

KATARZYNA ADAMOWICZ*, DARIUSZ NOSEK,
MAGDALENA DUDEK, ANDRZEJ RAŻNIAK

Zastosowanie ceramicznych przewodników jonowych do budowy urządzeń elektrochemicznych

Słowa kluczowe

przewodniki jonowe – elektrolity – ogniwa paliwowe – elektrolizery – sensory gazowe

Streszczenie

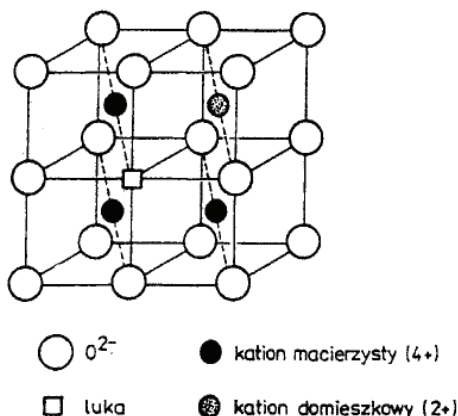
W pracy scharakteryzowano właściwości fizykochemiczne ceramicznych przewodników jonów tlenkowych zawierających roztwory stałe MO_2 (gdzie $M = \text{Zr, Ce}$), które pozwalają na ich zastosowanie jako elektrolitów do budowy stałotlenkowych ogniw paliwowych SOFC, elektrolizerów parowych, sensorów czy pomp gazowych. Omówiono zasadę działania, podstawowe konstrukcje stałotlenkowych ogniw paliwowych (SOFC) a także prace badawczo-rozwojowe, których celem ma być powszechna komercjalizacja tych urządzeń. Ceramiczne przewodniki protonowe na osnowie ceranów lub cyrkonianów (ABO_3 , $A = \text{Ba, Sr}$ lub $B = \text{Ce, Zr}$), są przedmiotem szczególnego zainteresowania w wielu ośrodkach badawczych, ze względu na ich potencjalne możliwości zastosowania w systemach gospodarki wodorowej, min. w elektrolizerach do wytwarzania wodoru, separatorach gazowych, których zadaniem jest oczyszczenie gazów czy ogniwach paliwowych jako generatorach energii elektrycznej. Tlenkowe elektrolity stałe czy membrany przewodzące protonowo stanowią podstawowe elementy konstrukcyjne sensorów gazowych pracujących w motoryzacji, ochronie środowiska oraz kontroli procesów przemysłowych.

1. Ogólna charakterystyka przewodników jonowych

Ceramiczne przewodniki jonowe stanowią obecnie ważną grupę funkcjonalnych materiałów, coraz częściej stosowaną do budowy nowoczesnych urządzeń elektrochemicznych. Stałotlenkowe ogniwa paliwowe (z ang. solid oxide fuel cell – SOFC), analizatory do pomiaru zawartości tlenu w mieszaninach gazowych czy stopionych metalach, separatory gazowe to tylko najbardziej spektakularne przykłady możliwości aplikacji tych materiałów [1]. Aby przewodnik jonowy mógł pełnić rolę elektrolitu stałego powinien charakteryzować się wysokimi wartościami przewodności jonowej σ rzędu 10^{-2} do 10^{-1} (S/cm) w warunkach pracy urządzenia elektrochemicznego. Elementy

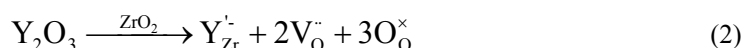
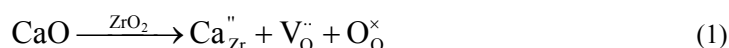
* Wydział Energetyki i Paliw, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków
e-mail: potoczek@agh.edu.pl

wykonane z materiałów elektrolitycznych (kształtki, warstwy, folie) powinny być gazoszczelne i posiadać dobre właściwości mechaniczne. Ponadto elektrolit ceramiczny powinien charakteryzować się stabilnością termiczną i chemiczną w warunkach pracy urządzenia, a także być inertnym chemicznie wobec pozostałych komponentów w urządzeniu elektrochemicznym [2]. Spośród znanych przewodników jonów tlenkowych wymagania stawiane elektrolitom stałym w największym stopniu spełniają roztwory stałe o strukturze fluorytu (rys. 1), tworzące się w układach ZrO_2 - Y_2O_3 i ZrO_2 - CaO .

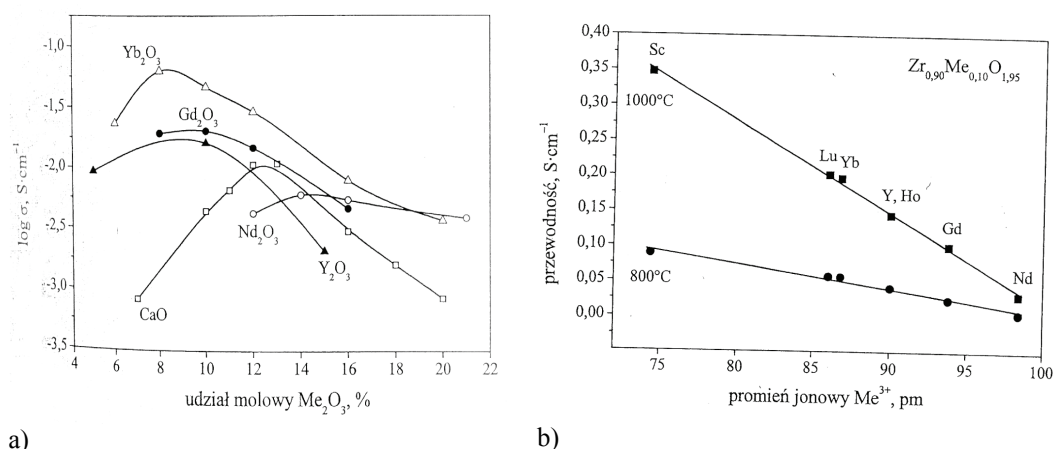


Rysunek 1. Struktura fluorytu roztworów stałych ZrO_2
Figure 1. Fluorite structure of ZrO_2 – based electrolytes

Utworzenie roztworów stałych poprzez wprowadzenie do sieci krystalicznej ZrO_2 niektórych kationów dwu (np. Ca^{2+} , Mg^{2+}) lub trójwartościowych (np. Sc^{3+} , Gd^{3+} , Y^{3+}) skutkuje powstaniem wakancji tlenowych zgodnie z równaniami (1) i (2), które to są odpowiedzialne za dobre przewodnictwo jonowe.



Zarówno rodzaj kationu tworzącego roztwór stały i jego ilość mają istotny wpływ na wielkość przewodnictwa jonowego. Jak wynika z rys 2a ilościowa zależność przewodności, bez względu na rodzaj kationu stabilizatora ma taki sam charakter – począwszy od niższych zawartości kationów wzrasta osiąga maksimum po czym dalszy wzrost stężenia obcych kationów prowadzi do pogorszenia właściwości. Z kolei rys 2b ilustruje zmiany przewodności jonowej roztworów stałych tlenku cyrkonu (IV) stabilizowanego tlenkami metali trójwartościowych. Jak wynika z powyższego wykresu, najwyższe wartości przewodności jonowej osiągają roztwory stałe tlenku cyrkonu (IV) z tlenkiem skandiu (III). Kation Sc^{3+} posiada promień jonowy (1,010 Å) niewiele większy niż promień jonowy kationu cyrkonu (IV) (0,98 Å). Prezentowane relacje pomiędzy właściwościami przewodzącymi a wielkością kationu obecnego w sieci wskazują, że jednym z czynników mających wpływ na te właściwości są naprężenia sieciowe [3,4].



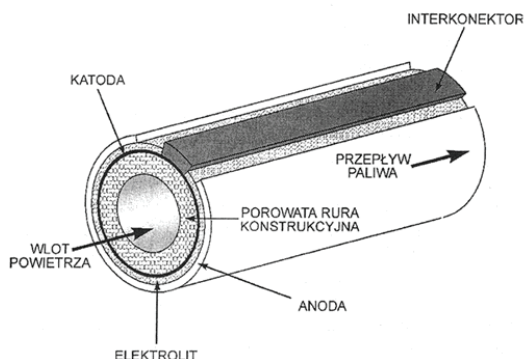
Rysunek 2. Zależność przewodności elektrycznej roztworów stałych tlenku cyrkonu (IV) od ilości (a) oraz wielkości promienia jonowego kationu stabilizatora (b) [3]

Figure 2. The dependence of electrical conductivity zirconia – based solid solutions v.s chemical composition or ionic radius

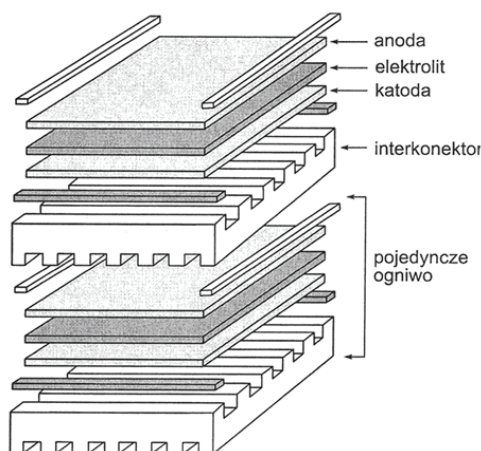
Oprócz dobrych właściwości elektrolitycznych kolejnym czynnikiem decydującym o stosowaniu przewodników tlenkowych przewodników jonowych są jeszcze względy ekonomiczne (cena surowców oraz koszty wytwarzania). Tak więc, roztwór stały 8% mol Y_2O_3 w ZrO_2 (8YSZ), ze względu na dobre właściwości elektryczne, mechaniczne oraz stosunkowo umiarkowane koszty wytwarzania jest najczęściej stosowany jako elektrolit tlenkowy w urządzeniach elektrochemicznych [5,6].

2. Krótka charakterystyka stałotlenkowych ogni paliwowych SOFC

Wzrost zainteresowania technologią ogni paliwowych związany jest z możliwością bezpośredniej konwersji energii zmagazynowanej w paliwach zawierających wodór na energię elektryczną. Spośród pięciu typów ogni paliwowych na szczególnie zainteresowanie zasługują ogniwa paliwowe zbudowane na stałych tlenkach (z ang. *solid oxide fuel cell – SOFC*). Obecnie najczęściej stosowanym elektrolitem tlenkowym w SOFC jest tlenek cyrkonu (IV) stabilizowany 8 % mol Y_2O_3 (8YSZ). Ceramiczne ogniwa paliwowe typu SOFC w których jako elektrolit stosuje się 8YSZ pracują w temperaturach 900–1000°C. Specyficzne warunki eksploatacji tych ogni wymagają od materiałów elektrodowych i interkonektorów długotrwałej stabilności termicznej i chemicznej, a także odporności na korozję wysokotemperaturową w środowiskach utleniająco-redukcyjnych, co ze względu na ceny komponentów znacznie podnosi koszty ich produkcji, limituje ich sprawność, a w konsekwencji skracza czas funkcjonowania urządzenia [7,8]. Wysoka temperatura pracy (i wykonania ogniwa) w połączeniu z pewną nieuniknioną różnicą współczynników rozszerzalności termicznej poszczególnych komponentów ogniwa powoduje, że ogniwo narażone jest na znaczne naprężenia termiczne, które mogą łatwo doprowadzić do zniszczenia ceramicznych elementów. Z drugiej strony brak w ogniwie fazy ciekłej, umożliwia dość swobodne kształtowanie jego geometrii. Stąd pojedyncze ogniwa SOFC są wytwarzane w różnorodnej geometrii (rys. 3, rurowe, rys.4, płaskie monolityczne, jednokomorowe). Jest to uwarunkowane specyficznymi konstrukcjami stosów, które powstają przez połączenie większej ilości pojedynczych ogni [9,10].



Rysunek 3 Ogniwo paliwowe SOFC o konstrukcji rurowej
Figure 3. Tubular solid oxide fuel cell



Rysunek 4 Ogniwo paliwowe SOFC o konstrukcji płaskiej
Figure 4. Planar solid oxide fuel cell

Konstrukcje pojedynczych ogniw paliwowych można podzielić na dwie grupy:

- zbudowanych na jednym z elementów funkcjonalnych ogniwa (*z ang. self-supporting*)
- zbudowanych na dodatkowym elemencie nie będącym komponentem pojedynczego ogniwa (*z ang. external-supporting*).

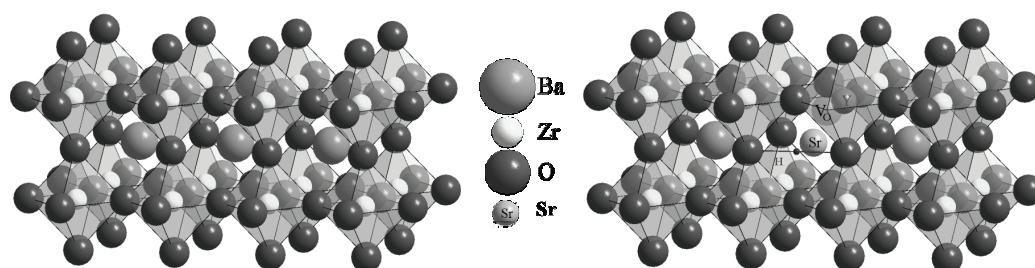
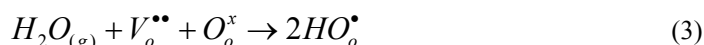
Ze względu na to, która część przegrody ogniwa przenosi obciążenia mechaniczne (naprężenia montażowe, cieplne, itp.) możemy wyróżnić: ogniwa paliwowe na nośniku elektrolitowym (*z ang. electrolyte – supported cell, ESC*), ogniwa paliwowe z warstwą nośną anodową (*z ang. anode – supported fuel cell, ASC*), ogniwa paliwowe z warstwą nośną katodową (*z ang. cathode – supported fuel cell CSC*). W przypadku konstrukcji płytki ogniwa paliwowego ESC, obciążenia mechaniczne przenosi wytrzymały mechanicznie gazoszczelny elektrolit, który jest znacznie grubszy w stosunku do warstw wykonanych z materiałów elektrodowych (katody i anody). Wadą tej konstrukcji może być znaczny opór wewnętrzny ogniwa spowodowany znaczną grubością elektrolitu. Ogniwa paliwowe z elektrolitem 8YSZ na nośniku anodowym są najczęściej stosowaną konstrukcją SOFC. W tym przypadku grubsza warstwa wykonana jest z materiału anodowego, zaś zastosowanie elektrolitu o znikomej grubości na podłożu anodowym pozwala na obniżenie temperatury pracy.

Cechą charakterystyczną ogniw typu external-supporting jest cienkowarstwowość elektrolitu oraz elektrod, które nałożone są na interkonektor lub porowate podłoże, stanowiące bardzo mocną konstrukcję [11, 12]

Obniżenie temperatury pracy tlenkowych ogniw paliwowych (SOFC) do ok. 600–800°C (*z ang. Intermediate Temperature solid oxide fuel cell, IT-SOFC*) jest celem strategicznym tej technologii w świecie. W wielu ośrodkach naukowych podejmuje się różnorodne próby rozwiązania powyższego problemu. Jednym z kierunków badawczych jest poszukiwanie nowych przewodników jonów tlenu lub protonowych o strukturze krystalograficznej, zapewniającej wysokie wartości przewodności jonowej w temperaturach ok. 600–800°C. Roztwory stałe tlenku ceru (IV) z tlenkami ziem rzadkich M_2O_3 , tj. $Ce_{1-x}M_xO_2$ (gdzie $x = 0.15-0.2$, a $M = Sm, Gd, Y$), ze względu na wysokie wartości przewodnictwa elektrycznego σ (od 10^{-2} do 10^{-1} w temperaturze 800°C) – są najczęściej wskazywaną alternatywą dla zastąpienia 8YSZ w ceramicznych ogniwach paliwowych [13,14].

3. Ceramiczne przewodniki protonowe jako materiały przyszłościowe dla energetyki wodorowej

Odkrycie na początku lat osiemdziesiątych wysokotemperaturowego przewodnictwa protonowego w ceramicznych materiałach tlenkowych [15] otworzyło nowe możliwości w projektowaniu urządzeń elektrochemicznych z przewodnikami jonowymi. Materiały o strukturze perowskitu ABO_3 (cerany $ACeO_3$, $A = Ba, Sr$, lub cyrkoniany $AZrO_3$, $A = Ba, Sr$) są głównymi przedstawicielami ceramicznych przewodników protonowych. Przewodnictwo protonowe w tych związkach wynika z wprowadzenia do ich struktury w pozycje B kationów o wartościowości niższej niż kation rodzimy. Skutkiem tego procesu jest powstanie ujemnie naładowanych defektów strukturalnych, których ładunek musi być skompensowany defektami dodatnimi – wakancjami tlenowymi lub międzywęzłowymi protonami. Uważa się, że korzystniejsze energetycznie jest przebywanie wodoru w sieci w postaci jonów OH^+ niż w postaci jonów międzywęzłowych. W takich przypadkach wprowadzenie do sieci wodoru zazwyczaj w konsekwencji wysokotemperaturowej reakcji rozkładu pary wodnej oraz jego interakcja z wakancjami tlenowymi ma postać (3)

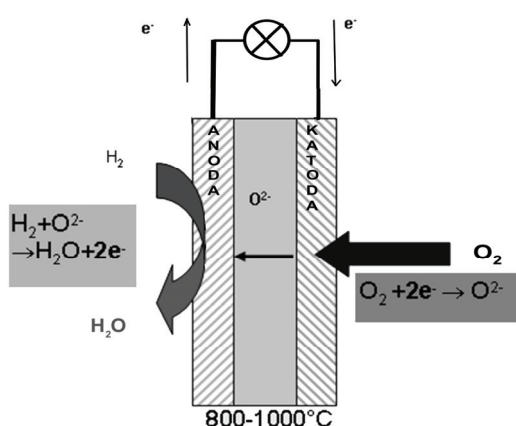


Rysunek 4. Model przewodnictwa protonowego w materiałach o strukturze perowskitu
Figure 4. Model of proton ionic conductivity in ABO_3 – based materials

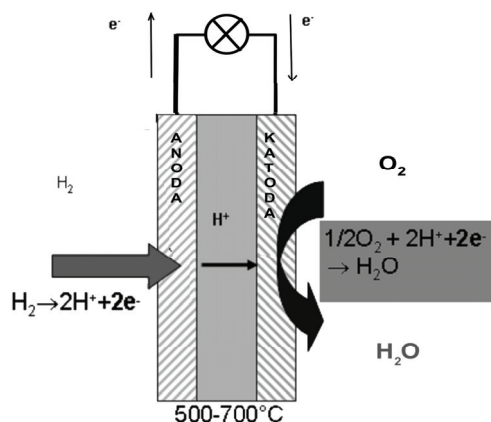
Transport protonów przez sieć odbywa się pomiędzy siadającymi jonami tlenkowymi mechanizmem hoppingowym. Modelowy opis dyfuzji protonów w strukturze zakłada istnienie dwóch równoważnych położeń protonu pomiędzy sąsiadującymi jonami tlenu w otoczeniu jonu B, (rys. 4) przy czym tylko jedna z tych pozycji jest zajęta przez proton. Przeskakiwanie protonów pomiędzy tymi położeniami (hopping) związane jest z przeniesieniem wiązania O-H z jednego jonu tlenu na drugi z czego wynika, że do uruchomienia tego mechanizmu koniecznym jest dystorsja dwóch sąsiadujących ze sobą ośmiościanów BO_6 [16,17]. Stwierdzono, że wielkość przewodnictwa protonowego w perowskitach jest ściśle związana z ilością obcych jonów a także różnicami pomiędzy promieniami tych jonów a kationów rodzimych. Generalnie cyrkoniany o wzorze ogólnym $AZr_{1-x}M_xO_3$, $A = Ba, Sr$, zaś $M = Y, Yb, Gd$ posiadają niższą przewodność jonową niż odpowiednie cerany $ACe_{1-x}M_xO_3$. Niemniej jednak cyrkoniany oprócz lepszych właściwości mechanicznych są one znacznie odporniejsze na działanie czynników chemicznych takich jak: CO_2 , SO_2 , H_2S czy wilgoć [18,19].

W ostatnich latach wobec wyczerpujących się zasobów paliw kopalnych coraz większą uwagę poświęca się wykorzystaniu wodoru jako nośnika energii. Tak więc jednym z zadań dla rozwoju energetyki wodorowej jest zbudowanie całkowicie nowej infrastruktury do produkcji, przesyłu

i przechowywania oraz konwersji wodoru do użytecznych form energii (elektrycznej i ciepłej). Obecne podstawowe metody otrzymywania wodoru, dostarczają wodór jako składnik mieszaniny gazowej (np. CO, CO₂). Z drugiej strony nowoczesne technologie użycia wodoru wymagają zastosowania wodoru o wysokiej czystości [20,21]. Tak więc istnieje pilna potrzeba opracowania metod wytwarzania wodoru, jego separacji z mieszanin gazowych. Praktyczne użycie elektrochemicznych separatorów wodoru czy pomp wodorowych jest możliwe dzięki odkryciu wysokotemperaturowego przewodnictwa protonowego w materiałach ceramicznych. Ceramiczne przewodniki protonowe są również perspektywicznymi tworzywami konstrukcyjnymi do budowy stałotlenkowych ogniw paliwowych czy elektrolizerów parowych. Na rys 5 przedstawiono zasadę działania stałotlenkowego ogniwa paliwowego z ceramicznym przewodnikiem jonów tlenu (a) oraz przewodnikiem protonowym (b).



Rysunek 5a. Ogniwo paliwowe SOFC z elektrolitem tlenkowym
Figure 5a. Solid oxide fuel cell involving a solid oxide electrolyte



Rysunek 5b. Ogniwo paliwowe z ceramicznym przewodnikiem protonowym
Figure 5b. Solid fuel cell involving ceramic a proton conducting membrane

Na podstawie prezentowanych rys 5 a-b można stwierdzić, że w przypadku zastosowania jako elektrolitu ceramicznego przewodzącego protonowo odprowadzenie wody następuje na katodzie, a więc w przeciwieństwie do ogniwa SOFC z elektrolitem tlenkowym nie następuję rozcieńczanie doprowadzonego do układu paliwa [22,23].

4. Elektrochemiczne sensory gazowe

Elektrochemiczne analizatory do pomiaru zawartości tlenu jak i gazów toksycznych są powszechnie stosowane w laboratoriach badawczych, w kontroli procesów przemysłowych, a także w ochronie środowiska [24,25]. Ważnym obszarem zastosowania elektrochemicznych sensorów tlenu jest kontrola procesów spalania. Pozwala ona na ustalenie optymalnego stosunku ilościowego paliwa do powietrza, koniecznego do utrzymania właściwej atmosfery podczas obróbki termicznej w piecach gazowych lub opalanych paliwem stałym. W przemyśle motoryzacyjnym sondy lambda, mierzące stosunek paliwa do tlenu, są odpowiedzialne za pracę układów katalitycznych, ograniczających emisję substancji toksycznych do środowiska naturalnego[26]. W metalurgii żelaza i technologii metali nieżelaznych elektrochemiczne sondy tlenowe i protonowe wykorzystuje się do oznaczania zawartości tlenu lub wodoru rozpuszczonego w ciekłym stopie [27].

Integralnym elementem elektrochemicznej sondy tlenowej jest ogniwo galwaniczne, składające się z dwóch półogniw, różniących się ciśnieniem parcyjnym tlenu (p_1 , p_2), przedzielonych gazoszczelnym elektrolitem ceramicznym. Elektrolit ten jest przewodnikiem jonów tlenu (O^{2-}). Ogniwo można zapisać za pomocą następującego schematu:



Na elektrodach przebiegają reakcje elektrochemiczne, których sumę można przedstawić za pomocą równania:

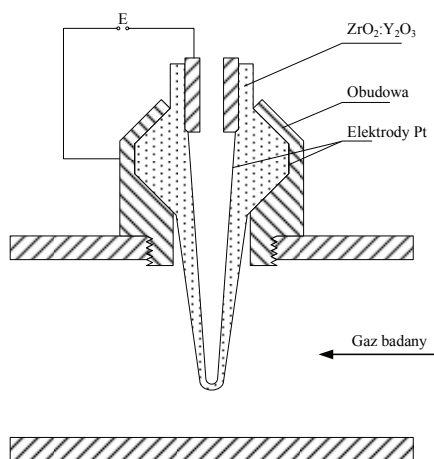


Aby ogniwo (1) mogło pracować jako sonda do pomiaru ciśnienia parcyjnego tlenu, muszą być spełnione następujące warunki: liczba przenoszenia jonów tlenu (O^{2-}) przez gazoszczelny elektrolit stały w warunkach pomiaru siły elektromotorycznej (SEM) ogniwa powinna być bliska jedności, a z kolei ogniwo musi pracować w sposób odwracalny (tzn. w czasie trwania pomiaru musi istnieć stan równowagi termodynamicznej w obu półogniwach). Przy tych założeniach siłę elektromotoryczną (SEM) ogniwa (1) można wyrazić wzorem Nernsta.

$$SEM = \frac{RT}{4F} \ln \frac{pO_2}{pO_1} \quad (6)$$

Jeżeli ciśnienie parcyjne tlenu w jednym z półogniw ($p_1=p_{odn.}$) będzie znane w danej temperaturze, to na podstawie wzoru (6) można obliczyć ciśnienie parcyjne tlenu ($p_2=p_x$) w drugim półogniwie.

Zasadę działania sondy lambda jako elektrochemicznego sensora tlenu przedstawiono na rys. 6



Rysunek 6. Zasada działania sondy lambda
Figure 6. Oxygen Lambda – sensor

Korpus ceramiczny wykonany jest z ceramicznego przewodnika jonów tlenu (8YSZ) w kształcie zamkniętej z jednej strony rurki, pokrytej obustronnie cienką warstwą platyny. Elektroda zewnętrzna jest połączona z obudową metaliczną. Wewnętrzna warstwa platyny styka się z metalową

ruką wyprowadzoną na zewnątrz obudowy. Przez jej wnętrze dostaje się do środka powietrze będące gazem odniesienia. Część zewnętrzna elektrolitu ma kontakt z gazami spalinowymi, których skład zmienia się w zależności od mieszanki paliwowej [28]

Współczesne koncerny samochodowe dążą nie tylko do zwiększenia niezawodności i bezpieczeństwa produkowanych samochodów ale także zmuszone są do ograniczenia emisji toksycznych substancji do środowiska naturalnego. Prace badacze zmierzające do ograniczenia i likwidacji emisji szkodliwych dla zdrowia węglowodorów aromatycznych, tlenków węgla, azotu oraz cząstek stałych powstających podczas spalania paliw w silniku o zapłonie samoczynnym skoncentrowane są na podniesieniu trwałości i wydłużeniu czasu eksploatacji układów oczyszczających gazy wylotowe. W związku z tym opracowuje się nowe układy katalityczne oraz filtry cząstek stałych (PM) o zwiększonej trwałości i wydłużonym czasie pracy. Dąży się również do doskonalenia metod diagnostycznych pracy złoża katalitycznego poprzez jakościowo-ilościowe monitorowanie stężenia gazów toksycznych zawartych w spalinach przed i po ich oczyszczeniu przez złoża katalityczne. Tak więc elektrochemiczne sensory gazowe (CO, CH_x, NO_x) z przewodnikiem jonów tlenu lub protonowym mogą być podstawowym narzędziem do badania procesów efektywności działania złoża katalitycznego w pojazdach z silnikiem o zapłonie samoczynnym [29,30]

*Praca została wykonana w ramach działalności koła naukowego „Solaris”
oraz prac własnych Akademii Górniczo-Hutniczej 10.10.210.74*

Literatura

- [1] S. Chandra, *Superionic solids*, Amsterdam, New York, Oxford 1981
- [2] *Advances in Ceramics*, Science and Technology of Zirconia tom 1–5 1982–1993
- [3] M. Bućko, *Polski Biuletyn Ceramiczny 1* (103) 2008 145–155
- [4] V. Kharton, E. N. Naumovich, A. Vechev, *Journal of Solid State Electrochemistry* 3 (1999) 61–81
- [5] J.W. Fergus, *Journal of Power Sources* 162 (2006) 36–40
- [6] V.V. Kharton, F.M. Marques, A. Atkinson, *Solid State Ionics* 174 (2004) 135–149
- [7] S. Badwal, *Solid State Ionics* 143 (2001) 39–46
- [8] J. Molenda, *Materials Science-Poland* 24 (1) 2006, 5–11
- [9] N. Q. Minh, *Solid State Ionics* 174, 1–4 (2004), 271–277
- [10] W. Wójcik, *Nowe kierunki wytwarzania i wykorzystania energii. Zrównoważone systemy energetyczne*, Lublin 2005
- [11] N. Minh, *Journal of the American Ceramic Society* 76 (1993) 563–588
- [12] M. Krząstek, M. Krauz, Z. Rak, *Polski Biuletyn Ceramiczny* 84 (2004) 307–312
- [13] H. Inaba, H. Tagawa, *Solid State Ionics* 83 (1996) 1–16
- [14] V. Kharton, M. Figuerido, *Journal of Materials Science* 36 (2001) 1105–1107
- [15] H. Iwahara, T. Esaka, H. Uchida, N. Madea, *Solid State Ionics* 3/4 (1981) 359–367
- [16] M. S. Islam, R. A. Davies, C. A. J. Fisher, A. V. Chadwick, *Solid State Ionics* 145 (1–4) 2001 333–338
- [17] R. A. Davies, M. S. Islam, J. D. Gale, *Solid State Ionics* 126 (3–4) 323–335
- [18] T. Norby, *Solid State Ionics* 125 (1999) 1–11.
- [19] P.A. Stuart, T. Unno, J. A. Kilner, S. J. Skinner, *Solid State Ionics* 179 (2008) 1120–1124
- [20] J. Surygała, *Wodór jako paliwo*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne 2008
- [21] W. Lewandowski, *Proekologiczne źródła energii*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne 2008
- [22] *protonowy praca*
- [23] *protonowy praca*
- [24] W. Weppner, *Sensors & Actuators* 12 (1987) 107–119
- [25] J. Gandurska, I. Śnieżyńska, A. Marek, D. Szwagierczak, J. Kulawik, *Szkło i Ceramika* 49 (1998) 6–11
- [26] W. Jakubowski, *Przewodniki Superjonowe-Właściwości fizyczne i zastosowania*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Warszawa 1988.
- [27] M. Dudek, *Polski Biuletyn Ceramiczny 1* (103) 2008 155–162
- [28] *Czujniki w pojazdach samochodowych*, BOSCH – Technika Samochodowa,

- [29] E. Di. Bartomelo, M. L. Grilli, E. Trawersa, *Journal of The Electrochemical Society* 151 (5) 2004 H 133–1359
[30] B. Małecka, M. Dudek, D. Obląkowska, R. Gajerski, P. Fuć, *Ceramika/Ceramics* (91) 2005, 151–158

KATARZYNA ADAMOWICZ, DARIUSZ NOSEK,
MAGDALENA DUDEK, ANDRZEJ RAŻNIAK

Application of Ceramic Ionic Conductors as Components of Electrochemical Devices

Key words

ionic conductors – electrolytes – fuel cell – electrolyzers – gas sensors

Abstract

This paper presents application of ceramic ion conductors to build the electrochemical device, such as Solid Oxide Fuel Cells (SOFC), gas sensors oxygen and hydrogen pump. Principles of operation, constructions and types electrochemical devices with oxygen ion and proton conductors are described.