



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0142430
(43) 공개일자 2024년09월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C01B 32/05 (2017.01) C01B 32/15 (2017.01)
C01B 32/152 (2017.01) C01B 32/18 (2017.01)
C01B 32/182 (2017.01)
(52) CPC특허분류
C01B 32/05 (2017.08)
C01B 32/15 (2017.08)
(21) 출원번호 10-2024-7024701
(22) 출원일자(국제) 2022년12월21일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2024년07월22일
(86) 국제출원번호 PCT/GB2022/053345
(87) 국제공개번호 WO 2023/118866
국제공개일자 2023년06월29일
(30) 우선권주장
2118948.5 2021년12월23일 영국(GB)
(뒷면에 계속)

(71) 출원인
인티그레이티드 그래핀 홀딩 리미티드
영국 에프케이8 2디제이 스텔링 웰그린 플레이스
유로 하우스
(72) 발명자
카피오, 마르코
영국 에프케이8 2디제이 스텔링 웰그린 플레이스
유로 하우스 인티그레이티드 그래핀 홀딩 리미티드 내
샘플, 올리버
영국 에프케이8 2디제이 스텔링 웰그린 플레이스
유로 하우스 인티그레이티드 그래핀 홀딩 리미티드 내
캐언스, 대런
영국 에프케이8 2디제이 스텔링 웰그린 플레이스
유로 하우스 인티그레이티드 그래핀 홀딩 리미티드 내
(74) 대리인
특허법인 광장리앤코

전체 청구항 수 : 총 186 항

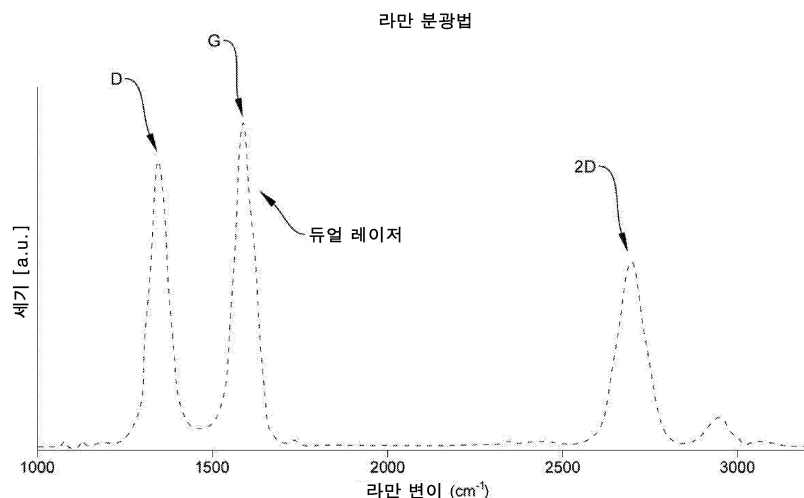
(54) 발명의 명칭 레이저 유도 탄소 나노구조

(57) 요약

탄소 폼 재료와 같은 탄소 나노구조를 제조하는 방법이 개시된다. 이 방법은 (a) 제1 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성하고 탄소 폼 위에 무질서한 비정질의 비-그래핀 재료를 생성한 다음, (b) 제2 레이저 빔을 사용하여 탄소 폼 위에 안착되어 있는 무질서한 비정질의 비-그래핀을 제거하거나 어블레이트하여 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키는 단계를 포함한다.

결과적인 탄소 폼 재료는 상당한 D 피크를 보여주며; 2D 피크는 G 피크보다 상당히 낮고; 피크 D:피크 G 비율은 0보다 상당히 크다. 외관 및 라만 시그니처에서는, 탄소 나노-어니언 재료와 유사하게 보인다. 이는 바이오센서, 슈퍼커패시터, 의사-커패시터에 사용될 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

C01B 32/152 (2021.01)

C01B 32/18 (2017.08)

C01B 32/182 (2021.01)

(30) 우선권주장

2202353.5	2022년02월22일	영국(GB)
2202356.8	2022년02월22일	영국(GB)
2202357.6	2022년02월22일	영국(GB)
2202360.0	2022년02월22일	영국(GB)
2202362.6	2022년02월22일	영국(GB)
2202364.2	2022년02월22일	영국(GB)
2202366.7	2022년02월22일	영국(GB)
2202369.1	2022년02월22일	영국(GB)
2202372.5	2022년02월22일	영국(GB)
2202375.8	2022년02월22일	영국(GB)
2202376.6	2022년02월22일	영국(GB)
2202380.8	2022년02월22일	영국(GB)
2202382.4	2022년02월22일	영국(GB)
2202384.0	2022년02월22일	영국(GB)
2202387.3	2022년02월22일	영국(GB)
2202388.1	2022년02월22일	영국(GB)
2202389.9	2022년02월22일	영국(GB)

명세서

청구범위

청구항 1

탄소 폼 재료를 제조하는 방법은,

(a) 제1 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성하고 상기 탄소 폼 위에 무질서한 비정질의 비-그래핀 재료를 생성한 다음,

(b) 제2 레이저 빔을 사용하여 상기 탄소 폼 위에 안착되어 있는 상기 무질서한 비정질의 비-그래핀 재료를 제거하거나 어블레이트하여 상기 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔은 제1 대역에서 동작하고 상기 제2 레이저 빔은 제2 대역에서 동작하는, 방법.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔 및 상기 제2 레이저 빔은 서로 다른 레이저 시스템에 의해 생성되는, 방법.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔 및 상기 제2 레이저 빔은 상기 동일한 레이저 시스템에 의해 생성되는, 방법.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 서브-표면 또는 캡슐화된 영역을 조사하는 상기 제1 레이저 빔의 상기 파라미터에는 세기, 파장, 펄스 주파수, 펄스 지속 시간, 펄스 프로파일, 주사 속도, 초점 거리, 상기 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에서 생성되는 열 중 하나 이상이 포함되는, 방법.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔의 상기 레이저 파라미터를 변경하면 상기 탄소 폼 재료 특성이 변경되어, 다양한 응용 분야에 최적화된 특성을 갖는 탄소 폼이 생산되도록 하는, 방법.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔의 상기 레이저 파라미터를 변경하면 다음과 같은 탄소 폼 재료 특성 또는 파라미터인, 존재하는 탄소 나노구조 유형, 결합 크기, 결합 분포, 결합 범위, 결합 유형, 라만 D 및 2D 피크, 라만 D 및 2D 피크의 상대적 크기, 두께 또는 깊이, 유연성, 접착력, 다공성, 전기 전도성, 정전용량, 유기 용매 및 수성 용액의 흡수, 친수성, EMI 차폐, 전극 품질, 습윤성, 접촉각, 방오성 중 하나 이상이 변경되는, 방법.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔에 의해 상기 전구체 재료의 표면으로의 실질적인 가스 탈출 경로가 생성되지 않는, 방법.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔은 상기 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에서 500 °C보다 높은 온도를 생성하여 탄소 폼을 형성하는, 방법.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 펄스 지속 시간은 1 ns 내지 10 μm 사이이며, 약 5×10^7 $^{\circ}\text{C/s}$ 내지 2×10^{12} $^{\circ}\text{C/s}$ 사이의 가열 속도를 제공하는, 방법.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 출력은 일반적인 작동 범위인 8 내지 20 와트 내에 있으며, 최적은 12W인, 방법.

청구항 12

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔 초점 거리는 일반적인 작동 범위인 50 mm 내지 400 mm 내에 있는, 방법.

청구항 13

제1항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔 펄스 주파수는 50 kHz 내지 500 kHz 사이인, 방법.

청구항 14

제1항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔 펄스 주파수는 1 kHz 내지 2 MHz 사이인, 방법.

청구항 15

제1항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔 파장은 0.7 μm 내지 2.5 μm 사이인, 방법.

청구항 16

제1항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저는 9 cm/s 내지 40 cm/s 사이 또는 이러한 범위의 50%에서 주사되는, 방법.

청구항 17

제1항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔의 상기 파라미터는 초점 파라미터를 포함하는, 방법.

청구항 18

제1항 내지 제17항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔의 상기 파라미터는 회절 파라미터를 포함하는, 방법.

청구항 19

제1항 내지 제18항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔의 상기 파라미터는 간섭 패턴 파라미터를 포함하는, 방법.

청구항 20

제1항 내지 제19항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔의 상기 초점은 상기 탄소 전구체 재료의 깊이를 통해 이동하여 상기 탄소 전구체의 상기 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에 탄소 폼을 생성하는, 방법.

청구항 21

제1항 내지 제20항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔의 상기 초점은 상기 탄소 전구체 재료의 깊이를 통해 적어도 약 50 μm 이동하여 상기 탄소 전구체의 상기 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에 탄소 폼을 생성하는, 방법.

청구항 22

제1항 내지 제21항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔의 상기 초점은 상기 탄소 전구체 재료의 깊이를 통해 적어도 100 μm 이동하여 상기 탄소 전구체의 상기 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에 탄소 폼을 생성하는, 방법.

청구항 23

제1항 내지 제22항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔을 상기 탄소 전구체 재료에 걸쳐 측방향으로 주사, 예를 들어, 래스터 주사하거나 이동하여 원하는 패턴을 형성하는, 방법.

청구항 24

제1항 내지 제23항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔은 상기 탄소 전구체 재료에 걸쳐 측방향으로 주사하거나 이동하여 중첩되지 않는 영역 또는 선을 포함하는 원하는 패턴을 형성하는, 방법.

청구항 25

제1항 내지 제24항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔은 필요한 패턴과 깊이의 탄소 폼이 생성될 때까지 상기 탄소 전구체 재료 내에서 다수의 서로 다른 깊이로 배열된 초점 또는 최대 세기로 상기 탄소 전구체 재료에 걸쳐 측방향으로 반복적으로 주사(예를 들어, 래스터 주사)되거나 이동되는, 방법.

청구항 26

제1항 내지 제25항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔은 1.7 mm/s 내지 3550 m/s 사이, 또는 보다 일반적으로는 35 mm/s 내지 350 mm/s 사이의 주사 속도로 주사되며, 상기 주사는 인치당 펄스(PPI) 수가 100 내지 10000(약 220 mm x 180 mm 크기의 개별 폴리이미드 시트 생산과 관련됨)이 되도록 할 수 있는, 방법.

청구항 27

제1항 내지 제26항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔은 상기 탄소 전구체 재료에 의한 흡광도가 실질적으로 없거나 매우 낮은 파장을 갖는, 방법.

청구항 28

제1항 내지 제27항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔은 상기 탄소 전구체 재료에 의한 흡광도가 매우 낮은 파장을 갖는, 방법.

청구항 29

제1항 내지 제28항 중 어느 한 항에 있어서, cm당 상기 탄소 전구체 재료 방사선 흡광도(기본 10)는 50 미만, 20 미만 또는 10 미만인, 방법.

청구항 30

제1항 내지 제29항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔은 IR 레이저인, 방법.

청구항 31

제1항 내지 제30항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔은 0.7 μm 내지 2.5 μm 사이의 파장을 갖는 IR 레이저인, 방법.

청구항 32

제1항 내지 제31항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔은 0.75 μm 내지 1.40 μm 사이의 파장을 갖는 IR 레이저인, 방법.

청구항 33

제1항 내지 제32항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체 재료의 상기 서브-표면 또는 캡슐화된 영역의 원

하는 깊이는 해당 깊이를 통해 상기 제1 레이저 빔의 초점을 이동시킴으로써 달성되는, 방법.

청구항 34

제1항 내지 제33항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 상기 탄소 전구체 재료의 표면 아래 적어도 10 μm 인, 방법.

청구항 35

제1항 내지 제34항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 상기 탄소 전구체 재료의 표면 아래 적어도 20 μm 인, 방법.

청구항 36

제1항 내지 제35항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 상기 탄소 전구체 재료의 표면 아래 적어도 30 μm 인, 방법.

청구항 37

제1항 내지 제36항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 상기 탄소 전구체 재료의 표면 아래 적어도 40 μm 인, 방법.

청구항 38

제1항 내지 제37항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 상기 탄소 전구체 재료의 표면 아래 적어도 50 μm 인, 방법.

청구항 39

제1항 내지 제38항 중 어느 한 항에 있어서, 기존 그래핀 폼과 달리, 상기 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 두께가 약 50 μm 이상일 수 있는, 방법.

청구항 40

제1항 내지 제39항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 10 μm 내지 200 μm 사이의 두께를 갖는, 방법.

청구항 41

제1항 내지 제40항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 입사 레이저를 향하는 상기 탄소 전구체 재료의 표면 아래의 서로 다른 깊이에 있을 수 있으며; 상기 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에서의 정확한 깊이는 레이저 세기 또는 다른 레이저 파라미터, 및 사용된 탄소 전구체 재료 선택과 같은 다양한 요인의 함수인, 방법.

청구항 42

제1항 내지 제41항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 상기 탄소 전구체 재료의 총 두께의 적어도 1%, 또는 상기 탄소 전구체 재료의 총 두께의 적어도 10%, 또는 상기 탄소 전구체 재료의 총 두께의 적어도 20%, 또는 상기 탄소 전구체 재료의 총 두께의 적어도 30%, 또는 상기 탄소 전구체 재료의 총 두께의 적어도 40%인 상기 탄소 전구체 재료의 표면 아래의 거리에 있는, 방법.

청구항 43

제1항 내지 제42항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 상기 제1 레이저 빔의 최소 단면의 중간점에 중심을 둔 공간 볼륨이며, 상기 볼륨은 이 중간점의 500 마이크로미터 또는 이 중간점의 100 마이크로미터 또는 이 중심점의 1 마이크로미터 이내인, 방법.

청구항 44

제1항 내지 제43항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체 재료는 실질적으로 열경화성(thermo-setting) 재

료로 만들어진, 방법.

청구항 45

제1항 내지 제44항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체 재료는 실질적으로 비-열가소성(non-thermo-plastic) 재료로 만들어진, 방법.

청구항 46

제1항 내지 제45항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체 재료는 열경화성 필름인, 방법.

청구항 47

제1항 내지 제46항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 열경화성 필름은 폴리이미드 필름인, 방법.

청구항 48

제1항 내지 제47항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체는 폴리이미드 필름인, 방법.

청구항 49

제1항 내지 제48항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체는 폴리이미드 필름이고, 상기 제1 레이저의 파장은 0.7 μm 내지 2.5 μm 의 범위 내에 있는, 방법.

청구항 50

제1항 내지 제49항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체는 적어도 50 질량% 탄소, 또는 적어도 75 질량% 탄소, 또는 적어도 90 질량% 탄소인, 방법.

청구항 51

제1항 내지 제50항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체는 필름 또는 시트인, 방법.

청구항 52

제1항 내지 제51항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체 재료는 플렉서블한, 방법.

청구항 53

제1항 내지 제52항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체 재료는 스크린 인쇄 층과 같은 인쇄 층인, 방법.

청구항 54

제1항 내지 제53항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체 재료는 5 μm 초과, 또는 5 μm 내지 120 μm 사이, 또는 120 μm 초과 두께를 갖는, 방법.

청구항 55

제1항 내지 제54항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체 재료는 실질적으로 평면형이거나 편평하며 상기 제1 레이저 빔에 수직으로 배향되는, 방법.

청구항 56

제1항 내지 제55항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체 재료는 동질(homogeneous)인, 방법.

청구항 57

제1항 내지 제56항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체 재료는 이질(heterogenous)이며 여러 서로 다른 재료를 포함하는, 방법.

청구항 58

제1항 내지 제57항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체는 탄소 전구체로 만들어지지 않은 기판에 지지되

는, 방법.

청구항 59

제1항 내지 제58항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔 파장에서 상기 탄소 전구체 재료의 흡수 계수가 낮은, 방법.

청구항 60

제1항 내지 제59항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔에 대한 상기 탄소 전구체 재료의 흡수 계수는 50 cm^{-1} 미만, 또는 20 cm^{-1} 미만, 또는 10 cm^{-1} 미만인, 방법.

청구항 61

제1항 내지 제60항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 2 또는 어블레이션 레이저 빔에 대한 상기 탄소 전구체 재료의 흡수 계수는 300 cm^{-1} 미만인, 방법.

청구항 62

제1항 내지 제61항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 또는 어블레이션 레이저 빔에 대한 상기 탄소 전구체 재료의 흡수 계수는 $300 \pm 50\text{ cm}^{-1}$ 인, 방법.

청구항 63

제1항 내지 제62항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체 재료는 1.0 W/mK 미만의 열 전도도(ASTM D5470에 따른 방법 사용)를 갖는, 방법.

청구항 64

제1항 내지 제63항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체 재료는 0.5 W/mK 미만의 열 전도도(ASTM D5470에 따른 방법 사용)를 갖는, 방법.

청구항 65

제1항 내지 제64항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체 재료는 상기 레이저 빔의 파장 또는 파장들에서 실질적으로 광학적으로 투명한 기관 위에 장착되는, 방법.

청구항 66

제1항 내지 제65항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체 재료 탄소원은 하나 이상의 폴리머로 형성되거나 이를 포함하는, 방법.

청구항 67

제1항 내지 제66항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체 재료는 다음 재료인, 폴리아미드(예를 들어, 폴리(4,4'-옥시디페닐렌-피로멜리티미드), 그렇지 않으면, 폴리아미드로 알려짐), 폴리에테르이미드(PEI), 폴리(메틸 메타크릴레이트)(PMMA)(예를 들어, 스프레이 코팅 PMMA), 폴리우레탄(PU), 폴리에스테르, 비닐 폴리머, 탄화 폴리머, 포토레지스트 폴리머, 알키드, 요소-포름알데히드 중 하나 이상을 포함하는, 방법.

청구항 68

제1항 내지 제67항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체는 다음 재료인, 폴리(아믹산)(예를 들어 아릴 함유 폴리(아믹산))(예를 들어 폴리(피로멜리트산 이무수물-co-4,4'-옥시디아닐린), 아믹산 - 그렇지 않으면 폴리 아믹산으로 알려짐); 이무수물(예를 들어 아릴 이무수물)(예를 들어 피로멜리트산 이무수물); 상기 폴리(아믹산)의 유도체; 상기 이무수물의 유도체(예를 들어 피로멜리트산 이무수물의 유도체) 중 하나 이상을 포함하는, 방법.

청구항 69

제1항 내지 제68항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체는 다음 재료인, 방향족 재료(예를 들어, 방향족 폴리머); 헤테로방향족 재료(예를 들어, 헤테로방향족 폴리머); 방향족 모이어티를 함유한 폴리머; 헤테로사이클릭 재료(예를 들어, 헤테로사이클릭 모이어티를 함유한 폴리머); 헤테로방향족 재료(예를 들어, 헤테로방향족 모이어티를 함유한 폴리머) 중 하나 이상을 포함하는, 방법.

청구항 70

제1항 내지 제69항 중 어느 한 항에 있었, 상기 탄소 전구체는 방향족 결합 또는 헤테로방향족 결합 또는 헤테로 결합(예를 들어, 이미드 결합) 중 하나 이상을 함유하는 재료를 포함하는, 방법.

청구항 71

제1항 내지 제70항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체는 기관 상에 또는 인접하여 포지셔닝되는, 방법.

청구항 72

제1항 내지 제71항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체는 상기 기관 '위'에 포지셔닝(예를 들어, 상기 탄소 전구체는 상기 기관보다 레이저원에 더 가깝게 포지셔닝)되는, 방법.

청구항 73

제1항 내지 제72항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체는 상기 기관 '아래'에 포지셔닝(예를 들어, 상기 탄소 전구체는 상기 기관보다 상기 레이저원에서 더 멀리 포지셔닝)되는, 방법.

청구항 74

제1항 내지 제73항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 기관은 플라스틱 본체, 필름 또는 포일인, 방법.

청구항 75

제1항 내지 제74항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 기관은 플렉서블한, 방법.

청구항 76

제1항 내지 제75항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 기관은 폴리이미드 회로 보드인, 방법.

청구항 77

제1항 내지 제76항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 기관은 상기 제1 레이저 빔의 흡광도가 매우 낮은, 방법.

청구항 78

제1항 내지 제77항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 기관은 상기 제1 레이저 빔의 파장 또는 파장들에서 실질적으로 광학적으로 투명한, 방법.

청구항 79

제1항 내지 제78항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 기관은 상기 제1 레이저 빔의 높은 흡광도를 가지며, 상기 제1 레이저 빔의 60% 이상을 흡수하는, 방법.

청구항 80

제1항 내지 제79항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 기관은 상기 제1 레이저 빔의 높은 흡광도를 가지며, 상기 제1 레이저 빔의 60% 이상을 흡수하며, 적어도 10 W/mK의 열 전도도를 갖는, 방법.

청구항 81

제1항 내지 제80항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체 재료의 표면은 상기 레이저 빔에 의해 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질로 변환되고, 해당 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질은 상기 기관에 접착 또는 결합되어 상기 기관에 3D 탄소 재료 폼을 간접적으로 부착하는, 방법.

청구항 82

제1항 내지 제81항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 기판은 실리콘(Si), 이산화규소(SiO₂), 질화갈륨(GaN), 비화갈륨(GaAs), 산화아연(ZnO) 중 하나 이상으로 형성되는, 방법.

청구항 83

제1항 내지 제82항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 기판은 실리콘 웨이퍼인, 방법.

청구항 84

제1항 내지 제83항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 기판은 이산화규소 웨이퍼인, 방법.

청구항 85

제1항 내지 제84항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 기판은 실리콘과 이산화규소를 모두 포함하는 웨이퍼인, 방법.

청구항 86

제1항 내지 제85항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 기판은 탄소원인, 방법.

청구항 87

제1항 내지 제86항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 기판은 탄소원(예를 들어 금속, 유전체 재료, 스크린 인쇄 유전체 재료)이 아닌, 방법.

청구항 88

제1항 내지 제87항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체 재료의 표면은 상기 제1 레이저 빔에 의해 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질로 변환되는, 방법.

청구항 89

제1항 내지 제88항 어느 한 항에 있어서, 상기 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질은 상기 탄소 전구체 재료의 총 두께의 약 1%, 또는 약 1% 미만, 또는 약 5% 미만, 또는 약 10% 미만인 상기 탄소 전구체 재료의 표면으로부터 두께를 차지하는, 방법.

청구항 90

제1항 내지 제89항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질은 적어도 10 μm 인 상기 탄소 전구체 재료의 표면으로부터의 두께를 차지하는, 방법.

청구항 91

제1항 내지 제90항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질은 외부 표면에서 탄소 전구체 재료의 본체 내부로 10 μm 이하의 깊이, 또는 20 μm 이하의 깊이, 또는 30 μm 이하의 깊이, 또는 40 μm 이하의 깊이, 또는 50 μm 이하의 깊이, 또는 100 μm 이하의 깊이로 확장되는, 방법.

청구항 92

제1항 내지 제91항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체는 기판 상에 또는 인접하여 포지셔닝되는, 방법.

청구항 93

제1항 내지 제92항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체 재료는 상기 레이저 빔의 파라미터에 의해 정의된 깊이까지 상기 기판과의 물리적 경계면에서 상기 레이저 빔에 의해 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질로 변환되는, 방법.

청구항 94

제1항 내지 제93항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질은 한 영역에서는 상기 탄소 폼에 접촉되거나 그렇지 않으면 부착되고 다른 영역에서는 상기 기관에 접촉되거나 그렇지 않으면 부착되어, 상기 탄소 폼에 안정성을 제공하는, 방법.

청구항 95

제1항 내지 제94항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질은 상기 탄소 전구체 재료의 총 두께의 약 1%, 또는 약 1% 미만, 또는 약 5% 미만, 또는 약 10% 미만인, 상기 기관과 상기 탄소 전구체 재료의 경계면으로부터 측정된 두께를 차지하는, 방법.

청구항 96

제1항 내지 제95항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질은 적어도 10 μm 인 상기 기관과 상기 탄소 전구체 재료와의 경계면으로부터의 두께를 차지하는, 방법.

청구항 97

제1항 내지 제96항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질은 상기 기관과 상기 탄소 전구체 재료와의 경계면으로부터 10 μm 이하의 깊이, 또는 20 μm 이하의 깊이, 또는 30 μm 이하의 깊이, 또는 40 μm 이하의 깊이, 또는 50 μm 이하의 깊이, 또는 100 μm 이하의 깊이로 확장되는, 방법.

청구항 98

제1항 내지 제97항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 레이저 빔의 파라미터에는 세기, 파장, 펄스 주파수, 펄스 지속 시간, 펄스 프로파일, 주사 속도, 초점 거리, 상기 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에서 생성된 열 중 하나 이상이 포함되는, 방법.

청구항 99

제1항 내지 제98항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 레이저 파라미터를 변경하면 상기 탄소 폼 재료 특성이 변경되어, 다양한 응용 분야에 최적화된 특성을 갖는 탄소 폼이 생산되도록 하는, 방법.

청구항 100

제1항 내지 제99항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 레이저 빔의 상기 레이저 파라미터를 변경하면 다음과 같은 탄소 폼 재료 특성 또는 파라미터인, 존재하는 탄소 나노구조 유형, 결합 크기, 결합 분포, 결합 범위, 결합 유형, 라만 D 및 2D 피크, 라만 D 및 2D 피크의 상대적 크기, 두께 또는 깊이, 유연성, 접착력, Å다공성, 전기 전도성, 정전용량, 유기 용매 및 수성 용액의 흡수, 친수성, EMI 차폐, 전극 품질, 습윤성, 접촉각, 방오성 중 하나 이상이 변경되는, 방법.

청구항 101

제1항 내지 제100항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 레이저 빔은 CO₂ 레이저인, 방법.

청구항 102

제1항 내지 제101항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 레이저 빔은 상기 탄소 폼을 노출하는 공정의 일부로 상기 탄소 폼을 변경하는, 방법.

청구항 103

제1항 내지 제102항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 레이저 빔은 상기 탄소 폼을 노출하는 공정의 일부로 상기 탄소 폼의 형태를 변경하는, 방법.

청구항 104

제1항 내지 제103항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 레이저 빔은 동일한 영역 및/또는 중첩 영역 및/또는 중첩되지 않는 영역에 걸쳐 주사되도록 자동으로 제어되는, 방법.

청구항 105

제1항 내지 제104항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 비정질의 비-그래핀 물질을 어블레이트하는 상기 제2 레이저 빔의 파장은 $8\ \mu\text{m}$ 내지 $15\ \mu\text{m}$ 사이인, 방법.

청구항 106

제1항 내지 제105항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 레이저 빔은 긴 IR 레이저 또는 UV 레이저 또는 가시광선 레이저인, 방법.

청구항 107

제1항 내지 제106항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 레이저 빔은 $50\ \text{kHz}$ 내지 $500\ \text{kHz}$ 사이의 펄스 주파수 및 $9\ \text{cm/s}$ 내지 $40\ \text{cm/s}$ 사이의 주사 속도를 갖는, 방법.

청구항 108

제1항 내지 제107항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 전구체 재료의 흡수 계수는 상기 제2 레이저 빔의 경우 $100\ \text{cm}^{-1}$ 이상이거나, 상기 제2 레이저 빔의 경우 $200\ \text{cm}^{-1}$ 이상인, 방법.

청구항 109

제1항 내지 제108항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 레이저 빔의 경우 상기 탄소 전구체 재료의 흡수 계수는 $300 \pm 50\ \text{cm}^{-1}$ 인, 방법.

청구항 110

제1항 내지 제109항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 레이저 출력은 일반적인 작동 범위인 8 내지 20 와트 내에 있으며, 최적은 12W 인, 방법.

청구항 111

제1항 내지 제110항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 레이저 빔 초점 거리는 일반적인 작동 범위인 $50\ \text{mm}$ 내지 $400\ \text{mm}$ 내에 있는, 방법.

청구항 112

제1항 내지 제111항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 레이저 빔은 중첩되지 않는 영역이나 선을 포함하는 패턴(예를 들어, 래스터)으로 주사되는, 방법.

청구항 113

제1항 내지 제112항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 레이저 빔은 상기 제1 레이저 빔의 상기 주사 패턴과 일치하는 패턴으로 주사되는, 방법.

청구항 114

제1항 내지 제113항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 레이저 빔은 디포커싱되는, 방법.

청구항 115

제1항 내지 제114항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 레이저 빔은 상기 탄소 전구체 재료의 상기 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성하는 상기 레이저 빔과 동일한, 방법.

청구항 116

제1항 내지 제115항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제조 공정은, (a) 상기 제1 레이저 빔이 제조 현장에서 탄소 전구체 재료의 서브-표면 영역을 조사하여 미완성 탄소 폼 제품을 생산하는 단계; (b) 상기 미완성 탄소 폼 제품이 고객 제어식 제조 현장으로 전달되는 단계; 및 (c) 상기 고객 제어식 제조 현장에서 상기 레이저 어블레이

선 또는 처리가 일어나는 단계를 포함하는 3-단계 공정인, 방법.

청구항 117

제1항 내지 제116항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 폼은 다층 트위스트 또는 터보스트래틱 탄소 폼이거나 이를 포함하는, 방법.

청구항 118

제1항 내지 제117항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 폼은 비-그래핀 탄소 폼이거나 이를 포함하는, 방법.

청구항 119

제1항 내지 제118항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 폼은 탄소 나노-어니언, 탄소 나노-혼, 탄소 나노-튜브, 탄소 나노-닷, 나노다이아몬드 및 풀러렌, 또는 이들 중 임의의 조합과 같은 탄소질 나노구조를 포함하는, 방법.

청구항 120

제1항 내지 제119항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 폼은 두께가 적어도 약 50 μm 인, 방법.

청구항 121

제1항 내지 제120항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 폼은 두께가 약 50 μm 내지 300 μm 사이인, 방법.

청구항 122

제1항 내지 제121항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 폼은 높은 전기화학적 반응성으로 이어지는 결합의 공간적 분포를 갖는 탄소 폼이거나 이를 포함하는, 방법.

청구항 123

제1항 내지 제122항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 폼은 높은 전기화학적 반응성으로 이어지는 공극 위치 기반 결합을 갖는 탄소 폼이거나 이를 포함하는, 방법.

청구항 124

제1항 내지 제123항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 폼의 탄소:산소 비율은 25:1 내지 50:1 사이인, 방법.

청구항 125

제1항 내지 제124항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 폼은 빠른 전자 이동 상수를 갖는, 방법.

청구항 126

제1항 내지 제125항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 폼은 기존의 레이저 공정을 사용하여 만들어진 기존의 그래핀 폼과 비교하여 다음의 특징인, 보다 쉽게 제어되는 두께 또는 깊이; 기존 레이저 공정을 사용하여 만들어진 취성이 높은 그래핀에 비해 큰 유연성; 하부 플렉서블 기판에 대한 강한 접착력; 더 높은 다공성; 더 높은 전기 전도성; 증가된 정전용량 또는 전하 저장; 유기 용매 및 수성 용액의 빠른 흡수; 더 높은 친수성; 약 20° 미만의 접촉각; 향상된 방오 특성; 더 높은 EMI 차폐; 향상된 전극 품질 중 하나 이상을 갖는, 방법.

청구항 127

제1항 내지 제126항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 폼은 바이오센서로 기능화되는, 방법.

청구항 128

제1항 내지 제127항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 폼은 타겟이나 분석물에 특정한 수용체를 추가하여 바이오센서로 기능화되는, 방법.

청구항 129

제1항 내지 제128항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 폼은 전기화학적 포도당 모니터링을 위한 가역적 폴리머 변위 센서 메커니즘을 갖춘 바이오센서로 기능화되는, 방법.

청구항 130

제1항 내지 제129항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 가역적 폴리머 변위 센서는 상기 탄소 폼을 포함하는 전극에 흡착되는 포도당에 대한 피렌 유도 보론산 화학 수용체를 포함하는, 방법.

청구항 131

제1항 내지 제130항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 폼은 타겟이나 분석물에 특정한 수용체와, 상기 수용체가 상기 탄소 폼에 부착되도록 하는 링커를 추가하여 바이오센서로 기능화되는, 방법.

청구항 132

제1항 내지 제131항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 링커는 나노입자, 폴리머, 폴리머 브러시, 리간드, 하나 이상의 작용기를 포함하는 유기 화합물, 탄소 폼에 공유 또는 비공유 결합된 분자, 또는 이들의 혼합물로부터 선택되는, 방법.

청구항 133

제1항 내지 제132항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 링커는 폴리머, 바람직하게는 (메트)아크릴레이트 폴리머, 하나 이상의 작용기를 포함하는 유기 화합물, 카르보다이미드, 디아조늄 화합물, 또는 이들의 혼합물로부터 선택되는, 방법.

청구항 134

제1항 내지 제133항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 하나 이상이 작용기는 산소, 질소, 황, 할라이드, 하이드록실, 카르보닐, 카르복실, 아민, 아미노, 아미드, 친수성 폴리머 또는 이들의 혼합물로부터 독립적으로 선택되고, 선택적으로는 선형, 분지형 또는 환형 알킬, 알킬레닐, 알킬닐, 아릴 잔기, 아크릴, 아실, 아실옥시, 알콕시, 알킬렌옥시, 또는 이들의 혼합물과 조합하는, 방법.

청구항 135

제1항 내지 제134항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 유기 화합물은 선택적으로는 하나 이상의 헤테로원자를 포함하는 하나 이상의 환형 모이어티를 더 포함하며, 상기 환형 모이어티 중 적어도 하나가 상기 작용기 중 적어도 하나에 직접적으로 또는 간접적으로 연결되거나, 또는 상기 링커가 상기 유기 화합물의 에스테르 또는 염인 유도체인거나, 상기 탄소 폼과 반응하여 상기 유기 화합물을 방출하는 화합물인, 방법.

청구항 136

제1항 내지 제135항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 링커는 1-피렌부티르산, N-히드록시숙신이미드(NHS), 피렌-1-카르복실산 숙신이미드 에스테르, 1-아미노피렌, N-(1-피렌) 말레이미드, 또는 이들의 혼합물로부터 선택되는, 방법.

청구항 137

제1항 내지 제136항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 링커는 π - π 상호작용에 의해 상기 탄소 폼에 결합되는, 방법.

청구항 138

제1항 내지 제137항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 수용체는, 전기화학적 수용체, 화학적 수용체, 생체 수용체, 광학적 수용체, 물리적 또는 기계적 수용체, 바람직하게는 생체 수용체 중 하나인, 방법.

청구항 139

제1항 내지 제138항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 수용체는 크라운 에테르, 촉매, 붕산, 개념, 리간드, 압타머, 단백질, 효소, 항체, 항원, 미생물, 핵산, 지방산, 지방산 에스테르, 분자 각인 폴리머, 금속-유기 프

레이워크, 리간드 결합을 형성할 수 있는 폴리펩티드 또는 올리고펩티드, 세포, 세포 소기관, 기타 세포 성분, 또는 이들의 혼합물로부터 선택되며, 바람직하게는 단백질, 핵산, 항체, 효소 또는 이들의 혼합물로부터 선택되는, 방법.

청구항 140

제1항 내지 제139항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 수용체는 면역글로불린 A(IgA), 포도당 탈수소효소, 스트렙타비딘 또는 이들의 혼합물로부터 선택되는, 방법.

청구항 141

제1항 내지 제140항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 수용체는 상기 링커에 물리적으로, 생물학적으로 및/또는 화학적으로 결합되고, 더욱 바람직하게는 공유 결합되는, 방법.

청구항 142

제1항 내지 제141항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 폼은 전기화학적 커패시터, 슈퍼커패시터, 의사-커패시터 또는 커패시터와 같은 에너지 저장 장치에 전극을 형성하는, 방법.

청구항 143

제1항 내지 제142항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 폼은 금속 산화물 필름 또는 기타 의사 용량성 재료로 처리되어 의사 정전용량을 제공하는, 방법.

청구항 144

제1항 내지 제143항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 폼은 전기화학적 커패시터, 슈퍼커패시터, 의사-커패시터 또는 커패시터와 같은 에너지 저장 장치에서 적어도 하나의 전극을 형성하고, 하이드로겔 전해질은 활성 영역에서 상기 또는 각 전극을 감싸 향상된 동작 전압 윈도우를 생산하는, 방법.

청구항 145

제1항 내지 제144항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 폼은 배터리로 기능화되는, 방법.

청구항 146

제1항 내지 제145항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 폼은 전기 전도체를 형성하는, 방법.

청구항 147

제1항 내지 제146항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 레이저 빔을 사용하기 전에 상기 탄소 전구체 재료 상에 또는 내에 전기 연 접촉부를 스크린 인쇄하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 148

제1항 내지 제147항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 및 상기 제2 레이저 빔을 사용한 후 상기 탄소 전구체 재료 상에 또는 내에 전기 접촉부를 스크린 인쇄하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 149

제1항 내지 제148항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제조 방법은 실온 공정인, 방법.

청구항 150

제1항 내지 제149항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제조 방법은 상압 공정인, 방법.

청구항 151

제1항 내지 제150항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제조 방법은 플라스틱 기판 상에서 수행될 수 있는, 방법.

청구항 152

제1항 내지 제151항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제조 방법은 3D 탄소 폼이 플렉서블 기판에 생성되도록 하는, 방법.

청구항 153

제1항 내지 제152항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제조 방법은 상기 탄소 전구체 재료의 임의의 표면이 아닌 상기 탄소 전구체 재료의 상기 캡슐화된, 서브-표면 영역에서만 탄소 폼 재료를 생성하는, 방법.

청구항 154

제1항 내지 제153항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제조 방법은 산업 표준, 저비용 및 확장 가능한 (i) 스크린 인쇄 기술과 (ii) 컴퓨터 제어식 레이저 주사 기술의 조합을 사용하는, 방법.

청구항 155

제1항 내지 제154항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제조 방법은 고속, 대용량 릴-투-릴 또는 릴-투-시트 생산을 사용하는, 방법.

청구항 156

제1항 내지 제155항 중 어느 한 항에 있어서, 제1항의 단계 (a)는 하나의 제조 시설에서 수행되고 제1항의 단계 (b)는 서로 다른 시설에서 수행되는, 방법.

청구항 157

제1항 내지 제156항 중 어느 한 항에 있어서, (a) 탄소 전구체 재료 상에 또는 내에 전기 접촉부를 스크린 인쇄하는 단계; (b) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료의 표면 아래의 상기 상기의 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여 해당 캡슐화된 또는 서브-기판 영역에 탄소 폼을 형성하는 단계 - 단계 (a)와 (b)는 (a) 다음 (b)의 순서로 수행되거나 (b) 다음 (a)의 순서로 수행될 수 있음 -; 및 그런 다음 (c) 제2 대역으로 동작하는 레이저 빔을 사용하여 상기 탄소 폼과 상기 탄소 전구체 재료의 표면 사이에 안착되어 있는 재료를 제거하거나 어블레이트하여, 상기 전기 접촉부가 연결되는 상기 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 158

제1항 내지 제157항 중 어느 한 항에 있어서, 바이오센서를 제조하는 데 사용되는 경우, 임의의 이전 제조 방법 청구항에 설명된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 포함하는 감지 전극을 포함하는, 방법.

청구항 159

제1항 내지 제158항 중 어느 한 항에 있어서, 작동 전극, 상대 전극과 같은 센서 전극을 포함하는 바이오센서를 제조하는 데 사용되는 경우, 임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 각각 포함하며, 상기 방법은 각 전극 위에 전기 연결 트랙을 스크린 인쇄하고 스크린 인쇄 유전체로 상기 전극과 연결 트랙을 적어도 부분적으로 덮는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 160

제1항 내지 제159항 중 어느 한 항에 있어서, 하나의 제조 시설에서, 작동 전극, 상대 전극과 같은 센서 전극을 포함하는 바이오센서를 제조하는 데 사용되는 경우, 임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 각각 포함하며, 상기 방법은 서로 다른 제조 시설에서, 기능화된 그룹을 상기 작업 전극에 추가하는 추가 단계를 포함하는, 방법.

청구항 161

제1항 내지 제160항 중 어느 한 항에 있어서, 하나의 제조 시설에서 작동 전극, 상대 전극과 같은 센서 전극을 포함하는 바이오센서를 제조하는 데 사용되는 경우, 임의의 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 각각 포함하며, 상기 방법은 해당 제조 시설에서, 기능화된 그룹을 작동 전극에 추가하는 추가 단계를 포함, 방법.

청구항 162

제1항 내지 제161항 중 어느 한 항에 있어서, 작동 전극 및 상대 전극과 같은 센서 전극을 포함하는 바이오센서를 제조하는 데 사용되는 경우, 임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소를 각각 포함하며, 상기 방법은 (a) 상기 기관 상에 탄소 층을 스크린 인쇄하는 단계; (b) 전기 연결 트랙 및 기준 전극을 스크린 인쇄하는 단계; (c) 상기 탄소 및 상기 전기 연결 트랙 및 상기 기준 전극 위에 유전 층을 스크린 인쇄하는 단계; 그런 다음 (d) 임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 공정을 사용하여 탄소 폼 센서 전극을 생성하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 163

제1항 내지 제162항 중 어느 한 항에 있어서, 슈퍼커패시터 또는 의사-커패시터와 같은 에너지 저장 장치를 제조하는 데 사용되는 경우, 에너지 저장 전극은 임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하는, 방법.

청구항 164

제1항 내지 제163항 중 어느 한 항에 있어서, 슈퍼커패시터 또는 의사-커패시터와 같은 에너지 저장 장치를 제조하는 데 사용되는 경우, 에너지 저장 전극은 임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하며;

상기 방법은 각 전극의 적어도 일부 위에 전기 연결 트랙을 스크린 인쇄하고 상기 전극과 연결 트랙을 스크린 인쇄 유전층으로 적어도 부분적으로 덮는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 165

제1항 내지 제164항 중 어느 한 항에 있어서, 슈퍼커패시터 또는 의사-커패시터와 같은 에너지 저장 장치를 제조하는 데 사용되는 경우, 에너지 저장 전극은 임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진고 깎지형 패턴으로 배열되는 탄소 폼 재료를 포함하며;

상기 방법은 각 전극의 적어도 일부 위에 전기 연결 트랙을 스크린 인쇄하는 단계를 포함하며, 단일 전기 연결 트랙은 상기 전기 연결 트랙의 양쪽 측면으로부터 수직으로 확장되는 하부 디지털에 연결되는, 방법.

청구항 166

제1항 내지 제165항 중 어느 한 항에 있어서, 슈퍼커패시터 또는 의사-커패시터와 같은 에너지 저장 장치를 제조하는 데 사용되는 경우;

상기 방법은 (a) 기관 상에 전기 커넥터를 스크린 인쇄하는 단계; (b) 상기 전기 콜렉터 위에 탄소층을 스크린 인쇄하는 단계; (c) 상기 탄소층의 적어도 일부 위에 유전체를 스크린 인쇄하는 단계; 그런 다음 (d) 임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 탄소 폼 에너지 저장 전극을 생성하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 167

제1항 내지 제166항 중 어느 한 항에 있어서, 슈퍼커패시터 또는 의사-커패시터와 같은 에너지 저장 장치를 제조하는 데 사용되는 경우, 에너지 저장 전극은 임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하며;

상기 방법은 금속 산화물과 같은 의사-용량성 재료의 전기화학적 증착 공정을 에너지 저장 전극에 적용하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 168

제1항 내지 제167항 중 어느 한 항에 있어서, 슈퍼커패시터 또는 의사-커패시터와 같은 에너지 저장 장치를 제조하는 데 사용되는 경우, 에너지 저장 전극은 임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하며;

상기 방법은 저습이지만 불활성이 아닌 환경에서 이온성 겔을 도포하는 단계를 포함하며, 상기 환경 내 O_2 및

H₂O 레벨이 측정되고 제어되어 상기 에너지 저장 장치의 정전용량을 최적화하는, 방법.

청구항 169

제1항 내지 제168항 중 어느 한 항에 있어서, 전기 전도체를 제조하는 데 사용되는 경우, 상기 전기 전도체는 임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 포함하는, 방법.

청구항 170

제1항 내지 제169항 중 어느 한 항에 있어서, 센서 및 슈퍼커패시터와 같은 에너지 저장 장치 둘 모두를 포함하는 장치를 제조하는 방법하는 데 사용되는 경우, 상기 센서와 상기 에너지 저장 장치 둘 모두는 임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하는, 방법.

청구항 171

제1항 내지 제170항 중 어느 한 항에 있어서, 배터리 및 슈퍼커패시터를 포함하는 통합 장치를 제조하는 데 사용되는 경우, 상기 배터리는 상기 전력을 제공하고, 상기 슈퍼커패시터는 상기 배터리보다 높은 레벨로 단기 전력을 제공하며, 상기 슈퍼커패시터는 임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하는, 방법.

청구항 172

제1항 내지 제171항 중 어느 한 항에 있어서, 안테나와 슈퍼커패시터를 포함하는 통합 장치를 제조하는 데 사용되는 경우, 상기 슈퍼커패시터는 상기 안테나에 전력을 공급하고 임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하는, 방법.

청구항 173

제1항 내지 제172항 중 어느 한 항에 있어서, 하나 이상의 전극을 포함하는 장치를 제조하는 데 사용되는 경우, 탄소 폼 재료를 각각 포함하며;

상기 방법은 임의의 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 상기 탄소 폼 재료를 제조하는 데 필요한 동작 시퀀스를 통해 탄소 전구체 필름의 연속 띠를 통과시키는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 174

제1항 내지 제173항 중 어느 한 항에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하는 장치.

청구항 175

제174항에 있어서, 에너지 스캐빈저 시스템과 슈퍼커패시터를 포함하는 데이터 로깅 장치로서, 상기 슈퍼커패시터는 안테나에 전력을 공급하고 임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하는, 장치.

청구항 176

제174항 또는 제175항에 있어서, 슈퍼커패시터와 같은 에너지 저장 장치로서,

(i) 탄소 전구체 필름;

(ii) 상기 탄소 전구체 필름의 표면 상의 스크린 인쇄 전도성 페이스트 또는 잉크 층;

(iii) 상기 스크린 인쇄 전도성 페이스트 또는 잉크 층 위의 스크린 인쇄 콜렉터 층;

(iv) 상기 콜렉터 층 위의 스크린 인쇄 유전층; 및

(v) 임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 상기 탄소 전구체 필름으로부터 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하고, 상기 전도성 페이스트 또는 잉크 층을 통해 상기 탄소 폼 재료로부터 상기 콜렉터 층까지 전기 전도성 경로가 형성되는, 에너지 저장 전극을 포함하는, 장치.

청구항 177

제174항 내지 제176항 중 어느 한 항에 있어서, 배터리 및 슈퍼커패시터를 포함하는 스마트 라벨로서, 상기 배터리는 장기 전력을 제공하고 상기 슈퍼커패시터는 상기 배터리보다 더 높은 레벨로 단기 전력을 제공하며, 상기 슈퍼커패시터는 임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하며;

상기 스마트 라벨은 상기 배터리에 의해 전력을 공급받는 센서 전자 장치와 같은 전자 장치 및 상기 슈퍼커패시터에 의해 전력을 공급받는 데이터 송신기를 포함하는, 장치.

청구항 178

제174항 내지 제177항 중 어느 한 항에 있어서, 배터리 및 슈퍼커패시터를 포함하는 스마트 라벨로서, 상기 배터리는 장기 전력을 제공하고 상기 슈퍼커패시터는 상기 배터리보다 더 높은 레벨로 단기 전력을 제공하며, 상기 슈퍼커패시터는 임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하며;

상기 스마트 라벨은 상기 배터리에 의해 전력을 공급받는 센서 전자 장치와 같은 전자 장치 및 상기 슈퍼커패시터에 의해 전력을 공급받는 데이터 송신기를 포함하며, 상기 슈퍼커패시터는 상기 데이터 송신기에 충분한 전력을 제공하여 기지국 또는 허브와 데이터 연결을 설정하고 해당 데이터 연결이 설정되면 데이터 페이로드를 송신하는, 장치.

청구항 179

제174항 또는 제178항 중 어느 한 항에 있어서, 서브-조립체를 포함하는 슈퍼커패시터와 같은 에너지 저장 장치로서,

- (i) 탄소 전구체 필름;
- (ii) 상기 탄소 전구체 필름의 표면 상의 스크린 인쇄 전도성 페이스트 또는 잉크 층;
- (iii) 상기 스크린 인쇄 전도성 페이스트 또는 잉크 층 위의 스크린 인쇄 콜렉터 층;
- (iv) 상기 콜렉터 층 위의 스크린 인쇄 유전층;
- (v) 임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 상기 탄소 전구체 필름으로부터 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하고, 상기 전도성 페이스트 또는 잉크 층을 통해 상기 탄소 폼 재료로부터 상기 콜렉터 층까지 전기 전도성 경로가 형성되는, 에너지 저장 전극을 포함하며;

다층 서브-조립체가 스택으로 형성되고, 인접 에너지 저장 전극이 이온성 겔 전해질에 의해 분리되는, 장치.

청구항 180

제174항 내지 제179항 중 어느 한 항에 있어서, 임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진, 상기 장치의 상위 면에 포지셔닝되는 샘플 웰, 기준, 작동 및 상대 전극을 포함하는 미세유체 진단 장치는 상기 샘플 웰 아래의 층에 있으며, 기준, 작동 및 상대 전극 연결부는 상기 기준, 작동 및 상대 전극 아래의 층에 있는, 장치.

청구항 181

제174항 내지 제180항 중 어느 한 항에 있어서, 서브-조립체를 포함하는 랩 온 칩 장치로서,

- (i) 탄소 전구체 필름;
- (ii) 상기 탄소 전구체 필름의 표면 상의 스크린 인쇄 전도성 페이스트 또는 잉크 층;
- (iii) 상기 스크린 인쇄 전도성 페이스트 또는 잉크 층 위의 스크린 인쇄 전도성 층;
- (iv) 스크린 인쇄 기준 전극;
- (v) 상기 콜렉터 층 위의 스크린 인쇄 유전층;
- (v) 임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법에 의해 상기 탄소 전구체 필름으로부터 적어도 부분적으로 만

들어진 탄소 폼 재료를 포함하고, 상기 전도성 페이스트 또는 잉크 층을 통해 상기 탄소 폼 재료로부터 상기 콜렉터 층까지 전기 전도성 경로가 형성되는, 센서 전극을 포함하는, 장치.

청구항 182

제174항 내지 제181항 중 어느 한 항에 있어서, 레이저 유도 탄소 폼 재료를 포함하는 장치로서, 상기 레이저 유도 탄소 폼 재료는,

- (a) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성한 다음,
- (b) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 상기 탄소 폼과 상기 탄소 전구체 재료의 표면 사이에 안착되어 있는 재료를 제거하거나 어블레이트하여, 상기 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시킴으로써 제조되는, 장치.

청구항 183

제174항 내지 제182항 중 어느 한 항에 있어서, 레이저 유도 탄소 폼 재료를 포함하는 장치로서, 상기 레이저 유도 탄소 폼 재료는,

- (a) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성한 다음,
- (b) 제2 대역으로 동작하는 레이저 빔을 상요하여 상기 탄소 폼과 상기 탄소 전구체 재료의 표면 사이에 안착되어 있는 재료를 제거하거나 어블레이트하여, 상기 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시킴으로써 제조되며; 상기 장치는 홀 효과 센서; 예를 들어 로봇공학과 같은 촉각 센서; 감염성 질환 센서; 바이오센서; 상시 모니터링 화학 센서; 혈당 모니터링 센서; 젖산 센서; 가스 검출 센서, 자가 충전 하이브리드 에너지 생성 장치; 녹색 가스 변환 장치; 연료 셀(예를 들어, 하이드로겔 연료 셀); 가스 투과성 필터를 포함하는 필터; 가열 장치 중 하나이거나 이를 포함하는, 장치.

청구항 184

레이저 유도 탄소 폼으로서,

- (a) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성한 다음,
- (b) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 상기 탄소 폼과 상기 탄소 전구체 재료의 표면 사이에 안착되어 있는 재료를 제거하거나 어블레이트하여, 상기 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시킴으로써 제조되는, 레이저 유도 탄소 폼.

청구항 185

임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법을 사용하여 만들어진 레이저 유도 탄소 폼.

청구항 186

임의의 이전 제조 방법 청구항에 정의된 방법을 사용하여 만들어진 레이저 유도 탄소 폼으로서, 상기 탄소 폼은 제185항에 있어서, 상기 탄소 폼은 탄소 나노-어니언, 탄소 나노-혼, 탄소 나노-튜브, 탄소 나노-닷, 나노다이아몬드 및 풀러렌, 또는 이들 중 임의의 조합과 같은 하나 이상의 탄소질 나노구조를 포함하는, 레이저 유도 탄소 폼.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 터보스트라틱 트위스트 다층 탄소 폼(turbostratic twisted multilayer carbon foam)을 포함하는 탄소 나노구조의 레이저 유도 생산에 관한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 탄소 나노구조는 흥미롭고 강렬한 연구 주제이다. 다층 풀러렌(multi-layered fullerene)으로도 공지된 탄소 나노 어니언(carbon nano-onion)이 이에 대한 예이다. 'Raman spectroscopy of polyhedral carbon nano-onions'. DOI: 10.1007/s00339-015-9315-9 및 또한 'Carbon nano-onions: unique carbon nano-structures with fascinating properties and their potential applications'. DOI:10.1016/j.ica.2017.07.021을 참조하며, 그 내용은 참조로 통합된다.
- [0003] 또 다른 탄소 나노구조인 그래핀(graphene)은 바이오센서, 전기화학적 감지 시스템, 슈퍼커패시터, 전극, 연료 셀을 포함한, 응용 분야에서 수년 동안 큰 관심을 받아왔다. 3D 그래핀을 생산하는 알려진 방법에는 제WO 2019/038558호에 설명된 레이저 유도 그래핀 생산이 포함되고; 폴리이미드 필름과 같은 적합한 탄소 전구체 재료가 지지 기판 상에 포지셔닝되고 CO₂ 레이저로 조사되면, 노출된 폴리이미드 필름 표면에 3D 그래핀이 형성된다. 경험에 따르면 이 방법으로 생산된 3D 그래핀의 두께는 50 μm 미만인 것으로 나타났다; 또한, 3D 그래핀 자체는 취성이 높고 하부 기판(underlying substrate)에 제대로 접촉되지 않으며 해당 기판에서 벗겨져 떨어질 수 있다. 따라서 많은 응용 분야에서 적합하지 않다.
- [0004] 탄소 나노구조 분야에서 사용되는 용어에 대한 참고사항: '그래핀'이라는 용어만 사용하면 '그래핀(graphene)'에는 다양한 형태가 있다; 예를 들어, 문헌에는 단층 그래핀, 이중층 그래핀, 터보스트래틱(urbostratic) 그래핀, 그래핀 초격자, 그래핀 섬유, 3D 그래핀, 그래핀 에어로겔, 구겨진 그래핀 및 많은 기타 형태가 설명되어 있다. 특정 용어(예를 들어, '3D 그래핀')를 사용하면 해당 특정 형태의 그래핀에만 제한이 적용될 수 있으므로 이는 정의에 어려움이 있다. 또한, IUPAC(International Union for Pure and Applied Chemistry)에서는 3차원 재료에 "흑연(graphite)"이라는 이름을 사용하고, 개별 층의 반응, 구조적 관계 또는 기타 특성이 논의될 경우에만 "그래핀"이라는 이름을 사용할 것을 권장한다.
- [0005] 따라서 이 명세서에서, '탄소 폼(carbon foam)'이라는 용어를 일반화된 용어로 사용하며, 이 용어는 터보스트래틱 트위스트 다층 3D 탄소 재료 폼을 포함한 3D 탄소 재료 폼과 같은 모든 탄소 나노구조를 포괄하도록 확장적으로 해석되어야 한다.
- [0006] '탄소 폼'이라는 용어의 한 예는 본 명세서에 설명된 방법을 사용하여 제조된 재료를 말하며; 이 재료는 기존 그래핀이나 기존 그래핀 폼과는 다소 다른 특성을 가지고 있다. 예를 들어, 그래핀 폼은 소수성이며 습윤성이 낮다는 몇 가지 특성을 가지고 있다. 전형적인 그래핀 폼의 라만 분석은 다음의 시그니처를 보여준다: D 피크의 부재; 2D 피크는 G 피크보다 크다; 피크 D:피크 G 비율은 0에 가깝다. 아래에서 더 자세히 설명하는 것처럼, 본 발명의 구현에서 생성된 탄소 폼은 이러한 특성을 전혀 공유하지 않는다; 친수성이며 접촉각이 20° 미만이다; 이는 그래핀의 텔-테일(tell-tale) 라만(Raman) 스펙트럼 시그니처가 부족하다; 2D 피크는 G 피크보다 상당히 더 낮다; 피크 D: 피크 G 비율은 0보다 상당히 높다. 외관 및 라만 시그니처에서는, 탄소 나노-어니언 재료에 더 가까운 거승로 보인다. 따라서 '탄소 폼'이라는 용어는 또한 그 범위 내에 탄소 나노-어니언(nano-onion), 탄소 나노-혼(nano-horn), 탄소 나노-튜브(nano-tubes), 탄소 나노-닷(nano-dots), 나노다이아몬드 및 풀러렌(fullerene), 또는 이들 중 임의의 조합과 같은 탄소질 나노구조(carbonaceous nanostructure)인 재료도 포함한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 본 명세서에서, 탄소 전구체의 표면은 그래핀으로 전혀 변환되지 않고; 대신, 탄소 전구체의 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 초점이 맞춰진 레이저 빔에 의해 탄소 폼으로 변환되는 접근 방식을 설명한다.

과제의 해결 수단

- [0008] 제1항에 정의된 바와 같이 본 발명, 즉 다음의 단계를 포함하는 탄소 폼 재료(carbon foam material)를 제조하는 방법에 대해 일반화한다:
- [0009] (a) 제1 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성하고, 탄소 폼 위에 무질서한 비정질의 비-그래핀 재료를 생성한 다음,

[0010] (b) 제2 레이저 빔을 사용하여 탄소 폼 위에 안착되어 있는 무질서한 비정질의 비-그래핀 재료를 제거하거나 에블레이트하여 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키는 단계.

[0011] 비정질의 비-그래핀 재료는 탄소 폼보다 레이저 빔을 생성하는 레이저에 더 가깝다는 점에서 탄소 폼보다 '위'이다. 본 발명의 한 가지 구현은 '듀얼 레이저' 공정으로 설명되는데, 그 이유는 두 개의 개별 레이저가 탄소 폼 재료의 생산에 사용되기 때문이다. 탄소 폼 재료는 상당한 D 피크를 보여주며; 2D 피크는 G 피크보다 상당히 낮고; 피크 D:피크 G 비율은 0보다 상당히 크다. 외관 및 라만 시그니처에서는, 탄소 나노-어니언 재료와 유사하게 보인다. 이는 바이오센서, 슈퍼커패시터, 의사-커패시터에 사용될 수 있다. 일 구현에서, 탄소 폼을 'Gii' 탄소 폼이라고 이라고 한다.

도면의 간단한 설명

[0012] 본 발명은 다음 도면에 도시된 본 발명의 구현을 참조하여 설명될 것이다:

도 1 내 6은 탄소 전구체 역할을 하는 폴리이미드(polyimide; PI) 필름이 기관에 포지셔닝될 때 탄소 폼을 생성하는 데 사용되는 듀얼 레이저(Dual Laser) 공정을 개략적으로 도시한다.

도 7은 듀얼 레이저 방법(x250)을 사용하여 달성된 탄소 폼의 고유 표면 형태를 도시하는 주사 전자 이미지(scanning electron image)이다.

도 8은 기존 레이저 유도 그래핀의 표면을 도시하는 주사 전자 이미지이다.

도 9 내지 14b는 탄소 전구체 역할을 하는 PI 필름이 기관에 포지셔닝되지 않을 때 탄소 폼을 생성하는 데 사용되는 듀얼 레이저 공정을 개략적으로 도시한다.

도 15는 듀얼 레이저 방법을 사용하여 생산된 탄소 폼 전극의 순환 전압전류법(cyclic voltammography; CV) 그래프이다.

도 16a는 듀얼 레이저 방법을 사용하여 생산된 탄소 폼 전극에 대한 주사 속도의 함수로서 피크 분리도(ΔE_p)를 도시하는 그래프이다.

도 16b는 기존에 제조된 그래핀 전극에 대한 주사 속도의 함수로서 피크 분리도(ΔE_p)를 도시하는 그래프이다.

도 17은 듀얼 레이저 방법을 사용하여 생산된 탄소 폼 전극과 또한 통상적으로 제조된 그래핀 전극에 대한 전기 화학적 임피던스 분광법 결과의 비교이다.

도 18a와 b는 듀얼 레이저 공정으로 제조된 탄소 폼 샘플의 라만(Raman) 분석이다.

도 18c는 탄소 나노-어니언 재료의 라만 분석이다.

도 19는 듀얼 레이저 탄소 폼과 기존 그래핀을 도시하는 주사 전자 이미지이다.

도 20은 듀얼 레이저 탄소 폼(이러한 탄소 폼 구현을 Gii-Sens라고 함)을 포함한 바이오센서의 개략적인 이미지이다.

도 21 내지 23은 듀얼 레이저 탄소 폼(Gii-Sens, Gii-Sens+ 및 PPC Gii-Sens 변형이라고 함)에 대한 상세한 처리 흐름도이다.

도 24 내지 27은 듀얼 레이저 탄소 폼(이러한 탄소 폼 구현을 Gii-Cap이라고 함)을 포함한 슈퍼커패시터의 개략적인 이미지이다.

도 28 내지 29는 듀얼 레이저 탄소 폼(Gii-Cap 및 Gii-Cap+ 변형이라고 함)에 대한 상세한 처리 흐름도이다.

도 30은 듀얼 레이저 탄소 폼을 사용하여 제조된 바이오센서와 슈퍼커패시터를 포함하는 통합 랩온칩(lab-on-chip; LoC) 장치를 통한 개략적인 단면도이다.

도 31은 완전히 통합된 LoC 장치의 분해도이다.

도 32는 디스플레이에 정량적 결과를 디스플레이하는 LoC 장치를 도시한다.

도 33은 Gii-Sens 센서를 포함하는 환경 모니터링 장치의 분해도이다.

도 34는 조립된 환경 모니터링 장치의 도면이다.

도 35는 배터리(예를 들어, 인쇄 배터리 또는 기존 배터리)와 Gii-Cap 슈퍼커패시터를 갖는 장치를 통한 개략적인 단면도이다.

도 36은 스마트 라벨의 개략도이다; 여기에는 배터리(예를 들어, 인쇄 배터리 또는 기존 배터리)와 Gii-Cap 슈퍼커패시터가 있다.

도 37은 탄소 폼의 3차원 구조인 Gii-Thru 변형에서 다양한 재료의 기본 레이어링을 도시하는 개략적인 단면도이다.

도 38 내지 42는 다양한 Gii-Thru Gii-Cap/Gii-Cap+ 3차원 슈퍼커패시터 장치를 통한 개략도이다.

도 43a 및 43b는 듀얼 레이저 탄소 폼 Gii-Thru Cap 3차원 슈퍼커패시터 장치에 대한 상세한 처리 흐름도이다.

도 44a 및 44b는 3-샘플 어레이 미세유체 진단 장치에 사용되는 Gii-Thru 센서의 개략도이다.

도 45a 및 45b는 8-샘플 어레이 미세유체 진단 장치에 사용되는 Gii-Thru 센서의 개략도이다.

도 46a는 완전히 조립된 다중 샘플 어레이 미세유체 진단 장치의 사시도를 도시한다.

도 46b는 다중 샘플 어레이 미세유체 진단 장치의 하향식 도면이다.

도 47 및 48은 미세유체 진단 장치의 도면이다.

도 49는 고감도 저비용 Gii-Thru 변형에 대한 상세한 제조 공정 흐름이다.

도 50은 Gii 탄소 폼용 고속 릴 투 릴 또는 릴 투 시트 제조 시스템의 개략도이다.

도 51은 도 50 시스템에 대한 상세한 공정 흐름을 도시한다.

도 52 내지 57a는 다양한 배열로 듀얼 레이저 탄소 폼을 도시하는 주사 전자 이미지이다.

도 57b는 기존 공정을 사용하여 제조된 탄소 나노-어니언 재료의 주사 전자 이미지이다.

도 58은 듀얼 레이저 공정을 사용하여 제조된 8장의 탄소 폼 시트에 대한 라만변이를 도시한다.

부록 1 하이드로겔 전해질을 사용한 슈퍼커패시터 구현

도 59는 25 mV/s에서 측정된 양의 전압에 대한 탄소 폼 순환 전압전류도를 나타낸다.

도 60은 25 mV/s에서 측정된 음의 전압에 대한 탄소 폼 순환 전압전류도를 도시한다.

도 61은 양의 전압 창에 대해 0.5 mA/cm^2 에서 측정된 탄소 폼 정전류식 충방전(galvanostatic charge discharge; GCD) 곡선을 도시한다.

도 62는 음의 전압 창에 대해 0.5 mA/cm^2 에서 측정된 탄소 폼 정전류식 충방전(GCD) 곡선을 도시한다.

도 63은 5개의 2-전극 장치로부터 얻은 탄소 폼 정전류식 충방전(GCD) 데이터를 도시한다.

도 64는 높은(좌측) 주사 속도와 낮은(우측) 주사 속도로 5개의 서로 다른 2-전극 장치로부터 기록된 탄소 폼 순환 전압전류도를 도시한다.

도 65는 하이드로겔 전해질의 특성에 따라 다른 5개의 추가 시스템에 대한 탄소 폼 순환 전압전류 데이터를 도시한다: (a) 3M NaClO₄ 및 PVA; (b) 1M NaClO₄ 및 PVA; (c) 2.5M NaNO₃ 및 PVA; (d) 3M Mg(ClO₄)₂ 및 PVA; 및 (e) 5M NaClO₄ 및 PVP.

부록 2: Gii-Cap+ 하이드로겔

도 66은 Gii-Cap+ 하이드로겔 장치에 대한 일반적인 CV 곡선이다.

도 67은 컨디셔닝 후 Gii-Cap+ 하이드로겔 장치에 대한 전형적인 GCD 곡선이다.

도 68은 Gii-Cap+ 장치에 대한 컨디셔닝 후(post-conditioning) Nyquist(좌측) 및 Bode(우측) 플롯을 도시한다.

부록 3 GiiCap 이온겔

도 69 내지 74는 GiiCap 이온겔 장치에 대한 결과이다.

부록 4 3개월 Gii-Sens 분석 타당성 제안

도 75 내지 78은 Gii-Sens 3D 탄소 폼 분석 시스템에 대한 분석 절차의 개략도이다.

도 79 내지 81은 Gii-Sens 3D 탄소 폼의 표면 화학을 도시한다.

도 82 내지 83은 Gii-Sens 3D 탄소 폼에 대한 무라벨(labelless) 분석 탐색을 도시한다.

부록 6 벤치마크 실험 조건

도 84 내지 86은 그래핀 전극 재료와 Gii-Sens 탄소 폼의 성능을 비교한 그래프이다.

도 87 내지 89는 Gii-Sens 탄소 폼과 탄소 기반 전극 재료의 성능을 비교한 그래프이다.

도 90 내지 92는 Gii-Sens 탄소 폼과 스크린 인쇄 금의 성능을 비교한 그래프이다.

부록 7: 항 인간(anti human) 프로칼시토닌(cAb)의 표면 고정화 최적화

도 93은 항 인간 프로칼시토닌(cAb)의 표면 고정화 최적화를 위한 직접 분석 절차를 도시한다.

도 94는 표면 고정화 반응 도식이다.

도 95는 Gii-Sens 전극의 NHS 기능화에 대한 Rct 및 ΔE_p 신호 반응을 도시한다.

도 96은 GiiSens 전극의 cAb 고정화를 도시한다.

도 97은 100 μ g/ml cAb 표면 코팅을 사용한 직접 분석 형식으로 2000pg/ml의 신호 반응을 도시한다.

Gii, Gii-Sens, Gii-Sens+, Gii-Cap, Gii-Cap+, Gii-Thru 및 PPC ii는 특허 소유자의 상표임에 유의한다. 'Gii'는 일반적으로 듀얼 레이저 정을 사용하여 제조된 탄소 폼을 말한다. 'Gii-Sens'는 바이오센서와 같은 센서에 사용되는 Gii 탄소 폼을 말한다. 'Gii-Cap'은 슈퍼커패시터에 사용되는 Gii 탄소 폼을 말한다. + 접미사는 금속 산화물 층 또는 필름으로 변형될 때 Gii 탄소 폼을 말한다. 'Gii-Thru'는 특정한 3차원 구조로 배열될 때 Gii 탄소 폼을 말한다. 'PPC'는 다양한 스크린 인쇄 단계가 완료된 후 Gii 탄소 폼이 생성되는 특정 제조 공정인 '인쇄 후 변환(post printing conversion)'을 말한다.

도면 색인

듀얼 레이저 공정

- 11 IR 레이저
- 12 IR 레이저 빔
- 13 PI 필름 내부
- 14 PI 필름
- 15 기관
- 16 서브-표면 탄소 폼 영역
- 17 서브-표면 탄소 폼 영역 아래의 무질서한 비정질의 비-그래핀 재료
- 18 서브-표면 탄소 폼 영역 위의 무질서한 비정질의 비-그래핀 재료의 확장 영역
- 20 CO₂ 레이저
- 21 노출된 탄소 폼 영역의 고유 표면 형태

바이오센서

- 201 폴리이미드 기관
- 202 탄소 폼 작동 전극
- 203 탄소 폼 상대 전극

- 204 탄소 폼 기준 전극
- 205 스크린 인쇄 은 연결 트랙
- 206 유전층
- 207 은 연결 트랙이 전극과 중첩되는 영역

Gii-Cap 슈퍼커패시터

- 241 탄소 폼 전극 어레이
- 242 스크린 인쇄 은 커넥터
- 243 유전층
- 244 폴리이미드 베이스 층
- 245 구리 연결 탭
- 246 전해질 층
- 247 알루미늄-충상형 열 밀봉 파우치
- 250 탄소 폼 디지털의 라운딩 에지

센서와 슈퍼커패시터 결합

- 301 상부 폴리이미드 층
- 302 Gii-Sens 바이오센서
- 303 하부 폴리이미드 층
- 304 슈퍼커패시터
- 305 플라스틱 조각
- 306 마이크로채널
- 307 커넥터 트랙
- 308 플렉서블 일렉트로닉스
- 310 유도 전력 루프
- 312 Gii-Cap 슈퍼커패시터
- 313 Gii-Sens 바이오센서
- 314 마이크로일렉트로닉스를 갖는 장치 층
- 315 상단 패널
- 316 디스플레이
- 317 원형 분석물 웰(well)

환경 모니터

- 330 Gii-Sens 탄소 폼 센서
- 331 제어 일렉트로닉스
- 332 PV 태양 전지
- 333 Gii-Cap 탄소 폼 슈퍼커패시터

슈퍼커패시터와 배터리 결합

- 351 제1 폴리이미드 층

- 352 슈퍼커패시터
- 353 제2 폴리이미드 층
- 354 배터리
- 355 BMS (배터리 관리 시스템)
- 356 플렉서블 일렉트로닉스
- 357 전기 연결

스마트 라벨

- 360 플렉서블 배터리
- 361 슈퍼커패시터
- 362 일렉트로닉스 모듈
- 363 노출 라벨 표면
- 364 접착제 이형 라이너 364

Gii-Thru Cap

- 371 PI 필름
- 372 스크린 인쇄 전도성 잉크 또는 페이스트 층
- 373 스크린 인쇄 콜렉터
- 374 유전체 절연체
- 375 캡슐화된 탄소 폼 층
- 376 탄소 폼 층 아래의 무질서한 비정질의 비-그래핀 층
- 377 고유 표면 형태 층
- 390 하이드로겔 전해질 층
- 391 고유 표면 형태를 갖는 탄소 폼 층
- 392 PI 필름
- 393 스크린 인쇄 탄소 페이스트 층
- 394 스크린 인쇄 은 커넥터 층
- 395 은 커넥터 층용 구리 탭
- 396 분배 유전체 절연층
- 397 고유 표면 형태를 갖는 제2 탄소 폼 층
- 398 PI 필름
- 399 하이드로겔 전해질 층
- 400 유전체 절연층
- 401 스크린 인쇄 은 콜렉터 층
- 402 구리 탭
- 403 스크린 인쇄 탄소 페이스트 층
- 404 탄소 폼 층
- 405 PI 필름

Gii-Thru Sens

3스팟(spot) 어레이 미세유체 진단 장치

440 분석물 샘플 웰

441 층상형 웰 스페이서 층

442 폴리이미드 필름

443 스크린 인쇄 전도성 탄소 층

444A 기준 전극 연결

444B 작동 전극 연결

444C 상대 전극 연결

447 스크린 인쇄 유전층

448A 기준 전극

448B 작동 전극

448C 상대 전극

443 기준 전극 스크린 인쇄 탄소 층

8스팟 어레이 미세유체 진단 장치

451 층상형 웰 스페이서

452 8개의 분석물 웰의 어레이

453 상대 전극용 웰

454 기준 전극용 웰

455 폴리이미드 층

456 폴리이미드 층

457 8개의 작동 전극

458 상대 전극

459 기준 전극

460 스크린 인쇄 탄소 연결 인터페이스 층

461 스크린 인쇄 은 연결 트랙

462 스크린 인쇄 유전층

470 최상층 미세유체 포일

471 중간층 미세유체 포일

472 인쇄 또는 성형 미세유체 유체 채널

473 접착제를 갖는 최하층 미세유체 포일

474 Gii-Thru 센서

475 커넥터

481 투명 수지 바브(barb) 커넥터

482 상부 포일

483 투명 수지 성형 미세유체 카드

484 미세유체 채널

485 웰 유닛

486 Gii-Thru 센서

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0013] 본 발명의 구현의 간략하고 개략적인 워크 스로우(walk-through)로 시작할 것이다. 두 가지 워크 스로우를 제공한다; 첫 번째(도 1 내지 6)는 탄소 전구체(예를 들어, 이 경우 Kapton® 필름과 같은 폴리이미드(PI) 필름)가 기관 상에 장착될 때 탄소 폼 생산 공정을 높은 수준에서 설명할 것이다; 두 번째 워크 스로우(도 9 내지 14)는 폴리이미드 필름이 기관 상에 장착되지 않을 때 탄소 폼 생산 공정을 다룬다. 각 경우에, 듀얼 레이저 공정을 사용한다; 아래에서 용어의 의미를 설명할 것이다.
- [0014] 제1 단계에서, (도 1 참조), 파장 A를 갖는 레이저(11)는 엔드 애플리케이션(end application)에 적합한 기관(15) 상에 포지셔닝된 폴리이미드 필름(14)의 내부(13)에 레이저 빔(12)을 조사한다. 이 레이저는 1064 nm 파장의 IR 방사선을 전달하는 펄스형 IR 레이저일 수 있다.
- [0015] 도 2에 도시된 바와 같이, 파장 A를 갖는 레이저(11)는 서브-표면 영역(16)이 탄소 폼으로 변환되도록 튜닝된다. 레이저 A의 초점은 폴리이미드 필름(14)의 내부(13)를 통해 점진적으로 이동하여 전체 탄소 폼 영역(16)을 생성한다. 탄소 폼 영역(16)은 깊이나 높이가 약 50 μ m 이상일 수 있으며 - 이는 다른 방법으로 가능한 것보다 훨씬 더 크다. 폴리이미드 필름(14)의 노출 표면(즉, 레이저 빔이 입사하는 표면)에는 탄소 폼이 생성되지 않는다는 점에 유의한다. 탄소 폼(16) 위의(즉, 탄소 폼 영역(16)보다 레이저에 더 가까운) 영역은 탄소 폼으로 변환되지 않는다. 탄소 폼 영역(16) 아래의 영역(17)(즉, PI 필름의 하부 표면)도 탄소 폼으로 변환되지 않고, 대신에 하부 기관(15)에 접촉되는 무질서한 비정질의 비-그래핀 재료로 변환된다.
- [0016] 도 3은 파장 A를 갖는 레이저(11)가 트랩핑된 가스로 인해 내부 탄소 폼 구역(16) 위의(즉, 탄소 폼 영역(16)보다 레이저에 더 가까운) 영역(18)에서 물리적 팽창을 일으킨다는 것을 도시한다. 이 영역(18)은 3D 그래핀도 아니고 폴리머도 아니다; 이는 무질서한 비정질의 재료이다.
- [0017] 제2 단계에서, 파장 B를 갖는 레이저(20)는 이제 도 4에 도시된 바와 같은 탄소 폼 영역(16) 위의 무질서한 비정질의 재료 영역(18)에서 튜닝된다. 이는 10.6 μ m 파장을 갖는 CO₂ 레이저일 수 있다.
- [0018] 도 5에 도시된 바와 같이, 파장 B를 갖는 레이저(20)는 탄소 폼 영역(16) 위의 영역(18)의 일부 또는 전체를 제거하여, 하부 탄소 폼 영역(16)의 적어도 일부를 노출시킨다.
- [0019] 파장 B를 갖는 레이저(20)는 또한 도 6에 도시된 바와 같이, 하부 탄소 폼 영역에 고유 표면 형태(21)를 제공한다.
- [0020] 도 1 내지 6에 설명된 공정을 '듀얼 레이저 공정'이라고 한다.
- [0021] 도 7은 듀얼 레이저 방법(x250)을 사용하여 달성된 고유 표면 형태를 도시하는 주사 전자 이미지이다. 이 경우에, 탄소원(carbon source)은 먼저 펄스형 IR 레이저로부터 1064 nm 파장의 IR 방사선으로 조사되고, 방사선은 탄소원으로 그리고 탄소원 내의 점진적인 깊이로 초점을 맞춘 다음, 탄소원은 CO₂ 레이저의 파장 10.6 μ m의 레이저 빔으로 조사되었다. 이 이미지에서 탄소 폼 층의 대략적인 두께는 220 μ m이다.
- [0022] 도 8에 도시된 기존 LIG 방법(x250)을 사용하여 달성된 표면 형태와의 대조는 명확하다: 명확한 래스터 라인(raster line)이 있고 접힘(folding)이 덜 복잡하다. 이 탄소 폼 층의 두께는 50 μ m 미만이다.
- [0023] 도 7 이미지로부터, 듀얼 레이저 공정을 사용하여 생성된 재료는 기존 그래핀 폼과 유사한 표면 형태를 갖지 않는다는 것을 추론할 수 있다; 폼과 같은 구조를 갖는 터보스트래틱 트위스트 다층 3D 탄소 기반 재료로 보이지만, 이는 반드시 기존의 의미에서 '그래핀'으로 설명하는 것은 아니다. 보다 상세한 내용은 아래 특정 R에 있다.
- [0024] 이전 워크 스로우(도 1 내지 6)에서는, 탄소 전구체 재료(폴리이미드 필름)가 기관 상에 장착될 때 듀얼 레이저 공정을 살펴보았다. 다음의 도 9 내지 14에서는, 폴리이미드 필름이 기관 상에 장착되지 않을 때 듀얼 레이저 공정을 살펴볼 것이다. Gii-Cap(슈퍼커패시터) 및 Gii-Sens(센서)라는 두 가지 구현에 대해 나중에 상세히 설명하는 제조 공정은 기관 상에 장착되지 않은 표준 220mm x 180mm 폴리이미드 필름 시트를 사용한다; 이 크기는

표준 CAD 프로그램에 의해 정의된 경로를 추적하는 레이저 조각(laser engraving), 레이저 절단(laser cutting) 및 레이저 플로팅(laser plotting)에 일반적으로 사용되는 종류의 표준 레이저 주사 장치에 수용될 수 있다. 또한 제조 공정에서는 다시 다양한 크기의 얇은 PI 필름과 쉽게 호환가능한, 표준 평판 스크린 인쇄 장치와 표준 컨베이어 건조기를 사용한다. 다른 크기의 폴리이미드 시트가 수용될 수 있다.

- [0025] 앞서 설명된 바와 같이, 파장 A를 갖는 레이저(11)(예를 들어, IR 레이저)는 PI 필름(14)의 내부(13)를 조사한다; 이제 필름(14)은 도 9에 도시된 바와 같이 기관 상에 장착되지 않는다. 그 예지에서 지지되거나 일시적으로 표면에 놓이거나 연속 제조(예를 들어, 릴 투 릴 또는 릴 투 시트) 시스템이 사용될 때 PI 필름의 릴의 일부를 형성하는 시트일 수 있다(아래 특정 P 참조).
- [0026] 도 10에 도시된 바와 같이, 파장 A를 갖는 레이저(11)는 서브-표면 영역(16)이 탄소 폼으로 변환되도록 튜닝된다. 초점은 필름(14)을 통해 점진적으로 이동하여 전체 탄소 폼 영역(16)을 생성한다. 탄소 폼 영역(16)은 높이가 약 50 μ m 이상일 수 있으며 - 이는 다른 방법으로 가능한 것보다 훨씬 깊거나 더 크다.
- [0027] 폴리머 필름의 노출 표면에는 언제든지 3D 그래핀이 생성되지는 않는다. 탄소 폼 위의 영역은 3D 그래핀으로 변환되지 않는다.
- [0028] 도 11에 도시된 바와 같이, 트랩핑된 가스로 인해 내부 탄소 폼 구역(16) 위의 영역(18)의 물리적 팽창이 있다. 이 영역은 3D 그래핀도 아니고 폴리머도 아니다; 이는 무질서한 비정질의 재료이다.
- [0029] 도 12에 도시된 바와 같이, 파장 B(예를 들어, CO₂)를 갖는 레이저(20)가 이제 탄소 폼 위의 영역(18)에서 튜닝된다. 도 13에 도시된 바와 같이, 파장 B를 갖는 레이저(20)는 탄소 폼 영역(16) 위의 영역(18)을 제거하여, 하부 탄소 폼 영역(16)의 적어도 일부를 노출시킨다.
- [0030] 폴리이미드 필름(14)이 기관에 실장될 때와 마찬가지로, 파장 B를 갖는 레이저(20)는 또한 도 14에 도시된 바와 같이, 하부 탄소 폼(16)에 고유 표면 형태(21)를 제공한다.
- [0031] 탄소 폼 생산에 대한 이 듀얼 레이저 접근 방식에 대한 일부 구현 세부 사항은 다음과 같다: 일 예에서, Nd:YAG 솔리드 스테이트 레이저는 파장 A 레이저이며, 솔리드 스테이트 레이저에 의해 생산된 IR 레이저 방사선 빔(파장 1064 nm)이 층에 수직인 폴리이미드 층에 충격을 주도록 포커싱된다. 광학 장치는 IR 레이저 방사선 레이저 빔을 폴리이미드 층 내의 최소 빔 수렴 볼륨에 초점을 맞춘다.
- [0032] 캡슐화된 또는 서브-표면 영역 또는 최소 빔 수렴 주위의 궤적(locus)에서, 레이저 광과 폴리이미드의 상호 작용으로 인해 탄소원의 탄화(carbonization)를 초래한다. 이러한 탄화로 인해 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에서 트위스트 또는 터보스트랙 다층 탄소 폼과 같은 탄소 폼이 생성되고 폴리이미드 필름의 표면에 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질의 층이 생성된다.
- [0033] 레이저 빔이 폴리이미드 층 내의 특정 깊이에 포커싱된 상태를 유지하면서, 레이저는 폴리이미드 층 위에서 측 방향으로 주사된다. 이러한 방식으로 완전히 폴리이미드 탄소원 내의 경로가 추적되어 탄소 폼으로 변환된다. 따라서 폴리이미드는 주사되고, 포커싱된 IR 레이저 빔에 의해 추적되는 경로에 해당하는 패턴으로 탄소 폼으로 탄화된다.
- [0034] 한 설정에서, Nd:YAG IR 레이저는 80 kHz의 주파수로 펄스화되었고 레이저 빔은 9.4 cm/s의 속도로 표면을 가로질러 주사되었다. 다른 실시예에서는 서로 다른 파라미터를 활용했다. 예를 들어, 50 kHz의 펄스 주파수와 35.5 cm/s의 주사 속도는 또한 탄소 폼을 성공적으로 생산하는 데 활용되었다. 레이저 출력은 8 내지 20 와트의 일반적인 작동 범위 내에 있으며, 최적은 12W이다; 레이저 초점 거리는 50 mm 내지 400 mm의 일반적인 작동 범위 내에 있다.
- [0035] 일단 폴리이미드 층 내의 미리 결정된 영역이 포커싱된 IR 레이저 빔에 의해 위의 방식으로 조사되면, 폴리이미드 내의 캡슐화된 또는 서브-아래 영역 또는 궤적은 변경되고 IR 레이저 빔은 한 영역에 걸쳐, 이 경우 동일한 미리 결정된 영역에 걸쳐 다시 주사된다. 폴리이미드 필름 위에서 레이저의 X-Y 위치를 제어하는 표준 컴퓨터 제어식 레이저 주사 시스템이 사용될 수 있다. 탄소 폼을 생성하려면 동일한 영역에 걸쳐 포커싱된 IR 레이저 방사선을 두 번 이상 통과시켜야 할 수도 있다. 이 구현에서, 포커싱된 IR 레이저는 또한 실질적으로 중첩되지는 않지만 인접한 영역을 조사한다. 폴리이미드 층의 원하는 깊이가 IR 레이저 방사선에 노출되고 탄소 폼이 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 형성될 때까지 다양한 초점 깊이에서 초점이 맞춰진 IR 레이저 방사선으로 탄소원을 조사하는 이 공정이 반복된다. 그러나 표면층은 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질이다.

- [0036] 제2 단계에서, 폴리이미드 층은 CO₂ 레이저로부터의 방사선에 노출되어 어블레이션(ablation) 단계를 수행하고, 하부 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키고, 노출된 탄소 폼에 특정 표면 형태를 부여한다. CO₂ 레이저로부터의 방사선은 IR 레이저로 조사된 패턴이나 영역과 일치하도록 처리된 탄소원의 표면에 걸쳐 19 cm/s의 속도로 주사된다. 다른 실시예에서는 서로 다른 파라미터를 활용했다. 예를 들어, 50 kHz의 펄스 주파수와 35.5 cm/s의 주사 속도는 또한 하부 탄소 폼을 성공적으로 드러내는 데 활용되었다. 레이저 출력은 8 내지 20 와트의 일반적인 작동 범위 내에 있으며, 최적은 12W이다; 레이저 초점 거리는 50 mm 내지 400 mm의 일반적인 작동 범위 내에 있다.
- [0037] 위에 언급된 바와 같이, CO₂ 레이저는 표면층의 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질을 어블레이트(ablate)하여, 하부 탄소 폼을 노출시키고 해당 탄소 폼의 표면 형태를 변경하여 표준 레이저 유도 그래핀에 비해 더 많은 결함이 있는 노출된 탄소 폼을 생성한다; 이는 앞서 언급된 바와 같이 탄소 폼에 표준 레이저 유도 그래핀보다 우수한 매우 유용한 특성을 제공한다.
- [0038] 전력, 초점, 파장, 주사 속도와 같은 레이저(예를 들어, IR 및 CO₂ 레이저) 중 하나 또는 둘 다에 대한 레이저 파라미터를 변경하면 탄소 폼 재료 특성이 달라져 탄소 폼이 다양한 응용 분야에 최적화된 특성으로 생산되도록 한다.
- [0039] 듀얼 레이저 공정에 의해 제조된 노출된 탄소 폼의 한 가지 유용한 특성은 높은 습윤성(wettability)이다: 접촉각(contact angle)이 20° 미만일 수 있어 이 탄소 폼을 친수성(hydrophilic)으로 만들며, 이와 달리 기존 그래핀 폼은 접촉각이 70° 내지 150° 사이여서 이 탄소 폼을 소수성(hydrophobic)으로 만든다. 듀얼 레이저 공정으로 생산된 탄소 폼의 친수성은 두 가지 주요 응용 분야인 바이오센서(Gii-Sens 구현)와 슈퍼커패시터(Gii-Cap 구현)와 매우 관련이 있습니다. 바이오센서의 경우, 높은 습윤성은 테스트 중인 액체(예를 들어, 액체 분석물)가 전체 작동 전극에 걸쳐 빠르고 균일하게 퍼져, 더 큰 감도(sensitivity), 일관성(consistency) 및 속도(consistency)로 이어진다. 슈퍼커패시터의 경우, 높은 습윤성이란 전해질이 슈퍼커패시터 전극을 더 잘 적셔서, 더 높은 성능으로 이어진다는 것을 의미한다. 기존 그래핀 폼은 습윤성을 더 높이도록 가공될 수 있지만, 이 탄소 폼 구현에서는 이러한 추가 가공 단계가 필요하지 않다.
- [0040] 듀얼 레이저 공정에 의해 제조된 노출된 탄소 폼의 또 다른 유용한 특성은 높은 수준의 방오성(antifouling)이다: 이는 바이오센서의 감도 향상과 수명 연장으로 이어질 수 있다. 탄소 폼은 오염 물질이나 잔류물의 축적이 요소(예를 들어, 필터, 전자 담배의 가열 요소; 전극)의 성능이나 수명에 해를 끼칠 수 있는 응용 분야에 유용할 수 있다; 듀얼 레이저 공정 요소로 제작된 노출된 탄소 폼이 요소에 사용될 수 있어, 성능 또는 수명 향상으로 이어진다.
- [0041] 이 듀얼 레이저 방법을 사용하여 생산된 탄소 폼 전극의 성능은 도 15에 도시된 순환 전압전류법(CV)에 의해 탐색(explored)되었다. 잘 특화된 페리시아화물/페로시아화물 산화환원 반응(redox reaction)의 순환 전압전류 플롯은 위에 설명된 방법을 사용하여 제조된 전극과 공지된 기존의 CO₂ 레이저 조사 방법을 사용하여 제조된 전극으로 수행되었다. 도 15는 10 mV/s, 25 mV/s, 50 mV/s, 75 mV/s, 100 mV/s 및 150 mV/s의 주사 속도에서 얻은 결과 CV 플롯을 도시한다. 각 플롯은 현재의 듀얼 레이저 방법(밝은 선)을 사용하여 생산된 탄소 폼 전극과 CO₂ 레이저 광(어두운 선)에 의한 공지된 조사 방법을 사용하여 생산된 3D 그래핀 전극으로 기록된 데이터를 도시한다. 약 0.22V에서 음전류 방향의 피크는 페리시아화물을 페로시아화물로 환원에 대응하고; 약 0.28V에서 양전류 방향의 피크는 페로시아화물을 페리시아화물로 산화에 대응한다.
- [0042] 현저한 산화환원 피크와는 별개로, 본 명세서에 개시된 듀얼 레이저 방법을 사용하여 생산된 탄소 폼 전극을 사용하여 기록된 CV 플롯은 알려진 방법으로 생산된 3D 그래핀 전극을 사용하여 기록된 플롯보다 더 직사각형인 외관을 갖는다는 것이 이러한 그래프로부터 질적으로 명백하다. 이는 전압 범위의 상단(약 0.6 V)과 더 높은 주사 속도(예를 들어 100 mV/s 참조)에서 가장 명백하다. 이러한 증가된 직사각형 외관은 현재의 듀얼 레이저 방법을 사용하여 제조된 전극에 대한 증가된 용량성 거동을 나타내며, 이는 이 방법으로 생산된 트위스트 또는 터보스트래틱 다층 탄소 폼의 매우 높은 표면적을 반영한다.
- [0043] 또한, CV 플롯으로부터, 듀얼 레이저 방법으로 생산된 탄소 폼 전극을 사용하여 수행된 측정의 경우 산화 피크와 환원 피크를 분리하는 전압이 기존의 공지된 방법으로 생산된 3D 그래핀 전극을 사용하여 수행된 이러한 측정에 비해 일관되게 낮다는 것이 명백하다. 현재 개시된 방법에 따라 생산된 탄소 폼 전극을 사용하여 수행된 CV 측정에 대한 주사 속도의 함수로서 피크 분리도(ΔE_p)는 도 16(a)에 플롯팅되어 있고, 도 16(b)의 공지된 방

법에 따라 생산된 3D 그래핀 전극을 사용하여 수행된 CV 측정에 대한 분리도가 플롯팅되어 있다.

[0044] 이 데이터는 듀얼 레이저 방식에 따라 전극이 제조될 때 ΔE_p 가 좁아지는 것을 보여준다. 페리시안화물/페로시안화물 가역적 산화환원 반응과 같은 가역 시스템에 대한 이론적 피크 분리 파라미터는 57 mV이지만, 실제로 이는 전극 구조가 전기화학에 미치는 영향에 민감하다. 순환 전압전류 플롯에서 산화 및 환원 피크의 전압 분리가 이론값에 가깝다는 것은 명백하다. 이는 공지된 방법과 듀얼 레이저 방법 모두에 의해 생산된 전극의 품질을 입증한다. 또한, 듀얼 레이저 방법으로 생산된 탄소 폼 전극으로 기록된 결과에 의해 입증된 감소된 분리도는 이러한 방식으로 생산된 전극의 다공성이 기존 방법으로 생산된 전극보다 향상되었음을 보여준다.

[0045] 도 17은 듀얼 레이저 방법을 사용하여 생산된 탄소 폼 전극을 포함하는 시스템(사각)과 공지된 방법을 사용하여 생성된 3D 그래핀 전극을 포함하는 시스템(원)의 전기화학적 임피던스 분광법 결과의 비교를 도시한다. 보드(Bode) 플롯은 위상각의 변화를 주파수의 함수로 도시한다. 두 시스템의 주파수 응답은 분명히 다르다. 구체적으로, 듀얼 레이저 방법을 사용하여 생산된 탄소 폼 전극을 사용하여 기록된 측정값은 기존 방법을 사용하여 생산된 3D 그래핀 전극을 사용하여 기록된 측정값에 대해 약 1 kHz에서 관찰된 위상각 신호의 피크가 부족하다. 듀얼 레이저 방법을 사용하여 제조된 전극으로부터의 반응은 빠른 전자 이동 반응을 나타낸다. 차이점은 듀얼 레이저 방법으로 생산된 탄소 폼이 기존 방법으로 생산된 3D 그래핀과 차별화되고 구별된다는 점을 더욱 분명하게 보여준다.

[0046] 추가 세부사항은 도 18a에서 명백해진다. 도 18a에 도시된 듀얼 레이저 공정으로 제조된 탄소 폼의 라만 스펙트럼에는 세 가지 주요 피크가 있다. 특히, 약 1344 cm^{-1} 의 D 피크는 격자 결함 존재가 특징이고, 약 1577 cm^{-1} 의 G 피크는 왜곡된 6중(six-fold) 탄소 고리가 존재하는 sp^2 탄소 혼성화(carbon hybridisation)가 특징이다. 약 2685 cm^{-1} 의 2D 피크는 3D 그래핀의 2차 전이(second order transition)가 특징이며 여기서 이중선 구조(doublet structure)의 부재(absence)는 다층 2D 그래핀 또는 흑연에서 발견되는 평면 AB 스택킹(stacking)의 부족을 나타낸다. 2D 피크를 2685 cm^{-1} 에 중심을 둔 단일 로렌츠안(Lorentzian) 피크(반치전폭 67 cm^{-1} 을 가짐)에 맞추면 두 가지 방법으로 형성된 3D 탄소에 존재하는 하나 또는 몇 개의 탄소 폼형(carbon-foam-like) 층만 있음을 나타낸다. 듀얼 레이저 공정에 대한 D/G 피크 비율(0.85)의 분석은 아래 표 1에 표시된 바와 같이, 단일 레이저 단계를 사용하는 기존 레이저 유도 그래핀 공정(0.67)에 비해 더 높은 결함 밀도를 나타낸다.

표 1

공정	D/G	2D/G	D/D'
듀얼 레이저	0.85 ± 0.1	0.95 ± 0.12	3.7 ± 1.3
기존 단일 레이저	0.67 ± 0.13	0.75 ± 0.05	2.6 ± 0.22

[0048] 앞서 언급된 바와 같이, 전형적인 그래핀 폼의 라만 분석은 다음과 같은 시그니처를 드러낸다: D 피크의 부재; 2D 피크는 G 피크보다 높다; 피크 D:피크 G 비율은 0에 가깝다. 본 발명의 구현에서 생성된 탄소 폼은 이러한 특성을 전혀 공유하지 않는다; 친수성이 높고 접촉각이 20° 미만이다; 그래핀의 텔-테일(tell-tale) 라만 시그니처가 부족하다: 도 18a는 듀얼 레이저 공정으로 제조된 재료에 대해 다음을 도시한다: D 피크의 존재; 2D 피크는 G 피크보다 더 낮다; 피크 D: 피크 G 비율은 0보다 크다. 도 18b는 D 피크의 존재를 다시 도시하는, 듀얼 레이저 공정으로 만들어진 탄소 폼의 또 다른 라만 분석이다; 2D 피크는 G 피크보다 더 낮다; 피크 D: 피크 G 비율은 0보다 크다. 도 18c는 탄소 나노-어니언 재료의 라만 분석으로, 'Raman spectroscopy of polyhedral carbon nano-onions'. DOI: 10.1007/s00339-015-9315-9을 참조하며, 듀얼 레이저 공정으로 제조된 탄소폼에 대한 라만과의 유사성은 명백하다. 한 가지 합리적인 해석은 듀얼 레이저 공정으로 제조된 탄소 폼이 탄소 나노-어니언 재료이거나 이를 포함하고 있다는 것이다. 또한 아래의 도 57a 및 도 57b를 참조한다.

[0049] 듀얼 레이저 탄소 폼과 단일 레이저 공정으로 제조된 기존 그래핀 모두 도 19 SEM 이미지에 표시된 바와 같이 미세 다공성 구조를 보여준다. 저배율 이미지는 표면 형태의 뚜렷한 차이를 보여준다. 단일 레이저 표면은 가장자리가 거친 더 매끄럽고 줄무늬가 있는 표면을 보여주며, 듀얼 레이저 공정으로 제조된 탄소 폼은 거친 표면을 보여준다. 아래의 특징 R은 이 영역을 재방문한다.

[0050] 주요 특징

[0051] 이 섹션에서는, 본 발명 구현의 주요 특징 A 내지 R에 대해 약술한다. 이러한 특징은 앞서 설명된 듀얼 레이저

제조 공정에서 탄소 폼 생산을 정의한다; 이 공정은 기존 CVD에 비해 많은 장점이 있다: 표 2에서는 플라스틱 기관(또는 실제로 다른 많은 유형의 기관)에 약 50 μm 두께의 탄소 폼 1 cm^2 의 생산을 비교할 수 있다:

표 2

공정	단계 수	시간	온도	압력	비용
CVD	6	300 분	800 C	진공	\$50
듀얼 레이저 공정	1	2 분	20 C	상압	\$1 미만

특정 A 내지 R은 확장성이 뛰어나고 수율이 높으며 재현성이 뛰어나고 모두 동일한 공정을 사용하는 많은 다양한 응용 분야에 쉽게 적용될 수 있는 탄소 폼 제조 공정의 다양한 양태를 정의한다. 예를 들어, 듀얼 레이저 탄소 폼은 특히 바이오센서 및 전기화학적 커패시터(예를 들어, 슈퍼커패시터 및 의사-커패시터 응용 분야)에 매우 적합하다.

바이오센서 응용 분야의 경우, 듀얼 레이저 탄소 폼은 기존 그래핀 폼에 비해 다음의 장점이 있다: 더 높은 전자 이동 속도; 더 큰 검출 감도; 더 큰 전기화학적 활성 영역; 더 큰 재현성; 더 낮은 비용; 더 높은 습윤성; 더 높은 방오성. 바이오센서의 한 구현은 Gii-Cap이라고 하며, 이에 대해 아래에서 더 자세히 설명할 것이다.

슈퍼커패시터 및 기타 전자 응용 분야의 경우, 탄소 폼은 기존 그래핀 폼에 비해 다음의 장점이 있다: 더 많은 다공성 구조; 더 높은 품질; 더 낮은 시트 저항; 더 높은 습윤성; 더 높은 방오성. 슈퍼커패시터의 한 구현은 Gii-Cap이라고 하며, 이에 대해서는 아래에서 더 자세히 설명할 것이다.

특정 A 내지 R은 다음의 네 가지 그룹으로 구성된다:

그룹 1: 서브-표면 탄소 폼

그룹 2: 듀얼 레이저 가공

그룹 3: 제품

그룹 4: 기타

이 조직을 다음과 같이 확장할 수 있다:

그룹 1: 서브-표면 탄소 폼

특정 A: 탄소 전구체 재료의 서브-표면 영역에 생성된 탄소 폼

특정 B: 탄소 전구체 재료의 캡슐화된 영역에 생성된 탄소 폼

특정 C: 탄소 전구체 재료의 영역에 생성된 탄소 폼으로서, 여기서 영역은 실질적인 가스 탈출 경로가 없다.

특정 D: 기관에 접착된 비정질의 비-그래핀 재료

그룹 2: 듀얼 레이저 가공

특정 E: 서브-표면 탄소 폼 영역을 레이저 어블레이팅하여 생성된 탄소 폼

특정 F: 서브-표면 탄소 폼 영역을 레이저 어블레이팅하여 생성된 비-그래핀 탄소 폼

특정 G: 서로 다른 주파수 대역에서 동작하는 듀얼 레이저

특정 H: 서브-표면 탄소 폼 영역을 레이저 어블레이팅하여 생성된 탄소 폼에 포지셔닝된 전기 접촉부

특정 I: 폴리이미드 필름에 전기 접촉부를 인쇄한 다음 노출된 탄소 폼 생성

특정 J: 탄소 폼으로 제조된 키가 큰 트랙

특정 K: 서로 다른 제조 시설에 제1 및 제2 레이저를 적용

그룹 3: 제품

특정 L1: 바이오센서

[0077] 특징 L2: 스크린 인쇄 기술을 사용한 탄소 폼 바이오센서의 확장 가능한 저비용 제조

[0078] 특징 L3: 서로 다른 제조 시설의 바이오센서에 기능화된 그룹 추가

[0079] 특징 L4: 바이오센서 생산 공정의 일부로 바이오센서에 기능화된 그룹 추가

[0080] 특징 L5: PPC(Post Printing Conversion)를 사용한 바이오센서 제조

[0081] 특징 M1: 에너지 저장 장치

[0082] 특징 M2: 탄소 폼 슈퍼커패시터의 스크린 인쇄 층

[0083] 특징 M3: 탄소 폼 슈퍼커패시터: 공통 콜렉터

[0084] 특징 M4: 탄소 폼 슈퍼커패시터: PPC 제조 공정

[0085] 특징 M5: 탄소 폼 의사-커패시터: 금속 산화물 변형

[0086] 특징 M6: 탄소 폼 슈퍼커패시터: 저습 환경에서 이온성 겔(ionic-gel) 사용

[0087] 특징 N1: 전기 전도체

[0088] 특징 N2: 센서와 슈퍼커패시터 결합

[0089] 특징 N3: 슈퍼커패시터와 배터리 결합

[0090] 기능 N4: 스마트 라벨

[0091] 특징 N5: 슈퍼커패시터와 안테나 결합

[0092] 특징 N6: 에너지 스캐빈저 + 슈퍼커패시터 결합.

[0093] 특징 O1: 3D 탄소 폼 구조: Gii-Cap용 Gii-Thru

[0094] 특징 O2: 3D 탄소 폼 구조: Gii-Thru 적층 가능 Gii-Cap/Gii-Cap+

[0095] 특징 O3: 3D 탄소 폼 구조: Gii-Sens용 Gii-Thru: HISLOC

[0096] 특징 O4: 3D 탄소 폼 구조: Gii-Sens용 Gii-Thru: HISLOC 제조 공정

[0097] 그룹 4: 기타

[0098] 특징 P: 확장 가능한 탄소 폼: Gii 3 제조

[0099] 특징 Q: 기타 다양한 탄소 폼 응용 분야

[0100] 특징 R: 비-그래핀 탄소 폼

[0101] 이제 그룹 1로 돌아가서:

[0102] 그룹 1: 서브-표면 탄소 폼

[0103] 특징 A: 탄소 전구체 재료의 서브-표면 영역에 생성된 탄소 폼

[0104] 이전 기술 섹션에서, 레이저 유도 그래핀에 대한 초기 접근 방식이 탄소 전구체의 표면층을 3D 그래핀으로 변환하는 방법을 위에서 설명했다. 그러나 결과적으로 생성된 3D 그래핀은 다소 부서지기 쉬우며, 하부 기판에서 떨어져 나갈 수 있으며, 일반적으로 많은 실제 응용 분야에 적합하지 않다; 또한, 3D 그래핀은 일반적으로 깊이가 50 μm 미만으로 상대적으로 얇다.

[0105] 본 명세서에서는, 탄소 전구체의 표면이 그래핀으로 전혀 변환되지 않는 대안적인 접근 방식을 설명한다; 대신, 이는 포커싱된 레이저 빔(12)에 의해 탄소 폼(16)으로 변환되는 탄소 전구체(14)의 서브-표면 영역일 뿐이다; 일 구현에서, 포커싱된 IR 빔(12)은 1 ns 내지 10 μs 사이의 매우 짧은 시간에 걸쳐(즉, 약 5×10^7 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 내지 2×10^{12} $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 사이의 속도로) 폴리이미드 필름(14) 내부의 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에서 500 $^{\circ}\text{C}$ 보다 더 높은 온도를 생성한다. 이 짧고 강렬한 가열은 이 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에 탄소 폼(16)을 형성하기에 충분하다. 이 서브-표면 또는 캡슐화된 영역(16)으로부터 실질적인 가스 탈출 경로는 없다; 가스 생성물을 서브-표면 또는 캡슐화된 영역 내에 구속하는 것은 해당 서브-표면 영역에 형성된 탄소 폼(16)의 구조에 유리하게 영

향을 미친다. 서브-표면 영역에서만 탄소 폼(16)의 형성은 예상치 못한 발견이었다; 이는 폴리이미드 탄소 전구체 재료에 의한 1064 nm IR 방사선의 매우 낮은 흡광도(cm(기본 10)당 방사선의 흡광도)가 50 미만이거나 최소 10 미만인 것을 포함하여, 여러 가지 이유로 예상치 못했다.

[0106] 표면(예를 들어, 레이저에 수직하고 이를 향하는 탄소 전구체 재료와 탄소 전구체 재료를 둘러싸는 가스 환경 사이의 계면)은 레이저 조사 하에 팽창하고 탄소 전구체 재료에서 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질(18)로 변환된다. 이 무질서한 비정질 비-그래핀 물질(18)은 일반적으로 탄소 전구체 재료의 전체 두께의 적어도 1%인 층을 형성한다; 그런 다음 500 μm 두께의 폴리이미드 필름의 경우, 일반적으로 상단 1 μm 내지 10 μm 는 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질(18)로 변환된다; 이 상부 표면층 아래, 탄소 전구체 재료 본체에는, 탄소 폼(16)으로 변환되는 영역이 있다.

[0107] 이 탄소 폼(16)의 두께는 레이저 빔의 초점을 탄소 전구체 재료를 통해 점진적으로 이동시킴으로써 제어된다; 이 공정을 사용하여 유난히 두꺼운 탄소 폼 구조가 제조될 수 있다: 50 μm 내지 200 μm (대략) 두께의 탄소 폼 트랙이 달성되었다.

[0108] 레이저가 도 9 내지 14b에 도시된 바와 같이, 공간에 매달려 있는 폴리이미드 필름과 같은 탄소 필름 전구체 재료를 조명하는 경우(즉, 기관에 장착되지 않음), 조사 후, 재료를 통해 점진적으로 이동함에 따라, 이를 태면 즉 레이저가 향하는 상부 표면에서, 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질(18)을 갖는다: 그런 다음 탄소 폼 영역(16)을 갖는다. 레이저 빔(12)은 일반적으로 탄소 전구체 재료의 하부 표면에 접근하지 않으므로, 탄소 폼 영역(16)은 탄소 폼으로 변환되지 않은 탄소 전구체 재료 위에 안착한다. 레이저가 탄소 전구체 재료의 하부 표면에 접근하면, 하부 표면 가까이에서 그리고 하부 표면에 있는 탄소 전구체는 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질로 변환된다.

[0109] 유사하게, 도 1 내지 6에 도시된 바와 같이, 레이저가 기관에 장착되는 폴리이미드(PI) 필름과 같은 탄소 전구체 필름을 조명하면, 동일한 재료 시퀀스를 갖는다; 추가로, 레이저는 보통 기관에 대향하여 놓인 탄소 전구체 재료의 하부 표면에 접근한다: 그런 다음 하부 표면 가까이에서 그리고 하부 표면에 있는 탄소 전구체는 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질(17)로 변환된다. 이 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질(17)은 기관(15)에 부착된다; 탄소 폼 영역(16)이 이 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질(17)에 결합되어 있기 때문에, 결과적으로 탄소 폼 영역(16) 자체는 기관(15)에 직접적으로 결합되지 않지만, 그럼에도 불구하고 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질(17)을 통해 기관(15)에 견고하게 부착된다.

[0110] 이 접근 방식은 그래핀 폼 형성을 표면 영역으로 제한한 이전 접근 방식보다 훨씬 더 두꺼운 탄소 폼 구조를 가능하게 한다. 또한, 이러한 접근 방식을 통해 하부 기관에 직접적으로 접촉되는 것은 아니지만 보다 견고하게 접촉되는 탄소 폼 구조를 가능하게 한다. 이 접근 방식을 사용하면 탄소 전구체 재료의 어떤 표면에도 탄소 폼이 생성되지 않는다는 점에 유의한다. 대신, 탄소 폼은 탄소 전구체 재료 내부의 서브-표면 영역에서만 생성된다.

[0111] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0112] 탄소 폼 재료를 제조하는 방법은 탄소 전구체 재료의 서브-표면 영역을 조사하는 단계를 포함하며, 레이저 빔의 파라미터는 해당 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성하도록 선택된다.

[0113] **특징 B: 탄소 전구체 재료의 캡슐화된 영역에 생성된 탄소 폼**

[0114] 위의 특징 A에서는, 레이저 조사에 의해 탄소 폼이 생성되는 영역을 '서브-표면' 영역으로 정의했다. 영역을 설명하는 또 다른 방식은 영역을 '캡슐화된' 것으로 권한을 부여하는 것이다; 이는 탄소 폼과 그 주변 환경의 3차원 관계를 포착한다; 탄소 폼(16)은 원래의 탄소 전구체 재료와 탄소 전구체 재료(14)의 상부 표면에서 레이저 조사에 의해 생성된 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질(18)에 의해 '캡슐화'된다.

[0115] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0116] 탄소 폼 재료를 제조하는 방법은 탄소 전구체 재료의 캡슐화된 영역을 조사하는 단계를 포함하며, 레이저 빔의 파라미터는 해당 캡슐화된 영역에 탄소 폼을 생성하도록 선택된다.

[0117] **특징 C: 탄소 전구체 재료의 영역에 생성된 탄소 폼으로서, 여기서 영역은 실질적인 가스 탈출 경로가 없다.**

[0118] 탄소 전구체의 서브-표면 또는 캡슐화된 영역이 탄소 폼으로 변환되고 이 서브-표면 또는 캡슐화된 영역으로부터 실질적인 가스 탈출 경로는 없음을 위에서 확인했다; 가스 생성물을 서브-표면 또는 캡슐화된 영역 내에 구

속하는 것은 해당 영역에 형성된 탄소 폼(16)의 구조에 영향을 미친다.

[0119] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0120] 탄소 폼 재료를 제조하는 방법은 탄소 전구체 재료의 캡슐화된 서브-표면 영역을 조사하는 단계를 포함하며, 레이저 빔의 파라미터는 해당 영역에 탄소 폼을 생성하도록 선택되고, 전구체 재료의 표면으로의 실질적인 가스 탈출 경로는 레이저 빔에 의해 생성되지 않는다.

[0121] **특징 D:기관에 접착된 비정질의 비-그래핀 재료**

[0122] 레이저(11)가 기관(15)에 장착된 탄소 필름(14)을 조사하면, 레이저는 기관(15)에 인접한 탄소 필름의 표면을 탄화시켜 기관(15)에 인접한 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질(17)을 형성함을 앞서 확인했다; 이 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질(17)은 기관(15)에 부착된다; 내부, 서브-표면 또는 캡슐화된 탄소 폼 영역(16) 자체가 이 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질(17)에 결합되므로, 그 결과, 탄소 폼 영역(16) 자체는 기관(15)에 직접 부착되지 않지만, 그럼에도 불구하고 중간의 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질(17)을 통해 기관(15) 상에 견고하게 포지셔닝된다. 탄소 폼 영역(16)은 기존의 레이저 유도 그래핀에 비해 더욱 견고하게 결합되고, 기관이 플렉서블한 경우에도 박리(flake off)될 가능성이 적어, 예를 들어 기관이 종종 얇고 플렉서블한 구조인 바이오센서 적용을 가능하게 한다.

[0123] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0124] 탄소 폼 재료를 제조하는 방법은 기관 상에 포지셔닝되는 탄소 전구체 재료의 내부 영역을 조사하는 단계를 포함하며, 레이저 빔의 파라미터는 해당 영역에 탄소 폼을 생성하고 탄소 폼 영역과 기관 사이에 무질서한 비정질의 비-그래핀 재료를 생성하도록 선택된다; 해당 무질서한 비정질의 비-그래핀 재료는 기관에 접착되거나 그렇지 않으면 직접 부착된다.

[0125] **그룹 2: 듀얼 레이저 가공**

[0126] **특징 E: 서브-표면 탄소 폼 영역을 레이저 어블레이팅하여 생성된 탄소 폼**

[0127] 이전 특징 A 내지 D에서는 탄소 전구체 재료의 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에 탄소 폼의 생성을 다루었다. 탄소 폼은 노출된 표면에 형성되지 않으며 많은 응용 분야에서 탄소 폼이 노출되어야(예를 들어, 생체 의학 감지 응용 분야 또는 슈퍼커패시터용으로 기능화되어야) 하기 때문에, 추가 단계를 수행하여 서브-표면 또는 캡슐화된 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시킬 수 있다.

[0128] IR 레이저(11)를 사용한 레이저 조사가 서브-표면 또는 캡슐화된 탄소 폼(16) 위에 무질서한 비정질의 비-그래핀 재료(18)를 형성함을 앞서 확인했다: 이제 일반적으로 긴 IR CO₂ 레이저(20)인 레이저를 사용하여 이 무질서한 비정질의 비-그래핀 재료(18)를 어블레이팅하거나 그렇지 않으면 처리하여 하부 탄소 폼(16)을 노출시킨다. 이 제2 레이저(20)는 일반적으로 초기 레이저와 달리 디포커싱된다.

[0129] 앞서 언급된 바와 같이, 표준 220 mm x 180 mm 폴리이미드 시트를 사용한다(그러나 다른 크기의 폴리이미드 시트도 수용될 수 있음); 표준 CAD 프로그램에 의해 정의된 경로를 추적하는 레이저 조각, 레이저 절단 및 레이저 플로팅에 일반적으로 사용되는 종류의 표준 레이저 주사 장치, 또한 표준 평판 스크린 인쇄 장치 및 표준 컨베이어 건조기에 수용될 수 있는 이 크기. 다른 크기의 폴리이미드 시트가 수용될 수 있다.

[0130] 이 2차 레이저 조사 단계가 놀랍고 유리한 방식으로 하부 탄소 폼의 형태 및 기타 특성을 변경하여 이전에 관찰되지 않았던 트위스트 또는 터보스트레틱 다층 탄소 폼을 생성한다는 것을 발견했다. CO₂ 레이저 파라미터를 변경하면 탄소 폼 재료 특성이 변경되어, 다양한 응용 분야에 최적화된 특성을 갖는 탄소 폼이 생산되도록 할 수 있다.

[0131] 새로 노출된 이 탄소 폼에는 다음 특성 중 하나 이상이 포함되어 있다:

[0132] • 쉽게 제어되는 두께 또는 깊이

[0133] • 기존 레이저 공정을 사용하여 제조된 매우 부서지기 쉬운 그래핀에 비해 더 큰 유연성

[0134] • 임의의 하부 플렉서블 기관에 대한 강한 접착력

[0135] • 높은 다공성

- [0136] * 높은 전기 전도성
- [0137] * 증가된 정전용량 또는 전하 저장
- [0138] * 유기 용매 및 수성 용액의 빠른 흡수
- [0139] * 더 높은 친수성
- [0140] * 높은 EMI 차폐
- [0141] * 향상된 전극 품질
- [0142] * 높은 습윤성
- [0143] * 방오성(anti-fouling)
- [0144] 듀얼 레이저 공정에 사용된 레이저 중 하나 또는 둘 모두의 레이저 파라미터를 변경함으로써, 결함의 크기와 범위, 라만 D 및 2D 피크의 크기(상대적인 크기 포함)뿐만 아니라 이러한 특성 중 하나 이상을 변경하는 것이 가능하다는 점에 유의한다. 이 방식으로, 다양한 용도에 맞게 특성이 튜닝되거나 특히 적합한 탄소 폼을 생산하는 것이 가능하다. 제2 어블레이션 레이저의 동작으로 사용 가능한 노출된 탄소 폼 영역, 특히 제1 및/또는 제2 레이저의 파라미터를 변경함으로써 조정될 수 있는 특성을 갖는 영역을 생성할 수 있다는 것은 놀라운 일이었다.
- [0145] 다음과 같이 일반화할 수 있다:
- [0146] 탄소 폼 재료를 제조하는 방법은 (a) 레이저 빔이 탄소 전구체 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성하고 탄소 폼 위에 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질을 생성한 다음, (b) 레이저 어블레이션 또는 처리하여 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질을 제거하고, 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키는 단계를 포함한다.
- [0147] **특징 F: 서브-표면 탄소 폼 영역을 레이저 어블레이팅하여 생성된 탄소 폼**
- [0148] 이전 특징 E에서, 레이저(11)(예를 들어, IR 레이저)로 해당 영역을 조사함으로써 탄소 전구체의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에서의 탄소 폼(16)의 형성을 설명했습니다; 해당 조사는 위에 놓인(레이저 방향으로) 탄소 전구체 재료(14)가 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질(18)로 팽창하도록 한다; 그런 다음 위에 놓인 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질(18)을 제2 레이저(20), 예를 들어, CO₂ 레이저로 어블레이팅하여 해당 탄소 폼(16)을 노출시키거나 드러낸다. 이 제2 조사 단계는 위에 놓인 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질(18)을 어블레이팅하여 하부 탄소 폼(16)을 노출시킬 뿐만 아니라, 이 하부 탄소 폼에 매우 바람직한 특성을 갖는 예상치 못한 특이한 표면 형태(21)를 제공한다; 이렇게 생성된 탄소 폼은 트위스트 또는 터보스트래틱 다층 탄소 폼일 수 있다.
- [0149] 그러나, 이 폼은 그래핀 폼과 연관되지 않은 특성(예컨대, 광범위한 결함, 외관, 습윤성 및 라만 스펙트럼(아래 특징 R 참조))을 가질 수 있기 때문에, 이 특징 F에서는, 이 폼을 '비-그래핀 탄소 폼'으로 명시적으로 설명한다. 따라서 '비-그래핀 탄소 폼'이라는 용어는 ('탄소 폼'이라는 용어와 달리) 트위스트 또는 터보스트래틱 다층 그래핀 폼을 포함한 그래핀 폼을 명시적으로 제외하지만, 임의의 다른 3D 탄소 재료 폼을 포괄하도록 확장된다.
- [0150] 다음과 같이 일반화할 수 있다:
- [0151] 비-그래핀 탄소 폼을 제조하는 방법은,
- [0152] (a) 레이저 빔이 탄소 전구체 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여 탄소 전구체 재료의 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성하고 탄소 폼 위에 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질을 생성한 다음,
- [0153] (b) 레이저 어블레이션 또는 처리하여 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질을 제거하고, 하부 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키고, 해당 하부 탄소 폼의 적어도 일부를 비-그래핀 탄소 폼으로 변형시키는 단계를 포함한다.
- [0154] **특징 G: 서로 다른 대역에서의 듀얼 레이저**
- [0155] 이전의 특징 E와 F에서 두 개의 개별 레이저 조사 단계를 사용할 수 있음을 확인했다. 이들은 보통 두 개의 개

별 레이저를 사용하여 수행된다: 서브-표면 또는 캡슐화된 탄소 폼을 생성하는 제1 단계는 일반적으로 포커싱된 IR 레이저(11)로 수행되고; 제2 단계는 디포커싱된 CO₂ 레이저(20)에 의한 더 긴 파장의 레이저 조사를 포함하지만, 다른 파장(예를 들어, UV 및 가시광)도 사용될 수 있다.

[0156] 제2 레이저(20)는 탄소 폼(16)과 표면 사이에 안착되는 재료(18)(예를 들어, 무질서한 비정질의 비-그래핀 재료)를 어블레이트하고 하부 탄소 폼(16)을 노출시킨다. 노출된 탄소 폼(16)은 또한 제2 레이저에 의해 (예를 들어, 그 표면 형태(21)가) 변경될 수 있다. 즉, '노출하다'라는 용어는 기존 탄소 폼의 적어도 일부를 드러내는 것뿐만 아니라, 기존 탄소 폼의 적어도 일부를 기존 그래핀 폼의 특성과 다른 특성을 갖는 3D 탄소 재료 폼으로 변환 또는 변경하는 것을 포함하는 것으로 폭넓게 해석되어야 한다.

[0157] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0158] 탄소 폼 재료를 제조하는 방법은,

[0159] (a) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성한 다음,

[0160] (b) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 폼 위에 안착하는 재료를 제거하거나 어블레이트하여 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키는 단계를 포함한다.

[0161] **특징 H:서브-표면 탄소 폼 영역을 레이저 어블레이팅하여 생성된 탄소 폼에 포지셔닝된 전기 접촉부**

[0162] 앞서 트위스트 또는 터보스트레틱 다층 탄소 폼일 수 있는 탄소 폼을 생성하는 방법을 확인했다: 이 재료는 탁월한 전기적 특성(예를 들어, 전도성, 컨팩시턴스)을 갖기 때문에, 하나 이상의 전기 접촉부(플렉서블 전자 장치, 마이크로프로세서, 안테나, IoT 장치, 전기 인터페이스와 같은 전기 품목 포함)를 탄소 폼에 부착하거나 위치시킬 수 있다. 인쇄 트랙(예를 들어, 스크린 인쇄 은 트랙)의 경우, 이들은 폴리이미드 필름(또는 다른 적합한 기판) 위에 그리고 기존 3D 탄소 재료 폼 위에 및 내에 스크린 인쇄되어 트랙이 폼 및 기능화 층과 같이 폼 상에 형성된 임의의 구조와 우수한 전기적 접촉을 이루도록 한다(예를 들어, 탄소 폼이 기능화되어 분석물별 수용체 층을 갖는 바이오센서를 형성하는 방법을 설명하는 특징 L 참조).

[0163] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0164] 탄소 폼 재료를 제조하는 방법은,

[0165] (a) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성한 다음,

[0166] (b) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 폼 위에 안착하는 재료를 제거하거나 어블레이트하여 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키고;

[0167] (c) 하나 이상의 전기 접촉부를 탄소 폼으로 부착, 인쇄 또는 위치시키는 단계를 포함한다.

[0168] **특징 I:폴리이미드 필름에 전기 접촉부를 인쇄한 다음 노출된 탄소 폼 생성**

[0169] 특징 H에서, 듀얼 레이저 공정이 완료되면, 기존 탄소 폼과 접촉시키기 위해 전기 접촉부 또는 회로가 추가된다 - 간단한 은 전기 접촉부는 탄소 폼에 스크린 인쇄될 수 있다는 것을 확인했다. 이 특징 I에서, 먼저 전기 접촉부를 폴리이미드 필름에 스크린 인쇄하여 공정을 시작한 다음, 듀얼 레이저 공정의 제2 레이저 어블레이션 단계를 사용하여 노출된 탄소 폼을 생성하여 공정을 완료하는 것을 설명한다. 이는 스크린 인쇄 공정이 탄소 폼을 방해(disrupt)하거나 방해(disrupt)할 수 있기 때문에, 몇 가지 장점이 있다. 이는 Post Printing Conversion의 약자인 'PPC'라고 부르는 공정으로, 스크린 인쇄 단계는 탄소 폼을 생성하기 위한 듀얼 레이저 공정 전에 수행된다. 특징 L5에서, 아래에서는 PPC 공정을 사용하여 제조된 바이오센서를 설명한다.

[0170] 따라서 스크린 인쇄 트랙(예를 들어 스크린 인쇄 은 트랙)의 경우, 이들은 폴리이미드 필름(또는 기타 적합한 기판)에 스크린 인쇄된다. 탄소 폼이 인쇄 트랙의 일 단부 주위에 후속적으로 형성되어, 넓은 표면 표면 및 이에 따른 매우 우수한 전기 연결성을 갖는 접촉 영역을 제공한다. 위의 특징 H에 설명된 대안적인 공정과 같이, 인쇄 트랙은 또한 기능화 층과 같은 폼에 형성된 모든 구조와 우수한 전기 접촉이 이루어지도록 만든다(예를 들어, 탄소 폼이 분석물별 수용체 층을 갖는 바이오센서를 형성하기 위해 기능화되는 방법을 설명하는 아래의 특징 L 참조).

[0171] 대안적인 시퀀스에는 제1 레이저 빔을 사용하여 서브-표면 탄소 폼을 생성한 다음, 전기 접촉부를 스크린 인쇄

한 다음, 제2 레이저 빔을 사용하여 전기 접촉부와 우수한 전기 접촉이 이루어지도록 만드는 방식으로 탄소 폼을 생성하는 것이 포함된다.

[0172] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0173] 탄소 폼 재료를 제조하는 방법은,

[0174] (a) 탄소 전구체 재료 위나 안으로 전기 접촉부를 스크린 인쇄하는 단계;

[0175] (b) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성하는 단계 - 단계 (a)와 (b)는 (a) 다음에 (b) 또는 (b) 다음에 (a)의 순서로 수행될 수 있음 -; 및

[0176] (c) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 폼 위에 안착하는 재료를 제거하거나 어블레이트하여, 전기 접촉부가 연결되는 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키는 단계를 포함한다.

[0177] **특정 J:탄소 폼으로 만들어진 키가 큰 트랙**

[0178] 서브-표면 또는 캡슐화된 탄소 폼 영역의 두께가 표면층으로 제한되는 기존 그래핀 폼의 두께를 훨씬 초과할 수 있음을 앞서 확인했다: 제1 레이저 빔의 레이저 초점은 탄소 전구체 재료를 통해 점진적으로 아래로 이동되어 서브-표면 또는 캡슐화된 탄소 폼의 깊거나 두꺼운 층을 생성할 수 있다. 그런 다음 제2 레이저 조사 단계를 전개하여, 탄소 폼과 탄소 전구체 재료의 표면 사이에 안착되어 있는 재료를 어블레이트하여, 탄소 폼이 노출된 영역을 생성한다. 이제 노출된 탄소 폼 영역의 두께 또는 깊이는 적어도 50 μm 일 수 있다; 300 μm 두께의 탄소 폼이 생산되었다. 두께가 증가하면 더 나은 전기 전도성, 더 큰 정전용량 및 더 큰 기계적 무결성을 얻을 수 있으므로 유리하다.

[0179]

[0180] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0181] 탄소 폼 재료를 제조하는 방법은,

[0182] (a) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성한 다음,

[0183] (b) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 폼 위에 안착되어 있는 재료를 제거하거나 어블레이트하여, 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키는 단계를 포함하며;

[0184] 탄소 폼은 두께 또는 깊이가 적어도 50 μm 이다.

[0185] **특정 K:서로 다른 제조 시설에 제1 및 제2 레이저를 적용**

[0186] 제2 레이저에서 발생하는 탄소 폼의 특정 특성이나 구조는 이들이 최종 제품의 특징을 정의하므로 민감한 정보로 간주될 수 있다; 제1 레이저 빔 공정은 탄소 폼의 공급업체의 제조 시설에서 해당 공급업체에 의해 수행되는 것이 바람직할 수 있으며, 공급업체는 해당 탄소 폼을 고객에게 공급하고, 차례로 고객은 자체 제조 시설에서 제2 레이저 빔을 사용하여 최종 단계를 수행한다. 앞서 언급된 바와 같이, 제1 레이저와 제2 레이저의 파라미터를 변경함으로써, 탄소 폼 재료 특성을 변경할 수 있어, 다양한 응용 분야에 최적화된 특성을 갖는 탄소 폼이 생산되도록 한다. 이러한 방식으로 변경되거나 튜닝될 수 있는 일반적인 파라미터에는 세기, 파장, 펄스 주파수, 펄스 지속 시간, 펄스 프로파일, 주사 속도, 초점 거리, 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에서 생성되는 열이 포함된다.

[0187] 이러한 방식으로 제조 공정을 분할함으로써, 공급업체는 고객에 의해 제2 레이저 어블레이션 공정의 일부로 사용되는 특정 제조 공정(예를 들어, 노출된 탄소 폼에 필요한 특성을 제공하기 위해 제2 레이저 빔의 파라미터를 변경하는 방법)에 대한 지식으로부터 격리된다; 고객은 완제품 생산 방법에 대한 세부 정보를 기밀로 유지할 수 있다.

[0188] 따라서 제조 공정은 다음의 단계를 포함하는 3-단계 공정이다: (a) 제1 레이저 빔이 제조 현장에서 탄소 전구체 재료의 서브-표면 영역을 조사하여 미완성 탄소 폼 제품을 생산하는 단계; (b) 미완성 탄소 폼 제품이 고객 제어식 제조 현장으로 전달되는 단계; 및 (c) 고객 제어식 제조 현장에서 레이저 어블레이션 또는 처리가 일어나는 단계.

- [0189] 추가로, 이 접근 방식을 사용하면 제1 레이저 공정만으로 생산된 탄소 품의 대규모 제조(예를 들어, 특징 P 참조)가 가능하며, 이 재료의 비용이 절감되며, 이는 다수의 다양한 응용 분야 및 고객에 걸쳐 사용될 수 있다. 제2 레이저 빔을 사용하여 생성된 보다 특화된 제품은 제1 레이저 공정으로 생산된 탄소 품보다 훨씬 적은 양으로 제조될 수 있다. 따라서 이 접근 방식을 사용하면 기본 재료, 즉 제1 레이저 공정으로만 생산된 탄소 품을 보다 효율적이고 더 저렴하게 제조할 수 있다.
- [0190] 다음과 같이 일반화할 수 있다:
- [0191] 장치를 제조하는 방법은,
- [0192] (a) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 품을 생성한 다음,
- [0193] (b) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 품 위에 안착되어 있는 재료를 제거하거나 어블레이트하여, 탄소 품의 적어도 일부를 노출시키는 단계를 포함하며;
- [0194] 단계 (a)는 하나의 제조 시설에서 수행되고 단계 (b)는 서로 다른 시설에서 수행된다.
- [0195] 특징 A 내지 K의 경우, 다음의 선택적 특징이 특히 관련이 있다. 다음의 선택적 특징 중 어느 하나 이상은 어느 하나 이상의 다른 호환 가능한 선택적 특징 및 특징 A 내지 K 중 어느 하나 이상과 각각 결합될 수 있다는 점에 유의한다.
- [0196] 다음 영역을 다룰 것이다:
- [0197] * 제조 공정
- [0198] * 제1 레이저 빔 파라미터 및 제어 체제
- [0199] * 서브-표면 또는 캡슐화된 영역의 속성
- [0200] * 탄소 전구체 재료
- [0201] * 탄소 전구체 재료를 지지하는 기판
- [0202] * 레이저 빔이 입사되는 표면에서의 탄화
- [0203] * 어블레이션 레이저 빔 또는 제2 레이저 빔
- [0204] * 탄소 품
- [0205] 다음의 선택적 특징 중 어느 하나 이상은 어느 하나 이상의 다른 호환 가능한 선택적 특징 및 본 명세서에 나열된 다른 '특징'(예를 들어, 특징 A 내지 K) 중 어느 하나 이상과 각각 결합될 수 있다는 점에 유의한다.
- [0206] 위에서 설명된 레이저 기반 제조 공정은 기존 CVD 공정에 비해 많은 장점을 가지고 있다; 이를 다음의 선택적 특징으로 나열할 수 있다:
- [0207] * 실온 공정이다.
- [0208] * 상압(ambient pressure) 공정이다.
- [0209] * 플라스틱 기판에서 수행될 수 있다(실리콘 칩 제조만이 아니라 모든 제조 공정과 호환 가능).
- [0210] * 촉매 없이 수행될 수 있다.
- [0211] * 플라스틱 기판 위에 약 50 μm 두께의 탄소 품 1cm²을 제조하는 데 약 2분 이하가 소요된다.
- [0212] * 3D 탄소 품이 플렉서블 기판에 생성되도록 한다.
- [0213] * 그래핀이나 그래핀 산화물 전구체가 필요하지 않다.

- [0214] * 탄소 전구체 재료의 임의의 표면이 아닌 탄소 전구체 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에서만 탄소 폼 재료를 생성한다.
- [0215] * 산업 표준, 저비용 및 확장 가능한 (i) 스크린 인쇄 기술과 (ii) 컴퓨터 제어식 레이저 주사 기술의 조합을 사용한다.
- [0216] * 고속, 대용량 릴-투-릴(reel-to-reel) 또는 릴-투-시트(reel-to-sheet) 생산에 적응될 수 있다.
- [0217] 제1 레이저 빔 파라미터 및 제어 체제는 탄소 폼 생산에 중요하다; 여기서는 관련 선택적 기능을 정의한다:
- [0218] * 서브-표면 또는 캡슐화된 영역을 조사하는 레이저 빔의 파라미터에는 세기, 파장, 펄스 주파수, 펄스 지속 시간, 펄스 프로파일, 주사 속도, 초점 거리, 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에서 생성되는 열 중 하나 이상이 포함된다.
- [0219] * 레이저 파라미터를 변경하면 탄소 폼 재료 특성이 변경되어, 다양한 응용 분야에 최적화된 특성을 갖는 탄소 폼이 생산되도록 한다.
- [0220] * 레이저 파라미터를 변경하면 다음과 같은 탄소 폼 재료 특성 또는 파라미터 중 하나 이상이 변경된다: 결합 크기, 결합 분포, 결합 범위, 결합 유형, 라만 D 및 2D 피크, 라만 D 및 2D 피크의 상대적 크기, 두께 또는 깊이, 유연성, 접착력, 다공성, 전기 전도성, 정전용량, 유기 용매 및 수성 용액의 흡수, 친수성, EMI 차폐, 전극 품질, 습윤성, 접촉각, 방오성.
- [0221] * 레이저 빔은 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에서 500 °C보다 높은 온도를 생성하여 탄소 폼을 형성한다.
- [0222] * 레이저 빔은 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에서 약 500 °C 이상의 온도를 생성하여 탄소 폼을 형성한다.
- [0223] * 레이저 펄스 지속 시간은 약 1 ns 내지 10 μs 사이이며, 약 5 x 10⁷ °C/s 내지 2 x 10¹² °C/s 사이의 가열 속도를 제공한다.
- [0224] * 레이저 출력은 일반적인 작동 범위인 8 내지 20 와트(최적은 12W) 내에 있다.
- [0225] * 레이저 초점 거리는 일반적인 작동 범위인 50 mm 내지 400 mm 내에 있다.
- [0226] * 레이저 펄스 주파수는 약 50 kHz 내지 500 kHz 사이이다.
- [0227] * 레이저 펄스 주파수는 대략 1 kHz 내지 2 MHz 사이이다.
- [0228] * 레이저 파장은 약 0.7 μm 내지 2.5 μm 사이이다.
- [0229] * 레이저는 약 9 cm/s 내지 40 cm/s 사이에서 주사된다.
- [0230] * 레이저 빔의 파라미터에는 초점 파라미터가 포함된다.
- [0231] * 레이저 빔의 파라미터에는 회절 파라미터가 포함된다.
- [0232] * 레이저 빔의 파라미터에는 간섭 패턴 파라미터가 포함된다.
- [0233] * 레이저 빔의 초점은 탄소 전구체 재료의 깊이를 통해 이동하여 초점이 통과하는 탄소 전구체의 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에 탄소 폼을 생성한다.
- [0234] * 레이저 빔의 초점은 탄소 전구체 재료의 깊이를 통해 적어도 약 50 μm 이동하여 적어도 두께 50 μm의 탄소 전구체의 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에 탄소 폼을 생성한다.
- [0235] * 레이저 빔의 초점은 탄소 전구체 재료의 깊이를 통해 적어도 약 100 μm 이동하여 적어도 100 μm 두께의 탄소 전구체의 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에 탄소 폼을 생성한다.

- [0236] * 레이저 빔은 탄소 전구체 재료에 걸쳐 측방향으로 주사(예를 들어, 래스터 주사)하거나 이동하여 원하는 패턴을 형성한다.
- [0237] * 레이저 빔은 탄소 전구체 재료에 걸쳐 측방향으로 주사하거나 이동하여 중첩되지 않는 영역 또는 선을 포함하는 원하는 패턴을 형성한다.
- [0238] * 레이저 빔은 필요한 패턴과 깊이의 탄소 폼이 생성될 때까지 탄소 전구체 재료 내에서 다수의 서로 다른 깊이로 배열된 초점 또는 최대 세기로 탄소 전구체 재료에 걸쳐 측방향으로 반복적으로 주사(예를 들어, 래스터 주사)되거나 이동된다.
- [0239] * 레이저 빔은 1.7 mm/s 내지 3550 m/s 사이, 또는 보다 일반적으로는 35 mm/s 내지 350 mm/s 사이의 주사 속도로 주사되며, 주사는 인치당 펄스(PPI) 수가 100 내지 10000(약 220 mm x 180 mm 크기의 개별 폴리이미드 시트 생산과 관련됨)이 되도록 할 수 있다.
- [0240] * 레이저 빔은 탄소 전구체 재료에 의한 흡광도가 실질적으로 없는 파장을 갖는다.
- [0241] * 레이저 빔은 탄소 전구체 재료에 의한 흡광도가 매우 낮은 파장을 가지며, cm당 방사선 흡광도(기본 10)는 50 미만, 20 미만 또는 10 미만이다.
- [0242] * 레이저 빔은 IR 레이저이다.
- [0243] * 레이저 빔은 약 0.7 μm 내지 2.5 μm 사이의 파장을 갖는 IR 레이저이다.
- [0244] * 레이저 빔은 약 0.75 μm 내지 1.40 μm 사이의 파장을 갖는 IR 레이저이다.
- [0245] 탄소 폼이 생성되는 서브-표면 또는 캡슐화된 영역의 속성은 다음과 같은 선택적 특징으로 정의할 수 있다:
- [0246] * 기존 그래핀 폼과 달리, 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 두께가 약 50 μm 이상일 수 있다.
- [0247] * 탄소 전구체 재료의 서브-표면 또는 캡슐화된 영역의 원하는 깊이는 해당 깊이를 통해 제1 레이저 빔의 초점을 이동시킴으로써 달성된다.
- [0248] * 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 입사 레이저를 향하는 탄소 전구체 재료의 표면 아래의 서로 다른 깊이에 있을 수 있으며; 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에서의 정확한 깊이는 레이저 세기, 사용된 탄소 전구체 재료 선택 등과 같은 다양한 요인의 함수이다. 예를 들어, 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 탄소 전구체 재료의 표면 아래로 적어도 대략 10 μm , 20 μm , 30 μm , 40 μm , 50 μm 일 수 있다.
- [0249] * 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 대략 10 μm 내지 200 μm 사이의 두께를 가질 수 있다.
- [0250] * 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 레이저 세기, 기타 레이저 파라미터, 사용된 탄소 전구체 재료의 선택 등과 같은 다양한 요인의 함수인 탄소 전구체 재료의 표면 아래 거리에 있다. 예를 들어, 서브-표면 또는 캡슐화된 영역의 상단은 탄소 전구체 재료의 전체 두께의 적어도 1%, 10%, 20%, 30%, 40%만큼 표면 아래에 있을 수 있다.
- [0251] * 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 제1 레이저 빔의 최소 단면의 중간점에 중심을 둔 공간 볼륨이며, 볼륨은 이 중간점의 500 또는 100 마이크론 또는 1 마이크론 이내이다.
- [0252] 탄소 전구체 재료는 다음과 같은 선택적 특징으로 정의될 수 있다:
- [0253] * 탄소 전구체 재료는 실질적으로 열경화성(thermo-setting) 재료로 만들어진다.
- [0254] * 탄소 전구체 재료는 실질적으로 비-열가소성(non-thermo-plastic) 재료로 만들어진다.
- [0255] * 탄소 전구체 재료는 열경화성 필름이다.
- [0256] * 열경화성 필름은 폴리이미드 필름이다.

- [0257] * 탄소 전구체는 폴리이미드 필름이다.
- [0258] * 탄소 전구체는 폴리이미드 필름으로, 제1 레이저의 파장은 $0.7\ \mu\text{m}$ 내지 $2.5\ \mu\text{m}$ 의 범위 내에 있다.
- [0259] * 탄소 전구체는 적어도 50 질량% 탄소, 또는 적어도 75 질량% 탄소, 또는 적어도 90 질량% 탄소이다.
- [0260] * 탄소 전구체는 필름 또는 시트이다.
- [0261] * 탄소 전구체 재료는 플레서블하다.
- [0262] * 탄소 전구체 재료는 스크린 인쇄 층과 같은 인쇄 층이다.
- [0263] * 탄소 전구체 재료는 $5\ \mu\text{m}$ 초과, 또는 $5\ \mu\text{m}$ 내지 $120\ \mu\text{m}$ 사이, 또는 $120\ \mu\text{m}$ 초과 두께를 갖는다.
- [0264] * 탄소 전구체 재료는 실질적으로 평면형이거나 편평하며 제1 레이저 빔에 수직으로 배향된다.
- [0265] * 탄소 전구체 재료는 동질(homogeneous)이다.
- [0266] * 탄소 전구체 재료는 이질(heterogenous)이며 여러 서로 다른 재료를 포함한다.
- [0267] * 탄소 전구체는 탄소 전구체로 만들어지지 않은 기관에 지지된다.
- [0268] * 제1 레이저 빔 파장에서 탄소 전구체 재료의 흡수 계수가 낮다.
- [0269] * 제1 레이저 빔에 대한 탄소 전구체 재료의 흡수 계수는 $50\ \text{cm}^{-1}$ 미만, 또는 $20\ \text{cm}^{-1}$ 미만, 또는 $10\ \text{cm}^{-1}$ 미만이다.
- [0270] * 제2 또는 어블레이션 레이저 빔에 대한 탄소 전구체 재료의 흡수 계수(아래 그룹 3 특징 참조)는 $300\ \text{cm}^{-1}$ 미만이다.
- [0271] * 제2 또는 어블레이션 레이저 빔에 대한 탄소 전구체 재료의 흡수 계수는 $300 \pm 50\ \text{cm}^{-1}$ 이다.
- [0272] * 탄소 전구체 재료는 $1.0\ \text{W/mK}$ 미만의 열 전도도(ASTM D5470에 따른 방법 사용)를 갖는다.
- [0273] * 탄소 전구체 재료는 $0.5\ \text{W/mK}$ 미만의 열 전도도(ASTM D5470에 따른 방법 사용)를 갖는다.
- [0274] * 탄소 전구체 재료는 제1 및/또는 제2 레이저 빔의 파장 또는 파장들에서 실질적으로 광학적으로 투명한 기관 위에 장착된다.
- [0275] * 탄소 전구체 재료 탄소원은 하나 이상의 폴리머로 형성되거나 이를 포함한다.
- [0276] * 탄소 전구체 재료는 다음 재료 중 하나 이상을 포함한다: 폴리이미드(예를 들어, 폴리(4,4'-옥시디페닐렌-피로멜리티미드), 그렇지 않으면, 폴리이미드로 알려짐), 폴리에테르이미드(PEI), 폴리(메틸 메타크릴레이트)(PMMA)(예를 들어, 스프레이 코팅 PMMA), 폴리우레탄(PU), 폴리에스테르, 비닐 폴리머, 탄화 폴리머, 포토레지스트 폴리머, 알키드, 요소-포름알데히드.
- [0277] * 탄소 전구체는 다음 재료 중 하나 이상을 포함한다: 폴리(아믹산)(예를 들어 아릴 함유 폴리(아믹산))(예를 들어 폴리(피로멜리트산 이무수물-co-4,4'-옥시디아닐린), 아믹산 - 그렇지 않으면 폴리아믹산으로 알려짐); 이무수물(예를 들어 아릴 이무수물)(예를 들어 피로멜리트산 이무수물); 상기 폴리(아믹산)의 유도체; 상기 이무수물의 유도체(예를 들어 피로멜리트산 이무수물의 유도체).
- [0278] * 탄소 전구체는 다음 재료 중 하나 이상을 포함한다: 방향족 재료(예를 들어, 방향족 폴리머); 헤테로방향족 재료(예를 들어, 헤테로방향족 폴리머); 방향족 모이어티를 함유한 폴리머; 헤테로사이클릭 재료(예를 들어, 헤테로사이클릭 모이어티를 함유한 폴리머); 헤테로방향족 재료(예를 들어, 헤테로방향족 모이어티를 함유한 폴리머).

- [0279] * 탄소 전구체는 방향족 결합 또는 헤테로방향족 결합 또는 헤테로 결합(예를 들어, 이미드 결합) 중 하나 이상을 함유하는 재료를 포함한다.
- [0280] 기관은 탄소 전구체가 포지셔닝되는 표면을 나타내는 재료로 생각될 수 있다; 기관의 특정 재료, 두께 및 특성은 응용 분야에 의해 결정된다: 예를 들어, 일부 센서의 경우, 기관은 얇고 플렉서블한 플라스틱 멤브레인일 수 있고; 기타 응용 분야의 경우, 기관은 전자 회로부가 장착될 수 있는 견고한 폴리이미드 보드일 수 있다. IR 레이저는 탄소원을 직접 조사할 수 있다; 대안적으로, IR 레이저로부터의 방사선은 탄소원에 도달하기 전에 먼저 기관을 통과할 수 있으며, 이 경우 두 가지 대안적인 시나리오가 있다: 첫째, 기관은 IR 방사선에 대해 실질적으로 투명하며 탄소 폼 형성 메커니즘은 위에 설명된 바와 같다. 그러나 두 번째 시나리오에서, 기관은 IR 방사선에 대해 실질적으로 불투명하다: 그런 다음, 기관에서 탄소 전구체 재료로의 신속한 열 전달은 먼저 기관과의 경계층에 무질서한 비정질의 비-그래핀 층을 생성한 다음, 탄소 폼은 탄소 전구체 재료 내부의 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에 형성된다.
- [0281] 탄소 전구체 재료가 포지셔닝되고 지지될 수 있는 기관은 다음과 같은 선택적 특징에 의해 정의될 수 있다:
- [0282] * 기관은 플라스틱 본체, 필름 또는 포일(foil)이다.
- [0283] * 기관은 플렉서블하다.
- [0284] * * 기관은 폴리이미드 회로 보드이다.
- [0285] * 기관은 매우 낮은 제1 레이저 빔의 흡광도를 갖는다.
- [0286] * 기관은 제1 레이저 빔의 파장 또는 파장들에서 실질적으로 광학적으로 투명하다.
- [0287] * 기관은 제1 레이저 빔의 높은 흡광도를 가지며, 제1 레이저 빔의 60% 이상을 흡수한다.
- [0288] * 기관은 제1 레이저 빔의 높은 흡광도를 가지며, 제1 레이저 빔의 60% 이상을 흡수하며, 적어도 10 W/mK의 열 전도도를 갖는다.
- [0289] * 탄소 전구체 재료의 표면은 레이저 빔에 의해 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질로 변환되고, 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질은 기관에 접착 또는 결합되어 기관에 3D 탄소 재료 폼을 간접적으로 부착한다.
- [0290] * 기관은 다음 중 하나 이상으로 형성된다: 실리콘(Si), 이산화규소(SiO₂), 질화갈륨(GaN), 비화갈륨(GaAs), 산화아연(ZnO).
- [0291] * 기관은 실리콘 웨이퍼이다.
- [0292] * 기관은 이산화규소 웨이퍼이다.
- [0293] * 기관은 실리콘과 이산화규소를 모두 포함하는 웨이퍼이다.
- [0294] * 기관은 탄소원이다.
- [0295] * 기관은 탄소원(예를 들어 금속, 유전체 재료, 스크린 인쇄 유전체 재료)이 아니다.
- [0296] * 탄소 전구체는 기관 '위'에 포지셔닝된다(예를 들어, 탄소 전구체는 기관보다 레이저원(laser source)에 더 가깝게 포지셔닝됨).
- [0297] * 탄소 전구체는 기관 '아래'에 포지셔닝된다(예를 들어, 탄소 전구체는 기관보다 레이저원에서 더 멀리 포지셔닝됨).
- [0298] 레이저 빔이 입사되는 표면의 탄화는 다음과 같은 선택적 특징으로 정의될 수 있다:
- [0299] * 탄소 전구체 재료의 표면은 제1 레이저 빔에 의해 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질로 변환된다.

- [0300] * 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질은 탄소 전구체 재료의 총 두께의 약 1%, 또는 약 1% 미만, 또는 약 5% 미만, 또는 약 10% 미만인 인접한 탄소 전구체 재료 표면 아래의 두께를 차지한다.
- [0301] * 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질은 적어도 10 μm 인 탄소 전구체 재료의 표면 아래 거리로 확장된다.
- [0302] * 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질은 외부 표면에서 탄소 전구체 재료의 본체 내부로 10 μm 이하의 깊이, 또는 20 μm 이하의 깊이, 또는 30 μm 이하의 깊이, 또는 40 μm 이하의 깊이, 또는 50 μm 이하의 깊이, 또는 100 μm 이하의 깊이로 확장된다.
- [0303] 어블레이션 레이저 빔 또는 제2 레이저 빔은 다음의 선택적인 특징에 의해 정의될 수 있다:
- [0304] * 레이저 빔의 파라미터에는 세기, 파장, 펄스 지속 시간, 펄스 프로파일, 주사 속도, 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에서 생성된 열 중 하나 이상이 포함된다.
- [0305] * 레이저 파라미터를 변경하면 탄소 폼 재료 특성이 변경되어, 다양한 응용 분야에 최적화된 특성을 갖는 탄소 폼이 생산되도록 한다.
- [0306] * 레이저 파라미터를 변경하면 다음과 같은 탄소 폼 재료 특성 또는 파라미터 중 하나 이상이 변경된다: 존재하는 탄소 나노구조의 유형(예를 들어, 탄소 나노-어니언 등), 결합 크기, 결합 분포, 결합 범위, 결합 유형, 라만 D 및 2D 피크, 라만 D 및 2D 피크의 상대적 크기, 두께 또는 깊이, 유연성, 접착력, 다공성, 전기 전도성, 정전용량, 유기 용매 및 수성 용액의 흡수, 친수성, EMI 차폐, 전극 품질, 습윤성, 접착각, 방오성.
- [0307] * 탄소 전구체의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역 위에 형성된 비정질의 비-그래핀 물질을 어블레이트하는 레이저 빔('제2 레이저 빔')은 CO₂ 레이저이다.
- [0308] * 제2 레이저 빔은 탄소 폼을 노출하는 공정의 일부로 탄소 폼을 변경한다.
- [0309] * 제2 레이저 빔은 탄소 폼을 노출하는 공정의 일부로 탄소 폼의 형태를 변경한다.
- [0310] * 제2 레이저 빔은 동일한 영역 및/또는 중첩 영역 및/또는 중첩되지 않는 영역에 걸쳐 주사(예를 들어, 래스터 주사)되도록 자동으로 제어된다.
- [0311] * 비정질의 비-그래핀 물질을 어블레이트하는 레이저 빔의 파장은 8 μm 내지 15 μm 사이이다.
- [0312] * 제2 레이저 빔은 긴 IR 레이저 또는 UV 레이저 또는 가시광선 레이저이다.
- [0313] * 제2 레이저 빔은 50 kHz 내지 500 kHz 사이의 펄스 주파수 및 9 cm/s 내지 40 cm/s 사이의 주사 속도를 갖는다.
- [0314] * 탄소 전구체 재료의 흡수 계수는 제2 레이저 빔의 경우 100 cm^{-1} 이상이거나, 제2 레이저 빔의 경우 200 cm^{-1} 이상이다.
- [0315] * 제2 레이저 빔의 경우 탄소 전구체 재료의 흡수 계수는 $300 \pm 50 \text{ cm}^{-1}$ 이다.
- [0316] * 레이저 출력은 일반적인 작동 범위인 8 내지 20 와트(최적은 12W) 내에 있음.
- [0317] * 레이저 초점 거리는 일반적인 작동 범위인 50 mm 내지 400 mm 내에 있다.
- [0318] * 제2 레이저 빔은 중첩되지 않는 영역이나 선을 포함하는 패턴으로 주사된다.
- [0319] * 제2 레이저 빔은 제1 레이저 빔의 주사 패턴과 일치하는 패턴으로 주사된다.
- [0320] * 제2 레이저 빔은 디포커싱된다.
- [0321] * 제조 공정은 다음의 단계를 포함하는 3-단계 공정이다: (a) 제1 레이저 빔이 제조 현장에서 탄소 전구체 재료

의 서브-표면 영역을 조사하여 미완성 탄소 폼 제품을 생산하는 단계; (b) 미완성 탄소 폼 제품이 고객 제어식 제조 현장으로 전달되는 단계; 및 (c) 고객 제어식 제조 현장에서 레이저 어블레이션 또는 처리가 일어나는 단계.

[0322] 탄소 폼은 다음과 같은 선택적 특징으로 정의될 수 있다:

[0323] * 탄소 폼은 두께가 적어도 50 μm 이다.

[0324] * 탄소 폼은 두께가 50 μm 내지 300 μm 사이이다.

[0325] * 탄소 폼은 트위스트 또는 터보스트래틱 다층 폼이거나 이를 포함한다.

[0326] * 탄소 폼은 높은 전기화학적 반응성으로 이어지는 결합의 공간적 분포를 갖는 탄소 폼이거나 이를 포함한다.

[0327] * 탄소 폼은 높은 전기화학적 반응성으로 이어지는 공극 위치 기저면 결합을 갖는 탄소 폼이거나 이를 포함한다.

[0328] * 탄소 폼의 탄소:산소 비율은 25:1 내지 50:1 사이이다.

[0329] * 탄소 폼은 빠른 전자 이동 상수를 갖는다.

[0330] * 탄소 폼은 다음과 같은 특성 중 하나 이상을 갖는다

[0331] 쉽게 제어되는 두께 또는 깊이

[0332] 기존 레이저 공정을 사용하여 제조된 매우 부서지기 쉬운 그래핀에 비해 더 큰 유연성

[0333] o 하부 플렉서블 기판에 대한 강한 접착력

[0334] o 높은 다공성

[0335] o 높은 전기 전도성

[0336] o 증가된 정전용량 또는 전하 저장

[0337] o 유기 용매 및 수성 용액의 빠른 흡수

[0338] o 더 높은 친수성

[0339] o 높은 EMI 차폐

[0340] o 향상된 전극 품질

[0341] o 접촉각은 약 20° 이하

[0342] * 탄소 폼의 특성은 다음과 같은 원하는 특성 또는 파라미터 중 하나 이상을 갖는 탄소 폼 재료를 생성하기 위해 특정 레이저 파라미터를 선택함으로써 선택된다: 결합 크기, 결합 분포, 결합 범위, 결합 유형, 라만 D 및 2D 피크, 라만 D 및 2D 피크의 상대적 크기, 두께 또는 깊이, 유연성, 접착력, 다공성, 전기 전도성, 정전용량, 유기 용매 및 수성 용액의 흡수, 친수성, EMI 차폐, 전극 품질, 습윤성, 접촉각, 방오성.

[0343] 그룹 3: 제품

[0344] 특징 L1: 바이오센서

[0345] 위에서 설명된 듀얼 레이저 방법으로 제조된 탄소 폼은 많은 다양한 유형의 센서에 걸쳐 광범위하게 적용된다. 단순화를 위해, 본 특징 L에서 '탄소 폼'이라는 문구를 사용하여 본 명세서에 설명된 방법으로 제조된 임의의 탄소 폼 또는 3D 탄소 재료 폼을 지칭한다. 부록 1에는 이 영역에 대한 자세한 내용이 포함되어 있으며, 타겟 또는 분석 물질에 특정한 수용체를 추가하여 기능화된 탄소 폼을 포함하는 바이오센서와 수용체가 탄소 폼에 간접적으로 부착될 수 있도록 하는 링커(linker)를 더 자세히 설명한다; (일부 수용체는 표면과 접촉할 때 안정성이 좋지 않아 탄소 폼에 직접 부착될 수 없다; 대신 링커를 탄소 폼과 수용체 사이의 매개체로 사용되어야 한다. 제조 동안, 링커는 먼저 탄소 폼에 추가된 다음, 수용체가 링커에 추가된다).

- [0346] 바이오센서 응용 분야의 경우, 기능화된 탄소 폼은 기존 그래핀 폼에 비해 다음의 장점이 있다: 더 높은 전자 이동 속도; 더 큰 검출 감도; 더 큰 전기화학적 활성 영역; 더 큰 재현성; 더 낮은 비용; 대략 20° 이하의 접촉 각으로 향상된 습윤성.
- [0347] 높은 레벨에서, 기능화된 탄소 폼은 감지 가능한 상태 변화를 생성하는 능력 때문에 센서에 유용하다; 높은 감도는 넓은 표면적의 함수이다. 특정 화학 물질, 특정 가스, 기계적 응력 및 온도뿐만 아니라 기타 변수를 검출하는 데 사용할 수 있다. 각 카테고리를 간략하게 살펴보겠다.
- [0348] 첫째, 화학 센서: 화학 검출 시스템은 타겟 화학 물질이 있을 때 탄소 폼의 전기적 반응을 검출하는 데 의존한다; 정전용량, 전기 저항, 전압전류법, 산화환원 전위 및 전하 이동 저항에 있어서의 변화와 같은 많은 다양한 검출 원리가 사용될 수 있다.
- [0349] 예를 들어, 특정 분석 물질이나 타겟이 탄소 폼에 결합할 때, 탄소 폼의 표면이 변형되기 때문에 해당 결합이 검출될 수 있다. 특정 항체 또는 압타머(aptamer)(압타머는 단백질, 펩타이드, 탄수화물, 소분자, 독소 및 살아 있는 세포를 포함하여, 특정 타겟에 선택적으로 결합할 수 있는 짧은 단일 가닥 DNA 또는 RNA 분자임)와 같은 생체분자가 탄소 폼에 추가된다. 타겟이 존재하고 압타머에 결합할 때, 압타머의 형태가 변경되고(예를 들어, 표면적 감소) 결합된 탄소 폼과 압타머 시스템의 정전용량이 측정 가능하게 감소한다.
- [0350] 매우 민감하고 선택성이 높은 센서는 이 원리를 사용하여 구축될 수 있다; 측정 가능한 변수(예를 들어 정전용량)가 정량적으로 감소하므로, 탄소폼과 압타머 바이오센서뿐만 아니라 슈퍼커패시터 또는 탄소 폼을 그 전극으로 사용하는 기타 에너지 저장소, 및 변수를 측정하고, 바이오센서 출력을 계산하고, 해당 출력을 LOC의 스크린 상에 디스플레이하는 회로부(예를 들어, 타겟의 존재 여부; 타겟의 농도)와 같은 LOC 상의 전력원 포함하는 LOC(laboratory on chip)를 구축하는 것이 가능하다; 특정 03(Gii-Sens의 경우 Gii-Thru: HISLOC)는 이에 대해 자세히 설명한다.
- [0351] 탄소 폼 센서는 또한 타겟의 산화환원 전위를 측정할 수 있다; 예를 들어, 타겟 화학물질의 산화가 탄소 폼에 추가된 특정 촉매에 의해 촉매되는 곳에서 전류 피크가 검출될 수 있다; 전류는 일반적으로 타겟 화학물질의 농도 함수이므로 타겟 농도의 정량적 측정이 가능하다.
- [0352] 특정 화학물질을 검출하기 위한 열 전도도 측정, 온도를 추론하기 위한 전기 저항 측정, 특정 화학물질의 존재 시 물리적 모핑 또는 변형, 모션 검출을 위한 압저항 변형과 같은 기존 그래핀 센서에 적용되었던 다른 기술은 위에서 설명한 듀얼 레이저 방법으로 제조된 탄소 폼 센서에 모두 적용될 수 있다.
- [0353] 듀얼 레이저 방법으로 생산된 탄소 폼의 매우 넓은 전기화학적 활성 영역과 빠른 전자 이동 속도를 활용하는 중요한 응용 분야는 바이오센싱에 최적화된 전기 분석 감지 전극(구현을 'Gii-Sens'라고 함)이다.
- [0354] 예를 들어 현장 진단 장치(care diagnostic device)의 관점에서 사용될 수 있다; 감지 전극은 매우 높은 감도, 신뢰성, 순도, 습윤성 및 전도성을 갖는다.
- [0355] 도 20a는 Gii-Sens라고 하는 바이오센서의 사시도이다. 조립체는 폴리이미드 기판(201); Gii 탄소 폼으로 만들어진 작업 전극(202); Gii 탄소 폼으로 만들어진 상대 전극(203); 스크린 인쇄 은-염화은으로 만들어진 기준 전극(204); 3개의 스크린 인쇄된 은 연결 트랙(205); 및 스크린 인쇄 유전층(206)으로 구성된다.
- [0356] 도 20b 내지 20d는 네 가지 주요 제조 단계를 도시한다. 도 20b는 듀얼 레이저 공정이 폴리이미드 기판(201)을 전구체로 사용하여 Gii 탄소 폼 작업 전극(202)(면적은 18.94 mm^2 임)과 상대 전극(203)(면적은 20.84 mm^2 임)을 생성하는 단계 1을 도시한다.
- [0357] 도 20c는 은-염화은 기준 전극(204)(면적은 8.99 mm^2 임)이 폴리이미드 기판(201) 위에 스크린 인쇄되는 단계 2를 도시한다.
- [0358] 도 20d는 은 연결 트랙(205)이 폴리이미드 기판(201) 상에 스크린 인쇄되는 단계 3을 도시한다; 이들은 전기 접촉 영역(207)에서 탄소 폼 전극과 중첩된다. 은 트랙 면적은 $1 \times 18.85 \text{ mm}^2$ 이고 3개의 경우 $3 \times 56.55 \text{ mm}^2$ 이다. 하부 탄소 폼 전극과 중첩되는 면적은 $1 \times 2.21 \text{ mm}^2$ 이고, 3개의 경우 $3 \times 6.63 \text{ mm}^2$ 이다.
- [0359] 도 20e는 유전층(206)이 탄소 폼 전극(202, 203, 204) 및 은 연결 트랙(205) 위에 스크린 인쇄되는 단계 4를 도시한다. 전극의 활성 영역은 다음과 같다: 작업 전극(202): 12.64 mm^2 ; 상대 전극(203): 14.18 mm^2 ; 기준 전극

(204): 2.59 mm^2 . 은 연결 트랙(205)의 노출된 면적은 $1 \times 7.15 \text{ mm}^2$ 및 $2 \times 21.45 \text{ mm}^2$ 이다.

- [0360] 도 20f는 100개의 탄소 폼 작동 전극 및 상대 전극의 어레이가 위에서 설명된 단계 1 듀얼 레이저 공정을 사용하여 생성된 단일 폴리이미드 시트를 도시한다. 시트는 표준 스크린 인쇄 및 레이저 주사 장비로 처리할 수 있는 표준 유형의 폴리이미드 시트($220 \text{ mm} \times 180 \text{ mm}$)이다; A5 크기 또는 임의의 기타 적합한 크기일 수 있다.
- [0361] 도 20g 및 20h는 단계 4가 완료된 후 시트의 최종 형태를 도시한다. 100개의 개별 유닛을 절단되어 100개의 완성된 Gii-Sens 바이오센서로 조립될 수 있다.
- [0362] Gii-Sens 감지 전극에 대한 한 가지 구체적인 사용 사례는 전기화학적 포도당 모니터링을 위한 가역적 폴리머 변위 센서 메커니즘이다. 이 사용 사례를 위한 그래핀 센서가 제안되었다: Wikeley 등의 'Polymer indicator displacement assay: electrochemical glucose monitoring based on boronic acid receptors and graphene foam competitively binding with poly-nordihydroguaiaretic acid' DOI: 10.1039/d1an01991k을 참조한다. 이 논문에서는 포도당에 대한 피렌 유도 보론산 화학 수용체가 그래핀 폼 전극에 흡착되는 것을 설명한다. 그래핀 폼 전극에 대한 노르디히드로구아이레틱산(NHG)의 자발적 산화 중합은 보론산 수용체에 공유적으로 부착된 산화 환원 활성 필름(폴리-NHG)을 생성한다. 폴리-NHG의 산화는 보론산 수용체가 용액상에서 포도당과 상호작용하도록 자유롭게 하며, 이는 환원된 폴리-NHG가 보론산 작용기에 재결합할 때 경쟁적 결합으로 인해 검출된다. 센서는 과당 포도당의 예상되는 보론산 선택성을 보여준다. 결합되지 않은 폴리-NHG와 결합된 폴리-NHG에 대한 전압 전류 피크 아래의 전하 비율은 수성 pH 7 완충 용액에서 1 내지 50 mM 포도당의 대략 선형 분석 범위를 사용하여 포도당 감지에 사용된다.
- [0363] Gii-Sens 감지 전극 구현은 그래핀 센서와 같은 전류 감지 전극에 비해 많은 장점을 가지고 있다:
- [0364] * 무증폭, 무효소, 무표지 전기화학적 바이오센싱을 사용하여 검출 한계를 낮춤.
- [0365] * 재현성 향상
- [0366] * 유용한 동적 범위 최적화
- [0367] * 배경 소음을 최소화
- [0368] * 프로토콜 시간 및 동작 감소
- [0369] * 저비용 제조를 위해 확장 가능
- [0370] * 높은 감도와 선택성
- [0371] * 정량적 디지털 결과 제공
- [0372] * 특정 패턴(예를 들어, 깎지형(interdigitated) 패턴)으로 인쇄될 수 있어, 소형화되고 집적화된 장치를 가능하게 한다.
- [0373] * 성능 품질을 손상시키지 않고 기존 생체 인식 및 테스트 형식(예를 들어, ELISA, PCR, RT-PCR)을 전기화학적 미세유체 POC로 변환할 수 있다.
- [0374] * 임피던스 기반 측정은 매우 높은 감도, 신뢰성 및 매우 낮은 배경 신호 간섭으로 이루어질 수 있다.
- [0375] * 비용이 많이 드는 대규모 실험실 테스트 및 저감도 측면 흐름 테스트를 대체한다.
- [0376] * 미세유체 분석(단일 또는 다중 타겟) 및 LOC(Lab-on-a-chip) 장치에서 구현될 수 있다.
- [0377] * 사용자가 관심 있는 (생체)분자를 고정시키려는 모든 센서 응용 분야에 사용할 수 있다(예를 들어, 카르복실/n-히드록시숙신이미드모이어티는 센서 표면에 추가되어 후속 고정화 접합 화학 반응을 위한 플랫폼을 제공할 수 있음).
- [0378] * 다음과 같은 광범위한 진단에 걸쳐 사용될 수 있다: POC(point of care) 인간 및 동물 건강, 식품 안전, 현장

환경 건강 및 안전, 농업 건강 및 안전 등 - 순수하고 높은 비표면적 덕분에 바이오센싱에 대한 감도, 선택성 및 재현성이 모두 향상되었다.

[0379] * 습윤성(예를 들어, 약 20° 미만의 접촉각) 향상

[0380] * 방오성 특성 향상

[0381] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0382] 바이오센서를 제조하는 방법은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 포함하는 감지 전극을 포함한다.

[0383] **특징 L2:스크린 인쇄 기술을 사용한 탄소 폼 바이오센서의 확장 가능한 저비용 제조**

[0384] 위에서 스크린 인쇄가 제조 공정에서 광범위하게 사용되는 방법을 확인했다: 이는 잘 알려져 있고, 확장 가능하며, 예측 가능하고, 저렴한 기술이다. Gii-Sens 탄소 폼 바이오센서에 대한 자세한 제조 공정은 도 21에 도시되어 있다.

[0385] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0386] 작동 전극, 상대 전극과 같은 센서 전극을 포함하는 바이오센서를 제조하는 방법은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 각각 포함하며, 상기 방법은 각 전극 위에 전기 연결 트랙을 스크린 인쇄하고 스크린 인쇄 유전체로 전극과 연결 트랙을 적어도 부분적으로 덮는 단계를 포함한다.

[0387] 선택적 특징에는 다음이 포함된다:

[0388] * 단계 1에서 듀얼 레이저 공정이 PI 기판을 전구체로 사용하여 탄소 폼 작동 전극 및 상대 전극을 생성하는, 위에서 정의된 방법.

[0389] * 단계 2에서 은-염화은 전극과 같은 기준 전극이 PI 기판 상에 스크린 인쇄되는, 위에서 정의된 방법.

[0390] * 단계 3에서 은 트랙과 같은 연결 트랙이 탄소 폼 전극과 중첩되도록 PI 기판 상에 스크린 인쇄되는, 위에서 정의된 방법. 주의: 단계 2와 단계 3의 순서는 바뀔 수 있다.

[0391] * 단계 4에서 유전층이 탄소 폼 전극과 은 연결 트랙 중 적어도 일부 위에 스크린 인쇄되는, 위에서 정의된 방법.

[0392]

[0393] 기타 양태는 다음과 같다:

[0394] 바이오센서는 작동 전극 및 상대 전극과 같은 센서 전극을 포함하며, 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어지고, 스크린 인쇄 트랙에 각각 전기적으로 연결되며 또한 스크린 인쇄 유전체로 적어도 부분적으로 덮인 탄소 폼을 각각 포함한다.

[0395] 현장 진단 장치는 위에서 정의된 바이오센서를 포함한다.

[0396] **특징 L3:서로 다른 제조 시설의 바이오센서에 기능화된 그룹 추가**

[0397] Gii-Sens 바이오센서의 경우, 바이오센서는 한 시설에서 제조되지만, 고객은 생체분자가 서로 다른 시설(일반적으로 자체 시설)에 부착될 수 있는 기능화된 그룹을 추가하며, 따라서 이러한 기능화된 그룹의 개발 및 테스트 속도를 높이고 또한 이러한 기능화된 그룹의 영업 비밀과 노하우 및 바이오센서의 최종 설계를 보호한다.

[0398] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0399] 하나의 제조 시설에서, 작동 전극, 상대 전극과 같은 센서 전극을 포함하는 바이오센서를 제조하는 방법은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나로 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 각각 포함하며, 상기 방법은 서로 다른 제조 시설에서, 기능화된 그룹을 작업 전극에 추가하는 추가 단계를 포함한다.

[0400] **L4:바이오센서 생산 공정의 일부로 바이오센서에 기능화된 그룹 추가**

- [0401] Gii-Sens+ 바이오센서의 경우, 제조 공정은 기능화된 그룹을 추가하는 단계를 포함한다. 도 22는 Gii-Sens+에 대한 상세한 제조 공정을 도시한다.
- [0402] 다음과 같이 일반화할 수 있다:
- [0403] 하나의 제조 시설에서 작동 전극, 상대 전극과 같은 센서 전극을 포함하는 바이오센서를 제조하는 방법으로서, 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 각각 포함하며, 상기 방법은 해당 제조 시설에서, 기능화된 그룹을 작동 전극에 추가하는 추가 단계를 포함한다.
- [0404] **L5:PPC(Post Printing Conversion)를 사용한 바이오센서 제조**
- [0405] Gii-Sens 제조 공정의 PPC 변형이 도 23에 도시되어 있다. PPC는 Post Printing Conversion의 약자이며, 스크린 인쇄 단계는 탄소 폼을 생성하기 위한 듀얼 레이저 공정 전에 수행된다. 특정 단계는 다음과 같다:
- [0406] 1. 기판(예를 들어, 폴리이미드)에 스크린 인쇄 탄소 층
- [0407] 2. 스크린 인쇄 Ag/AgCl 기준 전극
- [0408] 3. 스크린 인쇄 Ag 전기 연결 트랙
- [0409] 4. 스크린 인쇄 유전체
- [0410] 4. 듀얼 레이저 공정을 사용하여 기판에 탄소 폼 생성
- [0411] 모든 스크린 인쇄 단계(1 내지 3)는 릴 투 릴 또는 릴 투 시트 공정을 사용하여 수행될 수 있으며, 그런 다음 탄소 폼은 듀얼 레이저 공정을 사용하여 생성되고 그런 다음 재료는 평평하게 유지하고 적층된다.
- [0412] 또한, 공장에서는 제1 레이저 공정(서브-표면 폼 생성)만 수행될 수 있으며, 이는 그런 다음 시트를 고객에게 배송하고 고객은 듀얼 레이저 공정(레이저 어블레이션)의 제2 단계를 수행한다; 고객은 듀얼 레이저 공정의 제1 레이저 공정 단계(또는 두 레이저 공정 단계)가 수행되는 시설과 다른 자체 제조 시설에서 기능화된 그룹을 추가할 수 있다. 대안적으로, 기능화는 듀얼 레이저 공정이 수행되는 시설에서 이루어질 수 있다.
- [0413] 탄소 폼을 생성하기 전 스크린 인쇄에는 장점이 있다: 탄소 폼을 건조하지 않기 때문에 소수성이 없다. 탄소층은 폴리이미드에 형성된 탄소 폼(예를 들어, 탄소 폼 및 비-그래핀의 무질서한 비정질의 폼)과 은 연결 사이의 가교(bridge) 역할을 한다.
- [0414] 다음과 같이 일반화할 수 있다:
- [0415] 작동 전극 및 상대 전극과 같은 센서 전극을 포함하는 바이오센서를 제조하는 방법은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 각각 포함하며, 상기 방법은 (a) 기판 상에 탄소층을 스크린 인쇄하는 단계; (b) 전기 연결 트랙 및 기준 전극을 스크린 인쇄하는 단계; (c) 탄소 및 전기 연결 트랙 및 기준 전극 위에 유전층을 스크린 인쇄하는 단계; 및 그런 다음 (d) 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 공정을 사용하여 탄소 폼 센서 전극을 생성하는 단계를 포함한다.
- [0416] **특징 M1:에너지 저장 장치: 슈퍼커패시터**
- [0417] 특징 A 내지 K 중 어느 하나를 사용하여 제조된 탄소 폼은 전기화학적 활성 영역이 매우 크고 전자 이동 속도가 빠르기 때문에, 커패시터 또는 슈퍼커패시터 또는 의사 커패시터 전극에 이상적인 재료이다.
- [0418] 중요한 응용 분야는 슈퍼커패시터(구현을 'Gii-Cap'이라고 함) 또는 기타 에너지 저장 장치(예를 들어, 리튬 이온 배터리)이다. 슈퍼커패시터 및 기타 전자 응용 분야의 경우, 탄소 폼은 기존 그래핀 폼에 비해 다음의 장점이 있다: 더 큰 표면적; 더 많은 다공성 구조; 더 높은 품질; 더 낮은 시트 저항; 더 높은 습윤성.
- [0419] 탄소 폼은 의사 정전용량을 위한 금속 산화물 또는 기타 의사 용량성 재료, Gii-Cap+라고 부르는 변형(예를 들어, 금속 산화물 층 또는 필름 생성하기 위한)으로 처리될 수 있으며, 해당 금속 산화물 필름은 유난히 큰 표면적과 빠른 표면 패러티 메커니즘을 가지고 있다.
- [0420] Gii-Cap이라는 용어를 사용할 때, Gii-Cap+ 변형을 특별히 제외한다는 것이 문맥상 명시적으로 명확하지 않은 한 Gii-Cap+ 변형이 포함된다는 것에 유의한다. 또한 (i) 전극과 전해질 이온 사이의 상호 작용 없이 전하가 정전기적으로 저장되는 전기 이중층(electric double-layer; EDLC) 커패시터와, 또한 (ii) 전극과 전해질 그리고 전기 이중층 정전용량과 의사 정전용량의 조합을 사용하는 임의의 에너지 저장 장치 사이에 전자 전하 이동이 있는 의사 커패시터 모두를 포함하도록 '슈퍼커패시터'라는 용어를 사용한다는 것에 유의한다. 마지막으로 '슈

퍼커패시터'라는 용어는 EDLC 슈퍼커패시터, 의사 커패시터 및 이들의 하이브리드를 포함한 모든 전기화학적 커패시터를 포괄하도록 광범위하게 해석되어야 한다는 것에 유의한다. Gii-Cap+ 변형은 주로 의사 커패시터이지만, 그럼에도 불구하고 이를 '슈퍼커패시터'라고 한다.

[0421] Gii-Cap 슈퍼커패시터의 탄소 폼 전극은 기존 슈퍼커패시터에 비해 정전 이중층 정전용량과 전기화학적 의사 정전용량을 모두 향상시킨다. 부록 2에서는 슈퍼커패시터에 대한 상세 설명을 제공하고, 하이드로겔 전해질(예를 들어, 높은 물농도 염)이 활성 영역에서 각지형 탄소 폼 전극을 감싸 향상된 동작 전압 윈도우를 생성하는 구현을 설명한다.

[0422]

[0423] EDLC 슈퍼커패시터 Gii-Cap 및 의사 커패시터 Gii-Cap+ 구현은 기존 충전식 배터리에 비해 많은 장점을 가지고 있다:

[0424] * 빠른 충전

[0425] * 고전력

[0426] * 재활용 가능

[0427] * 비폭발성

[0428] * 플렉서블 형태와 모양

[0429] * 실온에서 고체이고 정상 사용 온도(예를 들어, 90 °C)를 훨씬 초과하는 높은 전이 온도를 갖는, 상온에서 고체인 고체 겔 전해질 또는 폴리머 전해질(예를 들어, 이온 겔 또는 하이드로겔)을 사용할 수 있으며; 이는 전해질 누출 위험을 크게 최소화한다.

[0430] LOC(Lab-on-a-Chip), IoT 장치, e-모빌리티, UAV, EV 애플리케이션과 같은 매우 광범위한 장치 및 전력 저장 요구 사항에 걸쳐 사용될 수 있다.

[0431] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0432] 에너지 저장 전극이 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하는 슈퍼커패시터와 같은 에너지 저장 장치.

[0433] **특징 M2: 탄소 폼 슈퍼커패시터의 스크린 인쇄층**

[0434] 도 24는 Gii-Cap 슈퍼커패시터의 분해 사시도이다. 이는 위에 설명된 듀얼 레이저 공정을 사용하여 만들어진 한 쌍의 스크린 인쇄 은 커넥터(242)에 연결된 탄소 폼 전극(241)의 어레이로 구성된다. 유전층(243)은 탄소 폼 전극(241) 및 스크린 인쇄 은 커넥터(242) 위에 스크린 인쇄된다. 탄소 폼 전극(241)은 폴리이미드 베이스층(244) 상에 형성된다. 한 쌍의 구리 연결 탭(245)은 한 쌍의 스크린 인쇄 은 커넥터(242)에 연결된다. 전해질 층(246)은 탄소 폼 전극(241)을 덮는다(예를 들어, 누출 위험을 최소화하기 위해 실온에서 겔 또는 반고체이며, 90 °C 이상에서는 가역적으로 액화되어, 제조 동안 액체로 적용될 수 있는 폴리머 하이드로겔 전해질과 같은 이온 겔 전해질). 조립체는 알루미늄 층상형(aluminium-laminate) 열 밀봉 파우치(247) 내에 밀봉된다.

[0435] 도 25는 슈퍼커패시터 조립체의 분해 사시도이다: 이는 슈퍼커패시터를 형성하는 탄소 폼 전극(241)의 각지형 어레이로 구성된다; 스크린 인쇄 은 커넥터 트랙(242)은 탄소 폼 전극(241)에 전류를 제공하고 전기 절연 유전층(243)으로 덮여 있다. 폴리이미드 시트(244)는 조립체의 베이스를 형성한다.

[0436] 도 26a 내지 h는 제조 시퀀스를 도시한다. 도 26a는 듀얼 레이저 공정을 사용하여 각지형 탄소 폼 전극을 생성하는 단계 1을 도시한다. 도 26b의 확대된 영역은 각지형 탄소 폼 전극을 더 상세하게 도시한다; 그룹 A 전극은 하나의 전극 세트를 형성하고, 그룹 B 전극은 다른 전극 세트를 형성한다; 두 전극 그룹 사이의 용량성 결합은 에너지를 저장한다. 탄소 폼 전극의 대략적인 두께는 20 내지 30 μm 이다.

[0437] 도 26c는 은 콜렉터를 스크린 인쇄하는 단계 2를 도시한다. 하나의 은 커넥터 A'는 그룹 A 전극에 전류를 제공하고, 은 커넥터 B'는 그룹 B 전극에 전류를 제공한다. 은 층의 대략적인 두께는 20 내지 40 μm 이며 여러 층이 적용될 수 있다.

- [0438] '공통 콜렉터' 레이아웃을 사용한다: 일반적인 깎지형 슈퍼커패시터에는 두 개의 긴 은 콜렉터가 있으며, 그래픽 디지털은 긴 은 콜렉터 각각의 한쪽으로부터 확장된다. 긴 은 콜렉터는 길이 때문에 상당한 저항을 나타내며 상당한 양의 은을 사용한다. 또한, 콜렉터의 곡선 부분을 인쇄하는 것은 어렵다. 도 26d에 도시된 '공통 콜렉터' 접근 방식에는, 공유 콜렉터(242)의 양쪽 측면으로부터 확장된 탄소 폼 디지털 C가 있다: 이는 디지털의 공간 활용도 및 그에 따른 정전용량을 최대화하고, 필요한 콜렉터 재료의 양을 줄이고 해결하기 어려운 곡선형 콜렉터 부분을 제거한다.
- [0439] 공통 콜렉터에 연결되는 탄소 폼 디지털의 영역(250)은 라운딩 에지를 갖는다; 이는 응력 균열이 발생할 가능성을 줄이고 전기 연결의 신뢰성을 높인다.
- [0440] 도 26f는 전기적으로 절연시키기 위해 은 콜렉터 위에 유전층(243)을 스크린 인쇄하는 단계 3을 도시한다; 대략적인 두께는 10 내지 30 μm 이다.
- [0441] 도 26g는 구리 연결 탭(245)(전도성 금속 테이프로 만들어짐)을 추가하여 은 콜렉터(242)에 연결하는 단계 4를 도시한다. 도 26h는 깎지형 탄소 폼 디지털 위에 전해질 층(246)을 증착시키는 단계 5를 도시한다. 전해질은 하이드로겔과 염의 조합일 수 있다(부록 2 참조). 도 26i는 전체 조립체를 알루미늄 층상형 열 밀봉 파우치(247)에 패키징하고, 구리 연결 탭(245)만 노출된 상태로 두는 단계 6을 도시한다. 또한 구리 연결 탭(245)을 추가하는 단계 4는 단계 2(은 콜렉터를 스크린 인쇄하는 단계) 이전에 수행될 뿐만 아니라, 깎지형 탄소 폼 디지털 위에 전해질 층(246)을 증착하는 단계 5 이후에 수행될 수 있다는 점에 유의한다.
- [0442] 도 27은 단일 폴리이미드 시트가 220 mm x 180 mm 크기의 이러한 Gii-Cap 조립체 중 6개를 수용하는 방법을 도시한다; 다른 크기(예를 들어, A4, A5, A6 또는 A 시리즈 표준 크기와 다른 크기)도 가능하다.
- [0443] 자세한 Gii-Cap 제조 공정이 도 28에 도시되어 있다.
- [0444] 하이드로겔 전해질을 사용한 Gii-Cap 슈퍼커패시터의 한 생산 실행에 대한 사양은 아래 표 3에 나와 있다.

표 3

[0445]	설명	EDL 슈퍼커패시터
	형식	A7 V4
	전압 윈도우	2.5V
	정전용량	4.06 $\pm$ 0.10 mF (65 mA에서 측정됨)
	등가 직렬 저항	0.77 $\pm$ 0.04 Ω
	시간 상수	0.016 $\pm$ 0.001 초
	에너지	0.0033 $\pm$ 0.0001 mWh (65 mA에서 측정됨)
	출력	355.77 $\pm$ 9.11 mW (390 mA에서 측정됨)
	피크 출력	2.03W
	N	6

- [0446] 다음과 같이 일반화할 수 있다:
- [0447] 에너지 저장 전극이 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하고;
- [0448] 스크린 인쇄 전기 연결 트랙이 각 전극의 적어도 일부 위에 형성되고 스크린 인쇄 유전층이 전극과 연결 트랙을 적어도 부분적으로 덮는, 슈퍼커패시터와 같은 에너지 저장 장치.
- [0449] **특징 M3:탄소 폼 슈퍼커패시터: 공통 콜렉터**
- [0450] 위에서 '공통 콜렉터'가 사용되는 방법을 확인했다.
- [0451] 다음과 같이 일반화할 수 있다:
- [0452] 슈퍼커패시터와 같은 에너지 저장 장치로서, 에너지 저장 전극은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어지고 깎지형 패턴으로 배열된 탄소 폼 재료를 포함하며;
- [0453] 스트린 인쇄 전기 연결 트랙은 각 전극의 적어도 일부 위에 형성되고, 단일 전기 연결 트랙은 전기 연결 트랙의 양쪽 측면으로부터 수직으로 확장되는 하부 디지털에 연결된다.

[0454] **특정 M4:탄소 폼 슈퍼커패시터: PPC 제조 공정**

[0455] PPC(Post Printing Conversion)은 도 29에 도시된다. 단계는 다음과 같다:

[0456] 1. 기관(예를 들어, 폴리이미드)에 인쇄된 은 콜렉터 스크린.

[0457] 2. 은 콜렉터 위에 탄소를 스크린 인쇄한 다음 건조시킴.

[0458] 3. 탄소층 위에 유전체를 스크린 인쇄한 다음 건조시킴.

[0459] 4. 듀얼 레이저 공정을 사용하여 탄소층에 탄소 폼 생성; 탄소 폼이 비-그래핀 중간층을 통해 하부 폴리이미드 기관에 부착됨.

[0460] 5. 전해질을 분배함.

[0461] 6. 구리/알루미늄 등의 탭을 추가하여 은 콜렉터와 접촉함(단계 1일 수도 있음).

[0462] 7. 리드(lid)/파우치(pouch) 추가.

[0463] 모든 스크린 인쇄 단계(1 내지 3)는 릴 투 릴 공정을 사용하여 수행될 수 있으며, 그런 다음 탄소 폼은 듀얼 레이저 공정을 사용하여 생성되고 그런 다음 재료는 평평하게 유지하고 적층된다. 또한, 공장에서는 제1 레이저 공정(서브-표면 탄소 재료 폼 생성)만 수행될 수 있으며, 그런 다음 이는 시트를 고객에게 배송하고 고객은 듀얼 레이저 공정(레이저 어블레이션)의 제2 단계 및 단계 5 내지 7을 수행한다.

[0464] 탄소 폼을 생성하기 전 스크린 인쇄에는 다음과 같은 장점이 있다: 탄소 폼이 먼저 만들어지면, 날카로운 에지를 가질 수 있다; 이러한 날카로운 에지 위에 적용된 은 스크린 인쇄층은 이러한 날카로운 에지에서 깨질 수 있다. 그러나 탄소 폼을 생성하기 전에 스크린 인쇄함으로써, 이러한 문제를 갖지 않는다. 또한, 탄소 폼을 건조시키지 않기 때문에, 소수성이 아니다.

[0465] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0466] 슈퍼커패시터 또는 의사-커패시터와 같은 에너지 저장 장치를 제조하는 방법으로서;

[0467] 상기 방법은 (a) 기관 상에 전기 커넥터를 스크린 인쇄하는 단계; (b) 전기 콜렉터 위에 탄소층을 스크린 인쇄하는 단계; (c) 탄소층의 적어도 일부 위에 유전체를 스크린 인쇄하는 단계; 그런 다음 (d) 위의 특정 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 탄소 폼 에너지 저장 전극을 생성하는 단계를 포함한다.

[0468] **특정 M5:탄소 폼 의사-커패시터: 금속 산화물 변형**

[0469] 금속 산화물 전기화학적 증착 공정(예를 들어, +ve의 경우 MnO_x ; -ve의 경우 Fe_xO_x)이 Gii-Cap+ 변형을 생성하는데 사용된다; 이는 표준 Gii-Cap 장치에 비해 훨씬 더 높은 정전용량이다(표 4 참조).

표 4

[0470]

설명	의사 커패시터
형식	A7 V4
전압 윈도우	2V
정전용량	856 ± 120 mF (65 mA에서 측정됨)
등가 직렬 저항	0.81 ± 0.03 옴
시간 상수	4.0 ± 0.8 초
에너지	0.48 ± 0.07 mWh (65 mA에서 측정됨)
출력	277.91 ± 13.94 mW (390 mA에서 측정됨)
피크 출력	1.23W
N	12

[0471] 이러한 금속 산화물 전기화학적 증착 공정은 Gii-Cap Supercap 제조 공정은 물론 PPC 공정에도 적용될 수 있으므로 모든 Gii-Cap 제품도 Gii-Cap+ 제품이 될 수 있다. 자세한 공정 흐름도가 도 29에 나와 있다.

[0472] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0473] 슈퍼커패시터 또는 의사-커패시터와 같은 에너지 저장 장치를 제조하는 방법으로서, 에너지 저장 전극은 위의

특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하며;

[0474] 상기 방법은 금속 산화물과 같은 의사-용량성 재료의 전기화학적 증착 공정을 에너지 저장 전극에 적용하는 단계를 포함한다.

[0475] **특징 M6: 탄소 폼 슈퍼커패시터: 저습 환경에서 이온성 겔 사용**

[0476] 3V 내지 6V 전압을 제공하는 이온성 겔(흙드 실리카(fumed silica) SiO_2 를 함유한 이온성 액체)을 사용한다. 90 °C 미만에서는 고체이므로 배송 및 일반적인 사용 동안 누출되지 않으므로 스마트 라벨 및 IoT 장치에 특히 유용하다; 90 °C 이상에서는 액화되므로 전기화학적 인쇄 공정이 90 °C 이상에서 수행되는 곳에서 인쇄될 수 있다. 이온-겔은 일반적으로 이온성 액체(예를 들어, 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 테트라플루오로보레이트(EMIMBF4))와 겔형성제(예를 들어, 흙드 실리카 SiO_2)로 만들어진다.

[0477] 일반적으로, 제조는 O_2 와 H_2O 가 존재하면 전압이 감소하고 안정성이 저하될 수 있기 때문에 불활성(예를 들어, 아르곤) 분위기에서 이루어진다.

[0478] 부록 3("GiiCap Longel)에 자세히 설명된 바와 같이 증가된 정전용량과 감소된 전압 사이의 최적의 밸런스를 얻는 O_2 및 H_2O 레벨의 최적의 스위트 스팟(sweet spot).

[0479] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0480] 슈퍼커패시터와 같은 에너지 저장 장치를 제조하는 방법으로서, 에너지 저장 전극은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하며;

[0481] 상기 방법은 저습이지만 불활성이 아닌 환경에서 이온성 겔을 도포하는 단계를 포함하며, 여기서 환경 내 O_2 및 H_2O 레벨이 측정되고 제어되어 에너지 저장 장치의 정전용량을 최적화한다.

[0482] 특징 M1 내지 M6를 다루는 이전 섹션에서는, Gii-Cap 탄소 폼 슈퍼커패시터의 몇 가지 일반적인 특징을 살펴보았다. 특징 N 내지 S를 다루는 다음의 섹션에서는, Gii-Cap을 구현하는 일부 좀 더 구체적인 제품을 살펴보겠다.

[0483] **특징 N1: 전기 전도체**

[0484] 위에서 설명된 바이오센서와 같은 장치의 경우, 듀얼 레이저 방법으로 만들어진 탄소 발포 재료로부터 측정 신호 연결을 제공하는 전기 전도체를 제작하는 것이 가능하고 바람직하다: 이러한 전기 전도체는 저항이 매우 낮기 때문에, 감도가 최대화된다. 전극(예를 들어, 기능화된 바이오센서 작동 전극 및 스크린 인쇄된 것으로 위에서 설명된 기준 전극; 커패시터 플레이트 전극)은 이 특징 N1에서 다루는 전기 전도체의 예이다. 또한, 단순히 신호와 전류를 전달하는 것이 주요 기능인 전극도 예를 들어 바이오센서에 있는 위에서 설명한 스크린 인쇄 Ag 전기 연결 트랙과 같은 기존의 은 연결 트랙을 대체하도록 이 특징 N1에서 다뤄진다.

[0485] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0486] 전기 전도체를 제조하는 방법으로서, 전기 전도체는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 포함한다.

[0487] 전기 전도체는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 포함한다.

[0488] **특징 N2: 센서와 슈퍼커패시터 결합**

[0489] 위의 특징 L1 내지 L4는 듀얼 레이저 방법으로 만들어진 탄소 폼을 그 센서 전극에 사용하는 바이오센서를 설명한다; 특징 M1 내지 M6는 듀얼 레이저 방법으로 만들어진 탄소 폼을 그 전극에 사용하는 슈퍼커패시터 및 의사-커패시터를 설명한다.

[0490] 이 바이오센서와 이 슈퍼커패시터 둘 모두를 검출되거나 측정되는 변수를 측정하고, 바이오센서 출력을 계산하고, 해당 출력을 POC 진단 장치로 보내거나 해당 출력(예를 들어, 타겟의 유무; 타겟의 농도)을 장치의 디스플레이 스크린 상에 디스플레이하는 전자 회로부를 또한 포함하는 단일의 통합 장치로 결합하는 매우 민감하고 매우 선택적인 바이오센서가 구축될 수 있다.

[0491] 도 30은 이 집적 LOC 장치를 통한 개략적인 단면도이다: 두 개의 개별 폴리이미드 필름 층, 즉 특징 L에 설명된

바와 같은 기능화된 탄소 폼 바이오센서(Gii-Sens)(302)를 포함하는 상부 층(301)과 특징 M에 설명된 바와 같은 슈퍼커패시터(304)(Gii-Cap)를 포함하는 하부 층(303)이 있다. 백투백(back-to-back) 폴리이미드 층이 도시되어 있지만, 이들은 나란히 있을 수도 있다; 바이오센서(302)와 슈퍼커패시터(304)를 단일 품목에 함께 통합하는 단일 폴리이미드 필름이 있을 수 있다.

[0492] 마이크로채널(306)이 있는 플라스틱 조각(305)은 바이오센서(302) 위에 테스트 유체를 분배하는 미세유체 시스템을 제공한다; 특징 0에 설명된 바와 같은 서브-표면 탄소 폼 전극 또는 기존의 커넥터 트랙(307)은 바이오센서에서 플렉서블한 전자 장치(308)(예를 들어, 타겟 분석물질의 존재 시 바이오센서의 전기화학적 특성의 변화를 측정하는 마이크로컨트롤러; 진단 결과를 나타내는 디스플레이 패널; 슈퍼커패시터(304)에서 전자 장치(308)까지 전력을 제어하는 전력 관리 시스템)로 이어진다. 슈퍼커패시터(304)(Gii-Cap)는 (예를 들어 마이크로컨트롤러에 의해 제어되는 무선 유도 공정(도시되지 않음)를 통해) 전력으로 충전되고 바이오센서 측정 공정 및 정량적 측정이 도시되는 통합 디스플레이에 전원을 공급한다. 대안적으로, 충전식 2차 배터리(도시되지 않음) 또는 비충전식 1차 배터리(도시되지 않음)는 슈퍼커패시터(304)를 충전할 수 있고, 그런 다음 슈퍼커패시터(304)는 바이오센서 측정 공정에 전력을 공급한다. 또 다른 변형은 슈퍼커패시터(304)를 충전하고 또한 바이오센서 측정 공정에 전력을 공급하기 위한 충전식 2차 배터리(도시되지 않음) 또는 비충전식 1차 배터리(도시되지 않음)를 위한 것이다. 그런 다음 슈퍼커패시터(304)는 무선 데이터 전송과 같은 고전력 공정에 전력을 공급하기 위해 예약되어, LOC가 기존 NFC(near-field communication)를 사용하는 경우에 필요로 하는 바와 같이, 사용자가 LOC에 접근할 필요 없이, 진단 공정을 수행하고 또한 결과 데이터를 무선으로 전송할 수 있는 독립형(self-contained) LOC 장치가 된다. 슈퍼커패시터(304)로부터 플렉서블 전자 장치(308)까지의 전기 커넥터 트랙은 도시되지 않는다.

[0493] 완전히 통합된 LoC 장치의 분해도가 도 31에 도시되어 있다. 가장 낮은 층에서 위로 이동하면, (i) 유도 전력 루프(310); (ii) 유도 루프(310)에 의해 무선으로 전력을 공급받는 Gii-Cap 슈퍼커패시터(312); (iii) Gii-Sens 바이오센서(313); (iv) 슈퍼커패시터(312) 및 미세유체 채널에 의해 전력을 공급받는 바이오센서용 전자 장치를 갖는 층(314); (v) 다시 슈퍼커패시터에 의해 전력을 공급받는 디스플레이(316)와 샘플이 전달되는 원형 웰(circular well)(317)도 포함하는 상단 패널(315)을 갖는다.

[0494] 도 32는 디스플레이에 정량적 결과를 디스플레이하는 LoC를 도시한다.

[0495] 도 33은 CO₂ 레벨, 휘발성 유기 화합물 및 기타 대기 오염 물질과 같은 환경 파라미터를 검출하도록 구성된 Gii-Sens 센서(330)를 포함하는 환경 모니터링 장치의 분해도를 도시한다. Gii-Sens는 바이오센서에만 제한되는 것은 아니며 탄소 폼 센서 전극이 기능화되어 검출할 수 있는 모든 분자를 검출할 수 있다. 환경 모니터링 장치는 Gii-Sens 센서(330) 및 관련 제어 및 무선 전송(예를 들어, LoRaWAN) 전자 장치(331), 및 PV 태양 전지(332) 및 Gii-Cap 슈퍼커패시터(333)를 포함한다. 2차 또는 1차 배터리(이는 인쇄 배터리일 수 있음)는 전자 장치(331)에 포함되어 있으며, PV 태양 전지(332)와 함께 작동하여 해당 전자 장치에 전력을 공급하고 Gii-Cap 슈퍼커패시터(333)를 충전한다. Gii-Sens 센서는 온도, 습도 및 압력을 측정하도록 구성할 수도 있다. 장치에는 벗겨서 끈적끈적한 표면을 드러낼 수 있는 뒷면(334)이 있어 장치를 벽 등에 붙일 수 있다. PV 태양 전지는, 전자 장치(331)의 2차 또는 1차 배터리와 함께, Gii-Cap 슈퍼커패시터(333)를 충전하기 위한 전력을 제공하고 슈퍼커패시터(333)는 차례로 데이터 전송에 필요한 전력의 피크 버스트를 제공한다. 장치는 영구적으로 설치되어 수년 동안 제자리에 유지될 수 있으므로, 현재 환경 모니터링 장치와 달리 배터리를 전혀 변경할 필요가 없다. 기존 장치보다 우수한 신호 대 잡음비로 대기 오염 물질을 검출할 수 있다. 조립된 장치가 도 34에 도시되어 있다.

[0496] 많은 다른 유형의 장치는 탄소 폼 센서와 탄소 폼 슈퍼커패시터를 결합하여 구현될 수 있다; 예를 들어:

[0497] · 데이터를 예를 들어 무선으로 전송할 수 있는 이점이 있는 모든 바이오센서로서, 데이터 전송은 슈퍼커패시터, 예를 들어 연속 혈당 모니터와 같은 웨어러블 건강 모니터링 장치, 전해질, 칼륨, 나트륨, 락토오스의 레벨을 감지하는 기타 웨어러블 모니터에 의해 전력을 공급받는다.

[0498] · 데이터를 예를 들어 무선으로 전송할 수 있는 이점이 있는 모든 센서 장치(즉, 반드시 바이오센서일 필요는 없음)로서, 데이터 전송은 슈퍼커패시터에 의해 전력을 공급받는다.

[0499] · 데이터를 예를 들어 무선으로 전송할 수 있는 이점이 있는 모든 IoT 장치로서, 데이터 전송은 슈퍼커패시터에 의해 전력을 공급받는다.

- [0500] * 장치는 슈퍼커패시터에 의해 전력을 공급받는 전자 장치를 포함할 수 있다.
- [0501] * 장치는 에너지 저장 장치 및/또는 전력 장치 전자 장치를 충전하기 위한 배터리를 포함할 수 있다.
- [0502] * 장치는 에너지 저장 장치를 충전하기 위한 PV 셀 및/또는 장치 및/또는 전력 장치 전자 장치의 2차 배터리를 포함할 수 있다.
- [0503] 다음과 같이 일반화할 수 있다:
- [0504] 센서 및 슈퍼커패시터와 같은 에너지 저장 장치 둘 모두를 포함하는 장치를 제조하는 방법으로서, 센서와 에너지 저장 장치 둘 모두는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함한다.
- [0505] 바이오센서와 같은 센서 장치는 (a) 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하는 감지 전극 및 (b) 슈퍼커패시터와 같은, 에너지 저장 장치를 포함하며, 에너지 저장 장치는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함한다.
- [0506] 현장 진단 장치는 (a) 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하는 감지 전극 및 (b) 슈퍼커패시터와 같은 에너지 저장 장치를 포함하며, 에너지 저장 장치는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함한다.
- [0507] **특징 N3:슈퍼커패시터와 배터리 결합**
- [0508] 이 예에서, 두 개의 서로 다른 전원을 단일 장치로 결합하여 통합 또는 하이브리드 전원을 형성한다: 장치에는 배터리(예를 들어, 인쇄 배터리 또는 기존 배터리)와 듀얼 레이저 방법으로 만들어진 탄소 폼을 그 전극에 사용하는 슈퍼커패시터가 있다; 이들은 상보 방식으로 함께 작동한다. 배터리는 일회용, 비충전식 배터리('1차' 배터리)일 수도 있고 충전식 배터리('2차' 배터리)일 수도 있다.
- [0509] 전원에는 다음과 같은 상보적 역할이 있다: 배터리는 상대적으로 낮은 레벨의 전력을 소비하는 전자 장치에 대한 슈퍼커패시터 또는 전력에 저속 장기 충전을 제공할 수 있다; 슈퍼커패시터는 훨씬 더 높은 레벨의 전력이 필요한 고속 고전력 방전 및 전력 기능(예를 들어, 무선 데이터 연결 기능 및 데이터 페이로드 전송 기능)을 제공할 수 있다. 슈퍼커패시터는 EDL 슈퍼커패시터 또는 의사-커패시터 또는 임의의 다른 형태의 에너지 저장 장치일 수 있다. 장치는 가끔 (예를 들어, 데이터 네트워크에 연결하고 데이터 페이로드를 전송하기 위해 송신기에 전력을 공급하기 위해) 높은 전력이 필요한 경우 사용될 수 있지만 장치는 독립형이어야 하며 현장에서 수개월 또는 수년 동안 지속되어야 한다: 장치는 정보를 가끔씩만 브로드캐스트해야 하지만 기존 인쇄 배터리가 공급할 수 있는 것보다 더 높은 전력으로 브로드캐스트해야 하는 고가치 자산 추적 라벨일 수 있다.
- [0510] 개략도가 도 35에 도시되어 있다. 두 개의 개별 폴리이미드 필름 층이 있는데, 한 층(351)은 특징 M에 설명된 바와 같은 슈퍼커패시터(Gii-Cap)(352)를 포함하고, 한 층(353)은 인쇄 배터리와 같은 배터리(354)를 포함한다; 여기에는 듀얼 레이저 공정 제조 탄소 폼 또는 기존 공정을 사용하여 만들어진 전극이 포함될 수 있다. 동일한 폴리이미드 조각에 인쇄 배터리(354)와 슈퍼커패시터(352)를 제조하는 것도 가능하지만, 인쇄된 플렉서블 배터리 또는 슈퍼커패시터의 결합으로 인해 장치가 거부될 수 있으므로 수율이 저하될 수 있다.
- [0511] 위에 설명된 서브-표면 탄소 폼 전극(또는 기존의 인쇄 전극)은 슈퍼커패시터(Gii-Cap)(352) 및 인쇄 배터리(354)에서 BMS(battery management system)(355)로 이어진다; BMS(355)는 플렉서블 전자 장치(356)에 전력을 제공한다; 서브-표면 탄소 폼 전극 또는 기존의 커넥터 트랙(357)은 플렉서블 전자 장치(356)의 서로 다른 부분을 연결한다. BMS(355)는 배터리(354)에서 전자 장치(356)로의 전력 흐름을 제어한다; 배터리(354)는 슈퍼커패시터(352)를 세류 충전(trickle charge)할 수 있다. (슈퍼커패시터는 공장에서 한 번 충전되고 이후에는 재충전되지 않도록 설계된 일차 전원일 수도 있다).
- [0512] 배터리(354)는 인쇄 배터리일 수 있으며, 충전식 2차 인쇄 배터리 또는 일회용 비충전식 1차 배터리일 수 있다; 배터리(354)는 슈퍼커패시터(352)를 세류 충전할 수 있고 센서 또는 기타 장치 전자 장치(356)에 전력을 제공할 수 있다; 그런 다음 슈퍼커패시터(352)는 데이터 송신기와 같이 상대적으로 높은 전력 버스트에 대한 짧은 수명을 갖는 회로에 전력(예를 들어, 과도적인 피크 전력)을 제공한다. 위에 언급된 바와 같이, 인쇄 배터리, 슈퍼커패시터, 전자 장치는 모두 단일 통합 장치의 일부 - 예를 들어 단일 기관 또는 개별이지만 부착된 기관에 모

두일 수 있다.

- [0513] 백투백 폴리이미드 층이 도시되어 있지만, 이들은 나란히 있을 수도 있다; 또한, 배터리(354)와 슈퍼커패시터(352)를 단일 품목에 함께 통합하는 단일 폴리이미드 필름이 있을 수 있다.
- [0514] 배터리(354), 슈퍼커패시터(352), 전자 장치(356)는 모두 연속 또는 일괄(batch) 제조 공정의 일부로서 기판 또는 기판들 위에 형성될 수 있다(예를 들어 이전에 제조된 배터리를 가져가서 이를 슈퍼커패시터와 결합하지 않음). 이를 통해 상호 연결부를 제조 공정의 필수적인 부분으로 구성할 수 있으므로, (예를 들어 상호 연결부가 더 짧은 경우) 비용이 절감되고 제조 속도가 빨라지며 성능이 향상된다.
- [0515] 장치는 스마트 라벨(아래 참조) 또는 IoT 환경 모니터링 장치(예를 들어, 온도 또는 습도 센서), 열차 좌석 점유 센서, 의료 모니터링 장치(예를 들어, 연속 혈당 모니터)에 사용될 수 있다. 보다 일반적으로, 장치에는 배터리에 의해 전력을 공급받는 전자 장치가 포함될 수 있다; 장치에는 슈퍼커패시터에 의해 전력을 공급받는 전자 장치가 포함될 수 있다; 장치에는 슈퍼커패시터에 의해 전력을 공급받는 데이터 송신기가 포함될 수 있다; 배터리는 인쇄 배터리일 수 있다; 배터리는 1차 배터리 또는 2차 배터리일 수 있다.
- [0516] 다음과 같이 일반화할 수 있다:
- [0517] 배터리 및 슈퍼커패시터를 포함하는 통합 장치를 제조하는 방법으로서, 배터리는 장기 전력을 제공하고, 슈퍼커패시터는 배터리보다 높은 레벨로 단기 전력을 제공하며, 슈퍼커패시터는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함한다.
- [0518] 배터리 및 슈퍼커패시터를 포함하는 통합 장치로서, 배터리는 장기 전력을 제공하고 슈퍼커패시터는 배터리보다 더 높은 레벨로 단기 전력을 제공하며, 슈퍼커패시터는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함한다.
- [0519] **특징 N4:스마트 라벨**
- [0520] 한 가지 중요한 응용 분야는 도 36에 도시된 스마트 라벨로, 하부 표면은 좌측에 도시되고 노출된 라벨 표면(363)은 사람이 읽을 수 있는 텍스트가 우측에 도시된다; 라벨에는 접착 이형 라이너(364)가 포함되어 있어 하부 표면이 패키지, 컴포넌트 등에 부착될 수 있다. 라벨은 폴리이미드 필름에 인쇄된 얇고 플렉서블한 배터리(360)를 포함하며, 그런 다음 Gii-cap 슈퍼커패시터(361)는 동일한 폴리이미드 층(또는 인쇄 배터리 폴리이미드 필름에 결합된 서로 다른 폴리이미드 층)에 형성된다. 얇고 플렉서블한 배터리는 비충전식 1차 배터리 또는 충전식 2차 배터리일 수 있다. 슈퍼커패시터는 데이터 송신기에 전력을 공급한다; 인쇄 배터리는 센서를 포함한 스마트 라벨 전자 장치와 전력 관리 전자 장치에 전력을 공급한다. 스마트 라벨은 한 표면에 사람이 읽을 수 있는 인쇄 정보(363)를 포함한다; 뒷면
- [0521] 스마트 라벨에는 전력 관리, 센서(예를 들어, 솔리드-스테이트 진동, 온도, 압력, GPS 등 센서) 및 LTE 송신기 또는 초저가용 LoRaWan 송신기와 같은 데이터 송신 전자 장치를 갖는 전자 모듈(362)이 포함된다. 슈퍼커패시터(361)는 일단 데이터 연결이 설정되면 유용한 데이터 패키지를 전송하는 데 충분한 피크 전력을 제공하므로, 단순히 '에드버타이징' 신호에 이 데이터를 포함할 필요가 없다; 대신, 스마트 라벨은 데이터 수신기와 데이터 연결을 설정한 다음 연결이 설정되면 데이터 페이로드를 보낼 수 있다; 따라서 해당 데이터가 수신되었음을 합리적으로 확신할 수 있다. 보다 일반적으로, 장치에는 배터리에 의해 전력을 공급받는 전자 장치가 포함될 수 있다; 장치에는 슈퍼커패시터에 의해 전력을 공급받는 전자 장치가 포함될 수 있다; 장치에는 슈퍼커패시터에 의해 전력을 공급받는 데이터 송신기가 포함될 수 있다; 배터리는 인쇄 배터리일 수 있다; 배터리는 1차 배터리 또는 2차 배터리일 수 있다.
- [0522] 확장 가능한 제조(예를 들어, 저렴한 비용으로 수백만 개의 스마트 라벨 생산)의 경우, 스마트 라벨의 릴 투 시트 제조가 바람직하다(아래 특징 P: Gii 3 참조).
- [0523] 다음과 같이 일반화할 수 있다:
- [0524] 배터리 및 슈퍼커패시터를 포함하는 스마트 라벨로서, 배터리는 장기 전력을 제공하고 슈퍼커패시터는 배터리보다 더 높은 레벨로 단기 전력을 제공하며, 슈퍼커패시터는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하며;
- [0525] 스마트 라벨은 배터리에 의해 전력을 공급받는 센서 전자 장치와 같은 전자 장치 및 슈퍼커패시터에 의해 전력을 공급받는 데이터 송신기를 포함한다.

[0526] **특징 N5:슈퍼커패시터와 안테나 결합**

[0527] 특징 M의 앞선 예에 나온 슈퍼커패시터는 안테나에 전력을 공급할 수 있지만, 배터리와 통합될 수는 없다: 예를 들어, 태양 전지로부터 전력을 공급받을 수도 있고, 로컬 WiFi나 무선 충전기(예를 들어, Qi 표준)로부터 전력을 추출할 수도 있다.

[0528] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0529] 안테나와 슈퍼커패시터를 포함하는 통합 장치를 제조하는 방법으로서, 슈퍼커패시터는 안테나에 전력을 공급하고 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함한다.

[0530] 안테나와 슈퍼커패시터를 포함하는 통합 장치로서, 슈퍼커패시터는 안테나에 전력을 공급하고 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함한다.

[0531] **특징 N6:에너지 스캐빈저 + 슈퍼캡 결합**

[0532] 한가지 유용한 특징은 에너지 스캐빈저와 탄소 폼 슈퍼커패시터를 장치에 결합하는 것이다. 에너지 스캐빈저는 태양 전지 또는 진동 에너지 수확기(harvester)(예를 들어, 압전 섬유 기반) 또는 열전 발전기(예를 들어, 제백(Seebeck) 발전기)와 같은 솔리드 스테이트 에너지 수확기일 수 있다. 슈퍼커패시터는 데이터 송신기 및 안테나와 같은 상대적으로 높은 전력 버스트에 대한 짧은 요구를 갖는 회로에 전력(예를 들들어, 과도적인 전력)을 제공할 수 있다. 장치는 또한 1차 배터리(예를 들어, 비충전식 인쇄 배터리) 또는 2차 충전식 배터리를 포함할 수 있다.

[0533] 에너지 스캐빈저는 슈퍼커패시터와 동일한 기관 상에 있거나 개별이지만 결합된 기관 상에 있을 수 있다; 슈퍼커패시터는 에너지 스캐빈저와 동일한 기관의 면 상에 있을 수도 있고 반대면에 있을 수도 있다.

[0534] 장치에 배터리(예를 들어 인쇄된 충전식 2차 배터리)가 포함된 경우, 에너지 수확기는 배터리를 충전하고, 배터리는 저전력 서브-시스템(예를 들어, 센서)에 전력을 공급하며, 또한 슈퍼커패시터를 충전한다; 슈퍼커패시터는 데이터 송신을 위한 과도적인 고전력을 제공한다. 대안적으로, 에너지 수확기는 슈퍼커패시터를 직접 충전할 수 있다.

[0535] 이 접근 방식은 스마트 라벨 또는 IoT 환경 모니터링 장치(예를 들어, 온도 또는 습도 센서), 열차 좌석 점유 센서, 의료 모니터링 장치(예를 들어, 연속 혈당 모니터)에 사용될 수 있다. 이 접근 방식은 장치에 지속적으로 (또는 높은 규칙성으로) 전력을 공급할 필요가 있는 경우 - 예를 들어 환경 또는 개인 건강 상태에 대한 지속적인 모니터링이 필요한 경우 특히 유용하다.

[0536] 장치에는 LoRaWan 또는 기타 초저전력 송신기가 포함될 수 있다. 슈퍼커패시터는 일단 데이터 연결이 설정되면 유용한 데이터 패키지를 전송하는 데 충분한 피크 전력을 제공하므로, 단순히 애드버타이징 신호에 이 데이터를 포함할 필요가 없다; 대신, 스마트 라벨은 데이터 수신기와 데이터 연결을 설정할 수 있으므로 해당 데이터가 수신되었음을 확신할 수 있다.

[0537] 보다 일반적으로, 에너지 스캐빈저는 태양 전지 또는 진동 에너지 수확기(예를 들어, 압전 섬유 기반) 또는 열전 발전기(예를 들어, 제백 발전기)와 같은 솔리드 스테이트 에너지 수확기일 수 있다; 장치는 에너지 스캐빈저에 의해 전력을 공급받는 하나 이상의 센서를 포함할 수 있다; 에너지 스캐빈저는 슈퍼커패시터를 충전할 수 있다; 장치는 1차 또는 2차 배터리를 포함할 수 있다; 장치는 스마트 라벨 또는 IoT 환경 모니터링 장치(예를 들어, 온도 또는 습도 센서), 열차 좌석 점유 센서, 웨어러블 또는 의료 모니터링 장치일 수 있다.

[0538] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0539] 에너지 스캐빈저 시스템과 슈퍼커패시터를 포함하는 데이터 로깅 장치로서, 슈퍼커패시터는 안테나에 전력을 공급하고 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함한다.

[0540] **특징 01:3D 탄소 폼 구조: Gii-Cap용 Gii-Thru**

[0541] 이전 섹션에서는, Gii-Cap 슈퍼커패시터의 탄소 폼은 깎지형 디지털의 단일 평면 층으로 형성된다. 이 섹션에서는, 탄소 폼 슈퍼커패시터 전극이 평행 플레이트의 3D 구조로 형성되도록 하는 탄소 폼의 3차원 구조를 설명한다 - 에너지 스토리지는 잠재적으로 깎지형 그래핀 폼 디지털의 단층(mono-layer)보다 더 크다.

- [0542] 도 37은 코어 구조에서 다양한 재료의 기본 레이아웃을 도시한다. PI 폴리이미드 필름(371)의 시트에서 여러 스크린 인쇄 단계가 수행된다. 먼저, 탄소 잉크 또는 탄소 페이스트 층(372)과 같은 전도체는 폴리이미드 필름(371)의 하부 표면에 스크린 인쇄된다. 그런 다음, 콜렉터(373), 예를 들어 스크린 인쇄된 탄소층(372) 위에 스크린 인쇄된다. 그런 다음, 유전층(374)은 콜렉터 위에 스크린 인쇄된다.
- [0543] 도 38은 위에서 설명된 듀얼 레이저 공정을 사용하여 폴리이미드 필름(371)에 형성된 탄소 폼 층을 도시한다: 보다 구체적으로, IR 레이저는 PI 필름(371)에 캡슐화된 탄소 폼 층(375)을 형성하고; 이 탄소 폼 층 아래에는 PI 필름(371)의 하부 표면에 형성되는 무질서한 비정질의 비-그래핀 층(376)이 있다. CO2 어블레이션 레이저는 이전에 캡슐화된 탄소 폼 층(370)을 노출시켜, 노출된 표면 층(377)에 고유 형태를 제공한다.
- [0544] 이 구조는 콜렉터 층(373)으로부터 전도성 잉크 또는 페이스트 층(372)을 통해, 무질서한 비정질의 비-그래핀 층(376)을 통해 그런 다음 탄소 폼 층(375)으로의 전기 전도성 경로를 제공한다. 이 방식으로, 넓은 면적의 탄소 폼(375)의 전위가 상승되어, 이를 용량성 플레이트로 기능하도록 할 수 있다; 구조는 하프셀(half-cell)의 일부를 형성한다.
- [0545] 일반적인 두께는 다음과 같다: 폴리이미드 필름(371): 127 μm ; 탄소 잉크 층: 20 μm ; 은 콜렉터 층(373): 30 μm ; 유전층: 40 μm ; 탄소 폼 층(375) 및 무질서한 비정질의 비-그래핀 층(376): 127 μm ; 고유 표면 형태 층(377): 25 μm .
- [0546] Gii-Cap+(금속 산화물 전기화학적 증착 공정(예를 들어, +ve의 경우 MnOx ; -ve의 경우 FexOx - 위의 특정 M2 참조)을 사용하고 표준 Gii-Cap 장치에 비해 훨씬 더 높은 정전용량을 전달하는 변형)은 Gii-Thru에 사용될 수 있음에 유의한다.
- [0547] 다음과 같이 일반화할 수 있다:
- [0548] 슈퍼커패시터와 같은 에너지 저장 장치로서,
- [0549] (i) 탄소 전구체 필름;
- [0550] (ii) 탄소 전구체 필름의 표면 상의 스크린 인쇄 전도성 페이스트 또는 잉크 층;
- [0551] (iii) 스크린 인쇄 전도성 페이스트 또는 잉크 층 위의 스크린 인쇄 콜렉터 층;
- [0552] (iv) 콜렉터 층 위의 스크린 인쇄 유전층;
- [0553] (v) 위의 특정 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 탄소 전구체 필름으로부터 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하는 에너지 저장 전극을 포함하며, 전기 전도성 경로는 전도성 페이스트 또는 잉크 층을 통해 탄소 폼 재료로부터 콜렉터 층까지 형성된다.
- [0554] **특징 02:3D 탄소 폼 구조: Gii-Thru 적층 가능 Gii-Cap/Gii-Cap+**
- [0555] 도 38에 설명된 여러 구조를 서로 겹쳐 적층 것이 가능하다; 탄소 폼 층의 표면적은 클 수 있기 때문에(앞서 설명된 평면형 각지형 슈퍼커패시터의 손디지트의 표면적보다 상당히 클 수 있음) 이는 고성능 슈퍼커패시터가 생산되도록 할 수 있다.
- [0556] 하프셀이 도 39에 도시되어 있다. 여기에는 (구조를 통해 점진적으로 아래로 이동하면) 하이드로겔 전해질 층(390), PI 필름(392)의 고유 표면 형태를 갖는 탄소 폼 층(391); 스크린 인쇄 탄소 페이스트 층(393); 외부 구리 탭(395) 연결 지점을 갖는 스크린 인쇄된 커넥터 층(394); 스크린 인쇄 유전체 절연층(396); PI 필름(398)의 고유 표면 형태를 갖는 제2 탄소 폼 층(397), 및 스택의 베이스에 하이드로겔 전해질 층(399)이 포함된다. 이 구조를 도 38 개략도와 연관시키는 것이 도움이 될 수 있다: 도 40a에서, 도 38에 도시된 4개의 메인 층을 A로 함께 그룹화한다. 즉, 스택을 통해 아래로 이동하면, 탄소 폼 층, 그 다음 탄소 잉크 층, 그 다음 은 콜렉터 층, 그 다음 유전층을 그룹화한다. 도 40b는 그룹 A 특징을 보여주는 도 40a 구조를 통한 단면도이다. 도 40b는 동일한 단면도이지만 이번에는 도 39의 모든 요소를 라벨링한다.
- [0557] 풀셀(full cell)이 도 41a 및 41b에 도시되어 있다. 도 41a에서 도 39에도 있는 특징에만 (동일한 넘버링을 사용하여) 라벨링한다. 따라서 여기에는 하이드로겔 전해질 층(390), PI 필름(392)의 고유 표면 형태를 갖는 탄소 폼 층(391); 스크린 인쇄 탄소 페이스트 층(393); 외부 구리 탭(395) 연결 지점을 갖는 스크린 인쇄된 커넥터 층(394); 및 스크린 인쇄 유전체 절연층(396)이 포함된다.
- [0558] 도 41b에서, 이제 추가 층에 추가한다; 구조를 통해 점진적으로 아래로 이동하면, 스크린 인쇄 유전체 절연층

(400) 그 다음 구리 탭(402)을 갖는 스크린 인쇄 은 콜렉터 층(401), 그 다음 스크린 인쇄 탄소 페이스트 층(403), 그 다음 PI 필름(405)의 고유 표면 형태를 갖는 탄소 폼 층(404)이 있다.

[0559] 도 41c에서, 도 38에 도시된 4개의 메인 층을 A로 그룹화한다: 4개의 최상층은 역순으로 되어 있으며, 이들을 B로 함께 그룹화한다. 그룹 A와 그룹 B는 기존 전해질 분배(dispensing) 시스템을 사용하여 분배되는 하이드로겔(예를 들어, 폴리머 하이드로겔) 전해질 층(399)에 의해 분리된다.

[0560] 도 41d는 하이드로겔(예를 들어, 폴리머 하이드로겔) 전해질 층(399)에 의해 분리된, 그룹 A 및 그룹 B 층을 보여주는, 이 구조를 통한 단면도이다. 도 41e는 동일한 단면도이지만, 이번에는 도 38의 개략도에 따라 개별 층이 넘버링되어 있다.

[0561] 도 41f는 조립된 슈퍼커패시터의 사시도이다.

[0562] 도 42는 4개의 풀셀 슈퍼커패시터 스택을 도시한다; 탄소 폼 층은 A로 도시되고, 폴리머 하이드로겔 전해질은 B로 도시된다. 필요한 성능을 제공하기 위해 추가 셀이 스택에 추가될 수 있다.

[0563] 도 43a는 Gii-Thru 슈퍼커패시터의 상세한 제조 흐름을 도시하며, 도 43b는 Gii-Thru 다층 스택 슈퍼커패시터의 상세한 제조 흐름을 도시한다.

[0564] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0565] 서브-조립체를 포함하는, 슈퍼커패시터와 같은, 에너지 저장 장치로서,

[0566] (i) 탄소 전구체 필름;

[0567] (ii) 탄소 전구체 필름의 표면 상의 스크린 인쇄 전도성 페이스트 또는 잉크 층;

[0568] (iii) 스크린 인쇄 전도성 페이스트 또는 잉크 층 위의 스크린 인쇄 콜렉터 층;

[0569] (iv) 콜렉터 층 위의 스크린 인쇄 유전층;

[0570] (v) 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 탄소 전구체 필름으로부터 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하고, 전도성 페이스트 또는 잉크 층을 통해 탄소 폼 재료로부터 콜렉터 층까지 전기 전도성 경로가 형성되는, 에너지 저장 전극을 포함하며;

[0571] 다층 서브-조립체가 스택으로 형성되고, 인접 에너지 저장 전극이 이온성 겔 전해질에 의해 분리된다.

[0572] **특징 03:3D 탄소 폼 구조: Gii-Sens용 Gii-Thru: HISLOC**

[0573] 도 38에 설명된 Gii-Thru 구조는 단지 슈퍼커패시터뿐만 아니라 바이오센서와 같은 Gii-Sens 센서에도 사용될 수 있다.

[0574] 미세유체의 경우, Gii-Thru HISLOC(High Sensitivity Low Cost) 플랫폼 접근 방식을 통해 액체와 탄소 폼 센서가 바이오센서 장치의 상위 면에 있도록 하고 탄소 폼 센서에 연결되는 전기 연결이 바이오센서 장치의 하위 면에 있도록 할 수 있다. 미세유체는 통상적으로 기능화된 금 전극에 연결되는 전기 커넥터가 모두 동일 평면에 있는 기능화된 금 전극을 사용한다; Gii-Thru 바이오센서는 이러한 기능화된 금 전극에 비해 비용, 수율 및 성능 이점이 있다. 그리고 전기 연결을 바이오센서의 바닥이나 베이스로 이동하면 소형화 및 POC(point-of-care) 시스템과의 호환성이 향상된다.

[0575] 도 44a는 3개의 샘플 어레이 미세유체 진단 장치에 사용되는 Gii-Thru 센서를 통한 단면 개략도이다. 상단 레벨에는 3개의 샘플 웰(440)이 있다; 분석될 유체는 이러한 웰(440) 각각으로 흐른다. 웰(440)은 폴리이미드 필름 층(442) 위에 위치하는 층상형(laminated) 웰 스페이서 층(441)에 작은 개구로서 형성된다.

[0576] 폴리이미드 필름 층(442)에는 기준 전극(448A), 작동 전극(448B) 및 상대 전극(448C)을 형성하는 3개의 기능화된 탄소 폼 영역이 형성된다; 각 전극(448A 내지 448C)의 상부 표면은 웰(440)에 존재하는 분석물 유체에 노출된다.

[0577] 기준 전극(448A)의 베이스는 Ag-AgCl 층(또는 스크린 인쇄 탄소 층)(449)을 포함할 수 있다; 작동 전극(448B)의 베이스에는 스크린 인쇄 전도성 탄소층(443)이 있다; 상대 전극(448C)의 베이스에는 또 다른 스크린 인쇄 전도성 탄소층(443)이 있다. 이 방식으로, 기준 전극(448A)은 기준 전극 연결부(444A)와 전기적으로 접촉하고; 작동 전극(448B)은 작동 전극 연결부(444B)와 전기적으로 접촉하고; 상대 전극(448C)은 상대 전극 연결부(444C)와 전기적으로 접촉한다.

- [0578] 스크린 인쇄 유전층(447)은 구조의 베이스를 형성한다.
- [0579] 따라서 이 구조에 대해 흥미로운 점은 전극 연결부(444A-C)가 기존의 스크린 인쇄 센서와 마찬가지로 기능화된 탄소 폼 전극(448A-C)과 동일 평면에 있지 않다는 것이다. 대신, 이들은 웰(440)의 반대측에서 기능화된 탄소 폼 전극(448A-C) 아래 평면에 있다. 이 구조를 통해 POC(point-of-care) 시스템과의 소형화 및 호환성이 향상된다.
- [0580] 도 44b는 도 44a 미세유체 진단 장치의 등각 분해도를 도시한다. 3개의 샘플 웰(440)은 폴리이미드 필름 층(442) 위에 놓인 층상형 웰 스페이서 층(441)에 안착된다. 기준 전극(448A), 작동 전극(448B) 및 상대 전극(448C)이 도시되어 있다; 기준 전극(448A)의 단부는 Ag-AgCl 층 또는 스크린 인쇄 탄소 층(449)으로 덮여 있다; 작동 전극(448B) 및 상대 전극(448C)은 스크린 인쇄 전도성 탄소층(443)에 의해 덮여 있다. 위에 논의된 바와 같이, 기준 전극(448A)은 기준 전극 연결부(444A)와 전기적으로 접촉하고; 작동 전극(448B)은 작동 전극 연결부(444B)와 전기적으로 접촉하고; 상대 전극(448C)은 상대 전극 연결부(444C)와 전기적으로 접촉한다.
- [0581] 3개의 기능화된 탄소 폼 영역(448A-C)은 서로 다른 평면에 놓인 평면 사각형으로 도시되어 있다; 그러나 이는 단지 도면을 생성하는 데 사용된 CAD의 아티팩트(artefact)일 뿐이며 탄소 폼 영역(448A-C)은 도 44a에 더 잘 제시되어 있다. 스크린 인쇄 유전층(447)은 구조의 베이스를 형성한다.
- [0582] 위의 도 44a 및 44b는 3-스폿 어레이 미세유체 진단 장치를 도시한다. 도 45a 및 도 45b에서, 8-스폿 어레이 미세유체 진단 장치를 도시한다. 등각도 도 45a에서, 층상형 웰 스페이서(451)는 작동 전극용 8개의 분석물 웰(452), 상대 전극용 웰(453) 및 기준 전극용 웰(454)의 어레이를 포함한다; 층상형 웰 스페이서(451)는 폴리이미드 층(455) 위에 안착된다. 폴리이미드 층(456)의 Gi 탍소 폼은 8개의 작동 전극(457)과 상대 전극(458)을 형성하고 듀얼 레이저 공정을 사용하여 만들어진다. 또한 탄소 폼 전극(457, 458)은 3개의 서로 다른 평면에 놓인 평면 사각형으로 도시되어 있으나; 이는 CAD의 아티팩트일 뿐이며 탄소 폼은 폴리이미드 층(455)에서 연속적인 영역을 형성한다는 점에 유의한다.
- [0583] 기준 전극(459)은 얇은 스크린 인쇄 Ag-AgCl 층으로 덮여 있다. 얇은 스크린 인쇄 탄소 연결 인터페이스 층(460)은 작동 전극(457)과 상대 전극(458) 아래에 안착된다; 스크린 인쇄 은 연결 트랙(461)은 모든 전극(457, 458 및 459)에 대한 전기 연결을 형성한다. 그런 다음 스크린 인쇄 유전층(462)은 장치의 케이스를 형성한다. 도 45b는 도 45a 장치의 한 쌍의 하향식 뷰이다; 저면도에는 하부 연결 추적 경로를 도시한다.
- [0584] 도 46a는 완전히 조립된 다중 샘플 어레이 미세유체 진단 장치의 사시도를 도시한다; 도 46b는 하향식 뷰이다.
- [0585] 다음과 같이 일반화할 수 있다:
- [0586] 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 탄소 전구체 필름으로부터 만들어진, 장치의 상위 면 상에 포지셔닝된 샘플 웰, 기준, 작동 및 상대 전극을 포함하는 미세유체 진단 장치는 샘플 웰 아래의 층에 있으며, 기준, 작동 및 상대 전극 연결부는 기준, 작동 및 상대 전극 아래의 층에 있다.
- [0587] 도 47a는 다중 층상형 층으로 구성된 미세유체 진단 장치의 분해도를 도시한다; 여기에는 도 44a에 도시된 바와 같이, Gii-Thru를 구현하는 3-스폿 어레이(3SA) 미세유체 바이오센서가 포함된다. 장치의 최상층(470)은 미세유체 포일이다; 중간층(471)은 접착제가 있는 미세유체 포일이고, 인쇄 또는 성형(moulded) 미세유체 유체 채널(472)을 포함하며, 최하층(473)은 접착제가 있는 미세유체 포일이다. Gii-Thru 센서(474)는 3-스폿 어레이(3SA) 바이오센서이며 커넥터(475)를 포함한다. 도 47b는 내부 구조를 도시하는 하향식 뷰이다. Gii-Thru 센서(473)는 더 큰 유연성을 위해 다양한 바이오센서(예를 들어, 8SA)로 교체될 수 있다.
- [0588] 도 48b는 인쇄 또는 성형 미세유체 카드로 구성된 미세유체 진단 장치의 분해도를 도시하며 여기에는 도 44a에 도시된 바와 같이, Gii-Thru를 구현하는 3-스폿 어레이(3SA) 미세유체 바이오센서가 포함된다. 이 장치에는 투명 수지 바브(barb) 커넥터(481), 상단 포일(482), 미세유체 채널(484)을 갖는 투명 수지 성형 미세유체 카드(483), 접착제가 있는 미세유체 포일로 만들어진 웰 유닛(485) 및 Gii-Thru 센서(486)가 포함된다. 다시, Gii-Thru 센서(486)는 더 큰 유연성을 위해 다양한 바이오센서(예를 들어, 8SA)로 교체될 수 있으며, 성형 미세유체 카드(483)는 다양한 분석 플랫폼을 허용하기 위해 다양한 디자인의 미세유체 특징으로 교체될 수 있다. 도 45b는 하향식 측면도이다.
- [0589] **특징 04:3D 탄소 폼 구조: Gii-Sens용 Gii-Thru: HISLOC 제조 공정**

[0590] HISLOC 제조 공정은 다음과 같이 요약될 수 있다:

[0591] 1. 폴리이미드 필름 밑면에 탄소층을 스크린 인쇄

[0592] 2. 은 연결부를 스크린 인쇄

[0593] 3. 은/염화는 기준 전극을 스크린 인쇄(단계 3 및 4는 단계 4 다음 단계 3으로 다시 순서화될 수 있음).

[0594] 4. 유전체를 스크린 인쇄

[0595] 5. 듀얼 레이저 공정을 사용하여 폴리이미드 필름에 Gii 탄소 폼 센서 전극을 생성

[0596] 상세한 제조 공정 흐름이 도 49에 도시되어 있다.

[0597] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0598] 서브-조립체를 포함하는 랩 온 칩 장치로서,

[0599] (i) 탄소 전구체 필름;

[0600] (ii) 탄소 전구체 필름의 표면 상의 스크린 인쇄 전도성 페이스트 또는 잉크 층;

[0601] (iii) 스크린 인쇄 전도성 페이스트 또는 잉크 층 위의 스크린 인쇄 전도성 층;

[0602] (iv) 스크린 인쇄 기준 전극;

[0603] (v) 콜렉터 층 위의 스크린 인쇄 유전층;

[0604] (vi) 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 탄소 전구체 필름으로부터 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하는 센서 전극을 포함하며, 전기 전도성 경로는 전도성 페이스트 또는 잉크 층을 통해 탄소 폼 재료로부터 전도성 층까지 형성된다.

[0605] 그룹 4

[0606] 특징 P: 확장 가능 제조: G-ii 3

[0607] Gii-3은 위에 설명된 모든 Gii 기반 재료의 릴-투-릴 또는 릴-투-시트 생산을 이요한 확장 가능 제조 공장이다. 상업적으로 중요한 이점은 Gii 3 제조에 맞춤형(bespoke) 장비가 필요하지 않다는 것이다 - 듀얼 레이저 탄소 폼 제조와 기존 스크린 인쇄 및 건조 기술을 위해 기성 컴퓨터 제어식 레이저를 사용한다: 이는 잘 알려져 있고, 잘 이해된 제조 공정 단계 및 장비로서, 반복성과 신뢰성으로 이어진다.

[0608] 도 50은 전체 제조 공정의 개략도이고 도 51은 상세한 공정 흐름을 도시한다.

[0609] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0610] 하나 이상의 전극을 포함하는 장치를 제조하는 방법으로서, 탄소 폼 재료를 각각 포함하며;

[0611] 상기 방법은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 제조하는 데 필요한 동작 시퀀스를 통해 탄소 전구체 필름의 연속 릴을 통과시키는 단계를 포함한다.

[0612] 특징 Q: 기타 다양한 Gii 응용 분야

[0613] 본 명세서에 설명된 Gii 탄소 폼은 기존의 그래핀 폼이 적합한 것으로 간주되었던 많은 응용 분야를 포함하여 광범위한 응용 분야에서 사용될 수 있다.

[0614] 다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0615] 장치는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하며, 장치는 다음과 같은 유형의 장치 중 하나이다:

[0616] * 홀 효과 센서: 탄소 폼은 자기장에 대한 반응을 보여준다.

[0617] * 예를 들어 로봇공학의 촉각 센서; 로봇 터치 감지 응용 분야에 사용하기 위한 압저항 기반 압력 센서의 활성 층으로서, 구조 위로 그리고 구조 내로 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxan; PDMS)이 내장된 Gii 탄소 폼을 사용하는 프로토타입 센서가 도시되어 있다: 탄소 폼 중 몇몇 층은 0 내지 > 50 kPa 범위에서 0.0418 mV/kPa의 감도로 압력에 대한 감도를 나타낼 수 있다. DOI:10.4028/p-oy94hj. 및 DOI: 1109/CDE52135.2021.9455738

참조. 이들 내용은 허용되는 최대 범위까지 참조로 통합된다.

- [0618] * 감염성 질환 센서.
- [0619] * Gii 탄소 폼이 인터루킨 10 임피던스 측정 검출을 위해 피렌 카르복실산(pyrene carboxylic acid; PCA)으로 π - π 비공유 기능화되는 바이오센서. DOI:10.1016/j.bios.2022.114954을 참조하며, 그 내용은 허용되는 최대 범위까지 참조로 통합된다.
- [0620] * 상시 모니터링 화학 센서.
- [0621] * 포도당 모니터링 센서: 전기화학적 포도당 모니터링을 위한 가역적 폴리머 변위 센서 메커니즘이 도시되었다; 포도당용 피렌-유도 붕소산 화학 수용체는 탄소 폼 전극에 흡착되어, 폴리-노르디히드로구아아레트산(poly-nordihydroguaiaretic acid)과 경쟁적으로 결합한다. DOI:10.1039/D1AN01991K를 참조하며, 그 내용은 허용되는 최대 범위까지 참조로 통합된다.
- [0622] * 젖산 센서: 합성 유기 수용체 분자는 탄소 폼에 부착된 보론산을 기반으로 사용되어 표면 산화환원 폴리머 표시 변위를 사용하여 경쟁적 분석물 결합에 기능성과 선택성을 제공한다. DOI:10.1016/j.snb.2022.133089를 참조하며, 그 내용은 허용되는 최대 범위까지 참조로 통합된다.
- [0623] * pH 7 나노입자 고유 미세다공성 폴리머(PIM-1)의 인산염 완충 용액에 침지된 Gii 탄소 폼을 사용하여 과산화 수소 및 산소 검출과 같은, 가스 검출 센서. DOI:10.1016/j.elecom.2022.107394를 참조하며, 그 내용은 허용되는 최대 범위까지 참조로 통합된다.
- [0624] * 광학 검출기.
- [0625] * 자가 충전 하이브리드 에너지 발전 장치.
- [0626] * 유용한 화학 물질로의 녹색 가스 변환.
- [0627] * 연료 셀, 예를 들어 하이드로젠 연료 셀.
- [0628] * 가스 투과성 필터를 포함한 필터.
- [0629] * 가열 장치.
- [0630] **특정 R:비-그래핀 탄소 재료 폼**
- [0631] 기존의 그래핀 폼은, 주사 전자 현미경 하에서, 일반적으로 크기가 500 μm 인 크고 개방된 링형(ring-like) 구조를 갖는 것으로 보인다. 듀얼 레이저 공정을 사용하여 생성된 탄소 폼은 매우 다르게 보인다; 도 52 내지 57a는 이 Gii 탄소 폼의 SEM 이미지이다.
- [0632] 도 57b는 탄소 나노-어니언의 SEM으로서, 'Raman spectroscopy of polyhedral carbon nano-onions'. DOI: 10.1007/s00339-015-9315-9 및 또한 'Carbon nano-onions: unique carbon nano-structures with fascinating properties and their potential applications'. DOI:10.1016/j.ica.2017.07.021을 참조한다. Gii 탄소 폼과의 유사성은 명백하다.
- [0633] 앞서 언급된 바와 같이, 그래핀 폼은 소수성이며 습윤성이 낮다는 등 여러 가지 특성을 가지고 있다. 전형적인 그래핀 폼의 라만 분석은 다음의 시그니처를 보여준다: D 피크의 부재; 2D 피크는 G 피크보다 크다; 피크 D:피크 G 비율은 0에 가깝다. 그러나 듀얼 레이저 공정을 사용하여 생성된 탄소 폼은 이러한 특성을 전혀 공유하지 않는다; 친수성이며 접촉각이 20° 미만이다; 이는 그래핀의 텔-테일 라만 스펙트럼 시그니처가 부족하다; 2D 피크는 G 피크보다 상당히 더 낮다; 피크 D: 피크 G 비율은 0보다 상당히 높다. 도 58은 라만 시그니처의 일광성을 보여주는, 듀얼 레이저 공정을 사용하여 만들어진 8장의 탄소 폼 시트에 대한 라만변이(Raman shift)를 도시한다. 또한 상당한 D 피크를 보여준다; 2D 피크는 G 피크보다 낮다; 피크 D:피크 G 비율은 0보다 크다. 앞서 언급했듯이, 이 라만 스펙트럼은 탄소 나노-어니언과 많은 공통점을 가지고 있다. 또한 'Raman spectroscopy of polyhedral carbon nano-onions'의 도 18c. DOI: 10.1007/s00339-015-9315-9를 참조한다. Gii 탄소 폼의 낮은 전기 저항 탄소 나노-어니언 변형을 생성하는 데 사용된 특정 듀얼 레이저 파라미터는 아래의 표 5에 나와

있다:

표 5

[0634]

	제1 레이저	제2 레이저
레이저 기계	S300	S300
레이저 파장 (nm)	Flexx - IR 1064 nm	CO2 10600 nm
전력(와트)	11	36
속도(mm/s)	810.11	188.15
PPI(pulses per inch)	해당 없음	1000
주파수(Hz)	80000	해당 없음
DPI(Dot/inch)	1000	1000
오프셋 (mm)	0	15
패스	1	1

[0635]

다음과 같이 일반화할 수 있다:

[0636]

위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어지고, 친수성이며, 접촉각이 20° 미만인, 탄소 폼 재료.

[0637]

위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어지고, 상당한 D 피크를 나타내는 라만 스펙트럼을 갖는, 탄소 폼 재료로서; 2D 피크는 G 피크보다 낮다; 피크 D: 피크 G 비율은 0보다 크다.

[0638]

위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 나노-어니언 재료.

[0639]

앞에서 설명된 장치 중 어느 하나, 예를 들어, 센서, 압력 센서, 바이오센서, 홀 효과 센서, 슈퍼커패시터, 하이드로젠 연료 셀, 필터는 이러한 재료의 사용을 특징으로 할 수 있으므로 다음과 같이 일반화할 수 있다는 점에 유의한다.

[0640]

장치는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어지고, 친수성이며, 접촉각이 20° 미만인, 탄소 폼 재료를 포함한다.

[0641]

장치는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어지고, 상당한 D 피크를 나타내는 라만 스펙트럼을 갖는, 탄소 폼 재료를 포함한다; 2D 피크는 G 피크보다 낮다; 피크 D: 피크 G 비율은 0보다 크다.

[0642]

장치는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 나노-어니언 재료를 포함한다.

[0643]

부록 1하이드로겔 전해질을 사용한 슈퍼커패시터 구현

[0644]

부록 2Gii-Cap+ 하이드로겔

[0645]

부록 3GiiCap 이온겔

[0646]

부록 43개월 Gii-Sens® 분석 타당성 제안

[0647]

부록 5수용체가 링커를 통해 3D 탄소 폼 재료에 결합되는 센서 구현

[0648]

부록 6벤치마크 실험 조건:

[0649]

부록 7항-인간(anti-human) 프로칼시토닌(cAb)의 표면 고정화 최적화

[0650]

부록 1 내지 7은 Gii 탄소 폼의 구체적인 구현을 설명한다는 것에 유의한다.

[0651]

부록 8특징 및 선택적 특징의 통합 목록

[0652]

부록 1하이드로겔 전해질을 사용한 슈퍼커패시터 구현

[0653]

배경기술

[0654]

슈퍼커패시터는 전하를 저장하는 장치이다. 구성과 기능 면에서, 슈퍼커패시터는 전해질 커패시터와 충전식 배

터리 사이에 놓인다.

- [0655] 슈퍼커패시터의 특성은 짧은 충전 시간이 필요한 응용 분야와 수많은 충전/방전 사이클이 사용되는 응용 분야에서 충전식 배터리보다 우수하게 만든다. 배터리에 비해 슈퍼커패시터의 단점은 장기간에 걸쳐 에너지를 저장할 수 있는 용량이 적다는 점을 들 수 있다.
- [0656] 슈퍼커패시터의 동작 제한은 컴포넌트의 재료 특성에 따라 부과된다. 특히, 슈퍼커패시터가 동작할 수 있는, 즉 충전될 수 있는 최대 전압은 전해질 및/또는 전극의 안정성에 따라 달라진다. 커패시터의 최대 전압은 특히 커패시터에 의해 저장되는 에너지의 양은 전압의 제곱에 비례하기 때문에 중요한 파라미터이다. 유기 전해질을 사용하는 슈퍼커패시터는 일반적으로 수성 전해질을 사용하는 것보다 더 높은 전압을 지원한다. 유기 전해질을 활용함으로써, 슈퍼커패시터 설계자는 작동 범위가 2.5 내지 2.7 V인 장치를 생산할 수 있다. 대조적으로, 수성 전해질은, 비용 절감 및 독성 감소의 이유로 바람직한 경우가 많지만, 일반적으로 작동 전압 범위가 더 낮은 장치를 생산한다. 알려진 대칭형 수성 슈퍼커패시터는 일반적으로 1.3 내지 1.5 V보다 높은 전압을 지원할 수 없다. 서로 다른 재료의 전극이 사용되는 경우, 이 전압 한계는 1.8 내지 2.0 V에 도달할 수 있다. 수성 기반 슈퍼커패시터의 한계는 원칙적으로 1.23 V의 전위차에 노출될 때 발생하는 물의 전기분해 때문이다. 그러나 실제로 과전압(overpotential) 효과를 극복하려면 전기분해가 일어나기 전에 더 큰 전위차가 필요하다.
- [0657] 탄소를 기반으로 한 전극은 개발 초기부터 슈퍼커패시터와 연관되어 왔다. 초기에 탄소는 탄소가 넓은 표면적을 갖는 전극을 제조할 수 있는 가능성을 제공했기 때문에 전극 재료로 관심이 있었다. 전극 표면에서 소위 이중층의 중요성이 실현된 것은 나중에 슈퍼커패시터 장치의 개발 이후였다. 탄소를 전극 재료로 사용하는 것과 관련된 이 복잡하고 종종 이해하기 어려운 현상은 슈퍼커패시터와 관련된 높은 커패시터 값의 핵심이다. 탄소 기반 전극을 포함하는 슈퍼커패시터 장치는 전극 표면에 이중층을 포함하는 것으로 간주되며, 에너지가 정전기적으로 저장된다. 이러한 슈퍼커패시터를 정전기 이중층 커패시터 또는 EDLC라고 한다.
- [0658] 다른 카테고리의 슈퍼커패시터가 존재한다. 전기화학적 의사커패시터는 금속 산화물 전극 또는 전도성 폴리머 전극을 활용한다. EDLC의 정전하 저장 메커니즘과 달리, 의사 커패시터의 전하 저장은 대부분 전기화학적이다. 제3 유형의 슈퍼커패시터는 하이브리드 커패시터이다. 하이브리드 커패시터에는 비대칭 전극이 있다. 하나의 전극은 일반적으로 탄소로 되어 있으며 정전기 전하 저장 특성을 가지고 있다; 다른 전극은 일반적으로 리튬 함유 또는 리튬 도핑 재료로, 이는 주로 전기화학적 전하 저장 특성을 나타낸다.
- [0659] 통상적으로 슈퍼커패시터는 각 전극에 하나씩 연관된 두 개의 커패시터의 직렬 연결로 간주될 수 있고 모델링된다. 각 커패시터는 전극과 전해질 사이의 경계면에 포지셔닝되며, 슈퍼커패시터 전극, 전해질에 존재하는 용매 분자로 형성된 유전층(내부 헬름홀츠(Helmholtz) 평면이라고 함), 및 전극에 대전하기 위한 역전하로서 전해질에 의해 공급되는 전하 캐리어 층(외부 헬름홀츠 평면이라고 함)으로부터 형성된다. 전극, 각 전극에서 용량성 시스템을 형성하는 내부 헬름홀츠 평면과 외부 헬름홀츠 평면의 의 이러한 삼중 구조를 이중층 또는 전기 이중층이라고 한다.
- [0660] **이 부록 1 특징의 요약**
- [0661] 특징의 제1 양태는 다음을 포함하는 대칭형 슈퍼커패시터 장치를 제공한다: 두 개의 전극 - 각 전극은 이 명세서에 설명된 바와 같은 탄소 폼을 포함함(예를 들어, 부록 8의 특징 A 내지 K 참조) -; 및 활성 영역의 전극을 둘러싸는 이온 겔 또는 하이드로겔 전해질.
- [0662] 위의 특징 조합에 따른 대칭형 슈퍼커패시터 장치가 향상된 동작 전압 윈도우를 생성한다는 것을 발견했다. 장치를 대칭형이라고 지칭하는 것은 전극이 동일한 재료를 포함하고 이로 구성될 수 있음을 의미한다.
- [0663] 슈퍼커패시터의 동작 전압 윈도우 또는 동작 윈도우는 이러한 장치의 핵심 파라미터이며 전해질의 항복 전압에 의해 결정된다. 수성 전해질 기반 슈퍼커패시터의 경우, 물의 항복(breakdown)은 일반적으로 동작 전압 윈도우를 제한하는 원인이 된다.
- [0664] 현재 개시된 장치로 관찰된 예기치 않게 큰 동작 윈도우에 대한 이유가 상세히 파악되지 않고 이론에 대한 어떠한 제약도 없지만, 예외적인 특성은 탄소 폼 전극과 전해질의 조합 결과이며, 특히 이들 요소 사이의 계면의 결과임이 분명하다.
- [0665] 본 장치의 큰 동작 윈도우는 전기화학적 측면에서 전극에서의 예상치 못한 큰 과전압과 동일하다. 과전압은 해당 반응이 발생하는 데 필요한 특정 환원/산화 반응에 대한 열역학적 산화환원 전위를 넘어서는 전위차이다. 과전압은 일반적으로 잘 이해되지 않는 현상인데, 부분적으로는 이에 기여하는 많은 요소가 있기 때문이다. 예를

들어, 과전압은 전극 재료, 전극 형태 및 전해질의 특성에 따라 달라진다. 본 특징에서, 탄소 폼 전극에 의해 전해질에 제시되는 넓은 표면적은 장치 성능에 있어서의 역할을 할 것으로 생각된다. 이온이 대량의 전해질에서 전극 표면으로 확산되는 방식과 전극 표면에서 전하 캐리어의 관련 공핍은 과전압에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 이는 현재 장치에 있어서의 역할을 할 수 있다. 전해질 내 전하 캐리어의 확산 속도는 수화되지 않은 이온보다 크기가 더 큰 수화된 이온의 존재에 의해 영향을 받을 수 있다. 또한 전하 캐리어와 탄소 폼 전극의 형태 사이의 상호 작용으로 인해 발생하는 과전압에 영향을 미칠 수도 있다. 이온 겔 또는 하이드로겔 폴리머의 존재는 또한 전하 캐리어가 전극 표면으로 확산되는 데 영향을 미치며, 아마도 입체적이고 탄소 폼 형태와 관련이 있을 것으로 생각된다.

[0666] 하이드로겔은 액체 성분이 물이고, 폴리머 사슬의 네트워크로 형성될 수 있는 겔이다. 하이드로겔 전해질로 유전체가 형성된 슈퍼커패시터는 수성 전해질 기반 슈퍼커패시터와 관련된 성능 특성을 가질 것으로 예상된다. 그러나 이러한 기대에 반하여, 본 발명자들은 제1 양태에 따른 슈퍼커패시터, 즉 대칭 장치의 성능이, 전극이 동일한 재료로 되어 있고, 이러한 전극은 탄소 폼을 포함하며, 하이드로겔 전해질로 둘러싸여 있으며, 수성 기반 장치의 예상된 것을 능가한다는 것을 발견했다. 장치의 동작 전압 윈도우는 수성 전해질 기반 장치에 비해 예기치 않게 향상된다. 동작 윈도우는 유기 용매 기반 슈퍼커패시터와 더 유사하다.

[0667] 폴리비닐 알코올(polyvinyl alcohol; PVA), 폴리비닐피롤리돈(polyvinylpyrrolidone; PVP), 나트륨 폴리아크릴레이트, 아크릴레이트 폴리머 및 풍부한 친수성기를 갖는 코폴리머는 하이드로겔에 사용될 수 있는 폴리머의 예이다. 불소화 하이드로겔이 사용될 수 있다. 하이드로겔과 이온 전하 캐리어의 조합은 현재 시스템에 의해 달성되는 놀라운 정도로 큰 동작 윈도우를 달성하는 데 도움이 된다.

[0668] 현재 개시된 장치의 전극은 기판 상에 위치되고 전해질은 전극 구조의 적어도 일부를 밀봉하는 방식으로 전극의 상단에 존재하여 활성 영역을 형성한다. 슈퍼커패시터의 활성 영역은 전하가 저장되는 전해질과 전극을 포함하는 슈퍼커패시터의 영역이다.

[0669] 장치의 전극은 각지형 기하학적 형상을 가질 수 있으며, 즉 이들은 서로 맞물려 있을 수 있다. 각지형 전극 기하학적 형상은 슈퍼커패시터의 정전 용량을 최대화하는 데 도움이 된다. 각지형 전극 기하학적 형상은 분리막이 없는 장치를 추가로 인에이블시키도록 한다. 슈퍼커패시터는 일반적으로 전극 사이의 단락을 방지하기 위해 반대쪽을 향해 마주보는 전극 사이에 분리막을 포함한다. 분리막이 없으면 슈퍼커패시터 장치의 구성이 쉬워진다. 분리막은 예를 들어 전하 흐름을 억제하여 충전/방전 속도를 낮춤으로써 장치 성능에 부정적인 영향을 미칠 수도 있다. 분리막이 없으면 이러한 부정적인 성능 영향을 피할 수 있다.

[0670] 각지형 전극 기하학적 형상은 대칭 장치에 매우 적합하다. 전극이 동일한 재료로 되어 있는 경우보다 반대 전극의 재료가 서로 다른 경우 각지형 전극 기하학적 형상을 구성하는 것이 분명히 더 복잡하다. 전극이 동일한 재료로 되어 있는 경우, 전극은 한 가지 방법 단계로 아마도 현장에서 제조될 수 있다. 서로 다른 전극 재료가 사용되는 경우, 다수의 제조 단계가 필요하므로, 제조 공정이 크게 복잡해진다.

[0671] 분리막이 없으면 분리막이 장치 성능에 미칠 수 있는 어떠한 부정적인 영향(예를 들어, 충전/방전 속도 저하로 이어지는 전하 흐름 억제)도 추가로 제거한다.

[0672] 하이드로겔 전해질은 상기 향상된 동작 전압 윈도우를 생성하기에 충분히 높은 농도의 전하 캐리어를 포함할 수 있다.

[0673] 향상된 동작 전압 범위는 전하 캐리어의 농도에 따라 달라질 수 있다.

[0674] 전하 캐리어는 향상된 동작 전압 윈도우를 지원하는 산화환원 전위를 가질 수 있다.

[0675] 전하 캐리어는 산 수용액, 알칼리 수용액, 또는 염 수용액에 의해 제공될 수 있다. 사용될 수 있는 산에는 황산이 포함된다. 사용될 수 있는 알칼리에는 수산화칼륨이 포함된다.

[0676] 하이드로겔 전해질은 하이드로겔과 염의 혼합물을 포함할 수 있다. 전해질은 하이드로겔로 구성될 수 있으며, 그 하이드로겔화 폴리머는 예를 들어 PVA 또는 PVP일 수 있다. 염은 예를 들어 NaClO_4 , NaNO_3 또는 $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$ 일 수 있다. 염의 몰농도(molarity)는 예를 들어 0.5M 이상, 예를 들어 1M 이상, 예를 들어 2M 이상, 예를 들어 2.5M 이상, 예를 들어 3M 이상, 예를 들어 대략 5M일 수 있다. 염의 몰농도는 예를 들어 1M 내지 10M일 수 있거나, 예를 들어 2.5M 내지 7.5M일 수 있다.

[0677] 사용될 수 있는 염에는 포스포늄염, 과염소산염, 질산염 및 비산염이 포함된다. 염의 예에는 황산나트륨, 이황

산나트륨, 과황산나트륨, 과염소산나트륨, 과염소산리튬, 과염소산마그네슘, 질산나트륨, 육불화비산리튬이 포함된다. 이들 염의 수용액은 이온 캐리어를 제공하기 위해 전해질에 사용될 수 있다.

[0678] 전하 캐리어는 이온일 수 있다. 전하 캐리어는 수화된 이온일 수 있다.

[0679] 수화된 이온은 수성 환경에 있는 이온이다. 극성 물 분자는 이온을 중심으로 하는 수화 범위(hydration sphere)를 형성하는 이온 주위에 이들을 배열한다. 본 특징으로 관찰된 놀랍도록 넓고 향상된 동작 전압 윈도우 뒤에 있는 메커니즘의 세부 사항은 잘 이해되지 않으며 발명자는 이론에 의해 제약받고 싶어하지 않는다. 그림에도 불구하고, 본 장치의 놀랍도록 유리한 특성은 전극과 유전 재료 사이의 시너지의 결과이다. 향상된 성능은 당업자가 전기분해가 발생할 것으로 예상하는 전압 조건 하에서 물이 분해되지 않는다는 것을 표현한 것이다. 전극과 전해질 사이의 계면이 그 성능의 근원이 될 것으로 예상된다. 수화된 가능성이 있는 전하 캐리어의 크기와 전극에 존재하는 기공의 크기 사이에 시너지 상호 작용이 있을 가능성이 있다. 하이드로겔은 폴리머 사슬의 네트워크를 포함하며, 하이드로겔의 이 사슬 네트워크는 또한 물 분자가 분해를 일으킬 수 있는 전위차에 노출되는 것을 제한하는 물리적(입체) 효과를 가질 수 있다.

[0680] 수화 이온의 크기가 커지면 탄소 폼 전극의 다공성 구조와 결합하여 전극 표면에 가까운 확산을 방해하여, 결과적으로 과전압이 증가되는 것으로 생각된다.

[0681] 대칭형 슈퍼커패시터 장치의 전극은 다공성 탄소 폼을 포함할 수 있다. 선택적으로 전극은 추가적인 바인더 재료를 포함하지 않을 수 있다.

[0682] 다공성 탄소 폼 전극은 전해질의 전하 캐리어와 결합하여 과전압을 증가시키며 이로써 슈퍼커패시터의 동작 윈도우를 향상시키는 것으로 여겨진다.

[0683] 탄소 폼은 평면 시트가 아닌 3차원 구조를 형성하기 위해 서로 다시 접힌 하나 이상의 2D 탄소 시트(각 시트는 sp² 결합 탄소 층임)로 구성된다. 탄소 폼에는 흑연이나 다층 2D 탄소에서 발견되는 평면 탄소 시트의 규칙적인 AB 스택이 부족하다. 탄소 폼 재료는 일반적으로 다공성이다. 탄소 폼은 높은 표면적을 갖는다. 탄소 폼의 다공성과 결과적으로 폼의 표면적은 성장 방법의 파라미터를 변화시켜 제어될 수 있다. 이는 전극의 제조 공정 동안 장치의 전극의 다공성이 제어될 수 있다는 이점을 갖는다.

[0684] 탄소 폼 전극은 기판 상에 있을 수 있다. 탄소 폼 전극은 폴리이미드 기판 상에 있을 수 있다. 폴리이미드 기판은 폴리이미드일 수 있다. 기판은 슈퍼커패시터 장치의 기판을 형성할 수 있다. 기판은 플렉서블할 정도로 충분히 얇을 수 있으며, 그 결과 플렉서블한 슈퍼커패시터 장치가 생성된다. 기판은 다음 재료 중 하나 이상을 포함한다(예를 들어 이로부터 형성된다): 폴리이미드(예를 들어, 폴리(4,4'-옥시디페닐렌-피로멜리티미드), 그렇지 않으면, 폴리이미드로 알려짐), 폴리에테리미드(PEI), 폴리(메틸 메타크릴레이트)(PMMA)(예를 들어, 스프레이 코팅 PMMA), 폴리우레탄(PU), 폴리에스테르, 비닐 폴리머, 탄화 폴리머, 포토레지스트 폴리머, 알키드, 요소-포름알데히드.

[0685] 이러한 기판 재료는 위에서 설명된 듀얼 레이저 공정을 사용하여 탄소 폼으로 변환되는 탄소원으로 활용될 수 있다. 이러한 방식의 탄소 폼의 생산은 폴리이미드 기판(예를 들어)에 방사선, 예를 들어 레이저 방사선으로 조사함으로써 달성될 수 있다. 이는 기판에 직접 부착된 비정질의 비-그래핀 물질의 중간층을 통해 기판에 화학적으로 간접적으로 고정되어(본 명세서 앞부분 참조) 견고한 구조를 생성하는 탄소 폼을 생산한다. 따라서 전극은 기판의 일부를 탄소원, 즉 탄소 폼을 생산하기 위한 시약으로 사용하여 현장에서 생산된다. 구조는 견고함과 동시에 플렉서블할 수 있다. 플렉서블 장치는 많은 측면에서 유리하다. 플렉서블한 장치는 예를 들어 이를 말아서 패키징하는 것이 유리할 수 있다. 예를 들어 플렉서블한 장치는 곡선형 구조의 표면에도 부착될 수 있다.

[0686] 기판은 실질적으로 평면일 수 있다. 기판은 필름, 예를 들어 박막 필름일 수 있다. 기판은 5 μm 보다 큰 두께를 가질 수 있다. 기판은 120 μm 미만의 두께를 가질 수 있다. 기판은 5 μm 내지 120 μm 사이의 두께를 가질 수 있다. 기판의 두께는 기판의 표면에 걸쳐 실질적으로 균일할 수 있다. 기판은 플렉서블할 수 있다. 기판은 유연할 수 있다.

[0687] 기판은 제1 표면과 제2 표면을 갖는 폴리이미드 테이프(예를 들어, 폴리이미드 테이프)일 수 있다.

[0688] 전극은 동작 전압 윈도우를 최적화하기 위해 질량 밸런싱을 이룰 수 있다.

[0689] 슈퍼커패시터는 두 개의 커패시터가 함께 직렬로 연결된 것으로 간주될 수 있다. 슈퍼커패시터의 용량을 최대화하려면, 두 구성 커패시터의 용량이 동일해야 한다. 이는 개별 전극의 표면적을 조정하고, 이에 따라 용매화된 이온의 특성과 같이 용량에 기여하는 다른 요인을 보상함으로써 설계될 수 있다. 개별 전극을 조정하는 이러한

공정을 질량 밸런싱(mass balancing)이라고 한다. 전극의 질량 밸런싱은 초전도체 소자의 용량이 극대화될 수 있고, 슈퍼커패시터의 수명이 연장될 수 있는 이점이 있다.

[0690] 제2 양태에서, 제1 양태에 따른 대칭형 슈퍼커패시터 장치를 제조하는 방법이 있으며, 이로써:

[0691] 전극은 기관 상에 형성되고;

[0692] 전하 캐리어 및 하이드로겔을 포함하는 전해질이 전극에 도포되고;

[0693] 전극은 전구체로부터 형성되어, 전극이 활성 영역의 전해질에 내장되도록 한다.

[0694] 탄소 폼의 전극은 기관의 일부(상기 기관이 탄소원이거나 이를 포함하는 경우)를 탄소 폼으로 변환하거나, 예컨대 물리 기상 증착(PVD), 화학 기상 증착(CVD), 분자 빔 에피택시(MBE), 스퍼터링, 레이저 유도 성장, 펄스 레이저 증착, 캐소드 아크(arc) 증착, 스핀 코팅, 딥(dip) 코팅 또는 졸-겔(sol-gel) 방법과 같은, 화학적 또는 물리적 증착 방법을 사용하여 만들어질 수 있다. 이러한 방식으로, 전극은 현장에서 기관 상에 생산된다.

[0695] 전해질 전구체는 전하 캐리어의 수용액을 제조하고 이 수용액을 하이드로겔과 혼합함으로써 제조될 수 있다. 전극은 레이저 방사선을 사용하여 형성될 수 있다.

[0696] 전해질 전구체를 제조할 때, 전해질 내 염의 침전 또는 결정화가 바람직하지 않다는 점을 염두에 두어야 한다. 전해질로부터 염 또는 염의 고체의 침전은 장치의 균열(cracking), 또는 장치의 다른 결함 또는 장치 성능의 결함으로 이어질 수 있다. 이는 소금 용액의 농도에 상한선을 둔다. 과포화 소금 용액 사용을 피하는 것이 유리할 수 있다. 정확한 농도 상한선은 존재하는 화학 물질의 세부 사항에 따라 달라질 수 있다. 과염소산나트륨의 경우, 발명자들은 5M 농도가 염의 침전 또는 결정화를 방지하는 전해질을 생산하고, 또한 다른 특징과 결합하여, 슈퍼커패시터 장치에 개별 컴포넌트의 고려사항으로부터 예상되는 것 이상의 동작 윈도우를 제공한다는 것을 발견했다. 전해질은 4M보다 큰 농도를 갖는 염 용액을 포함할 수 있다. 전해질은 3M 초과, 또는 2M 초과, 또는 1M 초과 또는 0.5M 초과의 농도를 갖는 염 용액을 포함할 수 있다.

[0697] 더 높은 농도에서는, 염이 전해질 겔에서 쉽게 침전되고, 실행 가능한 장치에 대해 너무 빨리 침전되는 것으로 관찰되었다. 이러한 침전은 물의 증발로 인해 발생할 수 있다. 가수분해를 통한 수분 손실이 또 다른 원인일 수 있다. 어쨌든, 발명자들은 과염소산나트륨의 농도를 사용하여 최대 16.5 M까지 전해질 겔이 형성될 수 있지만, 10 M 이상의 모든 농도에서 침전 문제가 관찰되었다는 것을 발견했다.

[0698] 하이드로겔 전해질 제조시에는, 고 분자량의 염 용액이 사용될 수 있다.

[0699] 일반적으로 비용상의 이유로 더 낮은 농도의 염 용액이 유리하다.

[0700] 탄소 폼 층은 두께가 10 μm 내지 100 μm 일 수 있다. 이는 장치의 유연성을 촉진한다. 장치는 말아서 더욱 컴팩트하게 만들 수 있다.

[0701] 100 μm 내지 1000 μm 사이의 갭(gap)은 전극을 서로 분리할 수 있다. 장치의 용량은 전극 사이의 갭에 따라 달라지며 결과적으로 이 갭을 조절하면 저장될 수 있는 전하량에 영향을 미친다.

[0702] 본 장치의 동작 윈도우는 1.5 V보다 클 수도 있고, 2 V보다 클 수도 있고, 2.5 V보다 클 수도 있다.

[0703] 시스템의 염의 한 양태의 선택적이고 바람직한 특징은 시스템의 염의 다른 양태의 특징일 수 있다.

[0704] 부록 1 도면의 설명

[0705] 다음 도면을 다음과 같이 참조한다:

[0706] 도 59는 25 mV/s에서 측정된 양전압에 대한 탄소 폼 순환 전압전류도를 나타낸다.

[0707] 도 60은 25 mV/s에서 측정된 음전압에 대한 탄소 폼 순환 전압전류도를 나타낸다.

[0708] 도 61은 양전압 윈도우에 대해 0.5 mA/cm²에서 측정된 탄소 폼 정전류식 충방전(galvanostatic charge discharge; GCD) 곡선을 나타낸다.

[0709] 도 62는 음전압 윈도우에 대해 0.5 mA/cm²에서 측정된 탄소 폼 정전류식 충방전(GCD) 곡선을 나타낸다.

[0710] 도 63은 5개의 2-전극 장치로부터 얻은 탄소 폼 정전류식 충방전(GCD) 데이터를 나타낸다.

[0711] 도 64는 높은(좌측) 주사 속도와 낮은(우측) 주사 속도로 5개의 서로 다른 2-전극 장치로부터 기록된 탄소 폼

순환 전압전류도를 나타낸다.

[0712] 도 65는 하이드로겔 전해질의 특성에 따라 다른 5개의 추가 시스템에 대한 탄소 폼 순환 전압전류 데이터를 나타낸다: (a) 3M NaClO₄ 및 PVA; (b) 1M NaClO₄ 및 PVA; (c) 2.5M NaNO₃ 및 PVA; (d) 3M Mg(ClO₄)₂ 및 PVA; 및 (e) 5M NaClO₄ 및 PVP.

[0713] **부록 1 상세한 설명**

[0714] 2-전극 슈퍼커패시터

[0715] 이 특징에 따른 일반적인 탄소 폼 슈퍼커패시터 장치는 도 26에 도시된 바와 같이, 각지형 탄소 폼 전극을 가지고 있다. 다시 캡핑하기 위해, 폴리이미드 기판은 이 예에서 탄소 폼으로 구성되고 각지형 콤 기하학적 형상 (interdigitated comb geometry)으로 배열되고 각지형 전극 구조를 형성하는 슈퍼커패시터 전극을 지지한다. 은 전류 콜렉터는 각 반대 전극을 전기적으로 통합하는 역할을 하는 장치의 각 측면에 런 다운(run down)한다. 각지형 전극 구조의 비기판 측면은 하이드로겔로 둘러싸여 있다. 하이드로겔을 담기 위해 폴리이미드 뚜껑을 추가하거나, 그렇지 않으면 적절한 방식으로 장치를 패키징하는 것이 가능하다.

[0716] 앞서 설명된 바와 같이, 탄소 폼 전극은 폴리이미드 기판 상에 형성될 수 있다. 탄소원을 제공하는 적절한 기판 (이 예에서는 폴리이미드 기판)을 레이저 빔에 노출시킴으로써, 기판 위에 탄소 폼이 생성된다. 이러한 방식으로 생산된 탄소 폼은 기판 밖으로 성장하여 기판에 간접적으로 부착된다. 이러한 방식으로 현장에서 형성된 기판과 탄소 폼 전극은 하나의 본체를 형성한다.

[0717] 탄소 폼 전극은 주변 조건 하에서 적외선 CO₂ 레이저를 사용하여 생산되었다. 기판은 공칭 두께가 127 마이크로인 상업용 폴리이미드 필름이었다. 한 가지 예에는 각 전극에 대해 11개의 평행한 탄소 폼 스트립이 있다. 이 개수는 분명히 변경될 수 있다. 양극용 탄소 폼 스트립은 제2 전극용 탄소 폼 스트립과 오프셋되어, 각지형 구조를 형성한다.

[0718] 전극 치수는 표 6에 설명되어 있다:

표 6

[0719]

질량 밸런스 비율	1.18
양의 하프셀 '전극 핑거'	
길이 (cm)	0.4
폭 (cm)	0.0472
두께 (cm)	0.005
핑거 수	11
총 노출된 영역 (cm ²)	0.20768
음의 하프셀 '전극 핑거'	
길이 (cm)	0.4
폭 (cm)	0.04
두께 (cm)	0.005
핑거 수	11
총 노출된 영역 (cm ²)	0.176
핑거 간 거리 (cm)	0.04
총 활성 전극 표면적 (cm²)	0.38368
총 활성 전극 볼륨 (cm³)	0.0019184

[0720] 3-전극 장치

[0721] 2-전극 슈퍼커패시터 장치 외에도, 기준 전극을 추가로 포함하는 3-전극 테스트 장치도 제작되었다. 3-전극 장치는 작동 전극, 상대 전극 및 Ag/AgCl 기준 전극을 포함한다. 작동 전극과 상대 전극 각각은 앞서 설명된 바와 같은 폴리이미드 기판의 듀얼 레이저 조명에 의해 이 특정 실시예에서 생산된 탄소 폼으로 만들어진다. 이 장치는 NaClO₄ 하이드로겔 전해질이 안정적인 전압 범위를 결정하는 데 사용된다. 3-전극 장치는 임의의 측정이 수행되기 전 제작 이후 적어도 1시간 동안 안정화되도록 두었다.

[0722] 하이드로겔 전해질의 제조

[0723] 개시된 2-전극 및 3-전극 장치 각각은 과염소산나트륨의 5M 용액을 기반으로 하며 전해질은 지금 설명하는 방식으로 제조되었다. 과염소산나트륨의 5M 용액은 과염소산나트륨(Sigma-Aldrich의 순도 98%)을 탈이온수(사용량: 3.061g의 NaClO₄이 5ml 탈이온 H₂O에 용해되었음)에 용해시켜 제조되었다. 그런 다음 폴리비닐 알코올(PVA, 99% 가수분해됨, Sigma-Aldrich)을 첨가하면서 과염소산나트륨 용액을 120 °C의 핫 플레이트에서 자석 교반기로 교반하였다. 용액 10 mL마다, PVA 1.5g이 용해되었다. 과염소산나트륨 용액과 PVA의 혼합물을 핫플레이트로부터 제거하고 냉각시키면, 흰색의 불투명한 겔형(gel-like) 용액이 형성된다. 그런 다음 겔 용액은 겔 용액이 액화되어 투명해질 때까지 120 °C로 가열된다. 그런 다음 그래핀 전극 위에 증착된다. 전극 표면에 증착된 후, 액화된 하이드로겔 전해질 재료는 실온에서 약 5분 안에 고체화된다. 전극에 증착되는 전해질의 양은 덮일 표면적에 따라 달라진다. 테스트 장치의 경우, 150 μL의 전해질이 증착되었다.

[0724] 3-전극 장치의 실험 결과

[0725] 슈퍼커패시터에서 얻을 수 있는 성능은 궁극적으로 전해질의 안정성에 의해 제한된다.

[0726] 본 시스템의 전해질 안정성을 테스트하기 위해, 여분원에 설명된 3-전극 장치를 사용하여 여러 실험을 실행되었다. 작동 펄스 전압전류법(differential pulse voltammetry; DPV)는 처음에 순환 전압전류법(CV) 및 정전류식 충방전(GCD) 측정에 의해 조사될 전압 윈도우를 선택하는 데 사용되었다.

[0727] i 순환 전압전류법

[0728] 전해질의 안정성을 결정하기 위해 순환 전압전류 측정을 수행했다. 표준 3 전극 측정에서, 작동 전극과 기준 전극 사이의 전위는 개방 회로 전위(OCP; 공칭 0 V)에서 미리 결정된 상한선까지 일정한 속도로 스윙된 후 다시 스윙되었다. 이 시간 동안 작동 전극의 전류 응답을 모니터링했다.

[0729] 이러한 측정 결과는 도 59와 도 60에 도시되어 있다. 도 59는 OCP로부터 양의 방향으로 전압이 주사되는 결과를 도시한다.

[0730] 결과의 상위 세트는 최대 전위 1 V, 1.2 V, 1.3 V 및 1.4 V의 4가지 전압전류도를 도시한다. 더 낮은 결과 세트에는 최대 전위 1.6 V의 전압전류도가 추가로 포함된다. 전압 상한선이 1.2 V를 넘어 증가함에 따라 순환 전압전류도의 모양은 "사각형"이 줄어들다. 최종 주사 전압이 커짐에 따라 점점 더 뚜렷해지는 테일은 아마도 물의 전기분해로 인한 전해질 저하를 나타낸다. 이러한 전압전류도는 전해질이 최대 +1.2 V까지 안정적임을 나타낸다.

[0731] 도 60은 유사한 결과 세트를 도시하지만 음전압에 대해 얻은 것이다. 이러한 데이터는 전해질이 -1.4 V까지 안정적임을 시사한다.

[0732] 종합하면, 도 59와 60의 데이터는 2.6 V 장치에 대한 작동 윈도우를 제공한다. 이는 수성 전해질을 사용하여 예상되는 것보다 상당히 높다.

[0733] ii 정전류식 충방전(GCD) 데이터

[0734] 충전 및 방전 시간으로부터 쿨롱 효율을 결정하기 위해 정전류식 충방전(GCD) 측정을 수행했다. 이러한 측정에서는, 상대 전극과 작동 전극 사이에 전류가 인가되고, 작동 전극의 전압 응답(기준 전극 참조)이 측정된다. 선택된 전압 윈도우에 대해 2×10^{-5} A(0.5 mA/cm²)의 방전 전류를 사용하여 측정된 GCD 곡선이 양전압에 대해 도 61에 도시되어 있다. 곡선은 전해질 저하를 나타내는 1.2 V를 넘어 안정된다. 선택된 음전압 윈도우에 대한 GCD 곡선이 도 62에 도시되어 있다.

[0735] 최대 -1.6 V 및 -1.8 V의 전압 윈도우에서 상당한 정체 현상이 나타나며, 이는 전해질 저하를 나타낸다. -1.4 V의 전압 윈도우에는 삼각형 모양의 GCD 곡선이 있으며 안정성을 나타낸다.

[0736] 순환 전압전류법 측정 결과와 3-전극 시스템에 대한 정전류식 충방전 측정 결과가 다음 표에 요약되어 있다.

[0737] 첫 번째 표인 표 7에는 양전압 윈도우에 대한 평균 쿨롱 효율, 면적 방전 정전용량 및 방전 에너지 데이터가 요약되어 있다.

표 7

EW	평균 쿨롱 효율	표준 편차	평균 방전 면적 정전용량	표준 편차	GCD의 방전 에너지
[V]	[%]	[%]	[mF/cm ²]	[mF/cm ²]	[J]
1	93.9	0.91	1.59	5.66E-02	3.12E-05
1.1	91.7	1.32	1.69	6.23E-02	4.02E-05
1.2	87.8	1.30	1.82	7.53E-02	5.17E-05
1.4	54.9	7.04	2.95	3.56E-01	1.14E-04
1.6	25.3	2.71	9.60	1.32E+00	4.05E-04

두 번째 표인 표 8에는 음전압 윈도우에 대한 평균 쿨롱 효율, 면적 방전 정전용량 및 방전 에너지 데이터가 요약되어 있다.

표 8

EW [V]	평균 쿨롱 효율 [%]	표준 편차	평균 방전 면적 정전용량 [mF/cm ²]	표준 편차	GCD의 방전 에너지 [J]
-1	87.86	9.911	1.2970	0.311	2.65E-05
-1.2	87.98	7.354	1.5103	0.577	3.84E-05
-1.4	87.04	5.636	1.8482	1.012	5.72E-05
-1.6	82.21	5.419	3.1486	2.598	1.30E-04
-1.8	67.16	17.728	5.3844	4.637	2.88E-04

이 요약표에서, 쿨롱 효율은 두 번째 GCD 사이클에서 측정된 저장 에너지와 전달 에너지의 비율이다; mF/cm² 단위의 면적 정전용량은 다음 공식으로 계산된다:

$$\text{면적 정전용량} \left[\frac{\text{mF}}{\text{cm}^2} \right] = \frac{2 * E_{(dis)charge} [J]}{A_{geometric} [\text{cm}^2] * (EW)^2 [V^2]} * 1000$$

방전 에너지는 GCD 곡선의 충전 및 방전 부분의 시간 경과에 따른 적분이다.

GCD 곡선은 +1.2 V 및 -1.4 V가 현실적인 양전압 및 음전압 한계임을 나타낸다.

이러한 전압 한계 값과 면적 정전용량을 사용하면 다음 공식에 따라 질량 밸런스를 계산할 수 있다:

$$\frac{m^+}{m^-} = \frac{C^- \Delta E^-}{C^+ \Delta E^+}$$

여기서 m⁺ = 양극의 질량, m⁻ = 음극의 질량, C⁺ = 양극의 정전용량(F), C⁻ = 음극의 정전용량(F), ΔE⁺ = 양전압 윈도우 한계, ΔE⁻ = 음전압 윈도우 한계이다.

2-전극 장치의 실험 결과 - 슈퍼커패시터 성능

0.25 mA/cm² 내지 30 mA/cm²의 인가 전류 밀도 범위에 대해 2-전극 슈퍼커패시터 장치에 대한 정전류식 충방전(GCD) 데이터가 수집되었다. 도 63은 5개의 서로 다른 장치(CH1 내지 CH5)에서 가져온 GCD 결과를 보여준다. 2.6 V의 전압 윈도우를 사용하여 이러한 데이터를 수집하며, 더 높은 전류 밀도에서 더 큰 전해질 안정성이 관찰된다. 2-전극 슈퍼커패시터에 대한 추가 성능 데이터는 0.01 V/s 내지 5 V/s의 주사 속도에서 본 구현에 따라 5개의 서로 다른 장치(장치 #1 내지 #5)로부터 기록된 순환 전압전류도를 나타내는 도 64에 제시되어 있다.

우측 열의 순환 전압전류도는 낮은 주사 속도(0.01 V/s, 0.025 V/s, 0.05 V/s, 0.075 V/s, 0.1 V/s, 0.25 V/s 및 0.5 V/s)에서 기록되었고, 좌측 열의 순환 전압전류도는 높은 주사 속도(0.75 V/s, 1 V/s, 2 V/s, 3 V/s, 4 V/s 및 5 V/s)에서 기록되었다. 이러한 데이터에 나타난 경향은 더 높은 주사 속도에서 전해질 안정성이 더 높다는 것이다. 도 64에 도시된 각 순환 전압전류도 세트에서, 주사 전압이 빨라질수록 전압 상승과 전압 하강 사

이의 전류 응답의 차이가 커진다.

[0752] 위에 개시된 장치 외에, 장치는 유사한 방식으로 구성되었지만 하이드로겔 전해질은 (a) 3M NaClO₄ 및 PVA, (b) 1M NaClO₄ 및 PVA, (c) 2.5M NaNO₃ 및 PVA, (d) 3M Mg(ClO₄)₂ 및 PVA 및 (e) 5M NaClO₄ 및 PVP를 포함한다.

[0753] 이러한 추가 장치에 대한 순환 전압전류 측정은 도 [.] 10에 도시되어 있다. 각 전해질의 경우, 순환 전압전류도는 0 V 내지 0.7 V 사이에서; 0 V 내지 0.8 V 사이에서; 0 V 내지 0.9 V 사이에서; 0 V 내지 1.0 V 사이에서; 0 V 내지 1.2 V 사이에서; 0 V 내지 1.3 V 사이에서; 및 0 V 내지 1.4 V 사이에서 실행되었다. 마찬가지로, 각 전해질의 경우, 순환 전압전류도는 0 V 내지 -0.7 V 사이에서; 0 V 내지 -0.8 V 사이에서; 0 V 내지 -0.9 V 사이에서; 0 V 내지 -1.0 V 사이에서; 0 V 내지 -1.2 V 사이에서; 0 V 내지 -1.3 V 사이에서; 및 0 V 내지 -1.4 V 사이에서 실행되었다. 이러한 데이터는 도 65에 도시되어 있다.

[0754] 데이터는 각 장치에서 전해질이 (d) 3M Mg(ClO₄)₂ 및 PVA, 그리고 (e) 5M NaClO₄ 및 PVP 각각에 대해 -1.4 V 및 +1.1 V의 한계까지 그리고 +1.2 V까지 안정할 수 있음을 나타낸다.

[0755] 본 개시의 범위 내에서 추가 변형 및 수정이 이루어질 수 있다.

[0756] 부록 1 개념

[0757] 1. 대칭 슈퍼커패시터 장치에 있어서,

[0758] 두 개의 전극 - 각 전극은 탄소 폼 재료를 포함함 -; 및

[0759] 활성 영역에 전극을 둘러싸는 하이드로겔 전해질을 포함한다.

[0760] 2. 개념 1에 따른 대칭 슈퍼커패시터 장치에 있어서, 상기 하이드로겔 전해질은 하이드로겔과 염의 혼합물을 포함한다.

[0761] 3. 개념 1 또는 개념 2에 따른 대칭 슈퍼커패시터 장치에 있어서, 이온성 전하 캐리어를 포함한다.

[0762] 4. 개념 3의 대칭 슈퍼커패시터 장치에 있어서, 이온성 전하 캐리어는 수화된다.

[0763] 5. 이전 개념 중 어느 하나에 따른 대칭 슈퍼커패시터 장치에 있어서, 상기 전극은 탄소 폼(carbon foam)을 포함한다.

[0764]

[0765] 6. 이전 개념 중 어느 하나에 따른 대칭 슈퍼커패시터 장치에 있어서, 상기 전극은 탄소 폼 재료를 포함한다.

[0766] 7. 개념 1, 5 및 6 중 어느 하나에 따른 대칭 슈퍼커패시터 장치에 있어서, 탄소 폼 재료는 기관 상에 형성된다.

[0767] 8. 개념 7에 따른 대칭 슈퍼커패시터 장치에 있어서, 기관은 폴리이미드 기관이다.

[0768] 9. 개념 7 또는 개념 8에 따른 대칭 슈퍼커패시터 장치에 있어서, 기관은 장치의 기관을 형성한다.

[0769] 10. 이전 개념 중 어느 하나에 따른 대칭 슈퍼커패시터 장치에 있어서, 대칭 슈퍼커패시터 장치는 플렉서블하다.

[0770] 11. 개념 1 내지 10 중 어느 하나에 따른 대칭 슈퍼커패시터 장치를 제조하는 방법에 있어서,

[0771] 전극은 기관 상에 형성되고;

[0772] 전하 캐리어 및 하이드로겔을 포함하는 전해질이 전극에 도포되고;

[0773] 전극은 전구체로부터 형성되어, 전극이 활성 영역의 전해질에 내장되도록 한다.

[0774] 12. 개념 11에 따른 대칭 슈퍼커패시터 장치를 제조하는 방법에 있어서, 전해질 전구체는 전하 캐리어의 수용액을 제조하고 이 수용액을 하이드로겔과 혼합함으로써 제조된다.

[0775] 13. 개념 11 또는 개념 12에 따른 대칭 슈퍼커패시터 장치를 제조하는 방법에 있어서, 전극은 현장에서 형성된다.

[0776] 14. 개념 11 내지 개념 13 중 어느 하나에 따른 대칭 슈퍼커패시터 장치를 제조하는 방법에 있어서, 전극은 레

이저 방사선으로 상기 기판을 조사하여 형성된다.

[0777] **부록 2 : Gii-Cap+ 하이드로겔**

[0778] 이 부록 2 섹션에서, 의사용량성 재료가 증착될 수 있는 이상적인 기판으로서 Gii 탄소 폼의 효과를 입증하여, 유일한 전극 재료인 Gii 탄소 폼에 비해 크게 향상된 정전용량을 산출한다. 맥락상, 이러한 탄소 폼 전용 장치는 0.25 내지 0.4 mF/cm² 영역의 폴셀 비정전용량을 보여준다.

[0779] 샘플 준비

[0780] A7 크기의 Gii-Caps는 의사용량성 재료 층을 그 위에 주조(cast)하기 위해 전착(electrodeposited)되었다. v4 와 v5 디자인 모두 전착에 적합하여, 유사한 성능을 산출한다. v4 샘플에 대한 결과는 이 문서에 상세히 설명될 것이다.

[0781] 6개의 Gii-Cap 장치(2행, 3열)를 포함하는 시트를 먼저 반으로 잘라 2개의 3-장치 하프-시트를 생성했다. 두 개의 하프-시트를 자체 제작한 지그(jig)에 장착하고 전착 탱크인 미니플랜트(MiniPlant) 3 내부에 배치했다. 샘플을 먼저 MnOx로 증착하고, 탈이온수로 행구고, 이어서 FexOy로 증착했다. FexOy 증착 후, 다시 행구고 공기 중에서 40 °C에서 적어도 2시간 동안 건조했다.

[0782] 구체적인 증착은 다음과 같다. 산화망간 전구체 용액은 망간 아세테이트 테트라하이드레이트(40 mM)과 계면활성제(Tween20, 0.1 wt%)의 혼합물을 함유하였다. 증착은 정전류 펄스에 의해 수행되었다. ON 시간은 0.5초였고, OFF 시간은 2초였다. 인가된 ON 전류는 744 mA(19.14 mA/cm², 전극의 공칭 기하학적 면적 기준)였다. OFF 전류는 0 mA, 즉 개방 회로였다. MnOx는 총 390 사이클 동안 증착되었다(전극당 3.7 C/cm²). FexOy 전구체 용액은 40 mM Fe-TEA 복합체(TEA는 트리에탄올아민임)로 구성된다. FeCl₃, TEA 및 NaOH가 함유되어 있다. 증착은 또한 정전류 펄스에 의해 수행되었다. ON 시간은 1초였고, OFF 시간은 2초였다. 인가된 ON 전류는 233 mA(6 mA/cm²)였고, OFF 전류는 0 mA로 설정되었다. 증착은 1,000 사이클 동안 수행되었으며, 결과적으로 전극당 6 C/cm²가 생성되었다.

[0783] 증착이 완료되고 샘플이 건조된 후, 개별 장치로 싱글레이트(singulated)되었다. 스크린 인쇄된 Ag/AgCl 잉크(테스트 중 개별 전극 전위를 모니터링하는 데 사용됨)를 포함하는 의사-기준 전극(RE)은 작동 영역 외부의 장치 가장자리 중 하나를 따라 고정되었다. 그런 다음 전해질은 장치의 작동 영역에 도포되고 RE로 확장되었다. 사용된 전해질은 염으로서 NaClO₄를 함유하고 겔화제로서 PVA(Polyvinyl alcohol)를 함유하는 수성 하이드로겔이었다. 하이드로겔의 스톡 배치(stock batch)에는 NaClO₄ 모노하이드레이트 199.5 g, 탈이온수 256.9 ml 및 PVA 42.4 g이 함유되어 있다. 혼합물은 실온에서 고체이고 물의 끓는점에 가까운 온도에서 액체가 된다. 하이드로겔을 분배하기 위해, 94 °C로 가열되어 이를 액화시켰다. 액체 전해질을 활성 영역과 RE에 피펫팅(pipetting)하여, 일반적으로 장치당 3 내지 4 ml씩 분배했다. 그런 다음, 샘플 상의 하이드로겔을 냉각시켜 약 10분 후에 다시 고체화시켰다. 응고(solidification) 후, 폴리이미드 필름을 장치에 도포하여 과도한 전해질 증발을 방지했다. 뚜껑이 적용되면, 장치를 테스트할 준비가 되었다.

[0784] 전기화학적 테스트 파라미터

[0785] 샘플은 바이오로직(Biologic) VMP-3 potentiostat/galvanostat를 사용하여 전기화학적으로 테스트되었다. 초기 성능 특성화를 거친 후, 500회 충전-방전 사이클(컨디셔닝 프로토콜)을 거쳐 최종 특성화를 완료했다. 보고된 공칭 값은 제2 특성화 단계에서 얻은 값이다. 샘플을 보다 안정적이고 일관된 성능으로 가져오기 위해 컨디셔닝 프로토콜이 적용되었다.

[0786] 테스트하는 동안, 전압은 최소 0V, 최대 2V로 셀 레벨(양극과 음극 사이의 절대 차이)로 제어되었다. 각 전극과 공통 RE 사이의 전위차는 또한 측정되어, 개별 전극 성능 메트릭을 계산할 수 있다.

[0787] 두 가지 특성화 단계를 라곤(Ragone) 테스트라고 한다. 이들은 동일했고 다음과 같이 구성되었다:

[0788] a) 순환 전압전류법(CV) 세 가지 주사 속도가 사용되었다: 50, 100 및 250 mV/s. 주사 속도당 5 사이클이 적용되었다.

[0789] b) 정전류식 충전-방전(GCD). 7가지 전류 밀도가 테스트되었다: 1, 2.5, 5, 7.5, 10, 20 및 30 mA/cm² (총 장치 기하학적 면적 기준 = 12.96 cm²). 각 전류 밀도에서 5 사이클이 수행되었다.

[0790] c) 전기화학적 임피던스 분광법(Electrochemical Impedance Spectroscopy; EIS). 1 V DC 인가 전압과 10 mV AC 신호를 사용하여 전압 제어됨. 1 MHz 내지 10 mHz 영역에서 측정됨.

- [0791] 컨디셔닝(conditioning) 단계는 10 mA/cm²에서 500 GCD를 수행하여 달성되었다.
- [0792] 공칭 정전용량 값은 5 mA/cm²로 컨디셔닝한 후 GCD로부터 계산되었다. ESR(Equivalent Series Resistance)은 GCD에서 방전 반주기(half-cycle) 시작 시의 전압 강하로부터 계산되었다. 보고된 ESR 값도 5 mA/cm²의 최종 GCD에서 나온 것이다. ESR은 또한 EIS에서 얻은 나이퀴스트(Nyquist) 플롯으로부터 계산될 수 있다. 얻은 결과는 거의 동일하다.
- [0793]
- [0794] 결과 및 결론
- [0795] 평균에는 총 48개의 장치가 차지했다. 배치 3258 및 3259의 샘플이 사용되었다. 일반적인 CV 곡선이 도 66에 도시되어 있다. 풀셀 응답(좌측 패널)은 의사-직사각형 모양을 나타내며, 이는 저장 메커니즘이 순수 용량성이 아님을 나타낸다. 이는 MnOx와 FexOy 모두가 산화환원 활성 재료이기 때문에 예상된다. 0 내지 0.5 V 영역의 풀셀 곡선의 작은 엔벨로프(envelope)에서 볼 수 있듯이, 장치의 정전용량 대부분은 0.5 V 이상의 셀 전압에 집중된다. 낮은 셀 전압에서 이 더 작은 정전용량에 대한 설명은 도 66의 우측 패널에 도시된 하프셀 곡선에서 볼 수 있다. 이 그래프로부터, MnOx는 양극으로 작용하는 반면, FexOy는 음극으로 작용함을 알 수 있다. MnOx는 거의 CV(회색 트레이스)의 직사각형 모양으로 알 수 있듯이, 거의 이상적인 의사용량성 재료이다.
- [0796] 한편, FexOy 전극은 전위와 관련하여 보다 비대칭적인 반응을 보여준다. 대부분의 정전용량은 Ag/AgCl에 비해 0V 미만의 전위에 집중되어 있다. Ag/AgCl에 비해 > 0 V 전위에서, FexOy는 이러한 전위에서 청색 트레이스의 작은 엔벨로프에서 볼 수 있듯이, 정전용량을 거의 디스플레이하지 않는다. 따라서 이러한 비대칭 FexOy 응답은 풀셀에서 얻은 낮은 전압에서 더 작은 정전용량을 설명한다.
- [0797] 도 66은 100 mV/s에서 얻은 샘플 3258-1#4의 컨디셔닝 후 CV 곡선을 도시한다. 좌측 패널에는 풀셀 CV가 도시되고, 우측 패널에는 풀셀 측정 동안 얻은 하프셀 곡선이 디스플레이한다.
- [0798] 정전용량 계산은 보다 정확한 값을 제공하기 때문에, GCD 곡선을 사용하여 수행되었다. 컨디셔닝 후의 일반적인 GCD 곡선이 도 67에 도시되어 있으며, 풀셀 및 하프셀 측정값 모두 디스플레이된다. 장치는 의사-삼각형 곡선으로 우수한 용량성 응답을 보여준다. 풀셀은 최대 전압에서 ~0.5 V까지 선형 방전을 나타내며, 이는 MnOx 및 FexOy의 의사 정전용량에 의해 인에이블되는 거의 이상적인 정전용량 거동(behaviour)을 나타낸다. CV 곡선에서 볼 수 있듯이, FexOy는 비대칭 정전용량 대 전위 관계를 보여주며, 이는 0.5V 미만의 셀 전압에서 더 빠른 방전을 설명한다.
- [0799] 도 67은 5 mA/cm²에서 얻은 샘플 3258-1#4의 컨디셔닝 후 GCD 곡선을 도시한다. 풀셀 및 해당 하프셀 반응은 각각 상단 라인, 중간 라인 및 하단 라인에 표시된다.
- [0800] 전위에 대한 다양한 의사 용량성 거동 외에도, MnOx 및 FexOy 전극은 또한 다양한 레벨의 정전용량을 보여준다. 두 전극 모두 장치에서 동일한 기하학적 영역을 차지하지만, MnOx 전극은 장치 내에서 훨씬 더 작은 전기화학적 윈도우를 경험한다(도 66과 도 67에서 최대 전극 전위와 최소 전극 전위 사이의 차이를 참조). MnOx 윈도우(0.65±0.06V)이 더 작은 이유는 FexOy(1.35±0.06 V 윈도우)에 비해 비정전용량이 더 크기 때문이다. 이 연구에서 평가된 장치의 경우, 컨디셔닝 후 MnOx 정전용량은 246.8±36.0 mF/cm²에 도달한 반면, FexOy 전극의 정전용량은 171.4±38.4 mF/cm²였다. 따라서 이러한 Gii-Cap+ 장치는 전극 치수 측면에서는 대칭이지만 전극 구성 및 전위 분할 측면에서는 비대칭이다.
- [0801] 풀셀은 효과적으로 직렬로 연결된 두 개의 커패시터(전극과 전해질 반대이온 사이의 이중층에 의해 형성됨)이므로, 총 셀 정전용량은 단일 전극의 정전용량보다 낮을 것이다. 컨디셔닝 후 평균 풀셀 정전용량은 52.5±9.4 mF/cm²였다. 공칭 정전용량(64.8 mA, 셀 레벨에서 5 mA/cm²)을 보고하는 데 사용된 것과 동일한 전류 밀도에서, 방전 시작 시 전압 강하로부터 계산된 ESR은 0.85±0.12 Ω이었다.
- [0802] EIS 측정은 도 68에서 볼 수 있듯이, 이러한 장치의 우수한 용량성 응답을 추가로 확인한다. 나이퀴스트 플롯으로부터, 곡선이 y축과 교차하는 지점을 찾아 ESR을 추정하는 것이 가능하다. 도 68에 도시된 샘플의 경우, EIS에서 계산된 ESR은 0.78 Ω이었으며, 이는 동일한 샘플에 대해 GCD로부터 계산된 0.73 Ω과 잘 일치한다. 보드 플롯은 다양한 주파수에서 장치의 거동에 대한 정보를 제공한다. 고주파수, 예를 들어 100 내지 10000Hz에서, 장치는 본질적으로 위상각이 0° 인 저항기처럼 기능한다. 주파수가 떨어짐에 따라, 위상각이 증가하여, 정전용량 기여도가 더 커짐을 나타낸다(이상적인 정전용량은 -90° 위상각을 가짐). 위상각이 45° 마크를 초과하면, 장치는 본질적으로 대부분의 용량성으로 간주된다. 따라서, 45° 위상 변이가 발생하는 시간은 장치의 특성 시상수

로 간주될 수 있다. 이 연구의 샘플의 경우, 평균 시상수는 4.48 ± 1.18 초였다. 이 시상수는 효과적인 용량성 응답을 위한 사이클 시간 임계값으로 이해될 수 있다. 시상수 미만의 사이클 시간에서는, 장치가 완전히 적절하게 동작하지 않을 것이다.

[0803] 도 68은 1 V DC(풀셀)의 정전위 EIS에서 얻은 샘플 3258-1#4의 컨디셔닝 후 나이퀴스트(좌측) 및 보드(오측) 플롯을 도시한다. 좌측 패널의 삽입은 고주파수 응답의 확대된 뷰를 보여준다.

[0804] Gii를 유일한 전극 재료로 활용하는 장치가 0.25 내지 0.4 mF/cm²의 비정전용량을 디스플레이한다는 점을 고려하면, 의사 용량성 재료의 추가는 이러한 Gii-Cap의 에너지 저장 용량을 100배 이상 향상시켰다. 더욱이, 이러한 금속 산화물의 추가는 이러한 장치의 ESR을 크게 증가시키지 않으며, 고전력 응용 분야에서의 유용성을 유지한다. 전착 공정은 제어가 가능하므로, 원하는 경우 증착된 재료가 적어서 총 정전용량이 더 적은 셀을 제작할 수 있다. 결과적인 장치는 1차 양극으로 MnOx를 사용하고 상대 음극으로 FexOy를 사용하여 본질적으로 비대칭이다.

[0805] **부록 3GiiCap 이온겔**

[0806] 목표: 전해질 제제의 비정전용량 및 전기화학적 안정한 윈도우(electrochemically stable window; ESW)를 입증하기 위해, '낮은' 습도와 '에어-프리' 아르곤 대기 환경에서 GiiCap® A7 장치와 함께 이온겔로 알려진, 실온 용융염 1-에틸-3-메틸이미다졸륨 테트라플루오로보레이트(EMIMBF₄) 및 흙드 실리카(fumed silica)를 포함한다.

[0807] 실험 조건:

[0808] 모든 전기화학적 테스트는 정규 각지형 A7 장치가 1:2의 '작동' 전극과 '상대' 전극 면적 비율로 제조되고, 제3 의사-기준 전극이 테스트 동안 개별 전극 전위를 모니터링하기 위한 스크린 인쇄 AgCl 잉크를 포함하는, '3-전극' 설정 하에서 수행되었다.

[0809] 전해질인 이온겔은 제조되어 에어-프리 환경에서 보관되었다.

[0810] 테스트를 위해 A7 장치에 도포하기 전에, 이온겔은 90C로 가열된 후 이어서 얇고 일관된 층을 '닥터 블레이딩(doctor blading)'하여 A7에 분배되었다. 전해질은 장치를 테스트하고 연결할 준비가 되기 전에 냉각되도록 했다.

[0811] 에어-프리 장치의 경우, 테스트는 전해질이 저장되고 분배되는 동일한 에어-프리 환경에서 수행되었으며, 여기서 장치는 전기화학적 테스트 기기: *Biologic VMP-3* potentiostat에 연결되었다.

[0812] 저습 환경의 경우, 장치는 상대습도 20%로 설정된 습도 제어식 챔버로 옮겨지고 밀봉되어 기기에 연결되었다.

[0813] 각 습도에 대해, 순수한 전해질에 대한 공칭 문헌 값에 가까운 볼트(V) 단위의 최대 전극 전위(E_{max}) 범위를 테스트했다. ¹ 이들은 다음과 같다:

[0814] 양극: 2.0, 1.9, 1.8, 1.7, 1.6, 1.5

[0815] 음극: -2.0, -1.9, -1.8, -1.7, -1.6

[0816] 각 습도 및 전극 전위 조합의 경우, N=8개의 샘플이 처음부터 만들어졌다.

[0817] 전기화학적 테스트 파라미터:

[0818] 표준 프로토콜이 사용되었으며, 여기서 테스트 윈도우는 0.0 - E_{max} V 대 OCV였다. OCV는

[0819] 0.25 V 대 AgCl Qref로 정량화되었다.

[0820] 전기화학적 테스트는 3단계로 구분되었다: a) 라곤(Ragone) 특성화; b) 장기(Long-Term; LT) 사이클링; c) 라곤 특성화(포스트).

[0821] LT 사이클링 전후의 라곤 특성화는 다음과 같이 구성된다: OCV, 1 시간; 100, 1000 mV/s에서 각각 5 사이클의 순환 전압전류법(CV); 5, 10 mA/cm²에서 각각 10 사이클의 정전류식 충전-방전(Galvanostatic Charge-Discharge; GCD); 10 MHz 내지 0.01 Hz 사이의 PEIS(potential-electrical impedance spectroscopy).

[0822] LT 사이클링은 5000 사이클 동안 750 mV/s의 CV로 구성된다.

[0823] 전기화학적 안정성은 전극 손상 및 전해질 변색에 대한 육안 사후 분석; 및 LT 사이클링 기간 동안의 쿨롱 효율

변화 평가에 의해 결정되었다. 장치 성능의 결정은 5000 LT 사이클 후 GCD에 의한 비정전용량으로부터 결정되었다.

[0824] 결론:

[0825] ESW는 LT CV 사이클의 쿨롱 효율 대 사이클 수를 플로팅하여 결정되었다. 쿨롱 효율이 5000 사이클 동안 일관되게 유지되면, 사이클링 Emax가 주어진 환경 조건에 대해 안정적인 것으로 결정될 것이다. 이 분석으로부터, 상대 습도 공기 20%에서, 이온겔-A7 장치는 각각 -1.6 및 +1.6 V의 음극 및 양극 전위에서 안정적인 것으로 발견되었다. 에어-프리 환경에 있는 동안, 음극 및 양극 ESW는 각각 -1.8 및 +1.7 V로 결정되었다.

[0826] 성능 평가 측면에서, 양의 윈도우에서는 상대 습도 20%, 에어-프리 장치는 비정전용량이 각각 2.11 및 1.60 mF/cm²인 것으로 발견되었다. 20% 및 에어-프리 환경에서 음의 윈도우 비정전 용량은 1.55 및 2.11 mF/cm²였다.

[0827] 도 69, 70 및 71은 관련 결과이다.

[0828] 도 72, 73 및 74는 추가 관련 결과이다.

[0829] **부록 43개월 Gii-Sens 분석 타당성 제안**

[0830] 목적:

[0831] Gii-Sens 3D 탄소 폼 분석 시스템에 중요한 시약을 사용하여 타당성 프로젝트 증명을 전달한다.

[0832] 단계 1: 표면 고정화

[0833] 목표: mAb (2) 표면 고정화를 최대화한다. mAb를 표면에 고정하기 위해 가장 편리한 표면 화학 작용을 평가한다.

[0834] 제품품: 최대 표면 커버리지와 선택 절차를 지원하는 데이터.

[0835] 단계 3: 타겟 분석물 감지 범위 및 LOD

[0836] 목표: 전기화학적 면역분석 절차 및 결과. 전기화학적 면역분석 단계(배양(incubation) 시간, 농도, 볼륨)를 설정하고 가장 민감한 분석적 분석을 산출하는 파라미터를 설정한다.

[0837] 제품품: 전기분석 면역분석 성능을 지원하는 데이터.

[0838] **실험 섹션**

[0839] **용액 조성**

[0840] 표면 화학 작용

[0841] DMF 내 10 mM 피렌 부티르산

[0842] 4 mM EDC / 10 mM 설포NHS

[0843] PBS 0.1 M pH 7.2

[0844] 관독

[0845] 0.02 M KCl 내 1 mM K₃Fe(CN)₆ + 1 mM K₄Fe(CN)₆

[0846] 0,02 M PBS

[0847] **센서 수정 절차**

[0848] 자발적인 용매 증발을 허용하기 전에 2시간 동안 습식 챔버에서 배양된(incubated) 센서 표면 상의 10 μL PyrBuOOH

[0849] 30분 동안 15 μL EDC/NHS

[0850] 1시간 동안 PBS 내 10 μL A1 또는 C1 mAb

[0851] **전기화학적 기술**

[0852] 전기화학적 임피던스

- [0853] 인가 전압 = 0 V
- [0854] 진폭 = 0.01 VRMS
- [0855] 주파수 범위 - 5000 내지 0.1 Hz
- [0856] **분석 절차**
- [0857] 직접 분석: 무라벨(Labelless): 도 75 및 76 참조.
- [0858] 직접 분석: 무라벨 및 무시약(Reagentless) 도 77 및 78 참조.
- [0859] **교정 플롯**
- [0860] * 포인트당 복제, n = 5개(최소)의 다양한 일회용 센서(단일 판독, 센서 배치)
- [0861] * 각 교정 플롯에는 이후 며칠 동안 다양한 작업자가 얻은 데이터가 포함되어 있다(분석 간 및 분석 내 변동성).
- [0862] **단계 1: 표면 화학 작용**
- [0863] 선택된 표면 화학 작용은 표면 고정화 반응 도식을 보여주는 도 79 도식에 따른 포집 mAb(A1 및 C1)의 Pyr-COOH 변형 그래핀 및 EDC/NHS 접합이었다.
- [0864] 표면 고정된 mAb(A1 및 C1)의 농도는 전기화학적 임피던스 분광법을 사용하여 스크리닝되었다. (실험 섹션 참조). 도 80(Gii-Sens® 표면 상의 mAb A1 고정화. 삽입 정규화 신호) 및 도 81(Gii-Sens® 표면 상의 mAb C1 고정화. 삽입 정규화 신호)을 참조한다.
- [0865]
- [0866] A1과 C1 모두 논리적인 표면 커버리지 경향을 보여주었다. 정규화된 곡선을 기반으로 A1은 약간 더 큰 표면 커버리지를 보여주었다. 최적의 커버리지 범위는 15 내지 250 $\mu\text{g/mL}$ 사이로 스크리닝되었다. 해당 농도 범위는 센서의 최상의 성능을 제공하기에 충분할 것으로 추정되었다.
- [0867] **단계 3: 분석 및 타겟 분석물 탐색**
- [0868] 분석 잠재력과 Gii-Sens®를 감지 전기화학적 플랫폼으로 사용하는 이점에 대한 보다 심층적인 평가는 항상 무라벨 분석 형식으로 수행되었다.
- [0869] 이와 병행하여 실험 섹션에 설명된 바와 같이, 배양 및 판독 신호 생성에 사용되는 용액이 단지 완충제에 불과한 무시약 형식도 탐색되었다. 분석의 동적 범위는 해당 농도 범위를 확장할 수 있는 가능성을 식별하기 위해 고농도에서도 탐색되었다.
- [0870] 위에 설명된 조사 동안 얻은 흥미로운 결과와 일반적인 시간 제한으로 인해, 분석의 감도는 10 pg/mL 까지 탐색되었으며 목표는 최대 1000 ng/mL 의 고농도 범위를 탐색하는 것이었다.
- [0871] **무라벨 분석 탐색**
- [0872] 앞서 설명된 무라벨 분석은 2차 항체가 필요하지 않지만 특정 전기화학적 판독 용액을 사용하는 분석으로 구성되었다. 이 탐색 동안 전기화학적 용액도 캐리어 용액으로 사용되었으므로, 세척 단계나 임의의 기타 분석 문제가 발생할 필요가 없어졌다.
- [0873] 탐색된 제1 농도 범위는 A1 및 C1 수정 센서 모두에 대해 10 ng/mL 내지 10 pg/mL 였다. A1(상단) 및 C1(하단) 센서 대 N1 항원의 다양한 농도에 대한 무라벨 용량 반응 곡선을 도시하는 도 82를 참조한다. 표면 코팅 > 60 $\mu\text{g/mL}$ 및 모든 경우에 대한 분석 배양 시간 6분
- [0874] A1과 C1 모두 유사한 반응을 보였고 연구된 농도 범위에 대해 우수한 예비 용량 반응 곡선 특성을 달성했다.
- [0875] 분석 성능을 향상시키는 방법을 추가로 조사하기 위해, 전체 농도 범위를 나누어 얻은 동일한 데이터를 사용하여 다양한 민감도 범위에서 탐색했다.
- [0876] **무라벨 및 무시약 분석 탐색**
- [0877] 앞서 설명된 무라벨 분석은 이차 항체가 필요하지 않은 분석으로 구성된다. 시약이 없는 경우, 모든 배양과 측

정이 캐리어 용액 역할도 하는 완충 용액에서만 수행되므로 전기화학적 관독 용액이 필요하지 않으며, 이로써 추가 세척 단계가 필요하지 않다.

[0878] 탐색된 제1 농도 범위는 A1 및 C1 수정 센서 모두에 대해 10 ng/mL 내지 10 pg/mL였다. A1(상단) 및 C1(하단) 센서 대 N1 항원의 다양한 농도에 대한 무라벨 무시약 용량 반응 곡선을 도시하는 도 83을 참조한다. 표면 코팅 > 60 $\mu\text{g/mL}$ 및 모든 경우에 대한 분석 배양 시간 6분

[0879] A1과 C1 모두 유사한 반응을 보였고 연구된 농도 범위에 대해 우수한 예비 용량 반응 곡선 특성을 달성했다.

[0880] 부록 5수용체가 링커를 통해 3D 탄소 폼 재료에 결합되는 센서 구현

[0881] 배경기술

[0882] 센서는 변화나 응답을 검출하고 환경으로부터의 일부 유형의 입력에 응답하는 분석 장치이다. 최근 몇 년간, 높은 특이성과 민감도, 신속하고 신뢰할 수 있는 결과, 손쉬운 취급, 및 현장 진단과 장점으로 인해 센서의 사용이 증가하고 있다. 이러한 장점으로 인해, 센서는 화학 및 의료 진단, 환경 영향 분석, 식품 산업 및 해양 분야와 같은 다양한 기술 분야로 진출해 왔다.

[0883] 다양한 형태의 그래핀과 그 파생물이 센서, 특히 바이오센서의 생산 및 개발에 활용되었다. 그래핀의 전기화학적, 물리적, 화학적 특성으로 인해 그래핀은 이러한 응용 분야에서 관심 있는 재료가 된다. 그러나, 기존의 그래핀(예를 들어, 2D 그래핀)은 초박형 구조와 유연성으로 인해 쉽게 말리고, 주름지고, 주름지게 하는 실제적인 응용 분야 동안 다루기가 어렵다. 이는 특히 민감도와 관련하여 센서의 분석 성능을 크게 감소시킨다. 지금까지, 다양한 유형의 그래핀(예를 들어, 다양한 형태, 다양한 표면 특성, 그래핀 양자점, 산화 그래핀 또는 환원된 산화 그래핀과 같은 다양한 기능화된 파생물)을 만들기 위해 수많은 전략과 기술이 수행되었으며 이로 인해 센서 간의 감지 성능에 차이를 유발한다.

[0884] E.A. Obaje, G.Cummins, H.Schulze, S.Mahmood, M.P.Y.Desmulliez and T.T. Bachmann, Journal of Interdisciplinary Nanomedicine, 2016; 0(0), doi: 10.1002/jin2.16은 기본 복합 재료의 기능과 관련하여 새로 제작된 센서의 전기화학적 성능을 조사하고 표면 거칠기, 습윤성 및 비특이적 DNA 결합의 민감성과 같은 특성을 특성화하여 탄소 및 유전체 페이스트의 선택을 평가한다.

[0885] L.H.Hess, A. Lyuleeva, B.M.Blaschke, M.Sachsenhauser, M. Seifert 및 J.A.Garrido, ACS Appl. Materials & Interfaces, 2014, 6, 9705-9710에서는 폴리머 개질 CVD 성장 그래핀 트랜지스터를 기반으로 한 바이오센싱 응용 분야에 대한 플랫폼을 설명한다.

[0886] C. Fenzl, P. Nayak, T. Hirsch, O.S. Wolfbeis, H.N.Alshareef 및 A.J. Baeumner, ACS Sensors, 2017,2, 616-620에서는 LSG(laser-scribed graphene) 전극을 혈청 분석에서 매우 민감하고 신뢰할 수 있는 바이오센서 변환기로 설명한다.

[0887] S. Singal, A.K.Srivastava, S. Dhakate, A.M. Biradar 및 Rajesh, RSC Advances, 2015, 5, 74994-75003에서는 인간 심장 트로포닌-I의 검출을 위한 전기활성 그래핀-다중벽 탄소 나노튜브 하이브리드 지원 임피던스 면역 센서를 설명한다.

[0888] 모든 선행 기술에도 불구하고, 그래핀 기반 센서의 감지 활동을 개선해야 할 필요성이 계속 존재한다. 또한, 견고성, 안정성, 내구성, 기능화의 편의성 및/또는 제조의 용이성과 같은 이러한 센서의 다른 양태 중 적어도 하나를 손상시키지 않으면서 상기 센서의 감도를 향상시키려는 요구가 남아 있다.

[0889] 이 부록 5 특징의 요약

[0890] 제1 양태에서, (i) 탄소 폼 전극, (ii) 링커 및 (iii) 수용체를 포함하는 센서가 제공되며, 수용체는 링커를 통해 탄소 폼 전극에 결합된다. 탄소 폼 전극은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진다.

[0891] 제2 양태에서, 제1 양태에 따른 센서를 제조하는 방법이 제공되며, (i) 제1 양태에 설명된 바와 같은 탄소 폼 전극을 제공하는 단계; (ii) 링커로 탄소 폼 전극을 처리하는 단계, 및 (iii) 수용체로 단계 (ii)에서 얻은 링커-수정 탄소 폼 전극을 처리하는 단계의 시퀀스로 포함한다.

[0892] 제3 양태에서, 타겟을 감지하는 방법이 제공되며, (i) 제1 양태에 따른 센서를 제공하는 단계; (ii) 타겟을 함유하거나 함유할 것으로 의심되는 샘플과 센서를 접촉시키는 단계; (iii) 센서의 응답을 측정하는 단계; (iv)

응답을 샘플의 타겟 레벨과 관련시키는 단계의 시퀀스로 포함한다.

- [0893] 탄소 폼 재료는 전형적으로 접힌 구조를 가지며, 이는 탄소 폼에 높은 비표면적을 갖는 다공성 형태를 제공한다. 어떠한 이론에도 얽매이기를 바라지 않고, 센서의 분석 성능은 탄소 폼의 접근 가능한 표면적뿐만 아니라 형태에 의해 영향을 받는 것으로 여겨진다. 3D 구조는 사용 가능한 표면적을 증가시켜, 효소, 단백질, 핵산 및 항체와 같은 링커와 수용체가 탄소 폼에 효율적으로 결합되도록 하여, 감도와 관련된 센서 성능을 향상시킨다.
- [0894] 추가로, 또한 매우 두꺼운 탄소 폼 층으로 센서를 구축하는 것이 바람직하다. 바람직하게는 탄소 폼의 층 두께는 50 μm 를 초과한다. 탄소 폼이 다공성일 수 있으므로, 이렇게 두꺼운 탄소 폼 층은 훨씬 더 넓은 표면적을 제공할 것으로 예상되며, 이는 다른 기존의 그래핀 기반 센서에 비해 분석 성능, 특히 감지 특성을 향상시키는 데 유리하다.
- [0895] 링커
- [0896] 본 특징의 맥락에서, 탄소 폼은 필요한 센서를 형성하는 공정의 일부로서 링커에 의해 수정된다. 위에서 설명된 탄소 폼(예를 들어, 접힌 구조의 두꺼운 다공성 탄소 폼)은 링커와의 상호 작용에 사용할 수 있는 표면적이 증가하여 센서의 감도가 향상되므로 수정을 위한 향상된 기반을 제공한다.
- [0897] 그런 다음 변형된 탄소 폼은 수용체에 의해 처리되어 센서를 얻는다. 따라서, 링커는 탄소 폼과 수용체 사이의 중간체 기능을 한다. 이는 링커의 적어도 일부가 탄소 폼 내에 배치(예를 들어, 분산)될 수 있다는 것일 수 있다. 이는 전체 링커가 탄소 폼 내에 배치(예를 들어, 분산)될 수 있다는 것일 수 있다.
- [0898] 링커는 나노입자, 폴리머, 폴리머 브러시, 리간드, 하나 이상의 작용기를 포함하는 유기 화합물, 탄소 폼에 공유 또는 비공유 결합된 분자, 또는 이들의 혼합물로부터 선택될 수 있다. 전형적으로, 링커는 폴리머(예를 들어 (메트)아크릴레이트 폴리머), 하나 이상의 작용기를 포함하는 유기 화합물, 카르보디이미드, 디아조늄 화합물, 또는 이들의 혼합물로부터 선택된다.
- [0899] 전형적으로, 위에 설명된 유기 화합물은 산소, 질소, 황, 할라이드, 하이드록실, 카르보닐, 카르복실, 아민, 아미노, 아마이드, 친수성 폴리머 또는 이들의 혼합물로부터 독립적으로 선택되고, 선택적으로는 선형, 분지형 또는 환형 알킬, 알킬레닐, 알킬닐, 아릴 잔기, 아크릴, 아실, 아실옥시, 알콕시, 알킬렌옥시, 또는 이들의 혼합물과 조합하는, 하나 이상의 작용기를 포함한다. 동일한 실시예에서, 상기 선택적 구조는 C1-C20 선형, 분지형 또는 환형 알킬, 알킬레닐, 알킬닐, 아릴 잔기, 아크릴, 아실, 아실옥시, 알콕시, 알킬렌옥시 또는 이들의 혼합물일 수 있다. 또한 동일한 실시예에서, 선택적으로는, 위에 설명된 작용기를 갖는 유기 화합물은 선택적으로 하나 이상의 헤테로원자를 포함하는 하나 이상의 환형 모이어티를 더 포함할 수 있으며, 환형 모이어티 중 적어도 하나가 상기 작용기 중 적어도 하나에 직접적으로 또는 간접적으로 연결되거나, 또는 링커가 이러한 유기 화합물의 에스테르 또는 염인 유도체이거나, 필요한 3D 탄소 폼과 반응하여 이러한 유기 화합물을 방출하는 화합물이다. 대표적으로, 링커는 이 단락에서 위에서 설명된 유기 화합물 중에서 선택된다.
- [0900] 대표적으로, 링커는 1-피렌부티르산, N-히드록시숙신이미드(NHS), 피렌-1-카르복실산 숙신이미딜 에스테르, 1-아미노피렌, N-(1-피렌) 말레이미드, 또는 이들의 혼합물로부터 선택된다.
- [0901] 링커는 탄소 폼에 공유적으로 또는 비공유적으로 결합될 수 있다. 예를 들어, 디아조늄 화합물(예를 들어, 디아조늄 염)은 탄소 폼에 공유 결합될 수 있다. 비-공유 결합의 경우, 링커는 다음 중 적어도 하나에 의해 탄소 폼에 결합될 수 있다: π - π 상호작용, 이온 결합, 수소 결합, 소수성 또는 친수성 효과, 정전기 상호작용, 폴리머 랩핑, 흡착, 그래프팅(예를 들어, 사진 그래프팅). 예를 들어, 위에 설명된 하나 이상의 환형 모이어티(예를 들어, 1-피렌부티르산, N-히드록시숙신이미드(NHS), 피렌-1-카르복실산 숙신이미딜 에스테르, 1-아미노피렌, N-(1-피렌)말레이미드, 또는 이들의 혼합물)를 포함하는 링커는 π - π 상호작용에 의해 탄소 폼에 결합될 수 있다.
- [0902] 본 특징의 맥락에서, 수용체는 링커를 통해 탄소 폼에 결합된다. 따라서 수용체는 간접적으로 결합된다. 링커의 적어도 일부 또는 바람직하게는 전체 링커가 탄소 폼 내에 배치(예를 들어, 분산)되는 경우, 이는 수용체의 적어도 일부 또는 전체가 또한 탄소 폼 내에 배치(예를 들어, 분산)될 수 있다는 것일 수 있다.
- [0903] 본원의 '수용체'란 분석될 샘플에 제시된 타겟 재료(즉, 타겟)에 반응할 수 있는 모든 분자를 포함하는 것을 의미한다. 샘플은 생물학적, 화학적, 광학적, 물리적 또는 기계적 샘플일 수 있으며, 일반적으로는 생물학적 샘플일 수 있다. 따라서, 타겟은 이에 제한되는 것은 아니나, 생물학적 재료, 화학적 물질 또는 혼합물, 광학 물체,

물리적 또는 기계적 항목 등, 일반적으로는 생물학적 재료를 포함하는 것을 의미한다. '반응'이라는 용어는 이에 제한되는 것은 아니나, 생물학적 및/또는 화학적, 및/또는 광학적 및/또는 물리적 및/또는 기계적 상호작용, 일반적으로는 생물학적 및/또는 화학적 상호작용을 포함할 수 있다. 이러한 일반적인 상호작용에는 이에 제한되는 것은 아니나, 수용체와 타겟 사이의 결합 또는 혼성화 또는 소수성 효과가 포함될 수 있다.

[0904] 따라서, 수용체는 이에 제한되는 것은 아니나, 다음 중 하나를 포함할 수 있다: 전기화학적 수용체, 화학적 수용체, 생체 수용체, 광학적 수용체, 물리적 또는 기계적 수용체. 수용체는 이에 제한되는 것은 아니나, 크라운 에테르, 리간드, 촉매, 봉산, 탄수화물, 압타머, 단백질, 효소, 항체, 항원, 미생물, 핵산, 지방산, 지방산 에스테르, 분자 각인 폴리머, 금속-유기 프레임워크, 리간드 결합을 형성할 수 있는 폴리펩티드 또는 올리고펩티드, 세포, 세포 소기관, 기타 세포 성분, 또는 이들의 혼합물로부터 선택될 수 있다.

[0905] 전형적으로, 수용체는 바이오수용체이다(즉, 센서는 바이오센서이다). 전형적으로, 수용체는 압타머, 단백질, 효소, 항체, 항원, 미생물, 핵산, 리간드 결합을 형성할 수 있는 폴리펩티드 또는 올리고펩티드, 세포, 세포 소기관, 또는 기타 세포 성분, 또는 이들의 혼합물로부터 선택된다. 보다 구체적으로, 수용체는 단백질(예를 들어, 면역단백질, 비-면역학적 단백질, 면역글로불린 결합 단백질, 당 결합 단백질), 핵산, 항체, 효소(예를 들어, 산화환원효소(바람직하게는 포도당 산화효소, 알코올 산화효소 또는 젓산염 산화효소), 탈수소효소 효소) 또는 이들의 혼합물로부터 선택된다. 대표적으로, 수용체는 면역글로불린 A(IgA), 포도당 탈수소효소, 스트렙타 비딘 또는 이들의 혼합물로부터 선택된다.

[0906] 전형적으로, 타겟은 생체재료이다. 생체 재료는 이에 제한되는 것은 아니나, 디옥시리보핵산(DNA), 리보핵산(RNA), 펩티드, 단백질, 단백질 복합체, 핵산, 항체, 항원, 지질, 지방산, 지방산 에스테르, 비타민, 미생물, 미셀, 세포, 세포 소기관 또는 기타 세포 성분, 바이러스, 효소 또는 이들의 혼합물을 포함할 수 있다. 전형적으로, 생체재료는 디옥시리보핵산(DNA), 리보핵산(RNA), 펩티드, 단백질, 핵산, 항체, 항원, 효소 또는 이들의 혼합물로부터 선택된다. 보다 전형적으로, 생체재료는 단백질, 핵산, 항체, 효소 또는 이들의 혼합물로부터 선택된다. 또한 본 특징의 맥락 하에서, 생체 수용체와 생체재료는 모두 자연적으로 발생하거나 합성으로 생산될 수 있음이 이해된다.

[0907] 수용체는 링커에 부착될 수 있다. 수용체는 링커에 물리적, 생물학적 및/또는 화학적으로 결합될 수 있다. 전형적으로, 수용체는 링커에 화학적으로 결합된다. 본원에서, 화학적 결합에는 이에 제한되는 것은 아니나, 공유 결합, 비공유 결합(예를 들어, 이온 결합), 금속 결합, 하이드로젠 결합, 킬레이트(chelated) 결합뿐만 아니라 반데르발스 힘(van der Waals force), π - π 상호작용, 소수성 또는 친수성 효과 및 정전기 상호작용과 같은 비공유 상호작용을 포함할 수 있다. 전형적으로, 수용체(예를 들어, 생체 수용체)는 링커에 공유 결합된다. 전형적으로, 수용체(예를 들어, 생체 수용체)는 링커에 포함된 하나 이상의 작용기(예를 들어, 앞서 설명된 유기 화합물의 작용기)에 결합(예를 들어, 공유적으로)된다. 예를 들어, 생체 수용체는 카르복실기 또는 아미노 또는 아민, 또는 링커(예를 들어, 1-피렌부티르산, N-히드록시숙신이미드(NHS), 피렌-1-카르복실산 숙신이미드 에스테르, 1-아미노피렌, N-(1-피렌) 말레이미드)의 아미드기에 공유 결합될 수 있다.

[0908] 센서

[0909] 본 특징에 따른 센서는 전형적으로 앞서 개시된 듀얼 레이저 처리 방법에 의해 생산될 수 있는 탄소 폼 층을 포함한다. 전형적으로, 탄소 폼은 50 μm 초과, 바람직하게는 100 μm 초과, 더욱 바람직하게는 200 μm 초과, 더욱 더 바람직하게는 300 μm 초과,의 층 두께를 갖는다. 전형적으로, 링커의 적어도 일부 또는 전체 링커는 탄소 폼 내에 배치(예를 들어, 분산)된다. 선택적으로, 수용체의 적어도 일부 또는 전체 수용체는 또한 탄소 폼 내에 배치(예를 들어, 분산)된다(즉, 링커의 적어도 일부 또는 바람직하게는 전체 링커가 탄소 폼 내에서 배치(예를 들어, 분산)될 경우). 전형적으로, 링커의 적어도 일부 또는 선택적으로는 수용체의 적어도 일부는 상기 탄소 폼의 전체 깊이의 1% 초과, 바람직하게는 전체 깊이의 5% 초과, 보다 바람직하게는 10% 초과, 훨씬 더 바람직하게는 15% 초과, 더욱 더 바람직하게는 20% 초과인, 탄소 폼의 표면(예를 들어, 탄소 폼 층) 아래 깊이로 배치(예를 들어, 분산)된다. 전형적으로, 링커의 적어도 일부 및 선택적으로는 수용체의 적어도 일부는 상기 탄소 폼의 표면 아래 1 μm 초과, 바람직하게는 5 μm 초과, 더 바람직하게는 10 μm 초과, 훨씬 더 바람직하게는 15 μm 초과, 가장 바람직하게는 20 μm 초과인, 탄소 폼 표면(예를 들어, 탄소 폼 층) 아래 깊이로 배치(예를 들어, 분산)된다. 이는 전체 링커 및 선택적으로는 전체 수용체는 상기 탄소 폼의 총 깊이의 1% 초과인 탄소 폼(예를 들어, 탄소 폼 층)의 표면 아래 깊이로 배치(예를 들어, 분산)된다는 것일 수 있다. 이는 탄소 폼 층이 위에 설명된 범위 중 어느 하나의 두께(예를 들어, 적어도 50 μm 초과)를 갖는다는 것일 수 있다. 본원에서 '분산된'이란 탄소 폼 내에 적어도 부분적으로 배치된 링커(및 선택적으로는 수용체) 분자가 그 내부에 분포되어 단일 클러스

터가 아닌 복수의 개별 도메인을 형성한다는 것을 의미한다. 이는 상기 도메인이 상기 탄소 폼 내에 균일하게 및/또는 연속적으로 분포(예를 들어, 균일한 및/또는 연속 층으로 분포)된다는 것일 수 있다. 어떠한 이론에도 얽매이기를 바라지 않고, 링커(및 선택적으로는 수용체)의 변위는 탄소 폼의 기능화를 향상시켜 센서의 감지 활동(즉, 감도)을 향상시키는 것으로 이어지는 것으로 여겨진다.

[0910] 추가로, 및 선택적으로, 링커나 수용체 모두 탄소 폼(예를 들어, 탄소 폼 층)의 전체 깊이에 걸쳐 배치(예를 들어, 분산)되지 않는다. 다시 말해, 상기 탄소 폼의 코어는 링커 또는 수용체에 의해 변형되지 않은 상태로 유지된다.

[0911] 이는 링커가 1-피렌부티르산, N-히드록시숙신이미드(NHS), 피렌-1-카르복실산 숙신이미딜 에스테르, 1-아미노피렌, N-(1-피렌) 말레이미드, 또는 이들의 혼합물로부터 선택되고, 수용체는 면역글로불린 A(IgA), 포도당 탈수소효소, 스트렙타비딘 또는 이들의 혼합물로부터 선택된다는 것일 수 있다.

[0912] 이는 센서가 또한 기관을 포함한다는 것일 수 있다. 탄소 폼을 얻는 제1 방법에서, 탄소원이 기관 상에 또는 인접하게 제공되는 경우, 최종 센서는 상기 기관을 컴포넌트 부품으로서 포함할 수 있다. 기관의 사용이 필요한 제2 방법에서, 최종 센서는 또한 상기 기관을 컴포넌트 부품으로 포함할 수 있다. 두 가지 방법 중 하나를 사용하여 얻은 탄소 폼은 선택적으로는 센서 내의 기관에 부착될 수 있다. 센서에 이렇게 포함된 기관은 탄소 폼의 생산에 사용된 기관에 대해 앞서 설명된 특징 중 하나 및/또는 이러한 특징의 가능한 조합 중 하나에 따른 특성을 가질 수 있다. 대안적으로, 센서가 기관을 포함할 필요는 없다. 다시 말해, 탄소 폼이 기관에 부착되어 생산되더라도, 이는 변형을 위한 준비의 일부로서 그로부터 제거될 수 있다.

[0913] 전형적으로, 본 특징에 따른 센서는 화학적, 물리적 또는 기계적, 생물학적 또는 광학적 센서, 바람직하게는 바이오센서(즉, 수용체가 생체 수용체인 경우)이다. 전형적으로, 센서(예를 들어, 바이오센서)는 전극 또는 전극 장치의 형태를 취한다. 센서(예를 들어, 바이오센서)는 다중 전극 플랫폼, 예를 들어 상대 전극(CE), 작동 전극(WE) 및 기준 전극(E 또는 RE)을 포함하는 3-극 플랫폼을 포함할 수 있다. 전극(예를 들어, WE)은 본 특징의 변형된 탄소 폼(즉, 링커를 통해 수용체에 의해 변형된 탄소 폼)으로 구성될 수 있다. 다른 전극(예를 들어, CE 및/또는 RE)은 또한 탄소 폼 기반, 바람직하게는 탄소 폼 기반, 더욱 바람직하게는 어떠한 변형 없이 동일한 탄소 폼 기반일 수 있다. 모든 전극은 동일하거나 상이한 치수를 가질 수 있다.

[0914] 센서(예를 들어, 바이오센서)는 제품으로 제공될 수 있으며, 여기서 상기 센서는 패키징 내에 포함되며, 제품은 바람직하게는 사용 설명서를 포함한다. 전형적으로, 패키징은 센서가 들어 있는 1차 포장을 포함한다. 이는 센서가 1차 포장 내에 포함된 어댑터에 제공된다는 것일 수 있다. 1차 패키징에 적합한 예로는 보호 커버, 포켓, 폴더, 봉투, 박스, 용기, 카톤, 케이스 등이 있다. 선택적으로, 패키징은 2차 패키징을 더 포함한다. 이러한 2차 포장은 전형적으로 하나의 센서 또는 복수의 센서를 함께 고정하는 패키징이다. 2차 포장에 적합한 예로는 플라스틱 카톤, 판지 카톤, 블리스터 팩, 박스(예를 들어, 판지 또는 플라스틱 박스), 케이스, 용기, 판지 또는 플라스틱 틀, 트레이, 하나 이상의 에어 포켓이 있거나 없는 랩핑된(wrapped) 번들 등이 있다. 또한 선택적으로는, 패키징은 박스, 케이스, 카톤, 용기 등으로부터 선택될 수 있는 3차 패키징을 포함할 수 있다. 적합하게는, 위에서 설명된 패키징 중 적어도 하나는 빛(예를 들어, 직사광선), 습기, 물리적 및/또는 화학적 손상 및 오염 물질로부터 센서를 보호할 수 있다. 설명서는 특징의 제3 양태에 따라 센서를 사용하는 단계에 대한 상세한 정보를 제공할 수 있다. 설명서는 인쇄 형태의 라벨, 소책자, 브로셔 또는 진단지로 공급될 수 있다. 설명서에는 또한 제품 패키징 상에도 인쇄되어 있을 수 있다.

[0915] 센서 제조

[0916] 제2 양태에서, 제1 양태에 따른 센서를 제조하는 방법이 제공되며, 단계는 (i) 탄소 폼을 제공하는 단계; (ii) 링커로 탄소 폼을 처리하는 단계; 및 (iii) 수용체로 링커-변형된 탄소 폼을 처리하는 단계를 포함한다.

[0917] 이는 방법이 탄소 폼을 제공하고 링커로 처리하기 전에 탄소 폼을 제조하는 단계를 포함한다는 것일 수 있다. 이에 따라 탄소 폼은 본원에 개시된 레이저 처리 방법 중 하나, 전형적으로는 제1 또는 제2 방법, 더욱 전형적으로는 제1 방법에 의해 생산된다. 이는 이렇게 생산된 탄소 폼이 기관 상에 접촉, 부착 또는 제공된다는 것일 수 있다. 전형적으로, 상기 탄소 폼은 단계 (ii)에서 링커를 처리하기 전에 상기 기관로부터 제거될 수 있다. 다시 말해, 단계 (i)의 탄소 폼은 기관 없이 제공된다. 대안적으로, 상기 탄소 폼은 제거될 필요가 없다(예를 들어, 상기 탄소 폼은 상기 기관에 접촉된 상태로 남아 있다). 다시 말해, 단계 (i)의 탄소 폼에는 기관이 제공된다.

[0918] 이는 탄소 폼이 링커와 함께 배양된다는 것일 수 있다. 이는 배양이 완충제, 바람직하게는 완충 용액에서 일어

난다는 것일 수 있다. 추가로 또는 선택적으로, 링커에 의한 변형은 다음 조건: 빛(자외선, 가시광선, 적외선) 또는 열 중 적어도 하나를 필요로 할 수 있다. 배양 후, 링커-변형된 탄소 폼은 클리닝될 수 있다.

[0919] 이는 링커-변형된 탄소 폼이 수용체와 함께 배양된다는 것일 수 있다. 배양 후, 이렇게 얻은 센서는 사용 전에 클리닝될 수 있다. 클리닝 후, 센서는 패시베이트(passivated)될 수 있다. 패시베이션(passivation)은 수용체에 의해 기능화되지 않는 나머지 활성화 부위를 차단하는 것으로 이해된다.

[0920] 수용체는 단계 (iii)에서 링커-변형된 탄소 폼을 처리하는 데 사용된다.

[0921] 센서는 다중 전극 플랫폼을 포함하는 전극 또는 전극 장치일 수 있다. 따라서 위에 설명된 제조 단계는 전극 제조에 적용될 수 있다. 센서가 다중 전극 플랫폼을 포함하는 전극 장치인 경우, 위에 설명된 제조 단계는 작동 전극(WE)을 생산하는 데 적용 가능하며, 방법은 상대 전극(CE) 및 기준 전극(E 또는 RE)을 생산하는 추가 단계를 더 포함한다.

[0922] 센서의 사용

[0923] 제3 양태에서, 센서를 사용하는 방법이 제공되며, (i) 제1 양태에 따른 센서를 제공하는 단계; (ii) 타겟을 함유하거나 함유할 것으로 의심되는 샘플과 센서를 접촉시키는 단계; (iii) 센서의 응답을 측정하는 단계; 및 (iv) 선택적으로는, 응답을 샘플의 타겟 레벨과 관련시키는 단계의 시퀀스로 포함한다.

[0924] 타겟은 본원에 개시된 타겟, 전형적으로는 본원에 개시된 생물학적 재료일 수 있다. 샘플은 본원에 개시된 샘플, 전형적으로는 본원에 개시된 생물학적 샘플일 수 있다.

[0925] 사용 전에, 센서(예를 들어, 바이오센서)는 주변 조건(예를 들어, 약 20 °C의 실온 및 1 기압)에서 적절하게 보관될 수 있다. 전형적으로, 센서는 건조 상태에서 보관된다. 사용 후, 센서는 적절하게 처분될 수 있다(즉, 센서는 일회용 센서이다).

[0926] 이는 센서가 샘플에 침지되어 있다는 것일 수 있다. 샘플에는 인산염 완충 식염수(phosphate buffered saline; PBS)가 함유될 수 있다. 샘플 내 타겟 농도는 적어도 1 ppm일 수 있다. 평형화 시간(equilibration time)은 적어도 0.5분, 또는 적어도 1분, 또는 적어도 10분, 또는 적어도 30분, 전형적으로는 2시간 이하, 또는 1시간 이하, 또는 40분 이하일 수 있다. 이는 샘플과 접촉한 후, 반응이 측정되기 전에 센서가 클리닝된다는 것일 수 있다. 이는 센서가 PBS로 행구어 클리닝된다는 것일 수 있다. 이는 클리닝 후, 센서가 (예를 들어, 가스 흐름에 의해 또는 자연 건조에 의해) 건조된다는 것일 수 있다.

[0927] 이는 응답이 자동 펄스 전압전류법 및/또는 임피던스 분광법으로 측정된다는 것일 수 있다. 이는 측정된 응답이 샘플의 타겟 레벨과 추가로 관련된다는 것일 수 있다. 이는 방법이 위에 설명된 단계 (i), (ii) 및 (iii)를 포함하며, 추가로 (iv) 센서를 알려진 레벨의 타겟(즉, 대조군 샘플)을 함유하는 하나 이상의 샘플과 센서를 접촉시키는 단계; (v) 하나 이상의 대조군 샘플에 대한 센서의 응답을 측정하는 단계; (vi) 타겟을 함유하거나 함유하는 것으로 의심되는 샘플에 대한 응답을 하나 이상의 대조군 샘플에 대한 응답과 비교하는 단계; 및 (vii) 타겟을 함유하거나 함유하는 것으로 의심되는 샘플에 대한 응답을 상기 샘플 내 상기 타겟의 레벨과 관련시키는 단계를 포함한다는 것일 수 있다.

[0928] **부록 5 개념**

[0929] 1. 센서는, (i) 탄소 폼 (ii) 링커 및 (iii) 수용체를 포함하며, 수용체는 링커를 통해 탄소 폼에 결합된다.

[0930] 2. 개념 1에 따른 센서에 있어서, 탄소 폼은 탄소원 내의 적어도 하나의 로커스(locus)에 적외선 방사선을 집중시키는 방법에 의해 얻을 수 있어, 상기 적어도 하나의 로커스 내에서 탄소 폼을 생산하고, 상기 적외선 방사선은 적외선 레이저 빔인 레이제 빔에 의해 제공된다.

[0931] 3. 개념 2에 따른 센서에 있어서, 적외선 방사선을 집중시키는 것은 적외선 방사선을 회절시켜 각각의 프린지가 탄소원 내의 로커스 내에 있는 간섭 패턴을 형성하는 것을 포함한다.

[0932] 4. 개념 2 또는 개념 3에 따른 센서에 있어서, 적어도 하나의 로커스는 탄소원 내에서 측방향으로 이동되고/되거나 적어도 하나의 로커스는 탄소원의 깊이 내로 이동된다.

[0933] 5. 개념 2 내지 4 중 어느 하나에 따른 센서에 있어서, 적외선 방사선은 탄소원을 직접 조사하거나, 적외선 방사선은 탄소원에 조사하기 전에 기판틀 통과하며, 상기 탄소원은 상기 기판의 표면 상에 또는 인접하게 제공된다.

- [0934] 6. 개념 2 내지 5 중 어느 하나에 따른 센서에 있어서, 탄소원은 추가 방사선으로 추가적으로 주사되고, 이 추가 방사선은 탄소원 내 적어도 하나의 로커스에 적외선 방사선을 집중시키는 단계 이전에 또는 동시에 또는 이후에 수행된다.
- [0935] 7. 개념 6에 따른 센서에 있어서, 추가 방사선은 탄소원의 표면 위에 래스터(rastered)된다.
- [0936] 8. 개념 6 또는 개념 7에 따른 센서에 있어서, 추가 방사선은 탄소원에 직접 조사되거나, 탄소원에 조사되기 전에 개념 5에 설명된 바와 같이 기관을 통과한다.
- [0937] 9. 이전 개념 중 어느 하나에 따른 센서에 있어서, 링커의 적어도 일부가 배치되고, 바람직하게는 탄소 폼 내에 배치되고; 선택적으로는 수용체의 적어도 일부가 배치되고 바람직하게는 탄소원 내에 분산된다.
- [0938] 10. 개념 2 내지 9 중 어느 하나에 따른 센서에 있어서, 탄소 폼은 50 μm 초과, 바람직하게는 100 μm 초과, 더욱 바람직하게는 200 μm 초과, 더욱 더 바람직하게는 300 μm 초과,의 층 두께를 갖는다.
- [0939] 11. 개념 1에 따른 센서에 있어서, 탄소 폼은 기관의 표면 상에 또는 인접하여 탄소원을 제공하고, 탄소 함유 재료를 포함하는 탄소원의 적어도 일부 및/또는 기관의 적어도 일부를 레이저 빔에 노출시켜, 탄소원의 적어도 일부를 탄소 폼으로 변환시키는 방법에 의해 얻어질 수 있다.
- [0940] 12. 개념 5, 8 또는 11에 따른 센서에 있어서, 기관은 실리콘, 이산화규소, 질화갈륨, 비화갈륨, 산화아연; 또는 대안적으로는 하나 이상의 폴리머; 또는 대안적으로는 알루미늄, 구리, 금 또는 기타 금속으로부터 선택된 하나 이상의 금속, 또는 상기 금속의 산화물, 질화물 또는 비화물 중 하나 이상을 포함한다.
- [0941] 13. 이전 개념 중 어느 하나에 따른 센서에 있어서, 탄소 폼은 3% 미만, 바람직하게는 1.5% 미만의 원자 백분율의 산소, 및/또는 3% 미만의 원자 백분율의 질소를 포함한다.
- [0942] 14. 이전 개념 중 어느 하나에 따른 센서에 있어서, 링커는 나노입자, 폴리머, 폴리머 브러시, 리간드, 하나 이상의 작용기를 포함하는 유기 화합물, 탄소 폼에 공유 또는 비공유 결합된 분자, 또는 이들의 혼합물로부터 선택된다.
- [0943] 15. 개념 14에 따른 센서에 있어서, 링커는 폴리머, 바람직하게는 (메트)아크릴레이트 폴리머, 하나 이상의 작용기를 포함하는 유기 화합물, 카르보다이미드, 디아조늄 화합물, 또는 이들의 혼합물로부터 선택된다.
- [0944] 16. 개념 15에 따른 센서에 있어서, 하나 이상이 작용기는 산소, 질소, 황, 할라이드, 하이드록실, 카르보닐, 카르복실, 아민, 아미노, 아미드, 친수성 폴리머 또는 이들의 혼합물로부터 독립적으로 선택되고, 선택적으로는 선형, 분지형 또는 환형 알킬, 알킬레닐, 알킬닐, 아릴 잔기, 아크릴, 아실, 아실옥시, 알콕시, 알킬렌옥시, 또는 이들의 혼합물과 조합한다.
- [0945] 17. 개념 16에 따른 센서에 있어서, 유기 화합물은 선택적으로는 하나 이상의 헤테로원자를 포함하는 하나 이상의 환형 모이어티를 더 포함하며, 환형 모이어티 중 적어도 하나가 작용기 중 적어도 하나에 직접적으로 또는 간접적으로 연결되거나, 또는 링커가 상기 유기 화합물의 에스테르 또는 염인 유도체이거나, 탄소 폼과 반응하여 상기 유기 화합물을 방출하는 화합물이다.
- [0946] 18. 개념 17에 따른 센서에 있어서, 링커는 1-피렌부티르산, N-히드록시숙신이미드(NHS), 피렌-1-카르복실산 숙신이미드 에스테르, 1-아미노피렌, N-(1-피렌) 말레이미드, 또는 이들의 혼합물로부터 선택된다.
- [0947] 19. 개념 17 또는 개념 18에 따른 센서에 있어서, 상기 링커는 $\pi-\pi$ 상호작용에 의해 탄소 폼에 결합된다.
- [0948] 20. 이전 개념 중 어느 하나에 따른 센서에 있어서, 수용체는, 전기화학적 수용체, 화학적 수용체, 생체 수용체, 광학적 수용체, 물리적 또는 기계적 수용체, 바람직하게는 생체 수용체 중 하나이다.
- [0949] 21. 개념 20에 따른 센서에 있어서, 수용체는 크라운 에테르, 촉매, 봉산, 개념, 리간드, 압타머, 단백질, 효소, 항체, 항원, 미생물, 핵산, 지방산, 지방산 에스테르, 분자 각인 폴리머, 금속-유기 프레임워크, 리간드 결합을 형성할 수 있는 폴리펩티드 또는 올리고펩티드, 세포, 세포 소기관, 기타 세포 성분, 또는 이들의 혼합물로부터 선택되며, 바람직하게는 단백질, 핵산, 항체, 효소 또는 이들의 혼합물로부터 선택된다.
- [0950] 22. 개념 21에 따른 센서에 있어서, 수용체는 면역글로불린 A(IgA), 포도당 탈수소효소, 스트렙타비딘 또는 이들의 혼합물로부터 선택된다.
- [0951] 23. 이전 개념 중 어느 하나에 따른 센서에 있어서, 수용체는 링커에 물리적으로, 생물학적으로 및/또는 화학적

으로 결합되고, 더욱 바람직하게는 공유 결합된다.

[0952] 24. 이전 개념 중 어느 하나에 따른 센서를 제조하는 방법은, (i) 개념 1 내지 13, 19 중 어느 하나에 설명된 바와 같이 탄소 폼을 제공하는 단계; (ii) 개념 1, 14 내지 19, 23 중 어느 하나에 설명된 바와 같이 링커로 탄소 폼을 처리하는 단계; 및 (iii) 개념 1, 20 내지 23 중 어느 하나에 설명된 바와 같이 수용체로 처리하는 단계의 시퀀스로 포함한다.

[0953] 25. 타겟을 감지하는 방법은, (i) 개념 1 내지 23 중 어느 하나에 따른 센서를 제공하는 단계; (ii) 타겟을 함유하거나 함유할 것으로 의심되는 샘플과 센서를 접촉시키는 단계; (iii) 센서의 응답을 측정하는 단계; (iv) 응답을 샘플의 타겟 레벨과 관련시키는 단계의 시퀀스로 포함한다.

[0954] 또한 이 부록 5에 설명된 센서는 이 명세서의 앞부분에서 설명된 Gii-Sens 탄소 폼 센서일 수 있음에 유의한다.

[0955] 부록 6 벤치마크 실험 조건

[0956] 0.1M 질산 스트론튬에 1 mM 칼륨 페리/페로시안화물을 넣고 최소 5회의 반복 실험을 랜덤으로 선택했다. 비교 기술로 25 및 200 mV/s 주사 속도의 순환 전압전류법이 수행되었다. 다양한 특징이 조사되고 다양한 전극 재료 성능을 평가하기 위한 결론이 도출되었다.

[0957] 전기화학적 임피던스 분광법은 5 mV 진폭과 0.1내지 100 kHz 주파수의 평형 전위에서 수행되었다.s

[0958] 센서 내장형 또는 외부 은/염화은 기준 전극이 사용되었다.

[0959] Gii Sens 탄소 폼 대 기존 그래핀 전극 재료

[0960] Gii Sens 탄소 폼 센서가 평가되었고 다른 상용 그래핀 기반 센서와 비교되었다. 도 84를 참조한다.

[0961] 기록된 얻은 환원 및 산화 피크 전류는 기하학적 면적당 전류 밀도 측면에서 25% 더 높은 효율을 보여준다. 이는 Gii Sens 3D 탄소 폼이 제공하는 더 넓은 이용 가능한 전기화학적 이용 가능 영역을 명확하게 반영한다. 도 85를 참조한다.

[0962] 순환 전압전류법으로부터 환원-산화 피크 분리 평가는 전압 주사에 대한 표면의 전자 산화환원 반응성과 빠른 산화환원 반응을 효과적으로 수행하는 능력을 측정하는 것으로 해석될 수 있다. 연구에 따르면 환원-산화 피크 분리는 70 mV 미만으로 유지되며 25 내지 200 mV/s로 분리가 증가하지 않는 것으로 나타났다.

[0963] 다른 그래핀 전극 표면은 환원에서 산화까지 더 큰 전압 분리를 나타냈는데, 이는 덜 효율적인 산화환원 패러데이 반응과 더 빠른 주사 속도와 관련된 명백한 해로운 효과를 나타낸다. 도 86을 참조한다.

[0964] 다양한 표면의 전하 이동 저항 값은 Gii Sens 센서 표면에서 극적인 개선을 보여준다. 이는 신뢰성이 높고 배경 신호 간섭이 거의 없는 임피던스 기반 측정을 구현하는 Gii Sens의 엄청난 잠재력을 보여준다.

[0965] Gii 센서 대 기타 탄소 기반 재료

[0966] 탄소 기반 전극 재료는 전기 분석 응용 분야에서 매우 일반적이다. 탄소 페이스트 전극은 스크린 인쇄 센서의 일반적인 재료이다. 이는 제조 유연성과 경제성으로 인해 실제 현장 진료 응용 분야에서 가장 널리 사용되는 전극 표면이다. 유리질 탄소 표면인 탄소 기반 재료의 반대편에는 더 나은 성능이 기대되지만 유연한 제조 및 경제성에 대한 가용성이 제한적이다. 도 87 참조한다.

[0967] Gii Sens 탄소 폼의 성능은 동일한 크기의 탄소 페이스트 전극에서 사용 가능한 영역을 50% 증가시키면서 이용 가능한 전기화학적 활성 영역 측면에서 순수 유리질 탄소 재료의 성능과 일치하는 성능을 보여준다. 도 88을 참조한다.

[0968] 순환 전압전류법에서 얻은 환원-산화 피크 분리는 먼저 탄소 페이스트 재료의 성능이 좋지 않고 표면에서 상대적으로 허용 가능한 산화환원 반응을 전달하기 위해 느린 주사 속도에 대한 의존도가 높다는 것을 보여준다. Gii Sens의 응답은 모든 주사 속도에서 순수 유리질 탄소의 응답을 훨씬 능가하여, 제조 측면의 유연성과 뛰어난 성능을 결합할 수 있는 큰 잠재력을 보여준다. 도 89를 참조한다.

[0969] 표면 전하 이동 저항의 측정은 Gii Sens가 유리질 탄소 위의 임피던스 기반 감지 표면으로서 엄청난 잠재력을 보유하고 있으며 탄소 페이스트 전극 재료로는 아직 도달할 수 없는 분야를 열어준다는 점을 강조하게 된다.

[0970] Gii Sens 대 스크린 인쇄 금

- [0971] 스크린 인쇄 금 센서는 실제 전기화학적 감지 응용 분야에 센서 재료를 사용할 수 있도록 만드는 가장 중요한 두 가지 특성인, 플렉서블한 제조 절차와 우수한 전기화학적 반응을 제공한다. 상업적으로 이용 가능한 스크린 인쇄 금의 두 가지 예가 평가되었다. 도 90을 참조한다. Gii Sens 탄소 폼은 경제성을 추가하는 동시에 이러한 특성도 제공하는 것으로 입증되었다.
- [0972] 기록된 환원 및 산화 피크 전류는 기하학적 면적 단위당 이용 가능한 전기화학적 활성 면적이 적어도 20% 증가했음을 보여준다. 도 91을 참조한다.
- [0973] 예상된 바와 같이 스크린 인쇄 금은 평가된 로트(lot)에서 가장 반응성이 뛰어난 전극 표면 재료를 보여주지만, Gii-Sens는 특히 빠른 주사 속도에서 해당 성능을 일치시키고 심지어 향상시킨다. 도 92를 참조한다.
- [0974] 스크린 인쇄 금과 Gii Sens를 비교한 전극 표면의 전하 이동 저항 또한 Gii 탄소 폼 재료의 큰 잠재력을 강조한다; 모든 경우에 더 낮은 저항 관련 값을 보여준다.
- [0975] Gii Sens와 스크린 인쇄 금을 비교하는 것은 제조 용이성 및 탁월한 성능 측면에서 유리한 비교를 보여주는 것을 목표로 하는 반면, 경제성과 확장성은 확실히 Gii Sens 센서의 고유한 특징이다.
- [0976] **결론**
- [0977] Gii Sens 센서의 성능은 시중에서 이용 가능한 임의의 다른 탄소 기반 센서나 심지어 그래핀 센서보다 능가한다. 스크린 인쇄 금 표면조차도 성능이 뛰어나며, 이는 Gii Sens 표면을 감지를 위한 궁극의 전기화학적 플랫폼으로 사용하는 전체 편의성에 대한 어떠한 의심의 여지도 없애준다. Gii Sens는 최상의 성능을 유지하면서 대규모 처리량 및 현장 관리 응용 분야로의 구현을 위한 최대 감도와 유연성을 보장하면서 전기분석 애응용 분야를 위한 제조 및 확장 가능한 재료를 위한 완벽한 선택을 처음으로 보여준다.
- [0978] **부록 7항 인간(anti human) 프로칼시토닌(cAb)의 표면 고정화 최적화**
- [0979] **목적:**
- [0980] 항 인간 프로칼시토닌(cAb)의 표면 고정화 최적화
- [0981] **결과 요약**
- [0982] * 표면 NHS 생산 방식이 선택되었다. 기존 표준 제조 공정과 일치
- [0983] * 100 µg/ml cAb를 사용하여 최적의 cAb 표면 커버리지를 달성했다.
- [0984] * 표준 베어 Gii-Sens® 센서의 경우 일반적인 %CV는 7%이다. 이 보고서에서 보여주는 실험 전반에 걸친 모든 센서의 경우, 100 µg/ml cAb 코팅의 %CV는 10%이다.
- [0985] * 100 µg/ml cAb 코팅을 사용하여 직접 분석 형식으로 2000 pg/ml Ag를 성공적으로 검출했다. 신호 출력은 10%의 %CV를 갖는다.
- [0986] **실험 섹션**
- [0987] **용액 조성**
- [0988] 표면 화학 작용
- [0989] NHS 변형
- [0990] 피렌 NHS
- [0991] 포집 항체(cAb):
- [0992] 제품명: 안티 - h PCT 4004 SPTN - 5
- [0993] 항원 (Ag):
- [0994] 제품명: 재조합 PCT 항원
- [0995] Echem 관독 용액

- [0996] 20 mM KCl 내 1 mM K₃Fe(CN)₆ + 1 mM K₄Fe(CN)₆
- [0997] cAb 고정화 용액
- [0998] 1 x PBS (pH 7.2)의 안티 - h PCT
- [0999] 항원 (Ag) 검출 용액
- [1000]
- [1001] 20 mM KCl + Ag 내 1 mM K₃Fe(CN)₆ + 1 mM K₄Fe(CN)₆
- [1002] **전기화학적 기술**
- [1003] **전기화학적 임피던스**
- [1004] 인가 전압: OCP
- [1005] 진폭: 0.01 VRMS
- [1006] 주파수 범위: 100000 내지 0.1 Hz
- [1007] **순환 전압전류법**
- [1008] 주사 속도: 25mV/s
- [1009] 시작 전위: -0.3 V
- [1010] 상위 전위: 0.6 V
- [1011] V 하위 전위: -0.3 V
- [1012] **분석 절차**
- [1013] **NHS 고정화**
- [1014] * DMF 내 10 mM Pyr NHS 준비
- [1015] * 각 센서의 작동 전극 상에 10 μ L을 드롭 캐스팅(Drop-cast).
- [1016] * 센서를 밀폐된 박스 안에 넣고 12 내지 18 시간 동안 배양.
- [1017] * PyrNHS/DMF가 표면에서 완전히 증발했음을 확인
- [1018] **cAb 고정화 절차**
- [1019] * NHS GiiSens+ 센서를 평평한 표면에 배치.
- [1020] * 각 센서의 작동 전극 상에 cAb 10 μ L을 드롭 캐스팅.
- [1021] * 수조가 들어 있는 밀봉된 용기 안에 센서를 2시간 동안 둔.
- [1022] * 센서를 제거하고 DI 물로 용액을 부드럽게 행군후 N₂ 가스 스트림으로 부드럽게 건조시킴.
- [1023] **분석 절차: 직접 분석 1 - 도 93 참조**
- [1024] 1) cAb 판독 - 전기화학적 판독 용액이 EIS 측정을 수행하기 전에 센서 표면에 도포됨.
- [1025] 2) 용액 제거 - 전기화학적 판독 용액이 센서 표면으로부터 제거됨.
- [1026] 3) t'1 판독 - 항원 스파이크 전기화학적 판독 용액이 EIS 측정이 수행되기 전에 센서 표면에 도포됨. 용액 추가와 측정 사이에는 약 1분이 소요됨.
- [1027] 4) t'2 판독 - EIS 측정이 수행됨. 용액 추가와 측정 사이에는 약 6분이 소요됨.
- [1028] 5) t'3 판독 - EIS 측정이 수행됨. 용액 추가와 측정 사이에는 약 11분이 소요됨.

- [1029] 전기화학적 판독 절차에 대해서는 부록을 참조한다.
- [1030] 1. 특성화 플롯
- [1031] * 포인트당 복제, $n = 5$ 개(최소)의 다양한 일회용 센서(단일 판독, 센서 배치)
- [1032] **단계 1: 표면 화학 작용**
- [1033] 선택한 표면 화학 작용은 NHS 변형 탄소 폼에 이어 아래 계획에 따라 아미드 결합 형성을 통한 cAb의 접합이었다. 도 94: 표면 고정화 반응 도식을 참조한다.
- [1034] 탄소 폼 표면 상의 NHS 생산은 전기화학적 임피던스 분광법 및 순환 전압전류법을 사용하여 모니터링되었다. 도 95: GiiSens® 전극의 NHS 기능화에 대한 Rct 및 ΔE_p 신호 응답을 참조한다.
- [1035] 베어(bare) 전극에 비해 Rct 및 ΔE_p 의 증가는 탄소 폼 전극의 NHS 기능화를 확인한다.
- [1036] 50 내지 800 $\mu\text{g/ml}$ 사이의 cAb 농도 범위는 전기화학적 임피던스 분광법을 사용하여 스크리닝되었다. 도 96: GiiSens® 전극의 cAb 고정화를 참조한다.
- [1037] NHS 변형 센서의 고정화에 대해 cAb 농도에 따른 Rct의 논리적 증가가 관찰된다. 최적의 커버리지는 NHS 전극에서 100 $\mu\text{g/ml}$ cAb로 추정되었으며, 해당 농도는 약간의 이득으로 재료를 낭비하지 않고 센서의 최상의 성능을 제공하는 것으로 추정되었다. 이 농도에서는 우수한 레벨의 재현성이 관찰된다(%CV 3%).
- [1038] **단계 2: 전기화학적 신호**
- [1039] 생성된 전기화학적 신호는 직접 분석을 위해 평가되었으며, 이는 항원 검출을 보조하기 위해 2차 항체를 사용하지 않음을 의미한다.
- [1040] 직접 분석의 조사를 위해 2000 pg/ml의 항원 농도가 선택되었다. 표면 항체 코팅은 이 보고서의 단계 1의 결과에 따라 100 $\mu\text{g/ml}$ 로 고정되었다. Ag - Ab 배양 시간은 조사를 위한 예비 분석 파라미터로 선택되었다. 도 97: 100 $\mu\text{g/ml}$ cAb 표면 코팅을 사용한 직접 분석 형식으로 2000 pg/ml의 신호 반응을 참조한다.
- [1041] 100 $\mu\text{g/ml}$ cAb는 다시 양호한 레벨의 재현성을 보여준다(%CV 8%). cAb의 평균 Rct 사이의 구별은 명확하여, 뚜렷한 정량화 가능 신호 출력(ΔR_{ct})을 제공한다. ΔR_{ct} 신호 출력은 또한 각 판독 시간에서 %CV $\geq 10\%$ 로 허용 가능한 레벨의 재현성을 보여준다. 1, 6, 11 m 사이의 출력 신호 안정성은 제1 측정 이후 추가 Ab - Ag 상호작용이 발생하지 않음을 보여준다. 측정 간 5분의 시간 갭은 EIS 측정에 소요되는 시간 길이로 인한 것이다. 분석 배양 시간은 2000 pg/ml Ag 샘플의 경우 1분 이내가 최적이다.

표 9

cAb 농도 ($\mu\text{g/ml}$)	분석 용액	전기화학적 분석 파라미터	
		순환 전압전류법	EIS
50, 100, 200, 400 및 800	20 mM KCl + 1 mM 페리시아노칼륨 + 1 mM 페로시아노칼륨	주사 속도: 25mV/s	인가 전압: OCP
		전위 윈도우: - 0.3 내지 0.6 V	진폭: 0.01 V _{RMS}
			주파수 범위: 1 00000 내지 0.1 Hz

[1042]

[1043] cAb 고정화를 위한 주요 실험 및 전기화학적 파라미터

표 10

Ag 농도 (pg/ml)	cAb 농도 (pg/ml)	분석 용액	전기화학적 분석 파라미터
2000	100	20 mM KCl + 1 mM 페리시안화칼륨 + 1 mM 페로시안화칼륨	EIS 인가 전압: OCP 진폭: 0.01 V _{RMS} 주파수 범위: 100000 내지 0.1 Hz

[1044]

[1045] Ag 검출을 위한 주요 실험 및 전기화학적 파라미터

[1046] 부록 8

[1047] 특징 및 선택적 특징의 통합 목록

[1048] 이 부록 8은 특징 및 선택적 특징의 통합 목록이다. 다음의 특징 A 내지 R 중 어느 하나 이상은 어느 하나 이상의 다른 호환 가능한 특징 A 내지 R 그리고 선택적 특징 중 어느 하나 이상과 각각 결합될 수 있다는 점에 유의한다.

[1049] 그룹 1: 서브-표면 탄소 폼

[1050] 특징 A: 탄소 전구체 재료의 서브-표면 영역에 생성된 탄소 폼

[1051] 특징 B: 탄소 전구체 재료의 캡슐화된 영역에 생성된 탄소 폼

[1052] 특징 C: 탄소 전구체 재료의 영역에 생성된 탄소 폼으로서, 여기서 영역은 실질적인 가스 탈출 경로가 없다.

[1053] 특징 D: 기관에 접착된 비정질의 비-그래핀 재료

[1054] 그룹 2: 듀얼 레이저 가공

[1055] 특징 E: 서브-표면 탄소 폼 영역을 레이저 어블레이팅하여 생성된 탄소 폼

[1056] 특징 F: 서브-표면 탄소 폼 영역을 레이저 어블레이팅하여 생성된 비-그래핀 탄소 폼

[1057] 특징 G: 듀얼 레이저

[1058] 특징 H: 서브-표면 탄소 폼 영역을 레이저 어블레이팅하여 생성된 탄소 폼에 포지셔닝된 전기 접촉부

[1059] 특징 I: 폴리이미드 필름에 전기 접촉부를 인쇄한 다음 노출된 탄소 폼 생성

[1060] 특징 J: 탄소 폼으로 만들어진 키가 큰 트랙

[1061] 특징 K: 서로 다른 제조 시설에 제1 및 제2 레이저를 적용

[1062] 그룹 3: 제품

[1063] 특징 L1: 바이오센서

[1064] 특징 L2: 스크린 인쇄 기술을 사용한 탄소 폼 바이오센서의 확장 가능한 저비용 제조

[1065] 특징 L3: 서로 다른 제조 시설의 바이오센서에 기능화된 그룹 추가

[1066] 특징 L4: 바이오센서 생산 공정의 일부로 바이오센서에 기능화된 그룹 추가

- [1067] 특징 L5: PPC: Post Printing Conversion를 사용한 바이오센서 제조
- [1068] 특징 M1: 에너지 저장 장치: 슈퍼커패시터
- [1069] 특징 M2: 탄소 폼 슈퍼커패시터의 특성
- [1070] 특징 M3: 탄소 폼 슈퍼커패시터: 공통 콜렉터
- [1071] 특징 M4: 탄소 폼 슈퍼커패시터: PPC 제조 공정
- [1072] 특징 M5: 탄소 폼 의사-커패시터: 금속 산화물 변형
- [1073] 특징 M6: 탄소 폼 슈퍼커패시터: 저습 환경에서 이온성 겔 사용
- [1074] 특징 N1: 전기 전도체
- [1075] 특징 N2: 센서와 슈퍼커패시터 결합
- [1076] 특징 N3: 슈퍼커패시터와 배터리 결합
- [1077] 기능 N4: 스마트 라벨
- [1078] 특징 N5: 슈퍼커패시터와 안테나 결합
- [1079] 특징 N6: 에너지 스캐빈저 + 슈퍼커패시터 결합.
- [1080] 특징 O1: 3D 탄소 폼 구조: Gii-Cap용 Gii-Thru
- [1081] 특징 O2: 3D 탄소 폼 구조: Gii-Thru 적층 가능 Gii-Cap/Gii-Cap+
- [1082] 특징 O3: 3D 탄소 폼 구조: Gii-Sens용 Gii-Thru: HISLOC
- [1083] 특징 O4: 3D 탄소 폼 구조: Gii-Sens용 Gii-Thru: HISLOC 제조 공정
- [1084] **그룹 4: 기타**
- [1085] 특징 P: 확장 가능한 탄소 폼: Gii 3 제조
- [1086] 특징 Q: 기타 다양한 탄소 폼 응용 분야
- [1087] 특징 R: 비-그래핀 탄소 폼
- [1088] **특징 A:탄소 전구체 재료의 서브-표면 영역에 생성된 탄소 폼**
- [1089] 탄소 폼 재료를 제조하는 방법은 탄소 전구체 재료의 서브-표면 영역을 조사하는 단계를 포함하며, 레이저 빔의 파라미터는 해당 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성하도록 선택된다.
- [1090] 레이저 유도 탄소 폼 재료는 탄소 전구체 재료의 서브-표면 영역을 조사하도록 구성된 레이저 빔에 의해 만들어지며, 레이저 빔의 파라미터는 해당 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성하도록 선택된다.
- [1091] 장치는 탄소 전구체 재료의 서브-표면 영역을 조사하여 제조된 레이저 유도 탄소 폼 재료를 포함하며, 레이저 빔의 파라미터는 해당 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성하도록 선택된다.
- [1092] **특징 B:탄소 전구체 재료의 캡슐화된 영역에 생성된 탄소 폼**
- [1093] 탄소 폼 재료를 제조하는 방법은 탄소 전구체 재료의 캡슐화된 영역을 조사하는 단계를 포함하며, 레이저 빔의 파라미터는 해당 캡슐화된 영역에 탄소 폼을 생성하도록 선택된다.
- [1094] 레이저 유도 탄소 폼 재료는 탄소 전구체 재료의 캡슐화된 영역을 조사하도록 구성된 레이저 빔에 의해 만들어지며, 레이저 빔의 파라미터는 해당 캡슐화된 영역에 탄소 폼을 생성하도록 선택된다.
- [1095] 장치는 탄소 전구체 재료의 캡슐화된 영역을 조사하여 제조된 레이저 유도 탄소 폼 재료를 포함하며, 레이저 빔의 파라미터는 해당 캡슐화된 영역에 탄소 폼을 생성하도록 선택된다.
- [1096] **특징 C:탄소 전구체 재료의 영역에 생성된 탄소 폼으로서, 여기서 영역은 실질적인 가스 탈출 경로가 없다.**
- [1097] 탄소 폼 재료를 제조하는 방법은 탄소 전구체 재료의 캡슐화된 서브-표면 영역을 조사하는 단계를 포함하며, 레이저 빔의 파라미터는 해당 영역에 탄소 폼을 생성하도록 선택되고, 전구체 재료의 표면으로의 실질적인 가스

탈출 경로는 레이저 빔에 의해 생성되지 않는다.

[1098] 레이저 빔에 의한 레이저 유도 탄소 폼 재료는 탄소 전구체 재료의 캡슐화된 서브-표면 영역을 조사하도록 구성되며, 레이저 빔의 파라미터는 해당 영역에 탄소 폼을 생성하도록 선택되고, 전구체 재료의 표면으로의 실질적인 가스 탈출 경로는 레이저 빔에 의해 생성되지 않는다.

[1099] 장치는 탄소 전구체 재료의 캡슐화된 서브-표면 영역을 조사하여 제조된 레이저 유도 탄소 폼 재료를 포함하며, 레이저 빔의 파라미터는 해당 영역에 탄소 폼을 생성하도록 선택되며, 전구체 재료의 표면으로의 실질적인 가스 탈출 경로는 레이저 빔에 의해 생성되지 않는다.

[1100] **특정 D:기관에 접착된 비정질의 비-그래핀 재료**

[1101] 탄소 폼 재료를 제조하는 방법은 기관 상에 포지셔닝되는 탄소 전구체 재료의 내부 영역을 조사하는 단계를 포함하며, 레이저 빔의 파라미터는 해당 영역에 탄소 폼을 생성하고 탄소 폼 영역과 기관 사이에 무질서한 비정질의 비-그래핀 재료를 생성하도록 선택된다; 해당 무질서한 비정질의 비-그래핀 재료는 기관에 접착되거나 그렇지 않으면 집적 부착된다.

[1102] 레이저 빔에 의해 만들어진 레이저 유도 탄소 폼 재료는 기관 상에 포지셔닝되는 탄소 전구체 재료의 내부 영역을 조사하도록 구성되며, 레이저 빔의 파라미터는 해당 영역에 탄소 폼을 생성하고 그래핀 영역과 기관 사이에 무질서한 비정질의 비-그래핀 재료를 생성하도록 선택되고, 해당 무질서한 비정질의 비-그래핀 재료는 기관에 접착되거나 그렇지 않으면 집적 부착된다.

[1103]

[1104] 장치는 기관에 포지셔닝된 탄소 전구체 재료의 내부 영역을 조사하여 제조된 레이저 유도 탄소 폼 재료를 포함하며, 레이저 빔의 파라미터는 해당 영역에 탄소 폼을 생성하고 그래핀 영역과 기관 사이에 무질서한 비정질의 비-그래핀 재료를 생성하도록 선택되고, 해당 무질서한 비정질의 비-그래핀 재료는 기관에 접착되거나 그렇지 않으면 직접 부착된다.

[1105] **특정 E:서브-표면 탄소 폼 영역을 레이저 어블레이팅하여 생성된 탄소 폼**

[1106] 탄그래핀 재료를 제조하는 방법은 (a) 레이저 빔이 탄소 전구체 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성하고 탄소 폼 위에 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질을 생성한 다음, (b) 레이저 어블레이션 또는 처리하여 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질을 적어도 일부를 제거하고, 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키는 단계를 포함한다.

[1107] 레이저 유도 탄소 폼은 (a) 레이저 빔이 탄소 전구체 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성하고 탄소 폼 위에 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질을 생성한 다음, (b) 레이저 어블레이션 또는 처리하여 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질을 제거하고, 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시킴으로써 만들어진다.

[1108] 장치는 (a) 레이저 빔이 탄소 전구체 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성하고 탄소 폼 위에 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질을 생성한 다음, (b) 레이저 어블레이션 또는 처리하여 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질을 제거하고, 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시킴으로써 제조된 레이저 유도 탄소 폼 재료를 포함한다.

[1109] **특정 F:서브-표면 탄소 폼 영역을 레이저 어블레이팅하여 생성된 비-그래핀 탄소 폼**

[1110] 비-그래핀 탄소 폼을 제조하는 방법은,

[1111] (a) 레이저 빔이 탄소 전구체 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여 탄소 전구체 재료의 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성하고 탄소 폼 위에 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질을 생성한 다음,

[1112] (b) 레이저 어블레이션 또는 처리하여 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질을 제거하고, 하부 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키고, 해당 하부 탄소 폼의 적어도 일부를 비-그래핀 탄소 폼으로 변형시키는 단계를 포함한다.

[1113] 레이저 유도 탄소 폼은,

[1114] (a) 레이저 빔이 탄소 전구체 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여 탄소 전구체 재료의 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성하고 탄소 폼 위에 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질을 생성한 다음,

음,

[1115] (b) 레이저 어블레이션 또는 처리하여 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질을 제거하고, 하부 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키고, 해당 하부 탄소 폼의 적어도 일부를 비-그래핀 탄소 폼으로 변형시키는 단계를 포함한다.

[1116] 장치는,

[1117] (a) 레이저 빔이 탄소 전구체 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여 탄소 전구체 재료의 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성하고 탄소 폼 위에 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질을 생성한 다음,

[1118] (b) 레이저 어블레이션 또는 처리하여 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질을 제거하고, 하부 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키고, 해당 하부 탄소 폼의 적어도 일부를 비-그래핀 탄소 폼으로 변형시킴으로써

[1119] 만들어진 레이저 유도 탄소 폼을 포함한다.

[1120] **특정 G: 서로 다른 주파수 대역에서 동작하는 듀얼 레이저**

[1121] 탄소 폼 재료를 제조하는 방법은,

[1122] (a) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성한 다음,

[1123] (b) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 폼 위에 안착되어 있는 재료를 제거하거나 어블레이트하여, 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키는 단계를 포함한다.

[1124] 레이저 유도 탄소 폼은,

[1125] (a) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성한 다음,

[1126] (b) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 폼 위에 안착되어 있는 재료를 제거하거나 어블레이트하여, 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시킴으로써 만들어진 다음,

[1127] 장치는,

[1128] (a) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성한 다음,

[1129] (b) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 폼 위에 안착되어 있는 재료를 제거하거나 어블레이트하여, 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시킴으로써 제조된 레이저 유도 탄소 폼 재료를 포함한다.

[1130] **특정 H: 서브-표면 탄소 폼 영역을 레이저 어블레이팅하여 생성된 탄소 폼에 포지셔닝된 전기 접촉부**

[1131] 탄소 폼 재료를 제조하는 방법은,

[1132] (a) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성한 다음,

[1133] (b) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 폼 위에 안착하는 재료를 제거하거나 어블레이트하여 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키고;

[1134] (c) 하나 이상의 전기 접촉부를 탄소 폼으로 부착, 인쇄 또는 위치시키는 단계를 포함한다.

[1135] 레이저 유도 탄소 폼은,

[1136] (a) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성한 다음,

[1137] (b) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 폼 위에 안착되어 있는 재료를 제거하거나 어블레이트하여, 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키고;

[1138] (c) 하나 이상의 전기 접촉부를 탄소 폼으로 부착, 인쇄 또는 위치시킴으로써 만들어진 다음,

[1139] 장치는,

- [1140] (a) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성한 다음,
- [1141] (b) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 폼 위에 안착하는 재료를 제거하거나 어블레이트하여 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키고;
- [1142] (c) 하나 이상의 전기 접촉부를 탄소 폼으로 부착, 인쇄 또는 위치시킴으로써 제조된 레이저 유도 탄소 폼 재료를 포함한다.
- [1143] **특정 I:폴리이미드 필름에 전기 접촉부를 인쇄한 다음 노출된 탄소 폼을 생성**
- [1144] 탄소 폼 재료를 제조하는 방법은,
- [1145] (a) 탄소 전구체 재료 위나 안으로 전기 접촉부를 스크린 인쇄하는 단계;
- [1146] (b) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성하는 단계 - 단계 (a)와 (b)는 (a) 다음에 (b) 또는 (b) 다음에 (a)의 순서로 수행될 수 있음 -; 및
- [1147] (c) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 폼 위에 안착하는 재료를 제거하거나 어블레이트하여, 전기 접촉부가 연결되는 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키는 단계를 포함한다.
- [1148] 레이저 유도 탄소 폼 재료는,
- [1149] (a) 탄소 전구체 재료 위나 안으로 전기 접촉부를 스크린 인쇄하고;
- [1150] (b) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성하고 - 단계 (a)와 (b)는 (a) 다음에 (b) 또는 (b) 다음에 (a)의 순서로 수행될 수 있음 -; 및
- [1151] (c) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 폼 위에 안착하는 재료를 제거하거나 어블레이트하여, 전기 접촉부가 연결되는 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시킴으로써 만들어진다.
- [1152] 장치는,
- [1153] (a) 탄소 전구체 재료 위나 안으로 전기 접촉부를 스크린 인쇄하고;
- [1154] (b) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성하고 - 단계 (a)와 (b)는 (a) 다음에 (b) 또는 (b) 다음에 (a)의 순서로 수행될 수 있음 -; 및
- [1155] (c) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 폼 위에 안착하는 재료를 제거하거나 어블레이트하여, 전기 접촉부가 연결되는 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시킴으로써 제조된 레이저 유도 탄소 폼 재료를 포함한다.
- [1156] **특정 J:탄소 폼으로 만들어진 키가 큰 트랙**
- [1157] 탄소 폼 재료를 제조하는 방법은,
- [1158] (a) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성한 다음,
- [1159] (b) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 폼 위에 안착되어 있는 재료를 제거하거나 어블레이트하여, 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키는 단계를 포함하며;
- [1160] 탄소 폼은 두께 또는 깊이가 적어도 50 μm 이다.
- [1161] 레이저 유도 탄소 폼 재료는,
- [1162] (a) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성한 다음,
- [1163] (b) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 폼 위에 안착되어 있는 재료를 제거하거나 어블레이트하여, 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시킴으로써 만들어진지;

- [1164] 탄소 폼은 두께 또는 깊이가 적어도 50 μm 이다.
- [1165] 장치는,
- [1166] (a) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성한 다음,
- [1167] (b) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 폼 위에 안착되어 있는 재료를 제거하거나 어블레이트하여, 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시킴으로써 제조된 레이저 유도 탄소 폼 재료를 포함하며;
- [1168] 탄소 폼은 두께 또는 깊이가 적어도 50 μm 이다.
- [1169] **특징 K:서로 다른 제조 시설에 제1 및 제2 레이저를 적용**
- [1170] 장치를 제조하는 방법은,
- [1171] (a) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성한 다음,
- [1172] (b) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 폼 위에 안착되어 있는 재료를 제거하거나 어블레이트하여, 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시키는 단계를 포함하며;
- [1173] 단계 (a)는 하나의 제조 시설에서 수행되고 단계 (b)는 서로 다른 시설에서 수행된다.
- [1174] 레이저 유도 탄소 폼 재료는,
- [1175] (a) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성한 다음,
- [1176] (b) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 폼 위에 안착되어 있는 재료를 제거하거나 어블레이트하여, 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시킴으로써 만들어지며;
- [1177] 단계 (a)는 하나의 제조 시설에서 수행되고 단계 (b)는 서로 다른 시설에서 수행된다.
- [1178] 장치는,
- [1179] (a) 제1 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 전구체 재료 표면 아래의 상기 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여, 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성한 다음,
- [1180] (b) 제2 대역에서 동작하는 레이저 빔을 사용하여 탄소 폼 위에 안착되어 있는 재료를 제거하거나 어블레이트하여, 탄소 폼의 적어도 일부를 노출시킴으로써 제조된 레이저 유도 탄소 폼을 포함하며;
- [1181] 단계 (a)는 하나의 제조 시설에서 수행되고 단계 (b)는 서로 다른 시설에서 수행된다.
- [1182] **특징 L1:바이오센서**
- [1183] 바이오센서를 제조하는 방법은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 포함하는 감지 전극을 포함한다.
- [1184] 바이오센서는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 포함하는 감지 전극을 포함한다.
- [1185] 현장 진단 장치는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 포함하는 감지 전극을 갖는 바이오센서를 포함한다.
- [1186] **특징 L2:스크린 인쇄 기술을 사용한 탄소 폼 바이오센서의 확장 가능한 저비용 제조**
- [1187] 바이오센서를 제조하는 방법은 작동 전극 및 상대 전극과 같은 센서 전극을 포함하며, 각 전극은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 포함하며, 상기 방법은 각 전극 위에 전기 연결 트랙을 스크린 인쇄하고 스크린 인쇄 유전체로 전극과 연결 트랙을 적어도 부분적으로 덮는 단계를 포함한다.
- [1188] 바이오센서는 작동 전극 및 상대 전극과 같은 센서 전극을 포함하며, 각 전극은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 포함하며, 상기 방법은 (i) 각 전극 위에 스크린 인쇄되는 전기 연결 연결 트랙 및 (ii) 전극 및 연결 트랙을 적어도 부분적으로 덮는 스크린 인쇄 유전체를

포함한다.

[1189] **특징 L3:서로 다른 제조 시설의 바이오센서에 기능화된 그룹 추가**

[1190] 하나의 제조 시설에서, 작동 전극, 상대 전극과 같은 센서 전극을 포함하는 바이오센서를 제조하는 방법은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 각각 포함하며, 상기 방법은 서로 다른 제조 시설에서, 기능화된 그룹을 적어도 작업 전극에 추가하는 추가 단계를 포함한다.

[1191] 바이오센서는 작동 전극 및 상대 전극과 같은 센서 전극을 포함하며, 각 전극은 하나의 제조 시설에서 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 포함하며, 바이오센서는 서로 다른 제조 시설에서 적어도 작동 적에 추가되는 기능화된 그룹을 포함한다.

[1192] **특징 L4:바이오센서 생산 공정의 일부로 바이오센서에 기능화된 그룹 추가**

[1193] 하나의 제조 시설에서 작동 전극, 상대 전극과 같은 센서 전극을 포함하는 바이오센서를 제조하는 방법은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 각각 포함하며, 상기 방법은 해당 제조 시설에서, 기능화된 그룹을 작동 전극에 추가하는 추가 단계를 포함한다.

[1194] 바이오센서는 작동 전극 및 상대 전극과 같은 센서 전극을 포함하며, 각 전극은 하나의 제조 시설에서 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 포함하며, 바이오센서는 해당 동일한 제조 시설에서 적어도 작동 전극에 추가되는 기능화된 그룹을 포함한다.

[1195] **특징 L5:PPC: Post Printing Conversion를 사용한 바이오센서 제조**

[1196] 작동 전극 및 상대 전극과 같은 센서 전극을 포함하는 바이오센서를 제조하는 방법으로서, 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소를 각각 포함하며, 상기 방법은 (a) 탄소 전구체 기판 상에 탄소 층을 스크린 인쇄하는 단계; (b) 전기 연결 트랙 및 기준 전극을 스크린 인쇄하는 단계; (c) 탄소 층 및 전기 연결 트랙 및 기준 전극 위에 유전층을 스크린 인쇄하는 단계; 그런 다음 (d) 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 공정을 사용하여 탄소 폼 센서 전극을 생성하는 단계를 포함한다.

[1197] 바이오센서는 작동 전극 및 상대 전극과 같은 센서 전극을 포함하며, 바이오센서는 (a) 탄소 전구체 기판 상에 스크린 인쇄된 탄소 층; (b) 스크린 인쇄 전기 연결 트랙 및 스크린 인쇄 기준 전극; (c) 탄소 층 미 전기 연결 트랙 및 기준 전극 위에 스크린 인쇄된 유전층; 및 그런 다음 (d) 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 공정을 사용하여 만들어진 탄소 폼 센서 전극을 포함한다.

[1198] **특징 M1:에너지 저장 장치**

[1199] 슈퍼커패시터 또는 의사-커패시터와 같은 에너지 저장 장치를 제조하는 방법으로서, 에너지 저장 전극은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함한다.

[1200] 슈퍼커패시터 또는 의사-커패시터와 같은 에너지 저장 장치로서, 에너지 저장 전극은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함한다.

[1201] **특징 M2: 탄소 폼 슈퍼커패시터의 스크린 인쇄층**

[1202] 슈퍼커패시터 또는 의사-커패시터와 같은 에너지 저장 장치를 제조하는 방법으로서, 에너지 저장 전극은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하며;

[1203] 상기 방법은 각 전극의 적어도 일부 위에 전기 연결 트랙을 스크린 인쇄하고 전극과 연결 트랙을 스크린 인쇄 유전층으로 적어도 부분적으로 덮는 단계를 포함한다.

[1204] 슈퍼커패시터 또는 의사-커패시터와 같은 에너지 저장 장치로서, 에너지 저장 전극은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하며;

[1205] 각 전극의 적어도 일부 위에 형성된 스크린 인쇄 전기 연결 트랙 및 전극과 연결 트랙을 적어도 부분적으로 덮는 스크린 인쇄 유전층을 포함한다.

[1206] **특징 M3:탄소 폼 슈퍼커패시터: 공통 콜렉터**

[1207] 슈퍼커패시터 또는 의사-커패시터와 같은 에너지 저장 장치를 제조하는 방법으로서, 에너지 저장 전극은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진고 깎지형 패턴으로 배열된 탄소 폼 재료를 포함하며;

- [1208] 상기 방법은 각 전극의 적어도 일부 위에 전기 연결 트랙을 스크린 인쇄하는 단계를 포함하며, 단일 전기 연결 트랙은 전기 연결 트랙의 양쪽 측면으로부터 수직으로 확장되는 하부 디지털에 연결된다.
- [1209] 슈퍼커패시터 또는 의사-커패시터와 같은 에너지 저장 장치로서, 에너지 저장 전극은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어지고 깎지형 패턴으로 배열되는 탄소 폼 재료를 포함하며;
- [1210] 스크린 인쇄 전기 연결 트랙은 각 전극의 적어도 일부 위에 형성되고, 단일 전기 연결 트랙은 전기 연결 트랙의 양쪽 측면으로부터 수직으로 연장되는 하부 디지털에 연결된다.
- [1211] **특징 M4:탄소 폼 슈퍼커패시터: PPC 제조 공정**
- [1212] 슈퍼커패시터 또는 의사-커패시터와 같은 에너지 저장 장치를 제조하는 방법으로서;
- [1213] 상기 방법은 (a) 기관 상에 전기 커넥터를 스크린 인쇄하는 단계; (b) 전기 커넥터 위에 탄소층을 스크린 인쇄하는 단계; (c) 탄소층의 적어도 일부 위에 유전체를 스크린 인쇄하는 단계; 그런 다음 (d) 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 탄소 폼 에너지 저장 전극을 생성하는 단계를 포함한다.
- [1214] 슈퍼커패시터 또는 의사-커패시터와 같은 에너지 저장 장치로서;
- [1215] (a) 기관 상에 전기 커넥터를 스크린 인쇄하는 단계; (b) 전기 콜렉터 위에 탄소층을 스크린 인쇄하는 단계; (c) 탄소층의 적어도 일부 위에 유전체를 스크린 인쇄하는 단계; 그런 다음 (d) 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 탄소 폼 에너지 저장 전극을 생성하는 단계를 포함한다.
- [1216] **특징 M5:탄소 폼 의사-커패시터: 금속 산화물 변형**
- [1217] 슈퍼커패시터 또는 의사-커패시터와 같은 에너지 저장 장치를 제조하는 방법으로서, 에너지 저장 전극은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하며;
- [1218] 상기 방법은 금속 산화물과 같은 의사-용량성 재료의 전기화학적 증착 공정을 에너지 저장 전극에 적용하는 단계를 포함한다.
- [1219] 슈퍼커패시터 또는 의사-커패시터와 같은 에너지 저장 장치로서;
- [1220] (a) 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료로 구성된 에너지 저장 전극; 및 (b) 에너지 저장 전극에 적용된 금속 산화물과 같은 의사-용량성 재료를 포함한다.
- [1221] **특징 M6:탄소 폼 슈퍼커패시터: 저습 환경에서 이온성 겔 사용**
- [1222] 슈퍼커패시터 또는 의사-커패시터와 같은 에너지 저장 장치를 제조하는 방법으로서, 에너지 저장 전극은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하며;
- [1223] 상기 방법은 저습이지만 불활성이 아닌 환경에서 이온성 겔 전해질을 도포하는 단계를 포함하며, 여기서 환경 내 O_2 및 H_2O 레벨이 측정되고 제어되어 에너지 저장 장치의 정전용량을 최적화한다.
- [1224] 슈퍼커패시터 또는 의사-커패시터와 같은 에너지 저장 장치로서;
- [1225] (a) 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료로 구성된 에너지 저장 전극; 및 (b) 저습이지만 불활성이 아닌 환경에 적용된 이온성 겔 전해질을 포함하며, 여기서 환경 내 O_2 및 H_2O 레벨이 측정되고 제어되어 에너지 저장 장치의 정전용량을 최적화한다.
- [1226] **특징 N1:전기 전도체**
- [1227] 전기 전도체를 제조하는 방법으로서, 전기 전도체는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 포함한다.
- [1228] 전기 전도체는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼을 포함한다.
- [1229] **특징 N2:센서와 슈퍼커패시터 결합**
- [1230] 센서 및 슈퍼커패시터와 같은 에너지 저장 장치 둘 모두를 포함하는 장치를 제조하는 방법으로서, 센서와 에너지 저장 장치 둘 모두는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진

탄소 폼 재료를 포함한다.

- [1231] 바이오센서와 같은 센서 장치는 (a) 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하는 감지 전극 및 (b) 슈퍼커패시터와 같은, 에너지 저장 장치를 포함하며, 에너지 저장 장치는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함한다.
- [1232] 현장 진단 장치는 (a) 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하는 감지 전극 및 (b) 슈퍼커패시터와 같은 에너지 저장 장치를 포함하며, 에너지 저장 장치는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함한다.
- [1233] **특징 N3:슈퍼커패시터와 배터리 결합**
- [1234] 배터리 및 슈퍼커패시터를 포함하는 통합 장치를 제조하는 방법으로서, 배터리는 장기 전력을 제공하고, 슈퍼커패시터는 배터리보다 높은 레벨로 단기 전력을 제공하며, 슈퍼커패시터는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함한다.
- [1235] 배터리 및 슈퍼커패시터를 포함하는 통합 장치로서, 배터리는 장기 전력을 제공하고 슈퍼커패시터는 배터리보다 더 높은 레벨로 단기 전력을 제공하며, 슈퍼커패시터는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함한다.
- [1236] **특징 N4:스마트 라벨**
- [1237] 배터리 및 슈퍼커패시터를 결합하거나 통합하는 단계를 포함하는 스마트 라벨을 제조하는 방법으로서, 배터리는 장기 전력을 제공하고 슈퍼커패시터는 배터리보다 더 높은 레벨로 단기 전력을 제공하며, 슈퍼커패시터는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하며;
- [1238] 스마트 라벨은 배터리에 의해 전력을 공급받는 센서 전자 장치와 같은 전자 장치 및 슈퍼커패시터에 의해 전력을 공급받는 데이터 송신기를 포함한다.
- [1239] 배터리 및 슈퍼커패시터를 포함하는 스마트 라벨로서, 배터리는 장기 전력을 제공하고 슈퍼커패시터는 배터리보다 더 높은 레벨로 단기 전력을 제공하며, 슈퍼커패시터는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하며;
- [1240] 스마트 라벨은 배터리에 의해 전력을 공급받는 센서 전자 장치와 같은 전자 장치 및 슈퍼커패시터에 의해 전력을 공급받는 데이터 송신기를 포함한다.
- [1241] **특징 N5:슈퍼커패시터와 안테나 결합**
- [1242] 안테나와 슈퍼커패시터를 포함하는 통합 장치를 제조하는 방법으로서, 슈퍼커패시터는 안테나에 전력을 공급하고 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함한다.
- [1243] 안테나와 슈퍼커패시터를 포함하는 통합 장치로서, 슈퍼커패시터는 안테나에 전력을 공급하고 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함한다.
- [1244] **특징 N6:에너지 스캐빈저 + 슈퍼커패시터 결합.**
- [1245] 에너지 스캐빈저 시스템과 슈퍼커패시터를 결합하거나 통합하는 단계를 포함하는 통합 장치를 제조하는 방법으로서, 슈퍼커패시터는 안테나에 전력을 공급하고 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함한다.
- [1246] 에너지 스캐빈저 시스템과 슈퍼커패시터를 포함하는 데이터 로깅 장치로서, 슈퍼커패시터는 안테나에 전력을 공급하고 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함한다.
- [1247] **특징 01:3D 탄소 폼 구조: Gii-Cap용 Gii-Thru**
- [1248] 에너지 저장 장치를 제조하는 방법은,
- [1249] (i) 탄소 전구체 필름을 제공하는 단계;

- [1250] (ii) 탄소 전구체 필름의 표면 상에 전도성 페이스트 또는 잉크 층을 스크린 인쇄하는 단계;
- [1251] (iii) 스크린 인쇄 전도성 페이스트 또는 잉크 층 위에 콜렉터 층을 스크린 인쇄하는 단계;
- [1252] (iv) 콜렉터 층 위에 유전층을 스크린 인쇄하는 단계;
- [1253] (v) 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 탄소 전구체 필름으로부터 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하는 에너지 저장 전극을 만드는 단계를 포함하며;
- [1254] 전기 전도성 경로는 전도성 페이스트 또는 잉크 층을 통해 탄소 폼 재료로부터 콜렉터 층까지 형성된다.
- [1255] 슈퍼커패시터와 같은 에너지 저장 장치로서,
- [1256] (i) 탄소 전구체 필름;
- [1257] (ii) 탄소 전구체 필름의 표면 상의 스크린 인쇄 전도성 페이스트 또는 잉크 층;
- [1258] (iii) 스크린 인쇄 전도성 페이스트 또는 잉크 층 위의 스크린 인쇄 콜렉터 층;
- [1259] (iv) 콜렉터 층 위의 스크린 인쇄 유전층;
- [1260] (v) 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 탄소 전구체 필름으로부터 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하는 에너지 저장 전극을 포함하며, 전기 전도성 경로는 전도성 페이스트 또는 잉크 층을 통해 탄소 폼 재료로부터 콜렉터 층까지 형성된다.
- [1261] **특정 02:3D 탄소 폼 구조: Gii-Thru 적층 가능 Gii-Cap/Gii-Cap+**
- [1262] 에너지 저장 장치를 제조하는 방법은,
- [1263] (i) 탄소 전구체 필름을 제공하는 단계;
- [1264] (ii) 탄소 전구체 필름의 표면 상에 전도성 페이스트 또는 잉크 층을 스크린 인쇄하는 단계;
- [1265] (iii) 스크린 인쇄 전도성 페이스트 또는 잉크 층 위에 콜렉터 층을 스크린 인쇄하는 단계;
- [1266] (iv) 콜렉터 층 위에 유전층을 스크린 인쇄하는 단계;
- [1267] (v) 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 탄소 전구체 필름으로부터 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하는 에너지 저장 전극을 만드는 단계를 포함하며;
- [1268] 전기 전도성 경로는 전도성 페이스트 또는 잉크 층을 통해 탄소 폼 재료로부터 콜렉터 층까지 형성되고;
- [1269] 다층 서브-조립체가 스택으로 형성되고, 인접 에너지 저장 전극이 이온성 겔 전해질에 의해 분리된다.
- [1270] 서브-조립체를 포함하는, 슈퍼커패시터와 같은, 에너지 저장 장치로서,
- [1271] (i) 탄소 전구체 필름;
- [1272] (ii) 탄소 전구체 필름의 표면 상의 스크린 인쇄 전도성 페이스트 또는 잉크 층;
- [1273] (iii) 스크린 인쇄 전도성 페이스트 또는 잉크 층 위의 스크린 인쇄 콜렉터 층;
- [1274] (iv) 콜렉터 층 위의 스크린 인쇄 유전층;
- [1275] (v) 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 탄소 전구체 필름으로부터 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하는 에너지 저장 전극을 포함하며, 전기 전도성 경로는 전도성 페이스트 또는 잉크 층을 통해 탄소 폼 재료로부터 콜렉터 층까지 형성된다.
- [1276] 다층 서브-조립체가 스택으로 형성되고, 인접 에너지 저장 전극이 이온성 겔 전해질에 의해 분리된다.
- [1277] **특정 03:3D 탄소 폼 구조: Gii-Sens용 Gii-Thru: HISLOC**
- [1278] 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 탄소 전구체 필름으로부터 만들어진, 장치의 상위 면 상에 포지셔닝된 샘플 웰, 기준, 작동 및 상대 전극을 포함하는 미세유체 진단 장치는 샘플 웰 아래의 층에 있으며, 기준, 작동 및 상대 전극 연결부는 기준, 작동 및 상대 전극 아래의 층에 있다.

- [1279] **특징 04:3D 탄소 폼 구조: Gii-Sens용 Gii-Thru: HISLOC 제조 공정**
- [1280] 랩 온 칩 장치를 제조하는 방법은,
- [1281] (i) 탄소 전구체 필름을 제공하는 단계;
- [1282] (ii) 탄소 전구체 필름의 표면 상에 전도성 페이스트 또는 잉크 층을 스크린 인쇄하는 단계;
- [1283] (iii) 스크린 인쇄 전도성 페이스트 또는 잉크 층 위에 콜렉터 층을 스크린 인쇄하는 단계;
- [1284] (iv) 기준 전극을 스크린 인쇄하는 단계;
- [1285] (iv) 콜렉터 층 위에 유전층을 스크린 인쇄하는 단계;
- [1286] (v) 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 탄소 전구체 필름으로부터 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하는 에너지 저장 전극을 만드는 단계를 포함하며;
- [1287] 전기 전도성 경로는 전도성 페이스트 또는 잉크 층을 통해 탄소 폼 재료로부터 전도성 층까지 형성된다.
- [1288] 서브-조립체를 포함하는 랩 온 칩 장치로서,
- [1289] (i) 탄소 전구체 필름;
- [1290] (ii) 탄소 전구체 필름의 표면 상의 스크린 인쇄 전도성 페이스트 또는 잉크 층;
- [1291] (iii) 스크린 인쇄 전도성 페이스트 또는 잉크 층 위의 스크린 인쇄 전도성 층;
- [1292] (iv) 스크린 인쇄 기준 전극;
- [1293] (v) 콜렉터 층 위의 스크린 인쇄 유전층;
- [1294] (vi) 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 탄소 전구체 필름으로부터 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하는 센서 전극을 포함하며, 전기 전도성 경로는 전도성 페이스트 또는 잉크 층을 통해 탄소 폼 재료로부터 전도성 층까지 형성된다.
- [1295] **특징 P: 확장 가능한 탄소 폼: Gii 3 제조**
- [1296] 하나 이상의 전극을 포함하는 장치를 제조하는 방법으로서, 탄소 폼 재료를 각각 포함하며;
- [1297] 상기 방법은 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 제조하는 데 필요한 동작 시퀀스를 통해 탄소 전구체 필름의 연속 릴을 통과시키는 단계를 포함한다.
- [1298] **특징 Q: 기타 다양한 탄소 폼 응용 분야**
- [1299] 장치는 위의 특징 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 폼 재료를 포함하며, 장치는 다음과 같은 유형의 장치 중 하나이다:
- [1300] * 홀 효과 센서: 탄소 폼은 자기장에 대한 반응을 보여준다.
- [1301] * 예를 들어 로봇공학의 촉각 센서; 로봇 터치 감지 응용 분야에 사용하기 위한 압저항 기반 압력 센서의 활성 층으로서, 구조 위로 그리고 구조 내로 폴리디메틸실록산(PDMS)이 내장된 Gii 탄소 폼을 사용하는 프로토타입 센서.
- [1302] * 감염성 질환 센서.
- [1303] * Gii 탄소 폼이 인터루킨 10 임피던스 측정 검출을 위해 피렌 카르복실산(PCA)으로 $\pi-\pi$ 비공유 기능화되는 바이오센서.
- [1304] * 상시 모니터링 화학 센서.
- [1305] * 포도당 모니터링 센서: 전기화학적 포도당 모니터링을 위한 가역적 폴리머 변위 센서 메커니즘; 포도당용 피렌-유도 붕소산 화학 수용체는 탄소 폼 전극에 흡착되어, 폴리-노르디히드로구아아레트산(poly-nordihydroguaiaretic acid)과 경쟁적으로 결합한다.

- [1306] * 젖산 센서: 합성 유기 수용체 분자는 탄소 폼에 부착된 보론산을 기반으로 사용되어 표면 산화환원 폴리머 표시 변위를 사용하여 경쟁적 분석물 결합에 기능성과 선택성을 제공한다.
- [1307] * pH 7 나노입자 고유 미세다공성 폴리머(PIM-1)의 인산염 완충 용액에 침지된 Gii 탄소 폼을 사용하여 과산화 수소 및 산소 검출과 같은, 가스 검출 센서.
- [1308] * 광학 검출기.
- [1309] * 자가 충전 하이브리드 에너지 발전 장치.
- [1310] * 유용한 화학 물질로의 녹색 가스 변환.
- [1311] * 연료 셀, 예를 들어 하이드로젠 연료 셀.
- [1312] * 가스 투과성 필터를 포함한 필터.
- [1313] * 가열 장치.
- [1314] **특정 R:비-그래핀 탄소 재료 폼**
- [1315] 위의 특정 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어지고, 친수성이며, 접촉각이 20° 미만인, 탄소 폼 재료.
- [1316] 위의 특정 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어지고, 상당한 D 피크를 나타내는 라만 스펙트럼을 갖는, 탄소 폼 재료로서; 2D 피크는 G 피크보다 낮다; 피크 D: 피크 G 비율은 0보다 크다.
- [1317] 위의 특정 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 나노-어니언 재료.
- [1318] 장치는 위의 특정 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어지고, 친수성이며, 접촉각이 20° 미만인, 탄소 폼 재료를 포함한다.
- [1319] 장치는 위의 특정 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어지고, 상당한 D 피크를 나타내는 라만 스펙트럼을 갖는, 탄소 폼 재료를 포함한다; 2D 피크는 G 피크보다 낮다; 피크 D: 피크 G 비율은 0보다 크다.
- [1320] 장치는 위의 특정 A 내지 K 중 어느 하나에 정의된 방법에 의해 적어도 부분적으로 만들어진 탄소 나노-어니언 재료를 포함한다.
- [1321] **옵션 특징들:**
- [1322] 다음의 선택적 특징 중 어느 하나 이상은 어느 하나 이상의 다른 호환 가능한 선택적 특징 및 메인 특정 A 내지 R 중 어느 하나 이상과 각각 결합될 수 있다는 점에 유의한다.
- [1323] **제조 공정**
- [1324] * 제조 공정은 실온 공정이다.
- [1325] * 제조 공정은 상압 공정이다.
- [1326] * 플라스틱 기관에서 수행될 수 있다(실리콘 칩 제조만이 아니라 모든 제조 공정과 호환 가능).
- [1327] * 촉매 없이 수행될 수 있다.
- [1328] * 제조 공정은 플라스틱 기관 위에 약 $50\ \mu\text{m}$ 두께의 탄소 폼 1cm^2 을 제조하는 데 약 2분 이하가 소요된다.
- [1329] * 제조 공정은 3D 탄소 폼이 플렉서블 기관에 생성되도록 한다.
- [1330] * 제조 공정은 그래핀이나 그래핀 산화물 전구체가 필요하지 않다.

- [1331] * 제조 공정은 탄소 전구체 재료의 임의의 표면이 아닌 탄소 전구체 재료의 캡슐화된, 서브-표면 영역에서만 탄소 폼 재료를 생성한다.
- [1332] * 제조 공정은 산업 표준, 저비용 및 확장 가능한 (i) 스크린 인쇄 기술과 (ii) 컴퓨터 제어식 레이저 주사 기술의 조합을 사용한다.
- [1333] 제조 공정은 고속, 대용량 릴-투-릴 또는 릴-투-시트 생산에 적응될 수 있다.
- [1334] **제1 레이저 빔 파라미터 및 제어 체계**
- [1335] * 제1 레이저 빔과 제2 레이저 빔은 서로 다른 레이저 시스템에 의해 생성된다.
- [1336] * 제1 레이저 빔과 제2 레이저 빔은 동일한 레이저 시스템에 의해 생성된다.
- [1337] * 서브-표면 또는 캡슐화된 영역을 조사하는 레이저 빔의 파라미터에는 세기, 파장, 펄스 주파수, 펄스 지속 시간, 펄스 프로파일, 주사 속도, 초점 거리, 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에서 생성되는 열 중 하나 이상이 포함된다.
- [1338] * 레이저 파라미터를 변경하면 탄소 폼 재료 특성이 변경되어, 다양한 응용 분야에 최적화된 특성을 갖는 탄소 폼이 생산되도록 한다.
- [1339] * 레이저 파라미터를 변경하면 다음과 같은 탄소 폼 재료 특성 또는 파라미터 중 하나 이상이 변경된다: 존재하는 탄소 나노구조의 유형(예를 들어, 탄소 나노-어니언 등), 결함 크기, 결함 분포, 결함 범위, 결함 유형, 라만 D 및 2D 피크, 라만 D 및 2D 피크의 상대적 크기, 두께 또는 깊이, 유연성, 접착력, 다공성, 전기 전도성, 정전용량, 유기 용매 및 수성 용액의 흡수, 친수성, EMI 차폐, 전극 품질, 습윤성, 접촉각, 방오성.
- [1340] * 레이저 빔은 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에서 500 °C보다 높은 온도를 생성하여 탄소 폼을 형성한다.
- [1341] * 레이저 빔은 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에서 500 °C 이상의 온도를 생성하여 탄소 폼을 형성한다.
- [1342] * 레이저 펄스 지속 시간은 1 ns 내지 10 μs 사이이며, 약 5 x 10⁷ °C/s 내지 2 x 10¹² °C/s 사이의 가열 속도를 제공한다.
- [1343] * 레이저 출력은 일반적인 작동 범위인 8 내지 20 와트(최적은 12W) 내에 있다.
- [1344] * 레이저 초점 거리는 일반적인 작동 범위인 50 mm 내지 400 mm 내에 있다.
- [1345] * 레이저 펄스 주파수는 50 kHz 내지 500 kHz 사이이다.
- [1346] * 레이저 펄스 주파수는 1 kHz 내지 2 MHz 사이이다.
- [1347] * 레이저 파장은 0.7 μm 내지 2.5 μm 사이이다.
- [1348] * 레이저는 9 cm/s 내지 40 cm/s 사이(또는 이러한 범위의 ± 50%)에서 주사된다.
- [1349] * 레이저 빔의 파라미터에는 초점 파라미터가 포함된다.
- [1350] * 레이저 빔의 파라미터에는 회절 파라미터가 포함된다.
- [1351] * 레이저 빔의 파라미터에는 간섭 패턴 파라미터가 포함된다.
- [1352] * 레이저 빔의 초점은 탄소 전구체 재료의 깊이를 통해 이동하여 탄소 전구체의 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에 탄소 폼을 생성한다.
- [1353] * 레이저 빔의 초점은 탄소 전구체 재료의 깊이를 통해 적어도 약 50 μm 이동하여 탄소 전구체의 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에 탄소 폼을 생성한다.

- [1354] * 레이저 빔의 초점은 탄소 전구체 재료의 깊이를 통해 적어도 100 μm 이동하여 탄소 전구체의 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에 탄소 폼을 생성한다.
- [1355] * 레이저 빔을 탄소 전구체 재료에 걸쳐 측방향으로 주사(예를 들어, 래스터 주사)하거나 이동하여 원하는 패턴을 형성한다.
- [1356] * 레이저 빔은 탄소 전구체 재료에 걸쳐 측방향으로 주사하거나 이동하여 중첩되지 않는 영역 또는 선을 포함하는 원하는 패턴을 형성한다.
- [1357] * 레이저 빔은 필요한 패턴과 깊이의 탄소 폼이 생성될 때까지 탄소 전구체 재료 내에서 다수의 서로 다른 깊이로 배열된 초점 또는 최대 세기로 탄소 전구체 재료에 걸쳐 측방향으로 반복적으로 주사(예를 들어, 래스터 주사)되거나 이동된다.
- [1358] * 레이저 빔은 1.7 mm/s 내지 3550 m/s 사이, 또는 보다 일반적으로는 35 mm/s 내지 350 mm/s 사이의 주사 속도로 주사되며, 주사는 인치당 펄스(PPI) 수가 100 내지 10000(약 220 mm x 180 mm 크기의 개별 폴리이미드 시트 생산과 관련됨)이 되도록 할 수 있다.
- [1359] * 레이저 빔은 탄소 전구체 재료에 의한 흡광도가 실질적으로 없거나 매우 낮은 파장을 갖는다.
- [1360] 레이저 빔은 탄소 전구체 재료에 의한 흡광도가 매우 낮은 파장을 가지며, cm당 방사선 흡광도(기본 10)는 50 미만, 20 미만 또는 10 미만이다.
- [1361] * 레이저 빔은 IR 레이저이다.
- [1362] * 레이저 빔은 0.7 μm 내지 2.5 μm 사이의 파장을 갖는 IR 레이저이다.
- [1363] * 레이저 빔은 0.75 μm 내지 1.40 μm 사이의 파장을 갖는 IR 레이저이다.
- [1364] **서브-표면 또는 캡슐화된 영역의 속성**
- [1365] * 탄소 전구체 재료의 서브-표면 또는 캡슐화된 영역의 원하는 깊이는 해당 깊이를 통해 제1 레이저 빔의 초점을 이동시킴으로써 달성된다.
- [1366] * 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 탄소 전구체 재료의 표면 아래 적어도 10 μm 이다.
- [1367] * 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 탄소 전구체 재료의 표면 아래 적어도 20 μm 이다.
- [1368] * 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 탄소 전구체 재료의 표면 아래 적어도 30 μm 이다.
- [1369] * 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 탄소 전구체 재료의 표면 아래 적어도 40 μm 이다.
- [1370] * 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 탄소 전구체 재료의 표면 아래 적어도 50 μm 이다.
- [1371] * 기존 그래핀 폼과 달리, 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 두께가 약 50 μm 이상일 수 있다.
- [1372] * 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 10 μm 내지 200 μm 사이의 두께를 갖는다.
- [1373] * 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 입사 레이저를 향하는 탄소 전구체 재료의 표면 아래의 서로 다른 깊이에 있을 수 있으며; 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에서의 정확한 깊이는 레이저 세기 또는 다른 레이저 파라미터, 사용된 탄소 전구체 재료 선택 등과 같은 다양한 요인의 함수이다. 예를 들어, 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 탄소 전구체 재료의 표면 아래로 적어도 대략 10 μm , 20 μm , 30 μm , 40 μm , 50 μm 일 수 있다.
- [1374] * 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 탄소 전구체 재료의 총 두께의 적어도 1%, 또는 탄소 전구체 재료의 총 두께의 적어도 10%, 또는 탄소 전구체 재료의 총 두께의 적어도 20%, 또는 탄소 전구체 재료의 총 두께의 적어도 30%, 또는 탄소 전구체 재료의 총 두께의 적어도 40%인 탄소 전구체 재료의 표면 아래의 거리에 있다.

- [1375] * 서브-표면 또는 캡슐화된 영역은 제1 레이저 빔의 최소 단면의 중간점에 중심을 둔 공간 볼륨이며, 볼륨은 이 중간점의 500 마이크로미터 또는 이 중간점의 100 마이크로미터 또는 이 중심점의 1 마이크로미터 이내이다.
- [1376] **탄소 전구체 재료**
- [1377] * 탄소 전구체 재료는 실질적으로 열경화성(thermo-setting) 재료로 만들어진다.
- [1378] * 탄소 전구체 재료는 실질적으로 비-열가소성(non-thermo-plastic) 재료로 만들어진다.
- [1379] * 탄소 전구체 재료는 열경화성 필름이다.
- [1380] * 열경화성 필름은 폴리이미드 필름이다.
- [1381] * 탄소 전구체는 폴리이미드 필름이다.
- [1382] * 탄소 전구체는 폴리이미드 필름으로, 제1 레이저의 파장은 $0.7\ \mu\text{m}$ 내지 $2.5\ \mu\text{m}$ 의 범위 내에 있다.
- [1383] * 탄소 전구체는 적어도 50 질량% 탄소, 또는 적어도 75 질량% 탄소, 또는 적어도 90 질량% 탄소이다.
- [1384] * 탄소 전구체는 필름 또는 시트이다.
- [1385] * 탄소 전구체 재료는 플렉서블하다.
- [1386] * 탄소 전구체 재료는 스크린 인쇄 층과 같은 인쇄 층이다.
- [1387] * 탄소 전구체 재료는 $5\ \mu\text{m}$ 초과, 또는 $5\ \mu\text{m}$ 내지 $120\ \mu\text{m}$ 사이, 또는 $120\ \mu\text{m}$ 초과 두께를 갖는다.
- [1388] * 탄소 전구체 재료는 실질적으로 평면형이거나 편평하며 제1 레이저 빔에 수직으로 배향된다.
- [1389] * 탄소 전구체 재료는 동질(homogeneous)이다.
- [1390] * 탄소 전구체 재료는 이질(heterogenous)이며 여러 서로 다른 재료를 포함한다.
- [1391] * 탄소 전구체는 탄소 전구체로 만들어지지 않은 기관에 지지된다.
- [1392] * 제1 레이저 빔 파장에서 탄소 전구체 재료의 흡수 계수가 낮다.
- [1393] * 제1 레이저 빔에 대한 탄소 전구체 재료의 흡수 계수는 $50\ \text{cm}^{-1}$ 미만, 또는 $20\ \text{cm}^{-1}$ 미만, 또는 $10\ \text{cm}^{-1}$ 미만이다.
- [1394] * 제2 또는 어블레이션 레이저 빔에 대한 탄소 전구체 재료의 흡수 계수는 $300\ \text{cm}^{-1}$ 미만이다.
- [1395] * 제2 또는 어블레이션 레이저 빔에 대한 탄소 전구체 재료의 흡수 계수는 $300 \pm 50\ \text{cm}^{-1}$ 이다.
- [1396] * 탄소 전구체 재료는 $1.0\ \text{W/mK}$ 미만의 열 전도도(ASTM D5470에 따른 방법 사용)를 갖는다.
- [1397] * 탄소 전구체 재료는 $0.5\ \text{W/mK}$ 미만의 열 전도도(ASTM D5470에 따른 방법 사용)를 갖는다.
- [1398] * 탄소 전구체 재료는 레이저 빔의 파장 또는 파장들에서 실질적으로 광학적으로 투명한 기관 위에 장착된다.
- [1399] * 탄소 전구체 재료 탄소원은 하나 이상의 폴리머로 형성되거나 이를 포함한다.
- [1400] * 탄소 전구체 재료는 다음 재료 중 하나 이상을 포함한다: 폴리이미드(예를 들어, 폴리(4,4'-옥시디페닐렌-피로멜리티미드), 그렇지 않으면, 폴리이미드로 알려짐), 폴리에테르이미드(PEI), 폴리(메틸 메타크릴레이트)(PMMA)(예를 들어, 스프레이 코팅 PMMA), 폴리우레탄(PU), 폴리에스테르, 비닐 폴리머, 탄화 폴리머, 포토레지스트 폴리머, 알키드, 요소-포름알데히드.

- [1401] * 탄소 전구체는 다음 재료 중 하나 이상을 포함한다: 폴리(아믹산)(예를 들어 아틸 함유 폴리(아믹산))(예를 들어 폴리(피로멜리트산 이무수물-co-4,4'-옥시디아닐린), 아믹산 - 그렇지 않으면 폴리아믹산으로 알려짐); 이 무수물(예를 들어 아틸 이무수물)(예를 들어 피로멜리트산 이무수물); 상기 폴리(아믹산)의 유도체; 상기 이무 수물의 유도체(예를 들어 피로멜리트산 이무수물의 유도체).
- [1402] * 탄소 전구체는 다음 재료 중 하나 이상을 포함한다: 방향족 재료(예를 들어, 방향족 폴리머); 헤테로방향족 재료(예를 들어, 헤테로방향족 폴리머); 방향족 모이어티를 함유한 폴리머; 헤테로사이클릭 재료(예를 들어, 헤테로사이클릭 모이어티를 함유한 폴리머); 헤테로방향족 재료(예를 들어, 헤테로방향족 모이어티를 함유한 폴리 머).
- [1403] * 탄소 전구체는 방향족 결합 또는 헤테로방향족 결합 또는 헤테로 결합(예를 들어, 이미드 결합) 중 하나 이상 을 함유하는 재료를 포함한다.
- [1404] **탄소 전구체 재료를 지지하는 기판**
- [1405] * 기판은 플라스틱 본체, 필름 또는 포일(foil)이다.
- [1406] * 기판은 플렉서블하다.
- [1407] * 기판은 폴리이미드 회로 보드이다.
- [1408] * 기판은 매우 낮은 제1 레이저 빔의 흡광도를 갖는다.
- [1409] * 기판은 제1 레이저 빔의 파장 또는 파장들에서 실질적으로 광학적으로 투명하다.
- [1410] * 기판은 제1 레이저 빔의 높은 흡광도를 가지며, 제1 레이저 빔의 60% 이상을 흡수한다.
- [1411] * 기판은 제1 레이저 빔의 높은 흡광도를 가지며, 제1 레이저 빔의 60% 이상을 흡수하며, 적어도 10 W/mK의 열 전도를 갖는다.
- [1412] * 탄소 전구체 재료의 표면은 레이저 빔에 의해 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질로 변환되고, 무질서한 비정 질의 비-그래핀 물질은 기판에 정착 또는 결합되어 기판에 3D 탄소 재료 폼을 간접적으로 부착한다.
- [1413] * 기판은 다음 중 하나 이상으로 형성된다: 실리콘(Si), 이산화규소(SiO₂), 질화갈륨(GaN), 비화갈륨(GaAs), 산 화아연(ZnO).
- [1414] * 기판은 실리콘 웨이퍼이다.
- [1415] * 기판은 이산화규소 웨이퍼이다.
- [1416] * 기판은 실리콘과 이산화규소를 모두 포함하는 웨이퍼이다.
- [1417] * 기판은 탄소원이다.
- [1418] * 기판은 탄소원(예를 들어 금속, 유전체 재료, 스크린 인쇄 유전체 재료)이 아니다.
- [1419] * 탄소 전구체는 기판 '위'에 포지셔닝된다(예를 들어, 탄소 전구체는 기판보다 레이저원(laser source)에 더 가깝게 포지셔닝됨).
- [1420] * 탄소 전구체는 기판 '아래'에 포지셔닝된다(예를 들어, 탄소 전구체는 기판보다 레이저원에서 더 멀리 포지셔 닝됨).
- [1421] **레이저 빔이 입사되는 표면에서의 탄화**
- [1422] * 탄소 전구체 재료의 표면은 레이저 빔에 의해 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질로 변환된다.

- [1423] * 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질은 탄소 전구체 재료의 총 두께의 약 1%, 또는 약 1% 미만, 또는 약 5% 미만, 또는 약 10% 미만인 인접한 탄소 전구체 재료의 표면으로부터의 두께를 차지한다.
- [1424] * 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질은 표면에서 적어도 10 μm 인 탄소 전구체 재료의 본체로의 거리를 확장한다.
- [1425] * 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질은 외부 표면에서 탄소 전구체 재료의 본체 내부로 10 μm 이하의 깊이, 또는 20 μm 이하의 깊이, 또는 30 μm 이하의 깊이, 또는 40 μm 이하의 깊이, 또는 50 μm 이하의 깊이, 또는 100 μm 이하의 깊이로 확장된다.
- [1426] **탄소 전구체 재료를 지지하는 기관과의 물리적 경계면에서의 탄화**
- [1427] * 탄소 전구체 재료는 레이저 빔의 파라미터에 의해 정의된 깊이까지 기관과의 물리적 경계면에서 레이저 빔에 의해 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질로 변환된다.
- [1428] * 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질은 한 영역에서는 탄소 폼에 접촉되거나 그렇지 않으면 부착되고 다른 영역에서는 기관에 접촉되거나 그렇지 않으면 부착되어, 탄소 폼에 안정성을 제공한다.
- [1429] * 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질은 탄소 전구체 재료의 총 두께의 약 1%, 또는 약 1% 미만, 또는 약 5% 미만, 또는 약 10% 미만인 기관과 탄소 전구체 재료와의 경계면으로부터 측정된 두께를 차지한다.
- [1430] * 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질은 적어도 10 μm 인 기관과 탄소 전구체 재료와의 경계면으로부터의 두께를 차지한다.
- [1431] * 무질서한 비정질의 비-그래핀 물질은 기관과 탄소 전구체 재료와의 경계면으로부터 10 μm 이하의 깊이, 또는 20 μm 이하의 깊이, 또는 30 μm 이하의 깊이, 또는 40 μm 이하의 깊이, 또는 50 μm 이하의 깊이, 또는 100 μm 이하의 깊이로 확장된다.
- [1432] **어블레이션 레이저 빔 또는 제2 레이저 빔**
- [1433] * 레이저 빔의 파라미터에는 세기, 파장, 펄스 주파수, 펄스 지속 시간, 펄스 프로파일, 주사 속도, 초점 거리, 서브-표면 또는 캡슐화된 영역에서 생성된 열 중 하나 이상이 포함된다.
- [1434] * 레이저 파라미터를 변경하면 탄소 폼 재료 특성이 변경되어, 다양한 응용 분야에 최적화된 특성을 갖는 탄소 폼이 생산되도록 한다.
- [1435] * 레이저 파라미터를 변경하면 다음과 같은 탄소 폼 재료 특성 또는 파라미터 중 하나 이상이 변경된다: 존재하는 탄소 나노구조의 유형(예를 들어, 탄소 나노-어니언 등), 결합 크기, 결합 분포, 결합 범위, 결합 유형, 라만 D 및 2D 피크, 라만 D 및 2D 피크의 상대적 크기, 두께 또는 깊이, 유연성, 접착력, 다공성, 전기 전도성, 정정용량, 유기 용매 및 수성 용액의 흡수, 친수성, EMI 차폐, 전극 품질, 습윤성, 접착각, 방오성.
- [1436] * 탄소 전구체의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역 위에 형성된 비정질의 비-그래핀 물질을 어블레이트하는 레이저 빔('제2 레이저 빔')은 CO₂ 레이저이다.
- [1437] * 제2 레이저 빔은 탄소 폼을 노출하는 공정의 일부로 탄소 폼을 변경한다.
- [1438] * 제2 레이저 빔은 탄소 폼을 노출하는 공정의 일부로 탄소 폼의 형태를 변경한다.
- [1439] * 제2 레이저 빔은 동일한 영역 및/또는 중첩 영역 및/또는 중첩되지 않는 영역에 걸쳐 주사되도록 자동으로 제어된다.
- [1440] * 비정질의 비-그래핀 물질을 어블레이트하는 레이저 빔의 파장은 8 μm 내지 15 μm 사이이다.
- [1441] * 제2 레이저 빔은 긴 IR 레이저 또는 UV 레이저 또는 가시광선 레이저이다.
- [1442] * 제2 레이저 빔은 50 kHz 내지 500 kHz 사이의 펄스 주파수 및 9 cm/s 내지 40 cm/s 사이의 주사 속도를 갖는

다.

- [1443] * 탄소 전구체 재료의 흡수 계수는 제2 레이저 빔의 경우 100 cm^{-1} 이상이거나, 제2 레이저 빔의 경우 200 cm^{-1} 이상이다.
- [1444] * 제2 레이저 빔의 경우 탄소 전구체 재료의 흡수 계수는 $300 \pm 50\text{ cm}^{-1}$ 이다.
- [1445] * 레이저 출력은 일반적인 작동 범위인 8 내지 20 와트(최적은 12W) 내에 있다.
- [1446] * 레이저 초점 거리는 일반적인 작동 범위인 50 mm 내지 400 mm 내에 있다.
- [1447] * 제2 레이저 빔은 중첩되지 않는 영역이나 선을 포함하는 패턴(예를 들어, 래스터)으로 주사된다.
- [1448] * 제2 레이저 빔은 제1 레이저 빔의 주사 패턴과 일치하는 패턴으로 주사된다.
- [1449] * 제2 레이저 빔은 디포커싱된다.
- [1450] * 제2 레이저 빔은 탄소 전구체 재료의 캡슐화된 또는 서브-표면 영역을 조사하여 해당 캡슐화된 또는 서브-표면 영역에 탄소 폼을 생성하는 레이저 빔과 동일하다.
- [1451] * 제조 공정은 다음의 단계를 포함하는 3-단계 공정이다: (a) 제1 레이저 빔이 제조 현장에서 탄소 전구체 재료의 서브-표면 영역을 조사하여 미완성 탄소 폼 제품을 생산하는 단계; (b) 미완성 탄소 폼 제품이 고객 제어식 제조 현장으로 전달되는 단계; 및 (c) 고객 제어식 제조 현장에서 레이저 어블레이션 또는 처리가 일어나는 단계.
- [1452] **탄소 폼**
- [1453] * 탄소 폼은 다층 트위스트 또는 터보스트레틱 탄소 폼이다.
- [1454] * 탄소 폼은 비-그래핀이 탄소 폼이다.
- [1455] * 탄소 폼은 탄소 나노-어니언, 탄소 나노-혼, 탄소 나노-튜브, 탄소 나노-닷, 나노다이아몬드 및 풀러렌, 또는 이들 중 임의의 조합과 같은 탄소질 나노구조를 포함한다.
- [1456] * 탄소 폼은 두께가 적어도 약 $50\text{ }\mu\text{m}$ 이다.
- [1457] * 탄소 폼은 두께가 약 $50\text{ }\mu\text{m}$ 내지 $300\text{ }\mu\text{m}$ 사이이다.
- [1458] * 탄소 폼은 트위스트 또는 터보스트레틱 다층 폼이거나 이를 포함한다.
- [1459] * 탄소 폼은 높은 전기화학적 반응성으로 이어지는 결합의 공간적 분포를 갖는 탄소 폼이거나 이를 포함한다.
- [1460] * 탄소 폼은 높은 전기화학적 반응성으로 이어지는 공극 위치 기저면 결합을 갖는 탄소 폼이거나 이를 포함한다.
- [1461] * 탄소 폼의 탄소:산소 비율은 25:1 내지 50:1 사이이다.
- [1462] * 탄소 폼은 빠른 전자 이동 상수를 갖는다.
- [1463] * 탄소 폼은 기존의 레이저 공정을 사용하여 만들어진 기존의 그래핀 폼과 비교하여 다음 특성 중 하나 이상을 갖는다: 보다 쉽게 제어되는 두께 또는 깊이; 기존 레이저 공정을 사용하여 만들어진 취성이 높은 그래핀에 비해 큰 유연성; 하부 플렉서블 기판에 대한 강한 접착력; 더 높은 다공성; 더 높은 전기 전도성; 증가된 정전용량 또는 전하 저장; 유기 용매 및 수성 용액의 빠른 흡수; 더 높은 친수성; 약 20° 미만의 접촉각; 향상된 방오 특성; 더 높은 EMI 차폐; 향상된 전극 품질.
- [1464] **바이오센서 사용 사례**

- [1465] * 탄소폼은 바이오센서로 기능화된다.
- [1466] * 탄소 폼은 타겟이나 분석물에 특정한 수용체를 추가하여 바이오센서로 기능화된다.
- [1467] * 탄소 폼은 전기화학적 포도당 모니터링을 위한 가역적 폴리머 변위 센서 메커니즘을 갖춘 바이오센서로 기능화된다.
- [1468] * 가역적 폴리머 변위 센서는 탄소 폼을 포함하는 전극에 흡착되는 포도당에 대한 피렌 유도 보론산 화학 수용체를 포함한다.
- [1469] * 탄소 폼은 타겟이나 분석물에 특정한 수용체와, 수용체가 탄소 폼에 부착되도록 하는 링커를 추가하여 바이오센서로 기능화된다.
- [1470] * 링커는 나노입자, 폴리머, 폴리머 브러시, 리간드, 하나 이상의 작용기를 포함하는 유기 화합물, 탄소 폼에 공유 또는 비공유 결합된 분자, 또는 이들의 혼합물로부터 선택된다.
- [1471] * 링커는 폴리머, 바람직하게는 (메트)아크릴레이트 폴리머, 하나 이상의 작용기를 포함하는 유기 화합물, 카르보디이미드, 디아조늄 화합물, 또는 이들의 혼합물로부터 선택된다.
- [1472] * 하나 이상이 작용기는 산소, 질소, 황, 할라이드, 하이드록실, 카르보닐, 카르복실, 아민, 아미노, 아마이드, 친수성 폴리머 또는 이들의 혼합물로부터 독립적으로 선택되고, 선택적으로는 선형, 분지형 또는 환형 알킬, 알킬레닐, 알키닐, 아릴 잔기, 아크릴, 아실, 아실옥시, 알콕시, 알킬렌옥시, 또는 이들의 혼합물과 조합한다.
- [1473] * 유기 화합물은 선택적으로는 하나 이상의 헤테로원자를 포함하는 하나 이상의 환형 모이어티를 더 포함하며, 환형 모이어티 중 적어도 하나가 작용기 중 적어도 하나에 직접적으로 또는 간접적으로 연결되거나, 또는 링커가 상기 유기 화합물의 에스테르 또는 염인 유도체이거나, 탄소 폼과 반응하여 상기 유기 화합물을 방출하는 화합물이다.
- [1474] * 링커는 1-피렌부티르산, N-히드록시숙신이미드(NHS), 피렌-1-카르복실산 숙신이미딜 에스테르, 1-아미노피렌, N-(1-피렌) 말레이미드, 또는 이들의 혼합물로부터 선택된다.
- [1475] * 링커는 δ - δ 상호작용에 의해 탄소 폼에 결합된다.
- [1476] * 수용체는, 전기화학적 수용체, 화학적 수용체, 생체 수용체, 광학적 수용체, 물리적 또는 기계적 수용체, 바람직하게는 생체 수용체 중 하나이다.
- [1477] * 수용체는 크라운 에테르, 촉매, 봉산, 개념, 리간드, 압타머, 단백질, 효소, 항체, 항원, 미생물, 핵산, 지방산, 지방산 에스테르, 분자 각인 폴리머, 금속-유기 프레임워크, 리간드 결합을 형성할 수 있는 폴리펩티드 또는 올리고펩티드, 세포, 세포 소기관, 기타 세포 성분, 또는 이들의 혼합물로부터 선택되며, 바람직하게는 단백질, 핵산, 항체, 효소 또는 이들의 혼합물로부터 선택된다.
- [1478] * 수용체는 면역글로불린 A(IgA), 포도당 탈수효소, 스트렙타비딘 또는 이들의 혼합물로부터 선택된다.
- [1479] * 수용체는 링커에 물리적으로, 생물학적으로 및/또는 화학적으로 결합되고, 더욱 바람직하게는 공유 결합된다.
- [1480] **슈퍼커패시터 사용 사례**
- [1481] * 탄소 폼은 전기화학적 커패시터, 슈퍼커패시터, 의사-커패시터 또는 커패시터와 같은 에너지 저장 장치에 전극을 형성한다.
- [1482] * 탄소 폼은 금속 산화물 필름으로 처리되어 의사-정전용량을 제공한다.
- [1483] * 탄소 폼은 전기화학적 커패시터, 슈퍼커패시터, 의사-커패시터 또는 커패시터와 같은 에너지 저장 장치에서 적어도 하나의 전극을 형성하고, 하이드로겔 전해질은 활성 영역에서 상기 또는 각 전극을 감싸 향상된 동작 전

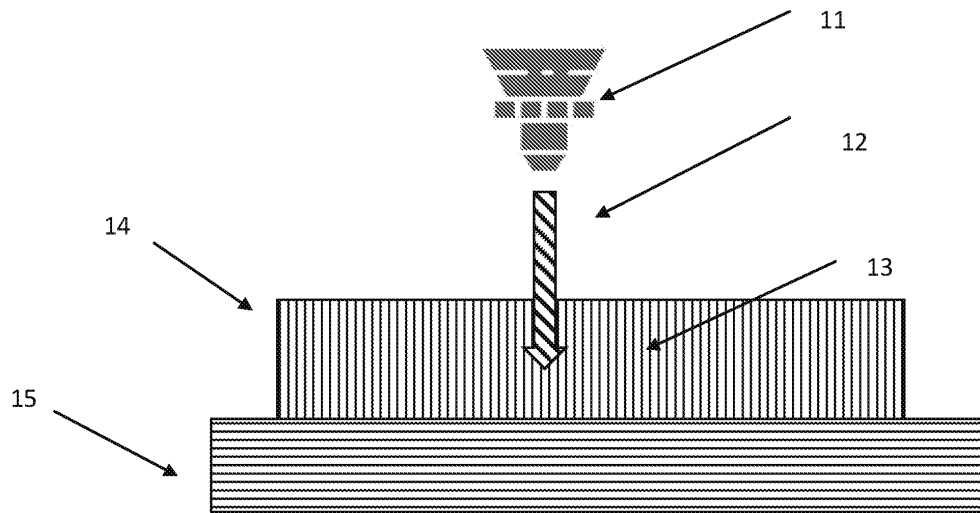
압 윈도우를 생산한다.

[1484] 탄소 폼은 배터리에 전극을 형성한다.

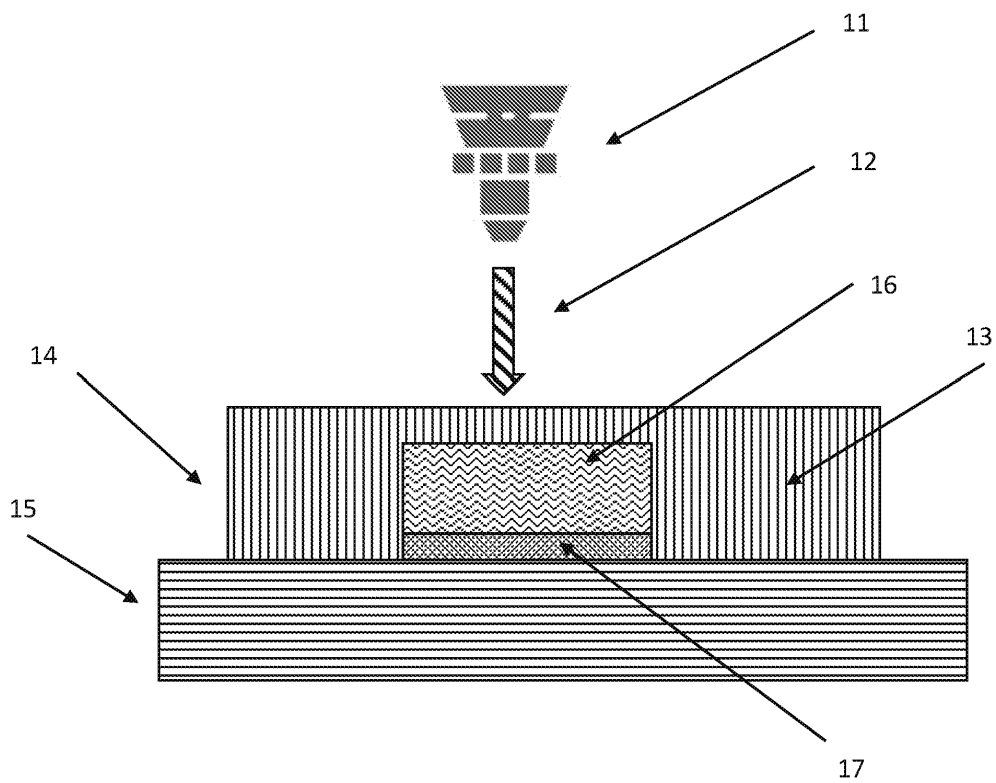
[1485] 탄소 폼은 전기 전도체를 형성한다.

도면

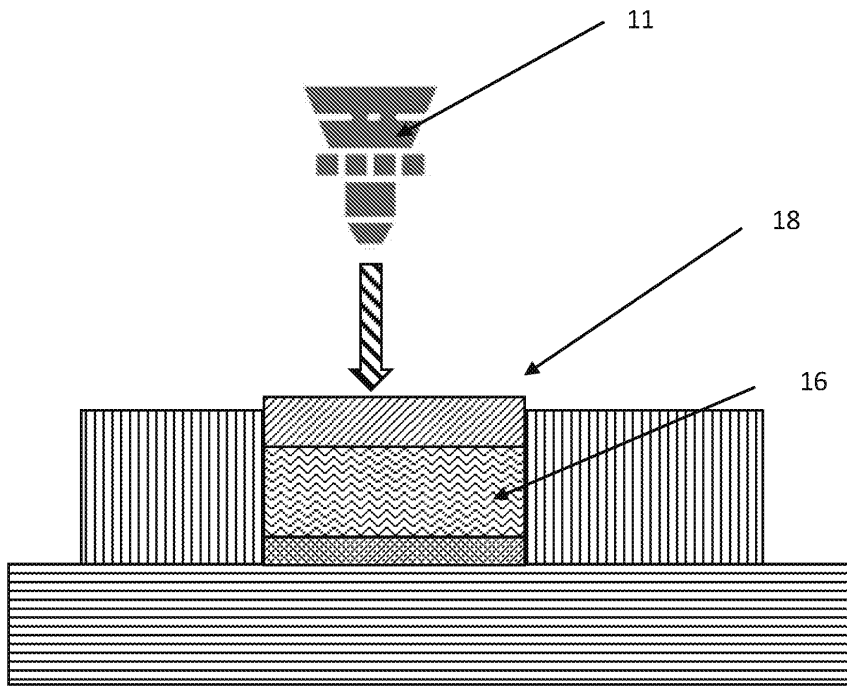
도면1



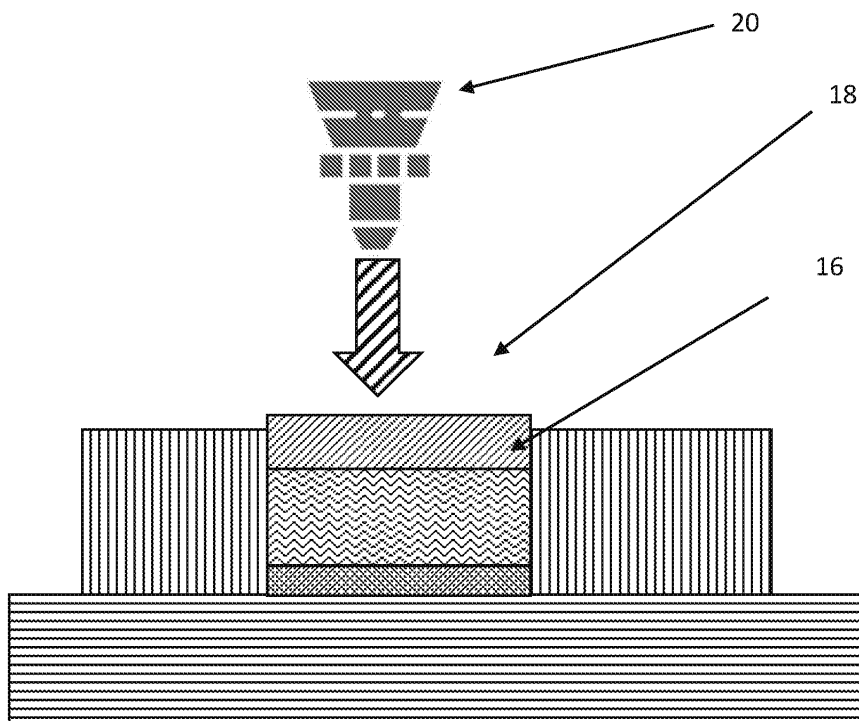
도면2



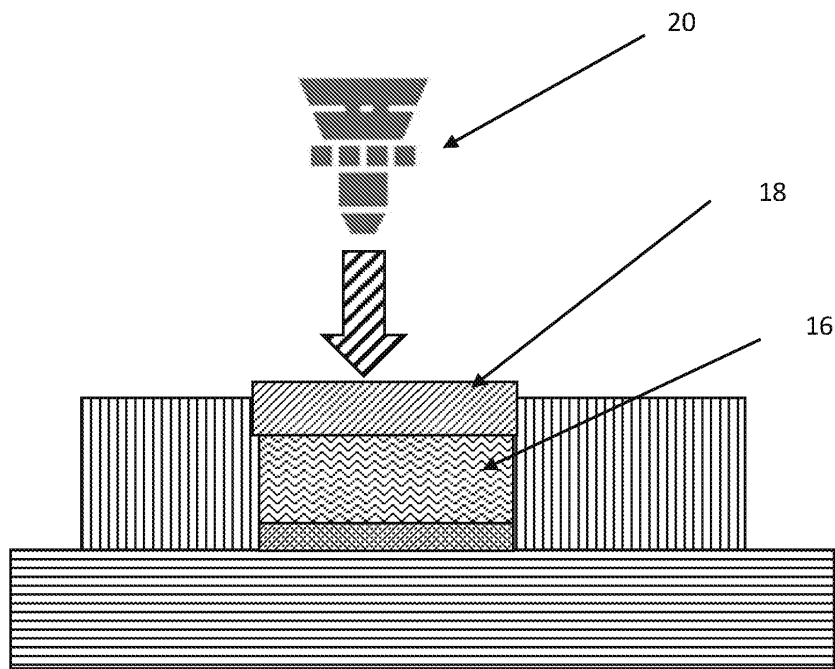
도면3



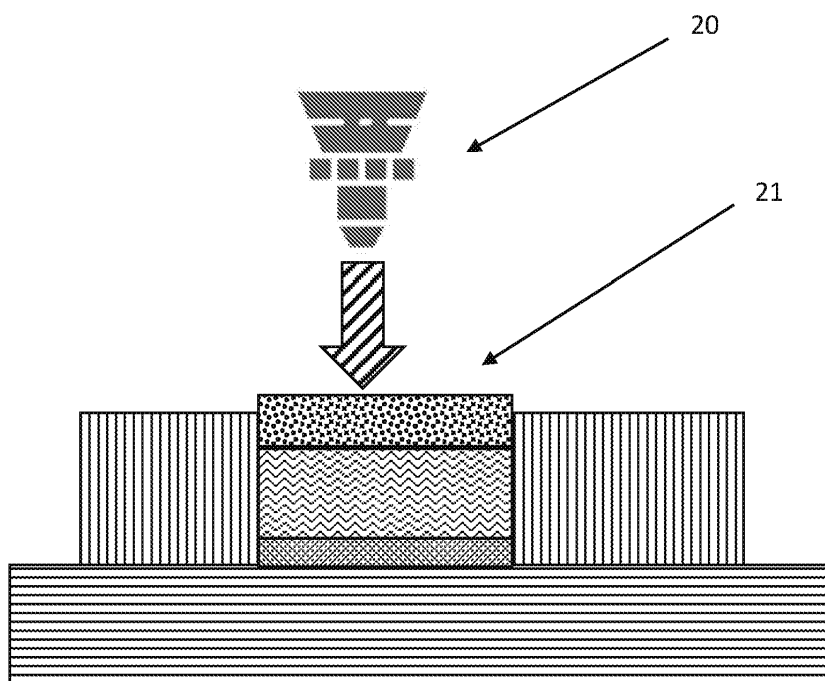
도면4



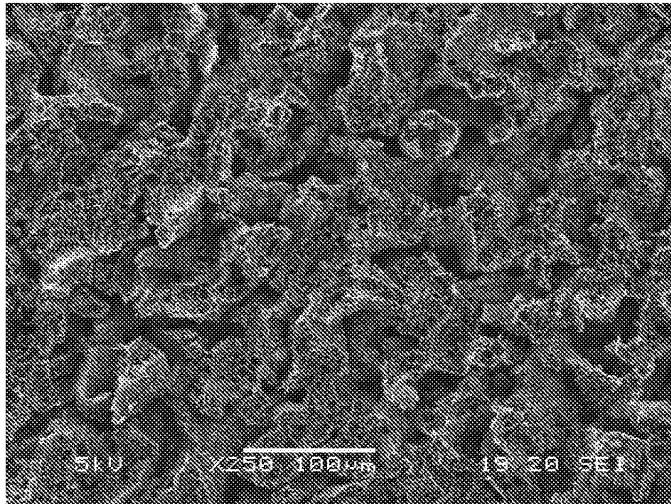
도면5



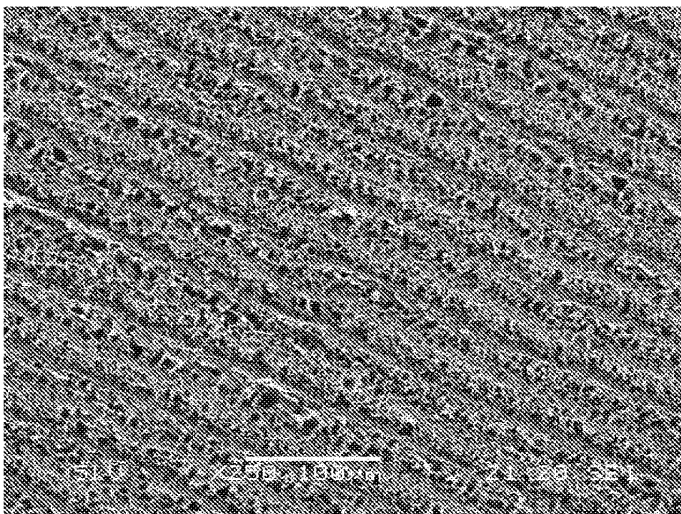
도면6



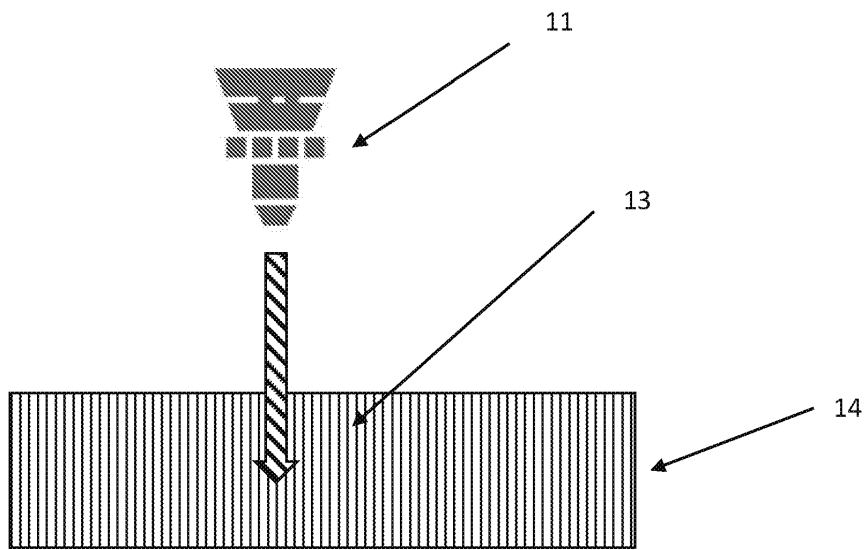
도면7



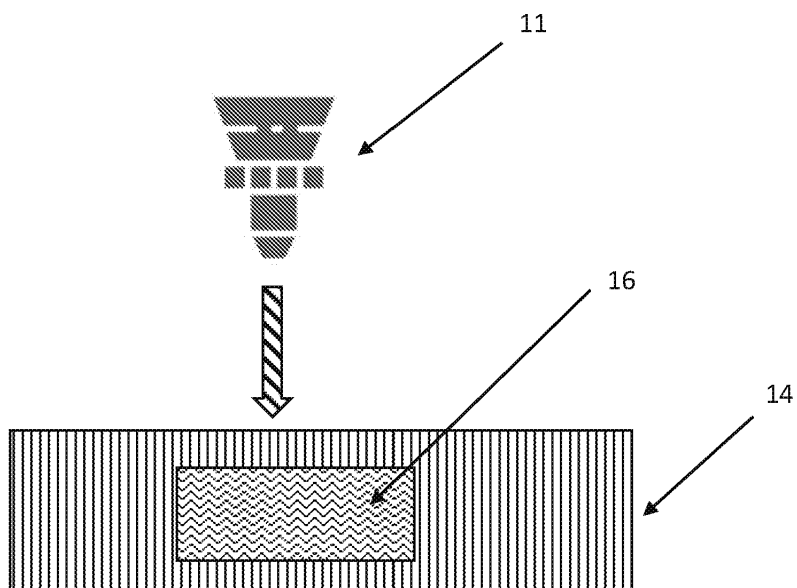
도면8



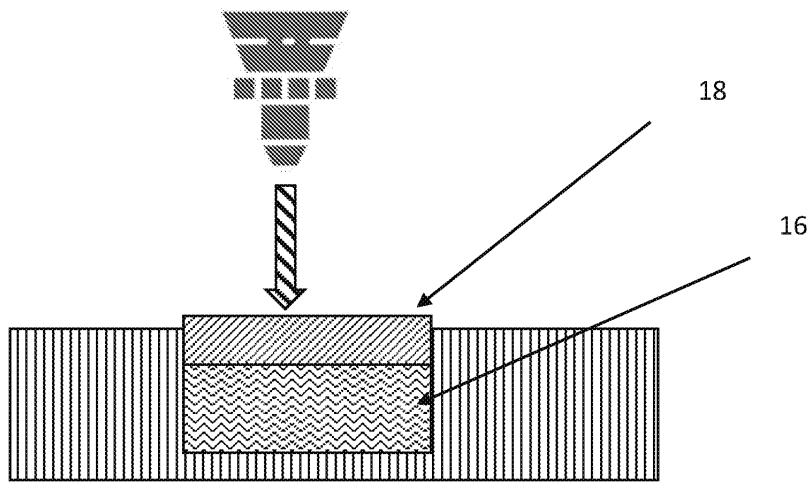
도면9



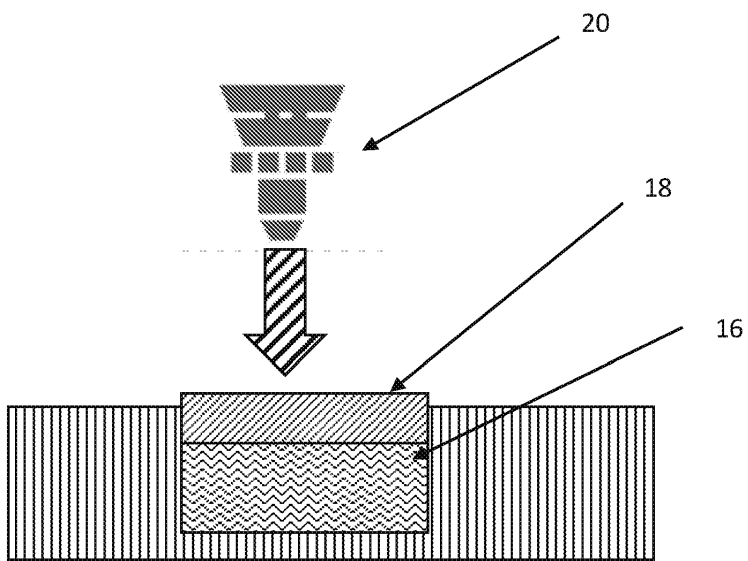
도면10



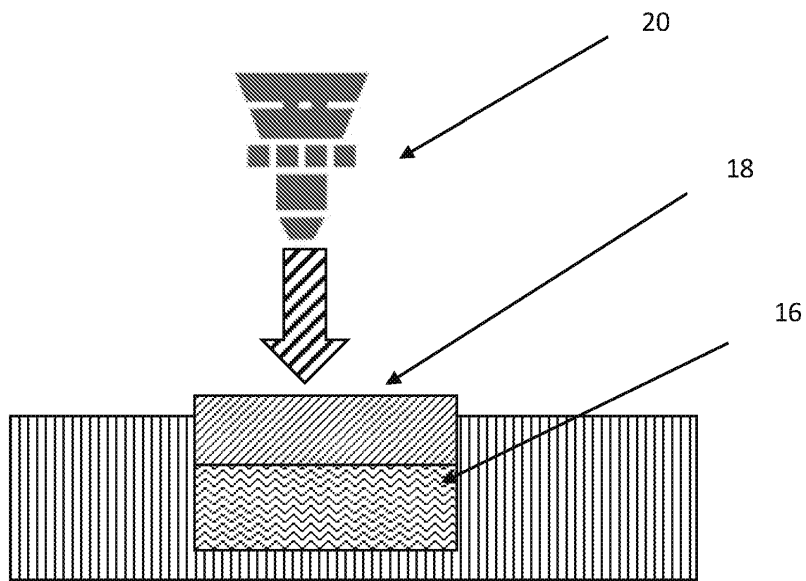
도면11



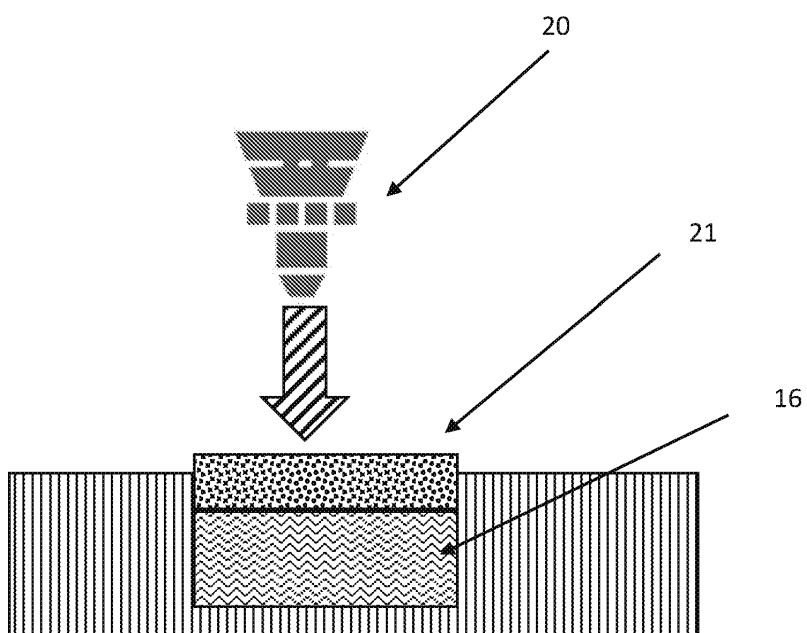
도면12



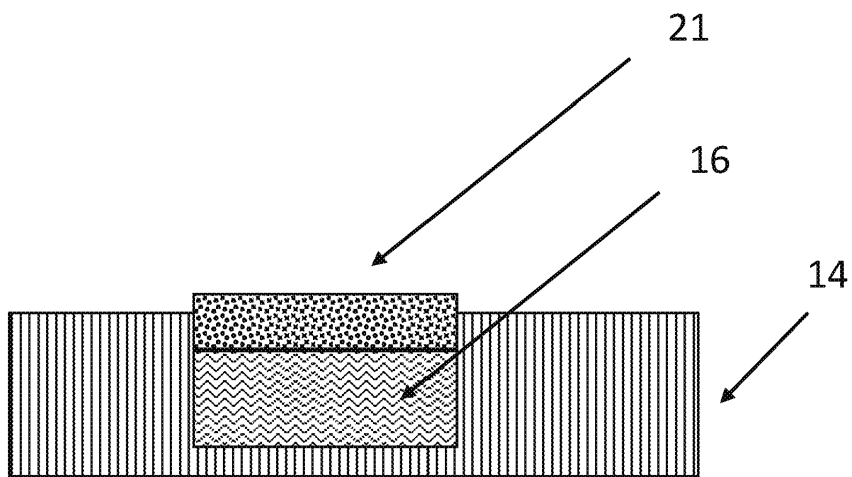
도면13



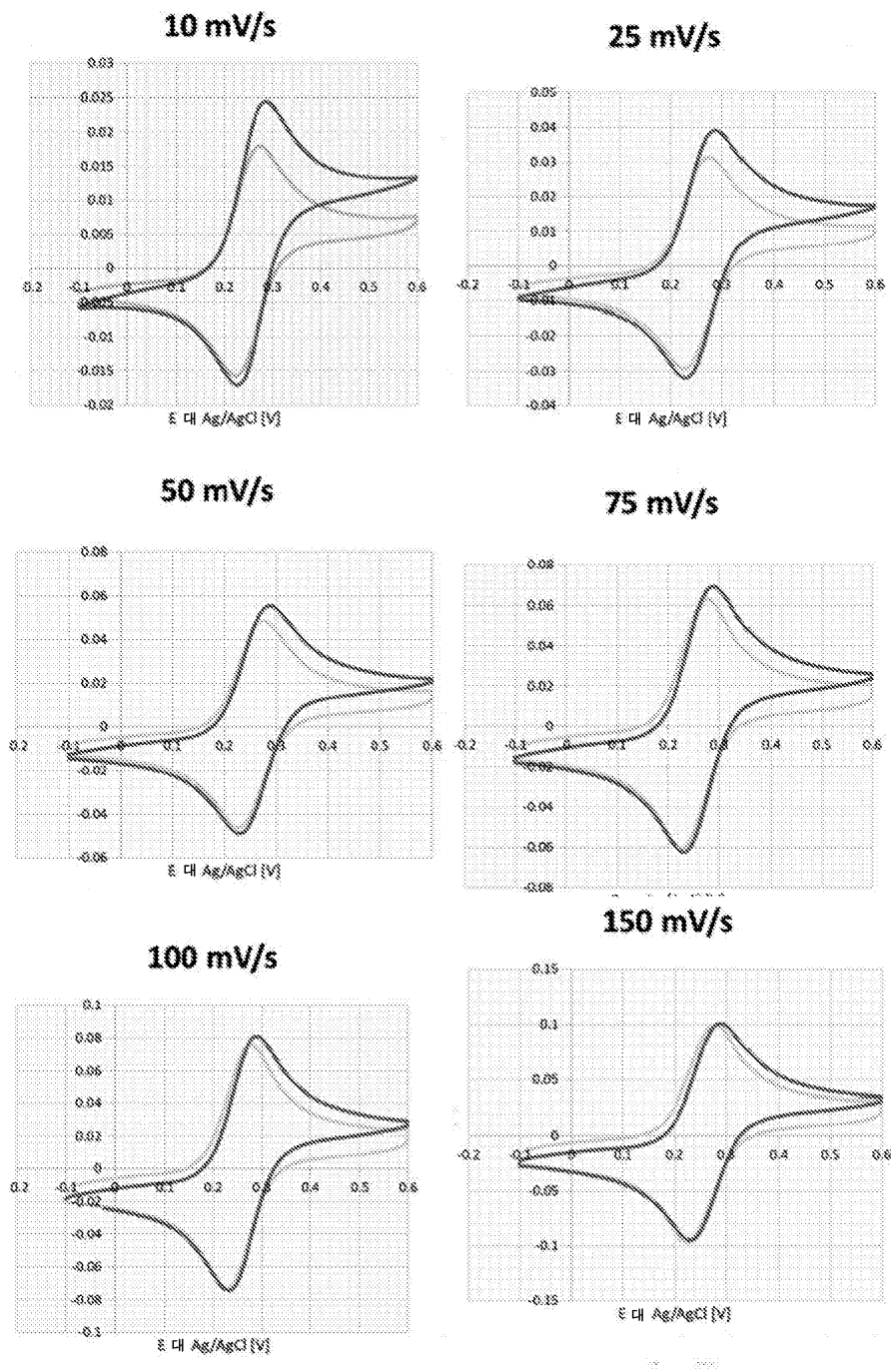
도면14a



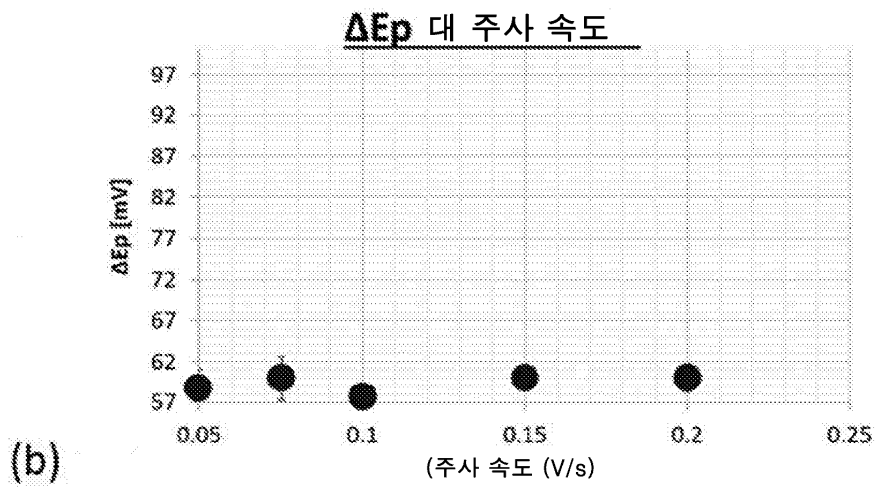
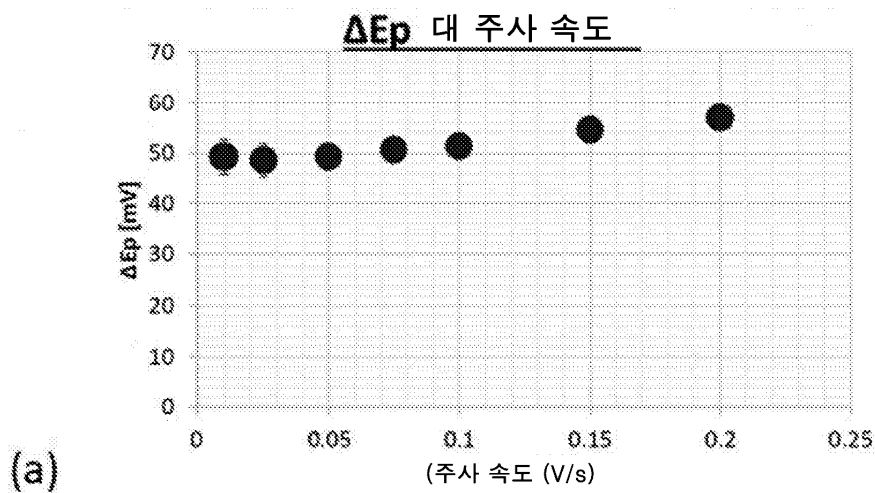
도면14b



도면15

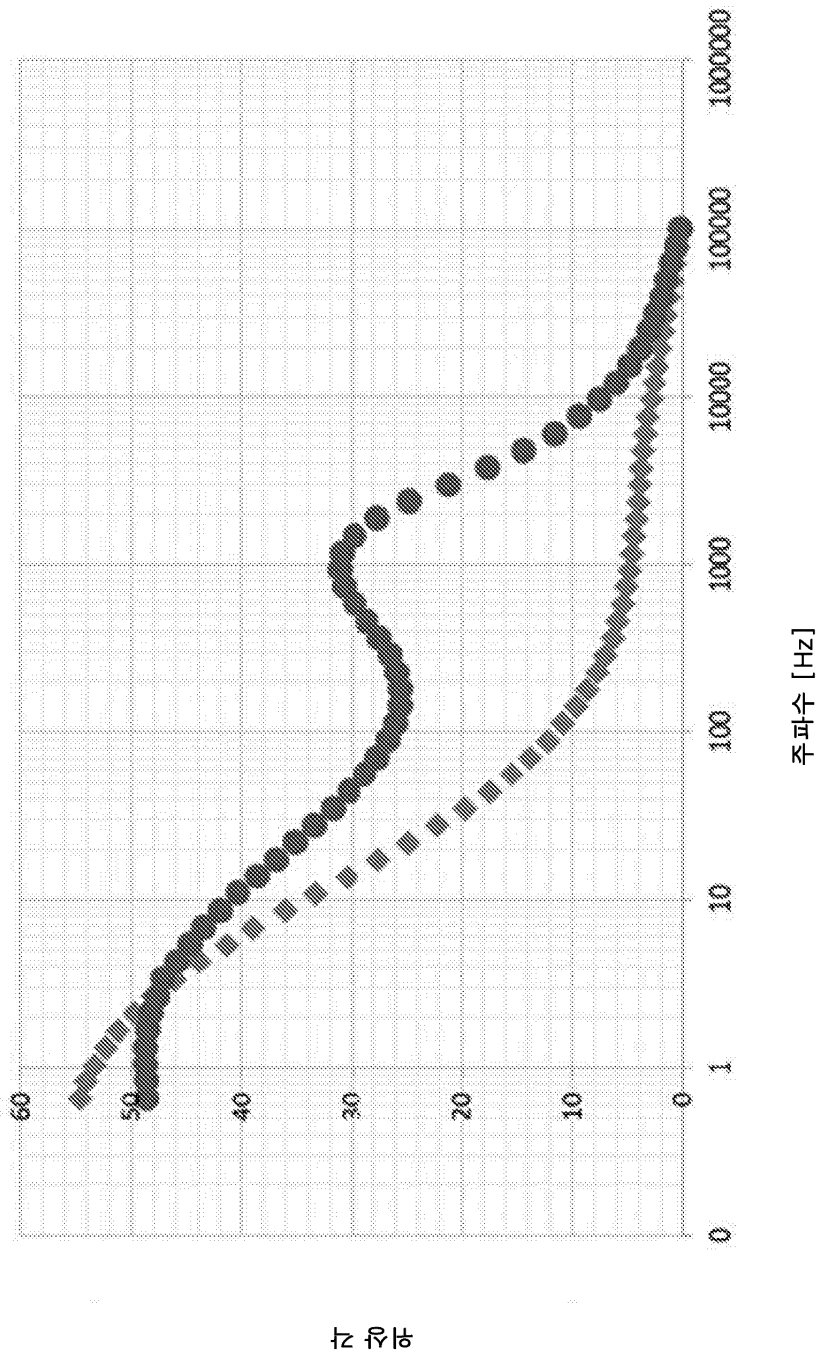


도면16

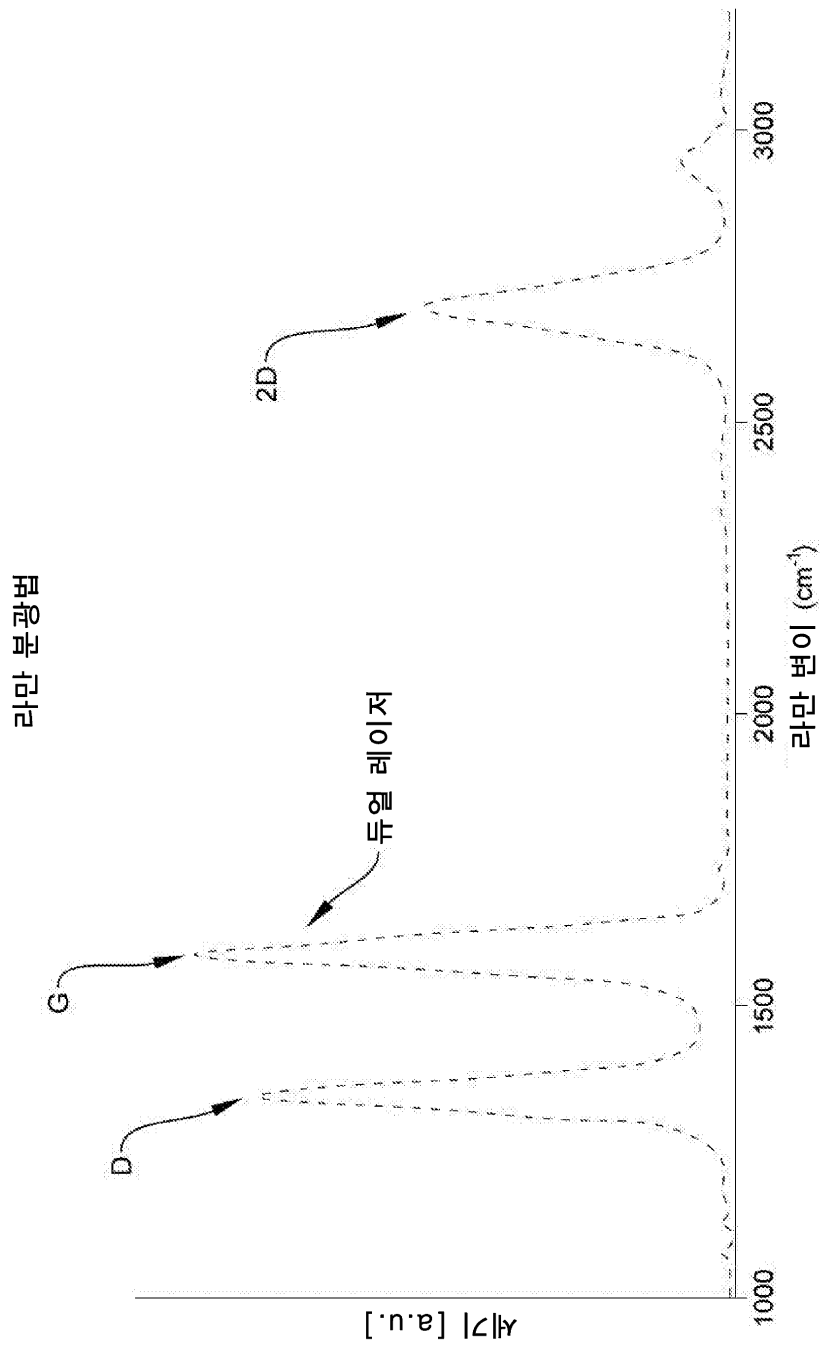


도면17

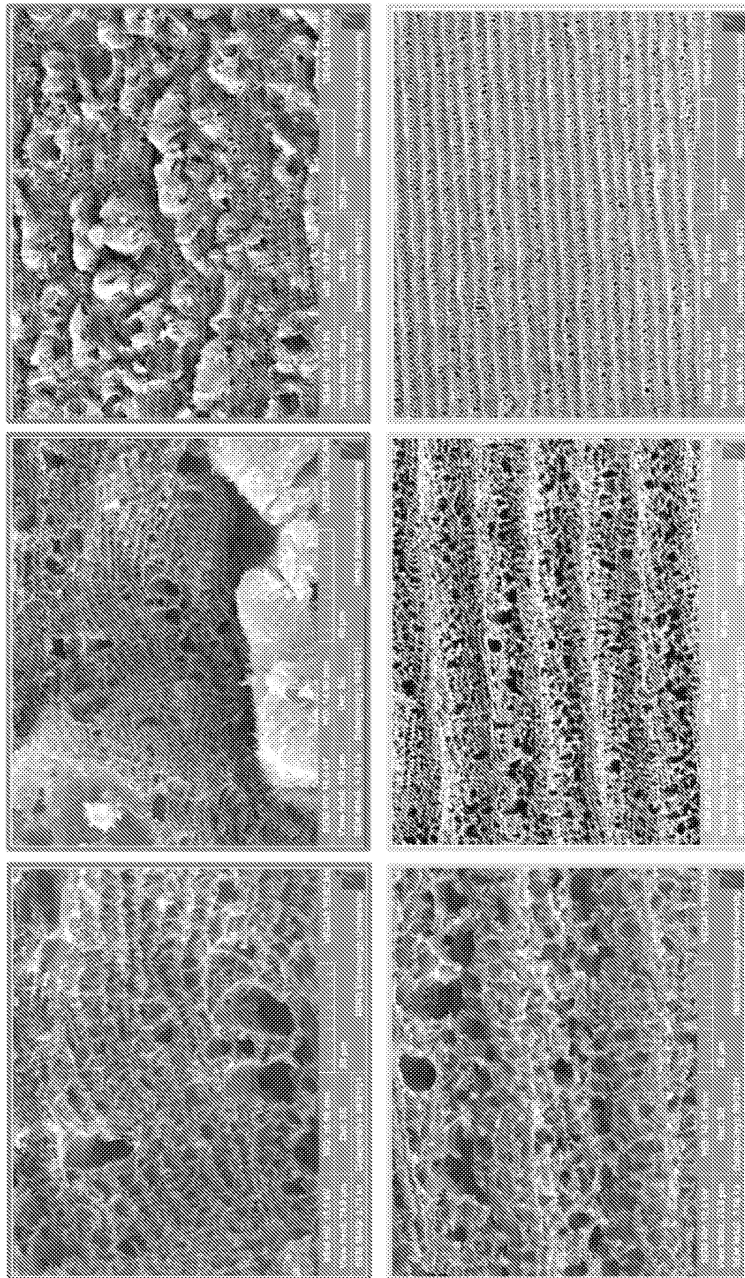
보드(Bode) 플롯



도면18



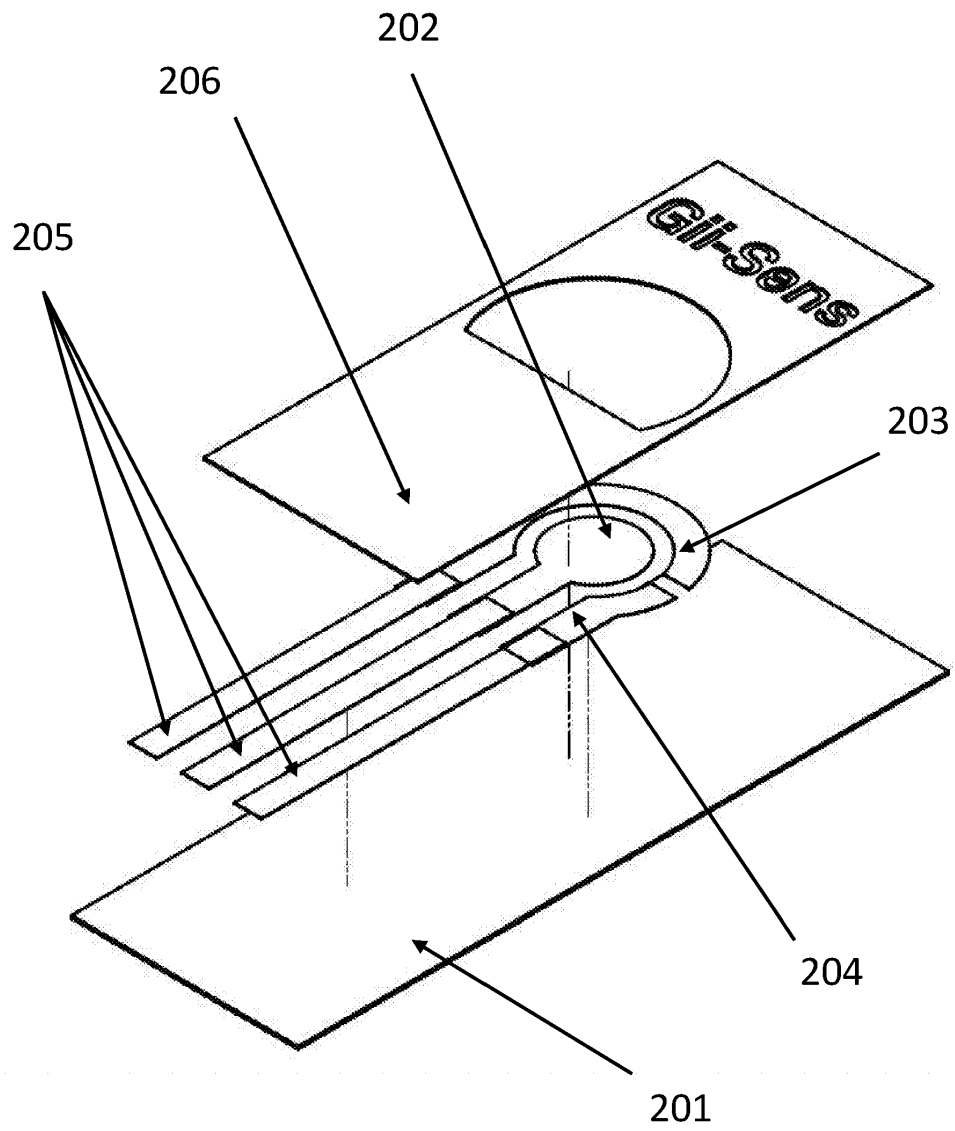
도면19



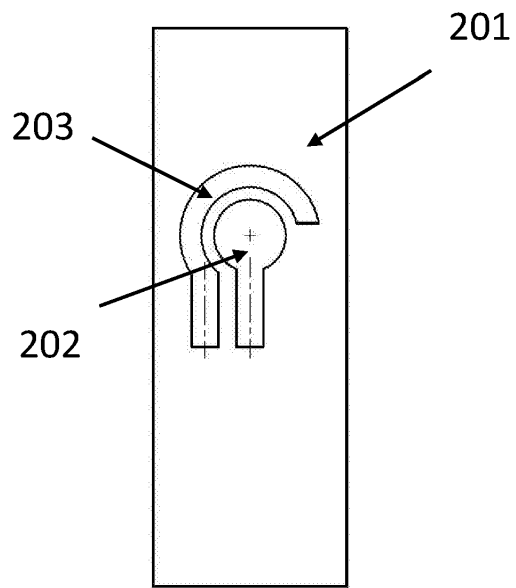
표면 거칠기

표면 매끄러움

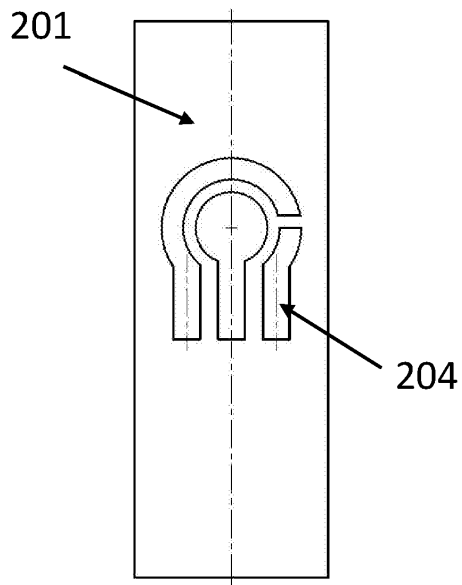
도면20a



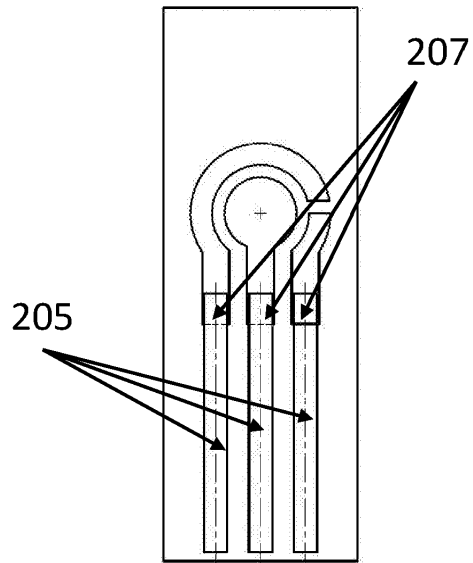
도면20b



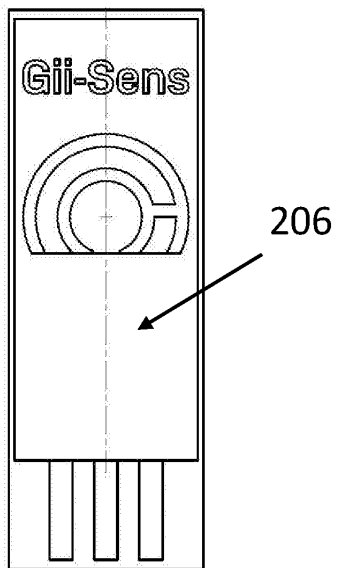
도면20c



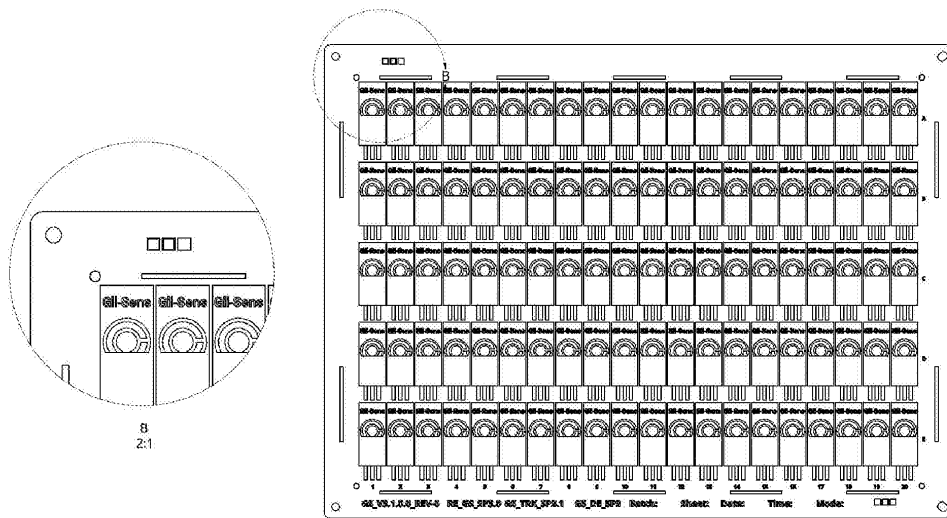
도면20d



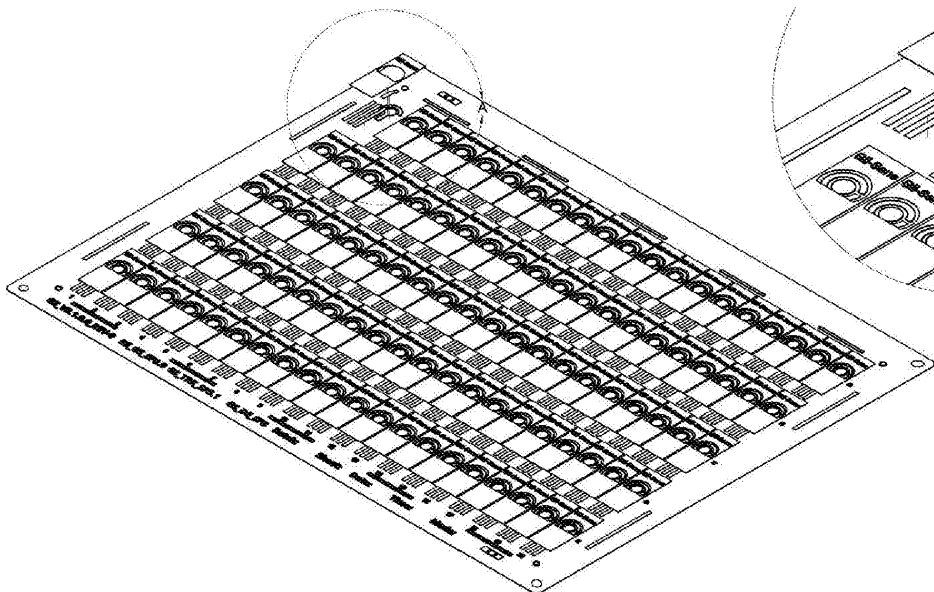
도면20e



도면20g



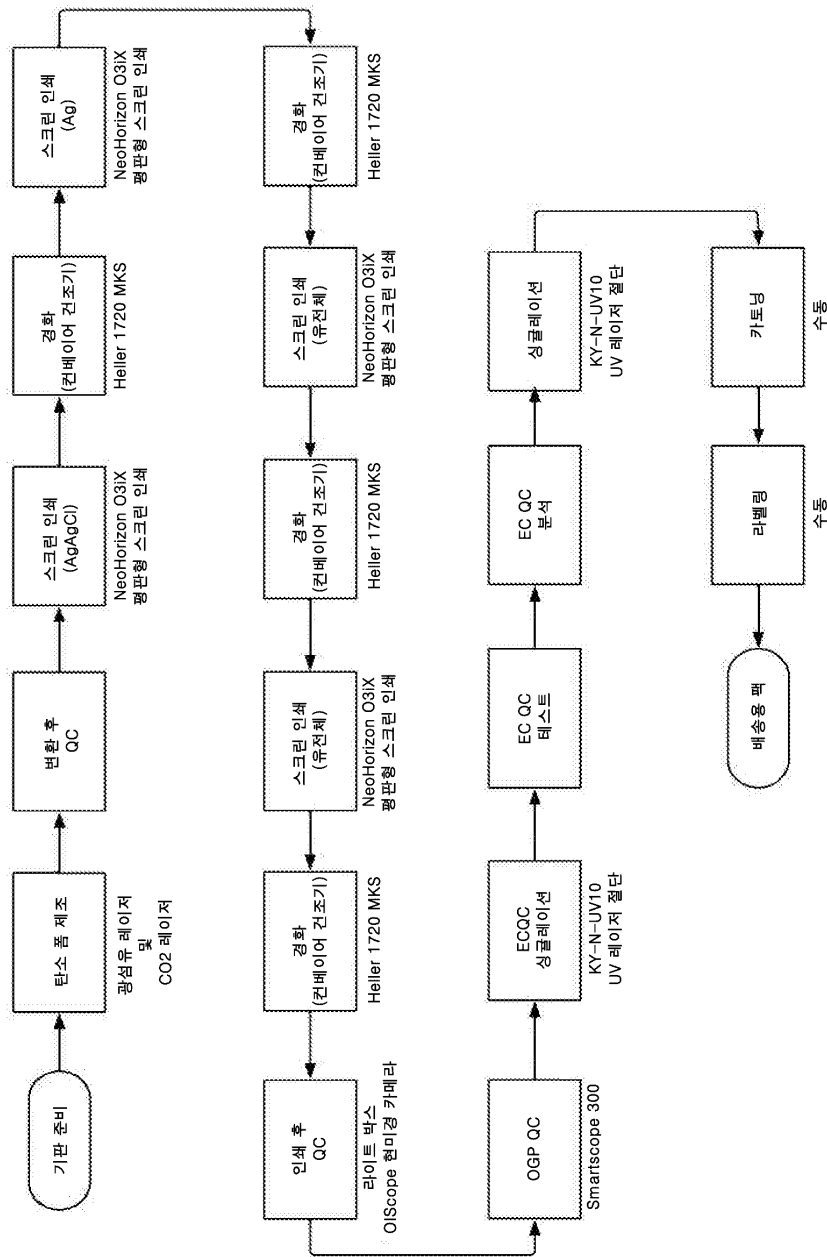
도면20h



도면21

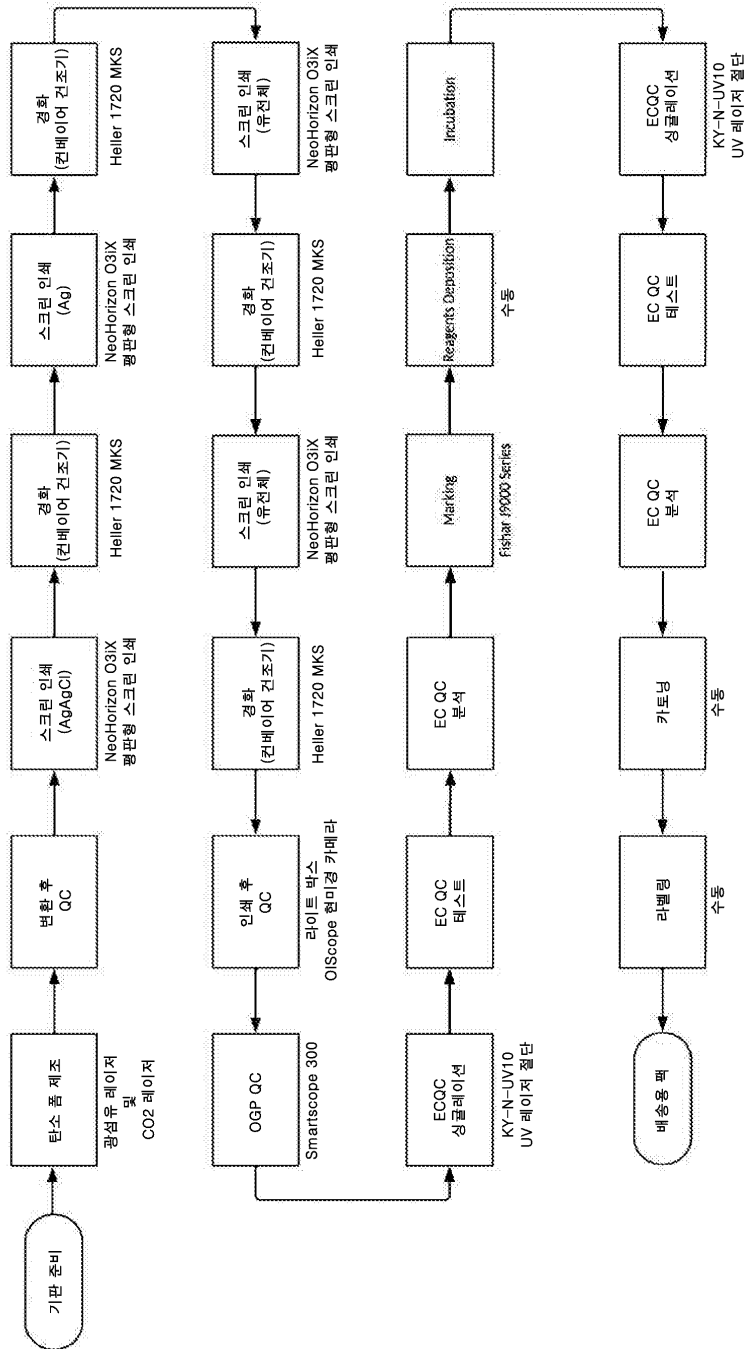
공정 흐름

Gii-Sens



도면22

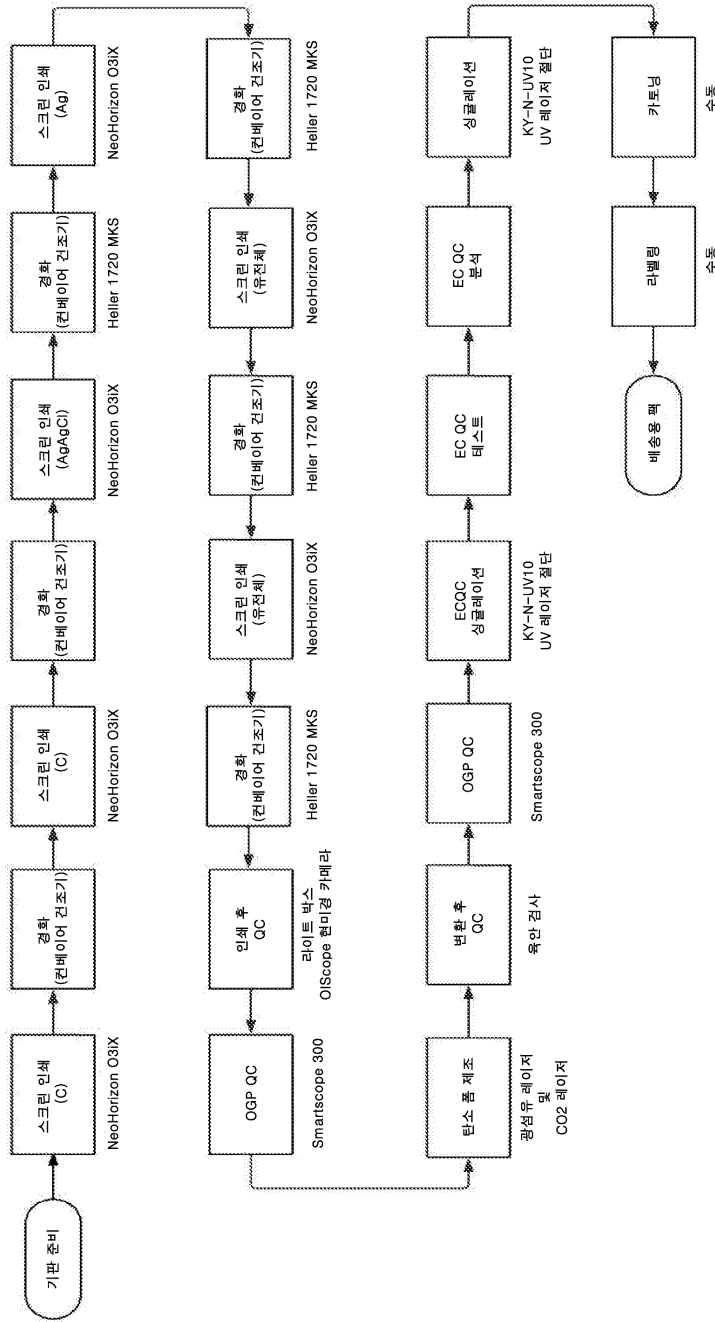
Gil-Senst 공정 흐름



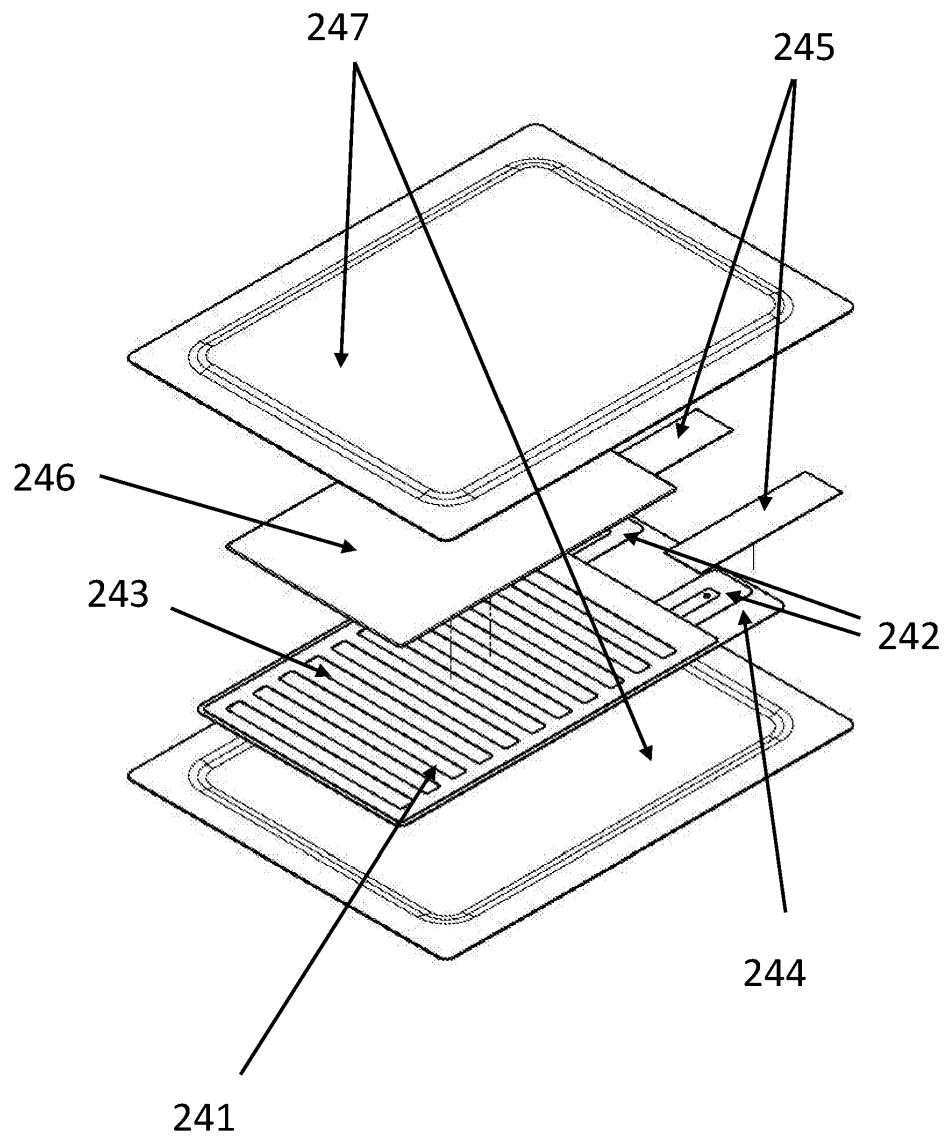
도면23

공정 흐름

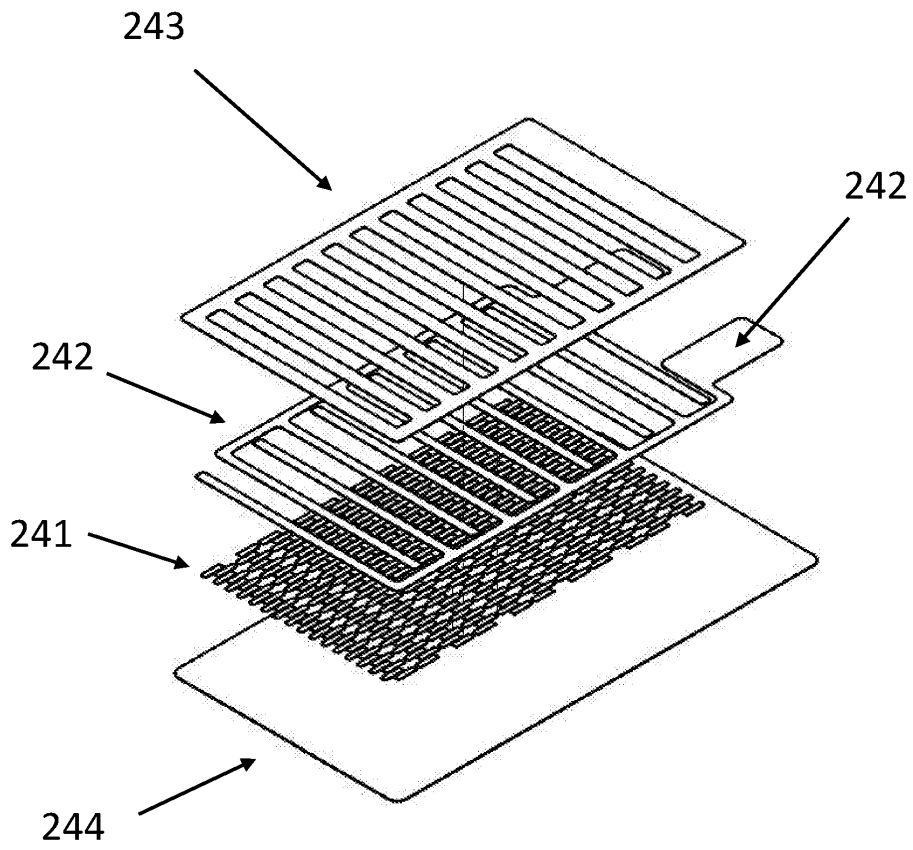
PPC Gii-Sens



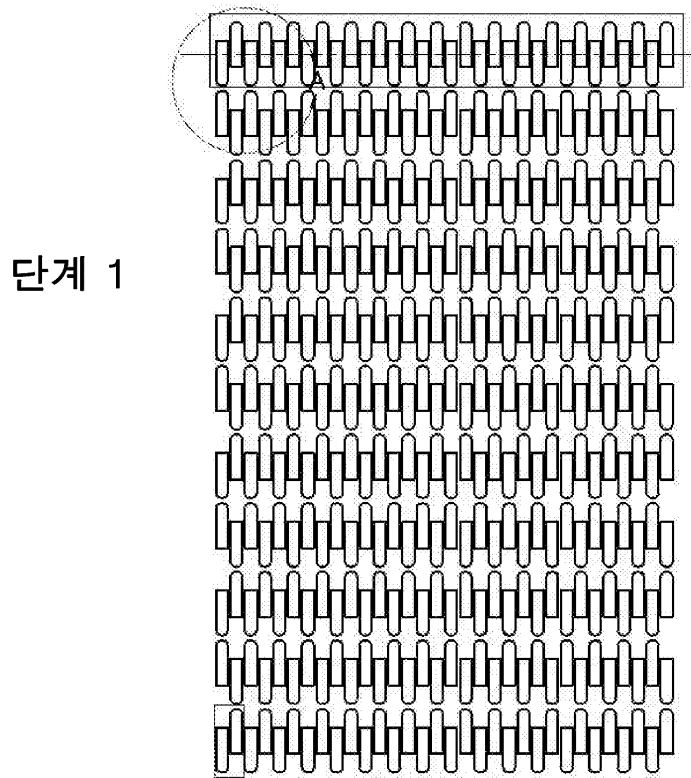
도면24



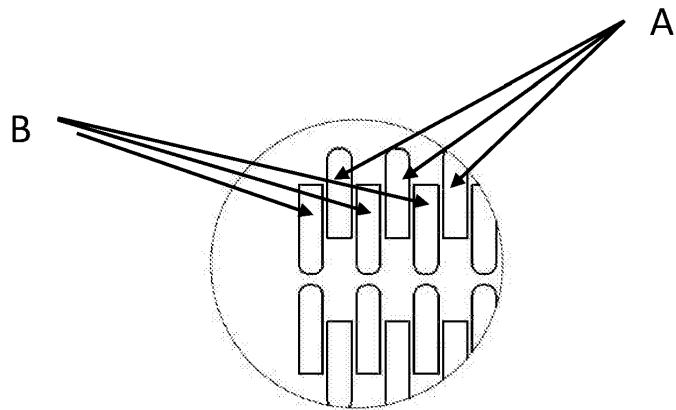
도면25



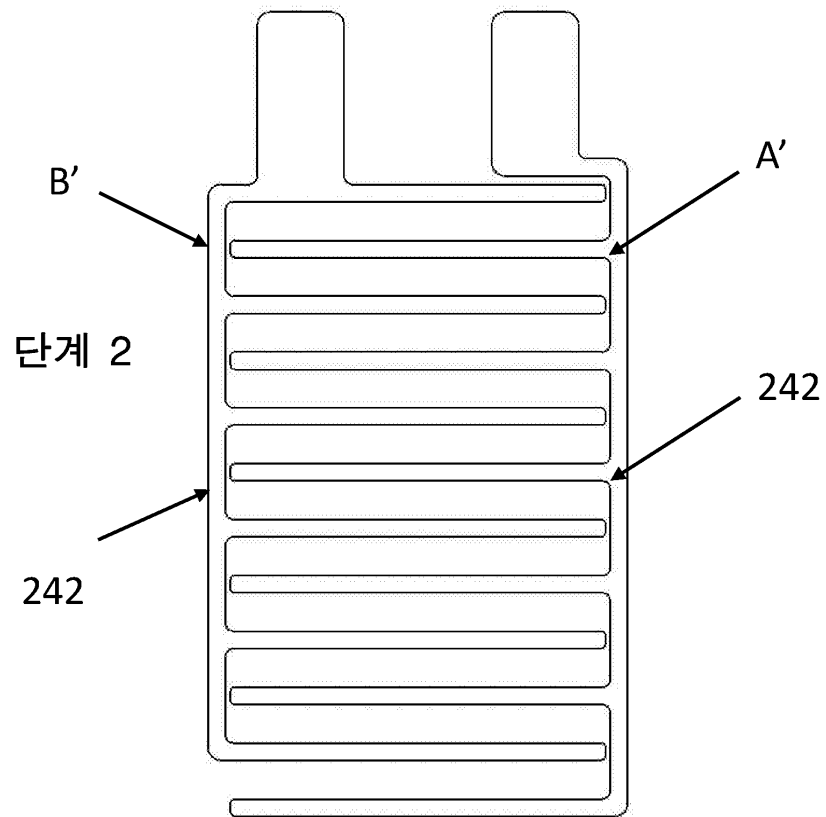
도면26a



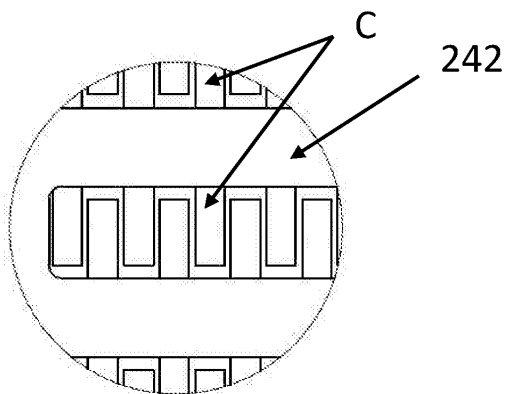
도면26b



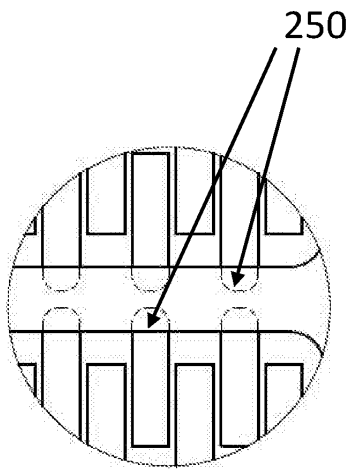
도면26c



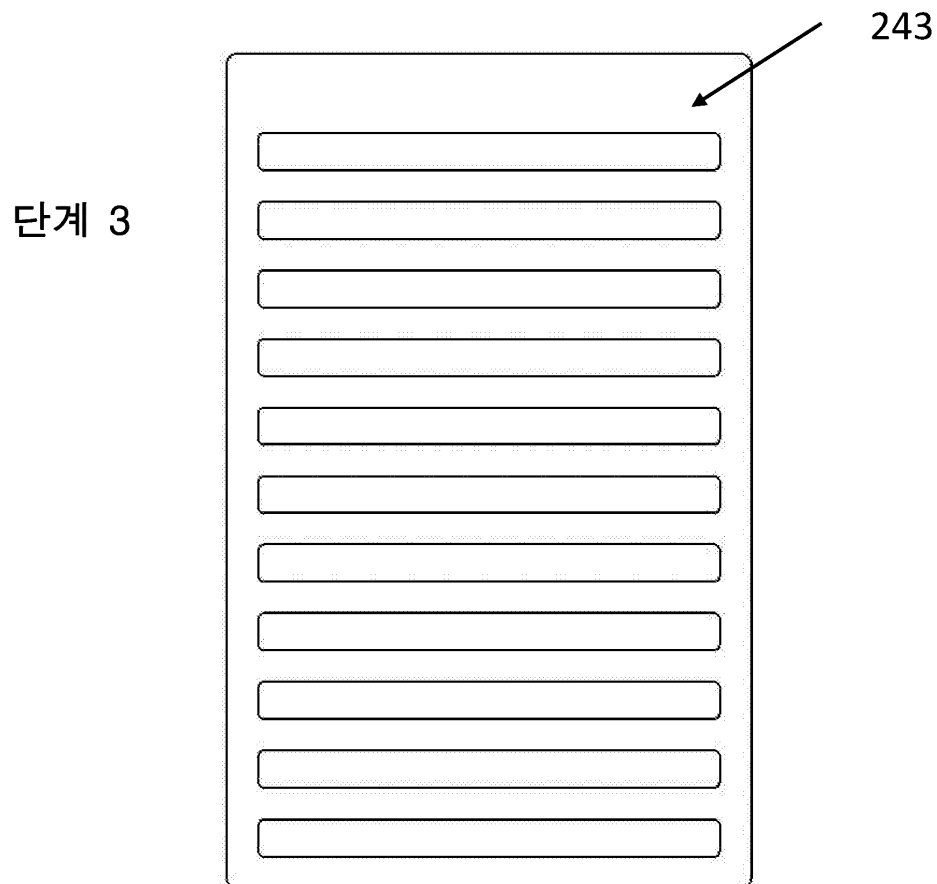
도면26d



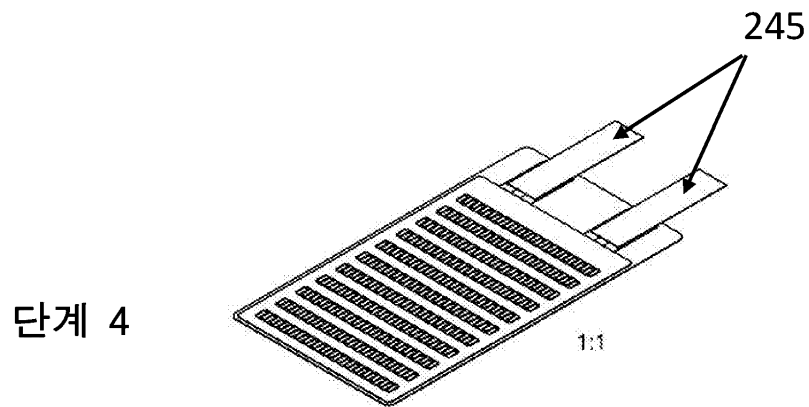
도면26e



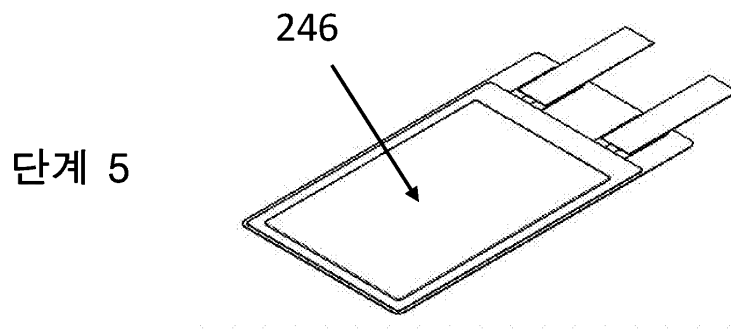
도면26f



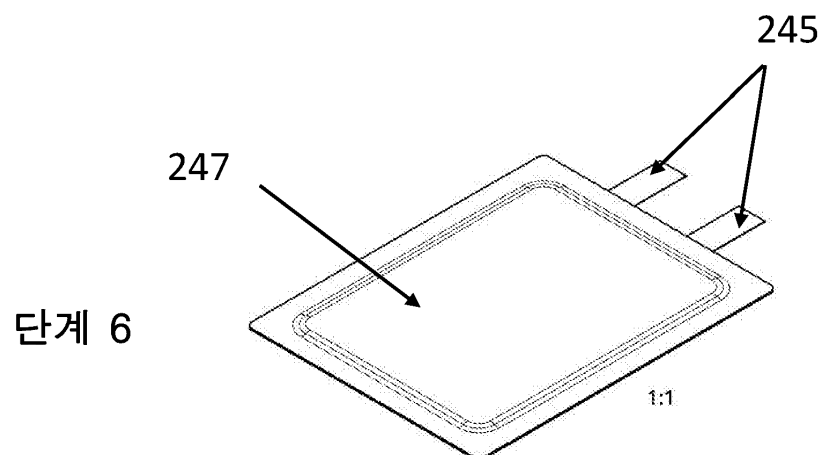
도면26g



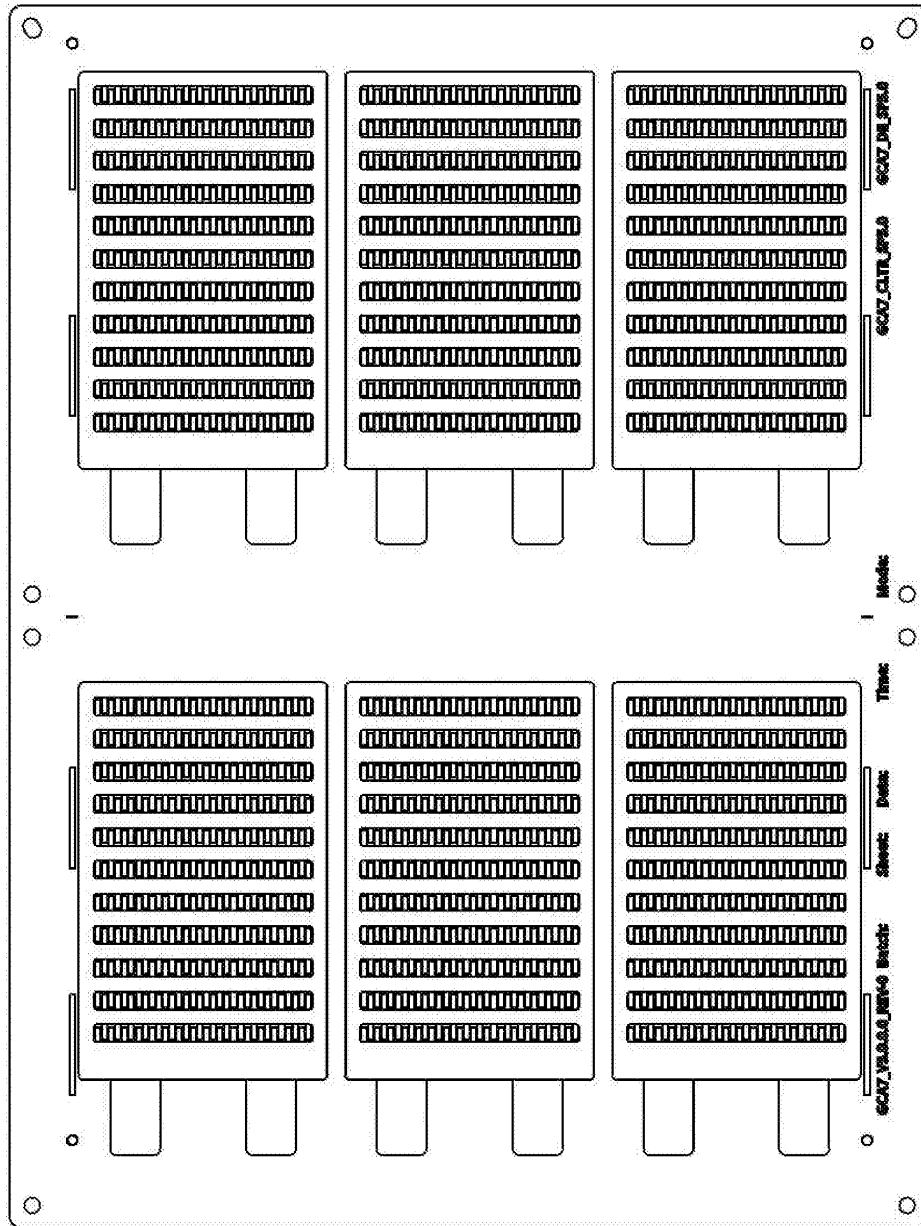
도면26h



도면26i

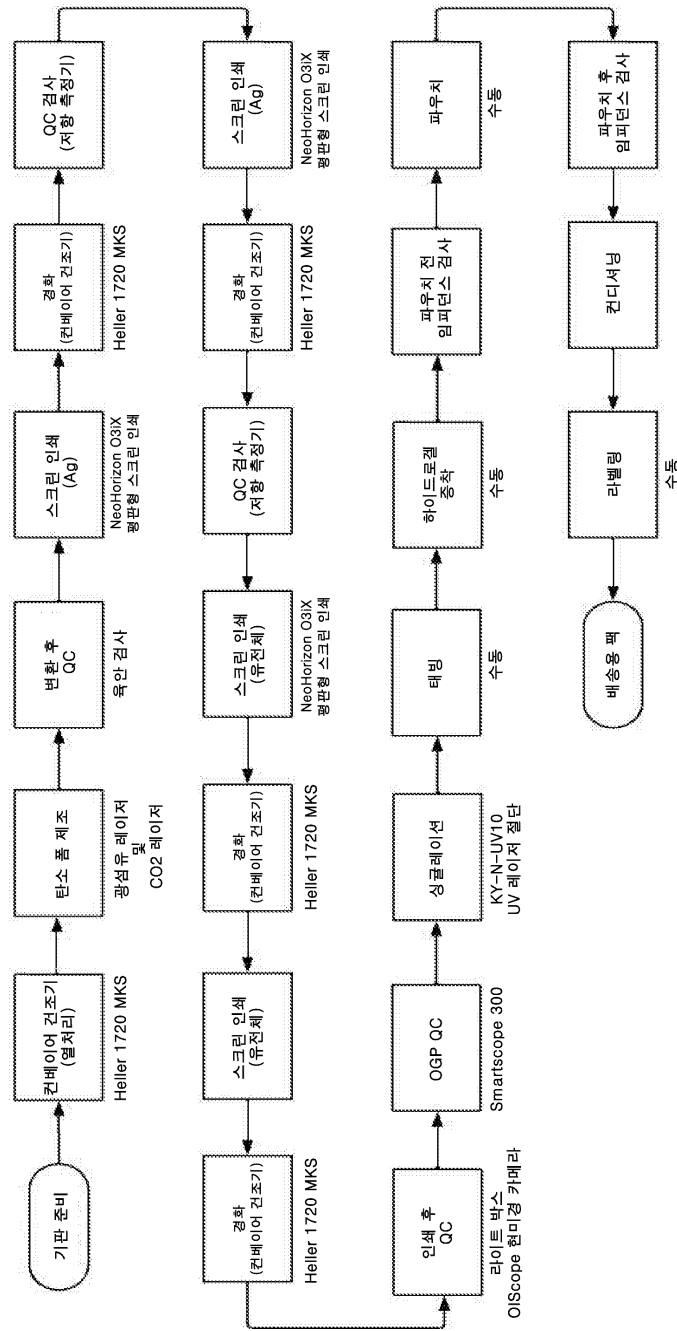


도면27



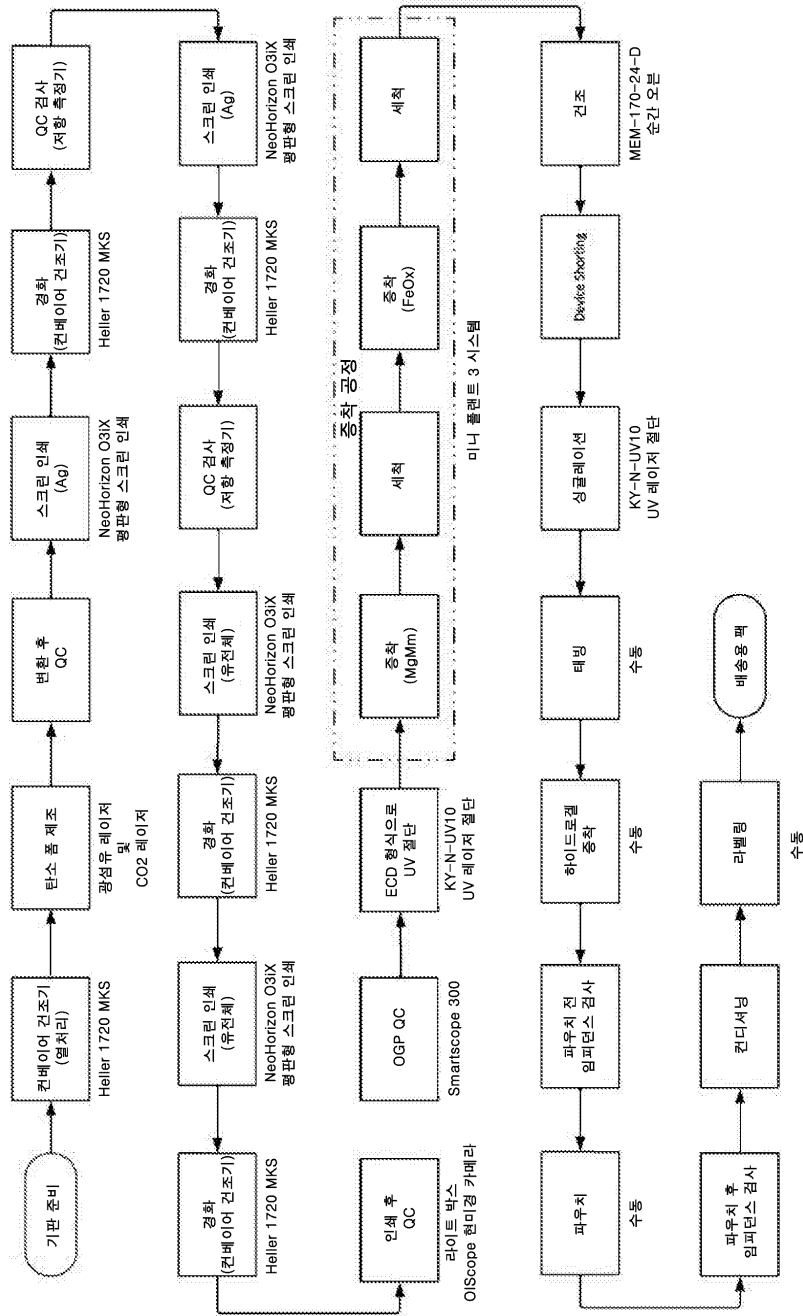
도면28

Gii-Cap 공정 흐름

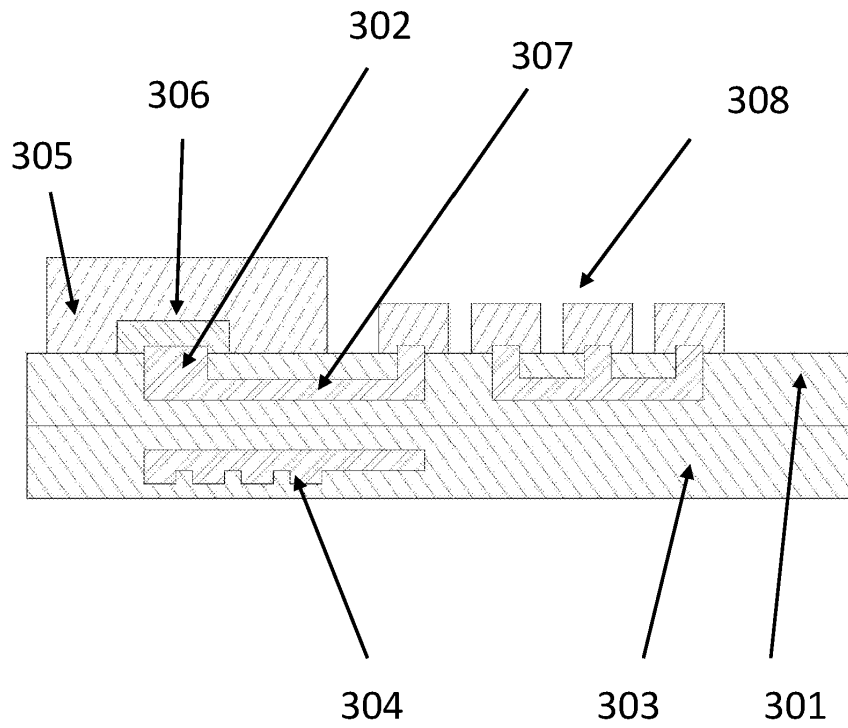


도면29

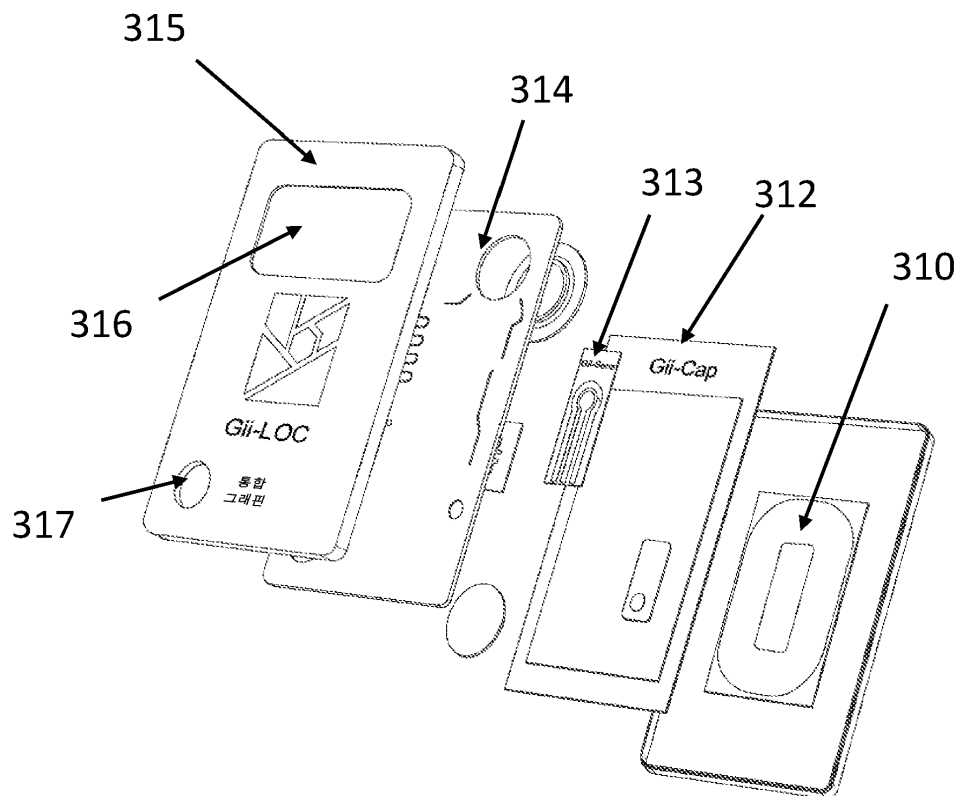
Gil-Cap+ 공정 흐름



도면30



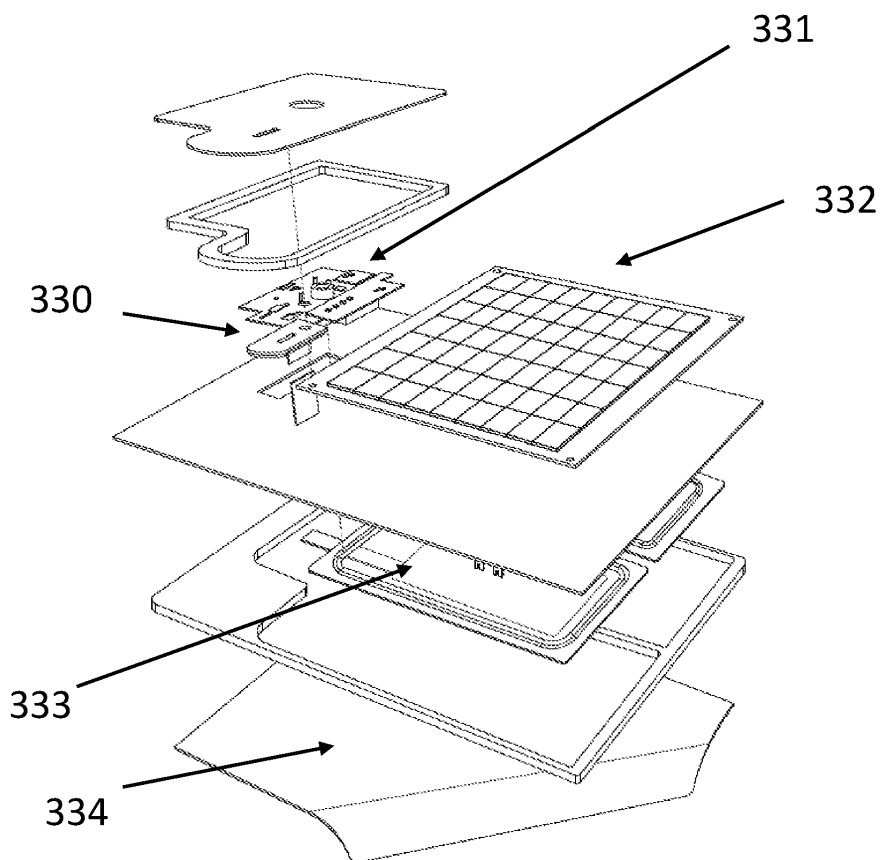
도면31



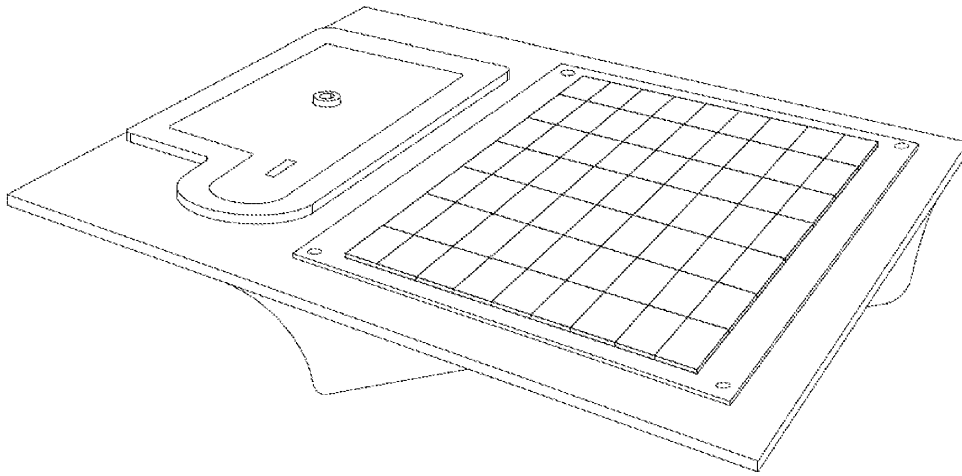
도면32



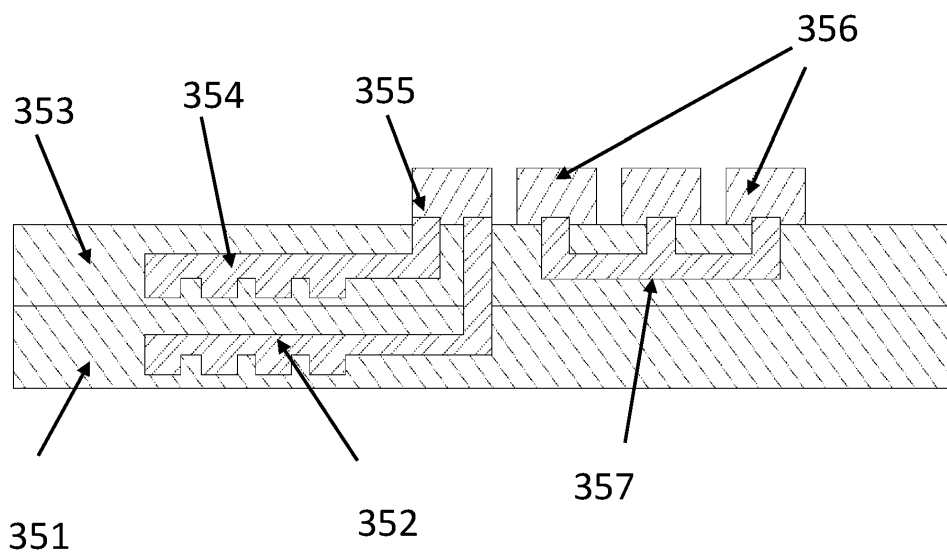
도면33



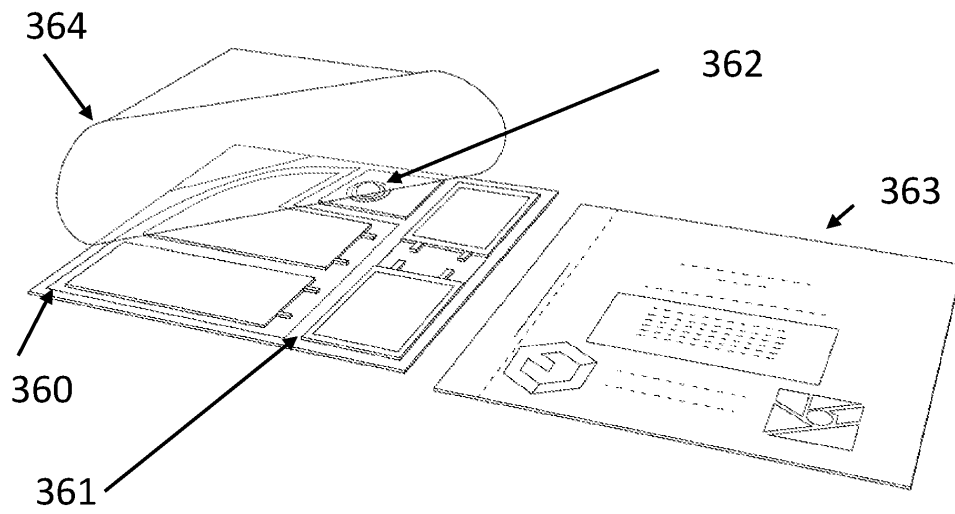
도면34



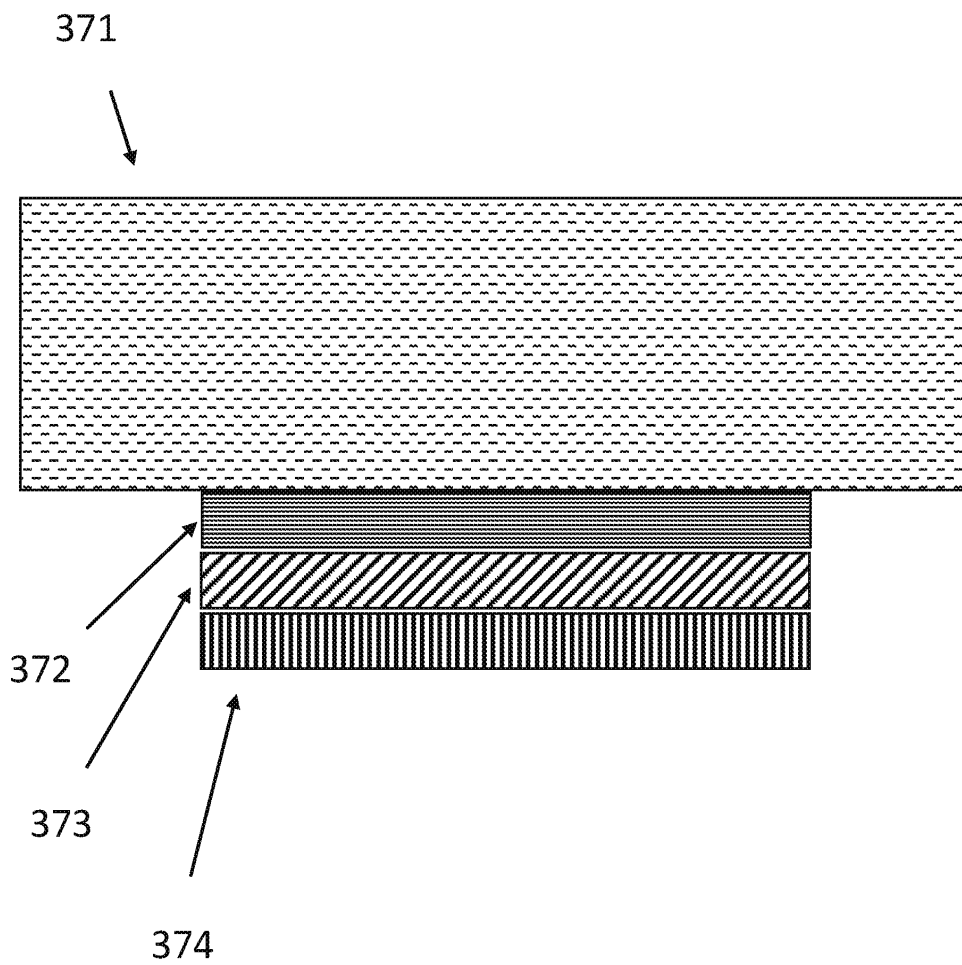
도면35



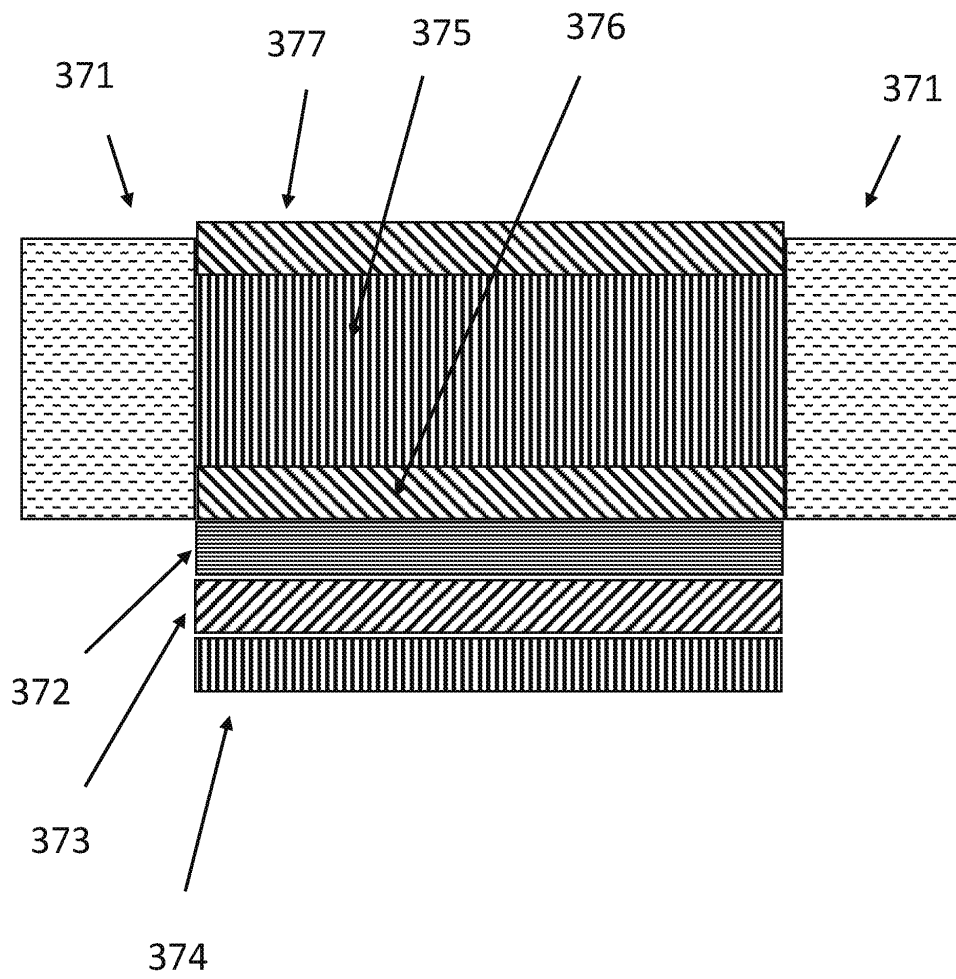
도면36



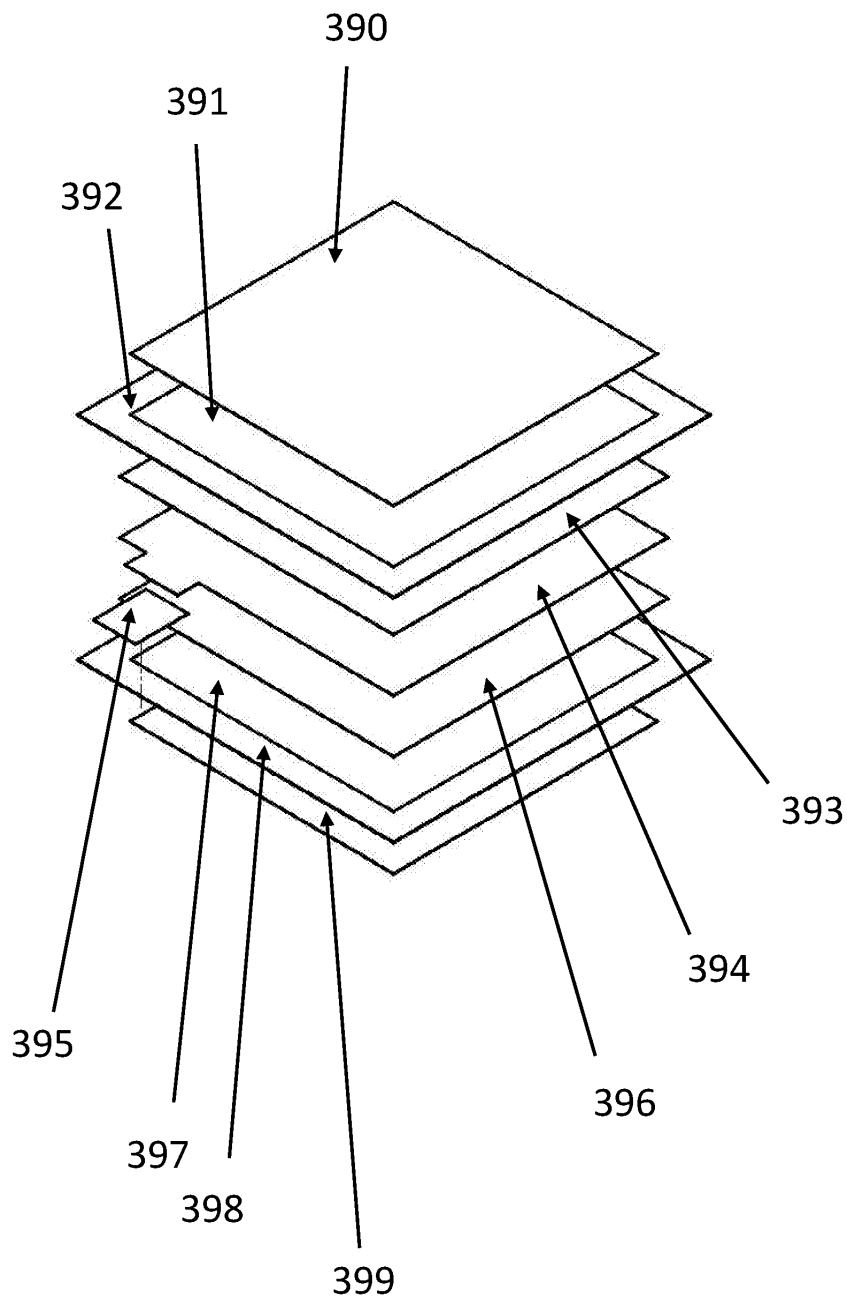
도면37



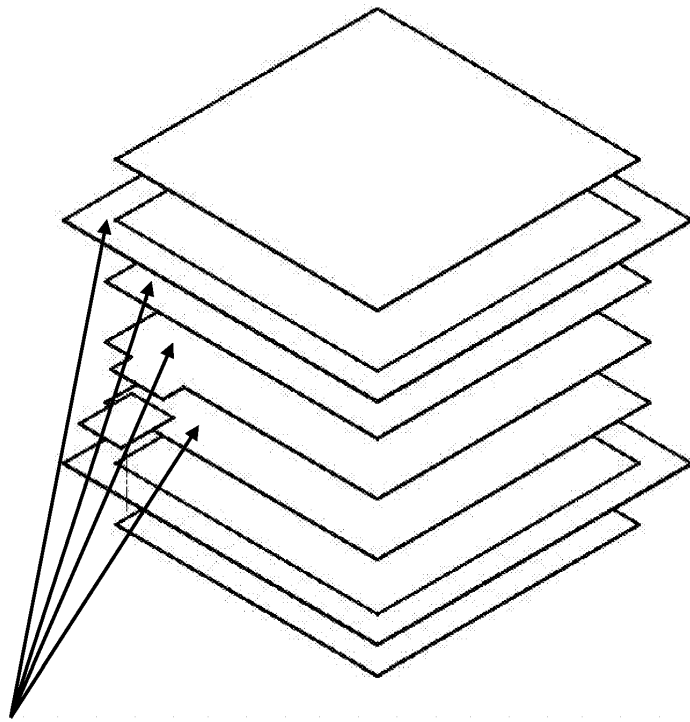
도면38



도면39

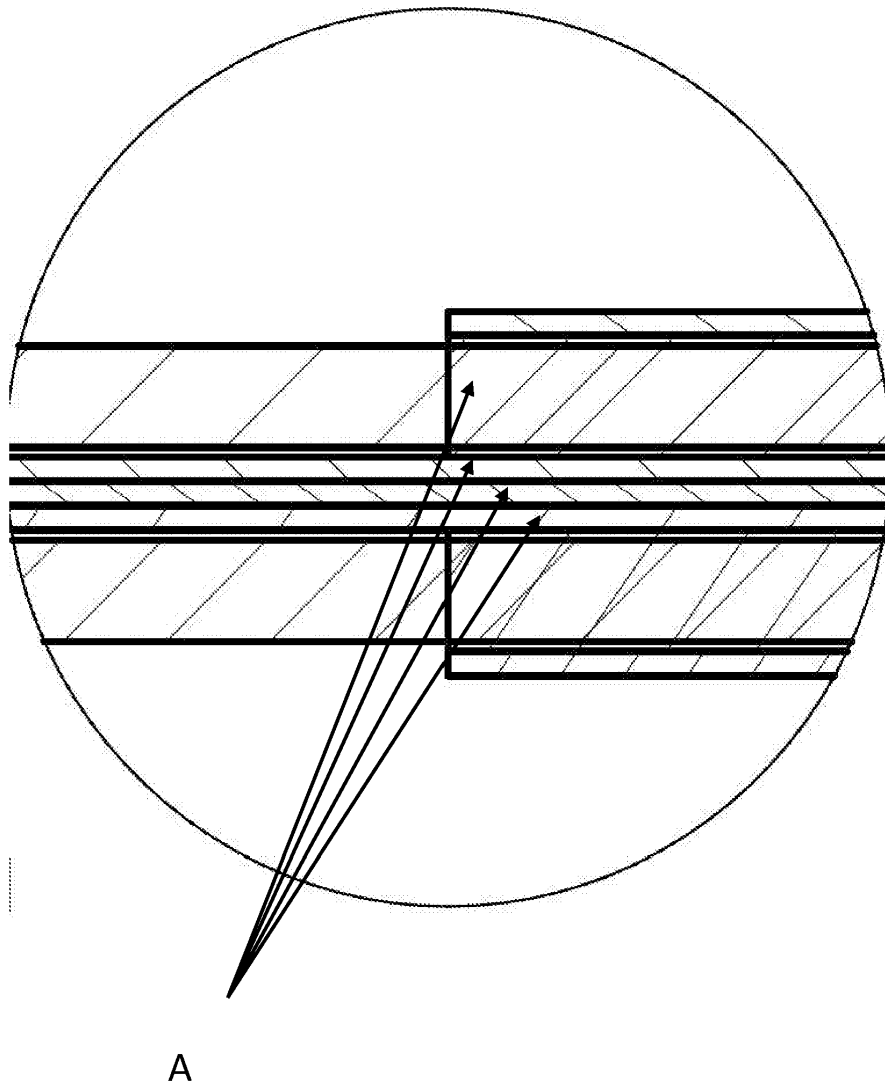


도면40a

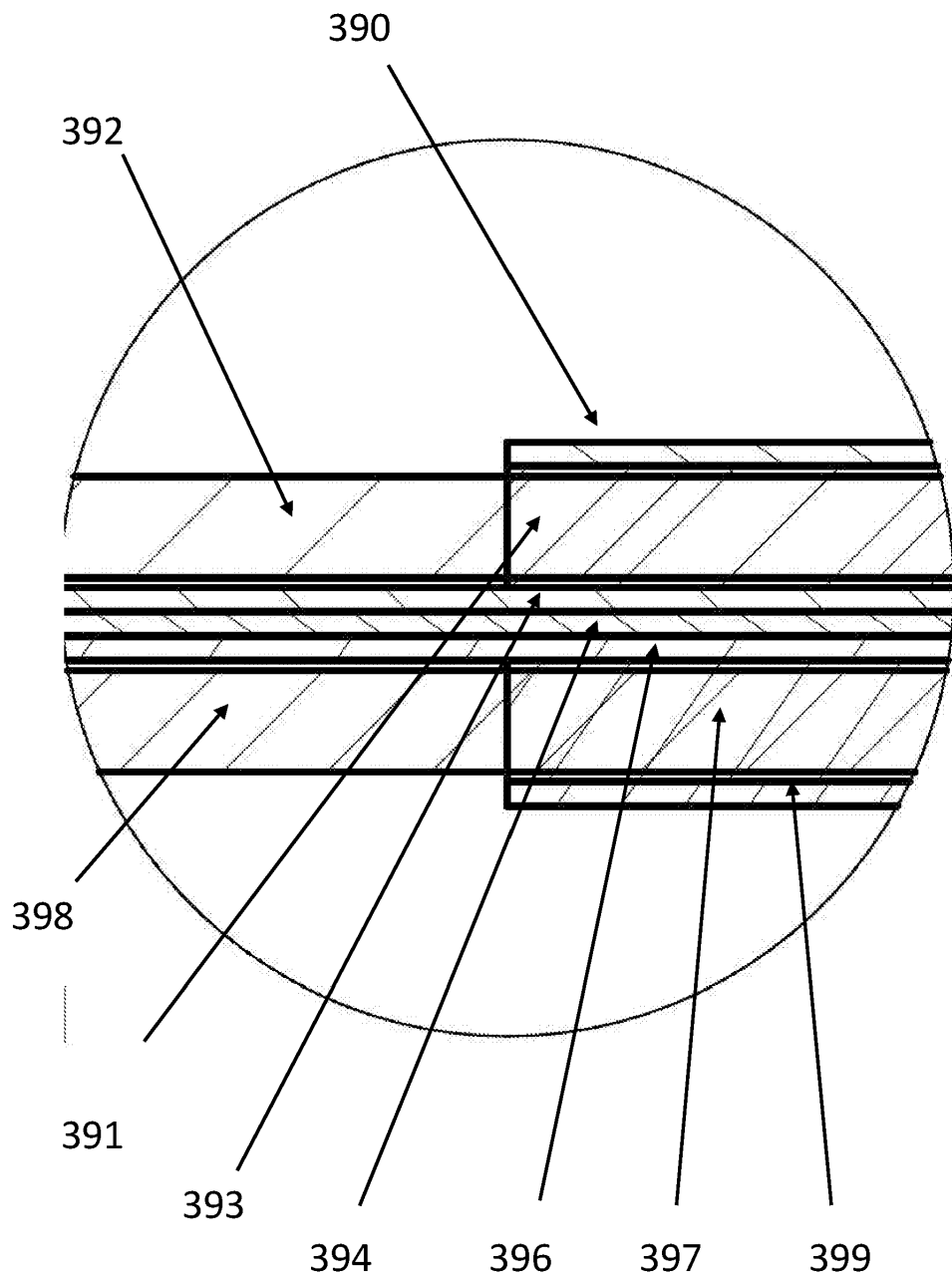


A

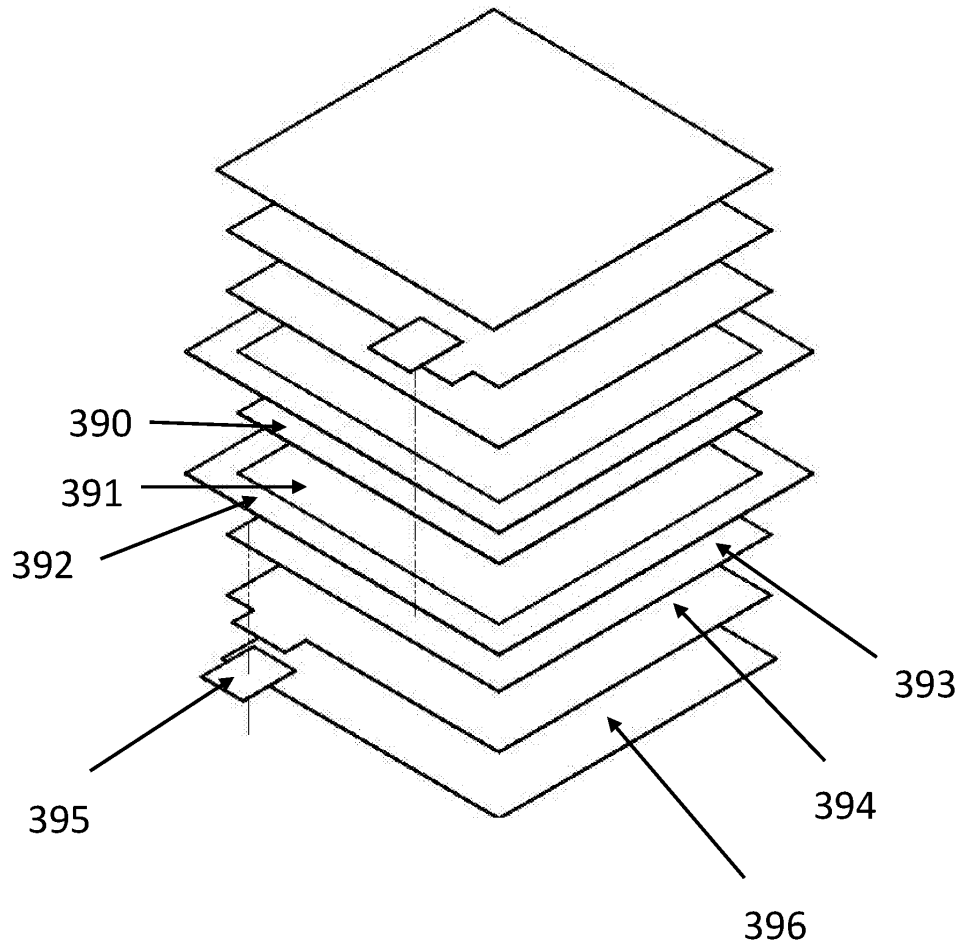
도면40b



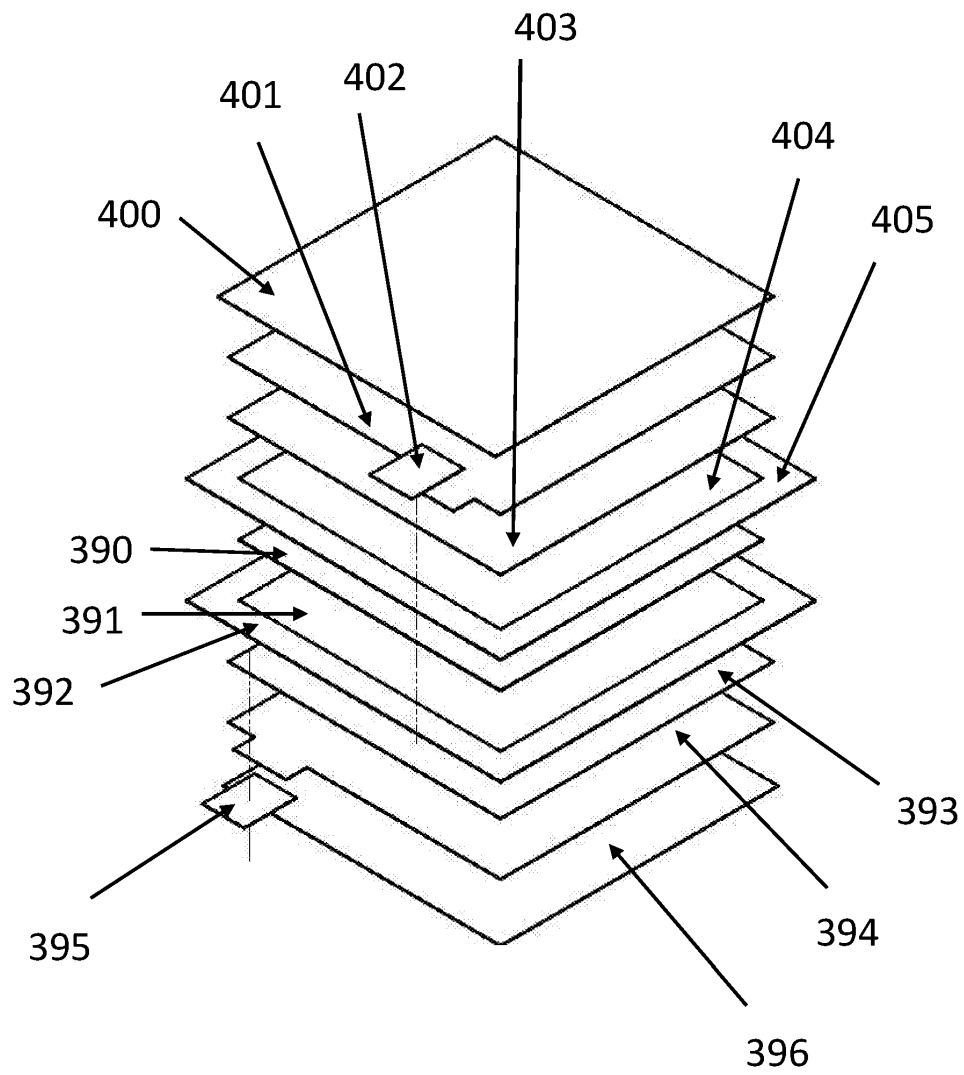
도면40c



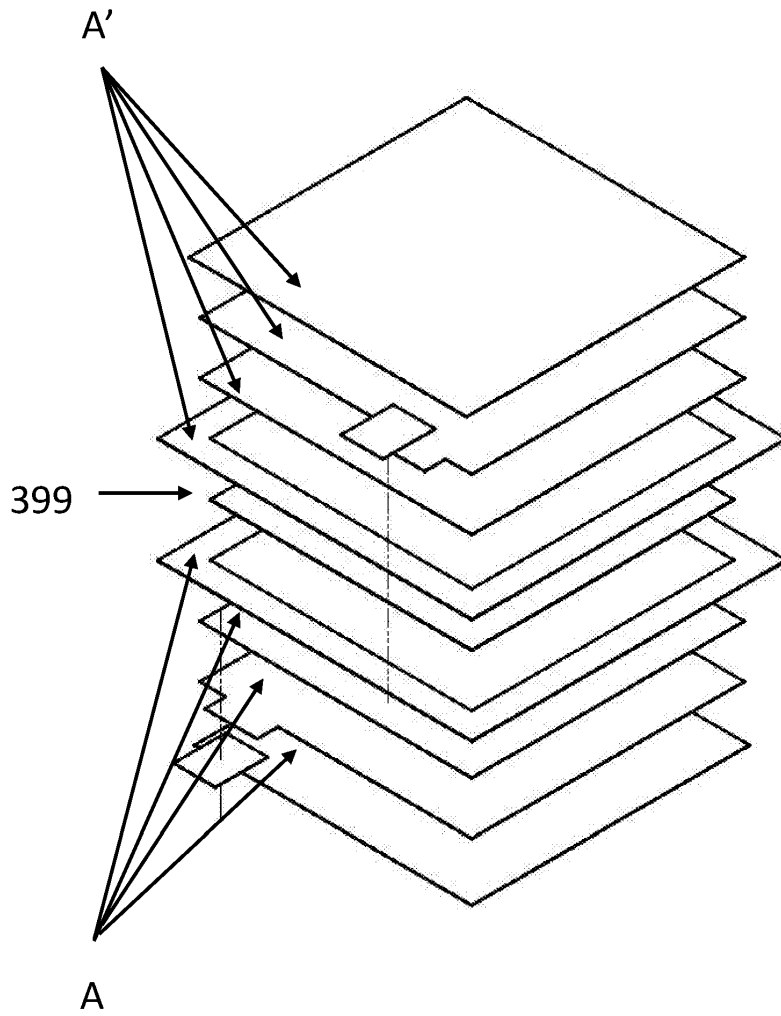
도면41a



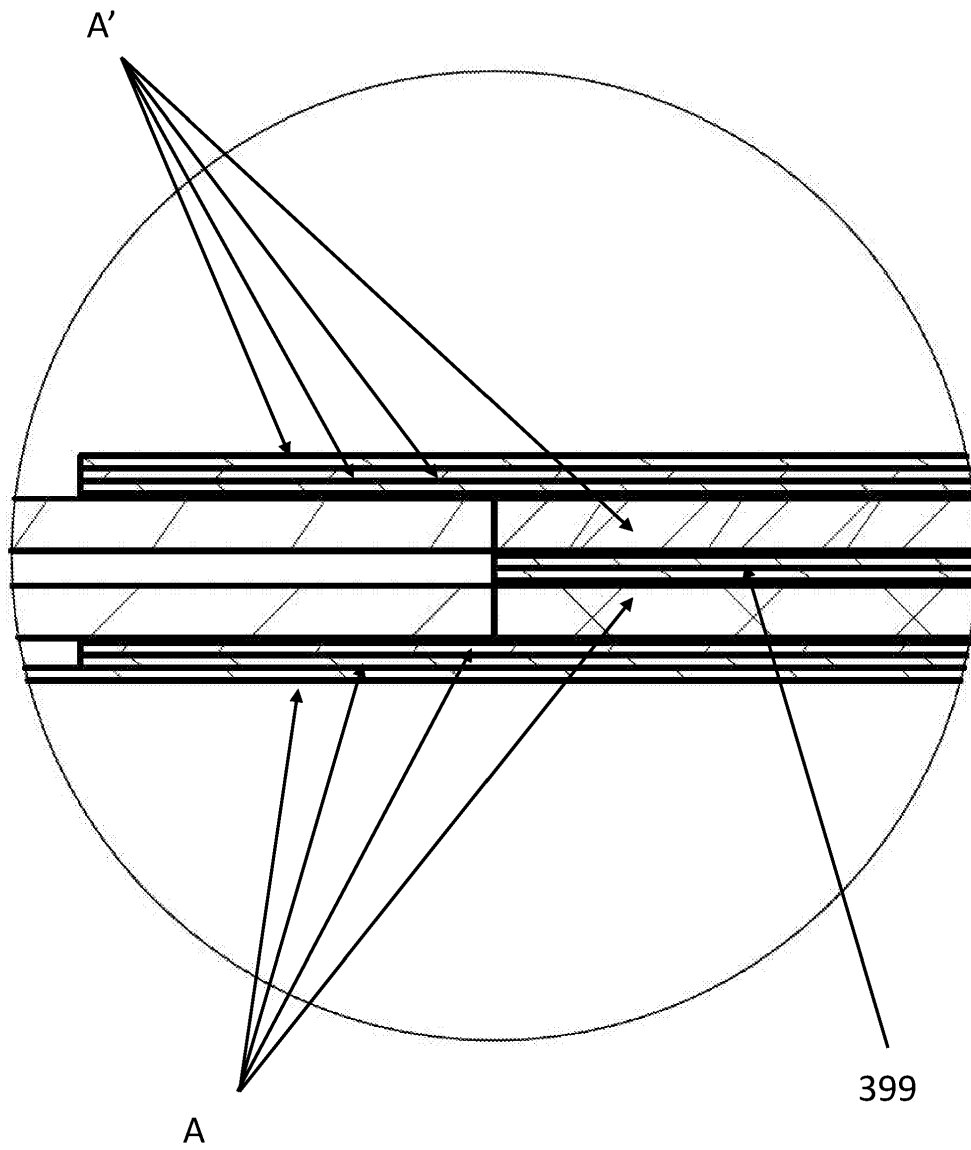
도면41b



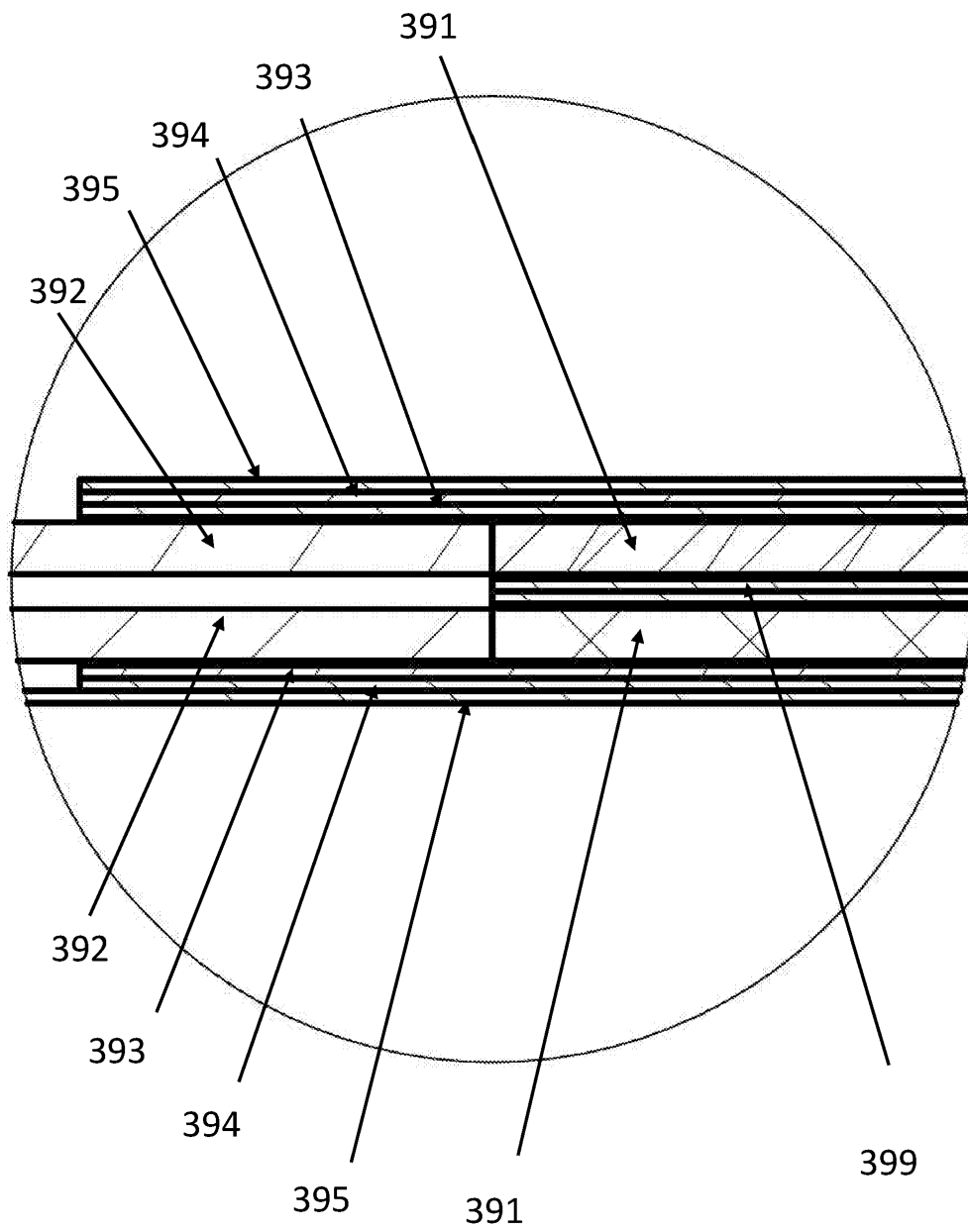
도면41c



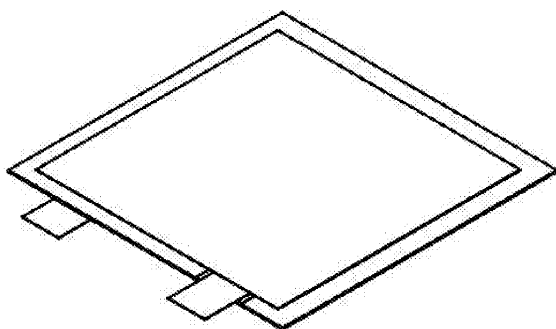
도면41d



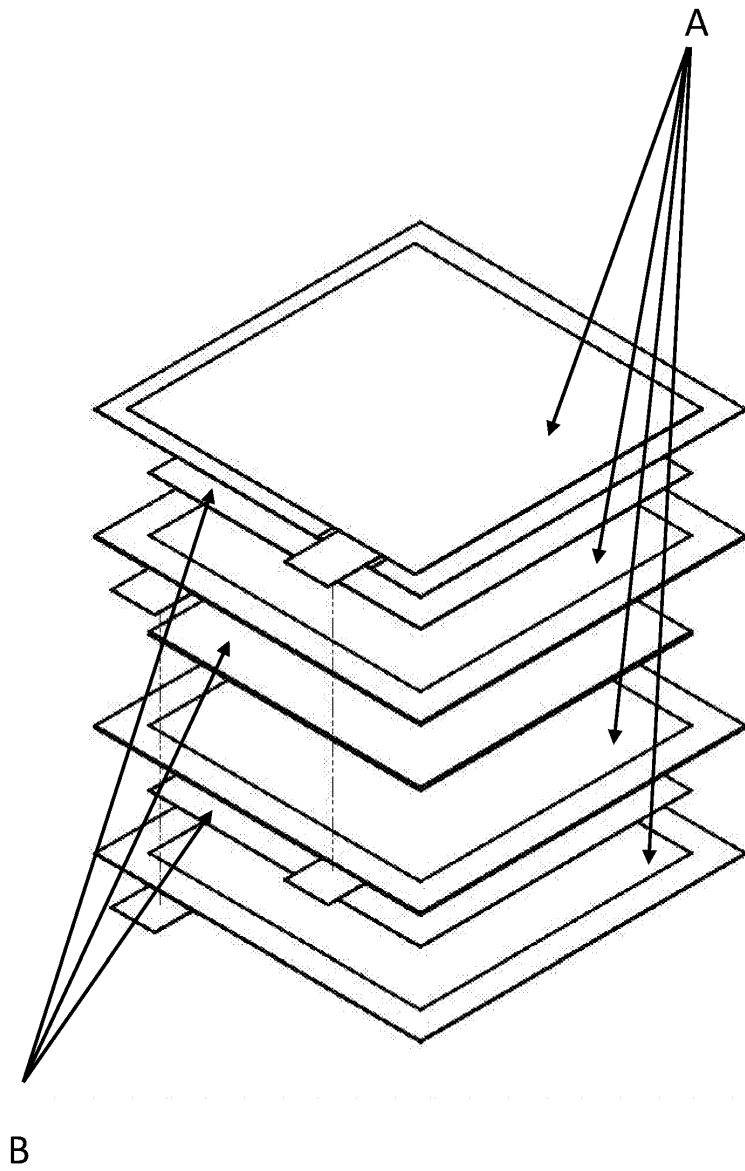
도면41e



도면41f



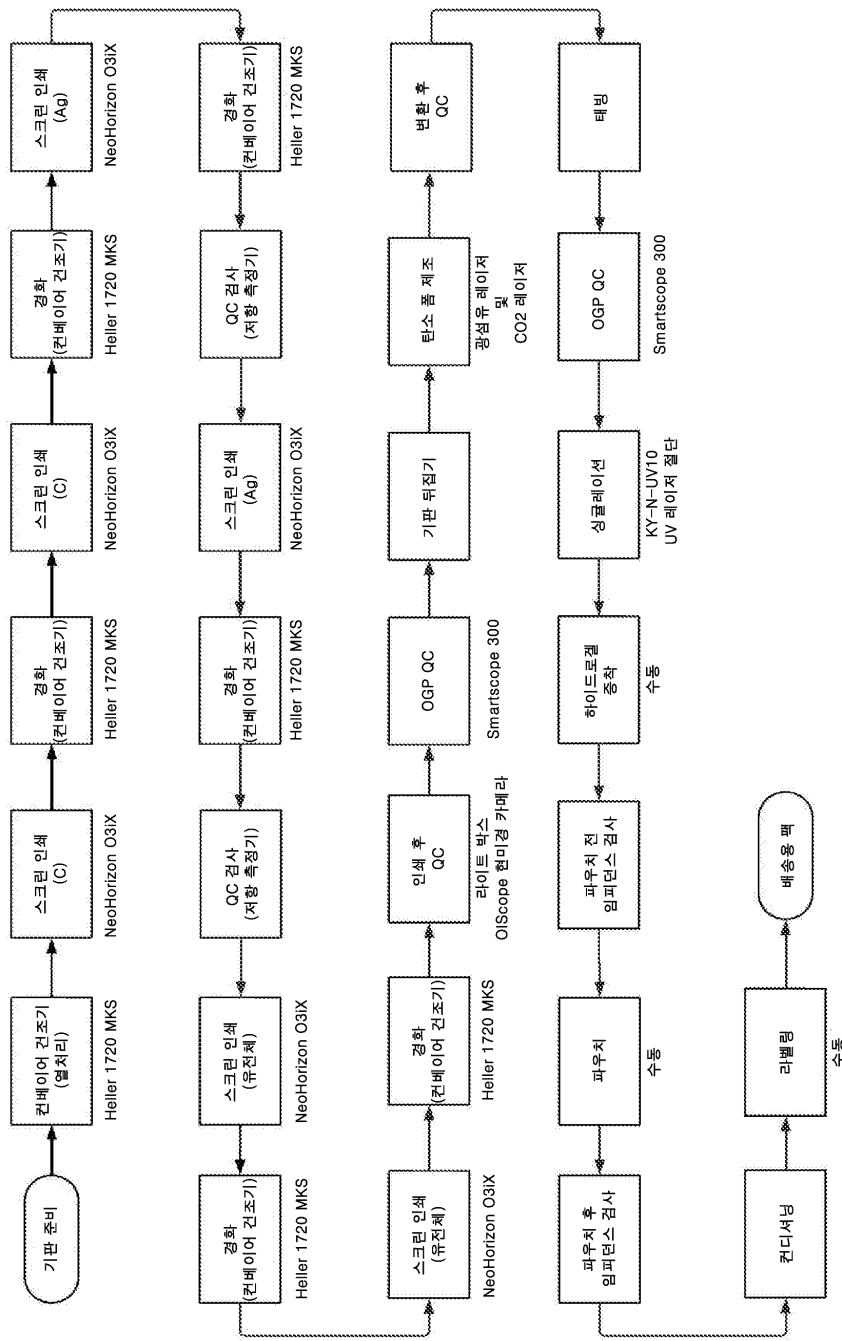
도면42



도면43a

공정 흐름

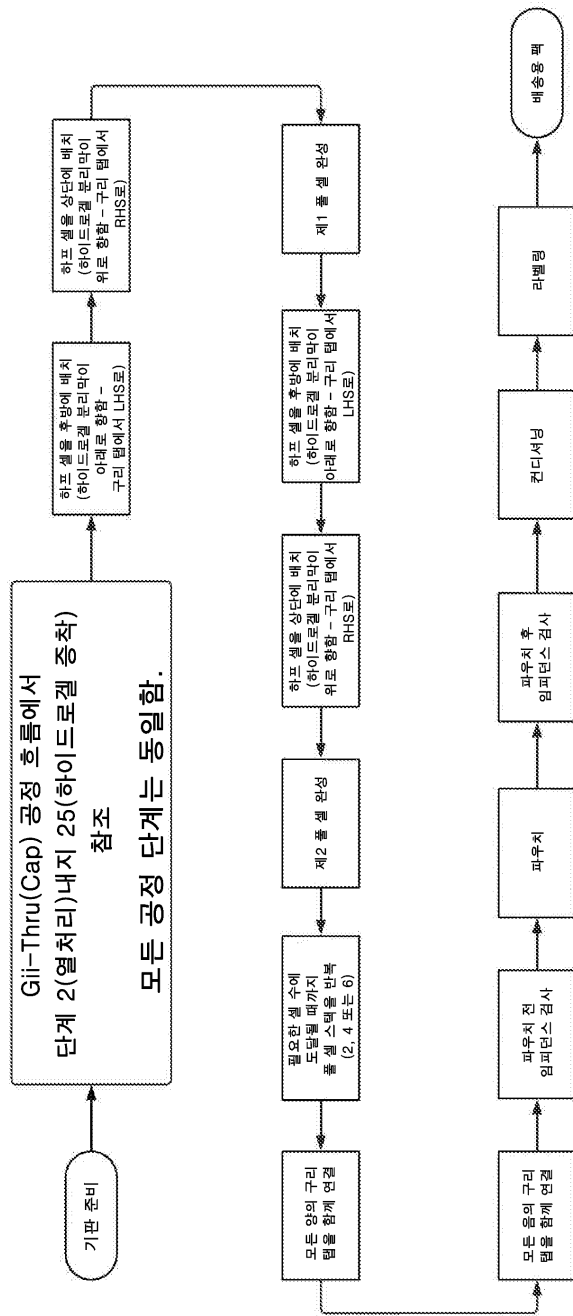
Gli-Thru (Cap)



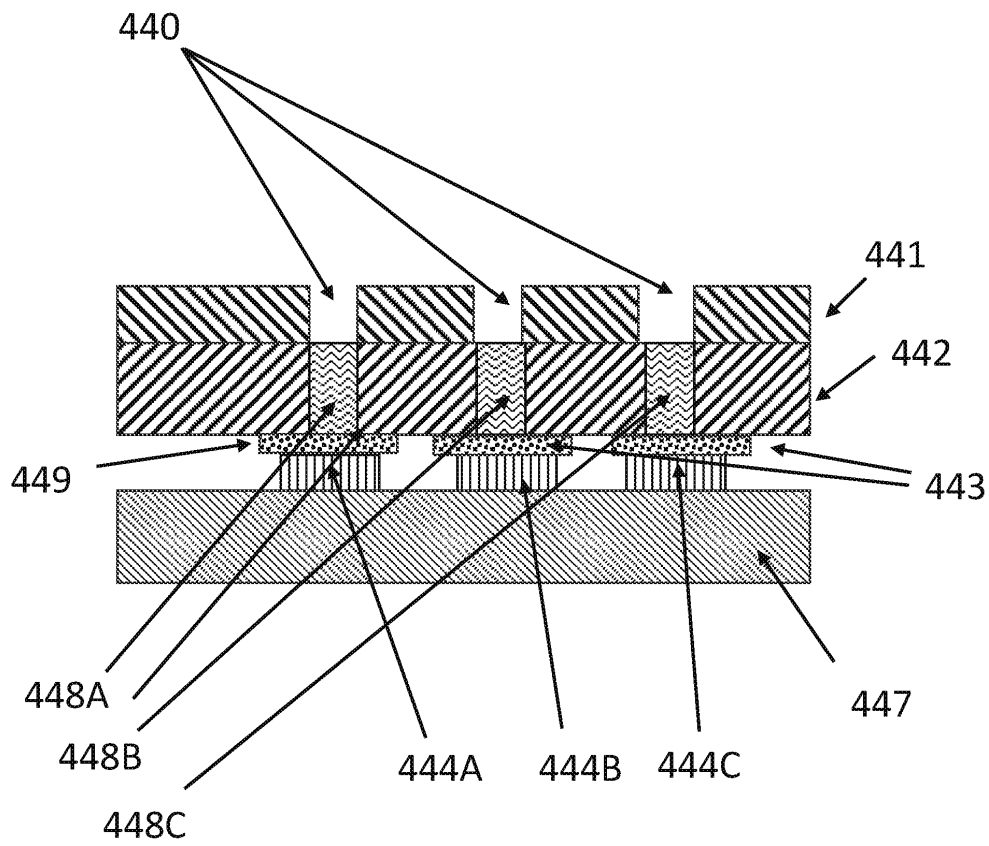
도면43b

Gii-Thru 다층-스택 (Cap)

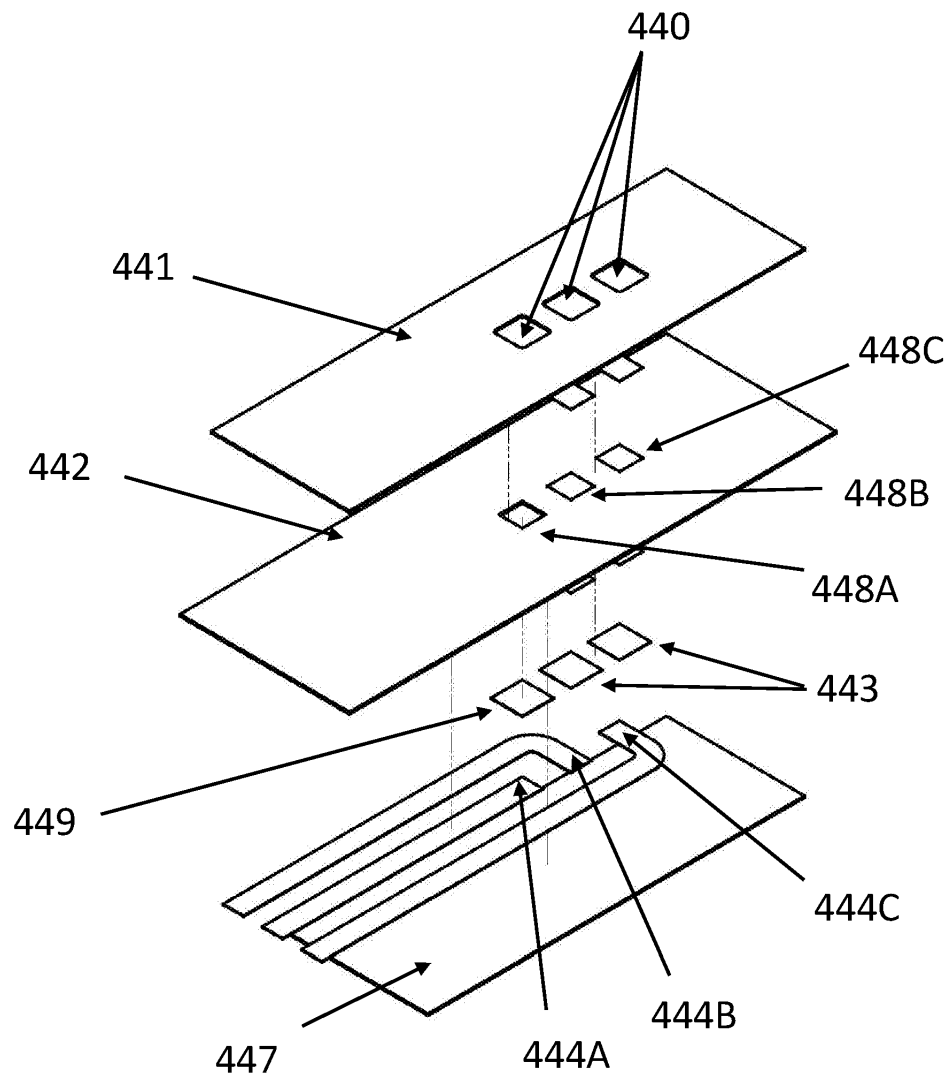
Stacking 공정 흐름



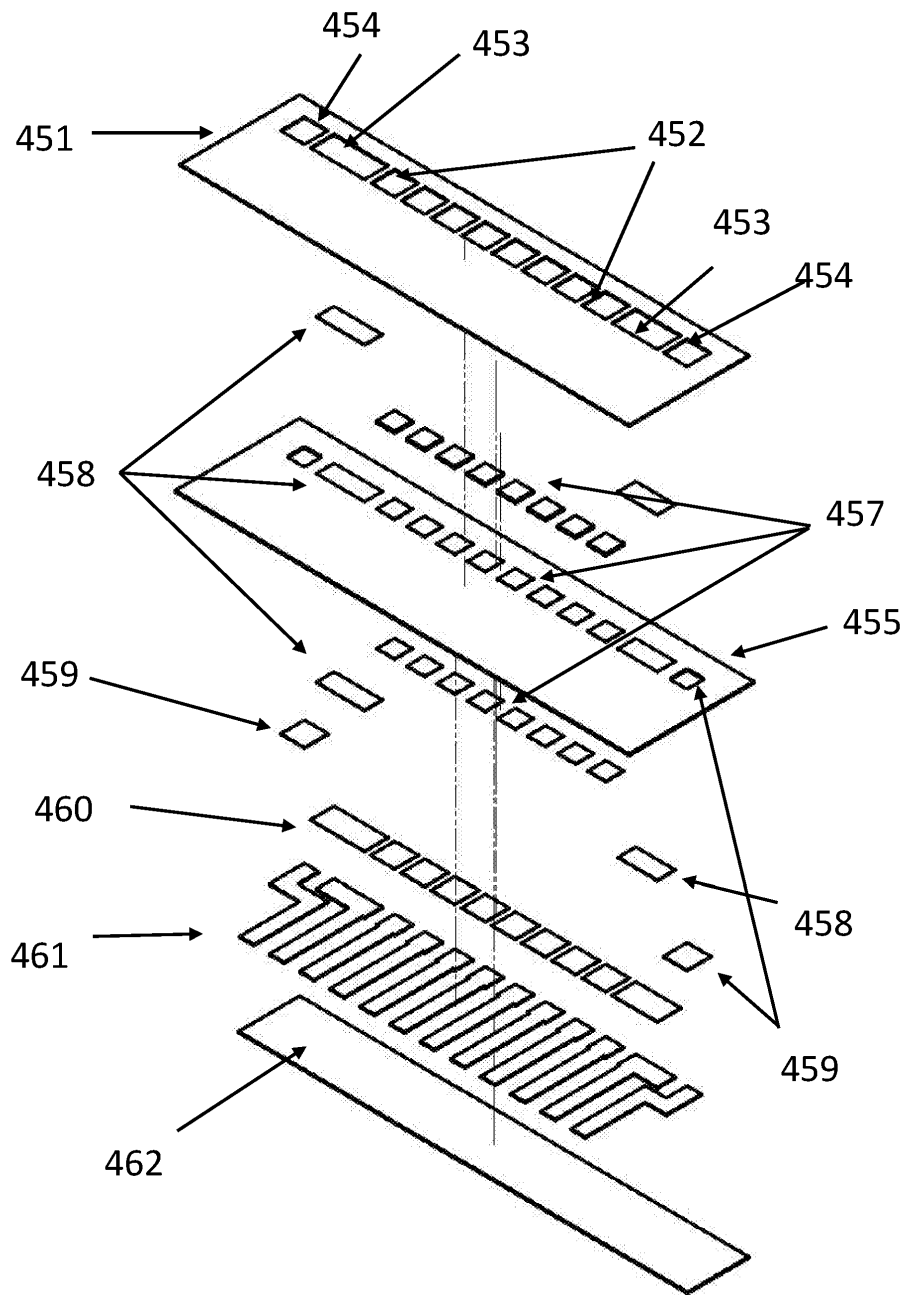
도면44a



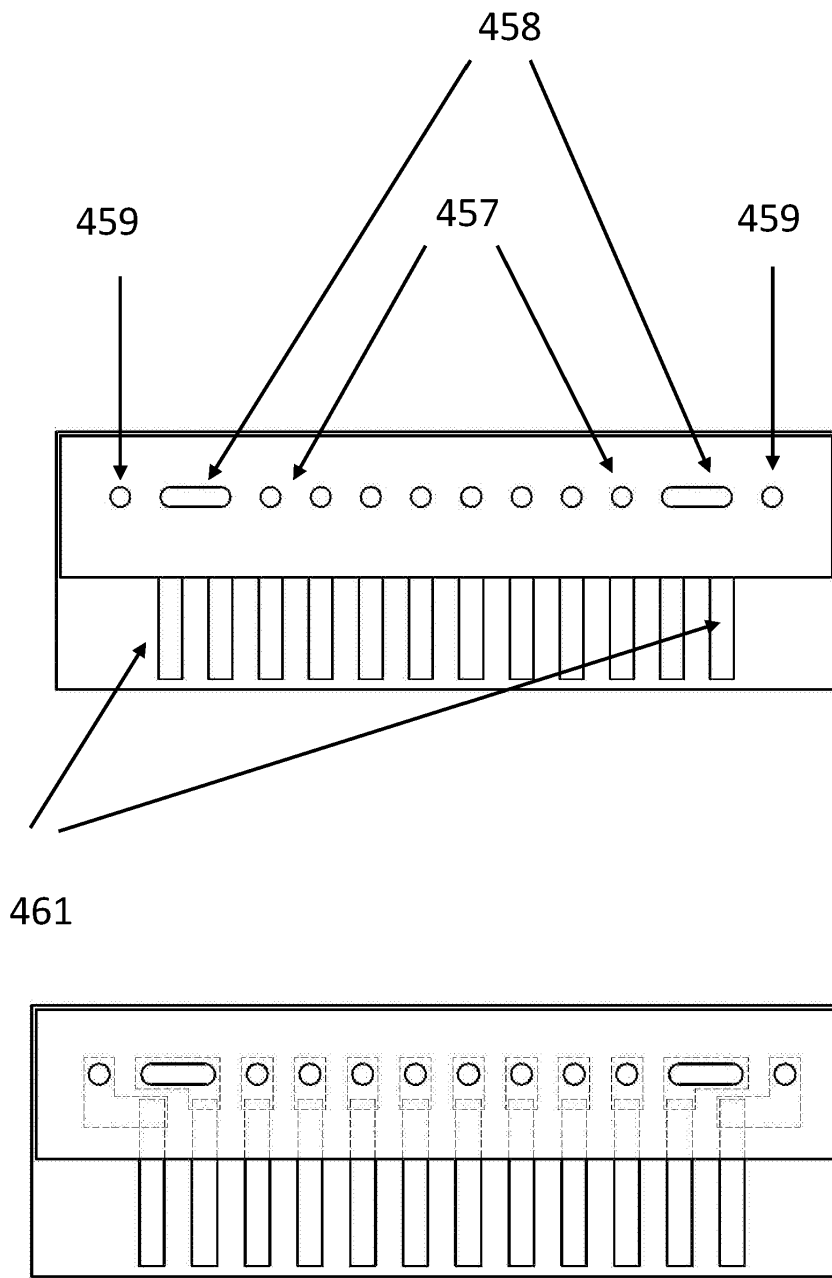
도면44b



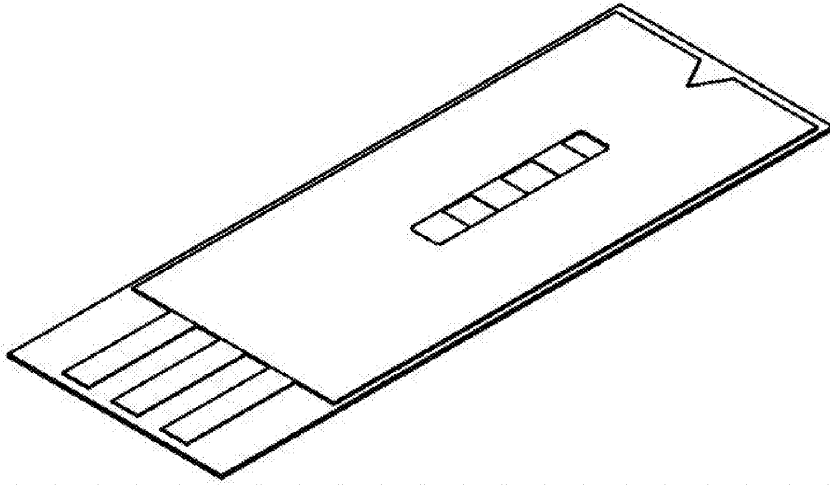
도면45a



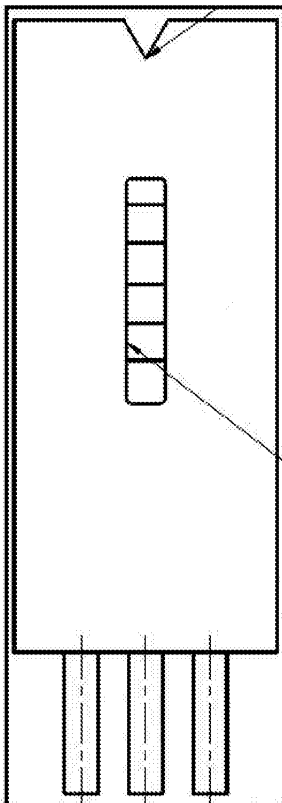
도면45b



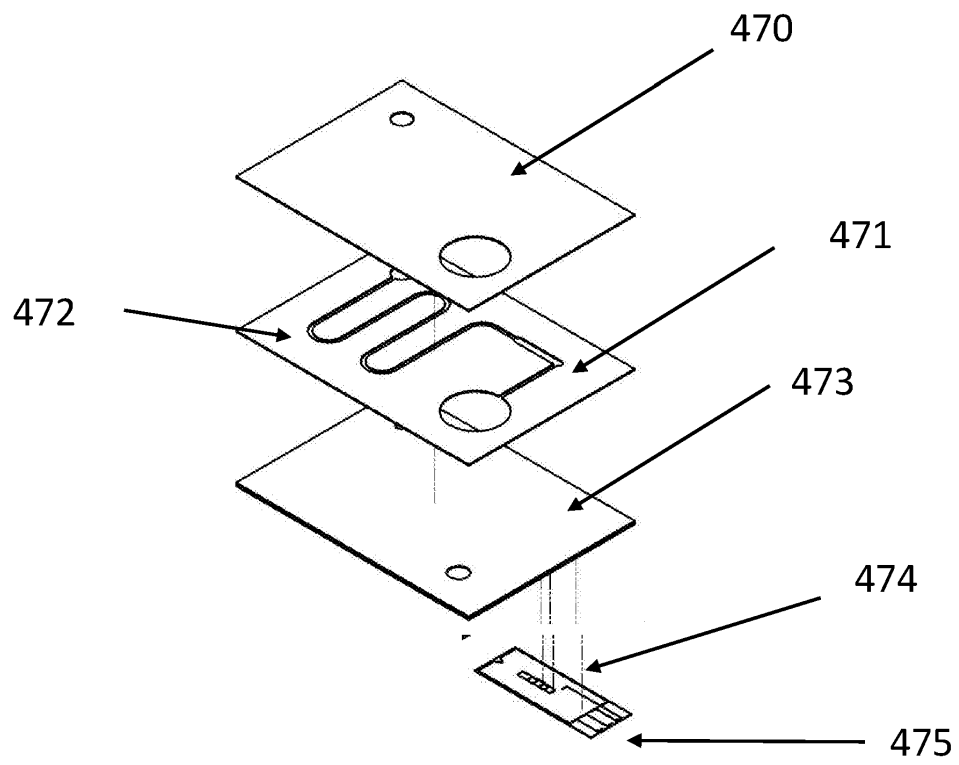
도면46a



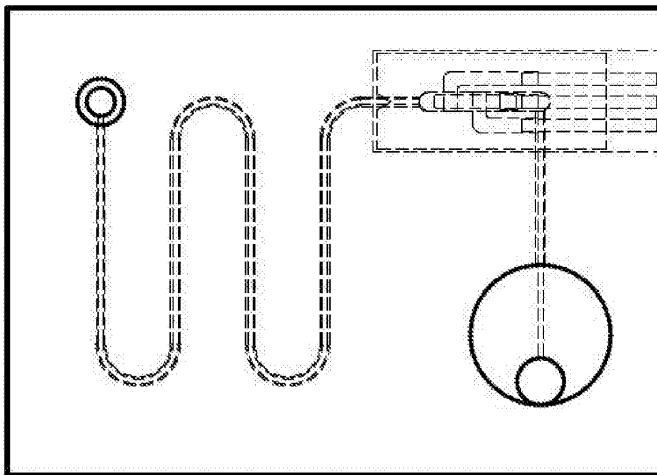
도면46b



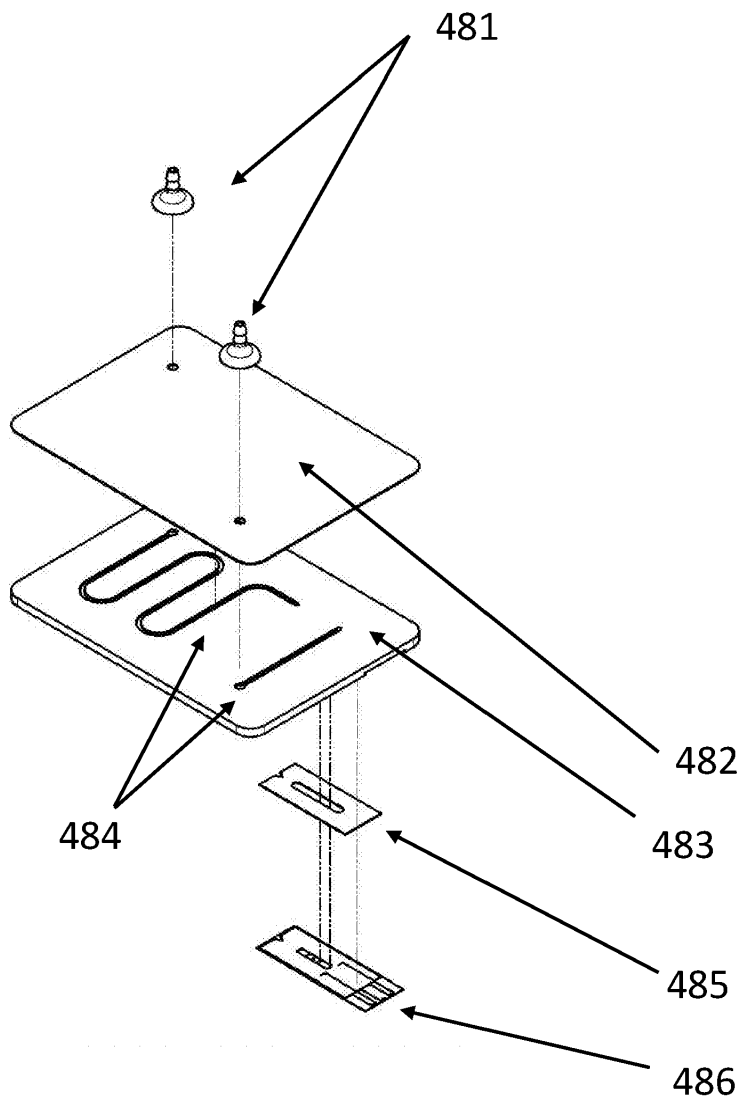
도면47a



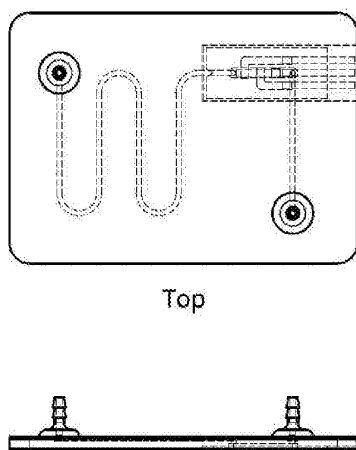
도면47b



도면48a



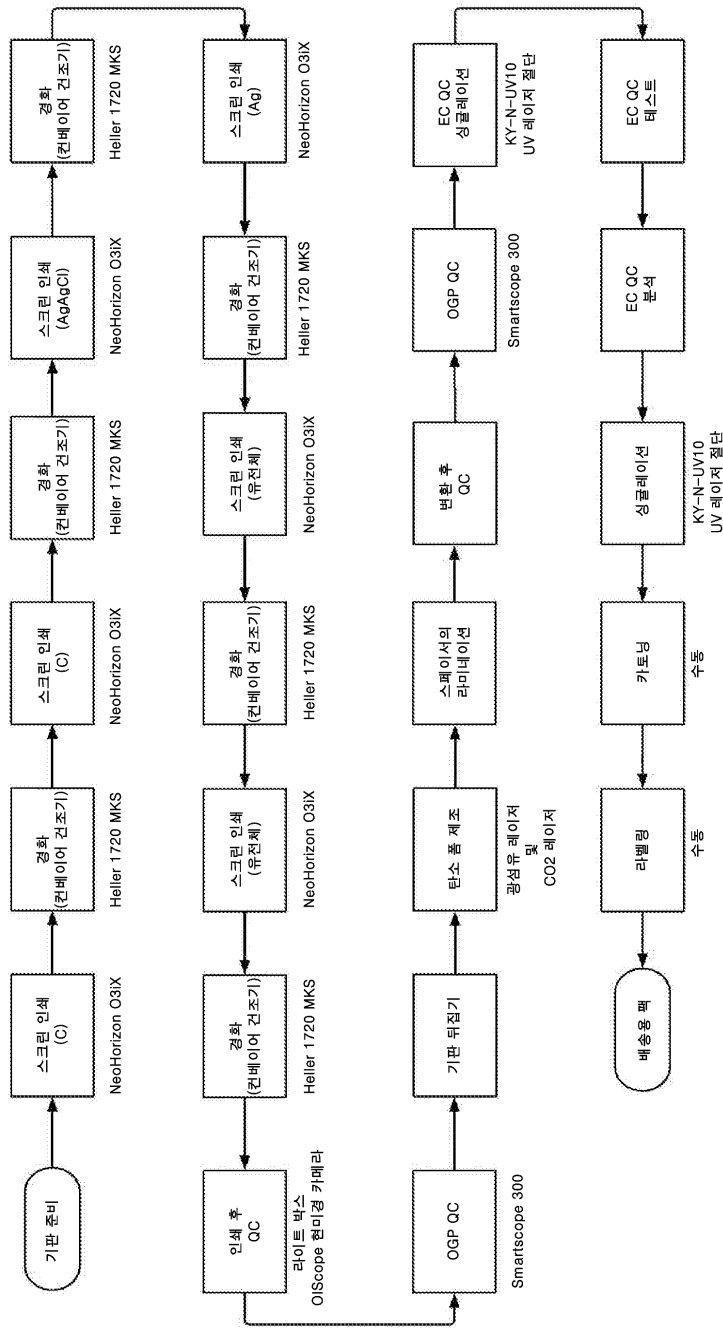
도면48b



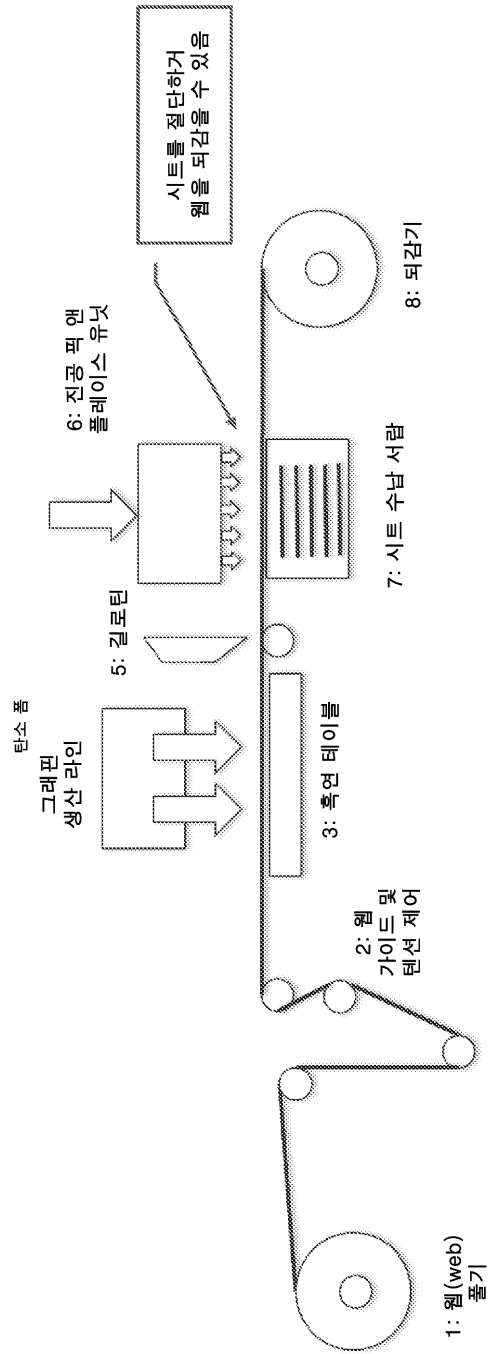
도면49

공정 흐름

Gli-Thru (HisLoc)



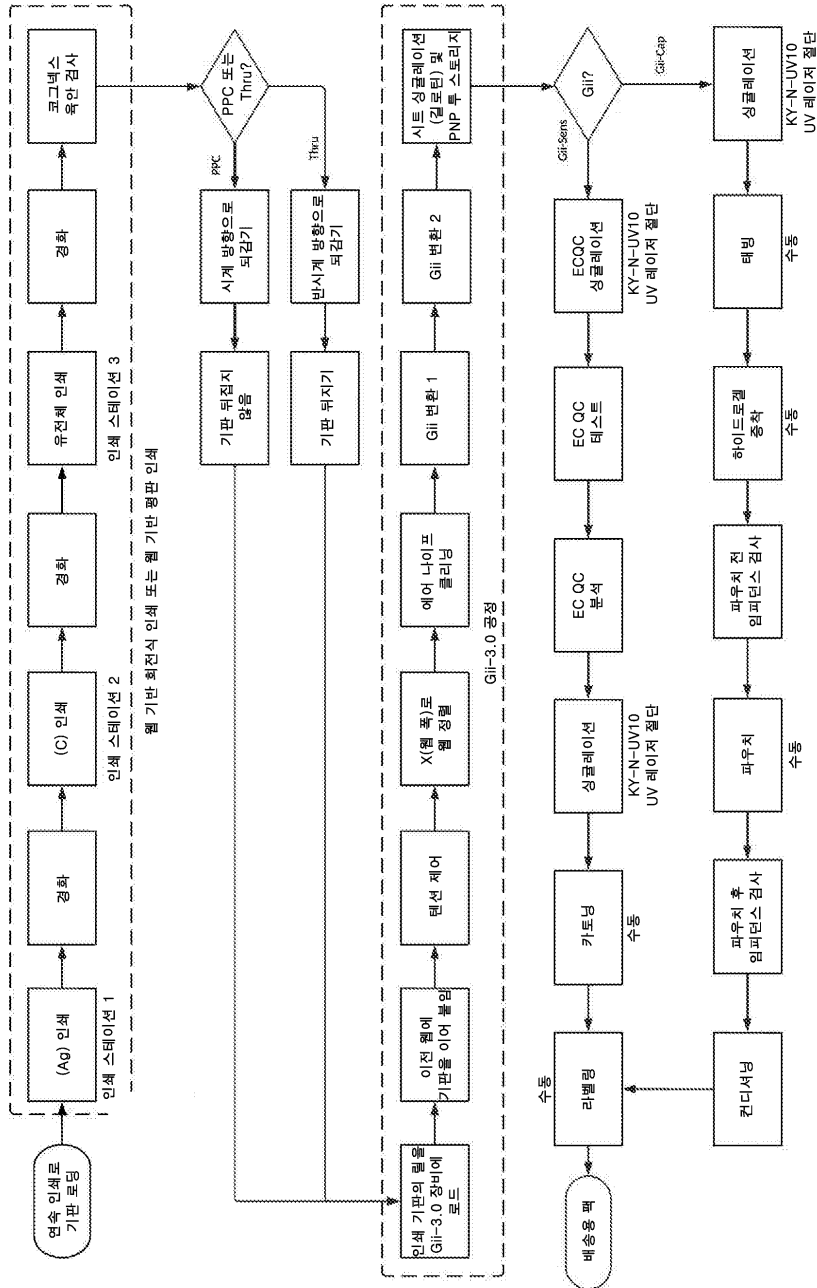
도면50



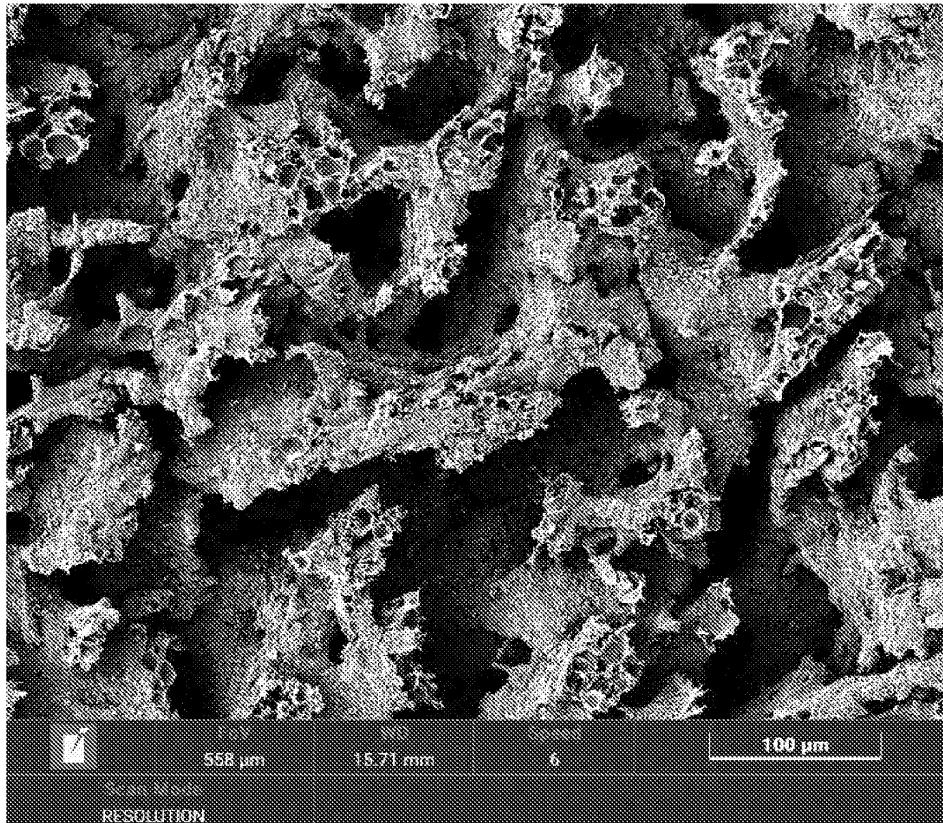
도면51

공정 흐름

PPC 또는 Thru Gii-3.0(개념)

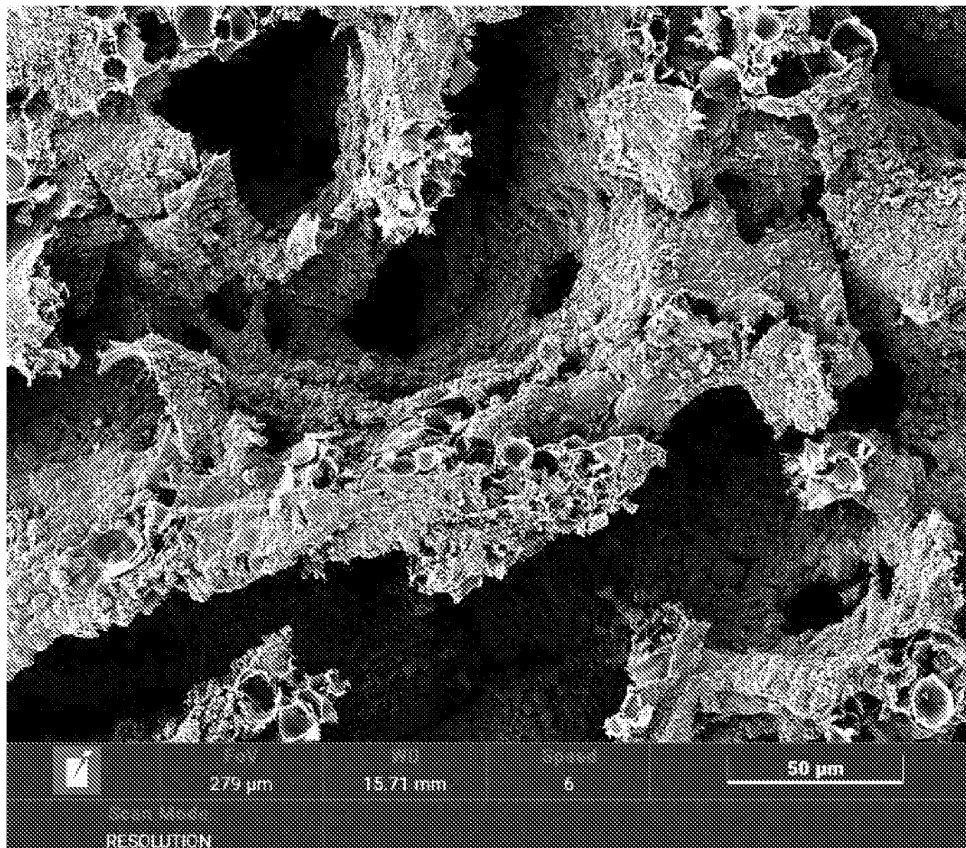


도면52



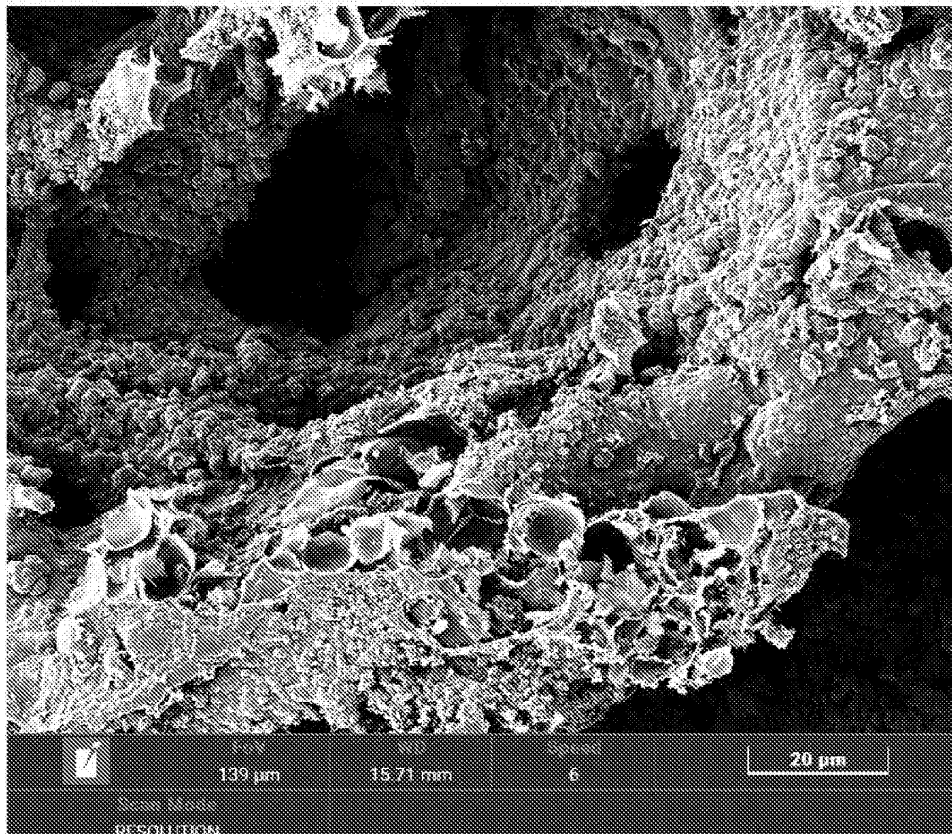
100 μ m

도면53



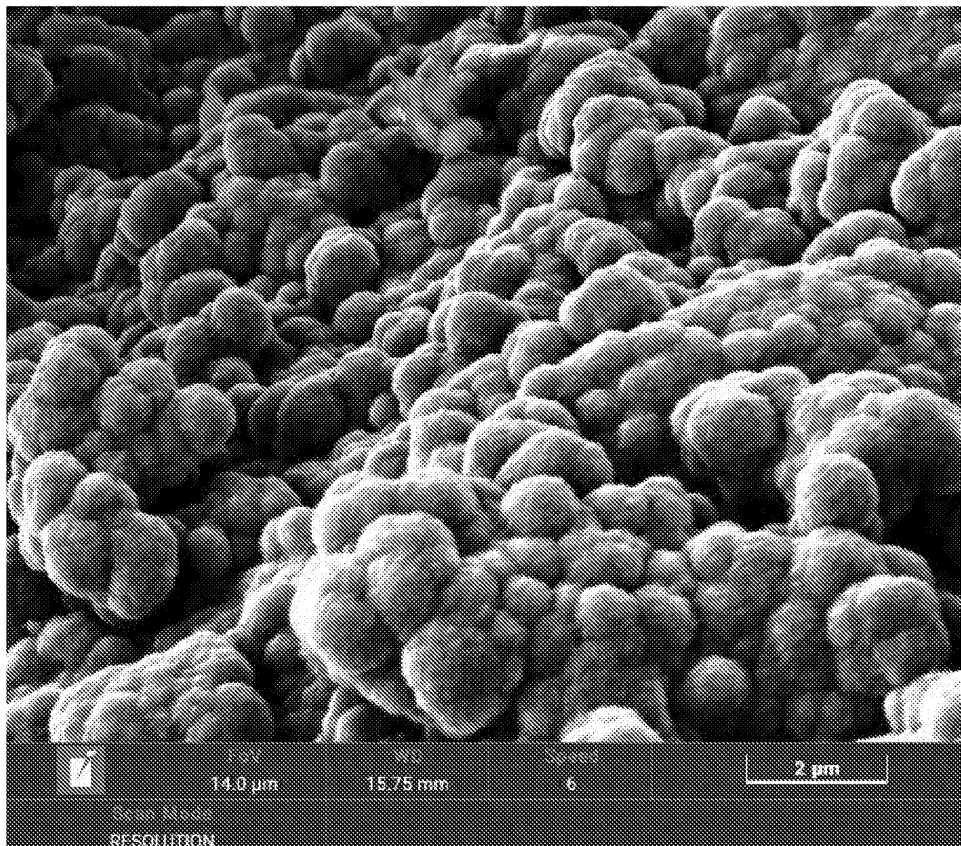
50 μm

도면54



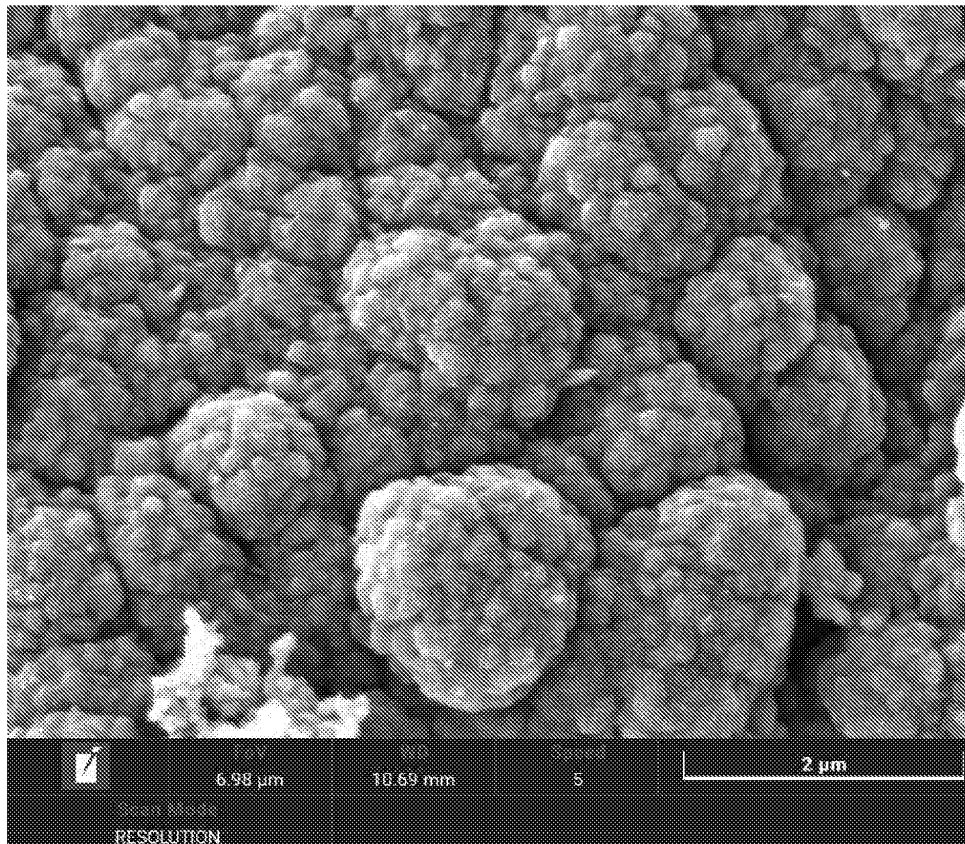
20 μm

도면55



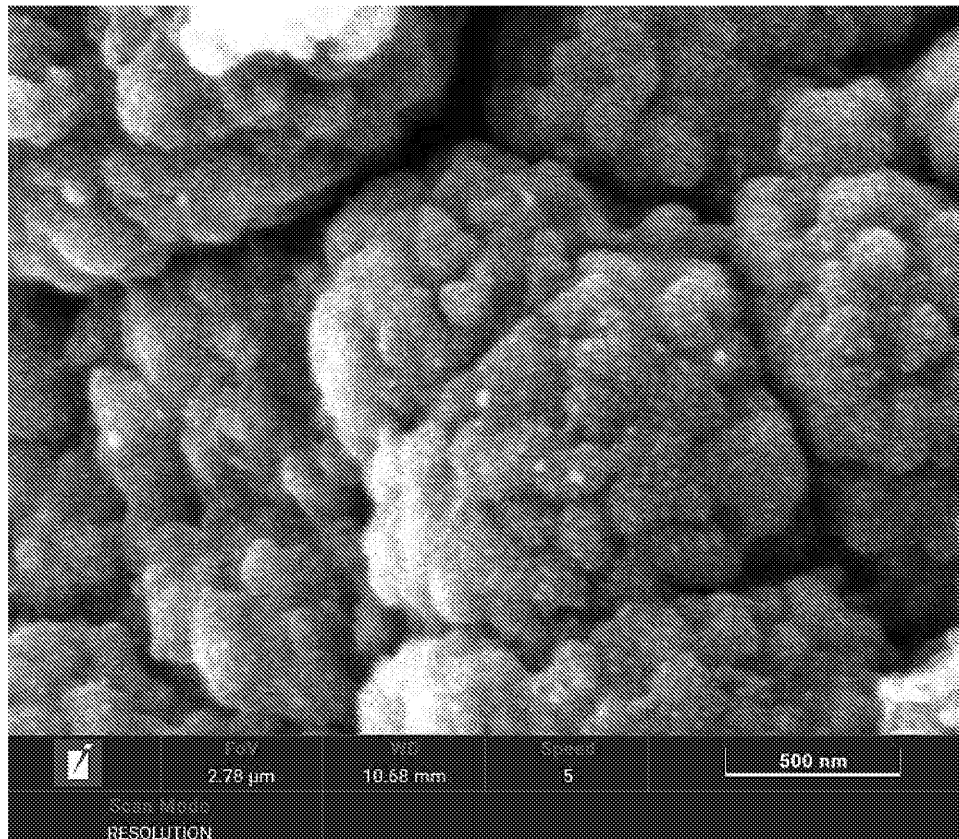
2 μm

도면56



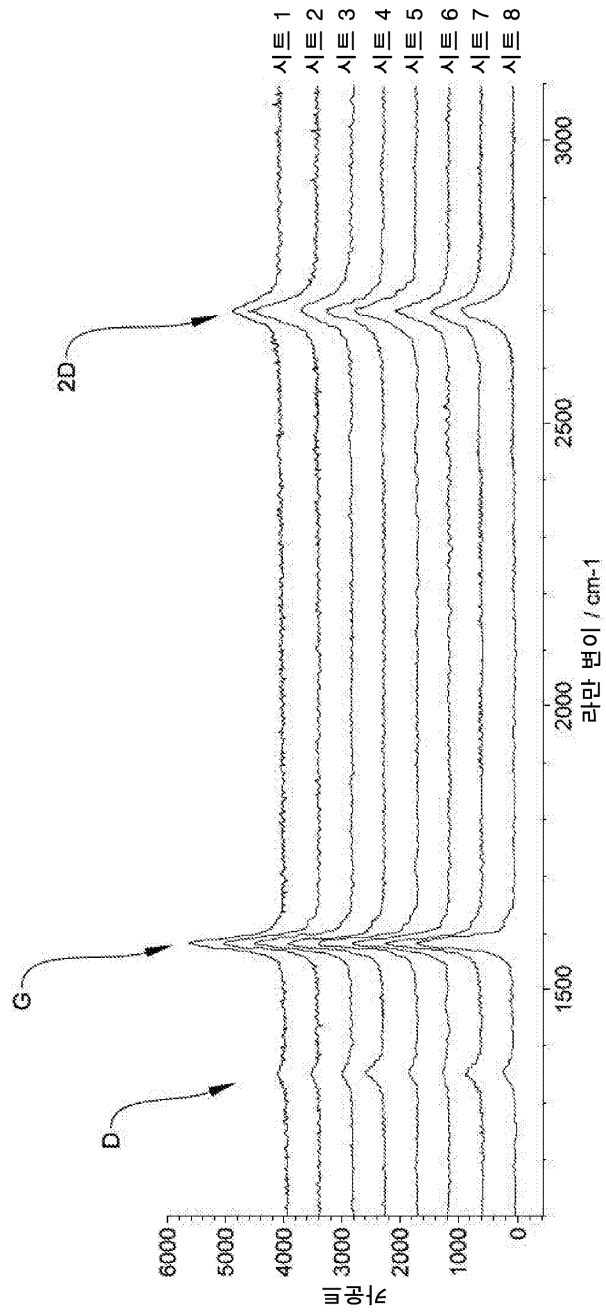
2 μm

도면57

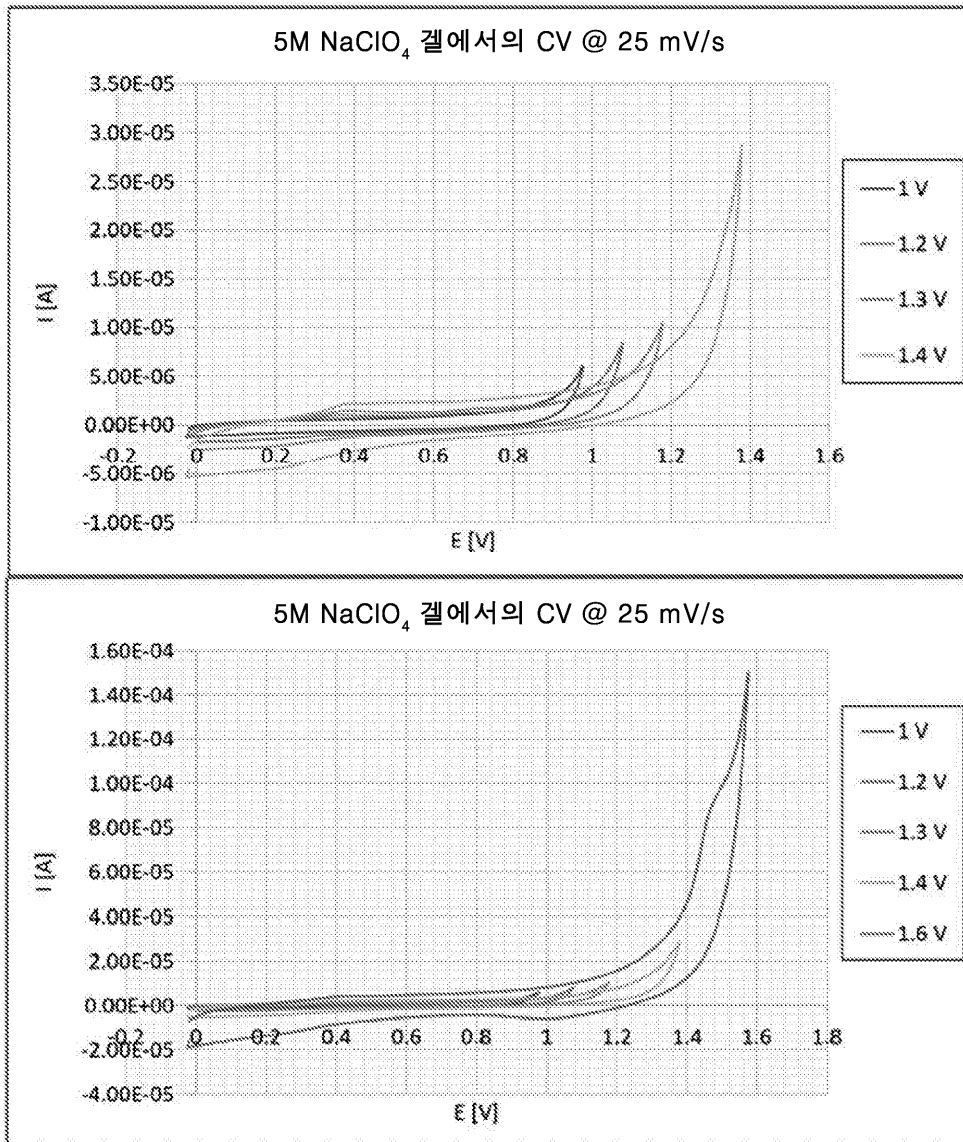


500nm

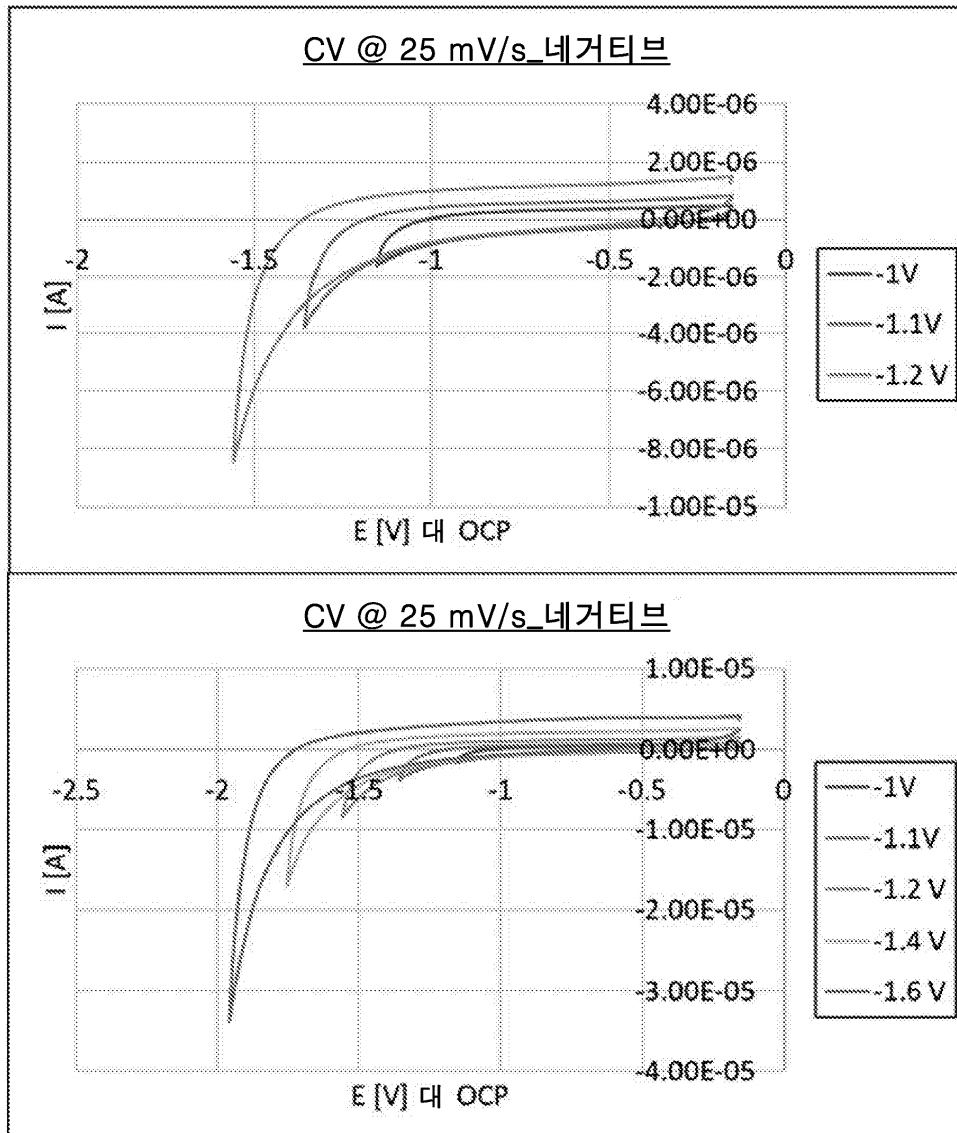
도면58



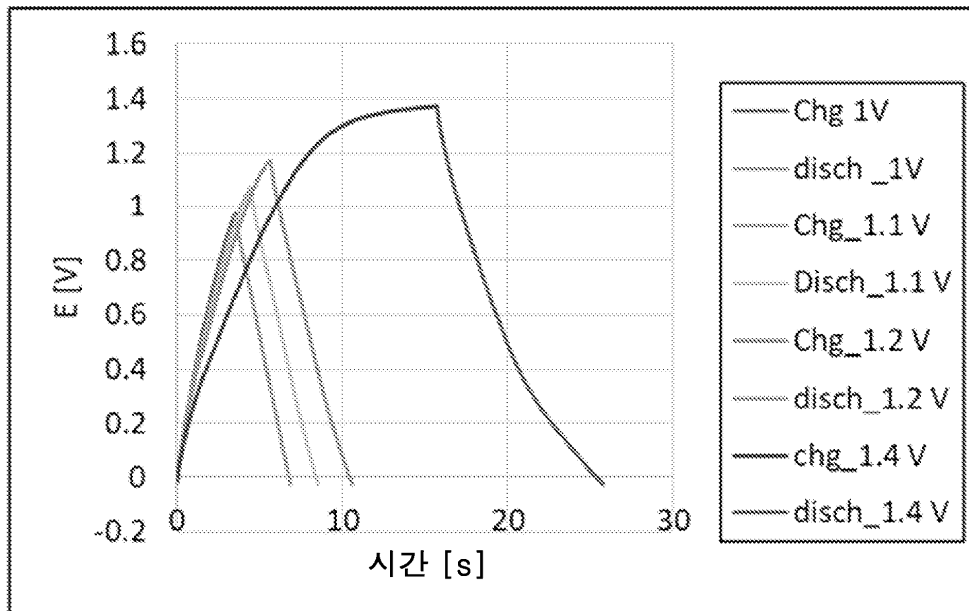
도면59



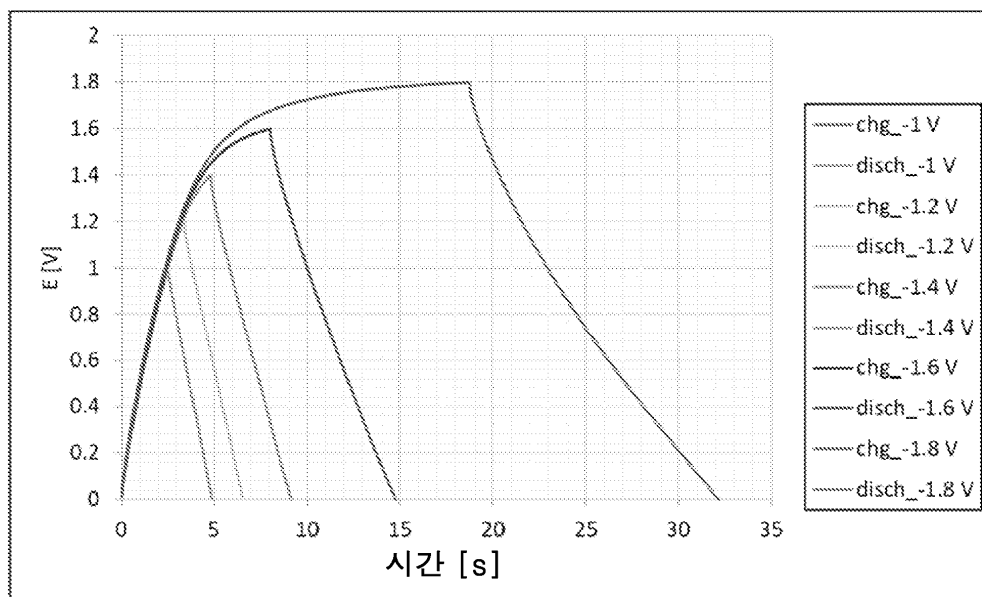
도면60



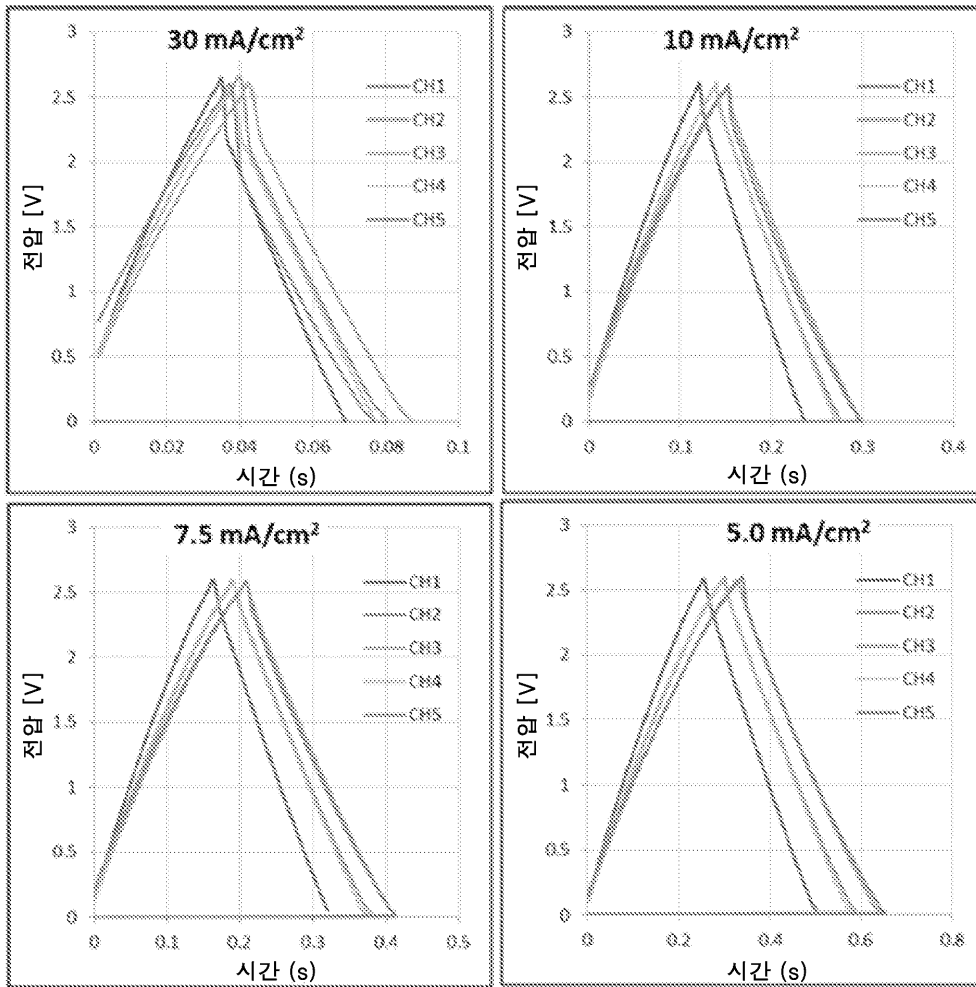
도면61



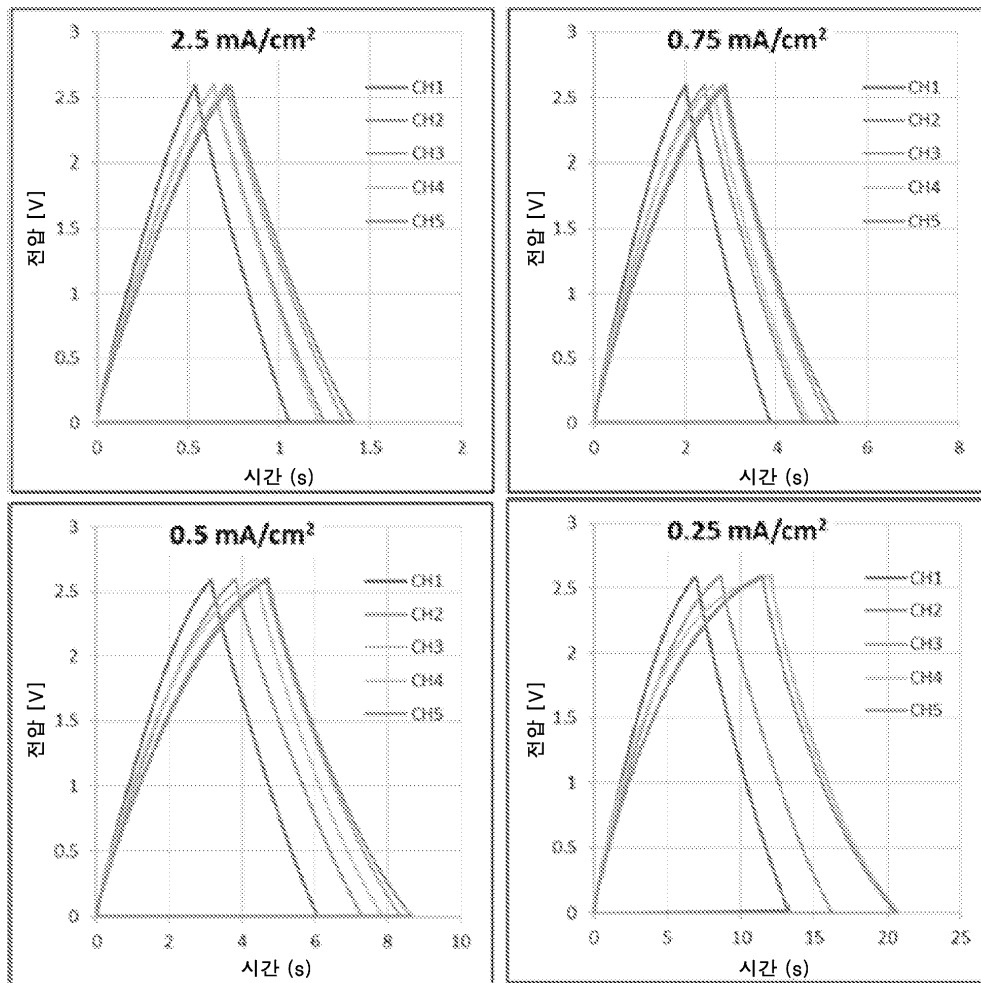
도면62



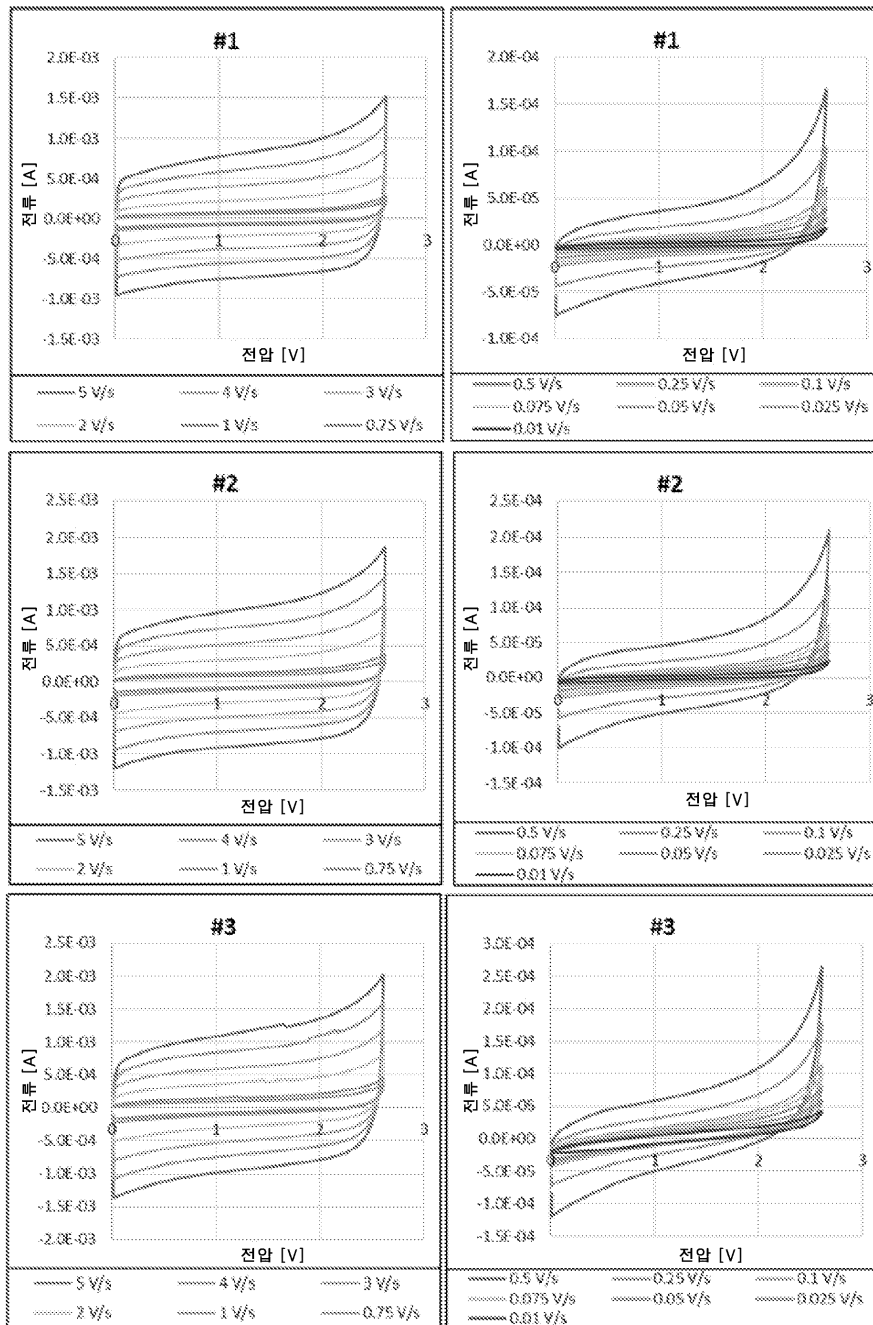
도면63a



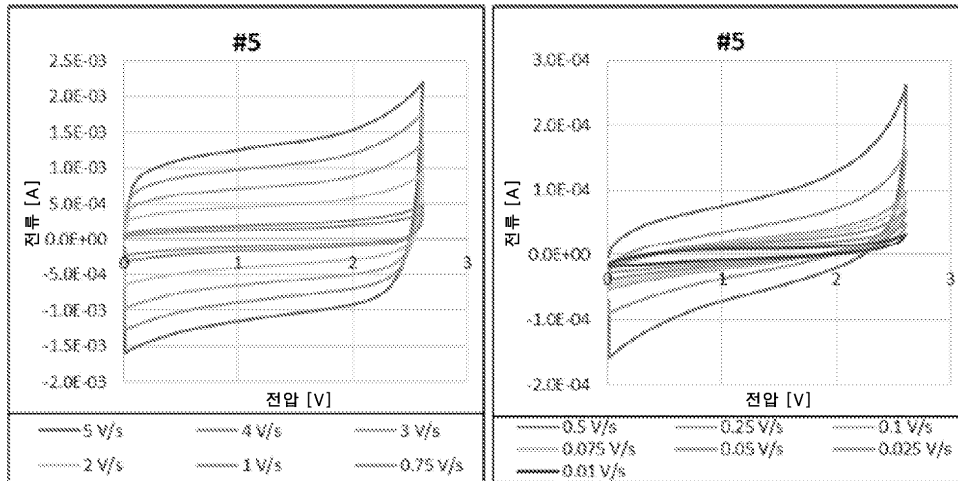
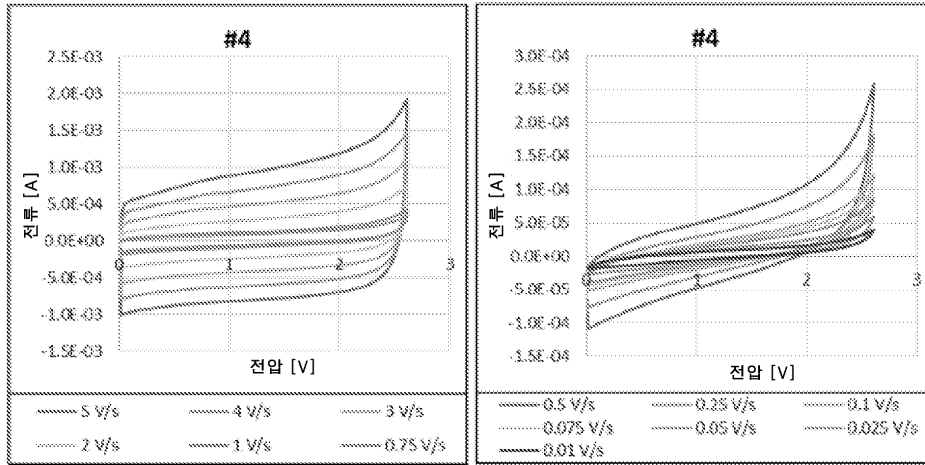
도면63b



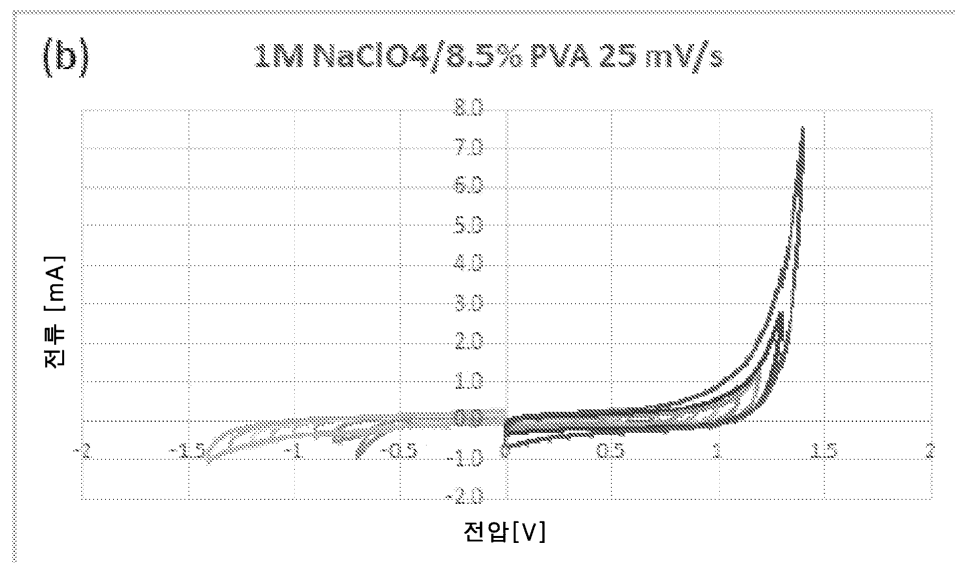
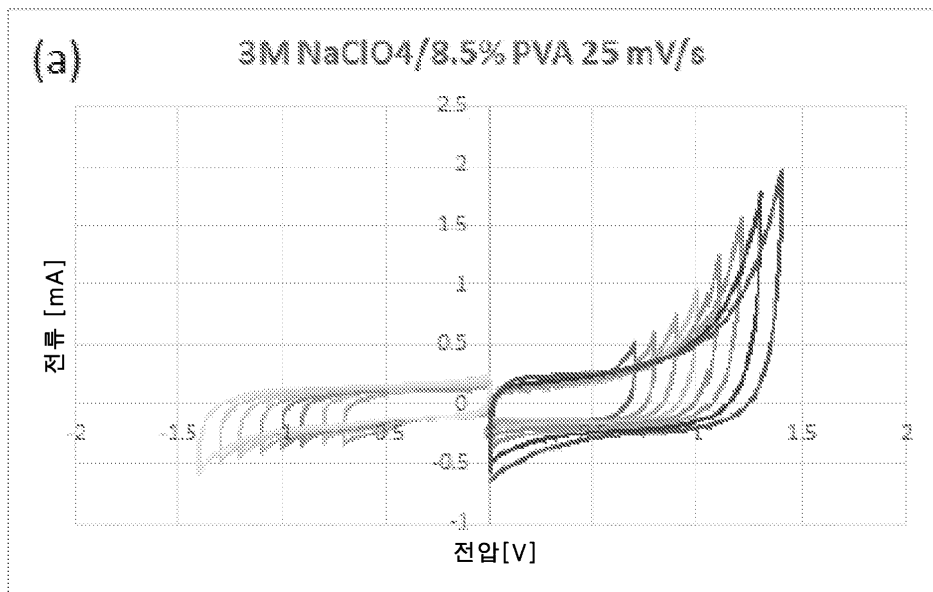
도면64a



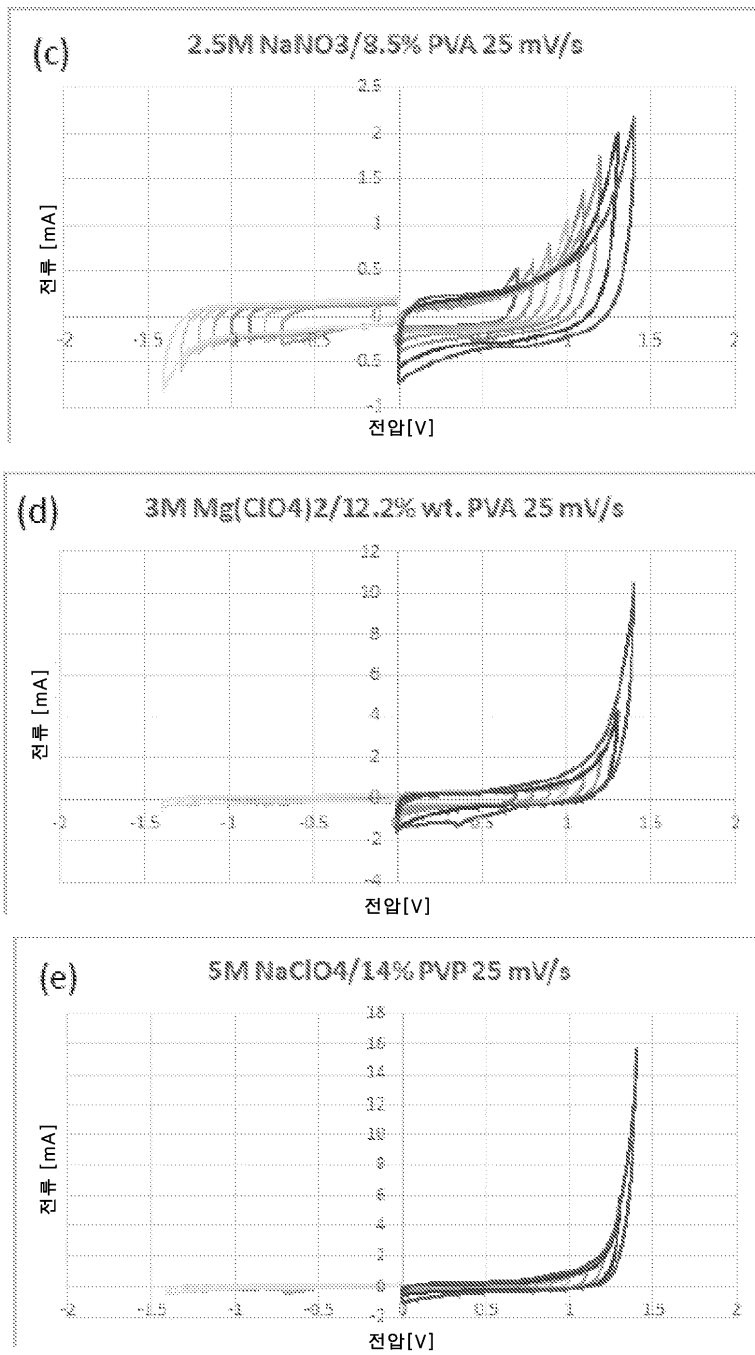
도면64b



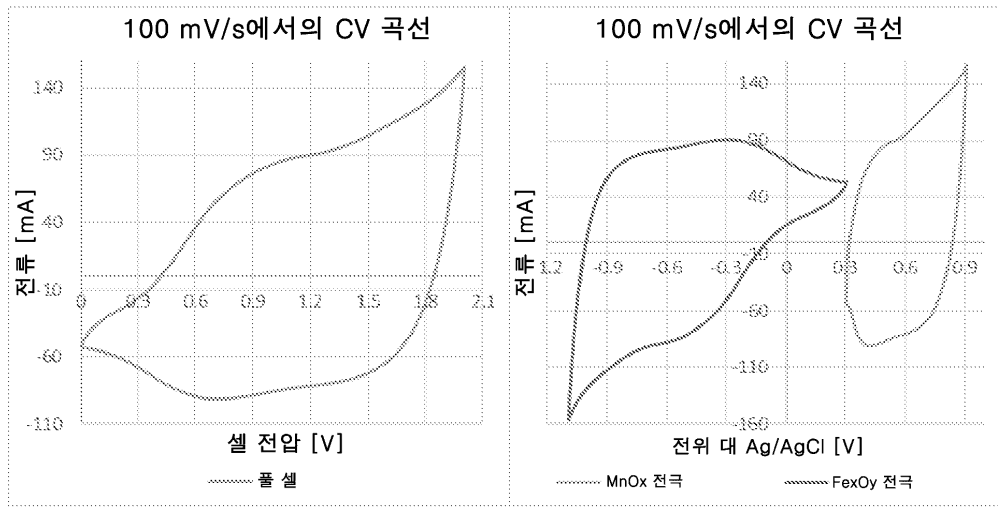
도면65a



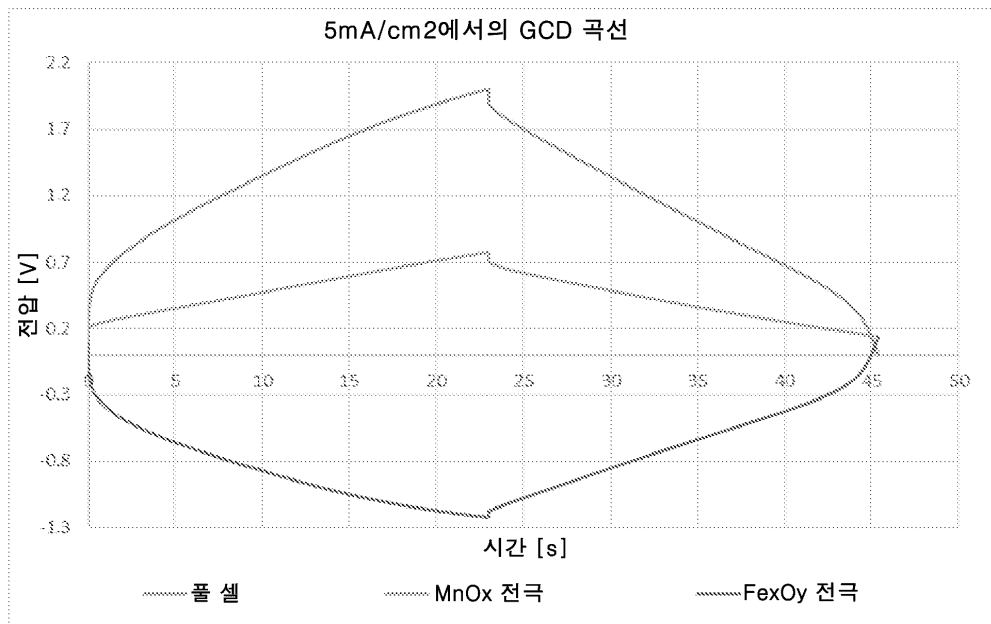
도면65b



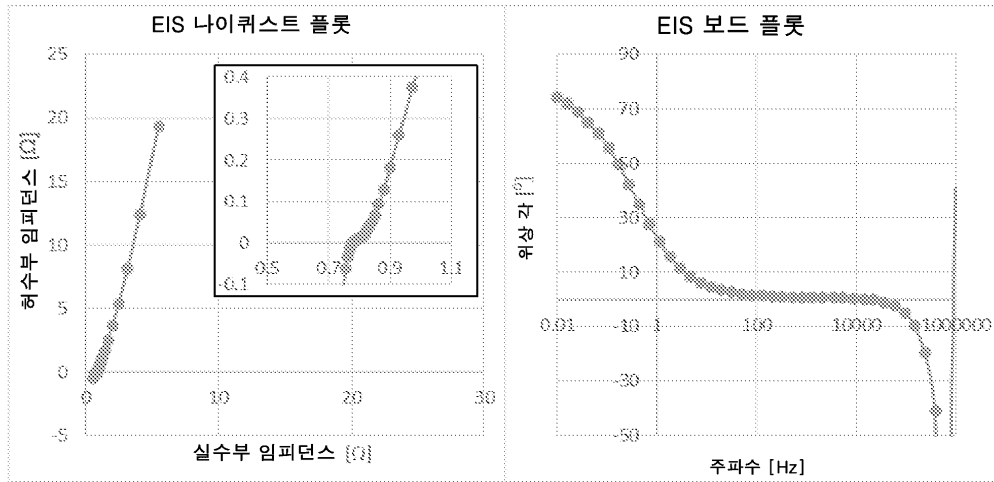
도면66



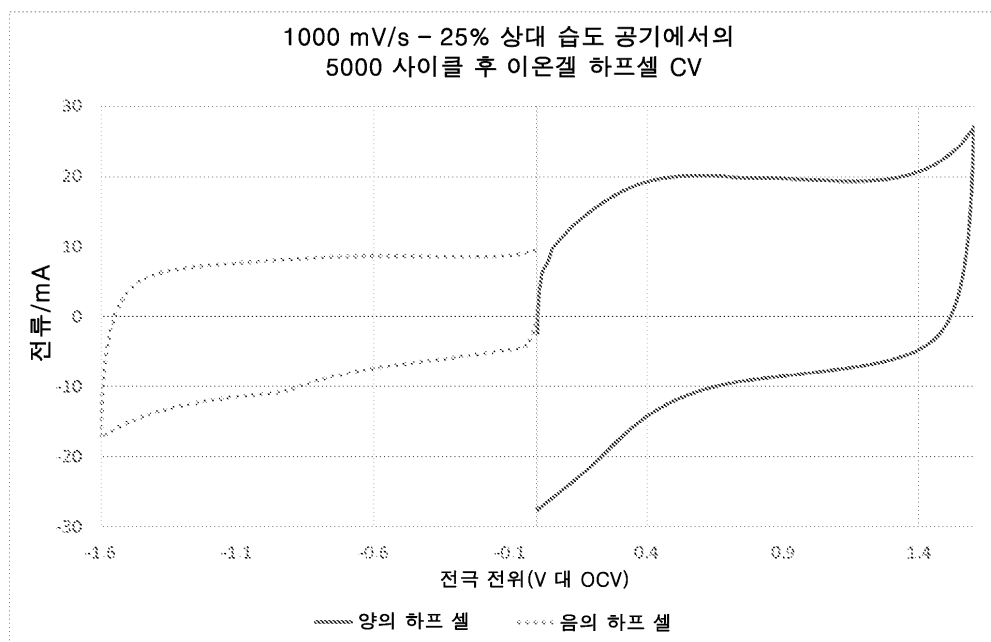
도면67



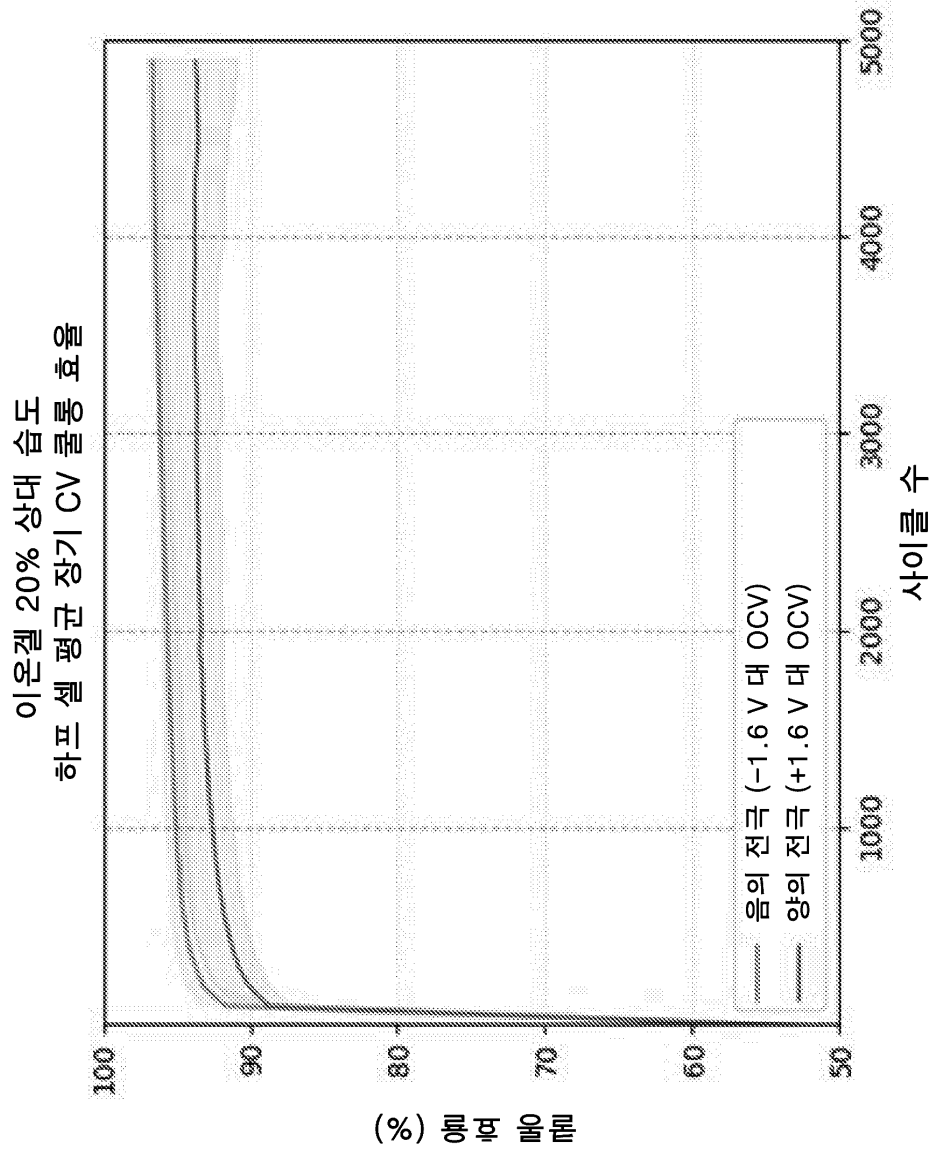
도면68



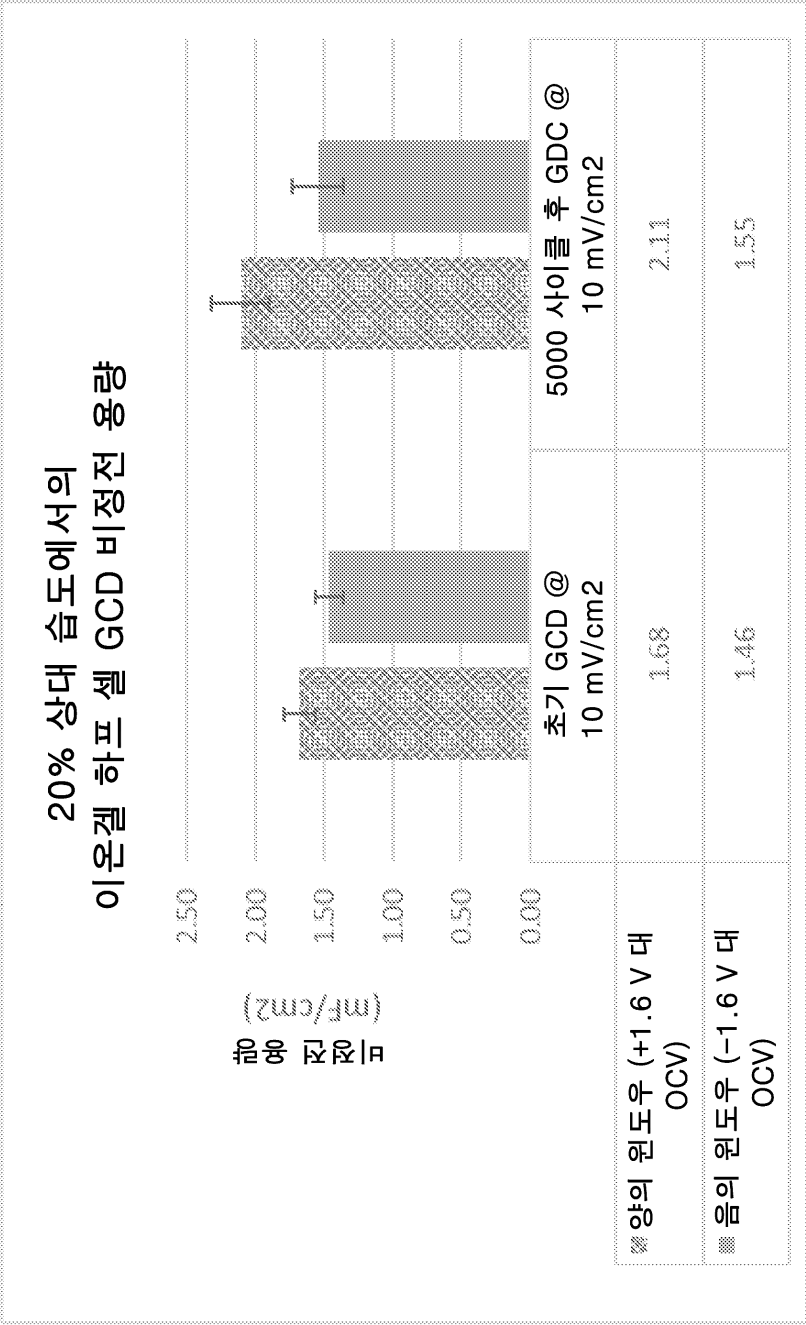
도면69



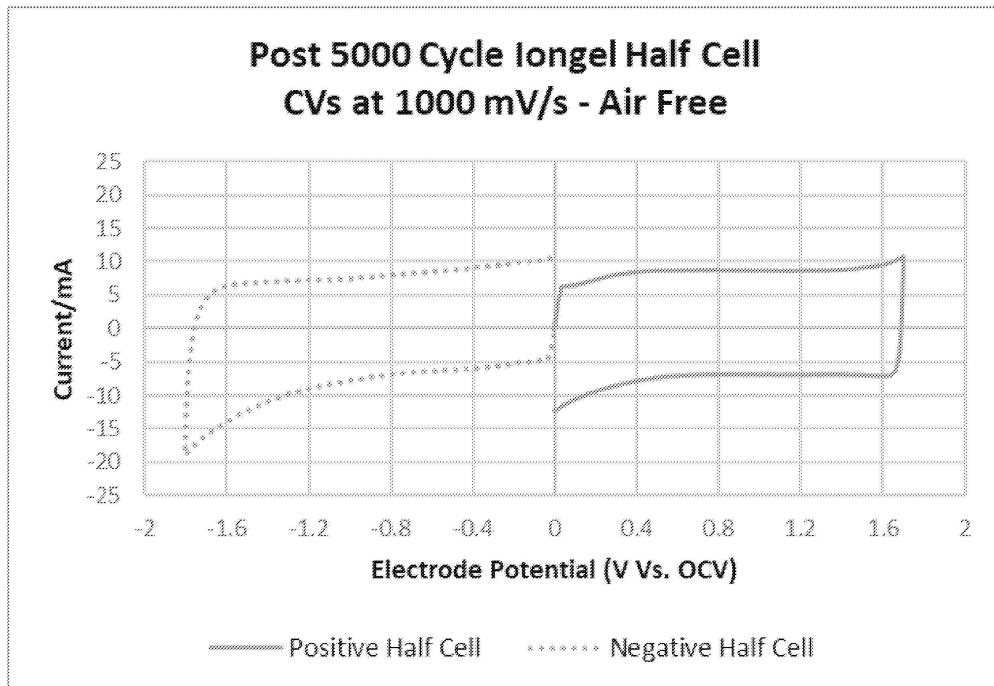
도면70



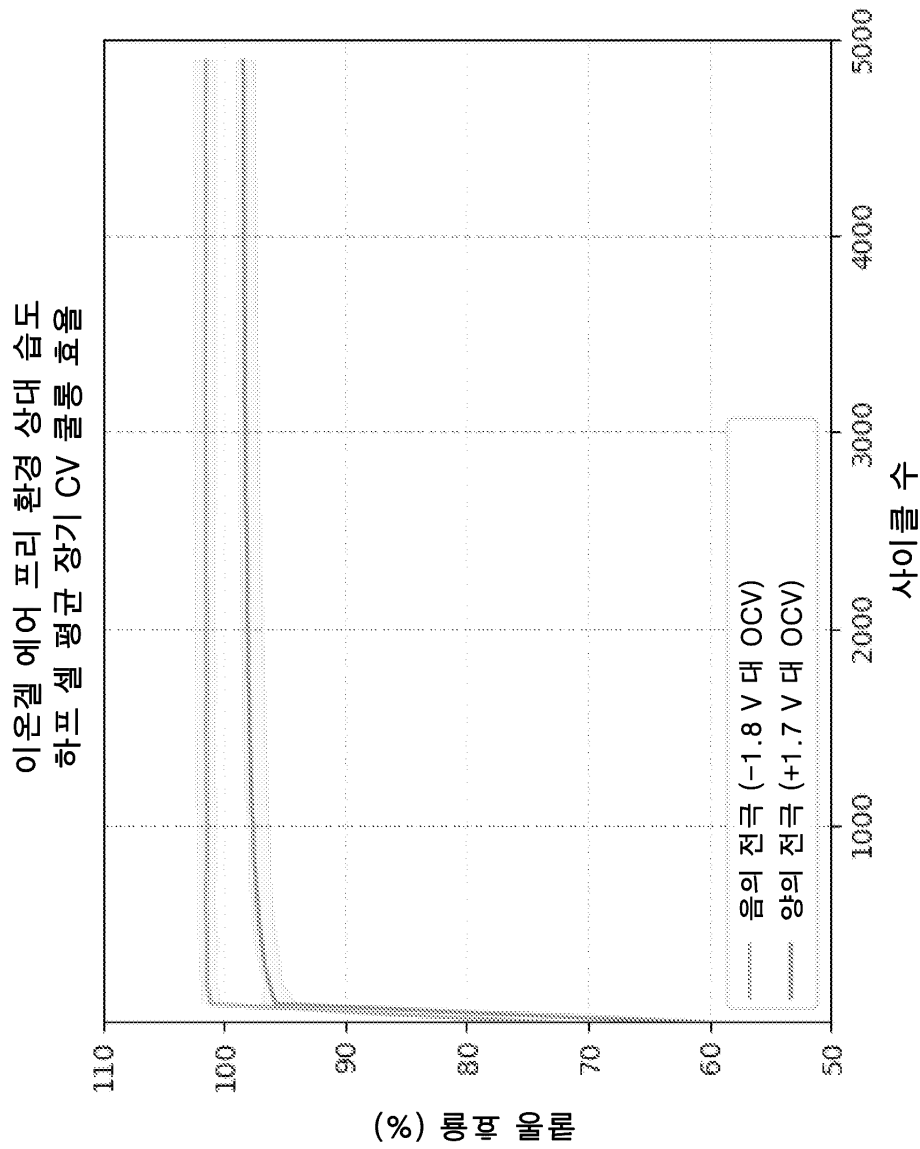
도면71



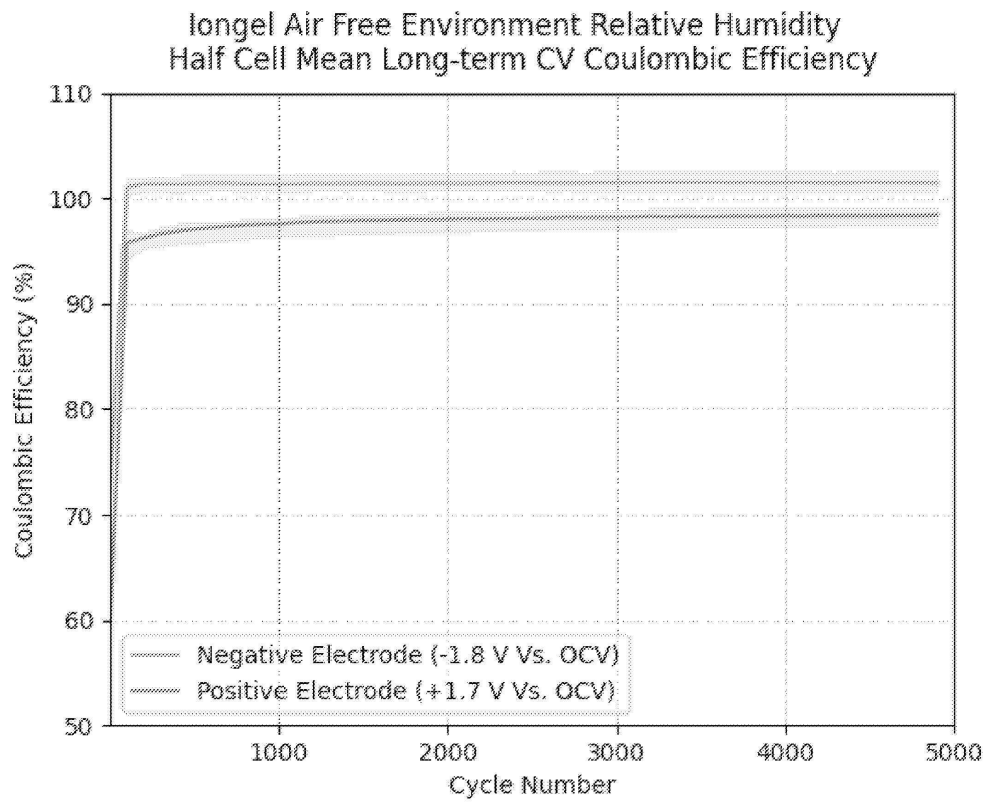
도면72



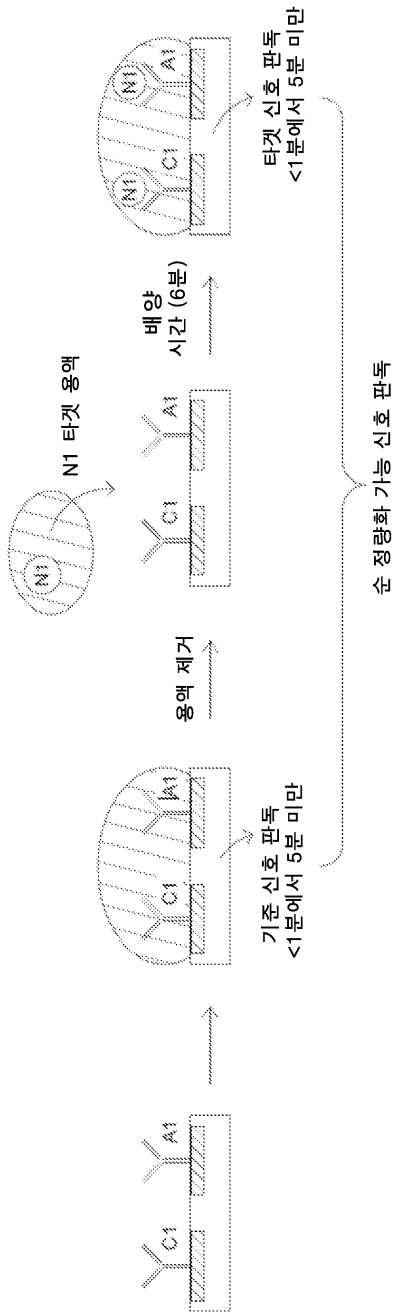
도면73



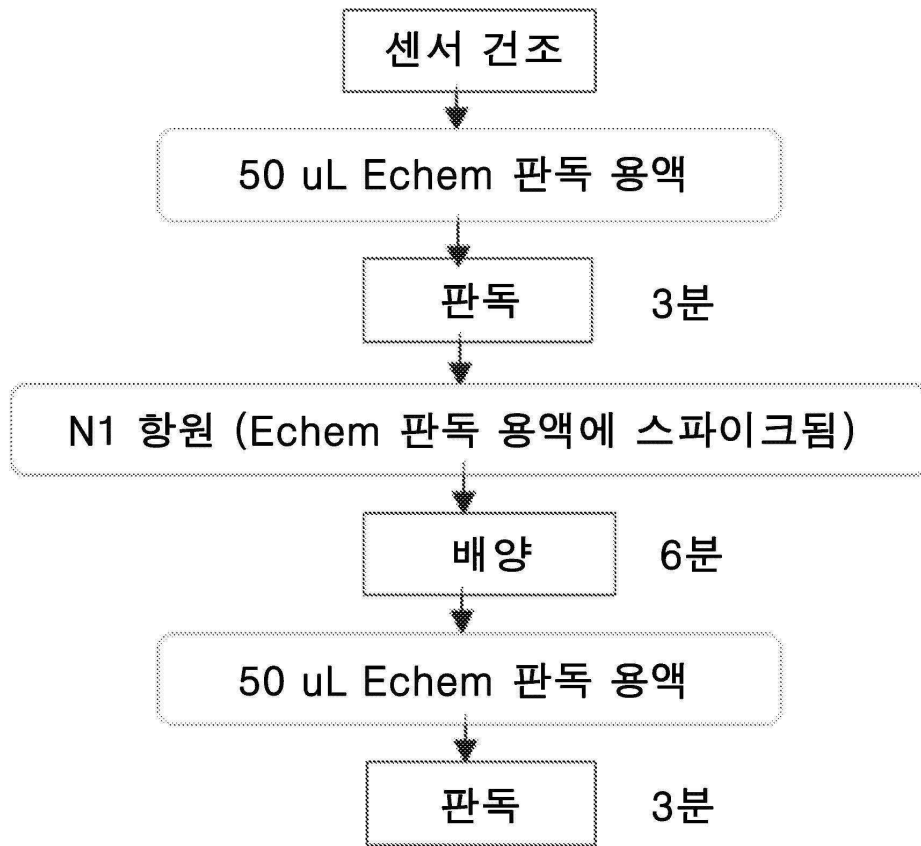
도면74



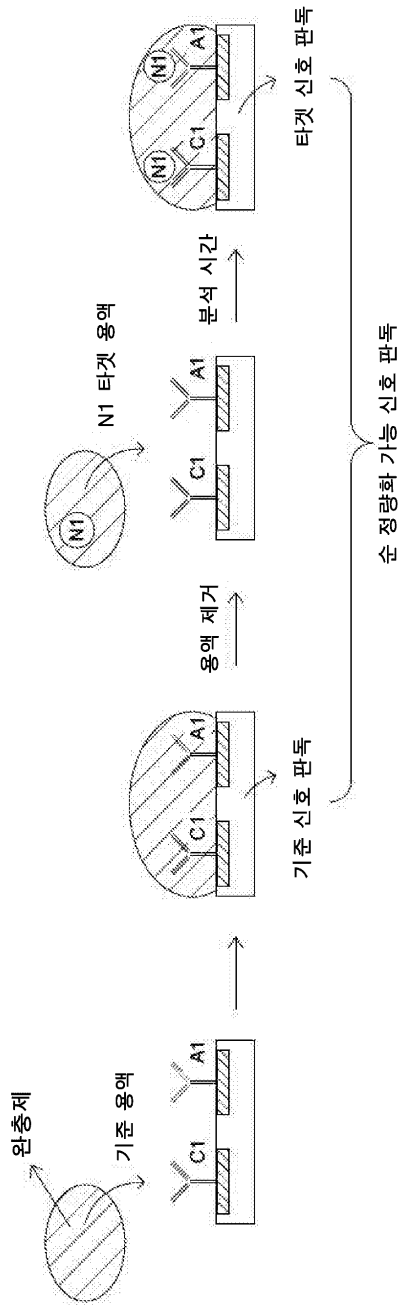
도면75



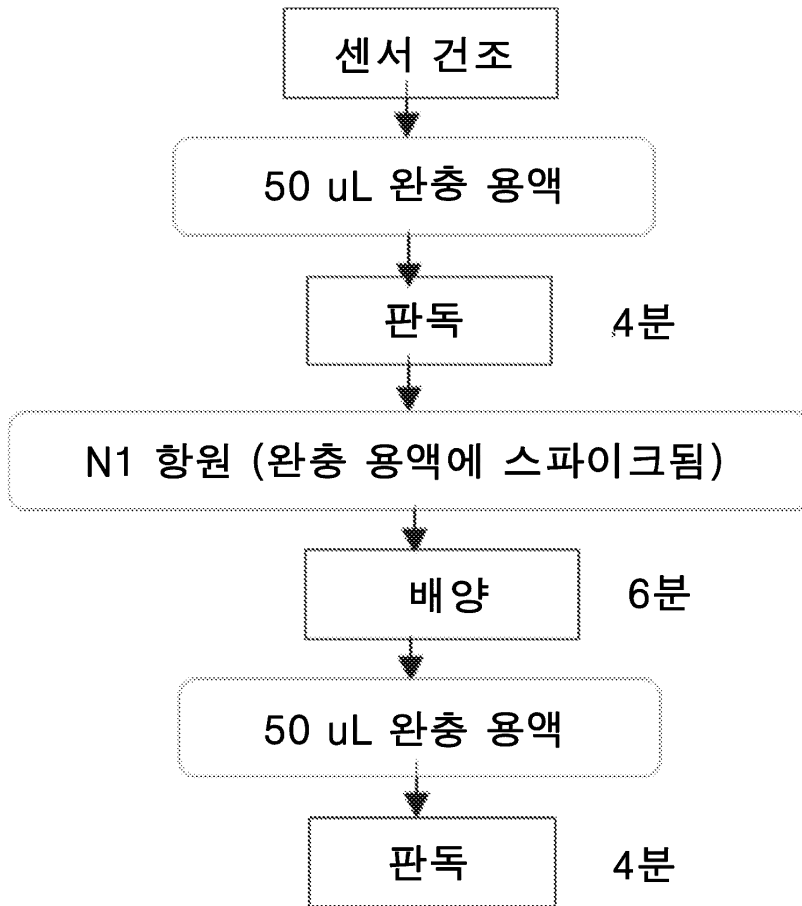
도면76



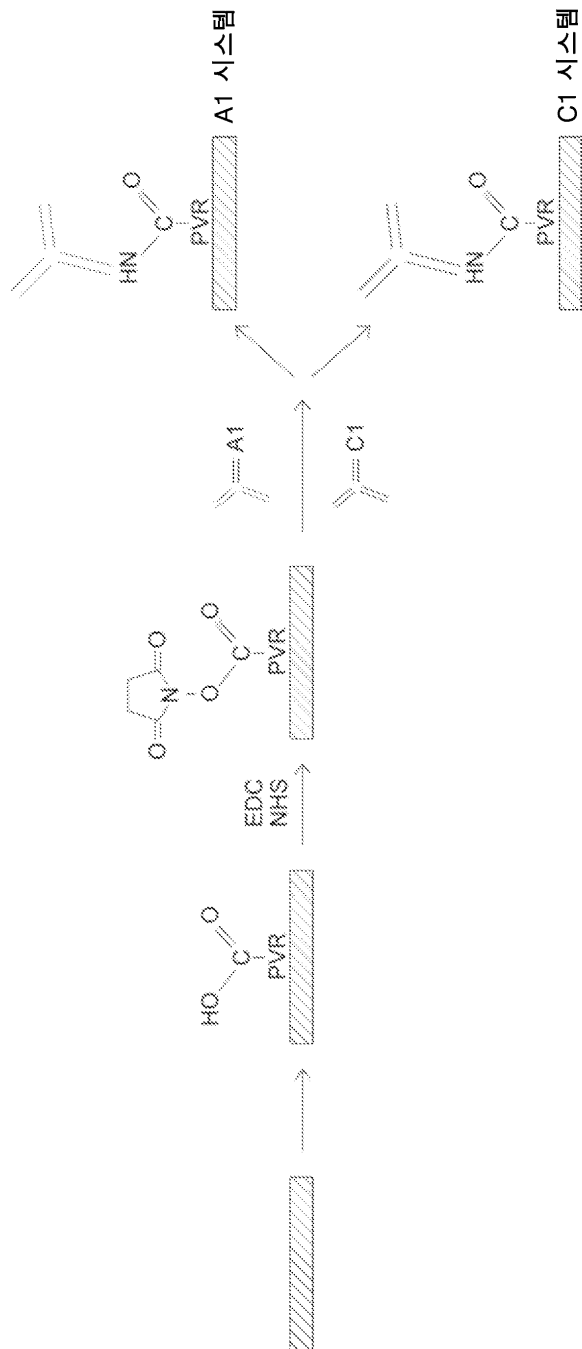
도면77



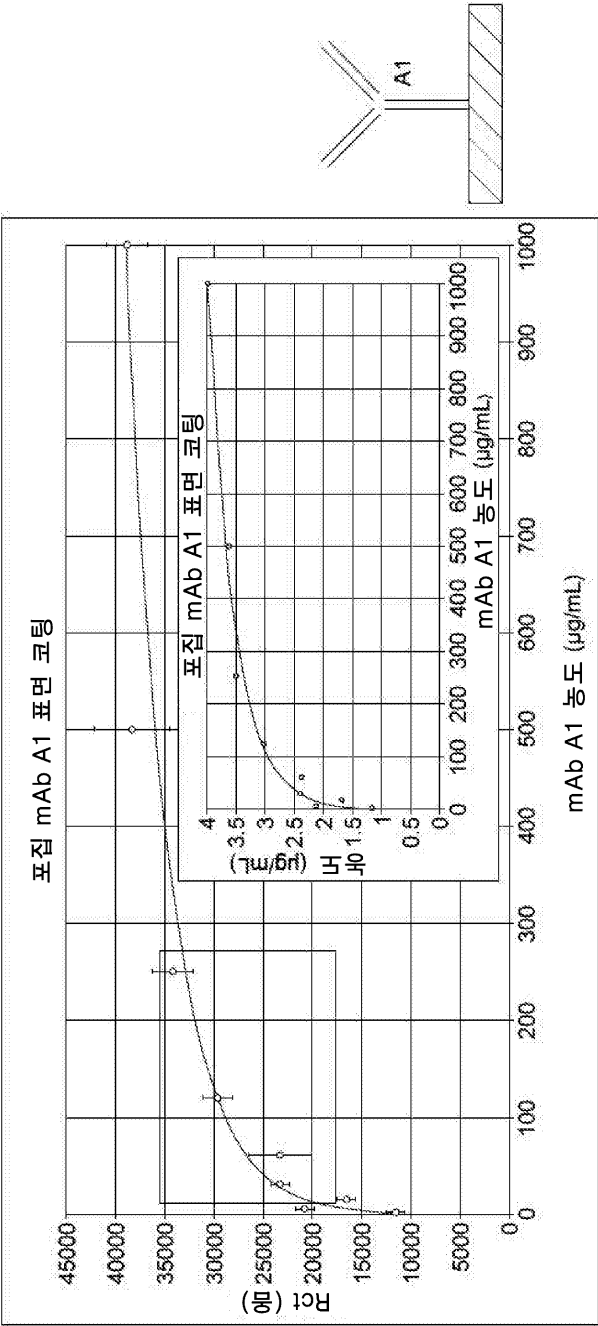
도면78



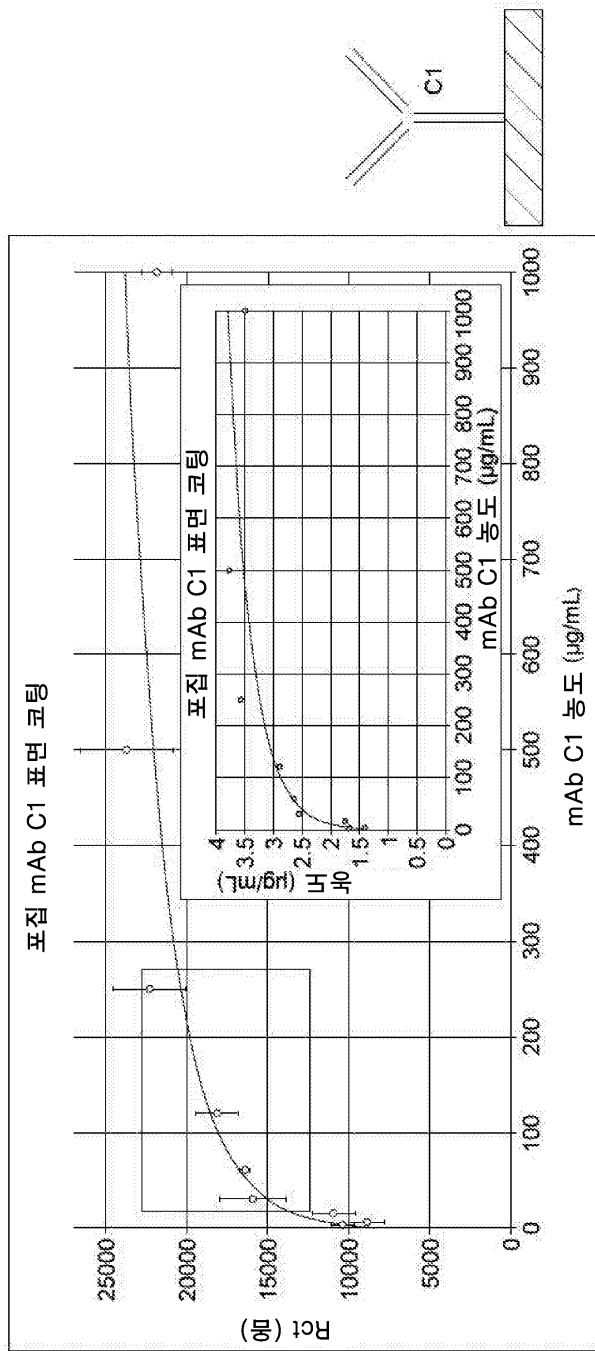
도면79



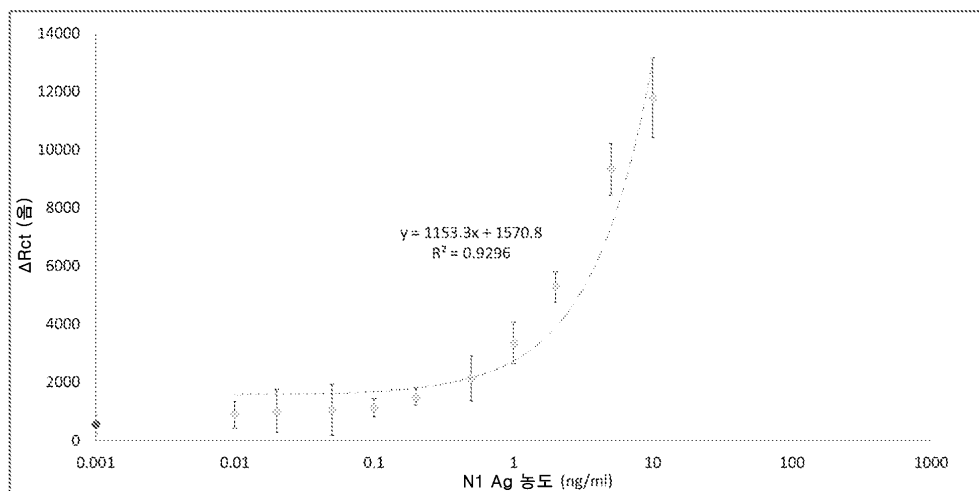
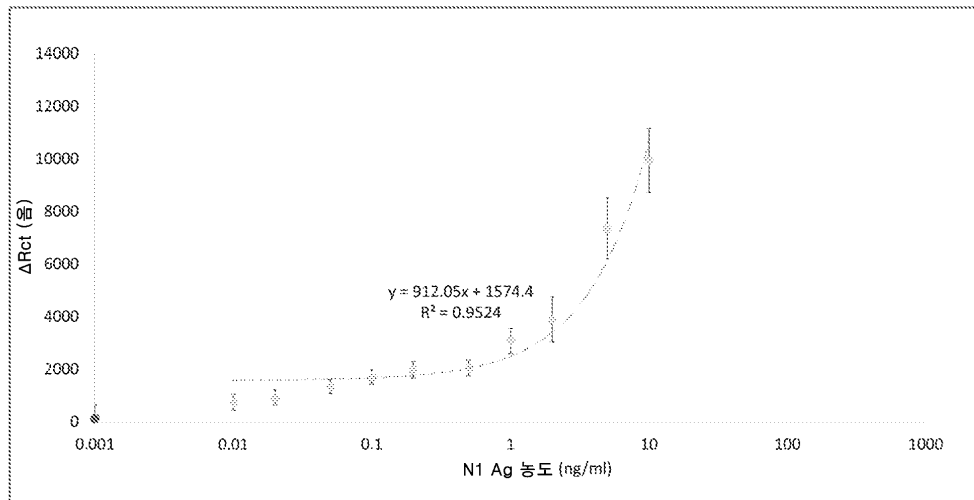
도면80



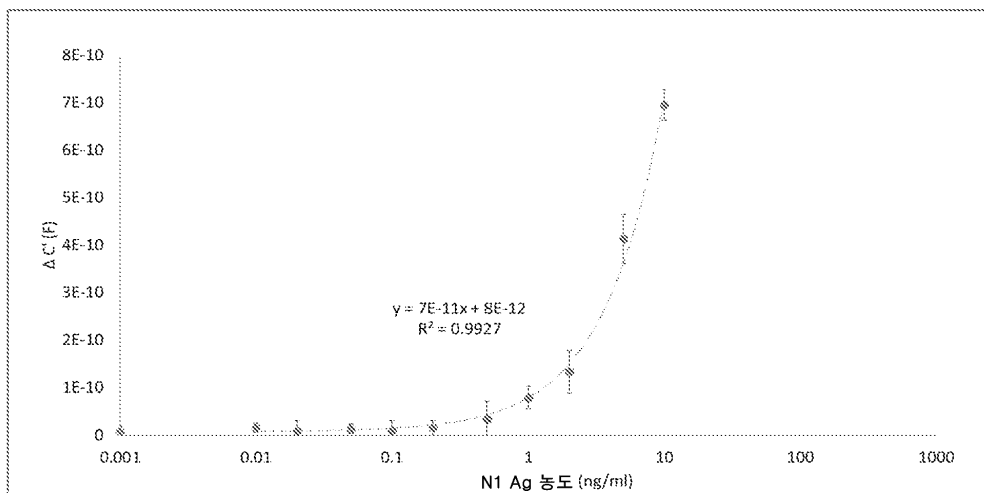
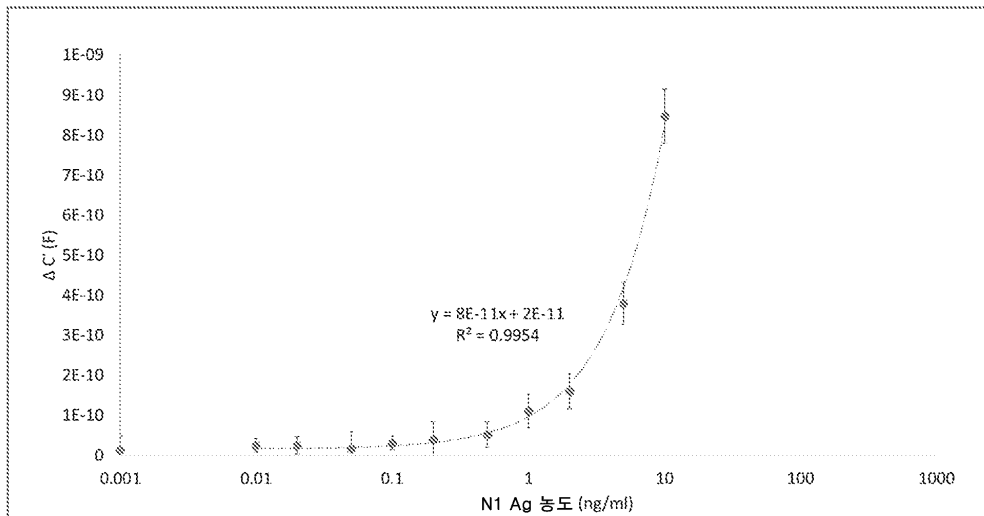
도면81



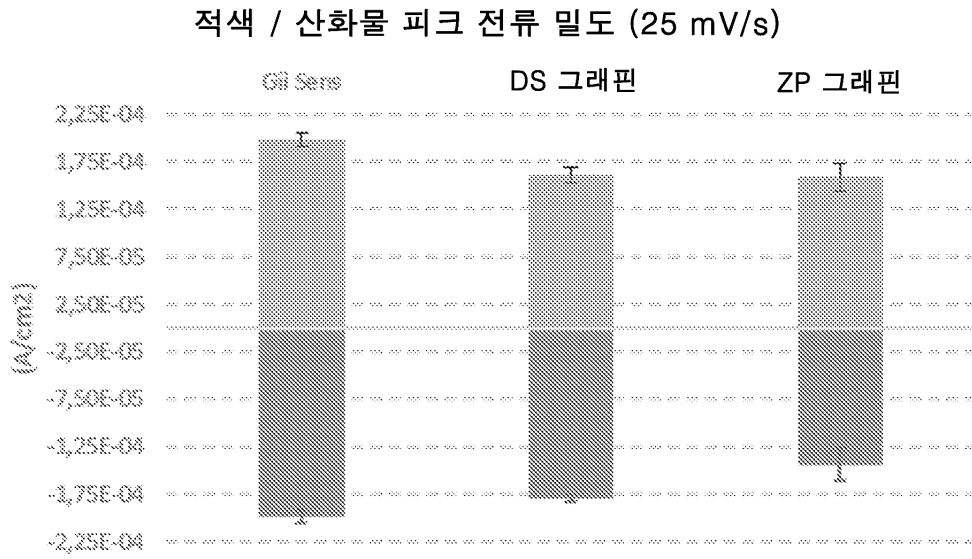
도면82



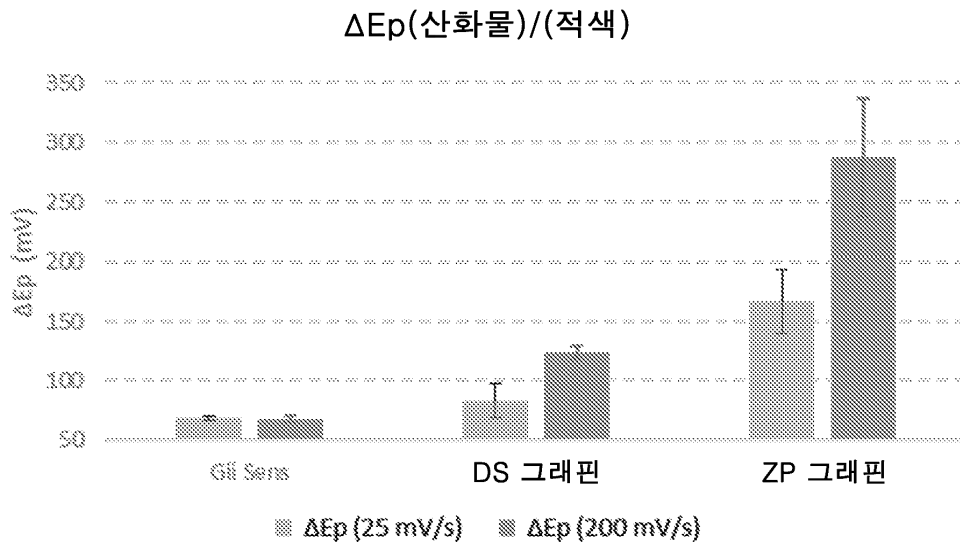
도면83



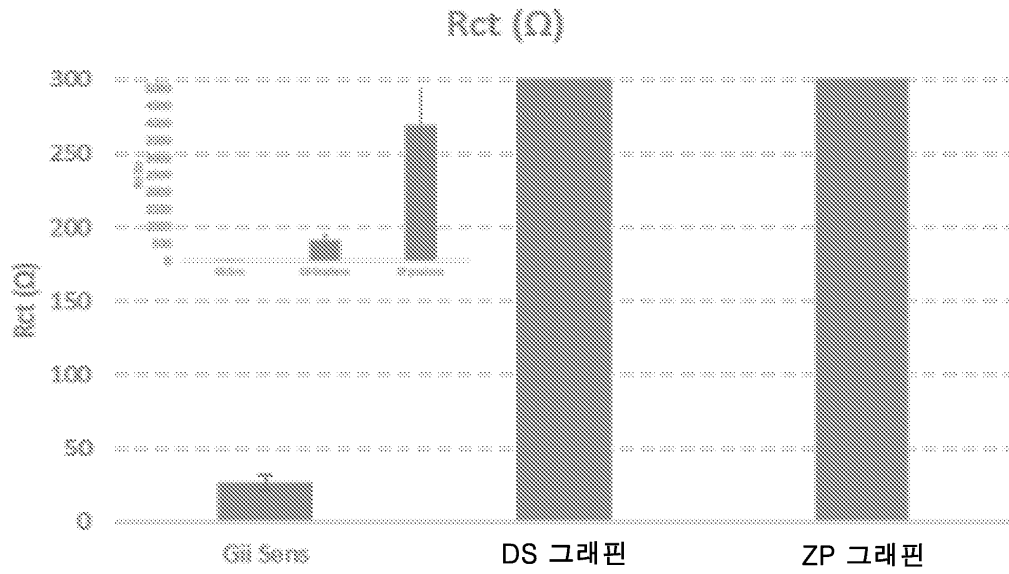
도면84



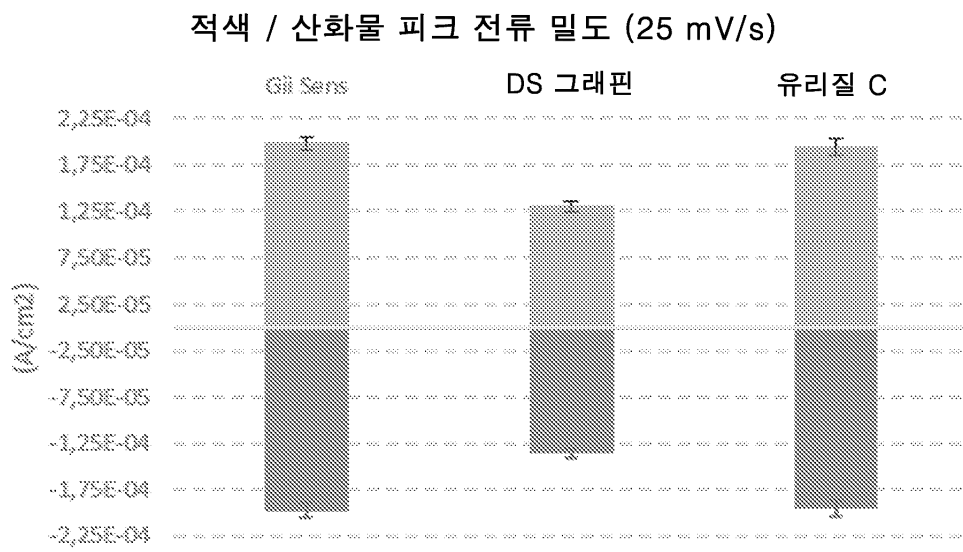
도면85



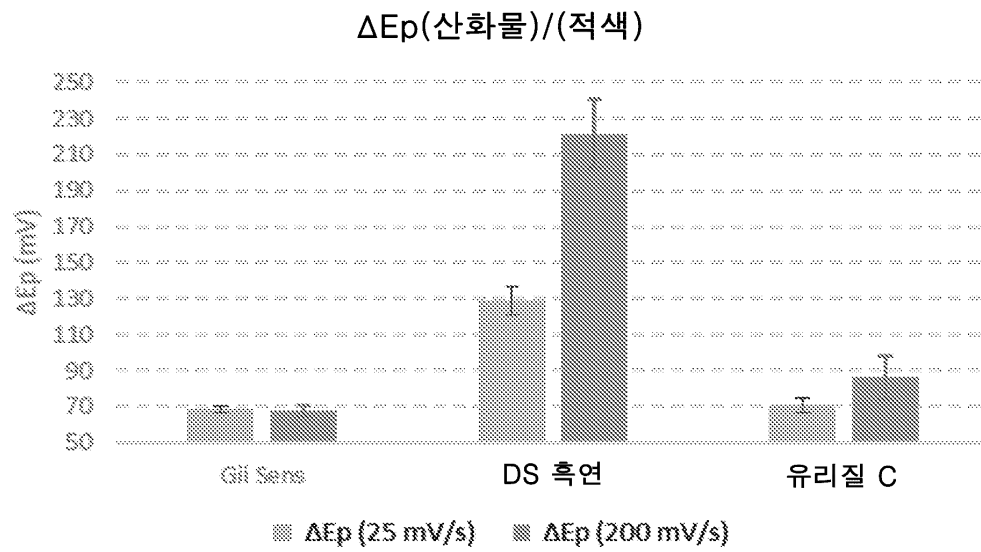
도면86



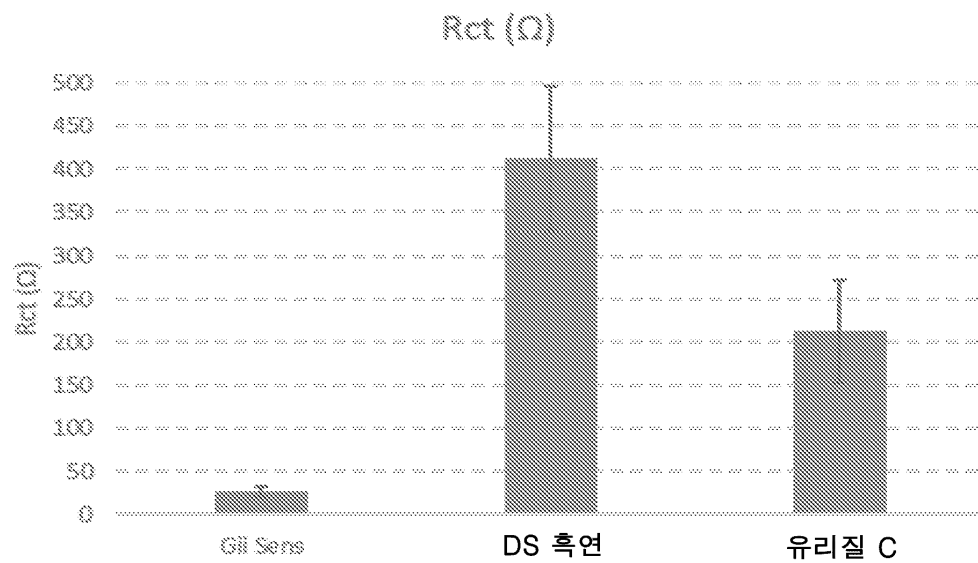
도면87



도면88

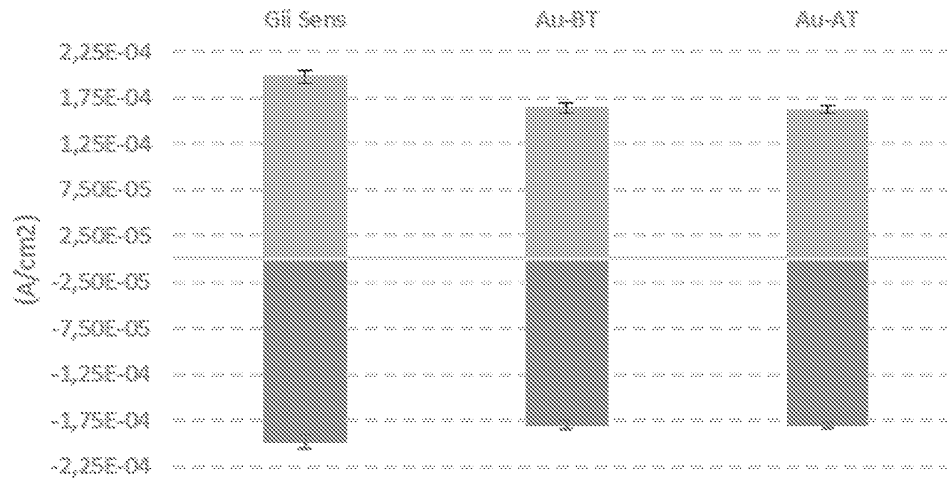


도면89



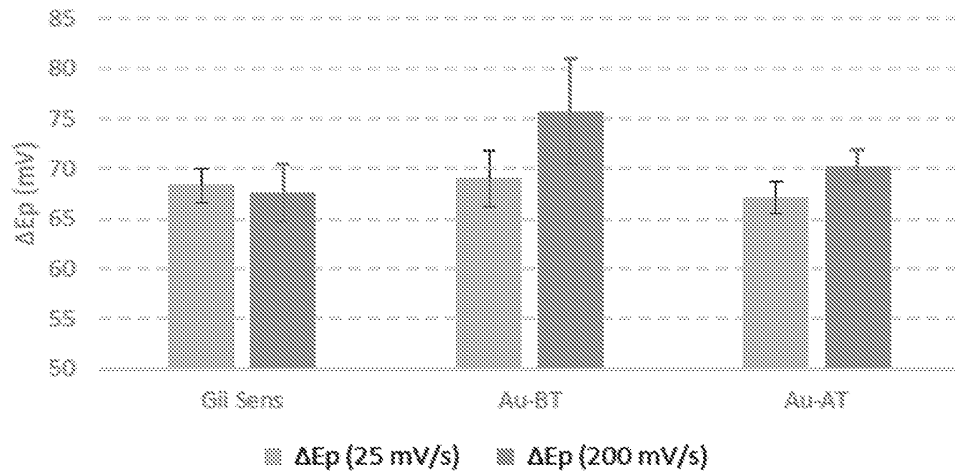
도면90

적색 / 산화물 피크 전류 밀도 (25 mV/s)

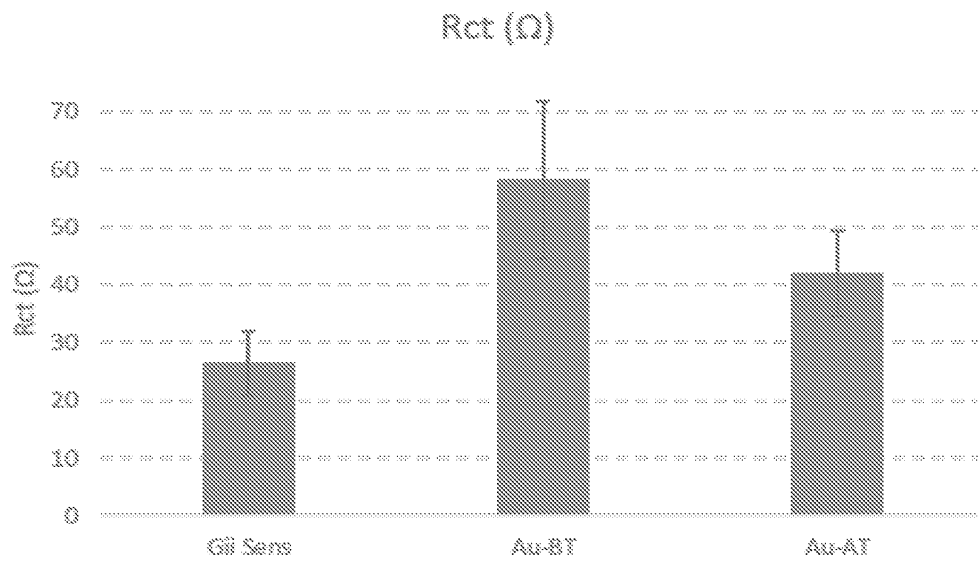


도면91

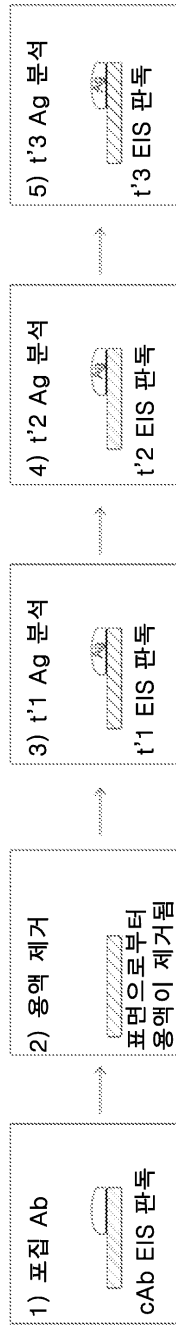
$\Delta E_p(\text{산화물})/(\text{적색})$



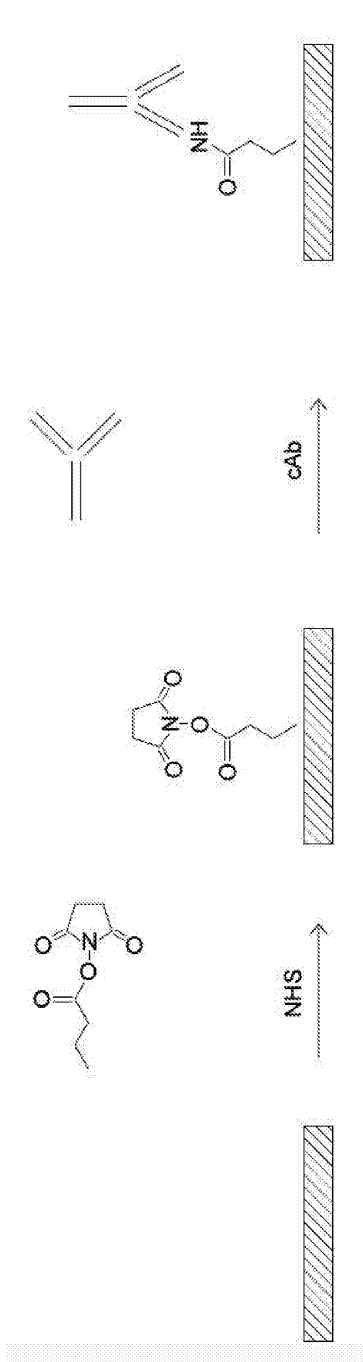
도면92



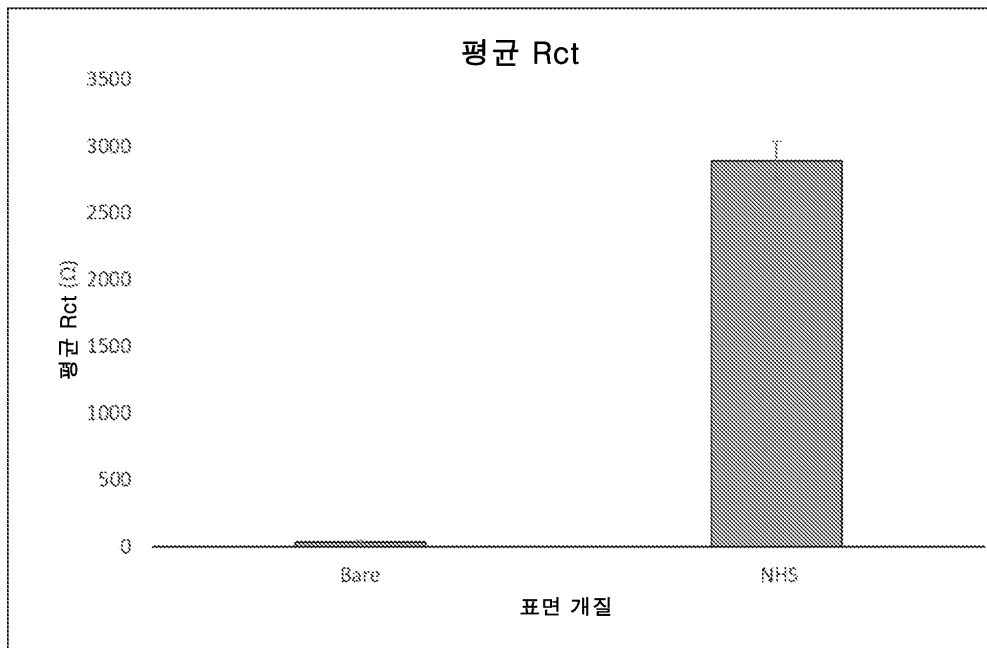
도면93



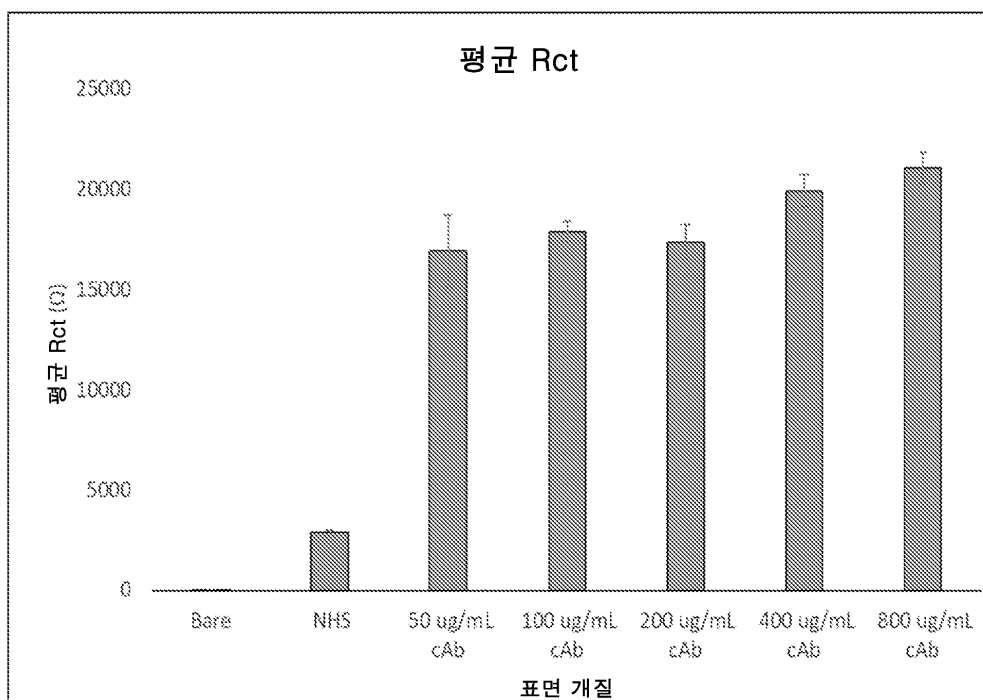
도면94



도면95



도면96



도면97

