ÖÅÑ²Â Î ÒÐÈÌ ÀÍ Í ß ÂÎ ÄÍ Þ ÇÓÊÐÀ¯Í ÑÜÊÈ Õ ÅÍ ÅÐÃÅÒÈ×Í È Õ ÊÀÌ 'ßÍ È Õ ÒÀ ÁÓÐÈ Õ ÂÈ Ä²Â ÂÓÃ²ËËß 91

Äóäí èê Î .Ì ., Ñî êî ëî âñüêà ².Ñ.

²í ñòèòóò âóã³ëüí è õ åí åðãî òåõí î ëî ã³é Í ÀÍ Ó,
04070, ì . Êè¿â, âóë. Àí äð³¿âñüêà, 19, aldudnik@bigmir.net

Î ÒÐÈÌ ÀÍ Í ß ÂÎ ÄÍ Þ ÇÇÀÑÒÎ ÑÓÂÀÍ Í ßÌ Â²ÒÐÎ ÅËÅÊÒÐÈ×Í È Õ ÓÑÒÀÍ Î ÂÎ Ê 98

Êóäðÿ Ñ.Î ., Ì î ðî çî â Þ .Ï ., Êóçí ºöî â Ì .Ï .

²í ñòèòóò â³äí î âëþ âàí î ¿ åí åðãåòèêè Í ÀÍ Ó,
ì . Êè¿â-94, âóë. ×åðâî í î ãâàðä³éñüêà, 20À, geotherm@ukr.net

Î ÒÐÈÌ ÀÍ Í ß ÂÎ ÄÍ Þ Ó ÔÎ ÒÎ ÅËÅÊÒÐÎ Õ²Ì ²×Í ²É ÑÈÑÒÀÌ ² Í À Î ÑÍ Î Â² Í ÀÏ ²ÂÏ ÐÎ Â²ÄÍ ÈÊÎ ÂÈ Õ ÅËÅÊÒÐÎ Ä²Â ÒÀ ÑÏ ËÀÂ²Â ÒÈ Ï Ó ÀÂ$_5$ 106

Êî ëáàñî â Ã.ß ., Ñëî áî äÿí þ ê ².Î ., Ðóñåöüêèé ².À., Ù åðáàêî âà Ë.Ã[(1)], Ñî ëî í ³í Þ .Ì .[(1)]

²í ñòèòóò çàâàëüí î ¿ òà í åî ðãàí ³÷í î ¿ õ³ì ³¿ ³ì . Â.². Âåðí àñüêî ãî Í àö³î í àëüí î ¿ âêàäåì ³¿ í áóê Óêðà¿ í è,
ï ðî ñï . Ï àëàä³í à 32/34, 03680 Êè¿â-142, Óêðà¿ à, E-mail: kolbasov@ionc.kiev.ua
(1)²í ñòèòóò ï ðî áëåì ì àòåð³àëî çí àâñòâà ³ì . ².Ì . Ôðàí öåâè÷à Í àö³î í àëüí î ¿ âêàäåì ³¿ í áóê Óêðà¿ è,
âóë. Êðæèæàí î âñüêî ãî 3, 03680 Êè¿â-142, Óêðà¿ à, E-mail: larisa_c@ukr.net

Розділ 2. ЗБЕРЕЖЕННЯ ВОДНЮ

ÂÏ ËÈ Â Õ²Ì ²×Í Î ¯, ÊÐÈ ÑÒÀË²×Í Î ¯ÁÓÄÎ ÂÈ ÒÀ Ì Î ÐÔÎ ËÎ Ã²¯Ì ²ÊÐÎ ÊÐÈ ÑÒÀË²Â Ï Î ÐÈ ÑÒÈ Õ ÊÎ Î ÐÄÈ Í ÀÒ²É Í È Õ Ï Î Ë²Ì ÅÐ²Â Í À¯Õ ÑÍ ÐÁÖ²É Í Óª Ì Í ²ÑÒÜÏ Î Â²ÄÍ Î Ø ÅÍ Í Þ ÄÎ ÂÎ ÄÍ Þ 113

Êî ëî ò ³ëî â Ñ.Â.

²í ñòèòóò ô³çè÷í î ¿ õ³ì ³¿ ³ì . Ë.Â.Ï èñàðæåâñüêî ãî Í ÀÍ Ó,
03028, ì . Êè¿â-28, ï ðî ñï . Í àóêè 31, *svk001@mail.ru*

ÒÅÎ ÐÅÒÈ×Í ² ÄÎ ÑË²ÄÆÅÍ Í ß ÑÎ ÐÁÖ²É Í Î ¯ÇÄÀÒÍ Î ÑÒ² ÑÏ ËÀÂ²Â ÒÈ Ï Ó ÀÂ$_5$ ÒÀ¯Õ Ï ÐÀÊÒÈ×Í Å ÇÀÑÒÎ ÑÓÂÀÍ Í ß Â ÑÈÑÒÅÌ ÀÕ ÇÅÐÅÐÆÅÍ Í ß ÂÎ ÄÍ Þ 120

Çàã³í àé÷åí êî Ñ.Þ ., Ù óð Ä.Â., Àí ³ê³í à Í .Ñ., Çî ëî ò àðåí êî Å.Ï ., Áî ãî ëº ï î â Â.Î ., Êàì åí åöüêà Î .À., Ø àï î ø í ³êî âà Ò².

Èí ñòèòóò ï ðî áëåì ì àòåðèàëî âåäåí èÿ Í ÀÍ Óêðàèí ú ,
óë. Êðæèæàí î âñêî ãî 3, Êèåâ, 03142, Óêðàèí à Ôàêñ: 38 (044) 424-0381; E-mail: shurzag@ipms.kiev.ua

ÄÎ ÑË²ÄÆÅÍ Í ß Ã²ÄÐÎ ÔÓËËÅÐÈÒ²Â $Ñ_{60}H_X$ 128
Ù óð Ä.Â., Çàã³í àé÷åí êî Ñ.Þ ., Ñàâåí êî Î .Ô., Àí³ê³í à Í .Ñ., Çî ëî ò àðåí êî Î .Ä., Êî ï èëî âà Ë.².
Èí ñòèòóò ï ðî áëåì ì àòåðèàëî âåäåí èÿ Í ÀÍ Óêðàèí ú,
óë. Êðæèæàí î âñêî ãî 3, Êèåâ, 03142, Óêðàèí à; *Òàêñ: 38 (044) 424-0381;* *E-mail:* shurzag@ipms.kiev.ua

Ì ÅÕÀÍ ²×Í ² ÑÏ ËÀÂÈ Mg-Me (ME: Ti, Fe, Ni, Al) ÒÀ Mg-Me_1-Me_2 ÇÏ Î Í ÈÆÅÍ Î Þ ÒÅÐÌ ²×Í Î Þ ÑÒ²ÉÊ²ÑÒÞ ÒÀ Ï Î ÊÐÀÙ ÅÍ Î Þ Ê²Í ÅÒÈÊÎ Þ Ã²ÄÐÓÂÀÍ Í ß-ÄÅÃ²ÄÐÓÂÀÍ Í ß ÄËß ¯Õ ÂÈÊÎ ÐÈÑÒÀÍ Í ß Â ÀÊÓÌ ÓËßÒÎ ÐÀÕ ÂÎ ÄÍ Þ 136
Äî áðî âî ëüñüêèé Â.Ä., ª ðø î âà Î .Ã., Ñî ëî í³í Þ .Ì .
²í ñòèòóò ï ðî áëåì ì àòåð³àëî çí àâñòâà ³ì . ².Ì . Ôðàí öåâè÷à Í ÀÍ Óêðàï è,
âóë. Êðæèæàí î âñüêî ãî, 3, ì . Êè¿â, 03142,(044)- 390-11-23; e-mail: dobersh@ipms.kiev.ua

Î Ï ÒÈÌ ²ÇÀÖ²ß ÑÊËÀÄÓ² ÒÅÕÍ Î ËÎ Ã²¯ÂÈÃÎ ÒÎ ÂËÅÍ Í ß ÂÎ ÄÅÍ ÜÑÎ ÐÁÓÞ ×ÈÕ ÊÀÒÎ Ä²Â ÒÀ ÄÎ ÑÊ²ÄÆÅÍ Í ß ÅÔÅÊÒÈÂÍ Î ÑÒ² ¯Õ ÐÎ ÁÎ ÒÈ Â Î ÁÎ ÐÌ ÒÍ ÈÕ ÅËÅÊÒÐÎ - ÒÀ ÔÎ ÒÎ ÅËÅÊÒÐÎ Õ²Ì ²×Í ÈÕ ÑÈÑÒÀÌ ÀÕ 150
Ñï î äàðèê Ì . ²., Ù *åðáàêî âà Ë. Ã., Ñî ëî í³í Þ .Ì .*
²í ñòèòóò ï ðî áëåì ì àòåð³àëî çí àâñòâà ³ì . ².Ì . Ôðàí öåâè÷à Í ÀÍ Ó,
03680, Êè¿â-142, âóë. Êðæèæàí î âñüêî ãî, 3 poshtamary@ukr.net

Ì ÀÃÍ ²ÉÂÌ ²ÑÍ ² ÑÏ Î ËÓÊÈ, ÑÏ ËÀÂÈ ÒÀ ÊÎ Ì Ï Î ÇÈÒÈ ßÊ ÅÔÅÊÒÈÂÍ ² Ï Î ÃËÈÍ À×² ÂÎ ÄÍ Þ 158
Çàâàë³é ².Þ ., Äåí èñ Ð.Â. [(1)]*, Âåðáî âèüêèé Þ .Â., Áåðåçî âåöü Â.Â., Ø ò åí äåð Â.Â.*
Ô³çèêî -ì åõàí ³÷í èé ³í ñòèòóò ³ì . ÃÂ.Êàðï åí êà Í ÀÍ Óêðàï è,
ì .Ëüâ³â, 79601, âóë.Í àóêî âà, 5, zavaliy@ipm.lviv.ua
[(1)] Hystorsys AS, P.O. Box 45, Kjeller NO-2027, Norway

ÂÏ ËÈÂ ÂÎ ÄÍ Þ Í À Ì ÀÃÍ ÅÒÎ ÀÊÓÑÒÈ×Í Ó ÀÊÒÈÂÍ ²ÑÒÜ ÔÅÐÎ Ì ÀÃÍ ÅÒÈÊÀ 167
Ñêàëüñüêèé Â. Ð, Ðóäàâñüêèé Ä. Â.[(1)]*, Ï î ÷àï ñüêèé ª .Ï .*[(2)]*, Êëèì Á. Ï .*[(3)]
Ô³çèêî -ì åõàí ³÷í èé ³í ñòèòóò ³ì . ÃÂ. Êàðï åí êà Í ÀÍ Óêðàï è,
79060, ì . Ëüâ³â, âóë. Í àóêî âà 5, skalsky.v@gmail.com;

ÂÏ ËÈÂ ÔÀÇÎ ÂÈÕ ÒÀ ÑÒÐÓÊÒÓÐÍ È ÕÑÒÀÍ ²Â Í À ÂÎ ÄÍ ÅÂÎ -ÑÎ ÐÁÖ²É Í ² ÂËÀÑÒÈ ÂÎ ÑÒ² ÃÅÒÅÐÎ ÔÀÇÍ È ÕÑÏ ËÀÂ²Â ÑÈÑÒÅÌ È TI-ZR-MN-V 175
²âàí ÷åí êî Â.Ã., Ï ðÿäêî ÒÂ., Äåõò ÿðåí êî Â.À.
²í ñòèòóò ì åòàëî ô³çèêè ³ì . ÃÂ.Êóðäþ ì î âà Í ÀÍ Ó,
03680, ì . Êè¿â, áóëüâ. àêàä. Âåðí àäñüêî ãî, 36, ivanch@imp.kiev.ua

ÂÏ ËÈÂ Í ÅÐÎ Ç×È Í Í È ÕÅËÅÌ ÅÍ Ò²Â Í À Í ÀÊÎ Ï È×ÅÍ Í ß ÒÀ ÂÈÄ²ËÅÍ Í ß ÄÅÉÒÅÐ²Þ ²ÇÌ ÀÃÍ ²ª ÂÈÕ ÊÎ Ì Ï Î ÇÈÒ²Â, Î ÒÈÌ ÀÍ È ÕÌ ÅÒÎ ÄÎ Ì Ï Î ÀÒÎ Ì Í Î ÃÎ ÇÌ ²Ø ÓÂÀÍ Í ß ÊÎ Ì Ï Î Í ÅÍ Ò 182
Í åêþ äî â ².Ì ., Ì î ðî çî â Î .Ì ., Æóðáa Â.²., Êóï ð³í Î .C., Ï ðî ãî ëàº âà Â.Î .
Í àö³ñî í äëüí èé Í àóêî âèé Öåí òð "Õàðê³âñüêèé ô³çèêî -òåõí ³÷í èé ³í ñòèòóò", Í ÀÍ Óêðàï è,
61108, ì . Õàðê³â, âóë. Àêàäåì ³÷í à, 1, morozov@kipt.kharkov.ua

ÄÎ ÑË²ÄÆÅÍ Í ß Ï ÐÎ ÖÅÑÓ ÑÎ ÐÁÖ²¯-ÄÅÑÎ ÐÁÖ²¯ÂÎ ÄÍ Þ ÂÓÃËÅÖÅÂÈÌ È Í ÀÍ Î ÒÐÓÁÊÀÌ È 190
Ì àð÷óê Þ .Â., Ñí ³ãóð Î .Â., Ï ðæe åí í ³ê Þ .Ã., Ì àðò èí åí êî Í .Ì ., Í åáåñí èé À.À.
²í ñòèòóò ãàçó Í ÀÍ Ó, 03113, Êè¿â-113, âóë. Äåãòÿð³âñüêà, 39 umarch@i.com.ua

Í ÀÍ Î ÊÎ Ì Ï Î ÇÈÒÍ ² Ì ÀÒÅÐ²ÀËÈ Í À Î ÑÍ Î Â² Ä²Î ÊÑÈÄÓ ÒÈÒÀÍ Ó ßÊ Ï ÐÎ ÒÎ Í ÃÅÍ ÅÐÓÞ ×² ÄÎ ÁÀÂÊÈ Ï Î Ë²Ì ÅÐÍ È ÕÌ ÅÌ ÁÐÅÍ Ï ÀËÈÂÍ È ÕÅËÅÌ ÅÍ Ò²Â 194
Òåëüá³ç Ã.Ì ., Ëêî í åí êî Å.Â, Áî ðò èø åâñüêèé Â.À., [(1)] *Õèæ ói Î .Þ .*[(2)]*Ì ài î ðèê Ï .À.*
²í ñòèòóò ô³çè÷í î ¿ õ³ì ³¿ ³ì . Ë.Â.Ï èñàðæåâñüêî ãî Í ÀÍ Óêðàï è,
ì . Êè¿â 03028, ï ð.Í àóêè 31.,ì . Êè¿â 03028, *gtelbiz@yahoo.com*
(1)²í ñòèòóò á³î ðãàí ³÷í î ¿ õ³ì ³¿ ³ í àô òî õ³ì ³¿ Í ÀÍ Óêðàï è,
ì .Êè¿â 02660, Ì óðì àí ñüêà 1, bort2001@ gmail.com
(2)²í ñòèòóò ï ðî áëåì ì àòåð³àëî çí àâñòâà ³ì . ².Ì . Ôðàí öåâè÷à Í ÀÍ Óêðàï è,
ì . Êè¿â, 03142, âóë. Êðæèæàí î âñüêî ãî, 3, hyzhyn@ipms.kiev.ua

ÁÎ Ð- ÒÀ ÀÇÎ ÒÂÌ ²ÑÍ ² Ï Î ÐÈÑÒ² Ì ÀÒÅÐ²ÀËÈ Í À Î ÑÍ Î Â² ÂÓÃËÅÖÞ ÄËß ÒÅÑÎ Î ËÎ Ã²¯ÀÊÓÌ ÓÉÞ ÂÀÍ Í ß ÂÎ ÄÍ Þ 200

ß ðåì î âÏ .Ñ., Ù åðáàí üÍ .Ä, Ô³ëî í åí êî Ñ.Ì ., ²ëü¿í Â.Ã

²í ñòèòóò ô³çè÷í î¿ ò³ì ³¿ ³ì . Ë.Â. Ï èñàðæåâñüêî ãî Í ÀÍ Ó,
03028, ì . Êè¿â, ï ðî ñï . Í àóêè, 31, yaremovp@ukr.net, nataliyalisenko@ukr.net, svitmail@ukr.net, yaporuch@i.ua

Розділ 3. ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ

ÅËÅÊÒÐÎ Ë²ÒÍ ² ÒÀ ÅËÅÊÒÐÎ ÄÍ ² Ì ÀÒÅÐ²ÀËÈ ÄËß Í ÈÇÜÊÎ ÒÀÌ Ï ÅÐÀÒÓÐÍ Î ¯(600 °Ñ) Ï ÀËÈÂÍ Î ¯ÊÎ Ì ²ÐÊÈ Í À Î ÑÍ Î Â² Î ÊÑÈÄÓ ÖÈÐÊÎ Í ²Þ , ÑÒÀÁ²Ë²ÇÌ ÂÀÍ Î ÃÎ ÊÎ Ì Ï ËÅÊÑÍ ÈÌ È ÑÊÀÍ Ä²ª ÂÌ ²ÑÍ ÈÌ È ÄÎ ÁÀÂÊÀÌ È 209

Á³ëî óñ À.Ã, Â'þ í î â Î .²., ß í ÷åñüêèé Î . Ç, Êî âàëåí êî Ë.Ë., Ñî ëî ï àí Ñ.Î .

²í ñòèòóò çàãàëüí î¿ òà í åî ðãàí ³÷í î¿ õ³ì ³¿ ³ì . Â.². Âåðí àäñüêî ãî Í ÀÍ Óêðà¿í è,
03680, ì . Êè¿â, ï ð. Ï àëëàä³í à, 32/34, belous@ionc.kiev.ua

ÂÏ ËÈÂ ÂÎ ÄÍ ÅÂÎ -ÒÅÐÌ ²×Í Î ¯Î ÁÐÎ ÁÊÈ (ÂÒÎ)Ï Î ÐÎ Ø Ê²Â Í À Ï ²ÄÂÈÙ ÅÍ Í ß ÅÊÑÏ ËÓÀÒÀÖ²ÉÍ È Õ ÕÀÐÀÊÒÅÐÈÑÒÈÊ ÂÈÑÎ ÊÎ ÒÀÌ Ï ÅÐÀÒÓÐÍ È Õ, ÇÍ Î ÑÎ ÑÒ²ÉÊÈÕ Ì ÀÒÅÐ²ÀË²Â 216

Ì î ðî çî â ².À.; Ñêî ðî ñî ä Â. Â.; Ì î ðî çî âà ÐÎ .; Êî í äðàø î â Î .Â.

²í ñòèòóò ï ðî áëåì ì àòåð³àëî çí àâñòôà ³ì . ².Ì .Ôðàí öåâè÷à Í ÀÍ Ó,
03680, ì . Êè¿â, âóë. Êðæèæàí ³âñüêî ãî, 3, imorozov@i.ua

Í ÀÓÊÎ Â² Î ÑÍ Î ÂÈ ÐÅÀÊÖ²É ÂÇÀª Ì Î Ä²¯ÂÎ ÄÍ Þ Ç²Í ÒÅÐÌ ÅÒÀË²ÄÀÌ È Í À Î ÑÍ Î Â² ÒÈÒÀÍ Ó, ² ÑÈÍ ÒÀÇÍ ÅÐÓÉÍ ²ÂÍ ÈÕ Ã²ÄÐÈÄÍ È Õ ÊÎ Ì Ï Î ÇÈÒ²Â 222

Êó÷åðÿâèé Î .Â., Ñêî ðî ñî ä Â.Â.

²í ñòèòóò ï ðî áëåì ì àòåð³àëî çí àâñòôà ³ì . ².Ì .Ôðàí öåâè÷à Í ÀÍ Ó,
03680, ì . Êè¿â, âóë. Êðæèæàí ³âñüêî ãî, 3, gelo1089@gmail.com

ÑÒÐÓÊÒÓÐÍ ² Ï ÅÐÅÒÂÎ ÐÅÍ Í ß Â ÀÍ Î Ä² ÊÅÐÀÌ ²×Í È Õ Ï ÀËÈÃÍ È Õ ÊÎ Ì ²ÐÎ Ê Ï ²Ä×ÀÑÉÎ ÃÎ Â²ÄÍ Î ÂËÅÍ Í ß ÒÀ Î ÊÈÑÍ ÅÍ Í ß 229

Âàñèëüº â Î .Ä.[(1)], Áðî äí ³êî âñüêèé ª .Ì .[(1)], Áðè÷åâñüêèé Ì .Ì [(1)], Áðî äí ³êî âñüêèé Ä.Ì .[(1)], Áðî äí ³êî âñüêà ².Â.[(1)], Êèðï à Î .Ë.[(1)], Ï î ë³ø êî ².Î .[(1)], Ãî ëî âêî âà Ì .ª .[(1)], Ñàì åëþ ê À.Â.[(1)], Áåãà Ì .Ä.[(1)] Î ñò àø Î .Ï .[(2)], Âàñèë³â Á.Ä.[(2)], Ï î äõóðñüêà Â.ß .[(2)], Ëåâàí äî âñüêà Ì .[(3)], Àí äðåé÷óê Ì [(3)], Ñï èõàëüñüêèé Ì .[(3)], Âåéðæ àí î âñüêèé Ò[(3)], Ø ò à³í áåðãåðð-Â³ëêåí ñ Ð[(4)], Ì àêÃî í àëüä Í .[(4)]

[(1)] ²í ñòèòóò ï ðî áëåì ì àòåð³àëî çí àâñòôà ³ì . ².Ì . Ôðàí öåâè÷à Í ÀÍ Ó,
03680, ì . Êè¿â, âóë. Êðæèæàí î âñüêî ãî, 3, oleksa.vasylyev@gmail.com
[(2)] Ô³çèêî -ì åõàí ³÷í èé ³í ñòèòóò ³ì . ÃÂ.Êàðï åí êà Í ÀÍ Ó,
79601, ì . Ëüâ³â, âóë. Í àóêî âà, 5, ostash@ah.ipm.lviv.ua
[(3)] Warsaw University of Technology, Faculty of Materials Science and Engineering Materials Engineering,
Poland, 02-507, Warsaw, Woloska Str., 141, malew@inmat.pw.edu.pl
[(4)] University of Birmingham, School of Chemical Engineering, Centre for Hydrogen and Fuel Cell
Edgbaston, Birmingham, B15 2TT, UK, r.steinbergerwilckens@bham.ac.uk

ÊÐÈÒÅÐ¯Ì ²ÓÍ Î ÑÒ² ÒÀ Ï ÐÀÖÅÇÀÀÒÍ Î ÑÒ² ÊÎ Í ÑÒÐÓÊÒ²É Í È Õ ÑÒÀËÅÉ Ó ÂÎ ÄÍ ÅÂÎ Ì Ó ÑÅÐÅÄÎ ÂÈÙ ² ²ÇÓÐÀÕÓÓÂÀÍ Í ßÌ ¯Õ Í ÀÂÎ ÄÍ Þ ÂÀÍ Í ß Á²ËÈ ÄÅÔÅÊÒ²Â – ÊÎ Í ÖÅÍ ÒÀÒÎ Ð²Â Í ÀÏ ÐÓÆÅÍ Ü 239

Äì èò ðàõ².Ì ., Ñò àù óê Ì .Ã, Ñèðî ò þ ê À.Ì ., Á³ëèé Î .Ë., Äî ðî ø Ì .².

Ô³çèêî -ì åõàí ³÷í èé ³í ñòèòóò ³ì . ÃÂ. Êàðï åí êà Í ÀÍ Ó,
79060, ì . Ëüâ³â, âóë. Í àóêî âà, 5, dmtr@ipm.lviv.ua

ÂÈÊÎ ÐÈÑÒÀÍ Í ß ÂÎ ÄÍ Þ ßÊ ÒÈÌ ×ÀÑÎ ÂÎ ÃÎ ËÅÃÓÂÀËÜÍÎ ÃÎ ÅËÀÌ ÅÍ ÒÓ Â Ï ÐÎ ÖÅÑÀÕ ÑÈÍ ÒÅÇÓ ÑÏ ËÀÂ²Â Í À Î ÑÍ Î Â² ÖÈÐÊÎ Í ²Þ ² ÒÈÒÀÍ Ó 246

²âàñèø èí Î .Ì ., Ñàâàâê³í Ä.Ã

²í ñòèòóò ì åòàëî ô³çèêè ³ì . ÃÂ.Êóðäþ ì î âà Í ÀÍ Óêðà¿í è,
03142, ì . Êè¿â-142, âóë. Âåðí àäñüêî ãî, 36, ivas@imp.kiev.ua, savva@imp.kiev.ua

Î ÊÑÈÄÍ ² Í ÀÍ Î Ì ÀÒÅÐ²ÀËÈ ÄËß ÊÎ Ì Ï Î Í ÅÍ Ò²Â Ï ÀËÈÂÍ È Õ ÊÎ Ì ²ÐÎ Ê 252

Äàí ³ëåí êî ².À., Êî í ñò àí ò ³í î âà Òª ., Ãëàçóí î â Ô.².., Àõêî çî â Ë.À., ßù ³ø èí ².Î .

Äî í åöüêèé ô³çèêî -ìåõí ³÷í èé ³í ñòèòóò Í ÀÍ Ó,
03028, ì . Êè¿â, ï ð. Í àóêè, 46, matscidep@aim.com

ÐÎ ÇÐÎ ÁÊÀ ÒÅÐÌ Î ÃÀÇÎ ÄÈÍ ÀÌ ²×Í ÈÕÎ ÑÍ Î Â ÑÒÂÎ ÐÅÍ Í ß ÂÈÑÎ ÊÎ ÅÔÅÊÒÈ ÂÍ ÈÕÎ ÄÍ ÅÂÈÕ ÒÓÐÁÎ ÓÑÒÀÍ Î ÂÎ Ê ÇÒÅÐÌ Î Ò²Ì ²×Í ÈÌ ÑÒÈÑÊÎ Ì ÐÎ ÁÎ ×Î ÃÎ Ò²ËÀ 261

Ì àöåâèò èé Þ .Ì ., Ðóñàí î â À.Â., Ñîë ëî âåé Â.Â., Êî ø åëüí³ê Î .Â.

²í ñòèòóò ï ðîáëåì ì àø èí î áóäóâàí ÿ ³ì . À.Ì . Ï ³äãî ðí î ãî Í ÀÍ Ó,
61046, ì . Õàðê³â, âóë. Äì . Ï î æàðñüêî ãî, 2/10, solovey@ipmach.kharkov.ua

ÂÈÊÎ ÐÈÑÒÀÍ Í ß ÂÎ ÄÍ ÅÂÈÕÒÅÕÍ Î ËÎ Ã²É ÄËß ÇÍ È ÆÅÍ Í ß ÒÅÕÍ Î ÃÅÍ Í Î ÃÎ Í ÀÂÀÍ ÒÀÆÅÍ Í ß Í À Î ÒÎ ×ÓÞ ×Å ÑÅÐÅÄÎ ÂÈÙ Å 268

Êàí³ëî Ï .Ì ., Ñîë ëî âåé Â.Â., Ç³ï óí í³êî â Ì .Ì ., Ë³ò â³í î â Â.Î .

²í ñòèòóò ï ðîáëåì ì àø èí î áóäóâàí ÿ ³ì . À.Ì . Ï ³äãî ðí î ãî Í ÀÍ Ó,
61046, ì . Õàðê³â, âóë. Äì . Ï î æàðñüêî ãî, 2/10, solovey@ipmach.kharkov.ua

ÒÅÐÌ Î ÄÈÍ ÀÌ ²×Í ² ÒÀ ÒÀÏ ËÎ Ô²ÇÈ×Í ² Î ÑÍ Î ÂÈ Ï ÅÐÅÒÂÎ ÐÞ ÂÀÍ Í ß ÅÍ ÅÐÃ²¯ Â Ì ÅÒÀËÎ Ã²ÄÐÈ ÄÍ ÈÕ ÓÑÒÀÍ Î ÂÊÀÕ 273

Ñîë ëî âåé Â.Â., ×î ðí à Í .À.

²í ñòèòóò ï ðîáëåì ì àø èí î áóäóâàí ÿ ³ì . À.Ì . Ï ³äãî ðí î ãî Í ÀÍ Ó,
61046, ì . Õàðê³â, âóë. Äì . Ï î æàðñüêî ãî, 2/10, solovey@ipmach.kharkov.ua

Ì ÅÒÀËÎ Ã²ÄÐÈ ÄÍ À ÅÍ ÐÃÎ ÒÅÕÍ Î ËÎ Ã²ß ÀÊÒÈ ÂÀÖ²¯ ÂÎ ÄÍ Þ 279

Â.Â. Ñîë ëî âåé, Â.Î . Ë³ò â³í î â

²í ñòèòóò ï ðîáëåì ì àø èí î áóäóâàí ÿ ³ì . À.Ì . Ï ³äãî ðí î ãî Í ÀÍ Ó,
61046, ì . Õàðê³â, âóë. Äì . Ï î æàðñüêî ãî, 2/10, solovey@ipmach.kharkov.ua

ÂÈÑÎ ÊÎ ÅÔÅÊÒÈ ÂÍ ² ÅËÅÊÒÐÎ ÊÀÒÀË²ÒÈ×Í ² ÑÈÑÒÀÌ È ÄËß ÂÎ ÄÍ ÅÂÎ -ÊÈÑÍ ÅÂÈÕ Ï ÀËÈ ÂÍ ÈÕ ÅÉÅÌ ÅÍ Ò²Â Í À Î ÑÍ Î Â² Ã²ÁÐÈ ÄÍ ÈÕ ÂÓÃËÅÖÜ- Ì ÅÒÀËÎ ÂÌ ²ÑÍ ÈÕ Í ÀÍ Î ÑÒÓÊÒÓÐÎ ÂÀÍ ÈÕ Ì ÀÒÅÐ²ÀË²Â 282

Ï ³ðñüêèé Þ .Ê., Î ãåí êî Â.Ì ., Ï àí ÷èø èí Ò.Ì ., Êðóï åí ³êî âà Î .Ñ. Òóï ÷³º í êî Î .Ñ., Ëèñþ ê Ë.Ñ., Ø àðàí äà Ë.Ô.

²í ñòèòóò çàãàëüí î¿ òà í åî ðãàí³÷í î¿ õ³ì ³¿ ³ì . Â.².Âåðí àäñüêî ãî Í ÀÍ Óêðà¿í è
ï ð-ò Àêàäåì ³êà Ï àëëàä³í à, 32/34, Êè¿â, 03680, Óêðà¿í à, pirsky@ionc.kiev.ua

View publication stats