



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0116841
(43) 공개일자 2016년10월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B22F 9/24 (2006.01) B22F 1/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B22F 9/24 (2013.01)
B22F 1/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0045153
(22) 출원일자 2015년03월31일
심사청구일자 2015년03월31일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
최진섭
경기도 부천시 원미구 조마루로 212, 1202동 1202호(중동, 무지개마을 동신)
김선규
충청남도 홍성군 홍성읍 문화로80번길 32-14, 104동 303호(홍성읍, 경성큰마을아파트)
이윤희
인천광역시 강화군 불은면 불은남로 285
(74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 5 항

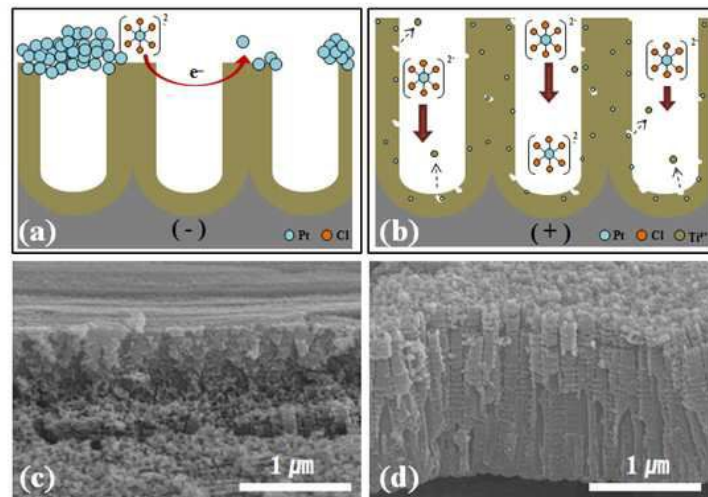
(54) 발명의 명칭 백금이 도핑된 금속산화물 나노튜브 제조방법

(57) 요약

본 발명은 전해질에 기재를 침지한 이후에 양극산화를 통하여 기재 상에 산화막을 형성하는 단계(제1단계); 및 백금염화물을 용매에 용해시킨 용액에 상기 산화막이 형성된 기재를 침지하고, 전압을 인가하여 상기 산화막에 백금을 도핑하는 단계(제2단계)를 포함하는 백금이 도핑된 금속산화물 나노튜브 제조방법을 제공한다.

따라서 고가의 귀금속인 백금의 사용량을 매우 감소시킨 금속산화물 나노튜브를 제조할 수 있다. 백금이 사용량이 저감되어 제조 효율이 매우 증가될 뿐만 아니라, 제조된 금속산화물 나노튜브는 종래의 타이타늄 옥사이드로 제조된 전극보다 매우 우수한 물분해 효율을 갖는다.

대표도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415133581

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술진흥원

연구사업명 지역혁신센터(열플라즈마_교비적립금)

연구과제명 2015년도 열플라즈마환경기술연구센터 성과활용과제(센터 적립금)

기 여 율 1/1

주관기관 인하대학교 산학협력단

연구기간 2013.03.01 ~ 2014.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

전해질에 기재를 침지한 이후에 양극산화를 통하여 기재 상에 산화막을 형성하는 단계(제1단계); 및 백금염화물을 용매에 용해시킨 용액에 상기 산화막이 형성된 기재를 침지하고, 전압을 인가하여 상기 산화막에 백금을 도핑하는 단계(제2단계)를 포함하는 백금이 도핑된 금속산화물 나노튜브 제조방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 기재는 타이타늄, 알루미늄, 및 텅스텐으로 이루어지는 군에서 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 백금이 도핑된 금속산화물 나노튜브 제조방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서, 상기 백금염화물은 클로로플라티닉 애시드(chloroplatinic acid; H_2PtCl_6), 암모니움 헥사클로로플라티네이트[Ammonium hexachloroplatinate; $(\text{NH}_4)_2(\text{PtCl}_6)$], 포테슘 헥사클로로플라티네이트(Potassium hexachloroplatinate; K_2PtCl_6), 및 소듐 헥사클로로플라티네이트(Sodium hexachloroplatinate; Na_2PtCl_6)으로 이루어지는 군에서 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 백금이 도핑된 금속산화물 나노튜브 제조방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서, 상기 제2단계에서 5 내지 20 V의 전압을 5 내지 30 초간 인가하는 것을 특징으로 하는 백금이 도핑된 금속산화물 나노튜브 제조방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서, 상기 제2단계 이후에 300 내지 550 °C에서 1 내지 3 시간 동안 열처리하여 결정화하는 단계를 더 포함하는 백금이 도핑된 금속산화물 나노튜브 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 물분해 전극으로 사용될 수 있는 나노튜브의 제조방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 산화막을 형성하고 상기 산화막에 백금을 분산시켜, 매우 낮은 과전압을 가지는 전극을 제조할 수 있는 백금이 도핑된 나노튜브 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 친환경 에너지원인 수소를 얻기 위한 방법으로 공업적으로 가장 많이 사용되는 것은 천연가스인 메탄을 고온, 고압에서 스팀으로 분해하는 방법[$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}_2$]이다. 이 방법에 의하여 전 세계 수소 생산량의 절반 가량이 생산되나 동시에 이산화탄소가 생성되기 때문에 지구온난화에 악영향을 미친다. 물의 전기분해 방식에 의한 수소 생산 방법이 이상적이나, 물을 전기적으로 분해하여 수소와 산소가스를 생성하기 위해서는 이론적으로 1.23 V(vs. NHE)의 전기적 에너지가 필요하며 실질적으로는 이론값 이상의 에너지가 필요하고, 전기분해 방식으로 수소를 생산하는 경우 양극에서 일어나는 산소발생 반응은 과전압이 상당히 높기 때문에 막대한 에너지 소모의 주원인이 되고 있으며, 이를 최소화하기 위하여 다양한 방법의 전극 개발연구가 진행되고 있다.

[0003] 한편 물을 수소와 산소로 분리하는 수전해 전극으로서 널리 사용되는 물질 중 타이타늄 옥사이드(titanium oxide)는 3.2 eV의 밴드갭을 가지고 있어, 자외선 영역에서 활성을 나타낼 수 있는 반도체 물질이다. 다른 물질에 비해 상대적으로 수용액에서의 안정성이 우수한 것으로 알려져 있어 물분해 전극으로 다양하게 연구되고 있다. 또한 상기 타이타늄 옥사이드를 기재로 하는 전극에 백금(Pt), 금(Au), 루테튬(Ru) 등의 금속을 도핑

(doping)하면 촉매 활성에 의해 전극의 성능을 증가시킬 수 있다.

[0004] 대한민국 등록특허 제0892099호에서는 타이타늄 다이옥사이드 지지체에 백금 촉매를 담지한 전극촉매를 이용하여 연료전지용 전극촉매의 제조방법을 개시한다. 상기 특허에서 타이타늄 다이옥사이드 지지체를 형성하고 백금(Pt)촉매를 담지하는 방법을 개시하나, 매우 고가의 백금을 20 wt% 내지 60 wt%로 포함하는 전극촉매를 제공함으로써 고가의 백금의 사용을 다량으로 사용하는 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은, 물분해 전극으로 사용되는 기재에 산화막을 형성하고 상기 산화막에 균일하게 금속산화물을 도핑하여 종래의 물분해 전극보다 귀금속의 사용량을 감소시켜 물분해 전극 제조의 공정의 효율성을 증가시키고, 보다 우수한 물분해 효율을 나타내는 백금이 도핑된 금속산화물 나노튜브 제조방법을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 전해질에 기재를 침지한 이후에 양극산화를 통하여 기재 상에 산화막을 형성하는 단계(제1단계); 및 백금염화물을 용매에 용해시킨 용액에 상기 산화막이 형성된 기재를 침지하고, 전압을 인가하여 상기 산화막에 백금을 도핑하는 단계(제2단계)를 포함하는 백금이 도핑된 금속산화물 나노튜브 제조방법을 제공한다.

[0007] 또한 상기 기재는 타이타늄, 알루미늄, 및 텅스텐으로 이루어지는 군에서 선택된 어느 하나일 수 있다.

[0008] 또한 상기 백금염화물은 클로로플래티닉 애시드(chloroplatinic acid; H_2PtCl_6), 암모니움 헥사클로로플래티네이트[Ammonium hexachloroplatinate; $(NH_4)_2[(PtCl_6)]$], 포테슘 헥사클로로플래티네이트(Potassium hexachloroplatinate; K_2PtCl_6), 및 소듐 헥사클로로플래티네이트(Sodium hexachloroplatinate; Na_2PtCl_6)으로 이루어지는 군에서 선택된 어느 하나일 수 있다.

[0009] 또한 상기 제2단계에서 5 내지 20 V의 전압을 5 내지 30 초간 인가할 수 있다.

[0010] 또한 상기 제2단계 이후에 300 내지 550 °C에서 1 내지 3 시간 동안 열처리하여 결정화할 수 있다.

발명의 효과

[0011] 본 발명에 따른 백금이 도핑된 금속산화물 나노튜브 제조방법에 의하면, 고가의 귀금속인 백금의 사용량을 매우 감소시킨 금속산화물 나노튜브를 제조할 수 있다. 백금이 사용량이 저감되어 제조 효율이 매우 증가될 뿐만 아니라, 제조된 금속산화물 나노튜브는 종래의 타이타늄 옥사이드로 제조된 전극보다 매우 우수한 물분해 효율을 갖는다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 백금이 도핑된 금속산화물 나노튜브의 제조방법을 나타낸 공정흐름도이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 전기충격법에 의한 타이타늄 옥사이드의 모식도 및 주사전자현미경(scanning electron microscope) 사진이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 2 mM의 클로로플래티닉 애시드에서 10초간 다른 전압을 인가한 이후의 타이타늄 옥사이드의 SEM 사진 및 전압에 따른 전류밀도(CV) 그래프이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 백금염화물의 농도에 따른 백금의 도핑량을 나타낸 질량 분석 그래프이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 백금염화물에 따른 전류밀도의 변화량을 나타낸 그래프이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 백금이 도핑된 금속산화물 나노튜브의 X선 광전자 분광 그래프(X-ray Photoelectron Spectroscopy)이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 백금이 도핑된 금속산화물 나노튜브의 이차이온질량분석(secondary ion mass spectrometry) 그래프이다.

도 8은 본 발명의 실시예에 따른 백금이 도핑된 금속산화물 나노튜브의 전류전압(CV) 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0013] 본 발명자는 물을 수소와 산소와 분리하는 물분해 전극에 사용될 수 있는 타이타늄 옥사이드에 백금 촉매를 도핑하는 방법을 연구하던 중에 백금염화물을 사용하여 고가의 백금을 종래보다 적은 양을 사용하여 도핑하여도 기존의 망간 또는 루테튬이 도핑된 타이타늄 옥사이드 전극보다 우수한 물분해 효율을 나타내는 것을 확인하여 본 발명을 완성하였다.
- [0014] 이하, 본 발명을 보다 상세하게 설명한다.
- [0015] 본 발명은 전해질에 기재를 침지한 이후에 양극산화를 통하여 기재 상에 산화막을 형성하는 단계(제1단계); 및 백금염화물을 용매에 용해시킨 용액에 상기 산화막이 형성된 기재를 침지하고, 전압을 인가하여 상기 산화막에 백금을 도핑하는 단계(제2단계)를 포함하는 백금이 도핑된 금속산화물 나노튜브 제조방법을 제공한다.
- [0016] 상기 기재는 타이타늄, 알루미늄, 및 텅스텐으로 이루어지는 군에서 선택된 어느 하나일 수 있으며, 특히 타이타늄을 기재로 하여 양극산화하는 경우에 타이타늄 옥사이드(TiO_2) 산화막이 형성될 수 있다.
- [0017] 상기 산화막은 양극산화를 통해 나노튜브 형태로 형성될 수 있으며, 타이타늄 옥사이드 나노튜브는 백금염화물이 용해된 용액 하에서 전압을 인가하는 경우 촉매로써 백금이 균일하게 도핑될 수 있다.
- [0018] 상기 타이타늄 기재는 양극산화 전에 유기용매 및 증류수로 10 내지 20분간 초음파로 세척하고, 질소 분위기 하에서 건조할 수 있다.
- [0019] 상기 세척과 건조과정을 거치지 않는 경우에는 타이타늄 기재 상에 오염물질로 인하여 양극산화시 산화막 내의 나노튜브에 균열이 발생할 수 있다.
- [0020] 특히 20 V의 전압에서는 타이타늄 옥사이드의 나노튜브 하부 배리어층(barrier)의 두께가 30 nm 이상으로 증가되는 효과를 나타낼 수 있다.
- [0021] 상기 제1단계의 양극산화단계 전압 20V로 만들 때 하부 배리어층 두께가 약 30nm가 되고, 양극산화를 제조할 때의 전압보다 낮은 전압을 인가하여 전압충격(potential shock)을 주는 경우에는 전압 10V로도 백금의 도핑이 가능하다.
- [0022] 종래에 루테튬, 망간을 도핑하는 경우에는 100 V 이상의 고전압을 인가하여 전압충격을 주는 경우에만 도핑이 가능하였으나, 백금염화물에 침지된 기재에 전압을 인가하는 경우에는 10 V의 낮은 전압에서도 백금이 균일하게 도핑되었다.
- [0023] 상기 백금염화물은 클로로플래티닉 애시드(chloroplatinic acid; H_2PtCl_6), 암모니움 헥사클로로플래티네이트[Ammonium hexachloroplatinate; $(\text{NH}_4)_2(\text{PtCl}_6)$], 포테슘 헥사클로로플래티네이트(Potassium hexachloroplatinate; K_2PtCl_6), 및 소듐 헥사클로로플래티네이트(Sodium hexachloroplatinate; Na_2PtCl_6)으로 이루어지는 군에서 선택된 어느 하나일 수 있다.
- [0024] 여기서 상기 클로로플래티닉 애시드는 1 내지 5 mM일 수 있다.
- [0025] 1 mM 미만에서는 백금이 상기 타이타늄 옥사이드 산화막에 충분하게 도핑되지 못하며, 5 mM을 초과하는 경우에 백금의 도핑량이 오히려 적어지는 경향을 나타낼 수 있다.
- [0026] 종래의 물분해 전극의 촉매에 있어서, 루테튬 또는 망간을 전구체로 하여 도핑하는 경우에는 나노튜브 상부 끝단에 루테튬산화물 이온(RuO_4^{2-}) 또는 망간산화물 이온(MnO_4^{2-})이 집중되어 도핑되는 경향을 나타내나, 백금염화물을 사용하는 경우에는 백금염화물 이온이 나노튜브 전체에 균일하게 도핑될 수 있다.
- [0027] 또한 상기 제2단계에서 5 내지 20 V의 전압을 5 내지 30 초간 인가할 수 있다.
- [0028] 상기 백금염화물을 용해시킨 용액에서 20 V이상에서 30 V, 50 V의 전압을 인가하는 경우에는 전극 상의 산화막이 손상될 수 있다.
- [0029] 상기 백금염화물이 용해되는 경우 염소이온(Cl^-)과 백금염화물 이온으로 해리될 수 있으며, 염소이온은 높은 전압에서 산화막을 깨뜨리는 경향을 나타내므로 20V 이상에서 타이타늄 옥사이드 내의 나노튜브가 파괴될 수

있다.

[0030] 또한 상기 제2단계 이후에 300 내지 550 °C에서 1 내지 3 시간 동안 열처리하여 결정화할 수 있다.

[0031] 상기 범위를 벗어나는 경우에는 기재 상에 타이타늄 옥사이드가 안정화되지 못하여 산화막이 분리되는 문제가 발생할 수 있다.

[0032] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 바람직한 실시예를 제시하나, 하기 실시예는 본 발명을 예시하는 것일 뿐 본 발명의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.

[0033] <실시예 1> 백금이 도핑된 나노튜브 제조

[0034] 1. 산화막 형성

[0035] 기재인 타이타늄 호일(0.127 mm, 순도 99.7%)을 에탄올, 증류수로 각각 15분 동안 초음파 세척을 한 뒤, 질소 분위기에서 건조시켰다. 2전극 전기화학 장치로 양극(anode)에 타이타늄 호일을 배치하고 음극(cathode)에 메쉬(mesh) 형태의 백금을 두었다. 1 M 인산(H_3PO_4), 1 M 수산화나트륨($NaOH$), 및 0.3 wt.% 불산(HF)의 수용액을 전해질로 하고 20 V 전압으로 3시간 동안 양극산화하여 직경 약 150 nm, 벽두께 약 30 nm 크기를 갖는 타이타늄 옥사이드 산화막을 형성하였다.

[0036] 2. 백금 촉매 도핑

[0037] 클로로플래티닉 애시드(H_2PtCl_6)을 용매에 용해시켜 백금이 음이온으로 존재하는 전해질 용액을 제조하였다.

[0038] 상기 타이타늄 옥사이드가 형성된 타이타늄 기재를 양극에 배치하고, 백금 메쉬를 양극으로 하여 2전극 전기화학 장치를 설치하였다.

[0039] 백금염화물 이온($PtCl_6^{2-}$)이 생성된 용액에서 10 초간 10 V의 전압을 인가하여 백금을 도핑하였다.

[0040] 도핑이 완료된 타이타늄 기재를 450 °C에서 1시간 동안 열처리 하여 결정상태로 제조하였다.

[0041]

[0042] <실험예 1> 물전해 전극의 물성

[0043] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 백금이 도핑된 금속산화물 나노튜브의 제조방법을 나타낸 공정흐름도이다.

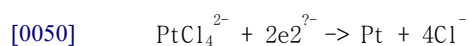
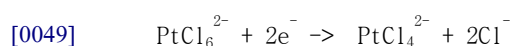
[0044] 도면을 참조하면, 백금이 도핑된 금속산화물 나노튜브를 제조한 이후에 물성을 분석하였다.

[0045] 1. 클로로플래티닉 애시드를 이용한 백금의 도핑

[0046] 클로로플래티닉 애시드(Chloroplatinic acid, H_2PtCl_6)은 백금을 도금할 수 있는 시약으로 사용되며, 도금을 하고자 하는 전극을 (-)극에 배치하여 환원반응을 통하여 백금을 도금할 수 있다.

[0047] 상기 환원반응은 하기 반응식 1에 의해 도금될 수 있다.

[0048] [반응식 1]



[0051] 상기 반응을 통해 백금이 나노튜브 상에 도금될 수 있으나, 튜브 상부 끝단에 백금이 쌓이는 형태이기 때문에 나노튜브의 장점을 저하시키고, 전압충격법(potential shock)보다 낮은 산소생성반응(oxygen evolution reaction; 이하'OER')을 나타내었다.

- [0052] 전압충격법은 도핑하고자 하는 전극을 (+)극에 배치하고 반응시키는 것이며, 나노튜브인 타이타늄 옥사이드에서 타이타늄 이온(Ti^{4+})이 산화반응에 의해 배출되는 동시에 백금염화물 이온($PtCl_6^-$)이 전기장에 의해 나노튜브 쪽으로 도핑된다.
- [0053] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 전기충격법에 의한 타이타늄 옥사이드의 모식도 및 주사전자현미경(scanning electron microscope) 사진이다.
- [0054] 도 2의 (a), (c)는 백금을 종래의 도금 방법(cathode deposition)을 통해 타이타늄 나노튜브 상에 도금하는 과정을 나타낸 모식도 및 주사전자현미경(scanning electron microscope; 이하'SEM') 사진이다.
- [0055] 도면을 참조하면 백금 이온이 나노튜브 상부 끝단에 쌓이게 되어 나노튜브 내로 균일하게 침투하지 못하고, 나노튜브의 표면적, 형태 등이 변형되었다.
- [0056] 도 2의 (b), (d)는 전압충격법을 백금을 나노튜브에 도핑한 모식도 및 SEM 사진이다.
- [0057] 도면을 참조하면 전압충격법을 통해 백금 이온이 도핑되는 경우에는 나노튜브의 형태가 변하지 않는 것을 확인하였다.
- [0058] 한편 전압충격법을 통해 전압을 인가하는 경우에 최적의 전압을 확인하기 위해 전압을 변화하여 인가하였다.
- [0059] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 2 mM의 클로로플래티닉 애시드에서 10초간 다른 전압을 인가한 이후의 타이타늄 옥사이드의 SEM 사진 및 전압에 따른 전류밀도(CV) 그래프이다.
- [0060] 도 3(a)는 타이타늄 옥사이드 나노튜브를 형성한 이후에 2 mM의 클로로플래티닉 애시드 전해질에서 10 초간 10 V의 전압을 인가한 것이고, 도 3(b)는 30 V, 도 3(c)는 50 V의 전압을 인가한 것이다.
- [0061] 전압이 증가할수록 전극 표면에 손상이 생겼으며, 이것은 전해질 안에 존재하는 염소이온이 높은 공격성을 가져서 전압을 인가할 때 나노튜브를 파괴하기 때문이다.
- [0062] 도 3(a)에서 10 V의 조건에서 전극 표면에 손상이 없는 것을 확인하였으며, 오른쪽 CV 그래프에서도 10 V에서 수소발생반응(hydrogen evolution reaction; 이하'HER') 및 OER에서 가장 낮은 과전압과 높은 전류밀도를 나타내는 것을 확인하였다.
- [0063] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 백금염화물의 농도에 따른 백금의 도핑량을 나타낸 질량 분석 그래프이다.
- [0064] 도면을 참조하면 ICP-MS 분석 결과 4 mM을 초과하는 농도에서는 도핑된 백금이 오히려 감소되는 것을 확인하였고, 2 mM에서 가장 높은 도핑량을 보였다.
- [0065] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 백금염화물에 따른 전류밀도의 변화량을 나타낸 그래프이다.
- [0066] 도면을 참조하면 CV 측정결과 2 mM에서 HER, OER 모두 가장 낮은 과전압과, 높은 전류밀도를 보였다.
- [0067] 따라서 최적의 조건은 2 mM 클로로플래티닉 애시드를 전해질로 하여, 10 초간 10 V를 인가하는 경우였다.
- [0068] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 백금이 도핑된 금속산화물 나노튜브의 X선 광전자 분광 그래프(X-ray Photoelectron Spectroscopy)이고, 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 백금이 도핑된 금속산화물 나노튜브의 이차이온질량분석(secondary in mass spectrometry) 그래프이다.
- [0069] 도면을 참조하면, X선 광전자 분광 결과 그래프에서 결합에너지 영역에서 백금을 나타내는 피크를 나타내었다. 또한 타이타늄 옥사이드 나노튜브를 타이타늄 기재에서 분리한 후 나노튜브 하부(bottom)에서 이차이온질량분석 결과 초반에는 백금이 검출되지 않다가 약 500 초 이후에 백금이 나타나는 것을 확인하였다. 이는 전압충격으로 백금이 도핑될 때 타이타늄 옥사이드 산화막 깊은 곳까지 백금이 도핑되는 것이 아니라 일정 영역까지 침투되는 것을 나타내었다.
- [0070] 2. 물분해 결과
- [0071] 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 백금이 도핑된 금속산화물 나노튜브의 전류전압(CV) 그래프이다.
- [0072] 도면을 참조하면 2 mM 클로로플래티닉 애시드에서 10 V로 10 초간 전압을 인가하여 최종적으로 백금을 도핑한 나노튜브를 여러 샘플과 비교한 그래프에서 왼쪽부분은 수소가 발생하는 HER, 오른쪽은 산소가 발생하는 OER 영

역이다.

[0073] 대조군으로 아무 처리를 하지 않은 타이타늄, 나노튜브만을 성장시킨 타이타늄 옥사이드 나노튜브(TiO_2 nanotube), 백금을 도핑한 타이타늄 옥사이드 나노튜브(Pt doped TiO_2 nanotube), 음극(cathodic) 도금으로 만든 증착 타이타늄 나노튜브(Deposited TiO_2 nanotube), 및 순수 백금 금속을 선택하였다.

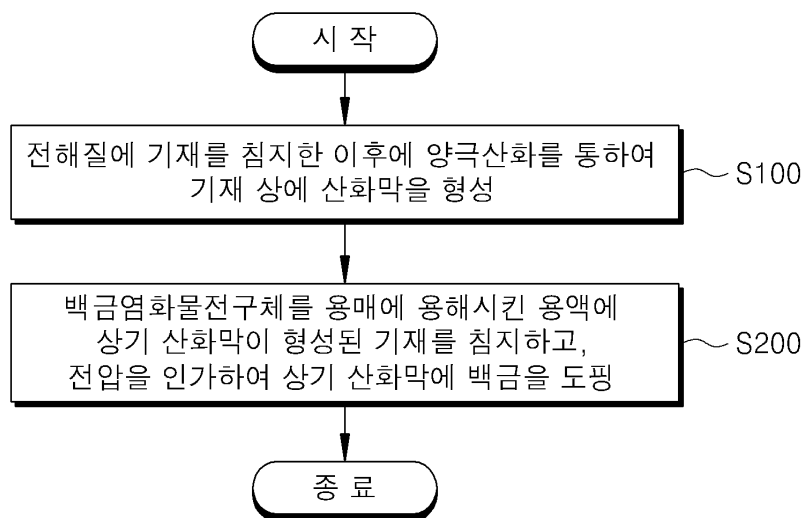
[0074] 순수 백금이 가장 낮은 과전압과 높은 전류밀도를 보였고, 이를 가장 유사한 결과는 실시예 1의 백금을 도핑한 타이타늄 옥사이드 나노튜브인 것을 확인하였다.

[0075] 이상으로 본 발명에 따르면 2 mM의 적은 농도로 매우 적은 양의 백금을 사용하여 10초의 짧은 시간 동안 전압충격법으로 타이타늄 옥사이드 산화막에 백금을 균일하게 도핑시켜 매우 우수한 효율을 나타내는 물분해 전극을 제조하였다.

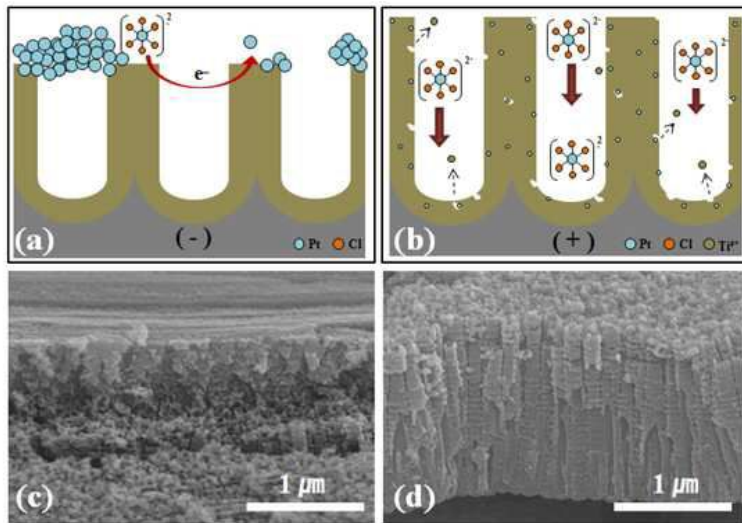
[0076] 본 발명은 한정된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

도면

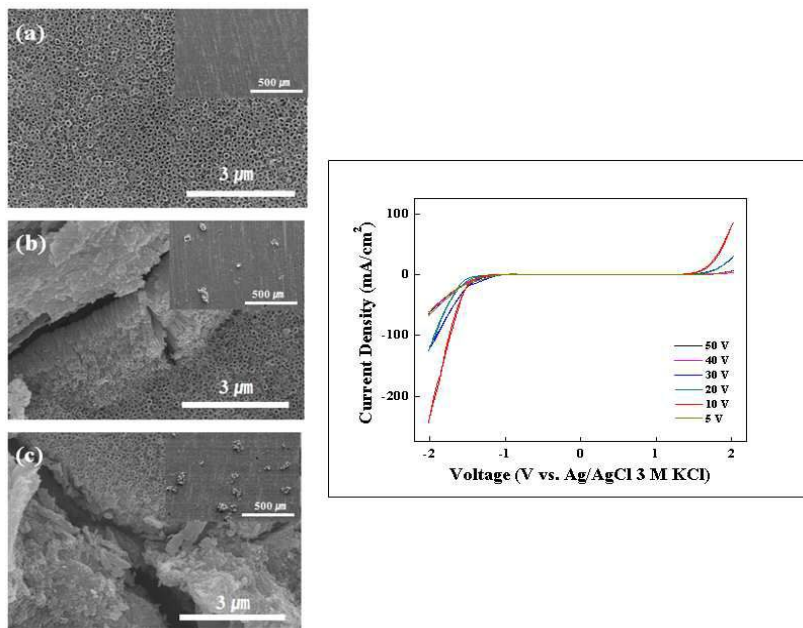
도면1



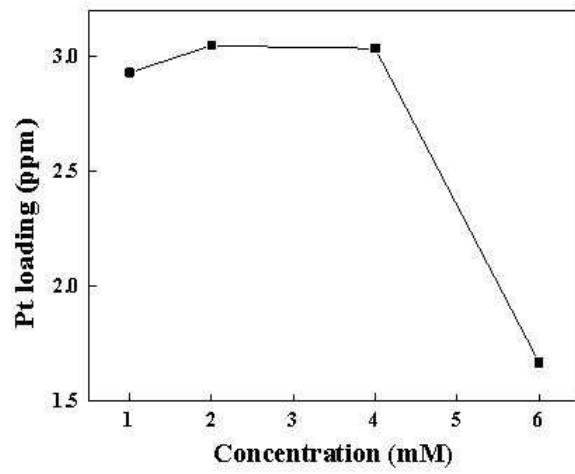
도면2



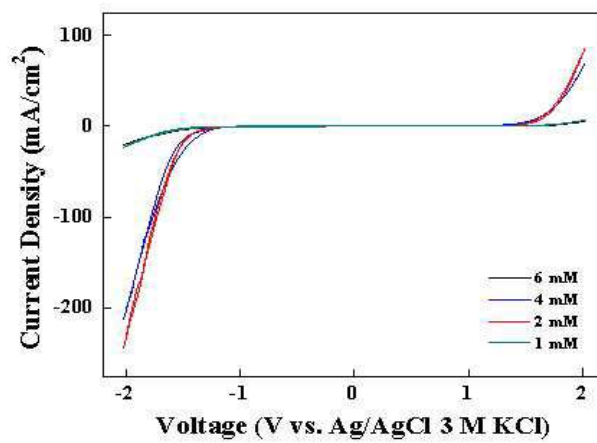
도면3



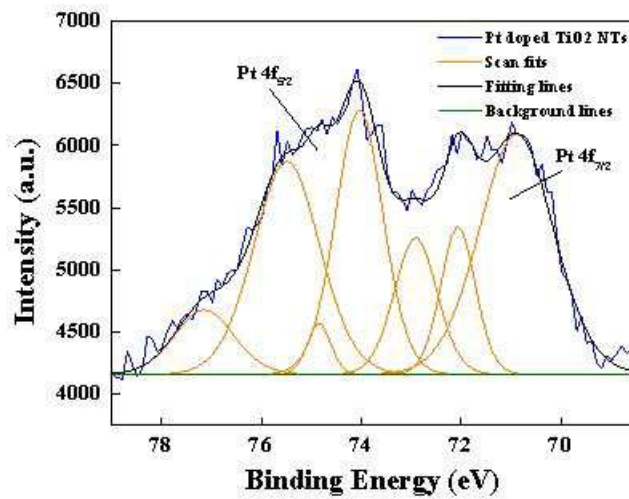
도면4



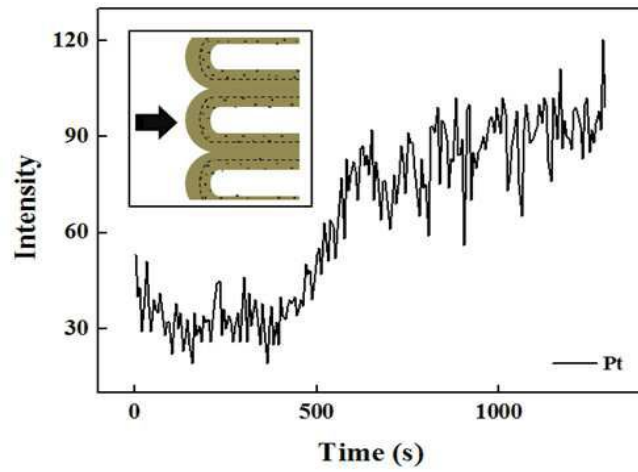
도면5



도면6



도면7



도면8

