

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2022-0151047
(43) 공개일자 2022년11월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B01J 21/18 (2006.01) B01J 23/22 (2006.01)
B01J 23/28 (2006.01) B01J 23/30 (2006.01)
B01J 23/72 (2006.01) B01J 23/745 (2006.01)
B01J 23/75 (2006.01) B01J 23/755 (2006.01)
C25B 1/04 (2022.01) C25B 11/052 (2021.01)
C25B 11/065 (2021.01)

(52) CPC특허분류

B01J 21/18 (2013.01)
B01J 23/22 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0057601

(22) 출원일자 2021년05월04일

심사청구일자 2021년05월04일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

조진한

서울특별시 서초구 신반포로23길 41, 108동 1001호 (잠원동, 신반포2지구아파트)

모정민

서울특별시 광진구 아차산로21길 64-25, 2층 (화양동)

고윤지

경기도 군포시 금산로 91, 118동 1601호 (산본동, 래미안 하이어스)

(74) 대리인

파도특허법인유한회사

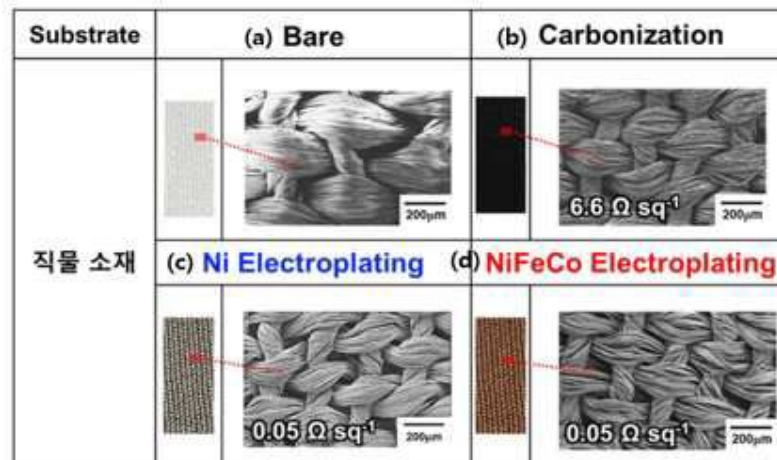
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 수분해 촉매 및 그 제조방법

(57) 요약

본 발명은 식물 소재 유래 탄소지지체 및 상기 탄소지지체 상에 형성된 촉매활성층을 포함하며, 상기 탄소지지체는 접촉각이 0 내지 60° 인 것을 특징으로 하는 수분해 촉매를 제공한다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

B01J 23/28 (2013.01)
B01J 23/30 (2013.01)
B01J 23/72 (2013.01)
B01J 23/745 (2013.01)
B01J 23/75 (2013.01)
B01J 23/755 (2013.01)
C25B 1/04 (2022.01)
C25B 11/052 (2021.01)
C25B 11/065 (2022.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1914283
과제번호	2019M3E6A106471113
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	(원천)수소에너지혁신기술개발사업
연구과제명	다공성 소재 기반 촉매/담지체 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

직물 소재 유래 탄소지지체; 및
상기 탄소지지체 상에 형성된 촉매활성층을 포함하며,
상기 탄소지지체는 접촉각이 0 내지 60° 인 것을 특징으로 하는 수분해 촉매.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 직물 소재는 셀룰로오스, 폴리에스테르, 나일론 및 아크릴 섬유로 구성된 군으로부터 선택되는 어느 하나 이상을 포함하는 수분해 촉매.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 탄소지지체의 면저항은 10^0 내지 10^4 Ω/sq 인 것을 특징으로 하는 수분해 촉매.

청구항 4

제1항에 있어서,
상기 촉매활성층은 촉매금속층; 및
상기 촉매금속층 상에 형성된 수산화물층을 포함하는 것을 특징으로 하는 수분해 촉매.

청구항 5

제4항에 있어서,
상기 촉매금속층은 Ni, Co, Fe, Mo, Cu, V, 및 W 로 구성된 군으로부터 선택되는 어느 하나 이상을 포함하는 수분해 촉매.

청구항 6

제4항에 있어서,
상기 수산화물층은 Ni(OH)₂ 를 포함하며,
상기 Ni(OH)₂ 의 베타상이 알파상보다 우세한 것을 특징으로 하는 수분해 촉매.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항의 수분해 촉매를 포함하는 전극.

청구항 8

(a) 직물 소재를 열처리 및 탄화시켜 탄소지지체를 형성하는 단계; 및
(b) 상기 탄소지지체 상에 촉매금속을 전기도금하여 촉매활성층을 코팅하는 단계를 포함하며,
상기 (a) 단계에서 형성된 탄소지지체는 접촉각이 0 내지 60° 인 것을 특징으로 하는 수분해 촉매의 제조방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 (b) 단계에서 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 를 포함하는 수산화물층이 형성되며,

상기 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 의 베타상이 알파상보다 우세한 것을 특징으로 하는 수분해 촉매의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 수분해 촉매에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 식물소재에서 유래된 친수성 탄소지지체를 활용하여 물 분해에 효과적인 수분해 촉매에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 산업적으로 발전함에 따라 화석연료의 사용이 증가되고, 이산화탄소 발생이 증가함에 따라 심각한 환경문제가 대두되고 있다. 따라서 전 세계적으로 화석연료 사용을 대체하기 위한 에너지 개발에 많은 연구가 진행되고 있으며, 특히 다양한 국가 및 그룹에서 수소 개발 로드맵을 발표하면서 수소 에너지에 대한 관심이 높아지고 있다. 수소는 연료로 사용할 때 유독한 기체를 내보내지 않고, 중량 대비 높은 에너지를 낼 수 있어 차세대 에너지로 각광을 받고 있다. 수소를 만들기 위해 가장 많이 사용되는 방법으로 리포밍이 있지만, 고온, 고압 하에서 진행되고 결국 수소를 생산하기 위해 이산화탄소를 배출한다는 단점을 가지고 있다. 반면, 물분해 방법은 부산물이 나오지 않고 순도 높은 수소를 생산할 수 있기 때문에 많은 연구진들이 효율적인 물분해 방법에 주목하고 있다.

[0003] 물분해 촉매의 구성요소는 캐소드(cathode)에서의 수소 발생 촉매와, 애노드(anode)에서의 산소 발생 촉매로 나눌 수 있으며, 수소 발생 촉매뿐만 아니라 산소 발생 촉매가 같은 전해질에서 높은 성능을 가지고 있어야만 전체 물분해의 높은 효율을 기대할 수 있다. 또한, 물이 분해되어 중간체들이 촉매 표면에 붙었다가 떨어짐을 반복하게 되어 이로 인해 촉매 활성화 에너지를 나타내므로 효율적인 수소를 생산하기 위해서는 촉매 표면에 풍부한 활성 부위 제공과 전하의 빠른 이동이 중요한 요소라고 볼 수 있다.

[0004] 기존 물분해 촉매로 가장 많이 사용하는 금속은 캐소드(cathode)의 Pt, 애노드(anode)의 Ir과 Ru이며, 넓은 표면적을 충족시키기 위해 나노입자나 파우더로 만들어 사용하는데, 이러한 형태는 단독으로 사용될 수 없으므로 카본 블랙과 나피온 폴리머(Nafion polymer)의 블렌딩을 통해 글래스 카본(glassy carbon, GC) 위에 떨어뜨려 사용한다. 위의 금속들은 가격이 매우 비싸고, 카본 블랙이 가지고 있는 낮은 흡습성에 의해 전해질과 촉매 활성 부위의 접촉 면적(contact area)에 영향을 미치게 되며, 절연체 물질인 나피온에 의해 전하 이동이 감소하게 되어, 결국 촉매 효율이 떨어지게 된다.

[0005] 나아가, Carbon fabric cloth는 원소 함량의 대부분이 탄소가 차지하고 있어 강한 소수성의 성질을 갖기 때문에 지지체로 사용 시, 다공성 구조체의 표면적을 전체적으로 활용하지 못할 뿐만 아니라 표면에 뭍침 현상이 관찰되며, 파우더 형태로 떨어지기 쉽기 때문에 안정성에 한계점을 가지고 있다.

[0006] 이에, 기존 상용화 되어있는 Carbon fabric cloth를 대체할 수 있는 지지체 기반의 수분해 촉매에 관한 개발이 요구되고 있는 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 상술한 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 식물 소재에서 유래된 친수성 탄소지지체 기반의 수분해 촉매를 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명은 식물 소재 유래 탄소지지체 및 상기 탄소지지체 상에 형성된 촉매활성층을 포함하며, 상기 탄소지지체는 접촉각이 0 내지 60° 인 수분해 촉매를 제공한다.

[0009] 상기 식물 소재는 셀룰로오스, 폴리에스테르, 나일론 및 아크릴 섬유로 구성된 군으로부터 선택되는 어느 하나

이상을 포함할 수 있다.

[0010] 상기 탄소지지체의 면저항은 10^0 내지 10^4 Ω/sq 일 수 있다.

[0011] 상기 촉매활성층은 촉매금속층 및 상기 촉매금속층 상에 형성된 수산화물층을 포함할 수 있다.

[0012] 상기 촉매금속층은 Ni, Co, Fe, Mo, Cu, V, 및 W 로 구성된 군으로부터 선택되는 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0013] 상기 수산화물층은 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 를 포함하며, 상기 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 의 베타상이 알파상보다 우세할 수 있다.

[0014] 또한, 본 발명은 상기 수분해 촉매를 포함하는 전극을 제공할 수 있다.

[0015] 또한, 본 발명은 (a) 식물 소재를 열처리 및 탄화시켜 탄소지지체를 형성하는 단계 및 (b) 상기 탄소지지체 상에 촉매금속을 전기도금하여 촉매활성층을 코팅하는 단계를 포함하며, 상기 (a) 단계에서 형성된 탄소지지체는 접촉각이 0 내지 60° 인 수분해 촉매의 제조방법을 제공할 수 있다.

[0016] 상기 (b) 단계에서 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 를 포함하는 수산화물층이 형성되며, 상기 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 의 베타상이 알파상보다 우세할 수 있다.

발명의 효과

[0017] 본 발명에 따른 수분해 촉매는 식물 소재에서 유래된 탄소지지체가 친수성이므로 내부에 있는 피브릴 가닥에 촉매활성층이 고르게 형성될 수 있다.

[0018] 또한, $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 의 베타상이 우세한 수산화물층을 형성하여 물분해를 촉진시키므로 고성능의 수분해 촉매를 구현할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 의 결정 구조를 나타내는 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 수분해 촉매의 제조방법의 공정도이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 제조공정 별 주사전자현미경 이미지를 나타내는 도면이다.

도 4는 기존 Carbon fabric cloth와 식물 소재에서 유래된 탄소지지체의 접촉각을 비교하는 이미지이다.

도 5는 탄화작용을 하는 온도에 따른 전도성 및 면저항 그래프를 나타내는 도면이다.

도 6은 전기도금 시간에 따른 전도성 및 면저항 그래프를 나타내는 도면이다.

도 7은 Ni 전기도금 한 식물 소재에서 유래된 탄소지지체의 EDX 이미지를 나타내는 도면이다.

도 8은 식물 소재에서 유래된 탄소지지체 상에 Ni 전기도금(A), Ni, Fe, Co 전기도금(B) 한 후의 주사전자현미경 이미지를 나타내는 도면이다.

도 9는 1M KOH 전해질에서의 수소 발생 촉매(A)와 산소 발생 촉매(B)의 전기화학적 특성을 분석한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 이하 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0021] 본 발명은 식물 소재 유래 탄소지지체 및 상기 탄소지지체 상에 형성된 촉매활성층을 포함하며, 상기 탄소지지체는 접촉각이 0 내지 60° 로 친수성인 수분해 촉매를 제공한다.

[0022] 상기 식물 소재 유래 탄소지지체는 식물 소재를 열처리하여 탄화작용(Carbonization) 으로 형성된 전도성 지지체를 의미한다. 보다 구체적으로, 상기 식물 소재는 절연성이나 열처리에 따른 탄화작용으로 인해 전도성이 부

여된 탄소지지체로 형성될 수 있다.

- [0023] 상기 직물 소재는 피브릴(Fibrill) 가닥에 의해 형성된 기공을 갖는 다공성 구조체로서, 셀룰로오스, 폴리에스테르, 나일론 및 아크릴 섬유로 구성된 군으로부터 선택되는 어느 하나 이상을 포함할 수 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니며, 피브릴 구조에 따른 다공성 구조체에 해당하는 한 본 발명의 범위에 속한다.
- [0024] 본 발명에서 실시하는 열처리에 따른 탄화작용은 기존 탄화작용 기술과 달리, 전기도금이 가능한 최소한의 전기 전도성을 갖게 하기 위해 비교적 저온에서 탄화작용을 진행하여 본래 직물 소재가 갖고 있는 친수성 반응기들 일부가 여전히 존재한다. 이에 본 발명에서 제작된 탄소지지체는 높은 친수성을 갖고 0 내지 60 °의 접촉각을 갖는다.
- [0025] 상기 접촉각(Contact angle)은 액체가 고체 표면 위에서 열역학적으로 평형을 이루는 각으로서, 고체 표면의 젖음성(Wettability)을 나타내는 척도이다. 액체가 물에 해당하는 경우 접촉각이 작을수록 높은 젖음성과 높은 표면에너지치를 나타내어 친수성(Hydrophilic)을 가지며, 접촉각이 높을수록 낮은 젖음성과 낮은 표면에너지를 나타내어 소수성(Hydrophobic)을 가진다. 즉, 상기 탄소지지체는 매우 낮은 접촉각 및 높은 친수성을 갖게 되어 후술하는 전기도금 시, 내부에 있는 피브릴 가닥에 촉매활성층을 고르게 형성할 수 있으며, 전해질의 침투가 용이하게 된다.
- [0026] 상기 탄소지지체는 후술하는 촉매활성층을 형성하기 위한 전기도금이 가능한 최소한의 면저항을 가질 수 있으며, 면저항은 직물 소재의 열처리 온도에 따라 가변하게 된다. 따라서, 상기 탄소지지체의 면저항은 10^0 내지 $10^4 \Omega/\text{sq}$, 이를 위한 열처리 온도는 600 내지 1000 °C 가 바람직하며, 상기 범위에서 기존 탄화작용 기술과 달리 저온에서 탄화작용이 진행됨에 따라 친수성을 갖는 전도성 탄소지지체가 형성될 수 있다.
- [0027] 상기 촉매활성층은 촉매금속층 및 상기 촉매금속층 상에 형성된 수산화물층을 포함할 수 있다.
- [0028] 상기 촉매금속층은 상기 탄소지지체 상에 촉매금속을 전기도금하여 형성될 수 있으며, 상기 촉매금속은 Ni, Co, Fe, Mo, Cu, V 및 W 로 구성된 군으로부터 선택되는 어느 하나 이상을 포함할 수 있다. 이때, 본 발명에 따른 수분해 촉매가 수소 발생 반응(Hydrogen Evolution Reaction, HER)의 환원 전극으로 사용되는 경우에는 Ni 전기도금이 바람직하며, Ni과 후술하는 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 에 의해 수소 발생 성능이 매우 우수하다. 또한, 본 발명에 따른 수분해 촉매가 산소 발생 반응(Oxygen Evolution Reaction, OER)의 산화 전극으로 사용되는 경우에는 Ni, Co, Fe 복합체의 전기도금이 바람직하며, Ni, Fe, Co의 산화물, 즉 Fe와 Co의 영향으로 NiOOH 가 형성되어 산소 발생 성능이 우수하다.
- [0029] 상기 수산화물층은 상기 촉매금속의 수산화물을 포함하는 층으로서, 특히 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 를 포함한다. $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 는 물의 HO-H 결합으로부터 수소를 분리시키는 역할을 수행하는 촉매 활성 물질로서, 수소 발생 및 산소 발생에 영향을 미친다.
- [0030] 도 1은 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 의 결정 구조를 나타내는 도면이다.
- [0031] 도 1을 참조하면, $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 는 결정 구조에 따라 a) 알파상과 b) 베타상으로 구분되는데, 본 발명에 따른 수산화물층은 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 의 베타상이 알파상보다 우세하게 나타나며, 이에 따라 수소 발생 및 산소 발생 성능이 향상된다.
- [0032] $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 의 알파상은 각 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 층 사이에 H_2O 가 삽입되어 있는 구조로, 내부에 있는 H_2O 와의 결합으로 인해 실질적으로 표면에서 수분해가 일어날 때 반응하는 H_2O 와의 결합력이 약해져 수분해 능력이 떨어지며 H_2O 흡착량이 적다. 그러나 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 의 베타상은 내부에 결합되어 있는 H_2O 가 존재하지 않기 때문에 표면에서 반응하는 H_2O 와 더 강하게 결합이 가능하여 수분해 능력이 우수하고 표면에서의 H_2O 흡착량이 증가하게 된다.
- [0033] $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 의 결정 구조는 니켈염 용액의 농도와 캐소드(cathode)에 가해지는 전류밀도(current density)에 의존하며, 특히 상대적으로 낮은 전류밀도에서는 알파상이, 높은 전류밀도에서는 베타상이 우세하게 형성된다. 본 발명에서 제작된 전극은 베타상이 형성되는 충분히 높은 전류밀도 하에서 과도금이 진행되지 않고 직물소재 내부까지 고르게 전기도금이 가능함에 의의가 있다.
- [0034] 본 발명에 따른 수분해 촉매는 전극으로 사용될 수 있으며, 상술한 바와 같이 전기도금 되는 촉매금속에 따라

환원전극 또는 산화전극으로 사용될 수 있다.

[0035] 이하, 본 발명에 따른 수분해 촉매의 제조방법에 대해 설명한다. 본 발명에 따른 수분해 촉매에 대해서는 상술하였는바, 중복되는 사항에 대해서는 상세한 설명을 생략하거나 간략하게만 기술한다.

[0036] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 수분해 촉매의 제조방법의 공정도이다.

[0037] 도 2를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 수분해 촉매의 제조방법은 (a) 직물 소재를 열처리 및 탄화시켜 탄소지지체를 형성하는 단계 및 (b) 상기 탄소지지체 상에 전기도금을 실시하여 촉매활성층을 코팅하는 단계를 포함한다.

[0038] 상기 (a) 단계는 절연성 직물 소재를 열처리 및 탄화시켜 탄소지지체를 형성하며, 이때 형성된 탄소지지체는 접촉각이 0 내지 60° 로서, 친수성을 갖게 된다. 또한, 탄소지지체는 열처리 및 탄화작용에 따라 촉매활성층을 형성하기 위한 전기도금이 가능한 최소한의 면저항을 갖는 전도성 지지체로 형성되며, 면저항은 및 열처리 온도는 상술한 바와 같다.

[0039] 상기 (b) 단계는 탄소지지체 상에 촉매금속을 전기도금하여 촉매활성층을 코팅하며, 사용되는 촉매금속과 수분해 촉매의 용도에 따른 촉매금속의 조합은 상술한 바와 같다. 또한, 전기도금을 통해 탄소지지체 상에 균일한 촉매활성층의 코팅이 가능하며, 간단한 방식으로 단시간 내에 이루어지므로 촉매 제조에 소요되는 시간을 단축할 수 있으며, 제조비용을 낮출 수 있고, 효율적인 제어도 가능하다.

[0040] 나아가, 상기 (b) 단계에서 전기도금에 의한 촉매활성층의 코팅과 동시에 촉매금속층 상에 위치한 수산화물층이 형성되며, 이때 수산화물층은 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 를 포함하고, 특히 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 의 베타상이 알파상보다 우세하여 수소 발생 및 산소 발생 성능이 향상된다. 이처럼 본 발명에서는 후처리 과정이 없이도 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 의 베타상이 알파상보다 우세한 수산화물층을 형성할 수 있다.

[0041] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예에 기초하여 본 발명을 더욱 구체적으로 설명한다. 그러나 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되거나 제한되지 않고 당업자에 의해 변형되어 다양하게 실시될 수 있음은 물론이다.

[0042] 실시예

[0043] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 제조공정 별 주사전자현미경 이미지를 나타내는 도면이다.

[0044] 1. 수소 발생 반응 다공성 전극 제조

[0045] 도 3을 참조하면, 절연성 직물 소재(a)를 열처리에 의한 탄화작용으로 전도성이 부여된 친수성 탄소지지체로 형성(b)시킨 후 상기 탄소지지체에 Ni 전기도금(c)을 실시하여 수소 발생 반응 다공성 전극을 제조하였다. 전기도금은

[0046] 와트욕 조성의 니켈 도금 용액(240 g/L NiSO_4 , 45 g/L NiCl_2 , 30 g H_3BO_3)에서 360 mA/cm²의 전류밀도로 진행하였다. 이때, 제작된 전극은 후처리 과정이 없이도 수산화물층을 형성하였다. 다음으로, 수산화물층이 형성된 전극을 증류수에 워싱한 후 워싱이 끝난 전극을 드라이하였다.

[0047] 2. 산소 발생 반응 다공성 전극 제조

[0048] 도 3을 참조하면, Ni 전기도금을 수행한 전극에 한 번 더 Fe, Co 전기도금(d)을 실시한 것을 제외하고는 상기과 동일한 방법으로 진행하였다.

[0049] 실험예

[0050] 1. 탄소 지지체의 접촉각 평가

[0051] 도 4는 기존 Carbon fabric cloth와 직물 소재에서 유래된 탄소지지체의 접촉각을 비교하는 이미지이다.

[0052] 도 4를 참조하면, 기존 Carbon fabric cloth는 접촉각이 136.7° 로 매우 크게 나타나 소수성을 갖는 반면, 본 발명에 따른 직물 소재에서 유래된 탄소지지체는 접촉각이 0° 로 매우 작게 나타나 친수성을 갖는 것을 확인할 수 있었다.

[0053] 2. 탄화작용에 따른 전도성 및 면저항 평가

[0054] 도 5는 탄화작용을 하는 온도에 따른 전도성 및 면저항 그래프를 나타내는 도면이다.

[0055] 도 5를 참조하면, 절연성 직물 소재를 열처리에 의한 탄화작용을 통해 전기도금이 가능한 전도성이 부여된 탄소 지지체로 형성할 수 있었다. 이때, 열처리 온도가 증가함에 따라 면저항이 감소하여 전도성이 증가하였으며, 특히 950℃에서 6.6 ohm/sq 의 낮은 면저항에 따라 3.5×10^{-2} S/cm 의 높은 전기전도도가 부여된 탄소지지체의 형성이 가능하였다.

[0056] 3. 전기도금에 따른 전도성 및 면저항 평가

[0057] 도 6은 전기도금 시간에 따른 전도성 및 면저항 그래프를 나타내는 도면이다.

[0058] 도 6을 참조하면, 전도성이 부여된 친수성 탄소지지체를 와트욕 조성의 니켈 도금 용액으로 전기도금을 실시한 결과, 금속과 비슷한 전기전도성을 갖는 수소 발생 전극의 제조가 가능하였으며, 특히 20분간의 단시간 동안 전기도금을 실시하여 0.015 ohm/sq 의 낮은 면저항에 따라 15.22 S/cm 의 높은 전기전도성을 부여할 수 있었다.

[0059] 4. 촉매금속층의 코팅 평가

[0060] 도 7은 Ni 전기도금 한 직물 소재에서 유래된 탄소지지체의 EDX 이미지를 나타내는 도면이다.

[0061] 도 7을 참조하면, EDX(Energy Dispersive X-Ray) 이미지를 통해 직물 소재에서 유래된 친수성 탄소지지체의 내부에 있는 피브릴 가닥까지 촉매금속층이 균일하게 코팅된 것을 확인할 수 있었다.

[0062] 5. 탄소지지체의 미세구조 평가

[0063] 도 8은 직물 소재에서 유래된 탄소지지체 상에 Ni 전기도금(A), Ni, Fe, Co 전기도금(B) 한 후의 주사전자현미경 이미지를 나타내는 도면이다.

[0064] 도 8을 참조하면, 전기도금을 실시한 후에도 직물 소재의 기공성(pore structure)을 그대로 유지하면서 금속이 매우 균일하게 흡착되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 주사전자현미경(Scanning electron microscope, SEM) 고배율 이미지를 통해 돌기형 구조와 nano sheet array가 형성되어 있음을 확인할 수 있었으며, 이와 같은 구조에 따른 높은 표면적으로 인해 단위 면적(cm^2)당 성능을 극대화할 수 있을 것으로 예상된다.

[0065] 6. 수분해 촉매의 전기화학적 특성 평가

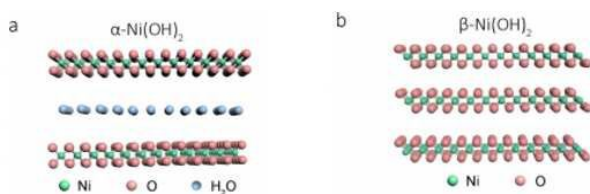
[0066] 도 9는 1M KOH 전해질에서의 수소 발생 촉매(A)와 산소 발생 촉매(B)의 전기화학적 특성을 분석한 그래프이다.

[0067] 수분해 촉매의 전기화학적 특성은 Ni 전기도금에 의한 수소 발생 촉매와 Ni, Fe, Co 전기도금에 의한 산소 발생 촉매를 각각 제조하고, 이를 선형주사전위법(Linear Sweep Voltammetry, LSV)을 통해 분석하였다.

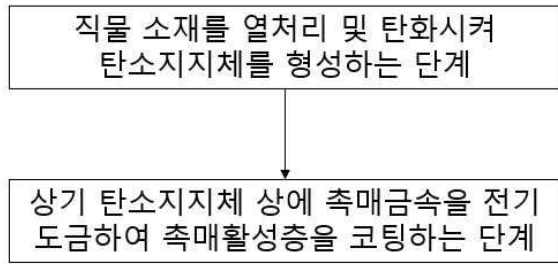
[0068] 도 9를 참조하면, 결과적으로 만들어진 Ni과 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 에 의해 수소 발생 성능이, Fe와 Co의 영향으로 NiOOH 가 형성됨에 따라 산소 발생 성능이 매우 우수하다는 것을 확인할 수 있었다.

도면

도면1



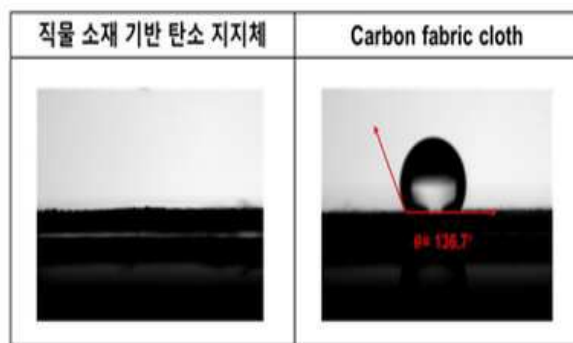
도면2



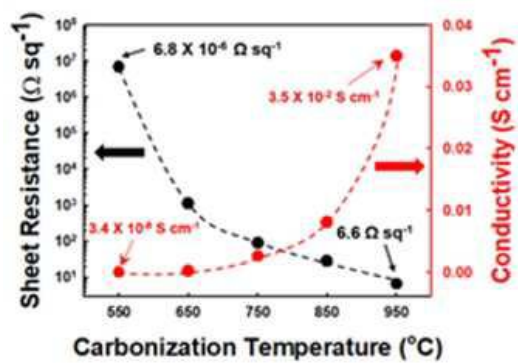
도면3

Substrate	(a) Bare	(b) Carbonization
		
직물 소재	(c) Ni Electroplating 	(d) NiFeCo Electroplating 

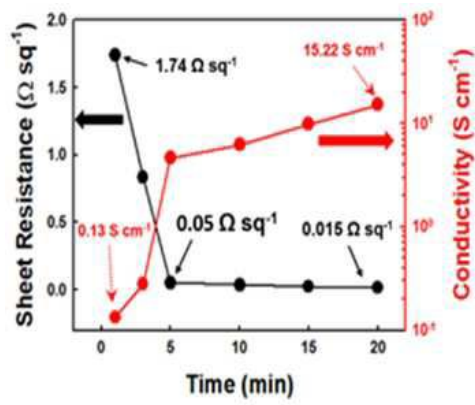
도면4



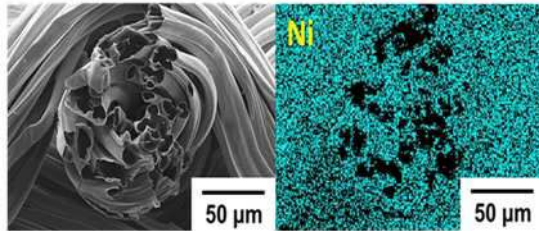
도면5



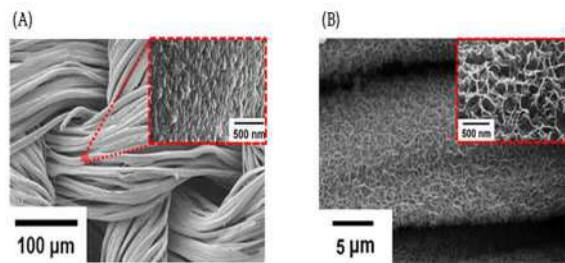
도면6



도면7



도면8



도면9

