(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0022436
(43) 공개일자 2022년02월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*G01N 27/12* (2006.01) *C01B 32/05* (2017.01)
*G01N 27/60* (2006.01)
(52) CPC특허분류
*G01N 27/121* (2013.01)
*C01B 32/05* (2017.08)
(21) 출원번호 10-2021-0055952
(22) 출원일자 2021년04월29일
심사청구일자 2021년04월29일
(30) 우선권주장
1020200103440 2020년08월18일 대한민국(KR)

(71) 출원인
**울산과학기술원**
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
**김건호**
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
**신홍주**
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
*(뒷면에 계속)*
(74) 대리인
**리앤목특허법인**

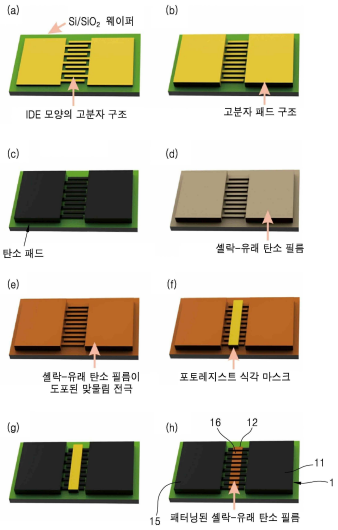
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 **셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극 및 이를 포함하는 장치**

## (57) 요 약

본 발명은 복수의 제1 핑거부를 포함하는 제1 전극; 수의 제2 핑거부를 포함하는 제2 전극; 기 제1 전극 및 제2 전극 상에 배치되고, 셀락-유래 탄소 필름을 포함하는 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극, 이를 포함한 장치 및 상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 제조 방법에 관한 것이다.

*대 표 도* - 도1



(52) CPC특허분류
***G01N 27/125*** (2013.01)
***G01N 27/128*** (2013.01)
***G01N 27/605*** (2013.01)
*G01N 2201/1214* (2013.01)
(72) 발명자
**샬릭 람 조시**
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

**김범상**
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

| | |
|---|---|
| 과제고유번호 | 1711103068 |
| 과제번호 | 2018-0-00756-003 |
| 부처명 | 과학기술정보통신부 |
| 과제관리(전문)기관명 | 정보통신기획평가원 |
| 연구사업명 | 차세대초소형IoT기술개발(R&D) |
| 연구과제명 | Disposable IoT 환경 및 생체신호 나노센서 개발 |
| 기 여 율 | 1/1 |
| 과제수행기관명 | 울산과학기술원 |
| 연구기간 | 2020.01.01 ~ 2020.12.31 |

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

복수의 제1 핑거부를 포함하는 제1 전극;

복수의 제2 핑거부를 포함하는 제2 전극;

상기 제1 전극 및 제2 전극 상에 배치되고, 셀락-유래 탄소 필름을 포함하는, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 전극은 애노드이고, 상기 제2 전극은 캐소드이거나;

상기 제1 전극은 캐소드이고, 상기 제2 전극은 애노드인, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극.

### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극은 모놀로식으로 구성된, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극.

### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 복수의 제1 핑거부 및 상기 복수의 제2 핑거부는 동일 평면 상에서 서로 교번하여 배치된, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극.

### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 셀락-유래 탄소 필름이 상기 복수의 제1 핑거부 및 상기 복수의 제2 핑거부 상에 노출되도록 패터닝된, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극.

### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 셀락-유래 탄소 필름의 두께는 0 nm 초과 및 20 nm 이하인, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극.

### 청구항 7

제1항에 있어서,

상기 셀락-유래 탄소 필름의 산소-함유 작용기의 함량은 셀락-유래 탄소 필름의 총 100 wt% 대비 0 wt% 초과 및 50 wt% 이하인, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극.

### 청구항 8

제1항에 있어서,

상기 셀락-유래 탄소 필름의 라만 스펙트럼 중 G 밴드의 강도 대비 D 밴드의 강도($I_D/I_G$)는 0.6 이상 및 0.9 이하인, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극.

### 청구항 9

제1항에 있어서,

상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 크기는 서브-마이크로미터 크기인, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극.

**청구항 10**

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항의 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극을 포함하는, 장치.

**청구항 11**

제10항에 있어서,

상기 장치는 습도 센서인, 장치.

**청구항 12**

탄소-함유 맞물림 전극을 제공하는 단계; 및

상기 탄소-함유 맞물림 전극 상에 셀락-유래 코팅층을 제공하는 단계; 를 포함하는, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 제조 방법.

**청구항 13**

제12항에 있어서,

상기 탄소-함유 맞물림 전극은, 기재 상에 감광제를 코팅하고 열처리하여 얻은, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 제조 방법.

**청구항 14**

제13항에 있어서,

상기 감광제는 제1 감광제 및 제2 감광제를 포함하고,

상기 제1 감광제 및 제2 감광제는 서로 상이한, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 제조 방법.

**청구항 15**

제13항에 있어서,

상기 열처리는 제1 열처리 단계 및 제2 열처리 단계를 포함하고,

상기 제1 열처리 단계의 온도는 상기 제2 열처리 단계의 열처리 온도보다 낮은, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 제조 방법.

**청구항 16**

제15항에 있어서,

상기 제1 열처리 단계는 300 ℃ 내지 800 ℃에서 수행되는, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 제조 방법.

**청구항 17**

제15항에 있어서,

상기 제2 열처리 단계는 900 ℃ 내지 1100 ℃에서 수행되는, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 제조 방법.

**청구항 18**

제12항에 있어서,

상기 셀락-유래 코팅층은, 알코올계 용매에 용해시킨 셀락 전구체 용액을 스핀 코팅한 후 열처리하여 얻은, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 제조 방법.

**청구항 19**

제12항에 있어서,

상기 열처리는 500 ℃ 내지 700 ℃에서 수행되는, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 제조 방법.

**청구항 20**

제12항에 있어서,

상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극 상에 셀락-유래 코팅층이 노출되도록 UV를 이용하여 식각하는 단계;를 더 포함하는, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 제조 방법.

## 발명의 설명

### 기 술 분 야

[0001] 습도 모니터링을 위한 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극, 이를 포함하는 장치에 관한 것이다.

### 배 경 기 술

[0002] 습도 모니터링은 농업, 환경, 의학 분야 등 다양한 분야에서 사용될 수 있다. 특히, 사물 인터넷(internet of things, IoT)의 발전에 따라 내구성, 빠른 반응성 및 습도에 대한 높은 선택성과 더불어 저전력 및 상온에서 작동 가능성 및 휴대성이 향상된 습도 센서에 대한 요구가 증가하고 있다.

[0003] 다양한 금속 산화물은 빠른 반응성, 습도에 대한 높은 선택성, 경제성, 및 넓은 표면적을 가지고 있어 센싱 물질로 대두되고 있으나, 이를 위해 많은 전력을 필요로 하므로 특히, 배터리를 사용하는 IoT에 응용하기에는 그 한계가 있다.

[0004] 그래핀 옥사이드는 높은 표면적 및 많은 산소 모이어티를 포함하고, 상온에서 작동 가능하여 센싱 물질로 사용할 수 있는 장점이 있다. 그러나, 그래핀 옥사이드를 포함하는 습도 센서는 수분 흡수능이 과도하게 높아 그래핀 옥사이드를 포함하는 활성 필름의 기재에 대한 흡착력이 낮고, 이에 따라 수분 센싱에 대한 신뢰도가 감소하며, 습도에 대한 선택성이 다소 낮다는 단점이 있다.

[0005] 그러므로, 빠른 반응성, 습도에 대한 높은 선택성, 경제성을 가지면서도 수분 센싱에 대해 높은 신뢰도를 갖는 수분 센서의 개발이 필요하다.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 과제는 상온에서 작동 가능하고, 수분에 대한 높은 선택성 및 우수한 신뢰도를 가져 습도 센서에 사용될 수 있는 전극으로, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극 및 이를 포함한 장치를 제공하는 것이다.

#### 과제의 해결 수단

[0007] 일 측면에 따르면, 복수의 제1 핑거부를 포함하는 제1 전극; 복수의 제2 핑거부를 포함하는 제2 전극; 상기 제1 전극 및 제2 전극 상에 배치되고, 셀락-유래 탄소 필름을 포함하는, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극이 제공된다.

[0008] 다른 측면에 따르면, 상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극을 포함하는 장치가 제공된다.

[0009] 또 다른 측면에 따르면, 상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 제조 방법이 제공된다.

#### 발명의 효과

[0010] 상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극은 우수한 수분 민감도, 신속한 반응 속도 및 장수명을 갖는 습도 센서의 제작에 사용될 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 제조 방법을 나타내는 개략도이다.

도 2는 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 SEM 이미지이다.

도 3은 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극 중 셀락-유래 탄소 필름의 SEM 이미지이다.

도 4a 내지 4f는 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(전극 1 내지 3) 중 셀락-유래 탄소 필름의 AFM 이미지이다.

도 5는 셀락 전구체의 TGA 측정 결과이다.

도 6a 및 6b는 셀락 및 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(전극 4)의 라만 스펙트럼 및 XPS 스펙트럼 측정 결과이다.

도 7a 내지 7d는 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(전극 1 내지 3)의 XPS 스펙트럼 및 라만 스펙트럼 측정 결과이다.

도 8은 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(전극 1 내지 4)의 I-V 커브 측정 결과이다.

도 9a 내지 9c는 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(전극 1 내지 3)의 저항 측정 결과이다.

도 10a 및 10b는 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(전극 1 내지 3)을 포함하는 습도 센서의 성능 측정 결과이다.

도 11a 및 11b는 일 실시예 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(전극 1)의 임피던스 측정 결과이다.

도 12는 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(전극 1 내지 3) 중 셀락-유래 탄소 필름의 물에 대한 접촉각 측정 결과이다.

도 13a 및 13b는 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(전극 1 내지 3)의 홀 효과 측정 결과이다.

도 14a 내지 14f는 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(전극 1 내지 3)의 0 내지 70% 습도 조건하에서 습도 변화에 따른 반응 측정 결과이다.

도 15a 및 15b는 실제 환경에서의 적용 가능성을 테스트하기 위해, 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(전극 1)을 포함하는 습도 센서의 장기간 내구성 및 민감도를 측정한 결과이다.

## *발명을 실시하기 위한 구체적인 내용*

[0012] 이하에서 설명되는 본 창의적 사상(present inventive concept)은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고, 상세한 설명에 상세하게 설명한다. 그러나, 이는 본 창의적 사상을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 창의적 사상의 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 또는 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0013] 이하에서 사용되는 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 창의적 사상을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 이하에서, "포함한다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부품, 성분, 재료 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 나타내려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부품, 성분, 재료 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0014] 또한, 명세서 전체에서 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 구성 요소들은 용어들에 의하여 한정되어서는 안 된다.

[0015] 도면에서 여러 층 및 영역을 명확하게 표현하기 위하여 두께를 확대하거나 축소하여 나타내었다. 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 동일한 도면 부호를 붙였다. 명세서 전체에서 층, 막, 영역, 판 등의 부분이 다른 부분 "상에" 또는 "위에" 있다고 할 때, 이는 다른 부분의 바로 위에 있는 경우뿐만 아니라 그 중간에 또 다른 부분이 있는 경우도 포함한다. 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.

[0016] 일 측면에 따르면, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극은, 복수의 제1 핑거부를 포함하는 제1 전극; 복수의 제2 핑거부를 포함하는 제2 전극; 상기 제1 전극 및 제2 전극 상에 배치되고, 셀락-유래 탄소 필름을 포함할 수 있다. 상기 "셀락-유래 탄소 필름"은 셀락(shellac)으로부터 유래된 셀락 전구체로 제조된 탄소 필름을 의미한다.

[0017] 일 구현예에 따르면, 상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극 중 상기 제1 전극은 애노드이고, 상기 제2 전극은 캐소드이거나; 상기 제1 전극은 캐소드이고, 상기 제2 전극은 애노드일 수 있다.

[0018] 일 구현예에 따르면, 상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극은 모놀로식으로 구성될 수 있다. 상기 "모놀로식"은, "일체로 되어 있는" 또는 "이음매가 없는"과 동일한 의미일 수 있다. 즉, 층과 층 사이의 계면이 존재하지 않고 일체로 되어 있는 구조임을 의미할 수 있다.

[0019] 일 구현예에 따르면, 상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극 중 상기 복수의 제1 핑거부 및 상기 복수의 제2 핑거부는 동일 평면 상에서 서로 교번하여 배치될 수 있다.

[0020] 일 구현예에 따르면, 상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극 중 상기 셀락-유래 탄소 필름은 상기 복수의 제1 핑거부 및 상기 복수의 제2 핑거부 상에 노출되도록 패터닝될 수 있다. 예를 들어, 상기 셀락-유래 탄소 필름이 상기 복수의 제1 핑거부 및 상기 복수의 제2 핑거부 상에 노출되도록 패터닝된 것은, 상기 복수의 제1 핑거부 및 상기 복수의 제2 핑거부 전체 면적 중 50% 이상의 면적에 노출되도록 패터닝된 것 또는 상기 제1 핑거부 및 제2 핑거부 각각의 면적 중 50% 이상의 면적에 노출되도록 패터닝된 것임을 의미할 수 있다.

[0021] 일 구현예에 따르면, 상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극 중 상기 셀락-유래 탄소 필름의 두께는 0 nm 초과 및 20 nm 이하일 수 있다. 예를 들면, 상기 셀락-유래 탄소 필름의 두께는 5 nm 이상 및 15 nm 이하일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0022] 일 구현예에 따르면, 상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극 중 상기 셀락-유래 탄소 필름의 산소-함유 작용기의 함량은 셀락-유래 탄소 필름의 총 100 wt% 대비 0 wt% 초과 및 50 wt% 이하일 수 있다. 예를 들면, 상기 셀락-유래 탄소 필름의 산소-함유 작용기의 함량은 0 wt% 초과 및 40 wt% 이하, 10 wt% 초과 및 40 wt% 이하, 20 wt% 초과 및 40 wt% 이하 또는 30 wt% 초과 및 40 wt% 이하일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0023] 다른 구현예에 따르면, 상기 산소-함유 작용기는 히드록시기, 카르복시기, 포르밀기, 또는 이의 임의의 조합일 수 있다.

[0024] 예를 들어, 상기 산소-함유 작용기는 히드록시기, 카르복시기, 또는 이의 임의의 조합일 수 있다.

[0025] 일 구현예에 따르면, 상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극 중 상기 셀락-유래 탄소 필름의 라만 스펙트럼 중 G 밴드의 강도 대비 D 밴드의 강도($I_D/I_G$)는 0.6 이상 및 0.9 이하일 수 있다. 예를 들면, 상기 셀락-유래 탄소 필름의 $I_D/I_G$는 0.7 이상 및 0.9 이하, 0.8 이상 및 0.9 이하 또는 0.85 이상 및 0.88 이하일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0026] 일 구현예에 따르면, 상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 크기는 서브-마이크로미터 크기일 수 있다. 예를 들어, 상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 너비는 100 nm 이상 및 1000 nm 이하이고, 높이는 100 nm 이상 및 500nm 이하이다.

[0027] 상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극은 복수의 제1 핑거부를 포함하는 제1 전극 및 복수의 제2 핑거부를 포함하는 제2 전극을 포함하므로, 핑거부 사이의 간격 및 전극 부분의 넓은 면적에 의해 전기 전도성이 우수할 수 있다.

[0028] 또한, 상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극은, 셀락-유래 탄소 필름을 포함하므로, 얇고 균일하게 도포될 수 있어 전극에 대한 저항성이 감소할 수 있다.

[0029] 이에 더해, 상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극이 모놀로식으로 구성되는 경우, 결정 간 경계 또는 갈라진 틈이 없으므로, 셀락-유래 탄소 필름과 맞물림 전극 간 저항이 낮아 전기적 또는 열적 적합성이 우수할 수 있다.

[0030] 또한, 상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극 중 셀락-유래 탄소 필름의 산소-함유 작용기의 함량이 셀락-유래 탄소 필름의 총 100wt% 대비 0 wt% 초과 및 50 wt% 이하인 경우, 친수성의 정도를 조절할 수 있어 수분에 대한 선택성이 우수할 수 있다.

[0031] 따라서, 상기 전극을 포함하는 장치, 예를 들어 습도 센서는 수분에 대한 선택성 및 신뢰도가 우수할 수 있다.

[0032] 다른 측면에 따르면, 상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극을 포함하는 장치가 제공된다.

[0033] 일 구현예에 따르면, 상기 장치는 습도 센서일 수 있다.

[0034] 또 다른 측면에 따르면, 탄소-함유 맞물림 전극을 제공하는 단계; 및 상기 탄소-함유 맞물림 전극 상에 셸락-유래 코팅층을 제공하는 단계; 를 포함하는, 셸락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 제조 방법이 제공된다.

[0035] 일 구현예에 따르면, 셸락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 제조 방법 중 상기 탄소-함유 맞물림 전극은, 기재 상에 감광제를 코팅하고 열처리하여 얻을 수 있다.

[0036] 예를 들어, 상기 감광제는 음성 감광제일 수 있다.

[0037] 예를 들어, 상기 감광제는 아크릴계 수지, 폴리에스테르계 수지, 폴리우레탄계 수지, 에폭시계 수지 또는 이의 임의의 조합일 수 있다.

[0038] 예를 들어, 상기 감광제는 제1 감광제 및 제2 감광제를 포함하고, 상기 제1 감광제 및 제2 감광제는 서로 상이할 수 있다.

[0039] 예를 들어, 상기 제1 감광제의 두께는 상기 제2 감광제의 두께 보다 얇을 수 있다. 상기 제1 감광제 두께가 상기 제2 감광제 두께보다 얇은 경우, 맞물림 전극과 소스 미터 간 전기 저항을 감소시킬 수 있다.

[0040] 예를 들어, 상기 제1 감광제의 두께는 0 μm 초과 및 5 μm 이하일 수 있다.

[0041] 예를 들어, 상기 제2 감광제의 두께는 20 μm 초과 및 30 μm 이하일 수 있다.

[0042] 일 구현예에 따르면, 상기 셸락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 제조 방법 중 상기 열처리는 제1 열처리 단계 및 제2 열처리 단계를 포함하고, 상기 제1 열처리 단계의 온도는 상기 제2 열처리 단계의 열처리 온도보다 낮을 수 있다.

[0043] 다른 구현예에 따르면, 상기 제1 열처리 단계는 300 ℃ 내지 800 ℃에서 수행될 수 있다.

[0044] 다른 구현예에 따르면, 상기 제2 열처리 단계는 900 ℃ 내지 1100 ℃에서 수행될 수 있다.

[0045] 일 구현예에 따르면, 상기 셸락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 제조 방법 중 상기 셸락-유래 코팅층은, 알코올계 용매에 용해시킨 셸락 전구체 용액을 스핀 코팅한 후 열처리하여 얻을 수 있다.

[0046] 예를 들어, 상기 스핀 코팅한 후 열처리는 500 ℃ 내지 700 ℃에서 수행될 수 있다.

[0047] 일 구현예에 따르면, 상기 셸락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 제조 방법은 상기 셸락 유래 탄소-함유 맞물림 전극 상에 셸락-유래 코팅층이 노출되도록 UV를 이용하여 식각하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0048] 이하에서, 실시예를 들어, 본 발명의 일 구현예를 따르는 셸락 유래 탄소-함유 맞물림 전극에 대하여 보다 구체적으로 설명한다.

[0049] **[실시예 - 셸락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 합성]**

[0050] **원료**

[0051] 셸락 플레이크(shellac flake)는 Shellac Shack으로부터 구입하였다. 이소프로판올(99.5%)는 Sigma-Aldrich에서 구입하였다. 두 가지 종류의 음성 감광제(SU-8 2002 및 2025)는 MicroChem. Corp. 에서 구입하였다.

[0052] **합성예 1: 전극 1(SDC-600)의 합성**

[0053] 1) 맞물림 전극의 제조

[0054] 도 1은 일 실시예에 따른 셸락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 제조 방법을 나타내는 개략도이다.

[0055] 음성 감광제(SU-8 2002, 2μm)의 얇은 층을 실리콘 웨이퍼(6 inch)에 스핀 코팅하여 1μm 두께의 열성장형 $SiO_2$ 층으로 절연하였다. 상기 감광제 층을 마스크 얼라이너(MA/BA6-8, SUSS MicroTec SE, Germany)를 사용해 UV에 노출시키고 SU-8 Developer를 사용해 성장시켜, IDE 모양의 고분자 구조를 형성하였다(도 1a). 상기 IDE 모양의 고분자 구조에 두꺼운 감광제 패드 구조(SU-8 2025, 25μm)를 패턴화하여, 탄소 패드를 형성하였다(도 1b).

[0056] 상기 탄소 패드를 모놀로식으로 구성된 탄소 전극으로 변환하기 위해, 진공에서 2단계의 열적 과정을 수행하였다. 첫번째는 진공 열분해 단계로서, 상기 탄소 패드를 진공 퍼니스에서 열분해하였다. 급격한 부피 감소를 방지하기 위하여, 퍼니스의 온도는 350℃까지 승온 후 1시간 동안 유지하였다. 그 후, 상기 퍼니스의 온도를 700℃까지 승온 후 1시간 동안 유지하였다. 열분해된 탄소 패드를 자연 냉각하였다. 두번째는 급속 열처리 단계로서, 상기 탄소 패드를 RTA 시스템을 사용하여 1분 동안 1000℃로 열처리하여, 맞물림 전극을 얻었다.

[0057] 2) 셀락-유래 탄소 필름의 도포

[0058] 셀락 플레이크(4 g) 및 이소프로판올(100 mL)을 1시간 동안 60 ℃에서 교반하여 용액을 얻었다. 상기 용액을 수동 스프레이코터를 사용하여 상기 맞물림 전극 상에 균일하게 코팅하여, 스프레이 코팅된 전극을 얻었다. 상기 스프레이 코팅된 전극을 25 ℃에서 30 분 동안 건조시킨 후, 저압에서 30분 동안 상승 속도 3 ℃ · $min^{-1}$로 어닐링 온도를 600 ℃까지 상승시켜 열처리하여, 셀락-유래 탄소 필름이 도포된 맞물림 전극을 얻었다.

[0059] 3) 전극의 패터닝

[0060] 상기 셀락-유래 탄소 필름이 도포된 맞물림 전극 상에 포토리소그래피를 이용하여, 감광제(NR9-8000, Futurrex Inc., USA) 식각 마스크를 패턴화한 후, 산소 플라즈마 에칭을 선택적으로 수행하고 감광제 제거 용액을 사용하여 패터닝된 고분자를 제거 및 탈이온수로 헹굼으로써, 전극 1(SDC-600)을 제조하였다.

[0061] **실시예 2 내지 4: 전극 2 내지 전극 4의 합성**

[0062] 셀락-유래 탄소 필름의 도포 중 어닐링 온도를 600 ℃까지 상승시켜 열처리하는 대신, 각각 650 ℃ 및 700 ℃까지 상승시켜 열처리하는 것을 제외하고는, 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 전극 2(SDC-650), 전극 3(SDC-700) 및 전극 4(SDC-550)을 제조하였다.

[0063] **[평가예 1: 전극의 물리/화학적 특성]**

[0064] **(평가 방법)**

[0065] 전극의 구조를 측정하기 위해 SEM 이미지(Quanta 200 FEG, FEI, USA)를 측정하였다.

[0066] 필름의 두께는 AFM (Multimode V, Bruker, USA)로 측정하였다.

[0067] X선 광전자 분광법(X-ray photoelectron spectroscopy, XPS)은 K-알파 분광계 (Thermo Fisher Scientific, UK)로 측정하였다.

[0068] 라만 스펙트럼은 Al-pha300R(WITec, Germany)로 측정하였다.

[0069] **(평가 결과)**

[0070] 도 2는 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 SEM 이미지이다. 열분해 동안 약 90%로 부피가 감소하여, 마이크로미터 크기의 맞물림 전극 구조(너비 1 μm, 높이 2 μm)가 서브 마이크로미터 크기의 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(너비 600 nm, 높이 300 nm, 전극 간격 1.5 μm) 으로 수축하였다. 이와 같이 전극 크기가 작아, 서로 마주보는 전극의 총 길이가 100 mm까지 확장될 수 있어, 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극 센싱 부위의 표면적이 100 μm x 2 mm로 증가하였다. 따라서 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극 중 핑거부에 위치한 필름의 전기 저항이 감소하여, 상대적으로 전기 전도성이 낮은 전극에서도 효과적인 전기 저항 측정이 가능해졌다. 또한, 상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극을 패터닝하여 센싱 영역이 명확해짐으로써, 습도 센서로서 사용할 수 있음을 확인할 수 있다.

[0071] 도 3은 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극 중 셀락-유래 탄소 필름의 SEM 이미지이다. 상기 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극은 모놀로식으로 구성되어 결정 간 경계 또는 갈라진 틈(crack)이 없음을 알 수 있다.

[0072] 도 4a 내지 4f는 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(전극 1 내지 3) 중 셀락-유래 탄소 필름의 AFM 이미지이다. 전극 1 내지 3 중 셀락-유래 탄소 필름의 두께는 약 10 nm이하였다. 또한, 중심선 표면 거칠기($R_a$)는 약 0.25 nm이하였다. 셀락-유래 탄소 필름의 두께는 셀락 전구체를 포함하는 용액을 코팅한 전극의 열처리 온도와 관계없이 유사한 두께를 가짐을 알 수 있었다. 이는 셀락 전구체의 TGA 결과(도 5)로부터 알 수 있듯이, 셀락 전구체의 탈수(150℃ 미만) 및 탈수소화(450 ℃ 미만) 과정 때문이다. 즉, 550 ℃에서 셀락 전구체는 약 총 중량의 76%가 탄화되나 600 ℃ 이상에서는 중량 감소가 없으므로 400 ℃ 내지 600 ℃ 에서 셀락 전구체의 대부분이 탄화됨을 알 수 있었다. 이는 셀락 전구체의 라만 스펙트럼(도 6a) 및 고 해상도 C-1s XPS 스펙트럼(도 6b)를 통해서도 알 수 있었다. 따라서, 상기 어닐링 온도가 600 ℃ 이상인 경우, 셀락-유래 탄소 필름의 두께는 서로 유사함을 알 수 있었다.

[0073] 도 7a 내지 7d는 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(전극 1 내지 3)의 XPS 스펙트럼 및 라만 스펙트럼 측정 결과이다. XPS 스펙트럼(도 7a)은 탄소를 포함하는 결합에서 서로 다른 4개의 피크를 나타낸다:

(C=C) 284.2 eV, (C-OH) 285.3 eV, (C=O) 288.1 eV 및 π-π 결합에 따른 satellite 피크 291 eV. (C=C) 피크는 600 ℃에서 시작되는 흑연화 과정 때문에 나타날 수 있다. 어닐링 온도가 600 ℃에서 700 ℃로 증가함에 따라, $sp^2$ 하이브리드된 탄소 네트워크가 55% 에서 80%로 증가하고, 산소 포함 작용기의 함량이 감소함을 알 수 있다(도 7c).

[0074] 라만 스펙트럼(도 7b)은 D 밴드 및 G 밴드를 가짐을 확인할 수 있었다. 이는 각각 면 내 진동이 있는 $sp^3$ 자리의 결함 사이트 및 $sp^2$ 탄소 원자 때문이다. 어닐링 온도가 증가함에 따라 G 밴드는 적색 편이를 나타내는데 이는 $sp^2$ 하이브리드된 탄소 네트워크의 증가 때문임을 알 수 있었다(도 7d). 또한 G 밴드의 강도 대비 D 밴드의 강도($I_D/I_G$)는 0.88(전극 1, SDC-600)에서 0.63(전극 3, SDC-700)으로 감소함을 알 수 있는데, 이는 어닐링 온도가 증가할수록 결함 또는 구조적 불일치가 적음을 나타낸다.

[0075] **[평가예 2: 전극의 습도 센싱 성능 측정]**

[0076] **(평가 방법)**

[0077] I-V 특성을 측정하기 위해, Keithley-2450 소스 미터(Keithley Instruments Inc., USA)로 도포된 셀락-유래 탄소 필름과 맞물림 전극 간의 옴 접촉을 측정하였다.

[0078] 습도 센서의 저항은 Keithley-2450 소스 미터를 사용하여 측정하였다.

[0079] 습도 센서의 성능을 측정하기 위해 일정한 습도 및 온도 챔버 (TH-ME-065, JEIO Tech., Korea)에서 전기 저항을 측정하였다. 습도는 0% 내지 90% RH에서 조절하였고, 온도는 25℃로 유지하였다. 습도 센서의 반응도(%)는 하기 <식 1>로 계산하였고, 습도 센서의 수분에 대한 민감도(S)는 하기 <식 2>로 계산하였다:

[0080] <식 1>

[0081] $$\text{반응도}(\%) = \left|\frac{\Delta R}{R}\right| \times 100 = \left|\frac{R_h - R}{R}\right| \times 100$$

[0082] 상기 식 1 중, R은 건조한 공기(0% RH)에서 습도 센서의 저항값이고, $R_h$는 측정할 습도 조건에서 습도 센서의 저항값이다.

[0083] <식 2>

[0084] $$S = \frac{1}{\Delta RH}\left(\left|\frac{\Delta R}{R}\right|_{max} - \left|\frac{\Delta R}{R}\right|_{min}\right)$$

[0085] 상기 식 2 중, △RH는 측정 시 습도 조건의 범위이다.

[0086] 다양한 습도에 따른 임피던스 작용을 측정하기에 위해 전위 가변기(Ivium Stat, Ivium Technologies, Netherlands; 1 V, 100 Hz-1 MHz)로 측정하였다.

[0087] 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극의 전하 캐리어 특성을 측정하기 위해, 상기 전극의 홀(Hall) 효과를 측정하였다. 홀 측정을 위해 p-형 및 n-형 실리콘 웨이퍼를 캘리브레이트 하였다.

[0088] 응답/회복 시간을 측정하기 위해, 고습 조건(70% 상대습도)에서 건조 조건(0% 상대 습도, RH) 범위로 즉각적인 습도 조절이 가능한 습도/온도-조절 시스템을 셋업하였다. 상기 시스템은 솔레노이드 밸브(S10MM20-24-2, Pneumadyne Inc.,USA), 습도/온도 측정기 (SHT15, Sensirion), 조절기(Arduino Uno, Arduino cc), 및 현미경 인큐베이터 (CU-501, Live Cell Instrument)으로 구성하였다. 솔레노이드 밸브는 LabVIEW 소프트웨어(National Instruments)를 이용하여 프로그래밍하였다.

[0089] 수분에 대한 민감도를 측정하기 위해, 대기압 조건에서 $NO_2$, $H_2$, 및 $CH_4$ 기체 존재 하에 수분에 대한 민감도를 측정하였다. 기체 농도는 질량 유량 제어기(GMC1200, ATOVAC, Korea)로 조절하였다.

[0090] **(평가 결과)**

[0091] 도 8은 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(전극 1 내지 4)의 I-V 커브 측정 결과이다. 본원 발명의 전극은 우수한 옴 성능을 보이므로, 셀락-유래 탄소 필름과 맞물림 전극 간 전기적 또는 열적 적합성이 우수함을 알 수 있다. 본원 발명의 전극의 핑거부는 두껍고 넓은 탄소 패드 (도 2c 및 2d, 너비 = 2 mm, 두께 = 6

μm)에 연결되어 있는데, 이는 셀락-유래 탄소 필름의 전극에 대한 저항성을 감소하는 효과를 줄 수 있다. 전극 4(SDC-550)은 전극 1 내지 3보다 비교적 저항이 높은데, 이로부터 전극 4는 카보나이즈가 충분히 되지 않아 결함(defect)을 많이 포함함을 알 수 있다.

[0092] 도 9a 내지 9c는 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(전극 1 내지 3)의 저항 측정 결과이다. 전극 간 거리가 감소될수록 필름의 저항성도 선형적으로 감소함을 알 수 있다. 즉, 전극 상에 필름이 균일하게 코팅되어 있음을 나타낸다.

[0093] 도 10a 및 10b는 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(전극 1 내지 3)을 포함하는 습도 센서의 성능 측정 결과이다. 도 10a는 0% 내지 90%의 상대 습도(RH)에 대한 반응도(%) 그래프이고, 도 10b는 어닐링 온도에 따른 수분에 대한 민감도(S) 그래프이다. 어닐링 온도가 낮은 전극일수록 습도 센서의 반응도(%) 및 민감도(S)가 높음을 알 수 있다. 즉, 전극 1(SDC-600)은 전극 3(SDC-700)보다 민감도가 20배 이상 높은데, 이는 전극 1(SDC-600)의 표면에 산소-포함 작용기의 양이 더 많기 때문이다(도 7c).

[0094] 도 11a 및 11b는 일 실시예 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(전극 1)의 임피던스 측정 결과이다. 도 11a는 보드 선도(Bode plot) 이고, 도 11b는 나이퀴스트 선도(Nyquist plot) 이다. 도 11a에서 전극 1은 낮은 주파수(200 kHz 미만)에서 상대 습도(RH)가 높을 수록 임피던스가 현저하게 낮음을 알 수 있었다. 그러나 높은 주파수에서는 습도에 따른 임피던스의 변화가 낮은 주파수에서의 변화보다 적음을 알 수 있다. 이는 센서에 흡수된 물 분자가 전기장 방향에 맞추어 배열되기 어렵기 때문이다. 도 11b에서, 전극 1의 나이퀴스트 선도는 높은 습도 조건(~90% RH)에서 와버그 임피던스 없이 반원형을 나타낸다. 이는, 필름의 낮은 친수성 때문에 전극 표면에 흡수된 물 분자의 양이 연속적인 층을 형성하기에 충분하지 않아 고립된 상태로 남아있기 때문이다.

[0095] 도 12는 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(전극 1 내지 3) 중 셀락-유래 탄소 필름의 물에 대한 접촉각 측정 결과이다. 본원 발명의 필름은 상대적으로 낮은 친수성을 가짐을 알 수 있다. 또한, 어닐링 온도가 높을수록 접촉각이 증가하므로 필름의 소수성이 높아짐을 알 수 있다. 이는 어닐링 온도의 증가에 따라 산소 포함 작용기의 양이 감소하기 때문이다.

[0096] 도 13a 및 13b는 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(전극 1 내지 3)의 홀 효과 측정 결과이다. 도 13a는 홀 효과 측정 셋업의 모식도이고, 도 13b는 자기장에 따른 홀 전압에 대한 그래프이다. 본원 발명 전극의 전하 캐리어 특성은 p-형이므로, 물 분자는 얇은 탄소 필름 표면에서 이온-쌍극자 상호 작용을 형성한다. 흡수된 물 분자는 산화제로 작용하여 얇은 탄소 필름의 전자 전도에 영향을 미친다. 또한, 얇은 탄소 필름은 상대적으로 낮은 전기 저항성을 보이는데, 이는 탄소 맞물림 전극의 핑거부 사이의 좁은 간격과 전극 부분의 넓은 면적 때문이다. 따라서 전류는 대부분 얇은 필름 부분을 통해 흐르므로 전기 전도성이 우수하다.

[0097] 도 14a 내지 14f는 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(전극 1 내지 3)의 0 내지 70% 습도 조건하에서 습도 변화에 따른 반응 측정 결과이다. 습도 변화의 반복적인 사이클에서도 본원 발명의 습도 센서는 일정하고 신속한 반응 및 회복 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 이는 전극의 두께가 얇아 물 분자의 운동이 전극의 표면에서 이루어지므로 표면에서 빠른 탈착을 할 수 있음을 알 수 있다. 전극 1을 포함하는 습도 센서의 경우 140 ms의 반응 속도를 보였다. 이는 어닐링 온도에 따라 전극이 포함하는 $sp^2$ 하이브리드된 탄소의 양 및 산소 포함 작용기의 양이 상이해지기 때문이다. 히드록실기의 양이 많을수록 수분에 대한 친화력이 증가하여 반응 속도가 빨라진다. 반면, $sp^2$ 하이브리드된 탄소의 양이 많을수록 소수성이 증가하여 빠른 회복 성능을 나타낸다. 또한, 물 분자의 흡착 속도에 비해 탈착 속도가 더 느림을 알 수 있는데, 이는 전극이 친수성을 가지므로 물 분자의 효과적인 탈착을 제한하기 때문이다.

[0098] 도 15a 및 15b는 실제 환경에서의 적용 가능성을 테스트하기 위해, 일 실시예에 따른 셀락 유래 탄소-함유 맞물림 전극(전극 1)을 포함하는 습도 센서의 장기간 내구성 및 수분에 대한 민감도를 측정한 결과이다. 도 14a는 4주 동안 상기 습도 센서의 70% RH 조건에서 동적 반응 및 응답/회복 시간을 측정한 결과이다. 도 14b는 상기 습도 센서의 30% RH 및 다양한 기체(1000 ppm $H_2$, 5 ppm $NO_2$, 1000 ppm $CH_4$)가 존재하는 조건에서 동적 반응을 측정한 결과이다. 도 14a로부터, 상기 습도 센서의 4주 동안 동적 반응 및 응답/회복 시간이 변하지 않았음을 알 수 있다. 또한, 상기 습도 센서의 전력 소비량도 1V에서 1mW 이하로 유지되었다. 도 14b로부터 다양한 기체가 높은 농도로 존재하더라도 상기 습도 센서의 수분에 대한 동적 반응에 미치는 영향은 낮음을 알 수 있다. 이는 다른 기체가 존재하더라도 상기 습도 센서의 정확성 및 신뢰성이 높을 수 있음을 나타낸다.

[0099] 표 1은 기존의 나노 물질을 포함하는 습도 센서와 본원 발명의 전극 1(SDC-600)을 포함하는 습도 센서의 습도

범위(% RH), 응답/회복 시간(s), 동적 반응(%) 및 수분에 대한 민감도(1/%RH)를 비교한 표이다.

표 1

[0100]

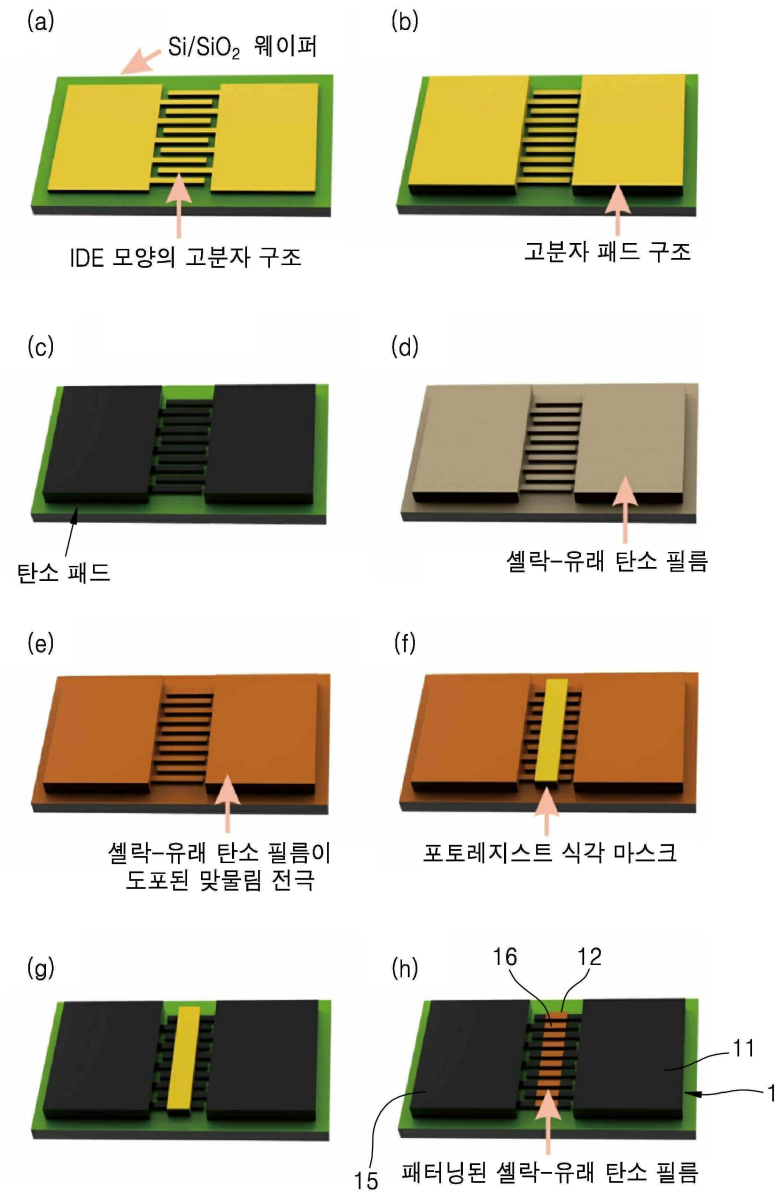
| 물질 | 습도 범위 (% RH) | 응답/회복 시간(s) | 동적 반응(%) | 민감도 (1/%RH) |
|---|---|---|---|---|
| $TiO_2$-PSS composite | 30-90 | 2/80 | - | - |
| $VO_2$ nanoparticles | 10-90 | 5/13 | 20 | 0.25 |
| SiC nanowires | 15-90 | 85/105 | - | 0.38 |
| Multilayer Graphene(CVD) | 1-96 | 0.6/0.4 | 4.5 | 0.31 |
| 2-Layer Graphene(CVD) | 20-100 | 0.7/0.3 | 1.1 | 0.93 |
| rGO | 10-70 | 16/47 | 17.6 | 0.02 |
| N-doped rGO | 6-100 | -- | 5 | 0.32 |
| rGO/PU | 10-70 | 3.5/7 | 9 | 0.53 |
| GO (Hummer's) | 20-70 | 0.032/0.032 | - | - |
| Li-Doped GO | 11-97 | 4/25 | 97 | 0.25 |
| 전극 1 | 0-90 | 0.14/1.7 | 50 | 0.54 |

[0101] 상기 표 1로부터, 본원 발명의 전극 1을 포함하는 습도 센서는 넓은 습도 측정 범위, 높은 동적 반응, 신속한 응답 시간 및 수분에 대한 높은 민감도를 가짐을 알 수 있다.

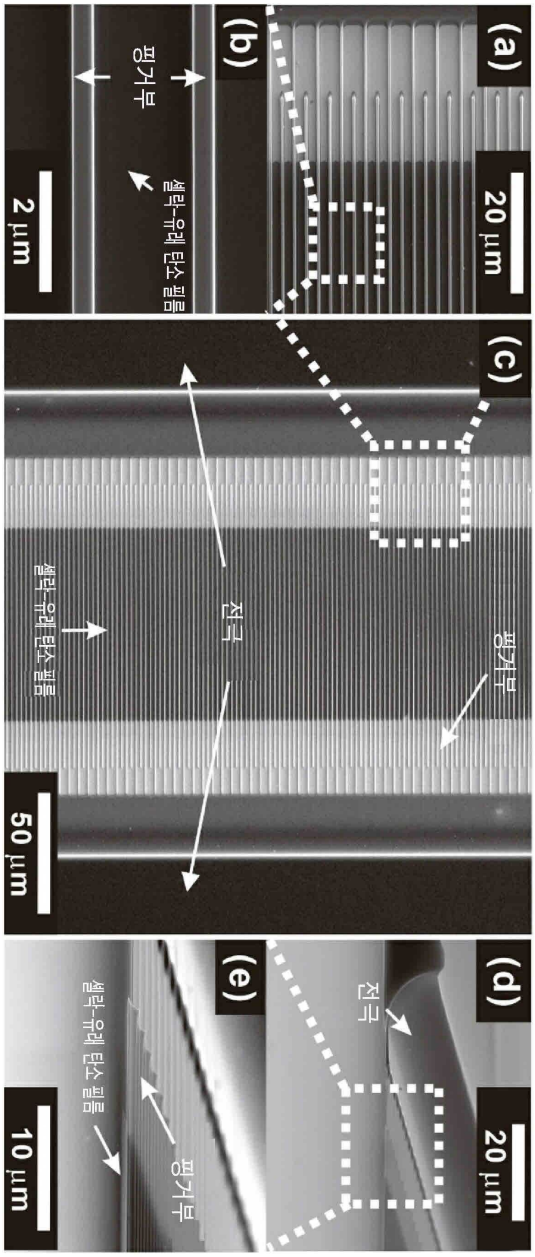
[0102] 이상에서는 도면 및 실시예를 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 구현예가 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 구현예가 가능하다는 점을 이해할 수 있을 것이다. 따라서, 본 발명의 보호범위는 첨부된 특허청구범위에 의해서 정해져야 할 것이다.

## 도면

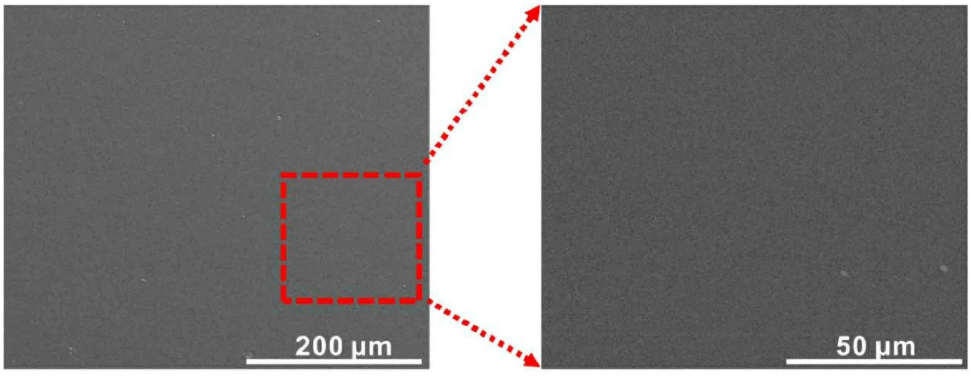
### 도면1


(a)
Si/SiO2 웨이퍼
IDE 모양의 고분자 구조
(b)
고분자 패드 구조
(c)
탄소 패드
(d)
셀락-유래 탄소 필름
(e)
셀락-유래 탄소 필름이
도포된 맞물림 전극
(f)
포토레지스트 식각 마스크
(g)
(h)
16
12
11
1
15
패터닝된 셀락-유래 탄소 필름

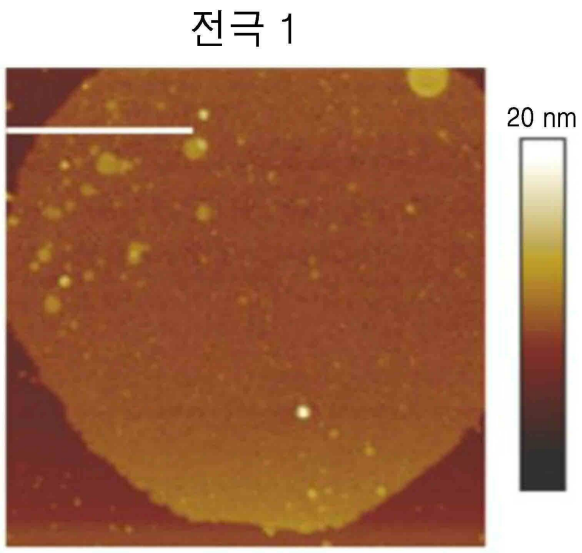
도면2


(a)
20 μm
(b)
2 μm
피거부
셀락-유래 탄소 필름
(c)
50 μm
셀락-유래 탄소 필름
전극
피거부
(d)
20 μm
전극
(e)
10 μm
셀락-유래 탄소 필름
피거부

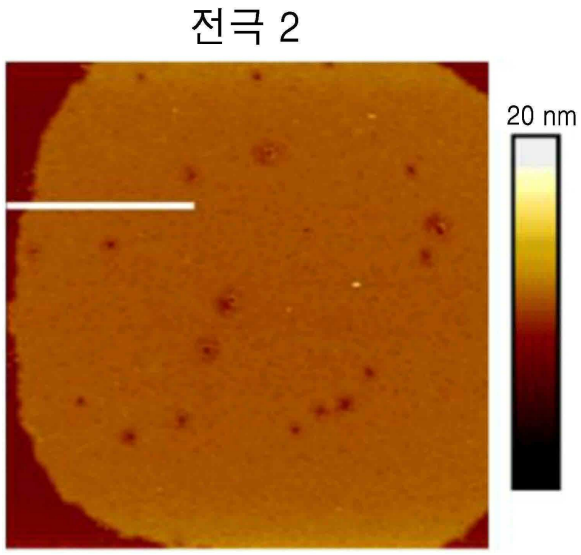
도면3


200 μm
50 μm

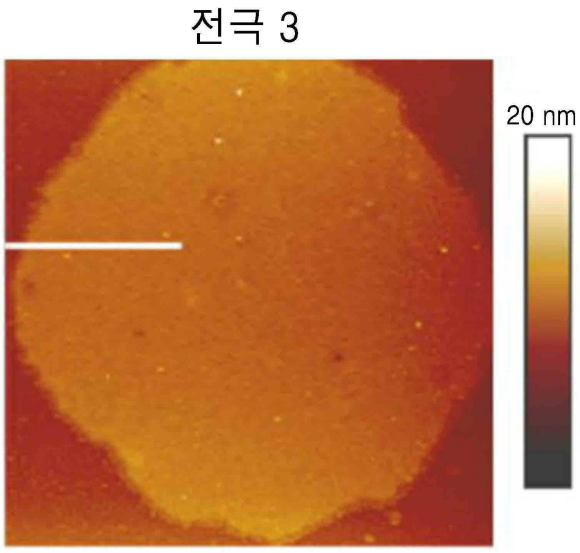
도면4a



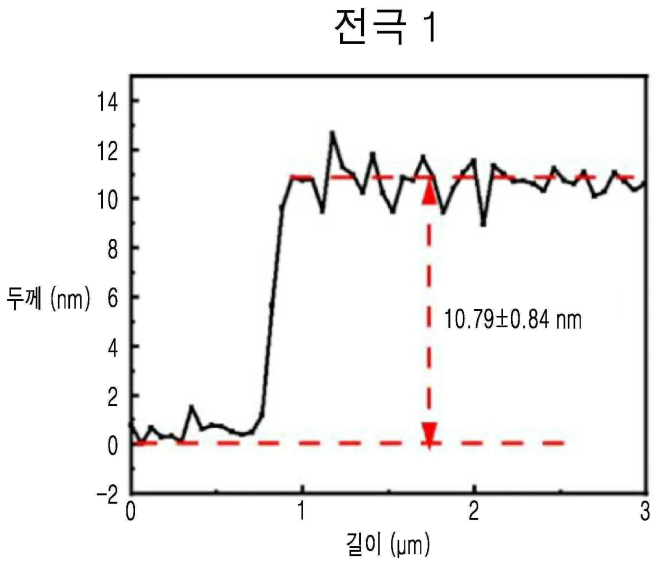

도면4b



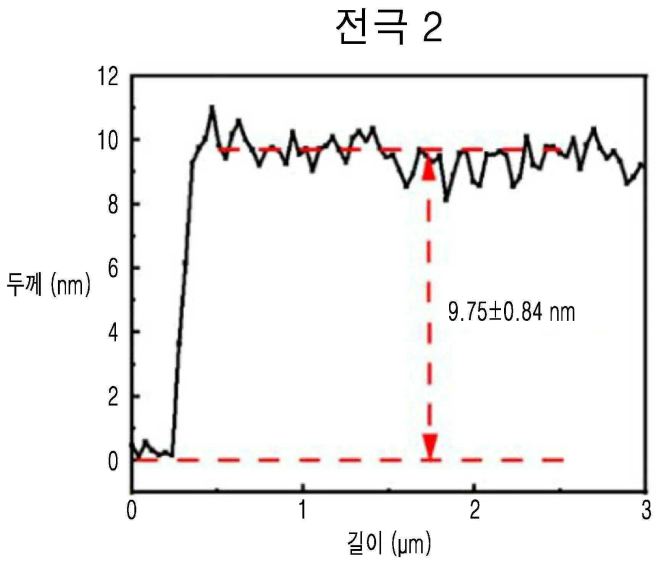
도면4c



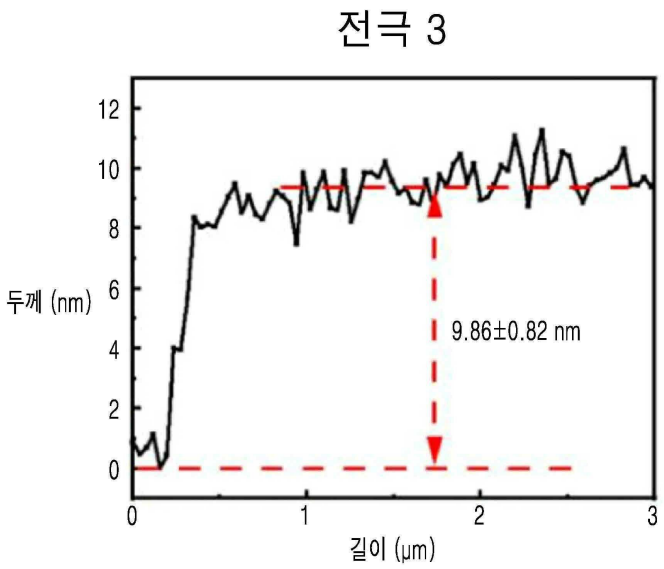

도면4d



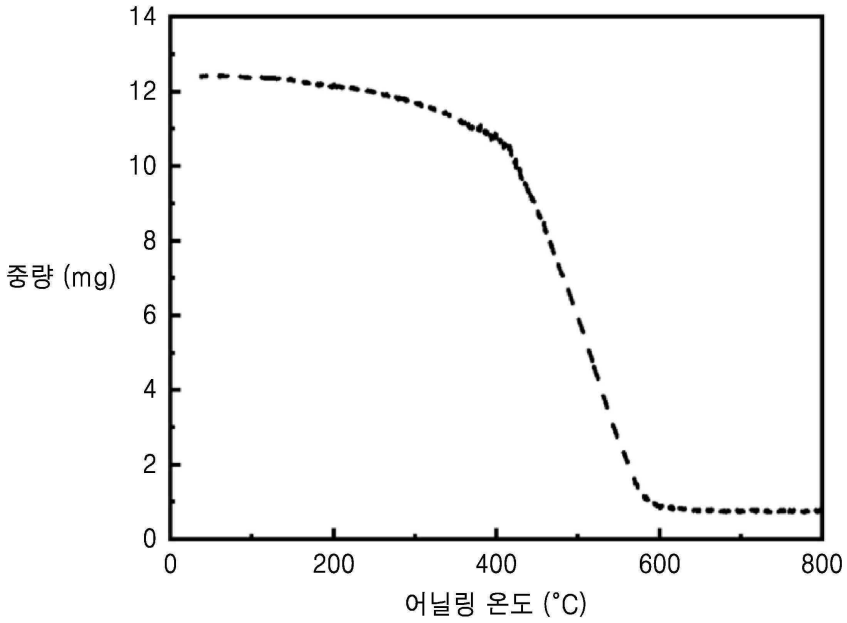
도면4e


전극 2
두께 (nm)
길이 (μm)
9.75±0.84 nm
0
2
4
6
8
10
12
0
1
2
3

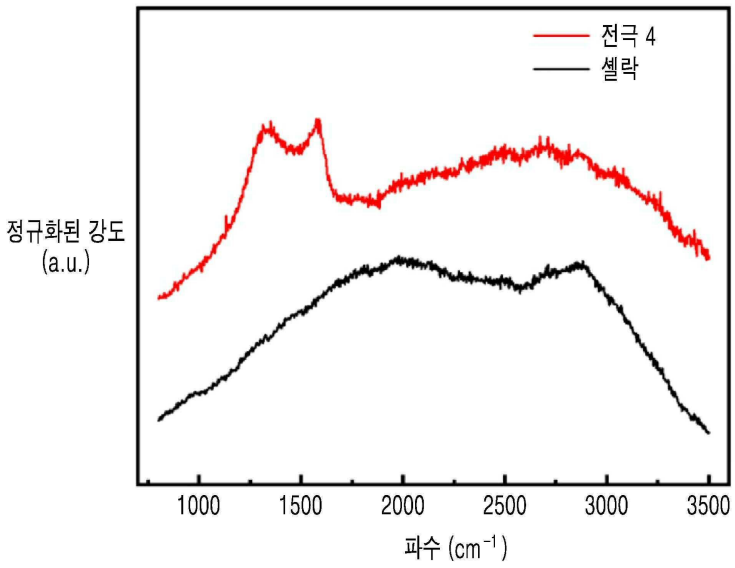
도면4f


전극 3
두께 (nm)
길이 (μm)
9.86±0.82 nm
0
2
4
6
8
10
12
0
1
2
3

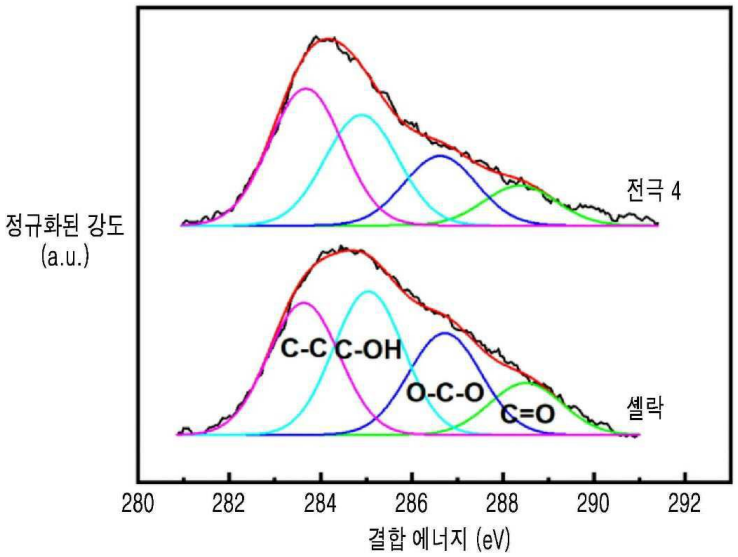
도면5


14
12
10
8
6
4
2
0
중량 (mg)
0
200
400
600
800
어닐링 온도 (°C)

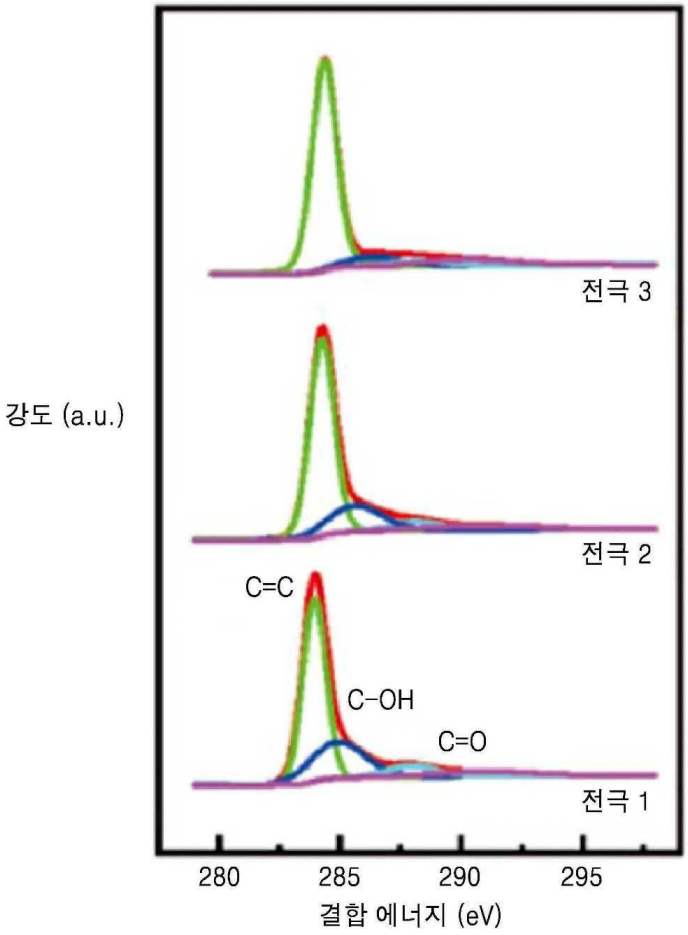
도면6a


전극 4
셀락
정규화된 강도
(a.u.)
1000
1500
2000
2500
3000
3500
파수 (cm-1)

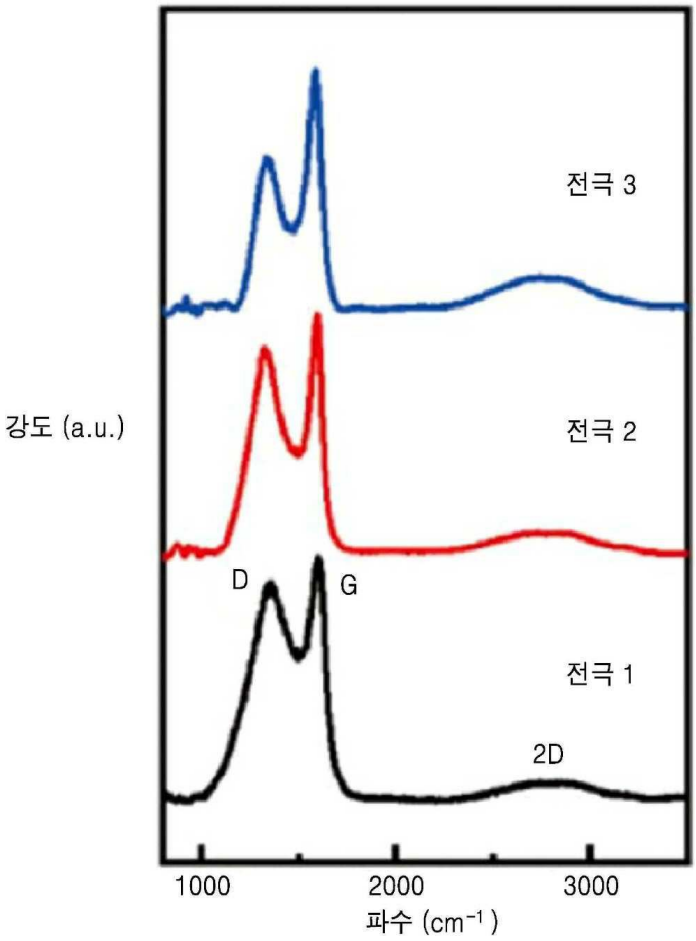
도면6b


정규화된 강도
(a.u.)
전극 4
C-C
C-OH
O-C-O
C=O
셀락
280
282
284
286
288
290
292
결합 에너지 (eV)

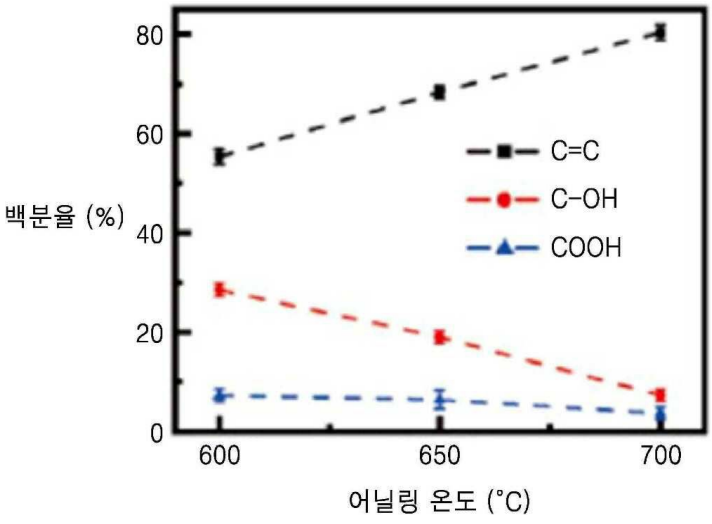
도면7a


강도 (a.u.)
전극 3
전극 2
C=C
C-OH
C=O
전극 1
280
285
290
295
결합 에너지 (eV)

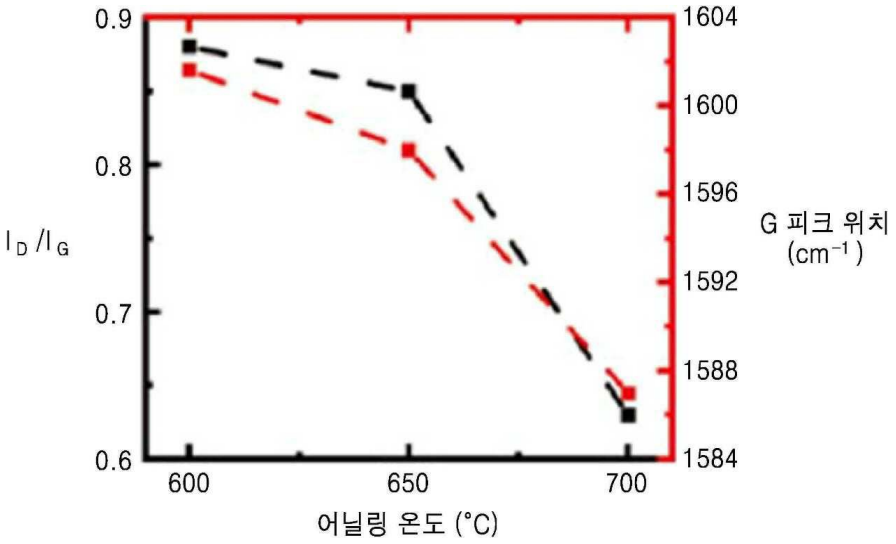
도면7b


전극 3
전극 2
전극 1
D
G
2D
강도 (a.u.)
1000
2000
3000
파수 (cm⁻¹)

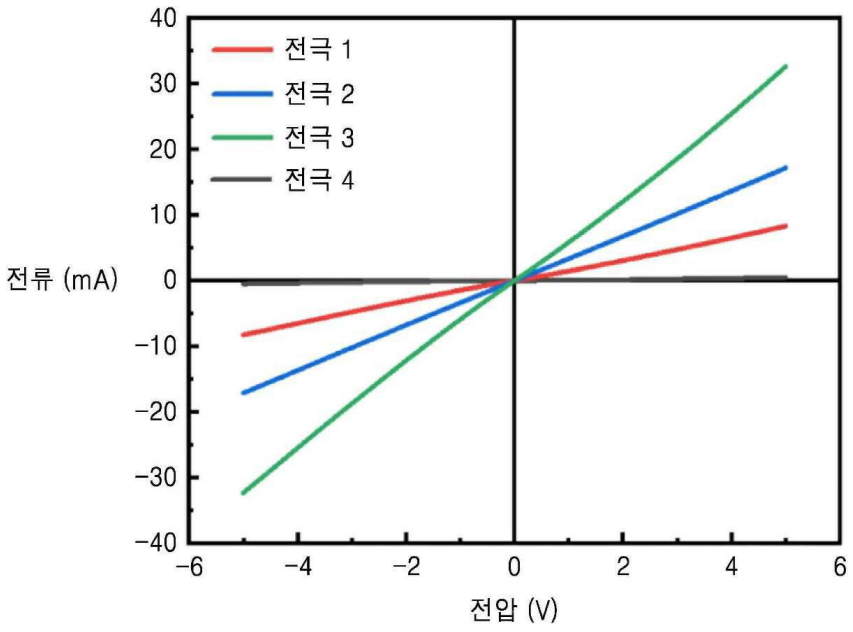
도면7c


80
60
40
20
0
C=C
C-OH
COOH
백분율 (%)
600
650
700
어닐링 온도 (°C)

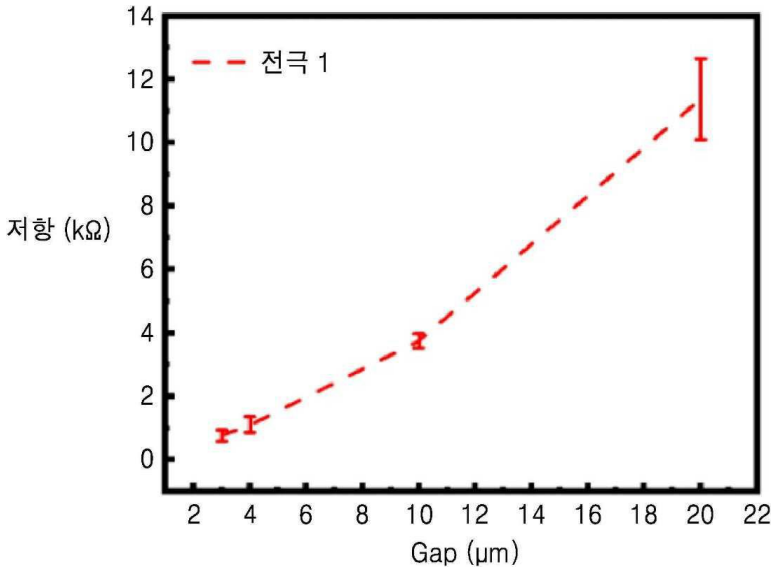
도면7d


0.9
0.8
0.7
0.6
$I_D/I_G$
1604
1600
1596
1592
1588
1584
G 피크 위치
($cm^{-1}$)
600
650
700
어닐링 온도 (°C)

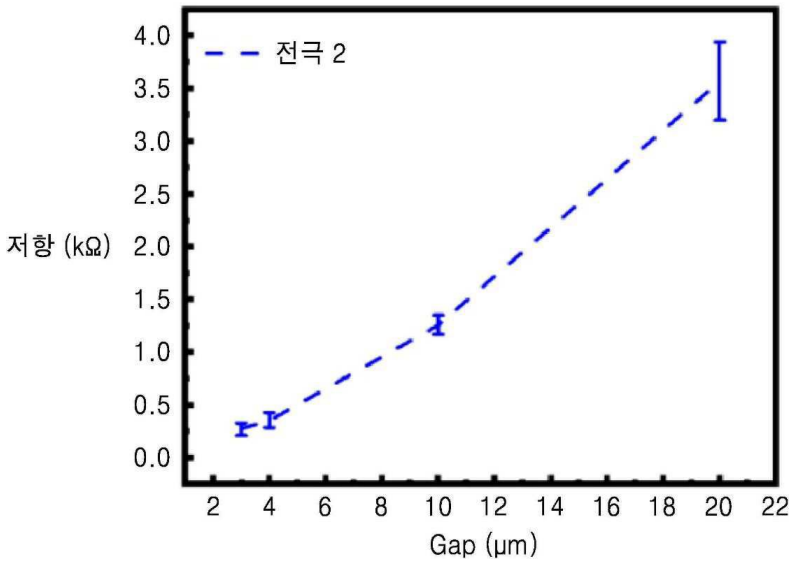
도면8


40
30
20
10
0
−10
−20
−30
−40
전류 (mA)
전극 1
전극 2
전극 3
전극 4
−6
−4
−2
0
2
4
6
전압 (V)

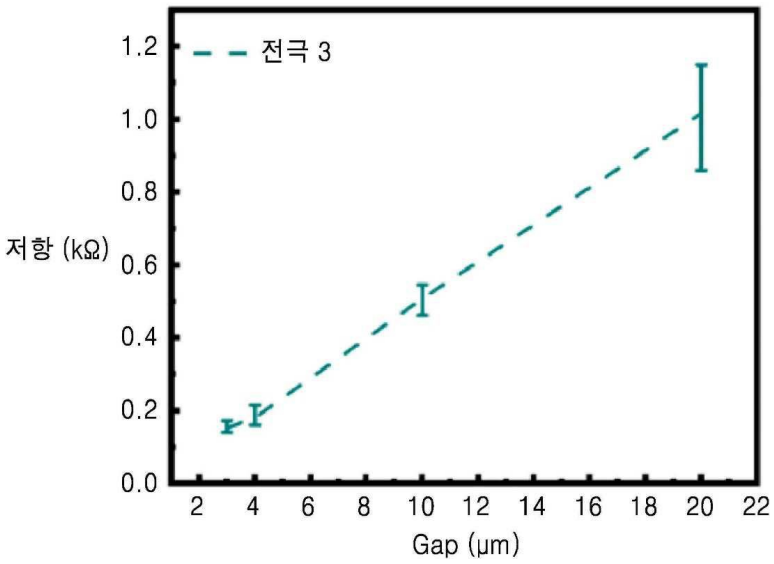
도면9a


전극 1
저항 (kΩ)
0
2
4
6
8
10
12
14
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
Gap (μm)

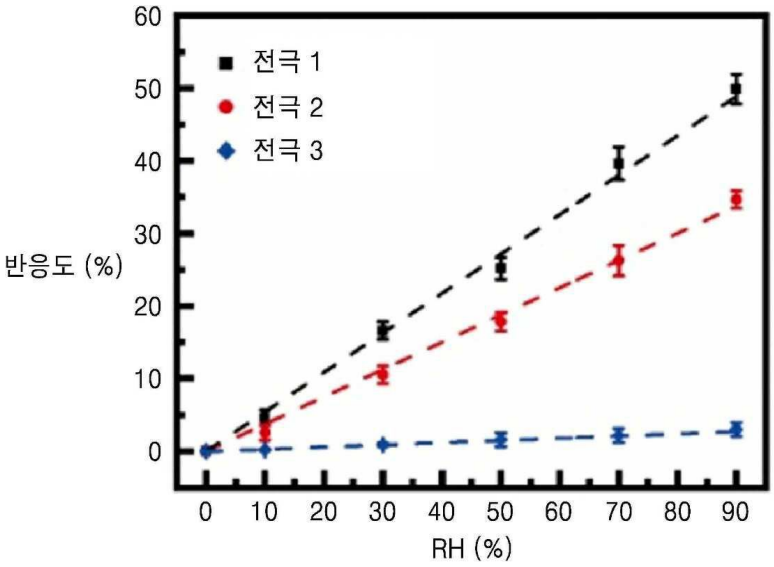
도면9b


전극 2
저항 (kΩ)
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
Gap (μm)

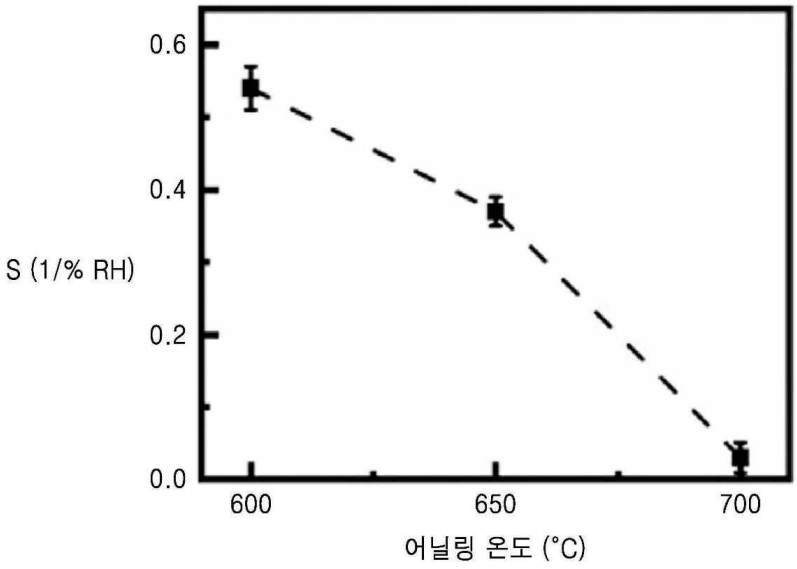
도면9c


전극 3
저항 (kΩ)
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
Gap (μm)

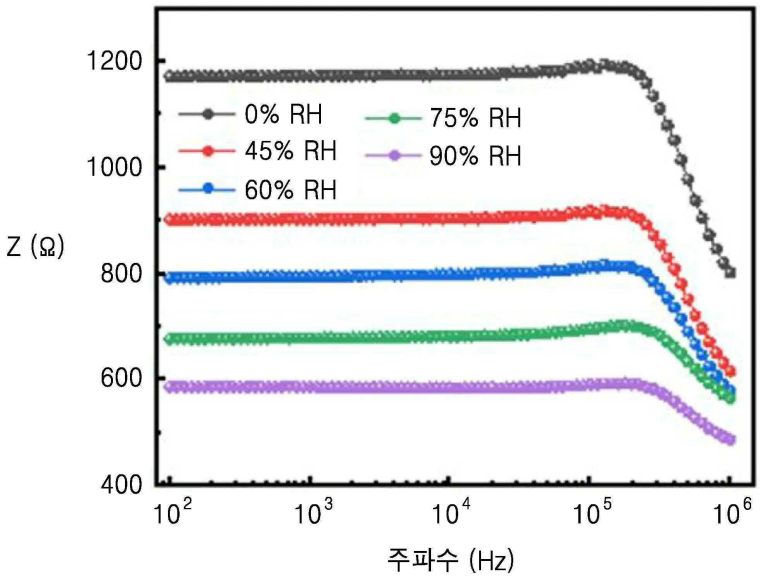
도면10a


전극 1
전극 2
전극 3
반응도 (%)
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
RH (%)

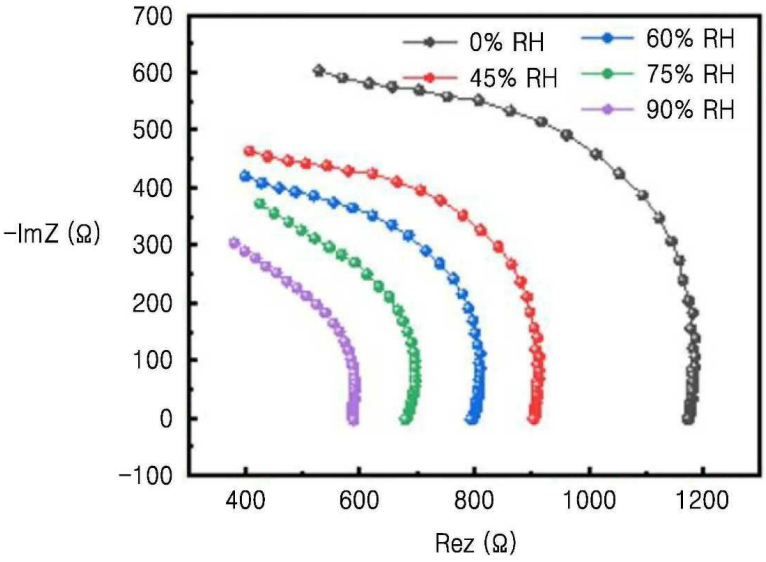
도면10b


0.6
0.4
0.2
0.0
S (1/% RH)
600
650
700
어닐링 온도 (°C)

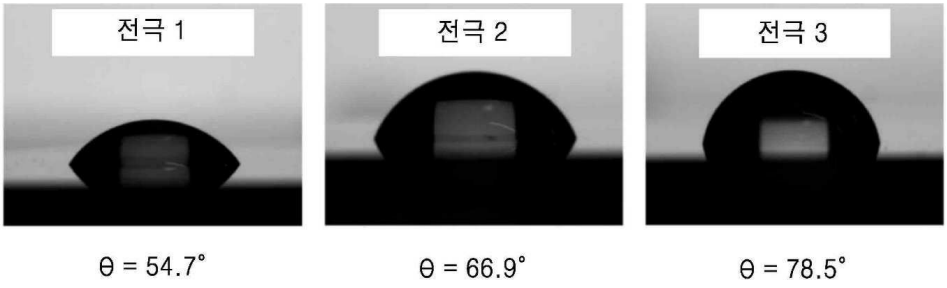
도면11a


1200
1000
800
600
400
Z (Ω)
0% RH
45% RH
60% RH
75% RH
90% RH
$10^2$
$10^3$
$10^4$
$10^5$
$10^6$
주파수 (Hz)

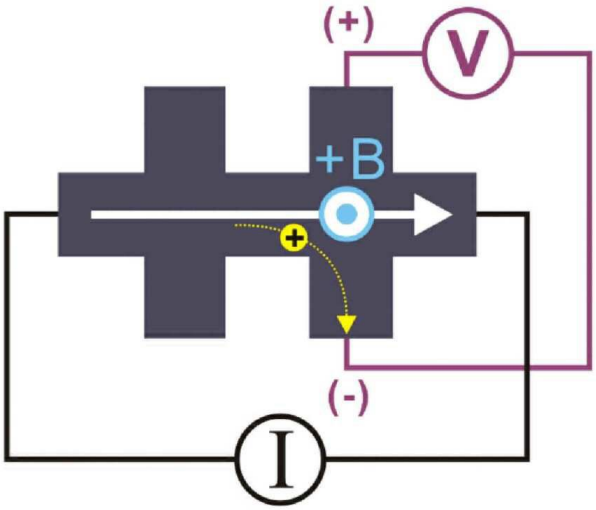
도면11b



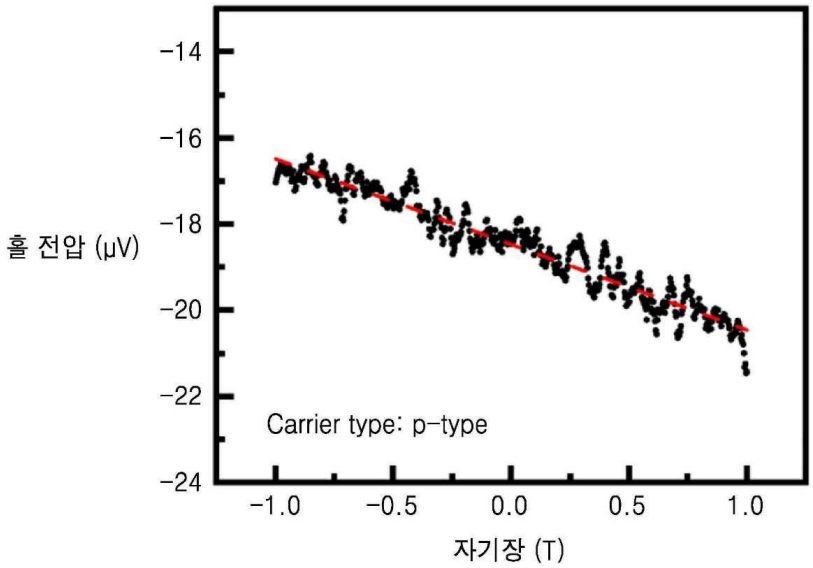

도면12



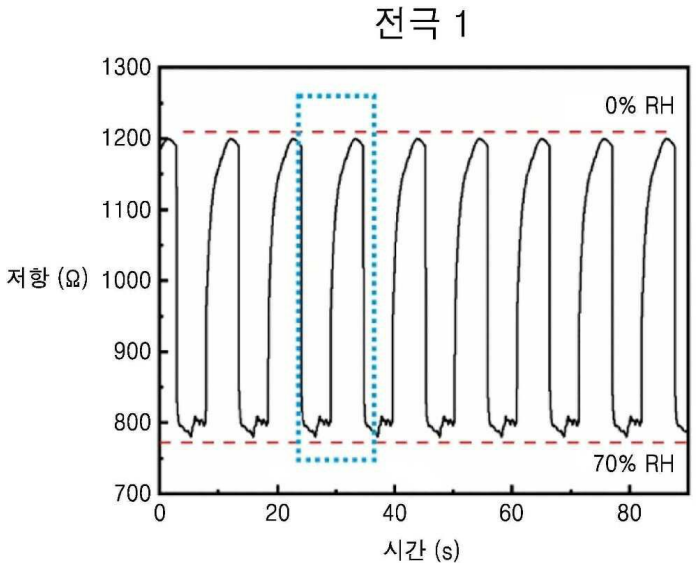

도면13a



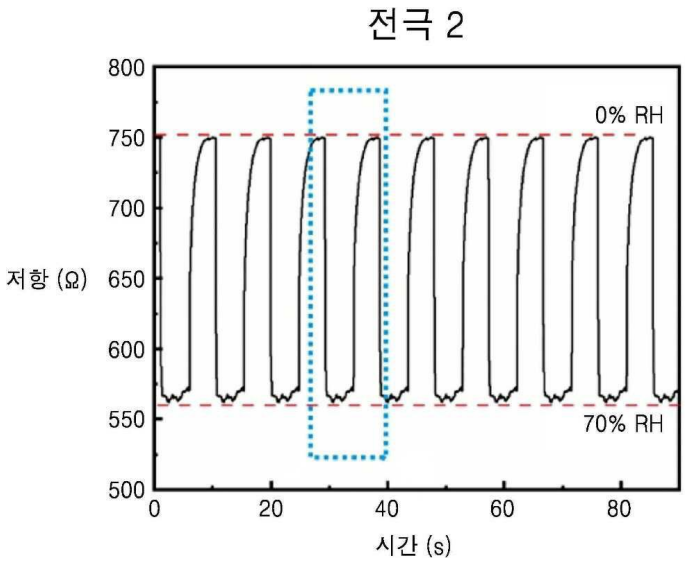
도면13b


홀 전압 (μV)
-14
-16
-18
-20
-22
-24
Carrier type: p-type
-1.0
-0.5
0.0
0.5
1.0
자기장 (T)

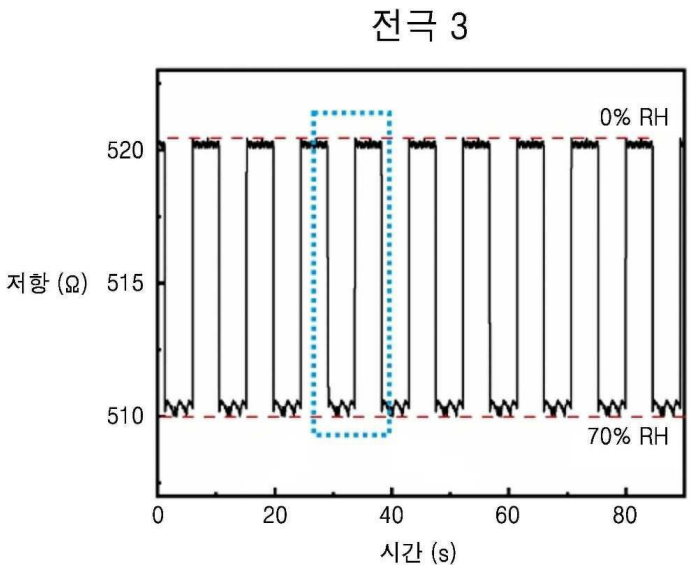
도면14a


전극 1
저항 (Ω)
1300
1200
1100
1000
900
800
700
0% RH
70% RH
0
20
40
60
80
시간 (s)

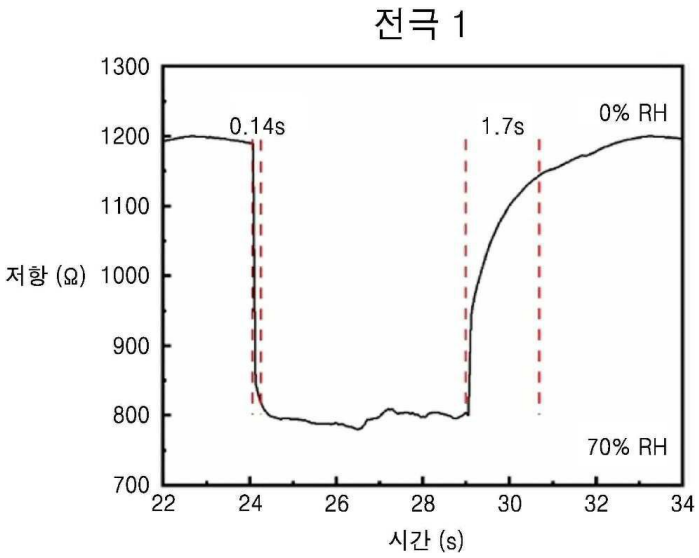
도면14b


전극 2
800
750
700
650
600
550
500
저항 (Ω)
0% RH
70% RH
0
20
40
60
80
시간 (s)

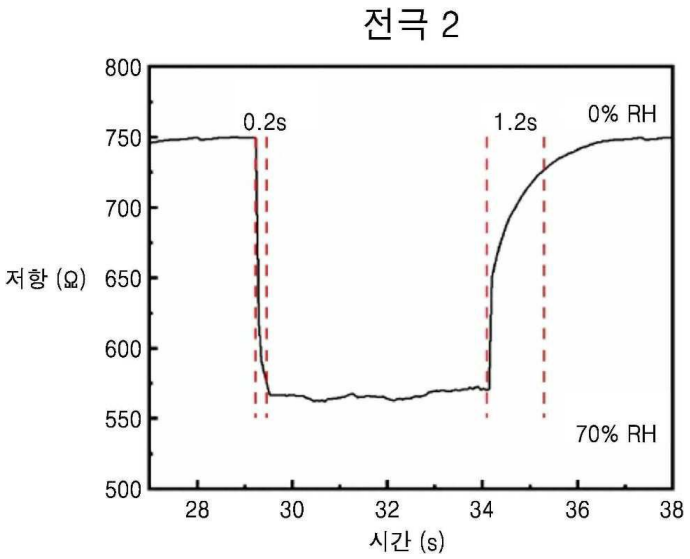
도면14c


전극 3
520
515
510
저항 (Ω)
0% RH
70% RH
0
20
40
60
80
시간 (s)

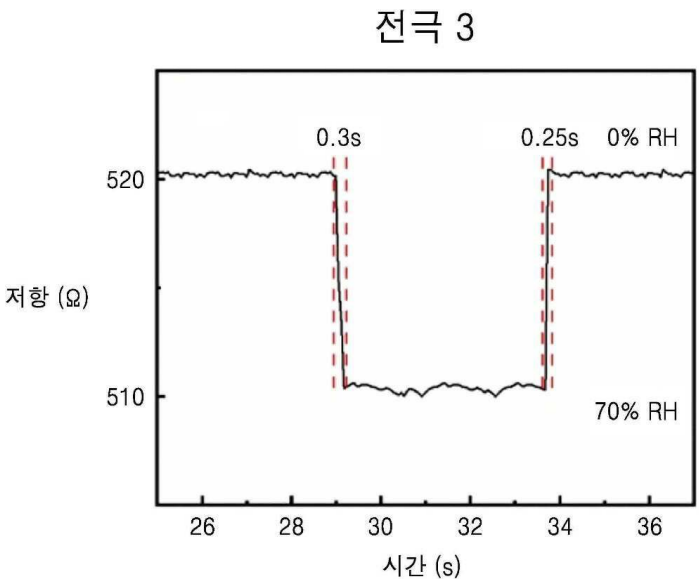
도면14d


전극 1
1300
1200
1100
1000
900
800
700
저항 (Ω)
0.14s
1.7s
0% RH
70% RH
22
24
26
28
30
32
34
시간 (s)

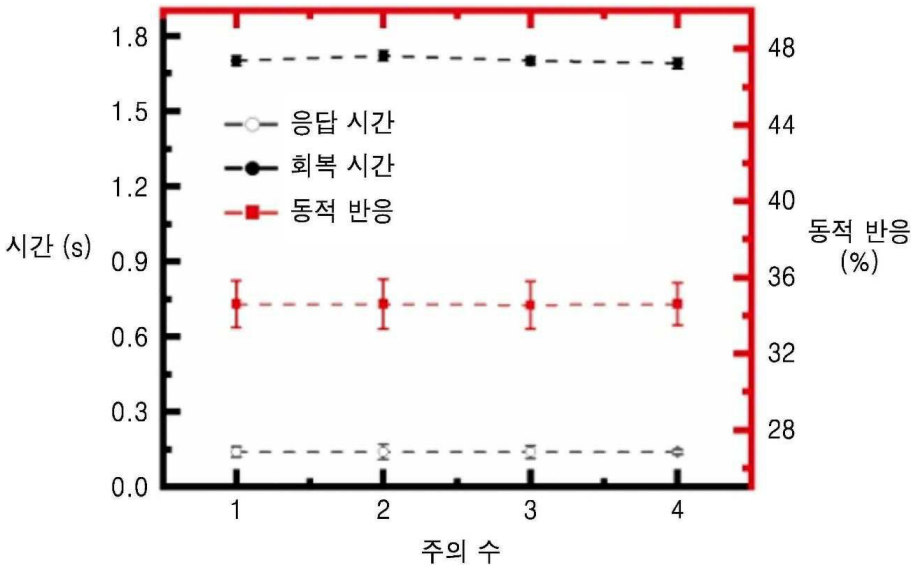
도면14e


전극 2
800
750
700
650
600
550
500
저항 (Ω)
0.2s
1.2s
0% RH
70% RH
28
30
32
34
36
38
시간 (s)

도면14f


전극 3
0.3s
0.25s
0% RH
70% RH
520
510
저항 (Ω)
26
28
30
32
34
36
시간 (s)

도면15a


응답 시간
회복 시간
동적 반응
시간 (s)
1.8
1.5
1.2
0.9
0.6
0.3
0.0
48
44
40
36
32
28
동적 반응 (%)
1
2
3
4
주의 수

도면15b

