

 (19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2014-0096309 (43) 공개일자 2014년08월05일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) <i>H01M 4/86</i> (2006.01) <i>H01M 8/12</i> (2006.01) <i>H01M 4/88</i> (2006.01) <i>H01M 4/90</i> (2006.01) <i>C04B 35/00</i> (2006.01) (21) 출원번호 10-2014-7013995 (22) 출원일자(국제) 2012년10월23일 심사청구일자 없음 (85) 번역문제출일자 2014년05월23일 (86) 국제출원번호 PCT/EP2012/070949 (87) 국제공개번호 WO 2013/060669 국제공개일자 2013년05월02일 (30) 우선권주장 PA 2011 00810 2011년10월24일 덴마크(DK)	(71) 출원인 테크니칼 유니버시티 오브 덴마크 덴마크 101에이 디케이-2800 케이쥐에스. 링비 안 커 엔겔룬드스베이 1 (72) 발명자 자바르 모하메드 후세인 압둘 인도 첸나이 600 103 마날리 뉴 타운 넘버 4/4 호그 젠스 덴마크 디케이-1370 코펜하겐 케이 4. 티에이치. 노르 쇠가데 29 (뒷면에 계속) (74) 대리인 송봉식, 정삼영

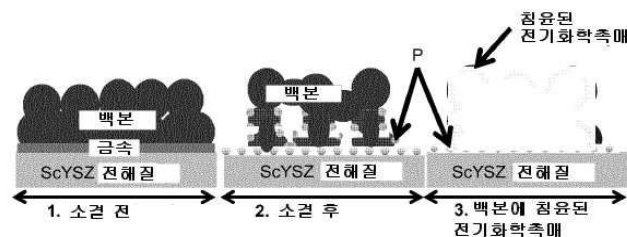
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **고체 산화물 전기화학 전지를 위한 변형된 애노드/전해질 구조 및 상기 구조의 제조 방법**

(57) 요약

고체 산화물 전기화학 전지를 위한 새로운 변형된 애노드/전해질 구조는 (a) 도핑된 스트론튬 티타네이트 및 이들의 혼합물의 군으로부터 선택된 전자 전도성 페로브스카이트 산화물의 백본으로 구성된 애노드, (b) 스칸디아 및 이트리아-안정화 산화 지르코늄 전해질 및 (c) 애노드와 전해질 사이의 계면에 통합된 중간층 형태의 금속 및/또는 세라믹 전기화학촉매를 포함하는 조립체이다. 이 조립체는 환원 기체 혼합물 중에서 먼저 주어진 온도에서, 다음에 더 낮은 온도에서 소결된다. 이런 열처리는 전해질/애노드 백본 접합부에 금속 및/또는 세라믹 중간층의 분포가 일어나게 한다. 이 구조는 (a) 전해질의 한쪽 위에 세라믹 중간층을 부착하는 단계, (b) 그 위에 금속 중간층을 선택적으로 적용하는 단계, (c) 단계 (a)와 (b)를 반복하는 단계, (d) 중간층이 적용된 전해질 위에 선택된 애노드 백본의 층을 적용하는 단계, (e) 원 조립체를 소결하는 단계, 및 (f) 소결된 조립체에 전기화학촉매 전구체를 침윤시키고, 조립체를 열처리하여 애노드 백본에 추가의 전기화학촉매를 통합시키는 단계에 의해서 제조된다.

대표도



(72) 발명자

스타마테 유진

덴마크 디케이-4000 로스킬데 215 2 크누드 덴 스
토레스 베이 36

보나노스 니콜라오스

덴마크 디케이-4000 로스킬데 2. 티에이치. 헬리그
코르스베이 15 에이

특허청구의 범위

청구항 1

고체 산화물 전기화학 전지를 위한 변형된 애노드/전해질 구조로서, 상기 구조는

(a) 니오븀-도핑된 스트론튬 티타네이트, 바나듐-도핑된 스트론튬 티타네이트, 탄탈륨-도핑된 스트론튬 티타네이트 및 이들의 혼합물로 구성되는 군으로부터 선택된 전자 전도성 페로브스카이트 산화물의 백본으로 구성된 애노드,

(b) 스칸디아 및 이트리아-안정화 산화 지르코늄 전해질 및

(c) 애노드와 전해질 사이의 계면에 통합된 중간층 형태의 금속 및/또는 세라믹 전기화학촉매

를 포함하는 조립체이며,

상기 조립체는 먼저 공기중에서 약 1200℃의 온도에서 소결되고, 다음에 소결된 조립체가 별도의 노에서 H₂/N₂ 중에서 최대 5시간 동안 약 1000℃로 가열되며, 이런 열처리에 의해서 금속 및/또는 세라믹 중간층이 전해질/애노드 백본 접합부에 분포되는, 애노드/전해질 구조.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 전기화학촉매의 금속은 Ni, Pd, Pt, Ru 및 이들의 조합으로 구성되는 군으로부터 선택된 것을 특징으로 하는 애노드/전해질 구조.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서, 전기화학촉매의 세라믹 재료는 가돌리늄-도핑된 산화세륨, 이트륨-도핑된 산화세륨, 사마륨-도핑된 산화세륨 및 도핑되지 않은 산화세륨으로 구성되는 군으로부터 선택된 것을 특징으로 하는 애노드/전해질 구조.

청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 따른 애노드/전해질 구조의 제조 방법으로서, 상기 방법은

(a) 전해질의 한쪽 위에 세라믹 중간층을 부착하는 단계,

(b) 그 위에 금속 중간층을 선택적으로 적용하는 단계,

(c) 단계 (a)와 (b)를 반복하는 단계,

(d) 중간층이 적용된 전해질 위에 선택된 애노드 백본의 층을 적용하는 단계,

(e) 공기중에서 약 1200℃까지 가열함으로써 원 조립체를 소결하고, 이후 소결된 조립체를 H₂/N₂ 중에서 최대 5시간 동안 약 1000℃로 가열하는 단계, 및

(f) 소결된 조립체에 전기화학촉매 전구체를 침윤시키고, 소결된 조립체를 공기중에서 약 350-650℃의 온도에서 더 열처리하여 애노드 백본에 전기화학촉매를 통합시키는 단계

를 포함하는 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서, 전해질은 약 50-250 μm 두께의 테이프 또는 약 5-50 μm 두께의 지지된 전해질인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서, 금속 중간층은 Pd, Ni, Pt, Ru 및 이들의 조합으로 구성되는 군으로부터 선택되고, 약 20-200nm의 두께로 적용되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 7

제 5 항에 있어서, 선택적으로 적용된 세라믹 중간층은 약 20-500nm 두께의 가돌리늄-도핑된 산화세륨 및 도핑되지 않은 산화세륨으로 구성되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서, 상기 층은 스핀 코팅에 의해서 적용되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

고체 산화물 연료 전지(SOFC)에서 제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 따른 애노드/전해질 구조의 사용.

청구항 10

캐소드로서 고체 산화물 전해 전지(SOEC)에서 제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 따른 애노드/전해질 구조의 사용.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 고체 산화물 전기화학 전지에서 연료 전극의 성능을 개선하는 방법에 관한 것이다. 더 구체적으로, 본 발명은 고체 산화물 전기화학 전지를 위한 변형된 애노드/전해질 구조에 관한 것이며, 더 나아가 본 발명은 상기 구조의 제조 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 고체 산화물 연료 전지(SOFC)는 치밀한 산화물 이온 전도성 전해질에 의해서 분리된 애노드(연료 전극)와 캐소드를 가진 전기화학 전지로서, 상기 전지는 고온(800-1000℃)에서 작동한다. 고체 산화물 연료 전지에서 애노드의 기능은 연료와 전기화학적으로 반응하는 것이며, 연료는 수소 및 탄화수소일 수 있고, 캐소드는 공기 또는 산소와 반응하여 전류를 생성한다. SOFC의 애노드는 촉매적으로 활성인, 전도성(전자 및 산화물 이온에 대해) 다공질 구조를 포함하며, 이것은 전해질 상에 부착된다. 종래의 SOFC 애노드는 금속 촉매와 세라믹 재료, 더 구체적으로 각각 니켈과 이트리아-안정화 지르코늄 산화물(YSZ)의 복합 혼합물을 포함한다.

[0003] 애노드(연료 전극)는 SOFC와 같은 연료 전지에 이용되려면 높은 전기화학 활성 및 우수한 레독스 안정성의 면에서 높은 성능을 수득할 수 있어야 한다. 현재 최신 기술의 Ni-YSZ 애노드는 높은 작동 온도, 주로 800℃ 이상에서는 합당한 전기화학 활성을 제공하지만, 이들은 레독스 안정성은 아니다. Ni의 환원 및 산화로 인한 Ni-YSZ 애노드에서 어떤 부피 변화는 애노드 재료에 부당한 기계적 응력을 초래하며, 이것은 차례로 연료 전지의 전체적인 성능을 손상시킬 것이다.

[0004] 최근 몇년간 SOFC 애노드의 기능을 개선하기 위한 많은 노력이 이루어졌다. 예를 들어, 공개된 미국 특허출원 No. 2009/0218311은 연료 전지의 전극/전해질 계면에서 층상 구조를 가진 촉매의 제조를 설명한다. 플라스틱 또는 유리 기판이 전해질(예컨대 YSZ), 촉매층(예컨대 Ni 또는 Pd) 및 다공질 층과 함께 사용된다. 그러나, 촉매는 이 과정 동안 그것의 층상 구조를 유지하며, 따라서 분포되지 않는다.

[0005] US 2010/0075194는 전해질과 잘 결합하는, 낮은 분극 저항을 가진 고 성능, 저 비용 캐소드를 개시한다. 이 공보는 이온-전도성 층(도핑된 산화세륨)과 혼합된 이온-전도성 및 전자-전도성 층을 다룬다. 다시, 이 촉매는 층상 구조를 유지하며, 따라서 분포되지 않는다.

[0006] US 2009/0148742는 고 성능 다층 전극에 관한 것이며, 애노드와 전해질 사이의 계면에 산화세륨-계 이온-전도성 및 전자-전도성 층을 삽입하여 SOFC 애노드의 전기화학적 성능을 개선하는 것을 언급한다.

[0007] 미국 특허 No. 6,420,064에는 혼합된 전자-전도성(Pd) 및 이온-전도성(YSZ) 기능층을 함유하는 복합체 캐소드가, 예를 들어 스크린 인쇄에 의해서 전해질 상에 부착되는 방식이 설명된다. 다음에, 란타늄 코발타이트가 기능층 위에 인쇄되고, 이것은 계속해서 SOFC의 작동 동안 제자리 소결된다.

- [0008] US 2009/0011314는 전기 저항이 감소된 SOFC에 관한 것으로서, 이것은 전극 층과 전해질 층 사이에 삽입된 이온-전도성 재료를 함유하는 계면층을 포함한다. 이온-전도성 재료는 YSZ 또는 GDC일 수 있으며, 원자층 부착(ALD)에 의해서 삽입되는 것이 바람직하고, 촉매 금속, 예컨대 Pt가 존재할 수 있다.
- [0009] 마지막으로, 본 출원인에게 속하는 US 2009/0061284는 니오븀-도핑된 스트론튬 티타네이트가 SOFC 애노드로서 사용되며, Ni 및 도핑된 산화세륨으로 함침될 수 있다는 것을 설명한다. 이 예에서는 전극/전해질의 계면이 변형되지 않았지만, 본 발명에서와 동일한 니오븀-도핑된 스트론튬 티타네이트가 존재했다.
- [0010] 고 성능 SOFC 애노드 분야에서 최근의 개발은 레독스 안정한 전자 전도성 페로브스카이트 산화물, 예컨대 니오븀-도핑된 스트론튬 티타네이트(STN)를 활용하는데 집중되었다. STN은 애노드 시험 조건에서 안정하며, 또한 전해질과 양립성이지만, 수소 산화에 대한 전기화학적 촉매 활성이 부족하고, 더욱이 효과적인 애노드 성능을 위한 이온 전도성이 불충분하다.
- [0011] 전해질 상에 부착된 STN은 골격 다공질 구조(이후 "백본"이라 칭한다)를 갖는데, 이것은 전기화학촉매(electrocatalyst)를 보유할 수 있다. 애노드 개발 분야에서 최근 경향 중 하나는 각각의 염들, 예컨대 질산니켈 또는 염화니켈 중 하나의 촉매 침윤에 의해서 백본에 나노구조의 전기화학촉매를 통합하는 것이었다. 전기화학촉매는 금속, 가돌리늄-도핑된 산화세륨(CGO)과 같은 세라믹 재료, 또는 이 둘의 혼합물일 수 있다. 게다가, CGO는 백본에 이온 전도성을 제공한다.
- 발명의 내용**
- [0012] 본 발명은, SOFC 애노드로서 STN 백본의 성능이 극적으로 개선되는데, 얇은 금속층(예컨대 Ni, Pd 및 이들의 조합), 세라믹층(예컨대 CGO, YSZ 및 이들의 조합) 또는 금속과 세라믹 층의 둘 다가 백본/전극 조립체(BEA)의 계면에 도입될 경우, 이로써 최종 조립체가 고온으로 가열될 때 백본과 BEA에 금속/세라믹 기능 중간층을 분포시키는 것 같다는 예상치 못한 발견에 기초한다. 이러한 분포된 기능 중간층은 전기화학적으로 활성인 전극으로서 작용하며, 또한 이미 언급된 대로 STN 백본에 전기화학촉매의 침윤이 애노드 성능을 극적으로 개선한다.
- [0013] 더 구체적으로, 본 발명은 고체 산화물 전기화학 전지를 위한 새로운 변형된 애노드/전해질 구조에 관한 것이며, 상기 구조는 (a) 니오븀-도핑된 스트론튬 티타네이트, 바나듐-도핑된 스트론튬 티타네이트, 탄탈륨-도핑된 스트론튬 티타네이트 및 이들의 혼합물의 군으로부터 선택된 전자 전도성 페로브스카이트 산화물의 백본으로 구성된 애노드, (b) 스칸디아 및 이트리아-안정화 산화 지르코늄 전해질 및 (c) 애노드와 전해질 사이의 계면에 통합된 중간층 형태의 금속 및/또는 세라믹 전기화학촉매를 포함하는 조립체이다. 이 조립체는 먼저 공기 중에서 약 1200℃의 온도에서 소결되고, 다음에 소결된 조립체가 별도의 노에서 H₂/N₂ 중에서 최대 5시간 동안 약 1000℃로 가열된다. 이런 열처리는 금속 및/또는 세라믹 중간층이 전해질/애노드 백본 접합부에 분포되도록 한다.
- [0014] 또한, 본 발명은 본 발명의 애노드/전해질 구조의 제조 방법에 관한 것으로서, 상기 방법은 (a) 전해질의 한쪽 위에 세라믹 중간층을 부착하는 단계, (b) 그 위에 금속 중간층을 선택적으로 적용하는 단계, (c) 단계 (a)와 (b)를 반복하는 단계, (d) 중간층이 적용된 전해질 위에 선택된 애노드 백본의 층을 적용하는 단계, (e) 공기 중에서 약 1200℃까지 가열함으로써 원(raw) 조립체를 소결하고, 이후 소결된 조립체를 H₂/N₂ 중에서 최대 5시간 동안 약 1000℃로 가열하는 단계, 및 (f) 소결된 조립체에 전기화학촉매 전구체를 침윤시키고, 소결된 조립체를 공기 중에서 약 350-650℃의 온도에서 더 열처리하여 애노드 백본에 전기화학촉매를 통합시키는 단계를 포함한다.
- [0015] BEA 계면에 금속층, 세라믹층 또는 이 둘의 조합을 부착하여 연료의 전기화학 반응을 위한 필요한 부위에 촉매를 위치시키는 개념은 SOFC 애노드를 설계하는데 있어서 새로운 접근법을 구성한다. 또한, 변형된 백본 상에 잘 알려진 용액 침윤 기술을 활용하는 것도 새로운 개념이며, 이로써 애노드의 성능이 전기화학촉매의 로딩의 증가와 함께 예상외로 증진된다.
- [0016] STN 백본에 전기화학촉매를 통합시키기 위한 종래의 용액 침윤 기술의 사용은 그 자체는 BEA 계면이 충분히 커버되거나 코팅되는 것을 보장하지 않는다. 따라서, 전기화학촉매의 로딩이 증가한 후라도 계면 저항의 추가의 감소는 가능하지 않다. 반면, 본 발명에 의하면 전기화학촉매가 BEA 계면이나 개선된 전기화학 반응을 위한 유리한 부위에 위치된다. 이런 방식에서 계면 저항은 더 감소된다.
- [0017] 금속-계 기능층(MFL)은 바람직하게 Pd이지만, 다른 금속들, 예컨대 Ni, Pt 및 Ru도 또한 고려될 수 있다. 또한, 단일 금속 대신에 상기 금속들의 2-성분 합금, 예컨대 Pd-Ni, 또는 심지어 3-성분 합금, 예컨대 Pd-Ni-Ru

를 사용하는 것도 가능하다. 세라믹-계 기능층(CFL)에 관해서, 이것은 바람직하게 가돌리늄-도핑된 산화세륨(CGO)이지만, 예를 들어 사마륨-도핑된 산화세륨일 수도 있다.

[0018] 본 발명을 사용하여 복합체 애노드를 형성하기 위한 금속(예컨대 Ni)과 세라믹(예컨대 YSZ)의 주지된 배합을 피하는 것이 가능하다. 또한, 페로브스카이트-계 애노드에 전기화학촉매를 통합시키기 위한 용액 침윤 기술이 보강된다.

[0019] 본 발명은 선행 기술에 비하여 많은 이점을 제공하는데, 우선 종래의 애노드와 비교하여 계면 저항을 몇 차수 크기까지 저하시킨다. 본 발명은 또한 고체 산화물 연료 전지의 작동 온도를 저하시킬 수 있는 적합한 방식을 제공한다(<600℃). 또한, 얇은 금속 또는 세라믹 필름층이 전해질 표면 상에 부착되는 본 발명에 따른 방법은 고체 산화물 연료 전지를 제조할 때 생산 속도를 상당히 증가시킬 수 있다.

[0020] 본 발명은 이제 이후의 구체적인 실시예들에 의해서 더 예시될 것이다. 또한, 첨부한 도 1-6을 참조한다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 본 발명에 따른 방법의 도식적인 개요이다.

도 2는 ScYSZ 전해질 상에서 MFL을 가진 소결된 STN 백본의 투과 전자 현미경(TEM) 이미지를 도시한다.

도 3은 STN/ScYSZ 계면에서 다양한 MFL 두께에 대한 3% H₂O/H₂ 연료 중에서 600℃에서 얻어진 임피던스 스펙트럼을 도시한다.

도 4는 3% H₂O/H₂ 연료 중에서 600℃에서 본 발명에 따라서 제조된 여러 애노드의 성능을 도시한다.

도 5는 Pd-CGO 전기화학촉매의 동등한 로딩을 가진 MFL을 갖는 STN 대칭 전지와 MFL을 갖지 않는 STN 대칭 전지에 대해서 얻어진 아레니우스 플롯이다.

도 6은 CFL을 갖는 STN 대칭 전지와 CFL을 갖지 않는 STN 대칭 전지에 대해서 얻어진 아레니우스 플롯이다. Pd-CGO 전기화학촉매의 로딩은 변화된다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 실시예 1

[0023] 이 실시예는 본 발명에 따른 SOFC 애노드의 제조에 수반된 방법 단계들을 예시한다. 이 실시예는 도 1에 의해서 뒷받침된다.

[0024] 전해질로서 120 μm 두께의 ScYSZ(스칸디아 및 이트리아-안정화 지르코니아)의 테이프를 사용했다. 백본은 전해질 상에 위치한 니오븀-도핑된 스트론튬 티타네이트(STN)였으며, 백본/전해질 조립체(BEA)를 형성했다.

[0025] 기능층을 BEA에, 즉 백본과 전해질 사이에 도입했다. 상기 기능층은 금속-계 기능층(MFL), 예를 들어 20-200nm 층두께의 Pd, 또는 세라믹-계 기능층(CFL), 예를 들어 20-500nm 층두께의 가돌리늄-도핑된 산화세륨(CGO)일 수 있다. 기능층은 또한 금속-계 층과 세라믹-계 층의 조합일 수 있다.

[0026] 실제, 기능층을 먼저 전해질 테이프에 적용하며, 이것은 스퍼터링(MFL) 또는 스핀 코팅(CFL)에 의해서 행해진다. 조합된 기능층이 사용될 경우, 전해질 테이프를 먼저 CGO로 코팅하고, 다음에 Pd를 스퍼터링한다. 이것은 전기화학 전극 특성화를 위해서 사용된 대칭 전지의 경우 전해질의 양측에서 행해진다.

[0027] 전해질이 의도된 기능층(들)을 구비했을 경우, 그것은 STN 잉크로 스크린 인쇄되며, 그 결과 선택적으로 전해질의 양측에 18-20 μm 두께의 층이 생성된다. 얻어진 "원" 조립체(도 1, 좌측 부분)는 계속해서 공기중에서 또는 H₂/N₂ 기체 혼합물 중에서 4시간 동안 1200℃의 소결 온도로 가열된다. 이런 소결 처리에 의해서 기능층(들)의 입자(P)가 백본 전체에 분포된다(도 1, 중간 부분).

[0028] 최종 방법 단계로서, 전기화학촉매를 전구체 용액의 형태로 미리-소결된 백본에 침윤시킨다(도 1, 우측 부분).

[0029] 실시예 2

[0030] 이 실시예는 STN과 ScYSZ 전해질의 계면에 위치한 몇 개의 분리된 Pd 입자(도 2, 상부 좌측 부분) 및 STN 백본 전체에 분포된 Pd의 작은 나노입자(도 2, 하부의 세 개 부분)를 보여준다. STN 백본에 Pd 나노입자의 존재는 에너지 분산 분광법(EDS) 분석을 사용하여 확인된다(도 2, 상부 우측 부분).

[0031] 실시예 3

[0032] 이 실시예는 실시예 1에 설명된 대로 제조되지만 침윤시키지 않은 애노드를 가지고 얻어진 성능 결과를 나타낸다. 기준으로 어떤 기능층도 없는 애노드를 사용했다.

[0033] 시험된 애노드들이 표 1에 요약된다:

표 1

선택된 애노드의 조성

애노드 번호	백본*	기능층(들)
1	STN 환원	없음
2	STN 환원	Pd (170 nm)
3	STN 환원	Pd (100 nm)
4	STN 환원	Pd (30 nm)
5	STN 환원	Pd (20 nm)
6	STN 환원	Pd (30 nm) + CGO
7	STN 공기	CGO

*) BEA의 소결 조건은 공기 또는 환원 조건이다 (H₂/N₂)

[0034]

[0035] 얻어진 결과(기체 조건: 97% H₂, 3% H₂O; 온도:600℃)는 아래 표 2에 열거된다.

표 2

선택된 애노드의 계면 저항

애노드 번호	R _p (Ω·cm ²)
1 (기능층 없음)	90
2 (Pd 170 nm)	54
3 (Pd 100 nm)	45
4 (Pd 30 nm)	33
5 (Pd 20 nm)	30
6 (Pd 30 nm) + CGO	24
7 (CGO)	16

[0036]

[0037] 기능층이 없는 애노드(애노드 제1번)는 분명히 가장 불량한 성능을 나타내는데, 즉 시험된 애노드 중 계면 저항이 가장 높다. 임피던스 스펙트럼은 도 3에 도시된다. 스펙트럼에 언급된 숫자는 각 주파수를 나타낸다.

[0038] 실시예 4

[0039] 이 실시예에서는 실시예 1에 설명된 대로 제조된, 즉 침윤을 포함하는 5개의 애노드를 가지고 얻어진 성능 결과가 제시된다.

[0040] 시험된 애노드들이 아래 표 3에 요약된다.

표 3

선택된 애노드의 조성

애노드 번호	백본	기능층(들)	첨유물
8	STN 환원	Pd	CGO
9	STN 환원	없음	Pd + CGO
10	STN 환원	Pd + CGO	Pd + CGO
11	STN 환원	Pd	Pd + CGO
12	STN 환원	CGO	Pd + CGO

[0041]

[0042] 얻어진 결과(기체 조건: 97% H₂, 3% H₂O; 온도:600℃)는 표 4에 열거된다.

[0043] 아래 표 4는 기능층이 없는 기준 애노드와 비교하여 본 발명에 따른 애노드를 가지고 얻어진 유리한 결과들 중 일부의 요약이다. 표에서 처음 3개의 애노드는 기준 애노드이고, 나머지들은 본 발명에 따른 애노드이다.

표 4

선택된 애노드 대 기준 애노드의 계면 저항
(기체 조성: 97% H₂, 3% H₂O; 온도: 600℃)

백본*	기능층	첨유물	로딩 (vol.%)	R _p (Ω·cm ²)
STN 공기	없음	CGO	10	4.6
STN 환원	없음	Pd 및 CGO	8.5	1
STN 공기	없음	Ni 및 CGO	11.2	0.42
STN 환원	CGO	Pd 및 CGO	0.8	0.25
STN 환원	CGO	Pd 및 CGO	13.9	0.13
STN 환원	CGO	Pd 및 CGO	21.1	0.09
STN 공기	CGO	Ni 및 CGO	8.6	0.19
STN 공기	CGO	CGO	12.8	2
STN 환원	Pd (20 nm)	Pd 및 CGO	7.6	0.35
STN 환원	Pd (30 nm)	Pd 및 CGO	12.2	0.15
STN 환원	Pd (100nm)	Pd 및 CGO	5	0.5
STN 환원	Pd (170nm)	Pd 및 CGO	4.2	0.5
STN 환원	Pd (30 nm) + CGO	Pd 및 CGO	8.4	0.27
STN 환원	Pd (30 nm) + CGO	Ni 및 CGO	11.5	0.23

*) 공기 및 환원(H₂/N₂) 조건이 백본/전해질 조립체(BEA)의 소결 조건이다

[0044]

[0045] 실시예 5

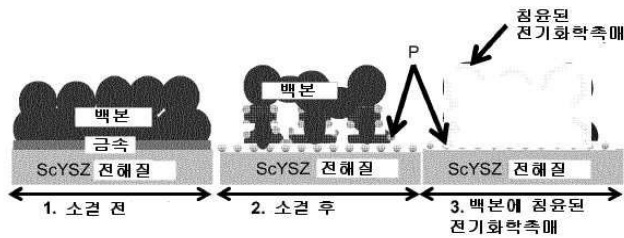
[0046] 이 실시예에서 나타난 결과(도 5)는 Pd 및 CGO 전기화학촉매의 동등한 로딩을 가진 MFL 변형된 STN 백본의 성능의 개선을 설명한다. 성능은 3% H₂O/H₂ 연료에서 결정되었다.

[0047] 실시예 6

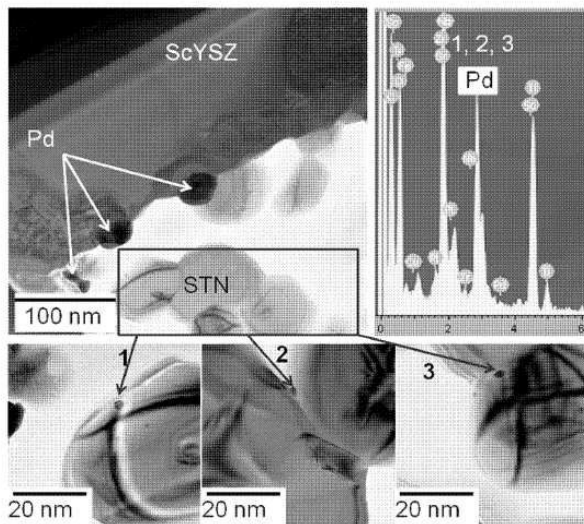
[0048] 도 6에 도시된 이 실시예는 CFL을 갖는 대칭 전지와 CFL을 갖지 않는 대칭 전지에 대해서 얻어진 결과를 예시한다. 이 결과는 Pd 및 CGO 전기화학촉매의 다양한 로딩과 비교된다. 로딩이 적을 때(0.8% Pd 및 CGO) 성능은 CFL을 갖지 않는 애노드보다 좋다는 것이 관찰된다. 전기화학촉매의 로딩이 많을수록 성능은 상당히 개선된다. 성능은 3% H_2O/H_2 연료에서 결정되었다.

도면

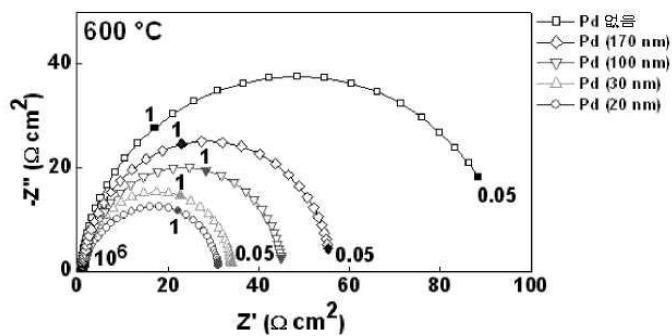
도면1



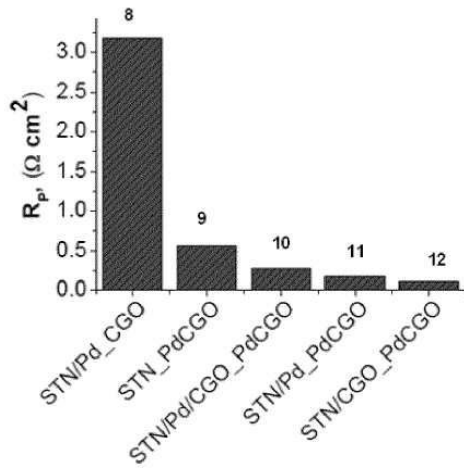
도면2



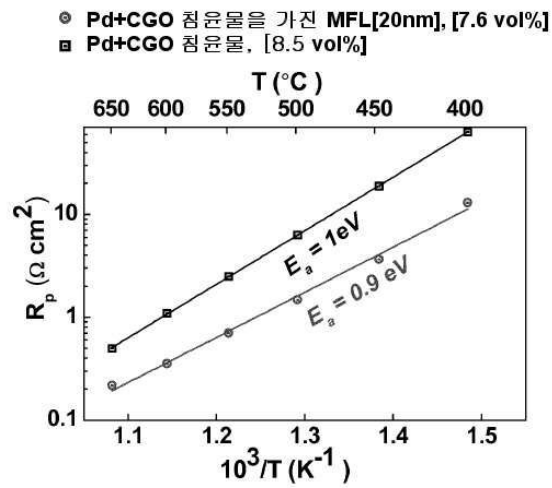
도면3



도면4



도면5



도면6

