



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년11월22일
(11) 등록번호 10-2604862
(24) 등록일자 2023년11월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C01B 32/05 (2017.01) H01G 11/26 (2013.01)
H01G 11/32 (2013.01) H01G 11/56 (2013.01)
H01G 11/86 (2013.01)
(52) CPC특허분류
C01B 32/05 (2017.08)
H01G 11/26 (2023.08)
(21) 출원번호 10-2022-0158761
(22) 출원일자 2022년11월23일
심사청구일자 2022년11월23일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020180068438 A*
‘금속-유기 골격체를 이용한 다공성 탄소의 합성
및 전기 이중층 커패시터로의 응용’, 경현아, 한
양대학교 대학원 석사학위논문(2020.02.)*
KR101589657 B1
Bull. Korean Chem. Soc., Vol.42,
p.649-657(2021.03.11.)
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한양대학교 에리카산학협력단
경기도 안산시 상록구 한양대로 55
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인화로 100(용현동, 인하대
학교)
(72) 발명자
유원철
경기도 용인시 기흥구 금화로58번길 10, 405동
1701호(상갈동, 금화마을주공4단지아파트)
이근형
인천광역시 미추홀구 노적산로 43, 101동 1301호
(학익동, 인천학익 두산위브)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
박상열, 최내윤

전체 청구항 수 : 총 10 항

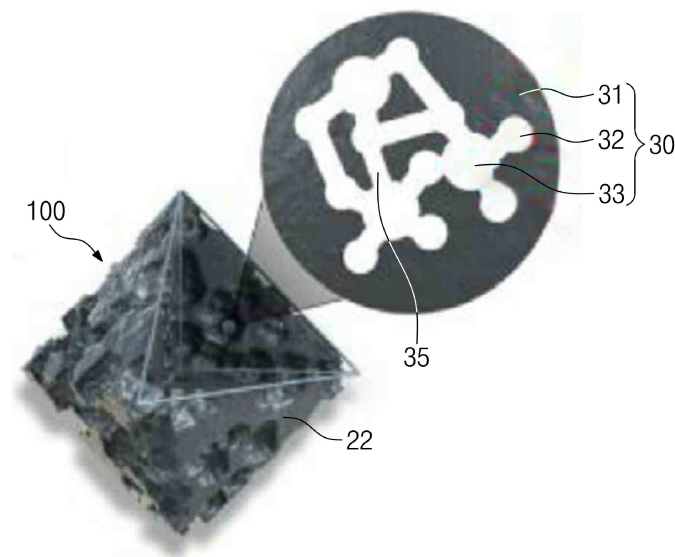
심사관 : 임도경

(54) 발명의 명칭 다공성 탄소 구조체 및 그의 제조방법, 신축성 전극 및 그의 제조방법, 및 신축성 슈퍼커패시터 및 그의 제조방법

(57) 요약

다면 구조로 형성된 바디, 및 상기 바디에 형성된 제1 크기 범위의 마이크로 기공, 상기 제1 크기 보다 큰 제2 크기 범위의 메소 기공, 상기 제2 크기 보다 큰 제3 크기 범위의 매크로 기공 중 적어도 하나의 기공으로 이루어진 다공 구조체를 포함하되, 상기 다공 구조체를 이루는 기공 간에 연결된 연결통로를 포함하는, 다공성 탄소 구조체가 제공된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01G 11/32 (2023.08)

H01G 11/56 (2023.08)

H01G 11/86 (2023.08)

C01P 2006/12 (2013.01)

Y02E 60/13 (2020.08)

(72) 발명자

허인철

경기도 안산시 상록구 성안2길 26, 103호

강민석

경기도 성남시 분당구 미금로 215, 806동 2001호(금곡동, 청솔마을)

조경국

경기도 부천시 범안로 220, 114동 901호(옥길동, 옥길호반베르디움)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415177485

과제번호 P0017363

부처명 산업통상자원부

과제관리(전문)기관명 한국산업기술진흥원

연구사업명 산업혁신인재성장지원(R&D)

연구과제명 기능성 유무기 복합소재 실용화 전문인력 양성

기 여 율 1/1

과제수행기관명 한국석유화학협회

연구기간 2022.03.01 ~ 2023.02.28

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

다면 구조로 형성된 바디; 및

상기 바디에 형성된 제1 크기 범위의 마이크로 기공, 상기 제1 크기 보다 큰 제2 크기 범위의 메소 기공, 상기 제2 크기 보다 큰 제3 크기 범위의 매크로 기공 중 적어도 하나의 기공으로 이루어진 다공 구조체;를 포함하되,

상기 다공 구조체를 이루는 기공 간에 연결된 연결통로를 포함하고,

$3,000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ 이상의 비표면적을 가지는, 다공성 탄소 구조체.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 바디는, 팔면체 구조로 형성된, 다공성 탄소 구조체.

청구항 3

질소 분위기에서, 고분자-금속유기구조체를 소정 온도 및 소정 시간으로 탄화하여, 제1 크기 범위의 마이크로 금속 입자, 상기 제1 크기 보다 큰 제2 크기 범위의 메소 금속 입자, 및 상기 제2 크기 보다 큰 제3 크기 범위의 매크로 금속 입자 중 적어도 하나의 금속 입자를 포함하는 예비 다공성 탄소 구조체를 제조하는 단계; 및

상기 예비 다공성 탄소 구조체에서 상기 금속 입자를 선택적으로 식각하여, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 기공, 상기 제2 크기 범위의 메소 기공, 및 상기 제3 크기 범위의 매크로 기공 중 적어도 하나의 기공으로 이루어진 다공 구조체를 포함하는 다공성 탄소 구조체를 제조하는 단계;를 포함하되,

상기 예비 다공성 탄소 구조체를 제조하는 단계에서,

상기 소정 온도 및 상기 소정 시간의 탄화를 통하여, 상기 마이크로 금속 입자 간에 서로 제1 응집되어, 상기 마이크로 금속 입자 중 적어도 일부는 상기 메소 금속 입자를 형성하고, 상기 메소 금속 입자 간에 서로 제2 응집되어, 상기 메소 금속 입자 중 적어도 일부는 상기 매크로 금속 입자를 형성하되,

상기 마이크로 금속 입자 및 상기 메소 금속 입자 중 적어도 하나의 금속 입자는, 상기 제1 및 제2 응집 중 적어도 하나의 응집을 위하여, 상기 예비 다공성 탄소 구조체 내부에서 이동하여, 상기 금속 입자의 자리(site)를 연결하는 연결통로를 형성하고,

상기 다공성 탄소 구조체를 제조하는 단계에서,

상기 식각을 통하여, 상기 금속 입자가 선택적으로 식각되어 상기 기공으로 이루어진 다공 구조체를 형성하되,

상기 다공 구조체를 이루는 기공은 상기 연결통로로 연결되고,

상기 다공성 탄소 구조체의 표면적을 증가시키는 단계를 더 포함하되,

상기 표면적을 증가시키는 단계는,

동일한 부피비의 질소 및 이산화탄소를 제공하는 것을 포함하는, 다공성 탄소 구조체 제조방법.

청구항 4

제3 항에 있어서,

상기 예비 다공성 탄소 구조체를 제조하는 단계에서,
 상기 소정 온도는, 700 ℃ 이상 내지 900 ℃ 이하이고,
 상기 소정 시간은, 1 시간 초과 내지 24 시간 미만인, 다공성 탄소 구조체 제조방법.

청구항 5

제3 항에 있어서,
 용매에 금속 입자 및 유기물을 제공하고 혼합하여 혼합물을 제조하고, 상기 혼합물을 진공 분위기에서 열처리하여, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 금속 입자를 포함하는 금속유기구조체를 제조하는 단계; 및
 진공 분위기에서, 상기 금속유기구조체에 제1 고분자 재료 및 제2 고분자 재료를 제공하고 기상 중합하여, 상기 고분자-금속유기구조체를 제조하는 단계;를 더 포함하는, 다공성 탄소 구조체 제조방법.

청구항 6

제5 항에 있어서,
 상기 금속유기구조체를 제조하는 단계에서,
 상기 열처리는, 80 ℃ 이상 내지 100 ℃ 이하에서 10 시간 이상 내지 20 시간 이하로 수행되는, 다공성 탄소 구조체 제조방법.

청구항 7

제5 항에 있어서,
 상기 고분자-금속유기구조체를 제조하는 단계에서,
 상기 제1 고분자 재료는, 페놀(phenol)이고,
 상기 제2 고분자 재료는, 파라포름알데하이드(paraformaldehyde)이고,
 상기 기상 중합은, 80 ℃ 이상 내지 100 ℃ 이하에서 20 시간 이상 내지 28 시간 이하로 수행되는, 다공성 탄소 구조체 제조방법.

청구항 8

제3 항에 있어서,
 상기 표면적을 증가시키는 단계는,
 상기 동일한 부피비의 질소 및 이산화탄소가 제공된 분위기에서, 상기 다공성 탄소 구조체를 800 ℃ 이상 내지 1,000 ℃ 이하에서 1 시간 이상 내지 3 시간 이하로 열처리하는 단계; 및
 상기 열처리하는 온도가 상온이 될 때까지 질소 분위기를 유지하는 단계;를 포함하는, 다공성 탄소 구조체 제조방법.

청구항 9

제5 항에 있어서,
 상기 금속유기구조체를 제조하는 단계에서,

상기 금속유기구조체는, 팔면체 구조로 형성되고,

상기 고분자-금속유기구조체를 제조하는 단계에서,

상기 고분자-금속유기구조체는, 상기 팔면체 구조를 유지하되, 상기 금속유기구조체 보다 표면적이 증가하는, 다공성 탄소 구조체 제조방법.

청구항 10

제5 항에 있어서,

상기 금속유기구조체를 제조하는 단계에서,

상기 금속은, 구리(copper) 및 아연(zinc) 중 적어도 하나를 포함하는, 다공성 탄소 구조체 제조방법.

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 다공성 탄소 구조체 및 그의 제조방법, 신축성 전극 및 그의 제조방법, 및 신축성 슈퍼커패시터 및 그의 제조방법에 관련된 것으로, 보다 구체적으로는, 기공의 계층성, 기공 간에 연결성, 및 증가된 표면적을 가지는 다공성 탄소 구조체 및 그의 제조방법, 신축성 전극 및 그의 제조방법, 및 신축성 슈퍼커패시터 및 그의 제조방법에 관련된 것이다.
- [0003] 본 발명은 아래의 연구개발과제의 결과물로 도출된 것이다.
- [0004] - 관련연구과제: 효율적인 수소생산을 위한 메탄올 개질 반응 촉매 개발(경기도)
- [0005] - 연구과제고유번호: 202100100020001
- [0006] - 과제고유번호(정부): GRRCHHanyang2020-B01
- [0007] - 사업주무부처: 지방자치단체
- [0008] - 연구사업명: 경기지역협력연구센터사업(GRRC)/경기지역협력연구센터사업
- [0009] - 주관기관: 경기지역협력연구센터
- [0010] - 연구관리전문기관: 경기도청
- [0011] - 연구기간: 2021.07.01~2022.06.30
- [0013] - 관련연구과제: 기능성 유무기 복합소재 실용화 전문인력양성사업(2차년도)
- [0014] - 연구과제고유번호: 2088202869

- [0015] - 과제고유번호(정부): 1415177485
- [0016] - 사업주무부처: 산업통상자원부
- [0017] - 연구사업명: 산업혁신인재성장지원(R&D)
- [0018] - 주관기관: 산업통상자원부
- [0019] - 연구관리전문기관: 한국산업기술진흥원
- [0020] - 연구기간: 2022.03.01~2023.02.28

배경 기술

- [0022] 탄소 기반 물질은, 전기 전도도가 높고, 표면적이 넓으며, 가볍고, 가격이 저렴한 등 많은 장점으로 인하여, 전극 소재로써 활용되고 있다.
- [0023] 슈퍼커패시터는, 탄소 전극 표면에 이온의 물리적 흡착 및 탈착을 통하여 에너지를 저장하는 장치이다.
- [0024] 최근에는 신축성 전자 장치, 웨어러블 전자 장치 등이 급속하게 발전함에 따라, 신축성을 가진 신축성 슈퍼커패시터에 대한 관심이 증가하고 있다.
- [0025] 이러한 신축성 슈퍼커패시터 중 일례로 EDLC(electrical double layer capacitor)는, 이차 전지에 비하여 소자의 구조 및/또는 에너지 저장 메커니즘이 단순하고, 장기 운영 안정성이 우수하며, 충전 및/또는 방전 속도가 빠르고, 출력 밀도가 우수하여 변형 가능한 에너지원이라는 점에서 우수한 장점이 있다.
- [0026] 한편, EDLC는 출력 밀도가 우수한 한편, 이차 전지에 비하여 에너지 밀도가 낮은 단점도 있다.
- [0027] 이에 따라, 종래에는 상술된 바와 같은 에너지 밀도가 낮은 단점을 극복하기 위하여 높은 작동 전압을 가진 이온성 액체(ILs: ion liquids)를 신축성 슈퍼커패시터의 전해질로 사용하고 있다.
- [0028] 하지만 이온성 액체는, 이온 크기가 크고, 강한 쿨롱 상호작용(strong coulombic interaction)에 의하여 점도가 높기 때문에, 이온의 물질 전달(mass transport)이 어려운 문제가 있다.
- [0029] 따라서 종래와 같이, 이온성 액체를 신축성 슈퍼커패시터의 전해질로 사용하는 경우, 신축성 슈퍼커패시터의 용량, 출력 밀도, 및 에너지 밀도 관점에서 성능이 저하되는 문제가 있다.
- [0030] 따라서, 신축성 슈퍼커패시터의 성능을 향상시킬 수 있는 물질이 필요한 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0032] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는, 기공의 계층성을 가지는, 다공성 탄소 구조체 및 그의 제조방법, 신축성 전극 및 그의 제조방법, 및 신축성 슈퍼커패시터 및 그의 제조방법을 제공하는 데 있다.
- [0033] 본 발명이 해결하고자 하는 다른 기술적 과제는, 기공 간에 연결성을 가지는, 다공성 탄소 구조체 및 그의 제조방법, 신축성 전극 및 그의 제조방법, 및 신축성 슈퍼커패시터 및 그의 제조방법을 제공하는 데 있다.
- [0034] 본 발명이 해결하고자 하는 또 다른 기술적 과제는, 표면적이 증가된, 다공성 탄소 구조체 및 그의 제조방법, 신축성 전극 및 그의 제조방법, 및 신축성 슈퍼커패시터 및 그의 제조방법을 제공하는 데 있다.
- [0035] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는 상술된 것에 제한되지 않는다.

과제의 해결 수단

- [0037] 상기 기술적 과제를 해결하기 위해, 본 발명은 다공성 탄소 구조체를 제공한다.
- [0038] 일 실시 예에 따르면, 상기 다공성 탄소 구조체는, 다면 구조로 형성된 바디, 및 상기 바디에 형성된 제1 크기 범위의 마이크로 기공, 상기 제1 크기 보다 큰 제2 크기 범위의 메소 기공, 상기 제2 크기 보다 큰 제3 크기 범위의 매크로 기공 중 적어도 하나의 기공으로 이루어진 다공 구조체를 포함하되, 상기 다공 구조체를 이루는 기공 간에 연결된 연결통로를 포함할 수 있다.

- [0039] 일 실시 예에 따르면, 상기 바디는, 팔면체 구조로 형성될 수 있다.
- [0041] 상기 기술적 과제를 해결하기 위해, 본 발명은 다공성 탄소 구조체 제조방법을 제공한다.
- [0042] 일 실시 예에 따르면, 상기 다공성 탄소 구조체 제조방법은, 질소 분위기에서, 고분자-금속유기구조체를 소정 온도 및 소정 시간으로 탄화하여, 제1 크기 범위의 마이크로 금속 입자, 상기 제1 크기 보다 큰 제2 크기 범위의 메소 금속 입자, 및 상기 제2 크기 보다 큰 제3 크기 범위의 매크로 금속 입자 중 적어도 하나의 금속 입자를 포함하는 예비 다공성 탄소 구조체를 제조하는 단계, 및 상기 예비 다공성 탄소 구조체에서 상기 금속 입자를 선택적으로 식각하여, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 기공, 상기 제2 크기 범위의 메소 기공, 및 상기 제3 크기 범위의 매크로 기공 중 적어도 하나의 기공으로 이루어진 다공 구조체를 포함하는 다공성 탄소 구조체를 제조하는 단계를 포함하되, 상기 예비 다공성 탄소 구조체를 제조하는 단계에서, 상기 소정 온도 및 상기 소정 시간의 탄화를 통하여, 상기 마이크로 금속 입자 간에 서로 제1 응집되어, 상기 마이크로 금속 입자 중 적어도 일부는 상기 메소 금속 입자를 형성하고, 상기 메소 금속 입자 간에 서로 제2 응집되어, 상기 메소 금속 입자 중 적어도 일부는 상기 매크로 금속 입자를 형성하되, 상기 마이크로 금속 입자 및 상기 메소 금속 입자 중 적어도 하나의 금속 입자는, 상기 제1 및 제2 응집 중 적어도 하나의 응집을 위하여, 상기 예비 다공성 탄소 구조체 내부에서 이동하여, 상기 금속 입자의 자리(site)를 연결하는 연결통로를 형성하고, 상기 다공성 탄소 구조체를 제조하는 단계에서, 상기 식각을 통하여, 상기 금속 입자가 선택적으로 식각되어 상기 기공으로 이루어진 다공 구조체를 형성하되, 상기 다공 구조체를 이루는 기공은 상기 연결통로로 연결될 수 있다.
- [0043] 일 실시 예에 따르면, 상기 예비 다공성 탄소 구조체를 제조하는 단계에서, 상기 소정 온도는, 700 ℃ 이상 내지 900 ℃ 이하이고, 상기 소정 시간은, 1 시간 초과 내지 24 시간 미만일 수 있다.
- [0044] 일 실시 예에 따르면, 상기 다공성 탄소 구조체 제조방법은, 용매에 금속 입자 및 유기물을 제공하고 혼합하여 혼합물을 제조하고, 상기 혼합물을 진공 분위기에서 열처리하여, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 금속 입자를 포함하는 금속유기구조체를 제조하는 단계, 및 진공 분위기에서, 상기 금속유기구조체에 제1 고분자 재료 및 제2 고분자 재료를 제공하고 기상 중합하여, 상기 고분자-금속유기구조체를 제조하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0045] 일 실시 예에 따르면, 상기 금속유기구조체를 제조하는 단계에서, 상기 열처리는, 80 ℃ 이상 내지 100 ℃ 이하에서 10 시간 이상 내지 20 시간 이하로 수행될 수 있다.
- [0046] 일 실시 예에 따르면, 상기 고분자-금속유기구조체를 제조하는 단계에서, 상기 제1 고분자 재료는, 페놀(phenol)이고, 상기 제2 고분자 재료는, 파라포름알데하이드(paraformaldehyde)이고, 상기 기상 중합은, 80 ℃ 이상 내지 100 ℃ 이하에서 20 시간 이상 내지 28 시간 이하로 수행될 수 있다.
- [0047] 일 실시 예에 따르면, 상기 다공성 탄소 구조체 제조방법은, 상기 다공성 탄소 구조체의 표면적을 증가시키는 단계를 더 포함하되, 상기 표면적을 증가시키는 단계는, 소 및 이산화탄소 분위기에서, 상기 다공성 탄소 구조체를 800 ℃ 이상 내지 1,000 ℃ 이하에서 1 시간 이상 내지 3 시간 이하로 열처리하는 단계, 및 상기 열처리하는 온도가 상온이 될 때까지 상기 질소 분위기를 유지하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0048] 일 실시 예에 따르면, 상기 금속유기구조체를 제조하는 단계에서, 상기 금속유기구조체는, 팔면체 구조로 형성되고, 상기 고분자-금속유기구조체를 제조하는 단계에서, 상기 고분자-금속유기구조체는, 상기 팔면체 구조를 유지하되, 상기 금속유기구조체 보다 표면적이 증가할 수 있다.
- [0049] 일 실시 예에 따르면, 상기 금속유기구조체를 제조하는 단계에서, 상기 금속은, 구리(copper) 및 아연(zinc) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0051] 상기 기술적 과제를 해결하기 위해, 본 발명은 신축성 전극을 제공한다.
- [0052] 일 실시 예에 따르면, 상기 신축성 전극은, 신축성 기관, 및 상기 신축성 기관 상에 형성되되, 복수의 주름을 포함하는 다공성 탄소 잉크 코팅층을 포함하되, 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층은, 상기 다공성 탄소 구조체, 탄소 나노 튜브, 고전도성 탄소, 및 고분자 바인더 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0054] 상기 기술적 과제를 해결하기 위해, 본 발명은 신축성 전극 제조방법을 제공한다.
- [0055] 일 실시 예에 따르면, 상기 신축성 전극 제조방법은, 상기 다공성 탄소 구조체를 제조하는 단계, 상기 다공성 탄소 구조체, 탄소 나노 튜브, 고전도성 탄소, 및 고분자 바인더 중 적어도 하나를 포함하는 다공성 탄소 잉크를 제조하는 단계, 신축성 기관을 늘린 상태에서 상기 다공성 탄소 잉크를 제공하여, 상기 늘린 상태의 신축성 기관 상에, 다공성 탄소 잉크 코팅층을 형성하는 단계, 및 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층이 형성된 늘린 상태의

신축성 기관을 복원시키되, 상기 복원 과정에서 상기 늘린 상태의 신축성 기관이 줄어들면서 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층에 복수의 주름이 형성된 신축성 전극을 제조하는 단계를 포함할 수 있다.

[0057] 상기 기술적 과제를 해결하기 위해, 본 발명은 신축성 슈퍼커패시터를 제공한다.

[0058] 일 실시 예에 따르면, 상기 신축성 슈퍼커패시터는, 신축성을 가지는 이온 겔 전해질, 및 상기 이온겔 전해질을 사이에 두고 양 측에 배치되되, 복수의 주름을 포함하는 다공성 탄소 잉크 코팅층을 포함하되, 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층은, 상기 다공성 탄소 구조체, 탄소 나노 튜브, 고전도성 탄소, 및 고분자 바인더 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0060] 상기 기술적 과제를 해결하기 위해, 본 발명은 신축성 슈퍼커패시터 제조방법을 제공한다.

[0061] 일 실시 예에 따르면, 상기 신축성 슈퍼커패시터 제조방법은, 상기 다공성 탄소 구조체를 제조하는 단계, 상기 다공성 탄소 구조체, 탄소 나노 튜브, 고전도성 탄소, 및 고분자 바인더 중 적어도 하나를 포함하는 다공성 탄소 잉크를 제조하는 단계, 신축성 기관을 늘린 상태에서 상기 다공성 탄소 잉크를 제공하여, 상기 늘린 상태의 신축성 기관 상에, 다공성 탄소 잉크 코팅층을 형성하는 단계, 및 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층이 형성된 늘린 상태의 신축성 기관을 복원시키되, 상기 복원 과정에서 상기 늘린 상태의 신축성 기관이 줄어들면서 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층에 복수의 주름이 형성된 신축성 전극을 제조하는 단계, 신축성을 가지는 이온 겔 전해질을 준비하는 단계, 및 상기 복수의 주름이 형성된 다공성 탄소 잉크 코팅층이 상기 이온 겔 전해질 측을 향하도록, 상기 이온 겔 전해질을 사이에 두고 상기 신축성 전극을 양 측에 배치하고 어닐링하여, 상기 복수의 주름이 형성된 다공성 탄소 잉크 코팅층을 상기 이온 겔 전해질로 전사시켜, 신축성 슈퍼커패시터를 제조하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0063] 본 발명의 실시 예에 따르면, 다면 구조로 형성된 바디, 및 상기 바디에 형성된 제1 크기 범위의 마이크로 기공, 상기 제1 크기 보다 큰 제2 크기 범위의 메소 기공, 상기 제2 크기 보다 큰 제3 크기 범위의 매크로 기공 중 적어도 하나의 기공으로 이루어진 다공 구조체를 포함하되, 상기 다공 구조체를 이루는 기공 간에 연결된 연결통로를 포함하는, 다공성 탄소 구조체가 제공될 수 있다.

[0064] 이에 따라, 본 발명에 의하면, 상기 다공성 탄소 구조체는, 상기 다공 구조체가, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 기공, 상기 제2 크기 범위의 메소 기공, 및 상기 제3 크기 범위의 매크로 기공 중 적어도 하나의 기공으로 이루어짐에 따라, 기공의 계층성을 가질 수 있다.

[0065] 나아가, 본 발명에 의하면, 상기 다공성 탄소 구조체는, 상기 연결통로에 의하여, 상기 다공 구조체를 이루는 기공 간에 연결성을 가질 수 있다.

[0066] 한편, 본 발명에 의하면, 상기 다공성 탄소 구조체의 바디는 표면적이 증가될 수 있다.

[0067] 이에 따라, 본 발명에 의하면, 상기 다공성 탄소 구조체로부터 제조되는 신축성 슈퍼커패시터의 용량, 출력 밀도, 및 에너지 밀도 특성이 우수할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0069] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 탄소 구조체를 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 비교 예들을 설명하기 위한 도면이다.

도 3 내지 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 탄소 구조체 제조방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 8은 본 발명의 실시 예에 따른 신축성 전극을 설명하기 위한 도면이다.

도 9 내지 도 11은 본 발명의 실시 예에 따른 신축성 전극 제조방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 12는 본 발명의 실시 예에 따른 신축성 슈퍼커패시터를 설명하기 위한 도면이다.

도 13 내지 도 15는 본 발명의 실시 예에 따른 신축성 전극 제조방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 16 내지 도 61은 본 발명의 실험 예를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0070] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예를 상세히 설명할 것이다. 그러나 본 발명의 기술적 사상은 여기서 설명되는 실시 예에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시 예는 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록 그리고 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다.
- [0071] 본 명세서에서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소 상에 있다고 언급되는 경우에 그것은 다른 구성요소 상에 직접 형성될 수 있거나 또는 그들 사이에 제 3의 구성요소가 개재될 수도 있다는 것을 의미한다. 또한, 도면들에 있어서, 형상 및 영역들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다.
- [0072] 또한, 본 명세서의 다양한 실시 예들에서 제1, 제2, 제3 등의 용어가 다양한 구성요소들을 기술하기 위해서 사용되었지만, 이들 구성요소들이 이 같은 용어들에 의해서 한정되어서는 안 된다. 이들 용어들은 단지 어느 구성요소를 다른 구성요소와 구별시키기 위해서 사용되었을 뿐이다. 따라서, 어느 한 실시 예에 제 1 구성요소로 언급된 것이 다른 실시 예에서는 제 2 구성요소로 언급될 수도 있다. 여기에 설명되고 예시되는 각 실시 예는 그것의 상보적인 실시 예도 포함한다. 또한, 본 명세서에서 '및/또는'은 전후에 나열한 구성요소들 중 적어도 하나를 포함하는 의미로 사용되었다.
- [0073] 명세서에서 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함한다. 또한, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 구성요소 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 구성요소 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 배제하는 것으로 이해되어서는 안 된다. 또한, 본 명세서에서 "연결"은 복수의 구성요소를 간접적으로 연결하는 것, 및 직접적으로 연결하는 것을 모두 포함하는 의미로 사용된다.
- [0074] 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0075] 또한, 하기에서 본 발명을 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략할 것이다.
- [0077] 탄소 기반 물질은, 전기 전도도가 높고, 표면적이 넓으며, 가볍고, 가격이 저렴한 등 많은 장점으로 인하여, 전극 소재로써 활용되고 있다.
- [0078] 슈퍼커패시터는, 탄소 전극 표면에 이온의 물리적 흡착 및 탈착을 통하여 에너지를 저장하는 장치이다.
- [0079] 최근에는 신축성 전자 장치, 웨어러블 전자 장치 등이 급속하게 발전함에 따라, 신축성을 가진 신축성 슈퍼커패시터에 대한 관심이 증가하고 있다.
- [0080] 이러한 신축성 슈퍼커패시터 중 일례로 EDLC(electrical double layer capacitor)는, 이차 전지에 비하여 소자의 구조 및/또는 에너지 저장 메커니즘이 단순하고, 장기 운영 안정성이 우수하며, 충전 및/또는 방전 속도가 빠르고, 출력 밀도가 우수하여 변형 가능한 에너지원이라는 점에서 우수한 장점이 있다.
- [0081] 한편, EDLC는 출력 밀도가 우수한 한편, 이차 전지에 비하여 에너지 밀도가 낮은 단점도 있다.
- [0082] 이에 따라, 종래에는 상술된 바와 같은 에너지 밀도가 낮은 단점을 극복하기 위하여 높은 작동 전압을 가진 이온성 액체(ILs: ion liquids)를 신축성 슈퍼커패시터의 전해질로 사용하고 있다.
- [0083] 하지만 이온성 액체는, 이온 크기가 크고, 강한 쿨롱 상호작용(strong coulombic interaction)에 의하여 점도가 높기 때문에, 이온의 물질 전달(mass transport)이 어려운 문제가 있다.
- [0084] 따라서 종래와 같이, 이온성 액체를 신축성 슈퍼커패시터의 전해질로 사용하는 경우, 신축성 슈퍼커패시터의 용량, 출력 밀도, 및 에너지 밀도 관점에서 성능이 저하되는 문제가 있다.
- [0086] 이에, 본 발명에서는, 신축성 슈퍼커패시터의 성능을 향상시킬 수 있는 탄소 구조체(100)를 제공한다.
- [0088] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예에 따른 탄소 구조체(100)가 설명된다.
- [0090] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 탄소 구조체를 설명하기 위한 도면이고, 도 2는 비교 예들을 설명하기 위한 도면이다.
- [0091] 도 1을 참조하면, 상기 다공성 탄소 구조체(100)는, 바디(22) 및 다공 구조체(30) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

- [0092] 이하, 각 구성이 설명된다.
- [0094] **바디(22)**
- [0095] 도 1을 참조하면, 상기 바디(22)는, 다면 구조로 형성될 수 있다.
- [0096] 보다 구체적으로, 상기 바디(22)는, 팔면체 구조로 형성될 수 있다.
- [0097] 본 발명의 실시 예에 따르면, 상기 바디(22)는, 상기 팔면체 구조를 유지하되, 표면적이 증가될 수 있다. 이에 관해서는 보다 상세히 후술하기로 한다.
- [0098] 한편, 본 발명의 실시 예에 따르면, 상기 바디(22)에는, 후술되는 다공 구조체(30) 및 연결통로(35) 중 적어도 하나가 형성될 수 있다. 이에 관해서도 보다 상세히 후술하기로 한다.
- [0100] **다공 구조체(30)**
- [0101] 도 1을 참조하면, 상기 다공 구조체(30)는, 상기 바디(22)에 형성되되, 제1 크기 범위의 마이크로 기공(31), 상기 제1 크기 보다 큰 제2 크기 범위의 메소 기공(32), 상기 제2 크기 보다 큰 제3 크기 범위의 매크로 기공(33) 중 적어도 하나의 기공으로 이루어질 수 있다.
- [0102] 본 발명의 실시 예에 따르면, 상기 다공 구조체(30)의 기공은, 도 6 (a) 내지 도 6 (c)에 도시된 바와 같이, 고분자-금속유기구조체(20, 도 5 참조)를 소정 온도 및 소정 시간으로 탄화하여, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 금속 입자(mi), 상기 제2 크기 범위의 메소 금속 입자(me), 및 상기 제3 크기 범위의 매크로 금속 입자(ma) 중 적어도 하나의 금속 입자를 먼저 제조하고, 상기 금속 입자를 선택적으로 식각하여 형성될 수 있다.
- [0103] 이에 따라, 본 발명에 의하면, 상기 다공성 탄소 구조체(100)는, 상술된 바와 같이 상기 다공 구조체(30)가, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 기공(31), 상기 제2 크기 범위의 메소 기공(32), 및 상기 제3 크기 범위의 매크로 기공(33) 중 적어도 하나의 기공으로 이루어짐에 따라, 기공의 계층성을 가질 수 있다.
- [0104] 한편 여기에서, 상기 제1 크기 범위라 함은, 수 나노미터 이하 범위일 수 있다.
- [0105] 예를 들어, 상기 제1 크기 범위는, 2 nm 이하 범위일 수 있다.
- [0106] 한편 여기에서, 상기 제2 크기 범위라 함은, 수 나노미터 초과 내지 수십 나노미터 이하 범위일 수 있다.
- [0107] 예를 들어, 상기 제2 크기 범위는, 2 nm 초과 내지 50 nm 이하 범위일 수 있다.
- [0108] 한편 여기에서, 상기 제3 크기 범위라 함은, 수십 나노미터 초과 범위일 수 있다.
- [0109] 예를 들어, 상기 제3 크기 범위는, 50 nm 초과 범위일 수 있다.
- [0111] 한편, 도 1을 참조하면, 상기 다공성 탄소 구조체(100)는, 연결통로(35)를 더 포함할 수 있다.
- [0112] 상기 연결통로(35)는, 도 1에 도시된 바와 같이, 상기 다공 구조체(30)를 이루는 기공 간에 연결시킬 수 있다.
- [0114] 즉, 본 발명에 의하면, 상기 다공성 탄소 구조체(100)는, 상술된 바와 같이 상기 다공 구조체(30)가, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 기공(31), 상기 제2 크기 범위의 메소 기공(32), 및 상기 제3 크기 범위의 매크로 기공(33) 중 적어도 하나의 기공으로 이루어짐에 따라, 기공의 계층성을 가질 수 있고, 상기 연결통로(35)에 의하여, 상기 다공 구조체(30)를 이루는 기공 간에 연결성을 가질 수 있다.
- [0115] 이에 따라, 본 발명에 의하면, 상기 다공성 탄소 구조체(100)가 신축성 슈퍼커패시터의 소재로 사용되는 경우, 신축성 슈퍼커패시터의 용량, 출력 밀도, 및 에너지 밀도 특성이 우수할 수 있다.
- [0117] 이를 위해, 상기 다공성 탄소 구조체(100)는, 상기 고분자-금속유기구조체(20, 도 5 참조)가 소정 온도 및 소정 시간으로 탄화되어 형성될 수 있다.
- [0118] 여기에서, 상기 소정 온도는, 700 ℃ 이상 내지 900 ℃ 이하이고, 상기 소정 시간은, 1 시간 초과 내지 24 시간 미만일 수 있다. 이에 관해서는 본 발명의 실시 예에 따른 탄소 구조체 제조방법에서 보다 상세히 후술하기로 한다.
- [0120] 한편, 본 발명의 실시 예와는 달리, 상기 고분자-금속유기구조체(20, 도 5 참조)가 상기 소정 온도 및 상기 소정 시간으로 탄화되지 않는 경우, 상기 다공성 탄소 구조체(100)가 미-형성될 수 있다.
- [0121] 보다 구체적으로 도 2에 도시된 비교 예들(cps)를 참조하면, 도 2 (a)는, 상기 고분자-금속유기구조체(20, 도 5

참조)가 1 시간 동안 탄화되어 형성된 예비 다공성 탄소 구조체(h1)에서, 상기 제2 크기 범위의 메소 금속 입자(me)가 식각되어 상기 제2 크기 범위의 메소 기공(32)을 포함하는 제1 비교 예에 따른 탄소 구조체(cp1)를 도시한다.

[0122] 한편, 도 2 (b)는, 상기 고분자-금속유기구조체(20, 도 5 참조)가 탄화되지 않고 형성된 예비 다공성 탄소 구조체(h0)에서, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 금속 입자(mi)가 식각되어 상기 제1 크기 범위의 마이크로 기공(31)을 포함하는 제2 비교 예에 따른 탄소 구조체(cp2)를 도시한다.

[0123] 이와 같이, 비교 예들(cps)의 경우, 상기 제1 및 제2 비교 예에 따른 탄소 구조체(cp2)는, 본 발명과는 달리, 각각 상기 제1 크기 범위의 마이크로 기공(31)만을 포함하거나, 상기 제2 크기 범위의 메소 기공(32)만을 포함하기 때문에, 기공의 계층성을 가지지 못할 수 있다.

[0124] 또한, 비교 예들(cps)의 경우, 상기 제1 및 제2 비교 예에 따른 탄소 구조체(cp1, cp2)는, 본 발명과는 달리, 연결통로(35, 도 1 참조)를 포함하지 못하기 때문에, 기공 간에 연결되지 못할 수 있다.

[0125] 이에 따라, 비교 예들(cps)에 의하면, 상기 제1 및 제2 비교 예에 따른 탄소 구조체(cp1, cp2)가 신축성 슈퍼커패시터의 소재로 사용되는 경우, 신축성 슈퍼커패시터의 용량, 출력 밀도, 및 에너지 밀도 특성이 우수하지 못할 수 있다.

[0127] 하지만, 본 발명에 의하면, 상술된 바와 같이, 상기 다공성 탄소 구조체(100)는, 상기 다공 구조체(30)가, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 기공(31), 상기 제2 크기 범위의 메소 기공(32), 및 상기 제3 크기 범위의 매크로 기공(33) 중 적어도 하나의 기공으로 이루어짐에 따라, 기공의 계층성을 가질 수 있고, 상기 연결통로(35)에 의하여, 상기 다공 구조체(30)를 이루는 기공 간에 연결성을 가질 수 있다.

[0128] 이에 따라, 본 발명에 의하면, 상기 다공성 탄소 구조체(100)가 신축성 슈퍼커패시터의 소재로 사용되는 경우, 신축성 슈퍼커패시터의 용량, 출력 밀도, 및 에너지 밀도 특성이 우수할 수 있음은 물론이다.

[0130] 이상, 본 발명의 실시 예에 따른 탄소 구조체(100)가 설명되었다.

[0131] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예에 따른 탄소 구조체(100) 제조방법이 설명된다.

[0132] 이하, 설명되는 탄소 구조체(100) 제조방법에 있어서, 앞서 설명된 탄소 구조체(100)와 중복되는 설명은 생략될 수도 있다. 하지만, 이하에서 중복되는 설명이 생략된다고 하여서 이를 배제하는 것은 아니며, 이하에서 중복되는 설명은 앞선 실시 예의 설명을 참고하기로 한다.

[0134] 도 3 내지 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 탄소 구조체 제조방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0135] 도 3을 참조하면, 상기 탄소 구조체(100) 제조방법은, 금속유기구조체(10)를 제조하는 단계(S110), 고분자-금속유기구조체(20)를 제조하는 단계(S120), 예비 다공성 탄소 구조체(25)를 제조하는 단계(S130), 다공성 탄소 구조체(100)를 제조하는 단계(S140), 및 상기 다공성 탄소 구조체(100)의 표면적을 증가시키는 단계(S150) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0136] 이하, 각 단계가 설명된다.

[0138] 단계 S110

[0139] 도 4를 참조하면, 단계 S110에서, 금속유기구조체(10)가 제조될 수 있다.

[0140] 보다 구체적으로, 본 단계에서, 상기 금속유기구조체(10)는, 용매에 금속 입자(mi) 및 유기물(or)이 제공되고 혼합되어 혼합물이 제조되고, 상기 혼합물이 진공 분위기에서 열처리되어 제조될 수 있다.

[0141] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 용매는, N,N-다이메틸폼아마이드(N,N-DMF: N,N-Dimethylformamide)일 수 있다.

[0142] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 금속은, 구리(copper) 및 아연(zinc) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0143] 한편, 본 단계에서, 상기 금속은, 수화물 형태로 제공될 수 있다. 예를 들어, 상기 금속은, 제2구리 질산염 5수화물(Copper(II) nitrate pentahydrate, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$)로 제공될 수 있다.

[0144] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 유기물(or)은, 1,3,5-벤젠트리카르복실산(1,3,5-

Benzenetricarboxylic acid)일 수 있다.

- [0145] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 혼합물에 산성 용액이 더 첨가될 수 있다. 예를 들어, 상기 산성 용액은, 질산(Nitric acid)일 수 있다.
- [0146] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 산성 용액이 첨가된 혼합물에 수용성 중합체가 더 첨가될 수 있다. 예를 들어, 상기 수용성 중합체는, 폴리비닐피롤리돈(PVP: Polyvinylpyrrolidone M.W. ~55,000)일 수 있다.
- [0147] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 열처리는, 80 ℃ 이상 내지 100 ℃ 이하에서 10 시간 이상 내지 20 시간 이하로 수행될 수 있다. 예를 들어, 상기 열처리는, 90 ℃에서 16 시간 동안 수행될 수 있다.
- [0148] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 열처리된 혼합물은, 정제될 수 있다. 예를 들어, 상기 열처리된 혼합물은, 원심분리기를 이용하여 다이메틸폼아마이드(DMF: dimethylformamide)로 2회 정제된 후에, 아세토나이트릴(MeCN: acetonitrile)으로 정제될 수 있다. 예를 들어, 상기 정제는, 상기 아세토나이트릴을 이용하여 7 일 동안 14 회 수행될 수 있다.
- [0149] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 정제된 혼합물은, 후술되는 단계를 위하여, 건조될 수 있다. 예를 들어, 상기 건조는, 80 ℃에서 6 시간 동안 수행될 수 있다.
- [0150] 이로써, 본 단계에서, 상기 금속유기구조체(10)가 제조될 수 있다.
- [0151] 한편, 본 단계에서, 상기 금속 입자(mi)는 상기 제1 크기 범위를 가질 수 있다.
- [0152] 여기에서, 상기 제1 크기 범위라 함은, 앞서 설명된 바와 같이, 수 나노미터 이하 범위일 수 있다. 예를 들어, 상기 제1 크기 범위는, 2 nm 이하 범위일 수 있다.
- [0153] 이에 따라, 본 단계에서, 도 4에 도시된 바와 같이, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 금속 입자(mi)를 포함하는 상기 금속유기구조체(10)가 제조될 수 있다.
- [0154] 한편, 본 단계에서, 상기 금속유기구조체(10)는, 도 4에 도시된 바와 같이, 팔면체 구조로 형성될 수 있다.
- [0156] **단계 S120**
- [0157] 도 5를 참조하면, 단계 S120에서, 고분자-금속유기구조체(20)가 제조될 수 있다.
- [0158] 보다 구체적으로, 본 단계에서, 상기 고분자-금속유기구조체(20)는, 진공 분위기에서, 상기 금속유기구조체(10)에 제1 고분자 재료(미 도시) 및 제2 고분자 재료(미 도시)가 제공되고 기상 중합되어 제조될 수 있다.
- [0159] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 제1 고분자 재료(미 도시)는, 페놀(phenol)일 수 있다.
- [0160] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 제2 고분자 재료(미 도시)는, 파라포름알데하이드(paraformaldehyde)일 수 있다.
- [0161] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 기상 중합은, 80 ℃ 이상 내지 100 ℃ 이하에서 20 시간 이상 내지 28 시간 이하로 수행될 수 있다. 예를 들어, 상기 기상 중합은, 90 ℃에서 24 시간 동안 수행될 수 있다.
- [0162] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 기상 중합된 기상 중합물은, 정제될 수 있다. 예를 들어, 상기 기상 중합물은, 아세토나이트릴(MeCN: acetonitrile)으로 정제될 수 있다. 예를 들어, 상기 정제는, 상기 아세토나이트릴을 이용하여 2 회 수행될 수 있다.
- [0163] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 정제된 기상 중합물은, 건조될 수 있다. 예를 들어, 상기 건조는, 90 ℃에서 수행될 수 있다.
- [0164] 이로써, 본 단계에서, 상기 고분자-금속유기구조체(20)가 제조될 수 있다.
- [0165] 한편, 본 단계에서, 상기 고분자-금속유기구조체(20)는, 도 5에 도시된 바와 같이, 상기 팔면체 구조를 유지하되, 상기 금속유기구조체(10) 보다 표면적이 증가될 수 있다.
- [0166] 한편, 도 5를 참조하면, 본 단계에서 제조된 상기 고분자-금속유기구조체(20) 중, 후술되는 단계에서 상기 금속 입자가 식각되면, 상기 금속 입자가 식각된 고분자-유기구조체는, 상기 유기물(or) 및 상기 제1 및 제2 고분자 재료(p1)를 포함할 수 있고, 앞서 설명된 바디(22)가 될 수 있다.
- [0167] 즉 다시 말해, 상기 바디(22)는, 상기 고분자-금속유기구조체(20)에서 상기 금속 입자가 식각되어 형성되기 때

문에, 상술된 바와 같이 상기 팔면체 구조를 가지면서도, 증가된 표면적을 포함할 수 있는 것이다.

- [0168] 한편, 본 발명에 따르면, 상기 바디(22)의 구조 즉, 상기 표면적이 증가된 팔면체 구조는 후술되는 단계들이 수행되는 경우에도 유지될 수 있다.
- [0169] 이를 위해, 일 실시 예에 따르면, 상기 바디(22)는, 폴리머 경화처리될 수 있다. 예를 들어, 상기 바디(22)는, 100 ℃ 이상 내지 200 ℃ 이하에서, 20 시간 이상 내지 30 시간 이하로 폴리머 경화처리될 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 폴리머 경화처리는, 150 ℃에서, 24 시간 동안 수행될 수 있다.
- [0170] 이에 따라, 상기 바디(22)는, 상기 폴리머 경화처리를 통하여 중합 반응을 일으키고 경화될 수 있다.
- [0171] 따라서, 후술되는 단계에서 상기 고분자-금속유기구조체(20) 중 상기 금속 입자가 식각되는 경우에도 상기 바디(22)는, 상기 표면적이 증가된 팔면체 구조를 유지할 수 있다.
- [0173] **단계 S130**
- [0174] 도 6(c)를 참조하면, 단계 S130에서, 예비 다공성 탄소 구조체(25)가 제조될 수 있다.
- [0175] 보다 구체적으로, 본 단계에서, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(25)는, 질소 분위기에서, 상기 고분자-금속유기구조체(20)가 소정 온도 및 소정 시간으로 탄화되어 제조될 수 있다.
- [0176] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 소정 온도는, 700 ℃ 이상 내지 900 ℃ 이하일 수 있다. 예를 들어, 상기 소정 온도는, 800 ℃일 수 있다.
- [0177] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 소정 시간은, 1 시간 초과 내지 24 시간 미만일 수 있다. 예를 들어, 상기 소정 시간은 12시간 일 수 있다.
- [0178] 이에 따라, 본 발명에 의하면, 도 6 (a) 내지 도 6 (c)에 도시된 바와 같이, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 금속 입자(mi), 상기 제2 크기 범위의 메소 금속 입자(me), 및 상기 제3 크기 범위의 매크로 금속 입자(ma) 중 적어도 하나의 금속 입자를 포함하는 상기 예비 다공성 탄소 구조체(25)가 제조될 수 있다.
- [0179] 한편 여기에서, 상기 제1 크기 범위라 함은, 앞서 설명된 바와 같이, 수 나노미터 이하 범위일 수 있다. 예를 들어, 상기 제1 크기 범위는, 2 nm 이하 범위일 수 있다.
- [0180] 또한 여기에서, 상기 제2 크기 범위라 함은, 앞서 설명된 바와 같이, 수 나노미터 초과 내지 수십 나노미터 이하 범위일 수 있다. 예를 들어, 상기 제2 크기 범위는, 2 nm 초과 내지 50 nm 이하 범위일 수 있다.
- [0181] 또한 여기에서, 상기 제3 크기 범위라 함은, 앞서 설명된 바와 같이, 수십 나노미터 초과 범위일 수 있다. 예를 들어, 상기 제3 크기 범위는, 50 nm 초과 범위일 수 있다.
- [0182] 한편, 본 단계에서, 도 6 (a) 내지 도 6 (c)에 도시된 바와 같이, 상기 금속 입자가 상기 제1 내지 제3 크기 범위로 형성되는 것은, 상기 금속 입자의 결정립 조대화(coarsening) 현상에 의할 수 있다.
- [0183] 여기에서, 상기 결정립 조대화 현상이라 함은, 본 단계에서 상기 탄화 시간이 조절됨으로써, 상기 금속 입자의 결정립 조대화 정도가 제어되는 것을 포함하는 개념으로 이해될 수 있다.
- [0184] 보다 구체적으로, 도 6 (a)를 참조하면, 앞서 단계에서 설명된 바와 같이, 상기 탄화 전에, 상기 금속 입자는, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 금속 입자(mi)일 수 있다.
- [0185] 한편, 도 6 (b)를 참조하면, 본 단계에서, 상기 고분자-금속유기구조체(20, 도 5 참조)가 1 시간 동안 탄화되는 경우, 상기 마이크로 금속 입자(mi) 간에 서로 제1 응집되어, 상기 마이크로 금속 입자(mi) 중 적어도 일부는, 상기 제2 크기 범위의 메소 금속 입자(me)로 조대화될 수 있다.
- [0186] 한편, 도 6 (c)를 참조하면, 본 단계에서, 상기 고분자-금속유기구조체(20, 도 5 참조)가 12 시간 동안 탄화되는 경우, 상기 메소 금속 입자(me) 간에 서로 제2 응집되어, 상기 메소 금속 입자(me) 중 적어도 일부는, 상기 제3 크기 범위의 매크로 금속 입자(ma)로 조대화될 수 있다.
- [0187] 즉, 다시 말해, 본 단계에서, 상기 탄화가 12 시간으로 수행되는 경우, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(25)는, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 금속 입자(mi), 상기 제2 크기 범위의 메소 금속 입자(me), 및 상기 제3 크기 범위의 매크로 금속 입자(ma) 중 적어도 하나의 금속 입자를 포함할 수 있는 것이다.
- [0188] 한편 본 단계에서, 상기 금속 입자의 크기범위 즉, 제1 내지 제3 크기 범위를 조절하기 위하여, 상기 탄화 시간

이 조절될 수 있음은 물론이다.

- [0189] 이에 따라, 후술되는 단계에서, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(25)로부터 제조되는 다공성 탄소 구조체(100, 도 7 참조)는, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 금속 입자(mi), 상기 제2 크기 범위의 메소 금속 입자(me), 및 상기 제3 크기 범위의 매크로 금속 입자(ma) 중 적어도 하나의 금속 입자가 선택적으로 식각되어 형성되기 때문에, 도 7에 도시된 바와 같이, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 기공(31), 상기 제2 크기 범위의 메소 기공(32), 및 상기 제3 크기 범위의 매크로 기공(33) 중 적어도 하나의 기공으로 이루어질 수 있다.
- [0190] 이에 따라, 후술되는 단계에서, 다공성 탄소 구조체(100)는, 도 7에 도시된 바와 같이, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 기공(31), 상기 제2 크기 범위의 메소 기공(32), 및 상기 제3 크기 범위의 매크로 기공(33) 중 적어도 하나의 기공으로 이루어진 상기 다공 구조체(30)를 포함할 수 있고, 이에 따라, 기공의 계층성을 가질 수 있다.
- [0192] 한편, 본 단계에서, 상기 마이크로 금속 입자(mi)가 상기 메소 금속 입자(me) 및/또는 상기 매크로 금속 입자(ma)로 조대화되는 동안, 상기 마이크로 금속 입자(mi) 및 상기 메소 금속 입자(me) 중 적어도 하나의 금속 입자는, 상기 제1 및 제2 응집 중 적어도 하나의 응집을 위하여, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(25) 내부에서 이동할 수 있다.
- [0193] 이에 따라, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(25) 내부에는, 도 6 (c)에 도시된 바와 같이, 상기 금속 입자의 자리(site)를 연결하는 연결통로(35)가 형성될 수 있다.
- [0194] 따라서, 후술되는 단계에서, 다공성 탄소 구조체(100)에, 도 7에 도시된 바와 같이, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 기공(31), 상기 제2 크기 범위의 메소 기공(32), 및 상기 제3 크기 범위의 매크로 기공(33) 중 적어도 하나의 기공이 형성되는 경우, 상기 연결통로(35)를 통하여 상기 기공간에 연결될 수 있다.
- [0196] **단계 S140**
- [0197] 도 7을 참조하면, 단계 S140에서, 다공성 탄소 구조체(100)가 제조될 수 있다.
- [0198] 보다 구체적으로, 본 단계에서, 상기 다공성 탄소 구조체(100)는, 식각 용액을 통하여, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(25)에서 상기 금속 입자가 선택적으로 식각되어 제조될 수 있다.
- [0199] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 식각 용액은, 염화수소(hydrogen chloride, HCl) 용액일 수 있다. 예를 들어, 상기 식각 용액은, 1 M의 염화수소 용액일 수 있다.
- [0200] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 식각은, 24 시간 이상 내지 72 시간 이하로 수행될 수 있다. 예를 들어, 상기 식각은, 48 시간 동안 수행될 수 있다.
- [0201] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 식각된 다공성 탄소 구조체(100)는, 정제될 수 있다. 예를 들어, 상기 정제는, 증류수를 이용하여 pH 7이 될 때까지 수행될 수 있다.
- [0202] 이에 따라, 본 단계에서, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(25, 도 6 참조)의 상기 제1 크기 범위의 마이크로 금속 입자(mi), 상기 제2 크기 범위의 메소 금속 입자(me), 및 상기 제3 크기 범위의 매크로 금속 입자(ma) 중 적어도 하나의 금속 입자가 선택적으로 식각되어, 도 7에 도시된 바와 같이, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 기공(31), 상기 제2 크기 범위의 메소 기공(32), 및 상기 제3 크기 범위의 매크로 기공(33) 중 적어도 하나의 기공으로 이루어진 다공 구조체(30)를 포함하는 다공성 탄소 구조체가 제조될 수 있다.
- [0203] 이에 따라, 본 발명에 의하면, 상기 다공성 탄소 구조체(100)는, 상기 다공 구조체(30)가, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 기공(31), 상기 제2 크기 범위의 메소 기공(32), 및 상기 제3 크기 범위의 매크로 기공(33) 중 적어도 하나의 기공으로 이루어짐에 따라, 기공의 계층성을 가질 수 있다.
- [0205] 한편, 앞선 단계에서 설명된 바와 같이, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(25, 도 6 (c) 참조) 내부에는, 상기 금속 입자의 자리(site)를 연결하는 연결통로(35)가 형성된 바, 본 단계에서, 상기 식각을 통하여, 상기 금속 입자가 선택적으로 식각되는 경우, 상기 금속 입자가 선택적으로 식각된 금속 입자의 자리(site)에 형성된 기공은 상기 연결통로(35)로 연결될 수 있다.
- [0206] 이에 따라, 본 발명에 의하면, 상기 다공성 탄소 구조체(100)는, 상기 연결통로(35)에 의하여, 상기 다공 구조체(30)를 이루는 기공 간에 연결성을 가질 수 있다.
- [0207] 따라서, 상기 다공성 탄소 구조체(100)로부터 제조되는 후술되는 신축성 슈퍼커패시터(2000)는, 용량, 출력 밀도, 및 에너지 밀도 관점에서 성능이 향상될 수 있다.

- [0209] **단계 S150**
- [0210] 단계 S150에서, 상기 다공성 탄소 구조체(100)의 표면적이 증가될 수 있다.
- [0211] 보다 구체적으로, 본 단계에서, 상기 다공성 탄소 구조체(100)는, 질소 및 이산화탄소 분위기에서 열처리되어, 상술된 바와 같이 표면적이 증가될 수 있다.
- [0212] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 질소 및 이산화탄소 분위기는, 질소 및 이산화탄소가 동일한 부피비로 제공되어 형성될 수 있다. 예를 들어, 상기 질소 및 상기 이산화탄소는, 1:1의 부피비로 제공될 수 있다. 예를 들어, 상기 질소 및 상기 이산화탄소는, 동일하게 1,000 cc/min로 제공될 수 있다.
- [0213] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 열처리는, 800 °C 이상 내지 1,000 °C 이하에서 1 시간 이상 내지 3 시간 이하로 수행될 수 있다. 예를 들어, 상기 열처리는, 900 °C에서 2 시간 동안 수행될 수 있다.
- [0214] 한편, 본 단계에서, 상기 질소 분위기는, 상기 열처리하는 온도가 상온으로 식을 때까지, 유지될 수 있다.
- [0215] 이에 따라, 본 발명에 의하면, 상기 다공성 탄소 구조체(100)의 표면적이 증가될 수 있다. 예를 들어, 본 단계에서, 상기 다공성 탄소 구조체(100)의 표면적은, $3,000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ 일 수 있다.
- [0216] 따라서, 상기 다공성 탄소 구조체(100)로부터 제조되는 후술되는 신축성 슈퍼커패시터(2000)는, 용량, 출력 밀도, 및 에너지 밀도 관점에서 성능이 향상될 수 있다.
- [0218] 이상, 본 발명의 실시 예에 따른 탄소 구조체(100) 제조방법이 설명되었다.
- [0219] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예에 따른 신축성 전극(1000)이 설명된다.
- [0220] 이하, 설명되는 신축성 전극(1000)에 있어서, 앞서 설명된 탄소 구조체(100) 및 그의 제조방법과 중복되는 설명은 생략될 수도 있다. 하지만, 이하에서 중복되는 설명이 생략된다고 하여서 이를 배제하는 것은 아니며, 이하에서 중복되는 설명은 앞선 실시 예의 설명을 참고하기로 한다.
- [0222] 도 8은 본 발명의 실시 예에 따른 신축성 전극을 설명하기 위한 도면이다.
- [0223] 도 8을 참조하면, 상기 신축성 전극(1000)은, 신축성 기판(sb) 및 다공성 탄소 잉크 코팅층(250) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0224] 이하, 각 구성이 설명된다.
- [0226] **신축성 기판(sb)**
- [0227] 도 8을 참조하면, 상기 신축성 기판(sb)은, 신축성을 가질 수 있다.
- [0228] 예를 들어, 상기 신축성 기판(sb)은, 에코플렉스 기판(ecoflex substrate), 폴리디메틸실록산 기판(PDMS, polydimethylsiloxane substrate), 및 스티렌 에틸렌-부틸렌 스티렌 기판(SEBS, styrene ethylene-butylene styrene substrate) 중에서 적어도 어느 하나일 수 있다.
- [0229] 이에 따라, 본 발명의 실시 예에 따르면, 상기 신축성 기판(sb) 상에 형성되는 후술되는 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)은, 복수의 주름(255)을 포함할 수 있다. 이에 관해서는 보다 상세히 후술하기로 한다.
- [0231] **다공성 탄소 잉크 코팅층(250)**
- [0232] 도 8을 참조하면, 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)은, 상기 신축성 기판(sb) 상에 형성될 수 있다.
- [0233] 일 실시 예에 따르면, 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)은, 앞서 설명된 본 발명의 실시 예에 따른 다공성 탄소 구조체(100, 도 1 참조), 탄소 나노 튜브(미 도시), 고전도성 탄소(미 도시), 및 고분자 바인더(미 도시) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0234] 상기 다공성 탄소 구조체(100, 도 1 참조)에 관해서는 앞선 실시 예의 설명과 중복되는 바, 앞선 실시 예의 설명을 참고하기로 한다.
- [0235] 일 실시 예에 따르면, 상기 탄소 나노 튜브(미 도시)는, 단일벽 탄소 나노튜브(SWCNT: single-walled carbon nanotube)일 수 있다.
- [0236] 일 실시 예에 따르면, 상기 고전도성 탄소(미 도시)는, Super P 즉, 카본 블랙(carbon black)일 수 있다.

- [0237] 일 실시 예에 따르면, 상기 고분자 바인더(미 도시)는, P(비닐리덴 플루오라이드-헥사플루오로프로필렌, VDF-HFP: vinylidene fluoride-hexafluoropropylene)일 수 있다.
- [0239] 한편, 도 8을 참조하면, 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)은, 복수의 주름(255)을 포함할 수 있다.
- [0240] 이를 위해, 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)은, 상기 다공성 탄소 구조체(100, 도 1 참조), 상기 탄소 나노 튜브(미 도시), 상기 고전도성 탄소(미 도시), 및 상기 고분자 바인더(미 도시) 중 적어도 하나를 포함하는 다공성 탄소 잉크(200, 도 10 참조)가, 상기 신축성 기판(sb) 상에 제공되어 형성될 수 있다.
- [0241] 보다 구체적으로, 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)은, 상기 신축성 기판(sb)을 늘린 상태에서, 상기 다공성 탄소 잉크(200, 도 10 참조)가, 상기 신축성 기판(sb) 상에 제공되어 형성될 수 있다.
- [0242] 이에 따라, 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)이 형성된 늘린 상태의 신축성 기판(sb)이 복원되는 과정에서, 상기 늘린 상태의 신축성 기판(sb)이 줄어들면서 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)에 복수의 주름(255)이 형성될 수 있는 것이다.
- [0243] 이에 따라, 본 발명의 실시 예에 따른 신축성 전극(1000)은, 신축성을 가질 수 있다.
- [0245] 이상, 본 발명의 실시 예에 따른 신축성 전극(1000)이 설명되었다.
- [0246] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예에 따른 신축성 전극(1000) 제조방법이 설명된다.
- [0247] 이하, 설명되는 신축성 전극(1000) 제조방법에 있어서, 앞서 설명된 신축성 전극(1000)과 중복되는 설명은 생략될 수도 있다. 하지만, 이하에서 중복되는 설명이 생략된다고 하여서 이를 배제하는 것은 아니며, 이하에서 중복되는 설명은 앞선 실시 예의 설명을 참고하기로 한다.
- [0249] 도 9 내지 도 11은 본 발명의 실시 예에 따른 신축성 전극 제조방법을 설명하기 위한 도면이다.
- [0250] 도 9를 참조하면, 상기 신축성 전극(1000) 제조방법은, 다공성 탄소 구조체(100)를 제조하는 단계(S210), 다공성 탄소 잉크(200)를 제조하는 단계(S220), 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)을 형성하는 단계(S230), 및 신축성 전극(1000)을 제조하는 단계(S240) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0251] 이하, 각 단계가 설명된다.
- [0253] **단계 S210**
- [0254] 단계 S210에서, 상기 다공성 탄소 구조체(100)가 제조될 수 있다.
- [0255] 보다 구체적으로, 본 단계에서, 상기 다공성 탄소 구조체(100)는, 도 1을 참조하면, 앞서 설명된 바와 같이, 다면 구조로 형성된 바디(22), 및 상기 바디(22)에 형성된 제1 크기 범위의 마이크로 기공(31), 상기 제1 크기 보다 큰 제2 크기 범위의 메소 기공(32), 상기 제2 크기 보다 큰 제3 크기 범위의 매크로 기공(33) 중 적어도 하나의 기공으로 이루어진 다공 구조체(30)를 포함하되, 상기 다공 구조체(30)를 이루는 기공 간에 연결된 연결통로(35)를 포함하도록 제조될 수 있다.
- [0256] 상기 다공성 탄소 구조체(100)의 제조방법에 관해서는, 앞선 실시 예의 설명과 중복되는 바, 앞선 실시 예의 설명을 참고하기로 한다.
- [0258] **단계 S220**
- [0259] 단계 S220에서, 다공성 탄소 잉크(200, 도 10 참조)가 제조될 수 있다.
- [0260] 보다 구체적으로, 본 단계에서, 상기 다공성 탄소 잉크(200, 도 10 참조)는, 용매 중에 상기 다공성 탄소 구조체(100), 탄소 나노 튜브(미 도시), 고전도성 탄소(미 도시), 및 고분자 바인더(미 도시) 중 적어도 하나가 용해되어 제조될 수 있다.
- [0261] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 용매는, 다이메틸폼아마이드(DMF: dimethylformamide)일 수 있다.
- [0262] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 다공성 탄소 잉크(200, 도 10 참조)는, 상기 탄소 나노 튜브(미 도시)와 상기 고전도성 탄소(미 도시)가 동일한 질량비로 제공되어 형성될 수 있다. 예를 들어, 상기 탄소 나노 튜브(미 도시)와 상기 고전도성 탄소(미 도시)는, 1:1의 질량비로 제공될 수 있다.
- [0263] 이에 따라, 본 단계에서, 상기 다공성 탄소 잉크(200)가 제조될 수 있다.

- [0265] **단계 S230**
- [0266] 도 10을 참조하면, 단계 S230에서, 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)이 형성될 수 있다.
- [0267] 보다 구체적으로, 본 단계에서, 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)은, 상기 신축성 기판(sb)을 늘린 상태에서 상기 다공성 탄소 잉크(200)가 제공되어, 상기 늘린 상태의 신축성 기판(sb) 상에 형성될 수 있다.
- [0268] 이에 따라, 후술되는 단계에서, 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)이 형성된 늘린 상태의 신축성 기판(sb)이 복원(r1, 도 11 참조)되는 과정에서, 상기 늘린 상태의 신축성 기판(sb)이 줄어들면서 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)에 복수의 주름(255)이 형성될 수 있다.
- [0270] **단계 S240**
- [0271] 도 11을 참조하면, 단계 S240에서, 신축성 전극(1000)이 제조될 수 있다.
- [0272] 이를 위해, 본 단계에서, 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)이 형성된 늘린 상태의 신축성 기판(sb)이 복원(r1)될 수 있다.
- [0273] 이에 따라, 상기 복원(r1) 과정에서 상기 늘린 상태의 신축성 기판(sb)이 줄어들면서 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)에 복수의 주름(255)이 형성될 수 있다.
- [0274] 이에 따라, 본 발명의 실시 예에 따른 신축성 전극(1000)은, 신축성을 가질 수 있다.
- [0275] 한편, 앞서 설명된 바와 같이, 상기 신축성 전극(1000)은, 상기 다공성 탄소 구조체(100)를 포함하는 바, 상기 다공성 탄소 구조체(100)에 의하여, 기공의 계층성, 기공 간에 연결성, 및 증가된 표면적을 가질 수 있다.
- [0276] 따라서, 상기 신축성 전극(1000)으로부터 제조되는 후술되는 신축성 슈퍼커패시터(2000)는, 용량, 출력 밀도, 및 에너지 밀도 관점에서 성능이 향상될 수 있다.
- [0278] 이상, 본 발명의 실시 예에 따른 신축성 전극(1000) 제조방법이 설명되었다.
- [0279] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예에 따른 신축성 슈퍼커패시터(2000)가 설명된다.
- [0280] 이하, 설명되는 신축성 슈퍼커패시터(2000)에 있어서, 앞서 설명된 신축성 전극(1000) 및 그의 제조방법과 중복되는 설명은 생략될 수도 있다. 하지만, 이하에서 중복되는 설명이 생략된다고 하여서 이를 배제하는 것은 아니며, 이하에서 중복되는 설명은 앞선 실시 예의 설명을 참고하기로 한다.
- [0282] 도 12는 본 발명의 실시 예에 따른 신축성 슈퍼커패시터를 설명하기 위한 도면이다.
- [0283] 도 12를 참조하면, 상기 신축성 슈퍼커패시터(2000)는, 이온 겔 전해질(ig) 및 다공성 탄소 잉크 코팅층(250) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0284] 이하, 각 구성이 설명된다.
- [0286] **이온 겔 전해질(ig)**
- [0287] 일 실시 예에 따르면, 상기 이온 겔 전해질(ig)은, 신축성을 가질 수 있다.
- [0288] 이를 위해, 상기 이온 겔 전해질(ig)은, 고분자 네트워크에 의하여 지지되며, 이온성 액체 내에서 상분리되어 존재할 수 있다. 여기에서, 고분자 네트워크는, 호모폴리머, 공중합체, 다중 공중합체 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 어느 하나일 수 있다.
- [0289] 본 발명의 실시 예에 따르면, 상기 이온성 액체는, 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드([EMI][TFSI]), 1-부틸-3-메틸이미다졸륨 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드([BMI][TFSI]), 1-부틸-3-메틸이미다졸륨 헥사플루오로포스페이트([BMI][PF6]), 1-부틸-3-메틸이미다졸륨 테트라플루오로보레이트([BMI][BF4]), 1-부틸-1-메틸피롤리디늄 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드[BMPYR][TFSI], 1-부틸-1-메틸피롤리디늄 트리스(펜타플루오로에틸)트리플루오로포스페이트([BMPYR][FAP]), 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 트리스(펜타플루오로에틸)트리플루오로포스페이트[EMI][FAP], 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 비스(플루오로설포닐)이미드([EMI][FSI]), 및 에틸-디메틸-프로필암모늄 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드([EDMPA][TFSI])로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상을 이온 성분으로 포함할 수 있다.
- [0290] 이에 따라, 본 발명의 실시 예에 따르면, 상기 신축성을 가지는 이온 겔 전해질(ig)을 사이에 두고, 양 측에 상기 복수의 주름(255)이 형성된 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)이 형성될 수 있다. 이에 관해서는 보다 상세히 후

술하기로 한다.

[0292] **다공성 탄소 잉크 코팅층(250)**

[0293] 도 12를 참조하면, 상기 복수의 주름(255)이 형성된 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)은, 상기 이온겔 전해질(ig)을 사이에 두고 양 측에 배치될 수 있다.

[0294] 이를 위해, 상기 복수의 주름(255)이 형성된 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)은, 앞서 설명된 상기 신축성 전극(1000)으로부터 상기 이온 겔 전해질(ig) 양 측으로 전사될 수 있다. 이에 관해서는 보다 상세히 후술하기로 한다.

[0295] 한편, 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)은, 앞서 설명된 바와 같이, 상기 다공성 탄소 구조체(100, 도 1 참조), 탄소 나노 튜브(미 도시), 고전도성 탄소(미 도시), 및 고분자 바인더(미 도시) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0296] 이에 따라, 본 발명에 의하면, 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)은, 상기 다공성 탄소 구조체(100, 도 1 참조)에 의하여, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 기공(31), 상기 제2 크기 범위의 메소 기공(32), 및 상기 제3 크기 범위의 매크로 기공(33) 중 적어도 하나의 기공으로 이루어짐에 따라, 상기 다공 구조체(30)가 기공의 계층성을 가질 수 있고, 상기 연결통로(35)를 통하여, 상기 다공 구조체(30)를 이루는 기공 간에 연결성을 가질 수 있다.

[0297] 따라서, 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)을 포함하는 신축성 슈퍼커패시터(2000)는, 용량, 출력 밀도, 및 에너지 밀도 관점에서 성능이 향상될 수 있다.

[0298] 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)에 관해서는 앞선 실시 예의 설명과 중복되는 바, 앞선 실시 예의 설명을 참고하기로 한다.

[0299] 한편, 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)에는, 앞서 설명된 바와 같이, 복수의 주름(255)이 형성될 수 있다.

[0300] 이에 따라, 본 발명의 실시 예에 따른 신축성 슈퍼커패시터(2000)는, 상기 신축성을 가지는 이온 겔 전해질(ig) 및 상기 복수의 주름(255)을 포함하는 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)에 의하여, 신축성을 가질 수 있다.

[0302] 이상, 본 발명의 실시 예에 따른 신축성 슈퍼커패시터(2000)가 설명되었다.

[0303] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예에 따른 신축성 슈퍼커패시터(2000) 제조방법이 설명된다.

[0304] 이하, 설명되는 신축성 슈퍼커패시터(2000) 제조방법에 있어서, 앞서 설명된 신축성 슈퍼커패시터(2000)과 중복되는 설명은 생략될 수도 있다. 하지만, 이하에서 중복되는 설명이 생략된다고 하여서 이를 배제하는 것은 아니며, 이하에서 중복되는 설명은 앞선 실시 예의 설명을 참고하기로 한다.

[0306] 도 13 내지 도 15는 본 발명의 실시 예에 따른 신축성 전극 제조방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0307] 도 13을 참조하면, 상기 신축성 슈퍼커패시터(2000) 제조방법은, 앞서 설명된 단계 S210 내지 S240 중 적어도 하나 이후에, 신축성을 가지는 이온 겔 전해질(ig)을 준비하는 단계(S250) 및 신축성 슈퍼커패시터(2000)를 제조하는 단계(S260) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0308] 이하, 앞서 설명된 단계 S210 내지 S240은 중복되는 바 생략하기로 하며, 단계 250 및 단계 260이 설명된다.

[0310] **단계 S250**

[0311] 도 14를 참조하면, 단계 S250에서, 신축성을 가지는 이온 겔 전해질(ig)이 준비될 수 있다.

[0312] 일 실시 예에 따르면, 상기 이온 겔 전해질(ig)은, 신축성을 가질 수 있다.

[0313] 이를 위해, 상기 이온 겔 전해질(ig)은, 고분자 네트워크에 의하여 지지되며, 이온성 액체 내에서 상분리되어 존재할 수 있다. 여기에서, 고분자 네트워크는, 호모폴리머, 공중합체, 다중 공중합체 및 이들의 혼합물 중에서 적어도 어느 하나일 수 있다.

[0314] 본 발명의 실시 예에 따르면, 상기 이온성 액체는, 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드([EMI][TFSI]), 1-부틸-3-메틸이미다졸륨 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드 ([BMI][TFSI]), 1-부틸-3-메틸이미다졸륨 헥사플루오로포스페이트 ([BMI][PF6]), 1-부틸-3-메틸이미다졸륨 테트라플루오로보레이트 ([BMI][BF4]), 1-부틸-1-메틸피롤리디늄 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드[BMPYR][TFSI], 1-부틸-1-메틸피롤

리디늄 트리스(펜타플루오로에틸)트리플루오로포스페이트([BMPYR][FAP]), 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 트리스(펜타플루오로에틸)트리플루오로포스페이트 [EMI][FAP], 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 비스(플루오로설포닐)이미드([EMI][FSI]), 및 에틸-디메틸-프로필암모늄 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드([EDMPA][TFSI])로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상을 이온 성분으로 포함할 수 있다.

[0315] 이에 따라, 후술되는 단계에서, 상기 신축성을 가지는 이온 겔 전해질(ig)을 사이에 두고, 양 측에 상기 복수의 주름(255)이 형성된 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)이 형성될 수 있다.

[0317] **단계 S260**

[0318] 도 14 및 도 15를 참조하면, 단계 S260에서, 신축성 슈퍼커패시터(2000)가 제조될 수 있다.

[0319] 이를 위해, 본 단계에서, 도 14에 도시된 바와 같이, 상기 복수의 주름(255)이 형성된 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)이 상기 이온 겔 전해질(ig) 측을 향하도록, 상기 이온 겔 전해질(ig)을 사이에 두고 상기 신축성 전극(1000)이 양 측에 배치되고 어닐링될 수 있다.

[0320] 일 실시 예에 따르면, 본 단계에서, 상기 어닐링은, 100 °C 이상 내지 200 °C 이하에서 1 분 이상 내지 10 분 이하로 수행될 수 있다. 예를 들어, 상기 어닐링은, 130 °C에서 5 분 동안 수행될 수 있다.

[0321] 이에 따라, 본 단계에서, 도 15에 도시된 바와 같이, 상기 복수의 주름(255)이 형성된 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)이, 상기 이온 겔 전해질(ig)로 전사되어, 상기 신축성 슈퍼커패시터(2000)가 제조될 수 있다.

[0322] 이에 따라, 본 발명의 실시 예에 따른 신축성 슈퍼커패시터(2000)는, 신축성을 가질 수 있다.

[0323] 한편, 앞서 설명된 바와 같이, 상기 신축성 슈퍼커패시터(2000)는, 상기 다공성 탄소 구조체(100)를 포함하는 바, 상기 다공성 탄소 구조체(100)에 의하여, 기공의 계층성, 기공 간에 연결성, 및 증가된 표면적을 가질 수 있다.

[0324] 따라서, 상기 신축성 슈퍼커패시터(2000)는, 용량, 출력 밀도, 및 에너지 밀도 관점에서 성능이 향상될 수 있다.

[0326] 이상, 본 발명의 실시 예에 따른 신축성 슈퍼커패시터(2000) 제조방법이 설명되었다.

[0327] 이하, 본 발명의 실험 예가 설명된다.

[0329] **본 발명의 실험 예에 따른 금속유기구조체(10)의 제조**

[0330] 상기 용매로써 N,N-다이메틸폼아마이드(N,N-DMF: N,N-Dimethylformamide) 15 mL 에, 상기 금속 입자(mi)로써 제2구리 질산염 5수화물(Copper(II) nitrate pentahydrate, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$) 0.5 g과 상기 유기물(or)로써 1,3,5-벤젠트리카르복실산(1,3,5-Benzenetricarboxylic acid) 0.3g을 5분 동안 혼합하여 상기 혼합물을 제조하였다.

[0331] 이후, 상기 혼합물에, 산성 용액으로써 질산(Nitric acid) 0.06 mL를 첨가하고, 1시간 동안 교반하였다.

[0332] 상기 산성 용액이 첨가된 혼합물에, 상기 수용성 중합체로써 폴리비닐피롤리돈(PVP: Polyvinylpyrrolidone M.W. ~55,000) 3.65 g을 첨가하고 15분 동안 교반하였다.

[0333] 교반을 마친 혼합물을, 90 °C에서 16 시간 동안 상기 열처리하였다.

[0334] 상기 열처리된 혼합물을, 원심분리기를 이용하여 다이메틸폼아마이드(DMF: dimethylformamide)로 2회 정제한 후에, 아세토나이트릴(MeCN: acetonitrile)을 이용하여 7 일 동안 14 회 정제하였다.

[0335] 상기 정제된 혼합물을, 80 °C에서 6 시간 동안 건조하여, 본 발명의 실험 예에 따른 금속유기구조체(10)를 제조하였다.

[0337] **본 발명의 실험 예에 따른 고분자-금속유기구조체(20)의 제조**

[0338] 앞서 설명된 본 발명의 실험 예에 따른 금속유기구조체(10) 200 mg에, 상기 제1 고분자 재료(미 도시)로써 페놀(phenol) 340 mg 및 상기 제2 고분자 재료(미 도시)로써 파라포름알데하이드(paraformaldehyde) 260 mg를 제공하고, 감압기를 이용하여 진공 분위기를 형성하였다.

[0339] 상기 진공 분위기에서, 90 °C에서 24 시간 동안 기상 중합하여, 기상 중합물을 제조하였다.

- [0340] 상기 기상 중합물을, 아세토나이트릴(MeCN: acetonitrile)을 이용하여 2 회 정제하였다.
- [0341] 상기 정제된 기상 중합물을, 90 °C에서 건조하여, 본 발명의 실험 예에 따른 고분자-금속유기구조체(20)를 제조하였다.
- [0343] **본 발명의 실험 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(25)의 제조**
- [0344] 질소 분위기에서, 앞서 설명된 본 발명의 실험 예에 따른 고분자-금속유기구조체(20)를, 800 °C에서 12 시간 동안 열처리하여, 본 발명의 실험 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(25)를 제조하였다.
- [0346] **제1 비교 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(h1)의 제조**
- [0347] 앞서 설명된 본 발명의 실험 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(25)의 제조방법에서, 상기 고분자-금속유기구조체(20)를, 800 °C에서 1 시간 동안 열처리하여, 제1 비교 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(h1)를 제조하였다.
- [0349] **제2 비교 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(h0)의 제조**
- [0350] 앞서 설명된 본 발명의 실험 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(25)의 제조방법에서, 상기 고분자-금속유기구조체(20)를, 800 °C에서 열처리하지 않고, 150 °C에서, 24 시간 동안 폴리머 경화처리한 후에, 에틸렌디아민 테트라아세트산(EDTA: ethylenediaminetetraacetic acid) 용액 200 mL에 분산시키고, 2 일 동안 교반하되 1 일에 2 회씩 원심분리한 후에, Di water(Deionized water)를 이용하여 3 회 정제 후, 90 °C에서 건조하여, 제2 비교 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(h0)를 제조하였다.
- [0352] **제3 비교 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(h24)의 제조**
- [0353] 앞서 설명된 본 발명의 실험 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(25)의 제조방법에서, 상기 고분자-금속유기구조체(20)를, 800 °C에서 24 시간 동안 열처리하여, 제3 비교 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(h24)를 제조하였다.
- [0355] **본 발명의 실험 예에 따른 다공성 탄소 구조체(100)의 제조**
- [0356] 앞서 설명된 본 발명의 실험 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(25)를, 1 M의 염화수소 용액을 이용하여 48 시간 동안 식각하였다.
- [0357] 상기 식각된 예비 다공성 탄소 구조체(25)를, 증류수를 이용하여 pH 7이 될 때까지 정제하여, 본 발명의 실험 예에 따른 다공성 탄소 구조체(100)를 제조하였다.
- [0359] **본 발명의 실험 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s)의 제조**
- [0360] 질소 및 이산화탄소가, 동일하게 1,000 cc/min로 제공된 분위기에서, 앞서 설명된 본 발명의 실험 예에 따른 다공성 탄소 구조체(100)를, 900 °C에서 2 시간 동안 열처리하여, 표면적은, $3,000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ 를 가지는, 본 발명의 실험 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s)를 제조하였다.
- [0362] **제1 비교 예에 따른 탄소 구조체(cp1)의 제조**
- [0363] 앞서 설명된 제1 비교 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(h1)를, 1 M의 염화수소 용액을 이용하여 48 시간 동안 식각하고, 증류수를 이용하여 pH 7이 될 때까지 정제하여, 제1 비교 예에 따른 다공성 탄소 구조체(cp1)를 제조하였다.
- [0365] **제1 비교 예에 따른 표면적이 증가된 탄소 구조체(cp1s)의 제조**
- [0366] 질소 및 이산화탄소가, 동일하게 1,000 cc/min로 제공된 분위기에서, 앞서 설명된 제1 비교 예에 따른 다공성 탄소 구조체(cp1)를, 900 °C에서 2 시간 동안 열처리하여, 제1 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp1s)를 제조하였다.
- [0368] **제2 비교 예에 따른 탄소 구조체(cp2)의 제조**
- [0369] 앞서 설명된 제2 비교 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(h0)를, 질소 분위기에서, 800 °C에서 1 시간 동안 열처리하여, 제2 비교 예에 따른 다공성 탄소 구조체(cp2)를 제조하였다.
- [0371] **제2 비교 예에 따른 표면적이 증가된 탄소 구조체(cp2s)의 제조**

- [0372] 질소 및 이산화탄소가, 동일하게 1,000 cc/min로 제공된 분위기에서, 앞서 설명된 제2 비교 예에 따른 다공성 탄소 구조체(cp2)를, 900 °C에서 2 시간 동안 열처리하여, 제2 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp2s)를 제조하였다.
- [0374] **본 발명의 실험 예에 따른 신축성 전극(1000)의 제조**
- [0375] 다이메틸폼아마이드(DMF: dimethylformamide) 용매에, 앞서 설명된 본 발명의 실험 예에 따른 다공성 탄소 구조체(100)와, 상기 탄소 나노 튜브로써 단일벽 탄소 나노튜브(SWCNT: single-walled carbon nanotube), 상기 고전도성 탄소로써 Super P, 및 상기 고분자 바인더로써 P(비닐리덴 플루오라이드-헥사플루오로프로필렌, VDF-HFP: vinylidene fluoride-hexafluoropropylene)을 용해시켜 상기 다공성 탄소 잉크(200)를 제조하였다. 이때, 상기 SWCNT와 상기 Super P는 1:1 wt% 비율로 제공하였다.
- [0376] 상기 신축성 기판(sb)으로, 에코플렉스 기판(ecoflex substrate)을 준비하고, 상기 신축성 기판(sb)을 늘린 상태에서 상기 다공성 탄소 잉크(200) 스프레이 코팅 방법으로 제공하여, 상기 늘린 상태의 신축성 기판(sb) 상에, 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)을 형성하였다.
- [0377] 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)이 형성된 늘린 상태의 신축성 기판(sb)을 복원(r1)시킴으로써, 상기 늘린 상태의 신축성 기판(sb)이 줄어들면서 상기 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)에 복수의 주름(255)이 형성된, 본 발명의 실험 예에 따른 신축성 전극(1000)을 제조하였다.
- [0379] **본 발명의 실험 예에 따른 신축성 슈퍼커패시터(2000)의 제조**
- [0380] 상기 이온 겔 전해질(ig)의 상기 이온성 액체로, 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드 ([EMI][TFSI]), 1-부틸-3-메틸이미다졸륨 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드 ([BMI][TFSI]), 1-부틸-3-메틸이미다졸륨 헥사플루오로포스페이트 ([BMI][PF6]), 1-부틸-3-메틸이미다졸륨 테트라플루오로보레이트 ([BMI][BF4]), 1-부틸-1-메틸피롤리디늄 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드[BMPYR][TFSI], 1-부틸-1-메틸피롤리디늄 트리스(펜타플루오로에틸)트리플루오로포스페이트([BMPYR][FAP]), 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 트리스(펜타플루오로에틸)트리플루오로포스페이트 [EMI][FAP], 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 비스(플루오로설포닐)이미드 ([EMI][FSI]), 및 에틸-디메틸-프로필암모늄 비스(트리플루오로메틸설포닐)이미드([EDMPA][TFSI])로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상을 이온 성분으로 준비하고, 앞서 제조된 본 발명의 실시 예에 따른 신축성 전극(1000)에서 상기 복수의 주름(255)이 형성된 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)이 상기 이온 겔 전해질(ig) 측을 향하도록, 상기 이온 겔 전해질(ig)을 사이에 두고 상기 신축성 전극(1000)을 양 측에 배치하고 130 °C에서 5 분 동안 어닐링하였다.
- [0381] 이에 따라, 상기 복수의 주름(255)이 형성된 다공성 탄소 잉크 코팅층(250)이, 상기 이온 겔 전해질(ig)로 전사된, 본 발명의 실험 예에 따른 신축성 슈퍼커패시터(2000)를 제조하였다.
- [0383] 도 16 내지 도 61은 본 발명의 실험 예를 설명하기 위한 도면이다.
- [0384] 도 16을 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 금속유기구조체(10)의 SEM(scanning electron microscope) 이미지를 관측할 수 있다.
- [0385] 본 발명의 실험 예에 따른 복수의 금속유기구조체(10)는, 도 16에 도시된 바와 같이, 크기와 형상이 유사한 팔면체 구조로 형성된 것을 관측할 수 있다.
- [0386] 이때 상기 금속유기구조체(10)는, 약 2 μm의 크기로 형성되었다.
- [0387] 한편, 도 17을 참조하면, 비교 예에 따른 금속유기구조체(cv)를 관측할 수 있다.
- [0388] 상기 비교 예에 따른 금속유기구조체(cv)를 제조하기 위하여, 20 mL 바이알(vial) 용기에 0.5 g의 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$, 0.3 g의 BTC(1,3,5-Benzentricarboxylic acid), 및 15 mL의 DMF(Dimethylformamide)를 제공하고, 용해시켜 용액을 제조하였다. 상기 용액을 90 °C 온도의 오일 베스(bath)에서 16 시간 동안 열처리하여, 상기 용액의 색이 불투명하게 변하면, 원심분리기를 이용하여 DMF로 2 회 및 아세토나이트릴(acetonitrile, MeCN)로 2 회 정제하였고, 진공 분위기에서 80 °C 온도로 건조하였다.
- [0389] 상기 금속유기구조체(cv)는, 도 17에 도시된 바와 같이, 크기와 형상이 각기 다른 것을 관측할 수 있다.
- [0390] 이에 따라, 본 발명의 실험 예에 따르는 경우, 상기 복수의 금속유기구조체(10)는, 크기와 형상이 유사한 팔면체 구조로 형성될 수 있음이 입증될 수 있다.

- [0392] 도 18을 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 금속유기구조체(10), 비교 예에 따른 금속유기구조체(cv), 및 시플레이션(sm)의 XRD(x-ray diffraction) 패턴을 관측할 수 있다.
- [0393] 도 18을 통하여, 상기 금속유기구조체(10) 및 상기 금속유기구조체(cv)의 XRD 패턴이 유사함을 관측할 수 있으며, 이에 따라, 본 발명의 실험 예에 따른 금속유기구조체(10)와 비교 예에 따른 금속유기구조체(cv)의 배열구조 및/또는 결정구조가 유사함이 입증될 수 있다.
- [0395] 도 19를 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 금속유기구조체(10) 및 비교 예에 따른 금속유기구조체(cv)의 질소 흡착 곡선을 관측할 수 있다.
- [0396] 도 19를 통하여, 본 발명의 실험 예에 따른 금속유기구조체(10)는, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 기공(31)만을 포함하는 것이 입증될 수 있다.
- [0398] 도 20을 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 고분자-금속유기구조체(20)의 SEM(scanning electron microscope) 이미지를 관측할 수 있다.
- [0399] 도 20을 통하여, 상기 복수의 금속유기구조체(10)가 기상 중합되어 복수의 상기 고분자-금속유기구조체(20)가 제조되는 경우에도, 상술된 바와 같은 크기와 형상이 유사한 팔면체 구조가 유지됨이 입증될 수 있다.
- [0401] 도 21을 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 금속유기구조체(10), 본 발명의 실험 예에 따른 고분자-금속유기구조체(20), 및 시플레이션(sm)의 XRD(x-ray diffraction) 패턴을 관측할 수 있다.
- [0402] 도 21을 통하여, 본 발명의 실험 예에 따른 금속유기구조체(10) 및 고분자-금속유기구조체(20)의 XRD 패턴이 유사함을 관측할 수 있으며, 이에 따라, 본 발명의 실험 예에 따른 기상 중합 이후에도 배열구조 및/또는 결정구조가 변화하지 않고 유지됨이 입증될 수 있다.
- [0404] 도 22를 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 금속유기구조체(10) 및 고분자-금속유기구조체(20)의 질소 흡착 곡선을 관측할 수 있다.
- [0405] 도 22를 통하여, 상기 금속유기구조체(10)는, 앞서 설명된 바와 같이, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 기공(31)을 포함하지만, 상기 고분자-금속유기구조체(20)에서는, 상기 마이크로 기공(31)이 상기 제1 및 제2 고분자 재료(미 도시)로 막혀진 것을 알 수 있다.
- [0406] 이에 따라, 상기 기상 중합을 통하여, 상기 제1 및 제2 고분자 재료(미 도시)가 상기 마이크로 기공(31)에 고분자화 되었음이 입증될 수 있다.
- [0408] 도 23을 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 금속유기구조체(10) 및 고분자-금속유기구조체(20)의 TGA(thermogravimetric analyzer) 그래프를 관측할 수 있다.
- [0409] 도 23을 통하여, 상기 고분자-금속유기구조체(20)에서, 전체 무게의 약 13 %를 차지하는 고분자가 합성되었음을 알 수 있다.
- [0410] 이에 따라, 상기 기상 중합을 통하여, 상기 제1 및 제2 고분자 재료(미 도시)가 상기 마이크로 기공(31)에 고분자화 되었음이 입증될 수 있다.
- [0412] 도 24 (a) 및 도 24 (b)를 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(25)의 SEM(scanning electron microscope) 이미지를 관측할 수 있다.
- [0413] 도 24 (a)를 통하여, 상기 복수의 고분자-금속유기구조체(20)가 800 °C에서 12 시간 동안 열처리되어 복수의 상기 예비 다공성 탄소 구조체(25)가 제조되는 경우에도, 상술된 바와 같은 크기와 형상이 유사한 팔면체 구조가 유지됨이 입증될 수 있다.
- [0414] 또한 도 24 (b)를 통하여, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(25)는, 상기 바디(22), 상기 제3 크기 범위의 매크로 금속 입자(ma), 상기 연결통로(35)를 포함하는 것을 관측할 수 있다.
- [0415] 이에 따라, 상기 고분자-금속유기구조체(20, 도 20 참조)가 12 시간 동안 탄화되는 경우, 상기 마이크로 금속 입자(mi) 간에 서로 제1 응집되어, 상기 마이크로 금속 입자(mi) 중 적어도 일부는, 상기 제2 크기 범위의 메소 금속 입자(me)로 조대화되고, 상기 메소 금속 입자(me) 간에 서로 제2 응집되어, 상기 메소 금속 입자(me) 중 적어도 일부는, 상기 제3 크기 범위의 매크로 금속 입자(ma)로 조대화됨이 입증될 수 있다.
- [0416] 즉, 다시 말해, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(25)는, 상기 탄화가 12 시간으로 수행되었기 때문에, 상기 제1

크기 범위의 마이크로 금속 입자(mi), 상기 제2 크기 범위의 메소 금속 입자(me), 및 상기 제3 크기 범위의 매크로 금속 입자(ma) 중 적어도 하나의 금속 입자를 포함함이 입증될 수 있다.

- [0418] 도 25 (a) 및 도 25 (b)를 참조하면, 제1 비교 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(h1)의 SEM(scanning electron microscope) 이미지를 관측할 수 있다.
- [0419] 도 25 (a)를 통하여, 상기 복수의 고분자-금속유기구조체(20)가 800 ℃에서 1 시간 동안 열처리되어 복수의 상기 예비 다공성 탄소 구조체(h1)가 제조되는 경우에도, 상술된 바와 같은 크기와 형상이 유사한 팔면체 구조가 유지됨이 입증될 수 있다.
- [0420] 한편 도 25 (b)를 통하여, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(h1)는, 상기 바디(22) 및 상기 제2 크기 범위의 메소 금속 입자(me)를 포함하되, 상기 연결통로(35)를 미-포함하는 것을 관측할 수 있다.
- [0421] 이에 따라, 본 발명의 실험 예와는 달리, 상기 고분자-금속유기구조체(20, 도 20 참조)가 1 시간 동안 탄화되는 경우, 상기 마이크로 금속 입자(mi) 간에 서로 응집되어 상기 메소 금속 입자(me)를 형성하지만, 상기 매크로 금속 입자(ma)는 형성하지 못하며, 상기 메소 금속 입자(me)가 상기 매크로 금속 입자(ma)로 응집되기 위하여, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(25) 내부에서 이동하지 못하기 때문에, 상기 연결통로(35)가 미-형성되었음을 알 수 있다.
- [0423] 도 26 (a) 및 도 26 (b)를 참조하면, 제2 비교 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(h0)의 SEM(scanning electron microscope) 이미지를 관측할 수 있다.
- [0424] 도 26 (a)를 통하여, 상기 복수의 고분자-금속유기구조체(20)가 800 ℃에서 열처리되지 않고, 폴리머 경화처리되어 복수의상기 예비 다공성 탄소 구조체(h0)가 제조되는 경우에도, 상술된 바와 같은 크기와 형상이 유사한 팔면체 구조가 유지됨이 입증될 수 있다.
- [0425] 하지만, 도 26 (a) 및 도 26 (b)를 통하여, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(h0)는, 어떠한 금속 입자도 포함하지 않으며, 상기 연결통로(35)도 미-포함하는 것을 관측할 수 있다.
- [0426] 이는, 앞서 설명된 바와 같이, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(h0)에서는, 상기 고분자-금속유기구조체(20)가 800 ℃에서 열처리되지 않고, 폴리머 경화처리된 후에, 에틸렌디아민테트라아세트산(EDTA: ethylenediaminetetraacetic acid) 용액을 통하여 식각되었기 때문일 수 있다.
- [0427] 이에 따라, 본 발명의 실험 예와는 달리, 상기 고분자-금속유기구조체(20, 도 20 참조)가 탄화되지 않는 경우, 상기 마이크로 금속 입자(mi) 간에 서로 응집되지 못하며, 상기 마이크로 입자(mi)가 상술된 바와 같은 응집을 위하여, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(25) 내부에서 이동하지 못하기 때문에, 상기 연결통로(35)가 미-형성되었음을 알 수 있다.
- [0429] 도 27 (a) 및 도 27 (b)를 참조하면, 제3 비교 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(h24)의 SEM(scanning electron microscope) 이미지를 관측할 수 있다.
- [0430] 도 27 (a)를 통하여, 상기 복수의 고분자-금속유기구조체(20)가 800 ℃에서 24 시간 동안 열처리되어 상기 예비 다공성 탄소 구조체(h24)가 제조되는 경우에는, 앞서 설명된 본 발명의 실험 예와 제1 및 제2 비교 예와는 달리, 팔면체 구조가 무너진 것을 관측할 수 있다.
- [0431] 또한 도 27 (b)를 통하여, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(h24)는, 상기 바디(22)뿐 아니라, 기공 구조도 무너진 것을 관측할 수 있다.
- [0432] 이에 따라, 본 발명의 실험 예와는 달리, 상기 고분자-금속유기구조체(20, 도 20 참조)가 24 시간 동안 탄화되는 경우, 탄화가 과도하게 진행되기 때문에, 상기 고분자-금속유기구조체(20, 도 20 참조)의 구조가 무너짐을 알 수 있다.
- [0434] 도 28을 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(25), 제1 비교 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(h1), 및 시뮬레이션(sm)의 XRD(x-ray diffraction) 패턴을 관측할 수 있다.
- [0435] 도 28을 통하여, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(25) 및 상기 예비 다공성 탄소 구조체(h1)의 XRD 패턴이 유사함을 관측할 수 있으며, 이에 따라, 본 발명의 실험 예에 따라, 상기 탄화가 12 시간으로 수행되는 경우에도 배열 구조 및/또는 결정구조가 변화하지 않고 유지됨이 입증될 수 있다.
- [0436] 나아가, 도 28을 통하여, 상기 다공성 탄소 구조체(25)의 피크(peak)가 상기 1 예비 다공성 탄소 구조체(h1)의

피크 보다 높게 측정됨에 따라, 상기 다공성 탄소 구조체(25)의 금속 입자가 상기 1 예비 다공성 탄소 구조체(h1)의 금속 입자 보다 크을 알 수 있다.

- [0437] 이로써, 본 발명의 실험 예에 따라, 상기 탄화가 12 시간으로 수행되는 경우, 상기 마이크로 금속 입자(mi) 간에 서로 제1 응집되어, 상기 마이크로 금속 입자(mi) 중 적어도 일부는, 상기 제2 크기 범위의 메소 금속 입자(me)로 조대화되고, 상기 메소 금속 입자(me) 간에 서로 제2 응집되어, 상기 메소 금속 입자(me) 중 적어도 일부는, 상기 제3 크기 범위의 매크로 금속 입자(ma)로 조대화됨이 입증될 수 있다.
- [0439] 도 29 및 도 30을 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(25) 및 제1 비교 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(h1)의 질소 흡착 곡선 및 기공 분포도를 관측할 수 있다.
- [0440] 도 29 및 도 30을 통하여, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(25)는, 상기 제1 내지 제3 크기 범위의 마이크로, 메소, 매크로 금속 입자(mi, me, ma)를 포함하지만, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(h1)에서는, 상기 마이크로 금속 입자(mi) 및/또는 상기 메소 금속 입자(me) 보다 작은 스몰 메소(small-meso) 금속 입자를 포함하는 것을 알 수 있다.
- [0441] 이에 따라, 상기 기상 중합을 통하여, 상기 제1 및 제2 고분자 재료(미 도시)가 상기 마이크로 기공(31)에 고분자화 되었음이 입증될 수 있다.
- [0442] 이로써, 본 발명의 실험 예에 따라, 상기 탄화가 12 시간으로 수행되는 경우, 상기 마이크로 금속 입자(mi) 간에 서로 제1 응집되어, 상기 마이크로 금속 입자(mi) 중 적어도 일부는, 상기 제2 크기 범위의 메소 금속 입자(me)로 조대화되고, 상기 메소 금속 입자(me) 간에 서로 제2 응집되어, 상기 메소 금속 입자(me) 중 적어도 일부는, 상기 제3 크기 범위의 매크로 금속 입자(ma)로 조대화됨이 입증될 수 있다.
- [0444] 도 31을 참조하면, 제2 비교 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(h0)의 XRD(x-ray diffraction) 패턴을 관측할 수 있다.
- [0445] 도 31을 통하여, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(h0)의 XRD 패턴에서는, 앞서 설명된 본 발명의 실험 예에 따른 고분자-금속유기구조체(20)와는 달리 어떠한 피크도 관측할 수 없다.
- [0446] 이에 따라, 본 발명의 실험 예와는 달리 비교 예에 따라, 탄화가 수행되지 않고, 폴리머 경화처리된 후에 식각되는 경우, 상기 고분자-금속유기구조체(20)의 배열구조 및/또는 결정구조가 완전히 변화하는 것을 알 수 있다.
- [0448] 도 32를 참조하면, 제2 비교 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(h0)의 TGA(thermogravimetric analyzer) 그래프를 관측할 수 있다.
- [0449] 도 32를 통하여, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(h0)에서, 금속 입자가 비-관측됨을 알 수 있다.
- [0450] 이에 따라, 본 발명의 실험 예와는 달리 비교 예에 따라, 탄화가 수행되지 않고, 폴리머 경화처리된 후에 식각되는 경우, 상기 고분자-금속유기구조체(20)에서 금속 입자가 완전히 식각되었음을 알 수 있다.
- [0452] 도 33 (a) 및 도 33 (b)를 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 다공성 탄소 구조체(100)의 SEM(scanning electron microscope) 이미지를 관측할 수 있다.
- [0453] 도 33 (a)를 통하여, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(25)에서 상기 금속 입자가 선택적으로 식각되는 경우에도, 상술된 바와 같은 팔면체 구조가 유지됨이 입증될 수 있다.
- [0454] 또한 도 33 (b)를 통하여, 상기 다공성 탄소 구조체(100)는, 상기 바디(22), 상기 제1 내지 제3 크기 범위의 마이크로, 메소, 매크로 기공(31, 32, 33) 중 적어도 하나의 기공으로 이루어진 다공 구조체(30), 및 상기 연결통로(35)를 포함하는 것을 관측할 수 있다.
- [0455] 이에 따라, 상기 다공성 탄소 구조체(100)는, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(25)에서 상기 금속 입자가 선택적으로 식각 되었음이 입증될 수 있다.
- [0457] 도 34 (a) 및 도 34 (b)를 참조하면, 제1 비교 예에 따른 다공성 탄소 구조체(cp1)의 SEM(scanning electron microscope) 이미지를 관측할 수 있다.
- [0458] 도 34 (a)를 통하여, 앞서 설명된 제1 비교 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(h1)에서 상기 금속 입자가 선택적으로 식각되는 경우에도, 상술된 바와 같은 팔면체 구조가 유지됨을 알 수 있다.
- [0459] 한편 도 34 (b)를 통하여, 상기 다공성 탄소 구조체(cp1)는, 상기 바디(22) 및 상기 제2 크기 범위의 메소 기공

(32)을 포함하되, 상기 연결통로(35)를 미-포함하는 것을 관측할 수 있다.

- [0460] 이는 앞서 설명된 바와 같이, 본 발명의 실험 예와는 달리, 상기 고분자-금속유기구조체(20, 도 20 참조)가 1 시간 동안 탄화되는 경우, 상기 마이크로 금속 입자(mi) 간에 서로 응집되어 상기 메소 금속 입자(me)를 형성하지만, 상기 매크로 금속 입자(ma)는 형성하지 못하며, 상기 메소 금속 입자(me)가 상기 매크로 금속 입자(ma)로 응집되기 위하여, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(25) 내부에서 이동하지 못하기 때문에, 상기 연결통로(35)가 미-형성되었기 때문일 수 있다.
- [0462] 도 35 (a) 및 도 35 (b)를 참조하면, 제2 비교 예에 따른 다공성 탄소 구조체(cp2)의 SEM(scanning electron microscope) 이미지를 관측할 수 있다.
- [0463] 도 35 (a)를 통하여, 앞서 설명된 제2 비교 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(h0)가 열처리되는 경우에도, 상술된 바와 같은 팔면체 구조가 유지됨을 알 수 있다.
- [0464] 한편 도 35 (b)를 통하여, 상기 다공성 탄소 구조체(cp2)는, 상기 바디(22) 및 상기 제1 크기 범위의 마이크로 기공(31)을 포함하되, 상기 연결통로(35)를 미-포함하는 것을 관측할 수 있다.
- [0465] 이에 따라, 앞서 설명된 바와 같이, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(h0)는, 어떠한 금속 입자도 포함하지 않으며, 상기 연결통로(35)도 미-포함하였으나, 상기 예비 다공성 탄소 구조체(h0)가 상기 다공성 탄소 구조체(cp2)로 제조되기 위하여 열처리되는 동안, 상기 제1 크기 범위의 마이크로 기공(31)이 형성되었음을 알 수 있다.
- [0467] 도 36을 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 다공성 탄소 구조체(100), 제1 비교 예에 따른 다공성 탄소 구조체(cp1), 및 제2 비교 예에 따른 다공성 탄소 구조체(cp2)의 TGA(thermogravimetric analyzer) 그래프를 관측할 수 있다.
- [0468] 도 36을 통하여, 상기 다공성 탄소 구조체(100, cp1, cp2)에서 모두 금속 입자가 모두 식각되었음을 알 수 있다.
- [0470] 도 37을 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 다공성 탄소 구조체(100), 제1 비교 예에 따른 다공성 탄소 구조체(cp1), 및 제2 비교 예에 따른 다공성 탄소 구조체(cp2)의 XRD(x-ray diffraction) 패턴을 관측할 수 있다.
- [0471] 도 37을 통하여, 상기 다공성 탄소 구조체(100, cp1, cp2)에서 모두 금속 입자가 모두 식각되었음을 알 수 있다.
- [0472] 나아가, 상기 다공성 탄소 구조체(100, cp1, cp2)의 피크(peak)가 25 도 부근에서 완만한 것을 통하여, 상기 다공성 탄소 구조체(100, cp1, cp2) 모두 탄소를 포함하는 것을 알 수 있다.
- [0474] 도 38 및 도 39를 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 다공성 탄소 구조체(100), 제1 비교 예에 따른 다공성 탄소 구조체(cp1), 및 제2 비교 예에 따른 다공성 탄소 구조체(cp2)의 질소 흡착 곡선 및 기공 분포도를 관측할 수 있다.
- [0475] 도 38 및 도 39를 통하여, 상기 다공성 탄소 구조체(100)는, 상기 제1 내지 제3 크기 범위의 마이크로, 메소, 매크로 기공(31, 32, 33)을 포함하지만, 상기 다공성 탄소 구조체(cp1)는, 상기 마이크로 기공(31) 및/또는 상기 메소 기공(32) 보다 작은 스몰 메소 기공(small-mesopore)을 포함하며, 상기 다공성 탄소 구조체(cp2)는, 상기 마이크로 기공(31) 만을 포함하는 것을 알 수 있다.
- [0476] 이에 따라, 본 발명의 실험 예에 따라, 상기 탄화가 12 시간으로 수행되는 경우, 상기 다공성 탄소 구조체(100)는, 상기 제1 내지 제3 크기 범위의 마이크로, 메소, 매크로 기공(31, 32, 33)을 모두 포함하는 것이 입증될 수 있다.
- [0478] 도 40과 도 41 (a) 및 도 41 (b)를 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s), 제1 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp1s), 및 제2 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp2s)의 질소 흡착 곡선 및 기공 분포도를 관측할 수 있다.
- [0479] 도 40과 도 41 (a) 및 도 41 (b)를 통하여, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s)는, 상기 제1 내지 제3 크기 범위의 마이크로, 메소, 매크로 기공(31, 32, 33)을 포함하지만, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp1s)는, 상기 마이크로 기공(31) 및 상기 메소 기공(32)을 포함하며, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp2s)는, 상기 마이크로 기공(31) 만을 포함하는 것을 알 수 있다.

[0480] 이에 따라, 본 발명의 실험 예에 따라, 상기 탄화가 12 시간으로 수행되는 경우, 상기 다공성 탄소 구조체(100)는, 상기 제1 내지 제3 크기 범위의 마이크로, 메소, 매크로 기공(31, 32, 33)을 모두 포함하는 것이 입증될 수 있다.

[0482] 한편 앞서 설명된 본 발명의 실험 예들 및 비교 예들에 따른 질소 흡착 결과를 정리하면 아래 <표 1>과 같이 정리될 수 있다.

표 1

실험 예	V_{micro} ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$)	V_{tot} ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$)	S_{BET} ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$)
본 발명의 실험 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(25)	0.1	0.23	458
제1 비교 예에 따른 예비 다공성 탄소 구조체(h1)	0.11	0.22	462
본 발명의 실험 예에 따른 다공성 탄소 구조체(100)	0.29	0.56	708
제1 비교 예에 따른 탄소 구조체(cp1)	0.33	0.41	752
제2 비교 예에 따른 탄소 구조체(cp2)	0.29	0.32	765
본 발명의 실험 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s)	1.53	2.36	3064
제1 비교 예에 따른 표면적이 증가된 탄소 구조체(cp1s)	1.29	1.77	3008
제2 비교 예에 따른 표면적이 증가된 탄소 구조체(cp2s)	1.39	1.59	2946

[0485] 위 <표 1>을 통하여, 본 발명의 실험 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s)의 질소 흡착 특성이, 다른 실험 예에 비하여 월등하게 우수한 것을 알 수 있다.

[0487] 도 42를 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s), 제1 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp1s), 및 제2 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp2s)의 기공 크기 대비 누적된 기공 부피를 관측할 수 있다.

[0488] 도 42를 통해서도, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s)는, 상기 제1 내지 제3 크기 범위의 마이크로, 메소, 매크로 기공(31, 32, 33)을 포함하지만, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp1s)는, 상기 마이크로 기공(31) 및 상기 메소 기공(32)을 포함하며, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp2s)는, 상기 마이크로 기공(31)만을 포함하는 것을 알 수 있다.

[0490] 도 43을 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s)의 각각 10, 50, 100, 200 mV s^{-1} 에서 순환 전압전류(CV: cyclic voltammetry) 평가 결과를 관측할 수 있고, 도 44를 참조하면, 제1 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp1s)의 각각 10, 50, 100, 200 mV s^{-1} 에서 순환 전압전류 평가 결과를 관측할 수 있고, 도 45를 참조하면, 제2 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp2s)의 각각 10, 50, 100, 200 mV s^{-1} 에서 순환 전압전류 평가 결과를 관측할 수 있다.

[0491] 도 43 내지 도 45를 통하여, 그래프의 면적이 넓은 순으로, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s), 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp1s), 및 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp2s) 순으로 용량이 큰 것을 알 수 있다.

[0493] 도 46을 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s)의 각각 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50 Ag^{-1} 에서 전류 충전 및 방전 곡선을 관측할 수 있고, 도 47을 참조하면, 제1 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp1s)의 각각 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50 Ag^{-1} 에서 전류 충전 및 방전 곡선을 관측할 수 있고, 도 48을 참조하면, 제2 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp2s)의 각각 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50 Ag^{-1} 에서 전류 충전 및 방전 곡선을 관측할 수 있다.

[0494] 도 46 내지 도 48을 통하여, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s, cp1s, cp2s)의 전류 충전 및 방전 곡선이 모두 대칭적인 삼각형 형상을 가지는 것을 관측할 수 있다.

- [0495] 한편, 앞서 설명된 순환 전압전류 평가 결과에 따라, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s, cp1s, cp2s)의 방전 시간은, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s), 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp1s), 및 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp2s) 순으로 긴 것을 알 수 있다.
- [0497] 도 49를 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s), 제1 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp1s), 및 제2 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp2s)의 200 mV s^{-1} 에서 순환 전압전류(CV: cyclic voltammetry) 평가 결과를 관측할 수 있다.
- [0498] 도 49를 통하여, 그래프의 면적이 넓은 순으로, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s), 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp1s), 및 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp2s) 순으로 용량이 큰 것을 알 수 있다.
- [0500] 도 50을 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s), 제1 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp1s), 및 제2 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp2s)의 1 Ag^{-1} 에서 전류 충전 및 방전 곡선을 관측할 수 있다.
- [0501] 도 50을 통하여, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s, cp1s, cp2s)의 전류 충전 및 방전 곡선이 모두 대칭적인 삼각형 형상을 가지는 것을 관측할 수 있다.
- [0502] 한편, 앞서 설명된 순환 전압전류 평가 결과에 따라, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s, cp1s, cp2s)의 방전 시간은, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s), 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp1s), 및 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp2s) 순으로 긴 것을 알 수 있다.
- [0504] 도 51을 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s), 제1 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp1s), 및 제2 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp2s)의 전류 밀도 용량을 관측할 수 있다.
- [0505] 도 51을 통하여, 전류 밀도 용량은, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s), 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp1s), 및 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp2s) 순으로 큰 것을 알 수 있다.
- [0507] 도 52를 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s)의 출력 밀도 및 에너지 밀도 범위를 관측할 수 있다.
- [0508] 도 52를 통하여, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s)의 출력 밀도 및 에너지 밀도 범위는, 수성(Aqueous) 기반 및 유기(Organic) 전해질 기반 전극 보다 높으며, 이온성 액체(IL: ion liquid) 기반 전해질의 최고 수준과 유사한 것을 알 수 있다.
- [0510] 도 53을 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s)의 장기 사이클 안정성을 관측할 수 있다.
- [0511] 도 53을 통하여, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s)는, 10,000 사이클 동안 장기 안정을 가지는 것이 입증될 수 있다.
- [0513] 도 54를 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s), 제1 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp1s), 및 제2 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp2s)의 전기화학적 임피던스 분광법(EIS: electrochemical impedance spectroscopy)을 통한 나이퀴스트 플롯(Nyquist plots)을 관측할 수 있다.
- [0514] 도 54를 통하여, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s)가, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp1s, cp1s) 보다 저주파 영역에서 수직 상향 곡선을 나타내는 것을 통해 이상적인 정전 용량을 가지는 것을 알 수 있다.
- [0516] 도 55를 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s), 제1 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp1s), 및 제2 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp2s)의 45° 위상각에서 보드 플롯(Bode plots)을 관측할 수 있다.
- [0517] 이때, 이완 시간(τ_0) 또는 에너지 저장의 50 %에 도달되는데 필요한 최소 시간은, 45° 위상각에 해당하는 주파수에서 계산되었다.

- [0518] 도 55를 통하여, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s, cp1s, cp2s)의 이완 시간(τ_0) 값이, 각각 1.5, 2.6, 및 4.3 초로 측정 됨에 따라, 이온 수송 속도는, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s), 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp1s), 및 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp2s) 순으로 빠른 것을 알 수 있다.
- [0519] 또한 도 55를 통하여, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s)는, 상기 제1 내지 제3 크기 범위의 마이크로, 메소, 매크로 기공(31, 32, 33) 간에 연결된 연결통로(35)를 포함하기 때문에, 이온의 효과적인 분극 및 탈 분극이 일어나는 것을 알 수 있다.
- [0521] 도 56을 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s), 제1 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp1s), 및 제2 비교 예에 따른 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(cp2s)의 여기 주파수의 함수으로써 가상 커패시턴스(C'') 프로파일을 관측할 수 있다.
- [0522] 도 56을 통하여, 상기 표면적이 증가된 다공성 탄소 구조체(100s, cp1s, cp2s)의 비표면적이 유사하기 때문에, 저주파 영역(0.01~0.1 Hz)에서 가상 커패시턴스(C'') 값이 유사한 것을 알 수 있다.
- [0524] 도 57 (a) 및 도 57 (b)를 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 신축성 슈퍼커패시터(2000)의 사진을 관측할 수 있다.
- [0525] 도 57 (a)을 통하여, 상기 신축성 슈퍼커패시터(2000)의 초기 상태(before) 실험 세팅을 관측할 수 있고, 도 57 (b)를 통하여 상기 신축성 슈퍼커패시터(2000)가 120 % 스트레칭된 상태(under stretching)의 실험 세팅을 관측할 수 있다.
- [0527] 도 58 및 도 59는 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 신축성 슈퍼커패시터(2000)의 늘어난 상태의 에너지 저장 성능을 관측할 수 있다.
- [0528] 도 58 및 도 59를 통하여, 상기 신축성 슈퍼커패시터(2000)가 120 % 스트레칭된 상태(under stretching)로 늘어나는 경우에도, 에너지 저장 성능을 95 %로 유지하는 것을 알 수 있다.
- [0529] 이로써, 본 발명의 실험 예에 따라 제조된 신축성 슈퍼커패시터(2000)의 신축성이 입증될 수 있다.
- [0531] 도 60을 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 신축성 슈퍼커패시터(2000)를 손 등에 올려놓고, 손등을 펴 평평한 상태(Flat) 및 손등을 구부려 늘어난 상태(Under stretching)에서, 상기 신축성 슈퍼커패시터(2000)의 에너지 저장 성능을 평가하였다.
- [0532] 도 60을 통하여, 손등을 펴 평평한 상태(Flat) 및 손등을 구부려 늘어난 상태(Under stretching)에서, 상기 신축성 슈퍼커패시터(2000)의 에너지 저장 성능이 유사한 것을 알 수 있다.
- [0533] 이로써, 본 발명의 실험 예에 따라 제조된 신축성 슈퍼커패시터(2000)의 신축성이 입증될 수 있다.
- [0535] 도 61을 참조하면, 본 발명의 실험 예에 따른 신축성 슈퍼커패시터(2000)의 출력 밀도 및 에너지 밀도 범위를 관측할 수 있다.
- [0536] 도 61을 통하여, 상기 신축성 슈퍼커패시터(2000)는, 0.68 mW cm^{-2} 의 출력 밀도에서 $0.041 \text{ mWh cm}^{-2}$ 의 높은 에너지 값을 나타냈고, 7.06 mW cm^{-2} 의 매우 높은 전력 밀도에서 $0.022 \text{ mWh cm}^{-2}$ 의 에너지 값을 유지한 것을 알 수 있다.
- [0537] 이로써, 본 발명의 실험 예에 따라 제조된 신축성 슈퍼커패시터(2000)는, 종래의 스트레처블 슈퍼커패시터로(stretchable supercapacitor)는 전무한 수준의 에너지 값을 가지는 것이 입증될 수 있다.
- [0539] 이상, 본 발명을 바람직한 실시 예를 사용하여 상세히 설명하였으나, 본 발명의 범위는 특정 실시 예에 한정되는 것은 아니며, 첨부된 특허청구범위에 의하여 해석되어야 할 것이다. 또한, 이 기술분야에서 통상의 지식을 습득한 자라면, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않으면서도 많은 수정과 변형이 가능함을 이해하여야 할 것이다.

부호의 설명

- [0541] 10: 금속유기구조체
20: 고분자-금속유기구조체

22: 바디

25: 예비 다공성 탄소 구조

30: 다공 구조체

31: 제1 크기 범위의 마이크로 기공

32: 제2 크기 범위의 메소 기공

33: 제3 크기 범위의 매크로 기공

35: 연결통로

or: 유기물

p1: 제1 및 제2 고분자 재료

mi: 제1 크기 범위의 마이크로 금속 입자

me: 제2 크기 범위의 메소 금속 입자

ma: 제3 크기 범위의 매크로 금속 입자

100: 다공성 탄소 구조체

200: 다공성 탄소 잉크

250: 다공성 탄소 잉크 코팅층

255: 복수의 주름

sb: 신축성 기관

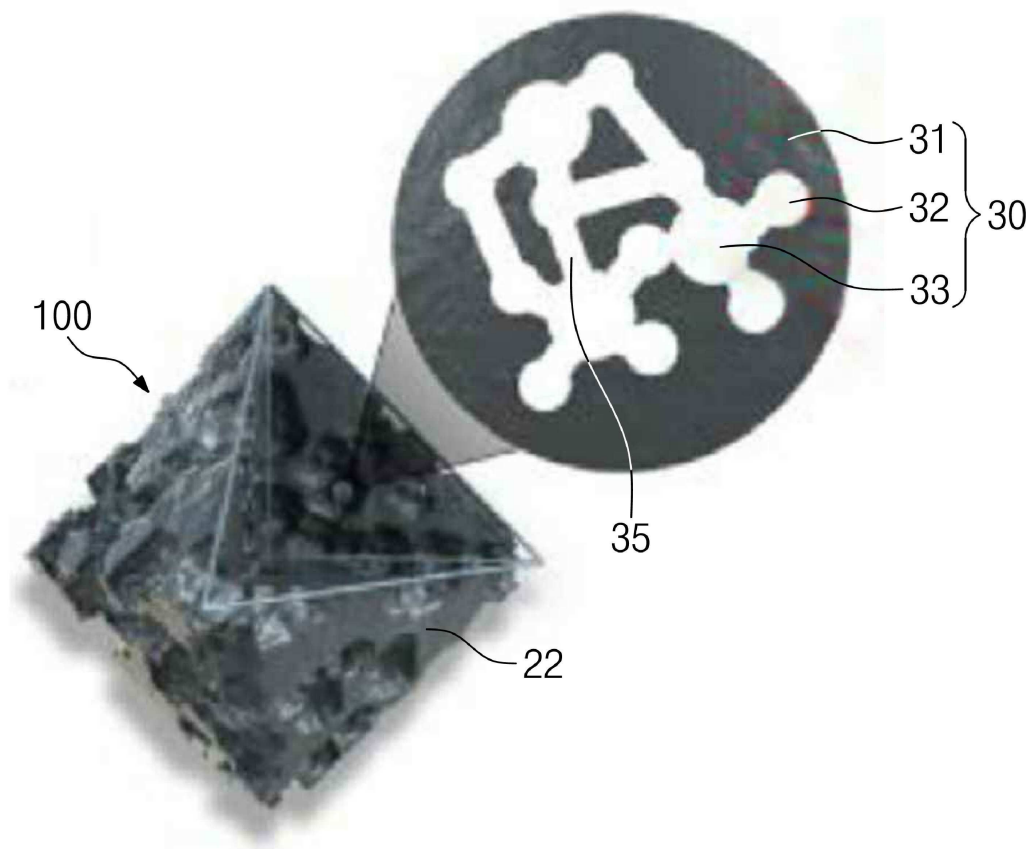
1000: 신축성 전극

ig: 이온 겔 전해질

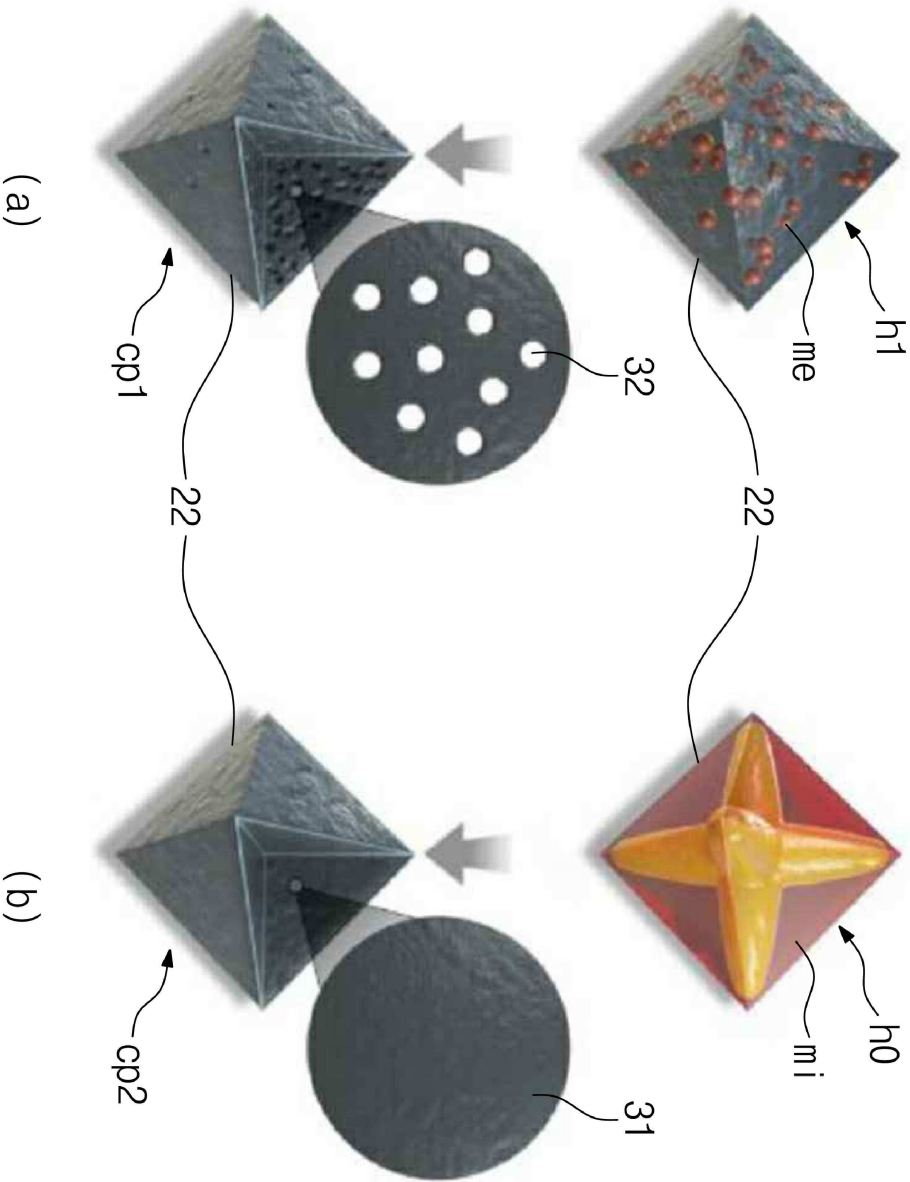
2000: 신축성 슈퍼커패시터

도면

도면1

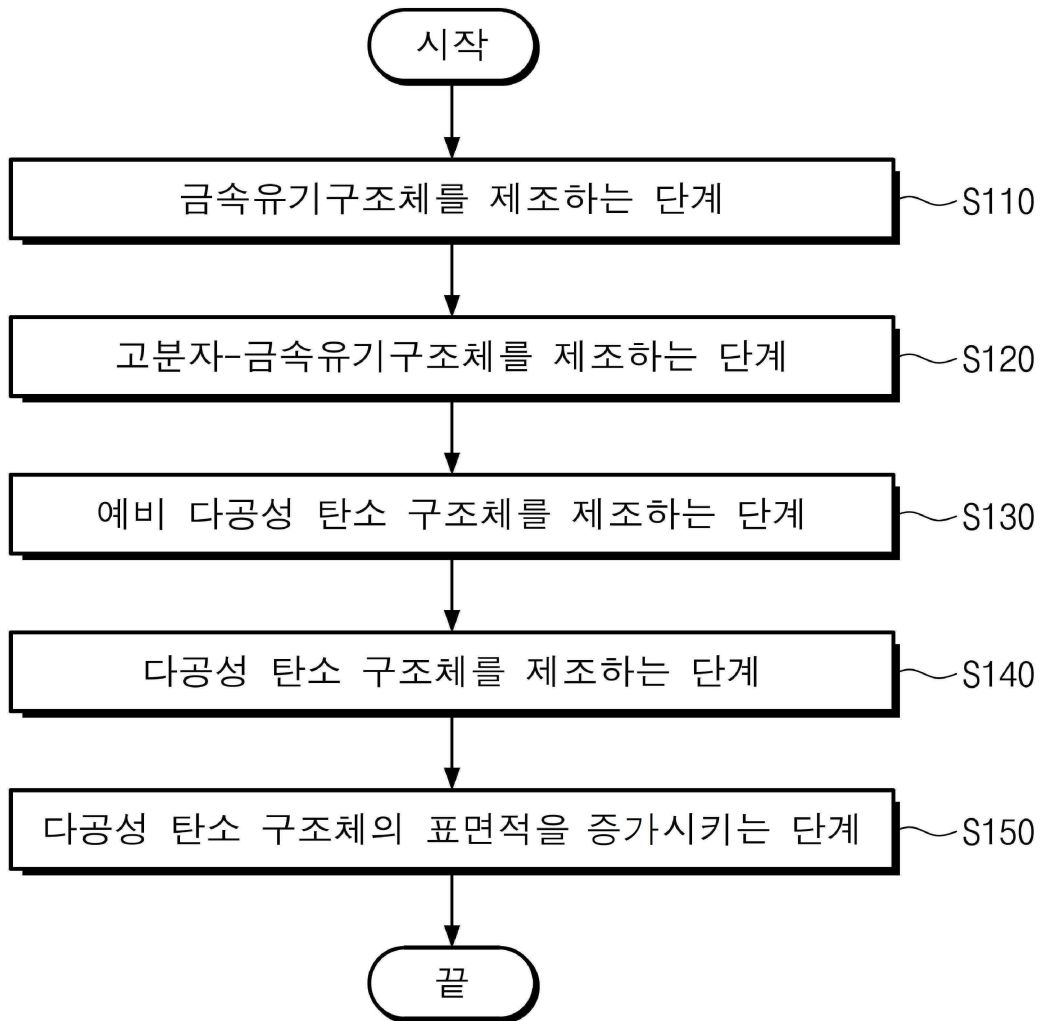


cps



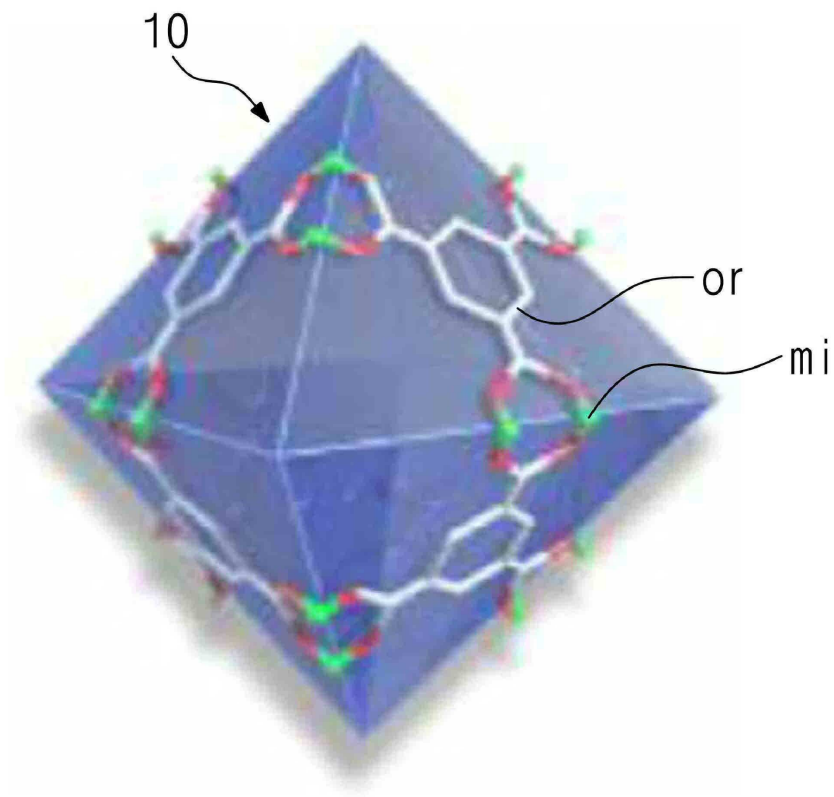
도면2

도면3



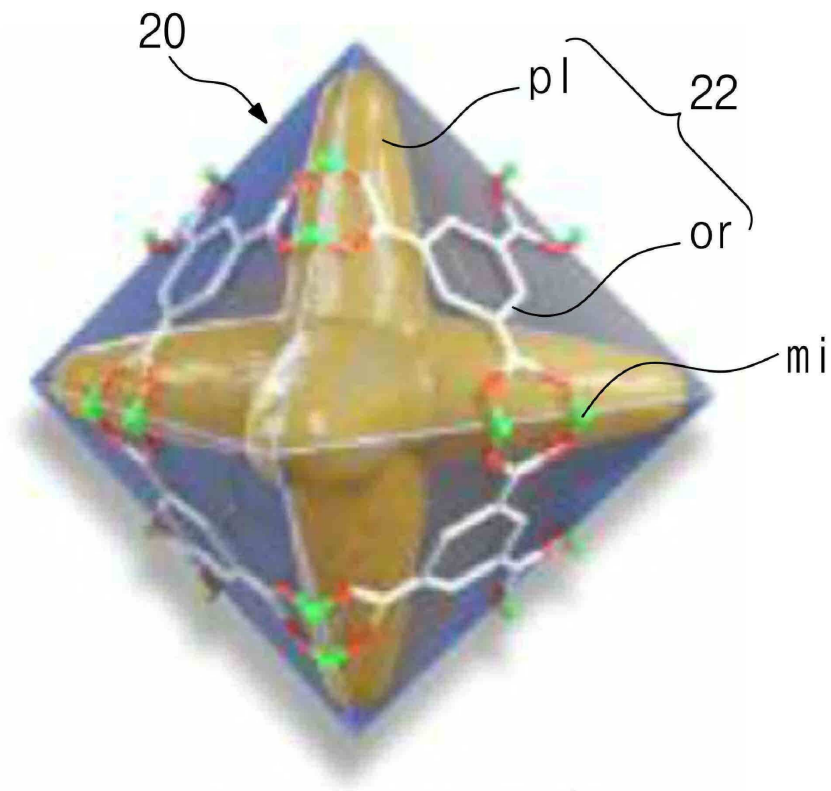
도면4

S110



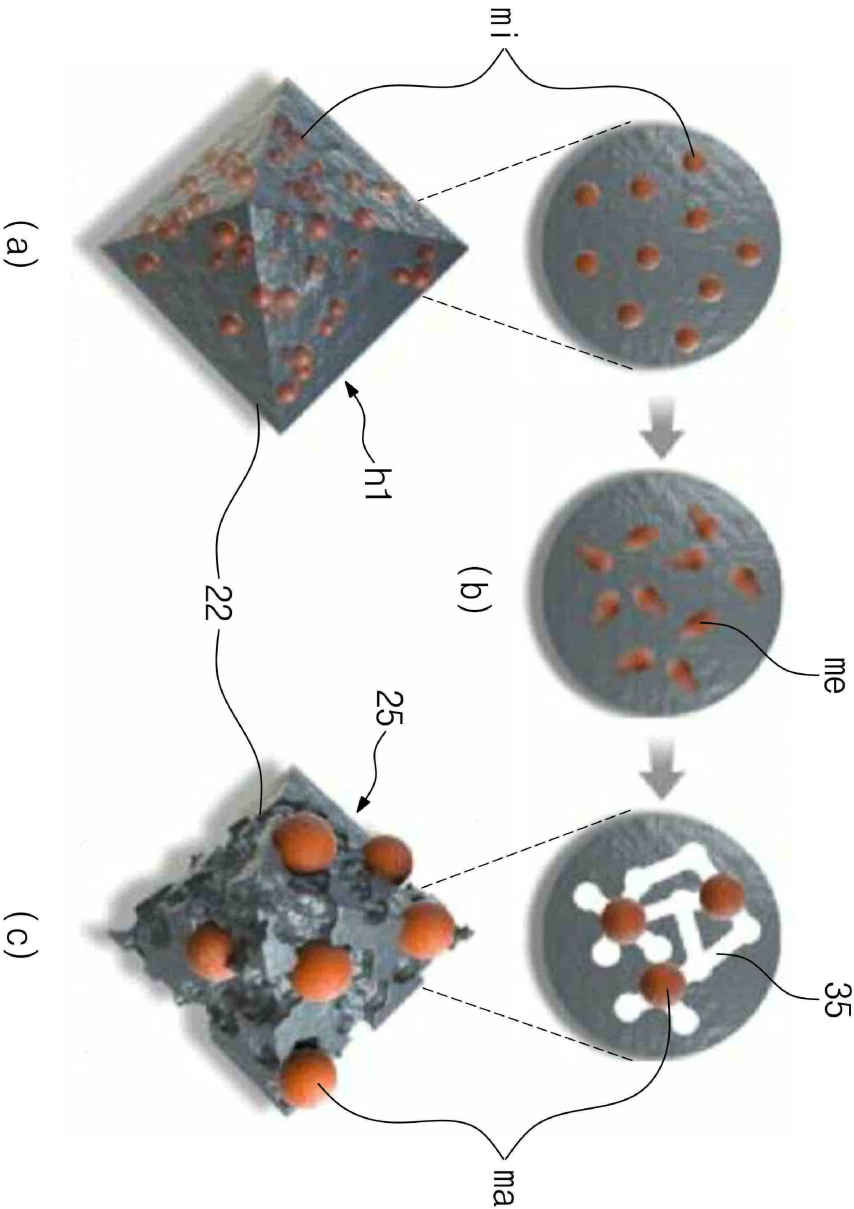
도면5

S120



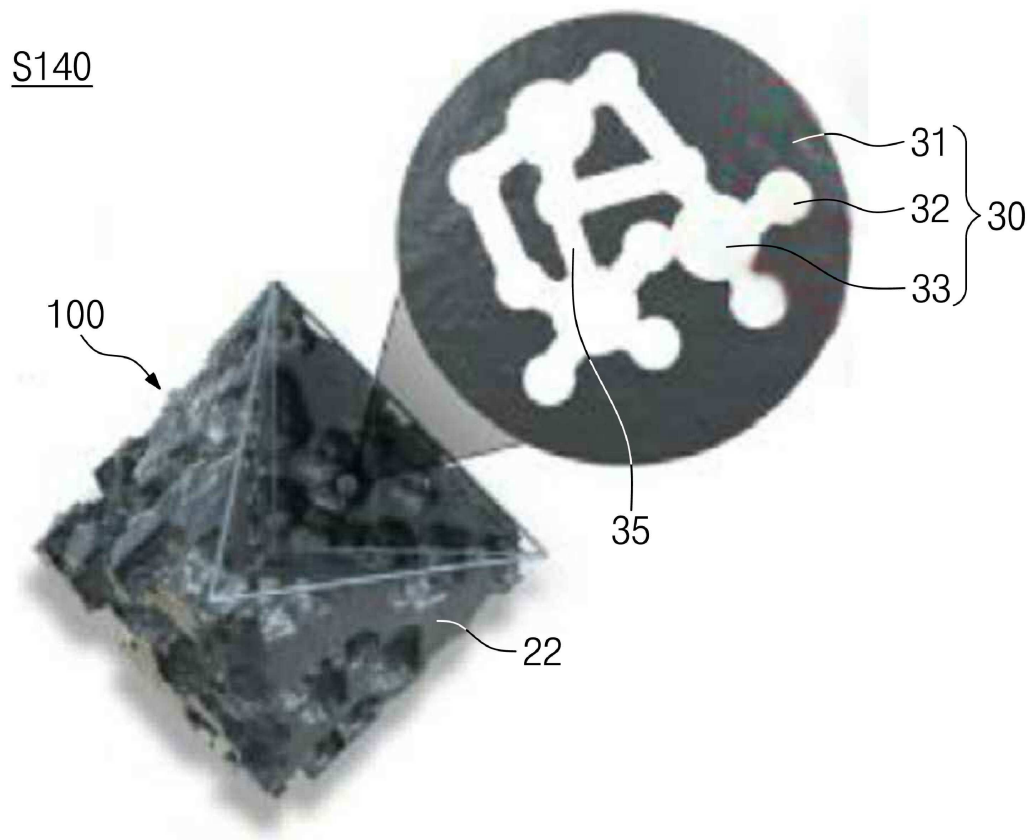
S130

도면6

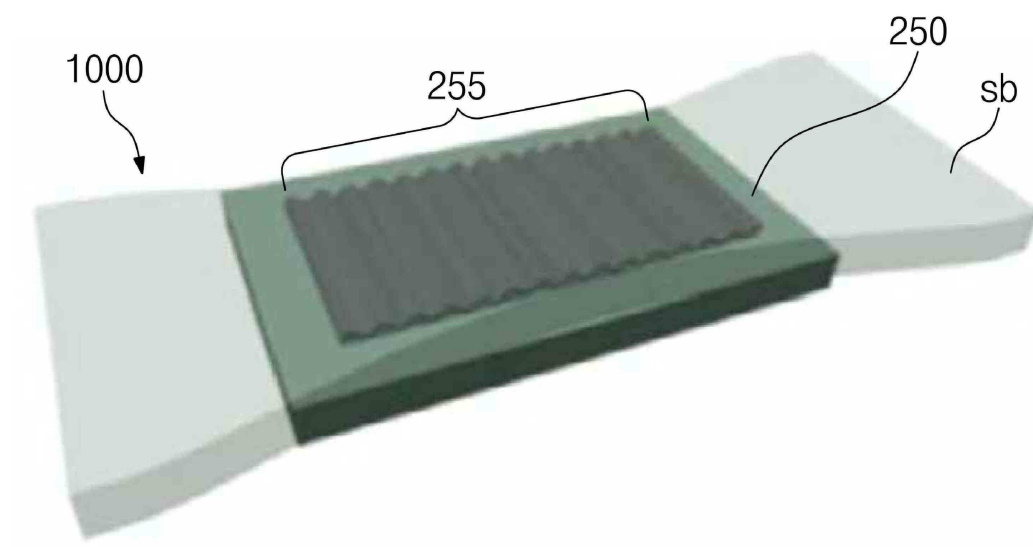


도면7

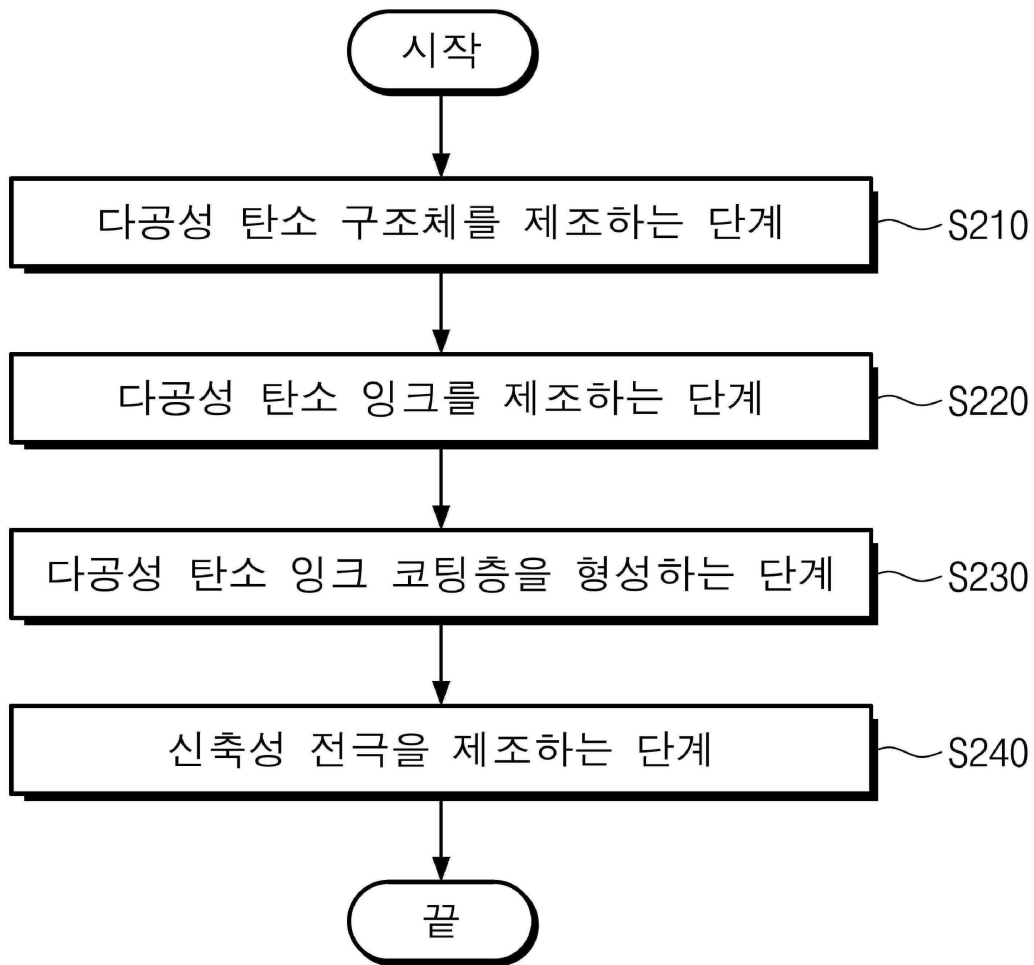
S140



도면8

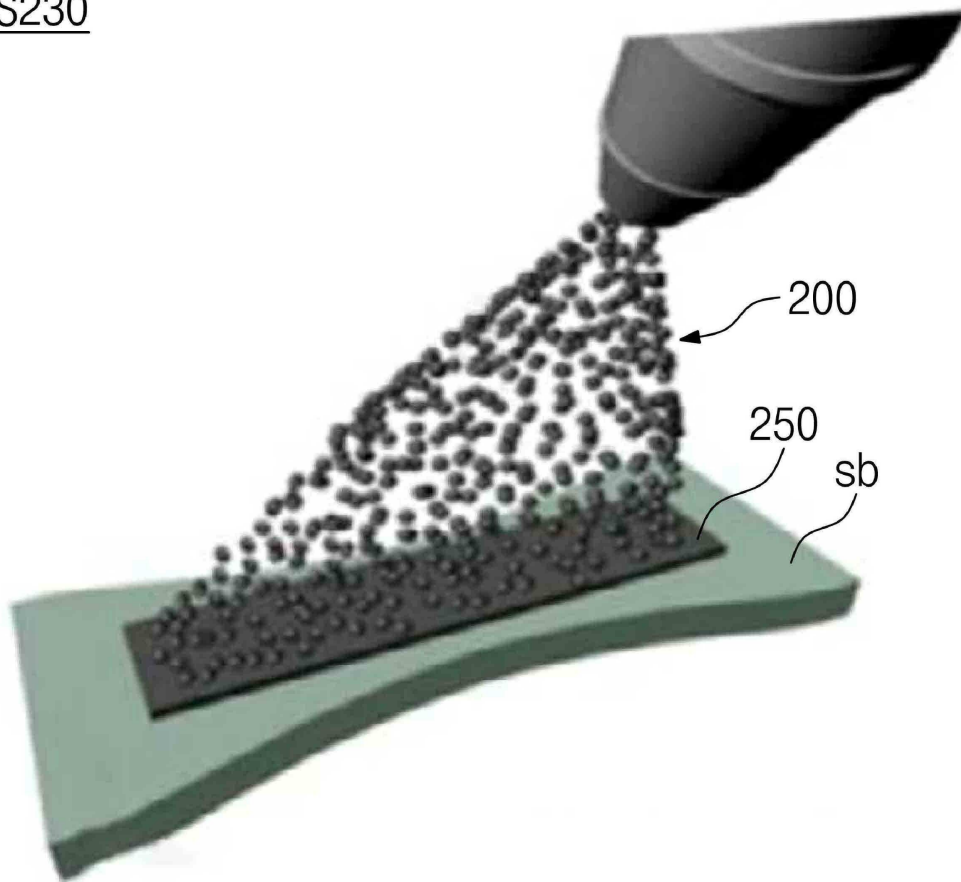


도면9



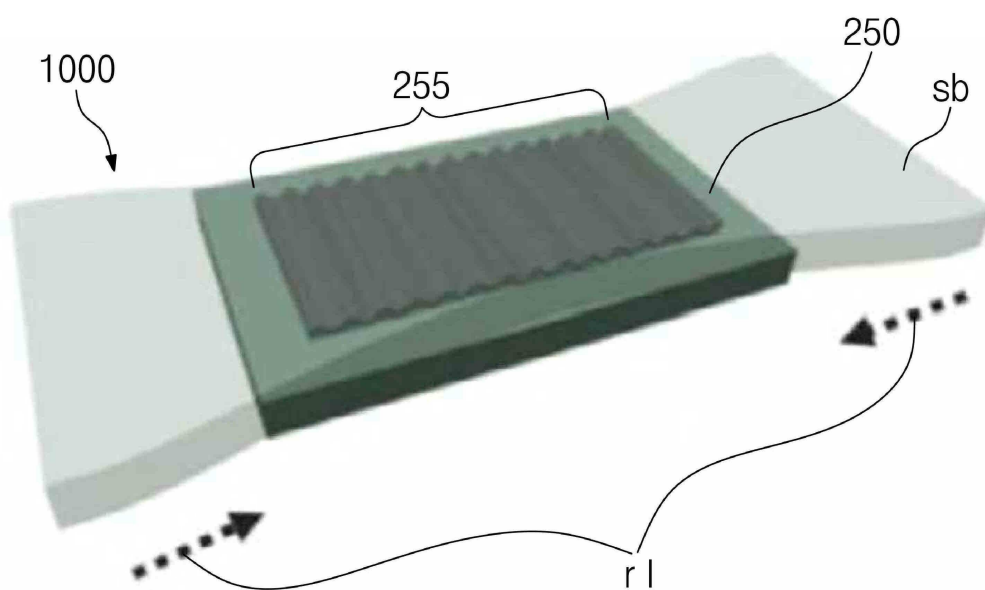
도면10

S230

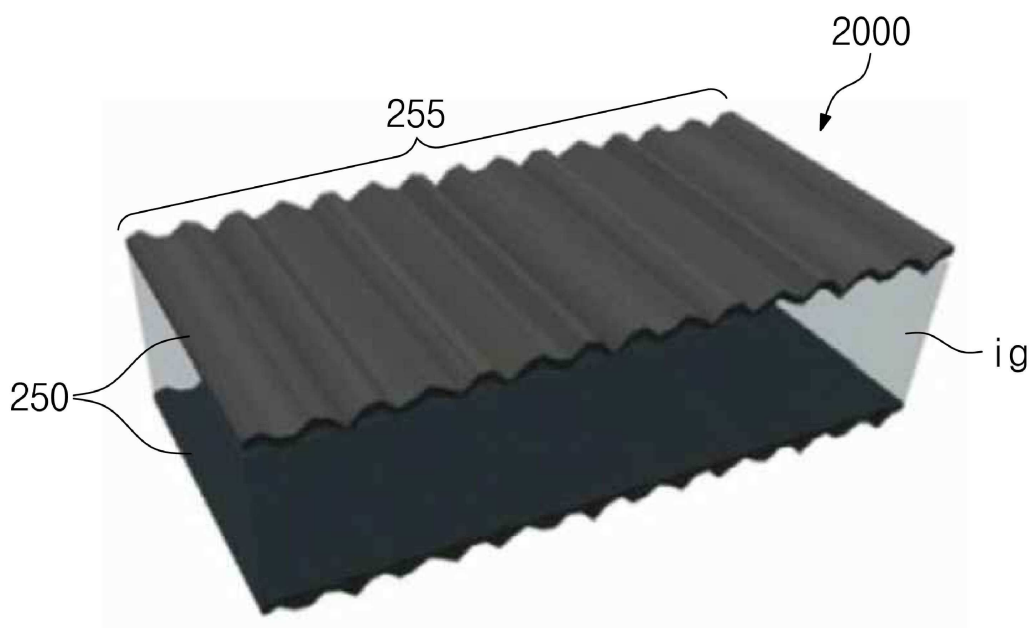


도면11

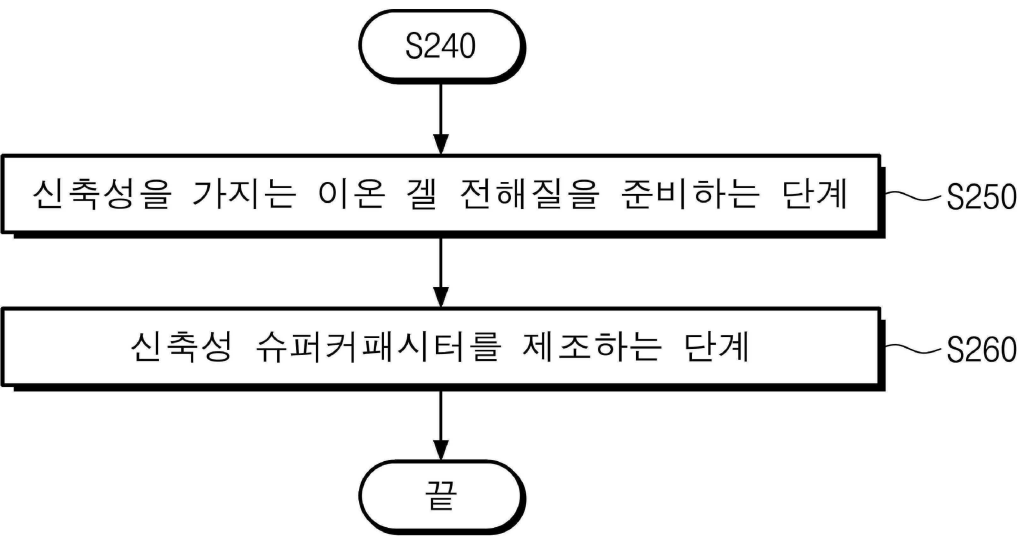
S240



도면12

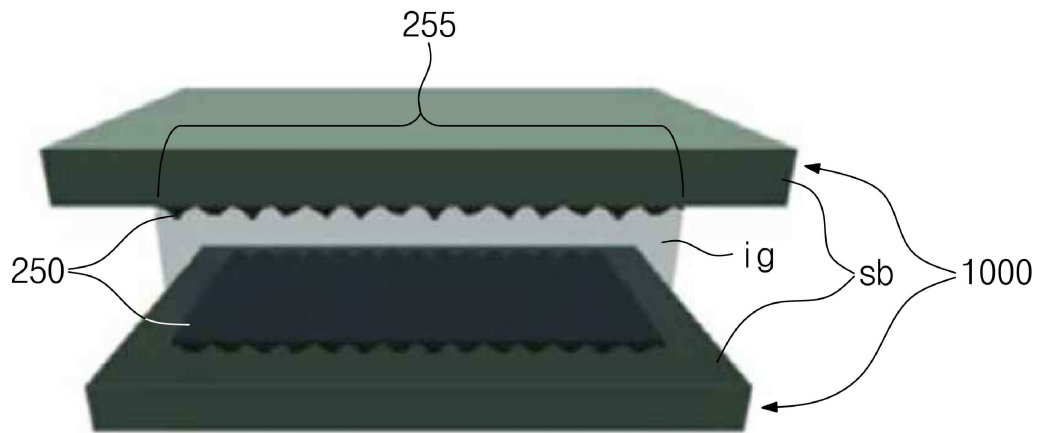


도면13



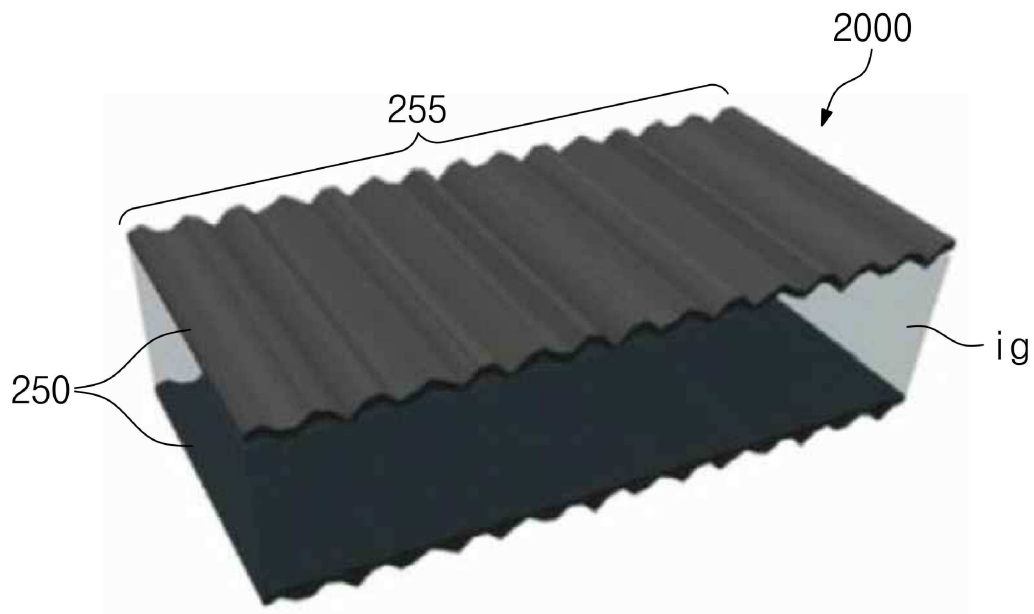
도면14

S250, S260

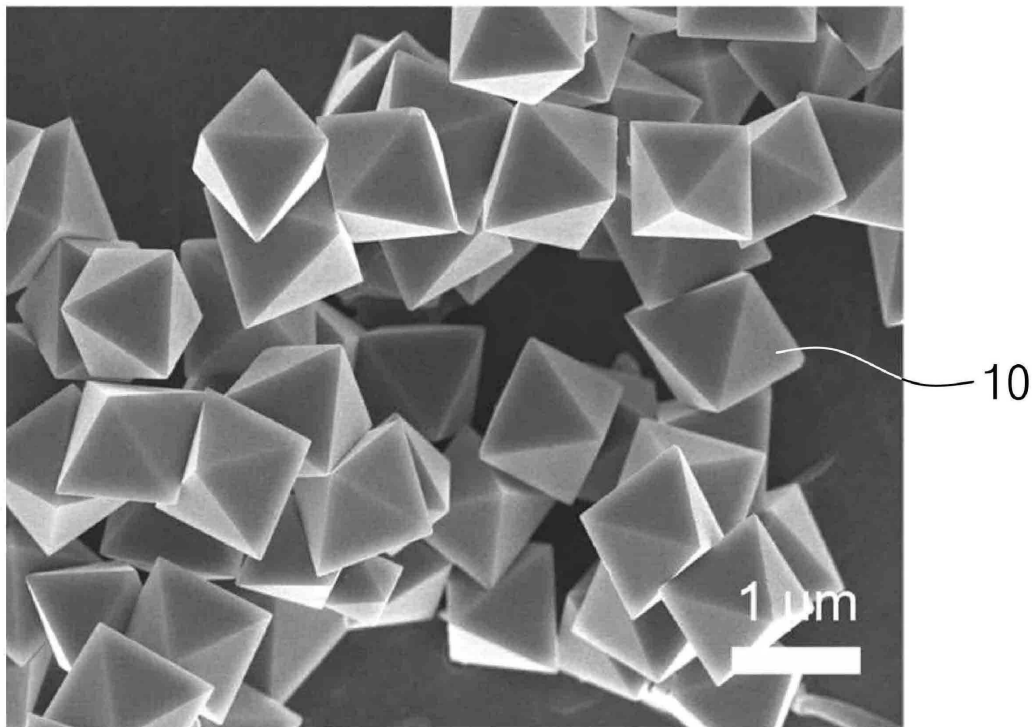


도면15

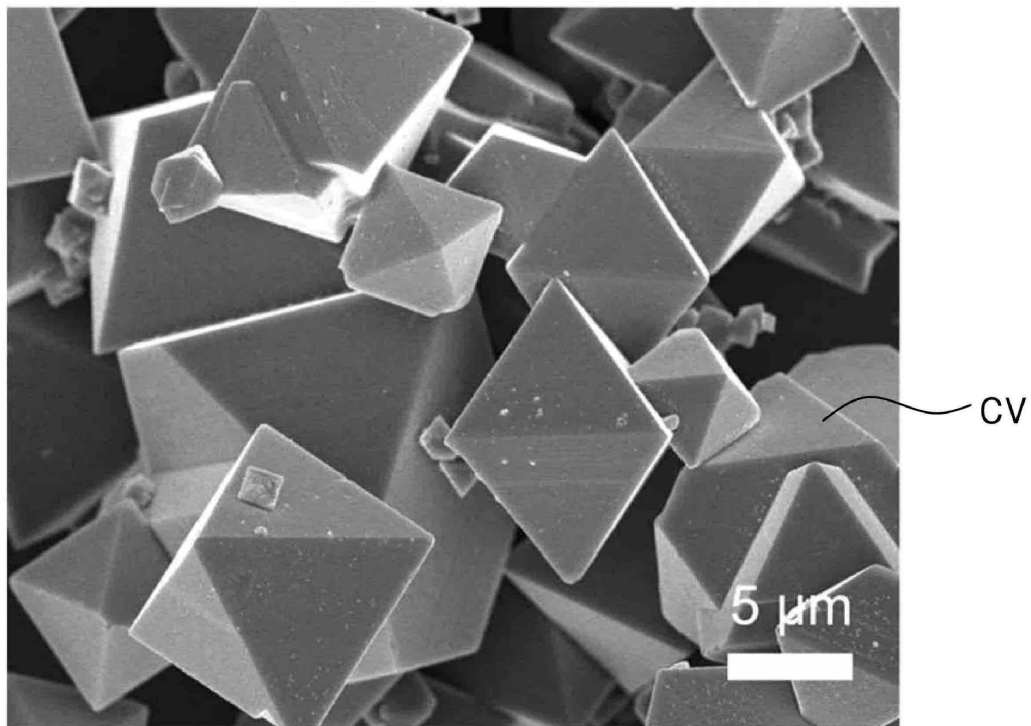
S260



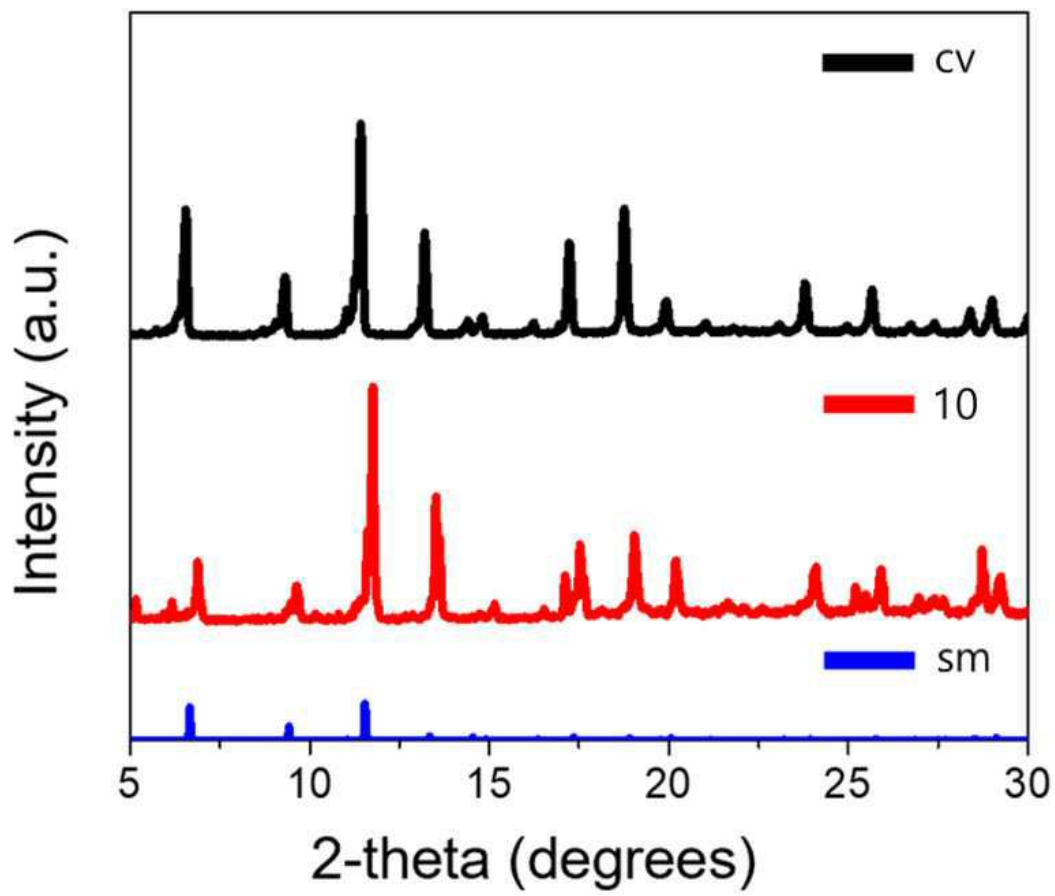
도면16



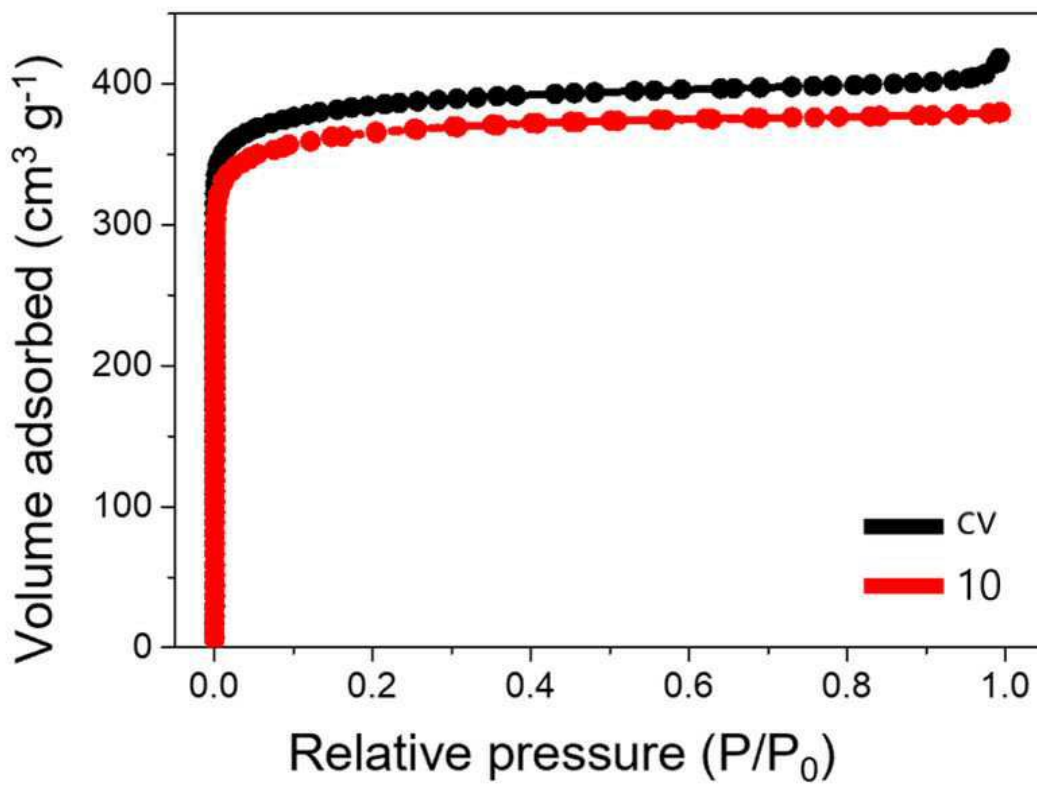
도면17



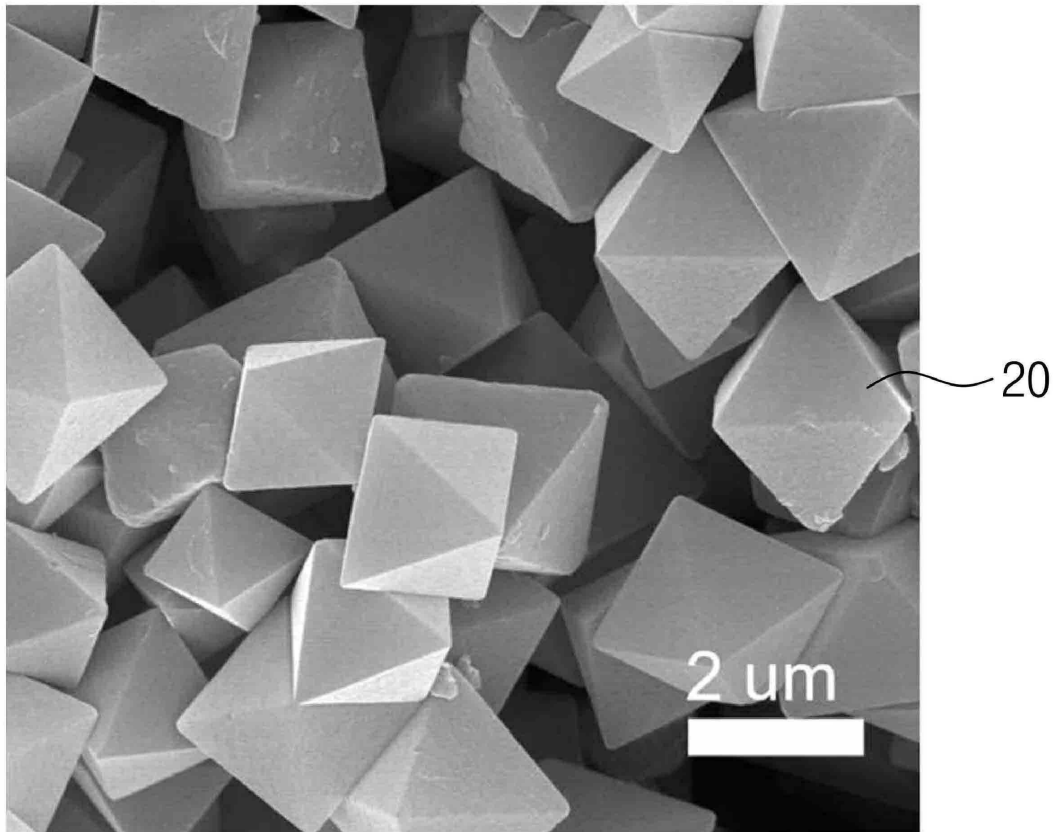
도면18



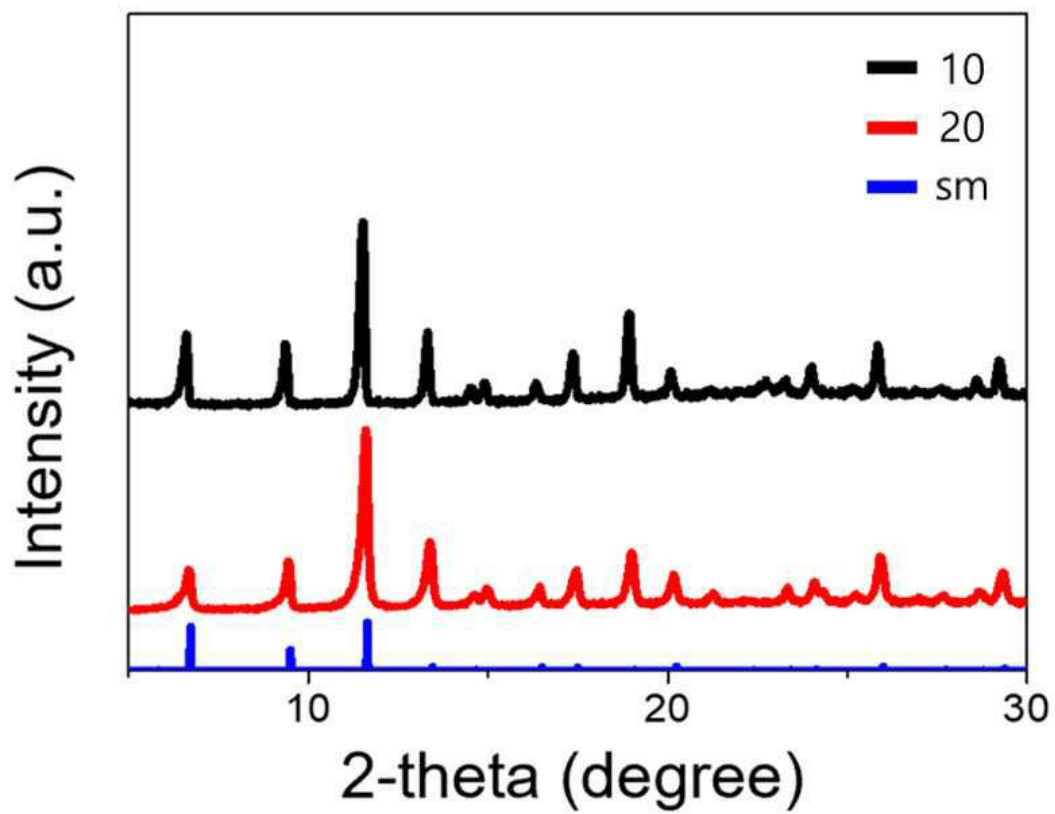
도면19



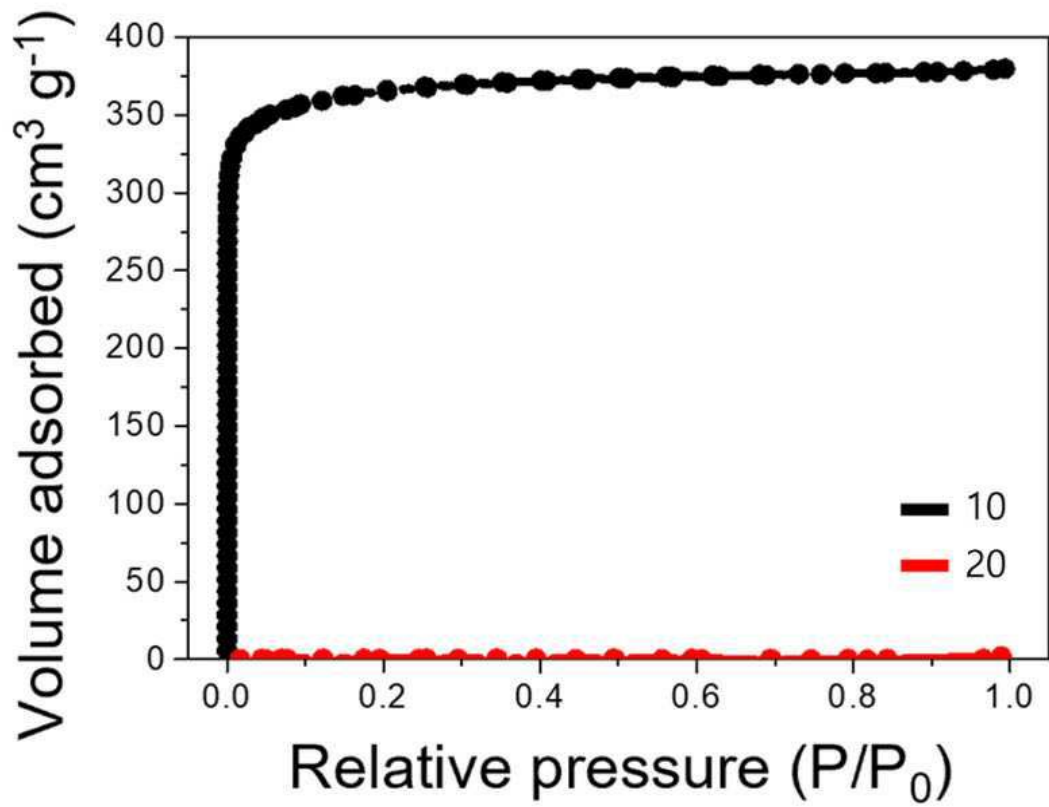
도면20



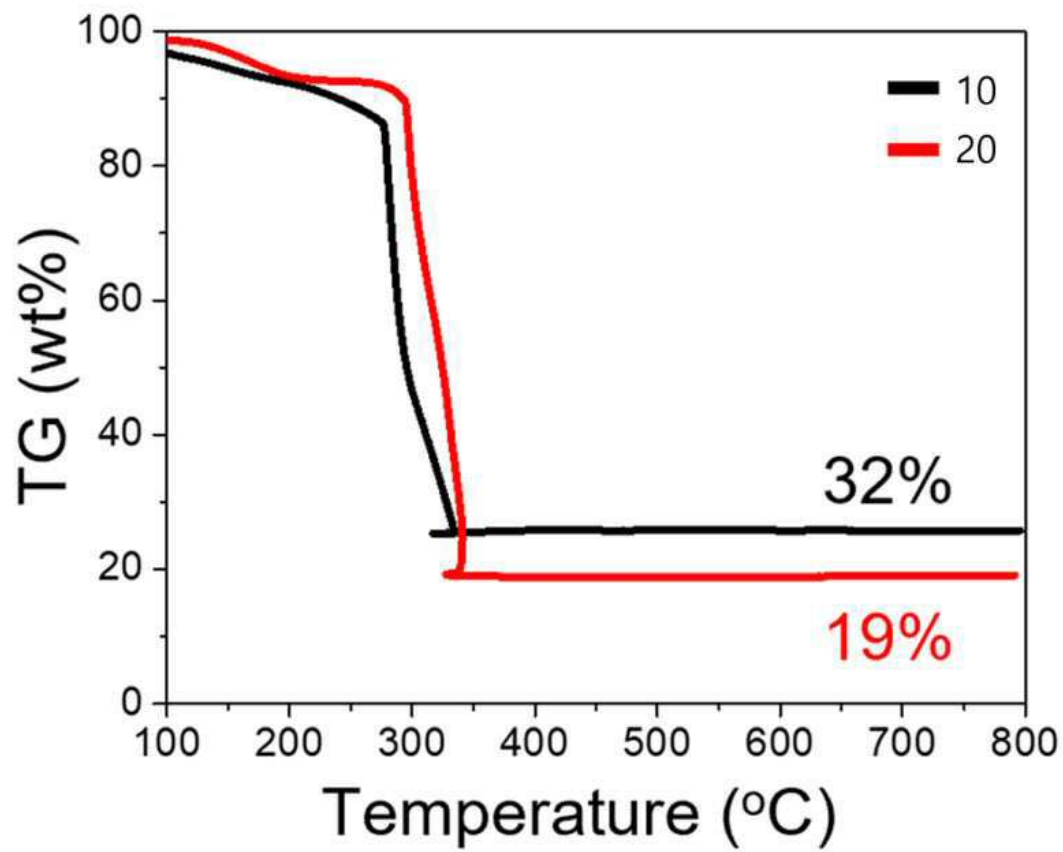
도면21



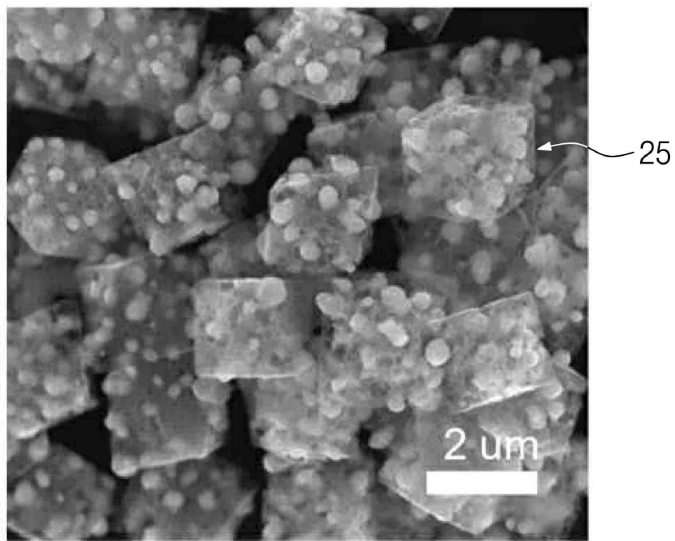
도면22



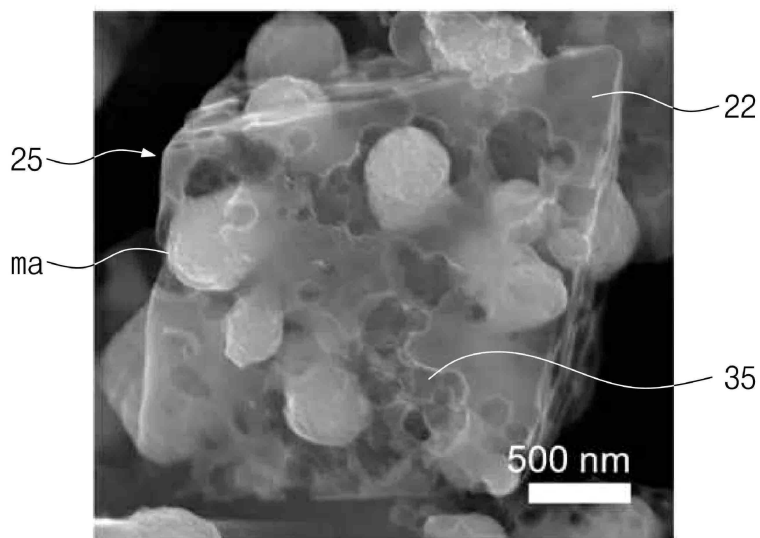
도면23



도면24

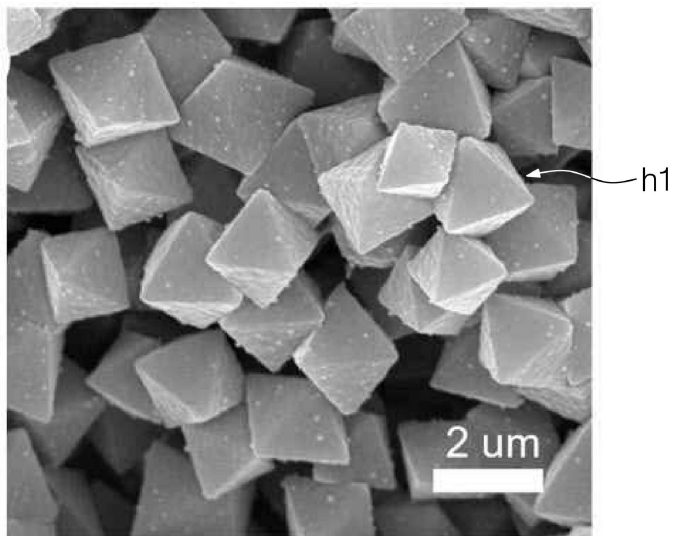


(a)

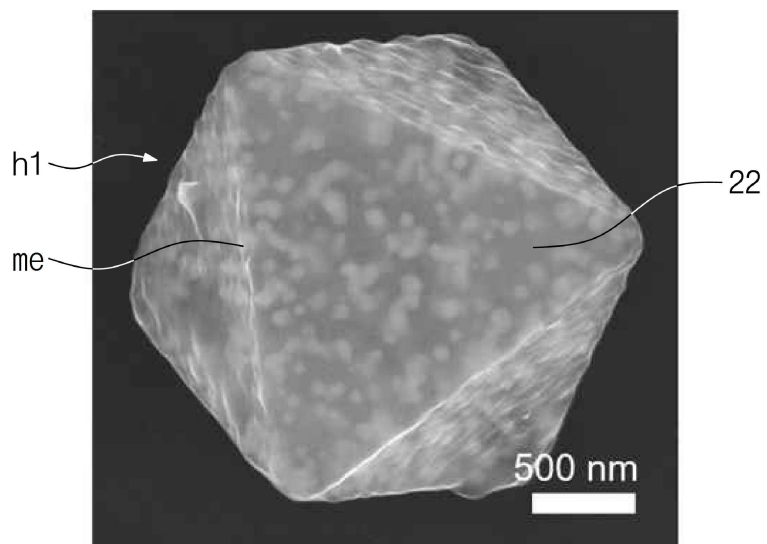


(b)

도면25

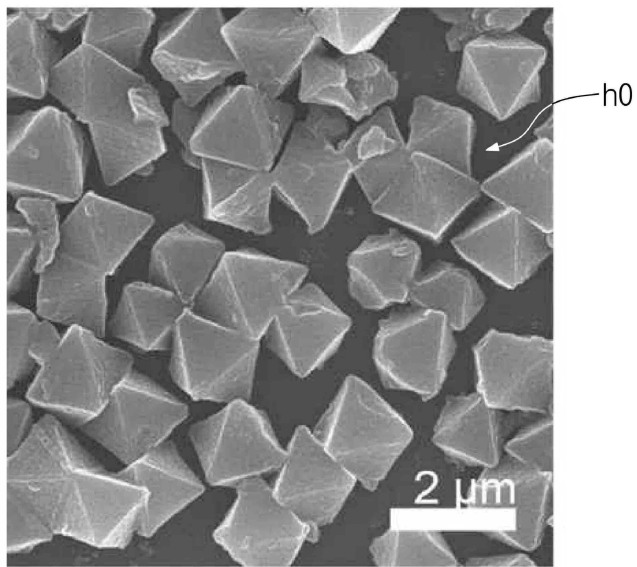


(a)

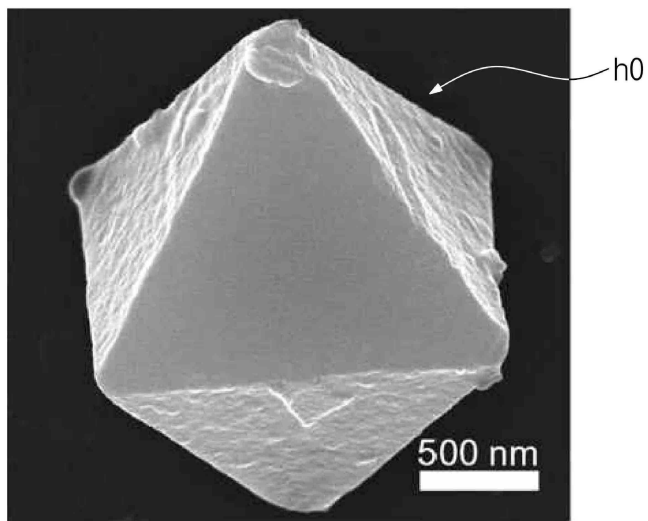


(b)

도면26

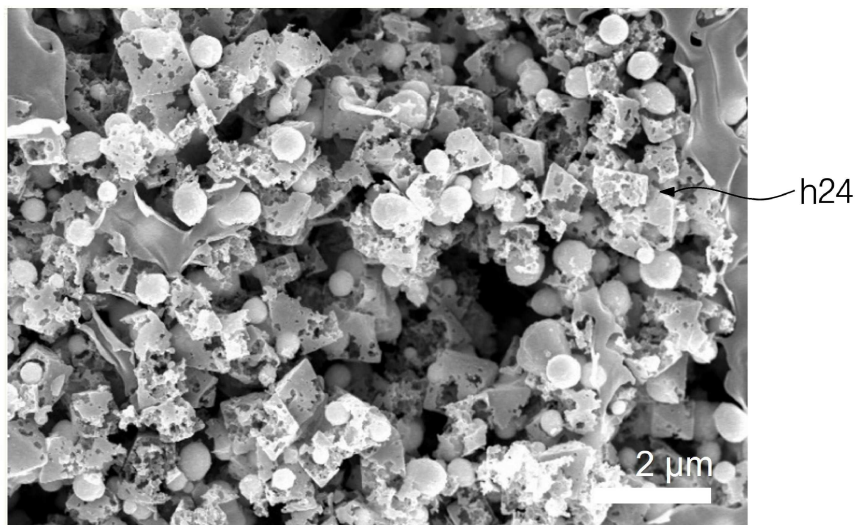


(a)

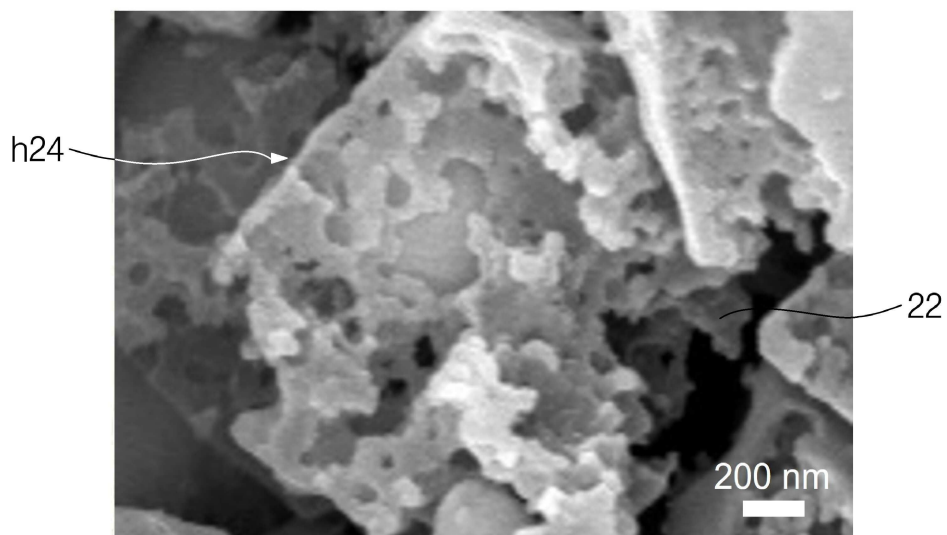


(b)

도면27

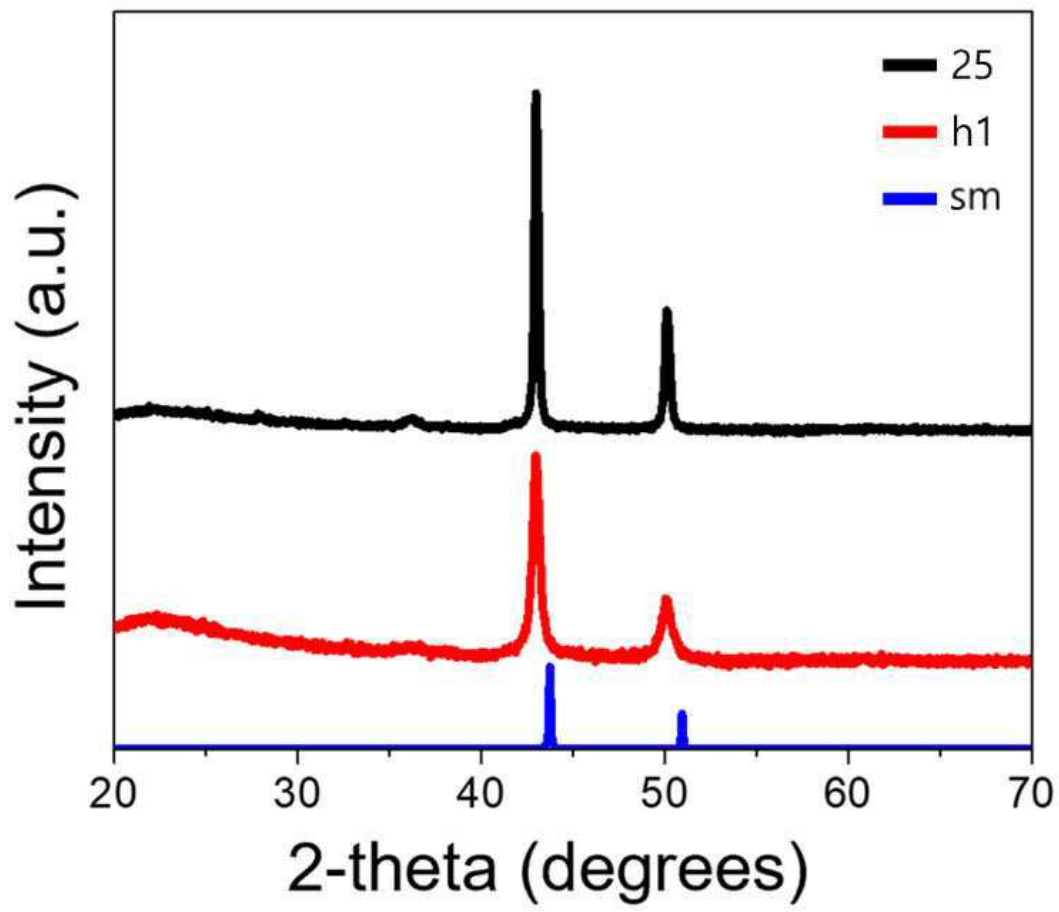


(a)

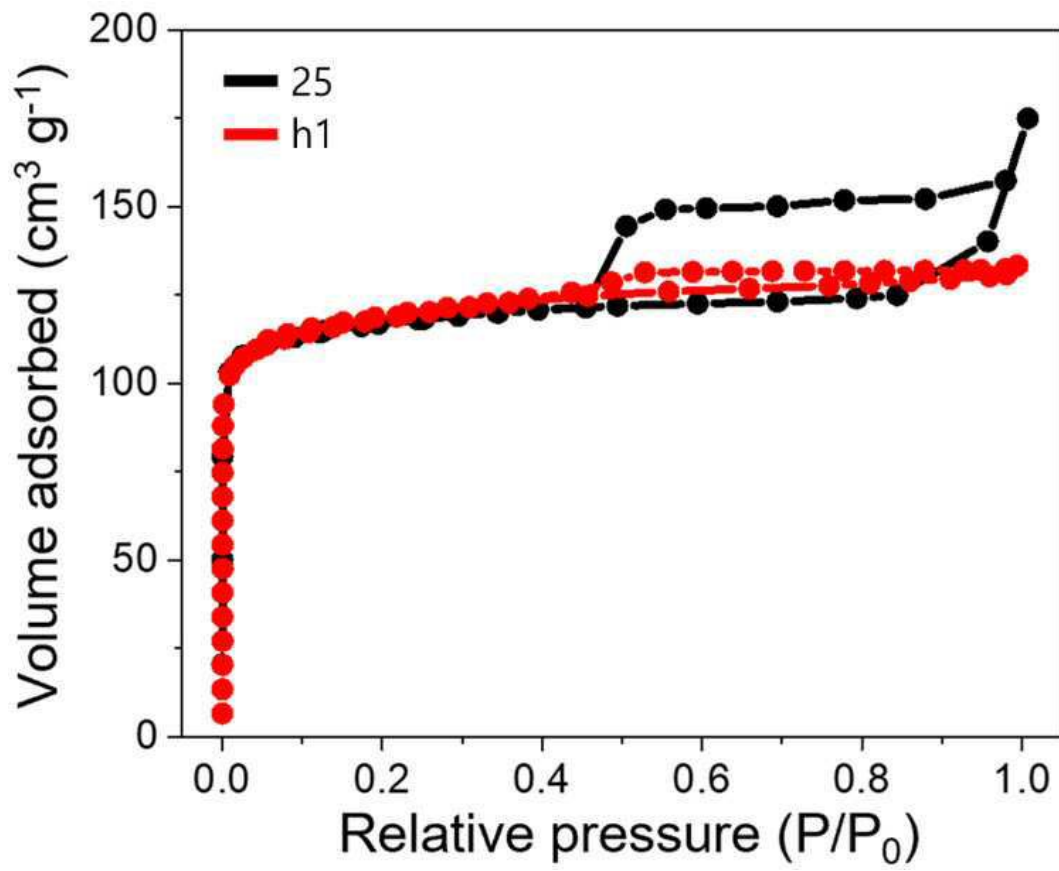


(b)

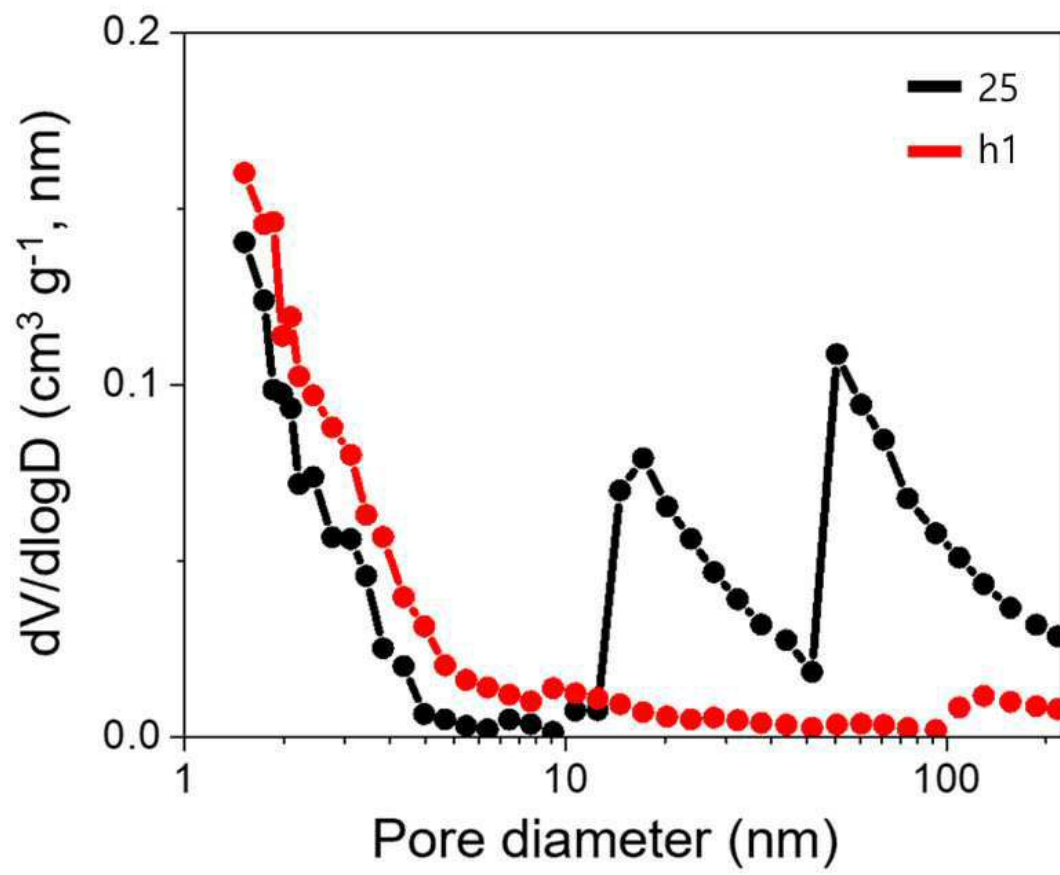
도면28



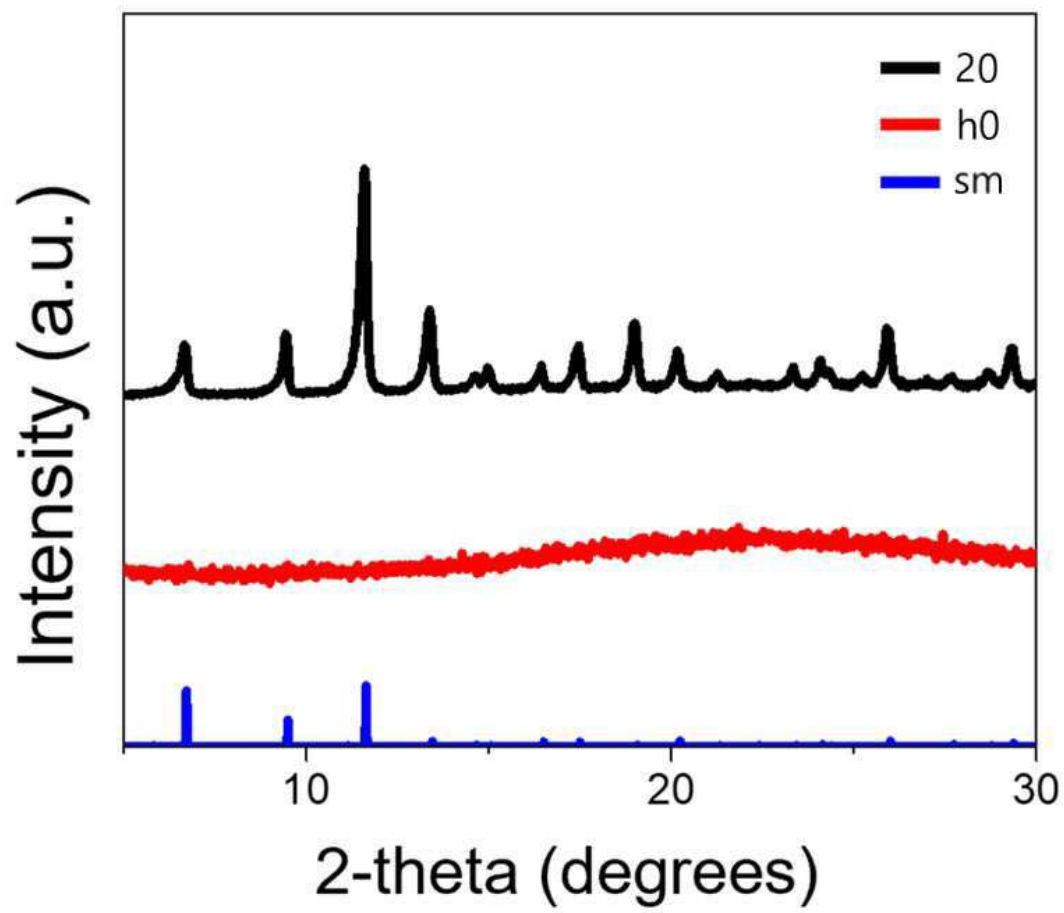
도면29



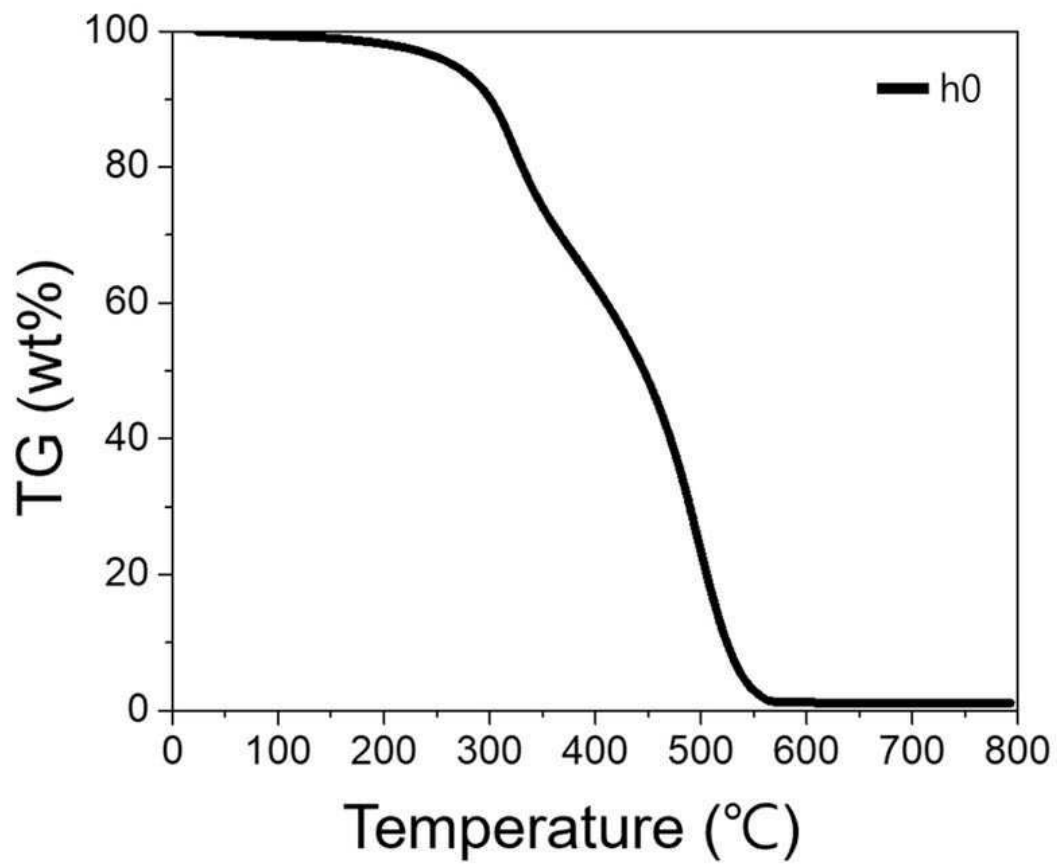
도면30



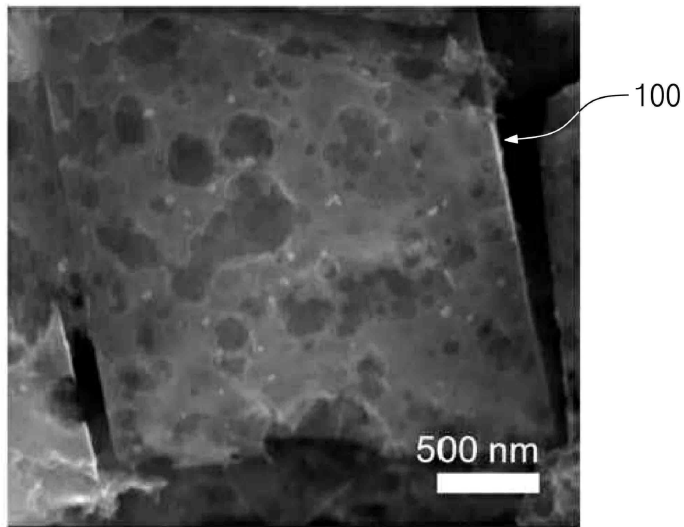
도면31



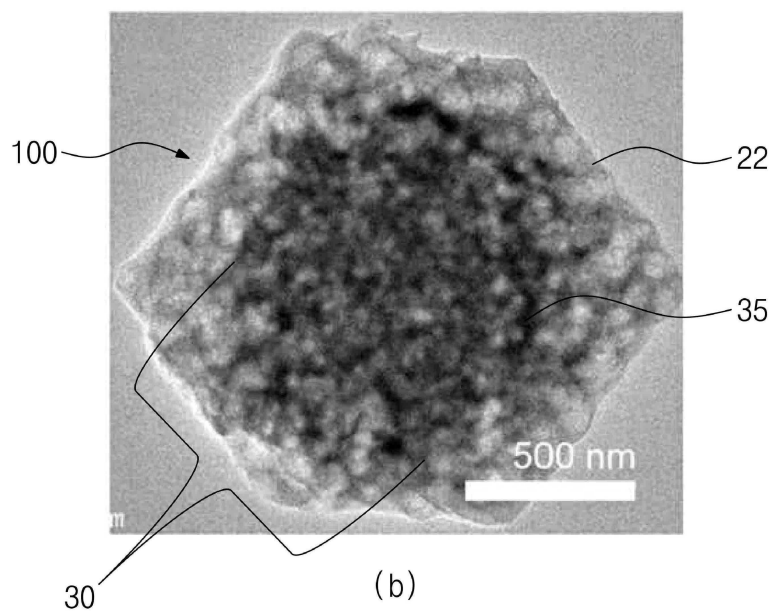
도면32



도면33

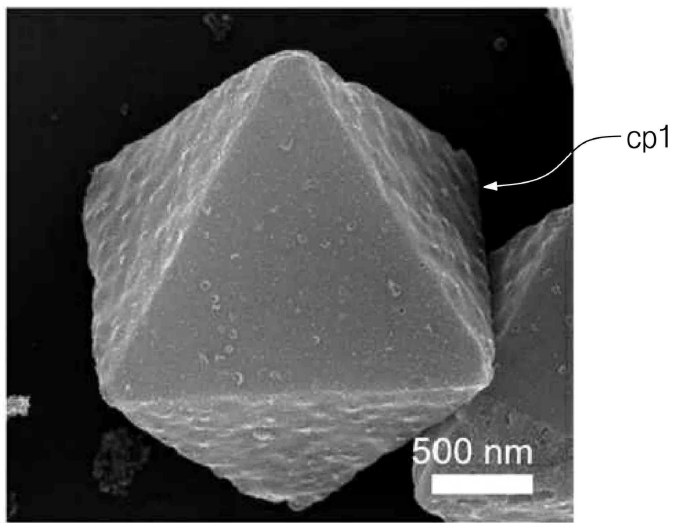


(a)

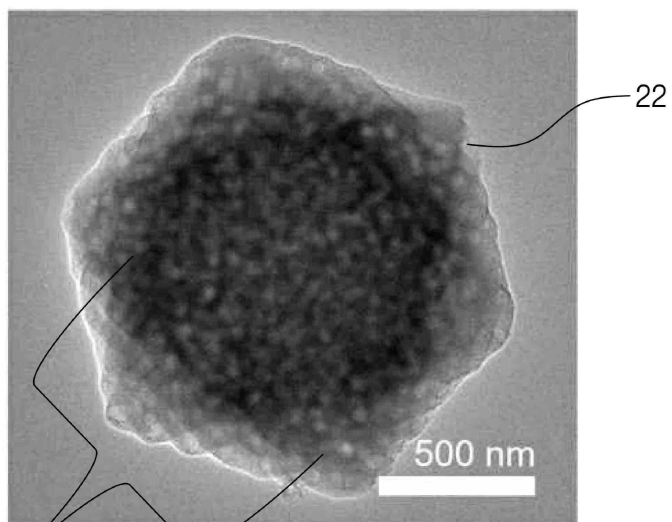


(b)

도면34

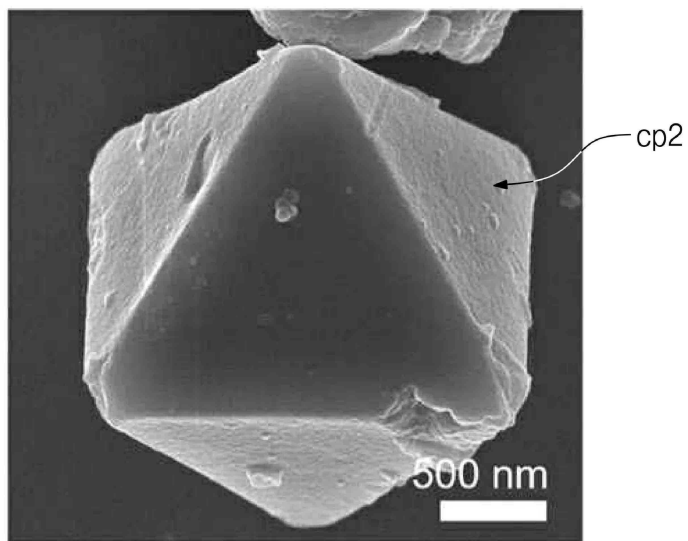


(a)

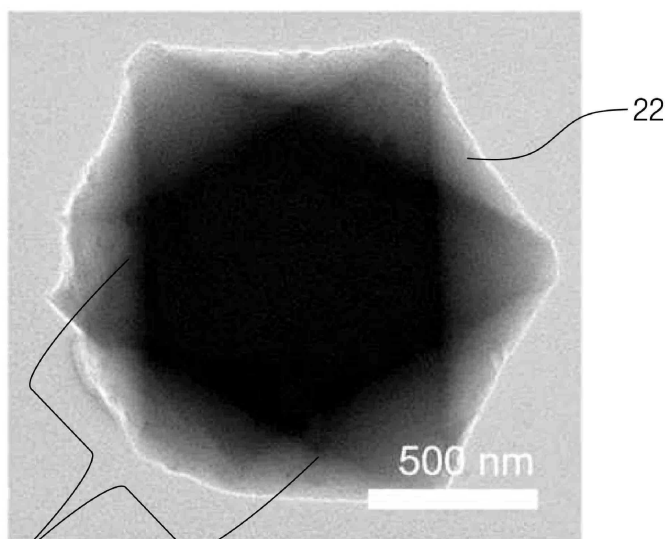


(b)

도면35

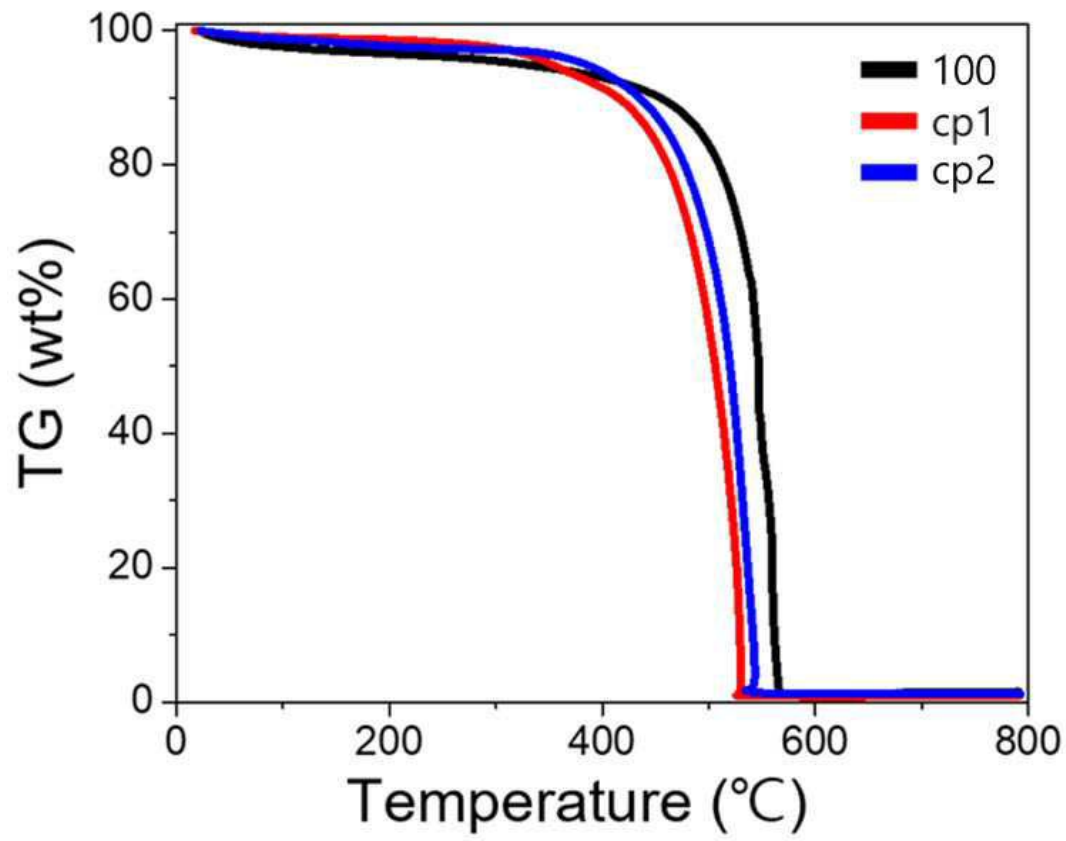


(a)

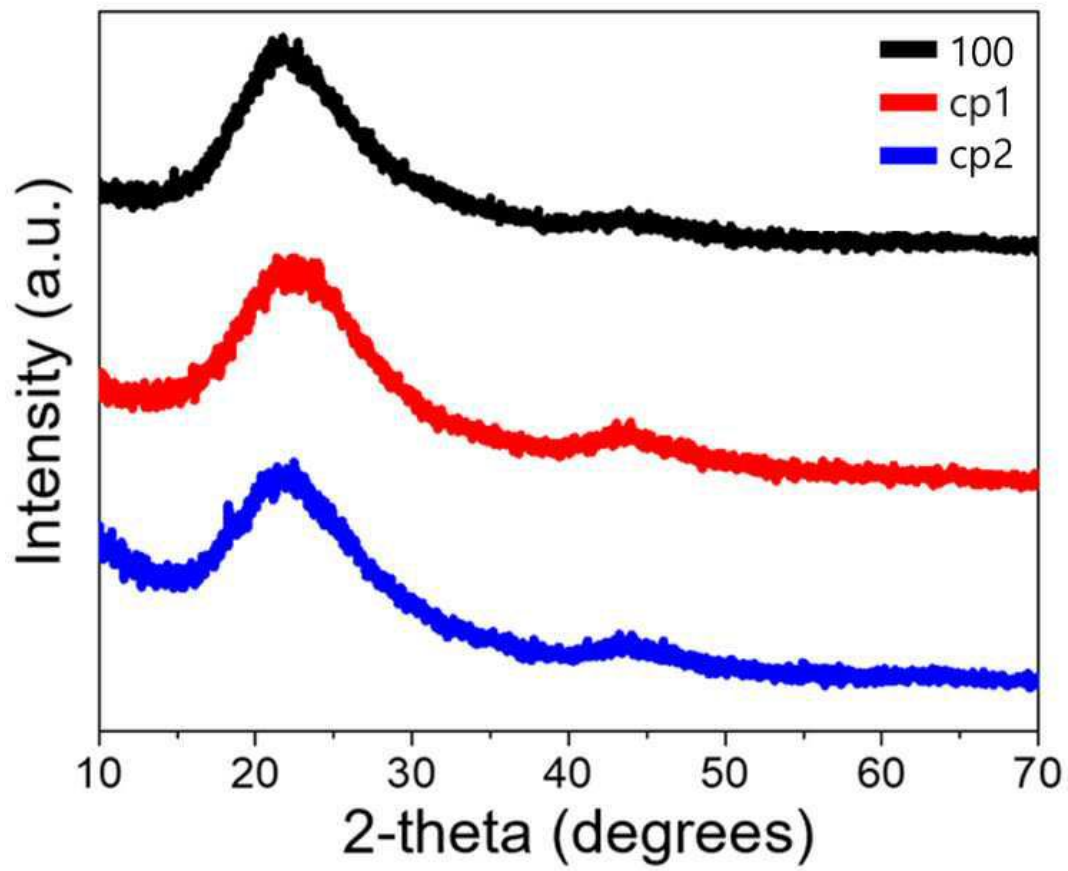


(b)

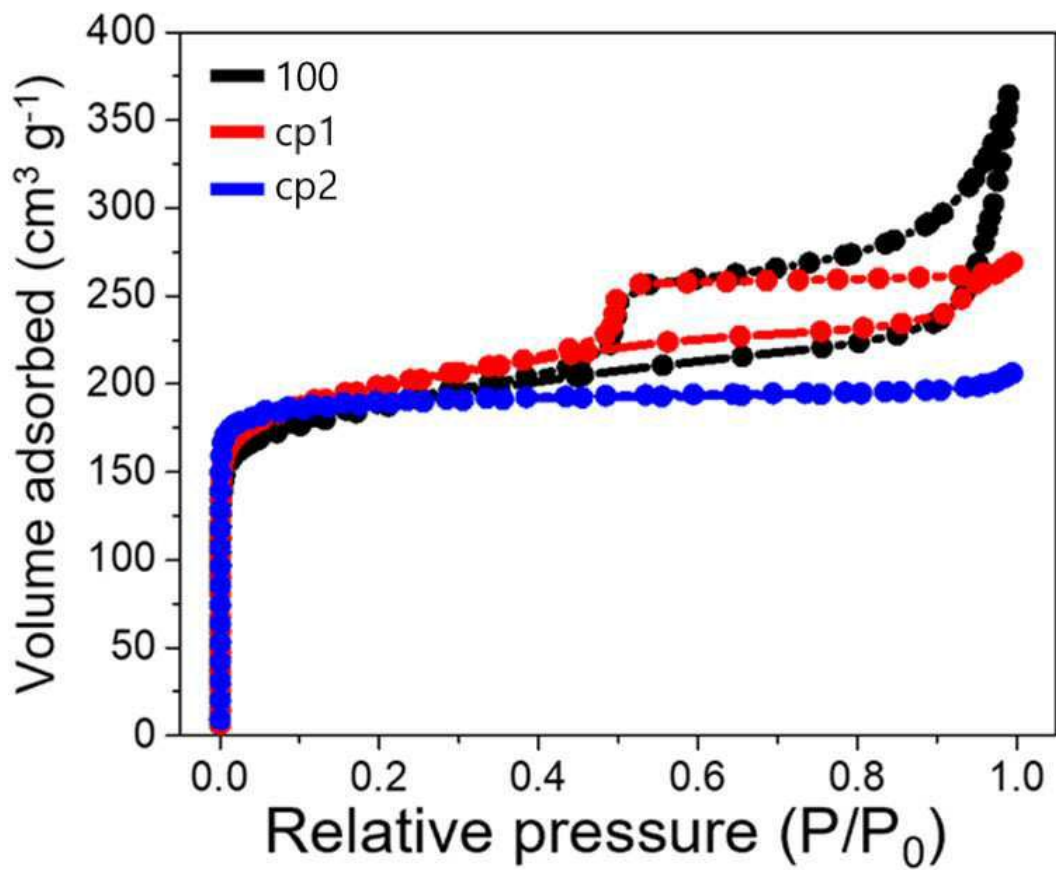
도면36



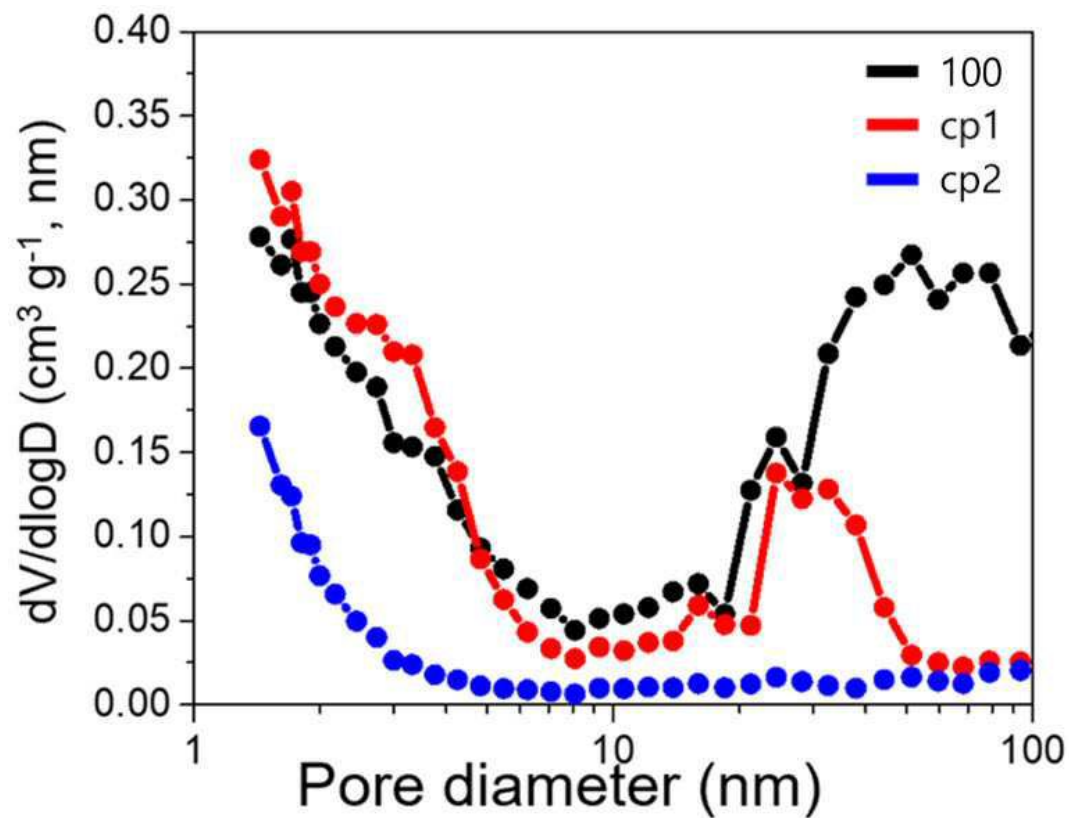
도면37



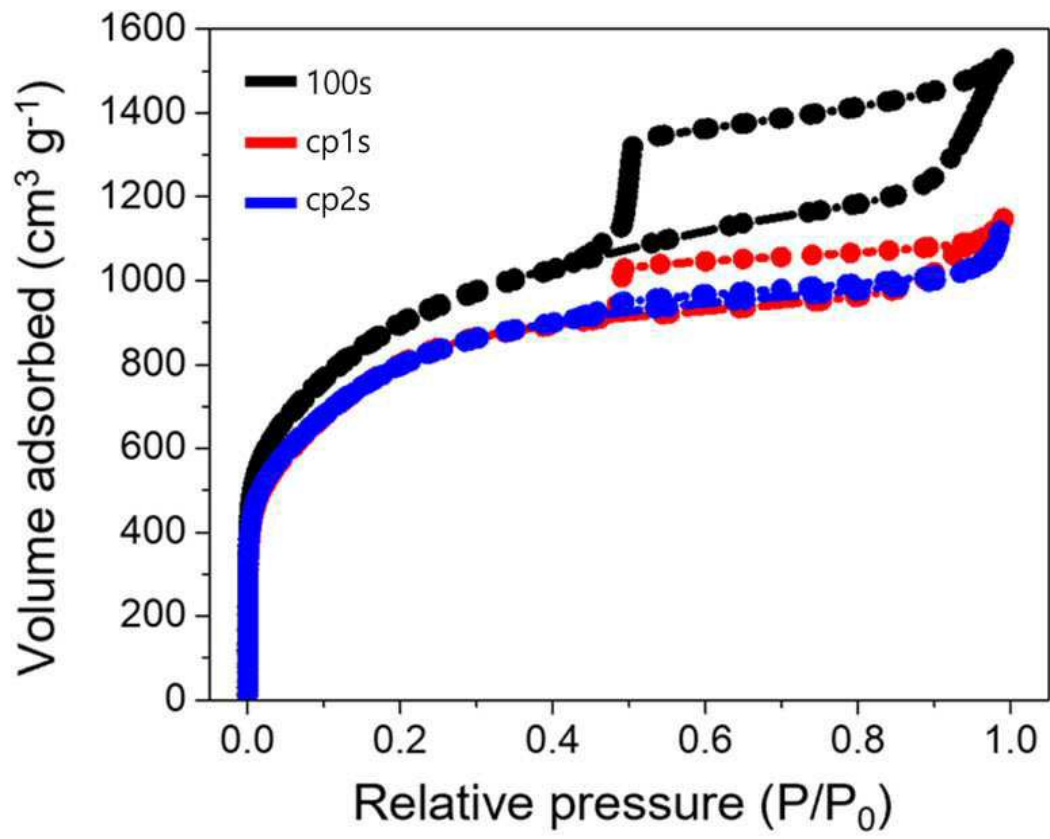
도면38



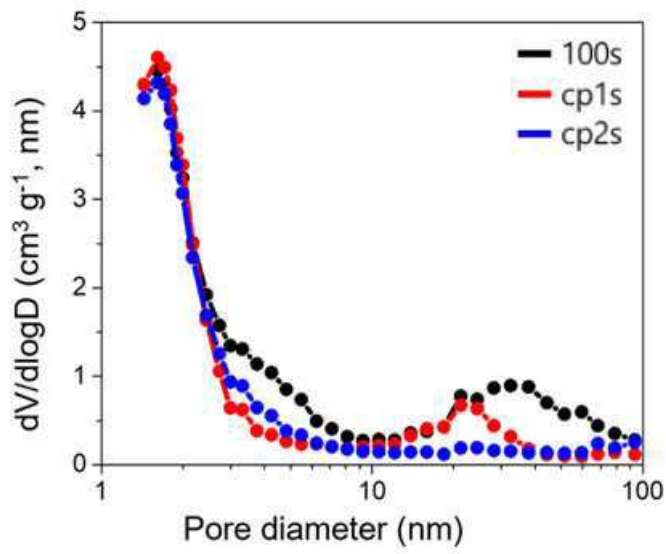
도면39



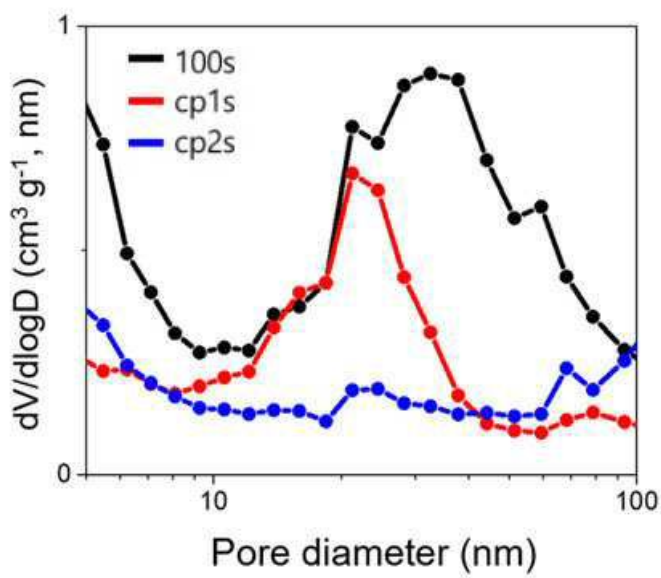
도면40



도면41

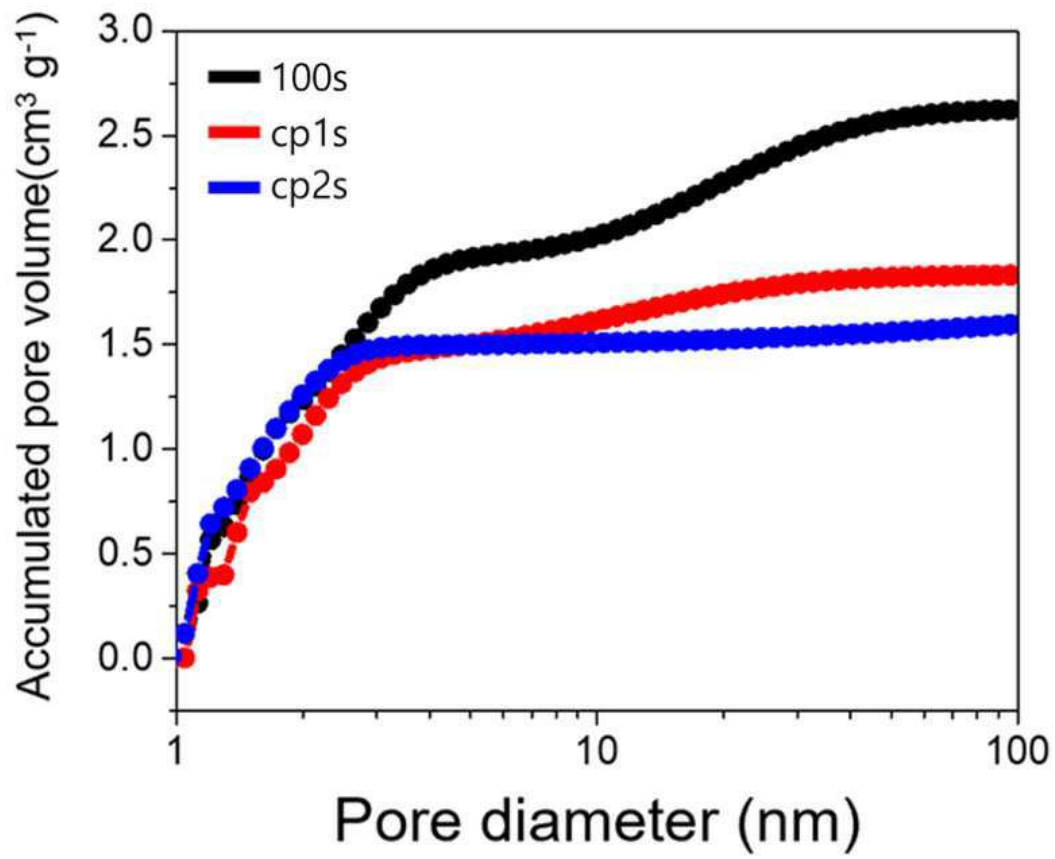


(a)

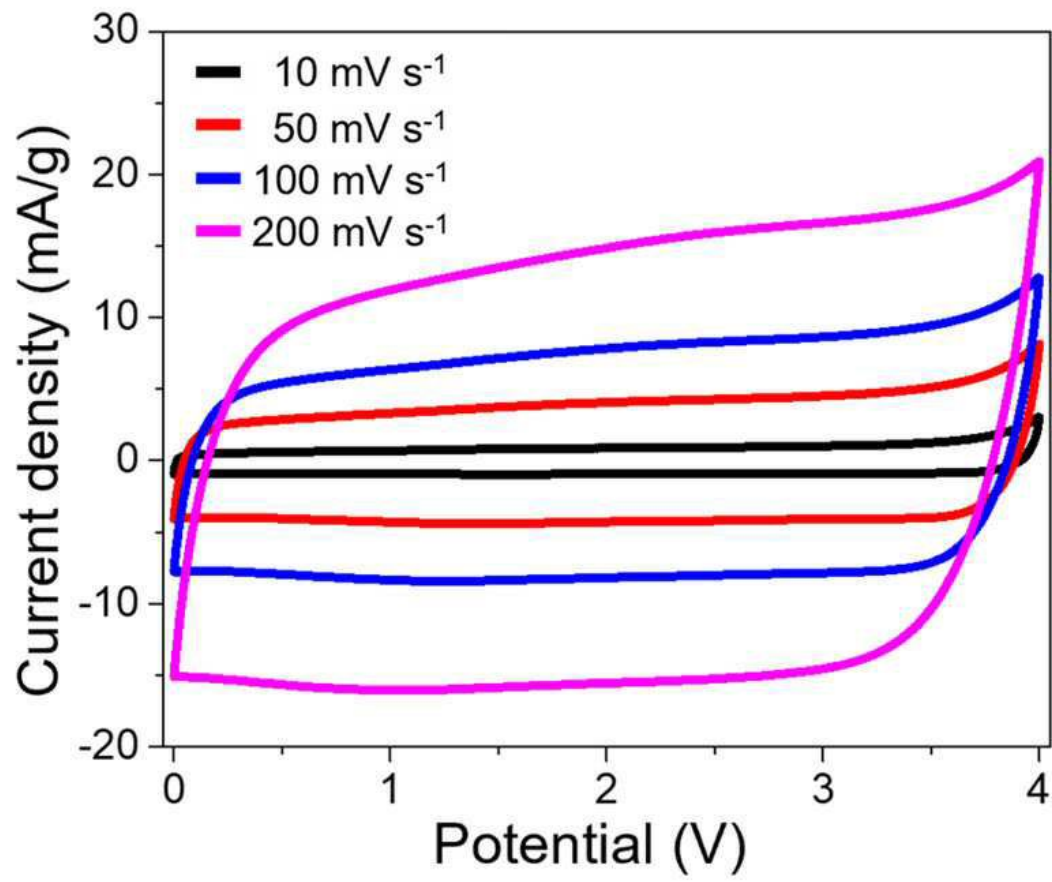


(b)

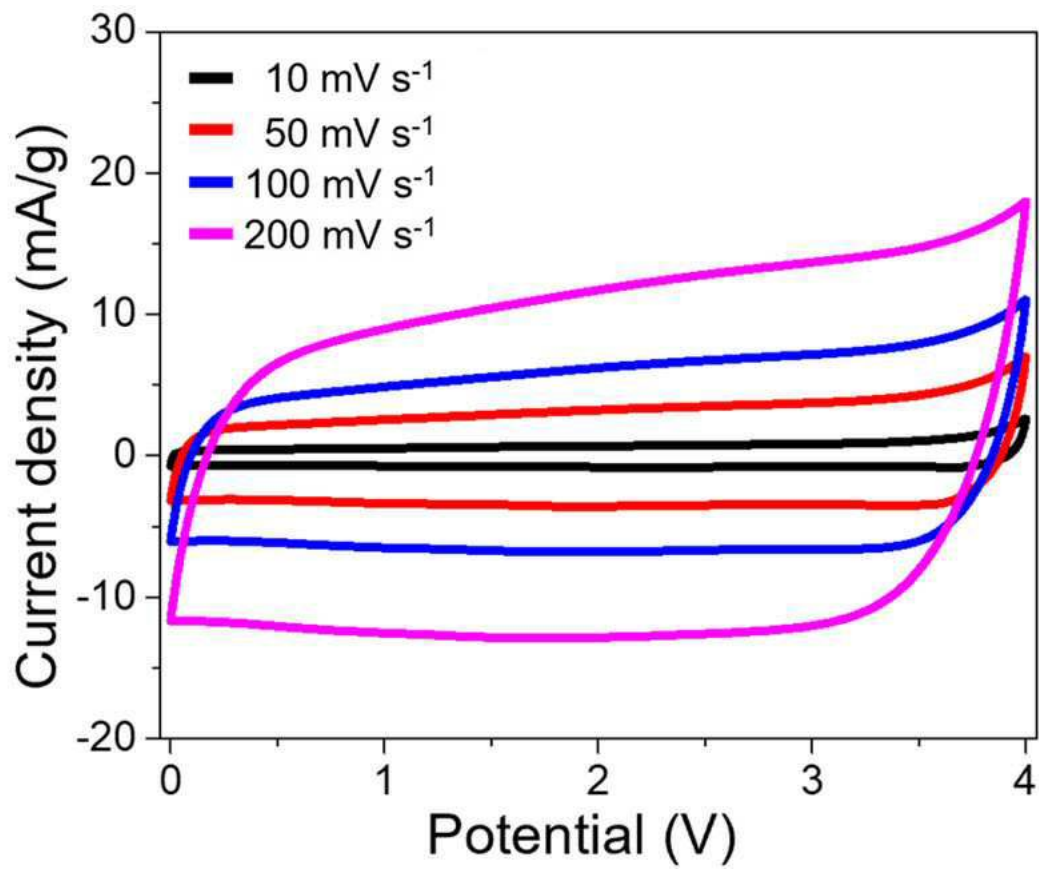
도면42



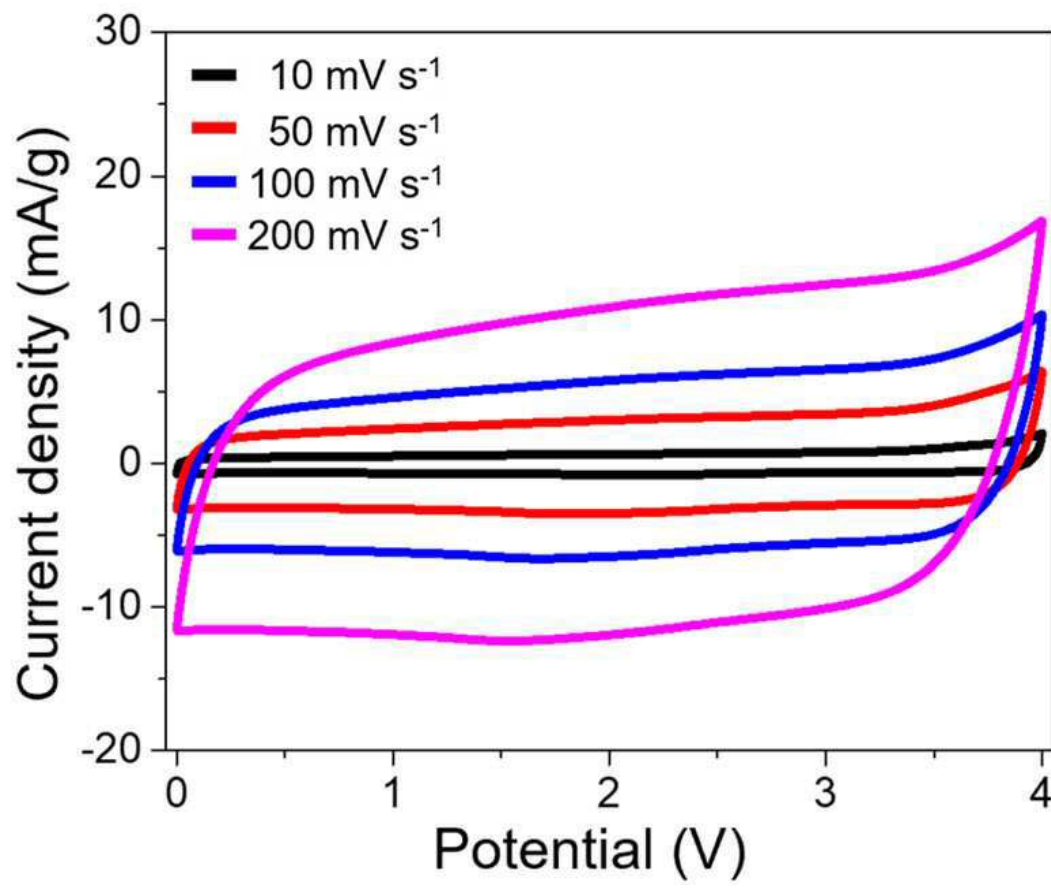
도면43



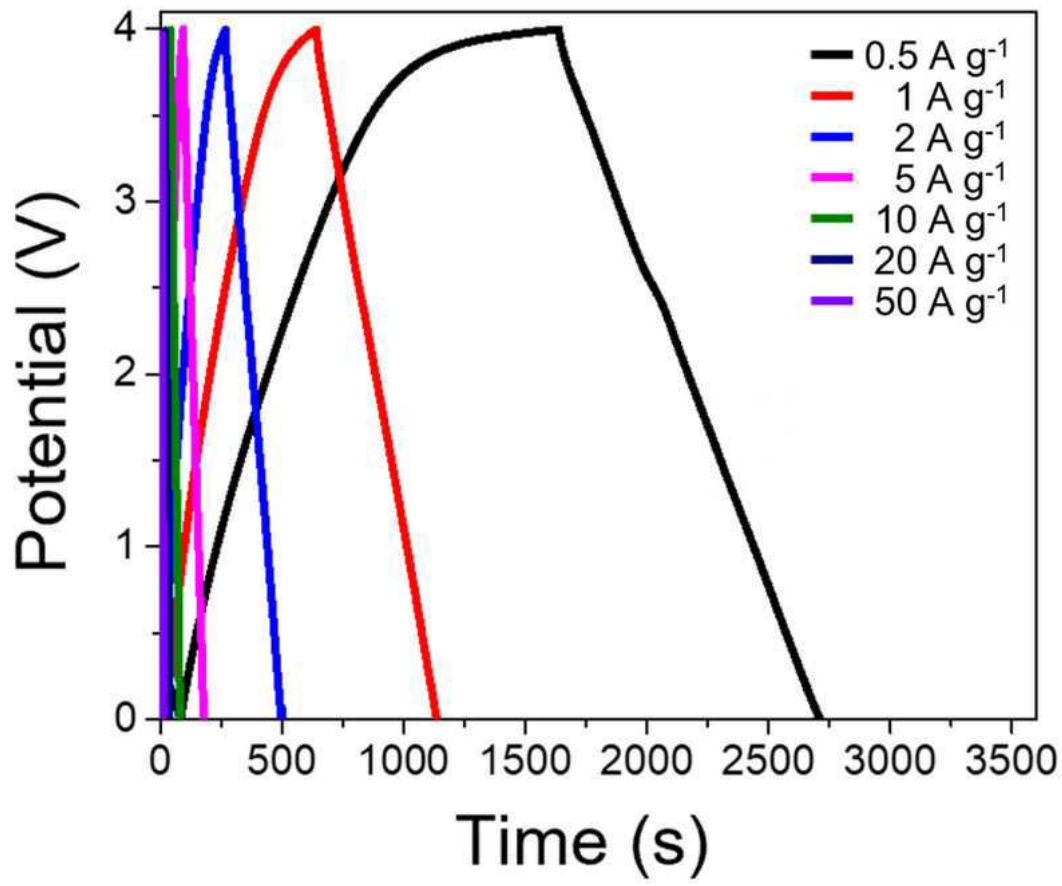
도면44



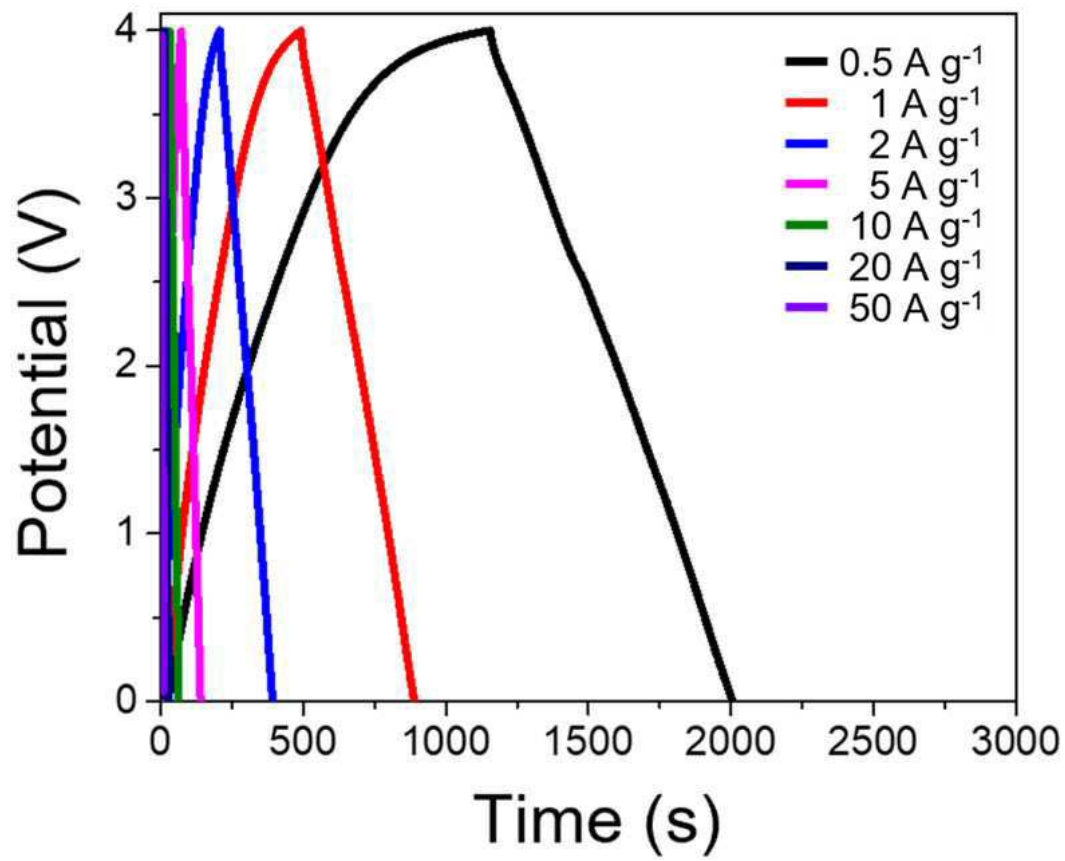
도면45



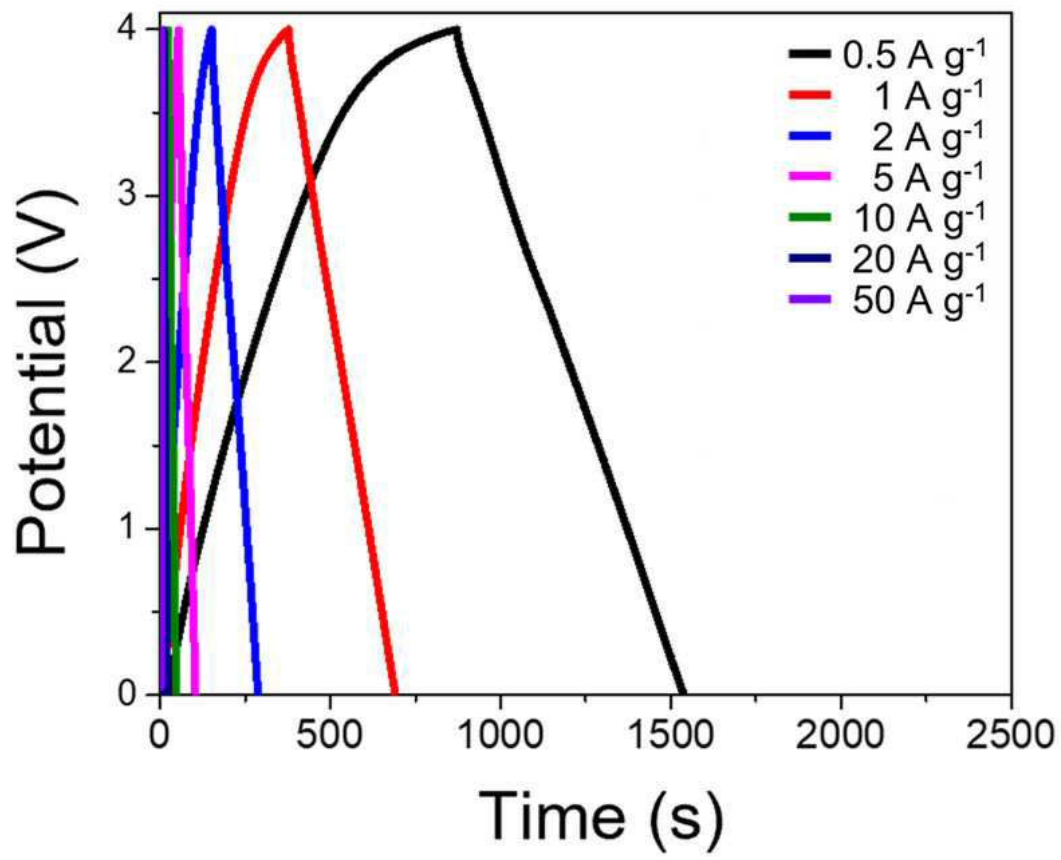
도면46



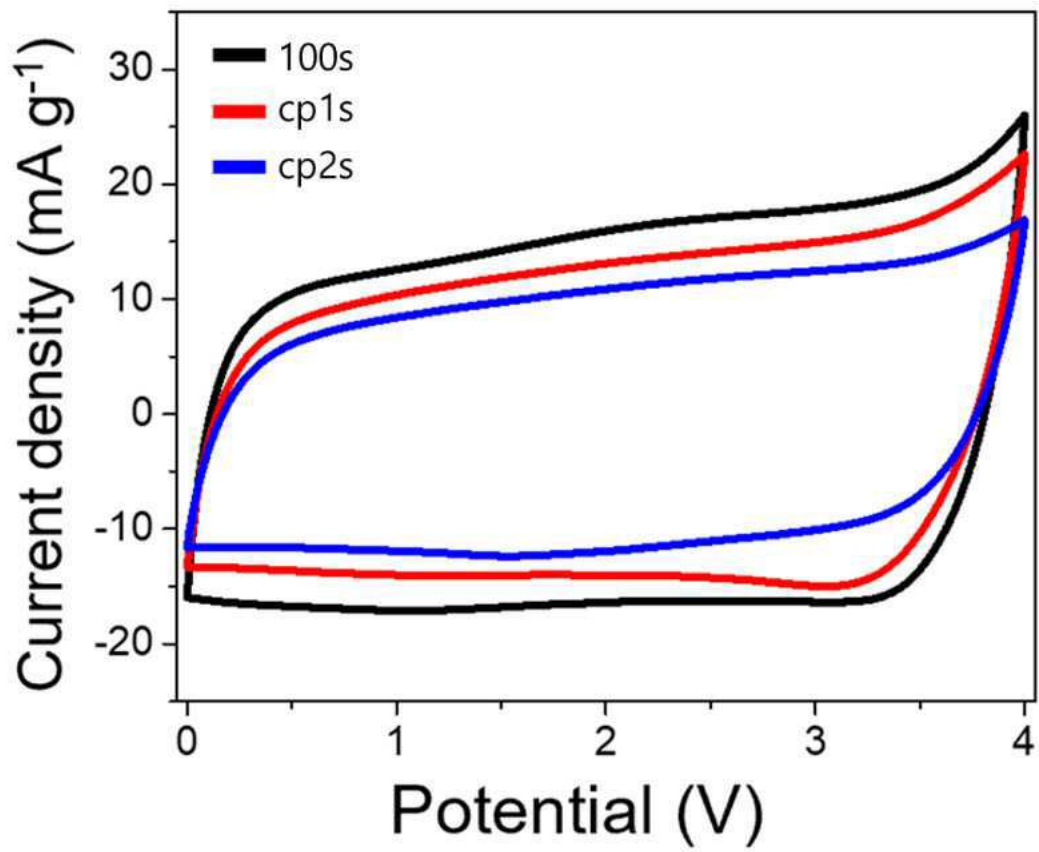
도면47



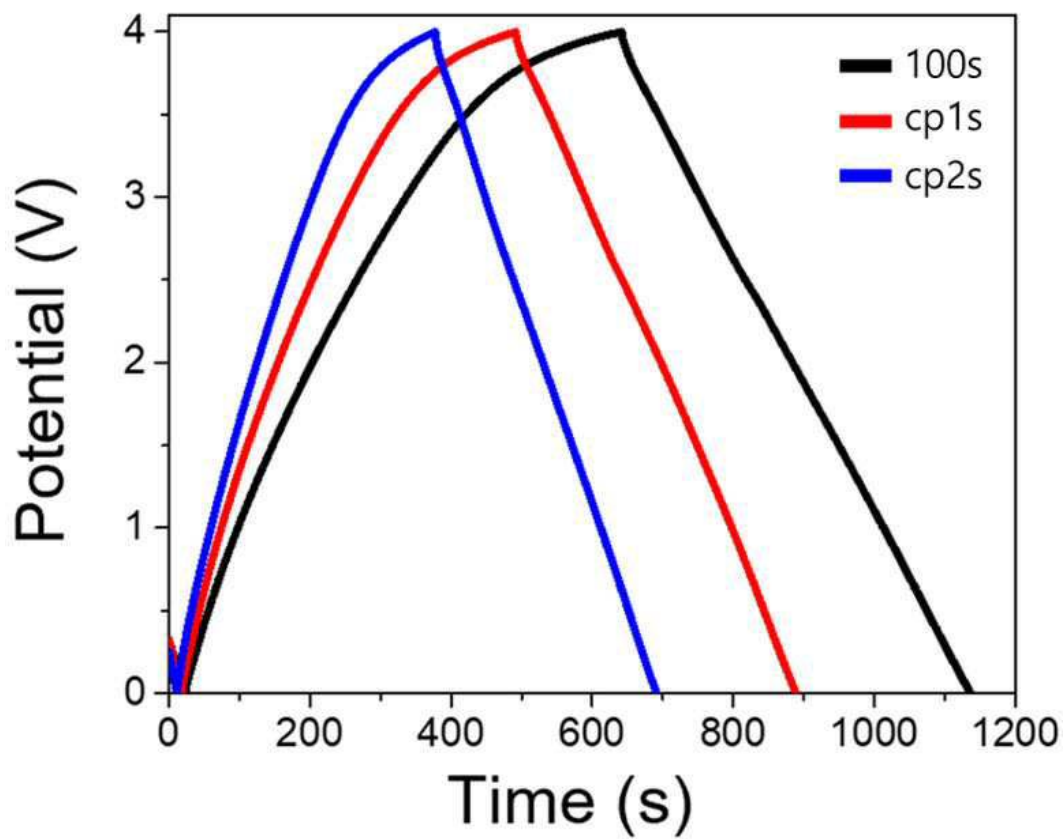
도면48



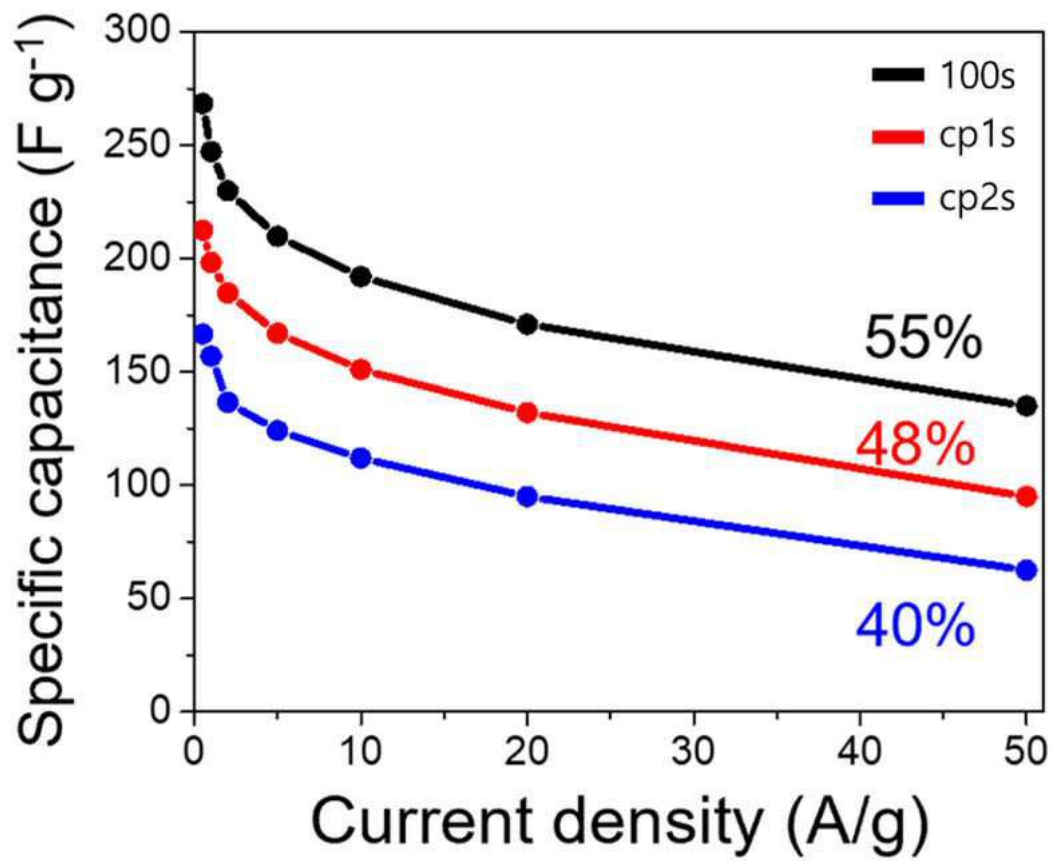
도면49



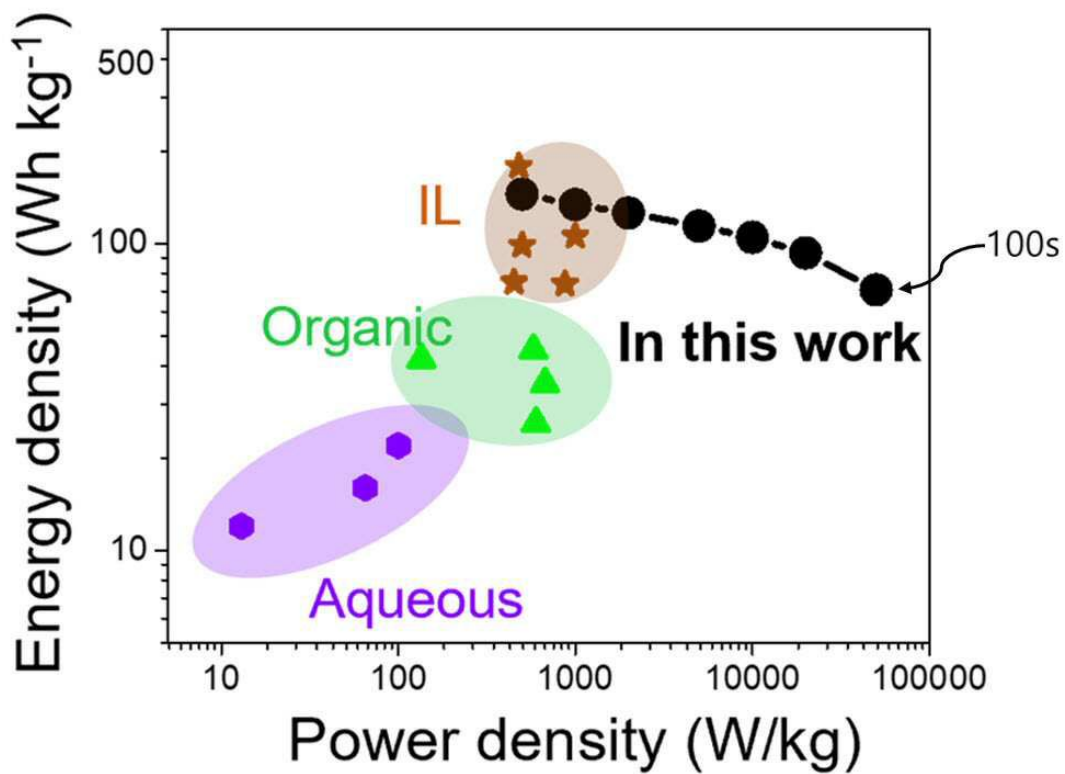
도면50



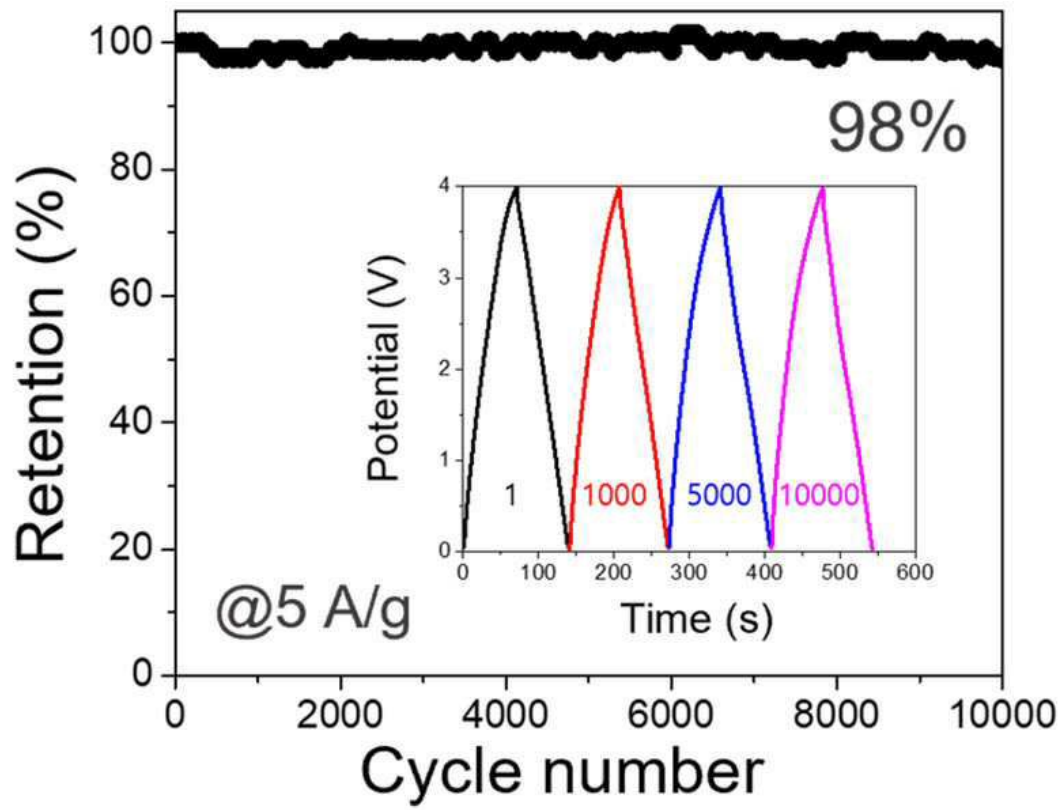
도면51



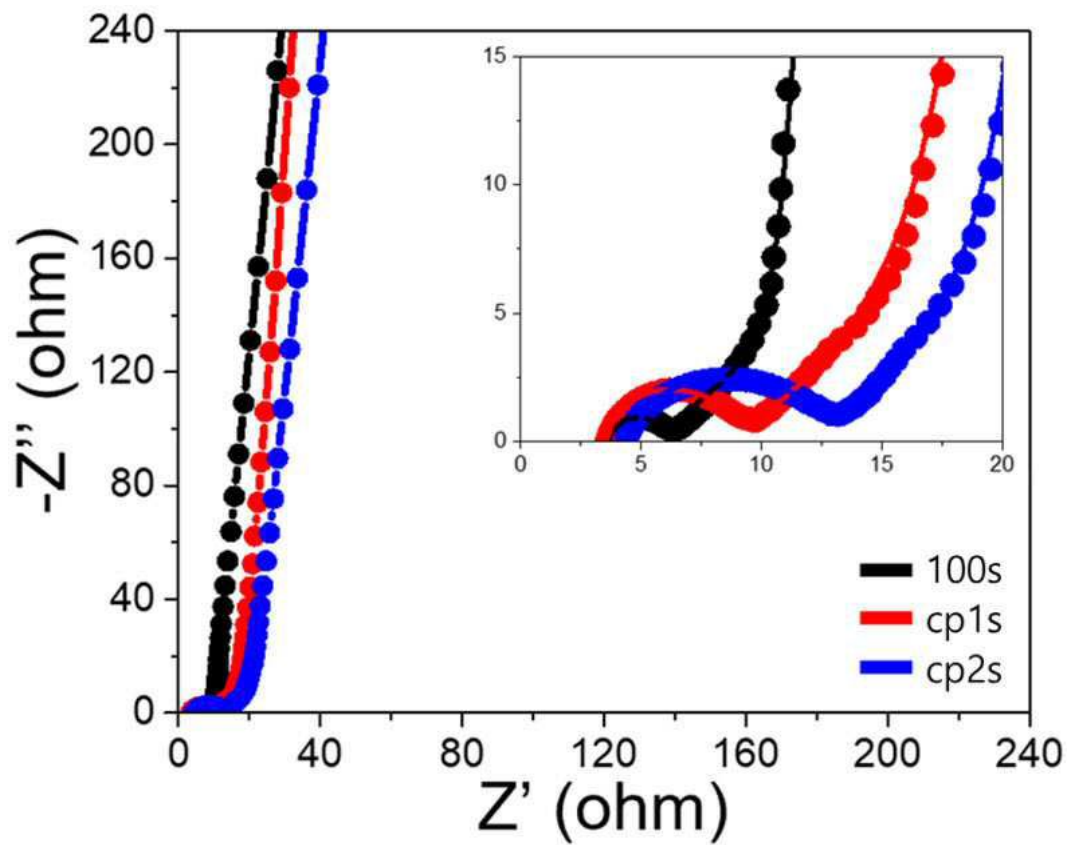
도면52



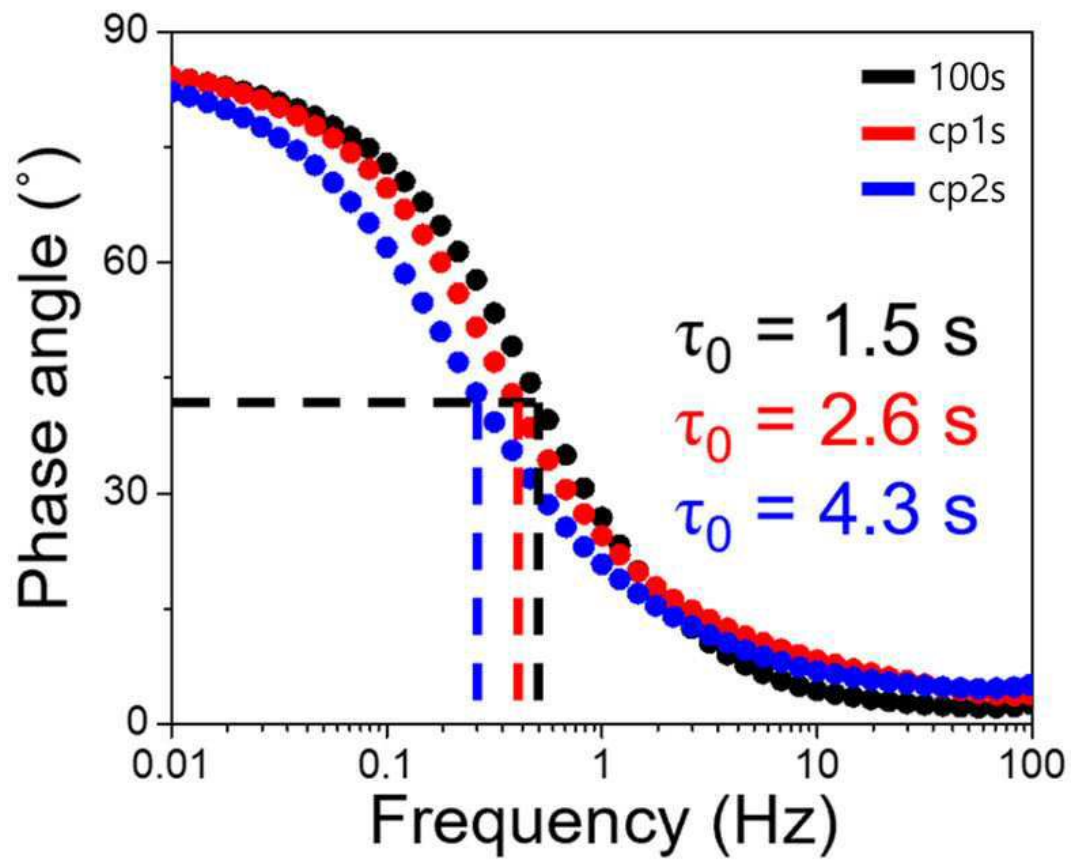
도면53



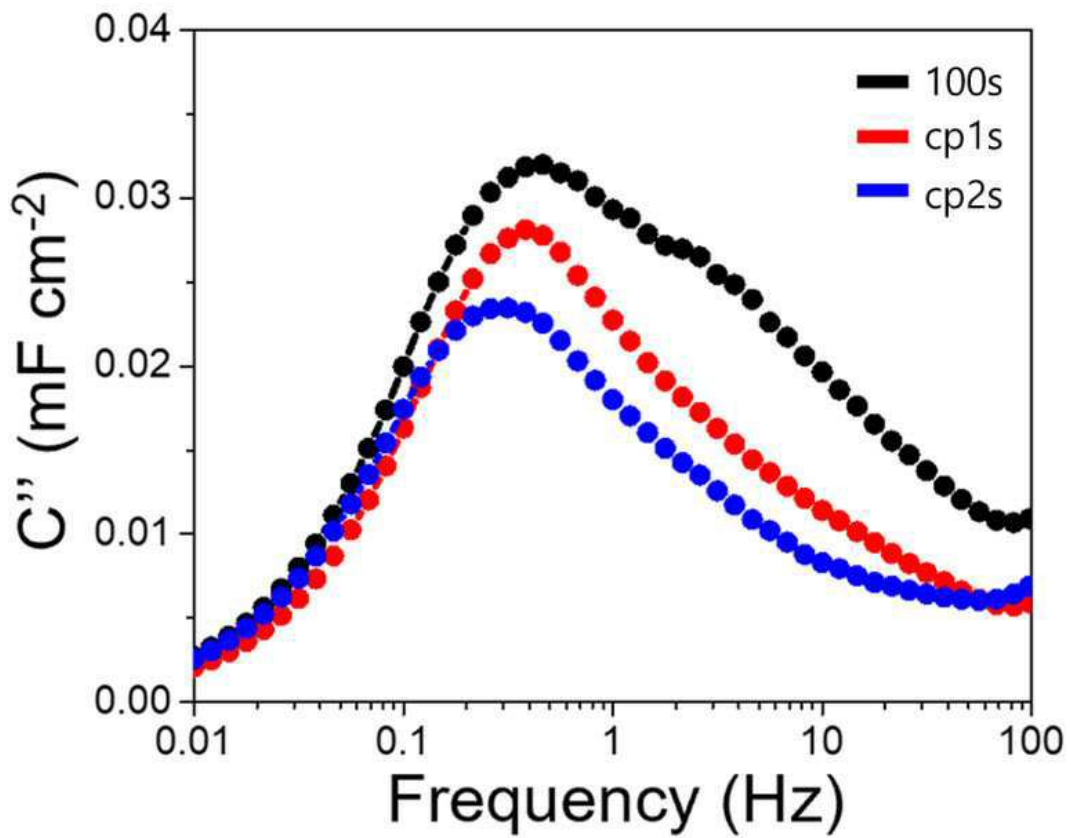
도면54



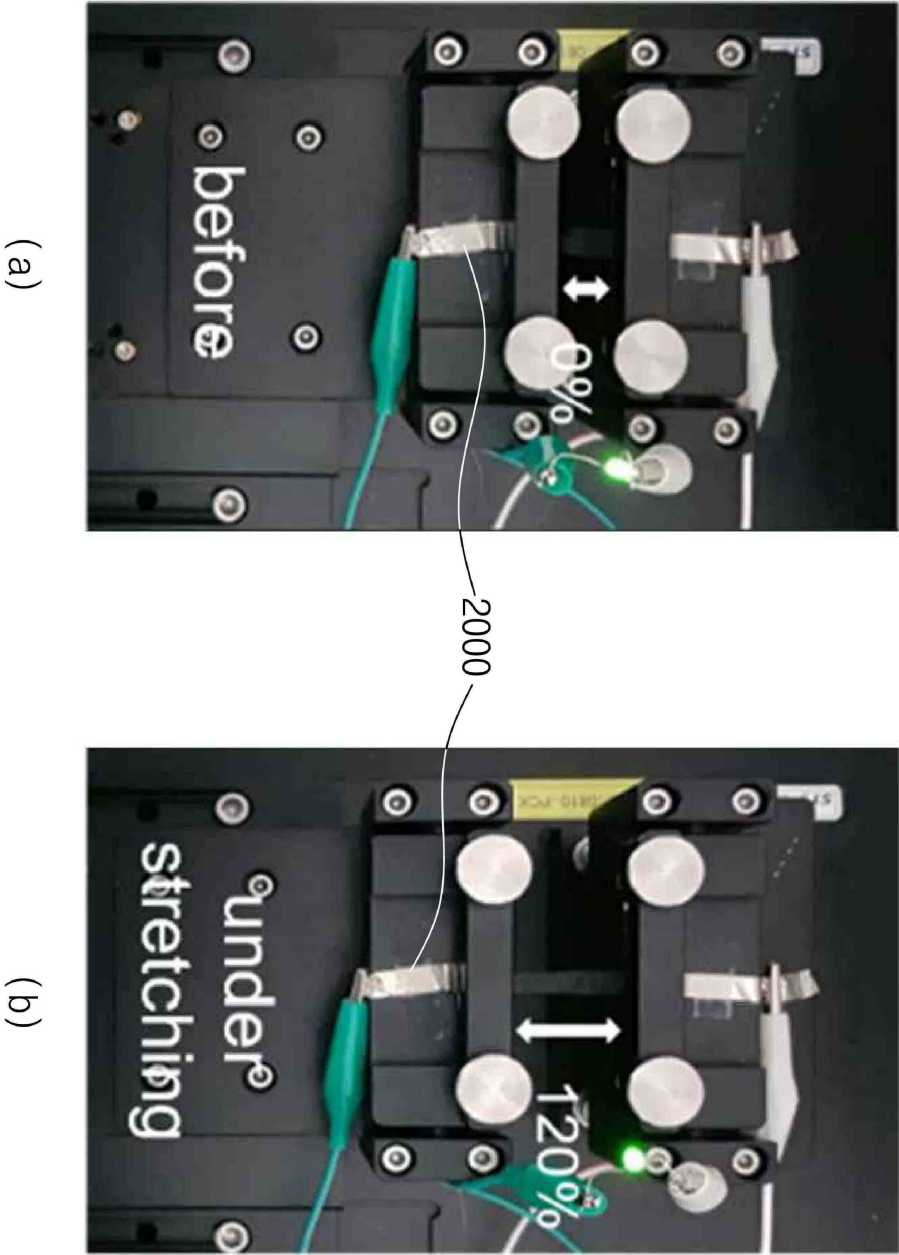
도면55



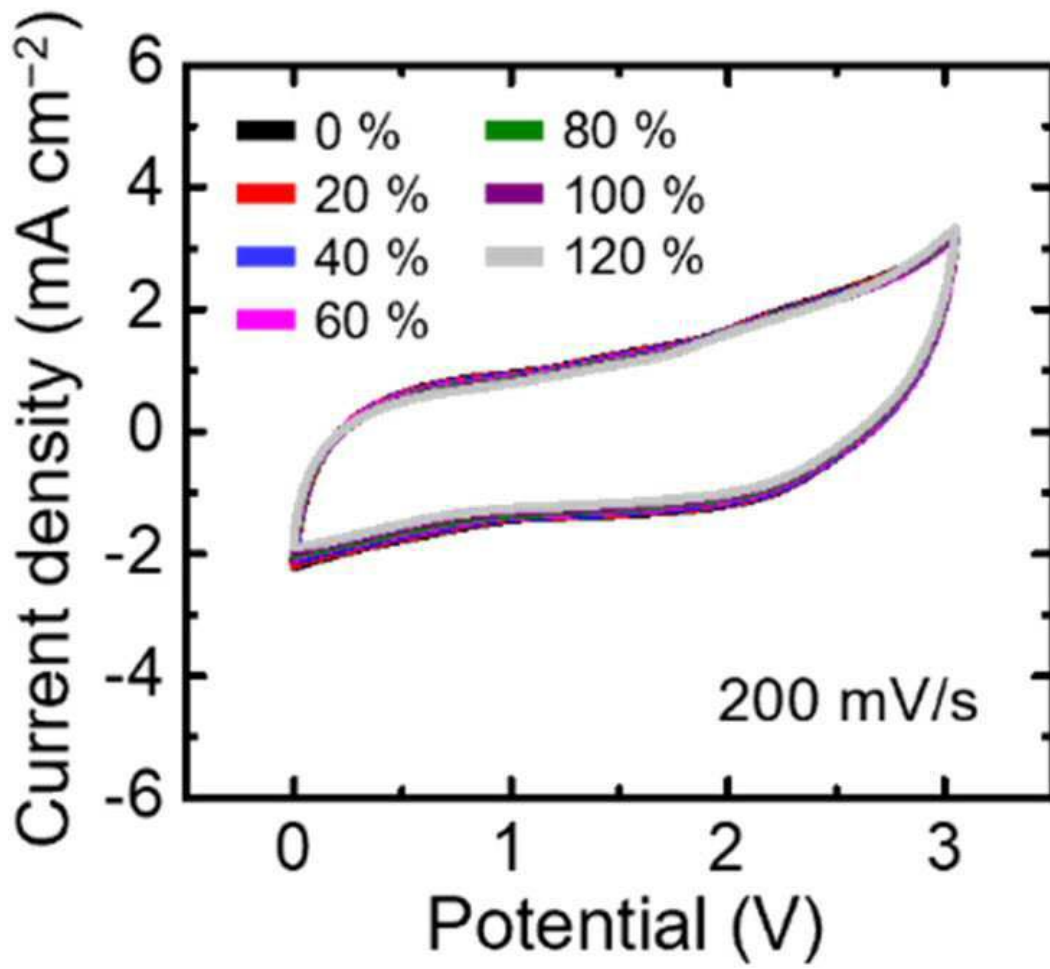
도면56



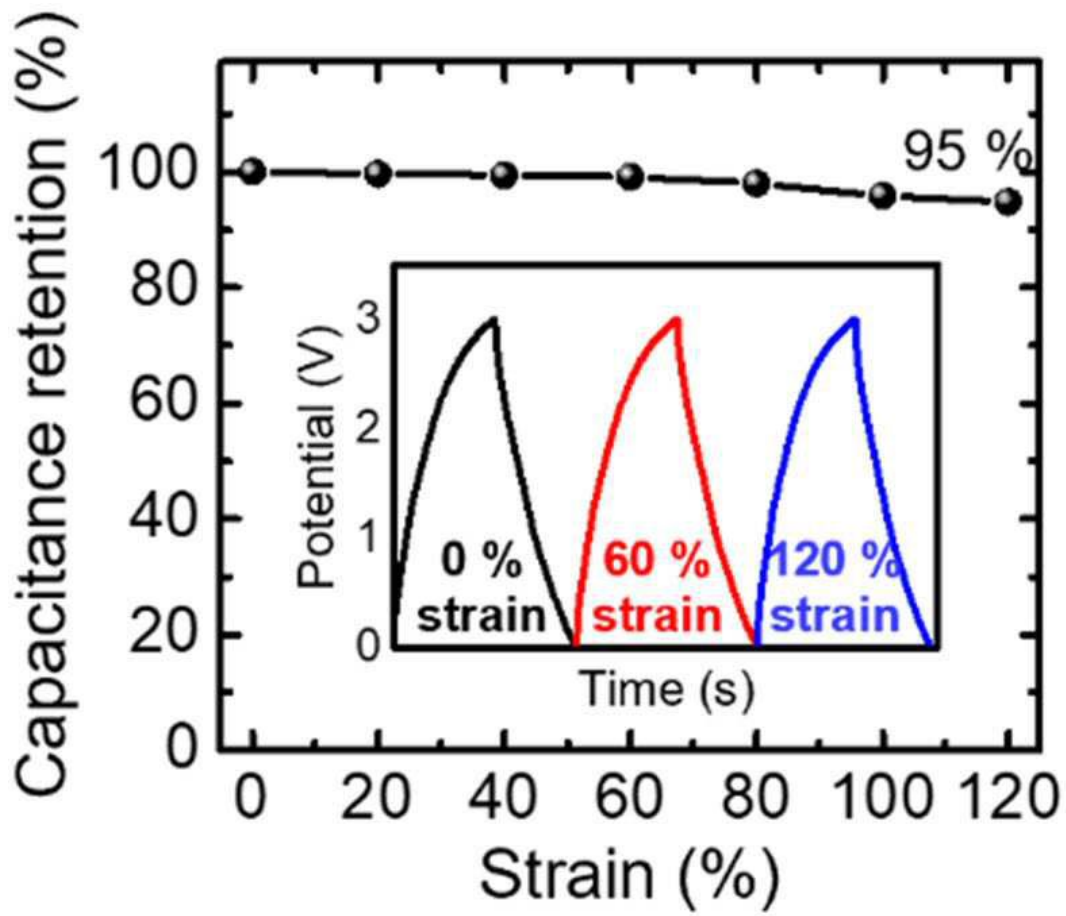
도면57



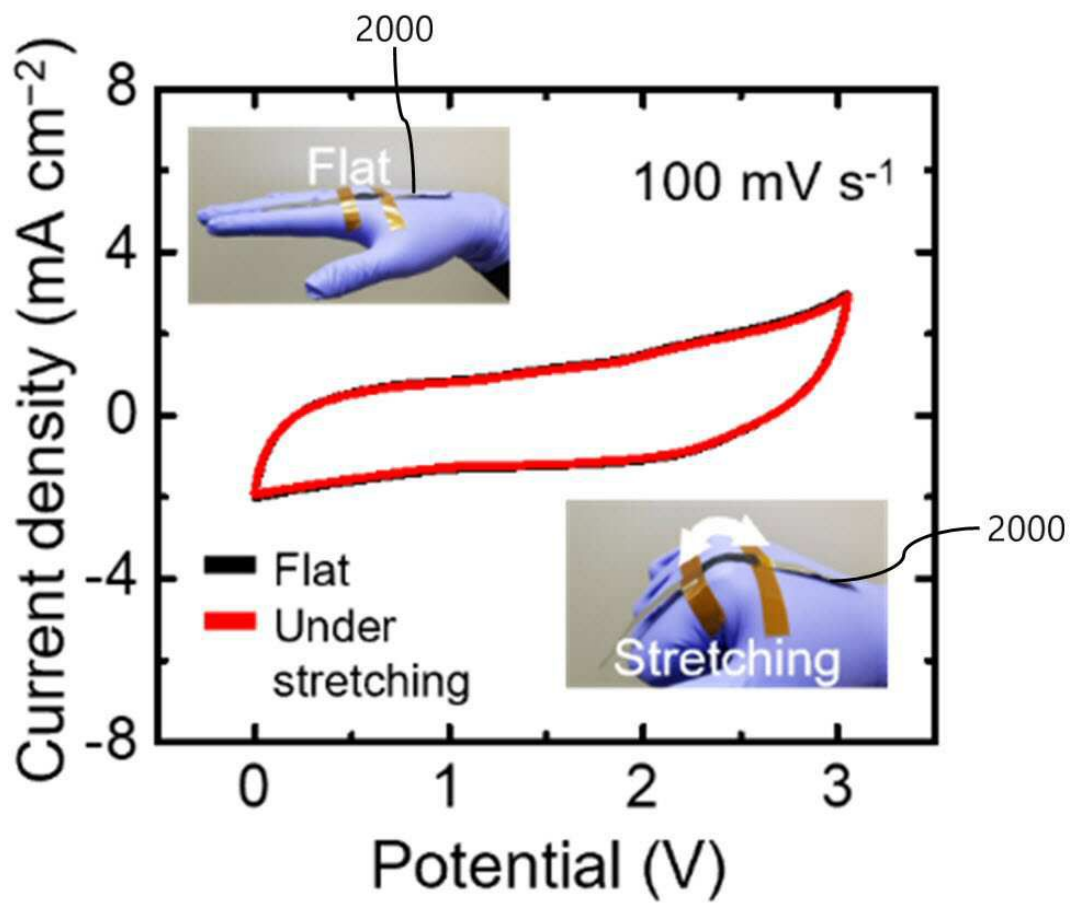
도면58



도면59



도면60



도면61

