



등록특허 10-2326349



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년11월12일

(11) 등록번호 10-2326349

(24) 등록일자 2021년11월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01M 4/86 (2006.01) H01M 4/92 (2006.01)

H01M 4/96 (2006.01) H01M 8/0234 (2016.01)

H01M 8/0245 (2016.01)

(52) CPC특허분류

H01M 4/8615 (2013.01)

H01M 4/92 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0059807

(22) 출원일자 2019년05월22일

심사청구일자 2020년03월24일

(65) 공개번호 10-2020-0134407

(43) 공개일자 2020년12월02일

(56) 선행기술조사문헌

KR101892687 B1\*

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 9 항

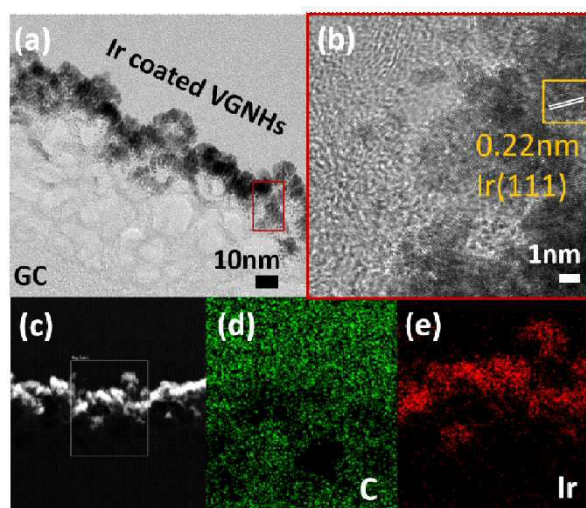
심사관 : 정승두

(54) 발명의 명칭 다기능성 전극

## (57) 요약

본 발명은 산소 또는 수소를 산성 또는 염기성 환경을 가리지 않고 우수한 효율로 발생시킬 수 있는 다기능성 전극에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

*H01M 4/926* (2013.01)  
*H01M 4/96* (2013.01)  
*H01M 8/0234* (2013.01)  
*H01M 8/0245* (2013.01)  
*H01M 2250/20* (2013.01)  
*H01M 2300/0005* (2013.01)  
*H01M 2300/0014* (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

김지언, '금속 및 금속산화물 나노구조체의 전기화학적 촉매활성 연구', 이화여자대학교 대학원, 석사학위 논문, 2013년6월, 1-111쪽\*  
 JP2013151392 A  
 KR1020140105668 A  
 KR1020160120965 A  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345277806
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공학학술연구기반구축(R&D)
연구과제명	그래핀연구소
기 여 율	1/1
과제수행기관명	세종대학교
연구기간	2018.03.01 ~ 2019.02.28

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

기관 상에 위치한 수직 배향 그래핀 및 상기 그래핀 상에 위치하는 이리듐(Ir) 촉매층을 포함하는 산소 또는 수소 발생 겸용 전극.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 기관은 수평 배향 그래핀, 유리상 탄소(glassy carbon), Ni, Co, Fe, Pt, Pd, Au, Al, Cr, Cu, Mn, Mo, Rh, Ir, Ta, Ti, W, U, V, Zr, Si, GaAs, GaN, 실리카( $\text{SiO}_2$ ), 석영(quartz), 유리(glass), 사파이어( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), 마이카(mica), PI(polyimide), PEEK(polyetheretherketone), PES(polyethersulfone), PEI(polyetherimide), PC(polycarbonate) 및 PEN(polyethylenenaphthalate)으로 이루어진 군에서 선택된 적어도 하나로 이루어진 것인 전극.

#### 청구항 3

청구항 1에 있어서, 상기 그래핀은 기관으로부터의 높이가 5 내지 200 nm 인 전극.

#### 청구항 4

삭제

#### 청구항 5

청구항 1에 있어서, 상기 이리듐(Ir) 촉매층은 1 내지 30 nm 의 두께인 전극.

#### 청구항 6

청구항 1에 있어서, 상기 산소 또는 수소는 산성 또는 염기성 전해질 내에서의 산화-환원 반응 산물인 전극.

#### 청구항 7

청구항 6에 있어서, 상기 산성 또는 염기성 전해질은  $\text{H}_2\text{O}$ , KOH,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HClO}_4$ , NaOH 또는 이들의 혼합물인 전극.

#### 청구항 8

청구항 1 내지 3 및 5 내지 7 중 어느 한 항의 전극을 적어도 하나 포함하는 연료전지.

#### 청구항 9

청구항 8에 있어서, 상기 연료전지는 음극과 양극이 모두 상기 전극을 포함하는 연료전지.

## 청구항 10

청구항 8의 연료전지를 포함하는 동력장치.

## 발명의 설명

## 기술 분야

[0001] 본 발명은 산소 또는 수소를 산성 또는 염기성 환경을 가리지 않고 우수한 효율로 발생시킬 수 있는 다기능성 전극에 관한 것이다.

## 배경 기술

[0003] 물의 전기분해에 사용되는 촉매들은 수소발생반응(hydrogen evolution reaction)에만 특화되어 있거나 또는 산소발생반응(oxygen evolution reaction)에 특화되어 있다. 또한 전해질이 산성이나 염기성이나에 따라 활성도 및 안정성이 매우 크게 바뀌어 실제 전해조(electrolyzer)의 경우 여러 종류의 촉매를 필요로 한다. 일부 촉매의 경우 산성도에 무관하게 수소 또는 산소발생반응이 뛰어난 경우도 있고, 특정 산성도(산 또는 염기)에서 수소 및 산소발생반응에 모두 쓰이는 경우도 있다. 그러나 모든 경우에서 뛰어난 활성도를 보이는 촉매는 아직까지 발명되지 않았다.

## 선행기술문헌

## 특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 한국등록특허 1326510호

## 발명의 내용

## 해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 산소 또는 수소를 산성 또는 염기성 환경을 가리지 않고 우수한 효율로 발생시킬 수 있는 다기능성 전극을 제공함에 그 목적이 있다.

## 과제의 해결 수단

[0008] 1. 기관 상에 위치한 수직 배향 그래핀 및 상기 그래핀과 전기적으로 연결된 이리듐(Ir) 촉매를 포함하는 산소 또는 수소 발생 겸용 전극.

[0009] 2. 위 1에 있어서, 상기 기관은 수평 배향 그래핀, 유리상 탄소(glassy carbon), Ni, Co, Fe, Pt, Pd, Au, Al, Cr, Cu, Mn, Mo, Rh, Ir, Ta, Ti, W, U, V, Zr, Si, GaAs, GaN, 실리콘(SiO<sub>2</sub>), 석영(quartz), 유리(glass), 사파이어(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 마이카(mica), PI(polyimide), PEEK(polyetheretherketone), PES(polyethersulfone), PEI(polyetherimide), PC(polycarbonate) 및 PEN(polyethylenenaphthalate)으로 이루어진 군에서 선택된 적어도 하나로 이루어진 것인 전극.

[0010] 3. 위 1에 있어서, 상기 그래핀은 기관으로부터의 높이가 5 내지 200 nm 인 전극.

[0011] 4. 위 1에 있어서, 상기 이리듐(Ir) 촉매는 상기 그래핀 상에 위치하는 전극.

[0012] 5. 위 4에 있어서, 상기 이리듐(Ir) 촉매는 1 내지 30 nm 의 두께인 전극.

[0013] 6. 위 1에 있어서, 상기 산소 또는 수소는 산성 또는 염기성 전해질 내에서의 산화-환원 반응 산물인 전극.

[0014] 7. 위 6에 있어서, 상기 산성 또는 염기성 전해질은 H<sub>2</sub>O, KOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HClO<sub>4</sub>, NaOH 또는 이들의 혼합물인 전극.

[0015] 8. 위 1 내지 7 중 어느 한 항의 전극을 적어도 하나 포함하는 연료전지.

[0016] 9. 위 8에 있어서, 상기 연료전지는 음극과 양극이 모두 상기 전극을 포함하는 연료전지.

[0017] 10. 위 8의 연료전지를 포함하는 동력장치.

### 발명의 효과

[0019] 본 발명의 다기능성 전극은 산소 또는 수소를 산성 또는 염기성 환경을 가리지 않고 우수한 효율로 발생시킬 수 있어, 특정 환경에 특정 전극을 사용해야만 하는 종래 기술상의 비효율성을 극복할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 본 발명 전극의 TEM 구조 분석 결과이다.

도 2는 본 발명 전극(Ir\_VG)의  $H_2SO_4$  또는 KOH 환경에서의 수소 발생(상행)또는 산소 발생(하행) 능력을 각각 Pt/C 및  $IrO_2$ 와 각각 비교한 결과이다.

도 3은  $H_2SO_4$  및 KOH 각각의 환경에 본 발명 전극(Ir\_VG)을 각각 산소 및 수소 발생 전극으로서, 양 전극으로 활용한 시스템의 전기화학적 특성 및 사용된 촉매의 양을 기준으로 계산된 TOF(Turnover frequency) 및 mass activity 결과이다.

도 4는 본 발명 전극의 반복적인 전기화학반응에 대한 안정성 및 시간에 대한 안정성(삽입도)을 나타낸 것이다.

도 5는 본 발명 전극의 반응 전후 XPS(X-ray photoelectron spectroscopy) 분석 결과를 나타낸 것이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 이하, 본 발명을 상세히 설명한다.

[0024] 본 발명은 기판 상에 위치한 수직 배향 그래핀 및 상기 그래핀과 전기적으로 연결된 이리듐(Ir) 촉매를 포함하는 산소 또는 수소 발생 겸용 전극을 제공한다.

[0025] 상기 기판은 수직 배향 그래핀을 위치시킬 수 있고, 전기화학적 전극으로 사용됨에 문제가 없는 것이라면 특별히 제한은 없고, 구체적으로는 수평 배향 그래핀, 유리상 탄소(glassy carbon), Ni, Co, Fe, Pt, Pd, Au, Al, Cr, Cu, Mn, Mo, Rh, Ir, Ta, Ti, W, U, V, Zr, Si, GaAs, GaN, 실리카( $SiO_2$ ), 석영(quartz), 유리(glass), 사파이어( $Al_2O_3$ ), 마이카(mica), PI(polyimide), PEEK(polyetheretherketone), PES(polyethersulfone), PEI(polyetherimide), PC(polycarbonate) 및 PEN(polyethylenenaphthalate)으로 이루어진 군에서 선택된 적어도 하나로 이루어진 것일 수 있다.

[0026] 상기 수직 배향 그래핀은 기판으로부터 수직으로 배향된 것으로서, 이의 높이는 3 내지 300, 3 내지 290, 3 내지 280, 3 내지 270, 3 내지 260, 4 내지 250, 4 내지 240, 4 내지 230, 5 내지 220, 5 내지 210 또는 5 내지 200 nm일 수 있으나, 전극을 사용하는 환경 및 실시자의 목적에 따라 적절한 수준에서 높이에 변형을 가할 수 있고, 그 수준의 적절함은 당업계 통상의 실시자의 판단 기준에 따라 설정될 수 있는 것이며, 수직 배향 그래핀의 전극으로서의 효과의 충분성을 고려할 때 바람직하게는 5 내지 200 nm일 수 있다.

[0027] 상기 수직 배향 그래핀은 기판 상에 위치한 것으로서, 그래핀을 당업계 주지된 방법으로 기판 상에 수직 배향으로 위치시키는 방법에 의한 것일 수 있고, 구체적으로는 PECVD, microwave CVD 등의 방법으로 기판 상에 그래핀을 수직으로 성장시킨 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.

[0028] 상기 이리듐(Ir) 촉매는 상기 수직 배향 그래핀과 전기적으로 연결되어 전극의 산소 또는 수소 발생 반응의 촉매 역할을 수행할 수 있으면 족하나, 바람직하게는 상기 수직 배향 그래핀 상에 위치하는 것일 수 있고, 보다 바람직하게는 상기 수직 배향 그래핀 상에 물리적 또는 화학적으로 증착된 것일 수 있다.

[0029] 상기 이리듐(Ir) 촉매가 상기 수직 배향 그래핀 상에 위치하는 경우, 상기 이리듐 촉매는 1 내지 30, 1 내지 29, 1 내지 28, 1 내지 27, 1 내지 26, 1 내지 25, 1 내지 24, 1 내지 23, 1 내지 22, 1 내지 21, 1 내지 20, 1 내지 19, 1 내지 18, 1 내지 17, 1 내지 16 또는 1 내지 15 nm의 두께일 수 있으나 반드시 상기 두께 범위에 제한되는 것은 아니고, 산소 또는 수소 발생의 효율이나 전기화학적 반응 총량을 고려하여 적절히 두께를 설정하여 촉매량을 변화시킬 수 있음은 당업계 통상의 실시자에 자명한 사항일 것이나, 적절한 크기와 전기화학 반응 효율을 고려할 때 가장 바람직하게는 1 내지 30 nm의 두께일 수 있다.

[0030] 상기 이리듐(Ir) 촉매가 상기 수직 배향 그래핀과 전기적으로 연결되어 있거나, 구체적으로 상기 수직 배향 그

래핀 상에 위치하는 경우, 상기 이리듐 촉매가 전극의 산소 또는 수소 발생 반응의 촉매 역할을 수행하는 동안, 쉽게 산화되지 않고, 금속성을 매우 오랜 기간 동안 유지할 수 있는데, 이는 이리듐의 비어있는 5d-오비탈과 수직 배향 그래핀의 말단부분이 강한 결합을 이루기 때문일 수 있으며, 이러한 효과는 후술할 실시예에서 구체적인 데이터로 입증하였다.

[0031] 본 발명 전극은 산소 또는 수소 발생 용도의 전극으로서, 이의 발생은 산성 환경 또는 염기성 환경을 전혀 가리지 아니하고 산화-환원 반응을 수행하여 우수한 효율로 산소 또는 수소를 발생시킬 수 있는데, 이는 전해질 내 pH와 무관하게 종래 사용되던 전극과 유사하거나 더 우수한 효율을 나타낸다. 이는 산성 환경에서의 산소 발생용 전극, 산성 환경에서의 수소 발생용 전극, 염기성 환경에서의 산소 발생용 전극 및 염기성 환경에서의 수소 발생용 전극으로 각각 별도의 전극을 사용해야만 했던 종래기술의 비효율성과 비경제성을 극복한 것으로, 본 발명 전극을 각각 산소 발생용 및 수소 발생용 전극으로 겸용할 수 있다는 점에서 매우 큰 장점이 존재한다.

[0032] 보다 구체적으로, 상기 산성 환경으로서  $H_2SO_4$ ,  $HClO_4$  및 이들의 혼합물로 이루어진 군에서 선택된 적어도 하나가 용해된 전해질 환경일 수 있고, 상기 염기성 환경으로서  $KOH$ ,  $NaOH$  및 이들의 혼합물로 이루어진 군에서 선택된 적어도 하나가 용해된 전해질 환경일 수 있으며, 상술한 전해질 물질들의 혼합물이 용해된 전해질 환경일 수 있으나, 이에 제한되지 아니한다.

[0034] 본 발명은 상술한 전극을 적어도 하나 포함하는 연료전지를 제공한다.

[0035] 본 발명의 연료전지는 상술한 바대로, 각 환경 및 발생 기체 별로 전극을 별도로 사용해야만 했던 종래기술 대비, 각 환경 및 발생 기체를 가리지 아니하고 본 발명 전극을 겸용으로 사용할 수 있어, 그 효율성과 경제성이 매우 우수하다.

[0036] 본 발명의 연료전지는 상술한 전극을 적어도 하나 포함할 수 있고, 보다 구체적으로, 음극과 양극, 산화전극과 환원전극이 모두 상술한 전극을 각각 포함하는 전기화학적 구조일 수 있는데, 이는 상술한 효율성, 경제성을 갖춘 연료전지이고, 전지로서의 효율 또한 우수함을 후술할 실시예를 토대로 구체적으로 확인할 수 있다.

[0038] 본 발명은 상술한 연료전지를 포함하는 동력장치를 제공한다.

[0039] 본 발명의 동력장치는 본 발명 연료전지를 포함하고 있어, 상술한 바대로, 효율성, 경제성 및 전지로서의 전기화학적 효율성을 모두 가지고 있는 바, 연료전지로부터 발생하는 에너지를 동력으로 활용하여 다양한 방법으로 적용이 가능하다.

[0040] 본 발명의 동력장치의 구체적인 형태로 당업계에 주지된 어떠한 형태이든 특별한 제한이 없으나, 구체적인 예시로는 자동차, 기관차 또는 지게차등이 이에 해당될 수 있다.

[0042] 이하, 본 발명을 구체적으로 설명하기 위해 실시예를 들어 상세하게 설명하기로 한다.

#### [0044] 실시예 1. 전극의 제조

[0045] PEVCD 방법을 사용하여, 기판 상에 수직 배향 그래핀을 직접 성장시켰다. 기판의 원치 않은 오염물을 제거하기 위해 50W의 RF(radio frequency) 전력으로 수소( $H_2$ , 20 sccm)를 주입하여 플라즈마로 처리하였다. 플라즈마 처리 후, 수소( $H_2$ , 20 sccm) 및 탄소 전구체로서 메탄( $CH_4$ , 10sccm)을 주입하고, 상기 가스 혼합물을 750℃에서 30분 동안 50W의 RF 전력에 의해 방출시켜 수직 배향 그래핀/기판을 제조하였다.

[0046] 고순도의 Ir은 e-beam evaporation 방법으로 증착되었다. 구체적으로는 알루미늄 도가니에 담긴 고형의 Ir 소스를 고진공하에서 전자빔으로 가열하였다. 증착과정에서 내부의 진공도는  $9 \times 10^{-6}$  Torr 정도를 유지하였다. 실시예에서는 1nm/50s의 증착속도를 이용하였고, 편평한 기판 위에 성장한 비교시료의 두께를 원자힘현미경(Atomic force microscopy: AFM)을 이용하여 가늠하였다.

#### [0048] 실시예 2. 전극의 구조 분석

[0049] 고해상도 투과 전자 현미경으로는 JEM-2100F 를 사용하였으며 (200kV에서 측정), 본 발명 전극(Ir coated VG-NHs)을 습식 직접전달 방법으로 TEM 그리드 상에 전사시킨 다음, 80 kV 가속 전압 조건 하에서 본 발명 전극을 촬영하였다.

[0050] 그 결과를 도 1에서 확인할 수 있는데, 이리듐(Ir)은 평균 두께가 10 nm 내외이고, Ir이 결정성 있게 수직 배향 그래핀 상에 증착 방식으로 얹어졌음을 확인할 수 있다. 또한, 도 1의 Ir의 성분 분포도(도 1D, 1E)로부터, 평

균 두께 10 nm로 형성된 Ir 촉매를 확인할 수 있다.

### [0052] 실시예 3. 전극의 다기능성 분석

#### [0053] 1. 실험방법

[0054] 전기화학적 측정은 일반적인 3극 단자법을 이용하였다. 실험의 산성 전해질(0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 또는 염기성 전해질(1 M KOH)에서 기판을 포함한 촉매를 작동 전극으로 하여 수행되었다. 산성의 경우는 Ag/AgCl 전극을, 염기성의 경우는 Hg/HgO 전극을 기준 전극으로 하고, graphite rod를 상대 전극으로 하였다. HER 또는 OER 활성은 워크스테이션(Biologic SP-300, Biologic Science Instruments)을 사용하여 10 mV · s<sup>-1</sup> scan rate로 선형주사전위법(Linear Sweep Voltammetry, LSV)으로 측정하였다. 측정된 전압(E; potential)은 하기 수학적 1 및 2에 따라 RHE(Reversible Hydrogen Electrode) 전극을 기준으로 변환하였다. 편극 곡선은 iR 보정 후 수집되었다. 전류 밀도는 작동 전극의 기하학적 작동 영역(~0.30cm<sup>2</sup>)으로부터 계산하였다. 타펠플롯(Tafel plot)의 선형부분은 타펠식(Tafel equation; 수학적 5)에 근사시켜 타펠슬로프(Tafel slope, b)의 값을 구하였다. 전기화학 임피던스 분광학(Electrochemical impedance spectroscopy; EIS)는 전압 진폭 10mV, 1Hz ~ 1MHz의 주파수 범위에서 측정하여 나이퀴스트 임피던스(Nyquist impedance)를 구하였다. Ir 영역 당(per Ir site) 전환 빈도(Turnover frequency; TOF)는 100% 페러데이 효율(faradaic efficiency)을 가정하고 하기 수학적 3을 이용하였다. Mass Activity(특정 과전압에서)는 전류와 촉매담지량(loading catalyst mass)의 비율로, 하기 수학적 4를 이용하여 구하였다:

[0055] [수학적 1]

$$[0056] E(\text{RHE 기준 변환})_{\text{AgCl}} = E(\text{Ag/AgCl 대비}) + E^0_{(\text{Ag/AgCl})} + 0.0592 \times \text{pH}$$

[0057] [수학적 2]

$$[0058] E(\text{RHE 기준 변환})_{\text{HgO}} = E(\text{Hg/HgO 대비}) + E^0_{(\text{Hg/HgO})} + 0.0592 \times \text{pH}$$

[0059] [수학적 3]

$$[0060] \text{TOF} = I / (4 \times F \times m)$$

[0061] (상기 수학적식에서, I = 전류 (A); F= Faraday constant; m = 촉매의 몰수)

[0062] [수학적 4]

$$[0063] \text{Mass activity (A/mg)} = j / m$$

[0064] (상기 수학적식에서, j = 전류 밀도 (A/cm<sup>2</sup>); m = 단위면적당 촉매담지량 (mg/cm<sup>2</sup>))

[0065] [수학적 5]

$$[0066] c = a + b \times \log(j).$$

#### [0068] 2. 실험결과

[0069] 도 2는 본 발명 전극(Ir\_VG)의 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 또는 KOH 환경에서의 수소 발생(상행)또는 산소 발생(하행) 능력을 각각 Pt/C 및 IrO<sub>2</sub>와 각각 비교한 결과를 나타낸 것인데, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>의 산성 환경, KOH의 염기성 환경을 가리지 않고 Pt/C 및 IrO<sub>2</sub> 대비 수소 또는 산소의 발생 능력이 유사하거나 유의미하게 우수한 것을 확인할 수 있고, 특히 KOH 환경에서 수소의 발생능력이 Pt/C 대비 현저히 우수한 것을 확인할 수 있다.

[0070] 도 3은 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 및 KOH 각각의 환경에 본 발명 전극(Ir\_VG)을 각각 산소 및 수소 발생 전극으로서, 양 전극으로 활용한 시스템의 전기화학적 특성 및 사용된 촉매의 양을 기준으로 계산된 TOF(Turnover frequency) 및 mass activity 결과를 나타낸 것인데, 산성 및 염기성 환경에서 모두 기준에 보고된 결과들에 비해 현저히 우수함을 알 수 있다.

### [0072] 실시예 4. 전극의 반응 안정성 분석

#### [0073] 1. 실험방법



[0074] 전극의 반응 안정성을 분석하기 위해, 산성 또는 염기성의 환경에서 수소 발생 반응 또는 산소 발생 반응을 1000회 반복하거나,  $10 \text{ mA/cm}^2$  정도의 전류밀도가 발생하도록 overpotential을 맞춘 뒤 24시간 동안 전류밀도의 변화를 측정하였다.

[0075] 수소 발생 반응 또는 산소 발생 반응 전후의 화학결합 상태를 분석하기 위해 X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)를 이용하였는데, 1486.6 eV의 에너지를 가진 Al K $\alpha$  source를 사용하였다.

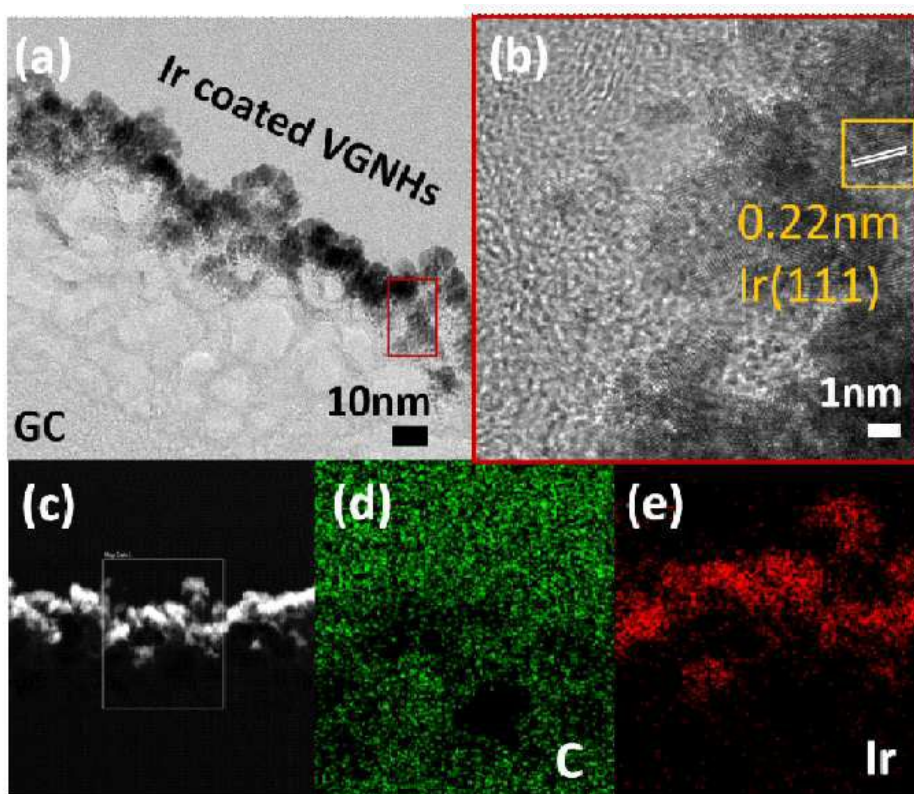
## [0077] 2. 실험결과

[0078] 도 4는 본 발명 전극의 반복적인 전기화학반응에 대한 안정성 및 시간에 대한 안정성(삽입도)을 나타낸 것인데, 수소 발생 반응(a, b)과 산소 발생 반응(c, d)을 불문하고, 1000회에 걸친 반응 또는 24시간 동안의 지속적인 반응 이후에도 전극 자체의 안정성이 우수하게 유지됨을 확인할 수 있다.

[0079] 또한, 도 5는 본 발명 전극의 반응 전후 XPS 분석 결과를 나타낸 것인데, 산소 또는 수소 발생 전(a) 대비, 산성 환경에서 300회의 수소 발생 반응(b) 및 염기성 환경에서 300회의 산소 발생 반응(c) 모두에서 이리듐(Ir)의 신호가 가장 크게 나타남을 확인할 수 있다. 이는, 전극의 산소 또는 수소 발생 반응 전후로 이리듐(Ir)이 산화되지 않고, 금속성을 우수하게 유지하고 있음을 확인케 하는 결과이다.

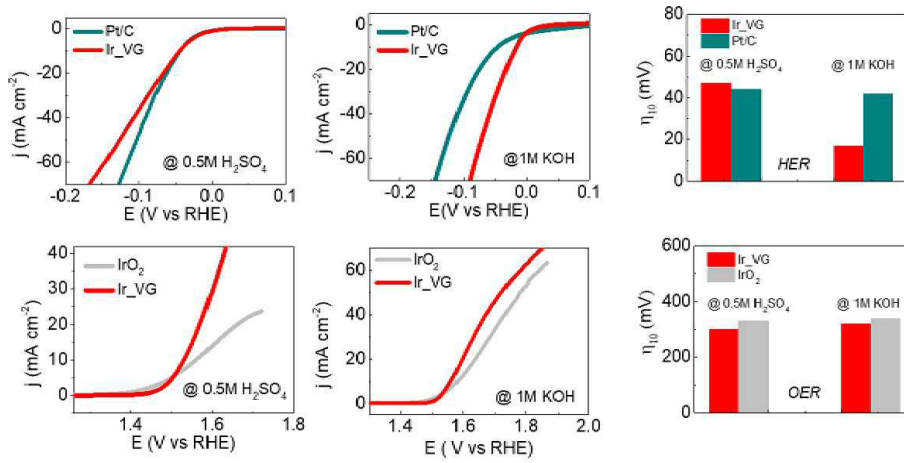
### 도면

#### 도면1

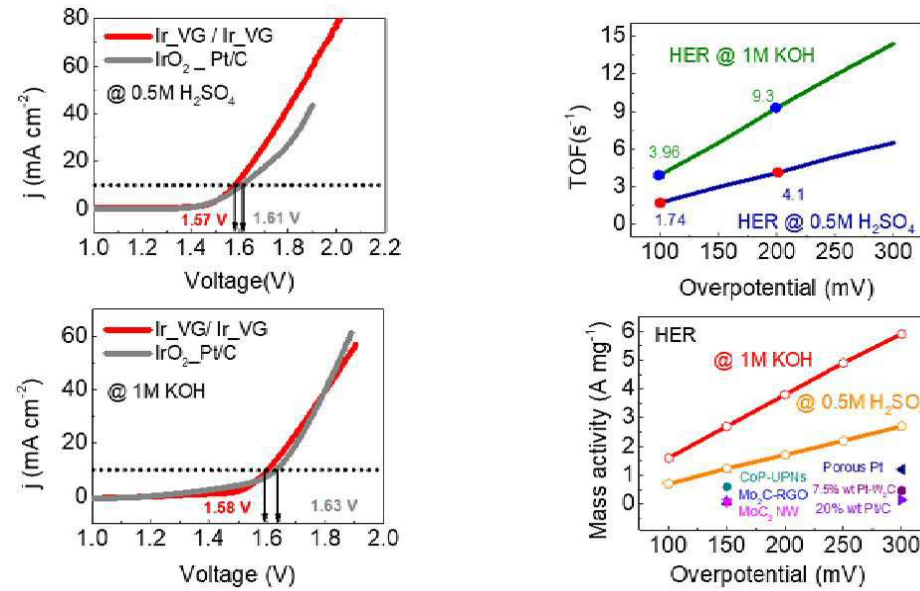




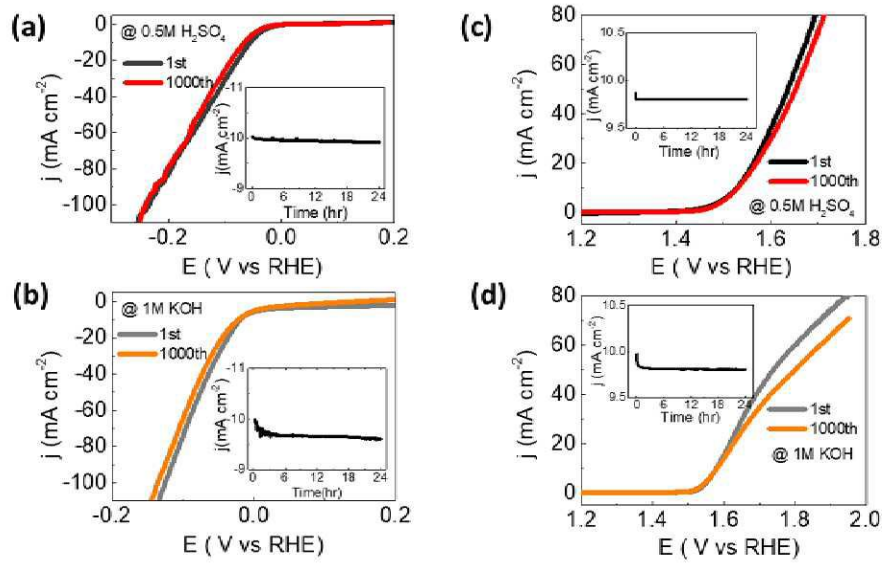
도면2



도면3



도면4



도면5

