

★ 2018년 11월 27일(화) 조간(온라인 11. 26.(월) 12:00)부터 보도해주시기 바랍니다.

보도자료



<홍보실> 실장 김한기, 담당 장효정 ☎ 042-869-6116

<자료문의> 광주과학기술원 신소재공학부 윤명한 교수(062-715-2320)

마이크로 섬유 형태의 웨어러블 땀센서 개발 - 섬유를 기반으로 생체이식형 전자소자 출현 기대 -

- 한 가닥의 섬유처럼 생긴 웨어러블 땀센서가 개발되어 탈수 여부를 실시간 측정할 수 있게 되었다. GIST(지스트, 총장 문승현) 윤명한 교수, 주상현 교수(경기대학교) 공동연구팀이 전기가 흐르는 단일 가닥의 고분자 섬유를 기반으로 웨어러블 땀센서를 개발했다고 한국연구재단(이사장 노정혜)은 밝혔다.
- 땀의 이온 농도를 실시간 측정하는 웨어러블 땀센서는 여름철 폭염 일수와 온열 질환이 급증하면서 더욱 주목받고 있다. 특히 노인과 어린이, 야외 노동자와 같은 폭염 취약계층은 탈수에 대한 민감도가 낮으므로 기기를 이용한 실시간 점검과 주의가 필요하다.
 - 기존 센서에 포함된 반도체 소자는 얇은 막 형태로써, 늘어나는 등의 유연성이 부족했다. 또한 박막의 규격에 따라 성능이 변화해 정확성이 낮은 점이 상용화의 걸림돌이 되었다.
- 연구팀은 2차원 박막 형태에서 벗어나 1차원 섬유 가닥 형태의 트랜지스터를 개발했고, 이를 기반으로 사용 편리성이 극대화된 땀센서를 제작했다. 직물에 센서 한 가닥을 삽입하는 간단한 제작 방식으로 생산성도 향상되었다. 사용된 고분자 물질의 특성으로 인해 장기간 물속에서도 안정적으로 구동되며, 높은 생체 적합성을 가진다.

- 특히 개발된 센서는 95% 이상의 높은 재현성과 정확성을 보였다. 반도체의 규격에 상관없이 이온 농도를 정확히 측정하는 기법을 적용한 덕분이다. 이 방법에서는 이온 농도 변화와 측정전류의 변화비*가 비례하는 점을 이용했다.

* 측정전류의 변화비 : 측정하고자 하는 용액에서의 측정된 전류값과 기준농도에서의 전류값 사이의 변화비율로, 이를 통해 반도체 규격에 영향을 받는 요소들을 모두 상쇄시킬 수 있다.

- 윤명한 교수는, “수계 전도성고분자의 응용성을 기존 2차원 박막 소자에서 단일 섬유 형태의 소자까지 확장시키는 새로운 패러다임을 제시했다”라며, “가까운 미래에 신개념 섬유 기반 이식형 생체 전자소자의 출현을 앞당길 것으로 기대한다”라고 연구 의의를 설명했다.

- 이 연구 성과는 과학기술정보통신부·한국연구재단 기초연구사업(중견연구), 민군기술협력사업, 나노소재기술개발사업의 지원으로 수행되었다. 네이처 자매지인 국제학술지 NPG 아시아 머티리얼즈 (NPG Asia Materials) 11월 26일자에 게재되었고, 특집 논문 (featured article)으로 선정되었다.

<참고자료> : 1. 주요내용 설명
2. 그림 설명

① 주요내용 설명

□ 논문명, 저자정보

논문명	Organic Electrochemical Transistor-Based Channel Dimension-Independent Single-Strand Wearable Sweat Sensors
저자	윤명한 교수(교신저자, GIST), 주상현 교수(공동교신저자, 경기대), 김영석 박사과정(제1저자, GIST), 임태경 박사(공동1저자, 경기대)

□ 연구의 주요내용

1. 연구의 필요성

- 지구 온난화에 의한 이상기후 및 여름철 폭염일수 증가로 인해 최근 온열 질환 환자의 숫자가 크게 증가하고 있다. 대부분의 온열 질환은 체온 상승과 함께 탈수증(dehydration)을 동반하므로 수분 섭취만으로도 효과적인 예방이 가능한 것으로 잘 알려져 있다.
- 그럼에도 불구하고, 고령자, 어린이 및 야외 노동자 등 폭염 취약계층은 탈수증 인지에 대한 민감도가 떨어진다. 이에 수분 섭취가 필요한 시점을 제때 알려주는 것이 필요하다. 이를 위해 간단히 피부로 배출된 땀에 포함된 이온 농도를 측정하는 ‘웨어러블 땀센서’의 필요성이 대두되고 있다.
- 하지만 기존 연구의 경우, 패치형 박막 구조로 제작되어 늘어날 수 있는 웨어러블 형태로 구현하기 어려웠으며, 복잡한 구동원리 및 측정 방식으로 인해 상용화에 어려움이 있었다.

2. 연구내용

□ 단일 가닥의 전기화학 트랜지스터 및 웨어러블 땀센서를 개발

- 이 연구에서 개발한 웨어러블 땀센서는, 단일 섬유 가닥 형태의 전기화학 트랜지스터* 기반 이온 농도 센서이다. 기관 위에 진공증착 등에 의해 제작된 통상적 소자 구조를 탈피함으로써 박막형 웨어러블 소자에 비해 생산성 및 사용 편리성을 극대화 하였다.

* 유기물 전기화학 트랜지스터(Organic electrochemical transistor) : 전해질 내에서 구동하는 트랜지스터 중 하나이다. 게이트 전압이 인가되면 전해질 내에 존재하는 이온과 트랜지스터의 반도체 층과의 전기적/전기화학적 반응에 의해, 반도체층의 도핑/탈도핑을 유도하여 전기적 신호를 스위칭/증폭한다.

○ 기존 섬유형 소자의 배치 재현성 및 상용화의 걸림돌인 ‘정교한 치수 제어’의 한계를 ‘새로운 특성화 기술’을 제시하여 극복했다. 이에 따라, 개발된 센서는 95% 이상의 높은 재현성 및 정확성을 지닌다.

- 기존 기술에서 센서에 사용되는 반도체는 활성층의 길이, 폭, 두께에 따라 민감하게 소자의 특성에 변화가 생겼다. 3차원 구조를 가지는 비평면 미세섬유상 공정의 경우 활성층 정의에 수백 um에서 수 mm 수준의 오차가 쉽게 발생하여, 배치마다 특성이 일정하게 구현되기 어려웠다.

- 이 연구에서 제시한 특성화 기술은 이온 농도 변화에 의한 전류비 변화의 선형성을 응용하여 땀 속 이온 농도를 역으로 유추하는 기술이다. 이는 활성층의 물리적 크기에 무관하며, 캐리어 농도(carrier concentration), 체적 커패시턴스(volumetric capacitance) 및 핀치오프 전압(pinch-off voltage) 등 재료의 특성에 의해 결정된다.

□ 상용화가 쉬운 2전극 단선(single strand) 구조만으로도 3전극 트랜지스터 기능을 구현

○ 과거의 유기물 전기화학 트랜지스터 기반의 이온농도 센서의 경우 감도가 크다는 장점이 있으나, 3전극(게이트, 소스, 드레인)으로 구동하였다. 이에 단순 저항 등 상용화가 쉬운 2전극 소자에 비해 소자 제작 및 특성화가 상대적으로 복잡하다는 단점이 지적되어 왔다.

○ 반면, 해당 연구의 경우 ‘게이트 내장형 소스 전극(gate-embedded source electrode)’을 제안하여, 단일 가닥의 실 구조체만으로도 3전극 트랜지스터와 동일한 이온 농도 측정 메커니즘을 구현하였고, 이를 이론 및 실험적으로 증명하였다.

□ 고결정성 수계 전도성고분자 섬유를 활성층으로 탑재함으로써 세척 가능한 웨어러블 및 체내 이식형 임플란터블 전자기기로의 응용 기대

○ 최근 유연전자소재 및 생체전자소재로 크게 각광을 받고 있는 수계 전도성고분자(PEDOT:PSS*)의 경우, 물에서 불용성을 향상시키기 위해 화학적

가교제를 포함시켜 소자 제작에 이용되고 있으나, 낮은 물 속 안정성 및 생체적합성으로 인해 장기적 안정성을 필요로 하는 생체전자소자로의 응용에 제한이 있었다.

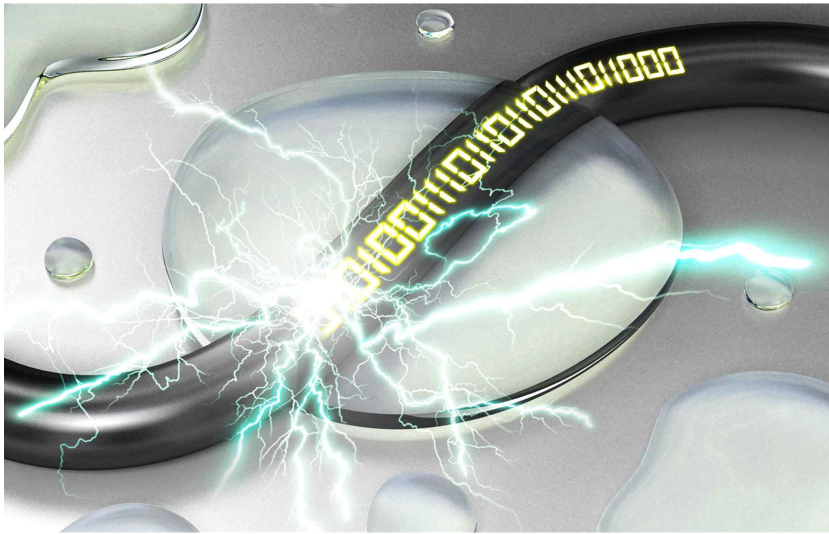
* PEDOT:PSS : PEDOT(poly(3,4-ethylenedioxythiophene))과 PSS(polystyrene sulfonate) 사슬로 이뤄진 고분자혼합물이다. PSS의 술폰기(sulfonyl group)가 탈양성자화(deprotonation)되어 음전하를 띄게 되고, 이는 반도체성 공액고분자(Conjugated polymer)인 PEDOT의 P-type 전하수송체(Charge carrier)인 홀을 유도하게 되어 전도성을 띤 고분자혼합물을 형성하게 된다.

- 이 연구에서는, 수계 전도성고분자의 용매상 고결정성 유도를 통해 섬유를 제작함으로써, 높은 전기/이온 전도성, 가교제 없는 장기간 물속 안정성 및 높은 생체적합성을 구현을 하였다.

3. 연구성과/기대효과

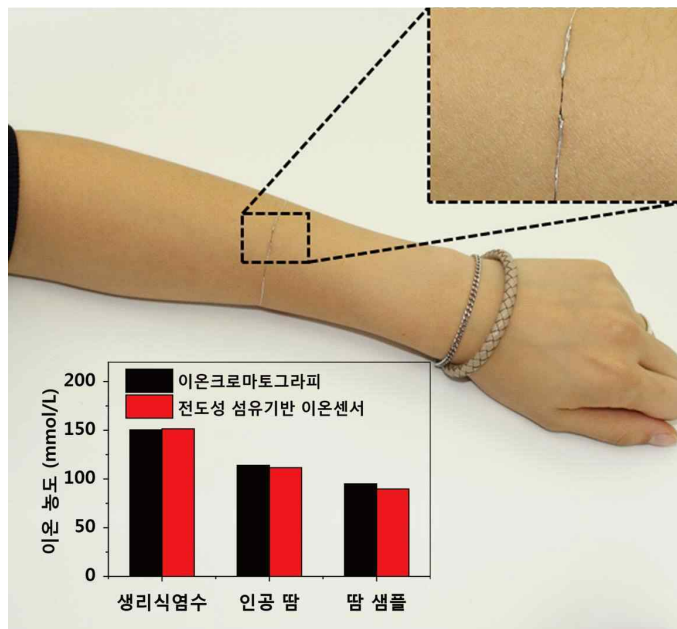
- 이 연구를 통해, 과거의 보편적인 박막형 소자구조에서 탈피한 새로운 섬유형 소자의 방향성을 제시하였고, 섬유형 구조가 갖는 높은 생산성, 사용의 편리성과 더불어, 높은 정확성 및 재현성을 갖는 땀센서를 개발하였다.
- 이 연구에서 개발한 땀센서는 “직물에 단순히 센서 한가닥만을 삽입하여 센서를 구현할 수 있음”을 의미하며, 섬유형 웨어러블 전자기기(wearable electronics)의 빠른 상용화에 기여할 것으로 예상된다.
- 또한, 이 연구에서 개발한 고결정성 수계고분자 섬유는 세척가능한 웨어러블 전자소자 및 체내이식형 임플란터블 전자기기로의 응용이 가능할 것으로 기대된다.

2 그림 설명



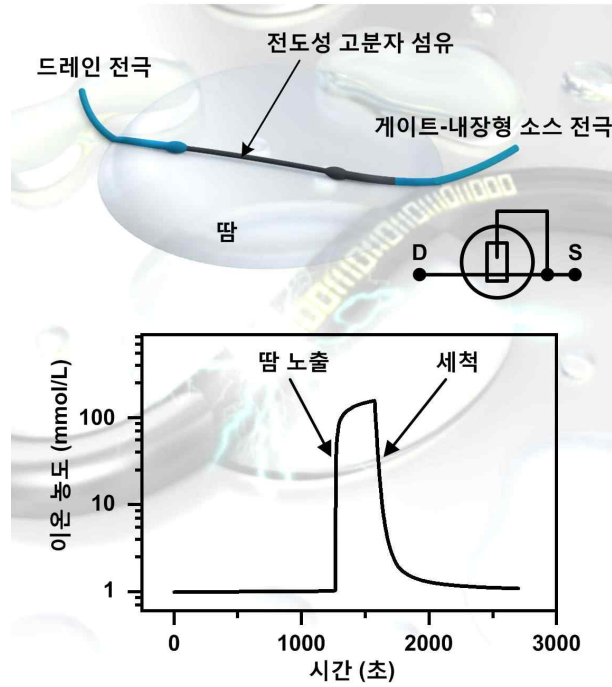
(그림1) 물 속 안정성, 생체 적합성을 지닌 웨어러블 땀센서

전도성고분자 단일 마이크로 섬유 기반 웨어러블 땀센서는 물 속에서 안정적이며, 생체 적합한 특성이 있다.



(그림2) 피부 위에서 구동하는 웨어러블 땀센서 사진

개발한 땀센서로 측정된 농도는 기존 이온 크로마토그래피로 측정된 농도와 비교할 때 매우 정확하다.



(그림3) 웨어러블 땀센서의 모식도와 실시간 이온 농도 측정 결과

이 연구에서 제시한 게이트-내장형 소스 전극 기술을 통해, 실 한가닥의 구조체만으로도 복잡한 3전극 트랜지스터 기반의 이온농도 센서와 동일한 메커니즘으로 이온의 농도를 측정할 수 있다.