



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0126744
(43) 공개일자 2018년11월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01M 4/90 (2006.01) H01M 8/124 (2016.01)
(52) CPC특허분류
H01M 4/9033 (2013.01)
H01M 2008/1293 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0061538
(22) 출원일자 2017년05월18일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
박준영
경기도 성남시 분당구 판교역로 49 백현마을대림
9단지아파트 901동 901호
조수연
경기도 광명시 모세로 27 주공아파트 841동 405호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인이상

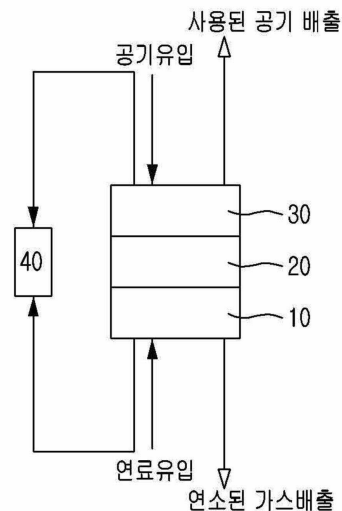
전체 청구항 수 : 총 2 항

(54) 발명의 명칭 페로브스카이트계 애노드를 구비하는 고체산화물 연료전지

(57) 요약

연료전지용 애노드를 제공한다. 상기 애노드는 페로브스카이트 구조이며 화학식 $Ba_{1-x}A_xTi_{1-y}B_yO_3$ 이며, A와 B는 La, Nd, Sm 또는 Cr, Fe, Ni로 도핑하여 구조적으로 안정하고 내구성 및 성능이 우수한 페로브스카이트계 애노드를 구비하는 고체산화물 연료전지를 제공한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류
Y02E 60/525 (2013.01)

박가영
전라북도 군산시 해팔길 16

(72) 발명자
무하마드 사킵
서울특별시 성동구 송정16길 7-9
이태희
서울특별시 중랑구 동일로136가길 13, 302호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415146784
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국에너지기술평가원
연구사업명 신재생에너지핵심기술개발
연구과제명 운전사이클 대응력을 보유한 고신뢰성 SOFC 스택모듈 개발
기 여 율 1/2
주관기관 (주)EG
연구기간 2016.06.01 ~ 2019.05.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711043415
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 중견연구자지원사업
연구과제명 중저온형 장수명 고성능 다상 혼합이온 전도체 핵심 소재 설계 및 공정 기술 개발
기 여 율 1/2
주관기관 세종대학교
연구기간 2014.11.01 ~ 2017.10.31

명세서

청구범위

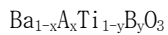
청구항 1

페로브스카이트 결정구조를 가지고 하기 화학식 1로 나타내어지는 애노드;

캐소드; 및

상기 애노드와 캐소드 사이에 배치된 전해질을 포함하는 연료전지.

[화학식 1]



상기 화학식 1에서,

A는 La, Nd 또는 Sm을 포함하고,

B는 Cr, Fe 또는 Ni를 포함하고,

x는 0 내지 0.5이고, y는 0 내지 0.5이며, x와 y의 합은 0초과 1이하이다.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 애노드는 $\text{BaTi}_{0.95}\text{Cr}_{0.05}\text{O}_3$, $\text{BaTi}_{0.95}\text{Fe}_{0.05}\text{O}_3$, $\text{BaTi}_{0.95}\text{Ni}_{0.05}\text{O}_3$, $\text{La}_{0.1}\text{Ba}_{0.9}\text{TiO}_3$, $\text{Nd}_{0.1}\text{Ba}_{0.9}\text{TiO}_3$, $\text{Sm}_{0.1}\text{Ba}_{0.9}\text{TiO}_3$ 및 $\text{La}_{0.1}\text{Ba}_{0.9}\text{Ti}_{0.92}\text{Cr}_{0.08}\text{O}_3$ 로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상을 포함하는 연료전지.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전지에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 연료전지에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 연료전지는 연료가 제공되는 애노드, 산소가 제공되는 캐소드, 및 전해질로 구성된다. 연료전지는 전해질의 종류에 따라서 고분자 전해질, 용융탄산염 연료전지, 고체산화물 연료전지, 인산형 연료전지 등으로 나뉜다. 애노드와 캐소드는 전해질을 기준으로 양 단면에 배치된다. 또한, 연료전지의 전해질은 산소 이온이 이동하는 통로 역할을 한다. 아울러, 연료전지는 연료로서 수소를 사용하고 공기와 반응하여 전기에너지를 생산하고 물이 발생되므로 매우 친환경적인 대체에너지이다.

[0003] 특히, 전해질 내에 산소 이온 전도체를 구비하는 고체산화물 연료전지(Solid Oxide Fuel Cell : SOFC)는 다른 연료전지에 비해 전력 변환 효율이 높다.

[0004] 전기전도성이 우수한 니켈 금속과 구조적으로 안정한 세라믹을 복합한 Ni-cermet은 고체산화물 연료전지의 대표적인 애노드로 사용하였다. 하지만, Ni-cermet 기반 고체산화물 연료전지는 고온에서 장시간 운전 또는 산화환원이 반복됨에 따라 전극 내 체적변화가 발생되고 그 결과, 연료전지의 내구성 및 성능이 저하되는 문제점이 발생되었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 그러나, 현재까지 개발된 고체산화물 연료전지의 애노드 소재들은 여전히 구조적 안정성이 우수하지 못하여, 이를 사용한 전지는 반복되는 산화환원 사이클로 인한 전극 파괴 및 성능 저하에 대한 개선이 필요한 것으로 알려

져 있다.

[0006] 따라서, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 반복되는 산화환원 사이클로 인한 전극 파괴 및 성능 저하의 문제점이 개선된 페로브스카이트계 애노드를 구비하는 고체산화물 연료전지를 제공함에 있다.

[0007] 본 발명의 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 측면은, 페로브스카이트 결정구조를 가지고 하기 화학식 1로 나타내어지는 애노드, 캐소드, 및 상기 애노드와 캐소드 사이에 배치된 전해질을 포함하는 연료전지일 수 있다.

[0009] [화학식 1]

[0010] $Ba_{1-x}A_xTi_{1-y}B_yO_3$

[0011] 상기 화학식 1에서, A는 La, Nd 또는 Sm를 포함하고, B는 Cr, Fe 또는 Ni를 포함하고 x는 0 내지 0.5이고, y는 0 내지 0.5이며, x와 y의 합은 0초과 1이하일 수 있다.

[0012] 상기 애노드는 $BaTi_{0.95}Cr_{0.05}O_3$, $BaTi_{0.95}Fe_{0.05}O_3$, $BaTi_{0.95}Ni_{0.05}O_3$, $La_{0.1}Ba_{0.9}TiO_3$, $Nd_{0.1}Ba_{0.9}TiO_3$, $Sm_{0.1}Ba_{0.9}TiO_3$ 및 $La_{0.1}Ba_{0.9}Ti_{0.92}Cr_{0.08}O_3$ 로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상을 포함하는 연료전지일 수 있다.

발명의 효과

[0013] 상술한 바와 같이 본 발명에 따르면, 페로브스카이트 구조를 가지고, 화학식 1로 기재된 애노드는 안정적 결정구조를 가지고 전기전도성이 향상된 물질들로 도핑됨에 따라, 이를 애노드로 포함하는 고체산화물 연료전지의 내구성 및 성능특성이 개선될 수 있다.

[0014] 다만, 발명의 효과는 이상에서 언급한 효과로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 일 실시예에 따른 페로브스카이트계 애노드가 포함된 연료전지를 개략적으로 나타낸 단면도이다.

도 2는 일 실시예에 따른 산화환원 사이클 운전로직을 나타낸 모식도이다.

도 3은 제조예 1 내지 제조예 8의 XRD 그래프이다.

도 4는 비교예 및 제조예 1에 따른 애노드의 온도에 따른 분극저항을 나타낸 그래프이다.

도 5는 제조예 1에 따른 애노드의 사이클 수에 따른 분극저항을 나타낸 그래프이다.

도 6은 제조예 1 내지 제조예 4에 따른 애노드의 온도에 따른 분극저항을 나타낸 그래프이다.

도 7은 제조예 1 및 제조예 5 내지 제조예 7에 따른 애노드의 온도에 따른 분극저항을 나타낸 그래프이다.

도 8은 제조예 1 및 제조예 8에 따른 애노드의 온도에 따른 분극저항을 나타낸 그래프이다.

도 9는 제조예 8에 따른 애노드의 사이클 수에 따른 분극저항을 나타낸 그래프이다.

도 10은 제조예 8에 따른 사이클 수에 따른 분극저항 테스트 a)전, b)후의 애노드의 표면을 촬영한 SEM 이미지이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 이하 첨부된 도면을 참고하여 본 발명에 의한 실시예를 상세히 설명하면 다음과 같다.

[0017] 본 발명의 실시형태는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 이하 설명하는 실시 형태로 한정되는 것은 아니다. 또한, 본 발명의 실시형태는 당 기술 분야에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위해서 제공되는 것이다. 따라서, 도면에서의 요소들의 형상 및 크기 등을 보다 명확한

설명을 위해 과장될 수 있으며, 도면상의 동일한 부호로 표시되는 요소는 동일한 요소이다.

- [0019] 도 1은 일 실시예에 따른 페로브스카이트계 애노드가 포함된 연료전지를 개략적으로 나타낸 단면도이다.
- [0020] 도 1을 참조하면, 연료전지는 애노드(10), 캐소드(30), 상기 애노드와 캐소드 사이에 배치된 전해질(20)을 구비한다. 애노드(10)와 상기 캐소드(30) 사이의 전압차를 검출하는 임피던스 측정기(40)가 연결될 수 있다.
- [0021] 애노드(10)는 연료전극으로서, 연료가 유입되고 연료가 연소된 가스가 배출될 수 있으며, 연료의 확산과 산소 이온 및 전자의 전도가 가능한 전극일 수 있다. 이러한, 애노드(10)는 산소 이온 전도체를 구비할 수 있다. 산소 이온 전도체는 산소 이온 전도성 금속산화물로서, 페로브스카이트(Perovskite) 결정구조를 가지며 화학식 1로 나타낼 수 있다.
- [0022] [화학식 1]
- [0023] $Ba_{1-x}A_xTi_{1-y}B_yO_3$
- [0024] 화학식 1에서 A는 란타넘 원소 La, Nd 또는 Sm일 수 있고, B는 전이금속 Cr, Fe 또는 Ni일 수 있으며, x는 0 내지 0.5, y는 0 내지 0.5일 수 있다. 단, x와 y의 합은 0초과 1이하일 수 있다. 일 예로서, x와 y의 합은 0.02이상 1이하일 수 있다. 구체적으로 x는 0 내지 0.2, y는 0 내지 0.2일 수 있다. x가 0일 때, y는 0.01 내지 0.15일 수 있다. 일 예로서, $BaTi_{0.95}Cr_{0.05}O_3$, $BaTi_{0.95}Fe_{0.05}O_3$ 및 $BaTi_{0.95}Ni_{0.05}O_3$ 일 수 있다. y가 0일 때, x는 0.05 내지 0.15일 수 있다. 일 예로서, $La_{0.1}Ba_{0.9}TiO_3$, $Nd_{0.1}Ba_{0.9}TiO_3$ 및 $Sm_{0.1}Ba_{0.9}TiO_3$ 일 수 있다. 또한, A의 란타넘 원소 중에서 1종 그리고 B의 전이금속 중에서 1종을 포함할 수 있다. 일 예로서, $La_{0.1}Ba_{0.9}Ti_{0.92}Cr_{0.08}O_3$ 일 수 있다.
- [0025] 캐소드(30)는 공기전극으로서, 그 내부에서 공기의 확산, 산소이온 및 전자의 전도가 가능한 전극일 수 있다. 이러한 캐소드(30)는 산소이온 전도성 금속 산화물 입자들, 일 예로서, LSCF(lanthanum strontium cobalt ferrite, $LaSrCoFeO_{3-\delta}$) 또는 BSCF(barium strontium cobalt ferrite, $BaSrCoFeO_{3-\delta}$) 입자들을 구비할 수 있다.
- [0026] 이러한 연료전지는 하기 반응식을 통해 전기를 발생시킬 수 있다.
- [0027] 애노드 : $2H_2 + 2O^{2-} \rightarrow 2H_2O + 4e^-$
- [0028] 캐소드 : $O_2 + 4e^- \rightarrow 2O^{2-}$
- [0029] 총 반응식 : $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$
- [0030] 이와 같이, 캐소드(30)에서는 산소의 환원반응이 일어나 산소 이온이 생성되며, 전해질층(20)을 통해 애노드(10)로 이동한 산소 이온은 다시 애노드(10)에 공급된 수소와 반응하여 물을 생성하게 된다. 이때, 애노드(10)에서는 전자가 생성되고 캐소드(30)에서는 전자가 소모되므로 전기가 흐르게 된다.
- [0031] 한편, 전해질(20)의 산소 이온 전도체는 산소 이온 전도성 금속산화물로서, 세리아계 전해질 일 예로서, 희토류-도핑된 세리아 (rare-earth-doped ceria, RDC), 일 예로서, NDC(neodymium-doped ceria), GDC(gadolinium-doped ceria), 및 SDC(samarium-doped ceria); YSZ(yttria stabilized zirconia, ZrO_2/Y_2O_3); ScSZ(scandia stabilized zirconia, ZrO_2/Sc_2O_3); 및 LSGM(strontium- and magnesium-doped lanthanum gallate)로 이루어진 군에서 선택되는 1종 이상을 포함할 수 있다.
- [0033] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 바람직한 실험예(example)를 제시한다. 다만, 하기의 실험예는 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐, 본 발명이 하기의 실험예에 의해 한정되는 것은 아니다.
- [0035] <애노드 제조예 1>
- [0036] $Nd_{0.1}Ce_{0.9}O_{2-\delta}$ (NDC) 분말을 일축 압축성형하여 직경 20mm, 두께 1mm로 지지체를 형성한 후, 1650에서 가소결을 하여 지지체를 제작했다. 그 후, 고상법으로 합성된 $BaTiO_3$ 분말과 유기용매를 이용하여 $BaTiO_3$ 슬러리를 제조한

후, 지지체 양면에 대칭되게 반응면적 0.2826 cm^2 로 도포하여 애노드들을 형성했다. 그 후, 1200에서 2시간 동안 열처리하여 대칭형 단전지를 완성했다.

- [0038] <애노드 제조예 2>
- [0039] La로 도핑된 BaTiO_3 인 $\text{La}_{0.1}\text{Ba}_{0.9}\text{TiO}_3$ 슬러리를 사용하여 애노드들을 형성한 것을 제외하고는 제조예 1과 동일한 제조방법을 사용하여 대칭형 단전지를 완성했다.
- [0041] <애노드 제조예 3>
- [0042] Nd로 도핑된 BaTiO_3 인 $\text{Nd}_{0.1}\text{Ba}_{0.9}\text{TiO}_3$ 슬러리를 사용하여 애노드들을 형성한 것을 제외하고는 제조예 1과 동일한 제조방법을 사용하여 대칭형 단전지를 완성했다.
- [0044] <애노드 제조예 4>
- [0045] Sm로 도핑된 BaTiO_3 인 $\text{Sm}_{0.1}\text{Ba}_{0.9}\text{TiO}_3$ 슬러리를 사용하여 애노드들을 형성한 것을 제외하고는 제조예 1과 동일한 제조방법을 사용하여 대칭형 단전지를 완성했다.
- [0047] <애노드 제조예 5>
- [0048] Cr로 도핑된 BaTiO_3 인 $\text{BaTi}_{0.95}\text{Cr}_{0.05}\text{O}_3$ 슬러리를 사용하여 애노드들을 형성한 것을 제외하고는 제조예 1과 동일한 제조방법을 사용하여 대칭형 단전지를 완성했다.
- [0050] <애노드 제조예 6>
- [0051] Fe로 도핑된 BaTiO_3 인 $\text{BaTi}_{0.95}\text{Fe}_{0.05}\text{O}_3$ 슬러리를 사용하여 애노드들을 형성한 것을 제외하고는 제조예 1과 동일한 제조방법을 사용하여 대칭형 단전지를 완성했다.
- [0053] <애노드 제조예 7>
- [0054] Ni로 도핑된 BaTiO_3 인 $\text{BaTi}_{0.95}\text{Ni}_{0.05}\text{O}_3$ 슬러리를 사용하여 애노드들을 형성한 것을 제외하고는 제조예 1과 동일한 제조방법을 사용하여 대칭형 단전지를 완성했다.
- [0056] <애노드 제조예 8>
- [0057] La 및 Cr 로 도핑된 BaTiO_3 인 $\text{La}_{0.1}\text{Ba}_{0.9}\text{Ti}_{0.92}\text{Cr}_{0.08}\text{O}_3$ 슬러리를 사용하여 애노드들을 형성한 것을 제외하고는 제조예 1과 동일한 제조방법을 사용하여 대칭형 단전지를 완성했다.
- [0059] < 비교예 >
- [0060] NiO와 Nd으로 도핑된 세리아 전해질을 혼합한 Ni-NDC 슬러리를 사용하여 애노드들을 형성한 것을 제외하고는 제조예 1과 동일한 제조방법을 사용하여 대칭형 단전지를 완성했다.
- [0062] 도 2는 일 실시예에 따른 산화환원 사이클 운전로직을 나타낸 모식도이다.
- [0063] 도 2를 참조하면, 대칭형 애노드 단전지를 사용하고 산화분위기 및 환원분위기를 번갈아 조성하여 이를 1회 사

이클로 설정하여 산화환원 사이클 테스트 운전을 실시할 수 있다. 환원분위기를 조성하는 단계에서 불활성 가스를 10분간 주입하여 불활성 분위기를 조성한 뒤, 5% 수소가 함유된 아르곤 가스를 1시간동안 주입할 수 있다. 이어서, 산화분위기를 조성하는 단계에서 불활성 가스를 10분간 주입하여 불활성 분위기를 조성한 뒤, 산소가스를 1시간동안 주입할 수 있다. 운전온도는 800℃부터 550℃까지이고, 50℃ 단위로 분석할 수 있으며, 사이클 주파수는 1 MHz 내지 0.1 Hz까지 측정할 수 있다.

[0065] 도 3은 제조예 1 내지 제조예 8의 XRD 그래프이다.

[0066] 도 3을 참조하면, 제조예 1(BaTiO₃)을 기준으로 제조예 2 내지 제조예 4는 (a) A-site, 제조예 5 내지 7은 (b) B-site, 제조예 8은 (c) A-site 및 B-site에 모두 원소를 도핑한 시편이며, 이들의 X-선 회절 분석 결과 그래프이다. 제조예 2 내지 제조예 8은 적용된 도핑원소에 따라 격자상수의 변화로 인한 피크의 이동(shift)이 보이지만, 모두 페로브스카이트 구조를 유지하는 것을 확인할 수 있다.

[0068] 도 4는 비교예 및 제조예 1에 따른 애노드의 온도에 따른 분극저항을 나타낸 그래프이다.

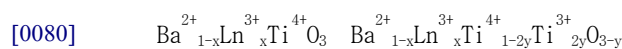
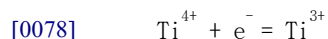
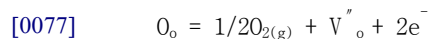
[0069] 도 4를 참조하면, 비교예(Ni-NDC)와 페로브스카이트 구조를 가지는 제조예 1(BaTiO₃)로부터 얻어진 애노드는 비교예(Ni-NDC)와 대비하여 전체 온도 범위에서 분극저항이 낮은 것을 알 수 있다. 이처럼, 분극저항이 감소하면 전기전도도는 향상되므로, 제조예 1(BaTiO₃)로부터 얻어진 애노드는 비교예(Ni-NDC)와 대비하여 전기 전도도가 높을 것으로 기대된다.

[0071] 도 5는 제조예 1에 따른 애노드의 사이클 수에 따른 분극저항을 나타낸 그래프이다.

[0072] 도 5를 참조하면, 페로브스카이트 구조를 가지는 제조예 1(BaTiO₃)로부터 얻어진 애노드는 산화환원 사이클이 반복되어도 안정적으로 운전되는 것을 확인할 수 있다.

[0074] 도 6은 제조예 1 내지 제조예 4에 따른 애노드의 온도에 따른 분극저항을 나타낸 그래프이다.

[0075] 도 6을 참조하면, 제조예 1(BaTiO₃) 내지 제조예 4(Sm_{0.1}Ba_{0.9}TiO₃)에 따른 애노드 중에 전체 온도 범위에서 낮은 분극저항을 나타내는 것은 La를 도핑한 제조예 2(La_{0.1}Ba_{0.9}TiO₃)이며 그 다음으로 제조예 1(BaTiO₃), Nd를 도핑한 제조예 3(Nd_{0.1}Ba_{0.9}TiO₃), Sm를 도핑한 제조예 4(Sm_{0.1}Ba_{0.9}TiO₃)인 것을 알 수 있다. 이로써, 가장 낮은 분극저항을 나타낸 제조예 2(La_{0.1}Ba_{0.9}TiO₃)가 전기전도도가 가장 높을 것으로 기대된다. 이와 같이 분극저항 감소에 따른 전기전도도 향상은 A-site에 도핑된 란타넘 원소의 이온반경크기와 밀접한 관련이 있는 것을 알 수 있으며, 하기 반응식을 통해 설명할 수 있다.

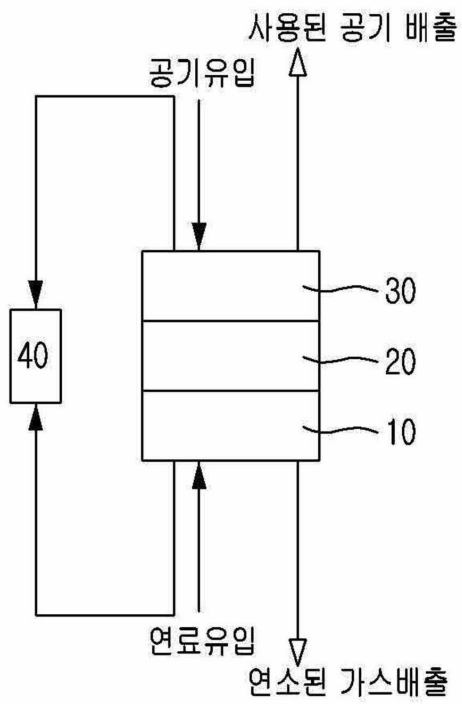


[0081] 이와 같이 란타넘 원소의 도핑으로 산소 빈자리가 형성되며 환원조건에서 잉여전자가 생성되므로 전기전도도는 증가하고 분극저항의 값은 감소하는 것이다.

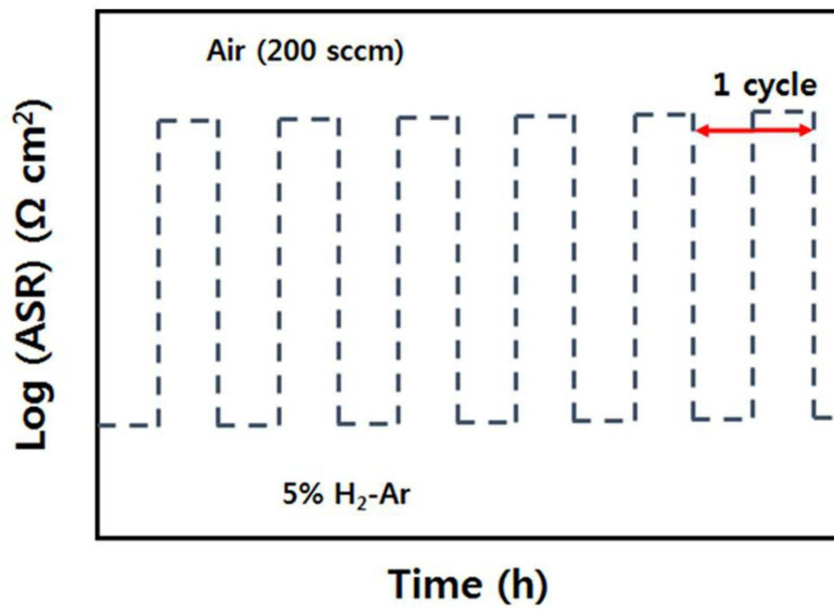
- [0083] 도 7은 제조예 1 및 제조예 5 내지 제조예 7에 따른 애노드의 온도에 따른 분극저항을 나타낸 그래프이다.
- [0084] 도 7을 참조하면, 제조예 1(BaTiO_3)을 기준으로 제조예 5 내지 제조예 7은 B-site를 전이금속 Cr, Fe 또는 Ni로 도핑한 애노드들이며, 이들의 온도에 따른 분극저항을 확인할 수 있는데, 제조예 1(BaTiO_3)과 대비하여 제조예 5 내지 제조예 7은 분극저항이 높음을 알 수 있다. 다만, 제조예 5 내지 제조예 7 중에서 BaTiO_3 에 Cr을 도핑한 제조예 5가 분극저항이 가장 낮아 전기전도도가 가장 높다.
- [0085] 한편, B-site를 전이금속 Cr, Fe 또는 Ni로 도핑한 애노드들(제조예 5 내지 제조예 7)은 전이금속 도핑에 따라 전자구조가 변경되므로, 수소 즉, 연료에 대한 촉매적 활성도는 높을 것으로 기대된다.
- [0086] 따라서, BaTiO_3 에 Cr을 도핑한 제조예 5의 경우, 제조예 1(BaTiO_3) 대비 분극저항의 증가를 최소화하면서 수소에 대한 촉매적 활성의 향상을 가져올 수 있다.
- [0088] 도 8은 제조예 1 및 제조예 8에 따른 애노드의 온도에 따른 분극저항을 나타낸 그래프이다.
- [0089] 도 8을 참조하면, 제조예 8($\text{La}_{0.1}\text{Ba}_{0.9}\text{Ti}_{0.92}\text{Cr}_{0.08}\text{O}_3$)은 제조예 1(BaTiO_3)를 바탕으로 A-site에 란탄계 원소 중에 낮은 분극저항을 나타낸 La를 도핑하고 B-site에 Cr을 소량 도핑한 애노드이다. 그 결과, 제조예 8($\text{La}_{0.1}\text{Ba}_{0.9}\text{Ti}_{0.92}\text{Cr}_{0.08}\text{O}_3$)은 제조예 1(BaTiO_3)과 대비하여 분극저항 값이 5배 정도 감소하는 것을 확인할 수 있다.
- [0091] 도 9는 제조예 8에 따른 애노드의 사이클 수에 따른 분극저항을 나타낸 그래프이다.
- [0092] 도 9를 참조하면, 제조예 8($\text{La}_{0.1}\text{Ba}_{0.9}\text{Ti}_{0.92}\text{Cr}_{0.08}\text{O}_3$)은 20회의 산화환원이 반복되어도 성능의 변화 없이 안정적으로 운전되는 것을 확인할 수 있다.
- [0094] 도 10은 제조예 8에 따른 사이클 수에 따른 분극저항 테스트 a)전, b)후의 애노드의 표면을 촬영한 SEM 이미지이다.
- [0095] 도 10을 참조하면, 20회의 사이클 수에 따른 분극저항 테스트 후의 SEM 이미지를 살펴보면, 형상의 변화가 일어나지 않은 것을 확인할 수 있다. 이를 통해, 제조예 8($\text{La}_{0.1}\text{Ba}_{0.9}\text{Ti}_{0.92}\text{Cr}_{0.08}\text{O}_3$)은 산화환원을 반복하여도 기계적 열화 및 전극의 체적 변화를 일으키지 않는 것을 알 수 있다. 이로써, 페로브스카이트 구조를 갖는 애노드를 사용하고 전기전도도 향상을 위하여 전기전도성이 우수한 원소들을 도핑하여 반복되는 산화환원 사이클에도 분극저항의 큰 변동 없이 안정적으로 작동이 가능한 것을 확인할 수 있다.

도면

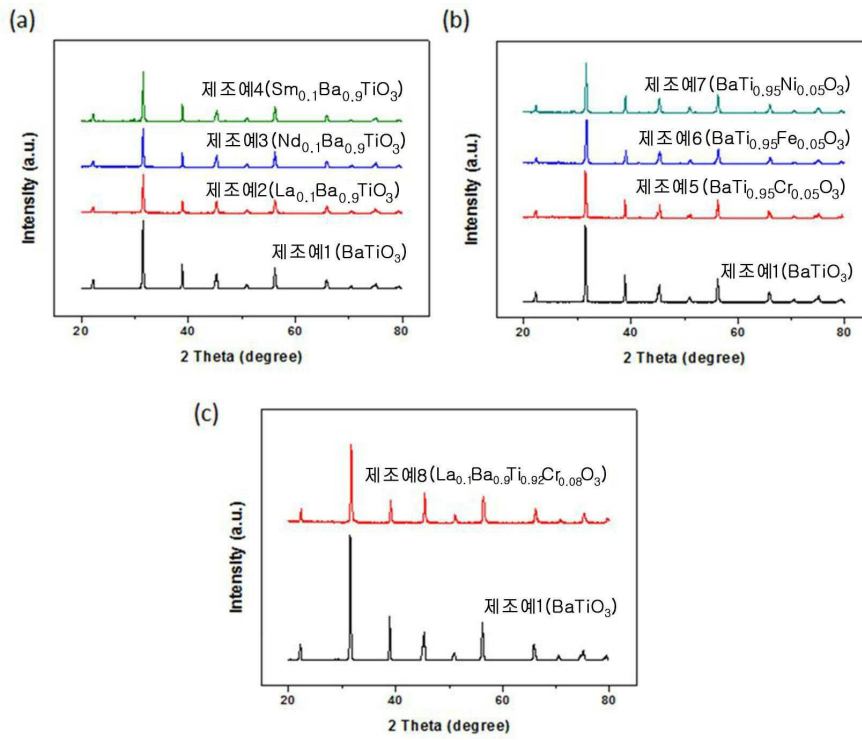
도면1



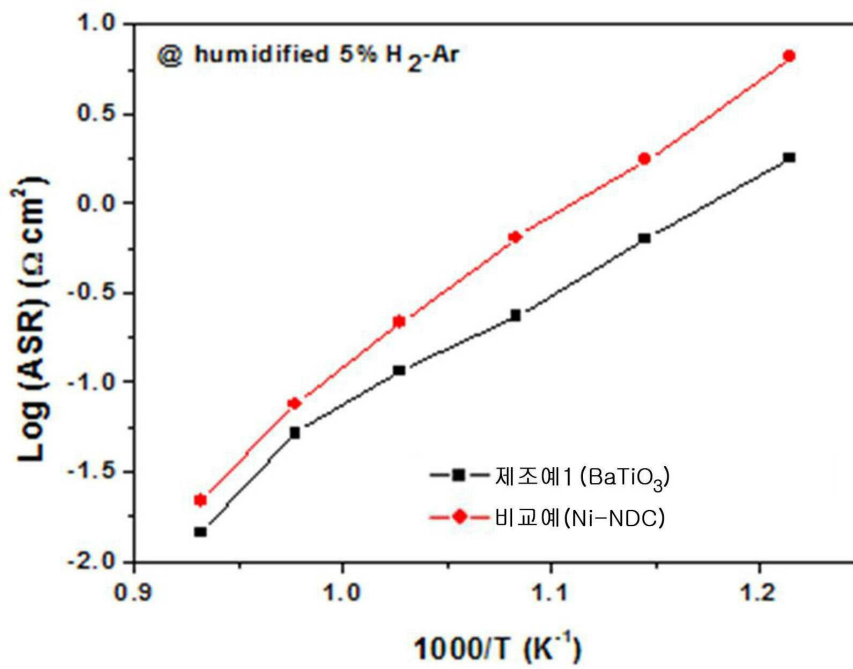
도면2



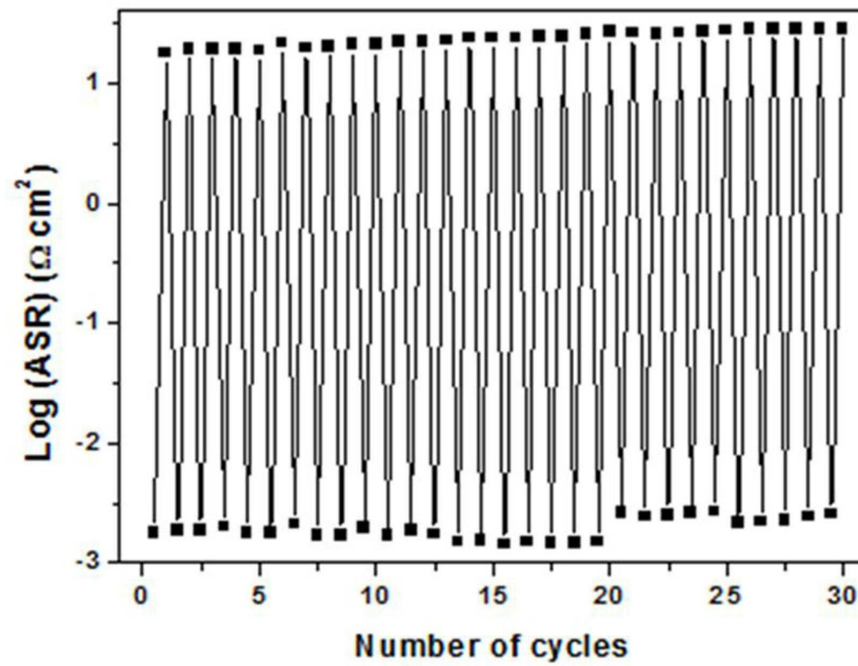
도면3



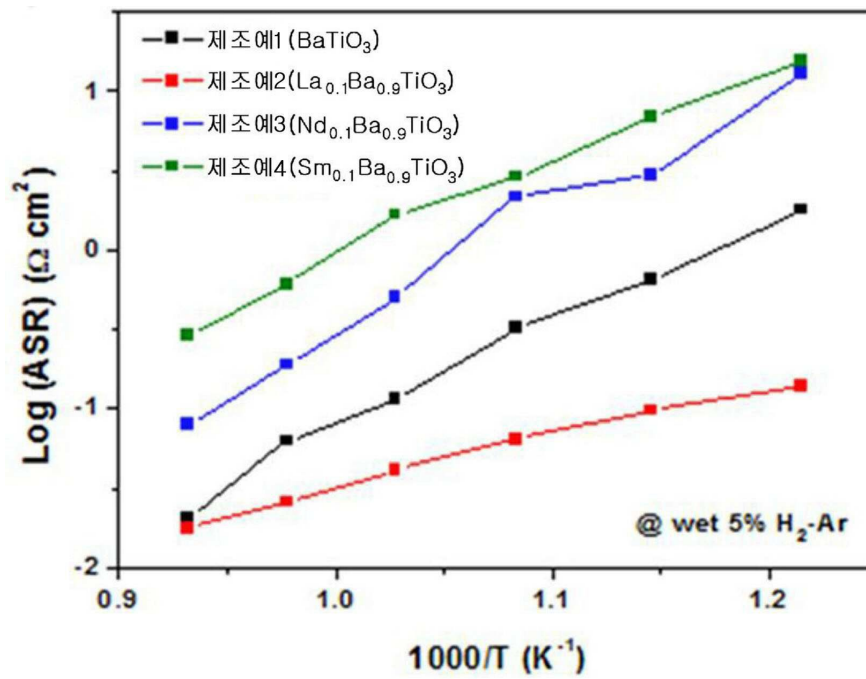
도면4



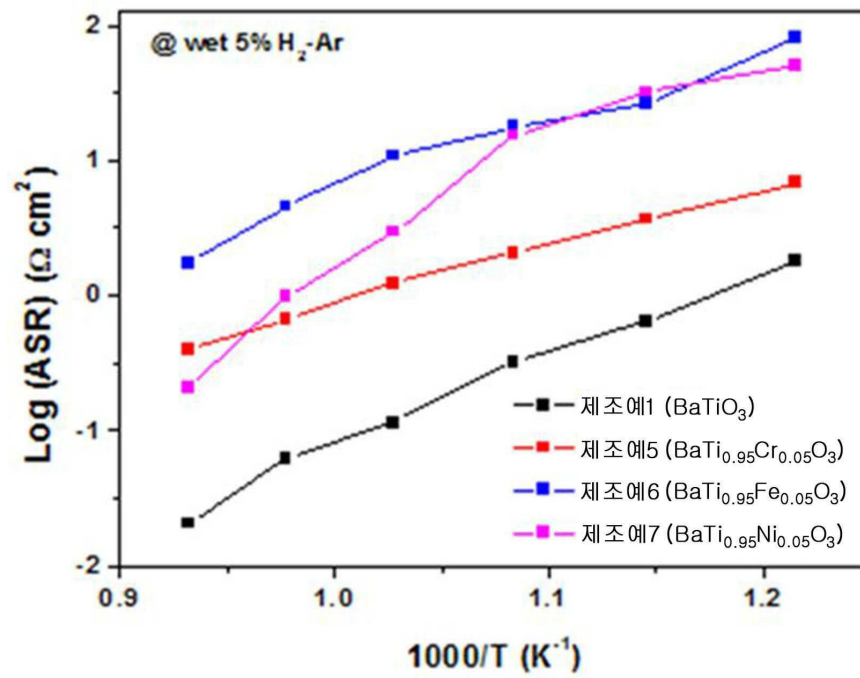
도면5



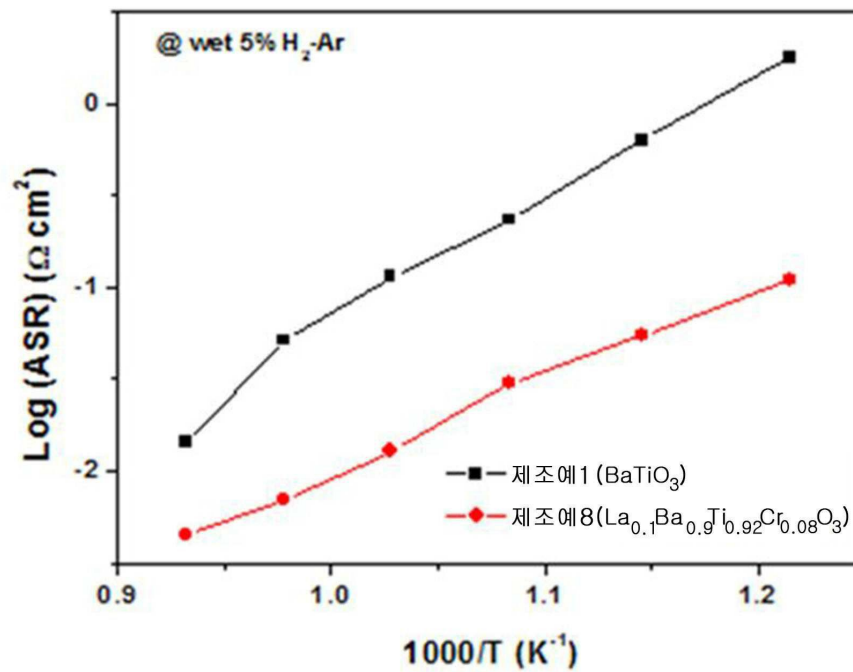
도면6



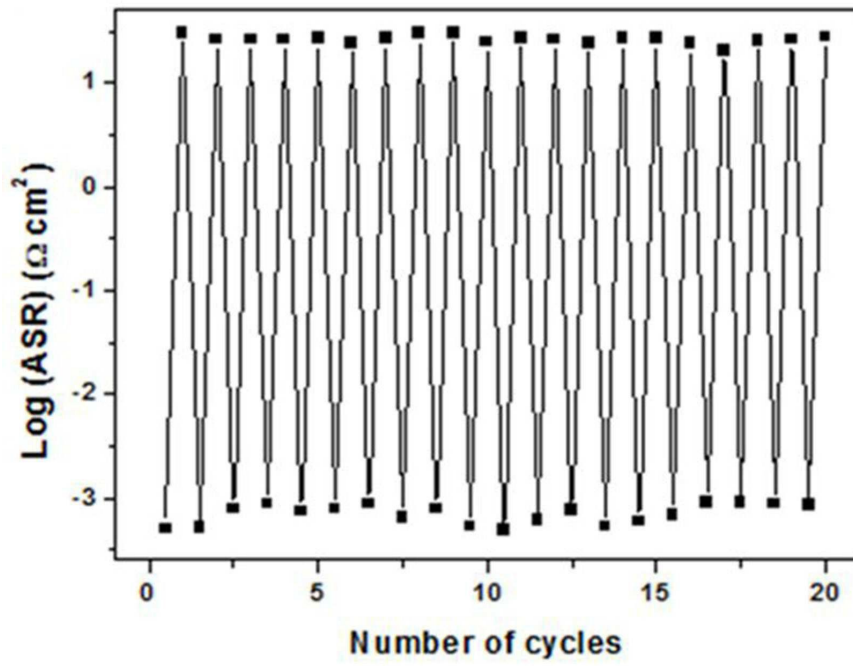
도면7



도면8



도면9



도면10

