



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년01월04일
(11) 등록번호 10-1693117
(24) 등록일자 2016년12월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C07D 487/04 (2006.01) C07D 209/04 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C07D 487/04 (2013.01)
B05C 11/08 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0107498
(22) 출원일자 2015년07월29일
심사청구일자 2015년07월29일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020110044712 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
(72) 발명자
홍종달
인천광역시 연수구 동곡제로117번길 22, 102동
401호(동춘동, 대우3차아파트)
위 통폐이
인천광역시 연수구 아카데미로 119
(74) 대리인
차준용

전체 청구항 수 : 총 19 항

심사관 : 김용원

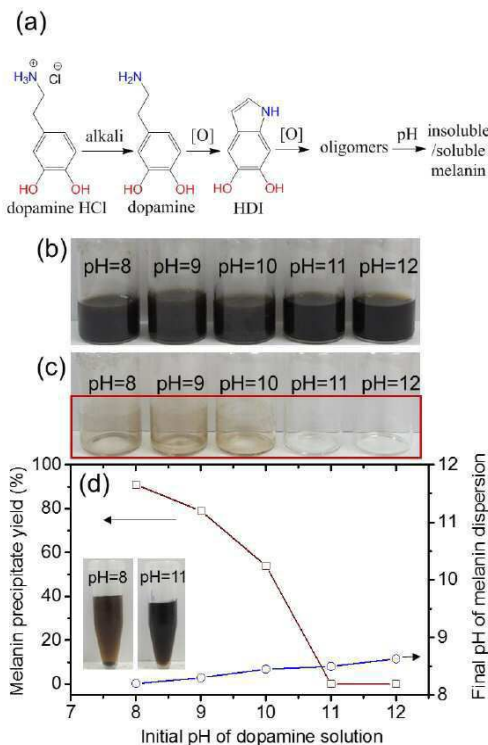
(54) 발명의 명칭 수용성 도파민-멜라닌의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 수용성 도파민-멜라닌의 제조방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 수용액 상에서 도파민을 자가중합 시 용액의 초기 pH를 10이 넘게(구체적으로는, pH 11~12로) 조절함으로써, 종래 일반적인 천연/합성 멜라닌의 물에 녹지 않는 한계를 극복하여 물에 가역적으로 용해될 수 있는 수용성 도파민-멜라닌을 성공적으로 합성하고,

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



이를 스핀 코팅 등의 방법으로 초박막 필름 코팅하여 수분센서(습도센서)를 제작하는 기술에 관한 것이다.

본 발명에 따른 수용성 도파민-멜라닌을 이용하면 필름 코팅 공정이 매우 신속, 간편, 저렴해지고, 코팅된 필름은 균일하고도 높은 전도성을 지녀 수분센서의 전극으로 적용시 초고감도(민감도: RH 0%~100%에 따라 10만배의 저항 변화), 초고속의 응답 및 회복도(응답시간: 0.42~0.47s, 회복시간: 0.43~0.49s), 재현성 등 매우 우수한 소자 성능을 구현할 수 있다.

그 결과, 본 발명은 수분센서를 비롯해 다양한 분야에 응용가능한 멜라닌의 활용범위 확대에 크게 기여할 수 있다.

(52) CPC특허분류

C07D 209/04 (2013.01)

G01N 27/06 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

수용성 도파민-멜라닌을 전극상에 초박막 필름 코팅하여 감습막으로 사용하는 수분센서의 제조방법으로서,
상기 수용성 도파민-멜라닌은,

양성자 도파민(Protonated dopamine) 및 탈양성자화제를 포함하는 반응 수용액의 초기 pH를 10보다 높게 조절한 상태에서, 도파민의 자가산화(Self-oxidation)에 의해 유도되는 자가중합(Self-polymerization)을 진행시켜,

중합에 의해 생성된 도파민-멜라닌이 물에 안정적으로 분산되어 있는 도파민-멜라닌 수용액을 얻는 형태로 제조되는 것이며,

상기 도파민-멜라닌 수용액 내의 상기 도파민-멜라닌은 그 용해도가 pH에 의존하는 것으로서, 물에 가역적으로 용해된 상태로 존재하는 것임을 특징으로 하는,

수분센서의 제조방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 양성자 도파민(Protonated dopamine)은 도파민 하이드로클로라이드(Dopamine · HCl)인 것을 특징으로 하는 수분센서의 제조방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 탈양성자화제는 트리스-(하이드록시메틸)아미노메탄(Tris), 수산화암모늄(NH₄OH) 및 수산화나트륨(NaOH) 중에서 선택되는 것을 특징으로 하는 수분센서의 제조방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 반응 수용액은 양성자 도파민(Protonated dopamine) 및 탈양성자화제 외에, 염화 마그네슘 육수화물(Magnesium chloride hexahydrate), 질산 마그네슘 육수화물(Magnesium nitrate hexahydrate), 염화나트륨(NaCl) 및 염화칼슘 무수물(Calcium chloride anhydrous)을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 수분센서의 제조방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 반응 수용액의 초기 pH는 12~11로 조절되는 것임을 특징으로 하는 수분센서의 제조방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 반응 수용액의 초기 pH는 CO₂ 가스를 이용하여 pH 12~11로 조절되는 것임을 특징으로 하는 수분센서의 제조방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

도파민의 자가중합(Self-polymerization) 과정에서 반응 수용액 내의 용존산소가 산화제로서 작용하는 것을 특징으로 하는 수분센서의 제조방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

얻어지는 도파민-멜라닌 수용액의 최종 pH는 8~9인 것을 특징으로 하는 수분센서의 제조방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 수용성 도파민-멜라닌은 실온(20℃)에서 제조되는 것을 특징으로 하는 수분센서의 제조방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 수용성 도파민-멜라닌은 pH가 낮아짐에 따라 석출되고 pH가 높아짐에 따라 재용해되는, 가역적인 졸-겔 전이(Sol-gel transition) 거동을 나타내는 것을 특징으로 하는 수분센서의 제조방법.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 코팅은 용액 캐스팅(Solution-casting) 또는 스핀 코팅(Spin-coating)에 의해 수행되는 것을 특징으로 하는 수분센서의 제조방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

수용성 도파민-멜라닌이 포함된 수용액의 pH를 2로 조절하여 도파민-멜라닌을 석출시키고,

도파민-멜라닌 침전물을 탈이온수로 세척하고 원심분리를 이용하여 잔류하는 산(Acid) 및 무기염류(Inorganic salts)를 제거한 후,

정제된 도파민-멜라닌을 탈이온수에 재용해시키고 용액의 pH를 5로 조절한 다음,

pH가 조절된 용액을 이용하여 용액 캐스팅(Solution-casting) 또는 스핀 코팅(Spin-coating)을 수행하는 것을 특징으로 하는 수분센서의 제조방법.

청구항 13

제1항에 있어서,

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

청구항 14

전극; 및 상기 전극상에 제1항에 따라 수용성 도파민-멜라닌이 코팅되어 형성된 감습막 필름;을 포함하는 수분센서.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 코팅된 도파민-멜라닌 감습막 필름의 저항은 상대습도(RH)가 0%에서 100%로 증가함에 따라 10^5 배 감소하는 것을 특징으로 하는 수분센서.

청구항 16

제14항에 있어서,

상기 수분센서의 응답시간(Response time)은 0.42~0.47초인 것을 특징으로 하는 수분센서.

청구항 17

제14항에 있어서,

상기 수분센서의 회복시간(Recovery time)은 0.43~0.49초인 것을 특징으로 하는 수분센서.

청구항 18

제14항에 있어서,

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

청구항 19

제14항에 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.

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 수용성 도파민-멜라닌의 제조방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 수용액 상에서 도파민을 자가중합 시 용액의 초기 pH를 10이 넘게(구체적으로는, pH 11~12로) 조절함으로써, 종래 일반적인 천연/합성 멜라닌의 물에 녹지 않는 한계를 극복하여 물에 가역적으로 용해될 수 있는 수용성 도파민-멜라닌을 성공적으로 합성하고, 이를 스핀 코팅 등의 방법으로 초박막 필름 코팅하여 수분센서(습도센서)를 제작하는 기술에 관한 것이다.
- [0002] 본 발명에 따른 수용성 도파민-멜라닌을 이용하면 필름 코팅 공정이 매우 신속, 간편, 저렴해지고, 코팅된 필름은 균일하고도 높은 전도성을 지녀 수분센서의 전극으로 적용시 초고감도(민감도: RH 0%~100%에 따라 10만배의 저항 변화), 초고속의 응답 및 회복도(응답시간: 0.42~0.47s, 회복시간: 0.43~0.49s), 재현성 등 매우 우수한 소자 성능을 구현할 수 있다.
- [0003] 그 결과, 본 발명은 수분센서를 비롯해 다양한 분야에 응용가능한 멜라닌의 활용범위 확대에 크게 기여할 수 있다.

배경 기술

- [0004] 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 응답 및 더욱 짧은 회복시간과 같이 우수한 특성들을 지닌 수분-응답성 나노 물질을 개발하는 방향으로 이어지고 있다.
- [0005] 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.
- [0006] 그러나, 이러한 무기계 소재를 이용할 경우 약 1000℃에 이르는 가혹한 고온 조건이 필요하여 공정 효율이 떨어지는 문제가 있으며, 응답시간 및 회복시간 등 보다 진보된 센서에 필수적인 성능들이 요구 수준에 이르지 못하고 있다.
- [0007] 한편, 생체전자공학(Bioelectronics) 분야에 있어, 사이토크롬-C, 콜라겐, 레시틴, DNA 및 멜라닌과 같은 다양한 생체고분자(Biomacromolecule)의 응상(Condensed-phase) 전자적 특성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 멜라닌(Melanin)의 전자적 특성을 비롯한 기타 특성들은 매우 흥미로운 연구 대상으로 자리잡고 있다.
- [0008] 천연 멜라닌 입자 및 혼합에 의해 분비되는 접착 단백질에서 영감을 받아, 최근 도파민으로부터 유래된 합성 멜라닌(이하, 본원에서 "도파민-멜라닌"으로 약칭함)에 대한 연구가 표면 개질, 멤브레인 선택도, 유기 중공(Hollow) 나노입자, 포토트랜지스터, 집광 소자, 액체 캡슐화, 생체내 암 치료를 위한 효율적 근적외선 광열 치료제, T1-강조 자기공명 영상을 위한 조영제 및 구조색과 같은 다양한 목적 하에 다수의 연구가 수행된바 있다. 이러한 멜라닌 합성에 사용되는 도파민은 인간의 뇌 및 신체에서 다양하고도 중요한 역할을 하는 카테콜아민 신경전달 물질 중 하나이다.
- [0009] 천연 멜라닌은 생물학적으로 매우 중요한 역할을 하며, 동물의 피부, 깃털, 머리털, 눈 및 뇌 등 생물체 조직에서 발견되는 천연 색소를 형성하는 물질이다. 또한 천연 멜라닌은 강력한 자외선-가시광선 흡수, 낮은 복사 양자수율, 산화 방지 및 자유라디칼 소거 등 놀라운 기능들을 수행한다. 이러한 멜라닌은 전기전도도, 광전도도(밴드갭: 0.5~3.4eV) 및 메모리 스위칭의 수화 의존성을 비롯해 흥미로운 전기적 전도 특성들을 지녀 생체전자

소자 제작을 위한 유력한 재료로 인정되고 있으며, 수십 년 동안 물리학자 및 화학자들의 특별한 주목을 받아왔다.

[0010] 종래 멜라닌과 관련된 상기와 같은 현상들은 Mott-Davis 비정질 반도체 모델(수정된 유전이론)에 따라 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 전도도의 수화 의존성이 전자-양성자 혼성 전도 메커니즘과 관련된 전기화학적 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.

[0011] 멜라닌을 이용해 미니어처화된 생체전자 소자를 제작하기 위해서는 멜라닌이 박막의 형태로 제공되어야 하며, 이러한 박막 형태는 부피 대비 표면적 비율이 높기 때문에 미니어처화된 센싱 소자를 구성하기 위한 기술적 목적상 이상적인 빌딩 블록으로 여겨지고 있다. 구체적으로, 박막 형태는 빠른 응답 및 회복과 더불어 출력 파라미터에 대한 섭동(Perturbation)의 민감한 전달과 같은 센서 성능에 있어 매우 중요하다. 종래의 스핀 코팅(Spin-coating) 및 용액 캐스팅(Solution-casting) 기술을 이용해 균일한 멜라닌 박막을 형성하기 위한 열쇠는 바로 균일한 멜라닌 용액을 제조하는 것이다.

[0012] 그러나, 천연 멜라닌은 거의 모든 용매에 대해 완전 불용성이다.

[0013] 이를 해결하기 위해 가용성 멜라닌을 제조하기 위한 많은 시도들이 있었다. 예를 들어, 강한 암모니아 용액과 초음파를 이용하여 천연 멜라닌 및 기체조된 합성 DOPA-멜라닌 입자(= 3,4-디하이드록시페닐알라닌(DOPA)으로부터 유래된 멜라닌)로부터 가용성 멜라닌 파편을 추출하는 방법이 시도된바 있다. 또한 유기용매(예컨대, 디메틸 설펝사이드(DMSO) 및 N,N-다메틸포름아마이드(DMF))에서 강한 산화제(예컨대, 벤조일 퍼옥사이드)를 사용하여 가용성 DOPA-멜라닌 화합물을 합성하려는 시도도 있었다.

[0014] 그러나, 현재까지 수용성 도파민-멜라닌(Water-soluble dopamine-melanin)을 성공적으로 합성한 기술은 전무하며, 전술한 종래 시도들은 가용성 멜라닌을 수득(추출)하는 공정 내지 코팅 공정 자체가 번거롭고 복잡하거나 이를 이용해 센서(예컨대, 수분센서)를 제작할 경우 빠른 응답시간 등 진보된 센서로서 요구되는 성능들 또한 만족할만한 수준에 이르지 못했다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0015] (비특허문헌 0001) J.P. Bothma, J. de Boor, U. Divakar, P.E. Schwenn, P. Meredith, Device-quality electrically conducting melanin thin films, Adv. Mater. 20 (2008) 3539-3542.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0016] 본 발명은 상기와 같은 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 도파민-멜라닌이 물에 안정적으로 분산되어 있는 균일한 수용성 도파민-멜라닌을 합성하고, 이를 신속, 간편한 방법으로 전극에 코팅해 초고감도 및 초고속 응답/회복도를 지닌 고성능 센서(예컨대, 수분센서)를 제공하는 것을 기술적 과제로 한다.

[0017] 구체적으로, 본 발명자들은 예의 연구를 거듭한 결과, 수용액에서 도파민-멜라닌 합성시 pH 10 초과와 고도 염기성 조건을 조성할 경우 pH 수준에 따라 물에 가역적으로 용해될 수 있는 수용성 도파민-멜라닌이 성공적으로 합성됨을 최초로 확인하고 본 발명에 이르렀다.

과제의 해결 수단

[0018] 상기한 기술적 과제를 달성하고자, 본 발명은 양성자 도파민(Protonated dopamine) 및 탈양성자화제

(Deprotonating agent)를 포함하는 반응 수용액의 초기 pH를 10보다 높게 조절한 상태에서, 도파민의 자가산화(Self-oxidation)에 의해 유도되는 자가중합(Self-polymerization)을 진행시켜, 중합에 의해 생성된 도파민-멜라닌이 물에 안정적으로 분산되어 있는 도파민-멜라닌 수용액을 얻는 것이며, 상기 도파민-멜라닌은 그 용해도가 pH에 의존하는 것으로서, 물에 가역적으로 용해된 상태로 존재하는 것임을 특징으로 하는 수용성 도파민-멜라닌(Water-soluble dopamine-melanin)의 제조방법을 제공한다.

[0019] 본원에서, 도파민-멜라닌이란 도파민(Dopamine; 3,4-디하이드록시페네틸아민)으로부터 유도되어 형성된 멜라닌, 구체적으로는 수용액 상에서 도파민의 자가산화(Self-oxidation)에 의해 유도되는 자가중합(Self-polymerization)에 의해 형성된 멜라닌을 의미한다.

[0020] 본 발명은 도파민의 자가산화 유도 중합을 통해 정량적 수율로 수용성 도파민-멜라닌을 쉽고 간단하게 제조할 수 있는 방법에 관한 것으로, 이는 도파민-멜라닌의 pH-의존적 용해도 차이에 따라 반응 수용액의 pH를 10보다 높게 설정한 상태에서 도파민을 자가중합시키는 것에 의해 달성되며, 이를 통해 균일한 수성 도파민-멜라닌 용액을 수득할 수 있다.

[0021] 본 발명과 관련된 자가산화 유도 중합("자가중합"으로도 약칭함)의 반응 경로를 도 1(a)에 개략적으로 나타내었다. 수용액에서 자가중합은 양성자 도파민(Protonated dopamine)이 알칼리에 의해 탈양성자화됨에 따라 개시되며, 도파민은 (별도의 산화제 투입 없이) 반응 수용액 내의 용존산소에 의해 실온에서 5,6-디하이드록시인돌(DHI)로 자발적 산화된다. 이어서 DHI는 역시 자발적으로 한번 더 산화되어 더 큰 올리고머(2-8개의 DHI 단위 포함)를 형성한다(세피아 잉크로부터 얻은 유멜라닌의 원자력현미경(AFM) 연구). 산성 또는 약염기 조건하에서, 이러한 올리고머는 π - π 스택킹을 통해 조립되어 도파민-멜라닌 집합체를 형성하며, 이러한 올리고머 집합체는 공유결합을 통해 가교되어 더 큰 집합체(예컨대, 멜라닌 입자(Granules))를 형성하는데, 이러한 최종 집합체는 물을 비롯해 거의 모든 종류의 용매에 녹지 않는 것이 일반적이다. 그 결과, 종래에는 기체조된 멜라닌 입자의 가교결합을 끊어 균일한 도파민-멜라닌 용액을 제조하기 위해 알칼리 용액(예컨대, 진한 암모니아 용액)을 이용한 가용성 성분의 추출, 초음파 처리와 같은 복잡하고도 시간이 소요되는 과정들이 필요했다. 즉 수용성 도파민-멜라닌 제조의 열쇠는 이러한 가교결합을 방지하는 것이라 할 수 있다.

[0022] 도파민-멜라닌 집합체의 크기는 알칼리(예컨대, NaOH)의 양이 양성자 도파민(예컨대, Dopamine · HCl)의 당량까지 증가함에 따라 작아지는 경향을 보였다. 이러한 사실에 착안하여, 본 발명자들은 고도의 염기성 환경이 DHI 올리고머에 매달린 카테콜 그룹을 분리하는데 유리하게 작용할 것이며, 그 결과 수화가 증대되고 π - π 스택킹을 통한 집합체 형성은 억제되어 자가중합 도중 균일한 분산액의 형성이 가능해질 것으로 예상 및 확인하였다. 구체적으로, 본 발명에서는 용액의 초기 pH를 10 초과, 예컨대 11~12, 더욱 상세하게는 11 또는 12로 조절하는 간단한 방법에 의해 도파민의 자가중합 도중 도파민-멜라닌을 수용성 상태로 유지할 수 있었다.

[0023] 또한, 본 발명에 따라 수용액상에서 분리된 상태로 존재하는 도파민-멜라닌은 가역적인 졸-겔 전이(Sol-gel transition) 거동을 나타내었는바, 구체적으로 본 발명에 따라 제조된 수용성 도파민-멜라닌은 pH가 낮아짐에 따라 석출되고 pH가 높아짐에 따라 재용해되는 흥미로운 특성을 보인다.

[0024] 본 발명에 있어, 상기 양성자 도파민(Protonated dopamine)으로는 도파민 하이드로클로라이드(Dopamine · HCl)를 사용할 수 있으며, 상기 탈양성자화제(알칼리)로는 트리스-(하이드록시메틸)아미노메탄(Tris), 수산화암모늄(NH₄OH 또는 암모니아수) 및 수산화나트륨(NaOH) 중에서 선택하여 사용할 수 있다.

[0025] 또한, 상기 반응 수용액은 양성자 도파민(Protonated dopamine) 및 탈양성자화제 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] 일 구체적 예로, 본 발명에 있어 상기 반응 수용액의 초기 pH 12는 CO₂ 가스를 이용하여 적절한 값(더욱 상세하게는, pH 11~8)으로 조절될 수 있으며, 본 발명에 따라 수득되는 도파민-멜라닌 수용액의 최종 pH는 8~9 수준인 것일 수 있다.

- [0027] 또한, 본 발명의 제조방법은, 종래 무기(Inorganic) 소재를 이용한 수분센서 제작시 1000℃ 내외의 가혹한 조건이 요구되는 것과 달리, 실온(예컨대, 20℃) 수준에서 수분센서 감습막의 원료인 수용성 도파민-멜라닌을 합성할 수 있는바 공정 효율 및 경제성이 뛰어나다.
- [0028] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 상기와 같은 방법에 따라 제조된 수용성 도파민-멜라닌을 전극상에 초박막 필름 코팅하여 감습막으로 사용하는 것을 특징으로 하는 수분센서의 제조방법에 제공된다.
- [0029] 본 발명에 따른 수용성 도파민-멜라닌으로부터 제조된 균질 용액을 용액 캐스팅(Solution-casting) 또는 스핀 코팅(Spin-coating) 등의 기법으로 전극에 코팅하면 매우 균일한 고성능 박막을 얻을 수 있다.
- [0030] 일 구체적 예에서, 상기 용액 캐스팅(Solution-casting) 또는 스핀 코팅(Spin-coating)은 수용성 도파민-멜라닌이 포함된 수용액의 pH를 2로 조절하여 도파민-멜라닌을 석출시키고, 도파민-멜라닌 침전물을 탈이온수로 세척하고 원심분리를 이용하여 잔류하는 산(Acid) 및 무기염류(Inorganic salts)를 제거한 후, 정제된 도파민-멜라닌을 탈이온수에 재용해시키고 용액의 pH를 5로 조절한 다음, pH가 조절된 용액을 이용하여 코팅하는 일련의 과정을 거쳐 수행될 수 있다.
- [0031] 또한, 수용성 도파민-멜라닌이 코팅되는 전극으로는 금(Gold) 전극을 사용하여 수분센서를 구성할 수 있다.
- [0032] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 전극; 및 상기 전극상에 수용성 도파민-멜라닌이 코팅되어 형성된 필름;을 포함하는 고성능 수분센서가 제공된다.
- [0033] 상기 도파민-멜라닌 필름은 전계방출 주사전자 현미경(FE-SEM) 이미지 관찰 결과 나노 수준의 컴팩트하고 매끄러운 형태를 나타내었으며, 이러한 필름을 감습막으로 이용한 수분센서는 크게 향상된 수분 민감도와 더불어 종래 암모니아-추출법에 의한 도파민-멜라닌 기반 센서 대비 습도 변화에 대한 전기저항에 있어 매우 빠른 응답성을 나타내었다.
- [0034] 구체적으로, 본 발명에 따라 코팅된 도파민-멜라닌 필름의 저항은 상대습도(RH)가 0%에서 100%로 증가함에 따라 10^5 배나 감소하였으며, 본 발명에 따른 수분센서는 응답시간(Response time)이 0.42~0.47초, 회복시간(Recovery time)이 0.43~0.49초로서 초고속 성능을 구현할 수 있었다. 응답시간(Response time) 및 회복시간(Recovery time)은 보다 진보된 센싱 제품을 구현하기 위한 매우 중요한 요소로서, 본원에서 응답시간(Response time) 및 회복시간(Recovery time)은 최종 평형값의 90%에 도달하는데 소요되는 시간으로 정의된다.
- [0035] 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 터치스크린, 비접촉성 스크린(Noncontact-mode screen), 비접촉 위치 인터페이스, 플렉서블 기기, 플렉서블 투명전극, 웨어러블 디바이스(Wearable device)와 같은 차세대 첨단 소자에도 매우 적절하게 적용될 수 있다.

발명의 효과

- [0036] 본 발명은 종래 일반적인 천연/합성 멜라닌의 물에 녹지 않는 한계를 극복하여 물에 가역적으로 용해될 수 있는 수용성 도파민-멜라닌을 간단, 용이한 방법으로 합성할 수 있다.
- [0037] 이러한 수용성 도파민-멜라닌을 이용하면 필름 코팅 공정이 매우 신속, 간편해지고 공정비용이 절감되며, 바이오 센서 시스템에 있어 고밀도의 매우 균일한 나노 규모 필름을 생산할 수 있다.
- [0038] 구체적으로, 본 발명에 따른 수용성 도파민-멜라닌을 전극에 코팅하여 제조된 수분센서는 초고감도(민감도: RH 0%~100%에 따라 약 10만배의 저항 변화)와 더불어, 동적 테스트상 초고속의 응답 및 회복 거동(응답시간: 0.42~0.47s, 회복시간: 0.43~0.49s)(종래 무기 소재 기반 센서 대비 약 10~100배 빠른 수치)을 나타내었는바,

이는 지금까지 보고되어진 재료들 중 가장 우수한 소자 성능을 구현한 것이다.

[0039] 아울러, 본 발명의 수분센서는 작동 범위가 넓고, 재현성 또한 우수하다.

[0040] 그 결과, 본 발명은 수분센서를 비롯해 비접촉성 스크린(Noncontact-mode screen) 등 다양한 분야에 응용가능한 멜라닌의 활용범위 확대에 크게 기여할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0041] 도 1의 (a)는 자가중합을 통한 불용성 및 가용성 도파민-멜라닌의 형성 과정을 개략적으로 나타낸 도면; (b)는 각각 다른 초기 pH의 도파민 용액으로부터 제조된 도파민-멜라닌 분산액 사진; (c)는 도파민-멜라닌 분산액을 제거한 후 바이알 사진; (d)는 도파민-멜라닌 침전물의 수율 및 도파민-멜라닌 분산액의 최종 pH를 도파민 용액 초기 pH의 함수로 도시한 그래프; 삽입도는 pH 8 및 pH 11에서 제조된 도파민-멜라닌 분산액을 4000rpm에서 10분 동안 원심분리한 후 수용액에서의 상대적 안정성을 보여주는 사진;이다.

도 2의 (a)는 도파민(0.01mg/mL) 및 가용성 도파민-멜라닌(0.1mg/mL)의 UV-vis 스펙트럼; (b)는 도파민-멜라닌 수용액(0.1mg/mL)의 800nm에서의 투과율을 pH의 함수로 도시한 그래프; 삽입도는 2개의 서로 다른 pH값에서 도파민-멜라닌 용액의 성상을 보여주는 사진; (c) 및 (d)는 도파민-멜라닌 수용액(20mg/mL)의 pH가 9에서 2로 변화될 때 겔화가 발생함을 보여주는 사진;이다.

도 3의 (a)는 용액 캐스팅을 이용해 제조된 도파민-멜라닌 박막의 FE-SEM 이미지; (b)는 스핀 코팅을 이용해 제조된 도파민-멜라닌 박막의 FE-SEM 이미지;이다.

도 4의 (a)는 도파민-멜라닌 박막을 이용해 제작된 습도센서의 개략적인 구조; (b)는 전극상에 코팅된 수용성 도파민-멜라닌 필름의 광학현미경 사진; (c) 도파민-멜라닌 필름 저항의 대수값 vs. RH값을 도시한 그래프;이다.

도 5의 (a)는 제작된 2가지 센서의 응답시간 및 회복시간을 나타낸 그래프(펄스 수분 자극: 습윤 및 건조 N₂ 흐름(5mL/sec) 사이에서 빠르게 온/오프 전환); (b)는 수용성 도파민-멜라닌으로부터 제조된 센서의 순환 거동을 나타낸 도면(우수한 재현성, 뚜렷한 초고감도 응답을 나타냄);이다. (* 모든 실험은 상온(20℃) 및 10V 바이어스 전압의 조건으로 수행함.)

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0042] 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.

[0043] 실시예

[0044] (1) 재료

[0045] 3,4-디하이드록시페네틸아민 하이드로클로라이드(Dopamine · HCl)(98.5%, Sigma-Aldrich), 암모니아 용액(28%, DAEJUNG), 수산화나트륨(NaOH)(97%, DAEJUNG), 염화 마그네슘 육수화물(MgCl₂ · 6H₂O)(98%, OCI), 질산 마그네슘 육수화물(Mg(NO₃)₂ · 6H₂O)(98%, DAEJUNG), 염화나트륨(NaCl)(99.5%, DAEJUNG) 및 염화칼슘 무수물(CaCl₂)(96%, SAMCHUN)를 입수한 상태 그대로 사용하였다.

[0046] (2) 도파민으로부터 유래된 멜라닌(도파민-멜라닌)의 제조

[0047] NaOH를 탈양성산화제로 사용하여 수용액에서 자가산화 유도 중합에 의해 아래와 같은 방법으로 도파민-멜라닌을 제조하였다.

[0048] 먼저 Dopamine · HCl 용액(20mM) 및 NaOH 용액(40mM)을 질소로 30분 동안 버블링시킨 후, Dopamine · HCl 용액 3mL 및 NaOH 용액 3mL를 N₂ 환경에서 일정하게 교반하면서 5분 동안 혼합하였다.

- [0049] 혼합물의 초기 pH 12값을 이산화탄소(CO₂) 가스로 조절하여, 서로 다른 초기 pH값(11, 10, 9 및 8)을 갖는 4개의 도파민 용액과 pH 12값을 갖는 1개의 도파민 용액을 각각 준비하였다.
- [0050] 준비된 도파민 용액을 실온(RT, 20℃) 및 일정한 교반조건 하에서 48시간 동안 반응시켜 도파민-멜라닌을 수득하였다.
- [0051] (3) 도파민-멜라닌 박막의 제조
- [0052] 용액 캐스팅 및 스핀 코팅의 두 가지 방법에 의해 도파민-멜라닌 수용액으로부터 도파민-멜라닌 박막을 제조하였다.
- [0053] 먼저, 초기 pH 11의 용액으로부터 수득된 도파민-멜라닌을 HCl 용액(pH = 1)에 의해 pH를 2로 조절하여 석출시켰다.
- [0054] 이어서, 침전물(석출물)을 신속하게 다량의 탈이온수로 세척하고 원심분리에 의해 잔류하는 산(Acid) 및 무기염(예컨대, NaCl)을 제거하였다.
- [0055] 통상적으로 3회 세척 후, pH 증가에 따라 침전물이 다시 용해되는 것을 알 수 있었다. 추가적인 세척을 수행하기 위해, 세척 용액으로서 HCl 용액(pH = 2)을 사용할 수 있다. 본 실시예에서는, 도파민-멜라닌 박막 제조를 위해 정제된 도파민-멜라닌을 탈이온수에 재용해시켜 2mg/mL의 농도로 만들고 용액의 pH를 대략 5 정도로 조절하여 사용하였다.
- [0056] 용액 캐스팅을 위해, 도파민-멜라닌 용액 한 방울을 피라나 용액으로 세척된 실리콘 웨이퍼 한 피스 위에 적하한 후, Fume cupboard에서 실온으로 24시간 동안 건조시켰다.
- [0057] 또한 스핀 코팅을 위해, 도파민-멜라닌 용액 몇 방울을 실리콘 웨이퍼 한 피스 위에 적용한 후, 고정된 회전속도(전형적으로, 4000rpm)에서 스피너(Spinner)로 45초 동안 회전시켰다.
- [0058] (4) 도파민-멜라닌 박막 센서의 제작
- [0059] 전술한 용액 캐스팅 조건을 사용하여, 패터화된 기판상에 도파민-멜라닌 박막을 형성하여 2개의 도파민-멜라닌 박막 센서를 제조하였다.
- [0060] 이때, 하나는 수용성 도파민-멜라닌을, 다른 하나는 암모니아-추출 도파민-멜라닌을 사용하여 제조하였다.
- [0061] 전자의 경우, 수용성 도파민-멜라닌 용액(2mg/mL, pH = 약 5) 한 방울을 인터디지털 전극(PET 시트상에 스퍼터-코팅된 2개의 금 전극; 두께 100nm, 갭 10 μ m) 위에 적하하였다. 이어서 Fume cupboard에서 실온으로 24시간 동안 건조시켜 박막 센서를 수득하고, 습도에 대한 응답 측정에 사용하였다.
- [0062] 후자의 경우, 문헌 "J.P. Bothma, J. de Boor, U. Divakar, P.E. Schwenn, P. Meredith, Device-quality electrically conducting melanin thin films, Adv. Mater. 20 (2008) 3539-3542."에 보고된 추출 방법을 통해 암모니아-추출 도파민-멜라닌 용액을 제조하였다. 구체적으로, pH 8에서 도파민 자가중합으로부터 수득된 도파민-멜라닌 침전물(70mg)을 물(0.5mL) 및 진한 암모니아 용액(1mL)으로 구성된 혼합용액에 가하여 암모니아-추출 도파민-멜라닌 용액을 제조하였다. 이어서 상기 용액을 실온에서 1시간 동안 교반한 후 초음파 처리하여 새까만(Pitch-black) 용액을 수득하였다. 이어서 임의의 불용성 도파민-멜라닌을 제거하기 위해 용액을 원심분리(4000rpm, 10분)하였다. 얻어진 용액의 상청액(Supernatant)을 탈이온수로 2mg/mL까지 희석하고, 용액 캐스팅에 의해 도파민-멜라닌 박막 센서를 제조하였다.
- [0063] (5) 특성화 방법
- [0064] UV-vis 흡수 스펙트럼은 분광계(Perkin-Elmer, Lambda 40)를 이용하여 기록하였다.
- [0065] FE-SEM은 JSM-7001F SEM 현미경을 이용하여 10kV의 가속전압 조건으로 수행하였다. 샘플들을 SPI 스퍼터-코터를 이용해 백금(Pt)으로 스퍼터-코팅하여 SEM 측정에 앞서 전도도 향상을 도모하였다.
- [0066] 전기적 특성은 Keithley 2400 SourceMeter를 이용하여 기록하였다.

- [0067] 습도 센싱 분석은 2개의 전극 셋업을 이용해 제작된 센서의 저항을 모니터링하여 수행하였다.
- [0068] 정적(Static) 자극 하의 테스트는 CaCl_2 무수물(0% RH의 경우), MgCl_2 포화용액(32% RH의 경우), $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 포화용액(51% RH의 경우), NaCl 포화용액(75% RH의 경우) 및 탈이온수(100% RH의 경우)를 포함하는 밀봉된 둥근바닥 플라스크에서 수행하였다. 샘플은 각각의 정상상태 저항 측정에 앞서 20℃에서 항습 조건으로 2시간 동안 두어 수화 평형에 도달하도록 하였다.
- [0069] 동적(Dynamic) 테스트의 경우, 모든 센서를 2개의 가스 흐름(습윤 및 건조 질소 흐름; 5mL/sec)과 연결된 챔버 안에 배치하였으며, 이때 2개의 가스 흐름은 3-포트 볼 밸브를 통해 빠르게 스위칭될 수 있도록 하였다. 한편 습윤 질소 흐름(수분/질소 혼합 흐름)은 질소 흐름이 챔버에 도달하기 전 물을 포함하는 플라스크를 통과하게 하여 형성하였다.
- [0070] **실험예**
- [0071] (1) 수용성 도파민-멜라닌의 성공적 합성
- [0072] 도 1(b)에 초기 pH가 8~12인 도파민 용액으로부터 제조된 수성 도파민-멜라닌 분산액의 사진을 나타내었다.
- [0073] 수용액에서 녹지 않는 도파민-멜라닌 침전물의 형성 여부는 pH 8~10 샘플에 대한 액체 벌크상을 제거한 후 바이알 내벽에 잔존하는 갈색 흔적을 통해 간접적으로 확인할 수 있었다(도 1(c)).
- [0074] 또한, 원심분리(4000rpm)를 이용하여 각 분산액에서 불용성 도파민-멜라닌을 수집하였다.
- [0075] 원심분리기로 불용성 입자를 분리한 후, pH 8~10 샘플에 대해서도 균일한 도파민-멜라닌 분산액이 얻어졌다(도 1(d)의 좌측 삽입도).
- [0076] 그러나, pH 11 샘플(도 1(d)의 우측 삽입도) 및 pH 12 샘플의 경우는 도파민-멜라닌 침전물이 아예 관찰되지 않았다.
- [0077] 도 1(d)에서 보듯이, 도파민-멜라닌 침전물의 수율은 초기 pH가 증가함에 따라 빠르게 감소하였다.
- [0078] 이러한 결과는 고도 염기성 환경에서 카테콜 종류가 해리됨에 따라 산화 중합 도중 도파민 올리고머 사슬이 (-)로 하전됨을 명확히 확인시켜준다. 이처럼 (-)로 하전된 도파민 올리고머의 전하 반발에 따라 π - π 스택킹에 의한 응집체 형성 및 이후의 가교결합이 방지되고, 그 결과 수용성 도파민-멜라닌이 성공적으로 합성된 것으로 여겨진다.
- [0079] 초기 pH가 10보다 큰 환경에서 형성된 도파민-멜라닌은 용액/고체 계면에서 침전되지 않을 뿐만 아니라(표면 개질 적용분야에서 매우 중요), 벌크 액상에서 침전물을 생성하지도 않는다.
- [0080] 도파민 용액의 초기 pH는 8~12로 서로 달랐지만, 모든 도파민-멜라닌 분산액의 최종 pH는 종국적으로 8.4 정도에 근접하였으며, 초기 pH가 10보다 큰 환경에서 형성된 도파민-멜라닌은 8.4 근처의 pH값에서도 수용액 내에서 안정한 상태로 용해되어 있었다.
- [0081] (2) 수용성 도파민-멜라닌의 특성화
- [0082] 자외선-가시광선 분광법을 이용하여 초기 pH 11에서 형성된 수용성 도파민-멜라닌의 화학적 구조를 특성화하였다.
- [0083] 도 2(a)는 도파민 및 수용성 도파민-멜라닌의 UV-vis 흡수 스펙트럼을 보여준다.
- [0084] 280nm에서의 흡수 밴드(도파민의 페놀 그룹에 기인)가 수용성 도파민-멜라닌 스펙트럼에서 관찰되었다. 또한 수용성 도파민-멜라닌 스펙트럼은 단조롭고 넓은 흡수 밴드를 나타내었는바, 이는 기보고된 천연 및 합성 멜라닌 모두의 흡수 밴드와 잘 일치하는 것이다.
- [0085] 수용성 도파민-멜라닌은 가역적인 pH-의존성 용해도를 나타내며, pH에 따라 투과율이 급변하였다(800nm, pH 3.8)(도 2(b)).
- [0086] 하이드로퀴논 라디칼($pK_a = 4.1$), 하이드로퀴논($pK_a = 9.85$), 카테콜 형태($pK_a = 9.25$ 및 13.0)의 양성자 해리 상수(Proton dissociation constant; pK_a)에 기초할 때, pH 3.8에서 도파민-멜라닌의 가용성-불용성 전이는 카

테콜 상 하이드로퀴논 라디칼의 양성자 해리에 의해 지배적인 영향을 받는 것으로 여겨진다.

- [0087] 졸-겔 전이의 존재는 pH 9에서의 고농도(20mg/mL) 도파민-멜라닌 용액(졸 상태)(도 2(c)) 및 pH 2에서의 겔 상태(도 2(d))를 보여주는 디지털 사진을 통해 명확히 식별할 수 있었다.
- [0088] FE-SEM을 통해 도파민-멜라닌 필름의 내부 구조 및 미세 모폴로지를 조사하여 도 3에 나타내었다.
- [0089] 용액 캐스팅된 필름의 두께($d = 360\text{nm}$)는 스핀 코팅된 필름의 두께($d = 20\text{nm}$)보다 더욱 두꺼웠으며, 두 가지 방법에 의해 제조된 도파민-멜라닌 필름 모두 평탄한 표면, 고밀도 및 공백없는 균일한 단면 구조를 나타내었다.
- [0090] (3) 도파민-멜라닌 박막 습도센서의 성능
- [0091] 본 발명에 따라 높은 pH에서 중합된 수용성 도파민-멜라닌과 암모니아-추출 도파민-멜라닌을 이용하여 제작된 습도센서 전극의 성능을 비교하였다.
- [0092] 암모니아-추출 도파민-멜라닌의 경우, 용액 캐스팅 및 스핀 코팅 기술을 이용한 박막 제조에 있어 비슷한 필름 형성 수준을 보였다.
- [0093] 박막 센서 제작을 위해, 도파민-멜라닌 용액(2mg/mL) 한 방울을 PET 시트상에 스퍼터-코팅된 금(Gold) 인터디지털 전극 위에 적용하고(도 4(a) 및 4(b)), Fume cupboard에서 실온으로 24시간 동안 건조시켰다.
- [0094] 2개 센서의 습도 민감도를 상대습도(RH)를 조절하여 밀폐된 환경에서 정적 자극을 통해 조사하고, 상대습도 및 각 측정된 저항(대수값) 사이의 음의 상관관계에 기초하여 평가하였다(도 4(c)).
- [0095] 수용성 도파민-멜라닌으로부터 제조된 센서의 저항은 상대습도가 100%에서 0%로 감소함에 따라 10만배 이상 증가하였는바, 주위환경 습도에 대해 놀라운 민감도를 나타내었다. 예를 들어, 본 센서의 저항은 RH 0%(건조 공기)에서 $2.1 \times 10^{11} \Omega$ 로 측정되었는바, 이는 RH 51%에서 저항($1.5 \times 10^9 \Omega$)의 약 140배, RH 100%에서 저항($1.8 \times 10^6 \Omega$)의 약 1.2×10^5 배에 달하는 수치이다.
- [0096] 암모니아-추출 도파민-멜라닌으로부터 제조된 센서의 저항은 상대습도가 100%에서 0%로 감소함에 따라 약 1만배 이상의 증가폭을 보였다.
- [0097] 2개 센서의 경우, 저항의 대수값($\log_{10}R$)은 상대습도가 감소함에 따라 뚜렷한 직선형의 증가 추세를 보였다.
- [0098] 각 제조된 센서에 대해 하기 식 1에 따라 선형 회귀분석을 실시하였다.
- [0099] [식 1]
- [0100] $\log_{10}R = A \times RH + B$
- [0101] (수용성 도파민-멜라닌 센서: $A = -5.038$, $B = 11.46$, (조정된) 상관관계수 $R^2 = 0.992$)
- [0102] (암모니아-추출 도파민-멜라닌 센서: $A = -4.837$, $B = 11.95$, $R^2 = 0.998$)
- [0103] 저항의 상대습도에 대한 매우 가파른 의존성은 수분이 도파민-멜라닌 필름의 전도도에 강한 영향을 미침을 의미하며, 이러한 결과는 기보고된 바와 같이 천연 멜라닌 및 도파민-멜라닌 전기전도도가 수화 정도에 의존한다는 것과 일치한다. 이러한 관계는 물과 관련된 균등화 반응(Comproportionation reaction)에 의해 멜라닌에서 생성된 양성자 전하 운반체에 기인한다. 따라서 멜라닌에서 물의 함량을 증가시키면 균등화 평형이 이동하여 전하 운반체 농도가 높아지고, 그 결과 전도도가 상승한다.
- [0104] 도 5(a)는 습윤 및 건조 질소(N_2) 흐름간의 동적 스위치를 이용하여 일련의 전류 응답을 통해 획득한 2개 도파민-멜라닌 센서의 펄스-자극 특성을 나타내었다.
- [0105] 도파민-멜라닌 필름이 수분 흐름(습윤 N_2)에 노출되었을 때, 수용성 도파민-멜라닌으로부터 제조된 센서의 전류는 즉각적으로 급격하게 (0.42~0.47초 내에) 증가하여 상대적으로 안정한 값에 도달하였다. 한편 수분 흐름이

차단되자 전류는 빠르게(0.43~0.49초 내에) 초기값으로 복귀하였다. 초고속 응답 및 회복시간 동안, 센서는 전류 신호 강도에 있어 약 83배의 변화를 보였다. 이러한 응답시간 및 회복시간은 센싱 분야의 진보에 있어 매우 중요한 성능 요소이다.

[0106] 암모니아-추출 도파민-멜라닌으로부터 제조된 센서의 경우, 전류 신호가 다른 피크 모양을 나타내었는바, 응답시간(2.7~3.4초)은 길고 변화량(190배)은 컸다. 이러한 피크 모양은 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (공기 노출에 기인)와 같은 불순물과 관련된 것으로서 가스 흐름으로부터 도파민-멜라닌 필름의 물 흡수를 증가시켜, 그 결과 더욱 높은 겔보기 전도도를 나타내는 것으로 보인다.

[0107] 나아가, 본 발명에 따른 도파민-멜라닌 센서는 수분에 대해 우수한 재현가능 동적 응답을 나타내었다(도 5(b)).

[0108] 본 발명에 따른 수용성 도파민-멜라닌을 이용한 습도센서는 민감도, 작동 범위, 응답시간 및 회복시간의 측면에서 탁월한 소자 특성을 구현하는바, 이는 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) 소재 기반 센서는 물론, 심지어 LiCl doped TiO_2 나노섬유(응답 및 회복 시간: ≤ 3 초 및 ≤ 7 초)보다도 더욱 성능이 뛰어난 것이다.

[0109] 결과 검토

[0110] 본 발명은 도파민 용액의 초기 pH를 조절하여 자가산화 유도 중합을 통해 수용성 도파민-멜라닌을 합성하는 새로운 방법에 관한 것으로, 본 발명에 따라 합성된 수용성 도파민-멜라닌은 가역적인 pH-의존성 용해도와 졸-겔 전이를 나타낸다.

[0111] 또한, 본 발명에 따른 수용성 도파민-멜라닌은 용액 캐스팅 및 스핀 코팅 제작에 있어 우수한 성막성(Film formability)을 보이는바, 이는 박막 생체전자공학 분야에 있어 기초적인 요건을 충족하는 것이다.

[0112] 아울러, 본 발명은 수용성 도파민-멜라닌을 이용해 제작된 초고감도 및 초고속 습도센서를 제공한다.

[0113] 본 발명에 따른 도파민-멜라닌 센서는 RH가 100%에서 0%로 변함에 따라 10만배 이상의 측정 강도 변화를 나타낼 정도로 수분에 대한 민감도가 우수하다.

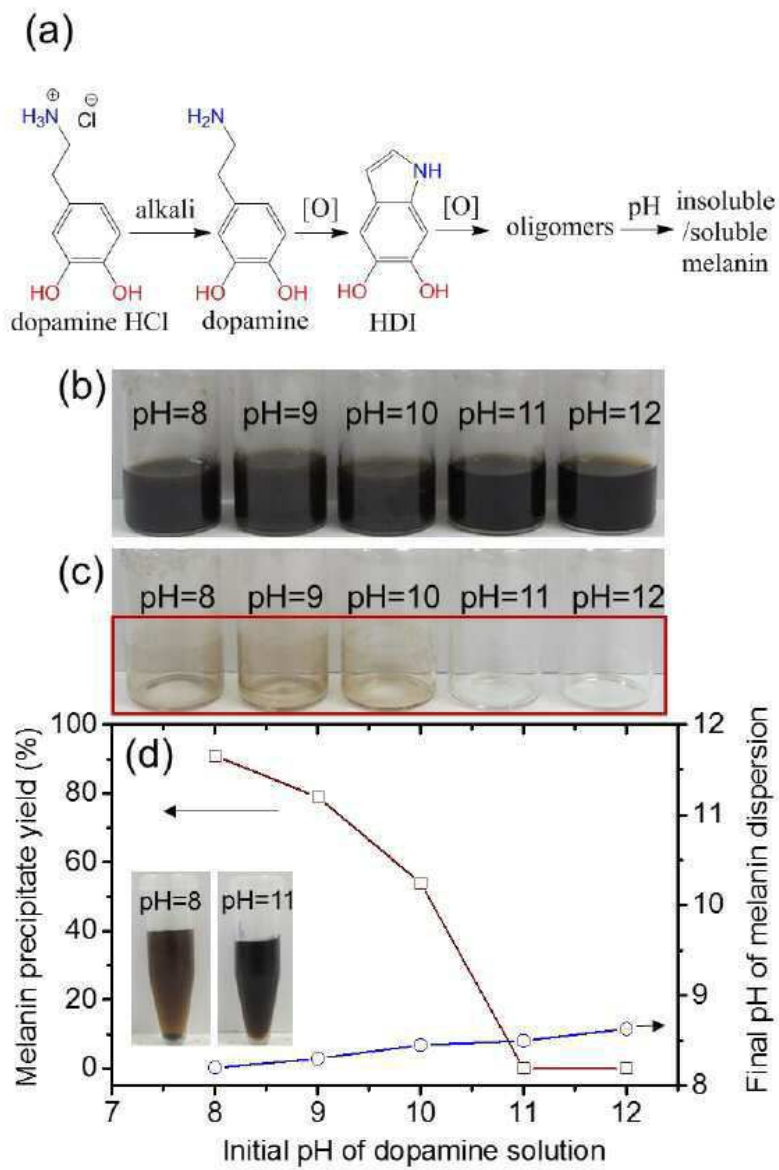
[0114] 또한, 본 발명에 따른 도파민-멜라닌 센서는 탁월한 응답시간(0.42~0.47초) 및 회복시간(0.43~0.49초)을 나타낸다.

[0115] 센서 시스템에 있어 수용성 도파민-멜라닌은 전극 제작을 위한 편리하고 용이한 틀을 제공할 뿐만 아니라 균일하면서도 밀도가 높은 필름을 형성하게 하는바, 초고감도, 초고속 응답/회복 거동, 넓은 작동 범위 및 우수한 재현성 등 유의적인 주요 소자 성능들을 크게 향상시킬 수 있다.

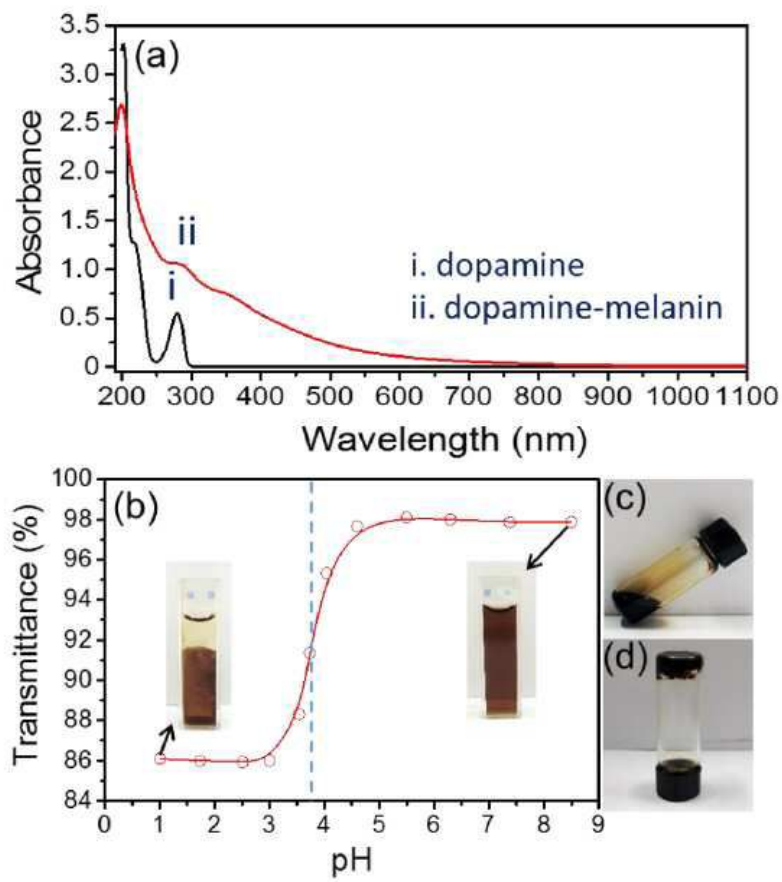
[0116] 본 발명은 수용성 도파민-멜라닌 합성 및 센서 제작을 포함하여 탁월한 소자 성능을 구현할 수 있는 새로운 방법론을 제시하는바, 정교한 생체나노전자공학 분야의 연구 및 개발에 크게 기여할 수 있을 것이다.

도면

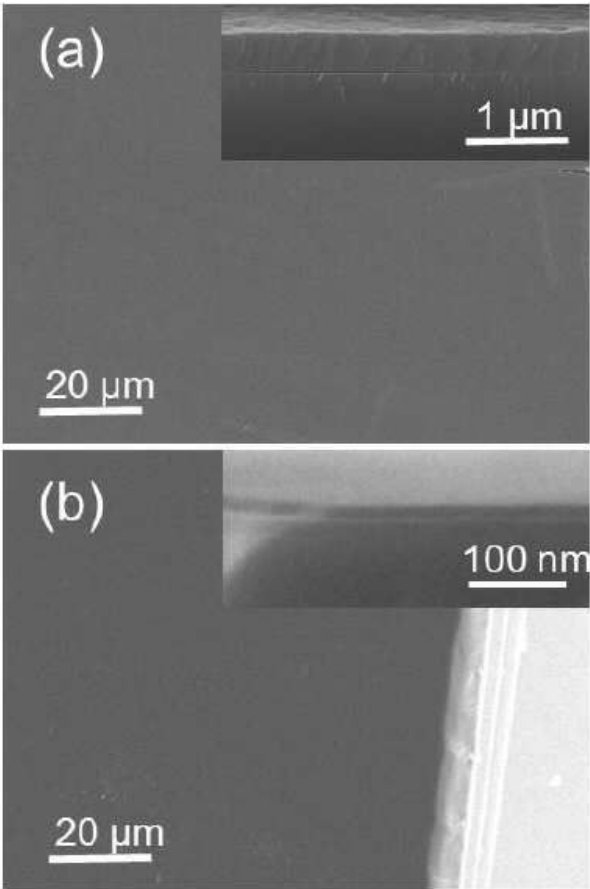
도면1



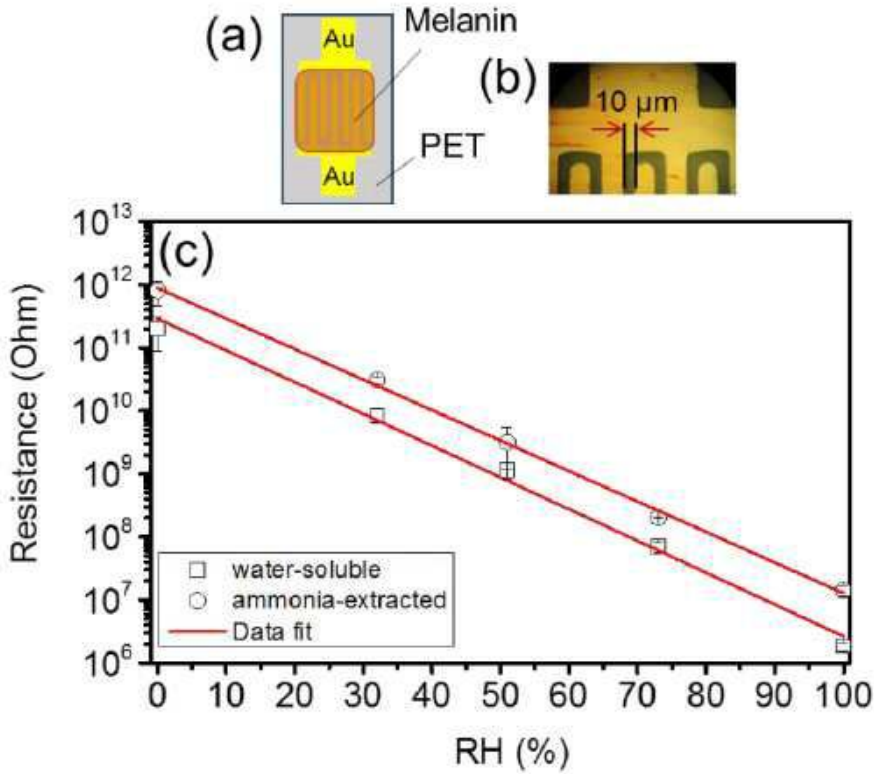
도면2



도면3



도면4



도면5

