(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0135322
(43) 공개일자 2024년09월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01M 4/86 (2006.01) *H01M 4/88* (2006.01)
H01M 4/92 (2006.01) *H01M 8/10* (2016.01)
(52) CPC특허분류
H01M 4/8657 (2013.01)
H01M 4/8803 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0028786
(22) 출원일자 2023년03월03일
심사청구일자 2023년03월03일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
심준형
서울특별시 강남구 압구정로 151, 79동 103호 (압구정동, 현대아파트)
이종한
서울특별시 성북구 북악산로 844, 115동 704호 (돈암동, 브라운스톤 돈암 아파트)
(74) 대리인
김종선, 이형석

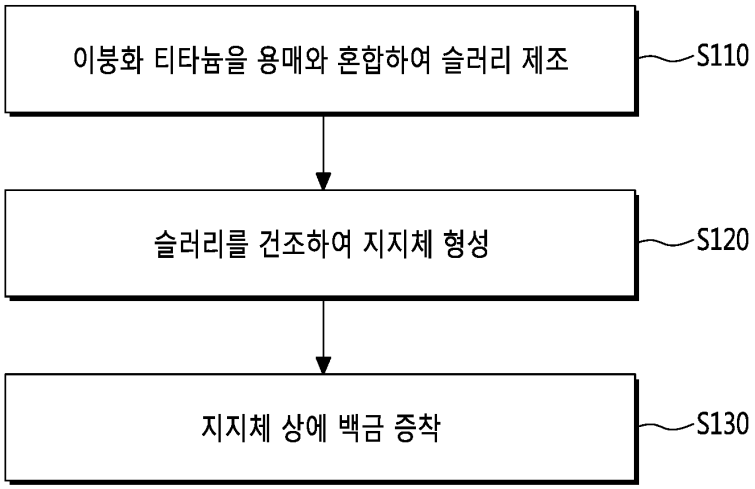
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **연료전지용 촉매 전극 및 이의 제조 방법**

(57) 요 약

본 발명의 촉매 전극은 이붕화 티타늄 지지체 및 이붕화 티타늄 지지체 상에 증착된 백금 나노입자층을 포함할 수 있다. 이에 본 발명은 이붕화 티타늄 지지체를 구성함으로써, 산에 대한 부식저항성이 뛰어나고 전기전도도가 크고, 우수한 내구성을 가질 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H01M 4/8857 (2013.01)
H01M 4/8867 (2013.01)
H01M 4/925 (2013.01)
H01M 2008/1095 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711160272
과제번호 2020M1A2A2080862
부처명 기획재정부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 기후변화대응 기초원천기술개발과제
연구과제명 전극 표면막 및 활물질 처리를 통한 고성능 SOFC 셀 개발
기 여 율 1/2
과제수행기관명 고려대학교
연구기간 2020.06.30 ~ 2025.01.29
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711170457
과제번호 2020R1A5A1018153
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 이공학분야(S/ERC)
연구과제명 플러스에너지빌딩 혁신기술 연구센터
기 여 율 1/2
과제수행기관명 고려대학교
연구기간 2020.07.01 ~ 2027.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

이붕화 티타늄 지지체; 및,

상기 이붕화 티타늄 지지체 상에 증착된 백금 나노입자층;을 포함하는, 연료전지용 촉매 전극.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 백금 나노입자층은,

물리기상증착법(Physical Vapor Deposition, PVD), 화학기상증착법(Chemical Vapor Deposition, CVD), 및 원자층박막증착법(Atomic Layer Deposition, ALD) 중 어느 하나의 증착 방법으로 증착된, 연료전지용 촉매 전극.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 이붕화 티타늄 지지체는,

붕소와 티타늄을 포함하는 것을 특징으로 하는 연료전지용 촉매 전극.

청구항 4

이붕화 티타늄을 용매와 혼합하여 슬러리를 제조하는 단계;

상기 슬러리를 건조하여 이붕화 티타늄 지지체를 형성하는 단계; 및,

상기 이붕화 티타늄 지지체 상에 백금 나노입자층을 증착하는 단계;를 포함하는, 연료전지용 촉매 전극의 제조 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 용매는,

탈이온수(DI Water), 에탄올 및 이소프로필알콜(IPA) 중 적어도 어느 하나를 포함하는, 연료전지용 촉매 전극의 제조 방법.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 이붕화 티타늄 지지체를 형성하는 단계는,

상기 슬러리를 폴리머 필름 상에 분산시키고 진공상태에서 건조하는 단계를 포함하는, 연료전지용 촉매 전극의 제조 방법.

청구항 7

제4항에 있어서,

상기 백금 나노입자층을 증착하는 단계는,

상기 백금 나노입자층이 물리기상증착법(Physical Vapor Deposition, PVD), 화학기상증착법(Chemical Vapor Deposition, CVD), 및 원자층박막증착법(Atomic Layer Deposition, ALD) 어느 하나의 증착 방법으로 상기 이붕

화 티타늄 지지체 상에 증착되는, 연료전지용 촉매 전극의 제조 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 백금 나노입자층을 증착하는 단계는,

상기 백금 나노입자층이 상기 원자층박막증착법으로 증착되는 경우, 백금 전구체(precursor)로 $MeCpPtMe_3$를, 반응물(reactant)로 O_2를 사용하여 증착하는, 연료전지용 촉매 전극의 제조 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 연료전지용 촉매 전극 및 이의 제조 방법에 관한 것으로서, 특히, 이붕화 티타늄 지지체를 구성함으로써, 산에 대한 부식저항성이 뛰어나고 전기전도도가 크고, 우수한 내구성을 가진 연료전지용 촉매 전극 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근 화석연료의 사용량 증가로 인해 대기오염이 심각해짐에 따라, 화석연료를 대신하는 친환경 에너지에 관한 관심이 커지고 있다. 그중에서도 친환경적인 수소를 연료로 사용하는 연료전지는 차세대 에너지 변환기술로서 주목받고 있다. 이러한 수소를 연료로 사용하는 연료전지 중 고분자 전해질 연료전지(PEMFC, Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell)는 이미 상당기간 연구개발을 통해서 산업화의 가능성이 검증되어 왔다. 고분자 전해질 연료전지는 다른 형태의 연료전지에 비하여 전류밀도 및 출력밀도가 크고 부피와 무게가 작으며 충전시간이 짧고, 저온에서 사용 가능하다는 장점으로 인해 수송기기 분야에서의 상용화 등을 목표로 세계적으로 연구 개발이 활발히 진행되고 있다.

[0003] 이러한, 고분자 전해질 연료전지는 애노드(anode), 전해질(electrolyte), 캐소드(cathode)로 구분되어 있는데, 애노드와 캐소드는 각 촉매층과 지지체로 구분된다. 그리고, 애노드에 수소를 투입하고 캐소드에 산소를 투입하면, 각각 수소산화반응(hydrogen oxidation reaction; HOR), 산소환원반응(oxygen reduction reaction; ORR)이 발생하여 물을 생성한다.

[0004] 고분자 전해질 연료전지는 친환경적이라는 장점이 있지만, 상용화되기에 앞서 해결되어야 할 문제가 존재하는데, 바로 내구성 문제이다.

[0005] 고분자 전해질 연료전지는 주로 상용차의 부품으로 사용되기에 장기간 운전할 수 있도록 내구성이 특히 좋아야 하는데, 애노드와 캐소드의 촉매 지지체로 사용되는 물질인 탄소가 연료전지 구동 시 산소와 반응하여 CO 또는 CO_2로 변환되며, 탄소 지지체의 구조적인 붕괴가 발생하여 촉매 입자들의 분리, 뭉침 현상을 유발하여 고분자 전해질 연료전지의 성능 저하가 발생한다.

[0006] 그렇기에 최근에는 탄소 부식을 저지함으로써 내구성을 확보하기 위한 여러 방법이 연구되고 있다. 하지만, 탄소는 전기전도성이 우수하고 다공성(porous) 구조를 가지며, 표면적이 넓어 지지체로서 우수한 특징을 가지고 있어 대체하기가 쉽지 않다.

[0007] 그래서 최근 촉매 지지체로 비 탄소계 물질의 지지체를 사용하는 것에 대해 연구되고 있다. 비 탄소계 물질을 사용한다면 산화 환경에서 탄소 부식을 방지할 수 있다는 장점을 얻게 된다. 하지만, 이러한 비 탄소계 물질을 지지체로 사용하면 내구성을 확보할 수 있지만, 전기 전도도가 탄소에 비해 좋지 못하여 연료전지의 초기 성능이 좋지 않다는 문제점을 가지고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 이붕화 티타늄 지지체를 구성함으로써, 산에 대한 부

식저항성이 뛰어나고 전기전도도가 크고, 우수한 내구성을 가진 연료전지용 촉매 전극 및 이의 제조 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 연료전지용 촉매 전극은 이붕화 티타늄 지지체; 및, 상기 이붕화 티타늄 지지체 상에 증착된 백금 나노입자층;을 포함할 수 있다.

[0010] 또한, 상기 백금 나노입자층은, 물리기상증착법(Physical Vapor Deposition, PVD), 화학기상증착법(Chemical Vapor Deposition, CVD) 및, 원자층박막증착법(Atomic Layer Deposition, ALD) 중 어느 하나의 증착 방법으로 증착될 수 있다.

[0011] 또한, 상기 이붕화 티타늄 지지체는, 붕소와 티타늄을 포함할 수 있다.

[0012] 본 발명의 다른 실시예에 따른 연료전지용 촉매 전극의 제조 방법은 이붕화 티타늄을 용매와 혼합하여 슬러리를 제조하는 단계; 상기 슬러리를 건조하여 이붕화 티타늄 지지체를 형성하는 단계; 및, 상기 이붕화 티타늄 지지체 상에 백금 나노입자층을 증착하는 단계;를 포함할 수 있다.

[0013] 또한, 상기 용매는, 탈이온수(DI Water), 에탄올 및 이소프로필알콜(IPA) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0014] 또한, 상기 이붕화 티타늄 지지체를 형성하는 단계는, 상기 슬러리를 폴리머 필름 상에 분산시키고 진공상태에서 건조하는 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 또한, 상기 백금 나노입자층을 증착하는 단계는, 상기 백금 나노입자층이 물리기상증착법(Physical Vapor Deposition, PVD), 화학기상증착법(Chemical Vapor Deposition, CVD), 및 원자층박막증착법(Atomic Layer Deposition, ALD) 중 어느 하나의 증착 방법으로 상기 이붕화 티타늄 지지체 상에 증착될 수 있다.

[0016] 또한, 상기 백금 나노입자층을 증착하는 단계는, 상기 백금 나노입자층이 상기 원자층박막증착법으로 증착되는 경우, 백금 전구체(precursor)로 $MeCpPtMe_3$를, 반응물(reactant)로 O_2가 사용될 수 있다.

발명의 효과

[0017] 상기와 같은 본 발명에 따른 연료전지용 촉매 전극 및 이의 제조 방법은 이붕화 티타늄 지지체를 구성함으로써, 산에 대한 부식저항성이 뛰어나고 전기전도도가 크고, 우수한 내구성을 가진다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 촉매 전극의 제조 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 2 및 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 촉매 전극의 제조 방법을 설명하기 위한 공정 순서도를 나타내는 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 백금 증착 조건에 따른 촉매 전극 표면을 나타내는 전자투과현미경 사진이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 촉매 전극의 전기화학적 성능을 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 이하에서 본 발명의 기술적 사상을 명확히 하기 위하여 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세하게 설명하도록 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기능 또는 구성요소에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 도면들 중 실질적으로 동일한 기능구성을 갖는 구성요소들에 대하여는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 동일한 참조번호 및 부호들을 부여하였다. 설명의 편의를 위하여 필요한 경우에는 장치와 방법을 함께 서술하도록 한다.

[0020] 본 발명의 일 실시예에 따른 연료전지용 촉매 전극은 이붕화 티타늄 지지체 및 이붕화 티타늄 지지체 상에 증착된 백금 나노입자층을 포함할 수 있다. 이러한 촉매 전극은 산소 환원 촉매에 활용될 수 있다. 여기서, 이붕화 티타늄 지지체는 붕소(B)와 티타늄(Ti)을 포함할 수 있다. 이때, 붕소와 티타늄의 혼합 비율은 원자 개수를 기준으로 2:1 일 수 있다. 또한, 이붕화 티타늄 지지체는 연료전 캐소드용 뿐만 아니라 촉매의 지지체로 사용되는

것이라면 그 종류를 한정하지는 않으며, 티타늄과 붕소가 결합된 상태라면 족하다.

[0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 촉매 전극의 제조 방법을 설명하기 위한 흐름도이고, 도 2 및 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 촉매 전극의 제조 방법을 설명하기 위한 공정 순서도를 나타내는 도면이고, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 백금 증착 조건에 따른 촉매 전극 표면을 나타내는 전자투과현미경 사진이고, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 촉매 전극의 전기화학적 성능을 나타내는 그래프이다.

[0022] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 본 발명의 촉매 전극은 먼저, 이붕화 티타늄 파우더를 용매와 혼합하여 슬러리를 제조한다(S110). 이때, 이붕화 티타늄 파우더와 용매의 혼합 비율은 질량을 기준으로 1:10 일 수 있다. 여기서, 용매는 탈이온수(DI Water), 메탄올, 에탄올, n-프로필알콜, 이소프로필알콜(IPA), n-부틸알콜, sec-부틸알콜, t-부틸알콜 또는 이소부틸알콜; 1,6-헥산디올(1,6-hexanediol), 1,2-헥산디올(1,2-hexanediol), 에틸렌글리콜(Ethylene glycol), 디에틸렌글리콜, 트리에틸렌글리콜, 프로필렌글리콜, 부틸렌글리콜, 1,4-부탄디올, 1,2,4-부탄트리올, 1,5-펜탄디올, 1,2,6-헥산트리올, 트리메탄올프로판, 헥실렌글리콜, 글리세롤(glycerol), 아세톤, 메틸에틸케톤, 디아세톤알콜; 에틸아세테이트, 에틸 락테이트 등의 에스테르; 에틸렌글리콜 모노메틸 에테르, 에틸렌글리콜 모노에틸 에테르, 디에틸렌글리콜 메틸 에테르, 디에틸렌글리콜 에틸 에테르, 디에틸렌글리콜 모노부틸 에테르(diethylene glycol monobutyl ether), 디에틸렌글리콜 디에틸렌 에테르(diethylene glycol diethyl ether), 트리에틸렌글리콜 모노메틸 에테르, 트리에틸렌글리콜 모노에틸 에테르; 디메틸 술폭사이드, 테트라메틸렌술폰, 티오글리콜로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0023] 이때, 이붕화 티타늄 파우더가 용매와 잘 분산되도록 교반한다. 교반 시간과 세기는 교반기에 따라 다르며 열이 발생하지 않도록 잘 조절하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 초음파 교반기를 이용하여 10분 내지 30분 동안 교반할 수 있다.

[0024] 그리고, 슬러리를 건조하여 이붕화 티타늄 지지체를 형성한다(S120). 구체적으로, 교반된 슬러리를 폴리머 필름 위에 잘 분산시킨 뒤, 건조 과정을 거친다. 본 발명에서는 일 예로서 닥터 블레이드(doctor blade)를 사용하여 일정한 높이로 폴리이미드 필름 위에 분산하였다. 건조 시간과 온도는 용매에 따라 다르며, 진공상태에서 건조하는 것이 산소와의 반응이 일어나지 않기에 바람직하다. 예를 들어, 50 내지 100 온도의 오븐에서 6 내지 24시간 건조할 수 있다.

[0025] 이후, 건조된 이붕화 티타늄 지지체 상에 슬러리 상에 백금 나노입자층을 증착시킨다(S130). 여기서, 백금 나노입자층은 백금 나노입자층이 물리기상증착법(Physical Vapor Deposition, PVD), 화학기상증착법(Chemical Vapor Deposition, CVD), 및 원자층박막증착법(Atomic Layer Deposition, ALD) 중 어느 하나의 증착 방법으로 이붕화 티타늄 지지체 상에 증착될 수 있다.

[0026] 한편, 티타늄(Ti)과 붕소(B)는 각각 지구내의 매장량이 풍부하여 이붕화 티타늄의 가격이 저렴하며, 산성 조건에서 열적 안정성/부식 저항을 가진다는 장점을 가지고 있어 고분자 전해질 연료전지의 캐소드에 활용될 수 있는 높은 가능성을 가지고 있다. 하지만, 이러한 장점에도 불구하고 이붕화 티타늄은 인서트(insert)한 특성을 가지기 때문에 고분자 전해질 연료전지에서 주로 사용되는 촉매인 백금이 표면에 잘 담지 되지 않으며 분산이 잘 되지 않아 낮은 전기화학 촉매 활성도를 가지게 된다는 단점이 존재하여 많은 연구가 진행되지 않았지만, 이러한 문제점을 극복하기 위한 방법으로, 이붕화 티타늄 지지체의 표면에 퍼플루오로술폰산 나피온(perfluorosulfonic acid nafion)을 합성시킨 뒤, 백금을 합성할 수 있다.

[0027] 또한, 다른 실시예로, 이붕화 티타늄 지지체의 표면에 플라즈마 처리를 통해 표면에 작용기를 생성하여, 백금이 담지 되기 쉬운 환경을 조성하였다. 이는 CNT 또는 CNF를 지지체로 사용할 때 백금을 담지시키기 위해 주로 활용되는 방법으로, CNT와 CNF 또한 비활성 특성으로 인해 백금이 잘 담지 되지 않아 O_2 플라즈마 처리를 사용한 표면개질로 백금의 담지량을 증가시킬 수 있다.

[0028] 더욱 바람직하게, 원자층박막증착법을 이용하여 백금을 증착시킬 수 있다. 원자층 증착법은 자체-제한(self-limiting)효과에 의해 화학기상증착법 중에서도 스텝 커버리지(step coverage)와 균일성(uniformity)이 매우 우수한 방법이다. 그렇기 때문에 박막의 두께제어가 용이하고, 박막을 균일하게 골고루 증착할 수 있다. 이에, 원자층박막증착법을 이용하여 백금을 이붕화 티타늄 지지체 상에 균일하게 증착할 수 있다.

[0029] 일 예로, 원자층박막증착법을 이용하여 백금 나노입자를 이붕화 티타늄 지지체 상에 증착하였다. 이때, 백금 전구체(precursor)로 $MeCpPtMe_3$를, 반응물(reactant)로 O_2가 사용될 수 있다. 한편, 백금 나노입자의 직경은 예를 들어, 1~5nm 일 수 있다.

[0030] 한편, 이붕화 티타늄 지지체 상에 백금 나노입자층을 촉매 입자로 설명하였으나, 이에 한정되는 것은 아니며 그 이외에 백금-코발트(Pt-Co), 백금-니켈(Pt-Ni), 팔라듐(Pd), 금(Au), 은(Ag), 코발트(Co) 등의 금속 입자가 사용될 수 있다.

[0031] 이러한 제조 방법으로, 백금/이붕화 티타늄 지지체를 포함하는 캐소드 촉매 전극을 제조할 수 있다. 즉, 전기 전도도가 102 S/cm인 탄소보다 높은 105 S/cm의 값을 가지는 이붕화 티타늄(TiB_2) 지지체를 포함하는 촉매 전극을 제조할 수 있다.

[0032] 한편, 애노드 전극은 용매에 상용(commercial) Pt/C를 섞은 후, 폴리이미드 필름 상에 분산시켜 제조하였다. 그 후 건조 과정을 거쳐 애노드 전극을 제조할 수 있다.

[0034] 실시예 : Pt/TiB_2 촉매 전극의 제조

[0035] 이붕화 티타늄 파우더 300mg을 2700mg의 이소프로필알콜(IPA)에 넣고 초음파 교반기를 사용하여 30분간 교반하였다. 교반된 슬러리를 폴리이미드 필름위에 스포이드를 이용하여 떨어뜨린 뒤, 닥터 블레이드(doctor blade)를 사용하여 100의 높이로 일정하게 슬러리의 높이를 맞추었다. 그 뒤 70 온도의 오븐에서 24시간 건조를 진행하였다. 이렇게 하여 이붕화 티타늄 지지체층을 형성하였다.

[0036] 이 후, 원자층박막증착법을 이용하여 백금(Pt) 나노입자를 40cycle부터 60cycle까지 10cycle 간격으로 이붕화 티타늄 지지체 상에 증착하였다. 도 4을 참조하여, 이러한 결과는 백금/이붕화 티타늄(Pt/TiB_2) 촉매의 모폴로지(morphology)를 확인할 수 있다. 도 4와 같이, (a)는 백금 나노입자층이 40cycle 증착된 이붕화 티타늄 지지체이고, (b)는 백금 나노입자층이 50cycle 증착된 이붕화 티타늄 지지체이고, (c)는 백금 나노입자층이 60cycle 증착된 이붕화 티타늄 지지체이다. 결국, 백금 나노입자층이 이붕화 티타늄 지지체 상에 골고루 증착된 샘플을 얻을 수 있었다.

[0037] 즉, 샘플을 주사전자현미경(SEM)과 투과전자현미경(TEM)으로 특성화하였으며, ICP-AES를 사용하여 백금의 담지량을 분석하였다. 또한, 캐소드에는 백금/이붕화 티타늄(Pt/TiB_2) 촉매 전극을, 애노드에는 백금/탄소(Pt/C) 촉매 전극을 사용하여 CCM(Catalyst coated membrane)방식으로 연료전지(full-cell)를 제작한 뒤, 캐소드에에 백금/탄소(Pt/C) 촉매를 사용한 셀과 전기화학적 성능 및 내구성 비교를 진행하였다. 전기화학적 성능은 polarization curve 및 CV(Cyclic Voltammogram)로 평가하였고, AST(Accelerated Stress Test)를 진행하여 이붕화 티타늄 지지체를 포함하는 촉매 전극에 대한 내구성의 향상을 확인할 수 있었다.

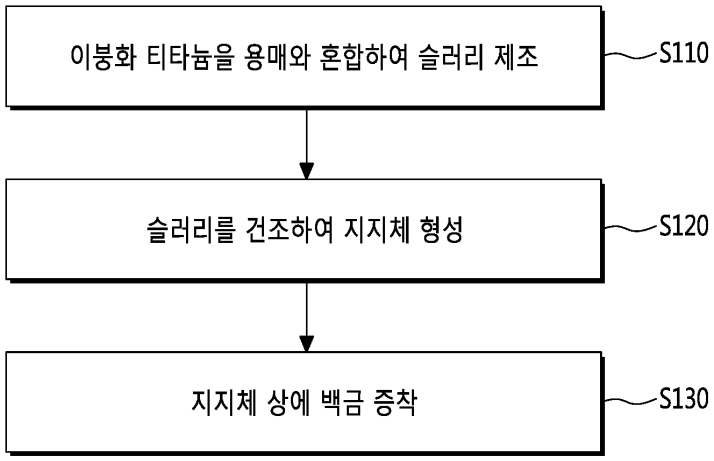
[0038] 도 5를 참조하면, 백금/이붕화 티타늄(Pt/TiB_2) 촉매 전극의 전기 화학 성능 데이터로 50 cycle에서 최적의 값을 얻는 촉매 전극을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 즉, I-P 그래프에서 가장 높은 성능을 나타내는 PPD(Peak Power Density)를 보았을 때, 백금(Pt) 나노입자층을 50cycle 증착한 백금/이붕화 티타늄(Pt/TiB_2) 촉매 전극은 PPD가 820mW/cm^2이상의 값을 가지며, 이 값은 백금/탄소(Pt/C) 촉매와 유사한 수치를 가짐을 확인할 수 있다.

[0039] 결국, 본 발명에 따른 촉매 전극은 산성 분위기에서의 촉매 내구성이 우수하며, 산소 환원 반응 또한 우수하여, 고분자 전해질 연료전지 등에 유용하게 적용할 수 있다.

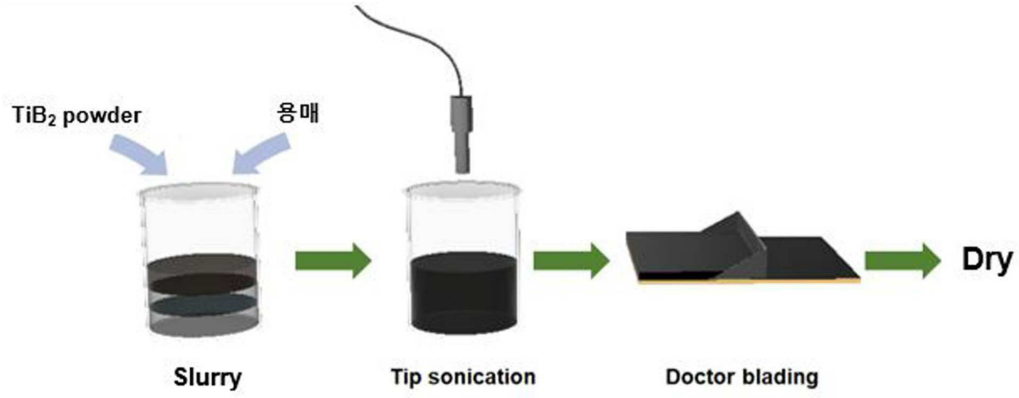
[0040] 지금까지 본 발명에 대하여 도면에 도시된 바람직한 실시예들을 중심으로 상세히 살펴보았다. 이러한 실시예들은 이 발명을 한정하려는 것이 아니라 예시적인 것에 불과하며, 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 전술한 설명이 아니라 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의해서 정해져야 할 것이다. 비록 본 명세서에 특정한 용어들이 사용되었으나 이는 단지 본 발명의 개념을 설명하기 위한 목적에서 사용된 것이지 의미한정이나 특허청구범위에 기재된 본 발명의 범위를 제한하기 위하여 사용된 것은 아니다. 본 발명의 각 단계는 반드시 기재된 순서대로 수행되어야 할 필요는 없고, 병렬적, 선택적 또는 개별적으로 수행될 수 있다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 특허청구범위에서 청구하는 본 발명의 본질적인 기술사상에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 변형 형태 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 균등물은 현재 공지된 균등물뿐만 아니라 장래에 개발될 균등물 즉 구조와 무관하게 동일한 기능을 수행하도록 발명된 모든 구성요소를 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

도면

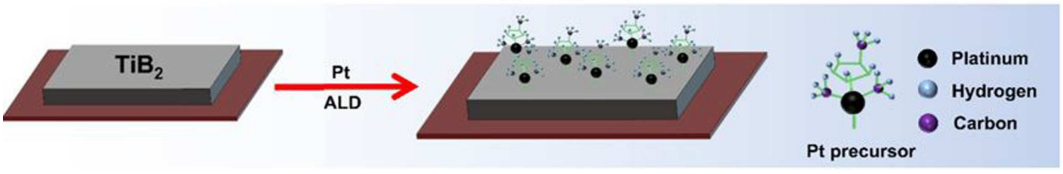
도면1



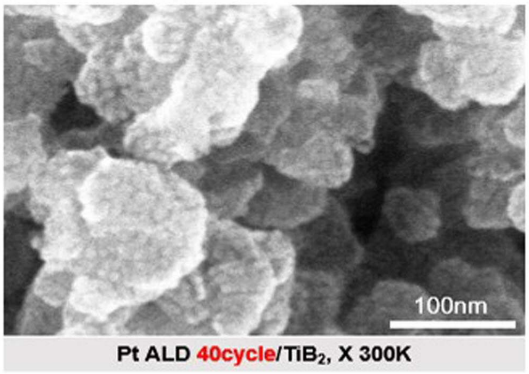
도면2



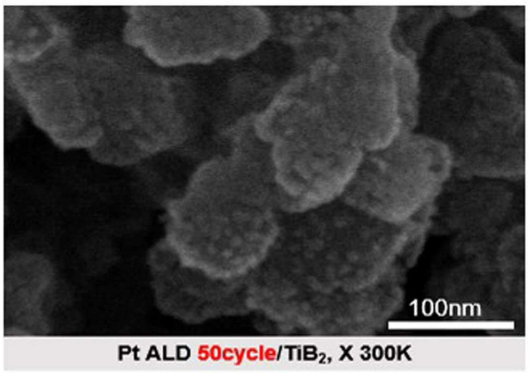
도면3



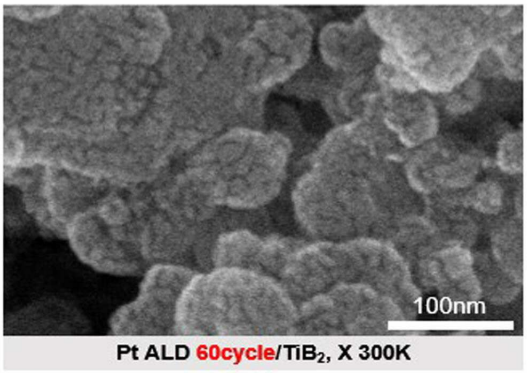
도면4


100nm
Pt ALD 40cycle/TiB2, X 300K

(a)

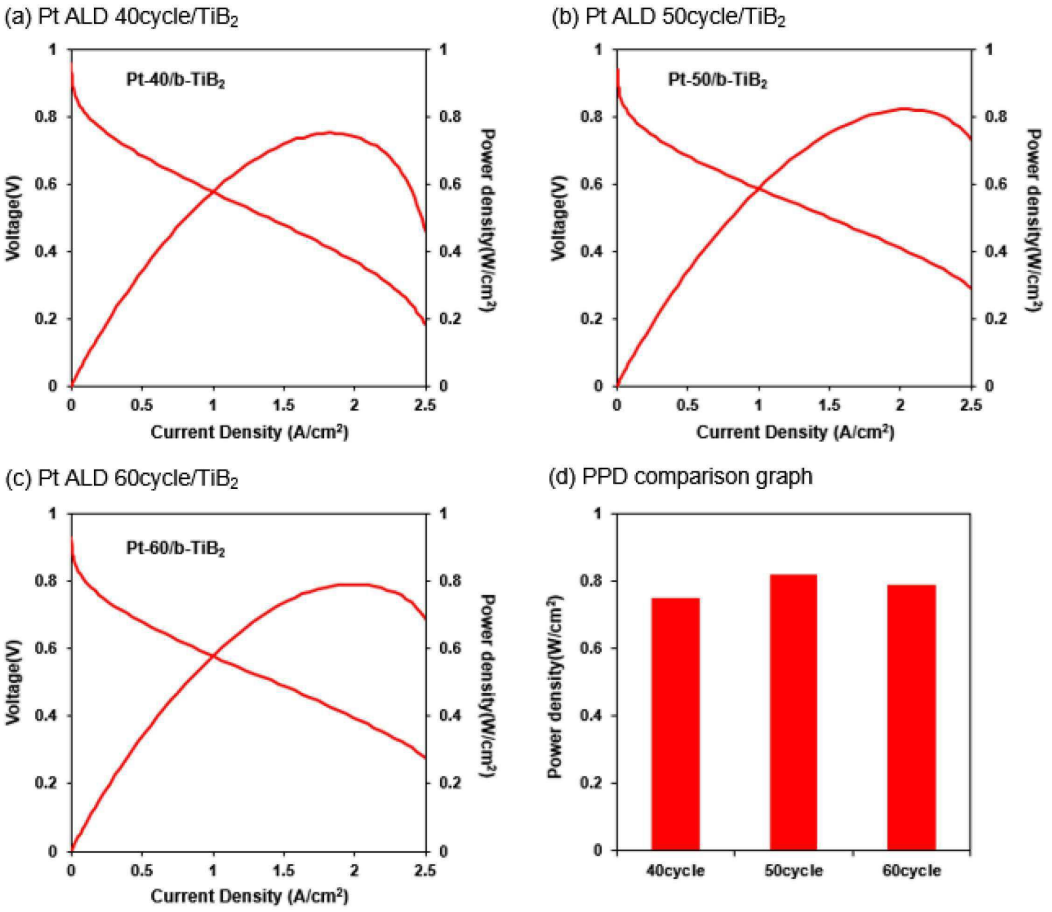

100nm
Pt ALD 50cycle/TiB2, X 300K

(b)


100nm
Pt ALD 60cycle/TiB2, X 300K

(c)

도면5


(a) Pt ALD 40cycle/TiB2
Pt-40/b-TiB2
Voltage(V)
Power density(W/cm2)
Current Density (A/cm2)
(b) Pt ALD 50cycle/TiB2
Pt-50/b-TiB2
Voltage(V)
Power density(W/cm2)
Current Density (A/cm2)
(c) Pt ALD 60cycle/TiB2
Pt-60/b-TiB2
Voltage(V)
Power density(W/cm2)
Current Density (A/cm2)
(d) PPD comparison graph
Power density(W/cm2)
40cycle
50cycle
60cycle