

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2020-0055009
(43) 공개일자 2020년05월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H05K 3/24 (2006.01) H05K 1/09 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H05K 3/246 (2013.01)
H05K 1/097 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-7010052
(22) 출원일자(국제) 2018년09월13일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2020년04월07일
(86) 국제출원번호 PCT/US2018/050920
(87) 국제공개번호 WO 2019/055680
국제공개일자 2019년03월21일
(30) 우선권주장
62/606,187 2017년09월13일 미국(US)
(뒷면에 계속)

(71) 출원인
카네기 멜론 유니버시티
미국 펜실베이니아 (우편번호 15213) 피츠버그 포브스 애비뉴 5000
유니베르시타드 드 코임브라
포르투갈 코임브라 피-3004-531 리토리아 파소 다스 에스콜라스
(72) 발명자
타바코리, 마무드
포르투갈, 코임브라 3030-790, 디파타멘토 데 엔젠타리아 일레트로테크니카 디 데 컴퓨터도레스루아 실비오 리마, 유니베르시타드 드 코임브라
마지디, 카멜
미국, 펜실베이니아 15213, 피츠버그, 포브스 애비뉴 5000, 카네기 멜론 유니버시티
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
최덕규

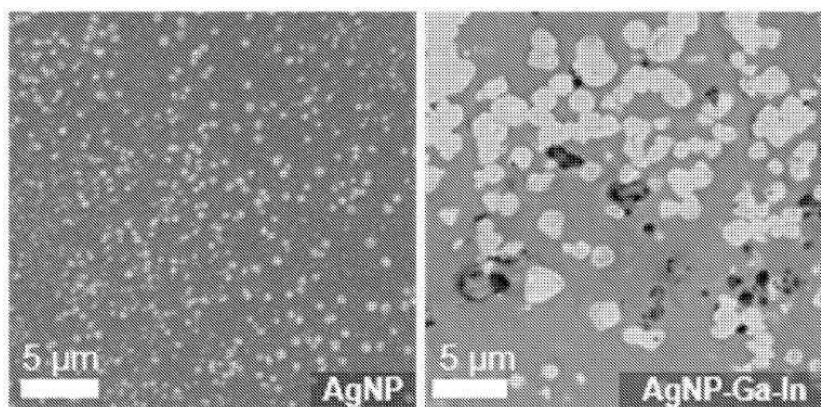
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 전도성 잉크 및 페이스트를 포함하는 액체 금속 용융물

(57) 요약

잉크젯으로 인쇄된 은 나노입자(AgNP) 잉크의 트레이스를 얇은 층의 공용 갈륨 인듐(EGaIn)으로 코팅하는 것은 전기 전도성을 증가시키고 그리고 인장 스트레인에 대한 저항력을 상당히 향상시킨다. 이 향상은 액상 EGaIn 합금이 AgNP 입자를 계속 이어진 전도성 트레이스를 형성하기 위해 결속시키는 상온 "소결"을 통해 달성된다. 이 기계적으로 견고한 박막 회로는 고도로 굽어 있고 전개 불가능한 3D 표면에 더하여 피부 및 다른 연성의 변형 가능한 기관에 전사하는 데 적합하다.

대표도 - 도2



A

B

(52) CPC특허분류

H05K 2203/128 (2013.01)

(72) 발명자

파이사나, 휴고

포르투갈, 코임브라 3030-790, 디파타멘토 데 엔젠타
하리아 일레트로테크니카 디 데 캄푸타도레스투아
실비오 리마, 유니버시다드 드 코임브라

드 알메이다, 아니발 티.

포르투갈, 코임브라 3030-790, 디파타멘토 데 엔젠타
하리아 일레트로테크니카 디 데 캄푸타도레스투아
실비오 리마, 유니버시다드 드 코임브라

(30) 우선권주장

62/762,975 2018년05월25일 미국(US)

20181000058782 2018년09월07일 포르투갈(PT)

명세서

청구범위

청구항 1

전도성 잉크를 사용하여 하나 이상의 트레이스를 포함하는 전기 회로를 기판에 인쇄하는 단계; 그리고
하나 이상의 전기 트레이스를 액체 금속으로 코팅하는 단계를 포함하고,
상기 액체 금속이 갈륨; 갈륨 및 인듐의 합금; 또는 갈륨, 인듐 및 주석의 합금인 것을 특징으로 하는 전도성 전기 트레이스를 생성하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 액체 금속이 인쇄된 상기 전기 회로의 트레이스 위에 선택적으로 적층되는 것을 특징으로 하는 전도성 전기 트레이스를 생성하는 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 선택적인 적층이 스크린 인쇄, 전기 도금, 잉크젯 인쇄 및 밀착 인화를 포함하는 군으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 전도성 전기 트레이스를 생성하는 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 기판이 액체 금속으로 코팅되고, 상기 기판로부터 액체 금속을 제거하여 하나 이상의 트레이스 위에 액체 금속을 남기는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 전도성 전기 트레이스를 생성하는 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 액체 금속 제거 방법이 수동 닦기(manual wiping), 가스 압력 또는 유압, 초음파 세척, 산 증기, 산성 또는 염기성 액체 세척 및 전압 적용을 포함하는 군으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 전도성 전기 트레이스를 생성하는 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 전도성 잉크가 은, 구리 또는 금 입자; 은, 구리 또는 금으로 덮인 입자; 또는 은, 구리 또는 금의 염을 함유하는 액체 또는 페이스트인 것을 특징으로 하는 전도성 전기 트레이스를 생성하는 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 액체 금속이 갈륨 및 인듐의 공융(eutectic) 합금인 것을 특징으로 하는 전도성 전기 트레이스를 생성하는 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 전기 트레이스의 인쇄가 잉크젯 인쇄, 스크린 인쇄, 롤투롤(roll-to-roll) 인쇄, 에어로

줄 적층, 밀착 인쇄 및 스핀 코팅에 의한 균일 박막 적층으로부터 선택된 방법을 사용하여 실행되는 것을 특징으로 하는 전도성 전기 트레이스를 생성하는 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 하나 이상의 트레이스를 액체 금속으로 코팅하는 것이 전기 전도성을 가능하게 하거나 또는 전기 전도성을 증가시키기 위해 적층된 금속 입자의 퍼콜레이션(percolation)을 가능하게 하는 것을 특징으로 하는 전도성 전기 트레이스를 생성하는 방법.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 하나 이상의 트레이스를 액체 금속으로 코팅하는 것이 상기 전기 회로의 기계 부하 또는 기계 스트레인에 대한 저항력을 증가시키는 것을 특징으로 하는 전도성 전기 트레이스를 생성하는 방법.

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 기판이 폴리머 기판인 것을 특징으로 하는 전도성 전기 트레이스를 생성하는 방법.

청구항 12

제1항에 있어서, 상기 기판이 타투 전사지, 전사지 또는 수전사 용지(hydrographic paper)인 것을 특징으로 하는 전도성 전기 트레이스를 생성하는 방법.

청구항 13

제1항에 있어서, 상기 기판이 종이, 직물, 세라믹, 목재 또는 폼(foam)인 것을 특징으로 하는 전도성 전기 트레이스를 생성하는 방법.

청구항 14

제1항에 있어서, 상기 액체 금속의 적층을 위한 과정이 수동 표면 코팅, 스핀 코팅, 분무 적층, 딥 코팅, 롤투롤 코팅, 나이프 코팅 및 그라비아 코팅으로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 전도성 전기 트레이스를 생성하는 방법.

청구항 15

제1항에 있어서, 상기 기판이 빈 공간이 없는 한 층(full layer)의 전도성 잉크로 덮이고, 뒤이어 빈 공간이 없는 한 층의 액체 금속이 적층되고,

패터닝 방법으로 상기 전기 회로의 형태를 정의하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 전도성 전기 트레이스를 생성하는 방법.

청구항 16

제15항에 있어서, 상기 패터닝 방법이 레이저 어블레이션 및 사진 석판술로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 전도성 전기 트레이스를 생성하는 방법.

청구항 17

캐리어 매체에 현탁된 금속 입자; 및

상기 캐리어 매체에 혼합된 액체 금속을 포함하는 혼합물로서,

상기 액체 금속이 갈륨 및 인듐의 합금이고,

상기 혼합물이 상기 액체 금속의 최소 0.1 중량%인 것을 특징으로 하는 전기 전도성 패턴을 생성하기 위한 인쇄 가능한 물질.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 금속 입자가 은 입자 또는 은으로 코팅된 입자; 구리 입자 또는 구리로 코팅된 입자; 금 입자 또는 금으로 코팅된 입자를 포함하는 군으로부터 선택된 금속의 크기 범위가 1nm에서 1mm에 이르는 구체(spheres), 비즈(beads), 플레이크(flakes), 와이어(wires), 또는 튜브(tubes)를 포함하는 것을 특징으로 하는 인쇄 가능한 물질.

청구항 19

제17항에 있어서, 상기 캐리어 매체가 상기 인쇄 가능한 물질의 점도를 조절하기 위해 희석될 수 있는 액체 또는 폴리머인 것을 특징으로 하는 인쇄 가능한 물질.

청구항 20

제17항에 있어서, 상기 액체 금속이 초음파 혼합; 그리고 원심, 플레너터리(planetary), 및 수동 혼합을 포함하는 전단력 혼합으로 이루어진 군으로부터 선택된 방법으로 상기 캐리어 매체에 혼합될 수 있는 것을 특징으로 하는 인쇄 가능한 물질.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련된 출원

[0002] 본 출원은 2017년 9월 13일에 출원된 미국 가특허출원번호 제62/606,187호, 2018년 5월 25일에 출원된 미국 가특허출원번호 제62/762,975호, 및 2018년 9월 7일에 출원된 포르투갈 가특허출원번호 제20181000058782호의 우선권을 주장한다.

배경 기술

[0003] 기계적으로 유연하고(mechanically compliant) 그리고 변형 가능한 초박형 전자 장치는, 예를 들어 웨어러블 컴퓨팅, 표피 바이오모니터링(epidermal biomonitring), 소프트 로보틱스, 플렉서블 디스플레이, 및 3D-전사 가능한 인쇄 전자 기술과 같은, 많은 잠재적 변화적 기술(transformative technologies)에서 중요한 구성요소이다. 이 박막 회로는 기관의 천연의 기계적 성질을 크게 변경시키지 않고서도 광범위한 기관(예를 들어 편평하거나 3D, 전개 가능하거나 전개 불가능하거나, 경성 또는 연성)에 맞춰질 수 있도록 충분히 연성이고, 구부릴 수 있어야하고, 그리고 신축성이 있어야 한다.

[0004] 소프트 로보틱스 및 형태 재구성 가능 시스템(shape reconfigurable systems)에서의 일부 적용은 무시해도 될 정도의 기계 또는 전기 이력 현상 및 오직 제한된 전기 기계 결합으로 그의 길이의 몇 배로 늘어날 수 있는 "초탄성(hyperelastic)" 소프트 일렉트로닉스(soft electronics)를 필요로 한다. 그러나 대부분의 신흥 적용에 있어서, "인공 피부" 전자 장치는 초탄성일 필요가 없고 그리고 대신에 경량 패브릭 또는 타투 스티커(temporary tattoo film)와 유사한 기계적 성질을 보여야 한다. 다시 말해, 그는 일반적인 사람 피부의 보통의 신축성인 ~

30%까지의 구부림, 접힘, 뒤틀림, 및 스트레인(strain)에서도 기능을 유지해야 한다. 이 유연성은 사람 피부 및 연성 엘라스토머(soft elastomers)로부터 날카로운 모서리 및 전개 불가능한 특징을 갖는 경성 3D 인쇄된 표면까지의 광범위한 개시 기판(host substrates)과의 호환성을 가능하게 한다. 그러한 특징들은 특히 웨어러블 컴퓨팅 및 표피 전자 장치를 가능하게 하지만, 인쇄 회로의 플렉서블 장치 및 복잡한 3D 형태의 표면으로의 통합 또한 가능하게 한다.

[0005] 최근 몇 십 년 동안 연구되어온 피부-유사 전자 장치를 위한 여러 패러다임 중에서도, 전자 문신이 그의 높은 유연성, 얇은 두께(약 5-10 μm), 자연 피부에 대한 강한 접착력, 그리고 기계적으로 견고한(robust) 기능성 때문에 특히 인기가 많아졌다. 여러 노력은 신축성이 있는 기능성이 물결 모양, 편자 모양 또는 뱀 같은 모양을 갖는 회로 트레이스로 달성되는 초박형 플라스틱 전자 장치 및 결정성 회로 설계에 중점을 두었다.

[0006] 더 근래에는 잉크젯 인쇄, 스크린 인쇄, 또는 다른 빠르고 저렴한 패터닝 기법으로 만들어질 수 있는 박막 회로에 대한 관심이 증가하고 있다. 이는 Au 포일, 카본 잉크 및 그리스, 전도성 폴리머 및 은 기반의 잉크 및 엘라스토머 합성물을 사용하는 것을 포함한다. 은 나노입자(AgNP) 또는 은 원소를 함유하는 저점도 잉크는 그와 잉크젯 인쇄와의 호환성 및 더 우수한 전기 전도성 때문에 특히 인기가 많다. 비소결식(sinter-free) Ag 잉크는 가열, 플라즈마 처리, 또는 회로 기판 또는 표면 실장 마이크로일렉트로닉 장치를 손상시킬 수 있는 다른 후처리 단계를 필요로 하지 않기 때문에 특히 관심을 모은다.

[0007] 잉크젯 인쇄를 위해 전문화된 AgNP 잉크는 시중에서 구할 수 있다. 이 잉크는 상온 회로 인쇄에서 전도가 유망하지만, 금이 가지 않게 하고 그리고 AgNP의 침투 네트워크(percolating network)를 만들기 위한 화학 반응 작용제를 갖는 전문화된 용매 호환성, 미소공성(microporous) 기판을 필요로 한다. 만약 다른 캐리어 매체(carrier medium)에 인쇄된다면 회로는 열등한 전도성을 보이고 그리고 가벼운 기계 부하에서도 작동이 안 될 것이다. 그러한 제약은 기계적으로 견고하고, 사람 피부에 적합하거나, 또는 임의적인 형태 및 표면 질감의 3D 물체에 전사 가능한, 더 다양한 종류의 연성 및 신축성 기판에 회로를 인쇄할 수 있는 능력을 크게 제한한다. 폴리머 및 코폴리머 보조 금속 증착 기법과 같은, 다른 전도성 금속 전극의 인쇄 생성 방법이 전구체 분산(precursor dispersion) 및 인쇄된 박막 전자 장치의 고온 소결의 필요성을 제거하기 위해 개발되어왔다. 그러나 일반적으로 인쇄하기 전에 전도성 잉크 또는 나노입자 전구체에 대한 많은 준비와 조정이 필요하다.

발명의 내용

[0008] 본원에는 재료 조성물과 전도성 잉크 및 페이스트의 전도성 및 신축성을 향상시키는 과정이 기술된다.

[0009] 한 구체예에서 본원에 기술된 조성물은 갈륨 또는 인듐 원소, 또는 갈륨-인듐 합금의 첨가와 함께 나노입자, 마이크로입자, 또는 플레이크(flakes)로 만든 은 기반 또는 구리 기반의 전도성 잉크 또는 페이스트를 포함한다. 갈륨, 인듐, 또는 이들의 합금은 전도성 및 신축성 잉크 또는 페이스트를 만들기 위해 입자 및 캐리어 매체, 일반적으로 액체 또는 폴리머와 직접적으로 혼합될 수 있다.

[0010] 다른 구체예에서는 기판 위로 은 기반 또는 구리 기반의 잉크 또는 페이스트의 적층 또는 인쇄 후, 공용 갈륨-인듐 합금이 적층되거나 또는 인쇄된 회로 위에 도포될 수 있다. 두 가지 경우 모두에서 액체 금속은 입자의 응집에 기여하고 그리고 입자 사이에 생긴 금과 공간을 채워서, 인쇄 회로를 전도성으로 만든다.

[0011] 상기 조성물은 어느 양의 갈륨 및/또는 인듐이 각기 첨가되거나 또는 적층 전이나 후에 어느 은 기반 또는 구리 기반의 잉크와 함께 첨가되는 것일 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 본 발명의 한 구체예에 따른 전도성 트레이스를 만들기 위한 과정을 도시한다.

도 2A 및 도 2B는 각자 EGaIn의 적층 전 그리고 후에 인쇄된 AgNP 잉크의 현미경 사진이다.

도 3은 AgNP 및 AgNP-Ga-In 사이의 전기 전도성 및 최대 스트레인의 차이를 도시하는 그래프이다.

도 4A 및 도 4B는 각자 EGaIn 처리 전 그리고 후의 전도성 잉크의 현미경 사진이다.

도 5A 및 도 5B는 도 4A 및 도 4B에 도시된 현미경 사진의 더 높은 확대율로 도시된 것으로서, 액체 금속이 어떻게 AgNP가 골재로 클러스터가 되게 야기하는지를 도시하는 현미경 사진이다.

도 6은 25 μm 길이의 스캔 선(scanning line)으로 실행된 EDS 분석으로, Ag, Ga 및 In 농도 프로파일을 도시한

다.

도 7은 폴리머 기판 상의 전도성 트레이스에 대한 스트레인 대 전기 저항성을 도시하는 그래프이다.

도 8은 수전사(hydrographic transfer)로 배치된 회로를 가진 3D 인쇄된 손 모형을 도시한다.

도 9는 사람 팔에 배치된, 전자 문신으로서 기능을 하는 회로를 도시한다.

도 10은 3D 인쇄된 물체에 전사된 회로를 도시한다.

도 11A 및 도 11B는 너 모형에 전사된 전도성 트레이스가 모형의 형태가 변형되었을 때에도 전도성을 유지하는 것을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0013] 본원에 사용된 바와 같이 용어 "액체 금속"은 30°C 이하의 온도에서 액상인 어느 금속 또는 금속 합금을 의미한다. 예로는 갈륨, 갈륨-인듐 합금, 및 갈륨-인듐-주석 합금이 있다.
- [0014] 전도성 잉크 및 페이스트는 보통 마이크로입자 또는 나노입자를 함유하는 제제 또는 캐리어 매체로 만들어진다. 대부분의 그러한 잉크는 전도성이 아니거나 또는 배치 직후에 저조한 전도성을 갖는다. 그는 트레이스를 전도성으로 만들기 위해 가열 또는 빛을 기반으로 할 수 있는 소결 과정을 필요로 한다. 소결 과정 후, 이 잉크는 전도성이 되기는 하지만 신축성은 갖지 않는다. 인쇄된 회로에 가해지는 약한 스트레인으로도 트레이스에 금이 가서 더 이상 전도성이 아니게 만든다.
- [0015] 본 발명의 한 구체예에서 인쇄된 트레이스 위로 액체 금속의 도포는 전도성을 10배로 향상시키기 때문에 열 또는 빛 기반(light-based) 소결의 필요성을 제거한다. 이 과정은 나노입자의 더 나은 응집 및 자가 조립을 돕고, 그렇게 함으로써 전도성 경로를 생성한다. 예를 들어서, 50MΩ 이상의 저항성을 갖는 인쇄된 트레이스는 이 과정의 적용 후 그의 저항성이 30Ω 이하로 감소되었다. 그에 더하여, 그 결과로 트레이스는 전도성을 잃지 않고도 큰 스트레인을 견딜 수 있다.
- [0016] 다른 구체예에서, 유사한 결과를 제공하는 인쇄 가능한 물질은 공용 갈륨/인듐 합금을 은 또는 구리 입자와 사전에(인쇄 전에) 혼합(pre-mixing)하는 것으로 만들 수 있다. 다시 말해서 상기 잉크는 소결 과정을 필요로 하지 않는다. 그렇기 때문에 그의 적용은 내열성 기판에 제한되지 않는다. 또한 적층된 잉크는 전도성을 잃지 않고도 그의 초기 길이의 100%까지 늘일 수 있다. 전기 전도성 패턴을 만들기 위한 인쇄 가능한 물질은 캐리어 매체에 현탁된 금속 입자 및 상기 캐리어 매체에 혼합된 액체 금속을 포함할 수 있고, 이 혼합물은 액체 금속의 최소 0.1% 중량퍼센트이다. 여러 구체예에서 상기 금속 입자는 은 입자 또는 은 코팅된 입자, 구리 입자 또는 구리 코팅된 입자, 금 입자 또는 금 코팅된 입자 또는 니켈 입자 또는 니켈 코팅된 입자를 포함하는 군으로부터 선택된 금속의 크기 범위가 1nm에서 1mm에 이르는 구체, 비즈, 플레이크, 와이어, 또는 튜브를 포함할 수 있지만 이에 한정되지는 않는다. 상기 액체 금속은 바람직하게는 갈륨 및 인듐의 공용 합금이다. 여러 구체예에서 상기 캐리어 매체는 인쇄 가능한 물질의 점도를 조절하기 위해 희석될 수 있는 액체 또는 폴리머일 수 있다. 상기 액체 금속은 원심, 플래너터리(planetary), 및 수동 혼합 및 초음파 혼합을 포함하는 전단력 혼합을 포함하지만 이에 제한되지는 않는 어느 공지된 방법으로도 캐리어 매체 및 금속 입자에 혼합될 수 있다.
- [0017] 한 구체예에서, 회로는 본원에 개시된 방법을 사용하여 타투 전사지, 전사지 또는 수전사 용지(hydrographic paper)에 인쇄될 수 있고 그리고 그 후에 거의 모든 3D 표면에 전사될 수 있다. 이는 바이오모니터링을 위해 회로를 인체에, 또는 플라스틱 부품, 벽, 테이블, 납땀한 전자 장치를 갖는 인쇄된 회로, 또는 3D 인쇄된 부품과 같은 어느 물체에도 전사될 수 있다. 이는 전자 장치와는 상관 없이 부품의 생성 후에 그 위로 전자 회로를 전사하는 것을 가능하게 한다. 다른 구체예에서는 상기 회로가 굽힘성(bendability)을 고려하여 폴리머 기판에도 인쇄될 수 있다. 또 다른 구체예에서는 상기 회로가 종이, 직물, 세라믹, 목재 또는 폼(foam)을 포함하지만 이에 제한되지는 않는 비폴리머 기판에 직접적으로 인쇄될 수 있다.
- [0018] 이 과정은 인몰드(in-mold) 전자 장치를 수반하는 적용, 즉 진공 성형을 거친 부품 위에 전자 장치를 전사하는 것 또는 오직 신축성 잉크로만 작업할 수 있는 유사한 과정에 있어서 특히 흥미롭다. 직물 전자 기술(textile electronics) 및 전송, 바이오모니터링 패치 및 박막 타투 같은 패치, 그리고 박막 배터리, 태양 전지판, 인쇄된 트랜지스터, OLED, 투명 전도성 필름, 초박형 압력 필름(ultrathin pressure films), 인간-기계 상호작용, 인터랙티브 아트, 인쇄된 디스플레이, 상호작용 패키징(interactive packaging) 등과 같은 여러가지 다른 영역에서의 적용 또한 있다.

- [0019] 도 1에 도시된 바와 같이, 한 구체예에서 액체 금속 처리는 타투 스티커 용지에 인쇄된 은 기반의 전도성 잉크 회로의 전도성 및 기계적 변형능을 대폭 향상시킨다. 상기 회로는 AgNP 잉크를 타투 필름(tattoo film)에 인쇄하고, 그런 다음 인쇄된 잉크를 공용 갈륨-인듐(EGaIn)으로 코팅하는 것으로 만들어진다. EGaIn은 상온에서 액상이고 그리고 얇고, 고전도성이며 기계적으로 견고한 반고체의 회로 트레이스를 형성하기 위해 은과 혼합되는 무독성 금속 합금이다.
- [0020] 통상적인 소결과는 대조적으로, 은 나노입자는 Ga가 풍부한 필름에 둘러싸인 AgNP-In-Ga 클러스터로 구성된 이질(heterogeneous) 물질을 형성하기 위해 액체 합금과 상호작용한다. 이 트레이스는 80%까지의 축의 스트레인(axial strain)에 있어서 높은 전기 전도성 및 낮은 전기 기계 결합(게이지율 ~1)을 유지하고 그리고 완전한 전기 또는 기계적 고장 전에 100% 이상의 스트레인을 견딜 수 있다. 생성 과정이 대기 조건 및 불활성 화학 환경에서 실행되기 때문에, 회로는, 예를 들어, 폴리머 박막을 포함하는 넓은 범위의 기판에 인쇄될 수 있다. 이 기법은 미세제조(microfabrication), 박막 금속 적층, 및 석판 인쇄 패터닝의 필요성을 제거하는 것으로 제조 과정을 크게 간소화시킨다. 대신에 Ag 트레이스는 데스크톱 잉크젯 프린터로 인쇄되고, 그런 다음 간단한 적층 및 세척 기법을 사용하여 얇은 층의 EGaIn으로 코팅된다.
- [0021] 도 1A에 도시된 바와 같이, 회로는 다음의 과정 단계로 만들어진다: 제일 먼저, 예를 들어 AgNP 잉크와 같은 전도성 잉크를 포함하는 하나 이상의 전기 트레이스로 이루어진 회로가 폴리머 필름에 적층된다(i). 전기 트레이스의 적층은 어느 방식으로든, 예를 들어 잉크젯 인쇄, 스크린 인쇄, 롤투롤(roll-to-roll) 인쇄, 에어로졸 적층, 밀착 인쇄 또는 스핀 코팅에 의한 균일 박막 적층, 또는 공지되었거나 또는 아직 개발되지 않은 어느 다른 방법으로도 완수될 수 있다. 회로의 초기 인쇄에는 전도성 잉크 또는 페이스트가 사용될 수 있다. 일부 구체예에서 그러한 잉크는 나노입자 또는 마이크로입자 형태의 은, 구리 또는 금, 크기 범위가 1nm에서 1mm에 이르는 플레이크, 와이어, 또는 튜브, 은, 구리 또는 금으로 코팅된 입자 또는 은, 구리 또는 금 염을 포함할 수 있다. 바람직한 구체예에서는 은의 나노입자(AgNP)를 포함하는 전도성 잉크가 사용된다. 본원의 설명을 위해서 AgNP가 사용되기는 하지만, 본 발명이 AgNP 기반의 전도성 잉크를 사용하는 것으로 제한되지 않는다는 것을 인식해야 한다.
- [0022] 그 다음에는 소량의 액체 공용 갈륨/인듐 합금(EGaIn)을 적층시키고(ii) 그리고 보푸라기가 없는 천을 사용하여 회로에 문질러 발라(iii) 회로 전체를 덮는다(iv). 대안적인 구체예에서는 다른 액체 금속을 사용하거나 또는 수동 표면 코팅, 스핀 코팅, 분무 적층, 딥 코팅, 롤투롤 코팅, 나이프 코팅 및 그라비아 코팅을 포함하지만 이에 제한되지는 않는 다른 액체 금속 도포 방법이 사용될 수 있다. 바람직하게는 액체 금속이 50℃ 이하의 온도일 것이다. 본 발명은 예시로 액체 매체를 사용하여 설명하지만, 필요한 성질을 갖는 어느 적합한 액체 금속이라도 사용될 수 있다. 그런 다음에 이전에 회로가 인쇄된 부분을 제외한 회로의 나머지 부분으로부터 액체 금속을 비젯게 하는(dewets) 약한 수용액 또는 염기성 용액, 또는 아세트산 또는 염산 증기(v)와 같은 증기를 적용시키는 것으로 초과로 남은 EGaIn이 제거된다. 완전히 세척된 후(vi), 상기 회로에는 표면 장착 칩이 장착될 수 있다(vii). 최종적인 회로는 그의 캐리어 필름으로부터 탈착되어(viii) 사람 피부와 같은 3D 표면에 전사될 준비가 된다.
- [0023] 여러 구체예에서 액체 금속은 수동 닦기(manual wiping), 가스 압력 또는 유압, 초음파 세척, 산 증기, 산성 또는 염기성 액체 세척 및 전압 적용을 포함하지만 이에 제한되지는 않는 어느 공지된 방법을 사용하여 기판로부터 세척될 수 있다.
- [0024] 일부 구체예에서 액체 금속은 기판은 위는 피하면서 회로의 인쇄된 트레이스 위에 선택적으로 적층될 수 있고, 그러므로 세척 단계의 필요성을 제거한다. 선택적인 적층 방법은 스크린 인쇄, 전기도금, 잉크젯 인쇄 및 밀착 인쇄를 포함하지만 이에 제한되지는 않는, 물질을 선택적으로 적층하는 어느 공지된 방법이라도 될 수 있다.
- [0025] 대안적인 구체예에서는 빈 공간이 없는 한 층의 금속 잉크가 먼저 기판 위에 전체적으로 인쇄되고, 액체 금속의 가득 채운 한 층의 적층이 뒤를 따르고, 그리고 회로의 패터닝을 위한 레이저 어블레이션이 뒤를 따른다.
- [0026] 도 2A에 도시된 바와 같이, EGaIn 적층 전에, AgNP 잉크는 저밀도의 AgNP 및 퍼콜레이션 부족 때문에 비전도성이다. 도 2B에 도시된 바와 같이, EGaIn이 첨가되었을 때, 그는 나노입자가 응집되게 하고 그리고 이어진 금속 필름을 형성하기 위해 틈을 채운다. 인쇄된 Ag-Ga-In 회로 내의 액상 합금의 존재는 회로의 신축성에 기여한다. 도 3에 도시된 바와 같이, EGaIn 적층은 인쇄된 회로에 있어서 3.6에서 $4.85 \times 10^6 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ 으로 용적 전도성의 여섯 크기 정도만큼의 증가 및 박막 회로의 최대 파괴 스트레인이 4.5%에서 118%로 25x 이상의 증가를 야기하는 것으로 관찰되었다. 또한 그러한 회로는 굉장히 유연하고 그리고 도 11에 도시된 것과 같은 너 모형 같이 곡선이고,

두드러진 질감 표현(highly textured)을 갖고, 전개 불가능한 3D 표면에 전사될 수 있을만큼 충분한 스트레인을 지원할 수 있다.

[0027] AgNP-Ga-In 혼합물의 특징 및 구성을 조사하기 위해 주사 전자 현미경(SEM) 및 에너지 분산형 X선 분광법(EDS)이 사용되었다. EGaIn 처리 전과 후의 전도성 잉크의 현미경 사진이 각각 도 4A 및 도 4B에 도시된다. 더 낮은 확대율에서는 전도성 트레이스 내의 많은 수의 작은 금을 명확하게 볼 수 있다. 이 금은 인쇄 후 용매 증발 및 결과로서 발생하는 잉크의 수축으로 인해 타투 필름에 형성된다. 그러나 도 4B에 도시된 바와 같이 대부분의 작은 금은 처리 후에 액체 금속으로 완전히 채워진다.

[0028] 도 5A 및 도 5B에서 더 높은 확대율에서 관찰할 수 있는 바와 같이, 액체 금속은 AgNP가 개별 입자보다 적어도 5x 더 큰 골재로 클러스터되는 것 또한 야기한다. 이 골재는 향상된 전반적인 전도성에 기여할 수 있는 증가된 표면 조도를 갖는 연결된 덩어리를 형성한다. 도 6을 참조하면, 25 μ m 길이의 스캔 선(scanning line)으로 실행된 EDS 분석은 Ag 및 In 농도 프로파일은 서로 유사하지만 Ga 프로파일에 관해서는 반대라는 것을 보여준다. 특히 흰색 영역에서 많은 양의 Ag 및 In과 적은 양의 Ga가 발견되는데, 이는 AgNP-Ga-In 클러스터의 위치와 일치한다. 그에 반해서 클러스터 바깥의 회색 영역에서는 고농도의 Ga가 감지된다. 이미지 상에서 흰색 및 회색 영역 모두 인쇄된 AgNP-Ga-In 트레이스 내에 위치한다는 것에 주목해야 한다. EDS 분석은 Ga가 풍부한 영역 내에서 Ga:In 비율이 ~3:1(즉 원래의 EGaIn 합금의 것과 유사하다)인 반면, AgNP-Ga-In 클러스터에서는 약 1:2인 것을 입증한다.

[0029] 큰 기계적 변형 하의 전도성 AgNP-Ga-In의 기능성은 박막 폴리머 기판에 인쇄된 전도성 트레이스를 널리 쓰이는 실리콘 기반의 유기 폴리머인 폴리디메틸실록산(PDMS)의 두 개의 층 사이에 넣고, 그리고 그를 표준 "도그 본(dogbone)" 모양으로 절단하는 것으로도 입증될 수 있다. 그런 다음에 사람 피부로 전자 문신을 전사하는 기계 부하 조건을 복제하기 위해 표본에 단축 인장 부하가 가해진다. 도 7에 도시된 바와 같이, 상기 표본은 80%까지 그리고 그 이상의 적용된 스트레인 하에서도 높은 전기 전도성을 유지하고 그리고 반복 가능하고 신뢰할 수 있는 전기 기계 반응을 보인다. 그러나 일부 경우에는 표본의 실패 스트레인(failure strains)이 동일한 부하 조건 및 생성 과정에서 최대 118%까지 측정되었다. 인장 시험의 속도를 변경하거나 또는 상이한 너비의 전도성 트레이스를 사용하는 것은 전도성 AgNP-Ga-In 트레이스의 전기 기계 반응에 오직 작은 영향만을 미쳤다. 지속적인 기계적 주기 중에 계속 전기 전도성이고 그리고 적절한 전기 기계 결합을 유지하는 표본의 능력은 이 전자 문신이 인체에 일상적으로 사용되기에 충분한 내구성을 가질 수 있다는 것을 시사한다.

[0030] 상기 회로는 수전사를 사용하여 3D 물체에 배치될 수 있다. 회로가 배치된 3D 인쇄된 손 모형이 도 8에 도시된다. 도 9에 도시된 바와 같이 사람 팔에 배치되어 상기 회로가 비주얼 디스플레이 및 전력 조절을 위한 온보드(on-board) 마이크로 전자 칩을 가진 전자 문신으로서 기능하는 것 또한 가능하다. 도 10은 3D 인쇄된 물체 위에 배치된 회로를 도시한다. 또한 도 11A에 도시된 바와 같이, 초박형 전도성 트레이스의 신축성은 LED가 탑재된 질감 표현이 강한 뇌 모형에서도 입증된다. 도 11B에 도시된 바와 같이, 폼을 쥐어짜듯이 쥐는 것은 회로를 변형시키지만, LED의 작동에 지장을 주지 않아 기능이 유지된다. 이 회로는 신축성 AgNP-Ga-In 전도체의 기계적 견고함과 기능성을 입증하는 예시 중 극히 일부일 뿐이다.

[0031] 본원에는 연성이며 신축성이 있는 박막 전기 장치를 빠르게 만드는 기법이 개시된다. 회로는 기계적으로 견고한 전도성 트레이스를 형성하기 위해 상온에서 공용 갈륨-인듐 합금(EGaIn)과 상호작용하는, 잉크젯으로 인쇄되는 나노입자로 생성된다. EGaIn 코팅을 사용하여, 상기 트레이스는 전기 전도성에서 $\times 10^6$ 증가를 보이고 그리고 80% 스트레인까지 구부러지거나 늘어났을 때 낮은 트레이스 저항을 유지한다. PDMS와 같은 연성 엘라스토머 기판에서 상기 트레이스는 수백 회의 부하 주기 동안 변함없는 적절한 전기 기계 반응(예를 들어 50% 스트레인에서 전기 저항의 50% 증가; 게이지율 ~1)을 보인다.

[0032] 타투 스티커 용지에 인쇄되었을 때, 상기 회로는 수전사를 사용하여 3D 표면에 배치되거나 또는 전자 문신으로서 피부에 할 수 있다. 상기 회로는 늘어날 수 있기 때문에 고도로 굽어 있거나 또는 전개 불가능(예를 들어 구체의) 표면에 전사되거나 또는 상당한 스트레인을 겪는 신체의 일부분에 배치될 수 있다. 또한 신축성 전자 장치(예를 들어 전도성 엘라스토머, 물결모양(wavy) 회로, EGaIn 미세유체학 등)에 대한 다른 접근법과는 달리, 박막 회로는 통상의 잉크젯 프린터를 사용하여 생성될 수 있다. 이 새로운 방법은 이전에 볼 수 없었던 연성 피부 부착(on-skin) 전자 장치의 사용자 조정 자유도가 높고(highly customized) 그리고 실현 가능한 생성 기법으로 이어진다. 앞으로의 노력은 다양한 기판에 인쇄된 AgNP-Ga-In 회로의 더 나아간 원소 및 지형의 특성화, 최대 신축성 및 전도성을 달성하기 위한 AgNP 인쇄, 적층, 및 세척 기법의 최적화, 전사 기법의 최적화, 그리고 바이오모니터링을 위해 신체에 부착되고 그리고 상호적인 HMI를 위해 3D 표면 위에 배치되는 일련의 박막 전자

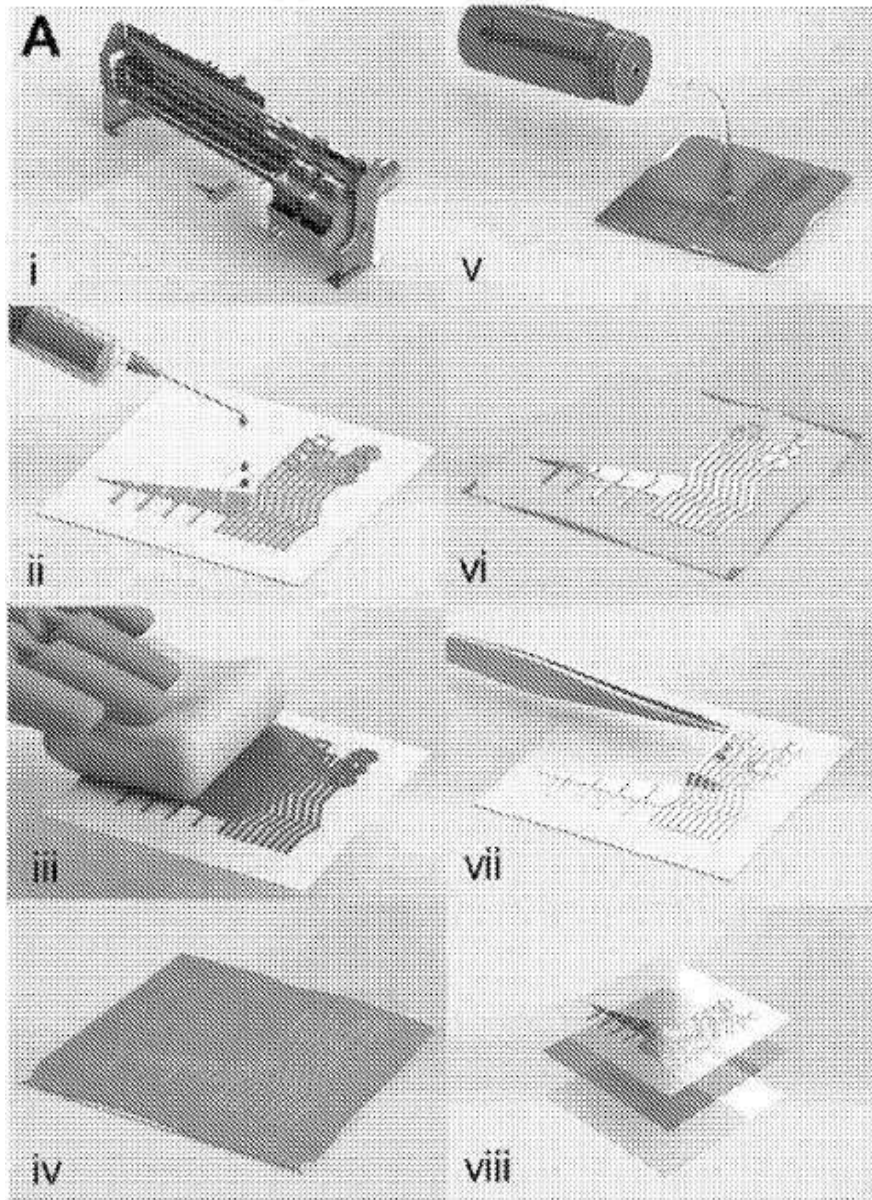
피부(e-skin)의 시범에 집중할 것이다.

[0033]

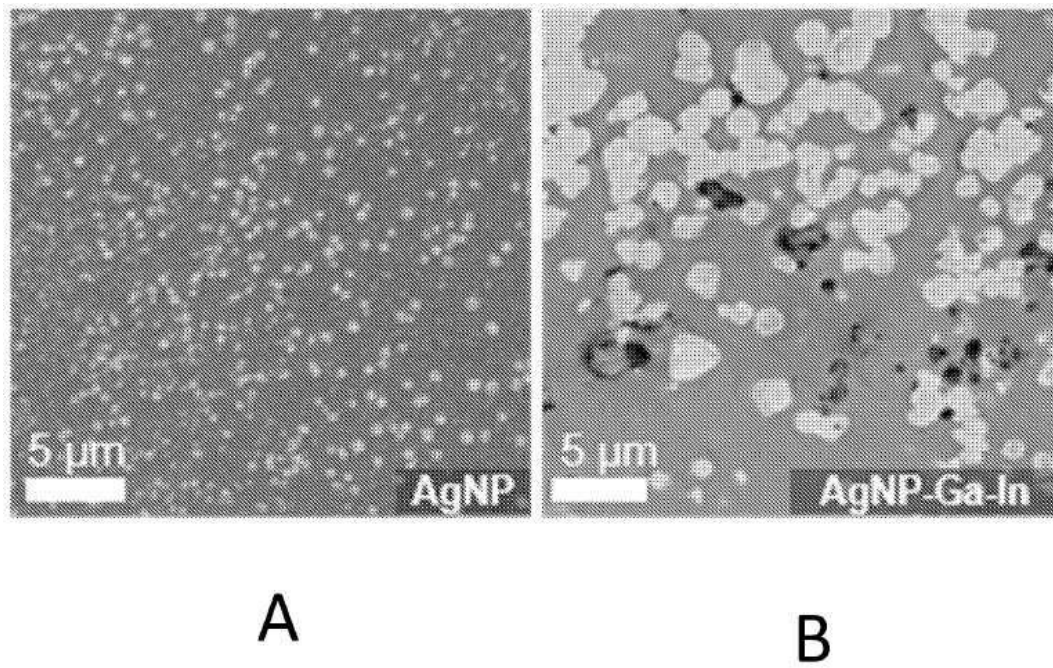
본 발명의 범위는 본 발명을 설명하기 위해 본원에 제공된 어느 예시에 제한되는 것으로 여겨져서는 안 되고, 하기의 청구항의 범위로 정의되는 것이다.

도면

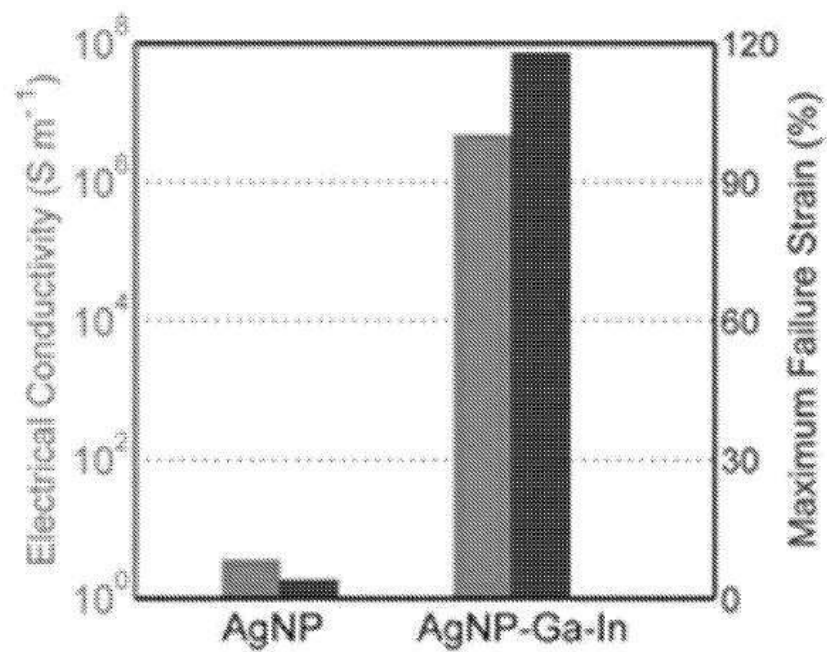
도면1



도면2

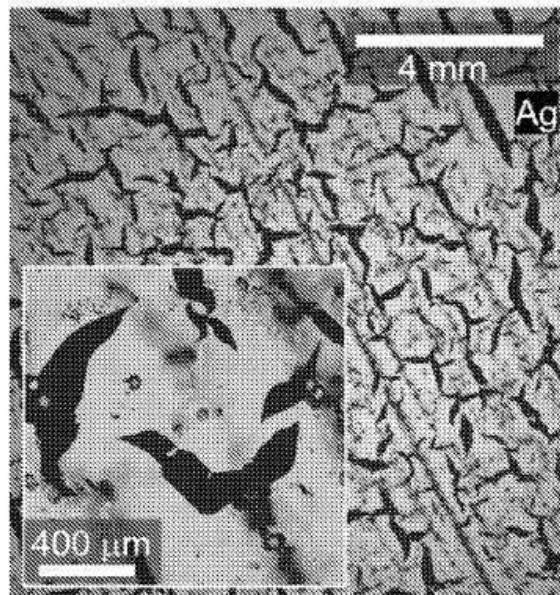


도면3

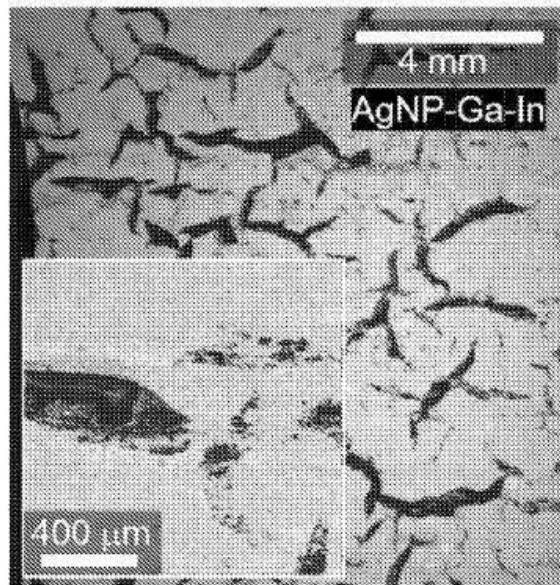


도면4

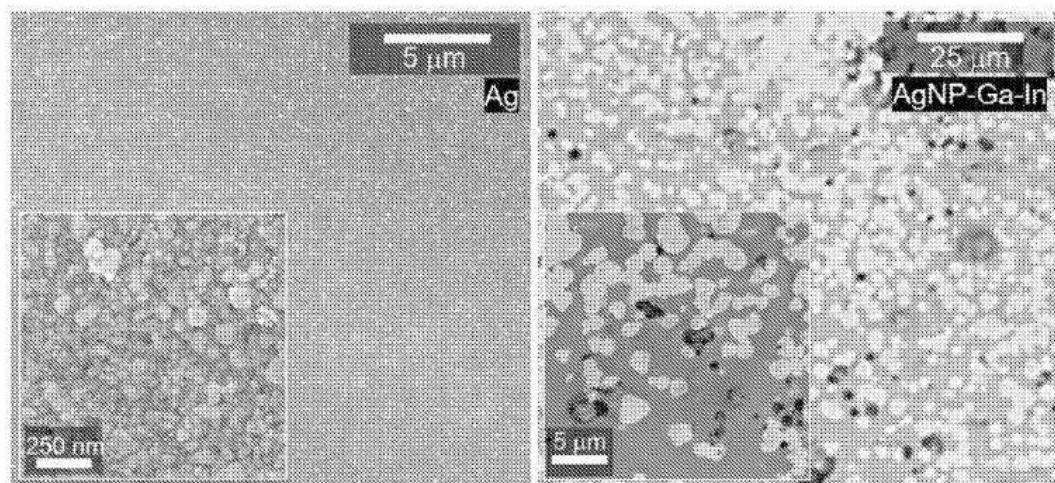
A



B



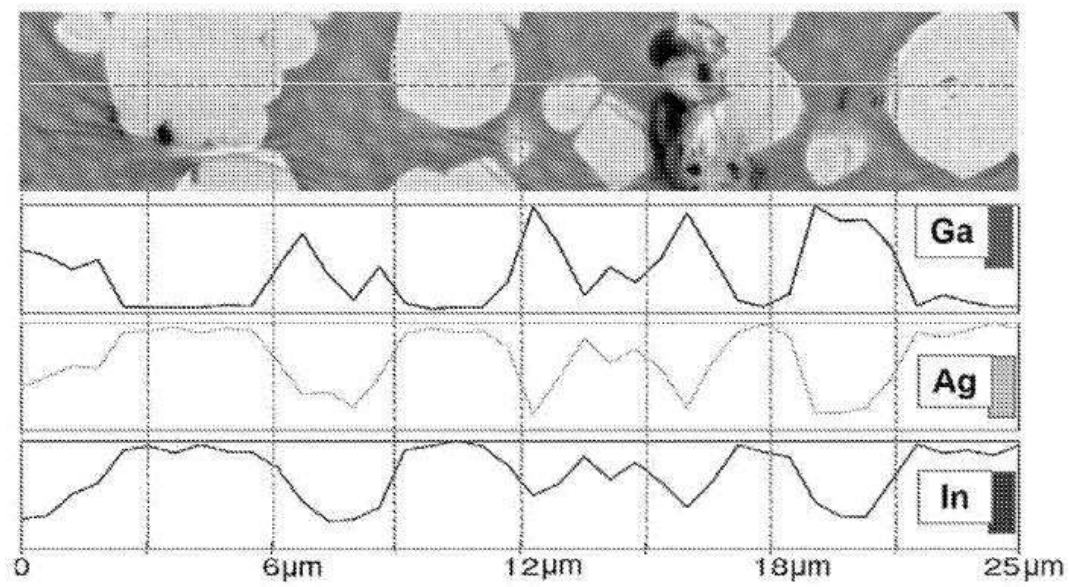
도면5



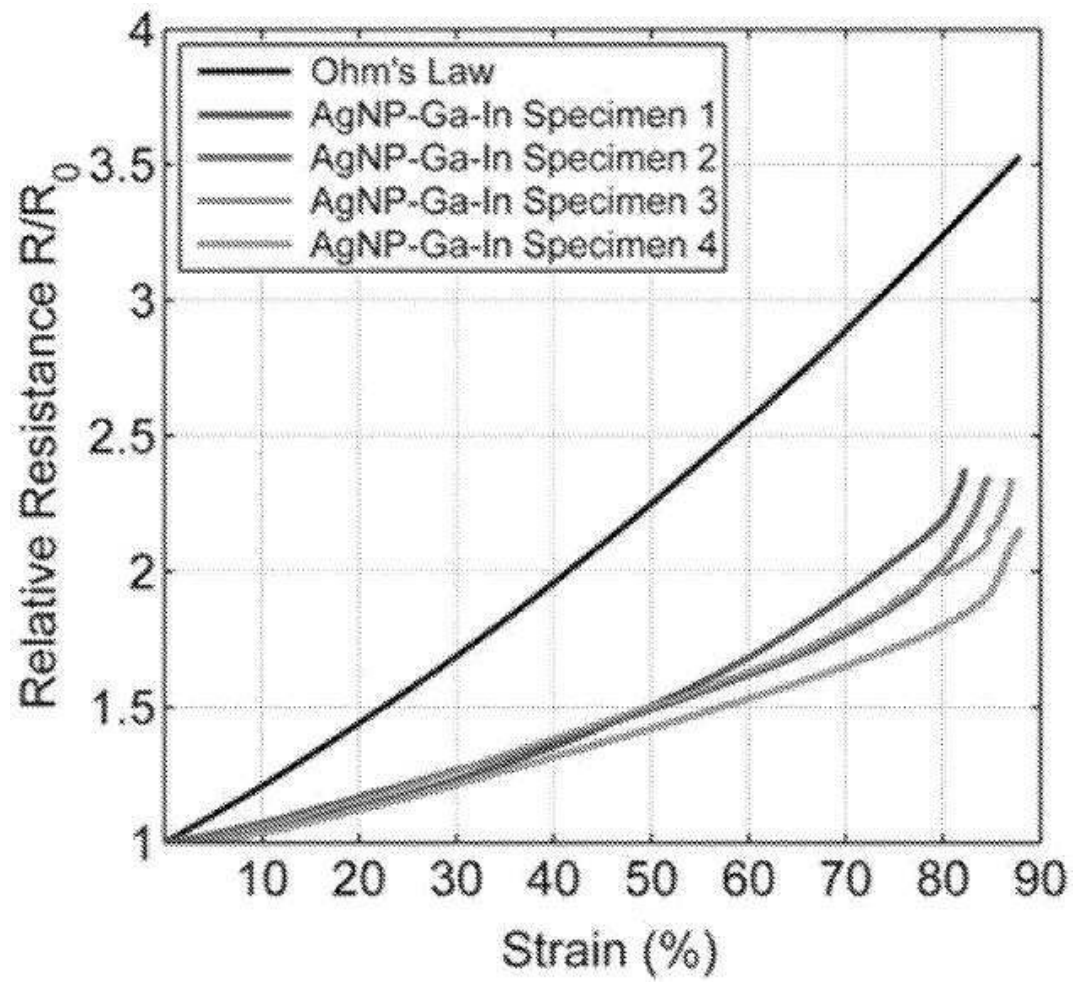
A

B

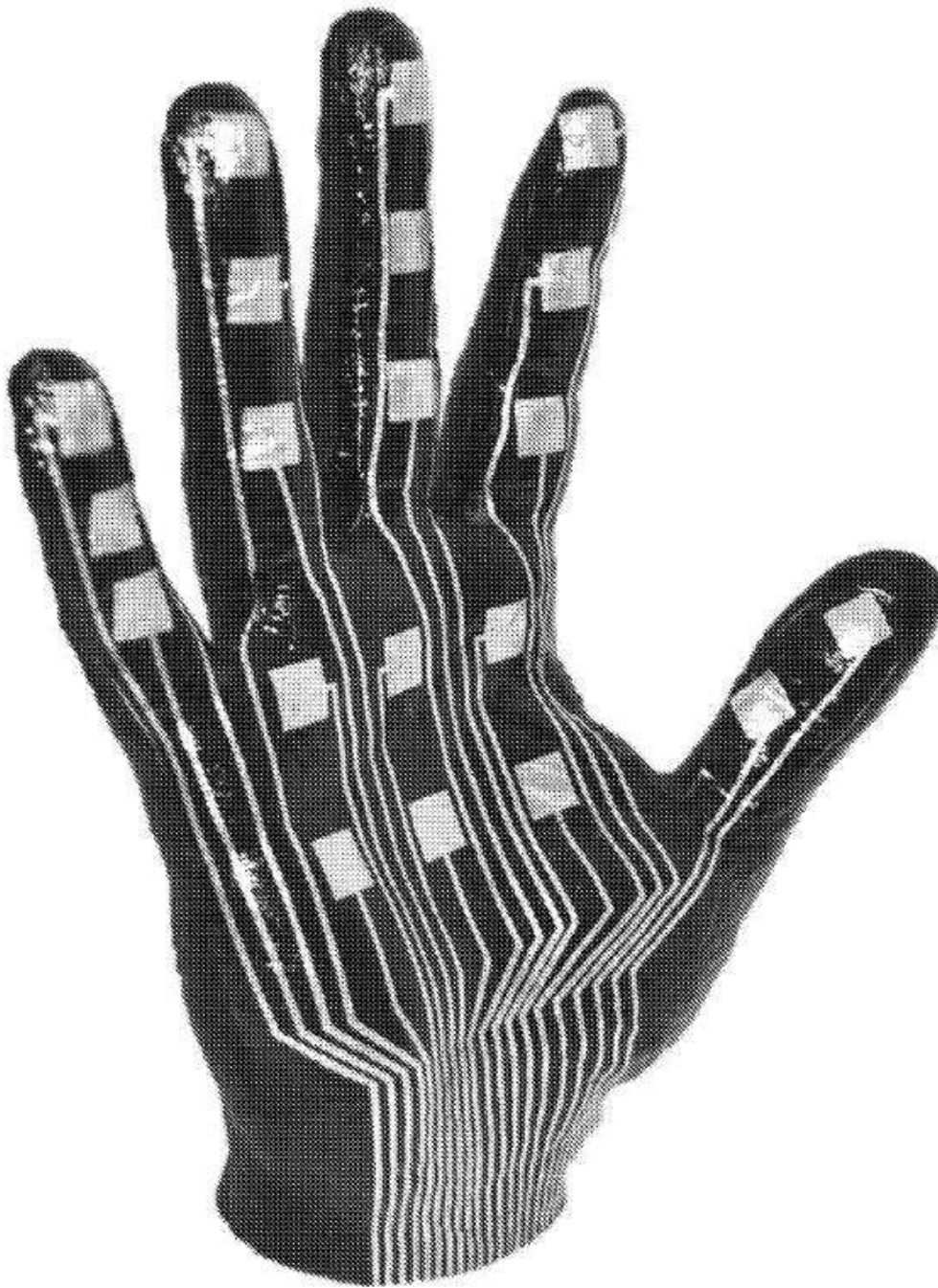
도면6



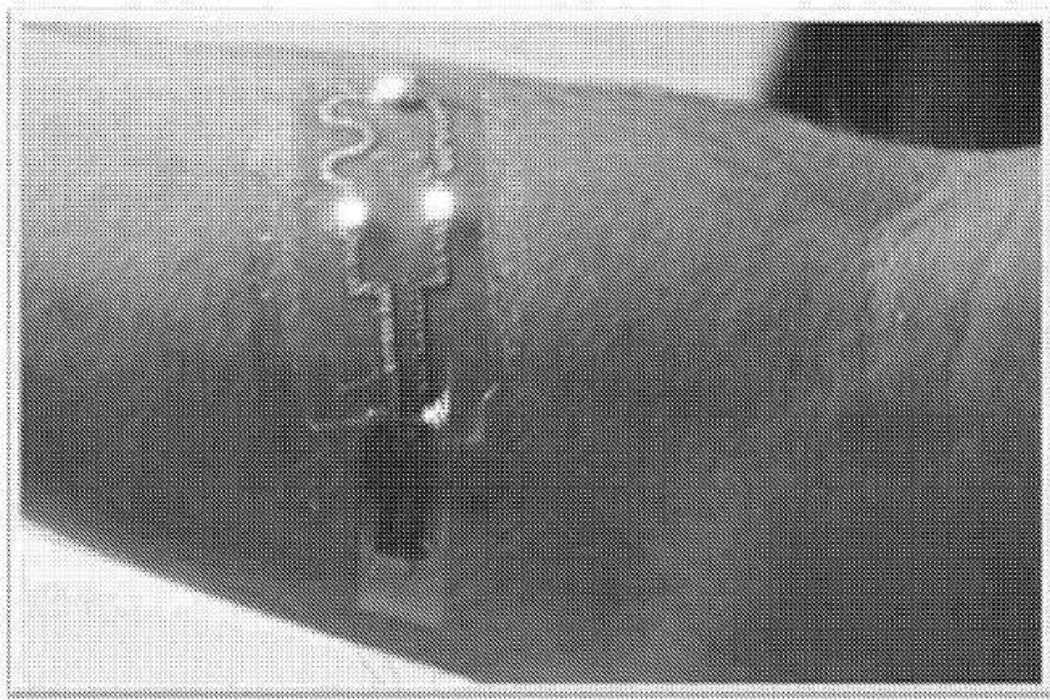
도면7



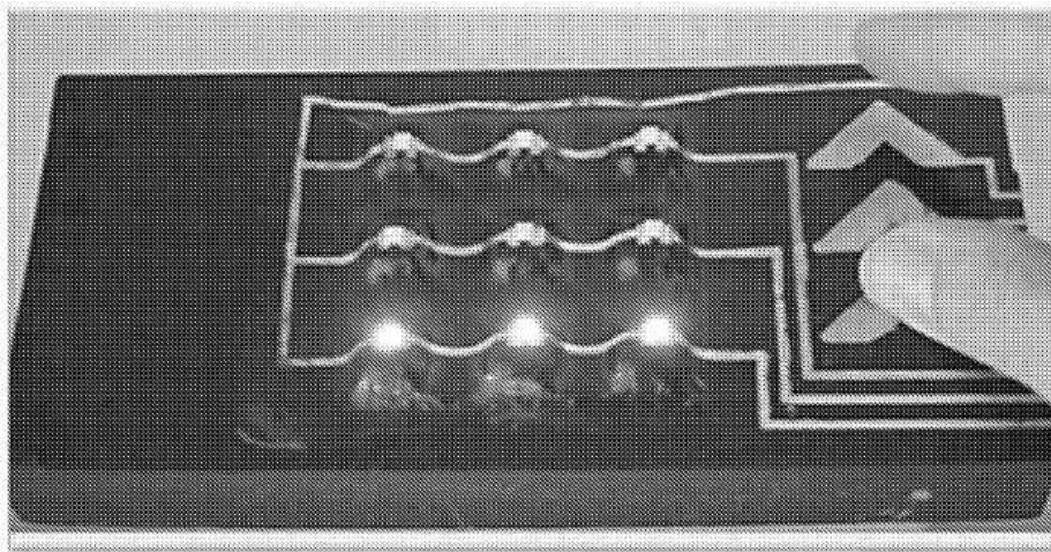
도면8



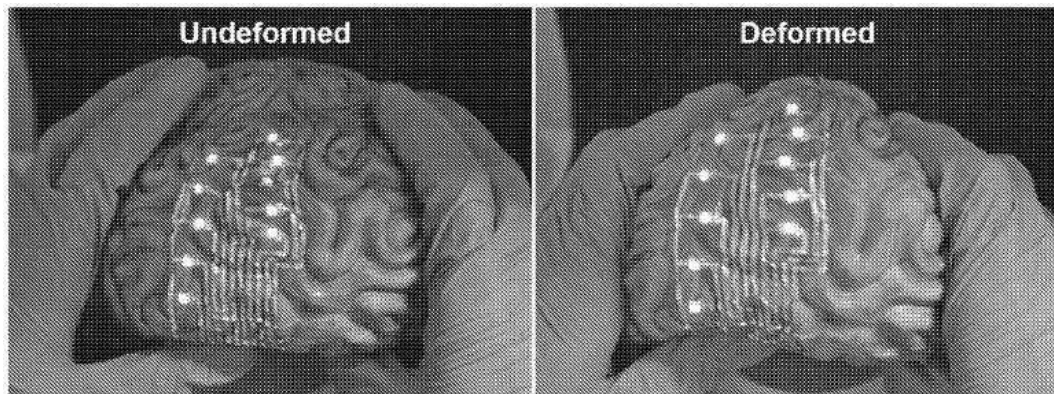
도면9



도면10



도면11



A

B