



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년06월18일

(11) 등록번호 10-2266054

(24) 등록일자 2021년06월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*H01M 12/08* (2015.01) *H01M 4/86* (2006.01)  
*H01M 4/88* (2006.01) *H01M 8/0232* (2016.01)  
(52) CPC특허분류  
*H01M 12/08* (2019.01)  
*H01M 4/8605* (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2021-0058009(분할)  
(22) 출원일자 2021년05월04일  
심사청구일자 2021년05월04일  
(65) 공개번호 10-2021-0053860  
(43) 공개일자 2021년05월12일  
(62) 원출원 특허 10-2019-0014558  
원출원일자 2019년02월07일  
심사청구일자 2019년02월07일  
(30) 우선권주장  
1020180014012 2018년02월05일 대한민국(KR)  
(56) 선행기술조사문헌  
KR1020070074054 A\*  
KR1020160130017 A  
US20150104718 A1  
JP04308819 A  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
**연세대학교 산학협력단**  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
**설용건**  
서울특별시 마포구 백범로 212, 16층 102동1602호(신공덕동, 대우 월드마크마포)  
**권오찬**  
서울특별시 강남구 삼성로 150, 103동 1108호(대치동, 한보미도맨션)  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
**특허법인다나**

전체 청구항 수 : 총 10 항

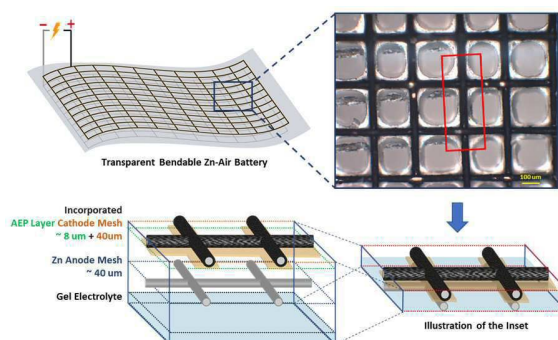
심사관 : 정승두

(54) 발명의 명칭 **투명 전극 및 이를 포함하는 금속-공기 이차 전지**

### (57) 요약

본 발명은 투명 전극 및 이를 포함하는 금속-공기 이차 전지에 관한 것으로, 상기 전극은 금속 메쉬를 포함하여 플렉서블하고, 상기 금속 메쉬의 일면에 분리막 기능을 하는 음이온 교환 수지를 포함하는 박막이 금속 메쉬를 구성하는 금속선을 따라 형성되어 기공을 포함하는 구조를 가지므로 전극 사이의 전기 절연을 보장하면서 광이 지나갈 수 있는 통로를 제공할 수 있다. 따라서, 상기 투명 전극은 별도의 분리막이 필요치 않고 광 투과성이 우수하므로, 이를 포함한 전자소자, 특히 금속-공기 이차 전지는 충방전 특성이 우수할 뿐만 아니라 플렉서블하고 박형화가 가능하며 우수한 광 투과율을 갖는 이점이 있다.

**대표도** - 도1



(52) CPC특허분류

**H01M 4/8853** (2013.01)

**H01M 4/886** (2013.01)

**H01M 8/0232** (2013.01)

**H01M 2300/0085** (2013.01)

(72) 발명자

**황호정**

경기도 용인시 기흥구 산양로 17, 308동 804호(신갈동, 양현마을풍림신안아파트)

---

**이찬민**

서울특별시 서대문구 성산로7안길 60, 101호(연희동)

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

부분적으로 건조된 이온 교환 수지 상에 금속 메쉬를 적층하는 단계;  
금속 메쉬가 적층된 이온 교환 수지를 수산화 용액에 침지하는 단계; 및  
침지된 이온 교환 수지로부터 금속 메쉬를 탈착하여, 금속 메쉬 일면에 금속선을 따라 이온 교환 수지가 형성된 박막을 갖는 투명 전극을 얻는 단계를 포함하는 투명 전극의 제조방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,  
수산화 용액은 NaOH, KOH,  $Mg(OH)_2$ ,  $Ca(OH)_2$  및  $Ba(OH)_2$ 로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상을 포함하는 투명 전극의 제조방법.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,  
수산화 용액의 농도는 0.01 M 내지 5M인 투명 전극의 제조방법.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,  
침지시간은 10시간 내지 50시간인 투명 전극의 제조방법.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,  
이온 교환 수지 상에 금속 메쉬를 적층하는 단계 이전에,  
백금(Pt), 이리듐(Ir), 코발트(Co) 및 망간(Mn)으로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상의 금속 또는 이의 산화물을 포함하는 촉매 및 바인더를 포함하는 조성물로 금속 메쉬 표면을 코팅하는 단계를 포함하는 투명 전극의 제조방법.

#### 청구항 6

제5항에 있어서,  
금속 메쉬 표면을 코팅하는 단계는 에어브러시(air brush), 메이어(Mayer), 디-바(D-bar), 고무롤(rubber roll), G/V 롤(G/V roll), 에어나이프(air knife) 또는 슬롯다이(slot die)로 수행되는 투명 전극의 제조방법.

#### 청구항 7

투명 전극을 포함하는 공기극;

아연(Zn)을 함유하는 금속 메쉬를 포함하는 아연 전극; 및

수산화 이온을 함유하는 전해질 겔을 포함하는 아연-공기 이차 전지로서,

상기 공기극은 금속 메쉬 및 상기 금속 메쉬 일면에 위치하고 이온 교환 수지를 포함하는 박막을 포함하고,

상기 박막은 금속 메쉬에 포함된 금속선을 따라 형성되어 기공을 포함하는 구조를 갖는 아연-공기 이차 전지.

## 청구항 8

제7항에 있어서,

아연 전극에 포함된 금속 메쉬는 아연 메쉬 또는 아연(Zn)이 전착(electro deposition)된 스테인레스 스틸 메쉬인 것을 특징으로 하는 아연-공기 이차 전지.

## 청구항 9

제7항에 있어서,

아연 전극은 아연(Zn)을 함유하는 금속 메쉬가 전해질 겔에 함침된 구조를 갖는 아연-공기 이차 전지.

## 청구항 10

제7항에 있어서,

아연-공기 이차 전지의 평균 광 투과도는 400 nm 내지 700 nm 파장을 갖는 광에 대하여 30% 이상인 아연-공기 이차 전지.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 투명 전극 및 이를 포함하는 금속-공기 이차 전지에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0003] 증강 현실 (augmented reality, AR)은 현재 전자 분야에서의 중요한 관심 주제로서, 이를 실생활에 적용하고자 하는 노력이 다방면으로 이어지고 있다. 그러나, 증강 현실과 같은 기술을 실생활에 적용하기 위해서는 이를 적용한 시스템이 자체적으로 고출력의 전원을 공급할 수 있어야 하고 높은 유연성과 광 투과성을 충족하여야 하나, 이를 만족시키기는 어려운 문제가 있다. 실제로, 증강 현실을 적용한 고출력 기기에 전원을 공급하기 위하여, 종래 리튬이온 전지 등의 투명 전지가 개발된 바 있으나, 상기 리튬이온 전지는 충방전 사이클이 작고, 제한된 충방전 특성을 나타내므로 기기의 수명이 짧은 한계가 있다.

[0004] 한편, 아연-공기 이차 전지는 공기 중의 산소를 사용하기 때문에 상대적으로 음극에 많은 양의 아연을 채울 수 있어 질량 단위당 에너지 밀도가 높다. 따라서, 아연-공기 이차 전지는 그 크기가 작아도 충방전 용량이 매우 큰 것이 특징을 나타내며, 자기 방전이 적어 전지의 용량을 다 소비할 때까지 전압이 일정하게 유지된다. 아울러, 전기생성 과정에서 발생하는 산화아연은 독성이나 폭발 위험성이 적고, 지구상에 풍부한 아연과 공기를 사용하기 때문에 환경친화적인 이점이 있다.

[0005] 현재까지 아연-공기 이차 전지의 수명을 보다 향상시키기 위하여 아연 전극의 가역성을 개선하거나 전해질의 손실을 방지하는 기술 등이 연구된 바 있다. 그러나, 상술된 바와 같이 증강 현실을 적용한 시스템과 같은 기기에 사용하기 위해 요구되는 광 투과성이나 유연성을 향상시킨 기술은 연구가 진행된 바 없으므로, 광 투과성과 유

연성을 동시에 만족시킬 수 있는 아연-공기 이차 전지에 대한 기술 개발이 요구되고 있는 실정이다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제2016-0009872호

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 목적은 충방전 특성이 우수할 뿐만 아니라, 광 투과성 및 유연성이 뛰어난 아연-공기 이차 전지를 제공하는데 있다.

### 과제의 해결 수단

[0010] 상기 과제를 해결하기 위하여 본 발명은 일 실시예에서

[0011] 금속 메쉬; 및

[0012] 상기 금속 메쉬 일면에 위치하고 이온 교환 수지를 포함하는 박막을 포함하고,

[0013] 상기 박막은 금속 메쉬에 포함된 금속선을 따라 형성되어 기공을 포함하는 구조를 갖는 투명 전극을 제공한다.

[0015] 또한, 본 발명은 일 실시예에서

[0016] 부분적으로 건조된 이온 교환 수지 상에 금속 메쉬를 적층하는 단계;

[0017] 금속 메쉬가 적층된 이온 교환 수지를 수산화 용액에 침지하는 단계; 및

[0018] 침지된 이온 교환 수지로부터 금속 메쉬를 탈착하여, 금속 메쉬 일면에 금속선을 따라 형성된 박막을 갖는 투명 전극을 얻는 단계를 포함하는 투명 전극의 제조방법을 제공한다.

[0020] 나아가, 본 발명은 일 실시예에서,

[0021] 상기 투명 전극을 포함하는 공기극;

[0022] 아연(Zn)을 함유하는 금속 메쉬를 포함하는 아연 전극; 및

[0023] 수산화 이온을 함유하는 전해질 겔을 포함하는 아연-공기 이차 전지를 제공한다.

### 발명의 효과

[0025] 본 발명에 따른 투명 전극은 금속 메쉬를 포함하여 플렉서블하고, 상기 금속 메쉬의 일면에 분리막 기능을 하는 박막이 금속 메쉬를 구성하는 금속선을 따라 형성되어 기공을 포함하는 구조를 가지므로 전극 사이의 전기 절연을 보장하면서 광이 지나갈 수 있는 통로를 제공할 수 있다. 따라서, 상기 투명 전극은 별도의 분리막이 필요치 않고 광 투과성이 우수하므로, 이를 포함한 전자소자, 특히 금속-공기 이차 전지는 충방전 특성이 우수할 뿐만 아니라 플렉서블하고 박형화가 가능하며 우수한 광 투과율을 갖는 이점이 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 본 발명에 따른 아연-공기 이차 전지의 구조를 도시한 개략도이다.

도 2는 본 발명에 따른 아연-공기 이차 전지에 구비되는 공기극 및 아연 전극의 제조 과정을 도시한 흐름도이다.

도 3은 본 발명에 따른 투명 전극과 아연 전극의 코팅된 활성 물질의 함량 별, 금속선 외관을 촬영한 광학 현미경 이미지이다.

도 4는 본 발명에 따른 투명 전극을 나타내는 이미지이다: (a) 표면을 광학 현미경으로 촬영한 사진, (b) 표면을 전계 방출-주사 전자 현미경(FE-SEM)로 촬영한 이미지, (c) 단면을 전계 방출-주사 전자 현미경(FE-SEM)로

촬영한 이미지.

도 5는 (a) 금속 메쉬의 일면에 음이온 교환 수지를 포함하는 박막이 병입된 구조의 투명 전극과 (b) 금속 메쉬의 일면에 음이온 교환 수지를 포함하는 박막이 적층된 구조의 투명 전극의 400 nm 내지 700 nm 파장의 광에 대한 광 투과율을 나타낸 그래프이다.

도 6의 I 및 II는 400 nm 내지 700 nm 파장 범위에서의 광 투과율을 나타내는 그래프이고, III 및 IV는 조립된 아연-공기 이차 전지를 카메라로 촬영한 사진이다: (a) 무처리된 스테인레스 스틸 메쉬, (b) 아연 전극, (c) 공기극 및 (d) 조립된 아연-공기 이차 전지.

도 7은 (a) 금속 메쉬 상에 아연(Zn)이 전착된 아연 전극과 (b) 금속 메쉬 상에 아연(Zn) 분말이 분산된 고분자 조성물로 코팅된 아연 전극의 옴 저항(Ohmic resistance)을 나타낸 그래프이다.

도 8은 (a) 금속 메쉬의 일면에 음이온 교환 수지를 포함하는 박막이 병입된 구조의 투명 전극과 (b) 금속 메쉬의 일면에 음이온 교환 수지를 포함하는 박막이 적층된 구조의 투명 전극의 옴 저항(Ohmic resistance)을 나타낸 그래프이다.

도 9는 본 발명에 따른 아연-공기 이차 전지의 (I) 굽힘 각도에 따른 (II) 충방전 횟수, (III) 전류 밀도 및 (IV) 옴 저항을 도시한 그래프이다.

도 10은 본 발명에 따른 아연-공기 이차 전지를 발광 다이오드(LED) 전원으로 사용하는 이미지이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다.

[0029] 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0030] 본 발명에서, "포함한다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0031] 또한, 본 발명에서 첨부된 도면은 설명의 편의를 위하여 확대 또는 축소하여 도시된 것으로 이해되어야 한다.

[0032] 이하, 본 발명에 대하여 도면을 참고하여 상세하게 설명하고, 도면 부호에 관계없이 동일하거나 대응하는 구성요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다.

[0034] 본 발명은 투명 전극 및 상기 투명 전극을 포함하는 아연-공기 이차 전지에 관한 것이다.

[0035] 아연-공기 이차 전지는 공기 중의 산소를 사용하기 때문에 상대적으로 음극에 많은 양의 아연을 채울 수가 있어 질량 단위당 에너지 밀도가 높아 작은 크기에도 큰 충방전 용량을 나타내고, 자가 방전량이 적어 사용 시 전압을 일정하게 유지시키는데 유리하다. 아울러, 활물질로 사용되는 아연은 지구상에 풍부히 존재하여 경제적이고, 전기 생성 시 발생하는 산화아연은 독성이나 폭발 위험성이 적으므로 이를 고출력용 전지로 사용하고자 하는 노력이 이어지고 있다. 특히, 증강 현실 (augmented reality, AR) 등이 적용된 시스템에 적용하기 위해서는 충방전 특성이 우수할 뿐만 아니라 높은 광 투과성과 유연성이 함께 요구되나 아직 이러한 물성을 충족시키는 이차 전지는 찾기 어려운 실정이다.

[0036] 이에, 본 발명은 투명 전극 및 상기 투명 전극을 포함하는 아연-공기 이차 전지를 제공한다.

[0037] 본 발명에 따른 투명 전극은 금속 메쉬를 포함하여 플렉서블하고, 상기 금속 메쉬의 일면에 분리막 기능을 하는 박막이 금속 메쉬를 구성하는 금속선을 따라 형성되어 기공을 포함하는 구조를 가지므로 전극 사이의 전기 절연을 보장하면서 광이 지나갈 수 있는 통로를 제공할 수 있다. 따라서, 상기 투명 전극은 별도의 분리막이 필요치 않고 광 투과성이 우수하므로, 이를 포함한 전자소자, 특히 금속-공기 이차 전지는 충방전 특성이 우수할 뿐만 아니라 플렉서블하고 박형화가 가능하며 우수한 광 투과율을 갖는 이점이 있다.

[0039] 이하, 본 발명을 보다 상세히 설명한다.

[0041] **투명 전극**

- [0042] 본 발명은 일 실시예에서,
- [0043] 금속 메쉬; 및
- [0044] 상기 금속 메쉬 일면에 위치하고 이온 교환 수지를 포함하는 박막을 포함하고,
- [0045] 상기 박막은 금속 메쉬에 포함된 금속선을 따라 형성되어 기공을 포함하는 구조를 갖는 투명 전극을 제공한다.
- [0047] 본 발명에 따른 투명 전극은 금속 메쉬와 금속 메쉬의 일면에 위치하는 박막을 포함한다. 여기서 상기 금속 메쉬는 구조적으로 투명 전극에 유연성을 부여하는 기능을 수행할 수 있다. 이러한 금속 메쉬는 투명 전극의 집전체로서 기능할 수 있는 것이라면 특별히 제한되는 것은 아니나, 전극의 연성 등의 기계적 물성을 고려하여 스테인레스 스틸 메쉬, 금 메쉬, 은 메쉬 또는 구리 메쉬를 사용할 수 있다.
- [0048] 또한, 상기 금속 메쉬는 전극의 기계적 물성은 물론 전기적 물성과 광학적 물성을 모두 충족시키기 위해 일정한 두께의 금속선으로 구성되고 일정 수준의 기공율을 가질 수 있다. 예를 들어, 상기 금속 메쉬를 구성하는 금속선의 평균 두께는  $1\mu\text{m}$  내지  $100\mu\text{m}$ 일 수 있으며, 보다 구체적으로는  $1\mu\text{m}$  내지  $80\mu\text{m}$ ,  $1\mu\text{m}$  내지  $60\mu\text{m}$ ,  $1\mu\text{m}$  내지  $40\mu\text{m}$ ,  $1\mu\text{m}$  내지  $20\mu\text{m}$ ,  $1\mu\text{m}$  내지  $10\mu\text{m}$ ,  $20\mu\text{m}$  내지  $80\mu\text{m}$ ,  $40\mu\text{m}$  내지  $60\mu\text{m}$ ,  $50\mu\text{m}$  내지  $80\mu\text{m}$ ,  $5\mu\text{m}$  내지  $40\mu\text{m}$ ,  $10\mu\text{m}$  내지  $50\mu\text{m}$ ,  $15\mu\text{m}$  내지  $50\mu\text{m}$ ,  $20\mu\text{m}$  내지  $50\mu\text{m}$ ,  $25\mu\text{m}$  내지  $50\mu\text{m}$ ,  $10\mu\text{m}$  내지  $40\mu\text{m}$ ,  $10\mu\text{m}$  내지  $25\mu\text{m}$ ,  $20\mu\text{m}$  내지  $40\mu\text{m}$ , 또는  $25\mu\text{m}$  내지  $35\mu\text{m}$ 일 수 있다. 아울러, 상기 금속 메쉬의 기공율은 60% 내지 95%일 수 있고, 보다 구체적으로는 60% 내지 85%, 60% 내지 75%, 70% 내지 95%, 80% 내지 95%, 70% 내지 85% 또는 74% 내지 83%일 수 있다.
- [0049] 하나의 예로서, 상기 투명 전극은 평균 직경이  $30\pm 2\mu\text{m}$ 인 스테인레스 스틸 선으로 직조되어 기공율이  $78\pm 2\%$ 인 메쉬를 포함할 수 있다.
- [0050] 나아가, 상기 금속 메쉬는 투명 전극이 사용되는 용도에 따라 활성 물질 및/또는 촉매를 포함하는 코팅층을 표면에 포함할 수 있다. 하나의 예로서, 상기 금속 메쉬는 백금(Pt), 이리듐(Ir), 코발트(Co) 및 망간(Mn)으로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상의 금속 또는 이의 산화물을 포함하는 촉매가 포함된 코팅층을 구비할 수 있다.
- [0051] 이와 더불어, 상기 투명 전극은 금속 메쉬 일면에, 금속선을 따라 이온 교환 수지가 메쉬에 병입되어 형성된 박막을 포함한다. 상기 박막은 이온 교환 수지가 표면 장력에 의해 금속 메쉬의 금속선을 일측면에 병입된 상태로 건조된 것으로, 금속 메쉬의 구조를 따라 형성되어 금속 메쉬의 개구부(즉, 금속 메쉬의 기공)와 동일한 위치에 기공을 포함하므로 광이 전극을 통과할 수 있도록 경로를 제공하면서, 분리막과 같이 금속 메쉬에 절연성을 유도할 수 있다.
- [0052] 이러한 박막으로는 4차 암모늄기, 이미노아세트산기 및 티오우레아기로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상의 작용기를 포함하는 음이온 교환 수지가 건조된 것일 수 있다. 하나의 예로서, 상기 박막은 방향족 고리에 4차 암모늄기가 결합된 화학구조를 포함하는 음이온 교환 수지가 건조된 것일 수 있다.
- [0053] 또한, 상기 박막의 두께는 금속 메쉬의 구조를 따라 이온 교환 수지가 건조된 것이므로 금속 메쉬의 표면 구조에 의존하여 다를 수 있으며, 평균 두께는 금속 메쉬에 절연성을 적절히 부여하면서 전극의 광 투과율을 높은 수준으로 유지하기 위하여  $1\mu\text{m}$  내지  $15\mu\text{m}$ , 또는  $5\mu\text{m}$  내지  $10\mu\text{m}$ 일 수 있다. 구체적으로, 상기 금속 메쉬는 금속선이 직조된 직물의 구조를 가지므로, 수평 위치에 있는 금속선은 수직 위치에 있는 금속선의 위 아래로 교대 진행하게 된다. 그 결과, 금속 메쉬의 일면에 병입 건조된 박막은 수평 위치의 금속선이 수직 위치의 금속선을 기준으로 진행되는 방향에 따라 두께가 다를 수 있다.
- [0054] 하나의 예로서, 도 4를 참고하면, 상기 박막은 수평 위치의 금속선이 수직 위치의 금속선의 위로 진행되는 경우는 약  $13\pm 0.5\mu\text{m}$ 의 두께를 가질 수 있고, 수직 위치의 금속선 아래로 진행되는 경우 약  $3\pm 0.5\mu\text{m}$ 의 두께를 가질 수 있으므로, 평균 두께가 약  $8\pm 0.5\mu\text{m}$ 일 수 있다.
- [0056] 본 발명에 따른 투명 전극은 상기와 같은 구성을 가짐으로써 전기적 물성이 우수할 뿐만 아니라 유연성 및 광 투과성이 뛰어나므로 금속-공기 이차 전지 등의 이차 전지는 물론 터치 패널, 발광 유리, 발광 소자, 태양 전지, 트랜지스터의 전극으로 활용될 수 있으며, 상기 전자 소자들은 당업계에 일반적으로 알려져 있는 것일 수 있다.
- [0058] **투명 전극의 제조방법**



- [0059] 또한, 본 발명은 일 실시예에서,
- [0060] 부분적으로 건조된 이온 교환 수지 상에 금속 메쉬를 적층하는 단계;
- [0061] 금속 메쉬가 적층된 이온 교환 수지를 수산화 용액에 침지하는 단계; 및
- [0062] 침지된 이온 교환 수지로부터 금속 메쉬를 탈착하여 금속 메쉬 일면에 박막을 갖는 투명 전극을 얻는 단계를 포함하는 투명 전극의 제조방법을 제공한다.
- [0064] 본 발명에 따른 투명 전극의 제조방법은 금속 메쉬 일면에, 금속 메쉬에 포함된 금속선을 따라 이온 교환 수지가 건조된 박막을 형성하는 과정으로 포함된다.
- [0065] 구체적으로, 상기 제조방법은 폴리에틸렌 테레프탈레이트와 같은 고분자 기재 상에 이온 교환 수지를 도포하고, 이를 약 50% 내지 80%, 구체적으로는 60% 내지 75%로 부분 건조(semi dry)한 다음, 부분 건조된 이온 교환 수지 상에 금속 메쉬를 적층하고 건조시킨 후, 수산화 용액에 일정 시간 동안 침지하고, 침지된 이온 교환 수지를 수산화 용액에서 꺼내 금속 메쉬를 이온 교환 수지로부터 탈착시킴으로써 금속 메쉬에 포함된 금속선을 따라 이온 교환 수지가 병입 건조된 박막을 포함하는 투명 전극을 제조할 수 있다.
- [0066] 여기서, 부분 건조된 이온 교환 수지 상에 적층된 금속 메쉬는 외부로부터 가해지는 힘(외력) 없이도 부분 건조된 이온 교환 수지 내부로 금속 메쉬의 일측면의 일부 또는 전체가 함몰될 수 있다.
- [0067] 또한, 금속 메쉬가 적층된 이온 교환 수지를 수산화 용액에 침지하는 단계에서, 상기 수산화 용액은 수지의 표면 장력에 의해 이온 교환 수지가 금속 메쉬로 병입되도록 유도하는 한편, 금속 메쉬의 탈착 시 이온 교환 수지의 금속 메쉬가 함몰된 영역과 함몰되지 않은 영역간 구분 및 분리시키는 역할을 수행할 수 있다. 그 예로서, 금속 메쉬가 적층된 이온 교환 수지를 수산화 용액에 침지한 후 금속 메쉬를 탈착시키는 경우 금속 메쉬의 금속선에 함몰된 영역은 건조된 이온 교환 수지가 병입된 형태로 잔류하고, 금속선에 함몰되지 않는 금속 메쉬의 기공 부분은 이온 교환 수지가 제거되나; 수산화 용액에 침지시키지 않고 금속 메쉬를 탈착시키는 경우 건조된 이온 교환 수지가 손상되면서 금속 메쉬와 완전히 분리될 수 있다.
- [0068] 이러한 수산화 용액으로는 NaOH, KOH,  $Mg(OH)_2$ ,  $Ca(OH)_2$  및  $Ba(OH)_2$ 로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상을 포함하는 것일 수 있으며, 이때의 농도는 0.01M 내지 5M, 구체적으로는 0.01M 내지 4M, 0.01M 내지 2M, 0.01M 내지 1M, 0.01M 내지 0.5M, 0.01M 내지 0.3M, 0.01M 내지 0.2M, 또는 0.05M 내지 0.15M일 수 있다. 아울러, 수산화 용액에 침지하는 시간은 10시간 내지 50시간, 구체적으로는 12시간 내지 48시간, 16시간 내지 36시간, 20시간 내지 30시간, 또는 22시간 내지 26시간일 수 있다.
- [0069] 한편, 상기 금속 메쉬는 투명 전극이 사용되는 용도에 따라 부분 건조된 이온 교환 수지 상에 적층하는 단계 이전에, 백금(Pt), 이리듐(Ir), 코발트(Co) 및 망간(Mn)으로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상의 금속을 포함하는 촉매 및 바인더를 포함하는 조성물로 표면을 코팅하는 단계가 수행될 수 있다.
- [0070] 또한, 상기 코팅하는 단계는 액체 조성물을 코팅하는데 유용한 에어브러시(air brush), 메이어(Mayer), 디-바(D-bar), 고무롤(rubber roll), G/V 롤(G/V roll), 에어나이프(air knife), 슬롯다이(slot die) 등의 방법에 의해 수행될 수 있다.
- [0071] 하나의 예로서, 상기 투명 전극이 아연 공기 전지의 공기극으로 사용되는 경우, 백금(Pt) 및 이리듐(Ir)이 탄소(C)에 각각 담지된 백금 촉매(Pt/C)와 이리듐 촉매(Ir/C)가 바인더인 나피온 수지에 분산된 조성물을 에어브러시를 이용하여 금속 메쉬 표면에 코팅될 수 있다.
- [0072] 본 발명은 금속 메쉬 표면에 활성 물질을 함유하는 코팅층을 상기와 같은 방법으로 형성함으로써 활성 물질을 포함하는 코팅층을 보다 균일하게 금속 메쉬 표면에 형성할 수 있다.
- [0074] **아연-공기 이차 전지**
- [0075] 나아가, 본 발명을 일 실시예에서,
- [0076] 상기 투명 전극을 포함하는 공기극;
- [0077] 아연(Zn)을 함유하는 금속 메쉬를 포함하는 아연 전극; 및
- [0078] 수산화 이온을 함유하는 전해질 겔을 포함하는 아연-공기 이차 전지를 제공한다.
- [0080] 본 발명에 따른 아연-공기 이차 전지는 상술된 본 발명에 따른 투명 전극을 공기극으로 포함하는 구성을



가지며, 아연(Zn)을 함유하는 금속 메쉬를 아연 전극으로서 포함하고, 수산화 이온을 함유하는 겔을 전해질로서 포함하는 구성을 갖는다.

[0081] 도 1은 본 발명에 따른 아연-공기 이차 전지의 구조를 나타낸 개략도로서, 도 1에 나타난 바와 같이 상기 아연-공기 이차 전지는 공기극인 투명 전극의 하부에 수산화 이온을 함유하는 전해질 겔이 위치하되, 상기 투명 전극에서 박막이 형성된 면이 전해질 겔과 접하도록 위치하고, 상기 전해질 겔은 아연(Zn)을 함유하는 금속 메쉬를 포함하는 아연 전극이 함침된 구조를 가질 수 있다.

[0082] 이때, 투명 전극에 포함된 금속 메쉬와 아연 전극에 포함된 금속 메쉬는 각 금속 메쉬를 구성하는 금속선의 성분은 다를 수 있으나, 금속선의 평균 두께, 금속선이 직조된 형태나 위치, 기공율 등은 동일할 수 있으며, 양 전극에 포함된 금속 메쉬가 일치하도록 위치시킬 수 있다. 이 경우, 양 전극에 포함된 금속 메쉬의 격자 구조 정렬이 일치하여 광학적 투명도를 저해하는 모아레 패턴(moire's pattern) 형성을 방지할 수 있다.

[0083] 한편, 상기 아연 전극에 포함된 금속 메쉬는 활성 물질인 아연(Zn)을 함유하는 것으로써 아연선으로 구성된 아연 메쉬, 또는 스테인레스 스틸 메쉬에 아연(Zn)이 전착(electro deposition)된 것을 포함할 수 있다.

[0084] 본 발명은 아연 전극의 금속 메쉬로서 아연 메쉬 또는 아연(Zn)이 전착된 스테인레스 스틸 메쉬를 사용하여 활성 물질 코팅으로 인한 금속 메쉬의 현저한 체적 증가 없이 높은 에너지 밀도를 구현할 수 있으며, 아연 전극의 광 투과율을 최적화할 수 있고, 충전 시 생성되는 아연 이온종에 대한 자유 확산 영향을 완화하여 편광을 감소시킬 수 있다.

[0085] 본 발명에 따른 아연-공기 이차 전지는 상기와 같은 구성을 가짐으로써 전지의 평균 광 투과도가 400 nm 내지 700nm 파장을 가는 광에 대하여 30% 이상일 수 있으며, 보다 구체적으로는 35% 이상, 40% 이상, 45% 이상, 30% 내지 90%, 30% 내지 80%, 30% 내지 70%, 30% 내지 60%, 40% 내지 80% 또는 50% 내지 90%일 수 있다.

[0087] 이하, 본 발명을 실시예 및 실험예에 의해 보다 상세히 설명한다.

[0088] 단, 하기 실시예 및 실험예는 본 발명을 예시하는 것일 뿐, 본 발명의 내용이 하기 실시예 및 실험예에 한정되는 것은 아니다.

#### [0090] 실시예 1 내지 4. 투명 전극의 제조

[0091] 바인더인 나피온 (1ml)을 이소프로필 알코올 (20 ml)에 용해시킨 용액 (나피온 농도: 5 중량%)에 Pt 로딩량이 40 중량%인 Pt/C 촉매 (0.07g) 및 Ir 로딩량이 20 중량%인 Ir/C 촉매 (0.07g)를 첨가하여 촉매 슬러리를 제조하였다.

[0092] 스테인레스 스틸 메쉬 (100 메쉬, 금속선 평균 직경:  $30.5 \pm 0.1 \mu\text{m}$ , 기공 평균 크기:  $223.5 \pm 0.1 \mu\text{m}$ , 기공율:  $79 \pm 1\%$ )를 상업적으로 구입하여 가로 4 cm 및 세로 4 cm로 재단하였다. 그 후, 에어 브러시를 이용하여 재단된 스테인레스 스틸 메쉬 상에 앞서 제조된 촉매 슬러리를 코팅하고, 50℃ 오븐에서 건조시켰다. 이때, 건조 후 스테인레스 스틸 메쉬 상에 코팅된 촉매의 총 함량은 하기 표 1에 나타난 바와 같으며, 촉매가 코팅된 금속선(즉, 스테인레스 스틸 선)의 촉매 함량 별 외관을 광학 현미경(Motic, BA310MET)으로 촬영하여 도 3에 나타내었다:

표 1

	코팅된 촉매의 단위 면적 당 총 함량
실시예 1	0.0125 mg/cm <sup>2</sup>
실시예 2	0.25 mg/cm <sup>2</sup>
실시예 3	0.5 mg/cm <sup>2</sup>
실시예 4	1.0 mg/cm <sup>2</sup>

[0095] 이와 별도로, 폴리에틸렌 테레프탈레이트 기재 상에, 방향족 고리에 4차 암모늄기가 도입된 구조를 갖는 음이온 교환 수지가 10 중량%의 농도로 용해된 용액을 80% 닥터 블레이드로 도포하고, 50℃의 오븐에 90분 동안 방치하여 도포된 음이온 교환 수지를 반 건조 (건조률: 약  $70 \pm 1\%$ )시킨 후 반 건조된 음이온 교환 수지 상에 앞서 준비된 스테인레스 스틸 메쉬를 적층시켰다. 이때, 스테인레스 스틸 메쉬는 반 건조된 음이온 교환 수지에 외력 없이 함몰되었다. 이후 상온에서 밤샘 건조시키고, 건조된 음이온 교환 수지를 0.1M KOH 수용액에 24시간 동안 침지시킨 다음 경화물을 꺼내어 음이온 교환 수지로부터 스테인레스 스틸 메쉬를 탈착하여 스테인레스 스틸 메쉬 일면에 메쉬의 금속선을 따라 음이온 교환 수지가 병입되어 건조된 형태의 박막을 포함하는 투명 전극을 제

조하였다. 제조된 투명 전극의 표면 및 단면을 광학 현미경(Motic, BA310MET)과 전계 방출-주사 전자 현미경(FE-SEM, JSM-7800F, JEOL Ltd.)으로 촬영하여 도 4에 나타내었다.

[0096] 도 4를 살펴보면, 본 발명에 따른 투명 전극은 스테인레스 스틸 메쉬를 포함하고, 상기 메쉬의 일면에 메쉬에 포함된 금속선을 따라 음이온 교환 수지가 병입되어 건조된 박막을 포함하고, 상기 박막은 스테인레스 스틸 메쉬의 개구부 (즉, 기공)와 동일한 위치에 기공을 갖는 구조인 것을 확인할 수 있다. 또한, 상기 음이온 교환 수지는 4차 암모늄기를 포함하여 황색을 띠므로, 음이온 교환 수지가 건조된 박막 또한 옅은 황색을 띠는 것을 알 수 있다.

[0097] 아울러, 상기 박막은 병입되는 스테인레스 스틸 메쉬의 구조에 영향을 받아 그 두께가 일정치 않음을 알 수 있다. 구체적으로, 스테인레스 스틸 메쉬는 스테인레스 스틸 선이 직조된 직물의 구조를 가지므로 수평 위치에 있는 스테인레스 스틸 선은 수직 위치에 있는 스테인레스 스틸 선의 위 아래로 교대 진행하게 된다. 그 결과 스테인레스 스틸 메쉬의 일면에 병입되어 건조된 박막은 수평 위치의 스테인레스 스틸 선이 수직 위치의 스테인레스 스틸 선의 위로 진행되는 경우는 약  $13 \pm 0.5 \mu\text{m}$ 의 두께를 갖고, 수직 위치의 스테인레스 스틸 선 아래로 진행되는 경우 약  $3 \pm 0.5 \mu\text{m}$ 의 두께를 가지므로, 평균 두께가 약  $8 \pm 0.5 \mu\text{m}$ 인 것을 알 수 있다.

### [0098] 제조예 1 내지 3. 아연 전극의 제조

[0099] 스테인레스 스틸 메쉬 (100 메쉬, 금속선 평균 직경:  $30.5 \pm 0.1 \mu\text{m}$ , 기공 평균 크기:  $223.5 \pm 0.1 \mu\text{m}$ , 기공율:  $79 \pm 1\%$ )를 상업적으로 구입하여 가로 4 cm 및 세로 4 cm로 재단하였다.

[0100] 이와 별도로 10 중량%의 아세트산 수용액 (200 ml)에 아세트산 아연 이수화물 (25g)을 넣어 완전히 용해시켜 도금액을 제조하고, 앞서 재단된 스테인레스 스틸 메쉬와 아연 공급원인 아연판을 1 cm 간격으로 평행하도록 도금 욕조에 고정시킨 후 제조된 도금액을 도금 욕조에 주입하였다. 그 후,  $250 \pm 2 \text{ mA/cm}^2$ 의 조건으로 전류를 인가하여 스테인레스 스틸 메쉬의 표면을 아연으로 전기 도금(electro deposition)시켰다. 이때 전기 도금 중 스테인레스 스틸 메쉬의 표면에서 초기에 발생하는 수소 버블을 제거하기 위하여 초음파 조사를 함께 수행하였으며, 수소 버블이 발생되지 않는 시점에서 초음파 조사를 종료하였다. 상기 전기 도금은 스테인레스 스틸 메쉬의 표면에 전착된 아연의 함량이 하기 표 2와 같아질 때까지 계속되었으며, 전기 도금이 종료되면 증류수로 세척하고 진공 건조시켰다. 제조된 아연 전극에 포함된 금속선의 외관을 광학 현미경(Motic, BA310MET)으로 촬영하여 도 3에 나타내었다.

표 2

	전착된 아연(Zn)의 단위 면적 당 함량
제조예 1	2 mg/cm <sup>2</sup>
제조예 2	5 mg/cm <sup>2</sup>
제조예 3	8 mg/cm <sup>2</sup>

### [0103] 비교 제조예 1. 아연 전극의 제조

[0104] 스테인레스 스틸 메쉬 (100 메쉬, 금속선 평균 직경:  $30.5 \pm 0.1 \mu\text{m}$ , 기공 평균 크기:  $223.5 \pm 0.1 \mu\text{m}$ , 기공율:  $79 \pm 1\%$ )를 상업적으로 구입하여 가로 4 cm 및 세로 4 cm로 재단하였다. 그런 다음, 아연 분말(5 g) 및 폴리아크릴산(5 g)이 혼합된 조성물을 스테인레스 스틸 메쉬 상에 도포하여 아연 전극을 제조하였다.

### [0106] 실시예 5. 아연-공기 이차 전지의 제조

[0107] 투명한 폴리에틸렌 테레프탈레이트 기관 상에 제조예 2에서 얻은 아연 전극의 4 모서리를 고정시키고, 6M의 KOH 수용액이 10 중량%로 혼합된 폴리아크릴산(PAA, 점도 평균 분자량 (Mv)  $\leq 45$ 만)을 닥터 블레이드로 캐스팅하여 아연 전극이 함침된 구조의 전해질 겔을 제조하였다. 그 후, 함침된 아연 전극의 메쉬 구조와 겹치도록 실시예 3에서 얻은 투명 전극을 위치시키고, 가로 2 cm 및 세로 2 cm의 가스켓을 배치한 다음 전류 리드로서 구리 테이프를 양 전극에 부착하여 아연-공기 이차 전지를 제조하였다.

### [0109] 실시예 6. 아연-공기 이차 전지의 제조

[0110] 실시예 5에서, 실시예 3의 투명 전극을 사용하는 대신에 아연 메쉬 (100 메쉬, 금속선 평균 직경:  $30.5 \pm 0.1 \mu\text{m}$ , 기공 평균 크기:  $223.5 \pm 0.1 \mu\text{m}$ , 기공율:  $79 \pm 1\%$ )를 사용하는 것을 제외하고 실시예 5와 동일한 방법으로 수행하여 아연-공기 이차 전지를 제조하였다.

[0112] **비교예 1. 투명 전극의 제조**

[0113] 바인더인 나피온 (1ml)을 이소프로필 알코올 (20 ml)에 용해시킨 용액 (나피온 농도: 5 중량%)에 Pt 로딩량이 40 중량%인 Pt/C 촉매 (0.07g) 및 Ir 로딩량이 20 중량%인 Ir/C 촉매 (0.07g)를 첨가하여 촉매 슬러리를 제조하였다.

[0114] 스테인레스 스틸 메쉬 (100 메쉬, 금속선 평균 직경:  $30.5 \pm 0.1 \mu\text{m}$ , 기공 평균 크기:  $223.5 \pm 0.1 \mu\text{m}$ , 기공율:  $79 \pm 1\%$ )를 상업적으로 구입하여 가로 4 cm 및 세로 4 cm로 재단하였다. 그 후, 에어 브러시를 이용하여 재단된 스테인레스 스틸 메쉬 상에 앞서 제조된 촉매 슬러리를 코팅하고, 50℃ 오븐에서 건조시켰다. 이때, 건조 후 스테인레스 스틸 메쉬 상에 코팅된 촉매의 단위 면적 당 총 함량은  $0.5 \text{ mg}/\text{cm}^2$ 였다.

[0115] 이와 별도로, 폴리에틸렌 테레프탈레이트 기재 상에, 방향족 고리에 4차 암모늄기가 도입된 구조를 갖는 음이온 교환 수지가 10 중량%의 농도로 용해된 용액을 80% 닥터 블레이드로 도포하고, 50℃의 오븐에 12시간 동안 방치하여 도포된 음이온 교환 수지를 완전 건조시킨 후 제조된 음이온 교환 수지 상에 앞서 준비된 스테인레스 스틸 메쉬를 적층시켜 투명 전극을 제조하였다. 제조된 투명 전극은 스테인레스 스틸 메쉬의 일면에 박막인 음이온 교환 수지가 시트 형태로 단순 적층된 구조를 갖는다.

[0117] **비교예 2. 아연-공기 이차 전지의 제조**

[0118] 실시예 5에서, 실시예 3의 투명 전극을 사용하는 대신에 비교예 1의 투명 전극을 사용하는 것을 제외하고 실시예 5와 동일한 방법으로 수행하여 아연-공기 이차 전지를 제조하였다.

[0120] **실험예 1. 광학적 물성 평가**

[0121] 본 발명에 따른 투명 전극과 이를 포함하는 아연-공기 이차 전지의 광학적 물성, 구체적으로는 광 투과율을 평가하기 위하여, UV-Vis 분광계 (Mecasys, Optizen2120UV)를 이용하여 실시예 3 및 비교예 1에서 얻은 투명 전극과 실시예 5에서 얻은 아연-공기 이차 전지의 가시광 투과 스펙트럼을 측정하였다. 이때, 측정된 광의 파장 범위는 400nm 내지 700 nm였으며, 측정된 결과는 도 5 및 6에 나타내었다.

[0122] 도 5 및 6을 살펴보면, 도 5는 실시예 3과 비교예 1의 투명 전극에 대한 광 투과율을 나타낸 그래프로써, 음이온 교환 수지가 스테인레스 스틸 메쉬의 금속선을 따라 병입되어 건조된 박막을 구비하는 실시예 3의 투명 전극은 평균 45% 이상, 구체적으로는 약  $47.5 \pm 0.5\%$ 인 것으로 나타났다.

[0123] 반면, 스테인레스 스틸 메쉬와 음이온 교환 수지가 시트 형태로 건조된 박막을 갖는 비교예 1의 투명 전극은 400 nm 내지 700nm의 파장 범위 전 영역에서 45% 미만의 광 투과율을 나타냈으며, 특히 400nm 내지 500nm의 낮은 파장 영역에서는 약 40% 미만의 낮은 광 투과율을 나타냈다.

[0124] 이는 본 발명의 투명 전극과 같이 황색을 띠는 음이온 교환 수지를 금속 메쉬의 금속선을 따라 병입 건조된 경우 금속 메쉬의 개구부에 박막의 기공이 형성되어 광이 투과되는 경로를 제공하므로 광 투과율이 일정하고 높게 유지되나, 음이온 교환 수지를 포함하는 박막이 시트 형태로 금속 메쉬 일면에 도입되는 경우 금속 메쉬의 개구부가 상기 박막으로 폐쇄되어 이를 통과하는 광 중 박막 색상의 보색인 자색과 이에 근접한 청색의 투과율이 특히 저감됨을 의미한다.

[0125] 또한, 도 6의 I는 실시예 3의 아연-공기 이차 전지와 이를 구성하는 각 성분에 대한 400 nm 내지 700 nm 파장 범위에서의 광 투과율 그래프를 나타낸 그래프로써, 무처리된 스테인레스 스틸 메쉬는 평균 광 투과율이 약 74.1%이고, 공기극과 아연 전극의 평균 광 투과율은 약 64.9% 및 71.1%이며, 이들을 조립한 아연-공기 이차 전지의 평균 광 투과율은 약 48.8%인 것으로 확인되었다. 이때, 상기 투명 전극(평균 두께: 약  $50 \mu\text{m}$ )은 아연 전극(평균 두께: 약  $55 \mu\text{m}$ )과 대비하여 평균 두께가 두꺼우므로 광 투과율이 낮게 나타났다.

[0126] 아울러, 도 6의 II는 투명 전극과 아연 전극의 활성 물질 함량에 따른 실제 광 투과율과 이론적 광 투과율을 도시한 것으로, 이때 상기 전극에 포함된 금속 메쉬의 평균 두께는 도 3의 광학 현미경 이미지로부터 산출하고, 하기 식 1을 이용하여 각 전극의 이론적 광 투과율을 구하였다.

[0127] [식 1]

[0128] 
$$\text{광 투과율 (\%)} = \frac{\text{전극의 기공 면적}}{\text{전극의 총 면적}} \times 100 = \frac{c^2}{4a^2} \times 100 = \frac{(a-b)^2}{a^2} \times 100$$

[0130] 도 6의 II를 살펴보면, 투명 전극 및 아연 전극은 금속 메쉬에 로딩되는 활성 물질의 함량이 증가됨에 따라 광 투과율이 감소되는 경향을 나타냈다. 또한, 두 전극의 실제 광 투과율은 2차원으로 가정된 이론적 근사값과 한 계 편차를 보였다.

[0131] 나아가, 본 발명에 따른 아연-공기 이차 전지를 카메라 촬영한 도 6의 III을 살펴보면, 상기 이차 전지는 굽힘의 여부와 상관없이 투명한 상태를 유지하는 것을 확인할 수 있다.

[0133] 이러한 결과로부터, 본 발명에 따른 투명 전극과 이를 포함하는 아연-공기 이차 전지는 광 투과성이 우수한 것을 알 수 있다.

## [0135] 실험예 2. 전기적 물성 평가

[0136] 본 발명에 따른 투명 전극과 이를 포함하는 아연-공기 이차 전지의 전기적 물성을 평가하기 위하여, 하기와 같은 실험을 수행하였다.

### [0138] 가. 전극의 옴 저항

[0139] 제조예 2와 비교제조예 1에서 얻은 아연 전극; 및 실시예 3 및 비교예 1에서 얻은 투명 전극을 대상으로 전기 화학적 임피던스 분광법 (EIS)을 이용한 전극의 옴 저항을 측정하였다. 구체적으로, 공기극으로서 시판 중인 코발트 산화물 함유 전극을 상업적으로 구입하고, 전해액으로 6M KOH 수용액을 준비하였다. 그 후, 실시예 3 및 비교예 1에서 얻은 투명 전극을 각각 셋업하여 셀을 제조하고, 제조된 셀의 옴 저항을 측정하여 도 7 및 8에 나타내었다.

[0140] 도 7은 (a) 금속 메쉬 상에 아연(Zn)이 전착된 아연 전극(제조예 2)과 (b) 금속 메쉬 상에 아연(Zn) 분말이 분산된 고분자 조성물로 코팅된 아연 전극(비교제조예 1)의 옴 저항(Ohmic resistance)을 나타낸 그래프로서, 금속 메쉬 상에 아연(Zn)이 전착된 제조예 2의 아연 전극의 옴 저항은 8.71Ω이고, 고분자 조성물로 코팅된 비교제조예 1의 아연 전극의 옴 저항은 11.92Ω인 것을 알 수 있다. 이는 금속 메쉬 상에 아연이 전착된 전극은 활성 물질인 아연(Zn)이 조밀하게 충전되어 현저한 체적 증가 없이 높은 에너지 밀도를 구현함을 나타낸다.

[0141] 또한, 도 8은 (a) 금속 메쉬의 일면에 음이온 교환 수지를 포함하는 박막이 병입된 구조의 투명 전극(실시예 2)과 (b) 금속 메쉬의 일면에 시트 형태의 박막이 적층된 구조의 투명 전극(비교예 1)의 옴 저항(Ohmic resistance)을 나타낸 그래프로서, 실시예 2의 투명 전극이 비교예 1의 투명 전극과 비교하여 내부 저항이 현저히 감소됨을 알 수 있다.

### [0143] 나. 아연-공기 이차 전지의 굽힘 각도에 따른 물성 측정

[0144] 실시예 3에서 제조된 아연-공기 이차 전지를 대상으로 전지의 굽힘 각도에 따른 충방전 횟수, 전류 밀도 및 옴 저항을 측정하였다. 구체적으로, 상기 전지의 충방전 횟수는 사이클러 시스템(WBCS3000, WonATech)을 이용하여 방전 컷-오프 전압 0.8V 및 충전 전압 2.7V 조건에서 1 mA의 정전류로 5분씩 전지의 충방전(총 충방전 시간: 10 분)을 수행하여 충방전 전압이 변하는 차수를 확인하였다. 또한, 전지의 전류 밀도 및 옴 저항은 전기 화학적 임피던스 분광법 (EIS)을 이용하여 측정하였으며, 그 결과를 표 3 및 도 9에 나타내었다.

표 3

전지의 굽힘 각도	초기 개방 회로 전압(OCV)	컷-오프 전압	최대 충방전 횟수
0°	1.43V	0.8V/2.7V	101 회
90°	1.43V	0.8V/2.7V	120 회
180°	1.47V	0.8V/2.7V	123 회

[0147] 도 9의 A는 전지의 굽힘 각도를 나타내는 카메라 촬영 이미지이고, B는 굽힘 각도에 따른 충방전 횟수별 전압을 도시한 그래프이며, C는 전지의 전류 밀도를 도시한 그래프이고, D는 전지의 굽힘 각도 별 옴 저항을 도시한 그래프이다.

[0148] 상기 표 3과 도 9를 살펴보면, 실시예 3의 아연-공기 이차 전지는 굽힘 각도가 0°, 90° 및 180° 인 조건에서 초기 개방 회로 전압 (OCV)이 1.42~1.50V, 구체적으로는 각각 1.43V, 1.43V 및 1.47V로 나타냈으며, 최대 충방전 회수도 굽힘 각도에 상관없이 모두 100회를 초과하는 것으로 나타났다.

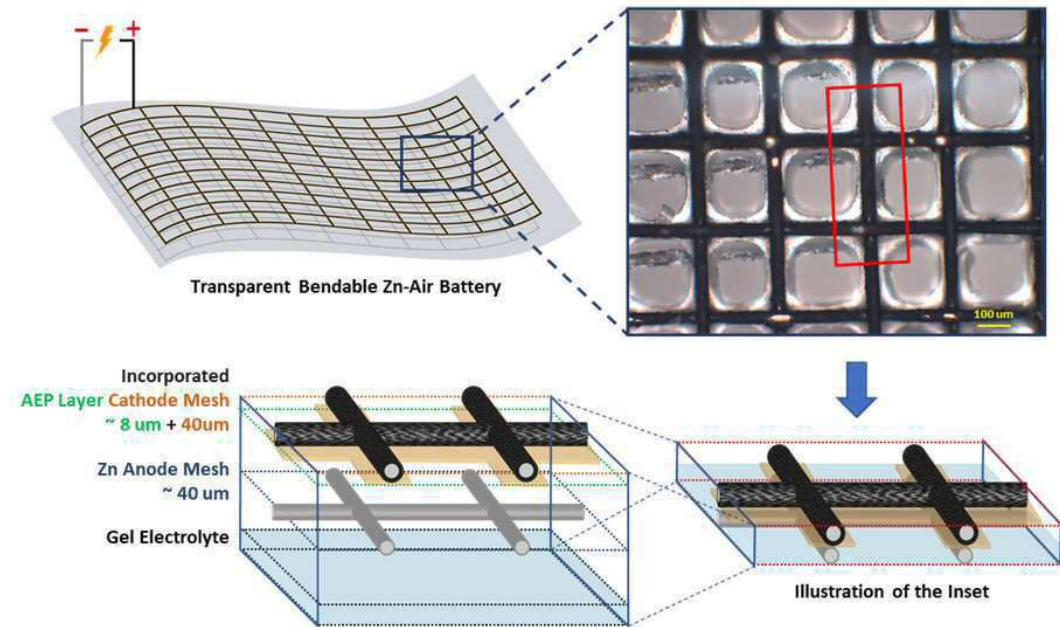
[0149] 이러한 결과로부터, 본 발명의 아연-공기 이차 전지가 본 발명에 따른 투명 전극을 구비하여 광 투과율이 우수



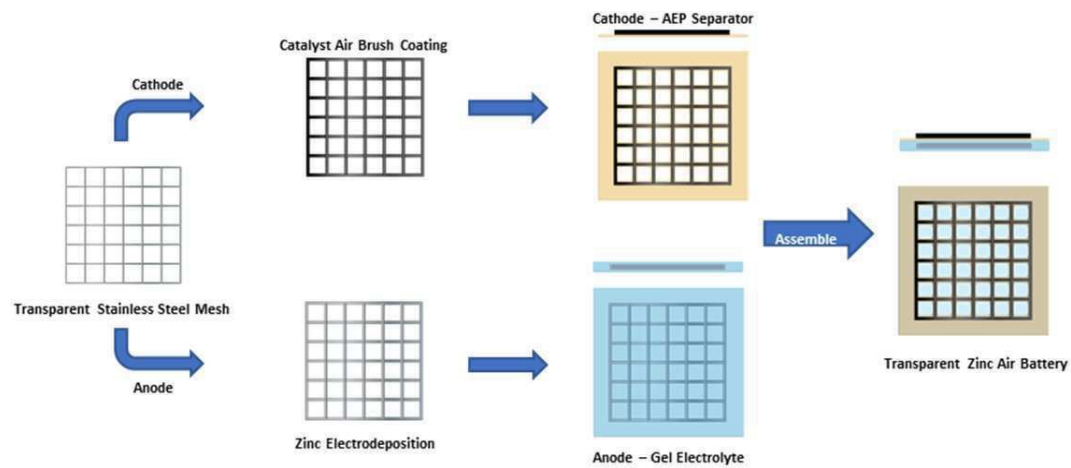
할 뿐만 아니라 전기적 물성과 유연성도 뛰어남을 의미한다.

도면

도면1

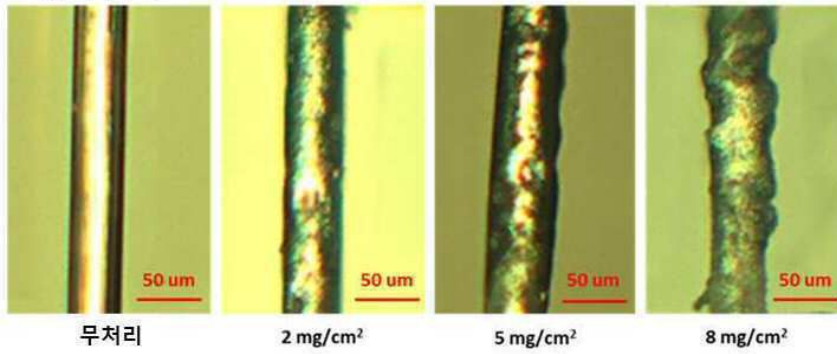


도면2

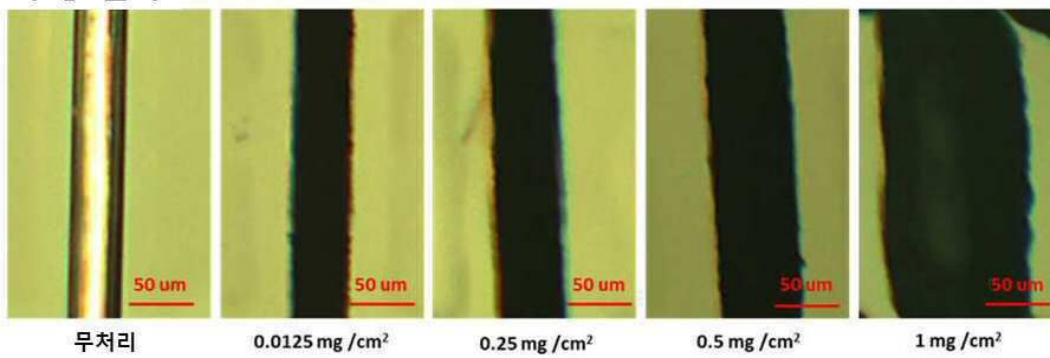


도면3

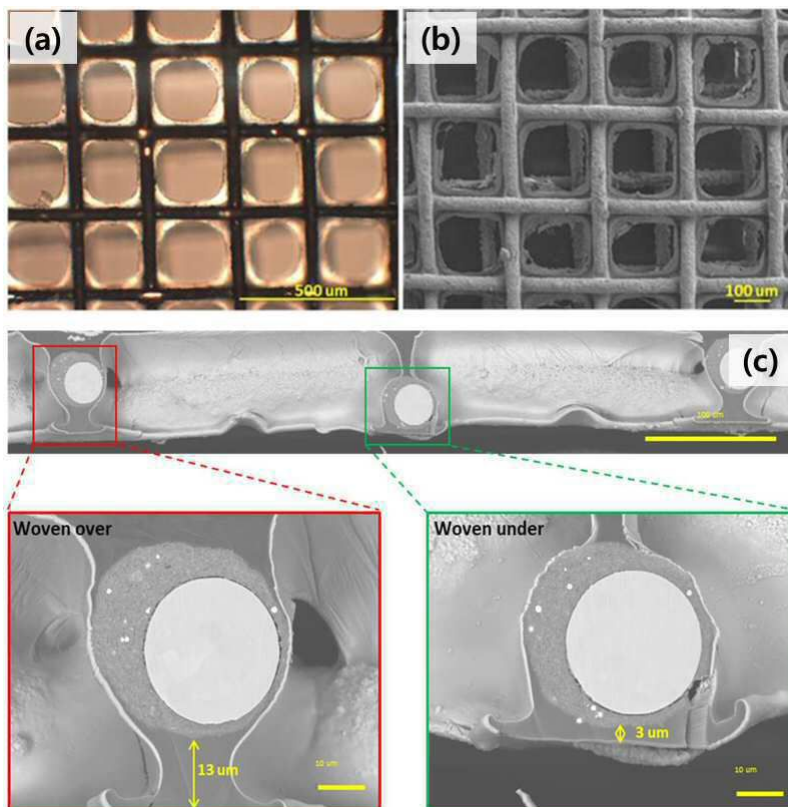
아연 전극



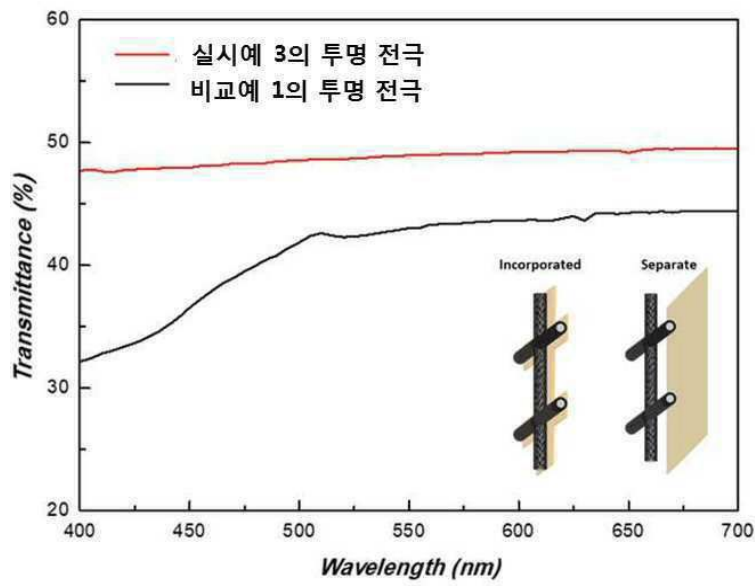
투명 전극



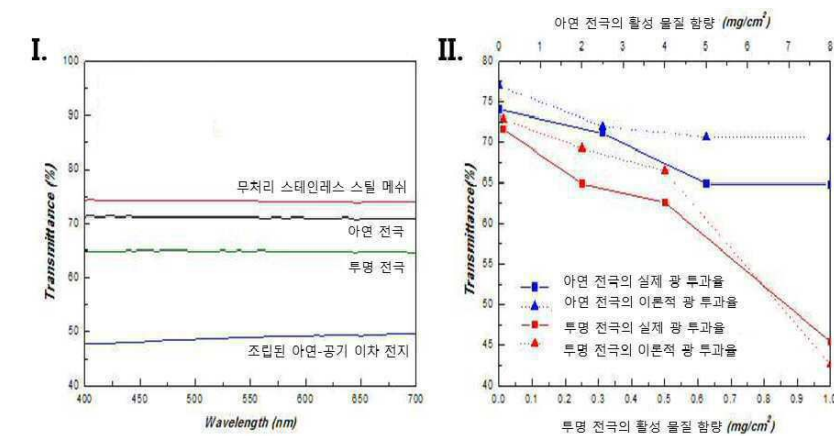
도면4



도면5



도면6

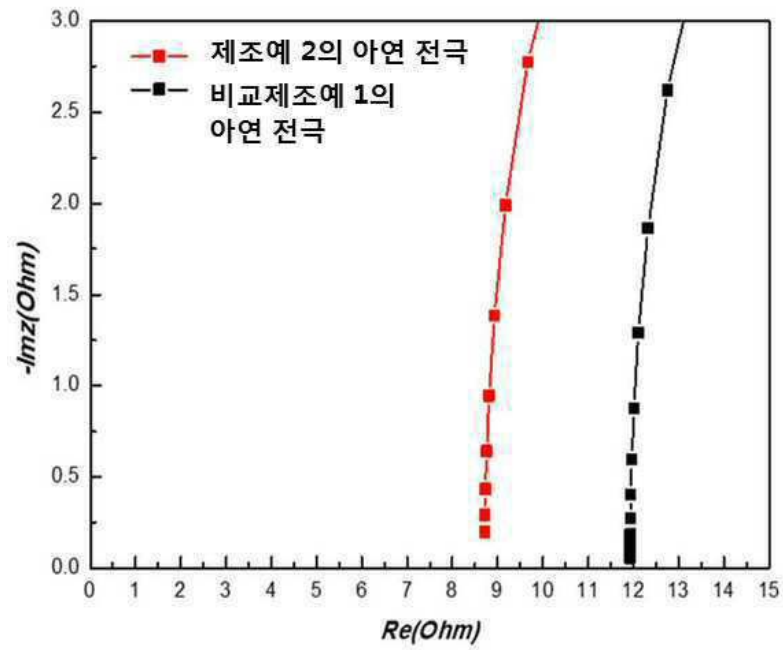


III.

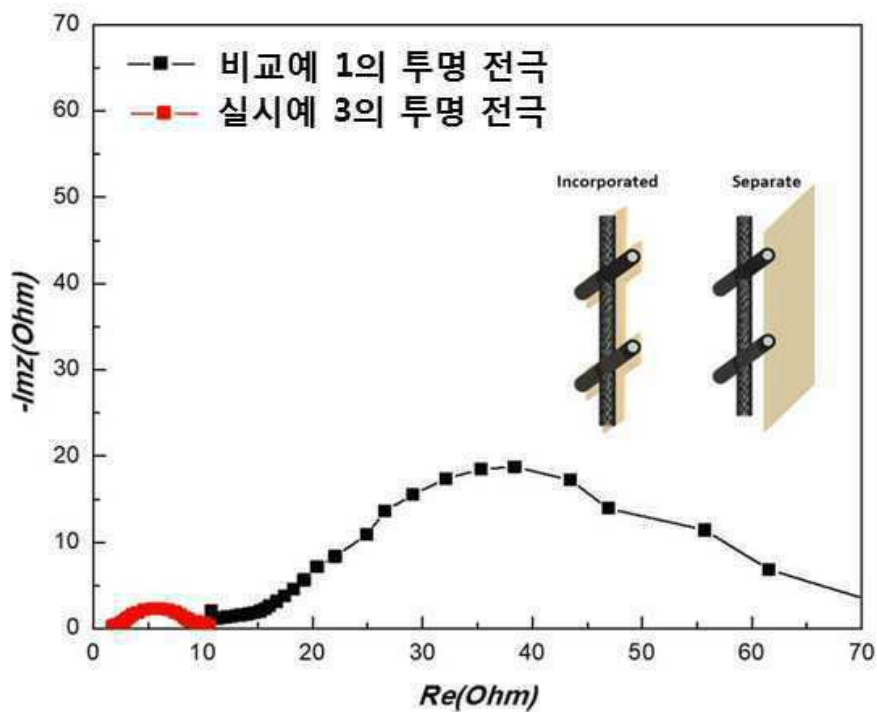




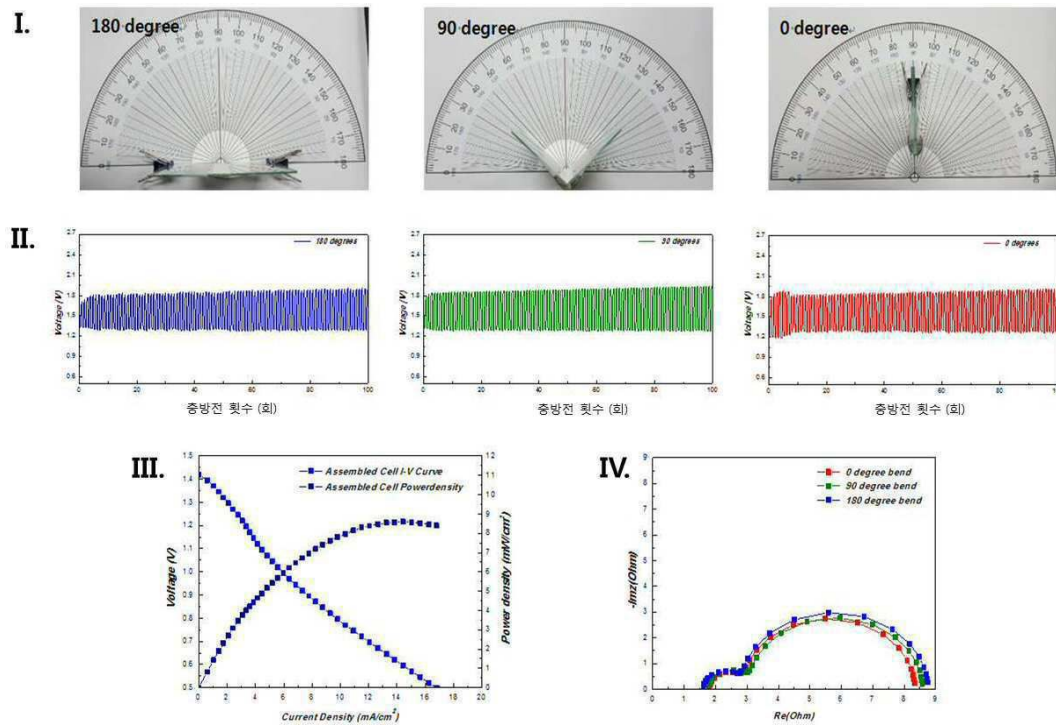
도면7



도면8



도면9



도면10

