

보도일시	2024. 8. 6.(화) / 배포 즉시 보도
문의	연구책임자 고승환 교수(02-880-7114) / 교신저자
	기계공학부, 윤혁준 연구원(02-880-1681) / 공동 제1저자

■ 제목/부제

제목	<p>기계공학부 고승환 교수 연구팀, 섬유 기반 차세대 인간-기계 인터페이스 (HMI) 생체 전극 개발</p> <p>-통기성 있는 섬유 기반의 차세대 웨어러블 생체전극 및 전자소자 패터닝 기술 개발-</p>
----	---

연구 필요성	<p>전기방사된 나노섬유 멤브레인을 기반으로 한 유연한 전자기기는 높은 생체 적합성과 우수한 기계적 성능으로 인해 큰 주목을 받고 있다. 하지만 일반적으로 섬유 기관 위에 전도성 있는 물질을 패터닝하려면 고가의 진공 시스템 또는 별도의 마스크를 제작하는 추가 공정이 반드시 필요한 실정이다.</p>
연구성과/ 기대효과	<p>서울대 기계공학부 고승환 교수와 건국대 김시윤 교수 공동연구팀은 진공 장비를 구비하지 않고도 필터레이션 공정 수행이 가능하도록 나노섬유 멤브레인 아래에 지지대인 카본페이퍼를 배치해 모세관 현상을 이용한 효율적 유체 흐름을 유도하는 시스템을 개발했다. 이를 활용하면 후처리 단계에서 레이저의 광열 효과로 나노와이어와 기관을 강하게 접합시켜 기계적 안정성을 향상시킬 수 있다.</p> <p>또한 이 시스템에서는 강력한 초음파 처리에도 회로가 안정적으로 유지되고, 손으로 잡아당길 시에도 기관의 패턴이 안정적으로 남는다는 점이 증명됐다. 본 연구팀은 쥐 심장 표면 신호 기록을 위한 ECG 전극, 피부에 부착할 수 있는 전기화학 바이오센서, 맞춤형 근전도(EMG) 기반 인간-기계 인터페이스(HMI) 등 다양한 응용 사례를 통해 이번에 개발한 공정 시스템 및 결과물의 강점을 입증했다.</p>
Abstract	<p><i>Prof. Ko from SNU and Prof Kim from KJU have developed a direct metal nanowire patterning method based on filtration using a dispenser system. The research team has opened up possibilities for efficiently fabricating electronic devices with high stretchability, breathability, and conductivity, demonstrating potential applications in various healthcare and medical fields.</i></p>

	<p><i>The potential of the electrospun nanofiber membrane (ENM)-based soft electronics in epidermal bioelectronics has gained huge attention with their conformal compatibility with the human body and associated performance improvements. This study presents a novel filtration-based direct local nanowire patterning method on the ENM using dispenser systems, aiming to fabricate stretchable, breathable, and highly conductive epidermal electronics harnessing various types of metal nanowires, including Ag, Ag@Au core-shell, and Ag@(Au-Pt) core-shell nanowires. By utilizing capillary force from a support bed beneath the ENM, efficient fluid flow can be achieved, eliminating the requirement for expensive vacuum equipment typically employed in filtration processes. In the postprocessing phase, the photothermal effect of a laser is harnessed to improve the mechanical stability of the nanowire-ENM interface. The maskless fabrication process is instrumental in crafting epidermal bioelectronics in that the design can be spontaneously replicated according to diverse human body geometries in situ. The selective insulation process can be also executed with the same dispenser system, streamlining the overall fabrication system. Applications are demonstrated showcasing the advantages of the presented fabrication system and the resulting devices, including an in vivo epicardial signal recording electrode, an epidermal electrochemical biosensor, and a customized epidermal electromyography (EMG)-based human-machine interface (HMI)..</i></p>
Journal Link	<p>https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adfm.202313504</p>

■ 요약

□ 연구 개요

- 부드러운 나노섬유 위에 전극을 패터닝할 수 있는 프린팅 기술이 국내에서 개발됐다.
- 서울대학교 고승환 교수 건국대학교 김시운 교수 공동연구팀 (공동 제1저자 윤혁준 석사, 공동 제1저자 최준화 박사, 공동 제1저자 김진 박사)은 **디스펜서 시스템을 이용한 필터레이션 기반의 직접적인 금속 나노와이어 패터닝 방법을 개발했다.**

□ 연구 배경

- **전기방사*된 나노섬유 멤브레인**을 기반으로 한 유연한 전자기기는 높은 생체 적합성과 우수한 기계적 성능으로 인해 큰 주목을 받고 있다.
- 하지만 일반적으로 섬유 기판 위에 전도성 있는 물질을 패터닝하려면 고가의 진공 시스템 또는 별도의 마스크를 제작하는 **추가 공정이 반드시 필요한 실정이다.**

□ 연구 결과

- 본 연구팀은 나노섬유 멤브레인 아래에 지지대인 카본페이퍼를 배치해 **모세관 현상을 이용한 효율적인 유체 흐름을 유도함**으로써 고가의 진공 장비 없이도 필터레이션 공정을 수행할 수 있는 시스템을 개발했다.
- 이 시스템을 활용하면 후처리 단계에서 레이저의 광열 효과**로 나노와이어***와 기판을 강하게 접합시켜 기계적 안정성을 향상시킬 수 있다. 또한 이 시스템에서는 강력한 초음파 처리에도 회로가 안정적으로 유지되고, 손으로 잡아당길 시에도 기판의 패턴이 안정적으로 남는다는 점이 증명됐다.
- 본 연구팀은 쥐 심장 표면 신호 기록을 위한 ECG 전극, 피부에 부착할 수 있는 **전기화학 바이오센서, 맞춤형 근전도(EMG) 기반 인간-기계 인터페이스(HMI)** 등 다양한 응용 사례를 통해 이번에 개발한 공정 시스템 및 결과물의 강점을 입증했다. 또한 해당 연구는 높은 신축성과 통기성, 전도성을 갖춘 전자기기를 효율적으로 제작할 수 있는 가능성을 열어주었으며, 다양한 헬스케어 및 의학 분야에서의 응용 가능성을 증명했다.
- 이번 연구성과는 재료 분야 국제 저명학술지 ‘Advanced Functional Materials (AFM)’에 올해 5월 29일 게재되었다.

□ 용어 설명

- *전기방사 : 고전압 전기장을 이용하여 고분자 용액 또는 용융체를 미세한 섬유 형태로 방사하는 공정
- **광열효과 : 특정 물질이 빛을 흡수하여 열로 변환하는 현상.
- ***나노와이어 : 지름이 나노미터 수준으로 매우 얇고 길이가 긴 일차원 구조의 전도성 물질.

※ 연구 이야기

□ 연구를 시작한 계기

○ 최근 유연 웨어러블 디바이스 분야에서 통기성 섬유 기반 기기가 많은 눈길을 끌고 있습니다. 하지만 다양한 종류의 전도성 물질을 동시에 패터닝하는 기술은 상대적으로 큰 주목을 받지 못해 아쉬움을 느꼈습니다. 이에 본 연구는 다양한 성질의 전도성 나노 물질 및 절연 물질을 고해상도로 패터닝할 수 있는 프린팅 공정을 제시함으로써 다양한 전도성 나노 물질과 통기성 섬유에 기반한 기기 개발에 기여한다는 목표 아래 진행되었습니다.

□ 연구과정 중 어려웠던 점

○ 첫 번째로 어려웠던 점은 패터닝 공정 파라미터 설정을 위한 기계적 모델링 과정이었습니다. 효과적인 프린팅을 위해 도입한 탄소섬유기판의 성질, 프린팅 잉크 유량, 노즐 이동 속도를 조절하여 저희가 원하는 전도성 및 프린팅 규격을 설정해야 하는데, 이를 위해 다공성 물질 내 유체의 유동을 포함한 전체적인 프린팅 과정의 모델링이 선행되어야 하는 지난한 과정이었습니다.

○ 두 번째로 어려웠던 점은 새로운 나노 물질의 합성법 확립이었습니다. 저희는 본 연구를 통해 다양한 물질의 효과적인 프린트 성능을 활용하여 새로운 전도성 나노 물질을 활용한 화학 센서를 제작하고자 했습니다. 그 과정 중 특히, 촉매적 성질을 보이는 새로운 나노 물질 합성을 위해 합성법을 개발하고 성질을 평가하며 최적의 합성법을 확립하는 단계에서 시간을 많이 소요했습니다.

□ 이전 연구와 차별화 포인트

○ 이번 연구의 성과는 통기성 섬유 기판에 다양한 나노 물질을 효과적으로 패터닝하는 하나의 공정을 개발한 데 있습니다. 이전에는 섬유 기판 위에 전도성 있는 물질을 패터닝하려면 진공 시스템 또는 별도의 마스크를 제작하는 부가 공정이 필수적이었습니다. 반면 본 연구에서 개발한 공정에서는 다공성 탄소 섬유 기판의 모세관 현상을 활용해 효과적으로 잉크의 용매를 빨아들임으로써 오직 나노 물질만 시판 위에 패터닝할 수 있습니다. 나아가 해당 공정은 다양한 종류의 나노 물질을 활용할 수 있기 때문에 활용도가 높습니다. 또한 패터닝한 나노 물질이 추가 레이저 공정을 거치면서 나노와이어와 기판의 강한 접합 형성이 가능해졌을 뿐 아니라 패터닝한 물질이 다양한 변형을 겪어도 안정적 성능을 발휘하게 되었습니다.

○ 본 연구에서 개발한 공정을 통해 은나노와이어, 은-금 코어셸 나노와이어, 은-금·백금 합금 나노와이어를 효과적으로 패터닝할 수 있었습니다. 이 기술이 심장부착형 심장 신호 측정 전극, 비타민 농도 측정 화학 센서, 그리고 전완 부착형 근전도 측정 기반 손동작 인식 기기 개발 등에 효과적으로 응용될 수 있음을 검증했으므로 본 공정은 향후 통기성 웨어러블 기기 제작에 크게 기여할 것으로 기대됩니다.