



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년01월07일
(11) 등록번호 10-2063327
(24) 등록일자 2019년12월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 51/05 (2006.01) H01L 51/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 51/05 (2013.01)
H01L 51/0001 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0084104
(22) 출원일자 2018년07월19일
심사청구일자 2018년07월19일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020160142192 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
서울대학교산학협력단
서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동)
(72) 발명자
주영창
서울특별시 강남구 선릉로 120, 15동 505호
최광묵
서울특별시 관악구 승방3가길 61, 101호
(74) 대리인
이인행, 김한, 김남식

전체 청구항 수 : 총 10 항

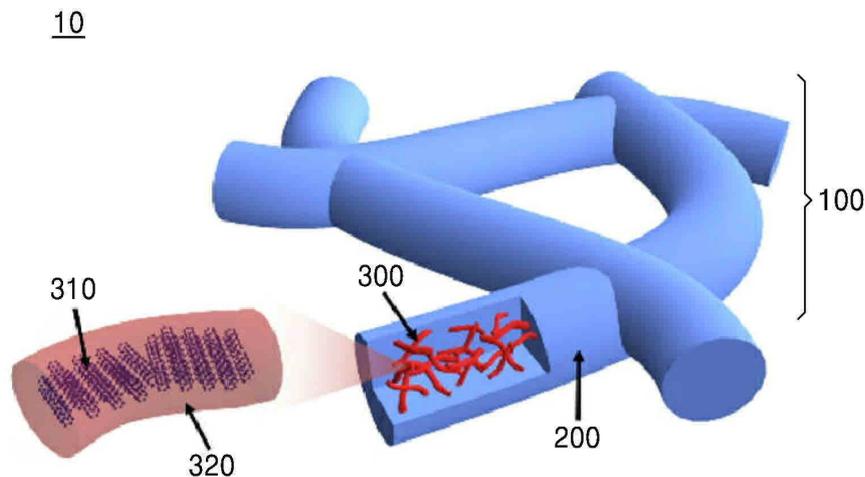
심사관 : 박광목

(54) 발명의 명칭 유기 전기화학 트랜지스터 및 이의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 유기 전기화학 트랜지스터 및 이의 제조방법에 관한 것으로서, 본 발명의 일 실시예에 따른 유기 전기화학 트랜지스터는, 기판, 상기 기판 상에 형성되는 유기 전도성 채널, 상기 유기 전도성 채널의 적어도 일 단에 형성되는 소스전극 및 상기 소스전극과 배향하여 타 단에 형성되는 드레인전극, 상기 유기 전도성 채널 상에 형성되는 전해질층 및 상기 전해질층 상에 형성되는 게이트 전극을 포함하고, 상기 유기 전도성 채널은, 전도성 고분자가 분산된 매트릭스 고분자 섬유가 그물형 구조를 형성하는 나노웹(nanoweb) 박막을 포함하는 것 특징으로 한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류
H01L 2251/10 (2013.01)

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

기관;

상기 기관 상에 형성되는 유기 전도성 채널;

상기 유기 전도성 채널의 일부 영역과 연결되도록 형성된 소스전극 및 드레인전극;

상기 유기 전도성 채널 상에 형성되는 전해질층; 및

상기 전해질층 상에 형성되는 게이트 전극을 포함하고,

상기 유기 전도성 채널은,

전도성 고분자가 분산된 매트릭스 고분자 섬유가 그물형 구조를 형성하는 나노웹(nanoweb) 박막을 포함하고,

상기 나노웹 박막은 초기 길이 대비 400% 내지 600% 까지 신장할 수 있고,

상기 전도성 고분자는 결정형의 코어(Core)부와 이를 감싸도록 형성된 셸(Shell)부를 포함하며,

상기 전도성 고분자는 상기 매트릭스 고분자 섬유 내에 분산되어 전도성 경로를 형성하는,

유기 전기화학 트랜지스터.

청구항 2

삭제

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 전도성 고분자는 polypyrrole, polythiophene, polyphenylene vinylene, polyphenylene 및 PEDOT:PSS 중
에서 선택되는 어느 하나인,

유기 전기화학 트랜지스터.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 매트릭스 고분자 섬유는 폴리아크릴아마이드를 포함하는,

유기 전기화학 트랜지스터.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 전도성 고분자의 코어부는 유기용매에 의해 도핑된 것인,

유기 전기화학 트랜지스터.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 나노웹 박막은 일정한 방향으로 복수의 층으로 적층된 구조를 가지는,

유기 전기화학 트랜지스터.

청구항 7

- (a) 매트릭스 고분자 섬유와 전도성 고분자를 포함하는 혼합용액을 준비하는 단계;
- (b) 상기 혼합용액을 전기 방사하여 상기 전도성 고분자가 분산된 상기 매트릭스 고분자 섬유가 그물형 구조를 형성하는 나노웹 박막을 제조하는 단계;
- (c) 상기 나노웹 박막을 기판 상에 형성하고, 이를 열처리하여 상기 매트릭스 고분자 섬유를 응축시키는 단계;
- (d) 열처리된 나노웹 구조체를 기판 상에 로딩(loading)한 후 상기 나노웹 구조체로 유기용매를 투입하여 상기 기판과 부착시킨 후 이를 건조시켜 유기_전도성 채널을 형성하는 단계; 및
- (e) 상기 유기 전도성 채널과 연결되는 소스전극 및 드레인 전극을 형성하고, 상기 유기 전도성 채널 상에 전해질층 및 게이트 전극을 형성하는 단계;

를 포함하고,

상기 나노웹 박막은 초기 길이 대비 400% 내지 600% 까지 신장할 수 있고,

상기 (d) 단계에서,

상기 유기용매에 의해 상기 전도성 고분자의 결정화도가 증가하여 상기 매트릭스 고분자 섬유 내에서 전도성 경로를 형성하고,

상기 전도성 고분자는 결정형의 코어(Core)부와 이를 감싸도록 형성된 셸(Shell)부를 포함하는,

유기 전기화학 트랜지스터의 제조방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 (c) 단계에서,

상기 매트릭스 고분자 섬유는 상기 열처리에 의해 응축되어 상기 분산된 전도성 고분자를 고정시키는,

유기 전기화학 트랜지스터의 제조방법.

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

제 7 항에 있어서,

상기 매트릭스 고분자 섬유는 폴리아크릴아마이드를 포함하는

유기 전기화학 트랜지스터의 제조방법.

청구항 12

제 7 항에 있어서,

상기 전도성 고분자는 polypyrrole, polythiophene, polyphenylene vinylene, polyphenylene 및 PEDOT:PSS 중에서 선택되는 어느 하나인,

유기 전기화학 트랜지스터의 제조방법.

청구항 13

제 7 항에 있어서,

상기 (d) 단계에서,

상기 유기용매는 dimethyl sulfoxide(DMSO), dimethylformamide(DMF) ethylene glycol(EG), glycerol 및 sorbitol 중에서 선택되는 어느 하나를 포함하는,

유기 전기화학 트랜지스터의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 유기 전기화학 트랜지스터 및 이의 제조방법에 관한 것이다. 보다 상세하게는, 전기방사법을 이용하여 전도성 고분자를 포함하는 그물형 구조의 나노웹 박막을 형성하여 이를 유기 전도체 채널로 포함하는 유기 전기화학 트랜지스터 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 유기 전기화학 트랜지스터(Organic electrochemical transistor, OECT)는 전도성 고분자로 이루어진 반도체 박막 채널이 전해질과 직접적으로 접촉하고 있는 구조를 가진다. 전해질 내에 존재하는 이온이 반도체 박막 채널에 주입되면서 드레인 전류가 제어되는 트랜지스터이다. 소형화가 가능하고 저비용의 인쇄공정 기술을 적용할 수 있고, 다양한 기계적 구조를 가질수 있으며, 수중 환경에서 안정적이라는 장점을 가진다. 이에 바이오 센서, 바이오 소자 등으로 각광받고 있는 전자소자이다. 특히, 높은 트랜스 컨덕턴스(Transconductance)로 인해, 증폭 소자로 많이 이용되며, 이온, 대사 산물, DNA, 병원균 등을 감지하는 센서로 연구 및 개발되고 있다.

[0003] 이때, 외부 전압에 의해 전해질의 이온이 주입되는 반도체 박막 채널은 전도성 고분자를 포함한다. 대표적인 채널물질은 PEDOT:PSS이다. 유기 반도체인 PEDOT는 p-type 반도체 특성을 가지며, PSS의 음이온을 통해 도핑되어 높은 홀 전도도를 가진다. PEDOT:PSS를 이용한 유기 전기화학 트랜지스터는 PEDOT:PSS의 친수성 특성에 의해 물과 같은 극성 용매 내에서 용해되는 문제가 있다. 전해질의 대부분이 이온을 포함할 수 있는 수용액이므로, 유기 전기화학 트랜지스터의 신뢰성을 향상시키기 위해서는 수용액 내부에서 반도체 박막 채널의 전기적 안정성이 요구된다. 그리고, PEDOT:PSS는 비교적 단단한 고분자이기 때문에 2% 이상의 변형에서 파손이 일어난다. 인체 밀착형 센서로의 연구에 있어서 상기와 같은 특징들은 PEDOT:PSS 기반 유기 전기화학 트랜지스터의 유연 특성을 저해하는 한계로 작용할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 상기와 같은 문제점들을 포함하여 여러 문제점들을 해결하기 위한 것으로, 그물형 구조를 형성하는 나노웹 박막을 포함하는 유기 전도성 채널을 이용하여 기계적 전기적 안정성이 우수한 유기 전기화학 트랜지스터를 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0005] 또한, 본 발명은 팽윤 저항성이 향상된 나노웹 박막을 유기 전도성 채널로 제조하여 전해질층의 수분에 의한 유기 전기화학 트랜지스터의 전기적 특성 감소를 억제하는 것을 목적으로 한다.

[0006] 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 관점에 따르면, 기관; 상기 기관 상에 형성되는 유기 전도성 채널; 상기 유기 전도성 채널의 일부 영역과 연결되도록 형성된 소스전극 및 드레인전극; 상기 유기 전도성 채널 상에 형성되는 전해질층; 및 상기 전해질층 상에 형성되는 게이트 전극을 포함하는, 유기 전기화학 트랜지스터가 제공된다.

[0008] 상기 유기 전기화학 트랜지스터에 있어서, 상기 유기 전도성 채널은, 전도성 고분자가 분산된 매트릭스 고분자 함유가 그물형 구조를 형성하는 나노웹(nanoweb) 박막을 포함한다.

[0009] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 전도성 고분자는 결정형의 코어(Core)부와 이를 감싸도록 형성된 셸(Shell)부를 포함하며, 상기 전도성 고분자는 상기 매트릭스 고분자 함유 내에 분산되어 전도성 경로를 형성하

는 것일 수 있다.

- [0010] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 전도성 고분자는 polypyrrole, polythiophene, polyphenylene vinylene, polyphenylene 및 PEDOT:PSS 중에서 선택되는 어느 하나일 수 있다.
- [0011] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 매트릭스 고분자 섬유는 폴리아크릴아마이드를 포함할 수 있다.
- [0012] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 전도성 고분자의 코어부는 유기용매에 의해 도핑된 것일 수 있다.
- [0013] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 나노웹 박막은 일정한 방향으로 복수의 층으로 적층된 구조를 가지는 것일 수 있다.
- [0014] 본 발명의 다른 관점에 따르면, 유기 전기화학 트랜지스터의 제조방법이 제공된다.
- [0015] 상기 유기 전기화학 트랜지스터의 제조방법은, (a) 매트릭스 고분자 섬유와 전도성 고분자를 포함하는 혼합용액을 준비하는 단계; (b) 상기 혼합용액을 전기 방사하여 상기 전도성 고분자가 분산된 상기 매트릭스 고분자 섬유가 그물형 구조를 형성하는 나노웹 박막을 제조하는 단계; (c) 상기 나노웹 박막을 기판 상에 형성하고, 이를 열처리하여 상기 매트릭스 고분자 섬유를 응축시키는 단계; (d) 열처리된 나노웹 구조체를 기판 상에 로딩 (loading)한 후 상기 나노웹 구조체로 유기용매를 투입하여 상기 기판과 부착시킨 후 이를 건조시켜 유기 전도성 채널을 형성하는 단계; 및 (e) 상기 유기 전도성 채널과 연결되는 소스전극 및 드레인 전극을 형성하고, 상기 유기 전도성 채널 상에 전해질층 및 게이트 전극을 형성하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0016] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 (c) 단계에서, 상기 매트릭스 고분자 섬유는 상기 열처리에 의해 응축되어 상기 분산된 전도성 고분자를 고정시키는 것일 수 있다.
- [0017] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 (d) 단계에서, 상기 유기용매에 의해 상기 전도성 고분자의 결정화도가 증가하여 상기 매트릭스 고분자 섬유 내에서 전도성 경로를 형성하는 것일 수 있다.
- [0018] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 전도성 고분자는 결정형의 코어(Core)부와 이를 감싸도록 형성된 셸(Shell)부를 포함할 수 있다.
- [0019] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 매트릭스 고분자 섬유는 폴리아크릴아마이드를 포함할 수 있다.
- [0020] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 전도성 고분자는 polypyrrole, polythiophene, polyphenylene vinylene, polyphenylene 및 PEDOT:PSS 중에서 선택되는 어느 하나일 수 있다.
- [0021] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 (d) 단계에서, 상기 유기용매는 dimethyl sulfoxide(DMSO), dimethylformamide(DMF), ethylene glycol(EG), glycerol 및 sorbitol 중에서 선택되는 어느 하나를 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0022] 상기한 바와 같이 이루어진 본 발명의 일 실시예에 따르면, 그물형 구조를 형성하는 나노웹 박막을 포함하는 유기 전도성 채널을 이용하여 기계적 전기적 안정성이 우수한 유기 전기화학 트랜지스터를 제공할 수 있다.
- [0023] 또한, 본 발명은 팽윤 저항성이 향상된 나노웹 박막을 유기 전도성 채널로 제조하여 전해질층의 수분에 의한 유기 전기화학 트랜지스터의 전기적 특성 감소를 억제하는 효과가 있다.
- [0024] 물론 이러한 효과에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

- [0025] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 유기 전기화학 트랜지스터를 나타내는 개략도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 유기 전도성 채널의 나노웹 박막의 구조를 나타내는 개략도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 전기방사장치를 나타내는 모식도이다
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 유기 전기화학 트랜지스터의 제조방법의 순서도이다.
- 도 5는 PEDOT:PSS의 코어부 및 셸부의 구조를 나타난 모식도이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 유기용매에 의해 결정화도가 증가되는 PEDOT:PSS의 코어부(310)를 나타내는

모식도이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 PEDOT:PSS/PAA 나노웹 박막을 이용한 유기 전기화학 트랜지스터를 나타내는 사진이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 PEDOT:PSS/PAA 나노웹 박막의 구조를 나타내는 주사전자현미경(Scanning electron microscope, SEM) 사진 및 개략도이다.

도 9는 본 발명의 일 실험예에 따른 유기 전기화학 트랜지스터 소자의 성능평가 결과를 나타내는 그래프이다.

도 10은 본 발명의 일 실험예에 따른 나노웹 박막 시편의 인장시 비저항 변화를 나타내는 그래프이다.

도 11는 본 발명의 일 실험예에 따른 나노웹 박막의 광 투과도 평가 결과를 나타내는 그래프이다.

도 12 및 13는 본 발명의 실험예에 따른 나노웹 박막의 수중 안정성 평가 결과를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0026] 후술하는 본 발명에 대한 상세한 설명은, 본 발명이 실시될 수 있는 특정 실시예를 예시로서 도시하는 첨부 도면을 참조한다. 이들 실시예는 당업자가 본 발명을 실시할 수 있기에 충분하도록 상세히 설명된다. 본 발명의 다양한 실시예는 서로 다르지만 상호 배타적일 필요는 없음이 이해되어야 한다. 예를 들어, 여기에 기재되어 있는 특정 형상, 구조 및 특성은 일 실시예에 관련하여 본 발명의 정신 및 범위를 벗어나지 않으면서 다른 실시예로 구현될 수 있다. 또한, 각각의 개시된 실시예 내의 개별 구성요소의 위치 또는 배치는 본 발명의 정신 및 범위를 벗어나지 않으면서 변경될 수 있음이 이해되어야 한다. 따라서, 후술하는 상세한 설명은 한정적인 의미로서 취하려는 것이 아니며, 본 발명의 범위는, 적절하게 설명된다면, 그 청구항들이 주장하는 것과 균등한 모든 범위와 더불어 첨부된 청구항에 의해서만 한정된다. 도면에서 유사한 참조부호는 여러 측면에 걸쳐서 동일하거나 유사한 기능을 지칭하며, 길이 및 면적, 두께 등과 그 형태는 편의를 위하여 과장되어 표현될 수도 있다.
- [0027] 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 설명된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함으로 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0028] 이하에서는, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 용이하게 실시할 수 있도록 하기 위하여, 본 발명의 바람직한 실시예들에 관하여 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.
- [0029] 본 발명은 신축성과 외부 변형에 대한 기계적, 전기적 안정성이 우수한 유기 전도성 채널을 포함하는 유기 전기화학 트랜지스터에 관한 것이다. 유기 전도성 채널은 전도성 고분자가 분산된 매트릭스 고분자 섬유가 그물형 구조를 형성하는 나노웹(NanoWeb) 박막을 포함한다.
- [0030] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 유기 전기화학 트랜지스터(10)을 나타내는 개략도이다.
- [0031] 도 1을 참조하면, 유기 전기화학 트랜지스터(10)는 기판(11), 기판(11) 상의 적어도 일부에 형성되는 유기 전도성 채널(12), 유기 전도성 채널(12)의 적어도 일 단에 형성되는 소스전극(13) 및 소스전극(13)과 배향하여 타단에 형성되는 드레인전극(14), 유기 전도성 채널 상(200)에 형성되는 전해질층(16) 및 전해질층(16) 상에 형성되는 게이트 전극(15)을 포함하고, 유기 전도성 채널(12)은 전도성 고분자(230)가 분산된 매트릭스 고분자 섬유가 그물형 구조를 형성하는 나노웹(nanoweb) 박막을 포함할 수 있다.
- [0032] 기판(11)은 통상적으로 트랜지스터 소자에서 사용되는 소재로 제조될 수 있다. 일 예로, 기판(11)은 실리콘 웨이퍼(Si wafer), 유리(GLASS)일 수 있다. 다른 예로서 PET와 같은 고분자 재료일 수 있다. 또는 유연성이 우수한 유연기판일 수 있다. 유기 전기화학 트랜지스터(10)가 이용되는 전기소자에 따라 적절한 기판(11)을 선택하여 사용할 수 있다.
- [0033] 기판(11) 상의 적어도 일부에 유기 전도성 채널(12)이 형성될 수 있다. 유기 전도성 채널(12)은 유기 전기화학 트랜지스터(10)의 전해질층(16)에 포함된 이온이 주입된다. 소자에 형성되는 전극들(13, 14, 15)의 전압값에 따라 전해질층(16)에서 유기 전도성 채널(12)로 주입되는 이온의 흐름이 달라질 수 있는데, 유기 전도성 채널(12)의 전기전도도가 소자의 성능을 향상시키는데 중요한 요소가 된다.
- [0034] 유기 전도성 채널(12)은 전해질층(16)과 직접 접촉하여 형성된다. 대부분의 전해질층(16)은 이온들이 용해되어 있을 수 있는 수용액의 형태를 가지는데, 이로 인하여 유기 전도성 채널(12)은 수용액과의 접촉에 의해 형태가

변형되거나 전기전도도 값이 달라지지 않는 특성을 가지는 것이 바람직하다.

- [0035] 종래 유기 전기화학 트랜지스터(10)에 사용된 유기 전도성 채널(12) 재료인 PEDOT:PSS는 고분자 재료 중 전기전도도가 크나, 친수성 용매인 물에 용해되어 유기 전도성 채널로 사용하기에는 문제가 있었다. 또한, 비교적 간단한 고분자인 PEDOT:PSS는 약 2%의 변형에도 파손되기 때문에, 인체 친화적 전자소자로의 개발이 필요한 유기 전기화학 트랜지스터의 채널로 이용하기에는 한계가 있다. 이에, 본 발명의 유기 전기화학 트랜지스터(10)는 그물형 구조를 형성하는 나노웹(Nanoweb) 박막을 포함하는 유기 전도성 채널(12)을 이용하는 것을 특징으로 한다. 유기 전도성 채널(12)은 전도성 고분자가 분산된 매트릭스 고분자 섬유가 그물형 구조를 형성하는 나노웹 박막을 포함할 수 있다.
- [0036] 상기의 특징을 가지는 유기 전도성 채널(12)과 연결되는 소스전극(13) 및 드레인전극(14)이 형성된다. 예를 들어, 도 1과 같이 유기 전도성 채널(12)의 적어도 일 단에 소스전극(13)이 형성되고, 소스전극(13)과 배향하여 타 단에 드레인 전극(14)이 형성될 수 있다. 통상적으로 트랜지스터 소자에 이용되는 소재로 소스전극 및 드레인전극(13, 14)을 형성할 수 있으며, 일 예로 금(Au) 또는 은(Ag) 전극으로 형성될 수 있다.
- [0037] 전해질층(16)은 유기 전도성 채널(12)과 직접 접촉하여 형성된다. 게이트전극(330)이 접속되어 인가된 전압에 의해 전해질층(16)에 포함된 이온이 유기 전도성 채널(12)로 주입된다. 전해질층(16)은 이온을 포함할 수 있는 수용액 또는 겔(Gel)형일 수 있다.
- [0038] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 유기 전도성 채널(12)을 구성하는 나노웹 박막을 나타내는 개략도이다.
- [0039] 도 2를 참조하면, 나노웹 박막은 매트릭스 고분자 섬유(200)가 그물형 구조를 형성한 나노웹(nanoweb) 구조체(100)를 포함한다. 나노웹 구조체(100)를 구성하는 매트릭스 고분자 섬유(200) 내에는 전도성 고분자(300)가 분산되어 전도성 경로를 형성한다.
- [0040] 매트릭스 고분자 섬유(200)는 굵기(또는 직경)가 수십 내지 수백 나노미터의 두께를 가지는 나노섬유로서, 비표면적이 크고 작은 세공이 존재하여 흡착성이 우수한 특성을 가진다. 또한 매트릭스 고분자 섬유(200)는 그 내부에 전도성 고분자(300)를 분산 수용하는 매트릭스(matrix)의 기능을 수행한다. 따라서 매트릭스 고분자 섬유(200)는 전도성 고분자(300)를 서로 접합시키는 접합체이면서 전도성 고분자(300)를 보호하기 위한 보호층의 역할을 수행할 수 있다.
- [0041] 이러한 매트릭스 고분자 섬유(200)로는 폴리아크릴아마이드(Polyacrylamide, PAA)가 사용될 수 있다. Polyacrylamide(PAA)는 acrylamide를 단위체로 중합한 고분자이다. PAA는 하나의 긴 사슬 형태로 중합되기도 하지만, 일반적으로 교차결합을 통해 겔 형태로 제작된다.
- [0042] 나노웹 구조체(100)는 매트릭스 고분자 섬유(200)가 그물형 구조를 가지고 서로 엉켜 형성된 구조체를 의미한다. 매트릭스 고분자 섬유(200) 가닥 사이사이에 빈 공간을 형성함과 동시에 서로 엉켜있기 때문에 신축성이 우수하고 기계적 전기적 안정성이 뛰어나다.
- [0043] 전도성 고분자는 polypyrrole, polythiophene, polyphenylene vinylene, polyphenylene 및 PEDOT:PSS 중에서 선택되는 어느 하나 일 수 있다.
- [0044] 본 발명의 일 실시예를 따르는 나노웹 박막은 나노웹 구조체가 변형에 의한 결함이 형성될 때 매트릭스 고분자 섬유가 재배열될 수 있다. 외부의 기계적 변형에 의해 나노웹 구조체에 일부 손상이 가해질 수 있다. 보통의 구조체에서 외부 변형에 대한 손상은 구조체 자체의 파손의 원인이 된다. 그러나, 본 발명에 따른 나노웹 박막은 나노웹 구조체에 일부 결함이 형성되면 매트릭스 고분자 섬유가 재배열되어 손상에 대한 저항성을 가진다. 이는 나노웹 구조체의 초기 변형시에 재료 자체의 변형이 비교적 작고 구조적 정렬에 의해 변형이 이루어지기 때문이다. 이는, 재료 자체의 변형이 작기 때문에 전기전도도, 전기적 저항과 같은 특성 변화가 작다는 것을 의미한다. 반복 변형시에도 저항 변화율이 작고 전기적 이력현상 및 노이즈가 없어 전기적 안정성이 우수하다.
- [0045] 또한, 본 발명의 일 실시예를 따르는 나노웹 박막은 초기 길이 대비 400% 내지 600%까지 신장할 수 있다. 본 명세서에서 신장은 일 방향으로 늘어나거나 줄어드는 것뿐만 아니라, 굽힘(bending), 휨 등과 같이 여러 방향으로 이루어지는 것까지 포함하는 것으로 이해될 수 있다.
- [0046] 그물형 구조를 가지는 나노웹 구조체는 전술한 바와 같이 일부의 손상에 대해 매트릭스 고분자 섬유의 재배열을 통해 구조적 정렬이 가능하다. 기계적 변형에 있어서 구조적 정렬에 의한 변형이 많은 비중을 차지하기 때문에 신축성이 우수하고 기계적 전기적 안정성을 가진다. 일 예로 나노웹 박막은 초기 길이 대비 500%까지 신장할 수

있다.

- [0047] 본 발명의 나노웹 구조체를 포함하는 나노웹 박막은 전기방사법을 통해 제조할 수 있다. 전기방사는 점탄성을 가진 용액을 대전시켜 전기력을 통해 수십 내지 수백 나노미터의 굵기(혹은 직경)를 가진 섬유를 사출하는 방식이다. 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 전기방사장치를 나타내는 모식도이다. 도 3에 도시된 바와 같이, 점탄성을 가진 용액을 이용하여 나노미터 수준의 굵기를 가지는 섬유를 사출하여 나노섬유를 제작할 수 있다. 본 발명은 전기방사법을 이용하여 신축성이 우수하고 기계적 전기적 안정성이 뛰어난 유기 전도성 채널을 제조하고, 이를 이용하여 유기 전기화학 트랜지스터를 제조할 수 있다.
- [0048] 도 4를 참조하면, 유기 전기화학 트랜지스터(10)의 제조방법은 (a) 매트릭스 고분자 섬유와 전도성 고분자를 포함하는 혼합용액을 준비하는 단계(S100), (b) 혼합용액을 전기 방사하여 전도성 고분자가 분산된 매트릭스 고분자 섬유가 그물형 구조를 형성하는 나노웹 구조체를 제조하는 단계(S200), (c) 상기 나노웹 구조체를 열처리하여 매트릭스 고분자 섬유를 응축시키는 단계(S300), (d) 열처리된 나노웹 구조체를 기판 상에 로딩(loading)한 후 상기 나노웹 구조체로 유기용매를 투입하여 상기 기판과 부착시킨 후 이를 건조시켜 유기 전도성 채널을 형성하는 단계(S400) 및 (e) 유기 전도성 채널의과 연결되는 소스전극 및 드레인 전극을 형성하고, 유기 전도성 채널 상에 전해질층 및 게이트 전극을 형성하는 단계(S500)를 포함할 수 있다.
- [0049] 먼저, 전기방사법을 이용하여 나노웹 구조체를 제조하기 위해, 매트릭스 고분자 섬유와 전도성 고분자를 포함하는 혼합용액을 준비한다(S100). 전기방사를 위해 나노섬유의 구조를 유지하는 매트릭스 고분자 섬유를 준비한다. 매트릭스 고분자 섬유는 절연특성을 가지기 때문에, 전도성 고분자를 포함하여 혼합용액을 준비할 때 나노웹 구조체의 구조를 유지할 수 있도록 매트릭스 고분자 섬유의 양을 최소화한다. 또한, 전기방사가 가능한 점성을 가지면서 구조가 무너지지 않고 유지될 정도의 최적화된 분자량을 갖도록 할 수 있다.
- [0050] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 매트릭스 고분자 섬유는 폴리아크릴아마이드(Polyacrylamide, PAA)를 포함할 수 있고, 전도성 고분자는 PEDOT:PSS를 포함할 수 있다.
- [0051] 폴리아크릴아마이드는 절연특성을 가진 고분자로 신축성이 우수하다. 나노웹 구조체의 그물형 구조를 형성하는 매트릭스 고분자 섬유로 수십 내지 수백 나노미터 크기의 굵기를 가지는 폴리아크릴아마이드 섬유를 준비할 수 있다.
- [0052] 전도성 고분자가 PEDOT:PSS일 경우에는, 도 2에 도시된 것과 같이, PEDOT의 양이 상대적으로 많은 결정형의 코어(crystallized core)부(310)와 이를 감싸도록 형성된 PSS 셸(Shell)부(320)로 이루어진다. PEDOT:PSS는 전하이동을 통해 전류가 흐르는 전도성 고분자이다. PEDOT 사슬 내 thiophene 고리간의 π 결합에 존재하는 홀전자가 전하전달체 역할을 수행하며, 음으로 대전된 PSS는 PEDOT이 안정적으로 양전하를 유지할 수 있도록 도펀트 역할을 수행한다.
- [0053] 다음, 혼합용액을 전기방사하여 전도성 고분자(300)가 분산된 매트릭스 고분자 섬유가 그물형 구조를 형성하는 나노웹 구조체를 제조(S200)한다. 도 3에 도시된 바와 같이, 전기방사법은 두께가 나노미터 단위를 가지는 고분자 섬유를 사출하여 방사하기 때문에, 그물형 구조를 형성할 수 있다.
- [0054] 이때, 형성된 나노웹 구조체는 그물형 구조를 가지는 얇은 단층이 적어도 한층 적층된 구조를 가질 수 있다. 전기방사법에 의해 사출된 매트릭스 고분자 섬유는 방사에 의해 그물형 구조를 가지고, 방사되는 범위의 영역에서 단층의 구조를 형성한다. 그리고 상기 형성된 단층의 구조 상에 방사가 연속적으로 이루어져 적층된 구조를 형성할 수도 있다. 이렇게 형성되는 나노웹 구조체는 개개의 단층도 그물형 구조를 가지지만 상기 단층이 복수개로 적층된 구조체도 그물형 구조를 가질 수 있다.
- [0055] 한편, 혼합용액에 포함된 전도성 고분자는 전기방사에 의해 매트릭스 고분자 섬유 내에 분산될 수 있다. 도 2에 도시된 바와 같이, 전도성 고분자(300)는 나노웹 구조체(100)를 형성하는 매트릭스 고분자 섬유(200) 내에 분산된다. 분산된 전도성 고분자(300)는 일정 간격을 두고 서로 연결되어 전도성 경로를 형성할 수 있다.
- [0056] 다음, 나노웹 구조체를 열처리하여 매트릭스 고분자 섬유를 응축시킨다(S300). 기존의 전도성 고분자를 포함한 전도체의 경우, 친수성 특성을 가지는 전도성 고분자가 물과 같은 수용성 용매에 의해 용해되어 특성이 저하되는 문제가 있었다. 그리고, 신축성을 가지는 매트릭스 고분자가 물을 흡수하여 팽윤되는 문제가 있었다. 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 나노웹 구조체를 형성하고 열처리 공정을 수행하여 물에 대한 팽윤 저항성을 향상시킬 수 있다. 이는 응축에 의해 전도성 고분자가 고정되기 때문에 전도성 고분자가 용해되는 것을 방해하기 때문이다. 상기 제조된 나노웹 구조체를 열처리할 경우, 그물형 구조를 형성한 매트릭스 고분자 섬유가 응축된다. 응축된 매트릭스 고분자 섬유는 나노웹 구조체의 그물형 구조를 단단하게 고정시켜 물을 흡수하

더라도 팽윤되는 정도를 감소시킨다. 이는 그물형 구조의 기계적 강도를 향상시켜 신축성이 증가하고 외부 변형에 대한 안정성을 가질 수 있다.

- [0057] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 나노웹 구조체를 열처리하는 단계에서, 매트릭스 고분자 섬유는 열처리에 의해 응축되어 전도성 고분자를 고정시킬 수 있다. 매트릭스 고분자 섬유내에 분산된 전도성 고분자가 고정되면, 물과 같은 친수성 용매에 용해되는 현상을 억제할 수 있다. 전술한 바와 같이 기계적 안정성도 향상되기 때문에, 열처리 공정을 수행함에 따라 물속에서 또는 기계적 변형시 전기적 특성의 변화를 최소화시키는 효과가 있다.
- [0058] 다음, (d) 열처리된 나노웹 박막을 기관 상에 로딩한 후 상기 나노웹 구조체를 유기용매를 첨가하여 기관 상에 상기 나노웹 박막을 부착시킨후, 나노웹 구조체가 기관에 부착된 상태에서 건조하여 투명한 전도성 나노웹 박막으로 이루어진 유기 전도성 채널을 형성한다(S400).
- [0059] 나노웹 구조체는 기관에 부착되어 펼쳐진 상태로 건조되므로 투명하고 전도성을 가진 투명한 필름 형태의 나노웹 박막을 구현할 수 있다. 유기용매를 투입한 후 이를 건조시킴으로써 매트릭스 고분자 섬유간 간격을 조밀하게 할 수 있다. 이때, 유기용매는 매트릭스 고분자 섬유 내에서 수소결합을 형성하기 때문에, 건조에 의해 완전히 제거되지 않는다. 이러한 이유로 나노웹 박막은 일부 팽윤된 상태를 유지하여 기계적 물성이 향상될 수 있다.
- [0060] 유기용매는 나노웹 구조체가 기관 상에 고정될 정도로 소량만 투입한다. 과량의 유기용매를 로딩할 경우, 나노웹 박막이 오히려 과하게 건조되어 기관에서 박리될 수도 있다. 상기 나노웹 구조체에 투입되는 유기용매는 dimethyl sulfoxide(DMSO), dimethylformamide(DMF))나 또는 극성 유기용매인 ethylene glycol(EG), glycerol, sorbitol 등을 포함할 수 있다.
- [0061] S400 단계에서 유기용매의 투입 시 나노웹 구조를 기관에 부착시키는 것 외에 나노웹 박막의 전기전도도를 향상시키는 효과도 얻을 수 있다. 나노웹 구조체는 전도성 고분자가 매트릭스 고분자 섬유 내에서 분산되어 연결됨으로써 전도성 경로를 형성할 수 있다. 도 5를 참조하면, 유기용매를 처리하기 전, 전도성 고분자의 코어부(PEDOT-rich core)가 무작위적으로 배열되어 있는 것을 알 수 있다. 이는 PEDOT이 얽혀있는 PSS 사슬과 전기적 결합을 이루고 있기 때문이다. 이 때 이차 도핑용 유기용매를 첨가하게 되면, 이러한 전기적 결합력이 유기용매에 의해 약화되고 PEDOT은 비교적 자유롭게 움직일 수 있게 되어 π - π 결합에 의한 결정화가 일어나게 된다.
- [0062] 도 6를 참조하면, 유기용매인 도펀트(DMSO 혹은 EG)의 도핑시, 코어부의 결정형 구조들이 일방향으로 배열된 것을 알 수 있다. 따라서, 나노웹 구조체를 형성한 후 유기용매로 도핑하여 전도성 고분자의 결정화도를 증가시켜 전도성 경로를 형성할 수 있다.
- [0063] 예를 들어, 매트릭스 고분자 섬유가 PAA이고, 전도성 고분자가 PEDOT:PSS인 나노웹 구조체에 유기용매로 DMSO를 투입하여 도핑할 경우, 매트릭스 고분자 섬유 내로 흡수되어 수소결합을 형성할 수 있다. 그리고 전도성 고분자에 도달하여 전도성 고분자 코어부의 결정화도를 향상시킬 수 있다. 한편, 전도성 고분자는 전술한 바와 같이 결정형의 코어부와 이를 감싸도록 형성되는 쉘부를 포함하고, 코어부가 일 배향을 가지도록 정렬되어 전도성이 향상될 수 있다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따르면, S400 단계에서 유기용매에 의해 전도성 고분자의 결정화도가 증가하여 매트릭스 고분자 섬유 내에서 전도성 경로를 형성할 수 있다.
- [0064] 마지막으로, (e) 유기 전도성 채널의 양 끝에 소스전극 및 드레인전극을 형성하고, 유기 전도성 채널 상에 전해질층 및 게이트전극을 형성(S500)한다.
- [0065] 상기의 과정을 통해, 전도성 고분자가 분산된 매트릭스 고분자 섬유가 그물형 구조를 형성하는 나노웹 박막을 포함한 유기 전도성 채널을 제조할 수 있다. 또한 이를 이용하여 전극들과 전해질층을 형성하여 유기 전기화학 트랜지스터를 제조할 수 있다. 유기 전기화학 트랜지스터는 전술한 특징을 가지는 유기 전도성 채널을 포함하여, 외부 변형에 대한 기계적 전기적 안정성이 뛰어나다.
- [0066] 본 발명의 유기 전기화학 트랜지스터는 전술한 바와 같이, 그물형 구조의 나노웹 박막을 포함하여 신축성과 기계적 전기적 안정성이 우수한 유기 전도성 채널을 포함한다. 그리고, 수용액과 같이 물을 포함하는 전해질층과 직접 접촉하더라도, 수분에 의한 변형이 적고, 전기적 특성이 유지되기 때문에 안정성이 뛰어난 트랜지스터 소자를 형성할 수 있다.
- [0067] 이하에서는, 본 발명의 이해를 돕기 위한 실시예 및 실험예들을 설명한다. 다만, 하기의 실시예 및 실험예들은 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐, 본 발명의 실시예 및 실험예들이 아래의 실시예 및 실험예들만으로 한정

되는 것은 아니다.

[0069] 실시예 1: PEDOT:PSS/Polycrylamide 나노웹(NanoWeb) 유기 전기화학 트랜지스터(PEDOT:PSS/PAA-OECT)의 제조

[0070] 먼저, 전도성 고분자를 포함하는 나노웹 구조체를 형성하기 위해, 전도성 고분자와 매트릭스 고분자 혼합 용액을 제조한다. 전도성 고분자로 PEDOT:PSS를 전도성 고분자로, 매트릭스 고분자는 폴리아크릴아마이드(Polyacrylamide, PAA)를 사용한다. 먼저, 1M의 아크릴아마이드(Acrylamide) 용액 9mL에 0.2M의 암모늄퍼설페이트(Ammoinum persulfate, APS) 40 μL를 개시제로, N,N,N',N'-테트라메틸에틸렌디아민(N,N,N',N'-tetramethylethylenediamine, TMEDA) 3.4 μL를 촉진제로 첨가하고, 이를 70 °C에서 2시간동안 중합시켜 매트릭스 고분자로 폴리아크릴아마이드 용액을 제조하였다. 중합반응동안 응집현상을 억제하기 위해 교반시켜 중합한다.

[0071] 그리고, 동결건조된 PEDOT:PSS 고분자를 준비하고 이를 증류수에 용해시킨다. 동결건조된 PEDOT:PSS는 폴리아크릴아마이드 용액에서 균일하게 섞이지 못하기 때문에, 증류수에 용해시킨 후 상기 폴리아크릴아마이드 용액과 혼합한다. 동결 건조된 PEDOT:PSS 고분자 0.133g을 증류수에 용해시킨 용액 10.8mL를 상기 폴리아크릴아마이드 용액에 첨가한다. 이때, 폴리아크릴아마이드 나노 섬유 내 PEDOT:PSS는 약 23 중량부 포함하도록 함량을 조절한다. 상기의 방법으로 전기방사에 사용된 PEDOT:PSS/PAA 용액을 제조하였다.

[0072] 2) 전기방사를 통한 나노웹(NanoWeb) 구조체의 제조

[0073] 상기 제조된 PEDOT:PSS/PAA 용액을 전기방사하여 나노웹 구조체를 제조하였다. 전기방사 조건으로는, 전압은 20kV, 분사속도는0.3mL/h, 바늘과 콜렉터(Collector) 사이의 거리는 18cm, 온도는 25°C, 습도는30%이다. 용액의 점성이 크기 때문에 분사속도를 느리게 조절하고, 불순물이 혼합되지 않도록 일정한 습도 하에서 전기방사를 수행하였다.

[0074] 상기의 조건하에서 전기방사방법을 통해 제조된 PEDOT:PSS/PAA 나노웹 구조체에서 매트릭스 고분자인 PAA의 결합력을 향상시키기 위해 열처리 공정을 수행하였다. 열처리공정은 120°C에서 24시간 동안 수행하였다. 이를 통해 PAA의 결정화도가 상승하고, 분자간 결합력을 강하게 하여 극성용매에도 용해되지 않는 구조를 유지하도록 하였다.

[0075] 3) 유기용매 투입

[0076] 상기 제조된 나노웹 구조체를 기관과 부착시키고, 전도성 고분자인 PEDOT:PSS의 전도성 경로를 형성하기 위해 유기용매를 투입하였다. 이때 상기 유기용매는 DMSO를 사용하였다. 먼저, 유기 전기화학 트랜지스터를 형성하는 40mm x 40mm PET 기관위에 상기 나노웹 구조체를 올린 다음, 소량의 DMSO 유기용매를 상기 나노웹 구조체 위에 떨어뜨린다. 소량의 DMSO를 떨어뜨려 상기 나노웹 구조체와 PET 기관을 부착시키고, 60°C에서 6 시간동안 건조시킨다. 이를 통해 PET 기관위에 투명하고 전도성을 가진 유기 전도성 채널을 형성하였다.

[0077] 4) 유기 전기화학 트랜지스터의 제조

[0078] 상기 나노웹 박막을 이용하여 PET 기관 위에 형성한 유기 전도성 채널을 이용하여 유기 전기화학 트랜지스터를 제조하였다. 상기 유기 전도성 채널을 유기 전기화학 트랜지스터의 유기 전도체 채널로 이용하고, 상기 유기 전도성 채널의 양 끝에 은(Ag) 페이스트를 이용하여 각각 소스전극과 드레인전극을 형성하였다. 그리고, 0.1M의 100 μL의 NaCl을 이용하여 상기 유기 전도성 채널에 전해질층을 형성하였다. 상기 전해질층이 퍼지지 않도록 전해질층이 형성되는 영역을 제외한 부분에 소수성 필름으로 폴리이미드 필름을 붙여 유기 전기화학 트랜지스터를 제조하였다. 상기의 1) 내지 4)의 공정을 수행하여 PEDOT:PSS/PAA 나노웹 박막을 이용한 유기 전기화학 트랜지스터(PEDOT:PSS/PAA-OECT)를 제조하고, 이를 이하 "실시예 1"이라 지칭한다. 도 7의 (a) 및 (b)에는 실시예 1를 따르는 유기 전기화학 트랜지스터의 실제 사진 및 소자 구성도가 나타나 있다.

[0079] 비교예 1: PEDOT:PSS 박막의 제조

[0080] 유기 전도성 채널을 PEDOT:PSS로 형성하는 것을 제외하고는 실시예 1과 동일하게 제조하였다. 이를 "비교예 1"이라 지칭한다.

[0081] 실험예 1 : 미세구조의 관찰 결과

[0082] 실시예 1에 사용된 나노웹 박막의 그물형 구조를 보존하면서 미세구조를 관찰하기 위해 동결건조 방식을 이용하였다. 실시예 1을 - 20 °C에서 냉동시킨 후, 동결건조장치를 이용하여 고진공 상태에서 승화 건조시키고, 미세구조를 관찰하였다. 이때, 실시예 1에서 나노웹 박막에 DMSO 처리 전 후의 시편을 준비하여 전기방사시 증착면

의 미세구조와 증착면에 수직인 단면의 미세구조를 주사전자현미경으로 관찰하고 그 결과를 도 8의 (a) 및 (b)에 도시하였다.

[0083] 도 8의 (a) 및 (b)를 참조하면, 실시예 1의 나노웹 박막은 매트릭스 고분자 섬유가 그물형 구조를 이루고 있으며, DMSO 유기용매 처리 전에는 나노섬유간 간격이 멀고 섬유의 두께가 얇은 것을 알 수 있다. 반면에, DMSO 유기용매 처리 후 건조시킨 나노웹 박막의 경우, 섬유간 간격이 비교적 뽕뽕하고 섬유의 두께가 두꺼워진 것을 알 수 있다.

[0084] 이는 극성용매인 DMSO가 건조됨에 따라 PAA 나노섬유가 응축되어 섬유간 간격이 조밀해진 것이다. 또한, 나노섬유 자체의 두께도 두꺼워진 것을 알 수 있는데, 이는 DMSO를 PAA가 흡수하여 수소결합을 이루고, 건조되어 팽윤된 상태를 유지하기 때문이다. 도 8의 (c)에 도시된 바와 같이, DMSO와 PAA는 모두 극성 분자이기 때문에 DMSO가 비교적 쉽게 PAA 나노섬유 내부로 흡수되어 수소결합을 형성할 수 있다. 또한, 나노섬유 내부에 분산된 전도성 고분자인 PEDOT:PSS와 접촉하여 결정화도를 증가시킬 수 있다.

[0085] 실험예 2: 유기 전기화학 트랜지스터 소자 특성 평가

[0086] 상기 실시예 1의 유기 전기화학 트랜지스터(PEDOT:PSS/PAA-OECT) 소자의 성능 분석을 수행하였다. 실시예 1의 유기 전기화학 트랜지스터에서 전해질인 NaCl의 농도를 1 μ M 내지 10 mM의 범위로 달리하여 소자의 성능을 평가한다. 전해질층 내에 직경이 1mm인 백금을 게이트 전극으로 사용하였으며, 게이트 전극과 유기 전도체 채널인 나노웹 박막 사이의 간격은 300 μ m이고 이온의 출입을 조절하였다. 게이트 전압은 0n 상태에서 0.5 V, OFF 상태에서 -0.5 V를 인가하고, 드레인 전압은 -0.1 V를 인가하였으며, 게이트와 드레인 전압의 기준이 되는 소스전극은 접지시켰다. 상기 전해질층의 NaCl 농도는 1 μ M, 10 μ M, 100 μ M, 1mM 및 10mM로 달리하였으며, 유기 전기화학 트랜지스터 소자의 특성평가 결과를 도 13에 도시하였다.

[0087] 도 9은 본 발명의 일 실험예에 따른 유기 전기화학 트랜지스터 소자의 성능평가 결과를 나타내는 그래프이다.

[0088] 도 9을 참조하면, 초기 90 초부터 1800 초까지는 0.5 V의 게이트 전압을 인가하였고, 나머지 시간동안은 -0.5 V의 전압을 인가하였다. 실험결과, Na⁺의 농도가 커질수록 빠르고 큰 전류의 변화를 확인할 수 있었다. 게이트 전압 인가시 300초 후 전류변화를 살펴보면, 전해질의 농도가 1 μ M일 때, 전류값은 약 40 % 감소하였으며, 10 μ M은 50 %, 100 μ M은 55 %, 1 mM은 67 %, 10 mM은 93 %의 감소를 보였다. 또한, 1000초 후 전류 변화는 1 μ M의 경우 55% 로 크게 증가하였지만, 10 mM의 경우 거의 변하지 않았다. 이는 낮은 전해질 농도에서의 전류 변화 폭($\Delta I/I_0$)인 트랜스 컨덕턴스(Transconductance)가 큰 값을 가지는 것을 알 수 있다. 이는, 나노웹 박막의 표면적이 크기 때문에, 트랜스 컨덕턴스가 크게 나타나는 것을 의미한다.

[0089] 실험예 3: 나노웹 박막의 변형에 대한 전기적 안정성 평가

[0090] 기계적 변형에 따른 전기적 안정성 평가를 위해, 인장시 또는 반복변형시 비저항값 변화를 측정하였다. 먼저, 인장에 따른 비저항값 변화측정을 위해, 실시예 2의 PEDOT:PSS/PAA-OECT의 나노웹 박막을 이용하여 시편을 제조한다. 상기 실시예 2는 5 mm x 60 mm x 125 μ m의 PET 기판 위에 동일한 규격의 3 μ m 두께를 가지는 나노웹 박막을 형성하여 제조하였다. 나노웹 박막의 제조방법은 실시예 1과 동일하였다. 그리고, 대조군으로 상기 비교예 2의 두께가 100 nm인 PEDOT:PSS 박막을 동일한 PET 기판 위에 형성하여 제조하였다. 각각의 시편 양 끝에는 (Ag) 페이스트로 옴 콘택트(Ohmic contact)를 형성하였으며, 2%의 인장이 반복적으로 인가되도록 9.5 mm의 간격으로 굽힘 변형을 수행하였다. 반복굽힘 변형은 1 회동 0.2 초의 주기를 가지고 50 만번 수행하였고, 이때의 비저항값 변화를 측정하여 그 결과를 도 9에 도시하였다.

[0091] 도 10는 본 실험예에 따른 나노웹 박막 시편의 인장시 비저항 변화를 나타내는 그래프이다.

[0092] 도 9를 참조하면, PEDOT:PSS 박막을 포함하는 비교예 1(도 10의 Pristine)의 경우, 굽힘 변형에 의한 결함이 발생하여 전기적 노이즈가 지속적으로 발생한다. 그리고, 약 13 만번의 굽힘 변형 이후에 완전히 전기적으로 파손된 것을 알 수 있다.

[0093] 반면에, PEDOT:PSS/PAA 나노웹 박막의 실시예 1의 경우, 동일한 2개의 시편(NF film 1, NF film 2)에 대해 50 만번의 굽힘변형 이후에도 비저항값이 약 5.6 %밖에 증가하지 않았으며, 노이즈도 발생하지 않았다. 즉, 실시예 1의 나노웹 박막은 종래의 PEDOT:PSS 박막에 비해 유연성 및 신축성이 향상되었으며, 기계적 안정성 및 변형에 대한 전기적 안정성이 우수한 것을 알 수 있다.

[0094] 실험예 4: 나노웹 박막의 광학적 특성 평가

[0095] 나노웹 박막을 이용하여 광투과도 평가를 수행하였다. 실시예 1에서와 동일한 방법으로 제조한 나노웹 박막을 20 mm x 20 mm의 유리기판 위에 10 mm x 10 mm의 크기로 형성하여 광 투과도를 측정하였다. 400 nm 내지 800 nm의 파장영역 하에서 광 투과도를 측정하였으며, 그 중 550 nm 파장을 가진 빛의 투과도와 면저항을 측정하였다.

[0096] 도 11은 본 실험예에 따른 나노웹 박막의 광 투과도 평가 결과를 나타내는 그래프이다.

[0097] 먼저, 도 11의 (a)를 참조하면, 나노웹 박막은 550nm 파장을 가진 가시광선의 광 투과도가 82.34% 일때, 면저항은 286Ω/□ 이고, 동일한 가시광선의 투과도가 72.3% 일때, 면저항은 80Ω/□인 것으로 측정되었다.

[0098] 그리고, 기존의 유기 트랜지스터와 같은 소자에 사용되는 투명전극과의 광 투과도 및 면저항값을 비교하였으며, 이를 도 11의 (b)에 나타내었다. 종래의 투명전극인 구리 나노섬유(Cu NFs), 인듐-주석 산화물(ITO), PEDOT:PSS 박막(비교예 1) 등과 같은 전극의 550nm 파장에 대한 광 투과도와 면저항 값을 알 수 있다. 도 11의 (b)를 참조하면, 실시예 1의 나노웹 박막은 종래의 투명전극에 비해 동일한 광 투과도를 가지지만 약 구리 나노섬유에 비해 10배 큰 면저항 값을, ITO에 비해 2배 큰 면저항 값을 가진다. 이는 본 실험예의 나노웹 박막의 성능은 다소 떨어지나, 유연성 특성이 우수하기 때문에 생체적합성을 가질 수 있다. 그리고, PEDOT:PSS 박막과 비교하였을 때는 투명전극으로의 성능이 유사하며, 전술한 바와 같이 기계적 안정성에서 더 우수한 것을 알 수 있다.

[0099] 실험예 5: 나노웹 박막의 수중 안정성 평가

[0100] 상기 실시예 1의 나노웹 박막과 비교예 1의 물속에서 전기적 안정성 및 팽윤 저항성을 확인하기 위해 수중 안정성을 평가하였다. 실시예 1 및 비교예 1을 증류수에 담근 후 시편의 비저항을 측정하였다. 도 12 및 13은 본 발명의 실험예에 따른 나노웹 박막의 수중 안정성 평가 결과를 나타내는 그래프이다. 도 12의 (a) 및 (b)는 각각 비교예 1 및 실시예 1의 시편을 물속에 담겼을 때의 전류-전압 sweep 결과를 나타낸다. 도 12를 참조하면, 비교예 1의 시편의 경우, 물에 담근 후 저항이 급격하게 증가한 것을 알 수 있다. 반면에, 실시예 1의 경우, 30분 후에도 저항이 거의 변하지 않았으며, 전류 또한 노이즈 없이 안정적으로 흐르는 것을 알 수 있다. 이는, PEDOT:PSS로 이루어진 전도성 경로가 응축된 PAA에 의해 안정적으로 유지되기 때문이다.

[0101] 한편, 도 13은 실시예 1 및 비교예 1의 물속에서 일정한 전압하의 전류값을 나타내는 그래프이다. 도 13을 참조하면, 비교예 1의 경우, 물속에서 15초 지난 후 저항이 두배 증가한 반면, 실시예 1의 경우, 물속에서 천천히 저항이 증가하여 30시간 후 저항이 2배가 된 것을 알 수 있다. 이는, PAA가 열처리과정을 통해 응축되어 물속에서 용해되지 않고 구조를 유지할 수 있기 때문이다. 또한, 물에 의해 팽윤되는 속도도 느려져서 비저항값 변화가 작아졌다.

[0102] 이상의 실험예 1 내지 5에 서술한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 PEDOT:PSS/PAA 나노웹 박막을 유기 전도체 채널로 포함하는 유기 전기화학 트랜지스터는 기계적, 전기적 특성 및 안정성이 우수한 것을 알 수 있다. 이는 PEDOT:PSS가 분산되어 전도성 경로를 형성하고, PAA가 그물형의 구조를 가짐에 따라 신축성과 안정성이 향상되기 때문이다. 또한, 제조과정에서 수행된 열처리 공정과 DMSO 처리에 의해 상기 고분자들의 결정화도가 증가하여 나노웹 박막의 전도체의 특성과 수분에 대한 팽윤 저항성이 향상된 것을 알 수 있다.

[0103] 본 발명은 상술한 바와 같이 바람직한 실시예를 들어 도시하고 설명하였으나, 상기 실시예에 한정되지 아니하며 본 발명의 정신을 벗어나지 않는 범위 내에서 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양한 변형과 변경이 가능하다. 그러한 변형예 및 변경예는 본 발명과 첨부된 특허청구범위의 범위 내에 속하는 것으로 보아야 한다.

부호의 설명

[0104] 10: 유기 전기화학 트랜지스터

100: 기판

200: 유기 전도성 채널

210: 나노웹 박막

220: 매트릭스 고분자 섬유

230: 전도성 고분자

250: 코어부

260: 셸부

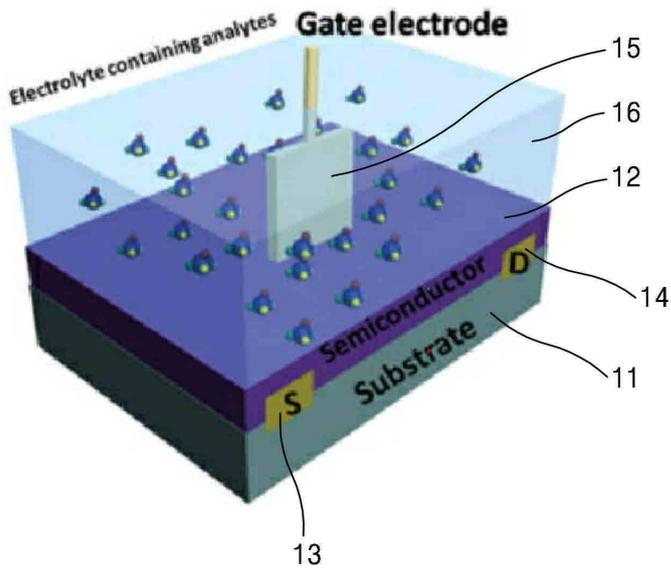
310, 320: 소스전극, 드레인전극 330: 게이트전극

400: 전해질층

도면

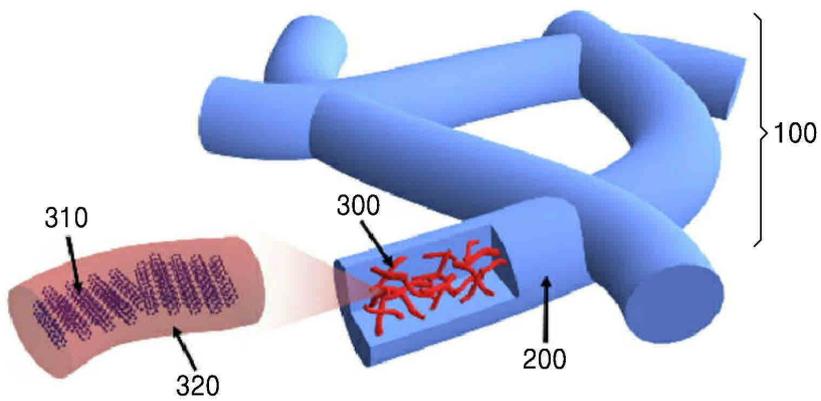
도면1

10

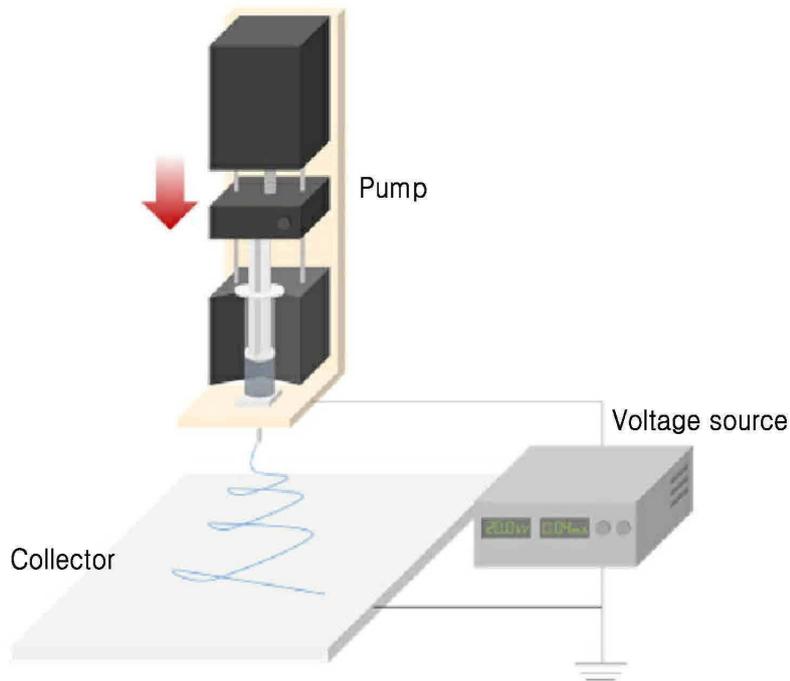


도면2

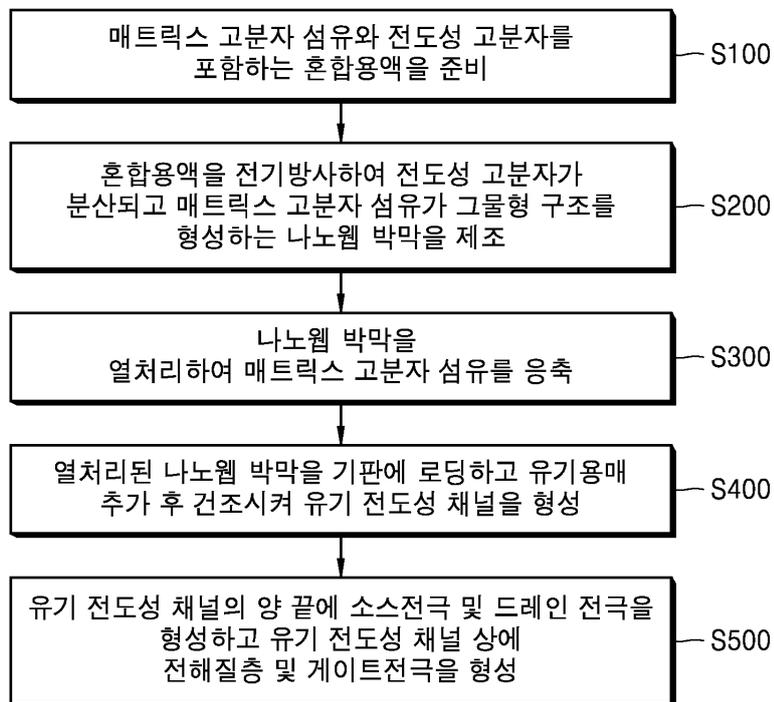
10



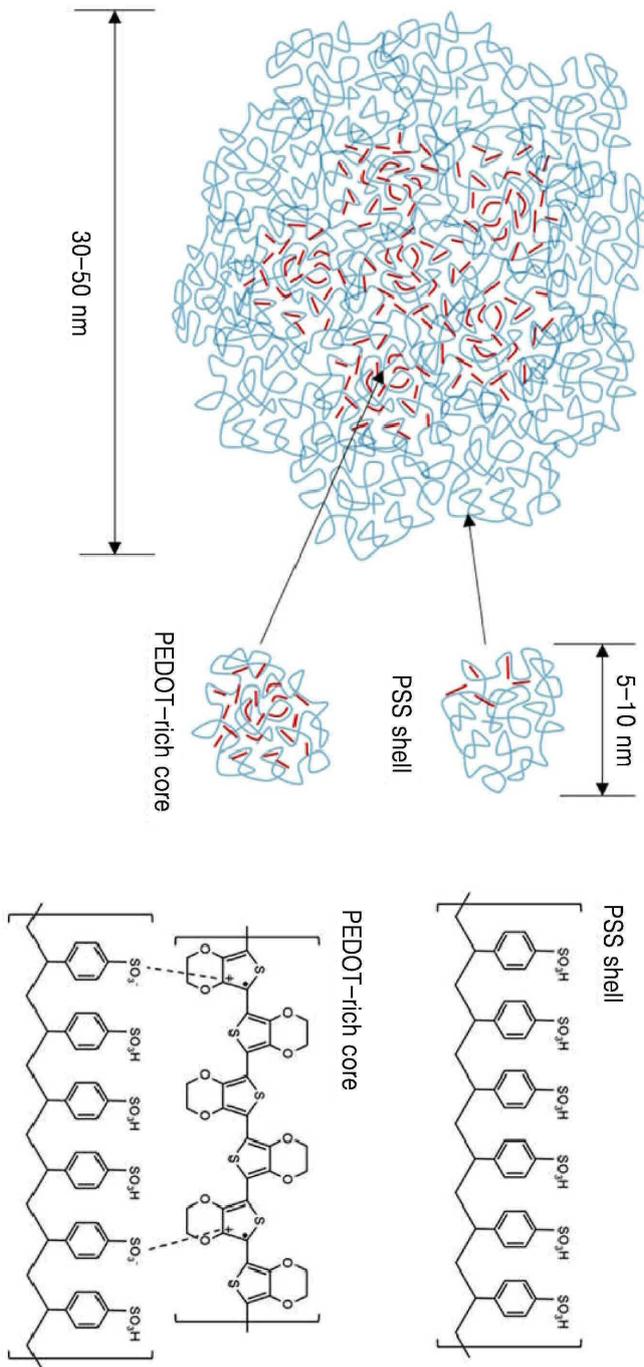
도면3



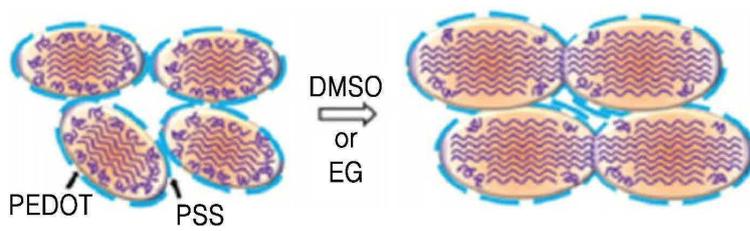
도면4



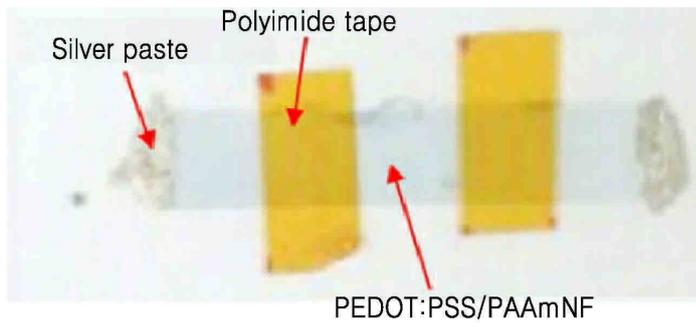
도면5



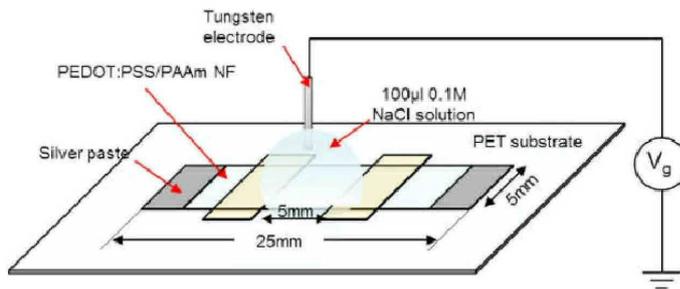
도면6



도면7

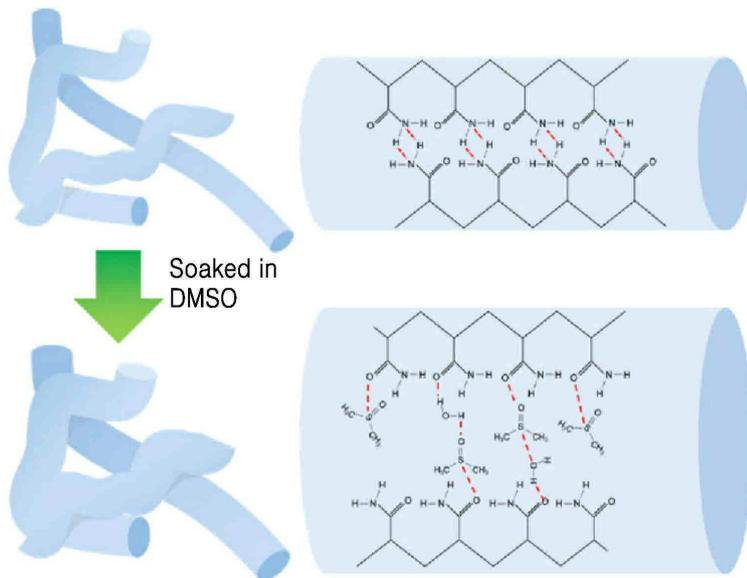
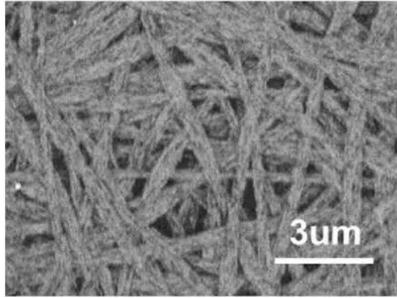
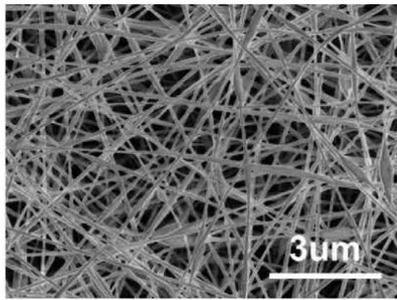


(a)

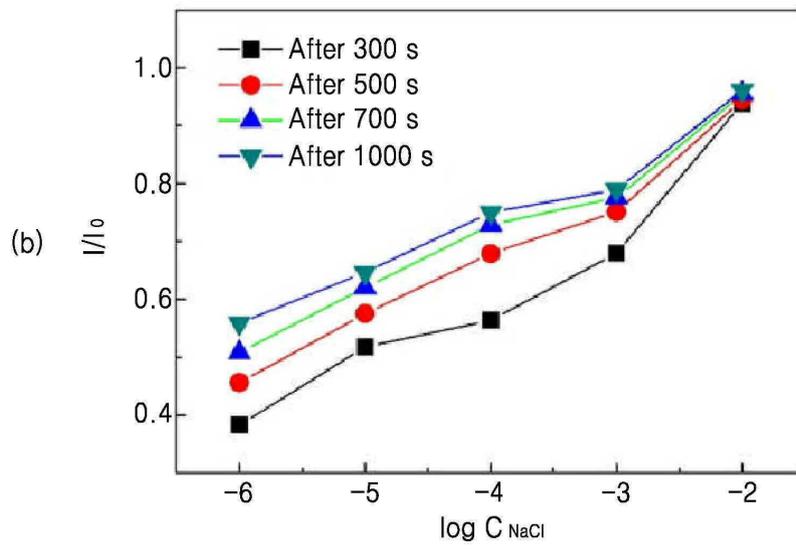
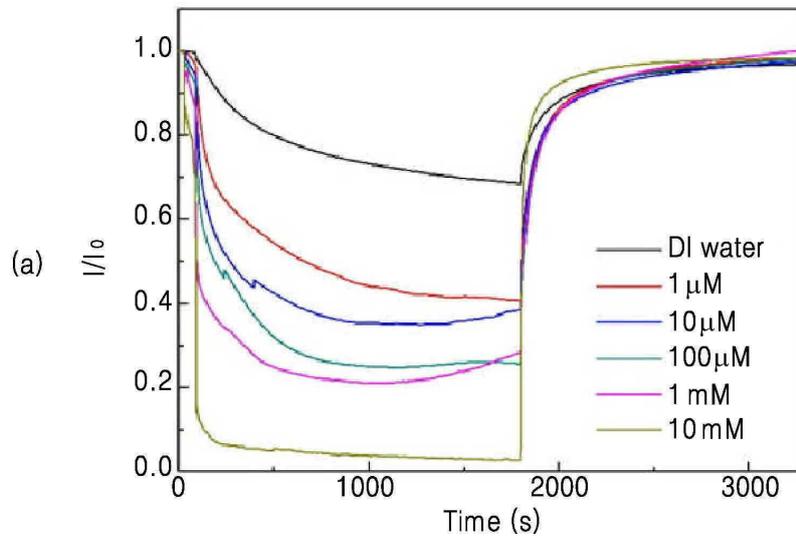


(b)

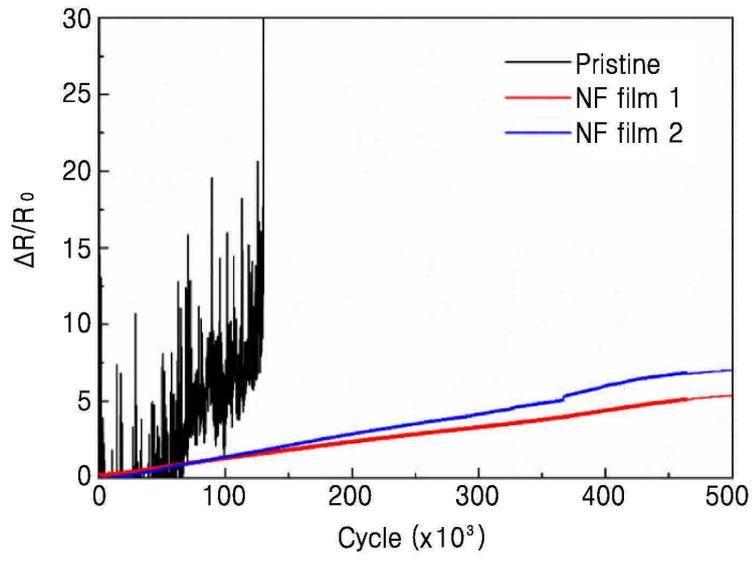
도면8



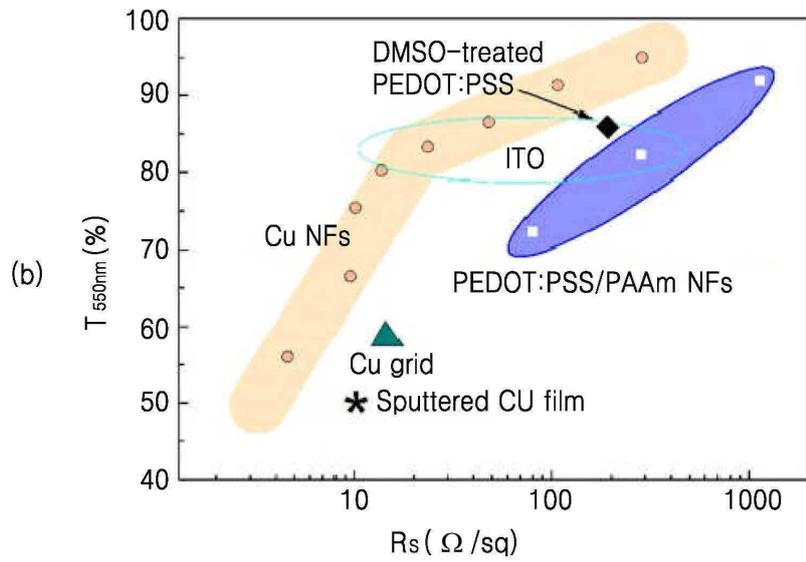
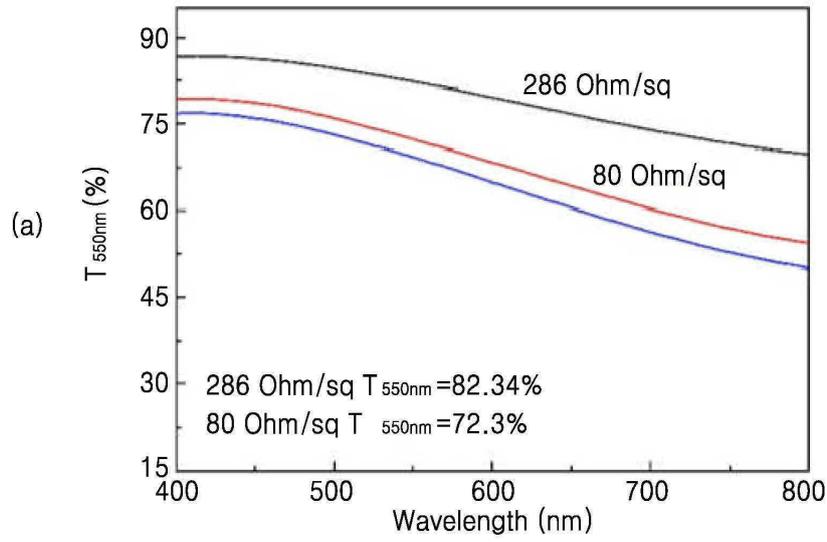
도면9



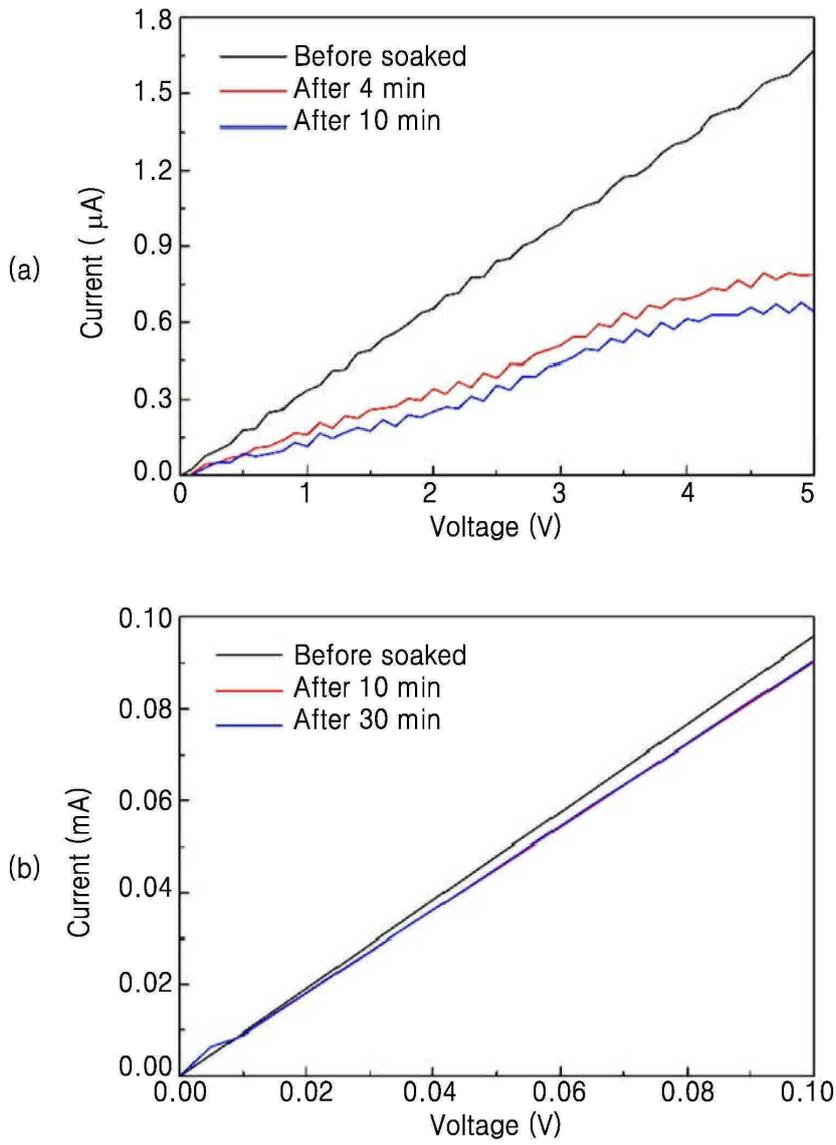
도면10



도면11



도면12



도면13

