



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0098323
(43) 공개일자 2019년08월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/27 (2006.01) G01N 33/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 21/272 (2013.01)
G01N 33/00 (2019.01)
(21) 출원번호 10-2018-0018115
(22) 출원일자 2018년02월14일
심사청구일자 2018년02월14일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
이철호
서울특별시 성북구 오패산로 90, 117동 1003호(하월곡동, 래미안월곡아파트)
이재윤
경기도 의왕시 내손중앙로 11, 1109동 904호
(74) 대리인
백두진, 김정연, 강일신

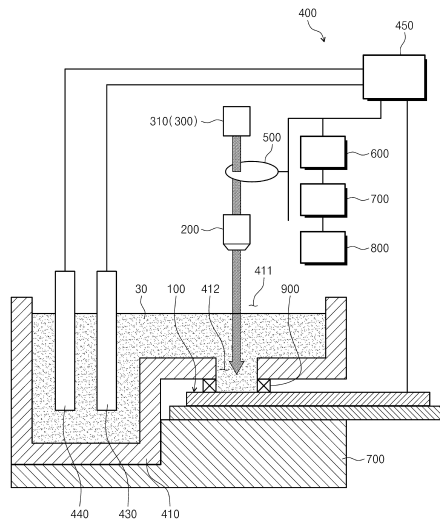
전체 청구항 수 : 총 28 항

(54) 발명의 명칭 광전자화학 촉매 활성화 측정 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명은 광전자화학 촉매의 활성도를 측정하는 광전자화학 촉매 활성화 측정 방법에 관한 것이다. 본 발명의 일 실시 예에 따른 광전자화학 촉매 활성화 측정 방법은, 광음극을 포함하는 광전극 부재에 빛을 조사하고, 상기 빛의 상기 광전극 부재에 도달한 도달 위치를 변경하면서 상기 광전극 부재의 광전류를 측정한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01N 2033/0088 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 SRFC-MA1402-13

부처명 -

연구관리전문기관 -

연구사업명 삼성미래기술육성사업

연구과제명 대면적 단일원자층 PN 접합 기반 자가활성 태양광 물분해 광전극 개발

기 여 율 1/1

주관기관 삼성전자 주식회사

연구기간 2014.12.01 ~ 2018.11.30

명세서

청구범위

청구항 1

광전자화학 촉매의 활성도를 측정하는 방법에 있어서,

광음극을 포함하는 광전극 부재에 빛을 조사하고, 상기 빛의 상기 광전극 부재에 도달한 도달 위치를 변경하면서 상기 광전극 부재의 광전류를 측정할 수 있는 광전자화학 촉매 활성도 측정 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 광음극의 상면에 촉매가 제공되는 광전자화학 촉매 활성도 측정 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 도달 위치가 상기 촉매 상에 위치한 상태에서 상기 광전류를 측정하는 광전자화학 촉매 활성도 측정 방법.

청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 도달 위치가 상기 촉매 상에 위치한 상태 및 상기 도달 위치가 상기 광음극 상의 상기 촉매가 도포되지 않은 영역에 위치한 상태에서 각각 상기 광전류를 측정하는 광전자화학 촉매 활성도 측정 방법.

청구항 5

제 2 항에 있어서,

상기 도달 위치가 상기 촉매의 중앙 영역에 위치한 상태 및 상기 도달 위치가 상기 촉매의 가장자리 영역에 위치한 상태에서 각각 상기 광전류를 측정하는 광전자화학 촉매 활성도 측정 방법.

청구항 6

제 2 항에 있어서,

상기 촉매는,

상기 광음극의 상면에 각각 제공된 제 1 촉매 및 제 2 촉매를 포함하는 광전자 화학 촉매 활성도 측정 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 제 1 촉매 및 상기 제 2 촉매는 상기 광음극의 상면의 서로 상이한 위치에 제공되는 광전자화학 촉매 활성도 측정 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 도달 위치가 상기 제 1 촉매 상에 위치한 상태 및 상기 도달 위치가 상기 제 2 촉매 상에 위치한 상태에서 각각 상기 광전류를 측정하는 광전자화학 촉매 활성도 측정 방법.

청구항 9

제 7 항에 있어서,

상기 제 1 촉매 및 상기 제 2 촉매는 위에서 바라볼 때, 서로 일부 영역이 중첩되도록 제공되되,

상기 도달 위치가 상기 제 1 촉매와 상기 제 2 촉매가 중첩된 영역 상에 위치된 상태, 상기 제 2 촉매와 중첩되지 않은 제 1 촉매 상에 위치된 상태 및 상기 제 1 촉매와 중첩되지 않은 제 2 촉매 상에 위치된 상태에서 각각 상기 광전류를 측정하는 광전자화학 촉매 활성화도 측정 방법.

청구항 10

제 7 항에 있어서,

상기 제 1 촉매 및 상기 제 2 촉매는 위에서 바라볼 때, 서로 이격되도록 제공되되,

상기 도달 위치가 상기 제 1 촉매 상에 위치된 상태 및 상기 도달 위치가 상기 제 2 촉매 상에 위치된 상태에서 각각 상기 광전류를 측정하는 광전자화학 촉매 활성화도 측정 방법.

청구항 11

제 6 항에 있어서,

상기 제 1 촉매 및 상기 제 2 촉매는 서로 이성질체로 제공되는 광전자화학 촉매 활성화도 측정 방법.

청구항 12

제 6 항에 있어서,

상기 제 1 촉매 및 상기 제 2 촉매는 서로 분자식이 상이한 물질로 제공되는 광전자화학 촉매 활성화도 측정 방법.

청구항 13

제 7 항에 있어서,

상기 제 1 촉매 및 상기 제 2 촉매는 서로 두께가 상이하게 제공되되,

상기 도달 위치가 상기 제 1 촉매 상에 위치된 상태 및 상기 도달 위치가 상기 제 2 촉매 상에 위치된 상태에서 각각 상기 광전류를 측정하는 광전자화학 촉매 활성화도 측정 방법.

청구항 14

제 1 항에 있어서,

상기 광전류는 퍼텐쇼스텝(Potentiostat)을 이용하여 측정하는 광전자화학 촉매 활성화도 측정 방법.

청구항 15

제 1 항에 있어서,

상기 도달 위치는 상기 빛을 조사하는 방향을 변경함으로써 변경되는 광전자화학 촉매 활성화도 측정 방법.

청구항 16

제 1 항에 있어서,

상기 도달 위치는 상기 광전극 부재의 위치를 변경함으로써 변경되는 광전자화학 촉매 활성화도 측정 방법.

청구항 17

광전자화학 촉매의 활성도를 측정하는 장치에 있어서,

광음극을 포함하는 광전극 부재와;

상기 광전극 부재를 향해 빛을 조사하는 광조사 부재와;

상기 빛의 상기 광전극 부재에 도달되는 도달 위치를 조절하는 광 위치 조절 유닛과;

상기 광전극 부재의 광전류를 측정하는 광전류 측정 유닛을 포함하는 광전자화학 촉매 활성화 측정 장치.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 광전류 측정 유닛은,

전해질 용액이 수용된 수용 공간이 형성된 용기를 포함하고,

상기 광음극의 상면은 상기 수용 공간 내의 상기 전해질 용액에 접촉되는 접촉 영역을 포함하고,

상기 광전극 부재의 상면에는, 상기 전해질 용액의 전해질이 투과할 수 없는 재질로 제공되고 상기 접촉 영역이 상기 전해질 용액과 접촉될 수 있게 개방된 개방홀이 형성된 불투과 층이 제공되고,

상기 광조사 부재는 상기 광전극 부재의 상면의 상기 접촉 영역을 둘러싼 광조사 영역 내에 상기 빛을 조사하는 광전자화학 촉매 활성화 측정 장치.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 광전극 부재는 금속 전극을 더 포함하되,

상기 광음극은 상기 금속 전극의 상면에 제공되는 광전자화학 촉매 활성화 측정 장치.

청구항 20

제 18 항에 있어서,

상기 광전극 부재는 그래핀 전극을 더 포함하되,

상기 광음극은 상기 그래핀 전극의 상면에 제공되고,

그래핀 전극은 지지체의 상면에 제공되고,

상기 광전류 측정 유닛은, 상기 그래핀 전극에 전기적으로 연결되고, 상기 지지체의 상면의 상기 그래핀 전극과 중첩되지 않은 영역에 제공되는 연결 전극을 더 포함하는 광전자화학 촉매 활성화 측정 장치.

청구항 21

제 18 항에 있어서,

상기 용기의 저면의 상기 광조사 영역에 대향되는 영역에는 상기 수용 공간과 연통되는 연통홀이 형성되고,

상기 광조사 부재는 상기 연통홀을 관통하여 상기 광조사 영역에 도달하도록 상기 빛을 조사하고,

상기 광전극 부재 및 상기 용기의 상기 저면의 사이에는, 내부의 전해질 용액이 외부로 유출되는 것을 방지하는 유출 방지 부재가 제공되되,

상기 유출 방지 부재는 상기 광조사 영역을 둘러싸도록 제공되는 광전자화학 촉매 활성화 측정 장치.

청구항 22

제 17 항에 있어서,

상기 광 위치 조절 유닛은 상기 빛의 조사 방향을 변경시키는 조사 방향 조절기를 포함하는 광전자화학 촉매 활성화 측정 장치.

청구항 23

제 17 항에 있어서,

상기 광 위치 조절 유닛은, 상기 광전극 부재가 놓이는 지지 부재를 이동시키는 지지 부재 구동기를 포함하는 광전자화학 촉매 활성화 측정 장치.

청구항 24

제 17 항에 있어서,

상기 빛은 레이저로 조사되는 광전자화학 촉매 활성화 측정 장치.

청구항 25

제 17 항에 있어서,

상기 개방홀은 리소그래피 방식에 의해 형성되는 광전자화학 촉매 활성화 측정 장치.

청구항 26

제 17 항에 있어서,

상기 광음극의 상면에는 상기 접촉 영역에서 상기 전해질 용액에 접촉될 수 있도록 촉매가 제공되는 광전자화학 촉매 활성화 측정 장치.

청구항 27

제 26 항에 있어서,

상기 촉매는 상기 접촉 영역의 일부 영역에 제공되는 광전자화학 촉매 활성화 측정 장치.

청구항 28

제 27 항에 있어서,

상기 촉매는,

상기 광음극의 상면의 서로 상이한 위치에 제공되는 제 1 촉매 및 제 2 촉매를 포함하는 광전자화학 촉매 활성화 측정 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 광전자화학 촉매의 활성도를 측정하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 광전지화학셀을 이용하여 태양에너지로부터 수소 에너지를 생산하는 신재생 에너지 기술에 대한 관심이 활발하게 증가하고 있다. 이 때, 수소 생성반응이 진행하는데 필요한 활성화 에너지를 낮추기 위해 고효율, 저비용의 촉매를 개발하는 것이 매우 중요하다. 그러므로 촉매 물질의 종류, 구조, 표면 상태 등에 따른 촉매 활성도의 변화를 정성 및 정량적으로 분석하고, 이를 토대로 최적화된 촉매를 디자인하는 것이 요구된다.

[0003] 고효율 촉매 개발을 위한 기존의 화학적 합성과 대면적 측정 방법은 촉매 활성도를 연구함에 있어 상기의 다양한 변수들이 상호적인 영향을 미치기 때문에, 개별 촉매 물질, 구조, 표면 상태, 활성 사이트 및 농도 등에 의한 효과를 독립적으로 측정하여 분석하는 것이 용이하지 않다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 촉매의 종류, 구조, 표면 상태, 활성 사이트 및 농도 등에 의한 활성도를 측정할 수 있는 방법 및 장치를 제공하기 위한 것이다.

[0005] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 여기에 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0006] 본 발명은 광전자화학 촉매의 활성도를 측정하는 광전자화학 촉매 활성도 측정 방법을 제공한다. 일 실시 예에 따르면, 광전자화학 촉매 활성도 측정 방법은, 광음극을 포함하는 광전극 부재에 빛을 조사하고, 상기 빛의 상기 광전극 부재에 도달한 도달 위치를 변경하면서 상기 광전극 부재의 광전류를 측정할 수 있다.
- [0007] 상기 광음극의 상면에 촉매가 제공될 수 있다.
- [0008] 상기 도달 위치가 상기 촉매 상에 위치한 상태에서 상기 광전류를 측정할 수 있다.
- [0009] 상기 도달 위치가 상기 촉매 상에 위치한 상태 및 상기 도달 위치가 상기 광음극 상의 상기 촉매가 도포되지 않은 영역에 위치한 상태에서 각각 상기 광전류를 측정할 수 있다.
- [0010] 상기 도달 위치가 상기 촉매의 중앙 영역에 위치한 상태 및 상기 도달 위치가 상기 촉매의 가장자리 영역에 위치한 상태에서 각각 상기 광전류를 측정할 수 있다.
- [0011] 상기 촉매는, 상기 광음극의 상면에 각각 제공된 제 1 촉매 및 제 2 촉매를 포함할 수 있다.
- [0012] 상기 제 1 촉매 및 상기 제 2 촉매는 상기 광음극의 상면의 서로 상이한 위치에 제공될 수 있다.
- [0013] 상기 도달 위치가 상기 제 1 촉매 상에 위치한 상태 및 상기 도달 위치가 상기 제 2 촉매 상에 위치한 상태에서 각각 상기 광전류를 측정할 수 있다.
- [0014] 상기 제 1 촉매 및 상기 제 2 촉매는 위에서 바라볼 때, 서로 일부 영역이 중첩되도록 제공되되, 상기 도달 위치가 상기 제 1 촉매와 상기 제 2 촉매가 중첩된 영역 상에 위치한 상태, 상기 제 2 촉매와 중첩되지 않은 제 1 촉매 상에 위치한 상태 및 상기 제 1 촉매와 중첩되지 않은 제 2 촉매 상에 위치한 상태에서 각각 상기 광전류를 측정할 수 있다.
- [0015] 상기 제 1 촉매 및 상기 제 2 촉매는 위에서 바라볼 때, 서로 이격되도록 제공되되, 상기 도달 위치가 상기 제 1 촉매 상에 위치한 상태 및 상기 도달 위치가 상기 제 2 촉매 상에 위치한 상태에서 각각 상기 광전류를 측정할 수 있다.
- [0016] 상기 제 1 촉매 및 상기 제 2 촉매는 서로 이성질체로 제공될 수 있다.
- [0017] 상기 제 1 촉매 및 상기 제 2 촉매는 서로 분자식이 상이한 물질로 제공될 수 있다.
- [0018] 상기 제 1 촉매 및 상기 제 2 촉매는 서로 두께가 상이하게 제공되되, 상기 도달 위치가 상기 제 1 촉매 상에 위치한 상태 및 상기 도달 위치가 상기 제 2 촉매 상에 위치한 상태에서 각각 상기 광전류를 측정할 수 있다.
- [0019] 상기 광전류는 퍼텐쇼스탯(Potentiostat)을 이용하여 측정할 수 있다.
- [0020] 상기 도달 위치는 상기 빛을 조사하는 방향을 변경함으로써 변경될 수 있다.
- [0021] 상기 도달 위치는 상기 광전극 부재의 위치를 변경함으로써 변경될 수 있다.
- [0022] 또한, 본 발명은 광전자화학 촉매의 활성도를 측정하는 광전자화학 촉매 활성도 측정 장치를 제공한다. 일 실시 예에 따르면, 광전자화학 촉매 활성도 측정 장치는, 광음극을 포함하는 광전극 부재와; 상기 광전극 부재를 향해 빛을 조사하는 광조사 부재와; 상기 빛의 상기 광전극 부재에 도달되는 도달 위치를 조절하는 광 위치 조절 유닛과; 상기 광전극 부재의 광전류를 측정하는 광전류 측정 유닛을 포함한다.
- [0023] 상기 광전류 측정 유닛은, 전해질 용액이 수용된 수용 공간이 형성된 용기를 포함하고, 상기 광음극의 상면은 상기 수용 공간 내의 상기 전해질 용액에 접촉되는 접촉 영역을 포함하고, 상기 광전극 부재의 상면에는, 상기 전해질 용액의 전해질이 투과할 수 없는 재질로 제공되고 상기 접촉 영역이 상기 전해질 용액과 접촉될 수 있게 개방된 개방홀이 형성된 불투과 층이 제공되고, 상기 광조사 부재는 상기 광전극 부재의 상면의 상기 접촉 영역을 둘러싼 광조사 영역 내에 상기 빛을 조사할 수 있다.
- [0024] 상기 광전극 부재는 금속 전극을 더 포함하되, 상기 광음극은 상기 금속 전극의 상면에 제공될 수 있다.
- [0025] 상기 광전극 부재는 그래핀 전극을 더 포함하되, 상기 광음극은 상기 그래핀 전극의 상면에 제공되고, 그래핀 전극은 지지체의 상면에 제공되고, 상기 광전류 측정 유닛은, 상기 그래핀 전극에 전기적으로 연결되고, 상기 지지체의 상면의 상기 그래핀 전극과 중첩되지 않은 영역에 제공되는 연결 전극을 더 포함할 수 있다.

- [0026] 상기 용기의 저면의 상기 광조사 영역에 대향되는 영역에는 상기 수용 공간과 연통되는 연통홀이 형성되고, 상기 광조사 부재는 상기 연통홀을 관통하여 상기 광조사 영역에 도달하도록 상기 빛을 조사하고, 상기 광전극 부재 및 상기 용기의 상기 저면의 사이에는, 내부의 전해질 용액이 외부로 유출되는 것을 방지하는 유출 방지 부재가 제공되며, 상기 유출 방지 부재는 상기 광조사 영역을 둘러싸도록 제공될 수 있다.
- [0027] 상기 광 위치 조절 유닛은 상기 빛의 조사 방향을 변경시키는 조사 방향 조절기를 포함할 수 있다.
- [0028] 상기 광 위치 조절 유닛은, 상기 광전극 부재가 놓이는 지지 부재를 이동시키는 지지 부재 구동기를 포함할 수 있다.
- [0029] 상기 빛은 레이저로 조사될 수 있다.
- [0030] 상기 개방홀은 리소그래피 방식에 의해 형성될 수 있다.
- [0031] 상기 광음극의 상면에는 상기 접촉 영역에서 상기 전해질 용액에 접촉될 수 있도록 촉매가 제공될 수 있다.
- [0032] 상기 촉매는 상기 접촉 영역의 일부 영역에 제공될 수 있다.
- [0033] 상기 촉매는, 상기 광음극의 상면의 서로 상이한 위치에 제공되는 제 1 촉매 및 제 2 촉매를 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0034] 본 발명의 실시 예에 따른 방법 및 장치는 촉매의 종류, 구조, 표면 상태, 활성 사이트 및 농도 등에 의한 활성도를 측정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0035] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 광전자화학 촉매 활성도 측정 장치를 개략적으로 나타낸 도면이다.
- 도 2는 도 1의 촉매 및 광전극 부재를 나타낸 측단면도이다.
- 도 3은 도 2의 촉매 및 광전극 부재를 나타낸 평면도이다.
- 도 4는 다른 실시 예에 따른 촉매 및 광전극 부재를 나타낸 측단면도이다.
- 도 5는 또다른 실시 예에 따른 촉매 및 광전극 부재를 나타낸 측단면도이다.
- 도 6은 도 5의 촉매 및 광전극 부재를 나타낸 평면도이다.
- 도 7 및 도 8은 또다른 실시 예들에 따른 촉매 및 광전극 부재를 나타낸 측단면도이다.
- 도 9는 본 발명의 광전자화학 촉매 활성도 측정 장치에 의해 광전류가 측정되는 도 5의 촉매가 놓인 광전극 부재의 일 예(좌측) 및 측정된 광전류가 표시된 영상의 일 예(우측)를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0036] 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면들을 참조하여 더욱 상세하게 설명한다. 본 발명의 실시 예는 여러 가지 형태로 변형할 수 있으며, 본 발명의 범위가 아래의 실시 예들로 한정되는 것으로 해석되어서는 안 된다. 본 실시 예는 당업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위해 제공되는 것이다. 따라서 도면에서의 요소의 형상은 보다 명확한 설명을 강조하기 위해 과장되었다.
- [0037] 본 발명의 일 실시 예에 따른 광전자화학 촉매 활성도 측정 방법은 태양에너지로부터 수소 에너지를 생산하는데 사용되는 광전지화학셀의 수소 생성 반응이 진행되는 데 필요한 활성화 에너지를 낮추기 위한 촉매로서 사용될 수 있는 광전자화학 촉매의 활성도를 측정하는 방법이다.
- [0038] 본 발명의 실시 예에 따른 광전자화학 촉매 활성도 측정 방법은 측정 대상인 촉매로 이루어진 촉매 샘플이 접촉될 수 있도록 제공되는 광음극을 포함하는 광전극 부재에 빛을 조사하고, 상기 빛의 광전극 부재에 도달한 도달 위치를 변경하면서 광전극 부재의 광전류를 측정한다.
- [0039] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 광전자화학 촉매 활성도 측정 장치(10)를 개략적으로 나타낸 도면이다. 도 2는 도 1의 촉매(20) 및 광전극 부재(100)를 나타낸 측단면도이다. 도 3은 도 2의 촉매(20) 및 광전극 부재(100)를 나타낸 평면도이다. 이하, 본 발명의 실시 예에 따른 광전자화학 촉매 활성도 측정 방법을 도 1의 광전자화학 촉매 활성도 측정 장치(10)를 이용하여 설명한다.

- [0040] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 광전자화학 촉매 활성도 측정 장치(10)는 광전자화학 촉매의 활성도를 측정하는 장치이다. 일 실시 예에 따르면, 광전자화학 촉매 활성도 측정 장치(10)는 광전극 부재(100), 광조사 부재(200), 광 위치 조절 유닛(300), 광전류 측정 유닛(400) 및 제어기(500)를 포함한다.
- [0041] 광전극 부재(100)는 광음극(110)을 포함한다. 광음극(110)의 상면에는 촉매(20)가 제공된다. 촉매(20)는 하나의 재질의 단수로 제공될 수 있다. 이와 달리, 필요에 따라 선택적으로, 광음극(110)의 상면에는 촉매(20)가 제공되지 않은 상태에서 광전류가 측정될 수 있다.
- [0042] 일 실시 예에 따르면, 아래에서 설명될 광전류 측정 유닛(400)은 퍼텐쇼스탯(Potentiostat)으로 제공될 수 있다. 이 경우, 광전극 부재(100)는 광음극(110)의 상면의 일부 영역이 수용 공간(411) 내의 전해질 용액(30)에 접촉되도록 제공된다. 일 실시 예에 따르면, 광음극(110)의 상면은 수용 공간(411) 내의 전해질 용액에 접촉 영역(141)을 포함한다. 광음극(110)의 상면에 촉매(20)가 제공되는 경우, 광음극(110)의 상면에는 접촉 영역(141)에서 수용 공간(411) 내의 전해질 용액(30)에 접촉될 수 있도록 촉매(20)가 제공된다. 촉매(20)는 접촉 영역(141)의 일부 영역에 제공될 수 있다.
- [0043] 예를 들면, 광전극 부재(100)는 광음극(110), 금속 전극(120) 및 지지체(130)를 포함한다.
- [0044] 광음극(110)은 빛이 조사되면 들뜬 전자를 생성시켜 전해질의 수소이온과 반응하여 수소분자로 환원시킨다. 광음극(110)에 촉매(20)가 접촉되면 수소이온의 수소분자로의 환원에 필요한 활성화에너지를 낮출 수 있다. 일 실시 예에 따르면 촉매(20)는 광음극(110)의 상면에 제공된다. 광음극(110) 및 촉매(20)는 전이금속 칼코겐 화합물(TMDC)로 제공될 수 있다. 예를 들면, 광음극(110)은 약 80nm 두께의 텅스텐 디셀레나이드(WSe₂)로 제공될 수 있다. 이와 달리, 광음극(110)은 실리콘(Si) 등의 다양한 반도체 재질로 제공될 수 있다. 촉매(20)는 이산화황 몰리브덴(MoS₂) 또는 백금(Pt) 등으로 제공될 수 있다. 이와 달리, 광음극(110) 및 촉매(20)는 실험 목적 및 조건에 따라 다양한 재질로 제공될 수 있다.
- [0045] 광음극(110)은 금속 전극(120)의 상면에 제공된다. 금속 전극(120)은 금속 재질로 제공된다. 일 실시 예에 따르면, 광전류 측정 유닛(400)이 퍼텐쇼스탯(Potentiostat)으로 제공되는 경우, 광전극 부재(100)를 작업 전극(Working electrode)로서 제공하기 위해 금속 전극(120)을 통해 광전극 부재(100)에 전력이 인가된다. 이와 달리, 금속 전극(120)은 그래핀 재질의 전극으로 대체될 수 있다. 일반적으로 전력이 인가되기 위해서는 금속 재질의 연결 부재를 통해 금속 전극(120)에 전력이 인가된다. 따라서, 금속 전극(120) 대신 그래핀 재질의 전극이 제공되는 경우, 금속 재질의 연결 부재 및 광음극(110)사이에 그래핀 재질의 전극이 제공됨으로써, 금속 재질의 연결 부재 및 전이금속 칼코겐 화합물(TMDC) 재질의 광음극(110) 간의 전기적 저항을 낮출 수 있다.
- [0046] 금속 전극(120)은 지지체(130)의 상면에 제공된다. 따라서, 광전극 부재(100)는 지지체(130) 상에 제공됨으로써, 파지가 용이하다. 예를 들면, 지지체는 슬라이드 글라스, 실리콘 옥사이드(SiO₂), 금속 등 다양한 재질로 제공될 수 있다.
- [0047] 광전극 부재(100)의 상면에는, 전해질 용액(30)의 전해질이 투과할 수 없는 재질의 불투과 층(140)이 도포된다. 일 실시 예에 따르면, 불투과 층(140)은 고분자 재질로 제공된다. 예를 들면, 불투과 층(140)은 아크릴(PMMA) 재질로 제공될 수 있다.
- [0048] 불투과 층(140)에는 접촉 영역(141)이 전해질 용액(30)에 접촉되도록 접촉 영역에 대향되도록 개방되는 개방홀(143)이 형성된다. 따라서, 일 실시 예에 따르면, 상부에서 바라볼 때, 개방홀(143)의 내측 경계면과 접촉 영역(141)은 서로 일치된다. 일 실시 예에 따르면 개방홀(143)은 광전극 부재(100)의 상면에 불투과 층(140)이 도포된 후, 리소그래피(lithography) 공정에 의해 설정된 형상으로 형성된다. 개방홀(143)의 형상은 접촉 영역(141)의 형상을 결정하게 되므로, 개방홀(143)의 형상은 접촉 영역(141)의 요구되는 형상에 의해 다양한 형상으로 결정될 수 있다. 예를 들면, 불투과 층(140)의 접촉 영역(141) 외의 영역은 개방홀(143)의 형상에 따라 촉매(20)의 일부 영역과 중첩되거나, 촉매(20)와 중첩되지 않도록 제공될 수 있다.
- [0049] 광조사 부재(200)는 광전극 부재(100)를 향해 빛을 조사한다. 일 실시 예에 따르면, 광조사 부재(200)는 광전극 부재(100)의 상면의 접촉 영역(141)을 둘러싼 광조사 영역(142) 내에 빛을 조사한다. 일 실시 예에 따르면, 광조사 부재(200)는 광조사 영역(142) 내에 집광된 빔을 조사한다. 예를 들면, 상기 집광된 빔은 532nm 파장의 레이저(Laser)일 수 있다. 광조사 부재(200)가 레이저를 조사함으로써, 광조사 영역(142) 내에 빛이 조사되는 위치를 보다 정밀하게 구분할 수 있다.
- [0050] 광 위치 조절 유닛(300)은 광조사 부재(200)에 의해 조사된 빛의 광전극 부재(100)에 도달되는 도달 위치를 조

절한다. 일 실시 예에 따르면, 광 위치 조절 유닛(300)은 광조사 부재(200)의 빛의 조사 방향을 변경시키는 조사 방향 조절기(310)를 포함할 수 있다. 예를 들면, 조사 방향 조절기(310)는 레이저가 반사되는 갈바노 미러(Galvano mirror, 310)로 제공될 수 있다. 이 경우, 도달 위치는 갈바노 미러(310)의 배치 각도를 조절함으로써 조절될 수 있다. 즉, 도달 위치는 빛을 조사하는 방향을 변경함으로써 변경될 수 있다.

[0051] 이와 달리, 광 위치 조절 유닛(300)은 광전극 부재(100)가 놓이는 지지 부재(700)를 이동시키는 지지 부재 구동기(미도시)를 포함할 수 있다. 이 경우, 도달 위치는 광전극 부재(100)의 위치를 변경함으로써 변경될 수 있다.

[0052] 일 실시 예에 따르면, 지지 부재(700)는 광음극(110)의 광전류 측정 시 용기(410)에 결합되도록 제공된다. 따라서, 상기 지지 부재 구동기는 지지 부재(700) 및 용기(410)를 함께 이동시킴으로써 도달 위치를 변경시킬 수 있다. 이 경우, 광전극 부재(100)는 연통홀(412)에 광조사 영역(142)이 대향되도록 용기(410) 및 지지 부재(700)의 사이에 제공된 상태에서 용기(410) 및 지지 부재(700)를 서로를 바라보는 방향으로 밀착시킴으로써 고정될 수 있다. 예를 들면, 용기(410) 및 지지 부재(700)는 나사(미도시)에 의해 서로 결합될 수 있다.

[0053] 일 실시 예에 따르면, 용기(410) 및 지지 부재(700)는 산성에 강하고 가공이 쉬운 폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE) 재질로 제공될 수 있다. 이와 달리, 용기(410) 및 지지 부재(700)는 전해질 용액이 투과될 수 없고, 광전극 부재(100)를 서로의 사이에 고정시킬 수 있는 마찰력을 가지는 다양한 재질로 제공될 수 있다.

[0054] 광전류 측정 유닛(400)은 광전극 부재(100)에서 방출되는 광전류를 측정한다. 일 실시 예에 따르면, 광전류 측정 유닛(400)이 퍼텐쇼스탯(Potentiostat)으로 제공되는 경우, 광전류 측정 유닛(400)은 용기(410), 기준 전극(430), 상대 전극(440) 및 측정 및 전원부(450)를 포함한다.

[0055] 용기(410)에는 수용 공간(410)이 형성된다. 수용 공간(410)에는 전해질 용액(30)이 수용된다. 예를 들면, 수용 공간(410)에 수용된 전해질 용액(30)은 0.5M의 황산수용액으로 제공될 수 있다. 이와 달리, 전해질 용액(30)은 필요에 따라 선택적으로 다양한 종류의 전해질 용액으로 제공될 수 있다.

[0056] 용기(410)의 저면의 광조사 영역(142)에 대향되는 영역에는, 수용 공간(410) 및 외부와 연통되는 연통홀(412)이 형성된다. 광조사 부재(200)는 용기(410) 보다 높은 위치로부터 연통홀(412)을 관통하여 광조사 영역(142)에 도달하도록 빛을 조사한다. 일 실시 예에 따르면, 용기(410)의 광조사 영역(142)에 대향되는 영역의 저면은 그 외 영역의 저면보다 높게 제공될 수 있다. 따라서, 용기(410)의 광조사 영역에 대향되는 영역의 전해질 영역의 깊이는 그 외의 영역에 비해 얇게 제공됨으로써 광조사 부재(200)로부터 조사된 빛이 전해질 용액을 투과하며 받는 영향을 줄일 수 있다.

[0057] 광전극 부재(100) 및 용기(410)의 저면의 사이에는 연통홀(412)을 통해 접촉 영역(141)에 접하는 내부의 전해질 용액(30)이 외부로 유출하는 것을 방지하는 유출 방지 부재(900)가 제공된다. 유출 방지 부재(900)는 전해질 용액(30)이 투과할 수 없고, 용기(410) 및 지지 부재(700)의 사이에 제공되어 용기(410) 및 지지 부재(700)를 밀착시키는 힘을 견딜 수 있는 다양한 재질로 제공될 수 있다. 예를 들면, 유출 방지 부재(900)는 폴리디메틸실록산(PDMS) 재질로 제공될 수 있다. 유출 방지 부재(900)는 광조사 영역(142) 및 연통홀(412)을 둘러싸도록 제공된다. 예를 들면, 유출 방지 부재(900)는 광조사 영역(142) 및 연통홀(412)을 둘러싼 링 형상으로 제공될 수 있다.

[0058] 도 4는 다른 실시 예에 따른 촉매(20) 및 광전극 부재(100)를 나타낸 측단면도이다. 도 4를 참조하면, 도 2의 경우와 달리, 금속 전극(도 2의 120)은 그래핀(Graphene) 재질의 그래핀 전극(121)으로 대체될 수 있다. 이 경우, 광전류 측정 유닛(400)은 금속 재질의 연결 전극(420)을 더 포함할 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 연결 전극(420)은 광전극 부재(100)에 전기적으로 연결된다. 예를 들면, 연결 전극(420)은 그래핀 전극(121)에 전기적으로 연결된다. 연결 전극(420)은 지지체(130)의 상면의 그래핀 전극(121)과 중첩되지 않은 영역에 제공된다. 연결 전극(420)은 금속 재질의 와이어(421)에 의해 그래핀 전극(121)에 연결될 수 있다. 와이어(421) 및 광음극(110)의 사이에 그래핀 전극(121)을 제공함으로써, 금속 재질의 와이어(421) 및 전이금속 칼코젠 화합물(TMDC) 재질의 광음극(110) 간의 전기적 저항을 낮출 수 있다. 예를 들면, 금속 와이어(421)는 인듐(In) 재질로 제공될 수 있다. 이 경우, 금속 와이어(421)는 금(Au) 재질로 제공된 접촉 부재(미도시)에 의해 그래핀 전극(121)에 연결될 수 있다. 따라서, 광전류 측정 유닛(400)이 퍼텐쇼스탯으로 제공되어 작업 전극(Working electrode)로서 작용하도록 광음극(110)에 전력을 인가하는 경우, 그래핀 전극(121)에 전기적으로 연결된 상태로 그래핀 전극(121)과 함께 쉽게 파지하여 이동시킬 수 있도록 제공된 연결 전극(420)에, 측정 및 전원부(450)로부터 연결된 전극을 연결 및 분리시킬 수 있도록 제공함으로써, 전극 연결 및 분리 시 그래핀 전극(121)의 손상을 방지하고, 광음극(110)은 외측으로 연장된 연결 전극(420)을 통해 측정 및 전원부(450)에 용이하게 전기적으로 연결될 수

있다. 연결 전극(420)은 금속 재질로 제공된다. 예를 들면, 연결 전극(420)은 구리 재질로 제공될 수 있다.

- [0059] 광전류 측정 유닛(400)이 퍼텐쇼 스택으로 제공되는 경우, 퍼텐쇼스택의 기준 전극(430) 및 상대 전극(440)은 전해질 용액(30)에 접촉되도록 수용 공간(410) 내에 제공된다.
- [0060] 다시 도 1을 참조하면, 측정 및 전원부(450)는 워킹 전극(100), 기준 전극(430) 및 대향 전극(440)에 흐르는 전류를 통해 광전극 부재(100)의 광전류를 측정한다.
- [0061] 측정 및 전원부(450)에 의해 워킹 전극(100), 기준 전극(430) 및 대향 전극(440)에는 광전극 부재(100)에 빛이 조사되지 않는 경우에도 일정 정도의 전류가 흐른다. 따라서, 일 실시 예에 따르면, 광조사 부재(200)로부터 조사되는 빛을 광 초파(Optical chopper, 500)를 이용하여 일정 주기로 반복적으로 조사시키고, 로크인 증폭기(Lock-in amplifier, 600)와 동기시켜 멀티 미터(Multi meter, 700)를 이용하여 측정하는 경우 빛이 광전극 부재(100)에 조사되지 않는 경우 대비 조사했을 때의 광전류를 측정할 수 있다.
- [0062] 본 발명의 일 실시 예에 따른 광전자화학 촉매 활성화 측정 장치(10)는 제어부(800)를 더 포함할 수 있다. 제어부(800)는 변경되는 도달 위치에 따라, 광조사 영역(142)에 광을 조사하고, 광전류를 측정하도록 광전자화학 촉매 활성화 측정 장치(10)의 각 구성을 제어하고, 각 도달 위치에 따른 광전류를 매핑(Mapping)한다. 제어부(800)는 매핑된 결과를 사용자에게 시각적으로 전달할 수 있다. 예를 들면, 제어부(800)는 광전자화학 촉매 활성화 측정 장치(10)의 각 구성과 연결된 개인용 컴퓨터(PC)일 수 있다.
- [0063] 예를 들면, 제어부(800)는 도달 위치가 촉매(20) 상에 위치한 상태에서 도달 위치를 이동시키면서 광전류를 측정하도록 제어할 수 있다. 또한, 제어부(800)는 도달 위치가 촉매(20) 상에 위치한 상태 및 도달 위치가 광음극(110) 상의 촉매가 도포되지 않은 영역에 위치한 상태에서 각각 광전류를 측정하도록 제어할 수 있다. 또한, 제어부(800)는 도달 위치가 촉매(20)의 중앙 영역에 위치한 상태 및 도달 위치가 촉매(20)의 가장자리 영역에 위치한 상태에서 각각 광전류를 측정하도록 제어할 수 있다.
- [0064] 도 5는 또다른 실시 예에 따른 촉매(20) 및 광전극 부재(100)를 나타낸 측단면도이다. 도 6은 도 5의 촉매(20) 및 광전극 부재(100)를 나타낸 평면도이다. 도 5 및 도 6을 참조하면, 도 2 내지 도 4의 경우와 달리, 촉매(20)는 복수개로 제공될 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 촉매(20)는 제 1 촉매(21) 및 제 2 촉매(22)를 포함한다. 제 1 촉매(21) 및 제 2 촉매(22)는 전이금속 갈코겐 화합물(TMDC)로 제공될 수 있다. 제 1 촉매(21) 및 제 2 촉매(22)는 광음극(110)의 상면의 서로 상이한 위치에 제공될 수 있다. 예를 들면, 제 1 촉매(21) 및 제 2 촉매(22)는 위에서 바라볼 때, 서로 일부 영역이 중첩되도록 제공될 수 있다. 이 경우, 제어부(800)는 도달 위치가 제 1 촉매(21)와 제 2 촉매(22)가 중첩된 영역 상에 위치한 상태, 제 2 촉매(22)와 중첩되지 않은 제 1 촉매(21) 상에 위치한 상태 및 제 1 촉매(21)와 중첩되지 않은 제 2 촉매(22) 상에 위치한 상태에서 각각 광전류를 측정하도록 제어할 수 있다.
- [0065] 도 7 및 도 8은 또다른 실시 예들에 따른 촉매(20) 및 광전극 부재(100)를 나타낸 측단면도이다. 도 7을 참조하면, 제 1 촉매(21) 및 제 2 촉매(22)는 광음극(110) 상에서 서로 이격되게 제공될 수 있다. 도 8을 참조하면, 제 1 촉매(21) 및 제 2 촉매(22)는 광음극(110) 상에 서로 상이한 두께로 제공될 수 있다. 도 7 및 도 8의 경우, 제어부(800)는 도달 위치가 제 1 촉매(21) 상에 위치한 상태 및 도달 위치가 제 2 촉매(22) 상에 위치한 상태에서 각각 광전류를 측정하도록 제어할 수 있다.
- [0066] 도 5 내지 도 8의 제 1 촉매(21) 및 제 2 촉매(22)는 서로 이성질체로 제공될 수 있다. 이와 달리, 제 1 촉매(21) 및 제 2 촉매(22)는 선택적으로, 서로 분자식이 상이한 물질로 제공되거나, 동일한 재질로 제공될 수 있다.
- [0067] 제 1 촉매(21) 및 제 2 촉매(22)가 서로 상이한 재질로 제공되는 경우, 제 1 촉매(21) 및 제 2 촉매(22)는 이산화황 몰리브덴(MoS_2), 황화텅스텐(WS_2) 및/또는 백금(Pt)으로 제공될 수 있다. 이와 달리, 제 1 촉매(21) 및 제 2 촉매(22)는 실험 목적 및 조건에 따라 다양한 재질로 제공될 수 있다. 예를 들면, 제 1 촉매(21) 및 제 2 촉매(22)는 이산화황 몰리브덴(MoS_2), 황화텅스텐(WS_2) 및 백금(Pt) 중 하나 또는 이와 상이한 재질 중 하나의 동일한 재질로 제공될 수 있다.
- [0068] 도 2 내지 도 8과 달리, 촉매(20)는 실험의 목적 및 필요에 따라 상이한 수, 구성 및 배치로 제공될 수 있다. 예를 들면, 도 4 및 도 5의 경우와 달리, 도 10의 경우와 같이, 촉매(20)는 제 1 촉매(21) 전체가 제 2 촉매(22)의 일부에 완전히 중첩되도록 제공될 수 있다. 이와 같이, 다양한 구성 및 배치의 촉매(20)를 제공함으로써, 촉매(20)의 구성 및 배치에 따른 활성화 측정이 가능하다. 구성 및 배치가 상이한 촉매(20)가 제

공되는 경우 마다, 제어부(800)는 필요에 따라 선택적으로 다양한 방식으로, 도달 위치가 촉매(20) 상에 위치한 상태에서 도달 위치를 이동시키면서 광전류를 측정하도록 제어할 수 있다. 예를 들면, 제어부(800)는 도달 위치가 촉매(20) 상에 위치한 상태 및 도달 위치가 광음극(110) 상의 촉매가 도포되지 않은 영역에 위치한 상태에서 각각 광전류를 측정하도록 제어할 수 있다. 또한, 제어부(800)는 도달 위치가 촉매(20)의 중앙 영역에 위치한 상태 및 도달 위치가 촉매(20)의 가장자리 영역에 위치한 상태에서 각각 광전류를 측정하도록 제어할 수 있다.

[0069] 또 다른 실시 예에 따르면, 제어부(800)는 도달 위치(201)가 광조사 영역(142) 전체를 스캔(Scan) 하면서 상기 광전류를 측정하도록 제어할 수 있다. 또한, 제어부(800)는 각 도달 위치에 대응되는 위치에 그 도달 위치에서의 광전류를 측정된 값에 따라 다른 색상으로 표시할 수 있다. 예를 들면, 측정된 광전류의 값이 클수록 측정된 도달 위치에 대응되는 화면상의 위치는 보다 밝은 색으로 표시할 수 있다.

[0070] 도 9는 광전자화학 촉매 활성화 측정 장치(10)에 의해 광전류가 측정되는 도 5의 촉매(20)가 놓인 광전극 부재(100)의 일 예(좌측) 및 측정된 광전류가 표시된 영상의 일 예(우측)를 나타낸 도면이다. 도 9를 참조하면, 광전극 부재(100)의 제 1 촉매(21)는 황화텅스텐(WS_2)으로 제공하고, 제 2 촉매(22)는 이산화황 몰리브덴(MoS_2)으로 제공하였다. 이와 같이 제공된 광전극 부재(100)를 도 1의 광전자화학 촉매 활성화 측정 장치(10)를 이용하여 도달 위치(201)를 변경하면서 광조사 영역(142)을 스캔하여 광전류를 측정하고, 측정된 도달 위치(201)에 따른 광전류를 그 값의 범위에 따라 상이한 색으로 나타내는 경우, 도 9의 우측 그림과 같이 광조사 영역(142) 내의 도달 위치에 따른 광전류를 용이하게 식별할 수 있다. 도 9의 우측 그림을 참조하면, 접촉 영역(141)의 외측의 영역은 불투과 층(140)에 의해 전기적으로 차단됨으로써 광전류가 0에 가깝게 측정되었음을 알 수 있다. 제 2 촉매(22)의 중앙 영역보다 가장자리 영역에서 높은 광전류가 측정되었음을 알 수 있다. 또한, 제 1 촉매(21)와 중첩된 제 2 촉매(22)의 가장자리 영역에서의 광전류가 그 외의 영역에 비해 높이 측정되었음을 알 수 있다.

[0071] 도 10은 광전자화학 촉매 활성화 측정 장치(10)에 의해 광전류가 측정되는 도 5와 상이한 촉매(20)가 놓인 광전극 부재(100)의 일 예(좌측) 및 측정된 광전류가 표시된 영상의 일 예(우측)를 나타낸 도면이다. 도 10을 참조하면, 광전극 부재(100)의 제 1 촉매(21)는 황화텅스텐(WS_2)으로 제공하고, 제 2 촉매(22)는 이산화황 몰리브덴(MoS_2)으로 제공하였다. 이와 같이 제공된 광전극 부재(100)를 도 1의 광전자화학 촉매 활성화 측정 장치(10)를 이용하여 도달 위치(201)를 변경하면서 광조사 영역(142)을 스캔하여 광전류를 측정하고, 측정된 도달 위치(201)에 따른 광전류를 그 값의 범위에 따라 상이한 색으로 나타내는 경우, 도 10의 우측 그림과 같이 광조사 영역(142) 내의 도달 위치에 따른 광전류를 용이하게 식별할 수 있다. 도 10의 우측 그림을 참조하면, 접촉 영역(141)의 외측의 영역은 불투과 층(140)에 의해 전기적으로 차단됨으로써 광전류가 0에 가깝게 측정되었음을 알 수 있다. 또한, 제 2 촉매(22)만 제공된 영역보다 제 1 촉매(21) 및 제 2 촉매(22)가 중첩된 영역에서 더 높은 광전류가 측정되었음을 알 수 있다.

[0072] 상술한 바와 같이, 본 발명의 실시 예에 따른 방법 및 장치는 조사되는 빛의 집광 정도를 높이고, 도달 위치의 위치를 보다 정밀하게 이동시킬수록 이동되는 도달 위치 별 광전류를 보다 높은 해상도로 측정하고 나타낼 수 있다. 또한, 광음극 상에 놓이는 촉매의 종류, 구조, 두께 및 배치를 필요에 따라 선택적으로 변경함으로써, 촉매의 종류, 구조, 두께 및 배치에 따른 촉매 활성도를 측정할 수 있고, 이에 따른 촉매의 활성 사이트의 종류 및 국부적인 농도에 따른 촉매 활성도를 측정할 수 있다. 또한, 촉매 표면의 일부 영역의 원자를 떼어내어 결합을 형성 후 광전류를 측정함으로써 촉매의 표면 상태에 따른 촉매 활성도를 측정할 수 있다.

[0073] 이상의 상세한 설명은 본 발명을 예시하는 것이다. 또한 전술한 내용은 본 발명의 바람직한 실시 형태를 나타내어 설명하는 것이며, 본 발명은 다양한 다른 조합, 변경 및 환경에서 사용할 수 있다. 즉 본 명세서에 개시된 발명의 개념의 범위, 저술한 개시 내용과 균등한 범위 및/또는 당업계의 기술 또는 지식의 범위내에서 변경 또는 수정이 가능하다. 저술한 실시예는 본 발명의 기술적 사상을 구현하기 위한 최선의 상태를 설명하는 것이며, 본 발명의 구체적인 적용 분야 및 용도에서 요구되는 다양한 변경도 가능하다. 따라서 이상의 발명의 상세한 설명은 개시된 실시 상태로 본 발명을 제한하려는 의도가 아니다. 또한 첨부된 청구범위는 다른 실시 상태도 포함하는 것으로 해석되어야 한다.

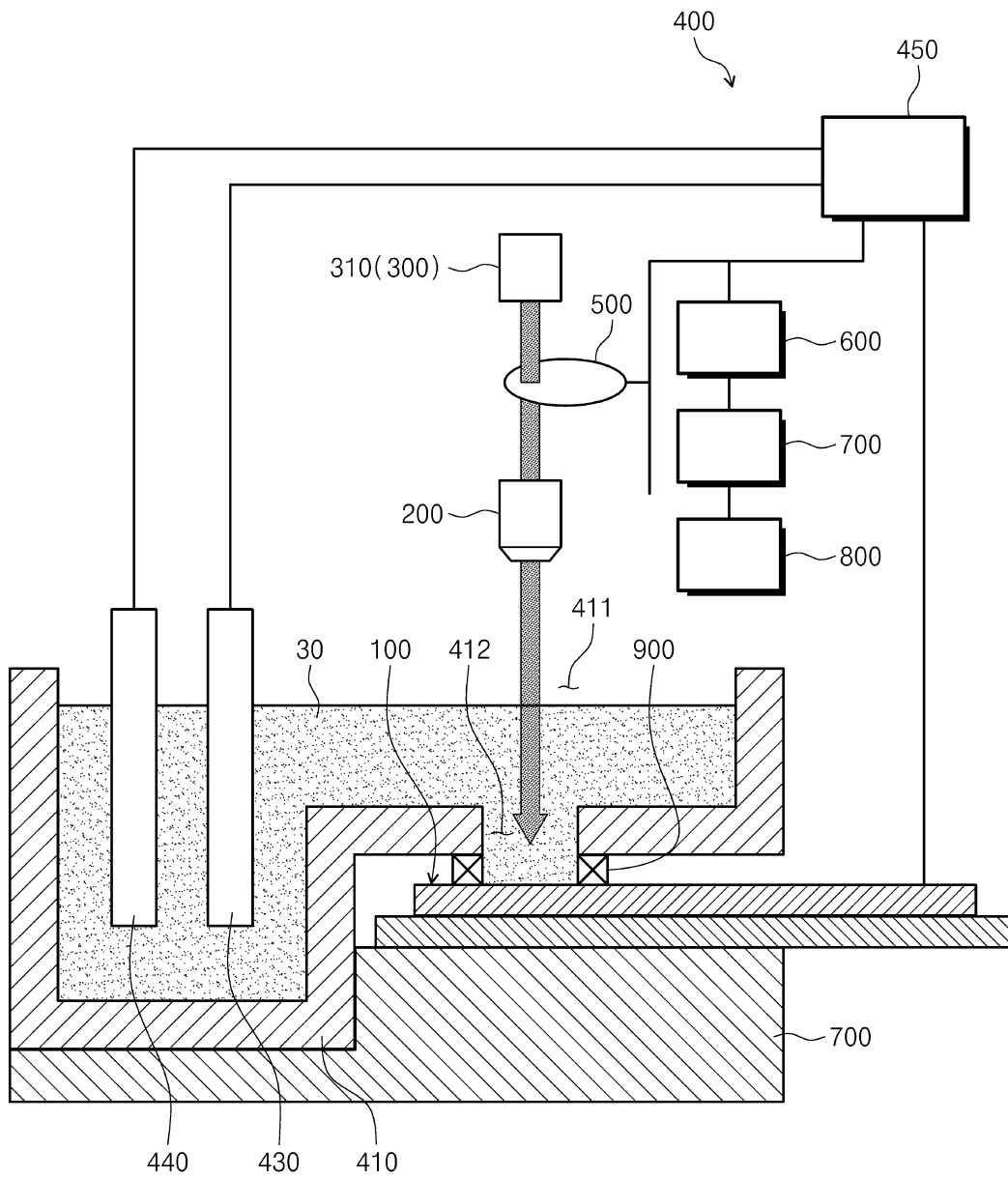
부호의 설명

[0074] 10: 광전자화학 촉매 활성화 측정 장치
20: 촉매 21: 제 1 촉매
22: 제 2 촉매 30: 전해질 용액

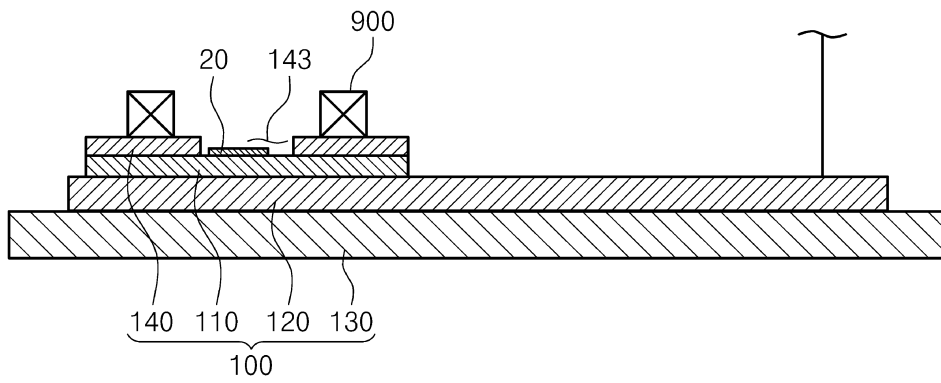
100: 광전극 부재 110: 광음극
120: 금속 전극 130: 지지체
140: 불투과 층 141: 접촉 영역
142: 광조사 영역 143: 개방홀
200: 광조사 부재 201: 도달 위치
300: 광 위치 조절 유닛 400: 광전류 측정 유닛
410: 용기 411: 수용 공간
412: 연통홀 420: 연결 전극
421: 와이어 430: 기준 전극
440: 상대 전극

도면

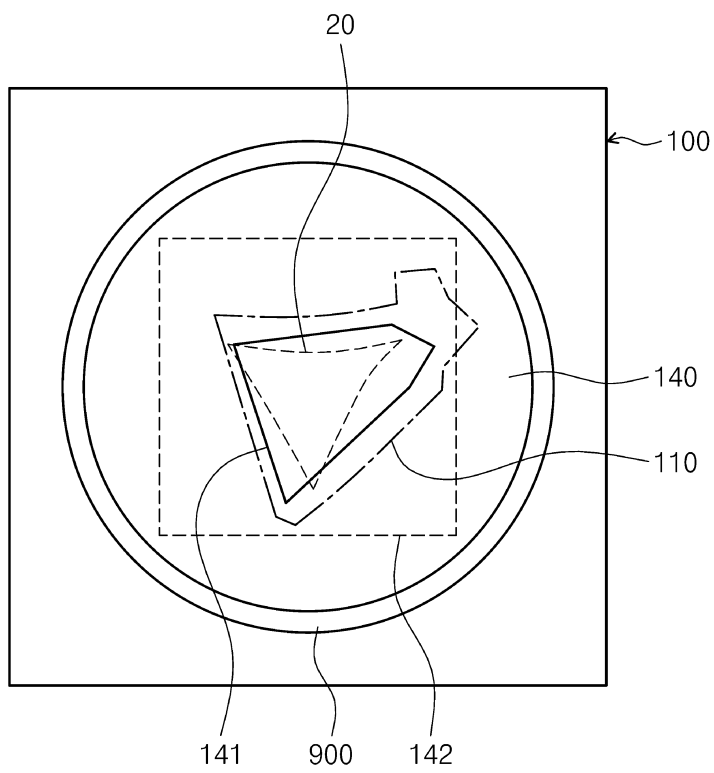
도면1



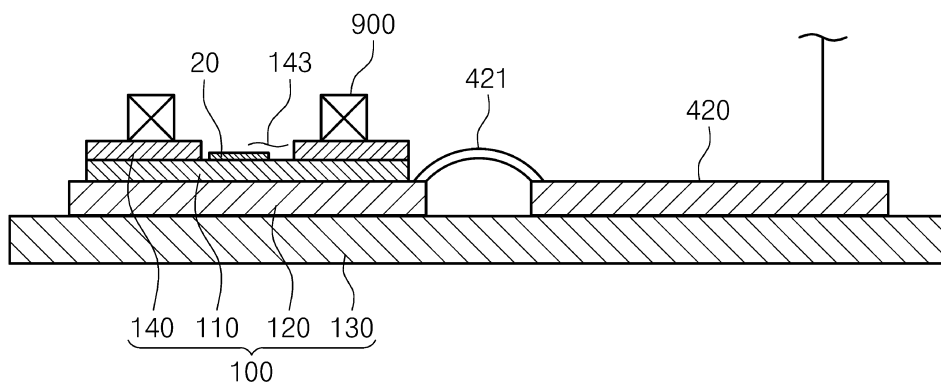
도면2



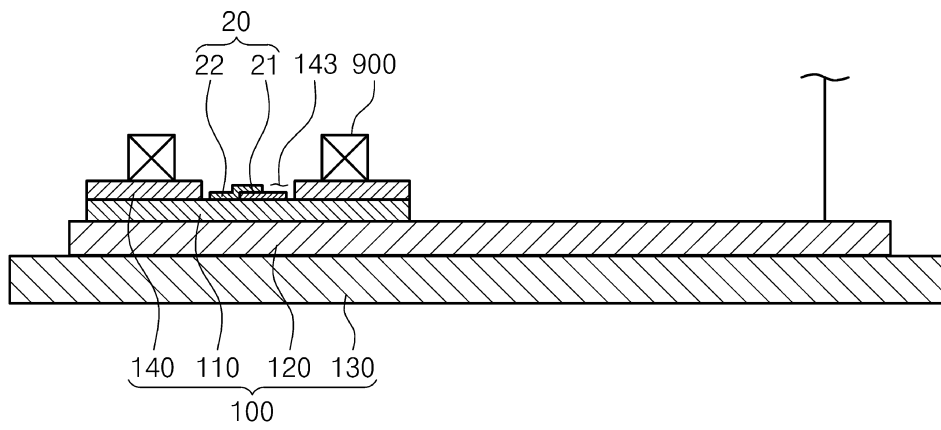
도면3



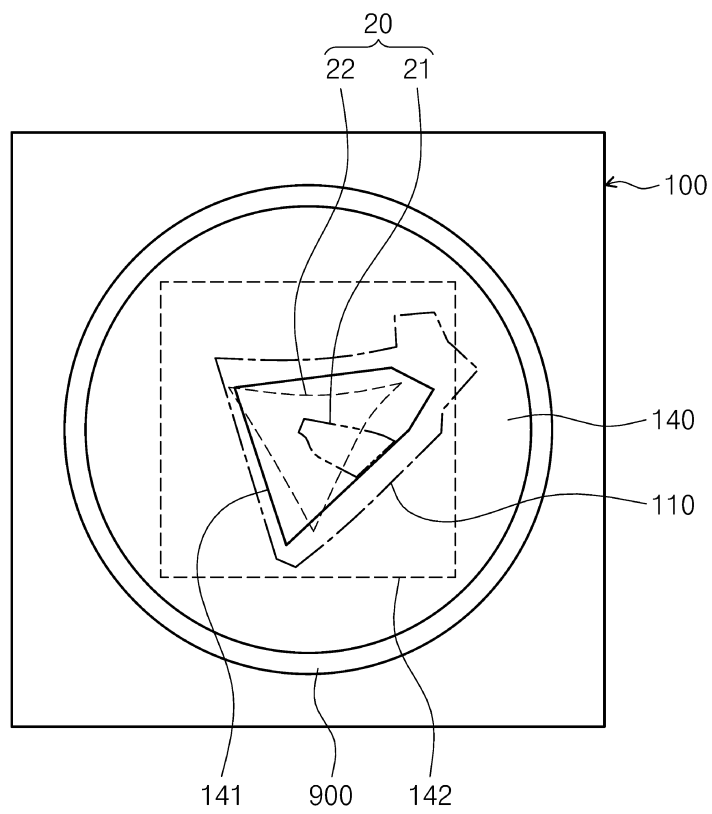
도면4



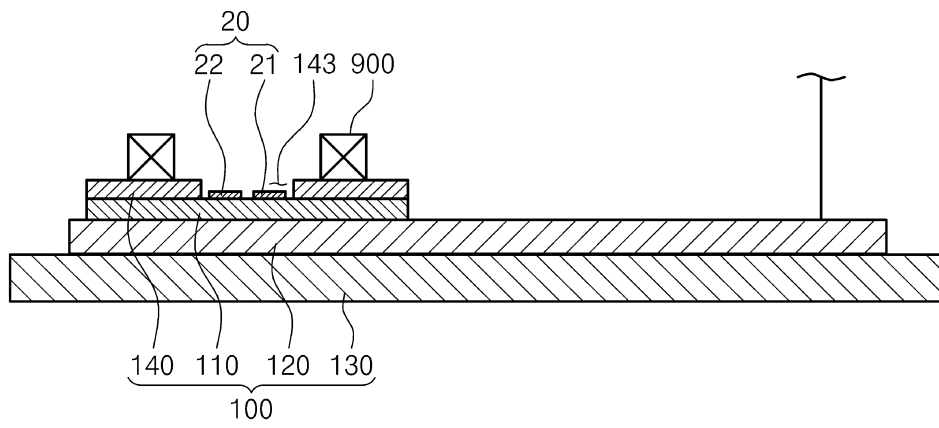
도면5



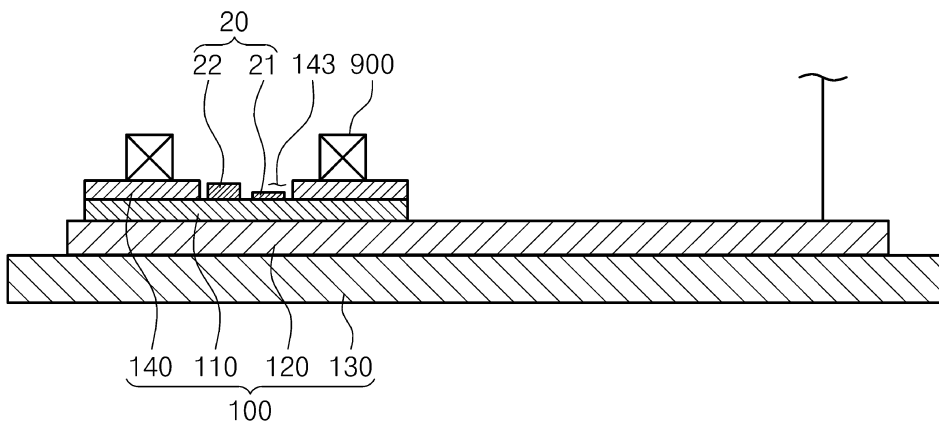
도면6



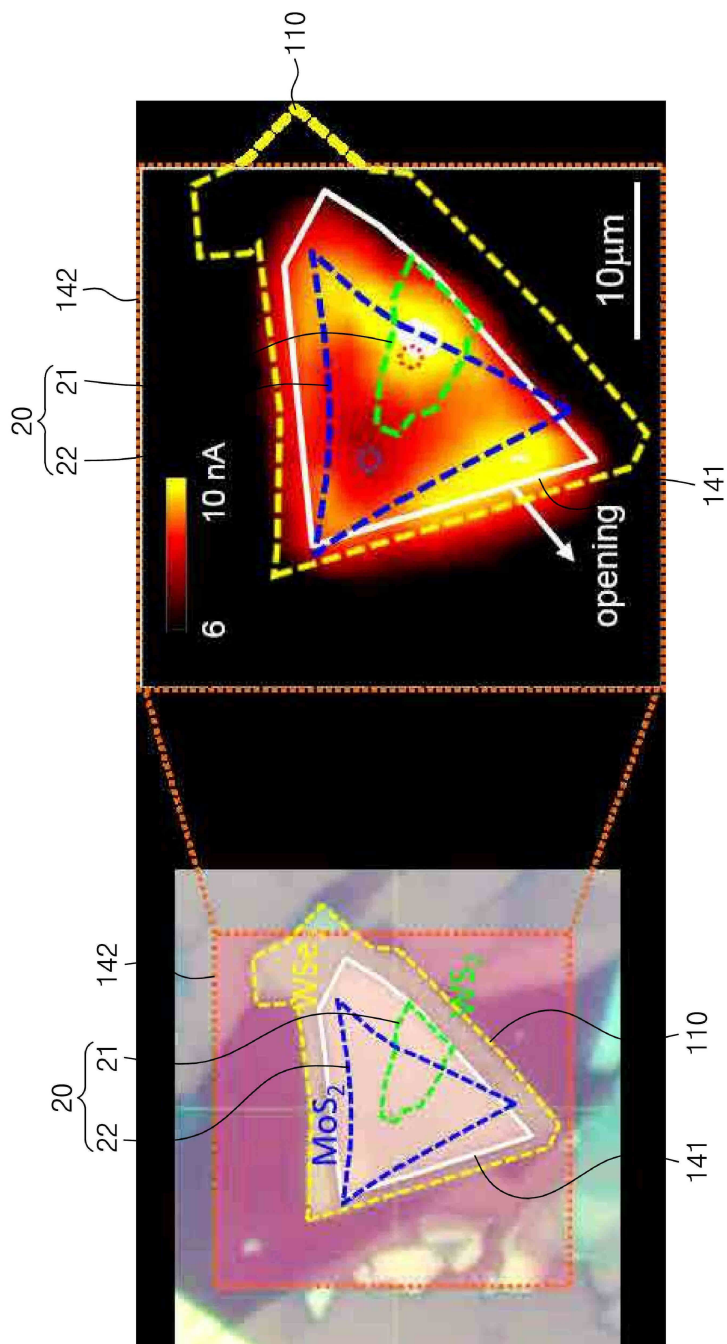
도면7



도면8



도면9



도면10

