



등록특허 10-2057025



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년12월18일
(11) 등록번호 10-2057025
(24) 등록일자 2019년12월12일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01M 4/86 (2006.01) *C25B 11/03* (2006.01)
H01M 4/88 (2006.01) *H01M 8/02* (2016.01)
H01M 8/10 (2016.01) *H01M 8/16* (2017.01)
- (52) CPC특허분류
H01M 4/8605 (2013.01)
C25B 11/035 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-7026772
- (22) 출원일자(국제) 2014년02월26일
심사청구일자 2018년01월29일
- (85) 번역문제출일자 2015년09월25일
- (65) 공개번호 10-2015-0143455
- (43) 공개일자 2015년12월23일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2014/053737
- (87) 국제공개번호 WO 2014/131799
국제공개일자 2014년09월04일
- (30) 우선권주장
13156781.0 2013년02월26일
유럽특허청(EPO)(EP)
- (56) 선행기술조사문헌
US05670278 A*
US20110027664 A1*
- *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
비토 엔브이
벨기에 베-2400 몰 브레탕 200
(72) 발명자
팬트, 디파
벨기에 베-2400 몰 브레탕 200 내
도밍게즈 베네통, 소치틀
벨기에 베-2400 몰 브레탕 200 내
(뒷면에 계속)

(74) 대리인
김연권

전체 청구항 수 : 총 29 항

심사관 : 송현정

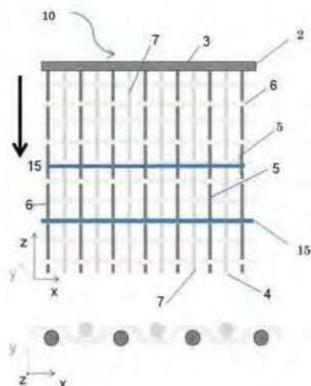
(54) 발명의 명칭 전극에 이용하기 위한 전류 밀도 분배기

(57) 요약

본 발명은 전극에 이용하기 위한 메쉬형(mesh-shaped) 다공성(porous) 전류 밀도 분배기(electric current density distributor)에 관한 것으로, 상기 전류 밀도 분배기는 전류 밀도 분배기의 일면에 접촉하는 전극의 활성층에 전류를 제공하고, 상기 전류 밀도 분배기는 복수의 전기 전도성 패스(electrically conductive path)를

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1a



가진 다공성 메쉬(porous mesh)를 포함하고, 상기 전기 전도성 패스 중 적어도 일부는 상기 전류 밀도 분배기 상의 주요 전류 흐름 방향(direction of major current flow)을 따라 연장된다. 상기 다공성 메쉬는 주요 전류 흐름 방향에 크로스 방향(crosswise direction)으로 복수의 전기 전연체의 제1 패스(first paths of an electric insulator)를 포함한다. 상기 전류 밀도 분배기 상에 흐르는 주요 전류 흐름에 크로스 방향으로의 상기 전류 밀도 분배기의 전류 운반 능력(current carrying capacity)은, 상기 전류 밀도 분배기 상에 흐르는 주요 전류 흐름을 따르는 방향으로의 전류 운반 능력 보다 작다.

(52) CPC특허분류

H01M 4/8673 (2013.01)

바우만, 베르트

벨기에 베-2400 몰 브레탕 200 내

H01M 4/8807 (2013.01)*H01M 4/8828* (2013.01)*H01M 4/8896* (2013.01)*H01M 8/0239* (2013.01)*H01M 8/0243* (2013.01)*H01M 8/0247* (2013.01)*H01M 8/1004* (2013.01)*H01M 8/16* (2013.01)

(72) 발명자

알바레즈 레고, 울란다

벨기에 베-2400 몰 브레탕 200 내

명세서

청구범위

청구항 1

활성 표면을 가지는 전극에 이용하기 위한 메쉬형 다공성 전류 밀도 분배기에 있어서,

상기 전류 밀도 분배기는 전류 밀도 분배기의 일면에 접촉하는 전극의 활성층에 전류를 제공하고, 상기 전류 밀도 분배기는 복수의 전기 전도성 패스(5, 15, 25)를 가진 다공성 메쉬(10)를 포함하고, 상기 전기 전도성 패스(5, 25) 중 적어도 일부는 상기 전류 밀도 분배기 상의 주요 전류 흐름 방향을 따라 연장되고,

상기 전류는 전류 밀도 분배기에 따른 전류 흐름의 주요 방향을 따라 흐르고,

상기 다공성 메쉬(10)는 주요 전류 흐름 방향에 크로스 방향으로 복수의 제1 전기 절연성 패스(6)의 적어도 일부로 이루어지고,

상기 전류 밀도 분배기 상에 흐르는 주요 전류 흐름에 크로스 방향으로의 상기 전류 밀도 분배기의 전류 운반 능력은, 상기 전류 밀도 분배기 상에 흐르는 주요 전류 흐름을 따르는 방향으로의 전류 운반 능력 보다 더 작은 것을 특징으로 하는, 전류 밀도 분배기.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

단위길이당 크로스 방향으로의 전기 전도성 패스(15)의 수는, 단위길이당 주요 흐름 방향을 따르는 전기 전도성 패스(5, 25)의 수 보다 적은 것을 특징으로 하는, 전류 밀도 분배기.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 다공성 메쉬는, 전류 흐름에 평행한 방향을 따라 상대적으로 큰 횡단면을 가지는 복수의 제1 전기 전도체(25) 및 상대적으로 작은 횡단면을 가지는 복수의 제2 전기 전도체(5)를 포함하는 것을 특징으로 하는, 전류 밀도 분배기.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 다공성 메쉬는, 전류 밀도 분배기 상에 흐르는 주요 전류 흐름 방향을 따라 복수의 제2 전기 절연성 패스(16)를 포함하는 것을 특징으로 하는, 전류 밀도 분배기.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 전기 전도성 패스(5, 25) 및 상기 제2 전기 절연성 패스(16)는, 주요 전류 흐름 방향을 따라 교대로 제공되는 것을 특징으로 하는, 전류 밀도 분배기.

청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 전기 전도성 패스(5, 15, 25), 상기 제1 전기 절연성 패스(6), 상기 제2 전기 절연성 패스(16)는, 규칙적인 기하학 패턴에 따라 배열되어 있는 것을 특징으로 하는, 전류 밀도 분배기.

청구항 7

제 4 항에 있어서,

상기 전기 전도성 패스(5, 15, 25)는, 복수의 전기 전도성 와이어를 포함하고, 상기 제1 전기 절연성 패스(6) 및 상기 제2 전기 절연성 패스(16)는 복수의 절연체 쓰레드(thread)를 포함하는 것을 특징으로 하는, 전류 밀도 분배기.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 전기 전도성 패스(5, 15, 25)의 전기 전도도는, 20°C에서 적어도 10^6 S/m ($10\text{E}6\text{S/m}$)인 것을 특징으로 하는, 전류 밀도 분배기.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 전기 전도성 패스(5, 15, 25)의 저항률은, $8 \times 10^{-4} \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ ($8 \times 10\text{E}(-4)\text{Ohm.m}$) 보다 작은 것을 특징으로 하는, 전류 밀도 분배기.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 전기 전도성 패스는, 적어도 120MPa 보다 높은 인장 강도를 제공하는 것을 특징으로 하는, 전류 밀도 분배기.

청구항 11

제 4 항에 있어서,

상기 제1 전기 절연성 패스와 상기 제2 전기 절연성 패스는, 20°C에서 적어도 $10^{12} \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ ($10\text{E}12\text{Ohm.m}$)인 전기 저항을 가지는 것을 특징으로 하는, 전류 밀도 분배기.

청구항 12

제 4 항에 있어서,

상기 제1 전기 절연성 패스와 상기 제2 전기 절연성 패스는, 적어도 15MPa인 인장 강도를 가지는 것을 특징으로 하는, 전류 밀도 분배기.

청구항 13

제 4 항에 있어서,

상기 제1 전기 절연성 패스와 상기 제2 전기 절연성 패스는, 적어도 20MPa인 압축 강도를 제공하는 것을 특징으로 하는, 전류 밀도 분배기.

청구항 14

제 4 항에 있어서,

상기 제1 전기 절연성 패스와 상기 제2 전기 절연성 패스는, 폴리아라마이드(polyaramides), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(polyethylene terephthalate)인 폴리에스테르(polyesters), 초고분자량 폴리에틸렌(ultrahigh molecular weight polyethylene, UHMWPE), 고밀도 폴리에틸렌(high density polyethylene, HDPE), 폴리프로필렌(polypropylene)인 폴리올레핀(polyolefins), 폴리에테르케톤(polyetherketone), 폴리페닐렌슬파이드(polyphenylene sulfide, PPS), 폴리에테르아미드(polyether imide, PEI), 지방족 폴리아미드(aliphatic polyamides), 폴리테트라플루오로에틸렌(polytetrafluoroethylene, ETFE), 에틸렌 테트라플루오로에틸렌(ethylene tetrafluoroethylene, ETFE), 테드라 플루오로에틸렌-헥사플루오로프로필렌 공중합체(FEP), 테드라 플루오로에틸렌-페르플루오트 알킬비닐에테르 공중합체(PFA), 플루오르화 에틸렌-프로필렌 공중합체(fluorinated ethylene-propylene copolymer, EFEP), 폴리클로로트리플루오로에틸렌(polychlorotrifluoroethylene, PCTFE)인 불소수지(fluoroplastics), 상기에 기재된 중합체 중 하나 이상을 포함하는 중합체 매트릭스 및 유리섬유, 세라믹섬유, 또는 이들의 임의의 조합 또는 상술한 물질의 두 개 이상의 혼합물과 같은 보강재를 포함하는 복합재료의 군으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는, 전류 밀도 분배기.

청구항 15

제 1 항에 있어서,

상기 전기 전도성 패스는, 전도성 폴리머, 금, 아리듐, 백금, 로듐, 팔라듐, 은, 구리, 니켈, 아연, 텉스텐, 티타늄, 알루미늄, 주석, 강철, 스테인리스 합금, 오스테나이트계 스테인리스 강, 듀플렉스 스테인리스 강의 합금인 금속 합금의 군으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는, 전류 밀도 분배기.

청구항 16

제 1 항에 있어서,

상기 다공성 메쉬(10)는, 우븐(woven), 니트(knitted), 브레이드(braided) 또는 웨ルド(welded) 와이어, 팽창된(expanded) 메쉬, 다수의 홀을 가지는 플레이트 또는 스크린, 전기 전도성 패스를 제공하기 위해 광화학적으로 에칭되거나 전기 주조된 복수의 홀을 가지는 플레이트의 군으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는, 전류 밀도 분배기.

청구항 17

제 1 항에 있어서,

상기 다공성 메쉬(10)는, 적어도 50%의 오픈 영역을 가지는 것을 특징으로 하는, 전류 밀도 분배기.

청구항 18

제 1 항에 있어서,

상기 전기 전도성 패스는, $50\mu\text{m}$ 내지 $500\mu\text{m}$ 인 평균 횡단면을 가지는 것을 특징으로 하는, 전류 밀도 분배기.

청구항 19

제 4 항에 있어서,

상기 제1 전기 절연성 패스와 상기 제2 전기 절연성 패스는, $50\mu\text{m}$ 내지 $250\mu\text{m}$ 인 평균 횡단면을 가지는 것을 특징으로 하는, 전류 밀도 분배기.

청구항 20

제 1 항에 있어서,

상기 다공성 메쉬는, cm 당 전기 전도성 패스를 10 개 내지 50개로 포함하는 것을 특징으로 하는, 전류 밀도 분배기.

청구항 21

제 4 항에 있어서,

상기 다공성 메쉬는, cm 당 제1 전기 절연성 패스와 제2 전기 절연성 패스를 10 개 내지 50 개로 포함하는 것을 특징으로 하는, 전류 밀도 분배기.

청구항 22

제 1 항에 따른 적어도 하나의 전류 밀도 분배기를 포함하는 전극에 있어서,

상기 전류 밀도 분배기 상에 흐르는 주요 전류 흐름에 크로스 방향으로의 전류 밀도 분배기의 전류 운반 능력은, 전류 밀도 분배기 상에 흐르는 주요 전류 흐름을 따르는 방향으로의 전류 운반 능력 보다 작은 것을 특징으로 하는, 전극.

청구항 23

제 22 항에 있어서,

상기 전극은, 상기 전류 밀도 분배기와의 복수의 접촉점을 가지는 활성층을 더 포함하는 것을 특징으로 하는, 전극.

청구항 24

제 23 항에 있어서,

상기 전극은, 상기 전류 밀도 분배기와의 복수의 접촉점을 가지는 촉매 활성층을 포함하는 것을 특징으로 하는, 전극.

청구항 25

제 22항에 있어서,

상기 전극은, 상기 전류 밀도 분배기의 일면에 배열된 가스 투과성 물질층을 포함하는 가스 확산 전극인 것을 특징으로 하는, 전극.

청구항 26

제 22항에 있어서,

단일의 전류 밀도 분배기 또는 복수의 전류 밀도 분배기를 포함하는 것을 특징으로 하는, 전극.

청구항 27

제 22항에 따른 적어도 하나의 전극을 포함하는 전기화학 전지.

청구항 28

제 27 항에 있어서,

상기 전기화학 전지는 갈바닉 전지 또는 정전용량식 전지(capacitive cell)인 것을 특징을 하는, 전기화학 전지.

청구항 29

제 22 항에 따른 복수의 전극을 포함하는 전기화학 전지는, 유니폴라 배열인 것을 특징으로 하는, 전기화학 전지.

발명의 설명**기술 분야**

[0001]

본 발명은 청구항 제 1 항에 따라, 전극에 이용하기 위한 메쉬형(mesh-shaped) 다공성 전류 밀도 분배기 (electric current density distributor)에 관한 것으로, 상기 전류 밀도 분배기는 전류 밀도 분배기의 일면에 접촉하는 전극의 활성층에 전류를 제공하고, 상기 전류 밀도 분배기는 복수의 전기 전도성 패스(electrically conductive path)를 가진 다공성 메쉬(porous mesh)를 포함하고, 상기 전기 전도성 패스 중 적어도 일부는 상기 전류 밀도 분배기 상의 주요 전류 흐름 방향(direction of major current flow)을 따라 연장된다.

배경 기술

[0002]

전기화학 반응기(electrochemical reactor)는 일반적으로 모노폴라 배열(mono-polar arrangement)이라고도 불리는 유니폴라 배열(unipolar arrangement) 또는 바이폴라 배열(bipolar arrangement)로 배치된 하나 또는 그 이상의 전기적으로 연결된 전기화학 단일 전지를 포함한다고 알려져 있다.

[0003]

바이폴라 배열(bipolar arrangement)은, 예를 들어 중합체 전해 막 연료 전지(PEMFC, proton exchange membrane fuel cell) 및 중합체 전해질 막(PEM, polyelectrolyte membrane) 전해조(electrolyser)와 같은 고체 중합체 전해질 기술에서 상용되고 있다. 바이폴라 배열을 가진 전기화학 전지 스택에서, 이른바 바이폴라 플레이트(bipolar plate)는 두 개의 전지 사이에 배치된 전도성 요소이다. 이것은 전기적으로 인접한 전지들을 직렬로 연결한다("전기화학 파워 소스의 백과사전(Encyclopedia of Electrochemical Power Sources)", ISBN: 978-0-444-52745-5). 전극의 활성층 내에서 생성되거나 소비되는 전자들은, 전극의 평면에 수직인 방향(y-축)으로 흐르고, 하나의 전지의 애노드(anode)와 인접한 전지의 캐소드(cathode) 사이에 위치한 바이폴라 플레이트를 통과하며, 전극의 평면에서 전극의 가장자리(edge)(러그(lug))에 있는 수집 지점(collection point)으로 흐를 필요는 없다.

[0004]

유니폴라 배열(unipolar arrangement)에서, 스택/전기화학 반응기를 형성하는 전기화학 전지들은 외부적으로 연결된다. 전기화학 반응기/유니폴라 배열을 가진 갈바닉 전지(galvanic cell)의 스택에서, 전지의 애노드는 전극의 가장자리를 따라 또는 그 가장자리의 부분을 따라 장착된 전류 공급기 바(current feeder bar)에 부착된, 예를 들어, 케이블, 금속 와이어 등과 같은 외부 전기 전도성 요소를 사용하는 인접 전지의 캐소드와 전기적으로 연결된다. 상기 전자들은 애노드의 가장자리에서 전류 공급기에 의해 수집되고, 외부 케이블은 애노드와 인접

전지의 캐소드를 연결한다("연료 전지: 기초 및 응용 프로그램(Fuel cells: fundamentals and applications)", ISBN 978-0-387-35402-6).

[0005] 유니폴라 배열을 가진 전해조(electrolyser)에서, 하나의 스택을 형성하며 번갈아 있는 복수의 양극 및 음극(alternating positive and negative electrodes)은 이온 투과성 막에 의해 분리된다. 유니폴라 디자인을 가진 전해조에서, 상기 스택을 형성하는 전기화학 전지는 외부적으로 연결되고, 음극뿐만 아니라 양극도 동시에 전기적으로 연결된다. 어셈블리는 전해조 또는 탱크에 침지되어 있다. 유니폴라 배열을 가진 전지 스택은 애노드에서의 전자 수집 및 옆 전지의 캐소드와의 외부 접속이 필요하다. 전기화학 전지의 유니폴라 배열은 저전력 애플리케이션 및 작동시 단일 전지의 오작동으로 인한 교체가 요구될지도 모르는 특별한 애플리케이션에서 광범위하게 사용된다. 유니폴라 배열은 즉, 간단하고 쉽게 고장난 전지의 식별 및 교체가 가능하지만, 바이폴라 스택의 경우는 해당되지 않는다("연료 전지 과학 및 공학: 재료, 공정, 시스템 및 기술(Fuel Cell Science and Engineering: Materials, Processes, Systems and Technology)", ISBN: 9783527650248). 유니폴라 배열은 또한 애노드 및 캐소드 사이의 직접 접촉이 불활성 스페이서 물질의 존재에 의해 억제되는, 액체 전해질을 가지는 전기화학 전지의 경우에서 선호된다. 그러나 전지의 중량 및 치수가 불필요하게 증가할 수 있으므로, 적합한 스페이서 물질을 선택하는 데에 주의가 필요하다.

[0006] 유니폴라 배열의 주요 한계는, 상대적으로 고비용이며, 전력 밀도(power density)가 국부적으로 불충분할 수 있는 결과 전류 밀도 분배기를 통한 전력 밀도 분배가 불규칙할 수 있다는 것이다. 유니폴라 배열에서, 전자 전류(electron current)는 전극의 평면 상 전극의 대향하는 면(opposite sides) 사이에서 전극의 길이를 통해 이송되고, 전극의 전류 공급기(current feed) 및 전류 수집기(current collector)를 연결한다. 모든 전류는 반드시 전극의 전체 표면에 걸쳐 흐르며, 전류가 수집되는 가장자리를 따라 도달하는 것은 아니라는 것이 관찰되었다. 결과적으로, 전해 전지(electrolytic cell)의 효율을 저해하는, 전위에 대한 국부적인 옴(ohm) 저항은 상대적으로 높을 수 있다.

[0007] 종래의 다공성 전극(porous electrodes) 및 가스 확산 전극(gas diffusion electrodes)은, 전극 가장자리(edge)의 전류 수집기(current collector)에 대부분(major part) 전자를 수집하기에는 불충분한 내부 전도도(internal conductivity)를 나타낸다는 문제점이 있다. 상기 문제점은 전극 구조의 주요 부분(major part)에 전도성이 전류 밀도 분배기(current density distributor)를 포함시킴으로써 해결되었다. 흔히 사용되는 전류 밀도 분배기는 전기화학 반응이 수행되는 전극의 다공성 활성층에 포함되는 금속 메쉬(metal mesh)를 포함한다. 상기 메쉬는 주요 전류 흐름 방향(direction of major current flow)을 따르는 방향 및 상기 방향에 크로스 방향으로 전극에 필요한 평면내 전도도(in-plane conductivity)를 추가하고, 상기 전극의 전기화학 활성층에 기계 및 치수적 안정성을 제공한다. 다양한 합금으로 만들어진 낮은 전기 저항(electrical resistance)을 가지는 금속 격자 또는 메쉬는, 두께(thicknesses) 및 오픈 영역(open area)의 다양한 조합으로, 상업적으로 이용 가능하다.

[0008] 그러나 기존의 금속 메쉬 전류 밀도 분배기는 특히 유니폴라 전극에 이용될 때, 몇 가지 단점을 나타낸다. 금속 와이어는 상당히 고가이기 때문에 전극의 비용에 상당한 기여를 한다. 이 밖에, 상기 금속 와이어는 소정의 전류 운반 능력이 예상되는 경우, 전극의 중량을 상당히 높게 올릴 수 있는 결과로서 높은 밀도를 갖는다("연료 전지: 기초 및 응용 프로그램(Fuel cells: fundamentals and applications)", ISBN 978-0-387-35402-6, "전기화학 파워 소스의 백과사전(Encyclopedia of Electrochemical Power Sources)", ISBN: 978-0-444-52745-5, "연료 전지 과학 및 공학: 재료, 공정, 시스템 및 기술(Fuel Cell Science and Engineering: Materials, Processes, Systems and Technology)", ISBN: 9783527650248 참조).

[0009] EP0.051.437는 포화염화나트륨 용액으로부터 염소 가스 및 수산화 나트륨 제조에 사용되는 전해 전지(electrolytic cell)를 개시한다. 산소 (공기) 캐소드의 사용이, 상기 캐소드에서 수소 분자의 바람직하지 않은 형성을 억제하지만, 그럼에도 불구하고 수소 분자의 형성은 전지를 작동하는 데 사용되는 전기 에너지 소비의 약 25%를 차지한다.

[0010] EP0.051.437에 개시된 산소 캐소드는 섬유화된(fibrillated) 카본블랙-폴리테트라 플루오로에틸렌의 소결되지 않은(unsintered) 네트워크 내에 배치되어 있는 은 촉매 활성 카본 입자의 활성층을 포함한다. 상기 활성층의 "작동(working)" 면은 비대칭(asymmetric) 우븐(woven) 와이어 메쉬 전류 밀도 분배기로 덮이고, 상기 활성층에 대향하는 면은 다공성, 예를 들어 PTFE(polytetrafluoroethylene)로 이루어지는 내습(wet-proofing) 기재층으로 덮인다. 상기 비대칭 우븐(woven) 와이어 메쉬 전류 밀도 분배기는, 전류 밀도 분배기에 공급되는 주요 전류 공급 방향에 대체로 평행한 방향보다 주요 전류 공급에 대체로 수직인 방향으로 도전성 와이어를 더 (많이)

가지는 방식으로 설계되었다. 상기 수직인 와이어는 상기 전극의 좁은(짧은) 도전성 패스를 대체로 결친다. 상기 비대칭 우른 와이어 메쉬 전류 밀도 분배기는 바람직하게 평행 와이어 보다 1.5-3배 많은 수직 와이어를 가지고, 특히, 0.005인치(0.127mm)의 와이어 두께를 가지는 종래의 대칭(symmetrical) 우른 와이어 메쉬에 비해 인치당 50가닥인 수직 와이어 및 인치당 25가닥인 평행 와이어를 가진다. 와이어 메쉬 전류 밀도 분배기의 비대칭 구조 때문에, 재료 및 제작(feathering) 비용이 상당히 경제적이며, 전류 분배도 효율적이고 전류 주행(travel) 방향이 제어되어 그 결과 전류 패스도 제어될 수 있다.

[0011] 하지만, EP0.051.437에 개시된 전류 밀도 분배기는 활성층에 기계 및 치수적 안정성이 충분히 보장될 경우, 수직 방향으로의 와이어의 제한된 부분만이 제거될 수 있다는 단점이 있다. 따라서 EP0.051.437에 따르면 제한된 중량 및 원가 절감만이 달성될 수 있다.

[0012] 그러므로 공지된 전류 밀도 분배기보다 경량이며, 전류 밀도 분배기의 치수 및 기계적 안정성에 악영향을 주는 일 없이 절감된 제조 비용으로 제조될 수 있는, 전극에 이용하기 위한 전류 밀도 분배기가 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0013] 따라서, 본 발명은 공지된 전류 밀도 분배기보다 경량이며, 절감된 제조 비용으로 제조될 수 있고, 우수한 치수 및 기계적 안정성을 나타내는 전류 밀도 분배기를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0014] 청구항 제 1 항의 특징적 부분의 기술적인 특징을 나타내는 전극이 본 발명에 따라 달성된다.

[0015] 본 발명의 전류 밀도 분배기(current density distributor)는 다공성 메쉬(porous mesh)가 주요 전류 흐름 방향(direction of major electric current flow)에 크로스 방향(direction crosswise)으로 복수의 제1 전기 절연성 패스(path)를 포함한다는 점; 및 전류 밀도 분배기를 통해 흐르는 주요 전류 흐름에 대한 크로스 방향으로의 전류 밀도 분배기의 전류 운반 능력(current carrying capacity)이 전류 밀도 분배기를 통해 흐르는 주요 전류 흐름을 따르는 방향으로의 전류 운반 능력보다 작다는 점을 특징으로 한다.

[0016] 본 발명에서 사용된 용어 "전류 밀도 분배기(current density distributor)"는, 전극을 통해 전류를 분배하고 전극의 활성층과 전자를 교환할 수 있는, 다공성 메쉬 형태의 전기 전도성 물질을 의미한다.

[0017] 발명자들은 전류 밀도 분배기를 통해 흐르는 전류 흐름의 주요 방향(major direction)에 대해 크로스(crosswise)로 연장되는 전기 전도성 패스가 전류 밀도 분배기를 통해 흐르는 전류의 전도(및 전자 전달)에 거의 기여하지 않는다는 것을 발견했다. 발명자들은 또한 그 방향으로 전류 운반 능력을 감소시키기 위한 수단으로써 크로스로 연장되는 전기 전도성 패스를 제거하는 것이 전류 밀도 분배기를 통해 흐르는 전류의 분배에 대한 어떠한 영향도 없다는 것을 발견했다. 결과적으로, 전기 전도성 패스를 크로스 방향으로 연장하는 것은 전류 밀도 분배기에 접촉하는 활성층의 성능(performance) 및 전자 공급에 대해 거의 기여하지 않을 것이다. 따라서, 주요 전류 흐름 방향에 대해 크로스 방향에서 사용되는 전기 전도성 물질의 양은, 전류 밀도 분배기 상의 전류 분배에 미칠 위험을 최소화할 것이다. 실제로, 주요 전류 흐름의 방향에 대해 크로스 방향(crosswise direction)으로의 더 낮은 전류 운반 능력은, 일반적으로 주요 전류 흐름의 크로스 방향(cross direction)으로 단위길이당 더 적은 수의 전기 전도성 패스를 가짐으로써, 또는 같은 방향으로 더 작은 평균 직경 또는 횡단면(cross section)을 가지는 전기 전도체를 사용함으로써 얻어진다. 상기 두 방법은 주요 전류 흐름의 크로스 방향에서의 전류 밀도 분배기의 재료 중량뿐만 아니라 재료비도 절감될 수 있는 효과를 가질 것이다.

[0018] 주요 전류 흐름 방향에 대해 크로스 방향(direction crosswise)으로 적합한 수의 제1 전기 절연성 패스를 추가로 포함시키는 것은, 전류 밀도 분배기의 중량 또는 비용을 저하시키는 일 없이, 메쉬형 전류 밀도 분배기의 기계 및 치수적 안정성이 원하는 범위 내에서 유지되거나 심지어 향상될 수 있다는 것을 보장한다. 크로스 방향으로의 전기 전도성 패스의 개수 또는 크기의 단순한 감소는, 다시 말해, 기계 및 치수적 안정성을 저하할 수 있다. 발명자들은 전기 절연성 패스를 추가로 포함시키는 것이 전류 밀도 분배기 제조 생산 공정을 필수적으로 복잡하게 하지는 않으며, 전류 밀도 분배기 상에 흐르는 전류의 흐름 및 분배를 불리하도록 방해하지는 않는다는 것을 발견했다. 본 발명에서 사용되는 바람직한 전기 절연성 물질은 전기 전도성 물질보다 비교적 낮은 비중(g/cm³)을 갖는 물질이다.

[0019] 발명자들은 주요 전류 흐름 방향에 대해 크로스 방향으로의 전기 전도성 패스의 감소가, 주요 전류 흐름 방향을

따르는 방향으로의 전류 운반 능력을 증가시키는 것을 가능하게 한다는 것을 더 발견했다. 그 이유는 추가적인 전기 전도체(conductor) 패스는 전류 밀도 분배기의 중량 및 재료비를 바람직하지 않은 한계 이상으로 필수적으로 증가시킬 필요 없이 또한 상기 제조 공정을 복잡하게 할 필요 없이, 상기 후자의 방향으로 장착될 수 있기 때문이다. 반면에, 주요 전류 흐름을 따르는 방향으로 증가된 전류 운반 능력과 관련된 장점은, 더 높은 흐름 능력이 전류 밀도 분배기 전체에 걸쳐 보다 균일한(homogeneous) 전류 밀도 분배를 이끄는 상기 방향으로 달성될 수 있다는 것이다. 또한, 다공성 메쉬에서의 서로 인접한 전기 전도체 사이의 더 작은 거리는, 보다 균일한 전류 밀도 분배 효과를 가지는 것이 달성될 수 있다. 그래서 전류 밀도 분배기와 관련된 활성층에서의 다수의 활성 사이트는 전기적인 에너지가 공급될 수 있다. 이것은 전류 밀도 분배기에 접촉하는 활성층의 보다 균일한 성능 때문에, 전기화학 전지에서 전류 밀도 분배기를 사용하는 경우에 유리하다. 이는 일반적으로 반응 속도(reaction kinetics), 반응 선택도(reaction selectivity), 반응 수율(reaction yield), 전기화학 추출(electrochemical extraction) 및 이온 이동 속도(ion migration rate)를 향상시킬 것이다. 따라서, 주요 전류 흐름의 크로스 방향으로 전류 운반 능력을 감소시킴으로써, 주요 전류 흐름을 따르는 전기 운반 능력(electric carrying capacity)을 증가시킬 수 있다. 이로부터 초래된 어떤 기계 또는 치수적 불안정(instability)은 주요 전류 흐름의 크로스 방향으로 전기 절연성 패스를 결합시킴으로써 보상될 수 있다.

[0020]

따라서, 본 발명은 기계 및 치수적 안정성에 악영향을 주는 일 없이, 단위면적당 중량 및 재료비용을 절감시키기 위한 최적의 조건을 제공할 수 있는 전류 밀도 분배기를 개시한다. 또한, 주요 전류 흐름 방향을 따라 연장되는 방향으로의 전류 운반 능력은 향상될 수 있고, 그 결과 전류 밀도 분배기 상의 보다 균일한 전류 밀도 분배가 얻어질 수 있다. 보다 균일한 분배를 갖는 것은, 전류 밀도 분배기의 전체 표면 상의 보다 균일한 전류 밀도가 얻어질 수 있다는 것과 전류가 낮거나 없는 위치의 수가 감소될 수 있다는 것을 의미한다. 본 발명의 전류 밀도 분배기는 다양한 분야에 응용될 수 있다.

[0021]

전류 밀도 분배기에서의 증가된 전류 운반 능력은, 예를 들어, 복수의 전기 전도성 패스를 사용함으로써, 또는 전기 전도성 패스의 평균 직경을 증가시킴으로써 달성될 수 있다.

[0022]

기계 및 치수적 악영향을 최소한으로 전류 밀도 분배기의 중량 감소를 최대화할 수 있도록 하기 위해, 주요 전류 흐름 방향에 크로스 방향으로 단위길이당 더 적은 수의 전기 전도성 패스를 가지는 것이 바람직하다. 주요 전류 흐름 방향을 따라 연장되는 방향에 비해 크로스 방향으로의 단위길이당 전기 전도성 패스의 수를 감소시킴으로써, 전류 흐름 및 전류 밀도 분배기 상의 전류 밀도 분배에 악영향을 주는 일 없이, 전류 밀도 분배기의 재료비뿐만 아니라 중량도 감소될 수 있다.

[0023]

주요 전류 흐름에 따르는 방향보다 크로스 방향으로 단위길이당 더 적은 수의 전기 전도성 패스를 갖는 것에 더하여, 전류 흐름에 평행인 방향을 따르는 적어도 일부의 전기 전도성 패스는 주요 전류 흐름 방향에 크로스 방향으로의 전기 전도성 패스보다 더 큰 평균 횡단면(cross section)을 가질 수 있다. 더 큰 평균 횡단면(cross section)을 가지는 전기 전도성 패스의 사용은 전기 전도성 패스의 전기 저항을 감소시키는 것과 (상기 전기 전도성 패스의) 전류 운반 능력을 증가시키는 것을 허용할 것이다. 그래서 전류 공급의 원격 일부를 향해 흐르는 전류 흐름을 확보할 수 있고 전류 밀도 분배기 상의 보다 균일한 전류 밀도 분배가 달성될 수 있다. 동시에, 오픈 영역의 일부(fraction)는 증가될 수 있으며, 전류 밀도 분배기에 접촉하는 활성층의 더 큰 표면적이 반응물에 접근 가능하고, 전기화학 반응, 분리, 변환 및/또는 추출이 가능하다는 효과를 가진다. 그러나 바람직하게 전기 전도성 패스의 평균 횡단면은, 너무 크지는 않을 것이다. 왜냐하면 두께 방향으로의 전류 밀도 분배기의 치수 증가는, 활성층과 접촉해있는 전류 밀도 분배기를 포함하는 전극의 두께를 증가시키기 때문이다.

[0024]

추가적인 중량 감소가 예상되는 경우, 다공성 메쉬는 전류 밀도 분배기 상에 흐르는 주요 전류 밀도 흐름 방향을 따르는 방향으로, 복수의 제2 전기 절연성 패스를 포함할 수 있다. 전기 절연성 패스의 존재는 전류 밀도 분배기의 중량 및 비용 저하 없이, 메쉬의 기계 및 치수적 안정성에 부정적인 영향을 끼치지 않는 것을 보장한다.

[0025]

전류 밀도 분배기 상의 전류 밀도 분배의 균일성(homogeneity)은 전기 전도성 및 전기 절연성 패스를 규칙적인 패턴에 따라 배열함으로써, 보다 향상될 수 있다. 이것은 예를 들어 주요 전류 흐름의 방향을 따르는 방향으로 전기 전도성 패스 및 전기 절연성 패스를 교대로 구비함으로써 달성될 수 있다. 이것은 또한 예를 들어 전기 전도성 및 전기 절연성 패스를 규칙적인 기하학적 패턴에 따라 배열함으로써 달성될 수 있다. 균일한(homogeneous) 전류 밀도 분배는, 활성층의 균일한 성능, 향상된 반응 속도, 반응 선택성, 반응 수율, 전기화학 추출 및 이온 이동 속도를 달성하고, 전극의 표면적 단위당 균일한 반응 수율을 보장하기 위해 중요할 수 있다. 또한, 활성층의 보다 균일한 성능은 인접 전기화학 활성 사이트의 입체 장해(steric inhibition) 위험을 줄일 수 있기 때문에, 전해 전지(electrolytic cell)의 전체 수율이 더 좋을 수 있다.

- [0026] 전류 밀도 분배기의 최적의 기능성(optimum functionality)을 달성하기 위해, 특히 전류 밀도 분배기 및 상기 전류 밀도 분배기에 접촉하는 활성층 사이의 최적의 접촉(optimum contact)을 보장하기 위해, 전류 밀도 분배기 내의 전기 전도성 패스 및 전기 절연성 패스의 배열은, 충분한 치수 및 기계적 강도를 제공하면서 전류 및 전위(potential) 분배 모델링을 사용하여 최적화될 수 있다.
- [0027] 본 발명은 또한 전술한 바와 같이 복수의 전류 밀도 분배기들 또는 전류 밀도 분배기를 포함하는 전극에 관한 것이고, 상기 전극은 애노드 또는 캐소드 또는 용량성 전극(capacitive electrode)이 될 수도 있다. 본 발명은 또한 전술한 바와 같이 전류 밀도 분배기를 포함하는 가스 확산 전극에 관한 것이고, 상기 가스 확산 전극은 상기 전류 밀도 분배기의 제1면에 접촉하는 다공성 활성층을 더 포함하고, 바람직하게는 소수성(hydrophobic) 물질층이 상기 전류 밀도 분배기의 대향하는 면(opposite face)을 따라 배열된다. 바람직한 실시예에서, 전극은, 하나 이상의 전극층의 버블 포인트 압력(bubble point pressure)으로 인해, 액상(liquid phase)인 전극의 일면 및 기상(gas phase)인 전극의 대향하는 면 사이에서 장벽으로써의 추가적으로 작용한다. 다른 바람직한 실시예에서, 전극은 완전히 또는 부분적으로 액체 전해질에 침지된다.
- [0028] 상기 전극은, 애노드 및 캐소드가 자유 전해질 액상(free electrolyte liquid phase)에 의해 분리되는 전기화학 전지에 사용하기에 특히 적합하다. 따라서 본 발명은 또한 전술한 바와 같이 전극 중 하나 이상을 포함하는 전기화학 전지에 관한 것이다.
- [0029] 본 발명의 전류 밀도 분배기는 또한, 예를 들어 다층 전극의 성분, 애노드 또는 캐소드 중 하나, 전기화학 활성 입자(active particles)로 결합된 중합체를 포함하는 전기화학 활성층으로 사용될 수 있다.
- [0030] 나아가 본 발명은 전류 밀도 분배기를 포함하는 적어도 하나의 전극을 포함하는 전기화학 전지에 관한 것이다. 본 발명은 특히, 유니폴라 배열(unipolar arrangement)에서, 다수의 상기 전극을 포함하는 전기화학 전지에 관한 것이다.
- [0031] 용어 "전기화학 전지(electrochemical cell)"는 적어도 하나의 양극(positive electrode) 및 적어도 하나의 음극(negative electrode)으로 구성되는 장치를 나타낸다. 상기 양극 및 음극 사이의 전위차(voltage difference)(또한 기전력(electromotive force)으로도 알려진)는 이온적으로 연결되는 이온 전도성 패스(전해질(electrolyte))의 존재 및 전기적으로 연결되는 전기 부하(electric load)(전자 흐름을 소비 또는 강요(impress)할 수 있는)의 존재 때문에 성립된다.
- [0032] 본 발명의 범위 내에 있는 용어 "전기화학 전지(electrochemical cell)"는 예를 들어 갈바닉 전지(galvanic cell)와 같이 화학 에너지를 전기 에너지로 변환하는 장치를 나타낸다. 갈바닉 전지는 일반적으로 전체의 산화 환원 반응이 기전력을 생산하는 방식으로 배열된 두 개 이상의 전극(적어도 하나의 애노드, 적어도 하나의 캐소드)을 포함한다. 본 발명을 공개하는데 사용된 용어 "연료 전지(fuel cell)"는, 연료와 산화제 사이의 반응이 연소없이 직접적으로 연료의 화학 에너지를 전기 에너지로 변환시키는 갈바닉 전지를 의미한다.
- [0033] 본 발명의 범위 내에서 용어 "전기화학 전지"는, 또한 전기분해(electrolysis)를 통해 전기 에너지를 화학 에너지로 변환하는 장치, 예를 들어 전해 전지(electrolytic cell)를 나타낸다. 전해 전지는 일반적으로 전체의 산화 환원 반응이 기전력을 생산하는 방식으로 배열된 두 개의 전극으로 포함한다. 본 발명을 공개하는데 사용된 용어 "전기화학 전지"는, 또한 전기화학 비 폐러데이 공정(electrochemical non faradaic processes), 또는 정전기 분리(electrostatic separation), 또는 추출 공정(extraction processes), 예를 들어, 축전식 탈염(capacitive deionization)에 사용하기 위한 장치를 나타낸다.
- [0034] 전술한 바와 같이 본 발명에서의 전류 밀도 분배기를 포함하는 하나 이상의 전극을 갖춘 전기화학 전지의 응용분야는, 전기화학 변환 시스템에 사용하기 위한 전기화학 전지를 포함하고, 예를 들면 연료와 산화제 사이의 반응이 직접적으로 연료의 화학 에너지를 전기 에너지로 변환시키는 연료 전지; 전기분해; 예를 들어 수소, 과산화수소 생산, 화학 및 전기 코제너레이션(co-generation)과 같은 전기 합성(electrosynthesis) 반응; 전해 채취(electrowinning); 금속-공기 배터리; 미생물 연료 전지, 미생물 전기분해 전지, 바이오-전기 합성 반응과 같은 바이오전기-화학 시스템; 예를 들어 두 개의 다공성 탄소 전극을 통해 전기 전위차를 적용함으로써 탈이온화물에 적합한 축전식 탈염(capacitive deionization)과 같은 전기화학 분리 공정이 있다. 음이온(anion)은 물로부터 제거되고, 양으로 편극된 전극(positively polarized electrod)에 저장된다. 마찬가지로 양이온(cation)은 음으로 편극된 전극(negatively polarized electrod)에 저장된다.
- [0035] 본 발명은 발명의 바람직한 실시예를 보여주는 첨부된 도면 및 도면의 설명에서 더 자세히 설명된다.

[0036] 도면에서, 일부 요소들의 크기는 과장될 수 있으며, 예시적인 목적을 위해 규모(on scale)에 도시되지 않을 수 있다. 상기 치수 및 상대적인 치수는 본 발명의 실시하는 실제 축소와 반드시 일치하지는 않는다.

[0037] 하기 설명 및 청구항에 사용된 용어 "접촉"은, 단지 직접 연결에 한정되게 해석되지 않아야 한다. 이것은 출력(output) 및 입력(input) 사이에, 다른 장치 또는 수단을 포함하는 패스일 수 있는 패스가 존재한다는 것을 의미한다. "접촉"은 두 개 이상의 요소가 직접 물리적 또는 전기적으로 접촉하거나, 두 개 이상의 요소가 서로 직접적으로 접촉하지는 않지만, 아직 여전히 서로 협력하거나 상호작용 하는 것을 의미할 수 있다.

발명의 효과

[0038] 발명자들은 전류 밀도 분배기를 통해 흐르는 전류 흐름의 주요 방향(major direction)에 대해 크로스(crosswise)로 연장되는 전기 전도성 패스가 전류 밀도 분배기를 통해 흐르는 전류의 전도(및 전자 전달)에 거의 기여하지 않는다는 것을 발견했다. 발명자들은 또한 그 방향으로 전류 운반 능력을 감소시키기 위한 수단으로써 크로스로 연장되는 전기 전도성 패스를 제거하는 것이 전류 밀도 분배기를 통해 흐르는 전류의 분배에 대한 어떠한 영향도 없다는 것을 발견했다. 결과적으로, 전기 전도성 패스를 크로스 방향으로 연장하는 것은 전류 밀도 분배기에 접촉하는 활성층의 성능(performance) 및 전자 공급에 대해 거의 기여하지 않을 것이다. 따라서, 주요 전류 흐름 방향에 대해 크로스 방향에서 사용되는 전기 전도성 패스의 양은, 전류 밀도 분배기 상의 전류 분배에 미칠 위험을 최소화할 것이다. 실제로, 주요 전류 흐름의 방향에 대해 크로스 방향(crosswise direction)으로의 더 낮은 전류 운반 능력은, 일반적으로 주요 전류 흐름의 크로스 방향(cross direction)으로 단위길이당 더 적은 수의 전기 전도성 패스를 가짐으로써, 또는 같은 방향으로 더 작은 평균 직경 또는 횡단면(cross section)을 가지는 전기 전도체를 사용함으로써 얻어진다. 상기 두 방법은 주요 전류 흐름의 크로스 방향에서의 전류 밀도 분배기의 재료 중량뿐만 아니라 재료비도 절감될 수 있는 효과를 가질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0039] 도 1a 및 1b는 플레인 우븐(평직)(plain woven) 물질 및 레노 우븐(leno woven) 물질을 각각 포함하는 전류 밀도 분배기의 개략적인 예를 나타낸다.

도 1c 및 1d는 플레인 우븐(plain woven) 물질 및 레노 우븐(leno woven) 물질을 각각 포함한다. 전류 흐름의 주요 방향에 평행한 방향에 있는 전기 전도체의 일부는 전기 전도체의 다른 부분보다 상대적으로 큰 평균 단면적을 가지는 전류 분배기의 개략적인 예를 나타낸다.

도 2a는 메쉬 중 "오픈 영역(open area)"을 나타낸다.

도 2b는 y 또는 두께 방향을 나타내는 본 발명의 전류 분배기의 예를 나타낸다.

도 3a는 플레인 우븐(plain woven) 물질 및 레노 우븐(leno woven)을 각각 포함한다. 전류 흐름의 주요 방향에 평행한 방향에 있는 패스의 일부는 전기 절연성 물질로 만들어진 전류 분배기의 개략적인 예를 나타낸다. 도 3b에서 비전도성 얀(yarn)은 구멍이 난(perforated) 전도성 포일(foil)로 브레이드(braided)/인터레이스(interlaced)되어 있다.

도 4a, 5a, 6a 및 7a는 주요 전류 흐름 방향을 따르는 z 방향에서 10cm의 길이 상에 고르게 분배된 각각의 전기 전도성 와이어(10) 및 전류의 주요 흐름에 수직인 x 방향에서 10cm의 길이 상에 고르게 분배된 각각의 전기 전도성 와이어(10, 15, 20, 30)을 가지는 전류 수집기에 대한 x와 z 방향으로 상기 계산된 모델을 이용하여 계산된 전류 밀도 분배를 나타낸다. 도 4b, 5b, 6b 및 7b는 도 4a, 5a, 6a 및 7a 각각의 전류 수집기에 상응하는 전류 밀도 분배를 나타낸다.

도 8a, 9a 및 10a는 비 전도성 플라스틱 물질의 쓰레드(10) 및 각각의 전기 전도성 와이어(15, 20, 30)을 가지는 전류 밀도 분배기 상의 전류 밀도 분배를 각각 나타낸다. 상기 비 전도성 플라스틱 물질의 쓰레드(10)는 주요 전류 흐름 방향에 수직인 방향으로(x-축) 10cm의 길이 상에 고르게 분배되고, 상기 각각의 전기 전도성 와이어(15, 20, 30)는 주요 전류 흐름을 따르는 방향으로(z-축) 10cm의 길이 상에 고르게 분배된다. 도 8b, 9b 및 10b는 z-축을 따라 대응하는 전류 밀도 프로파일을 나타낸다.

도 11a, 12a 및 13a는 주요 전류 흐름 방향에 수직인 방향으로(x-축), 각각 2mm, 1mm 및 0.5mm의 두께를 가지는 복수의 전류 전도성 와이어를 가지는 전류 밀도 분배기에 대한 전류 밀도 분배를 나타내고, 남은(remaining) 전기 전도성 와이어는 0.25mm의 두께를 가진다. 도 11b, 12b 및 13b는 z-축에 따라 대응하는 전류 밀도 프로파일을 나타낸다.

도 14a, 15a 및 16a는 주요 전류 흐름 방향에 수직인 방향으로(x-축) 각각 2mm 및 0.25mm의 두께를 가지는 복수의 전류 전도성 와이어, 및 주요 전류 흐름 방향을 따르는 방향으로(z-축) 각각 2mm, 1mm 및 0.5mm의 두께를 가지는 복수의 전류 전도성 와이어를 가지는 전류 밀도 분배기에 대한 전류 밀도 분배를 나타내고, 남은(remaining) 전기 전도성 와이어는 0.25mm의 두께를 가진다. 도 14b, 15b 및 16b는 z-축에 따라 대응하는 전류 밀도 프로파일을 나타낸다.

도 17은 혼합된 금속과 플라스틱 메쉬를 포함하는 전류 밀도 분배기를 나타낸다.

도 18은 전류를 공급하기 위한 상단 러그(lug)를 포함하는 본 발명의 전류 밀도 분배기를 포함하는 전극을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0040]

도면 및 실시예에서 주요 전류 흐름 방향은 z-축이고, 주요 전류 흐름에 크로스 방향은 x-축으로 가정한다. 전류 밀도 분배기 및 상기 전류 밀도 분배기를 포함하는 전극의 최소 치수 및 두께는 y-축 방향이다. 도면상의 치수는 예시적인 것이며, 원래의 크기를 나타내는 것은 아니다.

[0041]

도 1a-1e에 도시된 전류 밀도 분배기는 하나의 다공성 메쉬(10) 또는 몇몇의 다공성 메쉬(10) 어레이(array)를 수용하는 주변의 전기 전도성 프레임(1)을 포함한다. 주변 하우징(housing)을 대신하여, 도 4에 도시된 바와 같이, 다른 배열(configurations)이 사용될 수 있다. 여기서, 전류는 오직 전류 밀도 분배기의 제1 면(2)를 따라 연장된 러그(lug)를 따라 공급된다. 러그의 치수, 예를 들어 상기 제1 면(2)에 따른 높이 및 길이는 상기 전류 밀도 분배기가 적용되는 용도에 따라 다를 수 있다.

[0042]

프레임의 제1 면(2)은 전류 밀도 분배기에 전기 에너지를 공급하기 위해 전류 공급기(current feeder)(3)를 이용하여 전기 에너지 소스에 연결된다. 상기 전류는 화살표로 표시된 방향, 즉 상기 공급기(3)으로부터 전류가 수집될 수 있는 상기 제1 면(2)에 대향하는 면(4)으로 흐른다. 그러나 상기 프레임(1)은 상기 전류 밀도 분배기의 양 측면에 장착된 전류 공급기(3) 및 집전기(current collector)(4)로 한정될 수 있다.

[0043]

상기 메쉬(10)는 복수의 전기 전도성 패스(5, 15, 25)를 포함하고, 상기 복수의 전기 전도성 패스(5, 15, 25)는 서로 연결되거나, 상기 다공성 메쉬의 특성에 따라 서로 접촉하거나 접촉하지 않을 수 있다. 상기 전기 전도성 패스(5) 중 적어도 일부는 전류 밀도 분배기 상의 주요 전류 흐름 방향을 따라 연장된다. 상기 메쉬(10)는 전류 밀도 분배기 상의 주요 전류 흐름 방향에 크로스 방향으로 연장된 복수의 전기 전도성 패스(15)를 포함할 수 있다. 상기 메쉬(10)는 주요 전류 흐름 방향에 크로스 방향으로 복수의 전기 절연성 패스(6)를 더 포함할 수 있다. 또한 상기 메쉬(10)는 주요 전류 흐름 방향을 따르는 방향으로 복수의 제2 전기 절연성 패스(7)를 포함할 수 있다. 상기 메쉬는 x 및 z 방향으로 주로 연장될 수 있으나, 도 2b에 도시된 바와 같이, y 방향으로도 연장될 수 있다. 상기 메쉬는 정사각형 메쉬(square mesh)일 수 있으나, 다른 형상이 사용될 수 있다. 상기 메쉬의 형상은 후술하는 바와 같이 물질의 특성에 따라 일반적으로 다양할 것이다.

[0044]

본 발명의 범위 내에 있는 "메쉬(mesh)"는 섬유(fibers), 바(bars) 또는 쓰레드(threads)의 우븐(woven), 니트(knitted), 브레이드(braided), 웨л드(welded), y축 팽창된(expanded) 메쉬를 의미한다. 상기 "메쉬"는 도 17에 도시된 바와 같이 실질적으로 직사각형(rectangular)이고 도전성 와이어 및 절연성 쓰레드(threads)의 배향(orientation)을 가진 정사각형 메쉬(square mesh)를 포함하는 것을 의미한다. 또한, 상기 "메쉬"는 관형(tubular), 코일 필름 또는 다른 모양의 3차원 물질일 수 있고, 예를 들어 플레이트, 시트, 호일, 필름 또는 스크린 홀에서 광-화학적 예칭 또는 전해주조(electroforming)를 이용하여 만들어질 수 있다. 구멍이 난(perforated) 플레이트, 시트, 호일, 필름, 스크린 또는 우븐(woven) 물질로 이루어진 것을 사용하는 경우, 주요 전류 흐름 방향을 따라 연장된 패스는 일반적으로 주요 전류 흐름 방향과 실질적으로 평행하게 달릴 것이고, 주요 전류 흐름 방향에 크로스 방향으로 연장된 패스는 일반적으로 전류 흐름의 주요 방향에 실질적으로 수직이게 연장될 것이다. 또한, 상기 주요 전류 흐름 방향을 따라 연장된 패스는 일반적으로 주요 전류 흐름에 크로스 방향으로 연장된 패스에 실질적으로 수직이게 달릴 것이다. 니트(knitted), 브레이드(braided) 또는 팽창된(expanded) 메쉬로 이루어진 것을 사용하는 경우, 홀(hole)은 다소 불규칙한 모양을 가질 수 있고, 불규칙적으로 배치될 수 있으며, 두 개 이상의 다른 형상의 홀이 존재할 수 있다. 또한, 상기 주요 전류 흐름 방향을 따라 연장된 패스는 일반적으로 주요 전류 흐름 방향에 대해 90° 이상의 각도로 연장될 것이고, 주요 전류 흐름 방향에 크로스 방향으로 연장된 패스는 일반적으로 주요 전류 흐름 방향에 대해 90° 이하의 각도로 연장될 것이다. 또한, 주요 전류 흐름 방향을 따라 연장된 패스는 주요 전류 흐름에 크로스 방향으로 연장된 패스에 실질적으로 수직이게 작동하거나 작동하지 않을 것이다. 우븐(woven) 물질, 오픈 구조를 가지는 스크린 또는 플레이

트로 이루어진 것을 사용하는 경우, 홀은 종종 기하적 패턴에 따라 배치될 것이다. 상기 홀은 메쉬의 x 방향으로 균일하게 이격될 수 있으나, 불규칙적인 간격도 가능하다. 다른 바람직한 실시예에 따라, 상기 홀은 메쉬의 z 방향으로 균일하게 이격될 수 있으나, 불규칙적인 간격도 가능하다. 다공성 메쉬는 등방성 물질 또는 이방성 물질일 수 있다.

[0045] 우븐(woven) 물질은 예를 들어 플레인 위브(평직)(plain weave), 레노 위브(leno weave)이고, 다시 말해 우븐 물질은 당업자에게 알려진 기본적인 위빙(제작)(weaving) 공정을 이용하여 제조될 수 있다. 참고로, 상기 플레인 위브(평직)(plain weave)은 태비 위브(tabby weave), 리넨 위브(linen weave) 또는 태피터 위브(taffeta weave)로도 불리고, 상기 레노 위브(leno weave)는 크로스 위브(cross weave) 또는 거즈 위브(gauze weave)로도 불린다. 상기 플레인 위브 및 레노 위브의 예는 각각 도 1a 및 도 1b에 나타난다. 균형 잡힌 플레인 위브는 경사(warp) 및 위사(weft)가 (베틀의) 북이 오가는 횟수의(as picks) cm 당 동일한 크기 및 동일한 단부(end) 수의 쓰레드(threads)로 제조되는 직물이다. 또한, 상기 우븐 물질은 경사가 쌍으로 배열되어 위사 주변에 트위스트되는 레노 위브일 수 있다. 상기 위사는 강력하면서도 얇은 직물(fabric)을 제공하는 데에 씨실(weft)을 단단히 유지한다. 레노 위브는 얀 슬리피지(yarn slippage) 또는 쓰레드의 잘못된 배치(misplacement)가 거의 없는 오픈 직물을 생산한다.

[0046] 본 발명에서 사용하기에 적합한 다른 유형의 메쉬는 전도성 물질로 이루어진 구멍이 난(perforated) 스크린 시트, 플레이트, 필름 또는 호일을 포함하고, 상기 구멍이 난 스크린 시트, 플레이트, 필름 또는 호일은 전류 흐름에 수직 방향으로 인터레이스된(interlaced) 비전도성 물질의 복수의 와이어 또는 쓰레드(threads)를 가짐으로써 기계 및 치수적 안전성을 보장한다. 본 발명에서 사용하기에 적합한 또 다른 유형의 메쉬는 전류 흐름에 평행한 방향으로 인터레이스된 전도성 물질의 복수의 와이어 또는 쓰레드를 갖는, 비전도성 물질로 이루어진 구멍이 난 시트, 플레이트 또는 호일을 포함한다. 본 발명에서 사용하기에 적합한 메쉬의 추가 유형은 구멍이 난 시트, 호일 또는 플레이트에 인쇄되고(printed) 전류 흐름 방향에 평행하게 연장된 전도성 물질의 라인/와이어를 포함한다.

[0047] 상기 우븐(woven), 브레이드(braided), 니트(knitted) 메쉬 또는 스크린을 생성하는데 사용되는 물질은 복수의 필라멘트(filaments), 모노필라멘트 또는 멀티필라멘트, 전기 전도성 및 전기 절연성 물질의 섬유(fibers), 얀(yarns), 쓰레드(threads), 토탈(tows), 와이어(wires) 또는 케이블(cables) 포함할 수 있다. 그러므로, "전기 전도성 패스" 및 "전기 절연성 패스"는 와이어, 필라멘트, 모노필라멘트 또는 멀티필라멘트, 전기 전도성 물질의 섬유, 얀, 쓰레드, 토탈, 로프 또는 케이블을 포함하는 것으로 이해된다. 상기 쓰레드는 필라멘트, 함께 트위스트(twist)된 필라멘트 그룹, 또는 연속 가닥에 얇은 방직 섬유를 트위스트 및 회전시킴으로써 형성된 실 모양(filamentous)의 길이(length)를 포함하는 것으로 이해된다. 와이어는 원통형일 수 있으나, 또 다른 형상을 가질 수 있는 금속의 단일(single), 얇은(thin), 유연한 쓰레드(thread), 가닥(strand) 또는 막대(rod)를 의미하는 것으로 이해된다. 얀(yarn)은 서로 맞물린(interlocked) 섬유의 연속 길이를 의미하는 것으로 이해된다. 필라멘트, 서로 트위스트된 필라멘트 그룹, 또는 실 모양의 길이는, 얇은 방직 섬유를 연속 가닥으로 트위스트하고 회전시킴으로써 형성된다. 가닥은, 얀, 쓰레드, 로프 또는 밧줄(cordage)로 트위스트되거나 엮어질(plaiting) 수 있도록 하나의 유닛(unit)을 형성하기 위해 트위스트되거나, 엮어지거나, 또는 가로놓인(laid) 필라멘트 또는 복수개의 섬유를 포함하는 것으로 이해된다.

[0048] 본 발명에서는 전기 전도성 물질의 와이어를 사용하는 것이 바람직하다.

[0049] 본 발명의 전류 밀도 분배기에서 전기 전도성 와이어의 특성 및 개수는 전류 밀도 분배기 상의 주요 전류 흐름 방향에 크로스 방향으로의 전기 전도성 와이어(15)의 전류 운반 능력(도 1a 및 도 1b에서 x축)이, 전류 밀도 분배기 상의 주요 전류 흐름 방향을 따르는 방향으로의 전류 운반 능력(도 1a 및 도 1b에서 z축)보다 작도록 선택된다.

[0050] 이것은 전극 상의 주요 흐름 방향에 크로스 방향으로의 단위 길이 당 전기 전도성 와이어(15)의 수가 주요 전류 흐름 방향에 따른 단위 길이당 전기 전도성 와이어(5)의 수보다 적을 때 달성 가능하다. 실시예에서, 이것은 주요 전류 흐름 방향에 크로스인 메쉬의 cm 당 전기 전도성 와이어(15)의 수가 주요 전류 흐름의 방향을 따른 메쉬의 cm 당 도전성 와이어(5)의 수보다 적은 것을 의미한다. 이것은 크로스 방향으로의 전기 전도성 와이어의 일부가 전기 절연체의 쓰레드(threads)와 교환된 우븐(woven) 메쉬를 사용함으로써 달성될 수 있다.

[0051] 바람직한 실시예에서, 전극 상에 흐르는 주요 전류 흐름을 따르는 방향으로의 단위길이당 전기 전도성 와이어(5, 25)의 수는, 주요 전류 흐름 방향의 크로스 방향으로의 단위길이당 전기 전도성 와이어의 수에 비례하여 증가된다. 상술한 내용은 주요 전류 흐름을 따르는 방향으로의 전류 운반 능력이 증가될 수 있고, 전류 공급

(feed)으로부터 떨어진(remote) 위치에서 전류 밀도 분배기 부분쪽으로의 전류 흐름이 향상될 수 있는 것을 보장한다.

[0052] 주요 전류 흐름 방향을 따르는 방향으로의 전기 전도성 와이어의 수를 증가시키는 것에 더하여, 주요 전류 흐름 방향을 따르는 방향으로의(도 1d 및 도 1e에서 z 방향) 전기 전도성 패스 또는 와이어(25)의 적어도 일부는, 상대적으로 큰 평균 횡단면(cross section)을 가지며, 전류 흐름을 따르는 방향의 다른 전기 전도성 패스 또는 와이어(5)의 적어도 일부는 상대적으로 작은 평균 횡단면을 가진다. 상대적으로 큰 평균 횡단면을 가지는 상기 와이어(25)는 주요 전류 흐름을 따른 방향의 전류 운반 능력을 증가시키고, 전류 공급(feed)으로부터 떨어진 위치에서 전류 밀도 분배기 부분 쪽으로의 전류 흐름을 보장한다.

[0053] 전기 전도성 패스 또는 와이어(5, 15, 25)의 평균 직경 또는 횡단면(cross section)은 넓은 범위에서 다양할 수 있으나, 50 μm 내지 500 μm 가 바람직하다. 바람직하게는 75 μm 내지 400 μm 이고, 보다 바람직하게는 100 μm 내지 300 μm 이고, 가장 바람직하게는 150 μm 내지 250 μm 이다. 그러나 더 크거나 더 작은 횡단면을 가지는 패스는 예를 들어 100 또는 250 μm 도 사용될 수 있다. 더 작은 횡단면의 경우, 와이어의 수는 오픈 영역의 높은 퍼센트를 유지하면서 증가될 수 있다.

[0054] 나아가 주요 전류 흐름 방향에 따른 방향(도 1e에서 z 방향)에서의 패스의 적어도 일부가 전기 절연성 물질로 만들어짐으로써, 비용을 절감할 수 있고 경량화할 수 있다. 또한, 다른 영역에서의 단위길이당 전기 전도성 와이어의 수를 증가시키거나 더 큰 평균 횡단면을 가지는 전기 전도성 와이어를 삽입시킴으로써, 이러한 쓰레드(threads) 상의 무시해도 될 정도의 전류 흐름이 보상될 수 있다.

[0055] 당업자는 전기 전도성 패스 및 전기 절연성 패스의 배열, 수, 형상 및 치수 선택 시, 다공성 메쉬의 기계 및 치수적 안정성을 너무 많이 저하시키지 않으면서 충분히 균일한 전류 밀도 분배를 얻기 위해, 전류 밀도 분배기 전체에 전류 밀도 흐름이 충분히 흐르도록 고려할 것이다. 또한, 당업자는 메쉬에 의해 제공되는 오픈 영역의 비율이 충분히 큰 것인지를 고려할 것이며, 오픈 스페이스(spaces)의 치수는 전류가 메쉬의 기공(pores) 표면의 원하는 부분으로 연장되는지를 고려할 것이다. 바람직하게는 기공의 표면의 전체 부분에 걸쳐 전류가 흐르도록 하는 것을 고려할 것이다. 이러한 방법으로 인해, 전류 밀도 분배기에 인접해 위치하는 활성층의 소정 부분에 전류가 도달될 뿐만 아니라 전해질(electrolyte)과 접촉되는 것이 보장될 수 있다. 실제로, 메쉬는 cm 당 전기 전도성 와이어를 10 내지 50로 포함할 것이고, 바람직하게는 10 내지 40이고, 보다 바람직하게는 10 내지 30이고, 가장 바람직하게는 10 내지 20이다. 그러나 전도성 와이어의 수는 더 크거나 작아도 된다.

[0056] 전기 전도성 와이어 및 전기 절연성 쓰레드(threads)는 전류 밀도 분배기를 형성하는 메쉬에 랜덤하게 배열될 수 있다. 마찬가지로 다공성 메쉬의 기공(pores)도 랜덤하게 배열될 수 있다. 일부 경우에, 이것은 전류 밀도 분배를 야기할 수도 있고, 바람직하게는 매우 규칙적이지 않은 반응할 수 있는 오픈 영역을 야기할 수도 있다. 전극 활성층의 균일하지 않은 성능을 달성하는 것이 더 어려울 수 있으나, 항상 이러한 경우만 있는 것은 아닐 것이다. 그러므로 바람직하게 전기 전도성 와이어(5, 15, 25) 및 비전도성 쓰레드(6, 16)는 도 1 및 도 3에 도시되는 규칙적인 형상의 패턴에 따라 배열된다. 이에 의해 x 방향에서의 전기 절연성 패스 간 거리는 z 방향에서의 거리와 같거나 다를 수 있다. 각각의 x 또는 z 방향에서의 전기 절연성 패스 간 거리는 전체 메쉬 상에서 일정할 수 있고, 규칙적인 패턴에 따라 다를 수 있다. 마찬가지로, x 방향에서의 전기 전도성 패스 간 거리는 z 방향에서의 거리와 같거나 다를 수 있다. 각각의 x 또는 z 방향에서의 전기 전도성 패스 간 거리는 전체 메쉬 상에서 일정하거나 규칙적인 패턴에 따라 달라질 수 있다. 또한, 전해 전지(electrolytic cell) 사용이 요구되는 경우, 전기 전도성 와이어(5, 15, 25) 및 비전도성 쓰레드(6, 16)는 랜덤으로 배열될 수 있다.

[0057] 바람직한 다공성 메쉬는 반응물이 다공성 메ッシュ를 관통할 수 있고 전기화학적으로 활성층에 접촉할 수 있는 것을 보장하기 위해, 충분히 큰 오픈 영역의 퍼센트를 제시하는 것들이다. 그러므로 전류 밀도 분배기는 보통 x-z면에 오픈 구조를 가질 것이다. 정사각형 메쉬(square mesh)의 오픈 영역 퍼센트(%)는 하기식 1에 의해 나타날 수 있다.(도 2 참조)

[0058] <식 1>

$$\text{오픈영역퍼센트}(\%) = \frac{\sum_{i=1}^{x-1} \sum_{j=1}^{y-1} (x_i - x_{i+1})(y_j - y_{j+1})}{\sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^y (x_i - x_{i+1})(y_j - y_{j+1})} \times 100$$

[0059]

[0060] 더 일반적인 비-정사각형 메쉬(non-square mesh)의 예에서, 오픈 영역의 퍼센트(%)는 오픈 영역 및 클로즈 영역

(close area)의 합에 대한 오픈 영역 표면의 비율에 의해 표현된다. 특히 바람직한 다공성 폐쉬는 적어도 48% 이상의 오픈 영역을 가지고, 바람직하게는 60% 내지 80%의 범위이다.

[0061] 활성층이 전류 밀도 분배기와 접촉하는 접촉 위치, 반응 매질(reaction medium)로부터 활성층의 스크린 영역, 이로 인해 전해 전지에 의해 달성될 수 있는 반응 수율이 국부적으로 감소되는 위험을 야기할 수 있다. 그러나 당업자는 치수 및 기계적 안정성이 충분히 보장되며, 활성층의 표면이 충분히 큰 반응성을 가지도록 하는 최적 조건으로 오픈 영역의 퍼센트를 선택할 수 있을 것이다. 즉, 당업자는, 단위길이당 전기 전도성 및 전기 절연성 패스의 적합한 수를, 한편으로는 충분한 치수 및 기계적 안정성 사이의 최적 조건을 달성하기 위해 적합한 평균 획단면을, 다른 한편으로는 충분히 큰 반응성을 가지는 활성층의 반응 표면을 선택할 수 있을 것이다.

[0062] 양호한 치수 안정성을 유지하면서 가능한 한 큰 오픈 영역을 달성하기 위해, 바람직하게는 전기 전도성 와이어 및 전기 절연성 패스는 거의 동일한 평균 획단면을 갖고, 비슷한 개수의 전기 전도성 와이어 및 전기 절연성 패스가 주요 전류 흐름을 따르는 방향 및 주요 전류 흐름 방향에 크로스(crosswise) 방향으로 존재한다. 전기 절연성 패스에 대한 전기 전도성 와이어의 퍼센트는 1:1.5이고, 바람직하게는 1:1.25이고, 보다 바람직하게는 1:1.1이고, 가장 바람직하게는 1:1이다.

[0063] 본 발명에 따른 전류 밀도의 분배기의 치수는 넓은 범위 내에서 변할 수 있지만, 바람직하게는 도전성 및 절연성 물질은, y 방향으로의 전류 밀도 분배기의 평균 두께가 충분한 치수 안정성을 보장하기 위해 적어도 $100\mu\text{m}$ 이고, 바람직하게는 적어도 $120\mu\text{m}$ 가 되도록 선택된다. 전류 밀도 분배기의 평균 두께는 통상 $750\mu\text{m}$ 보다 클 수 없고, $600\mu\text{m}$ 보다 작은 것이 바람직하며, $500\mu\text{m}$ 보다 작거나 짐이 $400\mu\text{m}$ 보다 작은 것이 특히 바람직하다. 평균 두께가 커질수록 전극의 두께가 더 커질 위험이 크게 되어 일부 전극은 전해 전지안에서 더 들어나게 되고, 이로 인해 전해 전지가 차지하는 공간은 더 커질 수 있다. 보다 바람직하게는, 전류 밀도 분배기의 두께는 $150\mu\text{m}$ 내지 $400\mu\text{m}$ 에서 달라지고, 특히 $200\mu\text{m}$ 내지 $300\mu\text{m}$ 에서 달라진다. 이 범위는 전기 저항을 최소화하는 것과 오픈 공간의 충분히 큰 부분(fraction)을 제공하는 것의 사이에서 최적 조건(compromise)을 제공한다.

[0064] 본 발명의 범위 내에서, 전기 전도성 패스는 다양한 전기 전도성 물질을 포함한다. 본 발명의 전기 전도체로 사용하기에 적합한 물질은 20°C 및 대기압에서, 적어도 $1.25 \times 10^3 \text{ S/m}$ ($1.25 \times 10^3 \text{ S/m}$)의 전기 전도도(electrical conductivity)를 가지는 고체 물질을 포함한다. 전기 전도성 패스의 저항률(resistivity)은 바람직하게는 $8 \times 10^{(-4)} \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ ($8 \times 10^{(-4)} \text{ Ohm.m}$) 보다 작고, 더 바람직하게는 $10^{(-6)} \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ ($10^{(-6)} \text{ Ohm.m}$) 보다 작다. 따라서, 본 발명의 범위 내에서 "전기 전도체"는 20°C 및 대기압에서, 적어도 10^6 S.m^{-1} (10^6 S.m^{-1})의 전기 전도도 및 바람직하게 $8 \times 10^{(-4)} \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ ($8 \times 10^{(-4)} \text{ Ohm.m}$) 보다 작은 저항률(resistivity) 값을 가지는 물질을 의미한다. 그러나 전기 전도성 물질로 코팅된 전기 절연성 패스를 전기 전도성 패스에 대한 물질로 사용할 때는, 전술한 물질의 특성이 상이할 수 있다.

[0065] 본 발명에서 사용하기에 적합한 전기 전도성 패스의 예는, 전기 전도성 물질로 도핑되거나 도핑되지 않은 도전성 고분자(intrinsically conductive polymers, ICP's), 예를 들어 금, 아리듐, 백금, 로듐, 팔라듐, 은, 구리, 니켈, 아연, 텅스텐, 티타늄, 알루미늄, 주석, 이외의 순수한 금속의 합금인 금속 합금 포함하나, 이에 한정하지 않는다. 바람직한 전기 전도성 패스는 스테인리스 합금을 포함하고, 더 바람직하게는 오스테나이트계(austenitic) 스테인리스 강 및 듀플렉스(duplex) 스테인리스 강을 포함한다. 듀플렉스 스테인리스 강은 일반적으로 약 22중량%(wt. %) 내지 25중량%(wt. %)의 크롬, 5중량%(wt. %)의 니켈, 약간의 몰리브덴 및 질소를 포함한다. 듀플렉스 강은 오스테나이트계 스테인레스 강에 비해, 높은 항복 강도 및 염화물에 대한 응력 부식 균열 저항성을 위해 바람직할 수 있다. 상기 오스테나이트계 스테인레스 강은 듀플렉스 스테인리스 강에 비해 우수한 부식 저항성 및 낮은 자기(magnetic) 특성 때문에 바람직할 수 있다. 상기 오스테나이트계 스테인리스 강 및 듀플렉스 스테인리스 강은 양호한 부식 저항성 및 최소 자기 특성을 가지기 때문에 바람직하다. 상기 도전성 폴리머(ICP's)는 화학 구조의 고유 성질 때문에 전기를 전도한다. 본 발명에서 사용하기에 적합한 도전성 폴리머(ICP's) 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜)(poly(3,4-ethylenedioxythiophene, PEDOT), 폴리피롤(polypyrrole), 폴리아닐린(polyaniline, PANI), 폴리아세틸렌(polyacetylene), 폴리-p-페닐렌(poly-p-phenylene), 폴리-p-페닐렌 에틸렌(poly-p-phenylene ethylene), 폴리티오펜(polythiophene), 폴리플루오렌(polyfluorene)이다.

[0066] 당업자는 가장 적합한 전기 전도성 물질을 선택할 수 있을 것이며, 이때 당업자는 반응 매질(reaction medium)에서 원하는 화학 저항(chemical resistance) 및/또는 원하는 전기화학 안정성 및 부식 저항, 예상된 작동 조건(envisaged operational conditions), 특히 작동 전압 범위, 전류 범위, 전해질 조성물(특히 pH 및 반응 매질에 존재하는 이온)을 고려한다.

- [0067] 바람직하게 적합한 전기 전도성 물질은, 사용 중 변형(deformation)의 위험(risk)을 최소화하기 위해, 변형에 대한 원하는 강도(strength)/ 경도(hardness)/ 강성도(stiffness)/ 저항(resistance)을 제공함으로써 충분히 높은 인장 강도를 제공한다. 이것은 또한 전류 밀도 분배기의 물질의 온도가 상승하는 경우에도 적용될 수 있다. 따라서 바람직한 전기 전도성 패스는 바람직하게는 적어도 120MPa의 인장 강도를 제공하고, 더 바람직하게는 190MPa 보다 크고, 가장 바람직하게는 300MPa 보다 크고, 특히 적어도 450MPa이다. 극한(ultimate) 인장 강도 또는 파단시(at break)의 인장강도는, ISO 527 또는 ASTM D638에 따라 측정된 인장 강도 이하의 물질이 파단시에 요구되는 단위면적당 힘(압력)(MPa 또는 psi)을 의미한다. 항복 강도 또는 항복점은 물질의 소성 변형이 시작하는 응력으로 정의된다.
- [0068] 본 발명의 범위 내에서, 전기 절연성 패스는 20°C에서 $10^{12} \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ ($10\text{E}12\text{Ohm.m.m}$) 보다 높고, 바람직하게는 $10^{16} \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ ($10\text{E}16 \text{ Ohm.m.m}$) 보다 높은 전기 저항(resistance)을 갖는 물질을 포함하는 것으로 이해된다.
- [0069] 다양한 전기 절연성 물질은 본 발명에서 사용하기에 적합하고, 예를 들어 폴리아라마이드(polyaramides), 폴리에스테르(polyesters), 폴리올레핀(polyolefins), 폴리에테르케톤(polyetherketone), 폴리페닐렌설파이드(polyphenylene sulfide, PPS), 폴리에테르아미드(polyether imide) 등이 있다. 폴리올레핀의 적합한 예는, 초고분자량 폴리에틸렌(ultrahigh molecular weight polyethylene, UHMWPE), 고밀도 폴리에틸렌(high density polyethylene, HDPE), 폴리프로필렌(polypropylene) 또는 그밖에 유사한 것을 포함한다. 폴리에스테르의 적합한 예는 폴리에틸렌 테레프탈레이트(polyethylene terephthalate, PET)를 포함한다. 다른 적합한 물질은 예를 들어 폴리테트라플루오로에틸렌(polytetrafluoroethylene, PTFE), 에틸렌 테트라플루오로에틸렌(ethylene tetrafluoroethylene, ETFE), 테드라 플루오로에틸렌-헥사플루오로프로필렌 공중합체(FEP), 테드라 플루오로에틸렌-페르플루오르 알킬비닐에테르 공중합체(PFA), 플루오르화 에틸렌-프로필렌 공중합체(fluorinated ethylene-propylene copolymer, EFEP), 폴리클로로트리플루오로에틸렌(polychlorotrifluoroethylene, PCTFE)인 불소수지(fluoroplastics), 지방족 폴리아미드(aliphatic polyamides)를 포함한다. 상기 상술한 물질은 단독 또는 임의의 조합으로 사용될 수 있다. 게다가 상기 전기 절연성 패스는 전술한 수지섬유(plastic fibers)에 적합한 비로 유리, 세라믹으로 만들어진 섬유, 광물섬유(mineral fibers), 탄소섬유(carbon fibers) 등을 포함할 수 있다. 따라서 전기 절연성 패스로 사용하기에 적합한 물질은 모노필라멘트 또는 상기 나타낸 하나 이상의 중합체의 중합체 매트릭스 및 내부에 분산된 유리섬유, 세라믹섬유, 탄소섬유와 같은 보강 성분(reinforcing component)을 포함하는 복합재료(composite material)로 만들어진 쓰래드이다.
- [0070] 바람직한 전기 절연성 패스는 충분한 압축 저항(compression resistance)과 조합하여 충분히 높은 인장 강도를 제공하는 것이고, 사용하는 동안 전류 밀도 분배기의 변형의 위험을 최소화한다. 바람직한 물질은 적어도 15MPa의 인장을 제공하는 것이고, 더 바람직하게는 적어도 40MPa이고, 가장 바람직하게는 적어도 55 MP이고, 특히 적어도 100MPa이다. 바람직한 물질은 20MPa 보다 높은 압축 강도를 제공하고, 보다 바람직하게는 55MPa 보다 높고, 가장 바람직하게는 80Mpa 보다 높고, 특히 100Mpa 보다 높은 것이다. 인장 강도 또는 파단시(at break)의 인장강도는, 재료의 특성에 따르는 ASTM D882 또는 ASTM D412에 따라 측정된 인장 강도 이하의 물질이 파단시에 요구되는 단위면적당 힘(압력)(MPa 또는 psi)을 의미한다. 전기 절연성 패스는 바람직하게는 $50\mu\text{m}$ 내지 $250\mu\text{m}$ 의 평균 횡단면을 갖고, 보다 바람직하게는 $60\mu\text{m}$ 내지 $200\mu\text{m}$, 가장 바람직하게는 $60\mu\text{m}$ 내지 $150\mu\text{m}$ 이다.
- [0071] 따라서, 전류 밀도 분배기는 바람직하게는 금속 타입, 금속-플라스틱 타입, 혼합 금속 타입, 혼합 금속-플라스틱 타입, 혼합 금속-금속 타입, 혼합 금속-금속-플라스틱 타입, 금속 및 다른 전도성 비금속(전도성 폴리머 및 전도성 카본(예; 흑연, 그래핀(grapheme) 및 카본나노튜브)과 같은)의 혼합물, 또는 (플라스틱과 같은) 비전도성 물질, 다공성 전기 전도성 웹(web) 및 이들의 임의의 조합으로 이루어진 군에서 선택된다.
- [0072] 본 발명의 바람직한 실시예에 따라, 전류 밀도 분배기는, 다공성 전기 전도성 웹(web)을 더 포함할 수 있고, 예를 들어 탄소 전극(예를 들어, 퍼치-결합된 탄소 전극(pitch-bonded carbon electrode)) 또는 탄소 발포체(foam), 금속 캐스트 전극(metal-cast electrode) 또는 금속 전극(metallic electrode)(예를 들어, 편침 금속 시트(punched metal sheet)), 우븐된 금속 재료(woven metallic material), 금속 메쉬, 금속 스크린, 금속 철망(metal gauze), 금속 폼(metallic foam) 또는 전기 전도성 네트(net) 또는 어레이(array)가 있다. 다공성 전기 전도성 웹을 위한 물질 선택은 적용 요건에 의존한다. 적합한 물질은 스테인리스 강 및 니켈을 포함한다. 다공성 전기 전도성 웹의 기공 크기는 $149\mu\text{m}$ 내지 $840\mu\text{m}$ 인 것이 바람직하다. 다른 바람직한 실시예에 따라, 전류 밀도 분배기는 예를 들어 강한 산성 전해질의 부식을 방지할 수 있는 화학적 또는 열적 처리된 다공성 전기 전도성 웹을 더 포함한다.

- [0073] 본 발명의 또 다른 바람직한 실시예에 따라, 전류 밀도 분배기는 전류 밀도 분배기와 직접 접촉하는 다공성 전도성 웹을 더 포함한다. 상기 다공성 전도성 웹은 다공성 전기 전도성 웹으로부터 전자를 제거하거나 상기 웹으로 전자를 가져오도록 하는 매우 높은 전기 전도도를 갖는 전기 전도성 물질이다.
- [0074] 본 발명은 전류 밀도 분배기의 전체 표면적에 걸쳐 전류 흐름을 최대화하는 것 및 전류 밀도 분배기에서 오픈 영역을 고려하여 전류 밀도 분배기의 표면에 걸쳐 전류 분배를 최적화하는 것 사이에서 최적의 조건을 제공하는 전류 밀도 분배기를 제공한다. 이로 인해 전류 밀도 분배기의 재료비 및 중량을 가능한 한 낮도록 유지가능하고, 다른 한편으로는 여전히 충분한 기계 및 치수적 안정성을 보장할 것이다. 본 발명은 향상된 전기 전류 밀도 분배를 제공할 수 있으며, 이러한 배열(configuration)로 인해 저항 분극(ohmic polarization)에 기인하는 내부 전류 손실을 감소시킬 수 있는 전류 밀도 분배기를 제공한다.
- [0075] 본 발명은 또한 전술한 전류 밀도 분배기를 적어도 하나 또는 복수 개 포함하는 가스 확산 전극에 관한 것이고, 상기 전극은 애노드 또는 캐소드일 수 있다. 전류 밀도 분배기의 일면에는 활성층이 배치되고, 상기 전류 밀도 분배기의 대향하는 면에는 소수성 또는 발수층은 배치된다. 본 발명에 따른 전류 밀도 분배기의 전체 면 또는 일부 면이 활성층, 각각의 소수성층에 의해 커버될 수 있다. 유사하게, 본 발명의 전류 밀도 분배기는 활성층의 표면의 일부에 배치될 수 있으나, 바람직하게 상기 활성층의 표면 전체에 배치된다. "발수층(Water Repellent Layer, WRL)"은, 가스에 다공성을 갖고 가스와 접촉하는 외부의 표면 및 전해질이 외부 표면의 가스 확산층으로 누출되는 것을 방지하는 능력을 갖는다. "전기화학 활성층(Electrochemically Active Layer)"은 높은 전기 전도성 및 가스와 전해질이 통과할 수 있는 기공을 갖고, 일 표면에는 전해질/다른 표면에는 방수층(소수성 가스 확산층) 사이의 계면을 갖는 전기 화학 반응이 일어나는 층이다.
- [0076] 본 발명은 하기 실시예 및 비교예에서 더 설명된다.
- [0077] 하기 실시예는 전극, 도 4에 도시된 정사각(square) 형상의 전류 밀도 분배기 및 전극과 같은 것을 포함하는 전기화학 반쪽 전지(half cell)를 이용한다. 상기 전기화학 반쪽 전지에는 전류 밀도 분배기가 포함되어 있다. 상기 전류 밀도 분배기는 메쉬의 z 방향으로 연장된 복수 개의 전기 전도성 물질의 와이어 및 메쉬의 x 방향으로 연장된 복수 개의 전기 전도성 와이어를 포함하는 정사각(square) 다공성 웹을 포함한다. 상기 메쉬는 0.25mm의 평균 획단면을 가지는 복수 개의 전기 전도성 와이어로 이루어진다. x 및 z 방향으로의 전류 밀도 분배기의 치수는 각각 10cm × 10cm이고, y 방향으로는 0.25mm이다. 상기 전류 밀도 분배기는 전기 전도성 프레임에 장착된다. 상기 전류는 z 방향인 화살표가 나타내는 방향으로 흐른다고 가정된다. 전기 전도성 재료의 러그(lug)는 전류가 전류 밀도 분배기로 공급되는 것을 따라 프레임의 일측(side)에 장착된다. 각각의 x 및 z 방향으로의 러그의 치수는 11cm × 1cm이고, y 방향으로는 0.25mm이다. 전해질(electrolyte)은 전기화학 활성층에 완전히 접촉하고 있고, 따라서 10cm × 10cm(x 및 z 방향)의 치수 및 0.5cm(y 방향)의 치수를 가진다. 전기화학 활성층의 두께는 전류 밀도 분배기와 일치하도록 0.25mm로 설정하였다.
- [0078] 전류 밀도 분배기의 일면에서, 전자 촉매 활성 물질의 층은 특히 다공성 활성 탄소 물질의 매트릭스 형으로 배치되었다. 상기 활성 물질은 다공성 전류 밀도 분배기의 구멍(pores)으로 부분적으로 연장되어 있다. 상기 활성 층은 전해질과 직접 접촉되는 것으로 간주된다.
- [0079] 전류 밀도 분배기 상의 전류 밀도 분배는 Comsol사(네덜란드)로부터 구입가능한 콤파스 멀티피직스 주된 전류 분배(COMSOL Multiphysics primary current distribution)를 이용하여 계산된다. 다음과 같이 가정한다: 전류 밀도 분배기를 통한 전류 통로(passage)는 전류 밀도 분배기의 오믹 저항에 의해 조절된다. 전해질에 인접한 전류 밀도 분배기 및 전극은 등전위 면(equipotential surfaces)으로 간주되고, 전해질 내의 이온농도는 균일한 것으로 가정한다. 전극 반응 속도(electrode kinetics)에 기인하는 전위 이상 활성화(activation overpotentials) 및 물질 전달(mass transfer)에 기인하는 전위 이상 농도(concentration over-potentials)는 무시되었다. 상기 전극은 완벽한 전기 전도체로 간주되고, 상기 전극 전위(Φ_M)는 일정한 것으로 가정된다. 전극의 외면은 절연되는 것으로 간주된다($\nabla \Phi_s = 0$). 전해질의 전도성(κ) 및 전극 상의 전해질 전위(Φ_s)는 일정한 것으로 가정된다. 전극은 평형(equilibrium)에서 벗어나는 것으로 간주되며, 이것은 $E > E_{eq}$ 이다. 전해질 및 전극 모두 옴의 법칙을 따른다($j = -\kappa \nabla \Phi_s$, 여기서 j 는 전류 밀도).
- [0080] 고정 모델(stationary model)은 전류 밀도 분배기, 전기화학 활성층 및 전해질에 관한 인터페이스에서 주된 전류 밀도 분배(primary current distribution)의 솔루션(solution)을 고려한다.
- [0081] 20mA의 방전 전류(discharge current)는, 러그(lug)를 통해 적용되는 것으로 가정한다. 평형 전위(equilibrium

potential) ($\Phi_S + \Phi_M$)는 0.7V이다 ($\Phi_S + \Phi_M = 0.7V$). 이 조건은 전기화학적 활성층 및 전류 밀도 분배기 사이의 경계(boundary)에서 효과적이다. 전류 밀도 분배기의 전기 전도도는 $4.8 \times 10^6 \text{ Sm}^{-1}$ 인 것으로 가정되고, 이 값은 스테인리스 강, 구리, 오스테나이트계 강과 같은 양호한 전기 전도성 물질로 만들어진 전류 밀도 분배기에 나타난다. 전기화학 활성층의 전기 전도도는 $9.5 \times 10^2 \text{ Sm}^{-1}$ 이고, 이 값은 흑연, 활성탄 및 비정질 탄소의 다른 형태와 같은 반도체 물질에 나타난다. 전해질의 전도도는 10 mSm^{-1} 이다.

[0082] **실시예 1 :** 다공성 전극의 전류 밀도 분배기 상의 전류 분배 밀도에 미치는 단위길이당 전기 전도체의 수의 영향

[0083] 실시예 1은 3차원 모델에 기초한 수치 모델링(computational modeling)을 사용하여, 다공성 전극의 전류 분배 밀도 프로파일에 미치는 x 방향, 즉 주요 전류 흐름 방향에 대해 수직인 방향으로의 단위길이당 전기 전도체의 수의 영향을 나타낸다.

[0084] z 방향으로, 와이어(10)는 10cm의 길이에 걸쳐 고르게 분배되었다. 상기 와이어는 서로 일정한 거리에 배치되었다. 주요 전류 흐름에 수직인 x 방향으로의 전기 전도성 와이어의 수는 다음과 같이 변화되었다. : 각각의 와이어(10, 15, 20, 30)은 10cm의 길이에 걸쳐 제공된다. 상기 와이어는 규칙적인 직사각형(rectangular) 패턴을 가지는 메쉬를 얻도록 서로 일정한 거리에 배치되었다.

[0085] 도 4a, 5a, 6a 및 7a z 방향으로 전기 전도성 와이어(10) 및 각각 10cm의 길이에 걸쳐 고르게 분배되고 (전류의 주요 흐름에 수직인) x 방향으로 각각의 전기 전도성 와이어(10, 15, 20, 30)를 가지는 전류 밀도 분배기에 상응하는 전류 밀도 분배를 보여준다. 도 4b, 5b, 6b 및 7b 각각의 도 4a, 5a, 6a 및 7a의 전류 밀도 분배기에 대응하는, 전기화학 활성층의 z-축을 따르는 전류 밀도 프로파일을 보여준다.

[0086] 도 4b, 5b, 6b 및 7b로부터, 주요 전류 흐름에 수직인 방향의 단위길이당 전기 전도성 와이어의 수는, 전류 밀도 또는 전극 상의 분배에 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

[0087] **실시예 2 :** 다공성 전극의 전류 밀도 분배기 상의 전류 분배 밀도에 미치는 단위길이당 전기 전도체의 수의 영향

[0088] 전류 밀도 분배기에서 단위길이당 와이어의 수는 특히 다음과 같이 주요 전류 흐름에 평행한 방향인 z 방향으로 변하였다. : 각각의 와이어(15, 20, 30)는 10cm의 길이에 걸쳐 고르게 분배되었다. x 방향으로, 와이어(10)는 10cm의 길이에 걸쳐 고르게 분배되었다.

[0089] 도 8a, 9a 및 10a은 각각 10cm의 길이에 걸쳐 고르게 분배되고 (전류의 주요 흐름에 수직인) x 방향으로의 전기 전도성 와이어(10) 및 10cm의 길이에 걸쳐 고르게 분배되고 (전류의 주요 흐름에 수직인) x 방향으로의 각각의 전기 전도성 와이어(15, 20, 30)를 가진 전류 밀도 분배기에 상응하는 전류 밀도 분배를 보여준다.

[0090] 도 8b, 9b 및 10b 각각의 도 8a, 9a 및 10a의 전류 밀도 분배기에 대응하는, 전기화학 활성층의 z-축을 따르는 전류 밀도 프로파일을 보여준다.

[0091] 도 8b, 9b 및 10b로부터, 주요 전류 흐름에 평행인 방향(z 방향)의 단위길이당 전기 전도체의 수의 변화(varying)는, 전극 쪽으로 전류 밀도 분배에 상당한 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 도 8c와 도 9c의 비교는 주요 전류 흐름에 평행한 z 방향으로의 전기 전도성 와이어의 수가 증가하는 것을 보여주고, 전류 밀도 분배기 상의 전류 밀도 분배의 균일성이 향상된다. 따라서 전극의 다른 위치에 있는 전기화학 활성층의 큰 영역은 더 큰 전류 밀도를 가질 것이고, 전극 쪽으로 전압 강하(voltage drop)가 감소될 수 있다. 전극 쪽으로 더 작은 전압 강하는 화학 반응에 사용되는 경우, 키네틱 반응 속도(kinetic reaction rate) 및 반응 선택도가 전극 쪽으로 더 큰 전압 강하를 가진 전극 보다 향상될 수 있다는 이점이 있다.

[0092] 도 8a 및 8b로부터, 전류 흐름의 주요 방향에 평행한 방향으로 단위길이당 더 적은 와이어의 수를 가진, z 방향으로의 전류 밀도 크기(magnitude)는 전극의 다른 영역에서 보다 일부 영역(e.g. 50 A m^{-2})에서 더 크다는 것이 관찰될 수 있다. 실제로 이것은 전극의 대항하는 면에 위치한 전기화학 활성층의 넓은 영역이 다소 낮은 전류 밀도에서(e.g. at $z=0$) 작동할 수 있을 것이라는 점을 의미한다. 이 효과는 전극 쪽으로 큰 전압 강하와 관련된다. 전극 쪽으로 큰 전압 강하는 화학 반응에 사용되는 경우, 키네틱 반응 속도 및 반응 선택도가 전극 쪽으로 더 작은 전압 강하를 가진 전극에 비해 열등할 것이라는 문제가 있다.

[0093] **실시예 3.**

[0094]

실시예 2가 x 및 z의 두 방향으로 전기 전도성 와이어를 갖는 전류 밀도 분배기를 가지고 반복되었다. x 및 z의 두 방향으로, 전기 전도성 와이어의 두 가지 유형, 즉 더 작은 단면을 가지는 와이어 및 더 큰 단면을 가지는 와이어를 사용하였다.(도 11a 참조) 도 11a는 x 및 z의 두 방향으로 더 두꺼운 와이어는 2mm의 평균 횡단면을 가지고, 더 작은 와이어는 0.25mm의 평균 횡단면을 가지고 있는 예를 나타낸다. 도 12a 및 13a은 주요 전류 흐름에 평행한 z 방향으로의 두꺼운 와이어는 각각 1mm 및 0.5mm의 평균 횡단면을 가지고 있으나, 주요 전류 흐름에 수직인 x 방향으로의 두꺼운 와이어는 2mm의 평균 횡단면을 가지며, x 및 z의 두 방향으로의 작은 와이어는 0.25mm의 평균 횡단면을 가지고 있는 예를 나타낸다. 전류 밀도 프로파일은 도 11b-13b에 나타난다.

[0095]

이러한 모델로부터, 주요 전류 흐름에 수직인 방향으로의 전기 전도성 와이어를 전기 절연체로 이루어지는 와이어로 교체하는 것이, 전기 전도성 와이어를 제거하는 것 보다 z-축을 따른 전류 밀도 프로파일 및 전류 밀도 분배에서 유사한 효과를 가진다는 것이 추정될 수 있다. 이러한 모델은, 주요 전류 흐름에 수직인 x 방향으로의 더 두꺼운 와이어가 전극 상의 전류 흐름에 있어서 필수적이지는 않으며, 감소된 중량 및 재료비를 갖는 전류 밀도 분배기 및 전극이 예상된다면 더 두꺼운 와이어가 제거될 수 있고, 반면 비교할만한 전기화학적 성능은 유지된다. 그러나 전기 절연체 쓰레드가 단순히 제거되는 상황과 비교를 하면, 주요 전류 흐름에 수직인 방향으로의 전기 전도성 와이어를 전기 절연체로 이루어지는 와이어로 교체하는 것이 기계 및 치수적 안정성을 향상시킬 것이다.

[0096]

실시예 4.

[0097]

실시예 3이 x 및 z 방향 모두 2mm의 평균 횡단면을 갖는 두꺼운 와이어로 반복되었고, 작은 와이어는 0.25mm의 평균 횡단면을 갖는다. z 방향으로의 두꺼운 전기 전도성 와이어의 평균 횡단면이 다음과 같이 변화되었다: 도 14a 2mm, 도 15a 1mm, 도 16a 0.5mm.

[0098]

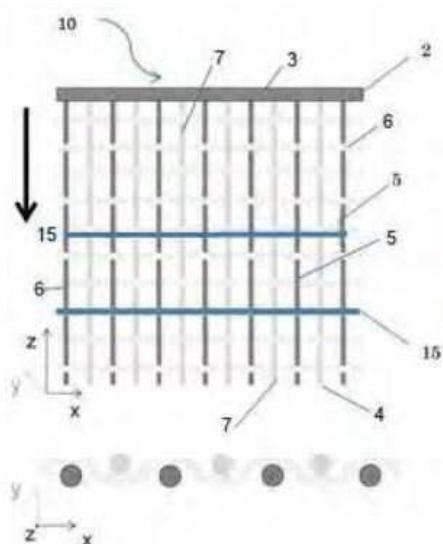
도 14b, 15b 및 16b에 도시된 전기 밀도 프로파일로부터 주요 전류 흐름 방향을 따르는 z 방향으로의 두꺼운 와이어의 평균 횡단면을 증가시키는 것이 전류 밀도 분배기의 성능을 크게 향상시킬 수 있음을 추측할 수 있다. 따라서, z 방향으로 두꺼운 금속 와이어를 대체하는 플라스틱 와이어의 인터칼레이션(intercalation)은, 제품 선택이나 성능이 전극 비용 및 중량을 통해 평가되지 않는 경우에만 좋다.

[0099]

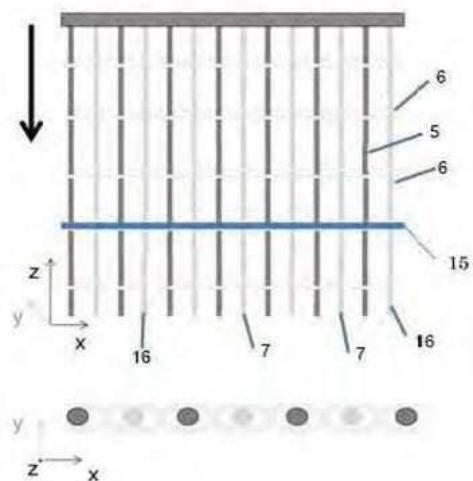
모델 결과에 따르면, x 방향으로의 두꺼운 와이어는 전극을 통해 전류를 분배하는 데에 있어 필수적이지는 않기 때문에, 당업자는 전류 밀도 분배기를 제공하지 않을 수 있고, 따라서 실시예 2에서 발생한 결과와 유사한 방식에서와 같이, 전극이 유사한 전기화학 성능을 유지하면서 경량화되고 비용도 절감된다.

도면

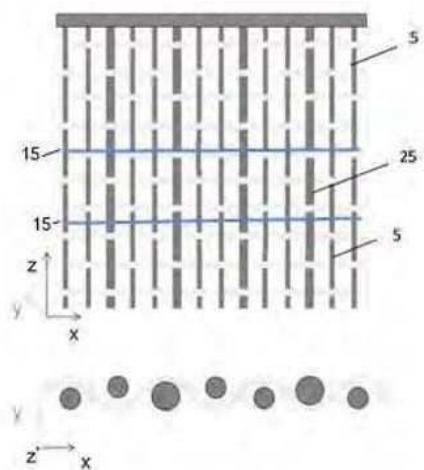
도면 1a



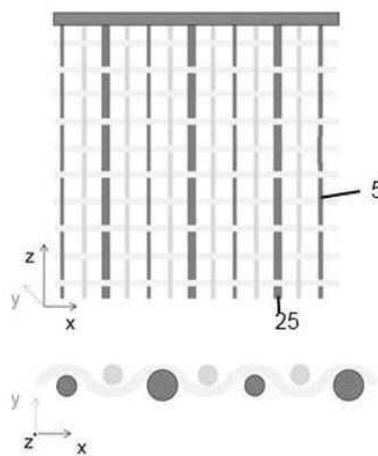
도면 1b



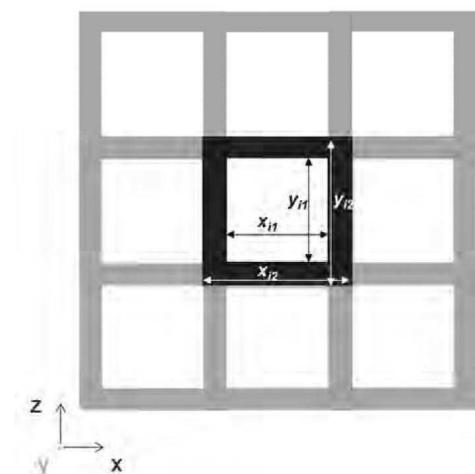
도면 1c



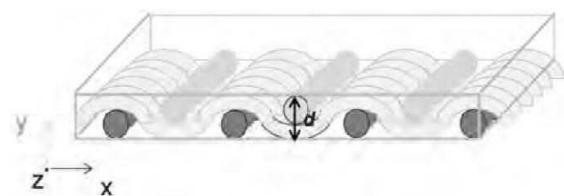
도면 1d



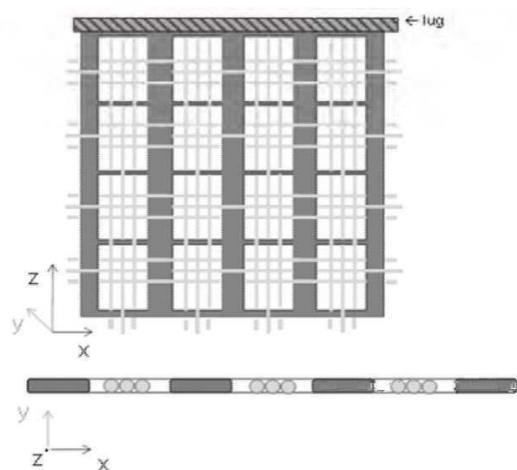
도면2a



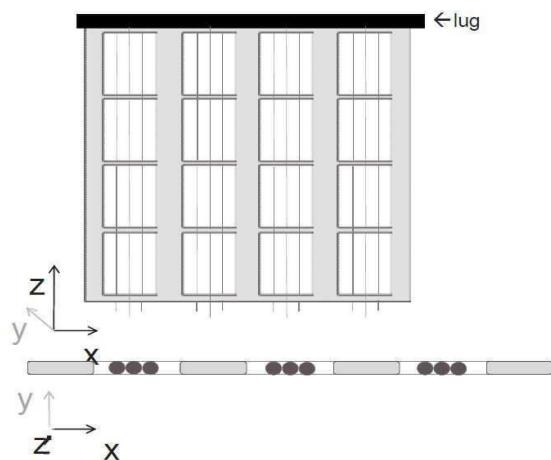
도면2b



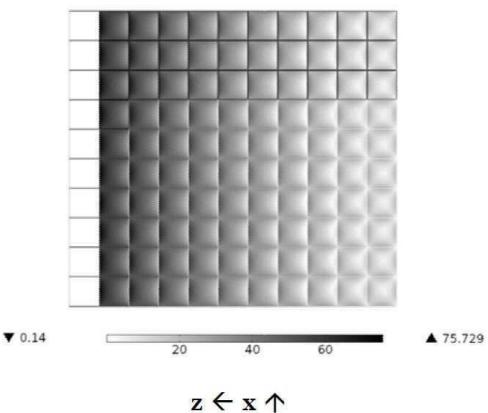
도면3a



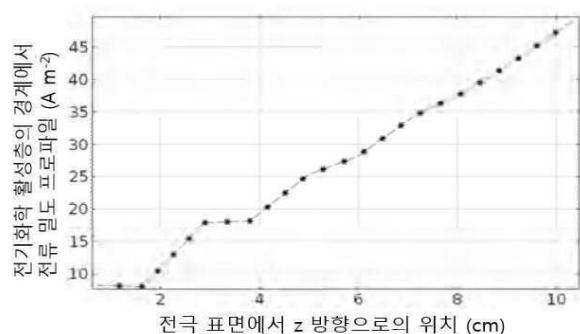
도면3b



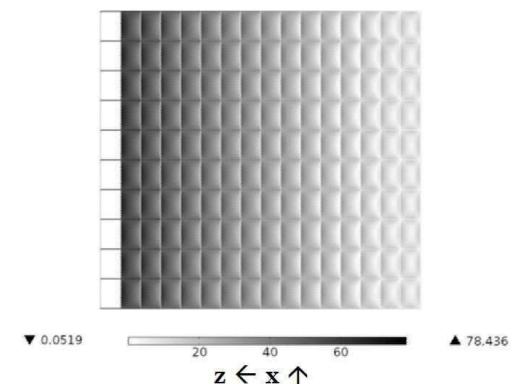
도면4a



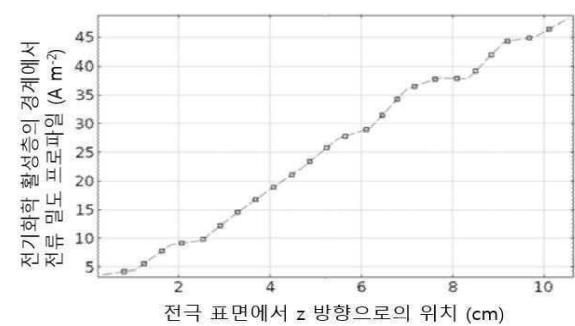
도면4b



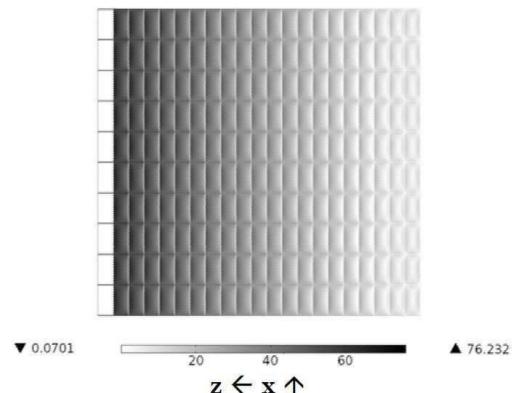
도면5a



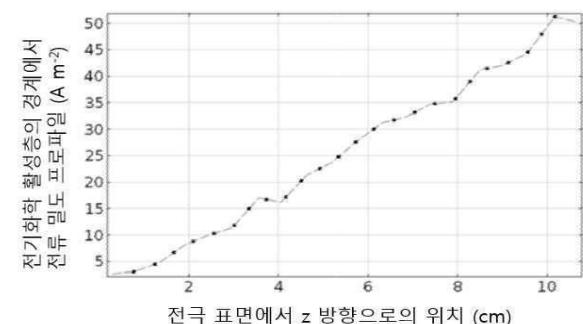
도면5b



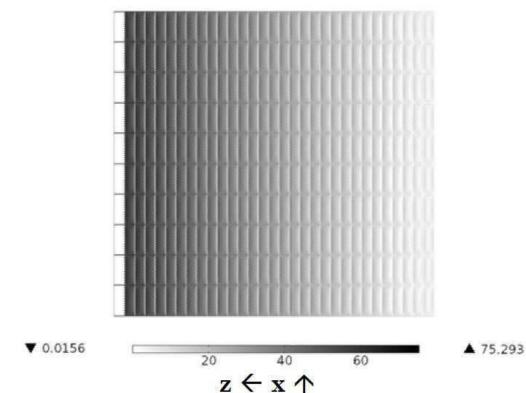
도면6a



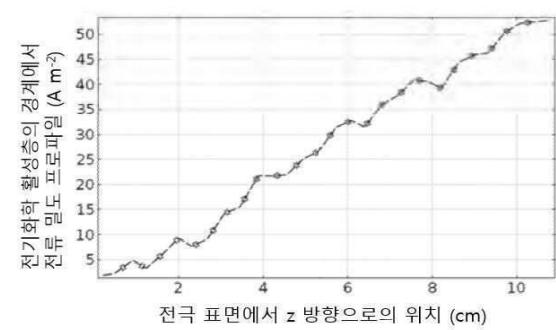
도면6b



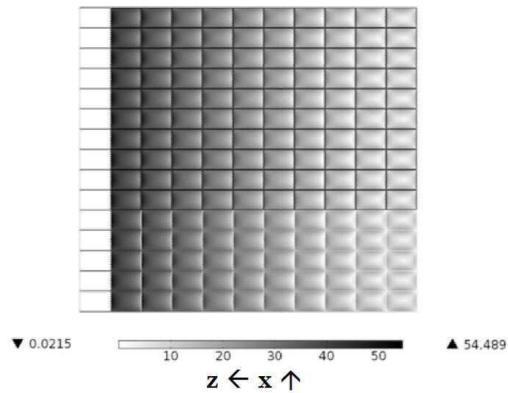
도면7a



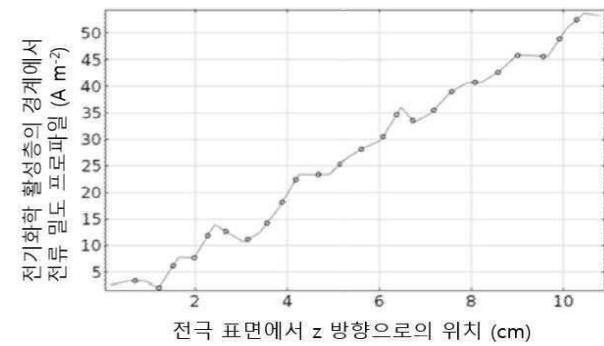
도면7b



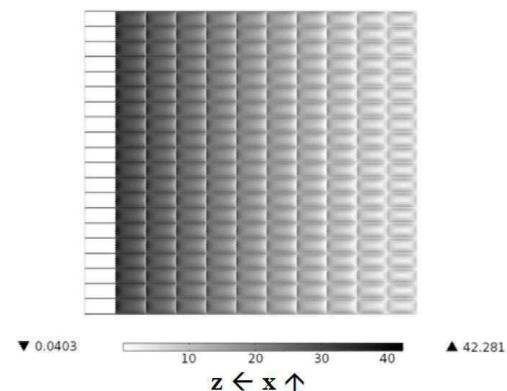
도면8a



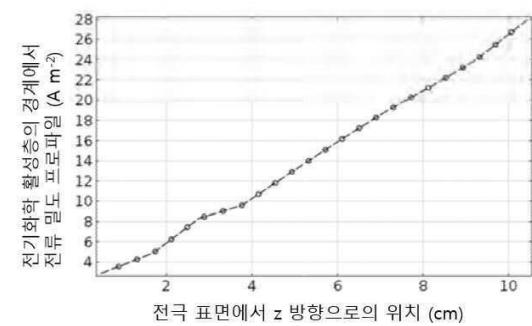
도면8b



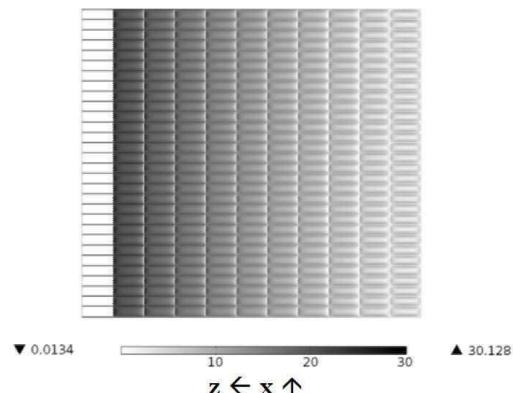
도면9a



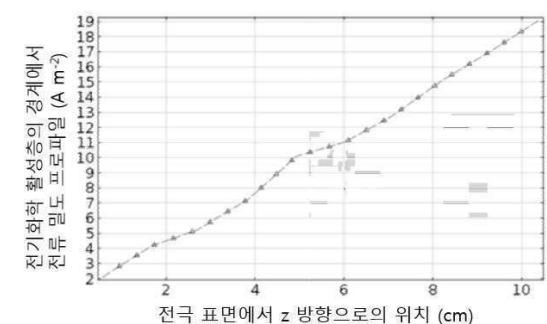
도면9b



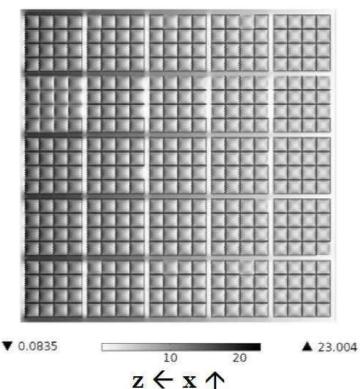
도면10a



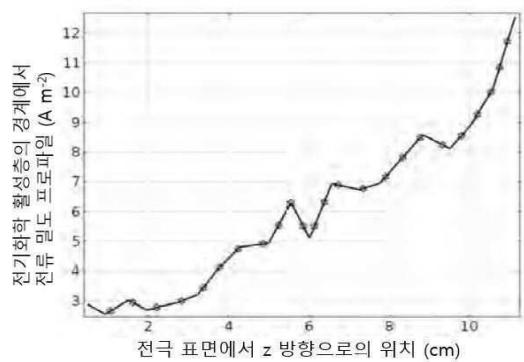
도면10b



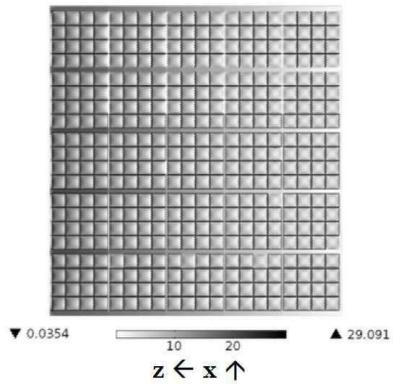
도면11a



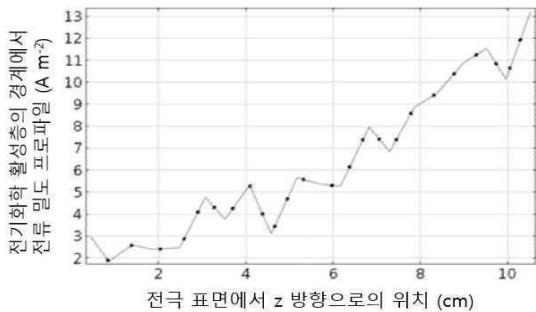
도면11b



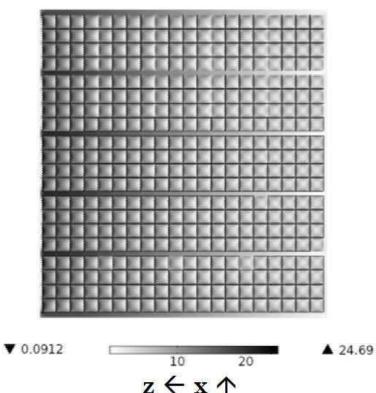
도면12a



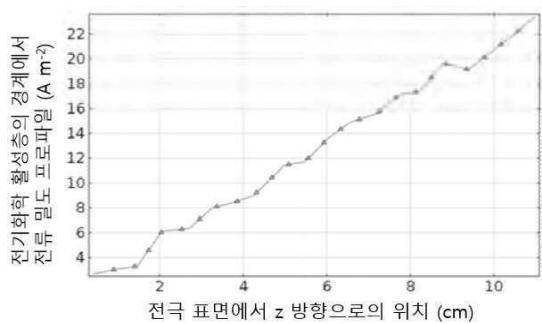
도면12b



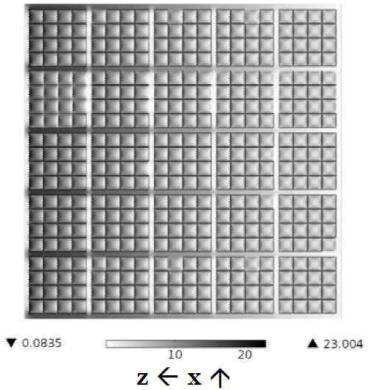
도면13a



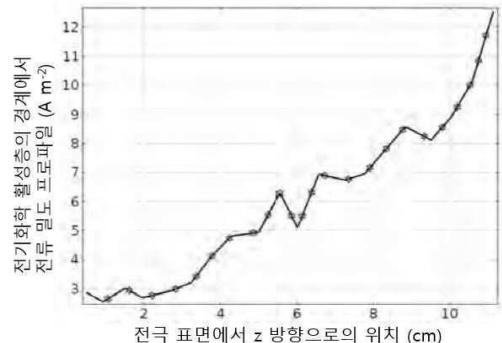
도면13b



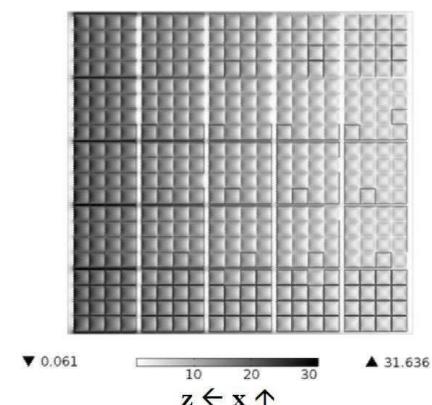
도면14a



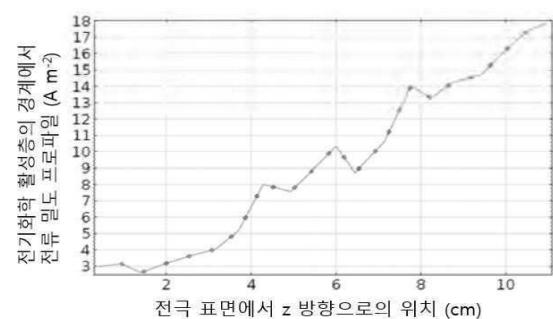
도면14b



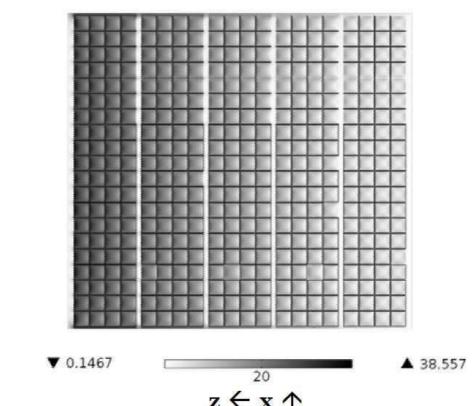
도면15a



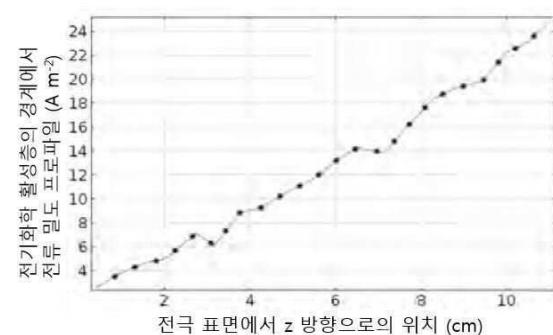
도면15b



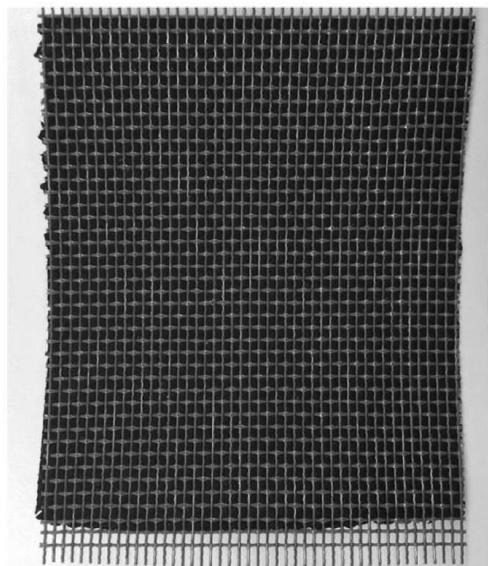
도면16a



도면16b



도면17



도면18

