



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0033668
(43) 공개일자 2022년03월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 27/407 (2006.01) D06M 15/37 (2006.01)
G01N 27/327 (2006.01) G01N 33/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 27/4075 (2013.01)
D06M 15/37 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0115803
(22) 출원일자 2020년09월10일
심사청구일자 2020년09월10일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
윤대성
서울특별시 강남구 광평로10길 6, 101동 201호 (일원동, 한솔마을아파트)
이상원
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 서울캠퍼스하나과학관 (안암동5가)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
위병갑

전체 청구항 수 : 총 8 항

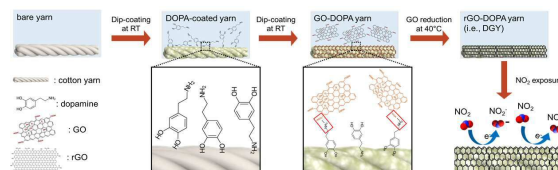
(54) 발명의 명칭 도파민-그래핀 하이브리드 웨어러블 전자섬유 기반의 가스 센서 및 그 제조방법

(57) 요약

섬유; 및 상기 섬유지지체 상에 형성된 센싱층을 포함하며, 상기 센싱층은

상기 섬유지지체 상에 형성된 도파민; 및 상기 도파민과 결합된 그래핀을 포함하는 복합체로 구성된 것을 특징으로 하는 도파민-그래핀 하이브리드 웨어러블 전자섬유 기반의 가스 센서가 제공된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01N 27/3277 (2013.01)

G01N 27/4074 (2013.01)

G01N 33/0037 (2013.01)

(72) 발명자

이규도

세종특별자치시 조치원읍 섭골길 59, 102동 704호
(e-편한세상 세종)

김인수

서울특별시 성북구 인촌로24가길 4-11, B03호

이동택

서울특별시 성북구 장월로1길 28, 113동 2104호 (상월곡동, 동아에코빌아파트)

정효기

서울특별시 동대문구 안암로18가길 20, B동 403호
(제기동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711105863
과제번호	2018M3C1B7020722
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	STEAM연구(R&D)
연구과제명	고효율성 저농도 시간차 다중약물 전달 시스템 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	고려대학교
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711113219
과제번호	2019R1A2B5B01070617
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	그래핀 센서 소자 기반 퇴행성 뇌질환 관련 약물 스크리닝 기술 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	고려대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

섬유; 및

상기 섬유지지체 상에 형성된 센싱층을 포함하며,

상기 센싱층은

상기 섬유지지체 상에 형성된 도파민; 및

상기 도파민과 결합된 그래핀을 포함하는 복합체로 구성된 것을 특징으로 하는 도파민-그래핀 하이브리드 웨어러블 전자섬유 기반의 가스 센서.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 도파민과 상기 그래핀은 수소결합한 것을 특징으로 하는 도파민-그래핀 하이브리드 웨어러블 전자섬유 기반의 가스 센서.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 그래핀은 그래핀 산화물 형태로 상기 도파민과 결합한 후 환원된, 환원 그래핀 산화물인 것을 특징으로 하는 도파민-그래핀 하이브리드 웨어러블 전자섬유 기반의 가스 센서.

청구항 4

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 가스 센서는 이산화질소 센서인 것을 특징으로 하는 도파민-그래핀 하이브리드 웨어러블 전자섬유 기반의 가스 센서.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 가스센서는 상기 이산화질소와 상기 그래핀간 접촉에 따른 상기 그래핀의 전도도 변화로 이산화질소를 센싱하는 것을 특징으로 하는 도파민-그래핀 하이브리드 웨어러블 전자섬유 기반의 가스 센서.

청구항 6

도파민-그래핀 하이브리드 가스 센서 제조방법으로,

섬유상에 도파민을 코팅하는 단계;

상기 도파민에 그래핀 산화물을 결합시키는 단계;

상기 그래핀 산화물을 환원시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 도파민-그래핀 하이브리드 웨어러블 전자섬유 기반의 가스 센서.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 도파민과 상기 그래핀 산화물은 수소결합하는 것을 특징으로 하는 도파민-그래핀 하이브리드 웨어러블 전자섬유 기반의 가스 센서.

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 도파민-그래핀 하이브리드 가스 센서는 이산화질소 센서인 것을 특징으로 하는 도파민-그래핀 하이브리드 웨어러블 전자섬유 기반의 가스 센서.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 도파민-그래핀 하이브리드 웨어러블 전자섬유 기반의 가스 센서 및 그 제조방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 인체에 해로운 이산화질소 등과 같은 가스를 고민감도, 고선택성으로 센싱 할 수 있는 전자섬유 기반의 도파민-그래핀 하이브리드 웨어러블 전자섬유 기반의 가스 센서 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근, 세계적으로 (초)미세먼지 (PM2.5, PM10)의 빈번한 발생으로 대기환경오염의 심각성이 대두되고 있다. 이에 따라, 사람들은 건강에 대한 우려로 인하여 외부 출입을 자제하거나 미세먼지 차단용 마스크 착용율이 증가하고 있다. (초)미세먼지에 장시간동안 노출될 경우 안구질환, 호흡기질환, 폐질환 등이 발생하게 되며, 심할 경우 폐암, 뇌졸중, 심혈관 질환 등 심각한 질병으로 인하여 생명에 지장을 줄 수 있다. 실제 2015년 통계 자료에 따르면, 미세먼지로 인한 연 사망자 수는 약 12000명으로 집계되며 이 중 뇌졸중 (58%)과 폐암 (24%)이 큰 비중을 차지한다. (초)미세먼지 형성을 유발하는 여러 인 중 차량 배기가스, 산업단지 및 주방에서 발생하는 질소산화물 (NOx)이 주목받고 있다. 이와 같이 배출된 질소산화물은 대기 중에서 반응하여 미세먼지를 형성하게 된다. 또한, 이산화질소 가스의 경우 인체에 매우 해로운 무색/무취의 독성 가스로 저농도 (< 10 ppm)에 노출되어도 눈병, 호흡기질환, 폐질환 등을 야기할 수 있다.

[0003] 비록 기상청에서 시민들에게 일정 시간간격으로 대기 중 미세먼지, 이산화질소, 이산화황 등 인체에 유해한 요인들의 농도정보를 제공하여 건강에 유의할 수 있도록 하지만, 정작 개개인이 알고 싶은 장소와 시간에서의 대기 상태를 알기엔 어려움이 존재한다.

[0004] 따라서, 본 발명자는 사용자들이 스스로 손쉽게 저렴하게 대기 상태를 측정할 수 있는 웨어러블 가스 센서의 필요성이 대두된다.

[0005] 이러한 가스 센서용 물질로서 그래핀이 연구되고 있다. 그래핀은 탄소 원자로 만들어진 2차원 물질로 벌집 모양의 구조를 가지고 있으며, 단층의 그래핀은 3Å1)의 두께로 매우 얇은 물질이며, 반도체(Semiconductor) 특성을 갖는다.

[0006] 그래핀은 강도, 열전도율, 전자이동도 등 여러 가지 특징이 현존하는 물질 중 가장 뛰어난 소재로 디스플레이, 이차전지, 태양전지, 자동차 및 조명 등 다양한 분야에 응용되어 관련 산업의 성장을 견인할 전략적 핵심소재로 인정받고 있다.

[0007] 그래핀에 대한 응용분야로, 검출하고자 하는 물질이 흡착 또는 탈착 됨에 따라 발생하는 전기적 저항에 따른 그래핀의 전기전도도 변화에 따라 가스 등의 검출 물질을 센싱하는 센서이다.

[0008] 예를 들어 대한민국 공개특허 10-2014-0021745호는 금속산화물 나노로드의 표면에 그래핀 촉매가 결합된 복합체를 개시하고 있다.

[0009] 또한 대한민국 특허등록 10-1694529호는 그래핀 투명 가스센서 및 이의 제조방법을 개시하고 있다. 하지만, 종래기술은 실제로 플렉서블하거나 신장되어야 하는 환경에서 그래핀을 효과적으로 결합시키면서도 동시에 그래핀이 가지고 있는 센싱 효율을 그대로 유지하는 기술을 개시하고 있지 못한 상황이다.

[0010] 특히 그래핀 센서에서 접착물질로 접착성 구형 단백질(globular protein)을 사용하였으나, 이 경우 부착된 그래핀 양이 다소 작기 때문에 전도성이 낮고, 이에 따라 센싱 효율이 낮은 센서가 제작된다. 예를 들어 대한민국 특허출원 2013-013724호는 속이 텅 빈 할로우 타입의 단백질을 사용한 기술을 개시하고 있다.

[0011] 하지만, 이와 같이 구형 단백질을 사용하여 기존에 제작한 센서를 보면 접착 단백질을 사용했음에도 불구하고 센싱효율 (예, 응답시간, 검출가능 최소 농도 등)이 낮다는 단점이 존재한다. 또한, 센서를 제작하기 위해선 그

래핀을 합성해야 하거나, 장비를 이용하여 섬유를 준비해야한다는 번거로움이 있다. (하기 표 1 참조)

표 1

[0012]

이산화질소 (NO ₂)	대한민국 (2015)	구형 단백질과 탄소물질을 이용하여 면실 기반의 센서 제작 검출 한계: 장시간 검출시간 (약 25분), 검출가능 최저농도 (1 ppm)
이산화질소 (NO ₂)	대한민국 (2018)	가스흡착공간을 늘리기 위해, 그물망(mesh)구조의 섬유기반전자섬유 제작 검출 한계: 장시간의 반응시간 (약 50분), electro-spinning 장비 및 기술 필요
이산화질소 (NO ₂)	대한민국 (2018)	organic 구형 단백질과 그래핀을 이용하여 전자섬유 제작 검출 한계: 그래핀 합성 과정이 필요, 장시간의 반응시간 (~30분)이 요구됨,

[0013]

따라서, 이상의 문제를 해결하기 위하여 그래핀과 섬유간 접촉력을 유지하면서도 센싱효율을 유지하는 그래핀 기반의 섬유형 센서 및 그 제조방법의 개발이 필요한 상황이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0014]

따라서, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 그래핀과 섬유 형태의 지지체간 접촉력을 유지하면서도 그래핀의 우수한 센싱 특성을 극대화하는 섬유기반의 새로운 센서 및 그 제조방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0015]

상기 과제를 해결하기 위하여, 본 발명은 섬유; 및 상기 섬유지지체 상에 형성된 센싱층을 포함하며, 상기 센싱층은 상기 섬유지지체 상에 형성된 도파민; 및상기 도파민과 결합된 그래핀을 포함하는 복합체로 구성된 것을 특징으로 하는 도파민-그래핀 하이브리드 웨어러블 전자섬유 기반의 가스 센서를 제공한다.

[0016]

본 발명의 일 실시예에서, 상기 도파민과 상기 그래핀은 수소결합하며, 상기 그래핀은 그래핀 산화물 형태로 상기 도파민과 결합한 후 환원된, 환원 그래핀 산화물이다.

[0017]

본 발명은 또한 상기 가스 센서는 이산화질소 센서인 것을 특징으로 하는 도파민-그래핀 하이브리드 웨어러블 전자섬유 기반의 가스 센서를 제공한다.

[0018]

본 발명의 일 실시예에서, 상기 가스센서는 상기 이산화질소와 상기 그래핀간 접촉에 따른 상기 그래핀의 전도도 변화로 이산화질소를 센싱한다.

[0019]

본 발명은 도파민-그래핀 하이브리드 가스 센서 제조방법으로, 섬유상에 도파민을 코팅하는 단계; 상기 도파민에 그래핀 산화물을 결합시키는 단계; 상기 그래핀 산화물을 환원시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 도파민-그래핀 하이브리드 웨어러블 전자섬유 기반의 가스 센서를 제공한다.

[0020]

본 발명의 일 실시예에서, 상기 도파민과 상기 그래핀 산화물은 수소결합하며, 상기 도파민-그래핀 하이브리드 웨어러블 전자섬유 기반의 가스 센서는 이산화질소 센서이다.

발명의 효과

[0021]

본 발명에 따르면, 도파민을 이용하여 섬유표면에 그래핀을 부착/접착시켜 전도성을 띠는 전자섬유의 제조가 가능하다. 본 발명에 따른 도파민-그래핀 하이브리드 센서는 2분 이내로 고민감도 (~1 ppm)와 고선택성, 그리고 습도에 무관하게 이산화질소 가스를 검출 할 수 있고, 다양한 조건에서 이산화질소를 검출하고 그 농도까지 확인할 수 있다. 또한, 본 전자섬유는 여러번의 세척 과정에 물리적 안정성을 보여 웨어러블 디바이스로의 응용가능성을 나타낸다.

도면의 간단한 설명

[0022]

도 1은 본 발명에 따른 도파민-그래핀 하이브리드 전자섬유 기반 이산화질소 가스 센서 제작 과정 모식도 및 센싱 원리를 설명하는 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 도파민-그래핀 하이브리드 웨어러블 전자섬유 기반의 가스 센서 제조방법의 단계도이고, 도 3은 각 단계별 사진이다.

도 4는 도 2 및 3에서 제조된 전자섬유의 전도성을 확인하기 위하여, 전류-전압 측정기를 이용해 전도성을 측정한 결과이다.

도 5는 질량 흐름 제어기 (Mass flow controller)를 통해 가스 챔버 안의 전자섬유 기반 가스센서에 이산화질소 가스 노출 모식도이다.

도 6은 다양한 농도의 도파민과 일정한 농도의 그래핀 (1 g/L)으로 제작한 전자섬유의 전도도 측정 그래프이다.

도 7은 다양한 농도의 그래핀과 일정한 농도의 도파민 (2 mg/L)으로 제작한 전자섬유의 전도도 측정 그래프이다.

도 8은 다양한 종류의 가스와 습도에 노출된 경우, 전자섬유 기반 가스 센서의 전도도 변화 결과이다.

도 9는 3가지 연료(수소, 가솔린, 디젤)의 자동차 배기에 노출된 전자섬유 기반 가스 센서의 전도도 변화 결과이다.

도 10 및 11은 각각 비눗물에 최대 5차례 세척한 도파민-그래핀 기반 전자섬유의 전기전도성 변화 결과값이고, 비눗물에 최대 5차례 세척한 도파민-그래핀 기반 전자섬유의 주사전자현미경 이미지이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 이하, 본 발명에 따른 도파민-그래핀 하이브리드 웨어러블 전자섬유 기반의 이산화질소 가스 센서 및 그 제조방법을 바람직한 실시예를 첨부한 도면들에 의거하여 상세히 설명한다. 참고로, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어와 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석해야만 한다. 또한, 본 명세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 일 실시예에 불과할 뿐이고, 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형 예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.
- [0024] 본 발명은 상술한 과제를 해결하기 위하여, 섬유지지체에 구형(globular) 단백질이 아닌, 혼합에서 생성되는 섬유의 성분으로 소수성 및 친수성 표면 모두에 접촉할 수 있는 물질인 도파민을 이용하여 섬유에 그래핀을 접착시킨다. 이로써 섬유 상에 도파민-그래핀 하이브리드 물질이 코팅된 웨어러블 센서가 제조된다.
- [0025] 즉, 본 발명에서 사용된 도파민은 넓은 표면적의 섬유를 덮을 수 있음에 따라 많은 양의 그래핀과 하이브리드를 형성할 수 있다.
- [0026] 따라서, 본 발명은 도파민을 통하여 그래핀의 담지 용량을 넓혀 선택적으로 센싱효율을 극대화하거나 민감도를 제어할 수 있으며, 또한 신장되거나 굽혀지는 섬유 형태의 지지체에도 도파민을 통하여 센싱 활물질인 그래핀을 강하게 접착하게 하여 웨어러블 형태의 센서(예를 들어 이산화질소 센서)를 구현 가능하게 한다.
- [0027] 상술한 효과를 갖는 도파민-그래핀 하이브리드 웨어러블 전자섬유 기반의 이산화질소 가스 센서는 섬유; 및 상기 섬유지지체 상에 형성된 센싱층을 포함하며, 상기 센싱층은 상기 섬유지지체 상에 형성된 도파민; 및 상기 도파민과 결합된 그래핀을 포함하는 복합체로 구성된 구조를 갖는다.
- [0028] 도 1은 본 발명에 따른 도파민-그래핀 하이브리드 전자섬유 기반 이산화질소 가스 센서 제작 과정 모식도 및 센싱 원리를 설명하는 도면이다.
- [0029] 도 1을 참조하면, 실(yarn)에 도파민을 코팅한 후, 다시 그래핀 산화물(그래핀 산화물, Graphene Oxide(GO))를 코팅한다.
- [0030] 본 발명에 사용된 도파민은 아민기를 가지는데, 아민기는 다시 그래핀 산화물의 표면에 존재하는 카르복실기 등의 하이드록실기와 수소결합을 하며, 그 결과 도파민과 그래핀 산화물은 강한 힘으로 접착한다. 이후 그래핀 산화물을 하이드라진과 같이 환원제를 사용하여 환원시키며, 그 결과 도파민-환원된 그래핀 산화물(rGO)의 하이브리드 구조의 섬유센서를 제조할 수 있다. 본 발명에 따라 제조된 섬유센서는 이산화질소와 접촉하는 경우, 이산화질소에 전자를 공급하여 전도도가 변화되며, 이는 도 1의 메커니즘 모식도에서 설명된다.
- [0031] 구체적으로 설명되는 하기 실시예에서 전자섬유 기반 센서는 이산화질소를 검출하기 위한 센서로 설명되나, 본

발명의 범위는 이에 제한되지 않는다.

- [0032] 이하 본 발명의 실시예를 통하여 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 센서 및 그 제조방법을 설명한다. 하지만 하기 설명되는 실시예에 의하여 본 발명의 범위가 한정되지 않는다.
- [0033] 실시예
- [0034] 도파민-그래핀 하이브리드 웨어러블 전자섬유 기반의 가스 센서 제조
- [0035] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 도파민-그래핀 하이브리드 웨어러블 전자섬유 기반의 가스 센서 제조방법의 단계도이고, 도 3은 각 단계별 사진이다.
- [0036] 도 2 및 3을 참조하면, 먼저 섬유(폴리에틸렌)를 도파민 용액에 침지하여 도파민을 코팅한다. 이후 상기 그래핀 산화물(옥사이드) 용액에 상기 도파민이 코팅된 섬유를 침지하여 그래핀 산화물을 상기 도파민 상에 코팅한다. 이로써 섬유-도파민-그래핀산화물 구조의 구조체가 형성되는데, 그래핀 산화물은 부도체이므로 이를 하이드라진 등과 같은 별도의 환원제로 환원시켜 도파민과 결합된 그래핀을 제조하였다.
- [0037] 실험예
- [0038] 도 4는 도 2 및 3에서 제조된 전자섬유의 전도성을 확인하기 위하여, 전류-전압 측정기를 이용해 전도성을 측정한 결과이다.
- [0039] 도 4를 참조하면, 도 2 및 3에서 환원과정을 거친 도파민-그래핀 섬유센서는 I-V가 그래핀만 코팅된 섬유나 그래핀 산화물만 코팅된 섬유에 비하여 전기 전도성을 뚜렷하게 가지는 것을 알 수 있다.
- [0040] 도 5는 질량 흐름 제어기 (Mass flow controller)를 통해 가스 챔버 안의 전자섬유 기반 가스센서에 이산화질소 가스 노출 모식도이다.
- [0041] 도 5를 참조하면, 도 4에서 도시되는 방식에서 이산화질소 가스 노출 전 후의 섬유 전도도를 측정하였고, 이를 통하여 이산화질소의 검출 민감도와 농도 등을 확인하였다.
- [0042] 도 6은 다양한 농도의 도파민과 일정한 농도의 그래핀 (1 g/L)으로 제작한 전자섬유의 전도도 측정 그래프이다.
- [0043] 도 6을 참조하면, 도파민의 농도가 증가할수록 민감도는 증가하지만, 도파민 용액의 농도가 2mg/L 까지는 급격하게 증가하나 2mg/L 이상 특히 3 mg/L 에서는 민감도가 크게 증가하지 않는 것을 알 수 있다. 따라서, 경제적인 관점에서 섬유 지지체가 침지되는 도파민 용액의 농도는 1 내지 3mg/L인 것이 바람직하다.
- [0044] 도 7은 다양한 농도의 그래핀과 일정한 농도의 도파민 (2 mg/L)으로 제작한 전자섬유의 전도도 측정 그래프이다.
- [0045] 도 7을 참조하면, 그래핀의 온도는 0.5 g/L를 초과하는 범위에서 크게 증가하는데, 특히 1 g/L를 초과하는 범위가 바람직하며, 1 내지 2 g/L 또한 가능하다.
- [0046] 본 발명에 따른 전자섬유 기반 가스센서는 다양한 종류의 가스 환경에서도 타겟하는 이산화질소를 고선택도로 검출할 수 있다.
- [0047] 도 8은 다양한 종류의 가스와 습도에 노출된 경우, 전자섬유 기반 가스 센서의 전도도 변화 결과이다.
- [0048] 도 8을 참조하면, 다양한 종류의 가스 및 습도 조건에서도 이산화질소만이 특이적으로 높은 전기적 세기로 검출하는 것을 알 수 있다. 이것은 본 발명에 따른 센서의 이산화질소에 대한 높은 선택도를 의미한다.
- [0049] 본 발명에 따른 센서는 수소, 가솔린, 디젤을 연소하면서 나온 배기가스 중의 이산화질소를 효과적으로 검출할 수 있는 실용성을 갖는다.
- [0050] 도 9는 3가지 연료(수소, 가솔린, 디젤)의 자동차 배기에 노출된 전자섬유 기반 가스 센서의 전도도 변화 결과이다.
- [0051] 도 9를 참조하면, 배기가스 노출 후 이산화질소와의 반응에 따라 전도도가 증가하는 것을 알 수 있으며, 특히 디젤, 가솔린 배기 순서로 고반응성을 갖는 것은 본 발명에 따른 가스센서가 가지는 정량적 정확도를 시사한다.
- [0052] 본 발명에 따른 가스센서는 센싱 물질이 섬유표면 위에 안정하게 결합된 특성을 갖는데, 이것은 도 10 및 11에 도시된다.
- [0053] 도 10 및 11은 각각 비눗물에 최대 5차례 세척한 도파민-그래핀 기반 전자섬유의 전기전도성 변화 결과 값이고,

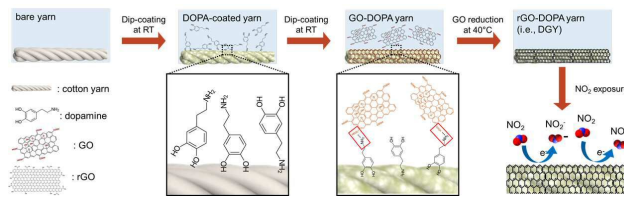
비눗물에 최대 5차례 세척한 도파민-그래핀 기반 전자섬유의 주사전자현미경 이미지이다.

[0054] 도 10 및 11을 참조하면, 비눗물에 세척한 후에도 일정한 전기전도도 및 물성을 보이는 것을 알 수 있다. 이것은 결국 본 발명에 따른 도파민-그래핀 기반 전자섬유의 기계적/전기적 안정성을 나타내는 결과이다.

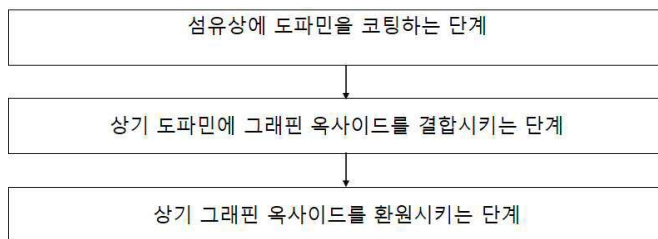
[0055] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시 예에 대하여 설명하였으나, 본 발명은 상술한 특정의 실시 예에 한정되지 아니한다. 즉, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가지는 자라면 첨부된 특허청구범위의 사상 및 범주를 일탈함이 없이 본 발명에 대한 다수의 변경 및 수정이 가능하며, 그러한 모든 적절한 변경 및 수정의 균등물들도 본 발명의 범위에 속하는 것으로 간주되어야 할 것이다.

도면

도면1



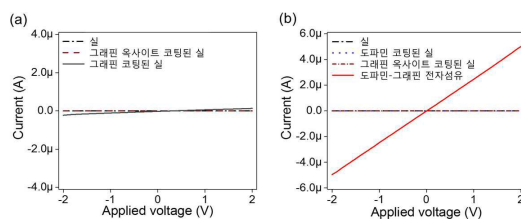
도면2



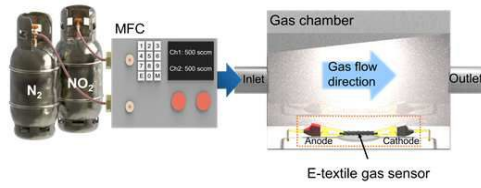
도면3



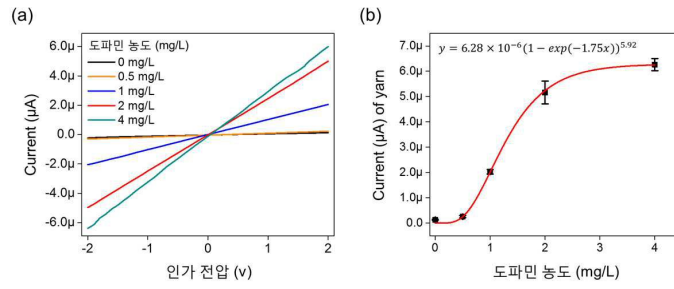
도면4



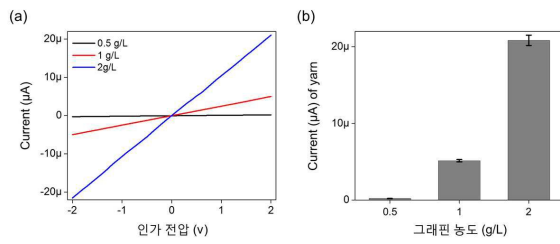
도면5



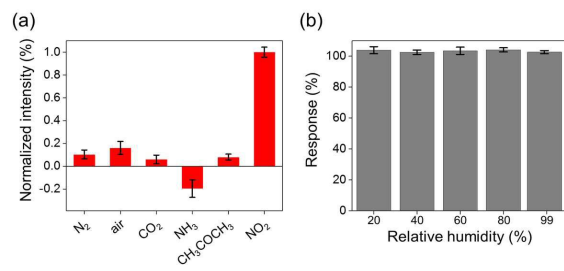
도면6



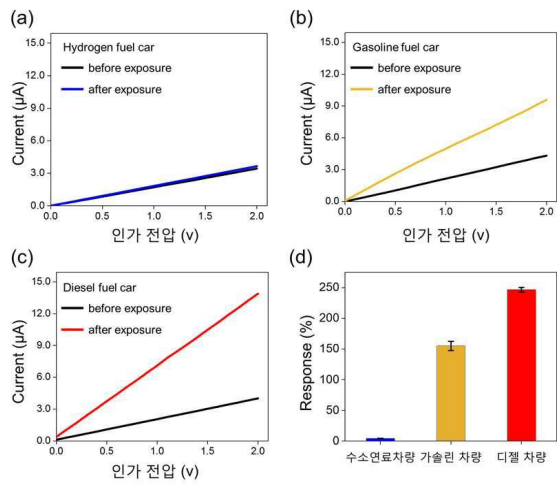
도면7



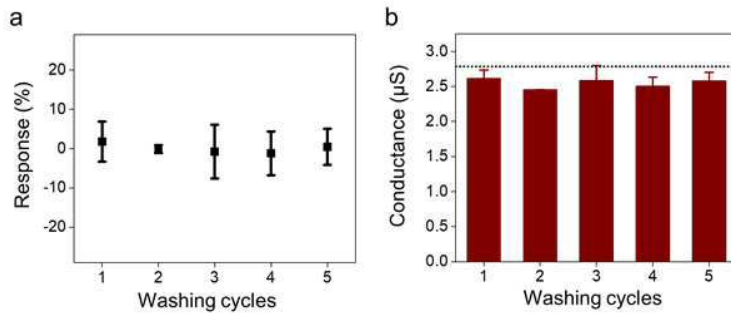
도면8



도면9



도면10



도면11

