



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0150185
(43) 공개일자 2024년10월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C08J 5/18 (2006.01) C08J 3/09 (2006.01)
C08J 3/28 (2006.01) C08L 1/28 (2006.01)
H05K 3/14 (2006.01)

(52) CPC특허분류

C08J 5/18 (2021.05)
C08J 3/091 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0046158

(22) 출원일자 2023년04월07일

심사청구일자 2023년04월07일

(71) 출원인

인천대학교 산학협력단

인천광역시 연수구 갯벌로 27, 인천대학교 이노베이션센터(송도동)

(72) 발명자

송영준

인천광역시 연수구 신송로118번길 6, 110동 1003호

(74) 대리인

차준용

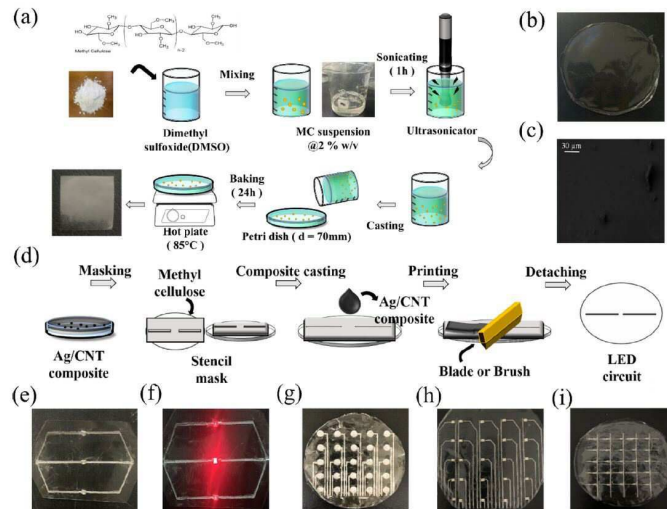
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 FPCB 용 셀룰로오스 기반-기판 제조방법 및 상기 제조방법에 의하여 제조된 기판

(57) 요약

본 발명은 FPCB 용 셀룰로오스 기반-기판 제조방법 및 상기 제조방법에 의하여 제조된 기판에 관한 것으로, 구체적으로 메틸셀룰로오스(MC)를 비양성자성 극성 용매에 용해시켜 메틸셀룰로오스(MC) 현탁액을 제조하는 단계; 초음파를 처리하는 단계; 및 상기 현탁액을 기판에 캐스팅하고 상기 용매를 증발시키는 단계를 포함하는, FPCB 용 셀룰로오스 기반-기판 제조방법 및 상기 제조방법에 의하여 제조된 FPCB 용 셀룰로오스 기반-기판에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C08J 3/28 (2013.01)

C08L 1/286 (2013.01)

H05K 3/146 (2013.01)

C08J 2301/28 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711180147
과제번호	2021R1A4A3031992
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	기초연구실
연구과제명	DNA 중앙연산처리장치 칩 개발
기 여 율	0.5/1
과제수행기관명	인천대학교
연구기간	2021.06.01 ~ 2024.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711188092
과제번호	2021R1C1C1009300
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	우수신진연구
연구과제명	전기유도 유전자 합성 시스템 구현을 통한 Random Access DNA 컴퓨터 및 메모리 시스템 개발
기 여 율	0.5/1
과제수행기관명	인천대학교
연구기간	2021.03.01 ~ 2025.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

메틸셀룰로오스(MC)를 비양성자성 극성 용매에 용해시켜 메틸셀룰로오스(MC) 현탁액을 제조하는 단계;

초음파를 처리하는 단계; 및

상기 현탁액을 기관에 캐스팅하고 상기 용매를 증발시키는 단계를 포함하는, FPCB 용 셀룰로오스 기반-기관 제조방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 메틸셀룰로오스(MC)는 27 ~ 32wt%의 메틸기 치환도를 갖는 것을 특징으로 하는, FPCB 용 셀룰로오스 기반-기관 제조방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 비양성자성 극성 용매는 다이옥산, 테트라하이드로퓨란(THF), 아세톤, 디메틸 설펍사이드(DMSO), 디메틸포름아마이드(DMF) 및 1-메틸-2-피롤리돈(NMP) 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는, FPCB 용 셀룰로오스 기반-기관 제조방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 메틸셀룰로오스(MC)는 1 ~ 10%w/v의 함량으로 비양성자성 극성 용매에 용해되는 것을 특징으로 하는, FPCB 용 셀룰로오스 기반-기관 제조방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 용매를 증발시키는 단계는 70 ~ 90℃의 온도에서 12 ~ 36시간 수행되는 것을 특징으로 하는, FPCB 용 셀룰로오스 기반-기관 제조방법.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 제조방법에 의하여 제조된, FPCB 용 셀룰로오스 기반-기관.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 FPCB 용 셀룰로오스 기반-기관의 두께는 100 ~ 300um인 것을 특징으로 하는 FPCB 용 셀룰로오스

기반-기판.

청구항 8

제1항 내지 제5항 중 어느 한 제조방법에 의하여 제조된 FPCB 용 셀룰로오스 기반-기판; 및
상기 기판 상에 형성된 전도성 회로 패턴부를 포함하는 연성회로기판(FPCB).

청구항 9

제8항에 있어서,
상기 전도성 회로 패턴부는 Au, Ag, Cu, AlN, BN, Si₃N₄, Al₂O₃, SiO₂, ZnO, MgO, CNT(Carbon Nano Tube), Carbon Fiber 중에서 선택된 하나 이상의 물질로 이루어진 것을 특징으로 하는 연성회로기판(FPCB).

청구항 10

제8항에 있어서,
상기 전도성 회로 패턴부는 Ag 및 CNT(Carbon Nano Tube)의 복합체로 이루어는 것을 특징으로 하는 연성회로기판(FPCB).

청구항 11

제10항에 있어서,
상기 CNT(Carbon Nano Tube)는 직경 7-15 nm 및 길이 0.5-10 μm인 것을 특징으로 하는 연성회로기판(FPCB).

청구항 12

제10항에 있어서,
상기 CNT(Carbon Nano Tube)는 복합체 총 중량 대비 3 ~ 20 wt% 포함되는 것을 특징으로 하는 연성회로기판(FPCB).

청구항 13

제1항 내지 제5항 중 어느 한 제조방법에 의하여 FPCB 용 셀룰로오스 기반-기판을 제조하는 단계;
상기 기판 상에 전도성 회로 패턴부를 증착하는 단계를 포함하는 연성회로기판(FPCB) 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 FPCB 용 셀룰로오스 기반-기판 제조방법 및 상기 제조방법에 의하여 제조된 기판에 관한 것으로, 구체적으로 메틸셀룰로오스(MC)를 비양성자성 극성 용매에 용해시켜 메틸셀룰로오스(MC) 현탁액을 제조하는 단계; 초음파를 처리하는 단계; 및 상기 현탁액을 기판에 캐스팅하고 상기 용매를 증발시키는 단계를 포함하는, FPCB 용 셀룰로오스 기반-기판 제조방법 및 상기 제조방법에 의하여 제조된 FPCB 용 셀룰로오스 기반-기판에 관한 것이다.

배경 기술

[0001]

[0002] 전자 장치의 셀룰로오스 기반 기판은 독성이 없고 환경 친화적인 특성으로 인해 다양한 회로 응용 분야의 중점이었다. 셀룰로오스를 기반으로 하는 종이 전자공학은 일회용성, 저비용, 취급 용이성, 분해성 등 다양한 이점이 있다. 예를 들어 접을 수 있고 유연성이 있는 표준 복사 용지의 전도성 잉크 회로는 공예 및 종이 접기에 전기적 특성을 제공한다. 또한 종이 전자 장치는 슈퍼 커패시터, 충전식 배터리, 센서 및 액추에이터, 진단 장치 및 미세 유체 시스템을 포함한 다양한 응용 분야에서 사용이 입증되었다. 최근 몇 년 동안 나노구조를 통한 독특한 광학적 투명성 특성으로 인해 셀룰로오스 기판에 초점이 맞춰졌다. TEMPO-산화된 셀룰로오스 나노섬유와 결정질 셀룰로오스로 만들어진 투명 기판은 종이 제조 공정과 유사한 핫 프레싱으로 제조된다. 그러나 메틸셀룰로오스(MC), 니트로셀룰로오스(NC)와 같은 다른 투명한 셀룰로오스 기반 기판은 용매 증발 공정으로 제조되므로 비용과 시간 면에서 다양한 이점이 있다.

[0003] 이러한 투명 셀룰로오스 기반 기판은 유연하고 투명한 전극, 태양 전지 및 유기 트랜지스터와 같은 다양한 응용 분야에 대해 조사되었다. 얇은 폴리머 필름 구조와 전도성 나노물질(탄소 나노튜브(CNT), Ag 나노와이어(NW), CuNW 및 전도성 폴리머)의 침투 네트워크로 인해 이러한 기판은 전도성 및 투명성과 함께 유연성을 나타낸다. 투명한 셀룰로오스 기반 기판의 고분자 태양 전지는 기판의 헤이즈 증가로 인해 증가된 양자 수율을 나타낸다. 유연하고 투명한 트랜지스터는 CNT와 전도성 폴리머를 사용하여 제작되었다. 게다가 셀룰로오스 기반 기판의 기계적 특성으로 인해 절단, 굽힘 및 접기와 같은 작업을 쉽게 처리할 수 있다.

[0004] 산업 및 학술 연구에서 전자 회로의 유연성은 벤딩 스마트폰 및 웨어러블 장치와 같은 응용 분야에서 중요한 역할을 한다. 폴리이미드(PI) 기판은 연성 인쇄 회로 기판(FPCB) 제조에 널리 사용된다. FPCB는 심전도 및 근전도 검사를 수행하기 위해 신체 신호를 감지할 수 있는 웨어러블 장치용으로 광범위하게 개발되고 있다. 또한 FPCB의 유연성은 소프트 로봇에 안정적인 전기적 성능을 제공한다. 현재 FPCB의 고해상도 패터닝은 이러한 고급 응용 분야를 위한 FPCB 제조를 위해 포토리소그래피를 통해 수행되고 있다. 이 제조 공정은 FPCB의 고급 최소 기능 크기를 제공한다. 이를 통해 다른 기판의 이중층 회로를 제작할 수 있으며, 비아 홀을 통해 바닥층에 전기적으로 연결된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-2147199호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 연구에서는 이중층 MC 기판을 기반으로 한 웨어러블 터치 패널 및 디스플레이 어레이의 제작을 보고한다. MC 기판의 물성은 XRD(X-ray diffraction) 및 FTIR(Fourier transform infrared spectroscopy)을 사용하여 조사되었다. 기판의 기계적 안정성은 응력-변형률 곡선과 변형률에 대한 저항비(R/R_0)를 측정하여 조사했다. 또한, 두께가 다른 MC 기판의 정전용량으로부터 유전율을 평가했다. 기계적 응력 하에서 Ag/CNT 복합 전극을 사용한 기판의 전기적 성능을 분석하기 위해 굽힘 및 비틀림 응력에 대한 전류-전압(I-V) 곡선과 저항 비율을 측정했다. Ag/CNT 전극을 웨도우 마스크를 사용하여 기판에 패터닝하고 LED를 회로 패턴에 이식했다. LED 회로 패턴은 5 X 5 LED 어레이로 확장되어 영문자를 표시하도록 작동할 수 있다. 웨어러블 장치를 제작하기 위해 MC 홀 커버 레이어의 5X5 링 Ag/CNT 상호 연결 전극 패턴을 다른 5X5 Ag/CNT 상호 연결 전극 패턴 위에 적층했다. 웨어러블 장치는 사람의 손목에 착용하는 터치 커패시턴스 센서 패널로 구성된다. MC층에 작은 비아 홀을 이용하여 이중층 LED 회로를 제작한 후 주사전자현미경(SEM)으로 분석하였다. 이중층 5X5 LED 어레이를 제조하기 위해 비아 홀 층을 Ag/CNT 복합 전극과 정렬하였다. 마지막으로 마이크로 프로세서와 개인용 컴퓨터 시스템을 사용하여 터치 패널과 LED 디스플레이를 연결했다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일실시예에 따르면, 메틸셀룰로오스(MC)를 비양성자성 극성 용매에 용해시켜 메틸셀룰로오스(MC) 현탁액을 제조하는 단계; 초음파를 처리하는 단계 및 상기 현탁액을 기판에 캐스팅하고 상기 용매를 증발시키는 단계를 포함하는 FPCB 용 셀룰로오스 기반-기판 제조방법을 제공한다.

- [0008] 상기 메틸셀룰로오스(MC)는 27 ~ 32wt%의 메틸기 치환도를 갖는 것을 특징으로 한다. 이와 같은 치환도로 인하여 상기 메틸셀룰로오스는 EtOH 또는 IPA에 대해서는 불용성인 특징을 나타내며, 상기 상기 메틸셀룰로오스(MC)를 용해시키기 위해서는 비양성자성 극성 용매를 사용한다.
- [0009] 상기 비양성자성 극성 용매는 다이옥산, 테트라하이드로퓨란(THF), 아세톤, 디메틸 설펍사이드(DMSO), 디메틸포름아마이드(DMF) 및 1-메틸-2-피롤리돈(NMP) 중 어느 하나인 것을 특징으로 하며, 바람직하게는 디메틸 설펍사이드(DMSO)이다.
- [0010] 상기 메틸셀룰로오스(MC)는 1 ~ 10%w/v, 1 ~ 9%w/v, 1 ~ 8%w/v, 1 ~ 7%w/v, 1 ~ 6%w/v, 1 ~ 5%w/v, 1 ~ 4%w/v, 1 ~ 3%w/v 또는 1 ~ 2%w/v의 함량으로 비양성자성 극성 용매에 용해되는 것을 특징으로 한다.
- [0011] FPCB 용 셀룰로오스 기반-기판 제조방법에서, 상기 용매를 증발시키는 단계는 70 ~ 90℃의 온도에서 12 ~ 36시간 수행되는 것을 특징으로 하며, 바람직하게는 85℃의 온도에서 20 ~ 30시간 수행될 수 있다.
- [0012] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 상기 제조방법에 의하여 제조된 FPCB 용 셀룰로오스 기반-기판을 제공한다.
- [0013] 상기 FPCB 용 셀룰로오스 기반-기판의 두께는 100 ~ 300μm인 것을 특징으로 한다. 다양한 두께의 MC 기판의 변형률(mm/mm)에 대한 저항비(R/R₀)를 측정한 결과, 다양한 두께(100 μm, 200 μm, 300 μm)를 가진 MC 기판 위의 전극은 0.08mm/mm의 변형률까지 안정적인 회로를 위해 사용될 수 있음을 확인하였다.
- [0014] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 상기 제조방법에 의하여 제조된 FPCB 용 셀룰로오스 기반-기판 및 상기 기판 상에 형성된 전도성 회로 패턴부를 포함하는 연성회로기판(FPCB)을 제공한다.
- [0015] 상기 전도성 회로 패턴부는 Au, Ag, Cu, AlN, BN, Si₃N₄, Al₂O₃, SiO₂, ZnO, MgO, CNT(Carbon Nano Tube), Carbon Fiber 중에서 선택된 하나 이상의 물질로 이루어진 것을 특징으로 하고, 바람직하게 상기 전도성 회로 패턴부는 Ag 및 CNT(Carbon Nano Tube)의 복합체로 이루어는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 상기 CNT(Carbon Nano Tube)는 직경 7-15 nm 및 길이 0.5-10 μm인 것을 특징으로 하고, 상기 CNT(Carbon Nano Tube)는 복합체 총 중량 대비 3 ~ 20 wt% 포함되는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 본 발명의 또 다른 실시예에 따르면, 상기 제조방법에 의하여 FPCB 용 셀룰로오스 기반-기판을 제조하는 단계 및 상기 기판 상에 전도성 회로 패턴부를 증착하는 단계를 포함하는 연성회로기판(FPCB) 제조방법을 제공한다.

발명의 효과

- [0018] 본 발명의 FPCB 용 셀룰로오스 기반-기판 제조방법은 이중층 회로를 쉽게 제작하는데 적용할 수 있고, 본 발명의 제조방법에 의하여 제조된 기판의 경우 유전율이 높고, 셀룰로오스의 생분해성으로 인해 환경 오염의 우려가 적고, 무독성이라는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1a MC 기판의 제조 공정. b 투명한 MC 기판의 이미지. c MC 기판의 SEM 이미지. d Ag/CNT 전극의 제조 공정. e-f e를 ㄷ고 f를 ㄴ 병렬 LED 회로의 이미지. g-i 단층 및 이중층 회로의 이미지.
- 도 2 a XRD 패턴과 b MC 기판의 FTIR 스펙트럼.
- 도 3 a는 다양한 두께의 MC 기판의 응력-변형률 곡선과 b 저항비-변형률 곡선.
- 도 4 커패시턴스 측정 절차. b MC 기판 두께에 대한 커패시턴스 및 유전 상수 그래프.
- 도 5a MC 기판 위의 Ag/CNT 합성물의 개략도. b MC 기판의 Ag/CNT 복합 재료의 SEM 이미지. c Ag / CNT 복합 회로의 I-V 곡선. d 굽힘 각도 및 e 비틀림 각도에 대한 저항 비율의 d-e 그래프.
- 도 6a LED 회로의 제작 과정. b LED 회로의 이미지. c-f LED 회로의 광학 현미경 이미지. g-j LED 회로의 SEM 이미지.
- 도 7a 5X5 LED 회로의 제작 과정. b 5 X 5 LED 회로의 이미지. c-d LED 회로 작동 이미지.
- 도 8a 더블 레이어 터치 센서 패널의 다이어그램. b 센서, Arduino 보드 및 MFC 디스플레이 간의 통신 프로세스. c-d 터치 조작 및 디스플레이 이미지.
- 도 9a 비아 홀이 있는 이중층 LED 회로 다이어그램. b 비아홀이 있는 회로의 이미지. c-d SEM 이미지 및 e-f 상

단 보기 및 측면 보기에서 비아 홀이 있는 이중 레이어 회로의 SEM 이미지 확대도.

도 10a 상단 및 하단 기관의 다이어그램 및 b 이미지. c LED로 조립된 레이어. d 비아 홀의 다이어그램 및 이미지. e Arduino 보드, MFC 프로그램 및 LED 디스플레이 간의 통신 프로세스 f-h LED 디스플레이 작동 이미지.

도 11a는 이중층 회로, MFC 프로그램 및 Arduino 보드 간의 통신 프로세스. b-e 통신 시스템 작동 이미지.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 이하 본 발명에 대하여 구체적으로 상세히 설명하고자 한다. 본 명세서에서 사용되는 용어는 따로 정의하지 않는 경우 해당 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 일반적으로 이해하는 내용으로 해석되어야 할 것이다.

[0021] 본 명세서의 도면 및 실시예는 통상의 기술자가 본 발명을 쉽게 이해하고 실시하기 위한 것으로 도면 및 실시예에서 발명의 요지를 흐릴 수 있는 내용은 생략될 수 있으며, 본 발명이 도면 및 실시예로 한정되는 것은 아니다.

<실시예>

1. 제조

[0025] MC 분말(4%~12% 하이드록시프로필) 및 디메틸 설펝사이드(DMSO)는 Sigma-Aldrich(미국)에서 구입했다. 20 중량% 현탁액의 경우, MC와 DMSO를 각각 1:5 비율로 혼합하고 Powersonic 510 sonicator(Hwashin Tech, South Korea)에서 1시간 동안 초음파 처리했다. 99% grade EtOH(Sigma-Aldrich, USA) 및 이소프로필 알코올(IPA, ACS Material, USA) 등 다양한 용매를 사용하여 용매 혼합 공정을 통해 다양한 현탁액에서 MC의 용해도를 모니터링 하였다.

[0026] 현탁액을 직경 70mm의 평평한 페트리 접시(4science, 한국)에 부은 후, 샘플을 MS300HS 핫플레이트(iNtRON Biotechnology, 한국)에서 85℃에서 24시간 동안 건조시켰다. 샘플이 완전히 건조된 후, 페트리 접시에서 실험실 책상으로 옮겨지고 1시간 동안 실온에서 유지되었다. 전기 회로의 경우, Ag/CNT 복합체는 Elcoat P-100 Ag 전도성 잉크(Cans Co, USA)와 직경 7-15 nm 및 길이 0.5-10 μm의 CNT(Sigma-Aldrich, USA)로 구성되었다. Ag와 CNT를 IPA에서 20:1 비율로 혼합하고 1시간 동안 초음파 처리했다. 그런 다음 복합 용액을 85℃의 핫플레이트에서 30분 동안 건조시켰다.

2. 회로 제작

[0029] 레드, 오렌지, 블루 SMD(Surface Mount Device) 타입 LED 부품은 Device Mart(대한민국)에서 구입하였다. 회로 패턴은 AutoCAD 2020(Autodesk, USA)을 사용하여 설계하였다. 웨도우 마스크는 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET) 필름(4science, 한국)을 L3020 레이저 절단기(Rexbot, 한국)를 사용하여 절단했다. 회로의 경우 Ag/CNT 합성물을 PET 마스크를 사용하여 MC 기관에 증착했다. 패턴 해상도를 향상시키기 위해 양면 테이프(3M, USA)를 사용하여 마스크를 기관에 부착했다. 기관에서 PET 마스크를 제거한 후 Ag/CNT 복합체를 실온에서 1시간 동안 경화시켰다. SMD LED는 회로 패턴에 조립되었다. 더블 레이어의 경우 x 및 x mm 생김 펀치(회사)로 비아 홀을 생성했다.

3. FPCB 작동

[0032] MC FPCB는 Uno Arduino 개발 보드 시스템(Arduino, Italy)에 연결되었고 개발 보드는 Microsoft 기반 클래스(MFC Visual C++)에 연결되었다. MFC 비주얼 C++는 MC FPCB의 제어 및 디스플레이로 구성되었다.

4. 투명 MC FPCB의 제조 공정

[0035] 폴리이미드(PI) 기반 FPCB로 구성된 웨어러블 및 변형 전자 장치는 산업 및 학술 연구에서 널리 사용된다. PI는 기계적 강도, 고유전율, 유연성 등의 장점이 있지만 친환경 소재는 아니다. 이러한 한계를 극복하기 위해 나무와 식물에서 발견되는 셀룰로오스가 FPCB 기관으로 PI를 대체하는 데 사용되었다.

[0036] 도 1은 MC 기판을 사용한 유연한 회로의 제조 공정 및 이미지를 보여준다. MC에서 수산기의 27~32%는 메톡시 형태로 존재하고 MC는 비양성자성 극성 용매 DMSO에 용해된다. 치환도(DOS)로 인해 MC는 에탄올 및 알코올과 같은 다른 용매에 불용성이었다.

[0037] 도 1 (a)는 MC 기판의 제조 공정의 개략도를 보여준다. 먼저, DMSO 중 2% w/v MC를 1시간 동안 초음파 처리하여 용해도를 높였다. MC 현탁액을 페트리 접시에 붓고 핫플레이트를 사용하여 DMSO를 85℃에서 24시간 동안 증발시켰다. DMSO의 증발로 인해 완전히 용해된 MC(2% w/v)가 투명한 젤 상태에서 박막 상태로 변경되었다(도 1(b)). DMSO에 용해시킨 후 DMSO를 증발시켜 유연 전자소자용 투명 무공성 MC 기판을 제조하였다. 그들의 표면 형태는 SEM을 사용하여 결정되었다(도 1(c)).

[0038] 얇고 유연한 MC 기판은 웨어러블 기기 또는 플렉서블 디스플레이의 전자 회로 기판으로 사용될 수 있다. 회로의 기계적 내구성을 향상시키기 위해 Ag/CNT 복합 재료에 높은 종횡비의 CNT를 사용했다. IPA에 다양한 농도의 Ag 및 CNT를 포함하는 복합 현탁액을 1시간 동안 초음파 처리했다. 그런 다음 85℃에서 30분 동안 가열하여 점도를 높였다. Ag/CNT 복합 전극은 스텐실 마스크를 통해 MC 기판에 증착되었다. 그런 다음 회로를 실온에서 30분 동안 완전히 건조시켰다. 도 1(d)는 LED 주입 없이 MC 기판에 회로를 제작하는 것을 보여준다. 도 1(e) 및 (f)는 작동 중인 MC 기판의 병렬 LED 회로를 보여준다. 도(g-i)은 MC 기판 위의 단층 및 이중층 Ag/CNT 전극을 보여준다. 박막 MC 기판이 있는 단층 및 이중층 Ag/CNT 복합 전극은 LED 회로, 터치 패널, 능동 및 수동 매트릭스 LED 디스플레이와 같은 다양한 응용 분야에 사용할 수 있다.

[0040] <실험 결과>

[0041] 1. MC 기질의 특성

[0042] MC 기판의 XRD 패턴은 도 2(a)에 나와 있다. 회절 곡선은 약 13.4° 및 20° 의 2θ 값에서 높은 강도 피크를 나타냈고; 무정형 셀룰로오스의 가장 강한 피크는 20° (ref2)에서 나타난다. MC 기판의 FTIR 스펙트럼은 도 2(b)에 나와 있다. 흡수대는 OH 신축 진동의 약 3451cm⁻¹에서 피크를 보였고, C-H 신축에 의한 비대칭 신축 진동으로 인해 약 2921cm⁻¹에서 피크를 보였다. 1455 cm⁻¹에서 형성된 강한 피크는 벤젠 고리의 존재를 나타낸다. 1315 cm⁻¹의 피크는 C-H 굽힘 진동에 기인한 것이다. 1100~1150 cm⁻¹ 및 944.93 cm⁻¹의 피크는 각각 C-O 신축 진동 및 C-O 신축에 기인한 것이다.

[0044] 2. MC 기판의 응력-변형률 곡선

[0045] FPCB는 외부의 기계적 힘에도 안정적인 전기적 성능을 유지하기 위해 견고해야 한다. 도 3은 다양한 두께의 MC 기판의 변형에 대한 힘-변형 곡선과 저항 비율을 보여준다. 7.5X2.5mm MC 기판의 응력-변형률 곡선은 그림 3(a)와 같이 파손될 때까지 측정되었다. 두께가 100 μm, 200 μm, 300 μm인 모든 MC 기판은 0.266mm/mm의 변형률에서 파손되었다. 그러나 0.10mm/mm의 변형률에서 두께 100 μm, 200 μm 및 300 μm의 MC 기판에 가해지는 힘은 각각 20N, 40N 및 100N이었다. 게이지 길이/폭 비율이 증가함에 따라 연신율이 크게 감소함에 따라 MC 기판의 기계적 내구성은 두께에 따라 증가하는 것으로 관찰되었다. 또한 연성 및 영률(1)은 게이지 길이에 따라 달라진다.

[0046] [수학식 1]

$$E = \frac{\sigma_1}{\epsilon_1}$$

[0048] 여기서 E는 종방향 변형률(σ_1)에 대한 종방향 응력(ϵ_1)의 비율이다. 모든 MC 기판은 폴리머 필름의 항복 강도에 대한 변형률에 따른 힘의 선형 증가를 보여주었다. 또한 힘-변형률 곡선의 기울기는 도 3(a)와 같이 MC 기판의 두께에 따라 선형적으로 증가했다.

[0049] 도 3(b)와 같이 다양한 두께의 MC 기판의 변형률(mm/mm)에 대한 저항비(R/R₀)를 측정했다. 이러한 테스트를 위해 CNT 농도가 4wt%인 Ag/CNT 복합 재료가 전도성 재료로 사용되었다. 응력이 가해질 때 MC 기판 상의 Ag/CNT

복합 전극의 저항이 증가하였다. 0.08mm/mm의 변형률에서 다양한 두께(100 μm , 200 μm 및 300 μm)의 MC 기판에서 전극의 전기적 성능(R/R_0)이 안정적이었다. 그러나 변형률 0.08mm/mm부터는 저항비(R/R_0)가 MC 기판의 두께에 따라 증가했다. 0.266mm/mm의 변형률에서 100 μm 기판의 저항비는 4.12인 반면 300 μm 기판의 저항비는 8.93이었다. 따라서 다양한 두께(100 μm , 200 μm , 300 μm)를 가진 MC 기판 위의 전극은 0.08mm/mm의 변형률까지 안정적인 회로를 위해 사용될 수 있다.

3. MC 기판의 유전 상수

MC 기판의 유전 상수를 평가했다. 도 4(a)는 커패시턴스 측정 절차의 다이어그램을 보여준다. 다양한 두께(100 μm ~ 300 μm)의 MC 기판을 50 X 50mm 알루미늄 판 사이에 놓고 LCR 미터를 사용하여 1kHz 및 DC 바이어스 조건에서 정전 용량을 측정했다. 유전 상수는 [수학식 2]에 따라 커패시턴스로부터 계산되었다.

[수학식 2]

$$\epsilon_r = \frac{C \times d}{A \times \epsilon_0}$$

여기서 C는 정전 용량, ϵ_0 은 진공 유전율($\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$), A는 전극 면적, d는 MC 기판의 두께이다. 도 4(b)는 MC기판의 두께에 따른 정전용량과 유전상수 그래프이다. 기판의 평균 유전율은 약 2.87이었으며, 증착 공정에 의한 표면 균일성 및 두께 불균일로 인해 최소값 2.81(두께 150 μm), 최대값 3.12(두께 200 μm)였다. 그러나 대부분의 유전 상수 값은 두께에 따라 안정적이었다.

4. MC FPCB에 대한 기계적 테스트

MC FPCB의 기판과 회로는 유연성을 나타낸다. 복합 회로의 기계적 특성과 전기 전도성을 향상시키기 위해 복합 재료에 CNT를 혼합했다. Ag/CNT 복합 전극은 굽힘 및 비틀림 응력에 대한 기계적 내구성을 제공한다. 기계적 굽힘 및 비틀림에 대한 최상의 전기적 성능을 결정하기 위해 다양한 CNT 농도를 갖는 Ag/CNT 복합 전극을 도 5와 같이 다양한 방법을 통해 조사했다. 4개의 상이한 CNT 농도(0wt.%, 4.3wt.%, 9.9wt.% 및 16.7wt.%)를 갖는 합성물이 2X2인치 면적의 MC 기판 상에 증착되었다.

도 5(b)는 기판 위에 적층된 복합재의 SEM 이미지를 보여준다. 도 5(b)(iii-vi)는 가장 높은 CNT 농도(16.7wt.%)를 갖는 복합재의 SEM 이미지를 보여준다. CNT 농도가 16.7wt%인 복합재료의 형태는 다른 복합재료에 비해 큰 덩어리와 조대한 입자가 관찰되었는데, 이는 CNT의 농도가 높을수록 입자 결합도가 높음을 의미한다. 우리는 4가지 다른 CNT 농도로 합성물의 IV 곡선을 분석했다(도 5(c)). 곡선은 -1.1V에서 1.1V까지의 선형 및 대칭 전류 흐름을 보여준다. 곡선의 기울기는 Ag보다 CNT의 더 높은 저항으로 인해 CNT 농도와 함께 증가했다. 또한 굽힘 및 비틀림 응력과 같은 기계적 응력에 대한 저항비(R/R_0)를 테스트했다(도 5(e)). 대부분의 복합 재료의 저항은 굽힘 및 비틀림 중에 안정적이었다. 그러나 굽힘 시험 동안 4.3wt%의 CNT를 포함하는 복합재의 저항비는 1.02인 반면, 16.7wt%의 CNT를 포함하는 복합재의 저항비는 1.82였다(도 5(d)의 녹색 점). 또한, 비틀림 시험 동안 4.3wt%의 CNT를 포함하는 복합재의 저항비는 1.04인 반면, 16.7wt%의 CNT를 포함하는 복합재의 저항비는 2.36이었다(도 5(e)의 녹색 점). 16.7wt%의 CNT를 포함하는 복합재에 대해 4배 증가한 저항 비율은 4.3wt%의 CNT를 포함하는 복합재가 더 높은 전기적 성능을 제공함을 나타낸다. 순수한 Ag 복합재(CNT의 0wt%) 전극이 기계적 응력에 의해 파손되어 저항비(R/R_0)를 측정할 수 없었다.

5. LED 회로

Ag/CNT 복합 재료를 사용하여 MC 기판에 SMD LED 회로를 제작했다. 제조 공정의 다이어그램이 도 6(a)에 나와 있다. Ag/CNT 복합체는 레이저 커터를 사용하여 생성된 PET 쉼대우 마스크를 통해 MC 기판에 500 μm 선폭 회로 패턴으로 증착되었다. SMD LED는 회로 패턴에 이식되었다. 그런 다음 LED 회로를 상온에서 0.5시간 동안 건조시켜 Ag/CNT 복합체에서 IPA를 완전히 증발시켰다. 도 6(b)는 2.5V에서 작동하여 스위치를 켜고 끄는 LED 회로를 보여준다. LED 광량과 전류 흐름이 비슷한 조건에서 동작하는 회로에 3개의 LED를 병렬로 구성한 모습이다. 도

6(c-f)는 MC 기판에 증착된 LED 회로의 광학 현미경 이미지를 보여준다.

[0063] PET 마스크 두께로 인해 약 50 μm 의 두께를 갖는 Ag/CNT 전극이 표면에 증착되었다. Ag/CNT 복합 전극 패턴은 회로 패턴 공정에서 설계에 비해 퍼졌다. 회로는 IPA 서스펜션으로 인해 MC 기판 표면에 강하게 결합되었다. 또한 회로는 그림 6(e)와 같이 SMD LED의 접촉 패드와 잘 접촉했다. Ag/CNT 복합재료 전극의 표면은 도 6(g-j)에 도시된 바와 같이 SEM 이미지에서 명확하게 관찰되었다. 섀도우 마스크킹으로 인해 회로 선의 선명도가 낮음에도 불구하고 회로의 500 μm 선폭이 MC 기판에 잘 패턴닝되는 것이 관찰되었다.

[0065] 6. 단일 레이어 5 x 5 LED 디스플레이

[0066] 복잡한 패턴을 가진 Ag/CNT 복합 전극은 MC 기판에 증착될 수 있다. PET 섀도우 마스크 공정을 사용하여 MC 기판에 5X5 LED 디스플레이를 제작했다(도 7(a)). LED와 회로 사이의 접촉을 증가시키기 위해 더 두꺼운 크기의 합성물이 LED의 양쪽 끝에 증착되었다. MC 기판에 5 X 5 LED 디스플레이를 제작한 후(도 7(b)) 프로그래밍 언어를 사용하여 25개의 LED를 직접 제어할 수 있는 Arduino Mega 보드에 LED 디스플레이를 연결했다. 각 LED는 Arduino 보드를 사용하여 개별적으로 작동되었다. 개별 LED의 제어를 시연하기 위해 도 7(c) 및 (d)와 같이 문자 M 및 C를 표시했다.

[0068] 7. 웨어러블 터치센서 어레이 패널

[0069] MC 기판의 투명하고 유연한 특성을 적용하기 위해 5 X 5 정전 용량 센서가 있는 웨어러블 터치 센서 어레이의 작동을 시연했다. 도 8(a)는 두 개의 기판 층으로 구성된 5X5 터치 센서의 다이어그램을 보여준다. 하단 기판에는 배선 회로가 있는 Ag/CNT 복합 정전용량 센서가 있다. 상단 기판은 배선 회로용 보호 레이어였으며 구멍을 통해 센서에 개방되었다. 두 기판은 DMSO를 사용하여 조립되었다. 집게 손가락으로 터치했을 때 어레이의 터치 센서 평균값의 정전 용량은 약 3.31pF이다(도 S5). 멀티 터치 센싱을 위해 아두이노 메가 보드를 5X5 정전용량 센서로 사용했다. 또한 터치 센싱을 실시간으로 모니터링하기 위해 맞춤형 모니터링 프로그램을 개발했다. 도 8(b)는 터치 모니터링 시스템의 다이어그램을 보여준다. 아두이노 보드에서 받은 터치 센서의 입력 데이터는 컴퓨터(MFC 디스플레이)의 맞춤형 모니터링 프로그램에 의해 전송되었다. 도 8(c)는 터치 센서의 동작을 보여준다. 터치된 어레이 위치는 녹색 마커로 위치를 강조 표시하여 맞춤형 모니터링 프로그램에 표시되었다. 도 8(d)는 손목에 착용한 웨어러블의 동작을 보여준다. 웨어러블의 영역을 터치하여 맞춤형 모니터링 프로그램에 문자 C를 표시하는 방식으로 작동을 시연했다. 여기서 우리는 생체 적합성 재료를 사용하여 손목에 착용할 수 있는 제한된 장치를 시연한다. 그러나 통신기기를 웨어러블 핸드 조이스틱(ref_ACSnano), 패턴인식센서(ref) 등 다양한 터치 기반 컨트롤러에 활용될 수 있다.

[0071] 8. 이중층 MC 기판용 비아 홀

[0072] 이중층 회로는 고급 회로 및 애플리케이션에 사용되고 있다. 하층과 상층을 비아홀로 연결하여 회로 밀도를 높이고 복잡한 회로를 설계한다. 비아홀이 있는 상부 MC 기판층과 하부 MC 기판층은 웨어러블 터치 센서 어레이의 제조와 유사한 DMSO를 사용하여 조립되었다. 최상층의 Ag/CNT 전극에 LED를 주입하였다. 마지막으로 Ag/CNT 합성물을 비아홀을 통해 증착하여 두 층을 연결하였다. 도 9(a)와 (b)는 각각 이중 레이어 LED 회로의 다이어그램과 회로의 이미지를 보여준다. 도 9(c)는 이중층 MC 기판에 대한 비아 홀의 SEM 이미지를 보여준다. Ag/CNT 복합 전극은 이중층 MC 기판에 패턴화되었다. 상단과 하단 레이어는 그림 9(e)와 같이 구멍을 통해 직경 500 μm 를 통해 Ag/CNT 복합재료로 연결되었다. 도 9(d)와 (f)는 두 레이어의 단면에 대한 SEM 이미지를 보여준다.

[0074] 9. 더블 레이어 5 x 5 LED 디스플레이

[0075] 비아 홀 구조를 사용하여 5 X 5 패시브 매트릭스 어레이 디스플레이로 구성된 이중 레이어 5 X 5 LED 디스플레이를 제작했다. 도 10(a)와 (b)는 각각 이중 레이어 5X5 LED 디스플레이의 상단과 하단 기판의 다이어그램과 이미지를 보여준다. LED 제어를 위해 하단 레이어의 5개 행의 회로선을 Arduino 디지털 포트에 연결했다. 또한 회로선의 5열을 최상층에 배치하고 아두이노 디지털 포트를 이용하여 LED를 선택하였다. LED가 2개의 MC 기판에 조립된 후 그림 10(e-g)에 표시된 대로 맞춤형 소프트웨어를 사용하여 컴퓨터와 통신하는 Arduino Mega 보드에

의해 LED가 작동되었다. Arduino 보드는 데이터를 수신하고 올바른 위치(행 라인/컬럼 라인)에서 LED 디스플레이를 작동했다. LED 패턴을 보여주기 위해 아두이노 기판을 이용하여 20Hz에서 2.5V를 인가하여 5X5 LED를 반복적으로 활성화하였다. 2단 구조의 LED 디스플레이는 개별 전압을 인가하는 단층 구조에 비해 동작 과정이 복잡하지만, 2단 구조의 5X5 LED 디스플레이는 회로가 더 간단하다. 도 10 (h)는 LED 작동을 위해 이중층 MC 기판을 사용하는 5 X 5 LED 디스플레이의 투명도를 보여준다.

10. 셀룰로오스 장치용 통신

마지막으로 도 11(a)와 같이 2개의 아두이노 모듈과 MFC 프로그램을 이용하여 웨어러블 터치 패널과 5X5 LED 디스플레이를 위한 실시간 통신 시스템의 동작을 시연하였다. 터치 패턴의 데이터는 웨어러블 터치 패널에서 인식되어 수신기(RX) 아두이노 보드를 통해 맞춤형 패턴 생성 프로그램으로 실시간 전송된다. 패턴 생성 프로그램은 전송(TX) 아두이노 보드로 데이터를 전송하여 5X5 LED 디스플레이에 패턴을 생성한다. 도 11(b)는 터치 패널에서 수신한 데이터를 기반으로 어레이 디스플레이의 단일 위치를 보여준다. 도 11(c)는 여러 위치에 대해 수신된 데이터에서 생성된 LED 패턴을 보여준다. 5 X 5 디스플레이의 LED는 20Hz에서 스캔되었다. 그림 11(d)는 여러 번의 터치 동작 후 터치 패널에서 인식되는 문자 X의 패턴을 보여준다. 이어서 도 11(e)와 같이 LED 디스플레이에 문자 X가 생성되었다. 전도성 합성물이 포함된 셀룰로오스 기반 기판으로 만든 회로는 터치 패널 및 LED 디스플레이와 같은 웨어러블 통신 장치에 사용하기 위해 제작되었다.

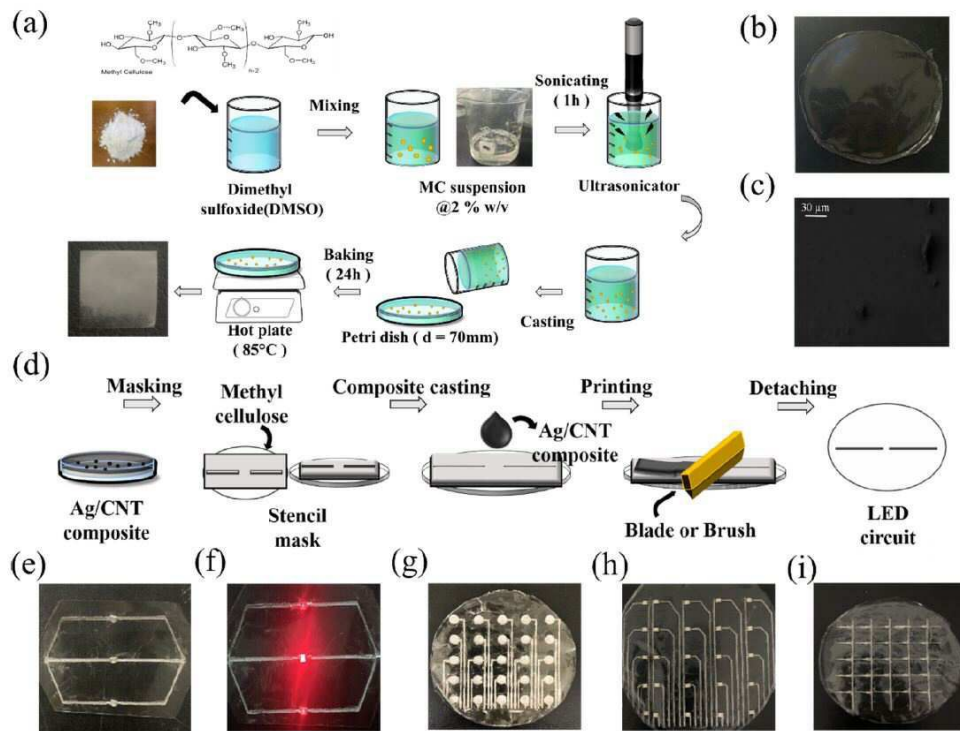
<결론>

유연성, 재활용성, 고유전율, 경량성과 같은 고유한 특성 외에도 셀룰로오스를 기반으로 하는 친환경 및 재생 가능한 전자 제품은 새로운 학술 연구 및 상업적 관심 분야를 제공한다. 셀룰로오스 기반 기판은 뛰어난 재활용성과 투명성으로 인해 환경 친화적이지 않은 기존 FPCB보다 더 많은 유형의 전자 장치를 호스트할 수 있지만 셀룰로오스 기반 기판을 만드는 과정은 매우 어려울 수 있다. 여기에서는 간단한 증발 공정으로 제조된 투명하고 유연한 셀룰로오스 기반 기판으로 구성된 FPCB를 보고했다. Ag/CNT 합성물은 웨도우 마스크를 사용하여 셀룰로오스 기반 기판에 패턴화된 회로에 사용되었다. MC 기판 기반 FPCB의 전기적, 기계적 특성은 굽힘, 비틀림 및 인장 응력과 같은 다양한 기계적 응력 하에서 관찰되었다. 커패시턴스 측정을 사용하여 우수한 유전 특성이 관찰되었다. 또한 MC 기판 회로의 형태를 광학 현미경, SEM 및 XRD를 사용하여 분석했다. FPCB의 적용을 시연하기 위해 MC FPCB를 사용하여 제작된 5X5 LED 디스플레이를 성공적으로 제어하는 5X5 터치 패널을 제작했다.

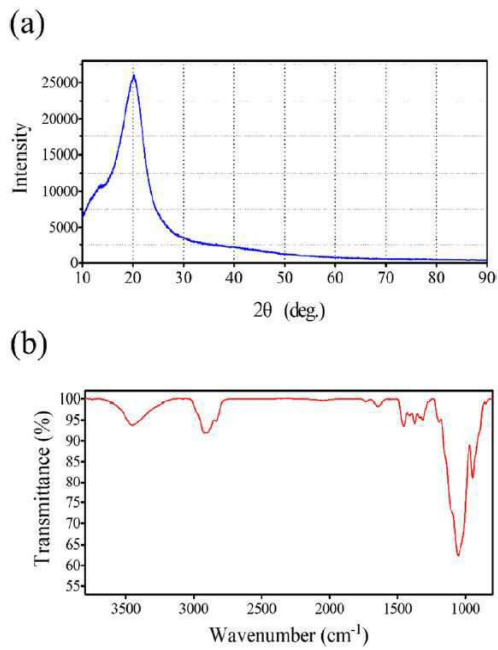
MC 기판의 Ag/CNT 라인 패턴은 PET 웨도우 마스크로 인해 미세하지 않았고 제어 보드는 전력 소비 또는 작동에 최적화되지 않았지만 컴퓨터로 제어되는 웨어러블 통신 장치의 작동을 시연했다. 이 연구에서 우리는 인간-기계 인터페이스에 의한 SMD LED 디스플레이 장치의 제어를 포함하여 몇 가지 응용만을 보고했다. 친환경 및 무독성 셀룰로오스 기반 플렉서블 소자는 페이퍼 로봇, 웨어러블 장치, 투명 첨단 회로, 임베디드 전자 장치와 같은 다양한 응용 분야에서 사용될 수 있다. 또한 MC 기판은 DNA 제어 및 단백질 검출과 같은 전기화학 응용 분야에 사용할 수 있다.

도면

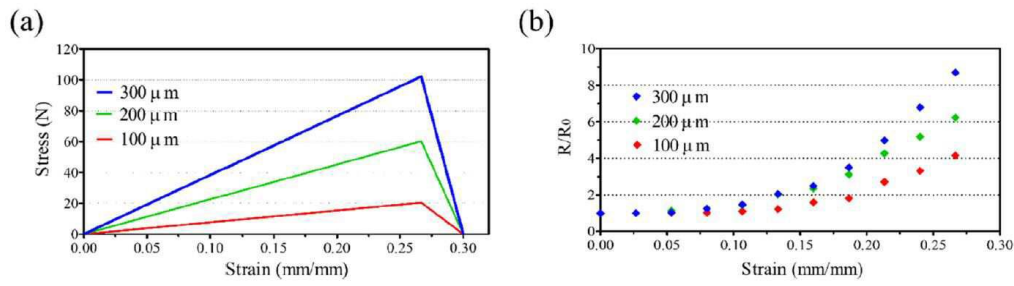
도면1



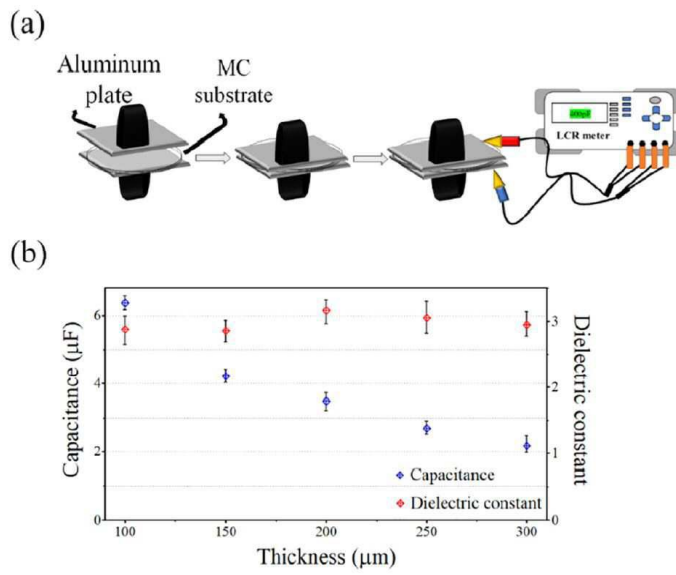
도면2



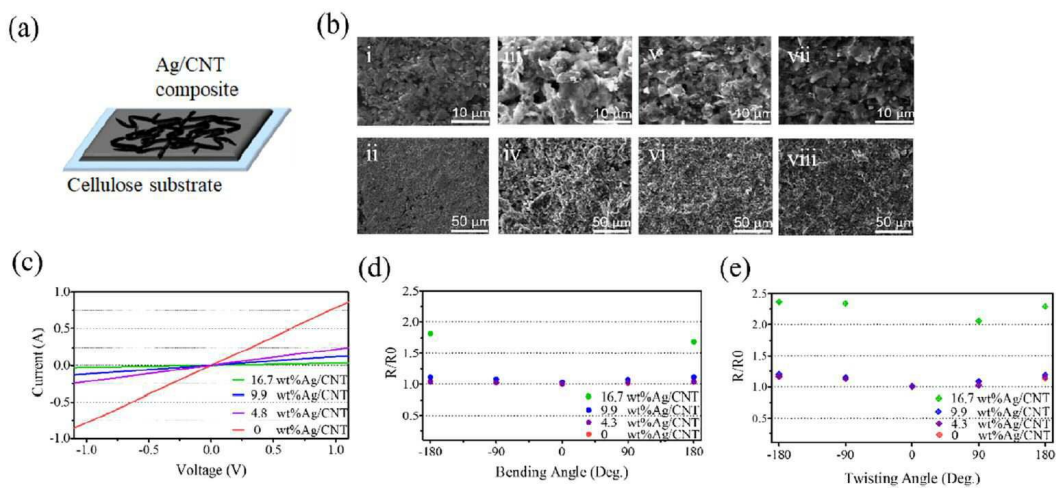
도면3



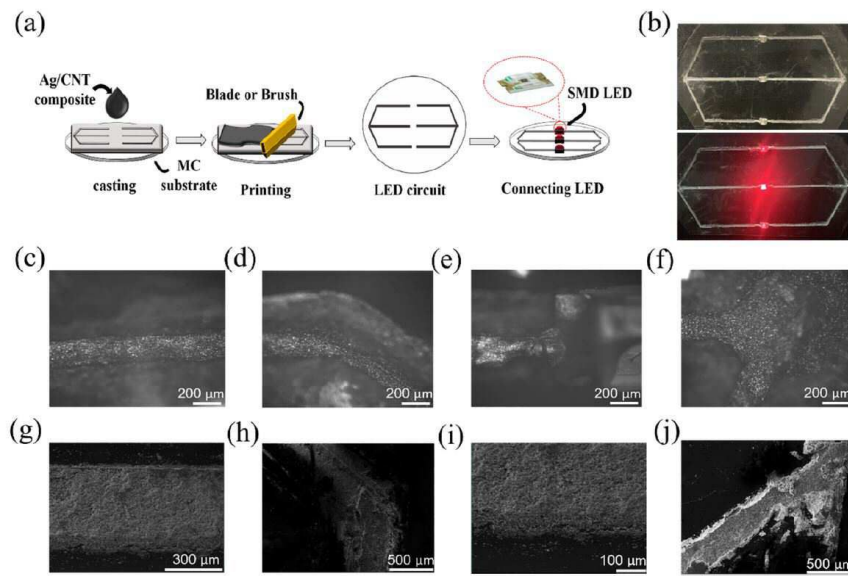
도면4



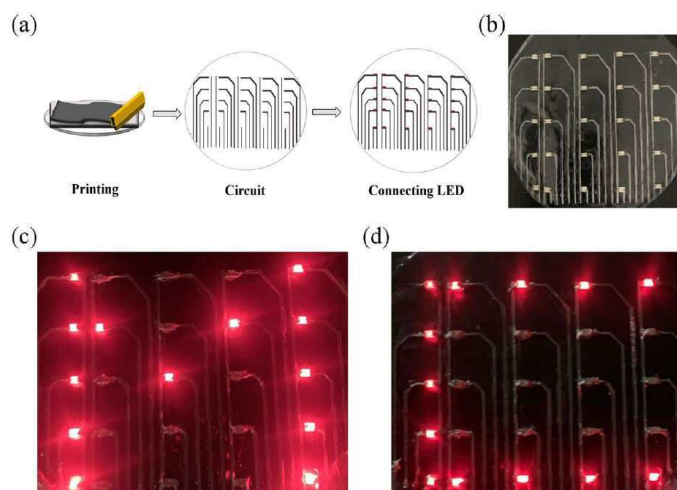
도면5



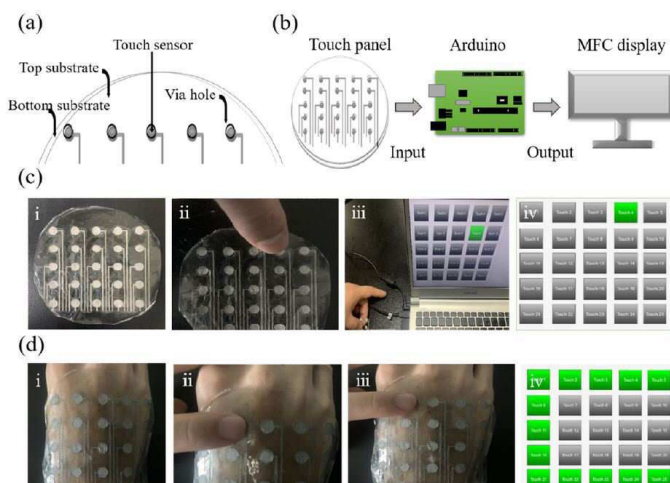
도면6



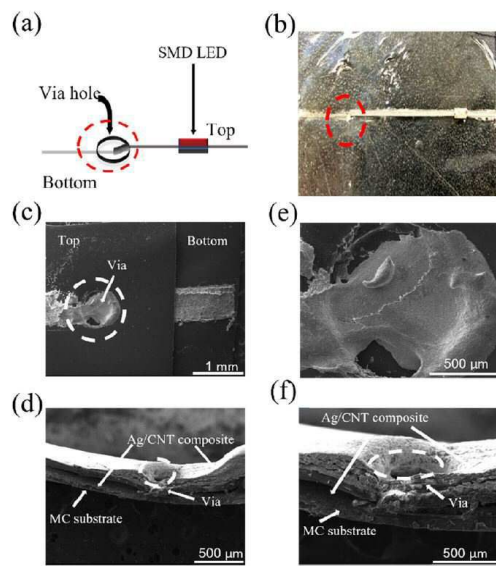
도면7



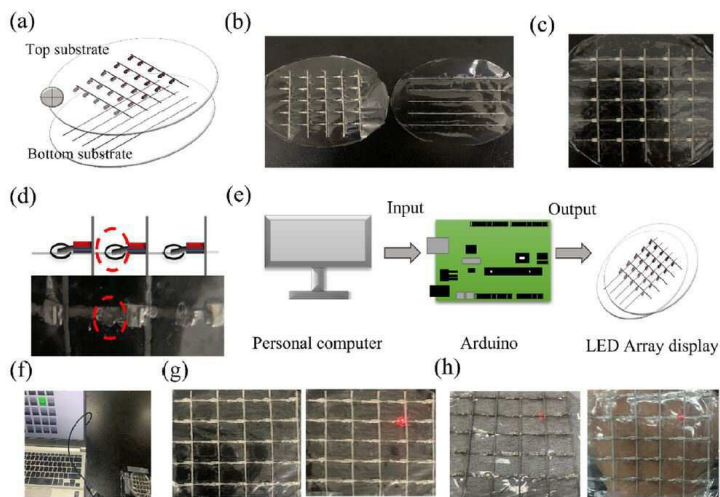
도면8



도면9



도면10



도면11

