

신축성 인쇄 전자회로 기판 구현을 위한 액체 금속 입자 네트워크 개발

Universal assembly of liquid metal particles in polymers enables elastic printed circuit board

연구책임자 | 강지형 소속학과 | 신소재공학과 연구실 홈페이지 | <https://www.jiheongkanglab.com/>

참여연구원 | 이원범, 김현준, 강인호, 박홍준, 정지영, 이해승, 박현창, 박지수, 육종민, 류승화, 정재웅

신축성 전자기기의 실현을 위해서는 고집적 전자기기 제작의 바탕이 되는 신축성 인쇄회로기판이 요구된다. 기존 연구는 늘어나면 저항이 변하는 재료의 한계로 인해 구조 공학을 이용해 신축성 인쇄회로기판을 구현했으나, 이는 신축성이 제한되고 전자 부품의 밀도가 줄어든다는 한계가 있다. 본 연구에서는 초음파를 이용하여 고분자 내에서 액체금속 입자를 조립시켜 전도성 네트워크를 형성해 신축과정에서 저항이 변하지 않는 전극을 개발했고, 이를 이용해 세계 최초로 구조 공학 없이 신축성 인쇄회로기판을 구현했다.

연구배경

최근 체내 삽입형 전자소자, 웨어러블 전자소자, 소프트 로봇틱스 등에 관한 관심이 증가하면서 우수한 신축성 및 전기적 성질을 갖는 신축성 전자기기에 관한 다양한 연구가 진행됐다. 이의 실현을 위해서는 고집적 전자기기 제작의 바탕이 되는 신축성 인쇄 회로 기판이 요구된다. 최근 신축성 인쇄 회로 기판 재료로 액체금속이 큰 관심을 받게 됐다. 액체금속은 상온에서 액체의 형태를 띠는 금속으로, 높은 전기전도성과 액체와 같은 자유로운 변형성으로 인해 신축성 전자소자에 사용하기에 적합한 재료로 평가를 받는다. 하지만 액체 상태가 갖는 외부 충격에 대한 불안정성으로 인해 실제 인쇄 회로 기판의 배선으로 사용하는 것에 한계가 있었다.

연구내용

본 연구에서는 입자 간 연결이 형성되지 않은 액체금속 입자-고분자 복합체를 물 속에서 초음파를 가해줌으로써 마이크로 크기의 액체금속 입자 사이에 나노 입자를 형성하여 고분자 지지체 내에서 액체금속 입자들을 조립시켜 전도성 네트워크를 형성했다.

만들어진 네트워크는 거의 결함이 없는 수준의 전도성 네트워크를 형성하기에 이론상 가능한 최대에 근접하는 수준의 전기 전도도를 갖는다. 또한 만들어진 전도성 네트워크는 재료를 늘렸을 때에도 거의 저항이 변하지 않는다. 이는 네트워크를 구성하고 있는 입자 크기의 차이에 기인한다. 마이크로 크기 입자의 경우 외부의 인장이 가해지면 형태가 변하려는 액체의 성질이 주도적으로 작용해 늘어나지만, 나노 크기의 입자는 액체의 성질보다 원래의 형태를 유지하려는 표면장력이 더 주도적으로 작용해 거의 형태가 변하지 않고 구체의 형태를 유지하게 된다. 이러한 메커니즘으로 인해 재료를 늘렸을 때에도 마이크로 크기의 입자는 형태가 늘어나고 작은 크기의 입자는 원래의 형태를 유지함으로써 액체금속 입자 간 거리가 유지돼 전자가 흐를 수 있는 전도성 네트워크가 유지되어 앞서 언급한 것과 같이 저항이 변하지 않게 된다 (그림 1). 뿐만 아니라 액체 금속 입자 네트워크를 둘러싸고 있는 고분자의 역할로 인해 재료가 우수한 기계적 성질(high toughness)을 갖기에 순수한 액체금속의 경우와 달리 cohesive failure로부터 자

유로워 적절한 고분자와 표면을 이용함으로써 다른 재료와 우수한 접착성을 부여할 수 있다. 더불어 우수한 기계적 성질로 인해 외부에서 충격이 가해져도 재료에 손상이 가해지지 않고 뛰어난 전기적 성질을 유지할 수 있다.

이러한 액체금속 입자 네트워크는 기존의 액체금속 입자-고분자 복합체에 물리적 손상을 가해서 만들었던 기존의 통념을 벗어난 새로운 접근법으로, 초음파라는 비파괴적인 방법을 이용해 재료에 손상을 주지 않으면서 우수한 전기적, 기계적 성질을 동시에 갖는 효과적인 신축성 전도체를 만들 수 있다.

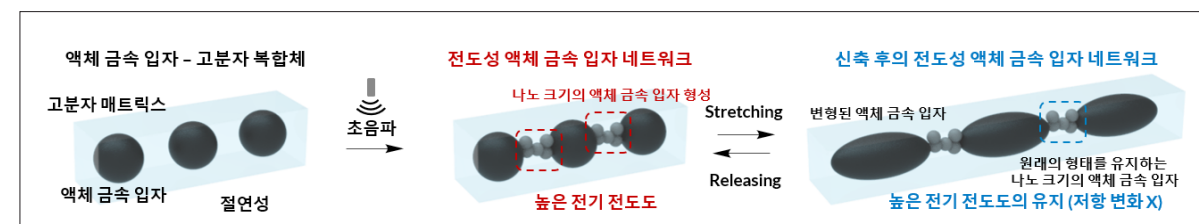


그림 1. 초음파를 이용하여 고분자 내에서 액체금속 입자를 조립시켜 전도성 네트워크를 형성

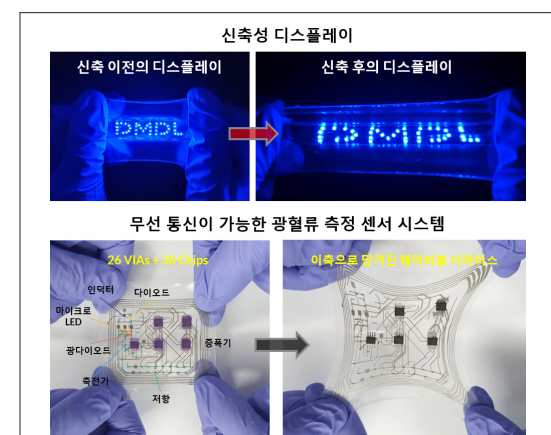


그림2. 신축성 인쇄회로기판을 기반으로 다양한 신축성 전자소자를 제작

기대효과

우수한 전기적, 기계적 성질 및 접착성을 갖는 액체 금속 입자 네트워크를 이용해 기존에 구현할 수 없었던 신축성 인쇄회로기판을 구현할 수 있고, 이를 기반으로 늘어날 수 있는 디스플레이 및 헬스케어 전자기기와 같은 다양한 신축성 전자소자를 제작(그림2)할 수 있다. 뿐만 아니라 초음파에 기반한 액체금속입자 네트워크의 조립은 모든 고분자에도 적용될 수 있기에 포토레지스트, 하이드로겔, 자가 치유 고분자 등에 적용함으로써 고해상도 광 패터닝, 체내 삽입형 전자소자를 위한 낮은 임피던스를 갖는 전극, 자가 치유가 가능한 액체금속 기반 전극 등 다양한 응용이 가능할 것으로 기대된다.

연구성과

- [논문] W. Lee, H. Kim, I. Kang, H. Park, J. Jung, H. Lee, H. Park, J. S. Park, J. M. Yuk, S. Ryu, J.-W. Jeong, J. Kang*, "Universal assembly of liquid metal particles in polymers enables elastic printed circuit board," *Science* 378, 637-641 (2022) [2022 Impact Factor = 63.714]
- [홍보] Science 포지 논문으로 선정
- [특허] 국내 특허 출원 1건, 미국 특허 출원 1건

연구비 지원

- 한국연구재단, 나노소재기술개발사업, 웨어러블 플랫폼 소재기술 선도센터