



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0083417
(43) 공개일자 2024년06월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01G 11/86 (2013.01) H01G 11/40 (2013.01)

H01G 11/52 (2013.01) H01G 11/54 (2013.01)

(52) CPC특허분류

H01G 11/86 (2023.08)

H01G 11/40 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2022-0167539

(22) 출원일자 2022년12월05일

심사청구일자 2022년12월05일

(71) 출원인

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)

(72) 발명자

김대원

서울특별시 송파구 송파대로 345, 316동 1401호 (가락동, 헬리오시티)

윤종현

경기도 용인시 기흥구 서그내로15번길 13-8, 202호 (서천동)

(74) 대리인

김중선, 이형석

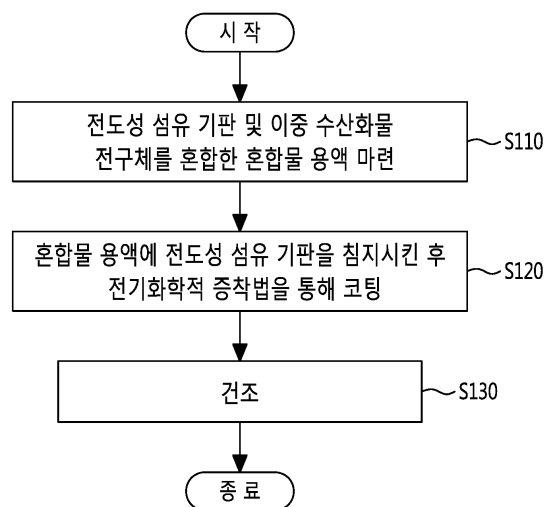
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 전이 금속 기반의 이중 수산화물 전극 및 그의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 이중 수산화물 전극 및 그의 제조 방법에 관한 것으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 전극의 제조 방법은 전도성 섬유 기판을 마련하는 단계, 이중 수산화물 전구체를 혼합한 혼합물 용액을 마련하는 단계, 혼합물 용액에 전도성 섬유 기판을 침지시킨 후 층상 이중 수산화물을 코팅하는 단계 및, 층상 이중 수산화물이 코팅된 전도성 섬유 기판을 건조하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01G 11/52 (2023.08)

H01G 11/54 (2023.08)

Y02E 60/13 (2020.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711161971
과제번호	2021R1C1C1014004
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)
연구과제명	상용화 수준의 자가 구동 인공망막장치 개발을 위한 정전 기반의 전기 자극 장치 및
고효율 에너지 변환 시스템 연구	
기 여 율	1/2
과제수행기관명	경희대학교(국제캠퍼스)
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415181687
과제번호	00154983
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	시장선도를 위한 한국 주도형 K-Sensor 기술개발(R&D)
연구과제명	저전력 센서와 구동을 위한 자립형전원 센서 플랫폼 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	광운대학교산학협력단
연구기간	2022.04.01 ~ 2022.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

전도성 섬유 기판을 마련하는 단계;

이중 수산화물 전구체를 혼합한 혼합물 용액을 마련하는 단계;

상기 혼합물 용액에 상기 전도성 섬유 기판을 침지시킨 후 층상 이중 수산화물을 코팅하는 단계; 및,
층상 이중 수산화물이 코팅된 상기 전도성 섬유 기판을 건조하는 단계;를 포함하는 전극의 제조 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 전도성 섬유 기판은,

니켈 섬유인 것을 특징으로 하는 전극의 제조 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 이중 수산화물 전구체는

코발트, 철, 구리, 니켈, 루테튬, 망간, 몰리브덴, 바나듐, 알루미늄, 은, 이리듐, 크롬, 텅스텐, 티타늄, 팔라듐, 또는 이들의 조합을 포함하는 금속의 수산화물 전구체인 것을 특징으로 하는 전극의 제조 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 혼합물 용액을 마련하는 단계는,

상기 이중 수산화물 전구체 중 상기 코발트 및 상기 철이 동일한 비율로 혼합되는 것을 특징으로 하는 전극의 제조 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 층상 이중 수산화물을 코팅하는 단계는,

전기화학적 증착법(ECD)을 통해 코팅되는 것을 특징으로 하는 전극의 제조 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 전기화학적 증착법은,

-0.1V의 시간대전류(chronoamperometry) 전압을 100초동안 공급하여 수행되는 것을 특징으로 하는 전극의 제조 방법.

청구항 7

이중 수산화물 전구체의 전극 재료가 전도성 섬유 기판 상에 균일하게 코팅되어 있는 형태인 제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 따라 제조된 전극.

청구항 8

제7항에 따른 전극, 전해질 및 세퍼레이터를 포함하는 하이브리드 슈퍼 커패시터.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전이 금속 기반의 이중 수산화물 전극 및 그의 제조 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 전도성 섬유에 코발트-철 기반의 이중 수산화물을 적용함으로써 하이브리드 슈퍼 커패시터의 전기화학적 성능을 향상시킬 수 있는 전극 및 그의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 에너지 소비의 지속적인 증가로 인해 심각한 환경 문제가 발생하고 있으며, 이는 화석 연료의 고갈로 이어지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 전기화학 슈퍼 커패시터(Super Capacitors; SCs) 및 충전식 배터리를 포함한 전기 화학 에너지 저장 시스템이 널리 주목을 받고 있다. 그 중 전기화학 슈퍼 커패시터는 고출력 밀도, 빠른 충방전 속도, 안전, 긴 사이클링 수명, 환경 친화성 및 빠른 재충전 기능으로 인해 집중적으로 연구되고 있다. 이러한 장점을 가진 슈퍼 커패시터는 상업용 배터리, 연료 전지 등과 같은 다른 에너지 저장 시스템에 대한 대안이 되고 있다.

[0003] 슈퍼 커패시터는 전극으로 사용하는 물질(활성 물질) 및 에너지 저장 메커니즘에 따라 전기 이중층 커패시터(Electrical double-layer capacitors; EDLCs), 슈도 커패시터(pseudo capacitor) 및 하이브리드 커패시터로 나뉘어 진다

[0004] 전기 이중층 커패시터는 활성 물질의 표면에 전해질 이온의 가역적 흡착을 통해 전하를 정전기적으로 축적한다. 일반적으로, 탄소 나노 튜브(carbon-based materials such as carbon nanotubes; CNTs), 활성탄(activated carbon; AC) 및 그래핀과 같은 탄소 기반 재료는 높은 표면적, 저렴한 비용, 쉬운 가공성, 다양한 형태 및 제어 가능한 다공성으로 인해 전기 이중층 커패시터의 활성 전극으로 활용된다.

[0005] 한편, 슈도 커패시터의 에너지 저장은 산화환원 반응 또는 전극 표면에서의 특정 이온의 인터칼레이션에 의해 달성되며, 그 결과 전극 상의 가역적인 페러데이 전하 전달이 초래된다. 전기 이중층 커패시터와 비교하여 슈도 커패시터는 빠른 산화 환원 반응과 엄청난 규모의 정전기 전하 확산 및 축적을 포함함으로써 우수한 정전 용량 성능을 입증한다.

[0006] 산화환원 슈퍼 커패시터를 위한 활성 전극으로서, 다양한 전이-금속 산화물(MnO_2 , RuO_2 , NiO , Fe_2O_3 , Co_3O_4 , 및 V_2O_5)뿐만 아니라 전도성 폴리머(PANI, PPy 및 PEDOT)는 산화환원 동역학 및 더 나은 이론 용량을 유도하도록 설계되었다. 그러나, 전기 이중층 커패시터 또는 슈도 커패시터에 의해 처리되는 전기화학적 성능은 효율적인 전기화학 에너지 저장 장치의 개발을 위해 불충분하다.

[0007] 따라서, 커패시터형 전극을 전원으로 하고 배터리형 전극을 에너지원으로 구성하는 하이브리드 슈퍼 커패시터(hybrid SC) 소자는 기존의 전기화학적 슈퍼커패시터(전기 이중층 커패시터 및 슈도 커패시터)의 대안으로 집중적으로 주목받고 있다. 이 시스템은 단일 셀에서 에너지 및 전력 밀도를 향상시키기 때문에 적절한 에너지 저장 장치로 사용된다. 특히, 전기 이중층 커패시터가 제공하는 큰 전력 성능과 우수한 순환 안정성, 그리고 슈도 커패시터가 소유하는 더 큰 비정전 용량 및 높은 에너지 밀도를 결합함으로써, 하이브리드 슈퍼 커패시터는 우수한 에너지 저장 특성을 얻을 수 있다.

[0008] 놀라운 정전 용량과 크게 향상된 에너지 밀도를 달성하기 위해 쉽게 조정할 수 있는 화학 성분과 다양한 재료 특성의 독특한 구조가 표면 산화환원 화학의 핵심으로, 지금까지 Ni, Co, Mn, Ti, Sn, Fe 및 V와 같은 전이 금속 산화물 / 수산화물은 화학적 안정성과 전해질과의 호환성을 통해 에너지 저장 응용 분야에 사용되었다. 잘 정의된 구조, 우수한 표면 형태 및 다양한 금속 조성인 2D 전이 금속 산화물 / 수산화물은 결정 구조에서 전기화학적 성능의 향상을 추구하는 데 사용되었다. 그러나, 단일 금속 수산화물(single-metal hydroxides; 단일 금속 수산화물)은 단순한 구조 때문에 열악한 속도 성능과 낮은 사이클링 안정성의 제한된 전기 화학적 특성을 나타낸다.

[0009] 단일 금속 수산화물과 비교하여, 복합 금속 수산화물(mixed metal hydroxide; MMH) 전기 활성 물질은 복합 금속 원소에서 기인하는 상승 효과로 인해 뛰어난 성능을 보여준다. 복합 금속 수산화물 물질에서, 각 요소는 특정 조

성물에서 중요한 역할을 한다. 또한, 구조 및 화학적 조성 설계를 쉽게 조정하여 향상된 내구성으로 전기화학적 에너지 저장 성능을 높일 수 있다. 이에 따라 복합 금속 수산화물은 고성능 하이브리드 슈퍼 커패시터를 위한 새로운 종류의 전극 소재로 부상하고 있다.

[0010] 최근 2D 나노 물질의 중요한 부류로서 전이 금속 기반 층상 이중 수산화물(layered double hydroxides; LDHs)은 고도로 가역적인 산화환원 동역학, 비용 효율성 및 우수한 구조 / 구성 튜닝 성으로 인해 촉매, 생명 공학 및 전기 화학 분야에서 큰 관심을 끌었다.

[0011] 전이 금속 기반 층상 이중 수산화물의 구조는 양전하를 띤 브루사이트와 같은 층(brucite-like layer)과 층간 전하 보상 음이온이 $[M^{2+}_x M^{3+}_x (OH)_2][A^{n-}]_{x/n} \cdot zH_2O$ 의 일반식을 기반으로 한다. 이 식에서, M^{2+} 및 M^{3+} 는 각각 2가 및 3가의 금속 양이온이고, A^{n-} 은 전하 보상 음이온이다. 브루사이트 형상의 2가 금속 양이온의 일부를 3가 양이온으로 대체함으로써 층의 양전하가 생성되고, 층간 음이온에 의해 보상된다. 이러한 구조를 활용하여, 물질은 슈도 커패시턴스 생성 및 촉매 반응을 위한 풍부한 산화 환원 반응을 가능하게 하는 다중 산화 상태를 갖는다.

[0012] 또한, 화학 원소의 기능화 및 조성의 더 넓은 가능성은 결정성과 입자 크기를 제어하는 것으로 성공적으로 입증되었다. 층상 이중 수산화물의 중요한 특성은 Li-S 배터리의 우수한 잠재력을 보장한다.

[0013] 최근에는 NiCo, CoAl, CoMn, NiAl 및 NiMn과 같은 층상 이중 수산화물이 에너지 변환 및 저장 응용 분야를 위한 우수한 전극 재료로 채택되고 있었다. 또한, 새로운 재료의 광범위한 채택 가능성은 자체 전원 공급 장치에 대해 연구되고 있다.

[0014] 그러나 대부분의 연구는 복잡한 층상 이중 수산화물 나노 구조를 만들기 위해 복잡하고 시간이 많이 걸리는 합성 절차를 구현했으나, 이는 단점으로 작용되고 있다. 결과적으로, 제조 공정 중의 이러한 문제를 극복하기 위해, 우수한 전기 화학적 성능을 나타내는 저렴하고 유망한 대체 전극 재료를 조사하는 것이 매우 요구되고 있는 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0015] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-1059934호(2011.08.26. 공고)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0016] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 전도성 섬유에 코발트-철 기반의 이중 수산화물을 적용함으로써 하이브리드 슈퍼 커패시터의 전기화학적 성능을 향상시킬 수 있는 전극 및 그의 제조 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0017] 상기 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 전극의 제조 방법은 전도성 섬유 기판을 마련하는 단계; 이중 수산화물 전구체를 혼합한 혼합물 용액을 마련하는 단계; 상기 혼합물 용액에 상기 전도성 섬유 기판을 침지시킨 후 층상 이중 수산화물을 코팅하는 단계; 및, 층상 이중 수산화물이 코팅된 상기 전도성 섬유 기판을 건조하는 단계;를 포함할 수 있다.

[0018] 또한, 상기 전도성 섬유 기판은, 니켈 섬유일 수 있다.

[0019] 또한, 상기 이중 수산화물 전구체는 코발트, 철, 구리, 니켈, 루테튬, 망간, 몰리브덴, 마나뒀, 알루미늄, 은, 이리듐, 크롬, 텅스텐, 티타늄, 팔라듐, 또는 이들의 조합을 포함하는 금속의 수산화물 전구체일 수 있다.

[0020] 또한, 상기 혼합물 용액을 마련하는 단계는, 상기 이중 수산화물 전구체 중 상기 코발트 및 상기 철이 동일한 비율로 혼합될 수 있다.

- [0021] 또한, 상기 층상 이중 수산화물을 코팅하는 단계는, 전기화학적 증착법(ECD)을 통해 코팅될 수 있다.
- [0022] 또한, 상기 전기화학적 증착법은, $-0.1V$ 의 시간대전류(chronoamperometry) 전압을 100초동안 공급하여 수행될 수 있다.
- [0023] 상기 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 전극은 이중 수산화물 전구체의 전극 재료가 전도성 섬유 기관 상에 균일하게 코팅되어 있는 형태인 상술한 제조 방법에 중 어느 한 항에 따라 제조될 수 있다.
- [0024] 상기 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 하이브리드 슈퍼 커패시터는 상술한 전극, 전해질 및 세퍼레이터를 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0025] 상기와 같은 본 발명에 따른 전극 및 그 제조 방법은 전도성 섬유에 코발트-철 기반의 이중 수산화물을 적용함으로써 하이브리드 슈퍼 커패시터의 전기화학적 성능을 향상시킬 수 있다.
- [0026] 또한, 전기화학적 증착법을 통해 전도성 섬유에 이중 수산화물을 코팅함으로써 전극 표면의 전도성 및 표면적을 효율적으로 증가시킬 수 있다.
- [0027] 또한, 이중 금속 수산화물 기반의 전기활성 물질을 이용함으로써 독특한 구조 및 화학적 조성 설계로 인한 우수한 전기화학적 특성을 보일 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전극의 제조 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 전극의 형성 과정의 예를 도시한 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 전극의 재료 분석 결과를 도시한 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 이중 수산화물의 상이한 비율에 따른 전극의 전기화학적 성능 비교를 도시한 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 최적화된 이중 수산화물 전극의 전기화학적 성능 결과를 도시한 도면이다.
- 도 6 및 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 이중 수산화물 전극을 활용하여 제조된 하이브리드 슈퍼 커패시터의 전기화학적 성능 결과를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는 바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다.
- [0030] 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.
- [0031] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 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.
- [0032] 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 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가진 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0033] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시 예를 보다 상세하게 설명하고자 한다. 본 발명을 설명함에 있어 전체적인 이해를 용이하게 하기 위하여 도면상의 동일한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를

사용하고 동일한 구성요소에 대해서 중복된 설명은 생략한다.

- [0035] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전극의 제조 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [0036] 본 발명의 전극은 이중 수산화물 전구체의 전극 재료가 전도성 섬유 기관 상에 균일하게 코팅되어 있는 형태로, 후술하는 방법에 따라 제조될 수 있다.
- [0037] 도 1을 참조하면, 전도성 섬유 기관을 마련하고, 이중 수산화물 전구체를 혼합한 혼합물 용액을 마련한다(S110). 여기서, 전도성 섬유 기관은 니켈 섬유일 수 있다. 그리고, 이중 수산화물 전구체는 코발트, 철, 구리, 니켈, 루테튬, 망간, 몰리브덴, 바나듐, 알루미늄, 은, 이리듐, 크롬, 텅스텐, 티타늄, 팔라듐, 또는 이들의 조합을 포함하는 금속의 수산화물 전구체일 수 있다.
- [0038] 이때, 이중 수산화물 전구체를 혼합한 혼합물 용액은 이중 수산화물 전구체 중 코발트 및 철이 동일한 비율로 혼합될 수 있다. 바람직하게, 코발트 전구체와 철 전구체의 비율은 0.5:0.5일 수 있다.
- [0039] 이후, 혼합물 용액에 전도성 섬유 기관을 침지시킨 후 층상 이중 수산화물을 코팅한다(S120). 이때, 전기화학적 증착법(electrochemical deposition; ECD)을 통해 코팅될 수 있다. 여기서, 전기화학적 증착법은, -0.1V의 시간대전류(chronoamperometry) 전압을 100초동안 공급하여 수행될 수 있다. 이에 전도성 섬유 기관 상에 층상 이중 수산화물이 균일하게 코팅될 수 있다. 코팅이 완료되면, 제조된 모든 전극을 모두 세척할 수 있다.
- [0040] 그리고, 층상 이중 수산화물이 코팅된 전도성 섬유 기관을 건조한다(S130).
- [0042] <실시예>
- [0043] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 전극의 형성 과정의 예를 도시한 도면이다.
- [0044] 도 2를 참조하여 실온에서 전도성 섬유 기관 상의 단일 및 복합 금속 수산화물을 전기화학적 증착법을 통해 코팅함으로써 전극의 형성 과정을 설명한다.
- [0045] 우선, $1 \times 2 \text{ cm}^2$ 크기의 상업용 니켈 섬유 기관을 세척하여 마련하고, 탈이온수(DI water) 30mL에 $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (코발트 전구체)와 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (철 전구체)의 금속 전구체를 혼합하여 혼합물 용액을 마련하였다. 이때, 수용액의 농도는 10mM으로 고정하였다.
- [0046] 도 2의 (a)를 참조하면, 전기화학적 증착법을 수행하는 동안 혼합물 용액(220)에 침지시킨 기준 전극(SCE) 및 카운터 전극(Pt)과 함께 니켈 섬유 기관을 작업 전극(210)으로 사용하였다. 이때, 니켈 섬유 기관 상의 전극 재료를 균일하게 코팅하기 위해 -0.1V의 시간대전류(chronoamperometry) 전압을 100초동안 공급하여 전기화학적 증착법이 수행되었다. 이후, 코팅된 전극은 80°C의 컨벡션 오븐에서 5시간 동안 건조되었다.
- [0047] 한편, 최상의 전기화학적 성능을 얻기 위해 코발트 및 철의 조성 비율을 변경함으로써 비교하였다.
- [0048] 전극은 각각 코발트 전구체와 철 전구체의 비율(Co-Fe ratios)을 0.00:1.00, 0.125:0.875, 0.25:0.75, 0.5:0.5, 0.75:0.25, 0.875:0.125, 그리고 1.00:0.00로 상이하게 혼합하였고, 이들은 $\text{Fe}(\text{OH})_2$, CoFe LDH1, CoFe LDH2, CoFe LDH3, CoFe LDH4, CoFe LDH5, 및 $\text{Co}(\text{OH})_2$ 로 표시하였다.
- [0049] 최적화된 $\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}$ 의 이중 수산화물 전극은 CoFe LDH로 표시하였다.
- [0050] 이에, 도 2의 (b)는 니켈 섬유 기관 상에 철이 코팅된 단일 수산화물($\text{Fe}(\text{OH})_2$) 구조를 나타내며, 도 2의 (c)는 코발트와 철이 코팅된 층상 이중 수산화물(CoFe LDH) 구조를 나타내고, 도 2의 (d)는 코발트가 코팅된 단일 수산화물($\text{Co}(\text{OH})_2$) 구조를 나타낸다.
- [0052] <평가 1 : 물리적 특성 평가>
- [0053] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 전극의 재료 분석 결과를 도시한 도면이다.

- [0054] 도 2 및 도 3을 참조하여, 실시예에 따라 제조된 전극의 물리적 특성을 분석한 결과를 설명한다.
- [0055] 도 3을 참조하면, 제조된 전극의 X선 회절(XRD) 및 X선 광전자 분광법(XPS) 스펙트럼을 나타낸다.
- [0056] 도 3의 (a)는 다양한 조성물의 결정상을 조사하기 위해, $\text{Co}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 및 CoFe LDH의 XRD 분석 결과를 나타낸다.
- [0057] 추가적으로, 니켈 함유 기판의 분석은 그의 결정 구조를 상술한 전극들과 비교하기 위해 수행되었다. 모든 전극의 XRD 패턴은 니켈 함유 및 니켈 함수에 낮은 양의 활성 물질 증착과 관련된 높은 강렬한 피크로 구성된다.
- [0058] $\text{Co}(\text{OH})_2$ 의 XRD 피크는 물질이 삼방정계 상(rhombohedral phase)으로 결정화되었음을 시사하며, 이는 JCPDS 카드 번호 731213과 일치한다. 20.235, 39.123, 50.484, 65.421 및 69.269°에서의 2 θ 피크는 각각 (003), (012), (015), (110) 및 (113)의 평면을 나타낸다.
- [0059] 유사하게, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 는 직교상(JCPDS no.290713)으로서 인덱싱될 수 있다. 24.736, 38.876, 42.963 및 62.769°에서 2 θ 피크는 각각 (110), (130), (111) 및 (221)의 평면을 시연한다.
- [0060] SMH($\text{Co}(\text{OH})_2$ 및 $\text{Fe}(\text{OH})_2$) 및 니켈 함유 기판의 이러한 스펙트럼을 분석한 결과, CoFe LDH의 최종 결정 구조는 $\text{Co}(\text{OH})_2$ 의 삼방정계 상(rhombohedral phase)과 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 의 사방정계 상(orthorhombic phase)의 조합임을 알 수 있다.
- [0061] CoFe LDH의 XRD 패턴은 $\text{Co}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 및 니켈 함수에 존재하는 거의 모든 피크를 눈에 띄는 변화 없이 표시한다. 이러한 모든 피크는 불순물 상이 없는 MMH의 형성을 나타낸다. 어떤 현저한 변화도 없이, 모든 XRD 피크들은 높은 위상 순도를 갖는 Co 및 Fe 수산화물로 구성된 바이메탈 LDH 구조의 형성을 제공하였다.
- [0062] X선 광전자 분광법 분석은 최적화된 CoFe-LDH의 화학적 성질 및 전자 구조의 정량적 검사를 위해 수행되었다.
- [0063] 도 3의 (b)에서, 와이드-스캔 측량 스펙트럼은 Ni, Co, Fe, O 및 C의 존재를 확인한다. 이들 원소 이외에도, Ni_{2p} 및 Cl_{1s} 는 또한 전도성 함유 및 탄소로부터 기원되는 스펙트럼에서 각각 제시된다.
- [0064] 도 3의 (c) 내지 (e)는 각각 Co 2p, Fe 2p 및 O 1s의 고해상도 XPS 스펙트럼을 보여준다.
- [0065] 도 3의 (c)의 Co 2p 스펙트럼의 경우, Co 2p $_{3/2}$ 에 대한 정량적 피크 피팅 공정은 다양한 코어 및 원자가 밴드 상호작용으로 인해 다소 복잡하다.
- [0066] 샘플에서 측정된 Co 2p $_{3/2}$ 피크의 조사는 780.2, 782.49, 785.47 및 789.12 eV에 위치한 4개의 피크로 구성되고, 팔면체 부위, 사면체 부위, 사면체 부위에서 Co^{2+} , 사면체 부위에서 Co^{2+} 에 기인한다는 것을 보여준다.
- [0067] 따라서, 대부분의 고 스핀 Co^{2+} 양이온은 CoFe LDH 스피넬 격자 내의 팔면체 부위를 차지한다. 780.2 및 796.5eV에 위치한 Co 2p $_{3/2}$ 및 2p $_{1/2}$ 의 2개의 스핀 레도 피크는 전형적인 $\text{Co}^{2+}\text{-O}^{2-}$ 결합이며, 이는 Co^{2+} 원자가 형태의 우세를 확인한다. 785.8 및 802.7eV에 위치한 두 개의 위성 피크도 Co^{2+} 에 할당할 수 있다. 780.4 eV에서 나타난 피크는 샘플 내의 Co^{3+} 상태의 존재를 나타낸다. 인접한 Co^{2+} 및 O^{2-} 오비탈 사이의 교차로에 대한 전하 전달 공정의 극단적인 감도로서, 위성 대 코어 피크 강도는 비교예의 기하학적 구조 및 결합에 크게 의존한다. Co^{2+} 에서 Co^{3+} 로의 산화의 가능성은 코발트의 산화가 Fe^{3+} 에서 Fe^{2+} 로 환원된 철 양이온에 의해 보상되거나 Co^{2+} 가 사면체 부위로 재배치되는 경우 완전히 불가능하지는 않다.
- [0068] 낮은 스핀 Co^{3+} 는 Co^{3+} 레도에 쌍을 이루지 않은 원자가 전자가 존재하기 때문에 높은 스핀 Co^{2+} 보다 훨씬 약한 위성 현상을 일으킨다. 따라서, 이러한 모든 주요 피크 및 위성 구조는 $\text{Co}(\text{OH})_2$ 및 CoOOH에 대한 복합 $\text{Co}^{2+}/\text{Co}^{3+}$ 화학 상태를 대표한다.
- [0069] 도 3의 (d)에 도시된 바와 같이, Fe 2p 스펙트럼은 CoFe LDH 샘플에서 Fe 이온의 2개의 비등가 결합의 존재를 보여주며, 이는 CoFe LDH 샘플에서 Fe 이온이 점유하는 2종류의 격자 부위가 있다는 것과 일치한다. CoFe LDH 샘플의 경우, 스펙트럼은 710.74 및 716.41 eV의 Fe 2p $_{3/2}$ 결합 에너지와 724.71 및 732.19 eV의 Fe 2p $_{1/2}$ 결합

에너지를 나타낸다. CoFe LDH 샘플의 더블릿은 팔면체 부위의 Fe^{3+} 이온과 사면체 부위의 Fe^{3+} 이온에 각각 기인할 수 있다. CoFe LDH 샘플에서, 710.74eV에서의 Fe 2p_{3/2} 결합 에너지의 이중항과 724.71eV에서의 Fe 2p_{1/2} 결합 에너지의 배율은 팔면체 부위에서 Fe^{3+} 이온의 기여로 인한 반면, 716.41eV에서의 Fe 2p_{3/2} 결합 에너지의 더블릿과 732.19eV에서의 Fe 2p_{1/2} 결합 에너지의 더블릿은 Fe^{3+} 의 기여로 인한 것이다. 사면체 부위의 이온, 이러한 주요 피크와 위성 구조는 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 및 FeOOH 에 대한 복합 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 화학 상태를 대표한다.

[0070] 도 3의 (e)는 두 개의 피크로 디컨볼루팅될 수 있는 O 1s 스펙트럼을 나타낸다. 528.72eV (O1)에 위치한 피크는 전이 금속에 결합된 산소에 대해 일반적으로 볼 수 있으므로 O^{2-} 와 Co^{2+} 종 사이의 결합의 존재를 확인한다. 531.11eV(O2)에 위치하는 피크는 표면 흡착물 및 저배위 산소 이온에 할당될 수 있으며, 이는 표면 또는 특정 결합에 존재할 수 있다. 동등한 XPS 결합 에너지를 갖는 수많은 가능한 오염물 및 결합이 있고 O 1s 스펙트럼에서 유사한 유형의 피크가 수산화물을 함유하는 코발트 및 철에서 관찰되었으며, 이러한 결과는 주위 흡착, 미동기화 격자 산소, $\text{Co}(\text{OH})_2/\text{Fe}(\text{OH})_2$ 표면 상으로부터 스피넬의 표면까지 일 수 있다. 더욱이, 낮은 수준의 오염물 또는 결합을 완전히 무시하는 것은 불가능하며, CoFe LDH 샘플 O 1s 스펙트럼에서의 산소 강도는 표면 산화물을 예시하는 것으로 보인다.

[0071] 결국, 이러한 XRD 및 XPS 특성화는 본 발명에서 제조된 CoFe LDH 전극이 위상 순도와 함께 우수한 결정성을 가지고 있음을 나타낸다.

[0072] 비표면적 및 기공 크기 분포는 전기화학적 슈퍼 커패시터 성능에서 상당한 중요성을 나타낸다. 도 3의 (f) 내지 (g)는 질소 흡착-탈착 등온선 플롯을 나타낸다. CoFe LDH는 재료에 단층 다층 흡착을 보장하는 유형 IV 등온선을 따른다. 히스테리시스 루프는 도 3의 (f)에 나타난 CoFe LDH의 메조다공성 성질을 나타내는 0 - 1.0의 압력 (P/P0) 범위 내에서 관찰되었다. 비표면적은 138.09 m²/g로 확인되었다. 층상 이중 수산화물 구조의 형성은 보다 활성인 결합 부위의 존재로 인해 발생할 수 있는 비표면적을 향상시킨다. 평균 기공 직경 및 총 기공 부피는 각각 6.112 nm 및 0.211 cm³/g인 것으로 나타났다.

[0073] 도 3의 (g)에 나타난 바와 같이, CoFe LDH 물질의 메조다공성 성질은 2-50 nm 범위 내에서 더 많은 수의 기공에 의해 검증된다. 개선된 표면적은 이온 축적을 위한 풍부한 부위를 제공할 뿐만 아니라 패러데이 전하 저장 메커니즘의 개선을 위해 계면에서 전극-전해질 상호작용을 향상시킬 수 있다.

[0075] <평가 2: 전기화학적 특성 평가>

[0076] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 이중 수산화물의 상이한 비율에 따른 전극의 전기화학적 성능 비교를 도시한 도면이다.

[0077] 도 2 및 도 4를 참조하여, 이중 수산화물 전극에서의 코발트 전구체와 철 전구체의 최적화된 비율을 검증하기 위하여 전기화학적 측정을 수행하였다. 복합재의 경우, 전기화학적 성능이 성분 함량과 연관된다는 것이 발견되었다. 따라서 다양한 샘플을 서로 다른 비율로 제작하고 모든 샘플의 전기화학적 성능을 전해질로 1M KOH를 사용하여 0.0V ~ 0.55V의 전위 범위의 3상 전극 시스템으로 분석하였다.

[0078] 도 4의 (a)는 코발트(Co) 대 철(Fe)의 상이한 비율을 갖는 전기화학적 활성의 성공적인 튜닝을 검증하기 위해, 50mV/s의 스캔 속도에서 $\text{Fe}(\text{OH})_2$, CoFe LDH1, CoFe LDH2, CoFe LDH3, CoFe LDH4, CoFe LDH5 및 $\text{Co}(\text{OH})_2$ 전극의 CV 곡선을 나타낸다. Co 대 Fe 비율이 점진적으로 증가함에 따라 CV의 적분 면적과 전류 밀도가 급격히 증가한 다음 0.5 : 0.5 이상으로 추가 증가하면 감소하기 시작했다. 그 결과, CoFe LDH3 전극의 적분 면적 및 전류 밀도는 다른 전극의 적분 면적 및 전류 밀도보다 높았다.

[0079] 또한, 도 4의 (b)는 CV 결과의 유효성을 검증하기 위해 비교 GCD 곡선을 나타낸다. 1.0mA/cm²의 전류 밀도에서 비선형 삼각형 충방전 플롯은 각 전극의 배터리 유형 거동을 보여준다. 다른 전극과 비교하면, CoFe LDH3 전극의 충방전 시간이 가장 길었고, 이는 LDH 구조를 갖는 최적화된 샘플에 의해 전달되는 뛰어난 에너지 저장 성능을 나타낸다.

[0080] 도 4의 (c)는 GCD 곡선에 표시된 방전 시간에 따라, 계산된 모든 전극의 면적 용량 값을 나타낸다. 0.8mA/cm² ~

5.0mA/cm²의 인가된 전류 밀도에서, 모든 전극의 모든 방전 시간을 고려하여 계산되었다. 전극의 면적 용량은 수학적 분석에 의해 계산된 GCD의 방전 시간에 비례한다. 샘플 중에서 CoFe LDH3의 우수한 전기 화학적 성능이 입증되었다. 이 샘플은 실제 용량의 가장 높은 계산 값을 갖는다. CoFe LDH3의 뛰어난 성능은 단일 금속 수산화물 및 기타 화합물의 성능을 능가한다. 구체적으로, CoFe LDH3은 1.0mA/cm²의 인가 전류 밀도에서 82 μAh/cm²의 면적 용량을 제공했는데, 이 값은 Co(OH)₂ 및 Fe(OH)₂보다 각각 2배 및 4배 더 높다. CV 및 GCD 측정의 전기화학적 거동에 따라, 이중 수산화물 전극에서 Co 및 Fe의 최적화된 비율이 확인되었다.

[0081] 더욱이, 도 4의 (d)와 같이 상이한 Co 대 Fe 비를 갖는 모든 전극의 나이퀴스트 플롯은 10,000 내지 0.01Hz 범위의 다양한 주파수에서 EIS 측정을 사용하여 얻어졌다. CV 및 GCD 측정에서 파생된 실험 결과는 EIS 스펙트럼의 특성화와 정확히 일치한다. 일반적으로, 높은 중간 주파수 영역에서 더 낮은 직경의 반원은 전기 전도성을 갖는 더 촉진된 전하 전달을 나타내고, 낮은 주파수 영역에서 직선을 갖는 더 가까운 가상의 축은 이상적인 용량성 거동을 나타냄으로써 더 낮은 고유 저항을 나타낸다. 이러한 관점에서, 최적화된 CoFe LDH3 전극이 다른 전극들보다 더 큰 전도성과 낮은 내부 저항을 나타냈다는 것은 명백하다고 할 수 있다. 나이퀴스트 플롯의 이미지는 CoFe LDH3 우수한 전극의 EIS 피팅을 나타낸다. 입증된 등가 회로에 따르면, 고유 저항 (Rs) 및 전하 전달 저항 (Rc)의 정확한 값은 각각 약 2.2 Ω 및 3.3 Ω로 계산되었다.

[0082] <평가 3 : 최적화된 이중 수산화물 전극의 전기화학적 특성 평가>

[0083] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 최적화된 이중 수산화물 전극의 전기화학적 성능 결과를 도시한 도면이다.

[0084] 도 5를 참조하여, 최적화된 비율의 이중 수산화물 전극인 CoFe LDH(CoFe LDH3)의 에너지 저장 성능을 CV 및 GCD 플롯 결과로 설명한다.

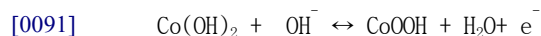
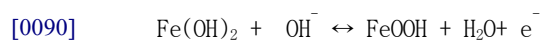
[0085] 도 5의 (a)는 10 ~ 100mV/s의 다양한 스캔 속도에서 CoFe LDH 전극의 CV 곡선을 나타낸다. 낮은 스캔 속도에서, 전기 활성 물질은 CV 곡선에서 양호한 산화환원 피크를 나타낸다. 그러나, 산화환원 피크는 주사 속도가 점차 증가함에 따라 양수(산화 상태에서) 및 음수(환원 상태에서) 방향으로 약간 이동하였다. 이것은 전기 활성 물질과 수성 전해질 사이의 빠른 가역적 산화 환원 반응으로 인한 것이다.

[0086] 또한, 더 큰 CV값과 함께 더 높은 피크 전류 밀도 값이 왜곡없이 입증되었다.

[0087] 도 5의 (b)는 0.8, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 및 5.0mA/cm²의 다양한 인가 전류 밀도에서 충전/방전 플롯을 나타낸다. 비선형 삼각형 GCD 프로파일은 0.1V와 0.2V 사이의 뚜렷한 전위 고원으로 표시된다. CoFe LDH의 배터리 유형 페러데이(Faradaic) 거동은 CV 곡선의 산화 환원 피크와 GCD 곡선의 충전 / 방전 고원에서 확인되었다.

[0088] 이중(코발트-철) 수산화물 전극의 경우, 잘 정의된 산화환원 피크는 다음과 같은 페러데이 반응의 조합을 사용하여 설명될 수 있으며, 이는 제조된 전극의 강한 슈도 커패시터 특성을 나타낸다.

[0089] <화학식 1>



[0092] 실제로, CoFe LDH 전극의 전기화학적 커패시턴스는 <화학식 1>에 나타난 바와 같이, 알칼리성 매질에서 OH⁻이온의 존재하에 Fe²⁺/Fe³⁺ 및 Co²⁺/Co³⁺ 종을 포함하는 준가역적 전하 수송 절차에 기인할 수 있다.

[0093] 도 5의 (c)는 CoFe LDH의 더 높은 레이트 성능을 나타낸다. 획득한 면적 용량 값과 함께 전극은 GCD 측정 2,000 회 사이클 후에도 초기 면적 용량의 93%를 유지한다. 장기 순환 안정성 시험은 1mA/cm²의 전류 밀도에서 수행되었다. CoFe LDH 전극에서, 원소 Co는 Fe의 열악한 레이트 성능을 향상시킨다.

[0094] 따라서, 금속 조성물의 상승 효과와 함께, 상당한 용량 손실 없이 안정한 사이클링이 입증된다.

[0095] 이 경우, 도 5의 (d)와 같이 사이클링 테스트 전후에 기록된 나이퀴스트 플롯은 이 전극의 우수한 속도 성능을 입증한다. EIS 분석에서, 전하 전달 능력은 주로 전자 전달 동역학의 속도와 관련된다. 각 플롯(사이클링 테스트 전후)을 대조함으로써, 두 EIS 스펙트럼 사이에 뚜렷한 왜곡이 없음을 알 수 있다. 그 결과 2,000회의 충전/방전 사이클 후에도 뛰어난 속도 성능과 사이클링 안정성 성능을 얻을 수 있었다.

- [0097] <평가 4 : 최적화된 이중 수산화물 전극 기반의 하이브리드 슈퍼 커패시터의 전기화학적 특성 평가>
- [0098] 도 6 및 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 이중 수산화물 전극을 활용하여 제조된 하이브리드 슈퍼 커패시터의 전기화학적 성능 결과를 도시한 도면이다.
- [0099] 실시예에서, 이중 수산화물 전극(CoFe LDH) 기반 하이브리드 슈퍼 커패시터 장치의 성능 평가를 실시하였다.
- [0100] 도 6의 (a)는 하이브리드 슈퍼 커패시터(HSC) 장치 및 두 전극의 전하 저장 메커니즘의 개략도를 나타낸다.
- [0101] 본 발명의 하이브리드 슈퍼 커패시터는 양극(100), 음극(130), 세퍼레이터(120), 및 전해질로 구성된다. 페러데이 전극의 작동 전압 및 용량을 늘리려면 페러데이 및 정전 용량 전극을 결합하여 하이브리드 슈퍼 커패시터를 제작하는 것이 중요하다.
- [0102] 즉, 하이브리드 슈퍼 커패시터를 조립하기 위해 층상 이중 수산화물인 CoFe LDH의 배터리형 페러데이 전극을 양극(100)으로 활용하고, 활성탄(AC)의 전기 이중층(EDL) 정전용량 전극을 음극(130)으로 활용했다. 용량성형 음극(130)의 기능으로서, 탄소 기반의 높은 표면적은 안정적이고 넓은 표면적에 걸쳐 전하의 저장을 가능하게 한다. 하이브리드 슈퍼 커패시터 장치를 위해, 두 전극 모두 1 M KOH 전해질에 침지된 여과지로 분리되었다. 이후, 밀봉 기계를 사용하여, 전해질의 건조를 방지하기 위해 제조된 장치를 완전히 밀봉하였다. 궁극적으로, 유연하고 안정적인 슈퍼 커패시터 장치를 구성하여 두 전극 시스템의 전하 저장 성능을 측정했다.
- [0103] 도 6의 (b) 내지 (e)를 통해 최종 슈퍼 커패시터 소자에서 두 전극의 전기화학적 성능을 나타낸다. CV 곡선은 0.6 내지 1.6 V 범위의 상이한 전위범위(potential window)에 대해 얻어졌다. 곡선의 모양을 번갈아 가며 사용하지 않고, 제작된 슈퍼 커패시터 장치는 1.6V의 점진적으로 확장된 전위 창을 나타낸다. 도 6의 (b)와 같이, 모든 CV 곡선은 30mV/s의 고정 스캔 속도로 기록되었다. 또한, GCD 측정은 0.6 내지 1.6 V의 전위 범위에서 수행되었다. 도 6의 (c)는 곡선의 비교적 대칭적인 삼각형 형상을 나타낸다. 여기서, CV 및 GCD 곡선에 현저한 왜곡이 없기 때문에 잠재적인 범위가 0 - 1.6 V로 확인되었다.
- [0104] 0 - 1.6V의 최대 전위범위의 경우, CV 곡선은 10 ~ 200mV/s의 다양한 스캔 속도로 측정되었다. 높은 스캔 속도에서도 CV 곡선은 명확한 산화 환원 피크와 상당한 왜곡을 나타내지 않았다. 배터리형 전극(110)의 산화환원 피크와는 달리, 슈퍼커패시터 소자의 모든 CV 곡선은 EDLC 타입 용량성 전극(130)의 존재 때문에 준 직사각형 형상이다. 또한, GCD 측정은 2.0 ~ 15.0 mA/cm² 범위의 다양한 전류 밀도에서 수행되었으며, 그 결과는 도 6의 (e)에 나타낸다. 여기서, 하이브리드 슈퍼 커패시터의 양호한 성능은 GCD 곡선의 대칭-삼각형 형상에서 명확하게 볼 수 있다.
- [0105] 또한, 실제 커패시턴스 값은 GCD 측정으로부터 도출되었으며 도 7의 (a)에 나타낸다. 전류 밀도의 2.0 ~ 15.0 mA/cm²에서 모든 곡선의 방전 시간을 신중하게 고려하고 방전 시간, 전위 창 및 활물질의 총 면적을 기준으로 면적 정전 용량, 에너지 밀도 및 전력 밀도를 계산하는데 사용되었다. 실제 정전 용량의 값은 2.0mA/cm²에서 최대 70 μF/cm²가 될 수 있다.
- [0106] 도 7의 (b)는 전력 밀도 대 에너지 밀도의 라곤 플롯을 나타낸다.
- [0107] 하이브리드 슈퍼 커패시터의 획득된 에너지 및 전력 밀도는 Fe₂O₃/CN, FeC₂O₄/FeOOH-CNT, NiCo-LDH, CoMn-LDH, Co(OH)₂@Ni-mesh 및 Fe₂O₃와 같은 종래의 슈퍼 커패시터와 비교된다. 이는, 본 발명의 단일 수산화물/이중(복합) 수산화물 기반의 전극에 대한 보다 우수한 성능을 보여주고 있다. 높은 면적 정전 용량과 작동 전압으로 인해 제작된 슈퍼 커패시터는 1.6mW/cm²의 전력 밀도로 최대 0.09mWh/cm²의 최대 에너지 밀도를 제공한다.
- [0108] 또한, 장기 사이클링 안정성 테스트는 전류 밀도의 3mA/cm²에서 수행되었다. GCD 측정의 2,000 사이클 후의 하이브리드 슈퍼 커패시터 장치는 그림 7의 (d)와 같이 초기 용량의 약 91 %를 유지했다. 이러한 높은 속도 성능과 우수한 전기 화학 활성으로 인해 슈퍼 커패시터 장치를 사용하여 상업용 빨간색 LED를 조명했다. 거의 3.0V 까지 충전한 후 빨간색 LED를 밝게 비출 수 있었다. 밝기는 100초 이상 유지되었다.
- [0109] 결국, 본 발명의 전극을 기반으로 한 슈퍼 커패시터(CoFe LDH NF/AC CF)는 실현 가능한 자체 전원 공급 전자 시스템으로 입증되었다.

[0110] 마지막으로, 도 7의 (e) 및 (f)은 유연한(flexible) 하이브리드 슈퍼 커패시터의 기계적 특성 평가를 나타낸다. 도 7의 (e)와 같이, 0 내지 180°의 다양한 굽힘 각도 하에서, 측정된 CV 형상에서는 명백한 차이가 관찰되지 않았다.

[0111] 또한, 도 7의 (f)와 같이, 유연한 하이브리드 슈퍼 커패시터의 고성능은 100회 굽힘 사이클 후에도 유지되었다. 플롯된 정전 용량은 거의 일정하게 유지되므로 이 장치의 유연성이 뛰어나다. 각 벤딩 사이클에 대응하는 CV 곡선은 도 7의 (f) 인셋에 제공되어, 형상의 왜곡이 없는 장치의 유연한 특성을 확인한다. 이러한 분석을 바탕으로 발명된 하이브리드 슈퍼 커패시터는 플렉시블 전자 장치에서의 전원으로서 응용될 수 있는 가능성을 보여준다.

부호의 설명

[0112] 100: 이중 수산화물 전극(양극)

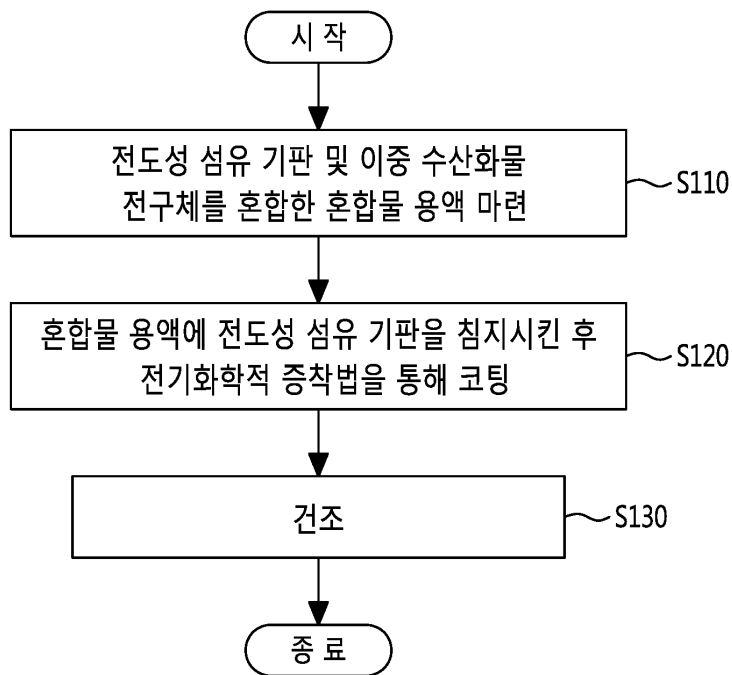
110: 전도성 섬유 기판

120: 세퍼레이터

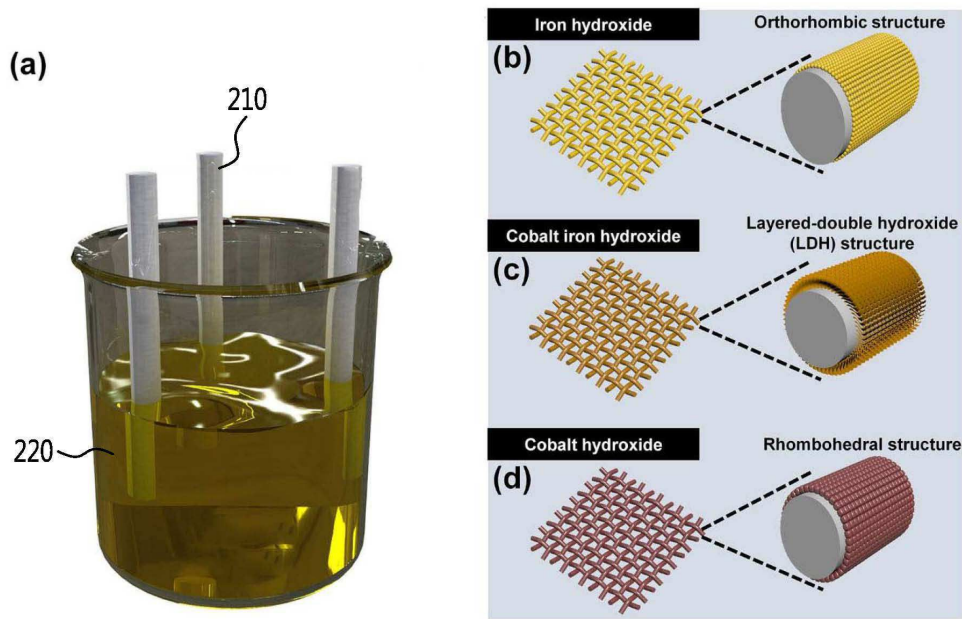
130: 용량성 전극(음극)

도면

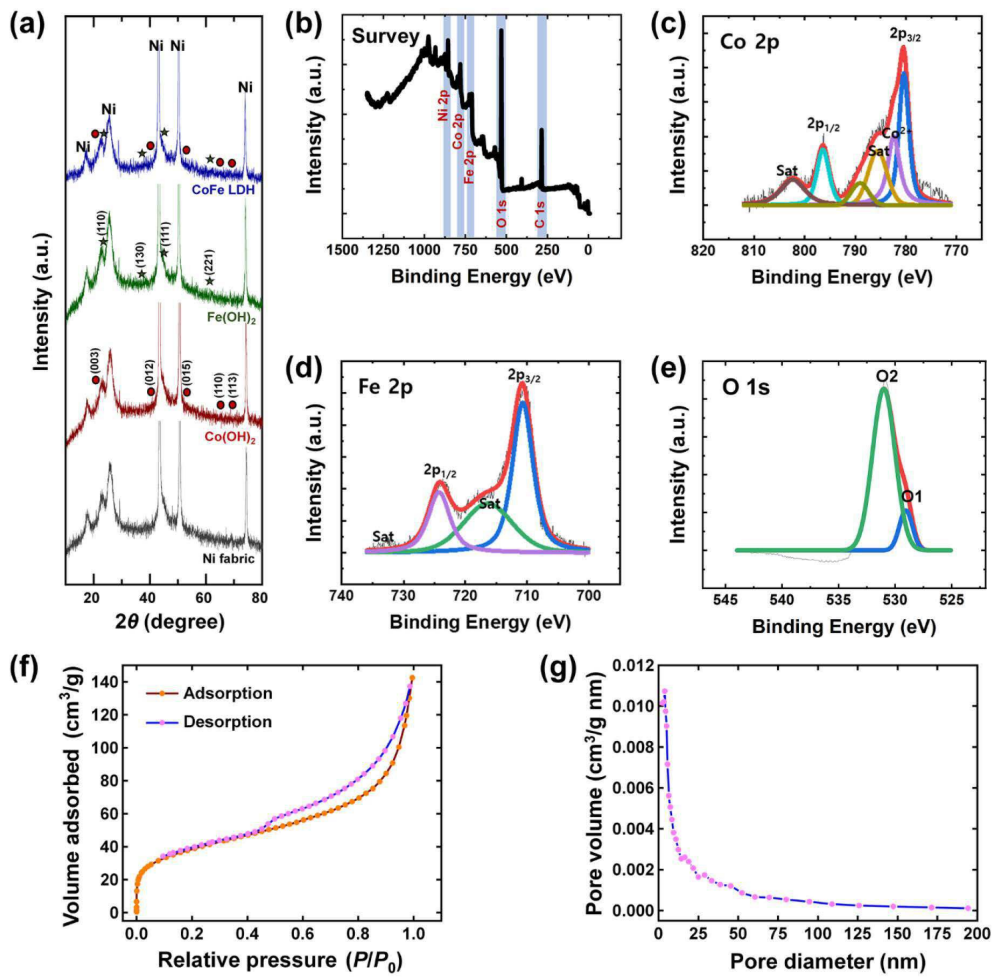
도면1



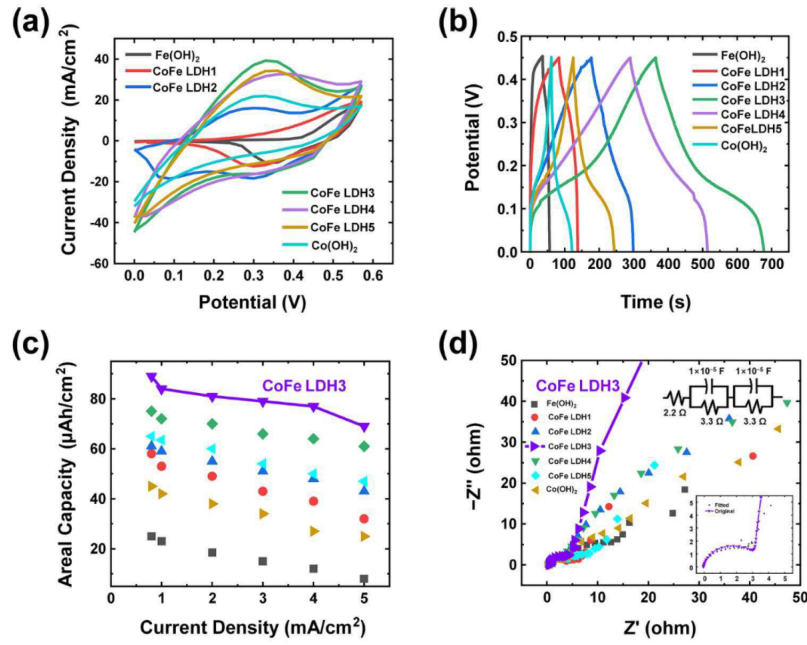
도면2



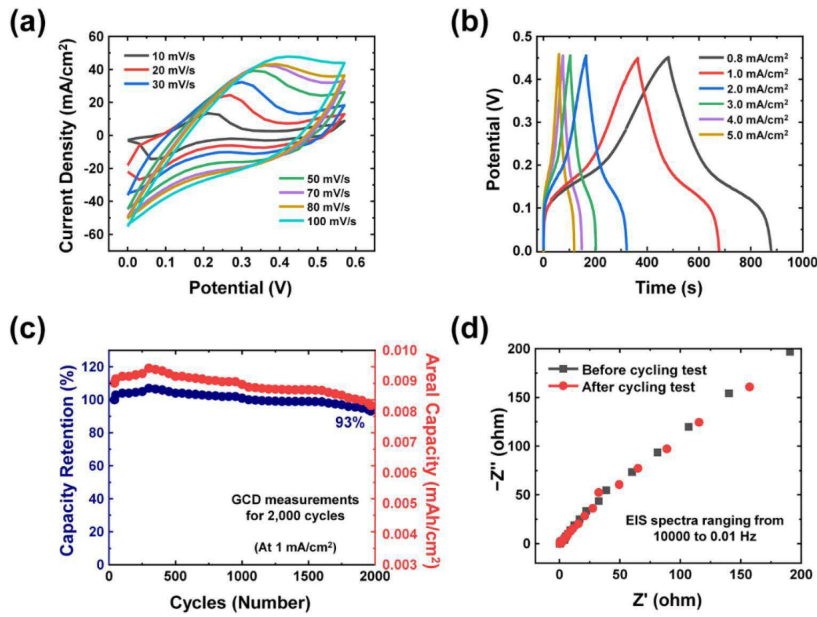
도면3



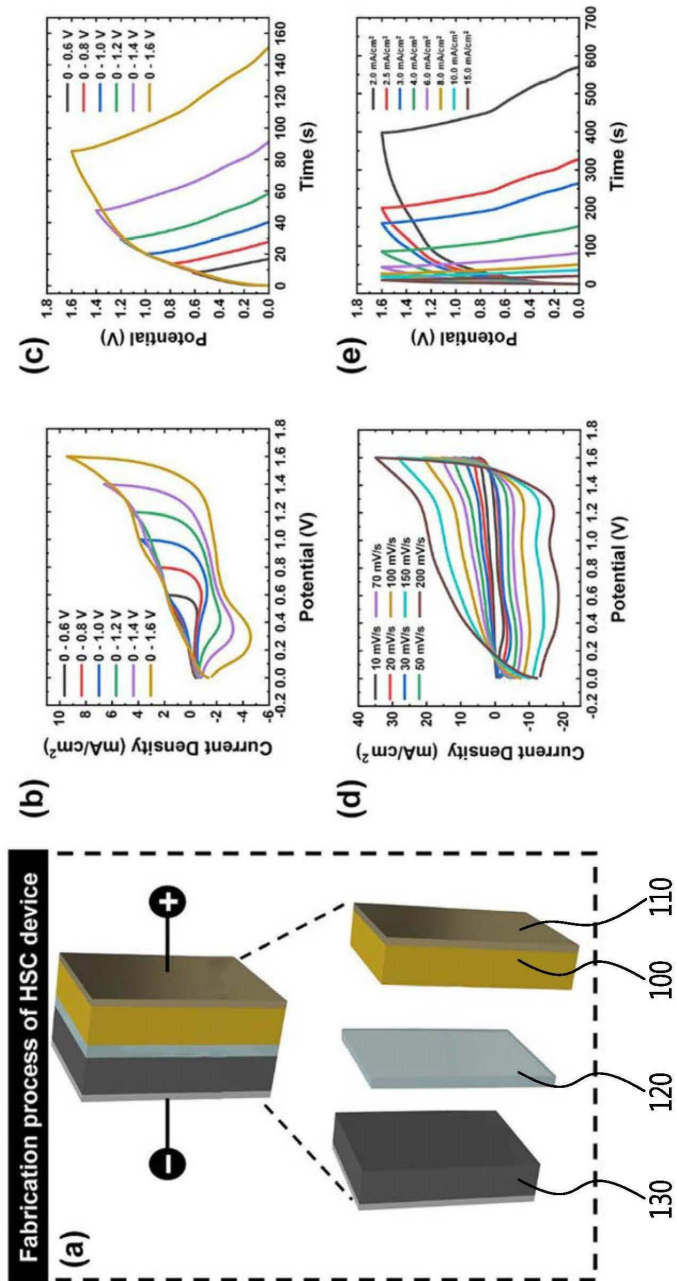
도면4



도면5



도면6



도면7

