(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년10월27일
(11) 등록번호 10-1670181
(24) 등록일자 2016년10월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C08J 5/18 (2006.01) *C08L 79/02* (2006.01)
G01N 27/12 (2006.01) *B82Y 15/00* (2011.01)
(52) CPC특허분류
C08J 5/18 (2013.01)
C08L 79/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0109417
(22) 출원일자 2015년08월03일
심사청구일자 2015년08월03일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020030032095 A
KR1019970022302 A
홍종달 외 1명, 'Dopamine-Melanin Nanofilms for Biomimetic Structural Coloration', Biomarcomolecules, pp.660~666.*
JP08327578 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
(72) 발명자
홍종달
인천광역시 연수구 동곡재로117번길 22, 102동 401호(동춘동,대우3차아파트)
위 통페이
인천광역시 연수구 아카데미로 119
(74) 대리인
차준용

전체 청구항 수 : 총 20 항 심사관 : 최춘식

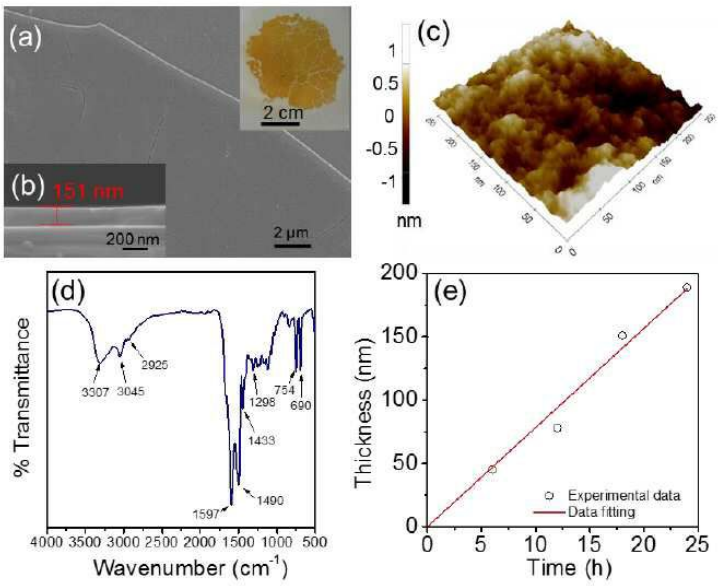
(54) 발명의 명칭 **수분센서용 도파민-멜라닌 필름의 제조방법**

(57) 요 약

본 발명은 수분센서용 도파민-멜라닌 필름의 제조방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 기체/액체 계면에서 자가조립에 의해 도파민-멜라닌 나노 필름을 형성하되 도파민 자동중합 환경을 약염기 조건으로 정밀하게 조절하고 또한 형성된 나노 필름을 전극에 직접 옮겨 수분센서를 제작함으로써, 높은 민감도와 더불어 빠른 응답/회복 시

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도2



간 및 우수한 재현성을 구현할 수 있고, 제조 공정이 매우 용이해지며, 종래 강염기를 사용하여 필름 형성시 바닥면에 도파민-멜라닌 입자가 부착되어 필름이 파열되는 문제를 최소화할 수 있는, 수분센서용 도파민-멜라닌 필름의 제조방법, 이에 따라 제조된 도파민-멜라닌 필름, 및 이를 이용한 고성능 수분센서의 제작방법에 관한 것이다.

이를 통해, 본 발명은 수분 센싱 기능이 요구되는 매우 다양한 분야에 광범위하게 활용될 수 있는바, 인공피부, 의료기기, 바이오 디바이스 등은 물론 비접촉 텃치스크린과 같은 차세대 첨단 나노 소자의 개발 과정에도 크게 기여할 수 있다.

(52) CPC특허분류
G01N 27/121 (2013.01)
B82Y 15/00 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

양성자 도파민(Protonated dopamine) 수용액에 아닐린(Aniline)을 적용한 후 자동중합 반응을 진행시켜,

기체/액체 계면에서 자가조립된 도파민-멜라닌 나노 필름을 형성하는 것을 특징으로 하는 수분센서용 도파민-멜라닌 필름의 제조방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 양성자 도파민(Protonated dopamine)은 도파민 하이드로클로라이드(Dopamine·HCl)인 것을 특징으로 하는 수분센서용 도파민-멜라닌 필름의 제조방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 아닐린(Aniline)의 존재로 인해 도파민-멜라닌 그래뉼(Granules)의 생성이 억제되는 것을 특징으로 하는 수분센서용 도파민-멜라닌 필름의 제조방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 자동중합 반응시 수용액 내의 용존산소가 산화제로서 작용하는 것을 특징으로 하는 수분센서용 도파민-멜라닌 필름의 제조방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 양성자 도파민(Protonated dopamine) 수용액은 아닐린(Aniline) 외에, 염화 마그네슘 육수화물(Magnesium chloride hexahydrate), 질산 마그네슘 육수화물(Magnesium nitrate hexahydrate), 염화나트륨(NaCl) 및 염화 칼슘 무수물(Calcium chloride anhydrous)을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 수분센서용 도파민-멜라닌 필름의 제조방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 도파민-멜라닌 나노 필름은 실온(20℃)에서 형성되는 것을 특징으로 하는 수분센서용 도파민-멜라닌 필름의 제조방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 도파민-멜라닌 나노 필름은 7.9nm/h의 속도로 두께가 증가하여 형성되는 것을 특징으로 하는 수분센서용 도파민-멜라닌 필름의 제조방법.

청구항 8

삭제

청구항 9

제1항에 있어서,

제조된 도파민-멜라닌 필름의 두께는 45~189nm인 것을 특징으로 하는 수분센서용 도파민-멜라닌 필름의 제조방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

제조된 도파민-멜라닌 필름의 두께는 151nm인 것을 특징으로 하는 수분센서용 도파민-멜라닌 필름의 제조방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

제조된 도파민-멜라닌 필름의 저항은 상대습도(RH) 0%에서 $5.07\times10^{10}\Omega$, 상대습도(RH) 51%에서 $5.59\times10^{9}\Omega$, 상대습도(RH) 100%에서 $1.24\times10^{8}\Omega$인 것을 특징으로 하는 수분센서용 도파민-멜라닌 필름의 제조방법.

청구항 12

제1항에 있어서,

제조된 도파민-멜라닌 필름의 표면 프로파일 평균평방근 거칠도(Surface profile root-mean-square roughness)는 0.46±0.09nm인 것을 특징으로 하는 수분센서용 도파민-멜라닌 필름의 제조방법.

청구항 13

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 따라 기체/액체 계면에서 도파민-멜라닌 필름을 형성하고,

상기 도파민-멜라닌 필름을 전극상에 직접 옮겨 감습막으로 사용하는 것을 특징으로 하는 수분센서의 제조방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

기체/액체 계면에서 형성된 도파민-멜라닌 필름 가장자리와 디쉬(Dish) 벽 간의 연결을 절단한 후,

디쉬를 워터 배쓰(Water bath)에 침지시켜 도파민-멜라닌 필름을 물 표면상으로 띄워 분리해 낸 다음,

전극 기판으로 분리된 도파민-멜라닌 필름을 건져내는 방식으로,

상기 도파민-멜라닌 필름을 전극상에 직접 옮겨 감습막으로 사용하는 것을 특징으로 하는 수분센서의 제조방법.

청구항 15

제13항에 있어서,

상기 전극은 금(Gold) 전극인 것을 특징으로 하는 수분센서의 제조방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

1V의 낮은 바이어스(Bias) 전압을 인가하여 금-멜라닌 덴드라이트(Dendrite)의 형성을 방지하는 것을 특징으로 하는 수분센서의 제조방법.

청구항 17

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 따라 제조된 도파민-멜라닌 필름을 감습막으로 포함하는 수분센서.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 수분센서의 응답시간(Response time)은 5~7초인 것을 특징으로 하는 수분센서.

청구항 19

제17항에 있어서,

상기 수분센서의 회복시간(Recovery time)은 6~9초인 것을 특징으로 하는 수분센서.

청구항 20

제17항에 있어서,

상기 수분센서는 의료기기, 인공피부, 실내 습도조절 시스템, 수분 알람, 생화학 배양기, 농작물 모니터링 기기, 비접촉 텃치스크린, 비접촉 위치 인터페이스, 플렉서블 기기, 플렉서블 투명전극 또는 웨어러블 디바이스(Wearable device)에 적용되는 것을 특징으로 하는 수분센서.

청구항 21

제17항에 있어서,

상기 수분센서는 음식물쓰레기 처리기, 가전제품, 제습기, 공기조화장치, 전자레인지, 이동통신 단말기, 의류 건조기, 습식 청소기, 적기에 물 공급이 필요한 화초, 기저귀, 자동차 내장센서, 냉장고, 선박용 탱크 또는 능동적 실내 온/습도센서에 적용되는 것을 특징으로 하는 수분센서.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 수분센서용 도파민-멜라닌 필름의 제조방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 기체/액체 계면에서 자가조립에 의해 도파민-멜라닌 나노 필름을 형성하되 도파민 자동중합 환경을 약염기 조건으로 정밀하게 조절하고 또한 형성된 나노 필름을 전극에 직접 옮겨 수분센서를 제작함으로써, 높은 민감도와 더불어 빠른 응답/회복 시간 및 우수한 재현성을 구현할 수 있고, 제조 공정이 매우 용이해지며, 종래 강염기를 사용하여 필름 형성시 바닥면에 도파민-멜라닌 입자가 부착되어 필름이 파열되는 문제를 최소화할 수 있는, 수분센서용 도파민-멜라닌 필름의 제조방법, 이에 따라 제조된 도파민-멜라닌 필름, 및 이를 이용한 고성능 수분센서의 제작방법에 관한 것이다.

[0002] 이를 통해, 본 발명은 수분 센싱 기능이 요구되는 매우 다양한 분야에 광범위하게 활용될 수 있는바, 인공피부, 의료기기, 바이오 디바이스 등은 물론 비접촉 텃치스크린과 같은 차세대 첨단 나노 소자의 개발 과정에도 크게 기여할 수 있다.

배 경 기 술

[0003] 습도(Humidity)는 각종 기술분야 및 인간활동에 매우 중요한 역할을 하는 것으로서 빈번하게 측정되는 물리적 요소 중 하나이다. 이에 수분-응답성 반도체 및 고분자 복합체의 용량적, 저항적 및 열전도적 특성에 기초하여 습도센서(이하, 본원에서 "수분센서"로도 지칭한다)를 적절히 설계하기 위한 많은 노력들이 시도된 바 있다. 현재의 기술적 연구는 증대하는 요구를 충족시키기 위해 더욱 높은 민감도, 더욱 넓은 습도 검출 범위, 더욱 빠른 응답성 및 더욱 짧은 회복시간과 같이 우수한 특성들을 지닌 수분-응답성 나노 물질을 개발하는 방향으로 이어지고 있다.

[0004] 이러한 최근의 예로서, 단일 SnO_2 나노와이어로부터 제조된 고-민감도 수분센서(최대 민감도 3200%, 응답시간 120~170초, 회복시간 20~60초)와 VS_2 나노시트로부터 제조된 거대-민감도 수분센서(최대 민감도 3000%, 응답시간 30~40초, 회복시간 12~50초)가 제시된 바 있다.

[0005] 그러나, 이러한 무기계 소재를 이용할 경우 약 1000℃에 이르는 가혹한 고온 조건이 필요하여 공정 효율이 떨어지는 문제가 있다.

[0006] 한편, 응상(Condensed-phase) 전자적 특성에 따른 생체고분자(Biomacromolecule)의 전기 소자에 있어서의 잠재적 용도는 아직까지 활발한 연구영역으로 존재하고 있으며, 사이토크롬-C, 콜라겐, 레시틴, DNA 및 멜라닌과 같은 다수 생체고분자의 전도성은 수화작용(Hydration)에 의존하는 것으로 알려져 있다.

[0007] 이 중 멜라닌(Melanin)은 인체 색소 시스템의 핵심요소로서, 수화-의존적 전도성과 더불어 흥미로운 전기적 특성들을 보이는 생체고분자이다. 종래 멜라닌의 수화 의존성은 Mott-Davis 비정질 반도체 모델(수정된 유전이론) 내에서 해석되었다. 그러나 최근의 연구는 이러한 패러다임의 기반을 약화시키기 시작했다. 멜라닌의 뮤온 스핀 공명(Muon spin relaxation), 전자 스핀(Electron spin) 및 전자 상자성 공명(Electron paramagnetic resonance) 측정은 멜라닌 전도성의 수화 의존성이 전자-양성자 혼성 전도 메커니즘과 관련된 전기화학적인 자가-도핑(Self-doping) 프로세스에 기인한 것이라 제안하였다. 또한 전기화학 임피던스 분광(Electrochemical impedance spectroscopy; EIS) 측정은 수화된 멜라닌 필름의 전기적 응답이 양성자에 기인한 이온 전도 및 전기화학적 프로세스에 의해 지배받는 것이라 밝혔다. 즉 이러한 수화 의존적 특성으로 인해 멜라닌은 매우 전도유망한 고성능 수분 센싱의 재료가 될 수 있다.

[0008] 그러나, 멜라닌에 기초한 미니어처화된 정교한 수분센서의 실제 개발은 아직까지도 과제로 남아있다. 자연 멜라닌은 추출하기가 어렵다는 점으로 인해, 멜라닌을 합성하여 수화 의존적 전도 거동 등 자연 멜라닌의 특성을 모방하도록 하려는 시도가 있었다. 예를 들어, 1mm 두께의 3,4-디하이드록시페닐알라닌(DOPA) 멜라닌 펠렛은 상대습도(RH) 0%에서 $10^{-13}Scm^{-1}$, 상대습도(RH) 100%에서 $10^{-5}Scm^{-1}$의 전도도를 보이는 것으로 확인되었는바, 이는 10^8 배 차이가 나는 것이다.

[0009] 일반적으로, 박막(Thin film)은 부피 대비 표면적 비율이 높기 때문에 미니어처화된 센싱 소자를 구성하기 위한 이상적인 빌딩 블록으로 고려되고 있다.

[0010] 그러나, 자연 멜라닌 및 합성 멜라닌은 거의 모든 용매에 녹지 않는 불용성 고분자인바, 종래의 용액 공정법으로는 나노 범위의 균일한 멜라닌 초박막을 대규모로 제조하는 것이 극도로 어려웠다. 또한 그 공정 자체가 번거

롭고 다단계 과정을 포함하고 있기 때문에 실용적 활용 가능성이 매우 낮았다.

[0011] DOPA 멜라닌 박막을 제조하기 위한 몇몇 시도가 있었으며, 예를 들어 기 제조된 DOPA 멜라닌 파우더 및 암모니아를 이용하여 멜라닌 수성 분산액을 제조하고, 이를 스핀 캐스팅하여 ㎛ 규모의 DOPA 멜라닌 필름을 생산하는데 사용한바 있다. 또한 디메틸설폭사이드(DMSO) 및 N,N-다메틸포름아마이드(DMF)와 같은 유기용매에 녹는 합성 DOPA 멜라닌을 이용하여 스핀코팅을 통해 나노 필름을 생산한바 있다. DMSO 서스펜션으로부터 실리콘 상에 스핀코팅된 30nm 두께의 DOPA 멜라닌 나노 필름은 상대습도가 50%에서 100%로 증가함에 따라 약 10^3배의 전도도 변화를 보였다. 한편 홍합에서 분비되는 접착 단백질을 이용하여 수십 nm 두께의 도파민-멜라닌 나노 필름을 제조하려는 시도도 있었다.

[0012] 그러나, 이러한 종래의 연구들은 주로 멜라닌 전도도의 수화 의존성(습도 민감도)에만 초점을 맞춘 것으로서, 응답시간, 회복시간 및 습도 검출 범위 등 습도센서로의 적용에 실질적으로 요구되는 다른 중요한 요소들에 대해서는 평가한 바가 없다.

[0013] 아울러, 종래 강염기(NaOH, KOH 등)를 사용하여 도파민-멜라닌 필름을 수용액 상에서 제조하려는 시도도 있었으나, 이 경우 형성된 필름 바닥면에 도파민-멜라닌 입자가 줄줄이 달라붙어 표면의 균일성이 저하되고 필름이 파열되어 사용할 수 없게 되는 문제가 있었다.

[0014] 이에, 우수한 전도성을 지니면서 상대습도에 대해 매우 민감하게 반응하는 특성을 지닌 도파민-멜라닌 필름을 이용한 수분센서로서, 빠른 응답 및 회복시간을 구현하고, 매우 용이한 방법으로 온화한 조건에서 필름 및 수분센서를 제작할 수 있으며, 종래 도파민-멜라닌 필름 형성시 바닥면에 입자가 부착되어 필름이 파열되는 문제까지 해소할 수 있는 새로운 기술에 대한 개발이 절실한 상황이다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0015] (비특허문헌 0001) Q. Kuang, C. Lao, Z. L. Wang, Z. Xie, L. Zheng, J. Am. Chem. Soc. 2007, 129, 6070-6071.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0016] 본 발명은 상기와 같은 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 높은 민감도와 더불어 빠른 응답/회복 시간 및 우수한 재현성을 구현할 수 있고, 제조 공정이 매우 용이하며, 종래 강염기를 사용하여 필름 형성시 바닥면에 도파민-멜라닌 입자가 부착되어 필름이 파열되는 문제를 최소화할 수 있는 수분센서용 도파민-멜라닌 필름의 제조방법, 이에 따라 제조된 도파민-멜라닌 필름, 및 이를 이용한 고성능 수분센서의 제작방법을 제공하는 것을 기술적 과제로 한다.

[0017] 구체적으로, 본 발명자들은 예의 연구를 거듭한 결과, 아닐린을 이용한 약염기 환경하에서 도파민을 자동중합시킬 경우 기체/액체 계면에서 자가조립에 의해 우수한 품질의 도파민-멜라닌 나노 필름이 형성되고, 이를 단순히 기판에 직접 옮기는 방식만으로 수분센서용 전극이 용이하게 제작됨을 확인하고 본 발명에 이르렀다.

과제의 해결 수단

[0018] 상기한 기술적 과제를 달성하고자, 본 발명은 양성자 도파민(Protonated dopamine) 수용액에 아닐린(Aniline)을 적용하여 약염기 환경을 조성한 후 자동중합 반응을 진행시켜, 기체/액체 계면에서 자가조립된(Self-assembled) 도파민-멜라닌 나노 필름을 형성하는 것을 특징으로 하는 수분센서용 도파민-멜라닌 필름의 제조방법을 제공한다.

[0019] 본원에서, 도파민-멜라닌 필름이란 도파민으로부터 유도되어 형성된 멜라닌 필름, 구체적으로는 수용액 상에서

외적 요소의 인가 없이 도파민의 산화 중합에 의해 자가적으로 형성된 멜라닌 필름을 의미한다.

[0020] 도파민은 용존산소의 존재하에 수용액에서 산화 중합되며, 그 결과 불용성의 완전가교된 고분자 구조인 멜라닌이 형성된다. 실제적으로, 도파민-멜라닌의 합성은 공기 중에서 화학적으로 안정한 양성자 도파민(예컨대, 도파민 하이드로클로라이드; Dopamine·HCl)이 탈양성자화되면서 개시된다. 이때 아닐린이 탈양성자화제(Deprotonating agent)로 사용됨에 따라 정적 상태의 공기/용액 계면에서 고품질의 멜라닌 박막이 형성된다. 본 발명자들은 도파민 중합에 사용되는 염기(탈양성자화제)의 종류가 공기/용액 계면에서의 멜라닌 박막 형성에 매우 중요한 영향을 미침을 발견하였고, 이에 따라 최종 형성되는 필름의 구조도 달라짐을 확인하였다.

[0021] 본 발명에 따라 기체/액체 계면에서 자가조립되어 형성된 도파민-멜라닌 필름은 다양한 종류의 기판들에 옮겨져 기능성 박막으로서 작용할 수 있다.

[0022] 또한, 원자력현미경(AFM)을 이용하여 표면 모폴로지를 측정한 결과 본 발명에 따라 제조된 도파민-멜라닌 필름은 나노 규모 수준의 컴팩트하고 부드러운 표면을 나타내었고, 이러한 필름을 이용한 수분센서는 수분에 대해 매우 높은 민감도 및 빠른 반응성과 더불어 우수한 재현성(도 8(b) 참조)을 보였으며, 상대습도(RH)에 대해 선형적인 응답 거동을 나타내었다.

[0023] 아울러, 본 발명에 따르면 아닐린(Aniline)의 존재로 인해 형성된 약염기 조건에 의해 도파민-멜라닌 그래뉼(Granules)의 생성이 최대한 억제되는 장점이 있다. 예를 들어, 트리스-(하이드록시메틸)아미노메탄을 탈양성자화제로 사용할 경우, 많은 도파민-멜라닌 그래뉼들이 형성되며, 이렇게 형성된 그래뉼들은 멜라닌 필름의 바닥면에 부착하려는 경향이 있어 필름의 파열이 유발되는바 고품질의 멜라닌 필름을 얻을 수 없다(도 1 참조). 반면 본 발명에서와 같이 아닐린을 존재시키면 수용액에서 도파민-멜라닌 그래뉼의 형성이 매우 강하게 억제되었는바, 이는 매우 주목할만한 현상이다. 아닐린의 π-π 상호작용과 양친성(Amphipathic) 성질이 벌크 액상에서 멜라닌 응집체를 안정화시키는 것으로 이해된다.

[0024] 또한, 본 발명에서는 도파민의 중합을 위해 별도의 산화제를 투입하지 않으며, 수용액 내의 용존산소가 산화제로서 작용하는 것을 특징으로 한다.

[0025] 일 구체적 예에서, 본 발명의 반응물로 사용되는 양성자 도파민(예컨대, Dopamine·HCl) 수용액은 상기 아닐린(Aniline) 외에, 염화 마그네슘 육수화물(Magnesium chloride hexahydrate), 질산 마그네슘 육수화물(Magnesium nitrate hexahydrate), 염화나트륨(NaCl) 및 염화칼슘 무수물(Calcium chloride anhydrous)을 더 포함하는 것일 수 있다.

[0026] 본 발명의 제조방법에 따르면, 종래 무기(Inorganic) 소재를 이용한 수분센서 제작시 1000℃ 내외의 가혹한 조건이 요구되는 것과 달리, 실온(예컨대, 20℃) 수준에서 도파민-멜라닌 나노 필름이 형성되는바 공정 효율 및 경제성이 뛰어나다.

[0027] 또한, 본 발명에 따라 제조된 도파민-멜라닌 필름은 금, 웨이퍼, 석영, 운모 및 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET)와 같은 다양한 종류의 기판상에 매우 쉽게 옮겨져 전도성 박막을 구성할 수 있다.

[0028] 상기한 본 발명의 조건에 따라 기체/액체 계면에서 도파민-멜라닌 필름이 시간에 따라 자가조립 형성되는바, 일 구체적 예로 본 발명의 도파민-멜라닌 나노 필름은 7.9nm/h의 두께 증가 속도로 형성되는 것일 수 있다.

[0029] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 상기와 같은 방법에 따라 제조된 도파민-멜라닌 필름이 제공된다.

[0030] 도파민-멜라닌 필름의 두께는 반응시간을 조절하여 나노 범위로 설정할 수 있으며, 일 구체적 예로 본 발명에 따라 제조된 도파민-멜라닌 필름은 45~189nm의 두께를 갖는 것일 수 있다. 더욱 구체적으로, 본 발명에 따라 제조된 도파민-멜라닌 필름은 151nm의 두께를 갖는 것일 수 있다. 이 경우, 필름의 저항은 상대습도(RH) 0%에서 $5.07\times10^{10}\Omega$, 상대습도(RH) 51%에서 $5.59\times10^{9}\Omega$, 상대습도(RH) 100%에서 $1.24\times10^{8}\Omega$로서, 상대습도 증가에 따

라 저항이 각각 약 9배, 약 410배나 감소하여 수분 민감도가 매우 높음을 알 수 있다.

[0031] 또한, 본 발명에 따른 도파민-멜라닌 필름은 표면이 균일한 것으로서, 표면 프로파일 평균평방근 거침도(Surface profile root-mean-square roughness)가 0.46±0.09nm 수준인 것일 수 있다.

[0032] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 상기와 같은 방법에 따라 기체/액체 계면에서 도파민-멜라닌 필름을 형성하고, 형성된 도파민-멜라닌 필름을 전극상에 직접 옮겨 감습막으로 사용하는 것을 특징으로 하는 수분센서의 제조방법이 제공된다.

[0033] 즉, 본 발명에 따르면 기체/액체 계면에서 형성된 자가조립 도파민-멜라닌 필름을 전극에 직접 적용(코팅)할 수 있어 종래 용액 공정에 따른 제조상 어려움과 번거로움을 해소할 수 있다.

[0034] 일 구체적 예로, 본 발명의 수분센서는 기체/액체 계면에서 형성된 도파민-멜라닌 필름 가장자리와 디쉬(Dish) 벽 간의 연결을 조심스럽게 절단한 후, 디쉬를 워터 배쓰(Water bath)에 침지시켜 도파민-멜라닌 필름을 물 표면상으로 띄워 분리해 낸 다음, 전극 기판으로 분리된 도파민-멜라닌 필름을 건져내는 방식을 통해, 매우 용이하게 제작될 수 있다(도 2(a) 참조).

[0035] 도파민-멜라닌 필름이 코팅되는 전극으로는 금(Gold) 전극을 사용하여 수분센서를 구성할 수 있으며, 이 경우 금-멜라닌 덴드라이트(Dendrite)의 형성을 방지하기 위해 1V 정도의 낮은 바이어스(Bias) 전압을 인가하는 것이 바람직하다.

[0036] 본 발명에 따라 제조된 도파민-멜라닌 필름을 감습막으로 포함하는 수분센서는 수분에 대한 민감도가 높음은 물론, 특히 수분센서의 응답시간(Response time) 및 회복시간(Recovery time)이 각각 5~7초 및 6~9초 정도로 매우 짧아 종래 수분센서 대비 그 성능이 크게 향상된다. 응답시간(Response time) 및 회복시간(Recovery time)은 보다 진보된 센싱 제품을 구현하기 위한 매우 중요한 요소들이다.

[0037] 본원에서, 응답시간(Response time) 및 회복시간(Recovery time)은 최종 평형값의 90%에 도달하는데 소요되는 시간으로 정의된다.

[0038] 본 발명의 수분센서는 수분 센싱 기능이 요구되는 각종 분야에 광범위하게 활용될 수 있으며, 예를 들어 음식물 쓰레기 처리기, 가전제품, 제습기, 공기조화장치, 전자레인지, 이동통신 단말기, 의류 건조기, 습식 청소기, 적기에 물 공급이 필요한 화초, 기저귀, 자동차 내장센서, 냉장고, 선박용 탱크 또는 능동적 실내 온/습도센서와 같은 기존의 적용 분야는 물론, 의료기기, 인공피부, 실내 습도조절 시스템, 수분 알람, 생화학 배양기, 농작물 모니터링 기기, 비접촉 텃치스크린, 비접촉 위치 인터페이스, 플렉서블 기기, 플렉서블 투명전극, 웨어러블 디바이스(Wearable device)와 같은 차세대 첨단 소자에도 매우 적절하게 적용될 수 있다.

발명의 효과

[0039] 본 발명에 따라 제조된 도파민-멜라닌 필름은 수분센서의 감습막으로 적용시 넓은 상대습도 범위에 걸쳐 매우 높은 수분 민감도를 나타내고, 특히 응답시간 및 회복시간이 모두 종래의 무기/유기 기반 수분센서 대비 크게 단축되며, 재현성(원상복귀 성능)도 우수하다.

[0040] 또한, 본 발명의 도파민-멜라닌 필름 제조방법은 필름 바닥면에 도파민-멜라닌 그래뉼들이 부착되어 필름이 파열되는 종래의 문제를 최소화할 수 있으며, 상온의 온화한 조건에서 고품질의 필름을 얻을 수 있다.

[0041] 또한, 본 발명의 수분센서 제조방법은 수면상에 부유되어 있는 도파민-멜라닌 필름을 전극에 직접 옮겨 감습막을 구성할 수 있는바, 코팅 공정이 매우 간단하고 용이해진다.

도면의 간단한 설명

[0042] 도 1은 트리스-(하이드록시메틸)아미노메탄(Tris)을 탈양성자화제로 사용한 경우 도파민-멜라닌 필름의 FE-SEM 이미지를 확대해서 나타낸 도면이다. (* 하부에 위치한 그래뉼에 의해 필름이 파열됨.)

도 2의 (a)는 151nm 두께 도파민-멜라닌 필름의 상면 FE-SEM 이미지; (b)는 151nm 두께 도파민-멜라닌 필름의 단면 FE-SEM 이미지; 삽입도는 개방된 물 표면상에 부유되어 있는 도파민-멜라닌 필름; (c)는 도파민-멜라닌 필름 상면의 AFM 탭핑모드 이미지; (d)는 도파민-멜라닌 필름의 FTIR 스펙트럼; (e)는 도파민-멜라닌 필름의 두께를 반응시간에 따라 도시한 그래프;이다.

도 3 원소 분석을 위한 도파민-멜라닌 필름(151nm)의 XPS를 나타낸 도면이다.

도 4는 도파민-멜라닌 필름의 단면 FE-SEM 이미지이다. (* 단면 FE-SEM 이미지로부터 필름들의 두께를 측정함. 필름 두께 측정의 예를 빨간색으로 표시함. 5개 측정값의 평균을 계산하여 도 2(e)에 요약함.)

도 5의 (a)는 공기/용액 계면에서 형성된 도파민-멜라닌 필름으로 제작한 습도센서 전극의 개략도; (b)는 2개의 금 전극상에 설치된 151nm 두께 도파민-멜라닌 필름의 광학 현미경 이미지; (c)는 각각 다른 RH값(20℃)에서 측정된 도파민-멜라닌 필름에 대한 대표적인 I-V 거동을 나타낸 그래프; (d)는 4개 두께의 도파민-멜라닌 필름의 저항값 vs. RH값(20℃)을 도시한 그래프;이다.

도 6은 습도 센싱 특성을 정적 측정하기 위한 셋업을 나타낸 도면이다. (* 정적 습도 센싱 특성은 밀봉된 디쉬에서 항온으로 테스트함. RH 구배는 하기 표 1에 나타낸 바와 같이 평형증기압을 조절하여 획득함.)

[표 1] RH 조절을 위한 화학약품 및 그 타겟 RH

RH controlling	% RH (25 °C)	d(RH)/dT (%/°C)	% RH in this study (20 °C)
$CaCl_2$	-	-	0
$MgCl_2 \cdot 6H_2O$[a]	32.7	-0.06	32.4
$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$[a]	52.8	-0.29	51.4
NaCl[a]	75.1	-0.02	75.0
H_2O	-	-	100

[a] Saturated solution

도 7은 각각 다른 RH값(20℃)에서 측정된 도파민-멜라닌 필름에 대한 대표적인 I-V 거동을 나타낸 그래프이다.

도 8의 (a)는 2개 도파민-멜라닌 필름(d = 151nm 및 45nm)의 응답시간 및 회복시간을 나타낸 그래프(펄스 수분 자극: 100% RH, 빠르게 수분 흐름을 온/오프 전환); (b)는 도파민-멜라닌 필름의 순환 거동(뚜렷하고 재현성이 높으며 응답성이 우수함); (c)는 151nm 두께 도파민-멜라닌 필름에 손가락 하나를 빠르게 접근시킨 후 떼어내는 조건에서 측정한 순환 거동; (d)는 전류를 도파민-멜라닌 필름으로부터 손가락 끝의 거리(h)에 따라 표시한 그래프; 삽입도는 도파민-멜라닌 필름으로부터 손가락 끝의 거리(h)를 개략적으로 정의한 것;이다. (* 모든 실험은 21% RH, 실온, 1V 바이어스 전압의 조건으로 수행함.)

도 9는 습도 센싱 특성을 동적 측정하기 위한 셋업을 나타낸 도면이다.

도 10의 (a)는 20℃에서 도파민-멜라닌 펠렛 센서에 대한 전도도 vs. 상대습도를 도시한 그래프; 삽입도는 전극으로 실버 페인트를 코팅한 도파민-멜라닌 펠렛 센서의 사진; (b)는 도파민-멜라닌 펠렛 센서의 응답시간 및 회복시간을 나타낸 그래프(펄스 수분 자극: 100% RH, 빠르게 수분 흐름을 온/오프 전환); (c)는 도파민-멜라닌 펠렛의 순환 거동(뚜렷하고 재현성이 높으나 응답이 느림)을 나타낸 도면;이다. (* 바이어스 전압 = 100V. 도파민-멜라닌 펠렛 필름(d = 0.1mm)은 분말 건조된 도파민-멜라닌 입자를 20MPa 압력하에서 압축하여 제조함.)

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0043] 이하, 실시예 및 실험예를 통해 본 발명을 보다 구체적으로 설명한다. 그러나 이들 예는 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐 어떠한 의미로든 본 발명의 범위가 이들 예로 한정되는 것은 아니다.

[0044] **실시예**

[0045] (1) 재료

[0046] 3,4-디하이드록시페네틸아민 하이드로클로라이드(Dopamine·HCl)(98.5%, Sigma-Aldrich), 아닐린(99%, Sigma-Aldrich), 염화 마그네슘 육수화물(98%, OCI), 질산 마그네슘 육수화물(98%, DAEJUNG), 염화나트륨(NaCl)(99.5%, DAEJUNG) 및 염화칼슘 무수물(96%, SAMCHUN)를 입수한 상태 그대로 사용하였다.

[0047] (2) 이동가능한 도파민-멜라닌 박막의 제조

[0048] 0.05M 아닐린을 함유하는 Dopamine·HCl 수용액(0.01M) 2mL를 플라스틱 페트리 디쉬(Petri dish)(35mm×10mm)에 붓고 뚜껑을 덮었다.

[0049] 실온(20℃)의 정적 조건(Static condition)하에서 공기/용액 계면에서 도파민-멜라닌 박막이 형성되었다. 이때 중합시간은 각각 6, 12, 18 및 24시간으로 유지하였다.

[0050] 페트리 디쉬를 물 용기 속에 잠기게 하여 상기 얻어진 필름을 페트리 디쉬로부터 분리하였다.

[0051] 분리된 멜라닌 필름을 기판으로 떠내는 방식을 통해 매우 쉽게 필름을 다양한 기판에 옮겨 추가적인 연구에 사용하였다.

[0052] (3) 도파민-멜라닌 박막을 이용한 습도센서의 제작

[0053] 상기 분리된 도파민-멜라닌 박막을 PET 시트상에 스퍼터-코팅된 인터디지털 금(Gold) 전극(두께 100nm, 갭 50㎛)에 옮겼다.

[0054] 얻어진 어셈블리를 Fume cupboard에서 실온으로 8시간 동안 건조시킨 다음, 그 수분 응답성을 결정하는데 사용하였다.

[0055] (4) 특성화 방법

[0056] FE-SEM은 JSM-7001F SEM 현미경을 이용하여 10kV의 가속전압 조건으로 수행하였다. 샘플들을 백금(Pt)으로 스퍼터-코팅하여 SEM 측정에 앞서 전도도 향상을 도모하였다.

[0057] 운모(Mica) 기판상에 형성된 도파민-멜라닌 필름의 상면 형태는 Veeco AFM을 이용하여 탭핑모드에서 주사율 0.5Hz의 조건으로 분석하였다.

[0058] 이미지 프로세싱 및 평균평방근 거침도(Root-mean-square roughness)값 결정은 XEI 소프트웨어를 이용하여 수행하였다.

[0059] 적외선 스펙트럼은 Agilent 640-IR FT-IR 분광계를 이용하여 KBr 방법으로 기록하였다.

[0060] XPS 스펙트럼은 PHI 5000 Versa Probe II 분광계를 이용하여 표준 Al Kα x-선 소스(1486.6eV) 조건으로 기록하였다.

[0061] 전기적 특성은 Keithley 2400 SourceMeter를 이용하여 기록하였다.

[0062] 정적(Static) 수분 센싱 특성은 밀폐된 환경에서 Sweep mode(-1V~1V)로 측정하였으며, 이때 습도는 $CaCl_2$ 무수물(0% RH), $MgCl_2$(32% RH), $Mg(NO_3)_2$(51% RH), NaCl 포화용액(75% RH) 및 탈이온수(100% RH)를 사용하여 각각 조절하였다. 샘플은 각 측정에 앞서 20℃에서 항습 조건으로 24시간 동안 두어 수화 평형에 도달하도록 하였다.

[0063] **실험예**

[0064] (1) 그래뉼 형성 억제 효과

[0065] 실시예에 따라 도파민-멜라닌 필름을 제조한 결과, 수용액에서 도파민-멜라닌 그래뉼의 형성이 매우 강하게 억제되었다. 이는 아닐린의 π-π 상호작용과 양친성(Amphipathic) 성질이 벌크 액상에서 멜라닌 응집체를 안정화

시켰기 때문인 것으로 이해된다.

[0066] (2) 필름의 형상, 평탄성, 두께 및 FTIR 스펙트럼

[0067] 전계방출 주사전자 현미경(FE-SEM) 이미지 결과, 공기/용액 계면에서 형성된 필름은 연속적이고 매끄러우며 나노 수준의 균일한 두께(예컨대, 151nm)를 지니는 것으로 확인되었다(도 2(a) 및 도 2(b)).

[0068] 필름 상면의 평탄성은 AFM을 이용하여 확인하였으며(도 2(c)), 도파민-멜라닌 필름의 전체 면적(250nm×250nm) 표면 프로파일 평균평방근 거침도(Surface profile root-mean-square roughness)는 0.46±0.09nm로서, 고체 기판상에 형성된 도파민-멜라닌 박막의 경우(0.31nm)와 거의 동등한 수준이었다.

[0069] 나노 필름의 푸리에 변환 적외선(FTIR) 스펙트럼 결과, 도파민-멜라닌의 특징적인 진동을 나타내었다: 3307 (ν(N-H), ν(O-H)); 3045, 2925 (ν(C-H)); 1597,1490 (ν_{ring}(C=C), ν_{ring} (C=N)); 1433 (ν_{ring} (C=C)); 및 1298 cm^{-1} (ν_{ring}(CNC)) (도 2(d)). 이러한 신호들은 기판 표면상에 직접 형성된 도파민-멜라닌 나노 필름의 결과와 일치하는 것으로서, 멜라닌 나노 필름이 비슷한 메커니즘을 통해 형성됨을 의미한다.

[0070] 또한, 멜라닌 박막의 두께는 반응시간과 연관 있음이 확인되었다(도 2(e)). FE-SEM 이미지로부터 결정된 필름 두께(도 4)는 반응 24시간 동안 45nm에서 189nm로 선형적으로 증가하였다. 실험 데이터를 선형 피팅한 결과 필름 두께는 7.9nm/h의 속도로 증가하였다.

[0071] (3) 필름의 원소 조성(XPS 결과)

[0072] X-선 광전자 분광법(XPS)를 이용하여 공기/용액 계면에서 형성된 도파민-멜라닌 나노 필름의 원소 조성을 확인하였다(도 3).

[0073] N/C 및 N/O 원자비(Atomic ratio)는 각각 0.07 및 0.35로서, 순수 도파민 $C_8H_{11}NO_2$의 이론값(N/C = 0.13, N/O = 0.50)보다 작았다. 도파민-멜라닌에 대한 보고된 N/C 원자비는 0.08~0.17 범위인데, 이는 아마도 도파민-멜라닌 물질에서 분자 공간 분포 및 배향의 불균일에 기인한 것으로 여겨진다.

[0074] (4) 수분(습도) 민감도

[0075] 도파민-멜라닌 박막을 PET 시트에 스퍼터-코팅된 2개의 금(Gold) 전극(두께 100nm, 갭 50㎛)상에 올리고, 수분에 대한 민감도를 측정하였다(도 5(a) 및 5(b)).

[0076] 금을 전극으로 사용시 전기장이 임계값보다 높으면, 금-멜라닌 덴드라이트(Dendrite)가 전극 사이에 전도성 경로를 형성하여 멜라닌 필름의 전도 특성을 변화시킬 수 있다. 이러한 금-멜라닌 덴드라이트의 형성을 방지하기 위해, 본 발명에서는 1V의 낮은 바이어스(Bias) 전압을 사용하였다.

[0077] 멜라닌 필름(45, 78, 151 및 189nm 두께)의 저항은 RH가 0%에서 100%로 증가함에 따라 100배 이상 감소하였는바, 본 발명의 필름이 주위환경 습도에 대해 매우 높은 민감도를 지님을 의미한다.

[0078] 밀폐된 환경에서 RH 변화에 따라 발생하는 전류-전압(I-V) 거동을 측정하여 멜라닌 필름의 습도에 대한 민감도를 체계적으로 평가하였다(도 6, 도 5(c) 및 도 7).

[0079] 20℃에서, I-V 곡선의 기울기는 RH가 0%에서 75%로 증가함에 따라 약간만 변하였고, 이후 RH가 75%에서 100%로 증가함에 따라 급격하게 변화하였다.

[0080] I-V 곡선의 기울기로부터 4가지 두께 멜라닌 필름의 저항을 계산한 결과, RH가가 증가함에 따라 저항이 대수적으로 감소하였다(도 5(d)). 예를 들어, 151nm 두께 멜라닌 필름의 저항은 RH 0%에서 $5.07\times10^{10}\Omega$, RH 51%에서 $5.59\times10^{9}\Omega$, RH 100%에서 $1.24\times10^{8}\Omega$로서, 상대습도 증가에 따라 저항이 각각 약 9배, 약 410배나 감소하여 수분 민감도가 매우 높음을 알 수 있다.

[0081] 건조 공기(0% RH)에서 4가지 두께 멜라닌 필름의 저항 차이는 경미하였는데, 이는 건조 멜라닌 필름들의 저항이 기기의 범위에 도달/초과하였기 때문이다.

[0082] 필름 두께가 증가함에 따라 저항은 감소하였다. 0% RH에서 45, 78, 151 및 189nm 두께 멜라닌 필름의 저항은 100% RH의 경우 대비 각각 170배, 240배, 410배 및 430배 높았다.

[0083] 수분이 멜라닌 필름의 전도도에 강한 영향을 미치는 것은 물과 관련된 균등화 반응(Comproportionation reaction)에 의해 멜라닌에서 생성된 전하 운반체(양성자)에 주로 기인한다. 따라서 멜라닌에서 물의 함량을 증가시키면 균등화 평형에 변화가 생겨 전하 운반체 농도가 높아지고 전도도가 상승할 것이다.

[0084] (5) 응답시간, 회복시간 및 재현성

[0085] 도 8(a)에 도파민-멜라닌 필름(151nm 및 45nm)의 펄스-자극 특성을 나타내었으며, 이는 100% RH 수분 흐름(셋업에 대한 상세 내용은 도 9 참조)에서 동적 온/오프 스위치에 대한 일련의 전류 응답을 통해 수득하였다.

[0086] 멜라닌 필름이 이러한 흐름에 노출되었을 때, 전류가 즉시 증가하여 5~7초(151nm 두께 필름의 경우) 또는 6~10초(45nm 두께 필름의 경우) 내에 상대적으로 안정한 값에 도달하였다.

[0087] 수분 흐름이 차단되었을 때, 2가지 두께 필름의 경우 모두 전류가 6~9초 내의 빠른 시간 내에 초기값으로 복귀되었다.

[0088] 응답 및 회복 시간에 있어 양 필름 간에 유의적인 차이는 존재하지 않았다. 151nm 두께 멜라닌 필름은 전류 신호의 강도에 있어 약 100배의 변화를 나타내었고 45nm 두께 필름은 약 40배의 변화를 나타내었는바, 양 필름 모두 탁월한 응답 및 회복 시간을 구현하는 것이다. 이러한 응답시간 및 회복시간은 센싱 분야의 진보에 있어 매우 중요한 성능 요소이다.

[0089] 아울러, 전극상에 위치한 멜라닌 박막은 수분센서로서 요구되는 수분에 대한 우수한 동적 재현 응답성을 나타내었다(도 8(b)).

[0090] RH가 0%에서 100%로 변함에 따라, 주어진 RH에서 멜라닌 필름의 저항은 필름 두께가 증가함에 따라 비례적으로 크게 감소하는 경향을 나타내었다.

[0091] 현재까지, 도파민-멜라닌 필름 두께가 습도센서의 응답 및 회복 시간에 미치는 영향에 대해서는 보고된 바가 없다.

[0092] 분말 건조된 도파민-멜라닌 입자를 20MPa 압력하에서 압축하여 제조된 두꺼운 도파민-멜라닌 펠렛 필름(d = 0.1mm)의 전도도는 0% RH에서 $10^{-11}Scm^{-1}$, 100% RH에서 $10^{-6}Scm^{-1}$로서, 10^{5}배 차이를 보였다(도 10). 그러나 이러한 필름의 응답 및 회복 시간은 각각 약 80초 및 130초로서, 나노 규모 도파민-멜라닌 필름 소자 대비 매우 열악한 것이다.

[0093] 따라서, 멜라닌 필름의 두께는 이를 나노 소자의 습도센서로 사용시 매우 중요한 요소가 되며, 본 발명에 따른 나노 규모 멜라닌 필름을 이용하여 제작된 습도센서는 낮은 바이어스 전압(1V)과 더불어 우수한 소자 특성, 특히 탁월한 응답 및 회복 시간을 나타낸다. 이러한 본 발명의 습도센서는 VS_2 나노시트(응답 및 회복 시간: 30~40초 및 12~50초), 단일 SnO_2 나노와이어(응답 및 회복 시간: 120~170초 및 20~60초)와 같은 무기(Inorganic) 물질에 기반한 센서보다도 더욱 성능이 뛰어난 것이다. 또한 본 발명에 따른 습도센서의 성능은 LiCl doped TiO_2 나노섬유(응답 및 회복 시간: ≤3초 및 ≤7초)와도 비견될 수 있다. (* 다만, 양자는 서로 다른 평가 기술을 사용하기 때문에 객관적으로 직접적인 비교는 불가능할 것임. 예컨대, LiCl doped TiO_2 나노섬유는 주파수-의존 임피던스를 사용.)

[0094] (6) 비접촉 위치 인터페이스(Touchless position interface) 환경에서의 용도

[0095] 초고감도 및 빠른 수분 응답성을 지닌 본 발명의 센서는 비접촉 위치 인터페이스(Touchless position interface)에서 손가락 상 습도의 공간 분포 평가에도 확장 적용될 수 있다.

[0096] 151nm 두께 도파민-멜라닌 필름을 포함하는 습도센서 위에서 손가락 하나를 빠르게 이동시킨 결과, 선명하고 강한 피크와 더불어 높은 순환 거동 및 뚜렷한 응답 거동이 나타났다(도 8(c)).

[0097] 또한, 멜라닌 필름을 이용하여 손가락 끝 표면으로부터 떨어진 거리의 RH 분포를 정량적으로 측정할 수 있다(도

8(d)). 손가락 끝의 위치가 센서 표면 위쪽으로 이동(이격 거리: 0~8㎜)함에 따라 센서의 RH 응답은 감소하였다. 이러한 결과는 도파민-멜라닌 박막이 인공피부(Artificial skins)에 있어 비접촉 위치 인터페이스용 센싱 물질로도 매우 효과적임을 제시한다.

[0098] **결과 검토**

[0099] 본 발명은 공기/용액 계면에서 형성 및 자가조립된 도파민 멜라닌 박막을 사용하여 신규의 고성능 습도센서를 제공할 수 있다.

[0100] 상기 생체소재는 초고감도, 빠른 응답 및 회복 거동과 더불어 우수한 재현성 등 탁월한 특성을 보여주었다.

[0101] 또한, 본 발명은 공기/용액 계면에서 자가조립된 도파민-멜라닌 박막을 이용하여 습도센서 전극 어셈블리를 매우 손쉽게 제작할 수 있다는 점에서도 특별한 장점을 지닌다.

[0102] 이러한 본 발명의 필름 두께는 반응시간을 변경하는 것에 의해 ㎚ 규모로 조절할 수 있었다.

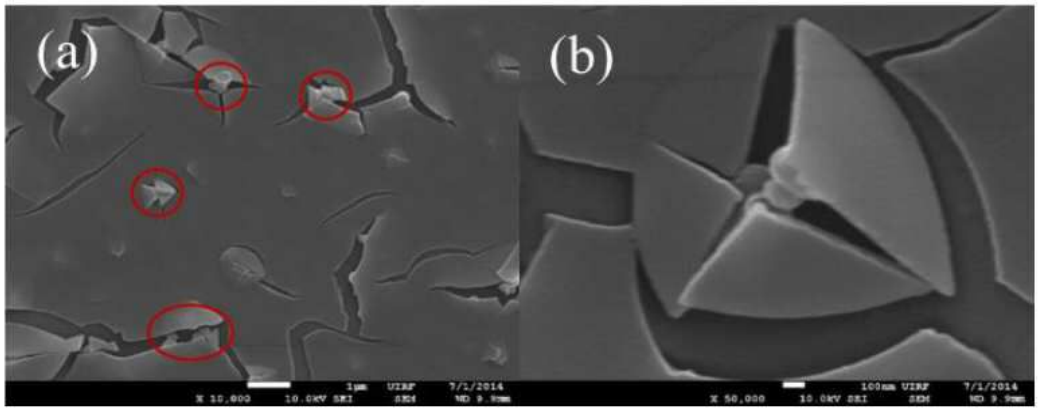
[0103] 또한, 20℃에서 RH를 0%에서 100%까지 변경해가며 전류-전압(I-V) 거동을 측정하여 멜라닌 필름의 습도에 대한 민감도를 평가하였다. 그 결과, 멜라닌 필름의 저항은 습도가 증가함에 따라 유의적으로 감소하였다. 예를 들어, 151㎚ 두께 멜라닌 필름의 건조 공기(RH 0%)에서의 저항(5.07×10^{10} Ω)은 RH 51%에서의 저항(5.59×10^{9} Ω)보다 약 9배 높았고, RH 100%에서의 저항(1.24×10^{8} Ω)보다는 약 410배나 높아 수분 민감도가 매우 뛰어남을 알 수 있었다.

[0104] 아울러, 본 발명의 도파민-멜라닌 필름은 전류 신호 강도에 있어 약 100배에 이르는 변화를 보였고, 특히 탁월한 응답시간(5~7초) 및 회복시간(6~9초)을 나타내었는바, 이러한 특성들은 VS_2 나노시트 및 단일 SnO_2 나노와이어와 같은 무기 물질 기반의 소자보다도 더욱 우수한 것이다.

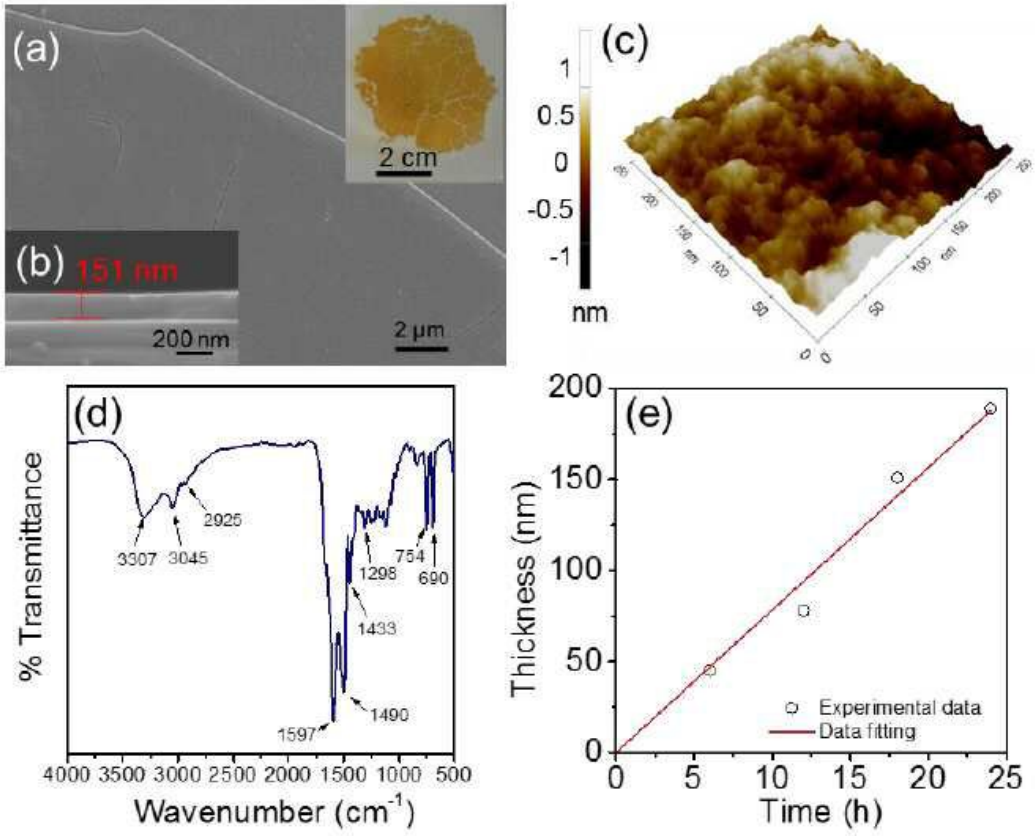
[0105] 나아가, 본 발명에 따른 자가조립된 멜라닌 박막 기반의 습도센서는 그 탁월한 성능으로 인해 수분을 감지하여 손가락 끝의 위치를 파악할 수 있는바, 인공피부와 같은 비접촉 위치 인터페이스 분야에도 매우 적합하게 적용될 수 있을 것이며, 기타 다양한 생체나노 전자공학 분야에도 광범위하게 활용될 수 있을 것이다.

도면

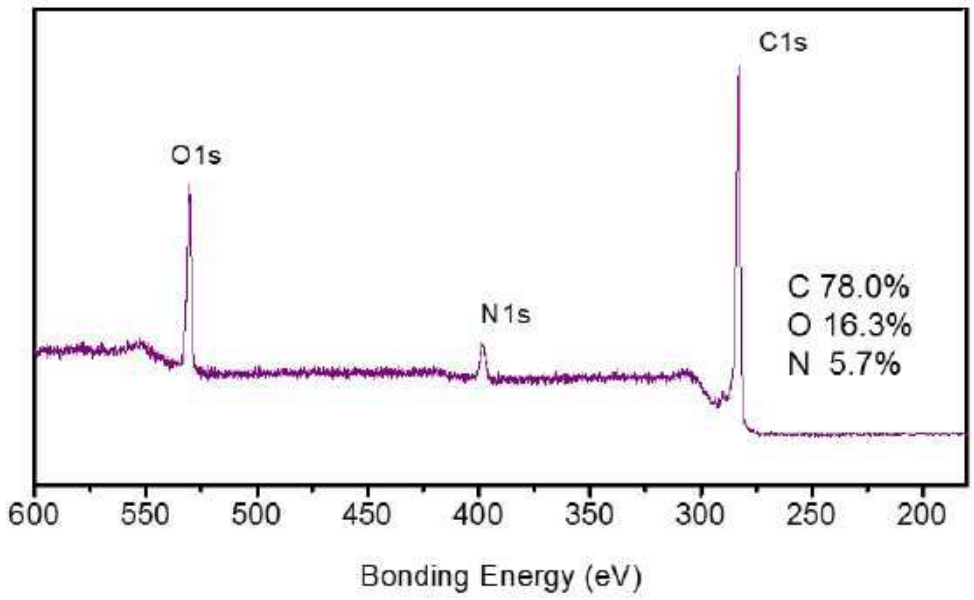
도면1



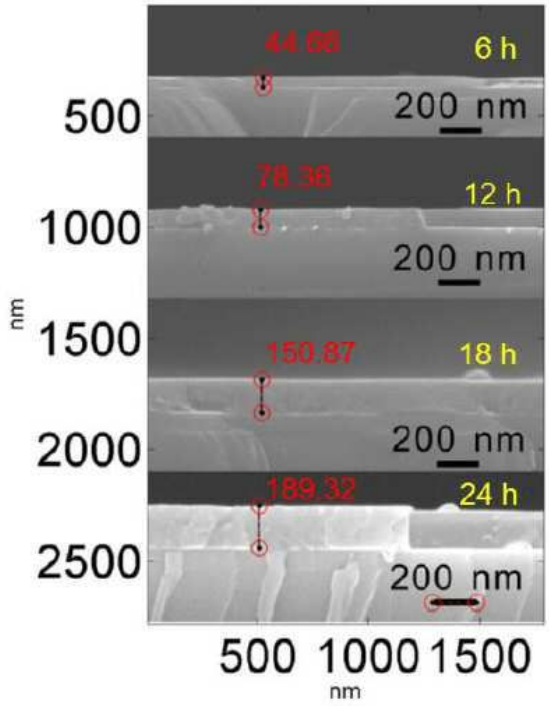
도면2


(a)
2 cm
(b)
151 nm
200 nm
2 μm
(c)
1
0.5
0
-0.5
-1
nm
(d)
% Transmittance
3307
3045
2925
1597
1490
1433
1298
754
690
4000 3500 3000 2500 2000 1500 1000 500
Wavenumber (cm-1)
(e)
Thickness (nm)
200
150
100
50
0
0 5 10 15 20 25
Time (h)
Experimental data
Data fitting

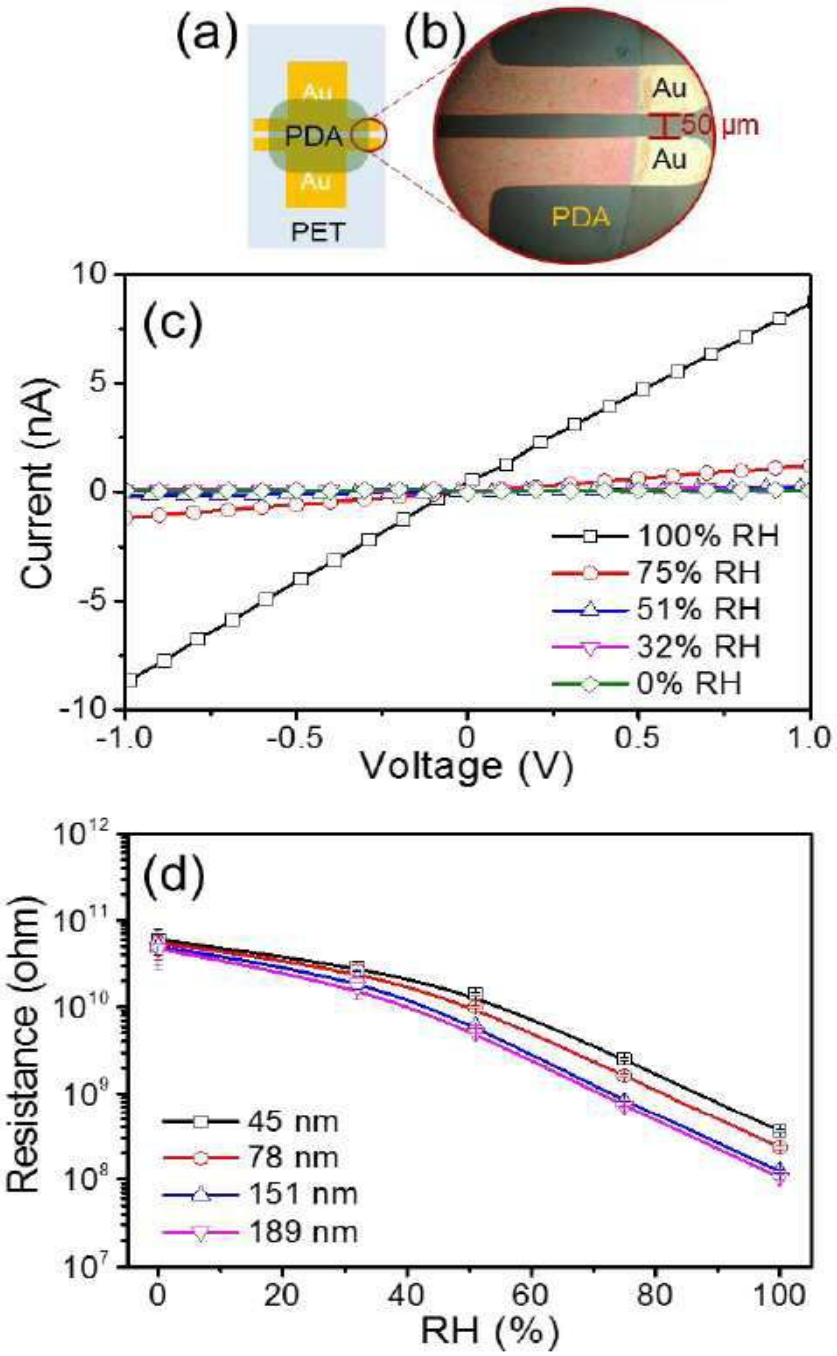
도면3


C1s
O1s
N1s
C 78.0%
O 16.3%
N 5.7%
600 550 500 450 400 350 300 250 200
Bonding Energy (eV)

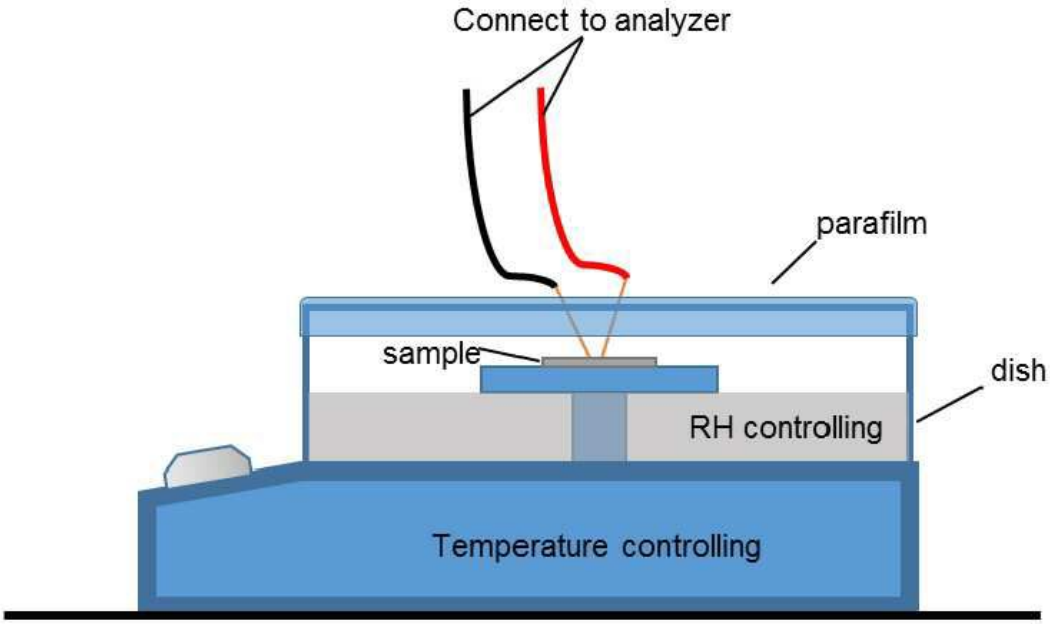
도면4


44.66
6 h
200 nm
78.38
12 h
200 nm
150.87
18 h
200 nm
189.32
24 h
200 nm
500
1000
1500
2000
2500
nm
500 1000 1500
nm

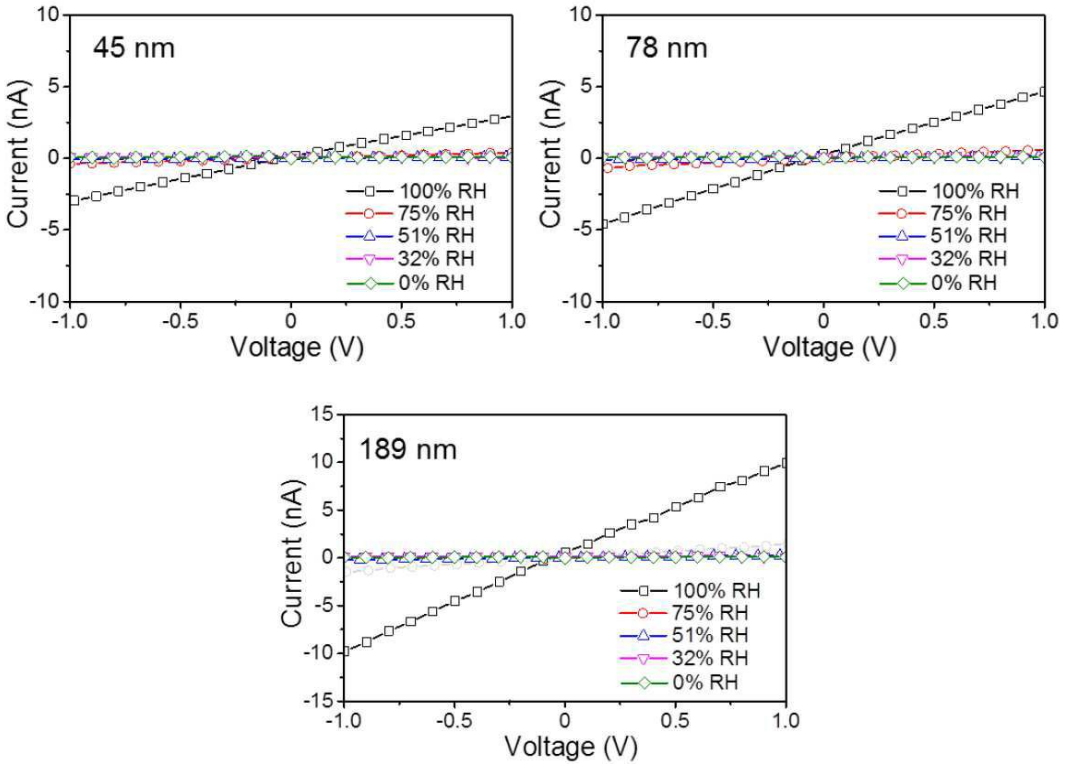
도면5


(a)
Au
PDA
Au
PET
(b)
Au
50 μm
Au
PDA
(c)
Current (nA)
Voltage (V)
100% RH
75% RH
51% RH
32% RH
0% RH
(d)
Resistance (ohm)
RH (%)
45 nm
78 nm
151 nm
189 nm

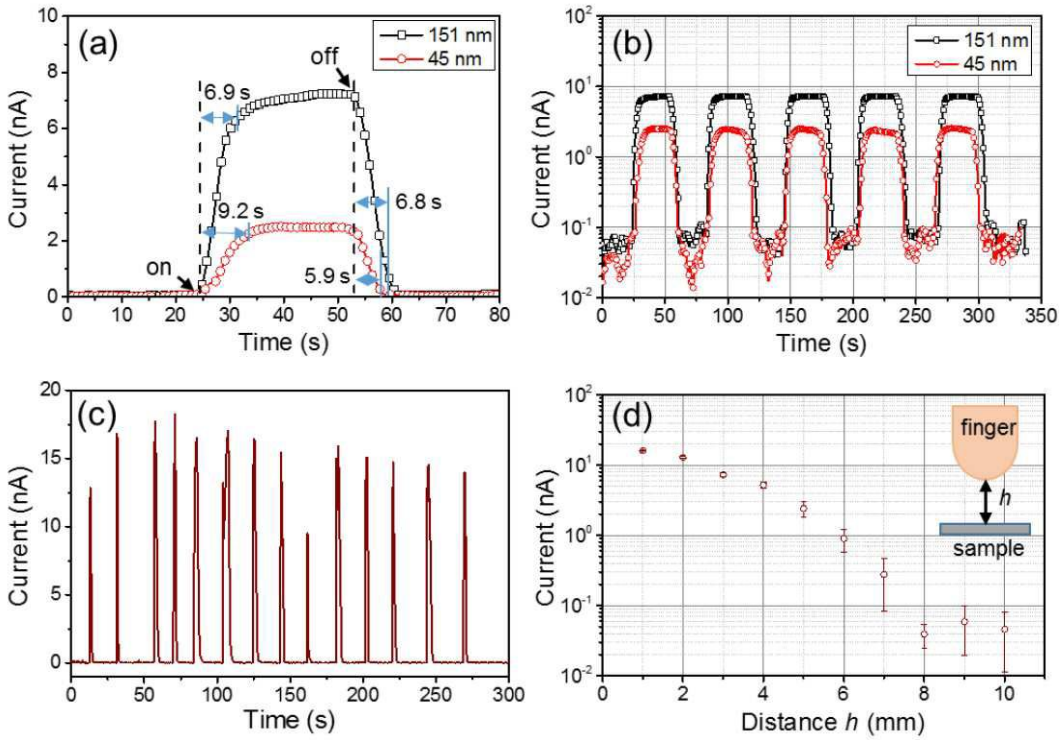
도면6


Connect to analyzer
parafilm
sample
dish
RH controlling
Temperature controlling

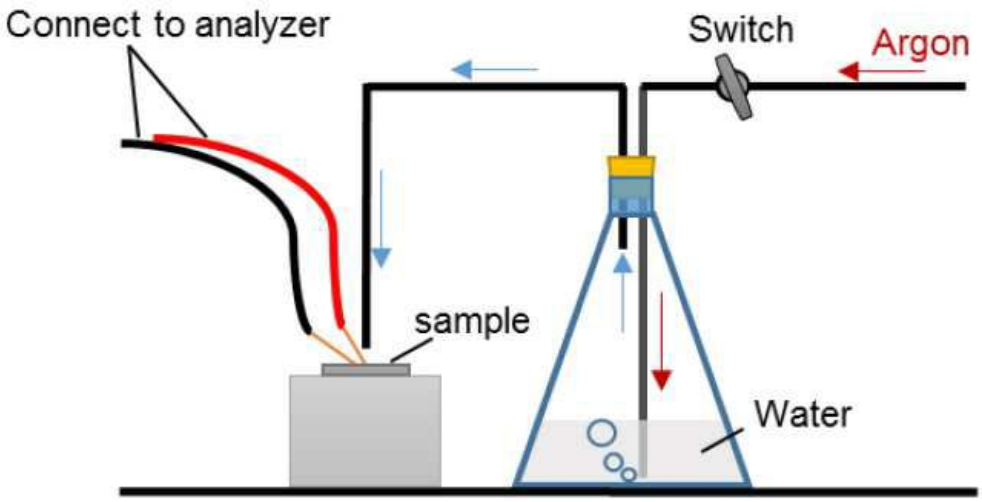
도면7


45 nm
78 nm
189 nm
Current (nA)
Voltage (V)
100% RH
75% RH
51% RH
32% RH
0% RH

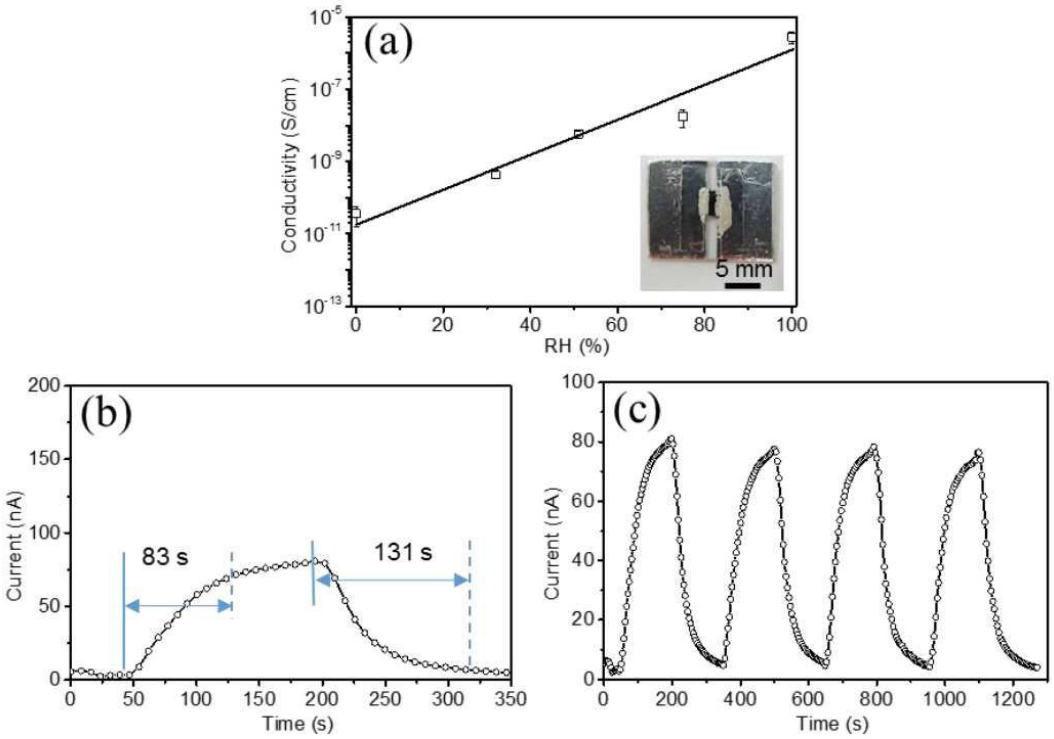
도면8


(a)
151 nm
45 nm
off
6.9 s
9.2 s
6.8 s
on
5.9 s
Current (nA)
Time (s)
(b)
151 nm
45 nm
Current (nA)
Time (s)
(c)
Current (nA)
Time (s)
(d)
finger
h
sample
Current (nA)
Distance h (mm)

도면9


Connect to analyzer
Switch
Argon
sample
Water

도면10


(a)
Conductivity (S/cm)
RH (%)
5 mm
(b)
Current (nA)
83 s
131 s
Time (s)
(c)
Current (nA)
Time (s)