



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0036571
(43) 공개일자 2025년03월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01M 4/02 (2006.01) H01M 10/36 (2006.01)
H01M 4/04 (2006.01) H01M 4/24 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01M 4/02 (2022.01)
H01M 10/36 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0119197
(22) 출원일자 2023년09월07일
심사청구일자 2023년09월07일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경
희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
유재수
서울특별시 강남구 역삼로 438, 603호(대치동, 풍
림아이원아파트)
왕티안
경기도 용인시 기흥구 서그대로53번길 3-13, 205
호
(74) 대리인
김연권

전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 맥신 보조층에 기반하는 전극 및 그 제조방법

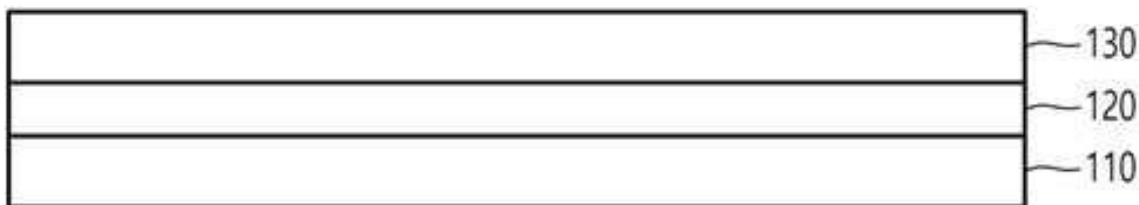
(57) 요약

본 발명은 맥신 보조층에 기반하는 전극 및 그 제조방법에 관한 것으로서, 일실시예에 따른 애노드 전극은 아연 (Zn) 박막층과, 아연 박막층 상에 형성되고, $M_{n+1}X_nT_x$ (화학식1)로 표시되는 맥신(MXene)을 포함하는 맥신 보조층 및 아연 박막층과 맥신 보조층의 계면에 형성되고, ZnT_x (화학식2)로 표시되는 화합물을 포함하는 계면층을 포함

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1

100



하고, 여기서 계면층은 아연 박막층과 맥신 보조층이 반응하여 형성될 수 있으며, 화학식 1 및 2에서, M은 티타늄(Ti), 지르코늄(Zr), 하프늄(Hf), 바나듐(V), 크로뮴(Cr), 망가니즈(Mn), 스칸듐(Sc), 몰리브데넘(Mo), 나이오븀(Nb) 및 탄탈럼(Ta) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 전이금속(transition metal)이고, X는 탄소(C), 및 질소(N) 중 적어도 어느 하나를 포함하며, T는 산소(O), 히드로사이드(OH), 에폭사이드, 탄소수 1-5의 알콕사이드, 플루오라이드(F), 클로라이드(Cl), 브로마이드(Br) 및 아이오다이드(I) 중 적어도 어느 하나를 포함하며, n 및 x는 각각 독립적으로 1 내지 4의 정수일 수 있다.

(52) CPC특허분류

H01M 4/04 (2013.01)

H01M 4/244 (2013.01)

H01M 2004/027 (2013.01)

H01M 2004/027 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345364576
과제번호	2018R1A6A1A03025708
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	대학중점연구소지원사업
연구과제명	[대학중점연구소] 융복합 에너지 자율형 다기능 센서 플랫폼 연구 2단계(3/3)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	경희대학교산학협력단
연구기간	2018.06.01 ~ 2027.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

아연(Zn) 박막층;

상기 아연 박막층 상에 형성되고, 하기 화학식 1로 표시되는 맥신(MXene)을 포함하는 맥신 보조층; 및

상기 아연 박막층과 상기 맥신 보조층의 계면에 형성되고, 하기 화학식 2로 표시되는 화합물을 포함하는 계면층을 포함하고,

상기 계면층은 상기 아연 박막층과 상기 맥신 보조층이 반응하여 형성되는 것을 특징으로 하는,

[화학식 1]



[화학식 2]



상기 화학식 1 및 2에서, M은 티타늄(Ti), 지르코늄(Zr), 하프늄(Hf), 바나듐(V), 크로뮴(Cr), 망가니즈(Mn), 스칸듐(Sc), 몰리브데넘(Mo), 나이오븀(Nb) 및 탄탈럼(Ta) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 전이금속(transition metal)이고, X는 탄소(C), 및 질소(N) 중 적어도 어느 하나를 포함하며, T는 산소(O), 히드로사이드(OH), 에폭사이드, 탄소수 1-5의 알콕사이드, 플루오라이드(F), 클로라이드(Cl), 브로마이드(Br) 및 아이오다이드(I) 중 적어도 어느 하나를 포함하며, n 및 x는 각각 독립적으로 1 내지 4의 정수인,

애노드 전극.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 계면층은,

랭뮤어-블로드젯(Langmuir-Blodgett) 방법을 통해 상기 아연(Zn) 박막층과 상기 맥신 보조층의 T가 반응하여 자가 형성된 것을 특징으로 하는

애노드 전극.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 맥신 보조층은,

아코디언 형상을 갖는 것을 특징으로 하는

애노드 전극.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 아연(Zn) 박막층의 두께는 0.1mm 내지 1.1mm인 것을 특징으로 하는

애노드 전극.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항의 애노드 전극과 상기 애노드 전극 상에 형성된 수계 전해질층 및 상기 수계 전해질층 상에 형성된 캐소드 전극

을 포함하는 것을 특징으로 하는 수계아연금속전지.

청구항 6

하기 화학식 1로 표시되는 맥신을 제조하는 단계; 및

상기 맥신을 이용하여 아연(Zn) 박막층 상에 맥신(MXene) 보조층을 형성하는 단계;

를 포함하고,

상기 맥신(MXene) 보조층을 형성하는 단계는,

상기 아연(Zn) 박막층과 상기 맥신 보조층이 반응하여 상기 아연 박막층과 상기 맥신 보조층의 계면에 하기 화학식 2로 표시되는 계면층이 형성되는 것을 특징으로 하는,

[화학식 1]



[화학식 2]



상기 화학식 1 및 2에서, M은 티타늄(Ti), 지르코늄(Zr), 하프늄(Hf), 바나듐(V), 크로뮴(Cr), 망가니즈(Mn), 스칸듐(Sc), 몰리브데넘(Mo), 나이오븀(Nb) 및 탄탈럼(Ta) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 전이금속(transition metal)이고, X는 탄소(C), 및 질소(N) 중 적어도 어느 하나를 포함하며, T는 산소(O), 히드로사이드(OH), 에폭사이드, 탄소수 1-5의 알콕사이드, 플루오라이드(F), 클로라이드(Cl), 브로마이드(Br) 및 아이오다이드(I) 중 적어도 어느 하나를 포함하고, n 및 x는 각각 독립적으로 1 내지 4의 정수인,

애노드 전극의 제조방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 맥신을 제조하는 단계는,

맥스상(MAX phase)을 강산과 반응시켜 상기 화학식 1로 표시되는 맥신(MXene)을 형성하는 단계;

상기 맥신을 세척액을 이용한 원심분리를 적어도 1회 이상 진행하는 단계; 및

상기 원심분리된 맥신을 건조하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 애노드 전극의 제조방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 맥신 보조층을 형성하는 단계는,

상기 맥신 보조층을 랭뮤어-블로드젯(Langmuir-Blodgett) 방법을 이용하여 형성하는 것을 특징으로 하는

애노드 전극의 제조방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 맥신 보조층을 형성하는 단계는,

제1 용매에 상기 맥신을 분산시켜 맥신 용액을 제조하는 단계;

제2 용매에 상기 맥신 용액을 첨가하여 표면에 상기 맥신 보조층이 부유된 맥신 필름 용액을 제조하는 단계 및 상기 맥신 필름 용액에 상기 아연 박막을 투입하여 상기 아연 박막층 상에 맥신 보조층을 전사하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 애노드 전극의 제조방법.

청구항 10

제9항에 있어서,
상기 맥신 용액을 제조하는 단계는,
자기 교반을 이용하여 제1 용매에 상기 맥신을 분산시켜 상기 맥신 용액을 제조하는 것을 특징으로 하는 애노드 전극의 제조방법.

청구항 11

제8항에 있어서,
상기 계면층은,
상기 랭뮤어-블로드젯 방법을 통해 상기 아연(Zn) 박막층과 상기 맥신 보조층의 T가 반응하여 자가 형성되는 것을 특징으로 하는
애노드 전극의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 맥신 보조층에 기반하는 전극에 관한 것으로, 보다 상세하게는 큰 전류 밀도를 갖는 아연(Zn) 기반의 애노드 전극에 대한 기술적 사상에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 안전하고 재생 가능한 에너지 저장 시스템에 대한 수요가 계속 증가하면서 수성 아연(Zn)-금속 배터리(zinc metal battery, ZMB)에 대한 수요 또한 증가하고 있다.

[0003] 아연(Zn) 금속은 높은 비용량, 낮은 비용, 환경 친화성 및 본질적인 안전성의 특성을 가지고 있지만, 심각한 부반응 및 아연(Zn) 덴드라이트 성장으로 인해 아연(Zn) 금속 기반의 전극의 쿨롱 효율이 낮고 사이클 수명이 짧아 충전식 수계의 상업적 개발을 제한한다는 문제가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2023-0059905호, "이산화망간 기반 양극, 그를 포함하는 양극 조립체 및 수계 아연 이차 전지"

(특허문헌 0002) 한국등록특허 제10-246474호, "소량의 이종원소가 포함된 수계 아연이차전지용 음극 및 이의 제조방법"

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 맥신(MXene) 물질과 아연(Zn) 박막 사이에서 자가 형성되는 계면층을 구비함으로써, 전극/전해질 표면에 아연(Zn) 이온 플럭스를 재분배하고 부반응을 억제할 수 있는 애노드 전극 및 그 제조방법을 제공하고자 한다.

[0006] 또한, 본 발명은 맥신 물질과 아연 박막 사이에서 자가 형성되는 계면층을 구비함으로써, 텐드라이트 없는 아연(Zn)의 증착을 달성하고, 긴 주기(long-term) 수명, 우수한 순환 안정성 및 우수한 속도 성능을 갖는 애노드 전극 및 그 제조방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일실시예에 따른 애노드 전극은 아연(Zn) 박막층과, 아연 박막층 상에 형성되고, $M_{n+1}X_nT_x$ (화학식1)로 표시되는 맥신(MXene)을 포함하는 맥신 보조층 및 아연 박막층과 맥신 보조층의 계면에 형성되고, ZnT_x (화학식2)로 표시되는 화합물을 포함하는 계면층을 포함하고, 여기서 계면층은 아연 박막층과 맥신 보조층이 반응하여 형성될 수 있으며, 화학식 1 및 2에서, M은 티타늄(Ti), 지르코늄(Zr), 하프늄(Hf), 바나듐(V), 크로뮴(Cr), 망가니즈(Mn), 스칸듐(Sc), 몰리브데넘(Mo), 나이오븀(Nb) 및 탄탈럼(Ta) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 전이금속(transition metal)이고, X는 탄소(C), 및 질소(N) 중 적어도 어느 하나를 포함하며, T는 산소(O), 히드로사이드(OH), 에폭사이드, 탄소수 1-5의 알콕사이드, 플루오라이드(F), 클로라이드(Cl), 브로마이드(Br) 및 아이오다이드(I) 중 적어도 어느 하나를 포함하며, n 및 x는 각각 독립적으로 1 내지 4의 정수일 수 있다.

[0008] 일측에 따르면, 계면층은 랭뮤어-블로드젯(Langmuir-Blodgett) 방법을 통해 아연(Zn) 박막층과 맥신 보조층의 T가 반응하여 자가 형성될 수 있다.

[0009] 일측에 따르면, 맥신 보조층은 아코디언 형상을 갖을 수 있으며, 아연(Zn) 박막층의 두께는 0.1mm 내지 1.1mm일 수 있다.

[0010] 본 발명의 일실시예에 따른 수계아연금속전지는 일실시예에 따른 애노드 전극과 애노드 전극 상에 형성된 수계 전해질층 및 수계 전해질층 상에 형성된 캐소드 전극을 포함할 수 있다.

[0011] 본 발명의 일실시예에 따른 애노드 전극의 제조방법은 $M_{n+1}X_nT_x$ (화학식1)로 표시되는 맥신을 제조하는 단계 및 맥신을 이용하여 아연(Zn) 박막층 상에 맥신(MXene) 보조층을 형성하는 단계를 포함하고, 맥신(MXene) 보조층을 형성하는 단계는 아연(Zn) 박막층과 맥신 보조층이 반응하여 아연 박막층과 맥신 보조층의 계면에 ZnT_x (화학식2)로 표시되는 계면층이 형성될 수 있으며, 화학식 1 및 2에서, M은 티타늄(Ti), 지르코늄(Zr), 하프늄(Hf), 바나듐(V), 크로뮴(Cr), 망가니즈(Mn), 스칸듐(Sc), 몰리브데넘(Mo), 나이오븀(Nb) 및 탄탈럼(Ta) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 전이금속(transition metal)이고, X는 탄소(C), 및 질소(N) 중 적어도 어느 하나를 포함하며, T는 산소(O), 히드로사이드(OH), 에폭사이드, 탄소수 1-5의 알콕사이드, 플루오라이드(F), 클로라이드(Cl), 브로마이드(Br) 및 아이오다이드(I) 중 적어도 어느 하나를 포함하며, n 및 x는 각각 독립적으로 1 내지 4의 정수일 수 있다.

[0012] 일측에 따르면, 맥신을 제조하는 단계는 맥스상(MAX phase)을 강산과 반응시켜 화학식 1로 표시되는 맥신(MXene)을 형성하는 단계와, 맥신을 세척액을 이용한 원심분리를 적어도 1회 이상 진행하는 단계 및 원심분리된 맥신을 건조하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 일측에 따르면, 맥신 보조층을 형성하는 단계는 맥신 보조층을 랭뮤어-블로드젯(Langmuir-Blodgett) 방법을 이용하여 형성할 수 있다.

[0014] 일측에 따르면, 맥신 보조층을 형성하는 단계는 제1 용매에 맥신을 분산시켜 맥신 용액을 제조하는 단계와, 제2 용매에 맥신 용액을 첨가하여 표면에 맥신 보조층이 부유된 맥신 필름 용액을 제조하는 단계 및 맥신 필름 용액에 아연 박막을 투입하여 아연 박막층 상에 맥신 보조층을 전사하는 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 일측에 따르면, 맥신 용액을 제조하는 단계는 자기 교반을 이용하여 제1 용매에 맥신을 분산시켜 맥신 용액을 제조할 수 있다.

[0016] 일측에 따르면, 계면층은 랭뮤어-블로드젯 방법을 통해 아연(Zn) 박막층과 맥신 보조층의 T가 반응하여 자가 형성될 수 있다.

발명의 효과

[0017] 일실시예에 따르면, 본 발명은 맥신(MXene) 물질과 아연(Zn) 박막 사이에서 자가 형성되는 계면층을 구비하는 전극을 제공함으로써, 전극/전해질 표면에 아연(Zn) 이온 플럭스를 재분배하고 부반응을 억제할 수 있다.

[0018] 일실시예에 따르면, 본 발명은 맥신 물질과 아연 박막 사이에서 자가 형성되는 계면층을 구비하는 전극을 제공

함으로써, 텐드라이트 없는 아연(Zn)의 증착을 달성하고, 긴 주기(long-term) 수명, 우수한 순환 안정성 및 우수한 속도 성능을 구현할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 일실시예에 따른 애노드 전극을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 일실시예에 따른 애노드 전극의 제조방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 3a 내지 도 8은 일실시예에 따른 애노드 전극의 특성 분석 결과를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되지 않는다.

[0021] 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 특정한 개시형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.

[0022] 제1 또는 제2 등의 용어를 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 구성요소들은 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만, 예를 들면 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 이탈되지 않은 채, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소는 제1 구성요소로도 명명될 수 있다.

[0023] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성요소들 간의 관계를 설명하는 표현들, 예를 들면 "~사이에"와 "바로~사이에" 또는 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.

[0024] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예들을 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함으로 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0025] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0027] 이하, 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 그러나, 특허출원의 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.

[0029] 도 1은 일실시예에 따른 애노드 전극을 설명하기 위한 도면이다.

[0030] 도 1을 참조하면, 애노드 전극(100)은 맥신(MXene) 물질과 아연(Zn) 박막 사이에서 자가 형성되는 계면층을 구비함으로써, 전극/전해질 표면에 아연(Zn) 이온 플럭스를 재분배하고 부반응을 억제할 수 있다.

[0031] 또한, 애노드 전극(100)은 맥신 물질과 아연 박막 사이에서 자가 형성되는 계면층을 구비함으로써, 텐드라이트가 없는 아연(Zn)의 증착을 달성하고, 긴 주기(long-term) 수명, 우수한 순환 안정성 및 우수한 속도 성능을 구

현할 수 있다.

- [0032] 이를 위해, 애노드 전극(100)은 아연(Zn) 박막층(110)과, 아연 박막층(110) 상에 형성되고 하기 화학식 1로 표시되는 맥신(MXene)을 포함하는 맥신 보조층(130) 및 아연 박막층(110)과 맥신 보조층(130)의 계면에 형성되고, 하기 화학식 2로 표시되는 화합물을 포함하는 계면층(120)을 포함할 수 있다.
- [0033] 여기서, 계면층(120)은 아연 박막층(110)과 맥신 보조층(130)이 반응하여 형성될 수 있다.
- [0034] [화학식 1]
- [0035] $M_{n+1}X_nT_x$
- [0036] [화학식 2]
- [0037] ZnT_x
- [0038] 화학식 1 및 2에서, M은 티타늄(Ti), 지르코늄(Zr), 하프늄(Hf), 바나듐(V), 크로뮴(Cr), 망가니즈(Mn), 스칸듐(Sc), 몰리브데넘(Mo), 나이오븀(Nb) 및 탄탈럼(Ta) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 전이금속(transition metal)이고, X는 탄소(C), 및 질소(N) 중 적어도 어느 하나를 포함하며, T는 산소(O), 히드록사이드(OH), 에폭사이드, 탄소수 1-5의 알콕사이드, 플루오라이드(F), 클로라이드(Cl), 브로마이드(Br) 및 아이오다이드(I) 중 적어도 어느 하나를 포함하며, n 및 x는 각각 독립적으로 1 내지 4의 정수일 수 있다.
- [0039] 바람직하게는, M은 티타늄(Ti)이고, X는 탄소(C)이며, T는 플루오라이드(F)일 수 있으며, n은 2일 수 있다.
- [0040] 즉, 계면층(120)은 아연 박막층(110)과 맥신 보조층(130)의 반응의 결과로 파생되는 플루오르화 아연(ZnF_2) 층일 수 있으며, 이렇게 형성되는 플루오르화 아연(ZnF_2) 기반의 계면층은 아연(Zn) 애노드 전극의 표면에 균일한 아연 이온(Zn^{2+}) 플럭스를 가능하게 하여 큰 전류 밀도에서도 장기간 안정적으로 아연(Zn)의 도금 및 박리를 구현할 수 있다.
- [0041] 예를 들면, 아연 박막층(110)의 두께는 0.1mm 내지 1.1mm일 수 있다. 바람직하게는, 아연 박막층(110)은 두께가 0.1 mm이고, 직경인 12 mm로 설계될 수 있다.
- [0042] 일측에 따르면, 계면층(120)은 랭뮤어-블로드젯(Langmuir-Blodgett) 방법을 통해 아연(Zn) 박막층과 맥신 보조층의 T가 반응하여 자가 형성될 수 있으며, 이때 랭뮤어-블로드젯 방법을 통해 형성되는 맥신 보조층(130)은 아코디언 형상으로 형성될 수 있다.
- [0043] 구체적으로, 계면층(120)은 랭뮤어-블로드젯(Langmuir-Blodgett) 방법을 통해 형성되는 맥신 보조층(130) 상의 플루오르 작용기(F^-)가 아연 박막층(110)과 접촉하여, 아연 박막층(110)과 맥신 보조층(130) 사이의 계면에서 플루오르화 아연(ZnF_2)이 형성될 수 있다.
- [0044] 일측에 따르면, 계면층(120)은 현장 아연(Zn) 도금을 통해 보다 풍부하게 플루오르화 아연(ZnF_2)이 형성될 수 있다.
- [0045] 구체적으로, 아코디언 형상의 맥신 보조층(130) 상에는 아연(Zn)이 0.25 mAh cm^{-2} 내지 1 mAh cm^{-2} 의 용량으로 추가 도금될 수 있으며, 이를 통해 아연 박막층(110)과 맥신 보조층(130) 사이의 계면에서 플루오르화 아연(ZnF_2)이 보다 풍부하게 형성하여 전극 특성을 향상시킬 수 있다.
- [0046] 한편, 애노드 전극(100)은 수계아연금속전지(AZMB)에 활용될 수 있다.
- [0047] 예를 들면, 수계아연금속전지는 애노드 전극(100)과, 애노드 전극(100) 상에 형성되며 수계 용매(일례로, 물)와 금속염(일례로, $EDTA - Zn \cdot 2Na$)을 함유하는 수계 전해질층 및 CNTs- VO_2 (Carbon Nanotubes - Vanadium Oxide) 기반의 캐소드 전극을 포함할 수 있다.
- [0048] 일실시예에 따른 애노드 전극(100)의 제조방법은 이후 실시예 도 2를 통해 보다 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0050] 도 2는 일실시예에 따른 애노드 전극의 제조방법을 설명하기 위한 도면이다.

- [0051] 도 2를 참조하면, 210 단계에서 제조방법은 상술한 화학식 1로 표시되는 맥신을 제조할 수 있다.
- [0052] 일측에 따르면, 210 단계에서 제조방법은 맥스상(MAX phase)을 강산과 반응시켜 화학식 1로 표시되는 맥신(MXene)을 형성하고, 맥신을 세척액(일례로, 탈이온수)을 이용한 원심분리를 적어도 1회 이상 진행하며, 이후 원심분리된 맥신을 건조시켜 최종적으로 건조된 맥신을 형성할 수 있다.
- [0053] 예를 들면, 210 단계에서 제조방법은 Ti_3AlC_2 맥스 상 분말의 불화수소산(HF) 에칭 과정에 기초하여 맥신을 형성할 수 있다.
- [0054] 구체적으로, 210 단계에서 제조방법은 Ti_3AlC_2 맥스 상 분말(2.0g)을 $35^{\circ}C$ 에서 24시간 동안 자기 교반하면서 불화수소산(HF)(60mL) 에칭하여 맥신을 형성하되, 이 과정에서 형성된 검은색 슬러리를 기 설정된 횟수만큼 원심 분리 후 진공 상태에서 건조하여 건조된 맥신을 형성할 수 있다.
- [0055] 다음으로, 220 단계에서 제조방법은 맥신을 이용하여 아연(Zn) 박막층 상에 맥신(MXene) 보조층을 형성할 수 있으며, 여기서 아연(Zn) 박막층과 맥신 보조층이 반응하여 아연 박막층과 맥신 보조층의 계면에 상술한 화학식 2로 표시되는 계면층이 형성될 수 있다.
- [0056] 일측에 따르면, 220 단계에서 제조방법은 맥신 보조층을 랭뮤어-블로드젯(Langmuir-Blodgett) 방법을 이용하여 형성할 수 있으며, 이 때 계면층은 랭뮤어-블로드젯 방법을 통해 아연(Zn) 박막층과, 상술한 화학식1의 맥신 보조층의 T가 반응하여 자가 형성될 수 있다.
- [0057] 구체적으로, 221 단계에서 제조방법은 제1 용매에 맥신을 분산시켜 맥신 용액을 제조할 수 있다.
- [0058] 일측에 따르면, 221 단계에서 제조방법은 자기 교반을 이용하여 제1 용매에 맥신을 분산시켜 맥신 용액을 제조할 수 있다.
- [0059] 예를 들면, 221 단계에서 제조방법은 맥신(25mg)을 에탄올 용액(5mL)에 24시간 동안 자기 교반 하에 분산시켜 맥신이 균일하게 분산된 맥신 용액을 형성할 수 있다.
- [0060] 다음으로, 222 단계에서 제조방법은 제2 용매에 맥신 용액을 첨가하여 표면에 맥신 보조층이 부유된 맥신 필름 용액을 제조할 수 있다.
- [0061] 예를 들면, 222 단계에서 제조방법은 제조된 맥신 용액을 2/3 탈이온수(DI)에 주입하고, 이 과정에서 에탄올 용액이 물과 섞이면서 맥신이 부유하여 밝은 검정색의 맥신 필름이 표면에 형성된 맥신 필름 용액을 제조할 수 있다.
- [0062] 다음으로, 223 단계에서 제조방법은 맥신 필름 용액에 아연 박막을 투입하여 아연 박막층 상에 맥신 보조층을 전사시킬 수 있으며, 이를 통해 일실시예에 따른 애노드 전극을 형성할 수 있다.
- [0063] 예를 들면, 223 단계에서 제조방법은 맥신 필름 용액에 구비된 맥신 필름을 천천히 위로 당겨 건져낸 후, 아연 박막층의 표면에 전사시킬 수 있다.
- [0064] 일측에 따르면, 223 단계에서 제조방법은 아코디언 형상의 맥신 보조층(130) 상에 0.25 mAh cm^{-2} 내지 1 mAh cm^{-2} 의 용량으로 아연(Zn) 도금을 추가로 수행할 수 있으며, 이를 통해 아연 박막층과 맥신 보조층 사이의 계면에서 플루오르화 아연(ZnF_2)을 보다 풍부하게 형성하여 전극 특성을 향상시킬 수 있다.
- [0065] 한편, 일실시예에 따른 제조방법은 일실시예에 따른 애노드 전극 상에 수계 용매(일례로, 물)와 금속염(일례로, $EDTA - Zn \cdot 2Na$)을 함유하는 수계 전해질층 및 캐소드 전극을 형성하여 수계아연금속전지를 제조할 수 있으며, 예를 들면 캐소드 전극은 $CNTs-VO_2$ 기반의 전극일 수 있다.
- [0066] 구체적으로, 일실시예에 따른 제조방법은 카르복실화 단일벽 CNT(20mg)를 탈이온수(30mL)에 균일하게 용해시킨 후, 에틸렌 글리콜(20 mL) 및 V_2O_5 (1 g)를 용액에 첨가하고 2시간 동안 교반시킬 수 있으며, 이후 혼합 용액을 $180^{\circ}C$ 에서 6시간 동안 가열하고, 마지막으로 준비된 제품을 탈이온수와 에탄올로 개별 세척한 후 6시간 동안 가열할 수 있다. 다음으로, NMP에 활성 물질(80%), 카본 블랙(10%) 및 폴리비닐리덴 플루오라이드(10%)의 혼합물을 함유하여 캐소드 슬러리를 형성한 후, 슬러리를 금속 호일에 붙인 상태에서 진공 오븐으로 건조시켜, 최종적으로 $CNTs-VO_2$ 에 기반하는 캐소드 전극을 형성할 수 있다.

- [0068] 도 3a 내지 도 8은 일실시예에 따른 애노드 전극의 특성 분석 결과를 설명하기 위한 도면이다.
- [0069] 도 3a 내지 도 3b를 참조하면, 도면부호 310의 (a)는 서로 다른 용량(0.5 mA cm^{-2} , 1.0 mA cm^{-2} , 3.0 mA cm^{-2})을 갖는 일반적인 아연 전극(Pristine Zn)의 FE-SEM 이미지를 도시하고, 도면부호 320의 (b)는 서로 다른 용량(0.5 mA cm^{-2} , 1.0 mA cm^{-2} , 3.0 mA cm^{-2})을 갖는 일실시예에 따른 애노드 전극(Zn@MXene)의 FE-SEM 이미지를 도시한다.
- [0070] 또한, 도면부호 320의 (a) 및 (b)는 불화수소산(HF)에 기반한 에칭 과정을 통해 형성된 일실시예에 따른 맥신 보조층(즉, $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{Tx MXene}$)을 도시한다.
- [0071] 구체적으로, 도면부호 310에 따르면, 일반적인 아연 전극(Pristine Zn)은 아연(Zn)의 증착 공정에서 $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ 의 탈용매화를 수반하며, 이는 순수한 아연(Zn) 이온보다 더 높은 탈용매화 에너지를 필요로 하며, 결과적으로 아연(Zn) 덴드라이트 성장을 가속화하고, 결국 전지(battery)의 고장으로 이어지는 이온 농도 구배를 생성한다.
- [0072] 반면, 일실시예에 따른 애노드 전극(Zn@MXene)은 플루오르화 아연(ZnF_2)이 풍부한 계면층을 통해 아연(Zn) 박막층 표면에 아연 이온(Zn^+) 플럭스를 재분배하여 아연(Zn) 덴드라이트의 성장을 최소화할 수 있다.
- [0073] 도면부호 320에 따르면, 일실시예에 따른 애노드 전극(Zn@MXene)의 맥신 보조층(즉, $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{Tx MXene}$)은 아코디언 구조로 형성되며, 이를 통해 애노드 전극(Zn@MXene)의 표면에서 균일한 아연 이온(Zn^+)의 재분배를 구현할 수 있다.
- [0075] 도 4a 내지 도 4c를 참조하면, 도면부호 410은 아르곤(Ar^+) 스퍼터링을 통해 다양한 Zn 증착 용량(Pristine, 0.25 mAh cm^{-2} , 1 mAh cm^{-2})을 갖는 계면층에 대한 F 1s의 고해상도 XPS 스펙트럼 이미지를 도시한다.
- [0076] 또한, 도면부호 420의 (a) 내지 (d) 각각은 일실시예에 따른 애노드 전극(Pristine Zn@MXene)과 1 시간 동안 0.25 mA cm^{-2} 에서 아연(Zn) 도금된 일실시예에 따른 애노드 전극(After Zn plating)의 Zn 2p, C 1s, Ti 2p 및 F 1s 각각에 대한 고해상도 XPS 스펙트럼 이미지를 도시한다.
- [0077] 또한, 도면부호 430의 (a)는 일실시예에 따른 애노드 전극의 SEM 이미지를 도시하고, 도면부호 430의 (b) 및 (c)는 0.25 mAh cm^{-2} 및 1.0 mAh cm^{-2} 에서 아연(Zn) 도금된 일실시예에 따른 애노드 전극의 SEM 이미지를 도시한다.
- [0078] 또한, 도면부호 430의 (d) 및 (e) 각각은 일실시예에 따른 애노드 전극의 전하 밀도 차이 분포(Charge density difference distribution) 및 전하 밀도 차이 맵의 해당 슬라이스를 도시하고, 도면부호 430의 (f) 및 (g) 각각은 일실시예에 따른 애노드 전극의 아연(Zn) 및 플루오르화 아연(ZnF_2)의 표면에 흡착된 아연(Zn) 원자의 결합 에너지를 도시한다.
- [0079] 도면부호 410에 따르면, 애노드 전극(Pristine)은 플루오르화 아연(ZnF_2)의 비율이 시간이 경과함에 따라 2분에 10.5%, 5분에 16.6%, 10분에 21.2%로 증가하는 것을 확인할 수 있다.
- [0080] 즉, 플루오르화 아연(ZnF_2)의 비율은 스퍼터링 시간에 비례하는데, 이는 플루오르화 아연(ZnF_2)에 기반하는 계면층이 주로 초기 상태에서 아연(Zn) 금속 표면에 분포되어 있음을 나타내며, 이는 맥신의 플루오르(F) 작용기와 아연(Zn) 상의 아연(Zn) 원자의 자발적인 반응에 기인한다.
- [0081] 한편, 0.25 mAh cm^{-2} 에서 아연(Zn) 도금된 애노드 전극의 경우에는 플루오르화 아연(ZnF_2)의 비율이 스퍼터링 시간이 0분인 경우에 39.4%에서 10분인 경우에 12.3%로, 스퍼터링 시간이 증가함에 따라 플루오르화 아연(ZnF_2)의 비율이 감소하는 경향성을 보이는데, 이는 0.25 mAh cm^{-2} 에서 아연(Zn) 도금된 애노드 전극의 경우에는 플루오르

화 아연(ZnF_2)의 비율이 스퍼터링 시간에 의존성을 갖지 않고 증착된 아연(Zn) 이온이 맥신 코팅층에서 모든 플루오르(F) 작용기를 차지하고 플루오르화 아연(ZnF_2)을 형성함을 나타내며, 이를 통해 균일한 아연(Zn) 금속의 증착을 유도할 수 있다.

[0082] 도면부호 420에 따르면, 자발적으로 형성된 플루오르화 아연(ZnF_2) 기반의 계면층(즉, Pristine Zn@MXene)과 아연(Zn) 증착 후 형성된 플루오르화 아연(ZnF_2)이 풍부한 계면층(After Zn Plating)은 XPS에 의해 관찰될 수 있으며, 이는 플루오르화 아연(ZnF_2) 계면의 형성을 시사한다.

[0083] 구체적으로, F 1s은 각각 ZnF_2 (683.6 eV), C-Ti-Fx (685.2 eV) 및 $\text{Ti-O}_2\text{-X-Fx}$ (687.9 eV)로 디컨볼루션될 수 있으며, 플루오르화 아연(ZnF_2)의 백분율은 Zn 도금 후 원시 Zn@MXene 전극에서 11.5%, Zn@MXene 전극에서 43.2%로 결정되며, 이는 전극 표면에 플루오르화 아연(ZnF_2) 기반의 계면층의 제자리 형성을 시사한다.

[0084] 도면부호 430에 따르면, 애노드 전극(Zn@MXene)의 맥신 보조층의 두께는 약 $1.0 \mu\text{m}$ 를 나타내고, 0.25 mAh cm^{-2} 에서 아연(Zn) 도금된 애노드 전극의 계면층의 두께가 약 $3.0 \mu\text{m}$ 로 증가하며, 이는 아연(Zn) 이온이 플루오르(F) 작용기와 결합하고, 맥신 보조층 표면에 플루오르화 아연(ZnF_2)에 기반하는 계면층을 형성하여 맥신 보조층의 두께를 증가시키는 것으로 분석되며, 아연(Zn)의 증착 용량을 1.0 mAh cm^{-2} 까지 증가시키면 계면층의 두께가 약 $4.0 \mu\text{m}$ 로 증가하는 것을 확인할 수 있다.

[0085] 한편, 아연(Zn) 표면의 아연(Zn) 원자와 비교할 때, 플루오르화 아연(ZnF_2)의 표면에 흡수된 아연(Zn) 원자는 보다 높은 결합 에너지를 전달하며, 이는 플루오르화 아연(ZnF_2)에 기반하는 계면층이 아연(Zn) 증착의 균일성에 향상시킬 수 있음을 나타낸다.

[0087] 도 5a 내지 도 5b를 참조하면, 도면부호 510의 (a)는 일반적인 아연 전극(Pristine Zn), 일실시예에 따른 애노드 전극(Pristine Zn@MXene) 및 아연(Zn) 도금된 일실시예에 따른 애노드 전극(After Zn Plating)의 XRD 패턴을 도시하고, 도면부호 510의 (b) 및 (c) 각각은 일반적인 아연 전극(Pristine Zn)과 일실시예에 따른 애노드 전극(Pristine Zn@MXene) 각각의 CV 곡선 및 선형 편광 곡선(Linear Polarization Curves)를 도시한다.

[0088] 또한, 도면부호 510의 (d)는 일반적인 아연 전극(Pristine Zn)과 일실시예에 따른 애노드 전극(Pristine Zn@MXene) 표면의 물(H_2O) 흡착 에너지를 도시하고, 도면부호 510의 (e)는 -150mV 과전위에서의 일반적인 아연 전극(Pristine Zn)과 일실시예에 따른 애노드 전극(Pristine Zn@MXene)의 CA(Chronoamperometry) 곡선을 도시하며, 도면부호 510의 (f)는 일반적인 아연 전극(Pristine Zn), 일실시예에 따른 애노드 전극(Pristine Zn@MXene) 및 아연(Zn) 도금된 일실시예에 따른 애노드 전극(After Plating)의 EIS 플롯을 도시한다.

[0089] 또한, 도면부호 520의 (a) 및 (b) 각각은 일실시예에 따른 애노드 전극(Pristine Zn@MXene) 및 일반적인 아연 전극(Pristine Zn) 각각의 서로 다른 온도(30°C 내지 80°C)에서의 EIS 곡선을 도시하며, 도면부호 520의 (c)는 일실시예에 따른 애노드 전극(Pristine Zn@MXene) 및 일반적인 아연 전극(Pristine Zn)의 탈용매화 에너지의 연산 결과를 도시한다.

[0090] 도면부호 510 및 520에 따르면, 플루오르화 아연(ZnF_2)의 부식 방지 성능을 추가 검증하기 위해 XRD 분석을 수행한 결과, 일반적인 아연 전극(Pristine Zn)은 아연(Zn) 전극 표면에 형성된 $\text{Zn}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 부산물에 대응되는 16.2° 및 24.4° 의 2개의 회절 피크가 표시되는 반면, 일실시예에 따른 애노드 전극(Zn@MXene)의 경우에는 아연(Zn) 도금 후 뚜렷한 피크를 나타내지 않으며, 이는 맥신 보조층으로부터 파생되는 플루오르화 아연(ZnF_2)가 풍부한 계면층이 물(H_2O) 분자로 인한 아연(Zn) 전극을 방지함을 의미한다.

[0091] 또한, 물(H_2O) 분자의 흡착 에너지를 분석한 결과, 플루오르화 아연(ZnF_2)에 대한 물(H_2O) 분자의 더 큰 흡착 에너지는 플루오르화 아연(ZnF_2)의 아연 이온(Zn^{2+})의 탈용매화 과정을 가속화하여 수소 발생 및 관련 부반응을 효과적으로 지연시키는 것으로 나타났으며, 결과적으로 플루오르(F) 작용기는 아연(Zn) 금속의 균일한 핵 생성을

개선하고, 플루오르화 아연(ZnF_2)이 풍부한 계면층은 탈용매화 에너지 장벽을 낮추어 아연(Zn) 기반의 애노드 전극의 사이클 안정성을 향상시킬 수 있다.

- [0093] 도 6a 내지 도 6c를 참조하면, 도면부호 610의 (a) 및 (b) 각각은 일실시예에 따른 애노드 전극(Pristine Zn@MXene) 및 아연(Zn) 도금된 일실시예에 따른 애노드 전극(After Zn Plating)의 접촉각을 도시하고, 도면부호 610의 (c) 및 (c) 각각은 일반적인 아연 전극(Pristine Zn)의 아연(Zn) 증착 전 및 증착 후의 AFM 이미지를 각각 도시하며, 도면부호 610의 (e) 및 (f) 각각은 일실시예에 따른 애노드 전극(Zn@MXene)의 아연(Zn) 증착 전 및 증착 후의 AFM 이미지를 각각 도시한다.
- [0094] 또한, 도면부호 620의 (a) 및 (b) 각각은 10.0 mA cm^{-2} 의 전류 밀도에서 아연(Zn) 금속이 증착되는 과정에서 촬영된 일반적인 아연 전극(Pristine Zn) 및 일실시예에 따른 애노드 전극(Zn@MXene) 각각의 광학 이미지를 도시하고(여기서 스케일 바는 $100 \mu\text{m}$), 도면부호 620의 (c)는 일반적인 아연 전극(Pristine Zn) 및 일실시예에 따른 애노드 전극(Zn@MXene) 각각의 아연(Zn) 이온 농도 분포 시뮬레이션 결과를 도시한다.
- [0095] 또한, 도면부호 620의 (d) 및 (e) 각각은 일반적인 아연 전극(Pristine Zn) 및 일실시예에 따른 애노드 전극(Zn@MXene) 각각의 아연(Zn) 증착에 따른 개략도를 도시한다.
- [0096] 또한, 도면부호 630의 (a) 및 (b) 각각은 일반적인 아연 전극(Pristine Zn) 및 일실시예에 따른 애노드 전극(Zn@MXene) 각각의 침전물의 AFM 이미지를 도시한다.
- [0097] 도면부호 610 내지 630에 따르면, 아연(Zn) 도금 전후의 일반적인 아연 전극(Pristine Zn)의 접촉각은 각각 91° 및 50° 이며, 이는 전해질에서 아연(Zn) 전극이 제한된 친수성을 나타내는 것을 시사합니다.
- [0098] 반면, 일실시예에 따른 애노드 전극(Pristine Zn@MXene)의 접촉각은 아연(Zn) 증착 후에 크게 변화하며, 애노드 전극(Pristine Zn@MXene)의 불량한 습윤성은 맥신 보조층 말단에 공유 결합된 많은 수의 플루오르(F) 작용기가 원인으로, 플루오르화 아연(ZnF_2) 기반의 계면층이 친수성을 효과적으로 향상시킬 수 있는 것으로 분석된다.
- [0099] 또한, 일반적인 아연 전극(Pristine Zn) 및 일실시예에 따른 애노드 전극(Zn@MXene)의 AFM 분석을 통해 표면 거칠기(R_q) 값을 분석한 결과, 일반적인 아연 전극(Pristine Zn)의 아연(Zn) 증착 전 및 증착 후의 표면 거칠기(R_q) 값은 각각 24nm 및 186nm 인 것으로 나타났으며, 일실시예에 따른 애노드 전극(Zn@MXene)의 아연(Zn) 증착 전 및 증착 후의 표면 거칠기(R_q) 값은 71nm 및 127nm 인 것으로 나타났다.
- [0100] 즉, 순환된 애노드 전극(Zn@MXene)은 순환된 아연 전극(Pristine Zn) 전극보다 매끄러운 표면을 가지며, 이는 맥신에서 파생된 플루오르화 아연(ZnF_2)이 풍부한 계면층이 아연(Zn) 덴드라이트의 성장을 억제하고 아연(Zn) 전극의 순환 가능성을 증가시킬 수 있음을 의미한다.
- [0102] 도 7a 내지 도 7b를 참조하면, 도면부호 710의 (a) 및 (b) 각각은 서로 다른 주기(1^{st} 내지 100^{th})에서의 일반적인 아연 전극(Pristine Zn) 및 일실시예에 따른 애노드 전극(Zn@MXene) 각각의 전압 프로파일의 분석 결과를 도시하고, 도면부호 710의 (c) 및 (d) 각각은 0.5 mA cm^{-2} 의 전류 밀도 및 1.0 mA cm^{-2} 의 전류 밀도 각각에서의 아연(Zn) 도금/박리의 쿨롱효율(CE) 분석 결과를 도시한다.
- [0103] 또한, 도면부호 720의 (a) 및 (b) 각각은 0.5 mA cm^{-2} 의 전류 밀도 및 1.0 mA cm^{-2} 의 전류 밀도 각각에서의 일반적인 아연 전극(Pristine Zn) 및 일실시예에 따른 애노드 전극(Zn@MXene)를 적용한 전지의 사이클링 안정성의 분석 결과를 도시하고, 도면부호 720의 (c)는 일실시예에 따른 애노드 전극(Zn@MXene)를 적용한 전지의 0.5 mA cm^{-2} 내지 1.0 mA cm^{-2} 의 전류 밀도에서의 속도 분석 결과를 도시한다.
- [0104] 도면부호 710 및 720에 따르면, 일실시예에 따른 애노드 전극(Zn@MXene)은 Zn@MXene//Ti 배터리(여기서, Zn@MXene는 일실시예에 따른 애노드 전극, Ti는 캐소드 전극)를 조립하는 데 사용될 수 있으며, 이는 0.5 mA cm^{-2} 에서 180회에 걸쳐 평균 98.1%의 쿨롱효율(CE)을 표시하여 매우 가역적인 Zn 도금/스트리핑을 제공할 수 있다.

- [0105] 또한, 애노드 전극(Zn@MXene) 대칭 배터리는 10.0 mAh cm^{-2} 의 높은 면적 용량으로 10.0 mA cm^{-2} 의 큰 전류 밀도에서 300시간 동안 가역적이고 안정적인 도금/스트리핑을 제공할 수 있다.
- [0107] 도 8을 참조하면, 도면부호 800의 (a) 내지 (d) 각각은 Zn@MXene//CNTs-VO₂(여기서, Zn@MXene는 일실시예에 따른 애노드 전극 / CNTs-VO₂는 캐소드 전극) 기반의 전지의 정전류 충전/방전 전압 프로파일, 최초 5개의 CV 곡선, 서로 다른 스캔 속도에서의 CV 곡선 및 $\log i$ 대 $\log v$ 곡선을 각각 도시한다.
- [0108] 또한, 도면부호 800의 (e) 및 (f) 각각은 Zn@MXene//CNTs-VO₂ 기반의 전지 와 Zn//CNTs-VO₂ 기반의 전지의 사이클링 성능 및 속도 성능 각각의 분석 결과를 도시한다.
- [0109] 도면부호 800에 따르면, Zn@MXene//CNTs-VO₂ 기반의 전지는 Zn//CNTs-VO₂ 기반의 전지 보다 1.0V 이하에서 보다 선명한 전압 플랫폼을 나타내며, 0.1 내지 1.0 mV s^{-1} 의 다양한 스캔 속도에서 CV 곡선을 분석한 결과, Zn@MXene//CNTs-VO₂ 기반의 전지와는 달리 Zn//CNTs-VO₂ 기반의 전지의 피크는 스캔 속도가 증가함에 따라 상당한 이동을 나타내어 큰 편광을 보이는 것으로 분석되었으며, 두 전지의 $\log i$ 대 $\log v$ 플롯의 기울기에 따르면 전체 피크의 기울기는 0.5에 가까운 것으로 분석되었다.
- [0110] Zn//CNTs-VO₂ 기반의 전지의 피크의 이동 및 확장 현상은 연속적인 사이클링 동안 아연(Zn) 기반의 애노드 전극 및 바나듐 산화물(VO₂) 기반의 캐소드 전극에 아연(Zn) 이온 부산물이 축적되는 현상에 기인할 수 있으며, 이는 애노드 전극 및 캐소드 전극의 가역적 전환을 방해하는 요인을 작용할 수 있다.
- [0111] 반면, Zn@MXene//CNTs-VO₂ 기반의 전지는 맥신으로부터 파생된 플루오르화 아연(ZnF₂)이 풍부한 계면층을 구비하여 전극/전해질 표면에서 아연(Zn) 이온의 수송 속도를 가속화하고 부반응을 억제할 수 있으며, 이를 통해 Zn//CNTs-VO₂ 기반의 전지 보다 향상된 전기화학적 성능을 구현할 수 있다.
- [0112] 또한, Zn@MXene//CNTs-VO₂ 기반의 전지는 100 사이클 이후에 210 mAh g^{-1} 의 용량을 제공하는 반면, Zn//CNTs-VO₂ 기반의 전지 상대적으로 낮은 용량(185 mAh g^{-1})을 나타내는 것으로 분석되었다.
- [0114] 결국, 본 발명을 이용하면, 맥신(MXene) 물질과 아연(Zn) 박막 사이에서 자가 형성되는 계면층을 구비함으로써, 전극/전해질 표면에 아연(Zn) 이온 플럭스를 재분배하고 부반응을 억제할 수 있다.
- [0115] 또한, 본 발명을 이용하면, 맥신 물질과 아연 박막 사이에서 자가 형성되는 계면층을 구비함으로써, 덴드라이트 없는 아연(Zn) 증착을 달성하고, 긴 주기(long-term) 수명, 우수한 순환 안정성 및 우수한 속도 성능을 구현하는 전극을 제공할 수 있다.
- [0116] 구체적으로, 본 발명은 5.0 mAh cm^{-2} 의 용량으로 5.0 mA cm^{-2} 의 전류 밀도에서 800시간 이상의 긴 주기 수명을 애노드 전극을 제공할 수 있으며, 10.0 mAh cm^{-2} 의 용량으로 10.0 mA cm^{-2} 의 전류 밀도에서도 320시간 이상 덴드라이트 없는 아연(Zn) 증착을 달성할 수 있다.
- [0117] 또한, 본 발명의 일실시예에 따른 애노드 전극을 구비하는 전체 전지는 기존의 애노드 전극을 구비하는 전지와 비교하여 보다 나은 순환 안정성과 더 우수한 속도 성능을 나타내며, 이는 고전력 충전식 수성 아연 이온(Zn⁺) 배터리를 개발할 수 있는 아이디어의 잠재력을 제공할 수 있다.
- [0119] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들면, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 장치, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.
- [0120] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한

다.

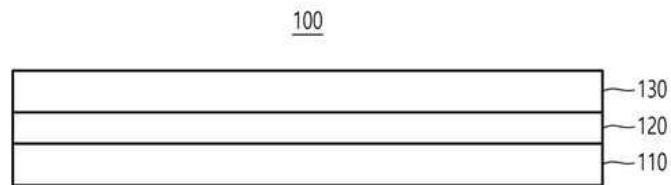
부호의 설명

110: 애노드 전극 110: 아연 박막층

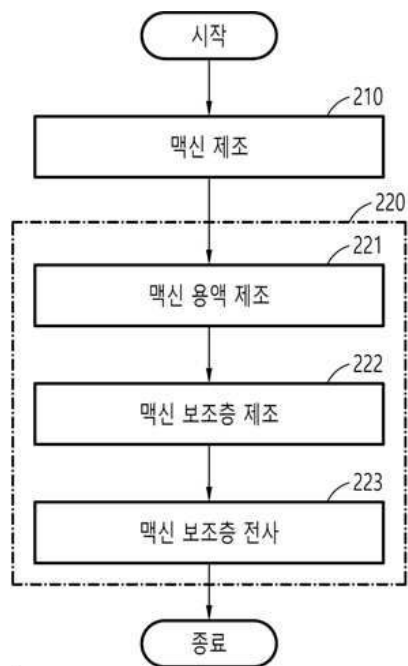
120: 계면층 130: 맥신 보조층

도면

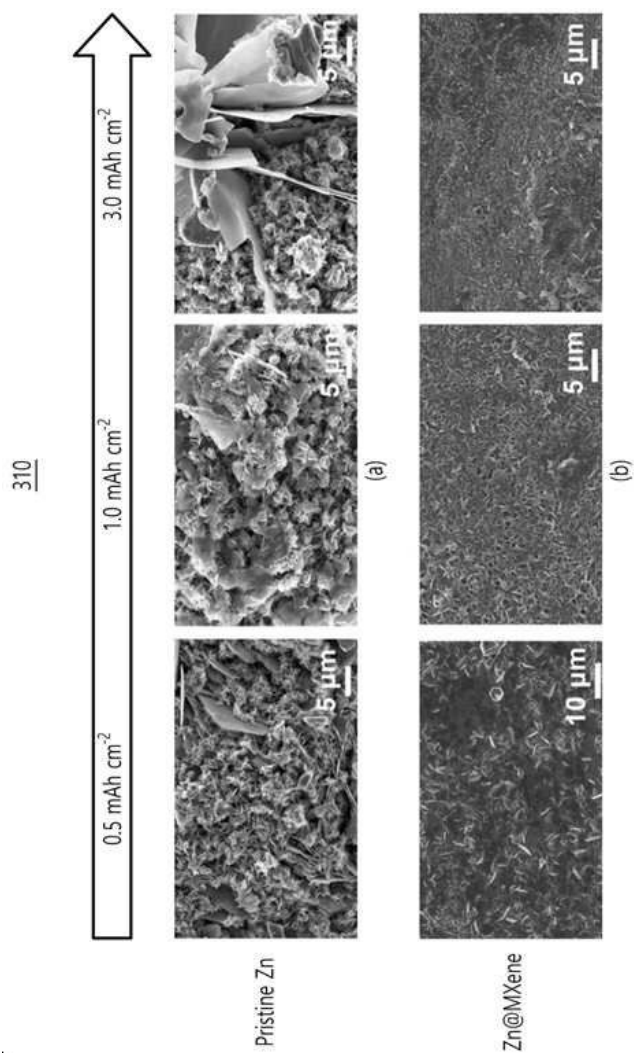
도면1



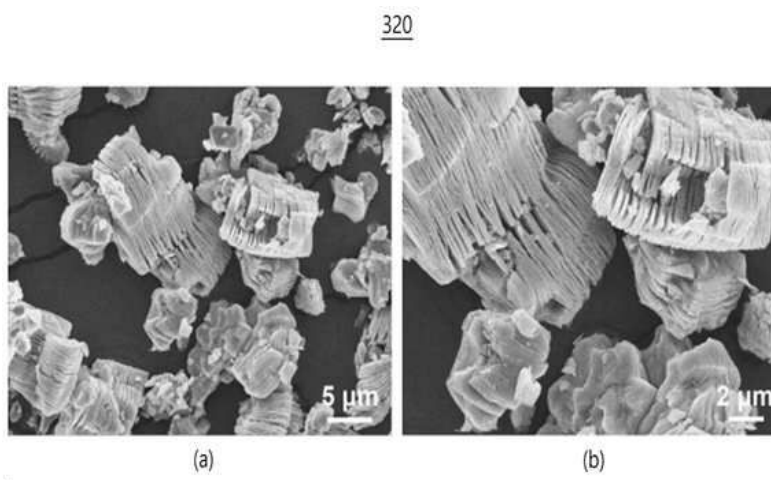
도면2



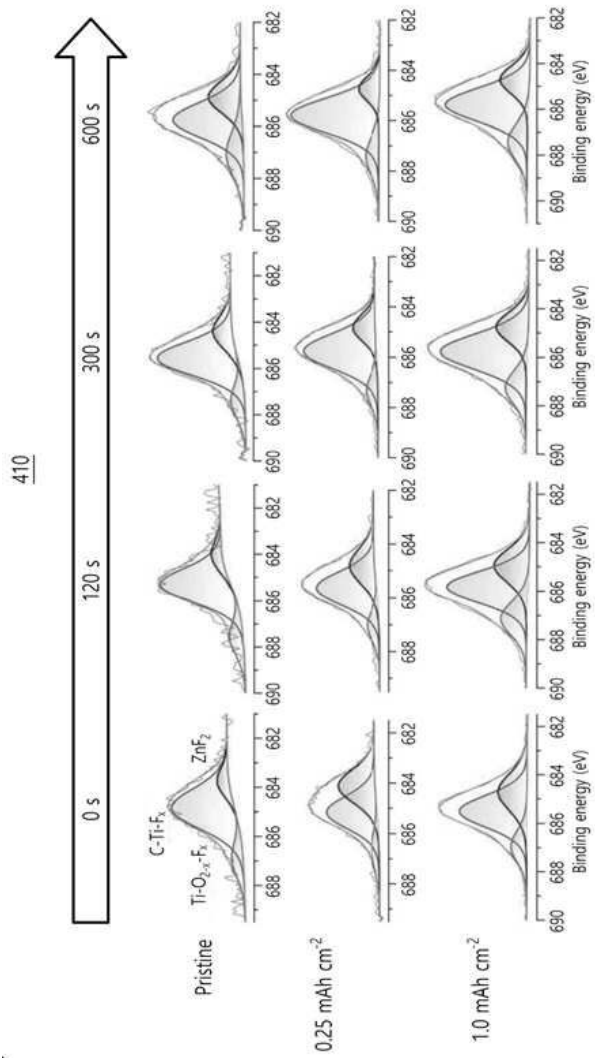
도면3a



도면3b

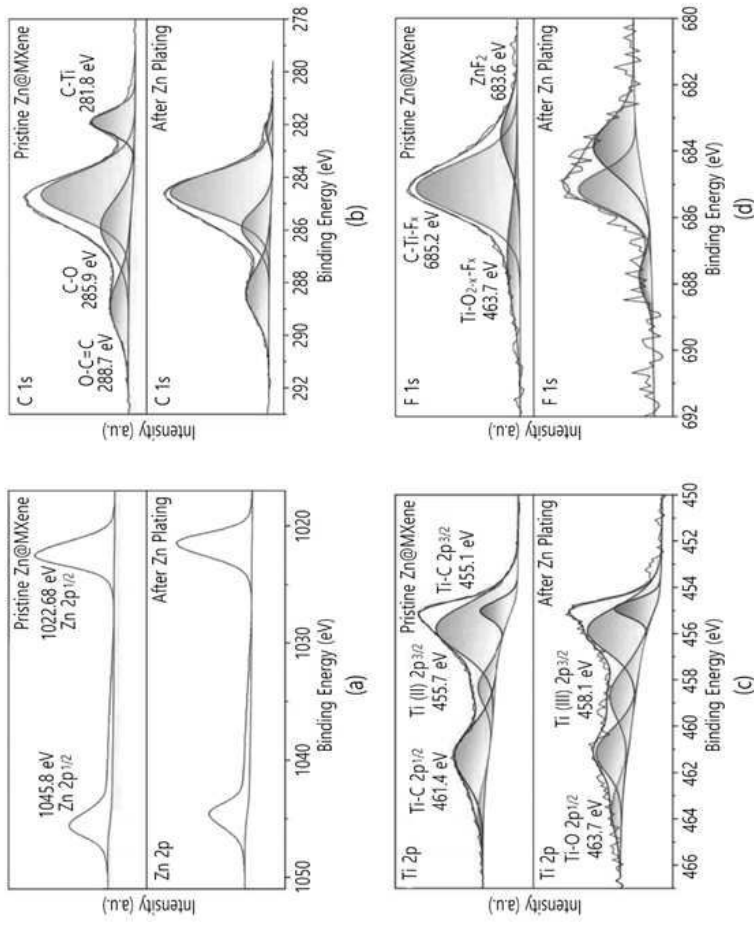


도면4a

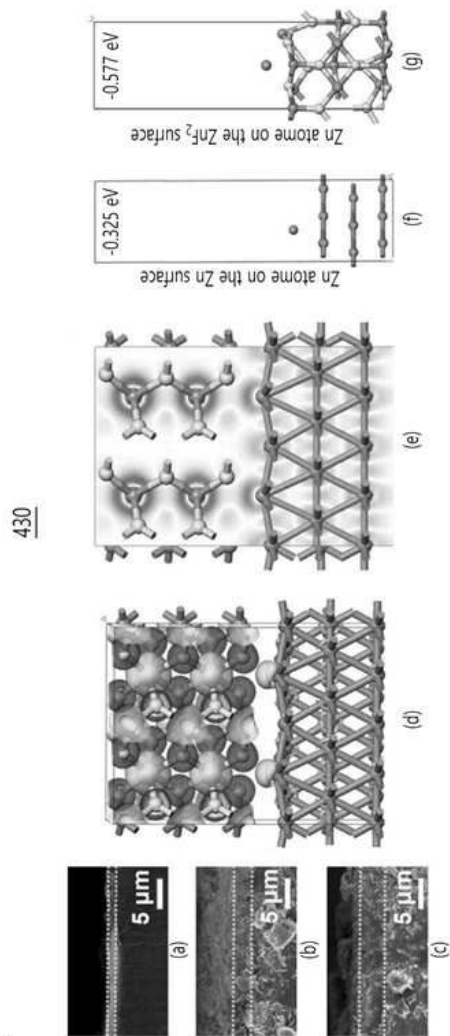


도면4b

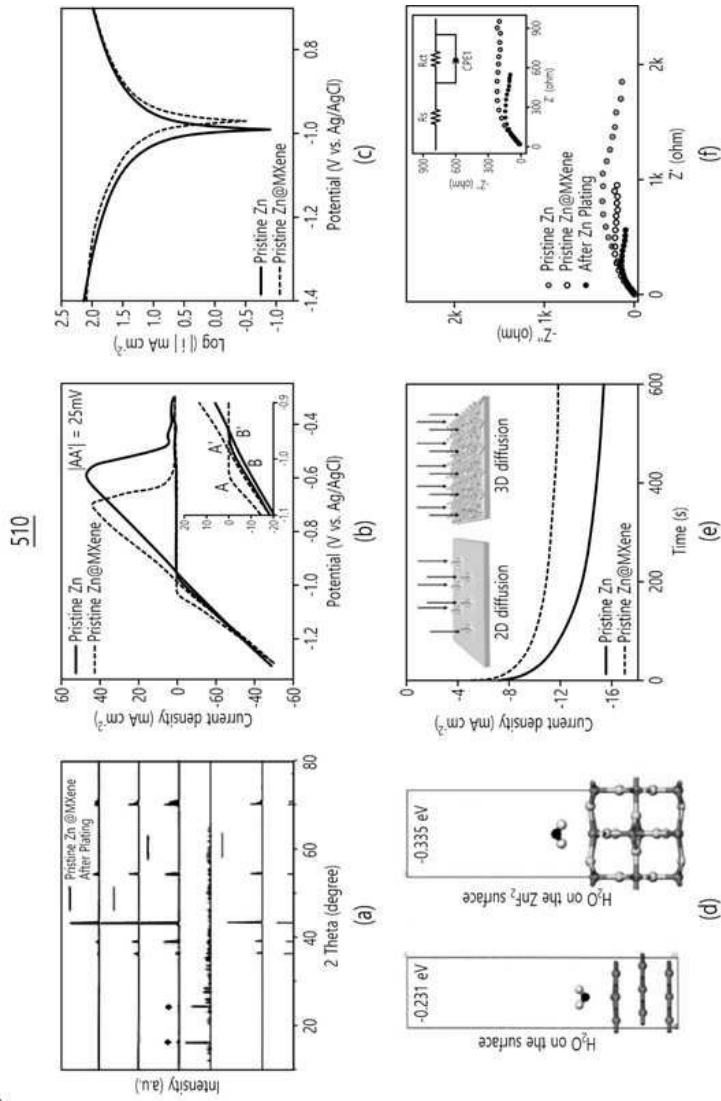
420



도면4c

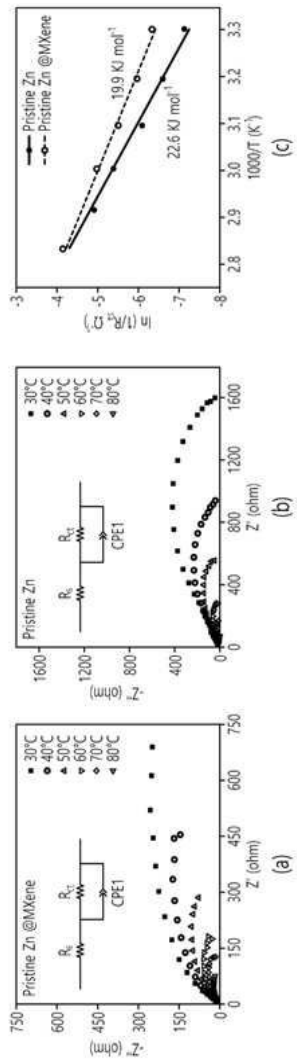


도면5a

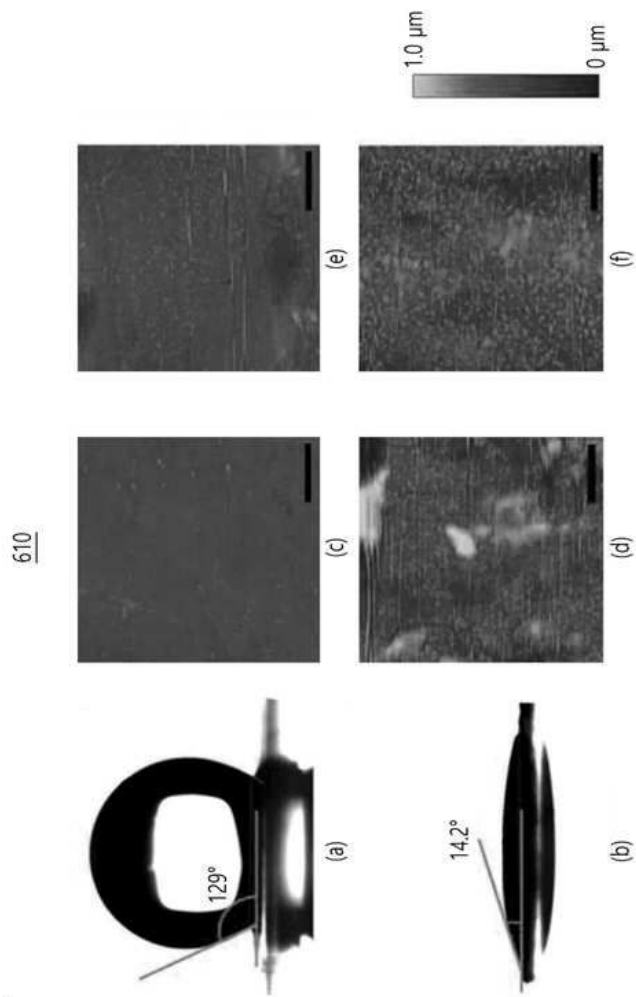


도면5b

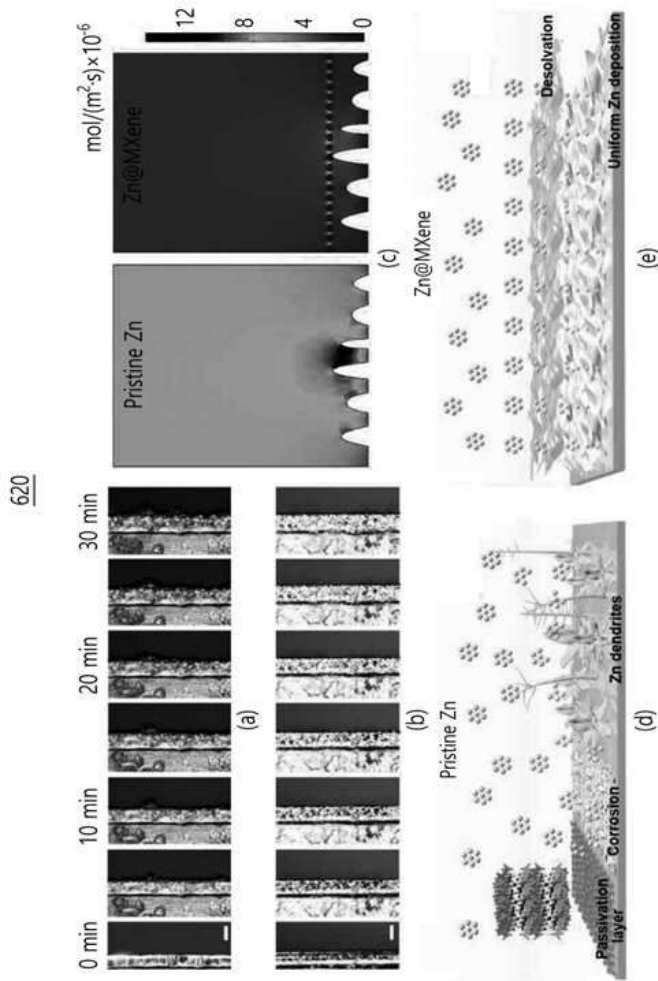
520



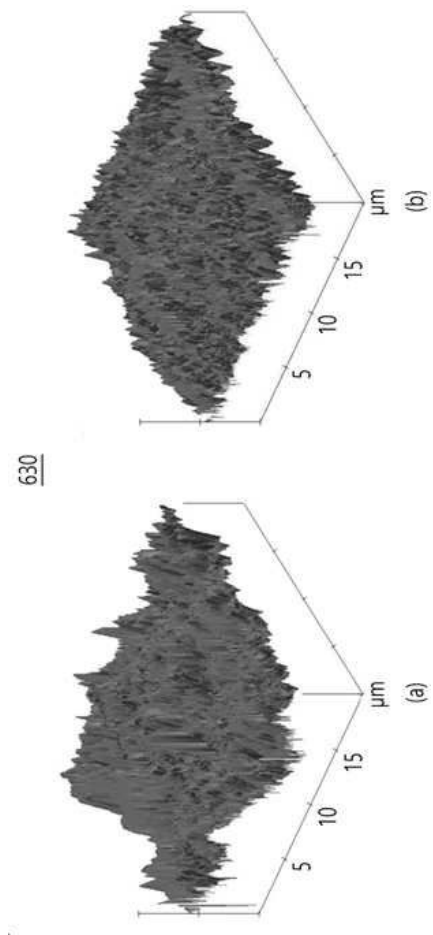
도면6a



도면6b

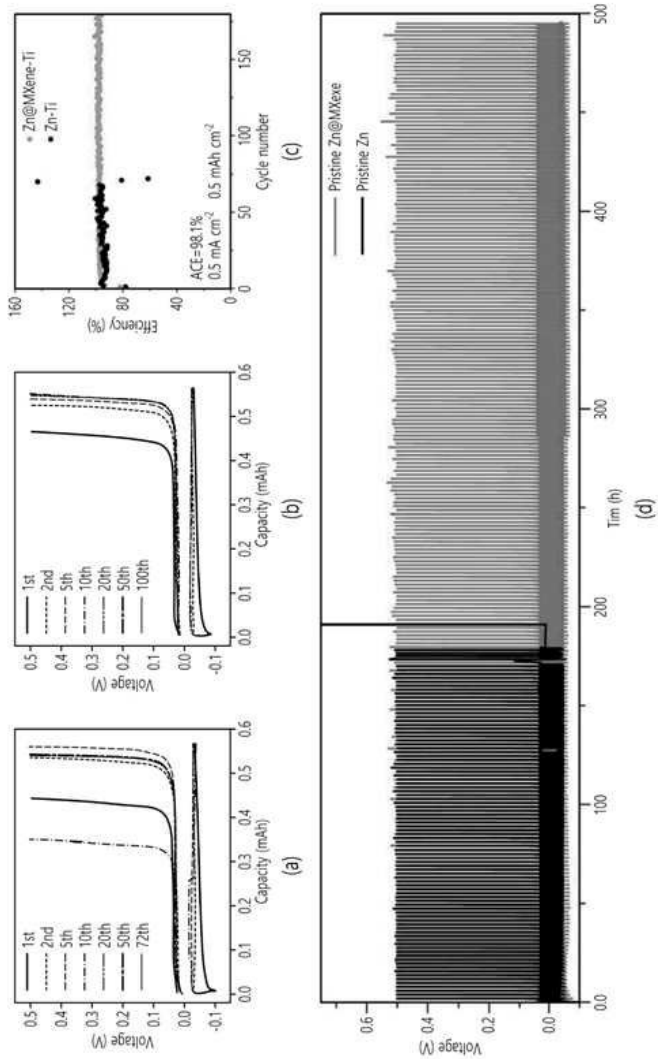


도면6c



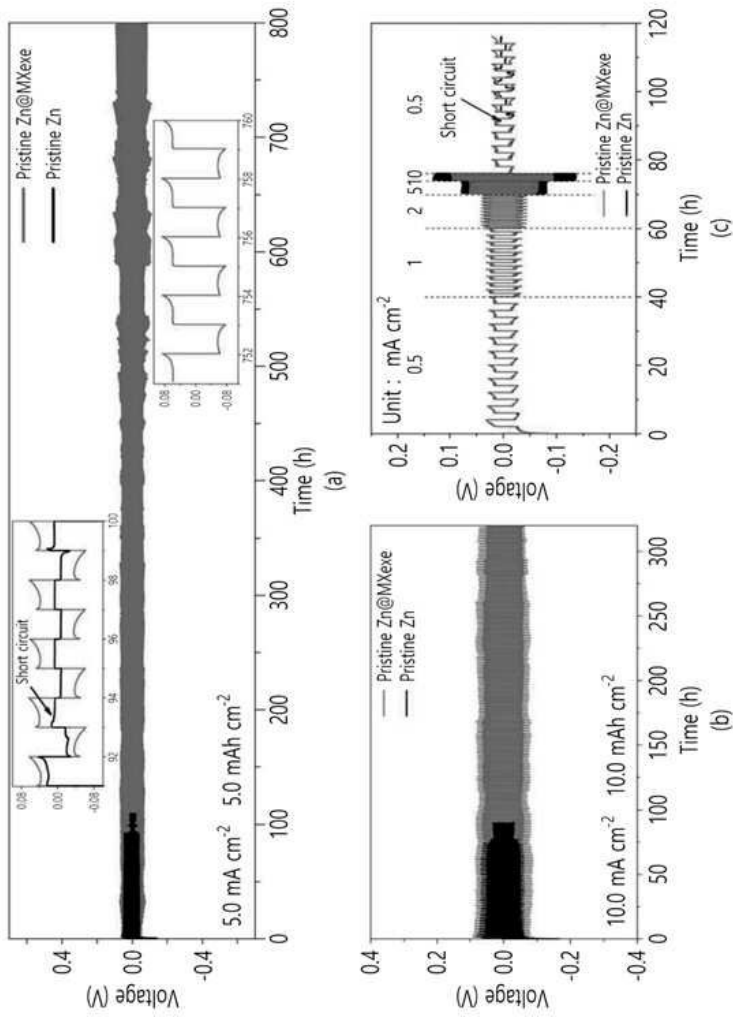
도면7a

710



도면7b

720



도면8

