(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년12월04일
(11) 등록번호 10-2738675
(24) 등록일자 2024년12월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 5/00 (2021.01) *A61B 5/01* (2021.01)
A61B 5/024 (2006.01) *A61B 5/11* (2006.01)
G02F 1/153 (2019.01) *G02F 1/163* (2019.01)
(52) CPC특허분류
A61B 5/6801 (2013.01)
A61B 5/01 (2021.01)
(21) 출원번호 10-2023-0099399
(22) 출원일자 2023년07월31일
심사청구일자 2023년07월31일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020150066560 A*
KR1020230047603 A*
KR102052440 B1*
KR102352308 B1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
하정숙
서울특별시 강남구 언주로30길 21, A동 3102호
김동식
경기도 부천시 조마루로 135, 815동 301호
(74) 대리인
특허법인시공

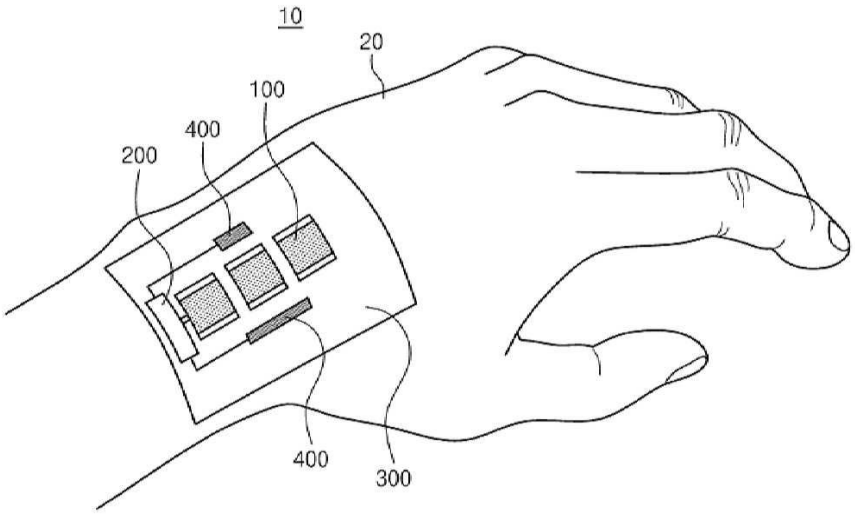
전체 청구항 수 : 총 12 항 심사관 : 손준영

(54) 발명의 명칭 **에너지 저장이 가능한 플렉서블 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스, 이의 제조 및 구동 방법**

(57) 요 약

본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 저장이 가능한 플렉서블 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스는 신축성 고분자 필름, 신축성 고분자 필름 상에 마련되고, 충전 상태 또는 방전 상태에 따라 색상이 변화하며, 충전 상태에서 에너지를 저장하는 에너지 저장층을 포함하는 전기변색소자 및 전기변색소자의 에너지 저장층에 저장된 에너지를 생체 신호를 감지하기 위한 생체 신호 센서로 공급하는 에너지 공급부를 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
A61B 5/024 (2013.01)
A61B 5/11 (2013.01)
G02F 1/153 (2019.01)
G02F 1/163 (2019.01)
A61B 2560/0214 (2013.01)
G02F 2201/44 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711186153
과제번호 2022R1A4A1031687
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 집단연구지원
연구과제명 자가복원 기능성 소재 기반 초내구성 유연 패치 기술개발
기 여 율 1/2
과제수행기관명 고려대학교
연구기간 2023.03.01 ~ 2024.02.29
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711188669
과제번호 2022R1A2C2092575
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(과기정통부)
연구과제명 피부부착형 'all-in-one' 소자 적용을 위한 기능성유연 수퍼커패시터 공정
기 여 율 1/2
과제수행기관명 고려대학교
연구기간 2023.03.01 ~ 2024.02.29
공지예외적용 : 있음

명 세 서

청구범위

청구항 1

신축성 고분자 필름;

상기 신축성 고분자 필름 상에 마련되고, 충전 상태 또는 방전 상태에 따라 색상이 변화하며, 상기 충전 상태에서 에너지를 저장하는 에너지 저장층을 포함하는 전기변색소자; 및

상기 전기변색소자의 상기 에너지 저장층에 저장된 상기 에너지를 생체 신호를 감지하기 위한 생체 신호 센서로 공급하는 에너지 공급부를 포함하되,

상기 전기변색소자는:

상기 신축성 고분자 필름 상에 마련되고, 육각 그리드 형태로 패터닝된 금 박막과 상기 금 박막 상에 증착되는 에틸렌글리콜로 도핑된 PEDOT:PSS 소재의 투명 전극층 및 폴리아닐린층을 포함하는 양극; 및

상기 양극 상에 마련되고, 인듐이 코팅된 아연 소재의 전극층을 포함하는 음극을 더 포함하고,

상기 에너지 저장층은 상기 양극과 상기 음극 사이에 적층되고, 폴리비닐알콜 및 염화아연을 포함하는 수기반 전해질층을 포함하는,

에너지 저장이 가능한 플렉서블 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 에너지 공급부는:

상기 에너지 저장층에 저장된 에너지를 상기 생체 신호 센서로 공급하도록, 상기 전기변색소자와 상기 생체 신호 센서 사이에 연결되는 전원공급라인; 및

상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 생체 신호 센서로 전원을 공급하기 위한 전원공급단자와, 상기 전기변색소자로 에너지를 충전하기 위한 충전단자 간에 스위칭하도록 상기 전원공급라인에 마련되는 스위치부를 포함하는,

에너지 저장이 가능한 플렉서블 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스.

청구항 3

제2 항에 있어서,

상기 스위치부는:

상기 전기변색소자를 충전하기 위한 에너지 충전 모드에서 상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 충전단자에 연결시키고;

상기 생체 신호 센서를 구동하기 위한 센서 구동 모드에서 상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 전원공급단자에 연결시키는,

에너지 저장이 가능한 플렉서블 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스.

청구항 4

제3 항에 있어서,

상기 전원공급단자는 상기 생체 신호 센서의 일단에 마련되는 제1 단자에 전기적으로 연결되고,

상기 에너지 공급부는 상기 생체 신호 센서의 타단인 제2 단자와, 상기 충전단자 사이에 마련되는 전원입력단자

를 더 포함하는,

에너지 저장이 가능한 플렉서블 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스.

청구항 5

제4 항에 있어서,

상기 전원입력단자는 외부 전원 공급부와 접속 가능하게 마련되고,

상기 에너지 공급부는:

상기 전원입력단자에 상기 외부 전원 공급부가 접속되는지를 감지하는 외부전원 감지부; 및

상기 전원입력단자에 상기 외부 전원 공급부가 접속되는 것으로 감지되면 상기 스위치부를 구동하여 상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 충전단자에 연결시키고, 상기 전원입력단자에 상기 외부 전원 공급부가 접속되는 않는 경우 상기 스위치부를 구동하여 상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 전원공급단자에 연결시키는 제어부를 더 포함하는,

에너지 저장이 가능한 플렉서블 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스.

청구항 6

삭제

청구항 7

제1 항에 있어서,

상기 전기변색소자는 상기 양극과 상기 음극 간의 전압에 따라 회색, 연두색, 녹색, 청록색 및 파랑색으로 순차적으로 변색되어 충전 상태 또는 방전 상태를 시각적으로 나타내는,

에너지 저장이 가능한 플렉서블 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스.

청구항 8

신축성 고분자 필름을 준비하는 단계;

상기 신축성 고분자 필름 상에 전기변색소자- 상기 전기변색소자는 생체 신호 및 양극과 음극 간의 전압에 따라 발생되는 전기신호의 변화에 따라 색상이 변화하며, 상기 전기신호에 따른 에너지를 저장하는 에너지 저장층을 포함함 -를 형성하는 단계; 및

상기 신축성 고분자 필름 상에 에너지 공급부- 상기 에너지 공급부는 상기 전기변색소자의 상기 에너지 저장층에 저장된 상기 에너지를 상기 생체 신호를 감지하기 위한 생체 신호 센서로 공급함 -를 형성하는 단계를 포함하되,

상기 전기변색소자를 형성하는 단계는:

상기 신축성 고분자 필름 상에 마련되고, 육각 그리드 형태로 패터닝된 금 박막을 형성하는 단계;

상기 금 박막 상에 증착되는 에틸렌글리콜로 도핑된 PEDOT:PSS 소재의 투명 전극층 및 폴리아닐린층을 포함하는 양극을 형성하는 단계;

상기 양극 상에 마련되고, 인듐이 코팅된 아연 소재의 전극층을 포함하는 음극을 형성하는 단계; 및

폴리비닐알콜 및 염화아연을 포함하는 수기반 전해질층을 제작하는 단계;를 포함하는,

에너지 저장이 가능한 플렉서블 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스의 제조 방법.

청구항 9

삭제

청구항 10

제8 항에 있어서,

상기 에너지 공급부를 형성하는 단계는:

상기 전기변색소자와 상기 생체 신호 센서 사이에 전원공급라인- 상기 전원공급라인은 상기 에너지 저장층에 저장된 에너지를 상기 생체 신호 센서로 공급함 -을 형성하는 단계; 및

상기 전원공급라인에 스위치부- 상기 스위치부는 상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 생체 신호 센서로 전원을 공급하기 위한 전원공급단자와, 상기 전기변색소자로 에너지를 충전하기 위한 충전단자 간에 스위칭함 -를 형성하는 단계를 포함하는,

에너지 저장이 가능한 플렉서블 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스의 제조 방법.

청구항 11

에너지 공급부에 의해, 에너지 저장 모드에서 전기변색소자- 상기 전기변색소자는 신축성 고분자 필름 상에 마련되며 생체 신호에 따라 발생되는 전기신호의 변화에 따라 색상이 변화함 -의 에너지 저장층에 상기 전기신호에 따른 에너지를 충전하는 단계; 및

에너지 공급부에 의해, 센서 구동 모드에서 상기 전기변색소자의 상기 에너지 저장층에 저장된 상기 에너지를 상기 생체 신호를 감지하기 위한 생체 신호 센서로 공급하여 상기 생체 신호 센서를 구동하는 단계를 포함하되,

상기 전기변색소자는:

상기 신축성 고분자 필름 상에 마련되고, 육각 그리드 형태로 패터닝된 금 박막과 상기 금 박막 상에 증착되는 에틸렌글리콜로 도핑된 PEDOT:PSS 소재의 투명 전극층 및 폴리아닐린층을 포함하는 양극; 및

상기 양극 상에 마련되고, 인듐이 코팅된 아연 소재의 전극층을 포함하는 음극을 더 포함하고,

상기 에너지 저장층은 상기 양극과 상기 음극 사이에 적층되고, 폴리비닐알콜 및 염화아연을 포함하는 수기반 전해질층을 포함하는,

에너지 저장이 가능한 플렉서블 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스의 구동 방법.

청구항 12

제11 항에 있어서,

상기 에너지 공급부는:

상기 에너지 저장층에 저장된 에너지를 상기 생체 신호 센서로 공급하도록, 상기 전기변색소자와 상기 생체 신호 센서 사이에 연결되는 전원공급라인; 및

상기 전원공급라인에 마련되는 스위치부를 포함하고,

상기 에너지 공급부의 제어부에 의해 상기 스위치부를 구동하여, 상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 생체 신호 센서로 전원을 공급하기 위한 전원공급단자와, 상기 전기변색소자로 에너지를 충전하기 위한 충전단자 간에 스위칭함으로써, 상기 에너지를 충전하는 단계와 상기 생체 신호 센서를 구동하는 단계 간을 전환하는 단계를 더 포함하는,

에너지 저장이 가능한 플렉서블 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스의 구동 방법.

청구항 13

제12 항에 있어서,

상기 전환하는 단계는:

상기 제어부 및 상기 스위치부에 의해, 상기 전기변색소자를 충전하기 위한 에너지 충전 모드로 전환시에 상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 충전단자에 연결시키는 단계;

상기 제어부 및 상기 스위치부에 의해, 상기 생체 신호 센서를 구동하기 위한 센서 구동 모드로 전환시에 상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 전원공급단자에 연결시키는 단계를 포함하는,

에너지 저장이 가능한 플렉서블 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스의 구동 방법.

청구항 14

제12 항에 있어서,

상기 전원공급단자는 상기 생체 신호 센서의 일단에 마련되는 제1 단자에 전기적으로 연결되고,

상기 에너지 공급부는 상기 생체 신호 센서의 타단인 제2 단자와, 상기 충전단자 사이에 외부 전원 공급부와 접속 가능하게 마련되는 전원입력단자를 더 포함하고,

상기 에너지 공급부의 외부전원 감지부에 의해 상기 전원입력단자에 상기 외부 전원 공급부가 접속되는지를 감지하는 단계;

상기 전원입력단자에 상기 외부 전원 공급부가 접속되는 것으로 감지되면, 상기 에너지 공급부의 제어부에 의해 상기 스위치부를 구동하여 상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 충전단자에 연결시키는 단계; 및

상기 전원입력단자에 상기 외부 전원 공급부가 접속되는 않는 경우, 상기 에너지 공급부의 제어부에 의해 상기 스위치부를 구동하여 상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 전원공급단자에 연결시키는 단계를 더 포함하는,

에너지 저장이 가능한 플렉서블 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스의 구동 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 웨어러블 디바이스에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 웨어러블 생체 신호 시각화 디바이스 등에 응용될 수 있으며 에너지 저장 가능한 플렉서블 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스, 이의 구동 및 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 최근 인체에 부착하거나 의류에 집적하는 형태의 웨어러블 기기에 대한 연구가 활발해지면서 디스플레이를 통한 착용자 신체의 움직임, 체온 변화와 같은 생체 신호의 시각화에 관한 연구가 주목을 받고 있다.

[0004] 웨어러블 기기에 적용되는 피부 부착형 전자 소자는 기판을 포함하여 각 소자들과 연결선이 피부의 움직임에 의한 휘어짐, 늘임에 기계적 안정성을 가져야 하고 평평하지 않은 피부 표면에도 안정적으로 붙어있어야 한다. 스트레인, 압력, 온도 변화로부터 유발되는 센서 신호는 전압과 같은 전기적 신호이기 때문에 피부 부착형 센서를 착용한다 해도 센서로부터 출력된 전기 신호를 통해 긴급한 상황 변화를 사람이 직접적으로 인지하기 어렵다.

[0005] 생체 신호 감지 센서는 맥박, 체온, 신체의 움직임과 같은 생체 신호의 변화에 대해 전기 신호 (전류, 전압 등)가 변화하는 메커니즘을 통해 생체 신호를 감지한다. 그러나 센서가 생체 신호를 즉각적으로 감지한다 하더라도, 출력된 전기 신호를 사람이 인지하기 어려운 문제점이 있어 센서를 착용하더라도 긴급한 상황 변화를 대처할 수 없다는 문제가 있다. 또한 종래의 생체 신호 감지 센서는 구성 소자들을 구동하기 위한 전원을 외부에서 공급받아야 하며, 전원을 공급받기 위한 별도의 배터리를 구비해야 하는 문제가 있다. 뿐만 아니라, 종래의 생체 신호 감지 센서는 전원의 충전량을 전기변색소자에 의해 색상을 통해 시각화하고 있지 않아 전원의 충전 필요 여부를 직관적으로 파악하기 어렵다는 문제를 갖는다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는 피부 부착형 생체 신호 센서를 구동할 수 있는 에너지 저장 장치로 사용 가능하면서, 생체 신호 및 충전 및 방전 여부를 시각화 할 수 있는 다기능 플렉서블 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스, 이의 제조 및 구동 방법을 제공하기 위함이다.

[0007] 한편, 본 발명에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하

지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 에너지 저장이 가능한 플렉서블 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스는, 신축성 고분자 필름; 상기 신축성 고분자 필름 상에 마련되고, 충전 상태 또는 방전 상태에 따라 색상이 변화하며, 상기 충전 상태에서 에너지를 저장하는 에너지 저장층을 포함하는 전기변색소자; 및 상기 전기변색소자의 상기 에너지 저장층에 저장된 상기 에너지를 생체 신호를 감지하기 위한 생체 신호 센서로 공급하는 에너지 공급부를 포함한다.

[0009] 상기 에너지 공급부는 상기 에너지 저장층에 저장된 에너지를 상기 생체 신호 센서로 공급하도록, 상기 전기변색소자와 상기 생체 신호 센서 사이에 연결되는 전원공급라인; 및 상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 생체 신호 센서로 전원을 공급하기 위한 전원공급단자와, 상기 전기변색소자로 에너지를 충전하기 위한 충전단자 간에 스위칭하도록 상기 전원공급라인에 마련되는 스위치부를 포함할 수 있다.

[0010] 상기 스위치부는 상기 전기변색소자를 충전하기 위한 에너지 충전 모드에서 상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 충전단자에 연결시키고; 상기 생체 신호 센서를 구동하기 위한 센서 구동 모드에서 상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 전원공급단자에 연결시키는 것을 포함할 수 있다.

[0011] 상기 전원공급단자는 상기 생체 신호 센서의 일단에 마련되는 제1 단자에 전기적으로 연결되고, 상기 에너지 공급부는 상기 생체 신호 센서의 타단인 제2 단자와, 상기 충전단자 사이에 마련되는 전원입력단자를 더 포함할 수 있다.

[0012] 상기 전원입력단자는 외부 전원 공급부와 접속 가능하게 마련되고, 상기 에너지 공급부는 상기 전원입력단자에 상기 외부 전원 공급부가 접속되는지를 감지하는 외부전원 감지부; 및 상기 전원입력단자에 상기 외부 전원 공급부가 접속되는 것으로 감지되면 상기 스위치부를 구동하여 상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 충전단자에 연결시키고, 상기 전원입력단자에 상기 외부 전원 공급부가 접속되는 않는 경우 상기 스위치부를 구동하여 상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 전원공급단자에 연결시키는 제어부를 더 포함할 수 있다.

[0013] 상기 전기변색소자는 상기 신축성 고분자 필름 상에 마련되고, 육각 그리드 형태로 패터닝된 금 박막과 상기 금 박막 상에 증착되는 에틸렌글리콜로 도핑된 PEDOT:PSS 소재의 투명 전극층 및 폴리아닐린 층을 포함하는 양극; 및 상기 양극 상에 마련되고, 인듐이 코팅된 아연 소재의 전극층을 포함하는 음극을 더 포함하고, 상기 에너지 저장층은 상기 양극과 상기 음극 사이에 적층되고, 폴리비닐알콜 및 염화아연을 포함하는 수기반 전해질층을 포함할 수 있다.

[0014] 상기 전기변색소자는 상기 양극과 상기 음극 간의 전압에 따라 회색, 연두색, 녹색, 청록색 및 파랑색으로 순차적으로 변색되어 충전 상태 또는 방전 상태를 시각적으로 나타낼 수 있다.

[0015] 본 발명의 에너지 저장이 가능한 플렉서블 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스의 제조 방법은 신축성 고분자 필름을 준비하는 단계; 상기 신축성 고분자 필름 상에 전기변색소자 - 상기 전기변색소자는 생체 신호 및 양극과 음극 간의 전압에 따라 발생되는 전기신호의 변화에 따라 색상이 변화하며, 상기 전기신호에 따른 에너지를 저장하는 에너지 저장층을 포함함 -를 형성하는 단계; 및 상기 신축성 고분자 필름 상에 에너지 공급부- 상기 에너지 공급부는 상기 전기변색소자의 상기 에너지 저장층에 저장된 상기 에너지를 상기 생체 신호를 감지하기 위한 생체 신호 센서로 공급함 -를 형성하는 단계를 포함한다.

[0016] 상기 전기변색소자를 형성하는 단계는 상기 신축성 고분자 필름 상에 마련되고, 육각 그리드 형태로 패터닝된 금 박막을 형성하는 단계; 상기 금 박막 상에 증착되는 에틸렌글리콜로 도핑된 PEDOT:PSS 소재의 투명 전극층을 포함하는 폴리아닐린 양극을 형성하는 단계; 상기 양극 상에 마련되고, 인듐이 코팅된 아연 소재의 전극층을 포함하는 음극을 형성하는 단계; 및 폴리비닐알콜 및 염화아연을 포함하는 수기반 전해질층을 제작하는 단계;를 포함할 수 있다.

[0017] 상기 에너지 공급부를 형성하는 단계는: 상기 전기변색소자와 상기 생체 신호 센서 사이에 전원공급라인- 상기 전원공급라인은 상기 에너지 저장층에 저장된 에너지를 상기 생체 신호 센서로 공급함 -을 형성하는 단계; 및 상기 전원공급라인에 스위치부- 상기 스위치부는 상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 생체 신호 센서로 전원을 공급하기 위한 전원공급단자와, 상기 전기변색소자로 에너지를 충전하기 위한 충전단자 간에 스위칭함 -를 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0018] 본 발명의 에너지 저장이 가능한 플렉서블 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스의 구동 방법은 에너지 공급부에 의해, 에너지 저장 모드에서 전기변색소자 - 상기 전기변색소자는 신축성 고분자 필름 상에 마련되며 생체 신호에 따라 발생되는 전기신호의 변화에 따라 색상이 변화함 - 의 에너지 저장층에 상기 전기신호에 따른 에너지를 충전하는 단계; 및 에너지 공급부에 의해, 센서 구동 모드에서 상기 전기변색소자의 상기 에너지 저장층에 저장된 상기 에너지를 상기 생체 신호를 감지하기 위한 생체 신호 센서로 공급하여 상기 생체 신호 센서를 구동하는 단계를 포함한다.

[0019] 상기 에너지 공급부는: 상기 에너지 저장층에 저장된 에너지를 상기 생체 신호 센서로 공급하도록, 상기 전기변색소자와 상기 생체 신호 센서 사이에 연결되는 전원공급라인; 및 상기 전원공급라인에 마련되는 스위치부를 포함하고, 상기 에너지 공급부의 제어부에 의해 상기 스위치부를 구동하여, 상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 생체 신호 센서로 전원을 공급하기 위한 전원공급단자와, 상기 전기변색소자로 에너지를 충전하기 위한 충전단자 간에 스위칭함으로써, 상기 에너지를 충전하는 단계와 상기 생체 신호 센서를 구동하는 단계 간을 전환하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0020] 상기 전환하는 단계는 상기 제어부 및 상기 스위치부에 의해, 상기 전기변색소자를 충전하기 위한 에너지 충전 모드로 전환시에 상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 충전단자에 연결시키는 단계; 상기 제어부 및 상기 스위치부에 의해, 상기 생체 신호 센서를 구동하기 위한 센서 구동 모드로 전환시에 상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 전원공급단자에 연결시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0021] 상기 전원공급단자는 상기 생체 신호 센서의 일단에 마련되는 제1 단자에 전기적으로 연결되고, 상기 에너지 공급부는 상기 생체 신호 센서의 타단인 제2 단자와, 상기 충전단자 사이에 외부 전원 공급부와 접속 가능하게 마련되는 전원입력단자를 더 포함하고, 상기 에너지 공급부의 외부전원 감지부에 의해 상기 전원입력단자에 상기 외부 전원 공급부가 접속되는지를 감지하는 단계; 상기 전원입력단자에 상기 외부 전원 공급부가 접속되는 것으로 감지되면, 상기 에너지 공급부의 제어부에 의해 상기 스위치부를 구동하여 상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 충전단자에 연결시키는 단계; 및 상기 전원입력단자에 상기 외부 전원 공급부가 접속되는 않는 경우, 상기 에너지 공급부의 제어부에 의해 상기 스위치부를 구동하여 상기 전기변색소자의 전원 단자를 상기 전원공급단자에 연결시키는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0023] 본 발명의 실시예에 의하면, 피부 부착형 생체 신호 센서를 구동할 수 있는 에너지 저장 장치로 사용 가능하면서, 생체 신호 및 충전 및 방전 여부를 시각화 할 수 있고 별도의 추가적인 배터리 없이도 생체 신호 센서를 구동할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스의 사용 상태를 나타낸 모식도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스를 구성하는 전기변색소자의 구조를 나타낸 모식도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스를 구성하는 전기변색소자의 생체 신호 및 충/방전 상태에 따라 색상이 순차적으로 변색되는 것을 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스를 구성하는 에너지 공급부를 구체적으로 나타낸 구성도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스의 센서 구동 모드를 나타낸 구성도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스의 에너지 저장 모드를 나타낸 구성도이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스를 구성하는 양극 및 음극의 결합에너지 분포 및 투명도를 나타낸 도면이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스를 구성하는 전기변색소자의 광학적 성능을 나타낸 도면이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스를 구성하는 전기변색소자의 전기화학적 성능을 나타낸

도면이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스를 구성하는 전기변색소자의 구부림에 대한 안정성을 나타낸 도면이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스를 구성하는 전기변색소자 어레이의 안정성을 나타낸 도면이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스를 구성하는 생체 신호 센서들의 성능을 나타낸 그래프이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스를 구성하는 전기변색소자와 생체 신호 센서 연결되어 생체 신호에 따라 전기변색소자가 변색되는 것을 나타낸 도면이다.

도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스를 구성하는 전기변색소자와 생체 신호 센서가 연결되어 온도 및 손목의 구부림 정도 변화에 따라 전기변색소자가 변색되는 것을 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 이하, 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 여러 실시 예들에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시 예들에 한정되지 않는다.

[0026] 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 동일 또는 유사한 구성요소에 대해서는 가급적 동일한 참조 부호를 붙이도록 한다. 따라서 앞서 설명한 참조 부호는 다른 도면에서도 사용할 수 있다.

[0027] 또한, 도면에서 나타난 각 구성의 크기 및 두께는 설명의 편의를 위해 임의로 나타내었으므로, 본 발명이 반드시 도시된 바에 한정되지 않는다. 도면에서 여러 층 및 영역을 명확하게 표현하기 위하여 두께를 과장되게 나타낼 수 있다.

[0028] 또한, 설명에서 "동일하다"라고 표현한 것은, "실질적으로 동일하다"는 의미일 수 있다. 즉, 통상의 지식을 가진 자가 동일하다고 납득할 수 있을 정도의 동일함 일 수 있다. 그 외의 표현들도 "실질적으로"가 생략된 표현들일 수 있다.

[0029] 본 명세서에서 구성요소 A가 다른 구성요소 B '상에' 형성되는 것은 구성요소 A가 구성요소 B와 직접 접하도록 형성되는 것 뿐만 아니라, 구성요소 A와 구성요소 B 사이에 또 다른 구성요소 C가 매개된 상태로 형성되는 것을 포괄하는 것으로 이해되어야 한다. 본 명세서에서 '제1', '제2' 등은 단지 구성요소들을 구별하기 위한 목적으로 사용된 것으로 이해되어야 한다.

[0030] 본 발명의 실시예에 따른 에너지 저장이 가능한 플렉서블 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스는 전기변색소자 자체가 에너지를 저장하는 기능을 구비하며, 전기변색소자에 구비된 에너지 저장층의 충전 상태 또는 방전 상태에 따라 전기변색소자의 색상이 변화한다. 또한, 전기변색소자의 에너지 저장층에 저장된 에너지는 생체 신호 센서를 구동하는데 활용될 수 있어 별도의 배터리 없이 생체 신호 센서 구동이 가능하다.

[0031] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전기변색소자를 구비하는 웨어러블 디바이스의 사용 상태를 나타낸 모식도이다. 도 1을 참조하여 설명하면, 본 발명의 실시예에 따른 웨어러블 디바이스(10)는 신축성 고분자 필름(300), 전기변색소자(100), 에너지 공급부(200), 및 생체 신호 센서(400)를 포함할 수 있다.

[0032] 신축성 고분자 필름(300)은 전기변색소자(100)와 에너지 공급부(200), 및 생체 신호 센서(400)를 지지하는 역할을 하며, 생체 신호의 감지를 위해 사용자의 피부(20) 등에 부착되거나 착용될 수 있도록 마련될 수 있다. 도 1에서는 웨어러블 디바이스(10)가 사용자의 맥박이나 온도 등을 감지하기 위해 사용자의 손목 부분에 착용된 상태가 도시되어 있다.

[0033] 신축성 고분자 필름(300)은 사용자의 신체 움직임이나 생체 신호에 따른 변화에 적응적으로 형태가 변형될 수 있도록, 신축성을 가지는 물질을 포함할 수 있다.

[0034] 일 예로, 신축성 고분자 필름(300)은 에코플렉스(Ecoflex)와 같이 연신률, 내열성 및 내화학성이 우수한 실리콘계열 물질이나, PDMS(poly(dimethylsiloxane)), 또는 에코플렉스와 PDMS가 합성된 Eco-PDMS(Ecoflex-poly(dimethylsiloxane)) 등으로 제작될 수 있다. 신축성 고분자 필름(300)은 하나 이상의 전기변색소자(100)를

포함하는 전기변색소자 어레이가 50%의 스트레인에도 안정적으로 구동될 수 있도록 신축성을 가지면서, 전기변색소자(100)와 에너지 공급부(200), 및 생체 신호 센서(400)를 지지할 수 있는 필름 형태의 고분자 층으로 구현될 수 있다.

[0035] 전기변색소자(100)는 신축성 고분자 필름(300) 상에 하나 또는 복수개로 마련되고, 충전 상태 또는 방전 상태에 따라 색상이 변화하며, 충전 상태에서 에너지를 저장하는 에너지 저장층(도 2의 도면부호 131 참조)을 포함할 수 있다. 실시예에서, 전기변색소자(100)는 상/하부 전극(양극, 음극) 사이에 적층되어 상/하부 전극 간에 인가되는 전기 신호에 따라 이온을 누적하여 에너지를 저장하며, 저장된 에너지에 따라 색상이 변화하는 수기반 전해질층(도 2의 도면부호 130 참조)을 포함할 수 있다.

[0036] 전기변색소자(100)는 상/하부 전극 간의 전압에 따라 다양한 색상으로 변색 가능하며 전해질층 내의 이온의 충전/방전 거동에 의해 에너지가 충/방전될 수 있는 물질로 제작될 수 있다. 일 예로, 전기변색소자(100)는 충방전 성능이 우수한 PVA(poly(vinyl alcohol)/$ZnCl_2$ 겔 전해질층을 포함할 수 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.

[0038] 에너지 공급부(200)는 센서 구동 모드에서는 전기변색소자(100)에서 방전되어 나온 전자를 생체 신호 센서(400)에 공급하며, 에너지 저장 모드에서는 전기변색소자(100)의 에너지 저장층에 에너지를 저장시키는 역할을 한다. 에너지 공급부(200)는 전기변색소자(100)의 에너지 저장층에 저장된 에너지를 생체 신호 센서로 공급하도록, 전기변색소자(100)와 생체 신호 센서(400) 사이에 전기적으로 연결될 수 있다. 생체 신호 센서(400)는 웨어러블 디바이스(10)가 사용자의 피부 등의 대상체에 부착된 상태에서 사용자의 신체 움직임이나, 맥박, 온도 등의 다양한 생체 신호를 감지할 수 있다. 생체 신호 센서(400)는 예를 들어, 사용자의 맥박이나 신체 움직임을 감지하기 위한 인장 센서 및/또는 사용자의 피부 등의 온도를 감지하기 위한 온도 센서를 포함할 수 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 생체 신호 센서(400)는 에너지 공급부(200)에 의해 전기변색소자(100)의 에너지 저장층에 저장된 전기 에너지를 공급받아 구동될 수 있다.

[0039] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스를 구성하는 전기변색소자의 구조를 나타낸 모식도이다. 도 1 및 도 2를 참조하여 설명하면, 전기변색소자(100)는 양극(110)과 음극(120), 그리고 양극(110)과 음극(120) 사이에 적층되는 수기반 전해질층(130)을 포함할 수 있다.

[0040] 양극(110)은 신축성 고분자 필름(300) 상에 마련될 수 있다. 양극(110)은 전기변색소자의 상/하부 전극 중 어느 하나의 제1 전극일 수 있다. 양극(110)은 전기 전도성을 가지는 물질로서, 예를 들어, 육각 그리드 형태로 패터닝된 금 박막(111)과, 금 박막(111) 상에 증착되는 에틸렌글리콜로 도핑된 PEDOT:PSS 소재의 투명 전극층 및 폴리아닐린 층(112, 113)을 포함할 수 있다.

[0041] 수기반 전해질층(130)은 에너지 저장층(131)을 포함할 수 있다. 에너지 저장층(131)은 양극(110)과 음극(120) 사이에 적층될 수 있다. 에너지 저장층(131)은 양극(110)과 음극(120) 간의 전압에 따라 이온을 누적하는 물질로 형성될 수 있으며, 예를 들어 폴리비닐알콜(PVA) 및 염화아연을 포함하여 형성될 수 있다.

[0042] 음극(120)은 수기반 전해질층(130) 상에 마련될 수 있다. 음극(120)은 전기변색소자(100)의 상/하부 전극 중 다른 하나의 제2 전극일 수 있다. 음극(120)은 전기 전도성을 가지는 물질로서, 예를 들어 금 박막(121)과, 인듐이 코팅된 아연 소재의 전극층(122)을 포함할 수 있다.

[0043] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스를 구성하는 전기변색소자의 생체 신호 및 충/방전 상태에 따라 색상이 순차적으로 변색되는 것을 나타낸 도면이다. 도 1 내지 도 3을 참조하여 설명하면, 온도가 15℃에서 45℃로 변화함에 따라 전기변색소자(100)의 색상이 순차적으로 파랑색, 청록색, 녹색, 연두색 그리고 회색으로 변화하고 있는 것을 나타낸다.

[0044] 또한, 인장 정도가 0%에서 50%로 변화됨에 따라 전기변색소자(100)의 색상이 순차적으로 파랑색, 청록색, 녹색, 연두색 그리고 회색으로 변화하고 있는 것을 나타낸다.

[0045] 일 예로, 양극(110)과 음극(120) 간의 전압에 따라, 전기변색소자(100)는 0.3V 전압에서는 회색, 0.7V 전압에서는 연두색, 1.0V 전압에서는 녹색, 1.4V 전압에서는 청록색, 1.6V 전압에서는 파랑색으로 변화할 수 있다. 전기변색소자(100)의 변색 메커니즘은 다음과 같다.

$$\text{Cathode}: 2PANI(Cl)_n + 2ne^- \leftrightarrows 2PANI + 2nCl^-$$

$$\text{Anode}: nZn \leftrightarrows nZn^{2+} + 2ne^-$$

[0046] .

[0048] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스를 구성하는 에너지 공급부를 구체적으로 나타낸 구성도이다. 도 1 및 도 4를 참조하여 설명하면, 에너지 공급부(200)는 전원공급라인(210)과, 스위치부(220), 외부전원 감지부(230), 제어부(240), 및 전원입력단자(260)를 포함할 수 있다. 전원공급라인(210)은 에너지 저장층(131)에 저장된 에너지를 생체 신호 센서(400)로 공급하도록, 전기변색소자(100)와 생체 신호 센서(400) 사이에 연결될 수 있다.

[0049] 스위치부(220)는 전기변색소자(100)의 전원 단자(140)를 생체 신호 센서(400)로 전원을 공급하기 위한 전원공급단자(221)와, 전기변색소자(100)로 에너지를 충전하기 위한 충전단자(222)간에 스위칭하도록 전원공급라인(210)에 마련될 수 있다.

[0051] 스위치부(220)는 전원 단자(140)와 전원공급단자(221), 충전 단자(222), 및 이들 단자 간을 전기적으로 연결하거나 단락시키는 스위칭 유닛을 포함할 수 있다. 스위치부(220)는 전기변색소자(100)를 충전하기 위한 에너지 충전 모드에서 전기변색소자(100)의 전원 단자(140)를 충전단자(222)에 연결시키고, 생체 신호 센서(400)를 구동하기 위한 센서 구동 모드에서 전기변색소자(100)의 전원 단자(140)를 전원공급단자(221)에 연결시키는 역할을 한다. 여기서, 전기변색소자(100)의 전원 단자(140)는 전기변색소자(100)의 양극(110)과 음극(120) 중의 어느 하나와 전기적으로 연결되는 단자일 수 있다.

[0052] 전원공급단자(221)는 생체 신호 센서(400)의 일단에 마련되는 제1 단자(410)에 전기적으로 연결될 수 있다. 전원입력단자(260)는 생체 신호 센서(400)의 타단인 제2 단자(420)와, 충전단자(222) 사이에 마련될 수 있다. 전원입력단자(260)는 외부 전원 공급부(250)와 접속 가능하게 마련될 수 있다. 전원입력단자(260)는 외부 전원 공급부(250)가 접속 또는 분리될 수 있는 단자로서, 외부 전원 공급부(250)의 전원 전달 단자와 물리적/전기적으로 결합될 수 있는 커넥터 삽입단자 등으로 제공될 수 있다.

[0053] 외부전원 감지부(230)는 전원입력단자(260)에 외부 전원 공급부(250)가 접속되는지를 감지할 수 있다. 외부 전원 공급부(250)는 예를 들어, 직류 전원 공급부, 교류 전원 공급부와 같이, 전기변색소자(100)의 에너지 저장층에 에너지를 저장하기 위한 전원을 공급할 수 있다. 외부 전원 공급부(250)는 웨어러블 디바이스(10)와 별개로 외부에 마련되어 있는 전원 공급 장치로서, 휴대형 전원 공급 장치나, 콘센트 등에 연결되어 충전 전원을 공급하는 고정형 전원 공급 장치 등을 포함할 수 있다.

[0054] 외부 전원 감지부(230)는 외부 전원 공급부(250)로부터 전원이 공급될 시에 제어부(240)에 외부 전원 감지에 따른 전기적 신호를 보낼 수 있다. 외부 전원 감지에 따른 전기적 신호는 제어부(240)를 구동 시킬 수 있다. 외부 전원 감지부(230)는 외부 전원 공급부(250)가 전원입력단자(260)에 결합될 때, 외부 전원 공급부(250)의 접속에 따른 저항 변화, 커패시턴스(정전용량) 변화, 인덕턴스 변화 등을 감지하여 외부 전원 공급부(250)의 연결을 자동적으로 감지할 수 있다.

[0055] 제어부(240)는 전원입력단자(260)에 외부 전원 공급부(250)가 접속되는 것으로 감지되면 스위치부(220)를 구동하여 전기변색소자의 전원 단자(140)를 충전단자(222)에 연결시킨다. 제어부(240)는 메모리에 저장되어 있는 프로그램을 실행하여 기 설정된 스위칭 기능을 수행하는 적어도 하나의 프로세서(processor)를 포함할 수 있다. 전원입력단자(260)에 외부 전원 공급부(250)가 접속되지 않는 경우에는 스위치부(220)를 구동하여 전기변색소자의 전원 단자(140)를 전원공급단자(221)에 연결시킬 수 있다. 이와 같은 실시예에 의하면, 외부 전원 공급부(250)의 연결을 자동으로 감지하여 사용자의 별도의 조작 없이도 센서 구동 모드와 에너지 저장 모드 간의 전환이 가능하다.

[0056] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스의 센서 구동 모드를 나타낸 구성도이다. 도 5에서 점선으로 도시된 부분은 전류가 흐르지 않는 상태를 나타내고, 실선으로 도시된 부분은 전류가 흐르는 상태를 나타낸다. 구체적으로, 전원입력단자(260)에 외부 전원 공급부(250)가 연결되지 않은 센서 구동 모드에서 스위치부(220)의 전기변색소자(100)의 전원단자(140)와 전원공급단자(221)가 스위칭 유닛에 의해 전기적으로 연결된다. 그에 따라 생체 신호 센서(400)와 에너지 저장층(131), 제1 단자(410) 및 제2 단자(420)가 전기적으로 연결된다. 에너지 저장층(131)에 저장된 에너지는 전원 공급 라인(210)을 따라 제1 단자(410)를 거쳐 전달되어 생체 신호 센서(400)를 구동할 수 있다.

[0057] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스의 에너지 저장 모드를 나타낸 구성도이다. 도 6에서 점선으로 도시된 부분은 전류가 흐르지 않는 상태를 나타내고, 실선으로 도시된 부분은 전류가 흐르는 상태를 나타낸다. 구체적으로, 전원입력단자(260)에 외부 전원 공급부(250)가 연결되어 있는 에너지 저장 모드에서 스위치부(220)의 전기변색소자(100)의 전원단자(140)와 충전단자(222)가 스위칭 유닛에 의해 전기적으로 연결된다. 그에 따라 전원입력단자(260)와 외부 전원 공급부(250), 에너지 저장층(131)이 전기적으로 연결된다. 연결된 단자들에 의해 외부 전원 공급부(250)로부터 에너지가 전기변색소자(100)의 전원단자(140)를 거쳐 전기변색소자(100)의 에너지 저장층(131)에 저장(충전)될 수 있다.

[0058] 상술한 실시예에서는 전기변색소자(100)가 에너지 저장 소자로서의 기능과 센서 구동 기능을 동시에 수행할 수 있는 경우에 대해 설명하였으나, 복수개의 전기변색소자(100) 중 어느 하나 이상의 제1 전기변색소자(100)가 에너지 저장 소자로서 기능 및 센서 구동 소자로서의 기능을 수행하고, 다른 하나 이상의 제2 전기변색소자(100)는 제1 전기변색소자(100)에 의해 구동되는 생체 신호 센서(400)로부터 출력되는 생체 신호와 관련된 전기 신호에 따라 생체 신호(신체 움직임, 맥박, 온도 등)에 해당하는 색상을 출력하도록 구성될 수도 있다. 이러한 실시예에 의하면, 제1 전기변색소자(100)에 저장되어 있는 에너지 충전량(방전량)을 제1 전기변색소자(100)의 색상을 통해 확인할 수 있으면서, 동시에 제2 전기변색소자(100)에 의해서 사용자의 생체 신호 또한 확인할 수 있는 이점이 있다.

[0059] 이하에서 본 발명의 실시예에 따른 웨어러블 디바이스의 성능 검증을 위한 실험 내용에 대해 설명한다.

[0060] 70 mm×70 mm 크기의 필름형태 고분자 층을 사용하여 신축성 고분자 필름(300)을 제조하였다. 신축성 고분자 필름(300)으로는 Ecoflex-poly(dimethylsiloxane) (Eco-PDMS)가 사용되었다. 신축성 고분자 필름(300)은 늘임 가능한 전기변색소자 어레이가 50%의 스트레인에도 안정적으로 구동되도록 하기 위하여 사용되었다.

[0061] 구체적으로, 전기변색소자(100)의 제조 시 신축성 소재인 Ecoflex와 PDMS를 혼합하여 기판을 제작하였다. 이때 Ecoflex, PDMS의 주제와 경화제의 혼합비는 각각 1:1, 20:1로 하였다. 주제와 경화제가 혼합된 Ecoflex와 PDMS를 질량비가 1:4가 되도록 혼합하여 Ecoflex/PDMS 신축성 기판을 제작한다.

[0062] 다음으로, 신축성 고분자 필름(300) 기판 위에 5가지의 색으로 변색 가능한 전기변색소자(100)를 형성하였다. 전기변색소자(100)의 형성을 위해, 폴리비닐알콜(분자량 89,000-98,000, 99+% hydrolyzed, Sigma-Aldrich) 1 g을 8 ml의 초순수에 넣고 120 ° C에서 2시간 동안 녹였다. 그 다음, 염화아연(reagent grade≥98%, Sigma-Aldrich) 2.73 g을 2 ml의 초순수에 용해하였다. 염화아연이 물에 완전히 용해하고, 염화아연 수용액을 폴리비닐알콜 하이드로겔에 첨가한 후, 120 ° C에서 3 시간 동안 교반하였다. 만들어진 전해질은 실온으로 완벽히 냉각하였다.

[0063] 폴리아닐린(PANI; polyaniline)/In-coated Zn(인듐 코팅된 아연) 물질을 사용하여 전극을 형성하였다. 전기변색소자(100)는 액체 금속인 Galinstan이 패터닝 된 연결선에 의해 집적되었다. 전기변색소자(100)는 신축성 고분자 필름의 중간에 1x4 어레이 형태로 배열되는 형태로 제작되었다. 전기변색소자(100)의 좌 우측에 각각 온도 센서와 인장 센서가 위치되도록 생체 신호 센서를 형성하였다.

[0064] 액체 금속을 패터닝하기 위한 마스크로 방수 종이 (Hoochootong, Korea)를 잘라서 제작하였다. 마스크를 Ecoflex/PDMS 기판에 붙인 다음, 액체 금속인 Galinstan (68.5% galium, 21.5% indium, and 10% tin. Rotometals)을 스프레이하여 PANI 양극의 연결선을 만들었다. 그 다음, 액체 금속이 패터닝된 Ecoflex/PDMS 위에 전기변색소자(100)를 집적하였다. 전기변색소자(100)의 집적 후에 인듐이 코팅된 아연 음극을 위한 연결선을 패터닝하였다. 연결선 패터닝 후에, 생체 신호를 감지하기 위한 생체 신호 센서(온도 센서 및 인장 센서)를 추가로 Ecoflex/PDMS 위에 집적하였다.

[0065] 구체적으로, 온도 센서 제작 시 다중벽 탄소나노튜브(MWCNT; multi-walled carbon nanotube)/PANI 나노 복합체를 초순수에 1 mg/ml의 농도로 분산시켰다. 그 다음, 온도 센서의 채널 영역을 만들기 위해 10:1 PDMS 마스크를 제작하였다. 제작된 PDMS 마스크를 mixed cellulose ester 필터 (pore size 0.2 m, diameter 47 mm, ADVANTEC) 위에 놓은 뒤, 진공 여과를 통해 MWCNT /PANI 나노 복합체를 필터 위에 1.0 × 0.5 cm^2 크기로 패터닝하였다. MWCNT /PANI 나노 복합체가 패터닝된 필터를 뒤집어서 10 wt%의 폴리비닐알콜 (average MW: 130 000, Sigma-Aldrich)에 붙이고, 24 시간 동안 상온에서 건조시킨 다음, 필터를 PVA로부터 제거하여 온도 센서를 제조하였다.

[0066] 인장 센서 제작을 위해, 니켈 폼 표면에 CVD를 통해 합성된 그래핀 폼을 90 ℃의 농도가 3M인 염산 용액에서 24 시간 동안 침윤시켜 니켈 폼을 식각하였다. 니켈의 식각이 끝난 그래핀 폼을 초순수, 이소프로필알콜로 잔류된

염산 용액을 이용하여 완전히 씻어냈다. 그 다음, 10 ml의 이소프로필알콜에 씻은 그래핀 폼을 넣어 2h 동안 볼텍싱 공정을 진행하여 그래핀 폼을 분쇄하였다. 볼텍싱 공정 후, 분쇄된 그래핀 폼 분산 용액이 0.4 g이 되도록 이소프로필알콜을 버렸다. 그 다음 슬라이드 글라스에 폴리이미드 테이프를 이용하여 분쇄된 그래핀 폼의 크기가 0.1 x 2.0 cm^2 가 되게 마스킹한 다음, 분산 용액을 60 μl만큼 도포한 뒤 65 ℃의 오븐에서 이소프로필알콜을 완전히 건조하였다. 이소프로필알콜이 완전히 건조되면 테이프를 떼어낸 뒤, PDMS (주제 : 경화제 = 10:1)을 슬라이드 글라스 위에 붓고 65 ℃의 오븐에서 1 시간 동안 경화한 다음 PDMS를 떼어내어 분쇄된 그래핀 폼을 PDMS 탄성체에 임베딩 시켰다.

[0067] E-beam evaporator를 통해 PET 필름에 Ti (5 nm)과 Au (60 nm) 박막을 순차적으로 증착하여 금 박막(111) 그리드 기반 투명 전극을 제조하였다. 그 다음, 감광액 (PR, AZ 5214E, MicroChem)을 Ti/Au 박막 위에 4000 rpm의 회전 속도로 40 초 동안 스핀-코팅을 하였다. 스핀코팅 후, 코팅된 감광액을 110 ° C에서 1 분간 어닐링을 하였다. 계속해서, 감광액을 포토마스크와 마스크 얼라이너 (MDA-400 M, MIDAS system)를 통해 365 nm의 파장을 갖는 UV에 노광하였다. 반응한 감광액은 현상액 (AZ 300 MIF, Merck)을 통해 현상하였다. 그리고 노출된 영역의 Au 박막을 Au 에칭 용액 (Gold Etch-Type TFA, Transene)을 통해 식각하였다. 그 다음, Ti 박막을 100 ° C의 Ti 에칭 용액 (Titanium etchant TFTN, Transene)에서 식각하였다. 식각 공정 후, 경화된 감광액을 아세톤 및 이소프로필알콜을 통해 제거하였다. 투명 전극의 크기 및 빛이 투과 가능한 영역의 비율은 각각 1.3 × 1.2 cm^2 및 95.2%으로 하였다.

[0068] Au/PEDOT:PSS 전극을 제작하기 위해, Au 그리드 전극을 O_2 플라즈마(50 sccm/60 W)를 통해 표면 처리하여 폴리아닐린 양극을 제조하였다. 그 다음, 3-(아미노프로필) 트라이에톡시실란 (APTES, 99%, Acros Organics) 수용액에 20분간 침윤시켜 표면 처리 후, 5 wt%의 에틸렌글리콜로 도핑된 PEDOT:PSS (PH1000, Clevios)(112)를 Au 그리드 전극 위에 2000 rpm에서 1분간 스핀-코팅하였다. 그 다음, 130 ° C에서 30 분 동안 PEDOT:PSS(112)를 경화시켰다. 폴리아닐린 전구체로는, 농도가 0.1 M인 아닐린 (ACS reagent, 99.5%, Sigma-Aldrich) 및 0.5 M인 황산 (98%, Daejung)이 100 ml의 3차수에 용해된 수용액이 사용되었다. 폴리아닐린은 3전극 시스템에서 전기 성장이 된다. 이때, 3전극 시스템은 Au/PEDOT:PSS 전극, 백금 코일 (ALS Part no. 012961), 상용 은/염화은 전극 (ALS RE-1B)이 각각 작업 전극, 상대 전극, 기준 전극이다. 폴리아닐린은 0.75 V의 전압을 390 초 동안 인가하여 성장되었다. 성장된 폴리아닐린에 대해 3차수를 통해 잔여물을 씻어낸 다음, 60 ° C의 진공 오븐에서 하룻밤 동안 건조시켰다.

[0069] 아연은 전기 도금을 통해 Au 그리드 투명 전극에 성장되었다. 아연의 전기 도금을 위한 전구체 용액은 200 ml의 3차수에 황산 아연 7수화물 (98%, Alfa Aesar) 30 g, 황산 소듐(Anhydrous, 99%, Alfa Aesar) 30 g 그리고 붕산 (ACS reagent, ≥99.5%, Sigma-Aldrich) 5 g을 용해시켜 만들었다. 아연의 전구체 용액에서 아연 포일을 상대 전극으로 하여 -0.2 V의 전압으로 2400 초 동안 Au 그리드 투명 전극에 인가하여 아연을 전기 도금하였다. 전기 도금 후에, 아연은 초순수를 통해 잔여물을 씻어낸 후, 질소로 초순수를 건조시켰다. 인듐을 아연 표면에 코팅하기 전에, 아연이 도금된 투명 전극을 농도가 0.1 M인 염산에 침윤시켜, 아연 표면의 불순물을 제거해주고 초순수로 씻어냈다. 인듐을 아연이 도금된 투명 전극에 코팅하기 위해, 0.5 M 농도의 삼염화인듐 수화물 (99.99%, Alfa Aesar) 수용액을 20분 동안 아연이 도금된 투명 전극 위에 도포하였다. 20분 경과 후, 인듐이 코팅된 아연 전극으로부터 용액을 제거한 후, 초순수로 씻어내고 질소 가스로 조심스럽게 건조시켜 웨어러블 디바이스를 제조하였다.

[0070] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스(10)를 구성하는 양극(110) 및 음극(120)의 결합에너지 분포 및 투명도를 나타낸 도면이다. 도 7의 a) 중 좌측은 육각형으로 패터닝 된 인듐이 코팅된 아연 음극층의 SEM 이미지를 나타낸 것이다. 도 7 a)의 우측에 도시된 두 개의 그래프는 PET 기판 상의 금 박막에 육각형 그리드 형태로 패터닝된 인듐 코팅 아연 전극층의 결합에너지 분포를 나타낸 그래프이다.

[0071] 도 7의 b)는 PANI 투명 전극층의 SEM이미지(좌측 이미지)와 PANI 투명 전극층의 결합에너지 분포를 나타낸 그래프이다. 도 7의 c)는 전기변색소자(100)를 구성하는 다양한 전극 물질(Au, Zn/Au, In-coated Zn/Au, Au/PEDOT:PSS)의 파장에 따른 투과도를 나타낸 그래프이다. 도 7의 a), b) 및 c)를 참조하면, 전극 물질 Au, Zn/Au, In-coated Zn/Au, Au/PEDOT:PSS 모두 380 ~ 780 nm의 파장 대역에서 광 투과도가 60% 이상임을 확인할 수 있다.

[0072] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스(10)를 구성하는 전기변색소자(100)의 광학적 성능을 나타낸 도면이다. 도 8의 a)는 전기변색소자(100)의 파장에 따른 투과도를 나타낸 그래프이다. 도 8의 a)를 참고하면, 전기변색소자(100)의 스위치부(220)에 의한 에너지 저장 모드에서의 충전 및 센서 구동 모드에 따른 방전

된 전압에 따라 색상이 변화하는 것을 그래프를 통해 확인할 수 있다. 전기변색소자(100)는 0.3V 전압에서는 회색, 0.7V 전압에서는 연두색, 1.0V 전압에서는 녹색, 1.4V 전압에서는 청록색, 1.6V 전압에서는 파랑색으로 변화되는 것을 확인할 수 있다.

[0073] 도 8의 b)는 전기변색소자(100)의 양극(110)과 음극(120) 간에 10초간 0.3V 전압을 인가한 후, 10초간 1.6V 전압을 인가하는 과정을 반복하면서 전기변색소자(100)의 투과도를 측정한 결과이다. 도 8의 b) 를 참고하면, 전기변색소자(100)에 인가되는 전압이 반복적으로 변화되더라도, 투과도 변화가 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다.

[0074] 도 8의 c)는 전기변색소자(100)에 인가되는 전압이 변화되는 과정에서 전기변색소자(100)의 투과도의 변화 형태를 나타낸 도면이다. 도 8의 c)를 참조하면, 전기변색소자(100)에 인가되는 전압이 0.3V에서 1.6V로 변화되는 과정에서, 투과도는 약 1.5 초 내에 변화가 나타나는 것을 알 수 있다. 또한, 전기변색소자(100)에 인가되는 전압이 1.6V에서 0.3V로 변화되는 과정에서, 투과도는 약 1.1 초 내에 변화가 나타나는 것을 알 수 있다. 즉, 전기변색소자(100)에 인가되는 전압이 변화하더라도, 약 1초 내지 2초 내에 전기변색소자(100)의 색상 변화를 통해 전기변색소자(100)의 전압 변화를 인지할 수 있다.

[0075] 도 8의 d)는 전기변색소자(100)의 장시간 사용에 따른 투과도 변화를 나타낸 것으로 약 1시간 동안 전기변색소자(100)에 인가되는 전압을 주기적으로 변화시키더라도, 투과도가 거의 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다. 도 8의 e) 와 f)는 전류밀도에 따른 착색효율과 변색정도를 나타낸 것이다. 도 8의 e)와 f)를 참조하면, 전기변색소자는 인가되는 전압에 따라 비교적 일정한 비율로 색상이 변화되는 것을 알 수 있다.

[0076] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스(10)를 구성하는 전기변색소자(100)의 전기화학적 성능을 나타낸 도면이다. 도 9의 a)는 전기변색소자(100)에 인가되는 전압에 따른 전류 밀도를 측정한 결과이다. 도 9의 b)는 전기변색소자(100)에 인가되는 전압의 스캔율(scan rate)에 따른 전류를 측정한 결과이다. 도 9의 c)는 다양한 전류 밀도에 대해 전기변색소자(100)의 전압-정전용량 특성을 나타낸 그래프이다. 도 9의 d)는 전기변색소자(100)의 전류밀도-정전용량 특성을 나타낸 그래프이다. 도 9의 (e)는 전류밀도를 변화시키면서 전기변색소자(100)의 정전용량을 측정한 결과이다. 도 9의 (f)는 전기변색소자의 반복 사용에 따른 정전 용량 및 쿨롱 효율 특성을 나타낸 그래프이다.

[0077] 도 9의 a) 내지 d)를 참고하면, 전기변색소자(100)에 다양한 전류밀도에 따른 충전 및 방전 시 안정된 에너지 저장능력을 그래프를 통해 알 수 있다. 또한, 도 9의 e) 및 f)를 참조하면, 전기변색소자(100)의 인듐이 코팅된 아연 음극으로 인해 반복적인 구동을 했을 때에도 에너지 저장 용량이 유지되는 것을 그래프를 통해 확인할 수 있다.

[0078] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스(10)를 구성하는 전기변색소자(100)의 구부림에 대한 안정성을 나타낸 도면이다. 구체적으로, 도 10의 a) 및 c)로부터 신축성 고분자 필름(300)의 구부림 정도에 따른 전기변색소자(100)의 투과도와 그에 따른 전압 변화 및 전기변색소자(100)의 색상 변화를 확인할 수 있다. 전기변색소자(100)를 2.0 cm, 1.2 cm, 0.75 cm 등의 다양한 곡률 반경으로 굽히면서 투과도 및 전기적 특성을 평가하였다. 도 10의 b)를 참조하면, 구부림 횟수가 증가하더라도 전기변색소자(100)의 전압변화에 따른 투과도가 거의 일정하게 유지되는 것을 통해 전기변색소자(100)의 구부림에 대한 안정성을 확인할 수 있다. 도 10의 d), e) 및 f)는 전기변색소자(100)의 구부림 정도에 따른 전류밀도와, 전압-정전용량 특성을 나타낸 것이다.

[0079] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스(10)를 구성하는 전기변색소자(100) 어레이의 안정성을 나타낸 도면이다. 구체적으로, 도 11의 a)는 신축성 고분자 필름(300) 상에 1x4 어레이 형태로 배열된 모습과 전기변색소자(100)에 50%의 스트레인을 가했을 때 전기변색소자(100) 간에 벌어지는 정도(신축성)를 나타낸 것이다. 도 11의 b) 및 c)에 도시된 바로부터, 전기변색소자(100)가 50%의 스트레인에도 안정적으로 구동되는 것과 반복적인 스트레인에도 투과도가 거의 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다.

[0080] 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스(10)를 구성하는 생체 신호 센서(400)들의 성능을 나타낸 그래프이다. 도 12의 a) 내지 c)는 인장 센서에 대한 측정 결과로, 생체 신호 센서(400)에 다양한 스트레인(0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%)을 인가하여 각 스트레인별로 전압에 따른 전류 변화(도 12의 a)), 전압 변화 특성(도 12의 b)) 및 반복 사용에 따른 안정성(도 12의 c))를 나타낸 것이다. 도 12의 a)를 참조하면, 구부림 정도에 따라 인가되는 전압 대비 전류의 비율(저항의 역수)이 줄어드는 것을 알 수 있다. 도12의 b) 및 c)를 참조하면, 스트레인의 변화 비율에 따라 저항 변화 또한 일정하게 발생하며, 반복적인 인장변화에도 인장센서의 안정성을 확인할 수 있다.

[0081] 도 12의 d), e) 및 f)를 참조하면, 온도 센서에 대한 측정 결과, 온도(15℃, 20℃, 25℃, 30℃, 35℃, 40℃, 45℃)가 증가함에 따라 인가되는 전압 대비 전류의 비율이 증가하는 것과 반복적인 온도 변화에도 온도 센서의 측정값이 안정성을 나타내는 것을 그래프로부터 확인할 수 있다. 도 12의 d)는 온도 센서의 전압-전류 관계를 나타낸 것으로 전압이 증가할수록 전류가 선형적으로 증가되는 것을 확인할 수 있다. 도 12의 e) 및 f)를 참조하면, 온도가 증가하거나 반복적인 온도변화에도 온도센서가 안정적으로 동작하는 것을 확인할 수 있다.

[0082] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스(10)를 구성하는 전기변색소자(100)와 생체 신호 센서(400)가 연결되어 생체 신호에 따라 전기변색소자(100)가 변색되는 것을 나타낸 도면이다. 도 13의 a)는 손목의 구부림 각도에 따른 스트레인을 나타낸 것으로 손목의 구부림 정도가 증가될 수록 스트레인이 증가되는 것을 확인할 수 있다. 도 13의 b)는 시간에 따른 전기변색소자(100)의 전류 변화를 나타낸 것으로 손목의 맥박(wrist pulse)에 따른 전류 변화를 나타낸다. 도 13의 c)는 손목 구부림 정도에 따라 생체 신호 센서(400)의 전류가 변화하여 그에 따라 전기변색소자(100)에 인가되는 전기 신호의 변화에 따라 전기변색소자(100)의 색상이 변하는 것을 나타낸 것으로, 손목의 구부림 정도에 따라 전기변색소자(100)의 변화되는 색상을 확인할 수 있다. 도 13의 d)는 웨어러블 디바이스(10)의 손목 구부림으로 인한 생체 신호에 따른 전기변색소자(100)의 변색되는 정도를 나타낸 것이다. 도 13의 d)를 참조하면, 일 열로 나열된 세 개의 전기변색소자(100) 중 좌측으로부터 2개의 전기변색소자(100)는 에너지를 저장하는 역할을 하고, 나머지 최 우측에 위치한 전기변색소자(100)는 손목의 구부림으로 인한 생체 신호를 색상 변화를 통해 시각화 하는 역할을 한다. 생체 신호를 시각화 하는 전기변색소자(100)는 인장 센서에서 손목의 구부림 정도나 맥박을 감지하여 전기적 신호를 전기변색소자(100)에 보내고 이에 따라 전기변색소자(100)의 색상이 변화된다.

[0083] 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 웨어러블 디바이스(10)를 구성하는 전기변색소자(100)와 생체 신호 센서(100)가 연결되어 온도 및 손목의 구부림 정도 변화에 따라 전기변색소자(100)가 변색되는 것을 나타낸 도면이다. 구체적으로, 상단에 위치한 전기변색소자(100)는 온도 변화에 따라 변색되고 하단에 위치한 전기변색소자(100)는 손목의 구부림 정도에 따라 변색된다.

[0084] 상술한 바와 같은 본 발명의 실시예에 의하면, 웨어러블 디바이스(10)를 사용자 피부 등에 부착하여 웨어러블 디바이스(10)에 마련된 생체 신호 센서에 의해 감지되는 생체 신호(신체 구부림, 맥박, 온도 등)를 전기변색소자(100)의 색상을 통해 확인할 수 있다.

[0085] 더 나아가, 본 발명의 실시예에 의하면, 에너지 저장이 가능한 전기변색소자(100)를 구현하여 전기변색소자(100)에 에너지를 충전하고, 전기변색소자(100)에 저장된 에너지를 이용하여 생체 신호 센서를 구동함으로써, 전기변색소자(100)가 생체 신호 센서의 구동원으로 동작하여 별도의 배터리 없이도 생체 신호 센서의 구동이 가능하다.

[0086] 또한, 본 발명의 실시예에 의하면, 외부 전원 감지를 통해 에너지 충전 모드와 센서 구동 모드 간을 전환하는 스위칭부를 마련하여, 스위칭부에 의해 에너지 충전 모드와 센서 구동 모드 간을 자동으로 전환함으로써 편리하게 전기변색소자(100)를 에너지 공급원으로 활용할 수 있다.

[0087] 이상의 상세한 설명은 본 발명을 예시하는 것이다. 또한 전술한 내용은 본 발명의 바람직한 실시 형태를 나타내어 설명하는 것이며, 본 발명은 다양한 다른 조합, 변경 및 환경에서 사용할 수 있다. 즉 본 명세서에 개시된 발명의 개념의 범위, 저술한 개시 내용과 균등한 범위 및/또는 당업계의 기술 또는 지식의 범위내에서 변경 또는 수정이 가능하다. 저술한 실시예는 본 발명의 기술적 사상을 구현하기 위한 최선의 상태를 설명하는 것이며, 본 발명의 구체적인 적용 분야 및 용도에서 요구되는 다양한 변경도 가능하다. 따라서 이상의 발명의 상세한 설명은 개시된 실시 상태로 본 발명을 제한하려는 의도가 아니다. 또한 첨부된 청구범위는 다른 실시 상태도 포함하는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

[0089] 10: 웨어러블 디바이스

20: 사용자의 피부

100: 전기변색소자

110: 양극

111: 금 박막

112: PEDOT:PSS 투명 전극층

113: 폴리아닐린 층

120: 음극

121: 금 박막

122: 인듐 코팅 아연 전극층

130: 전해질층

131: 에너지 저장층

140: 전기변색소자의 전원단자

200: 에너지 공급부

210: 전원공급라인

220: 스위치부

221: 전원공급단자

222: 충전단자

230: 외부 전원 감지부

240: 제어부

250: 외부 전원 공급부

260: 전원입력단자

300: 신축성 고분자 필름

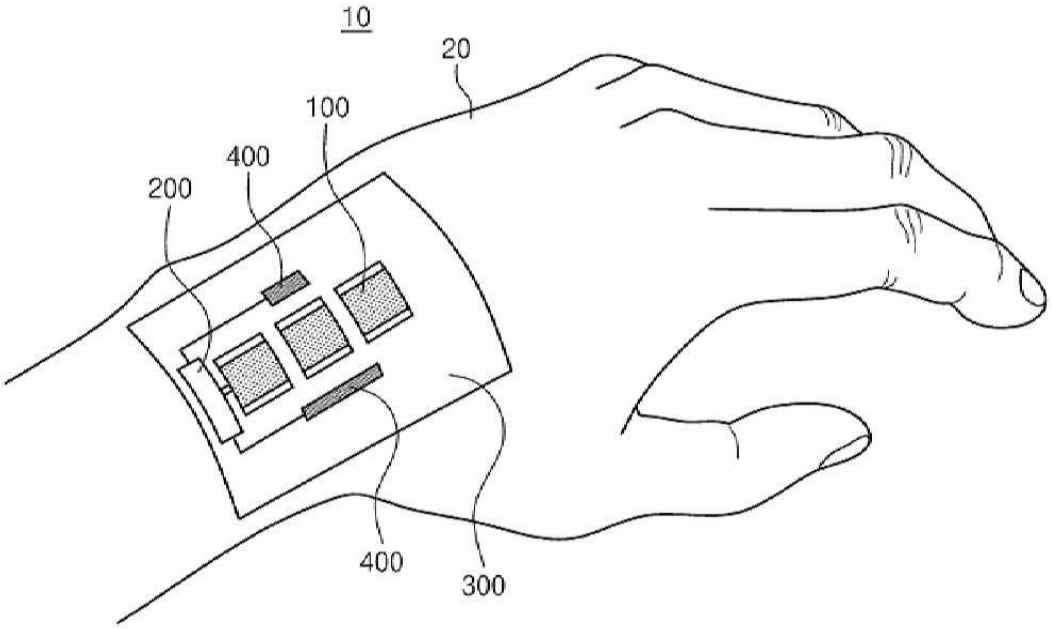
400: 생체 신호 센서

410: 제1 단자

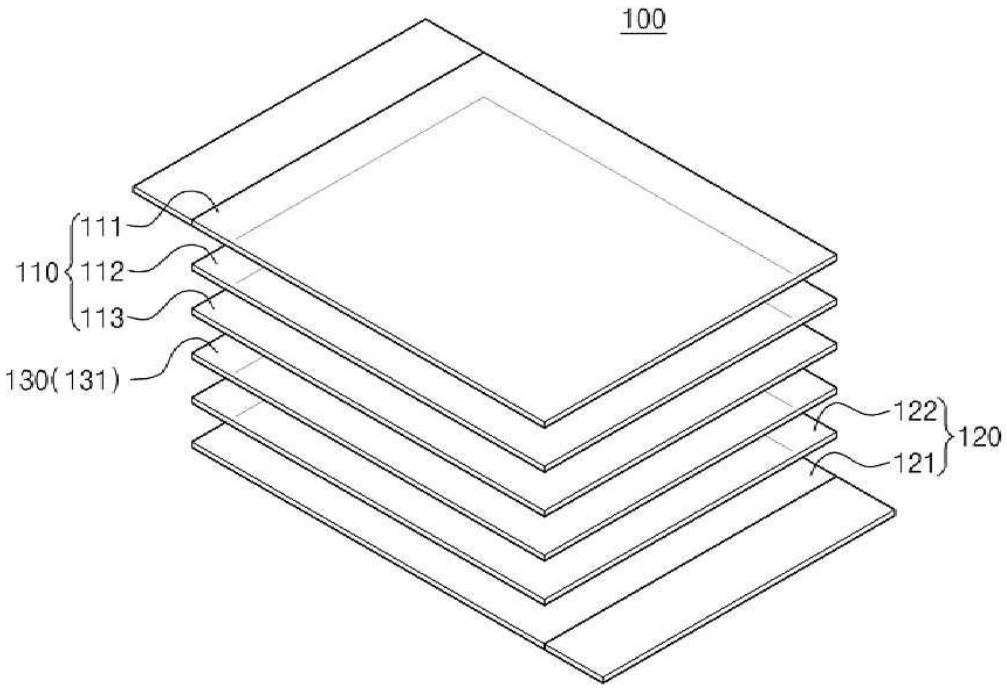
420: 제2 단자

도면

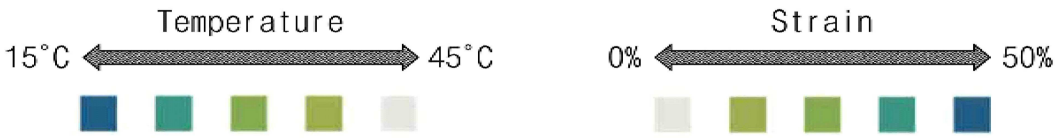
도면1



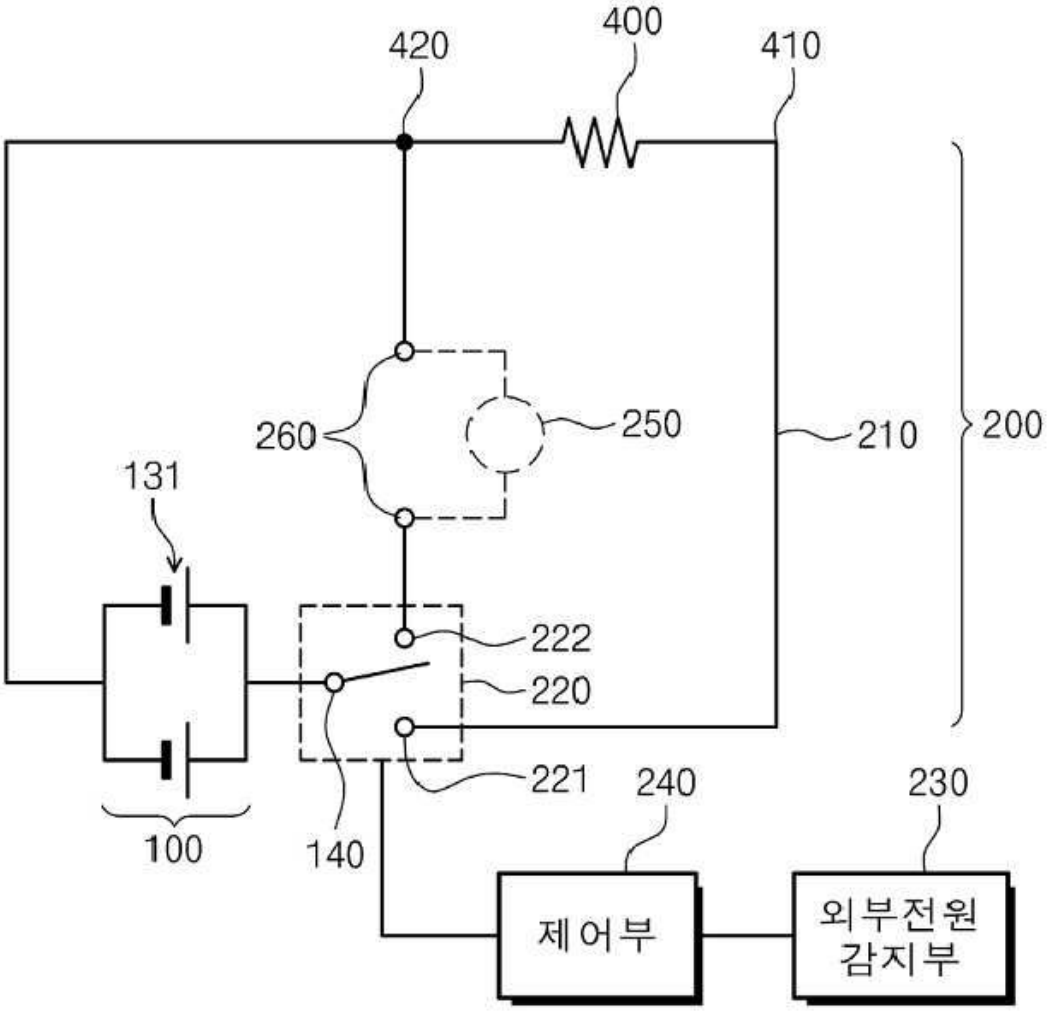
도면2



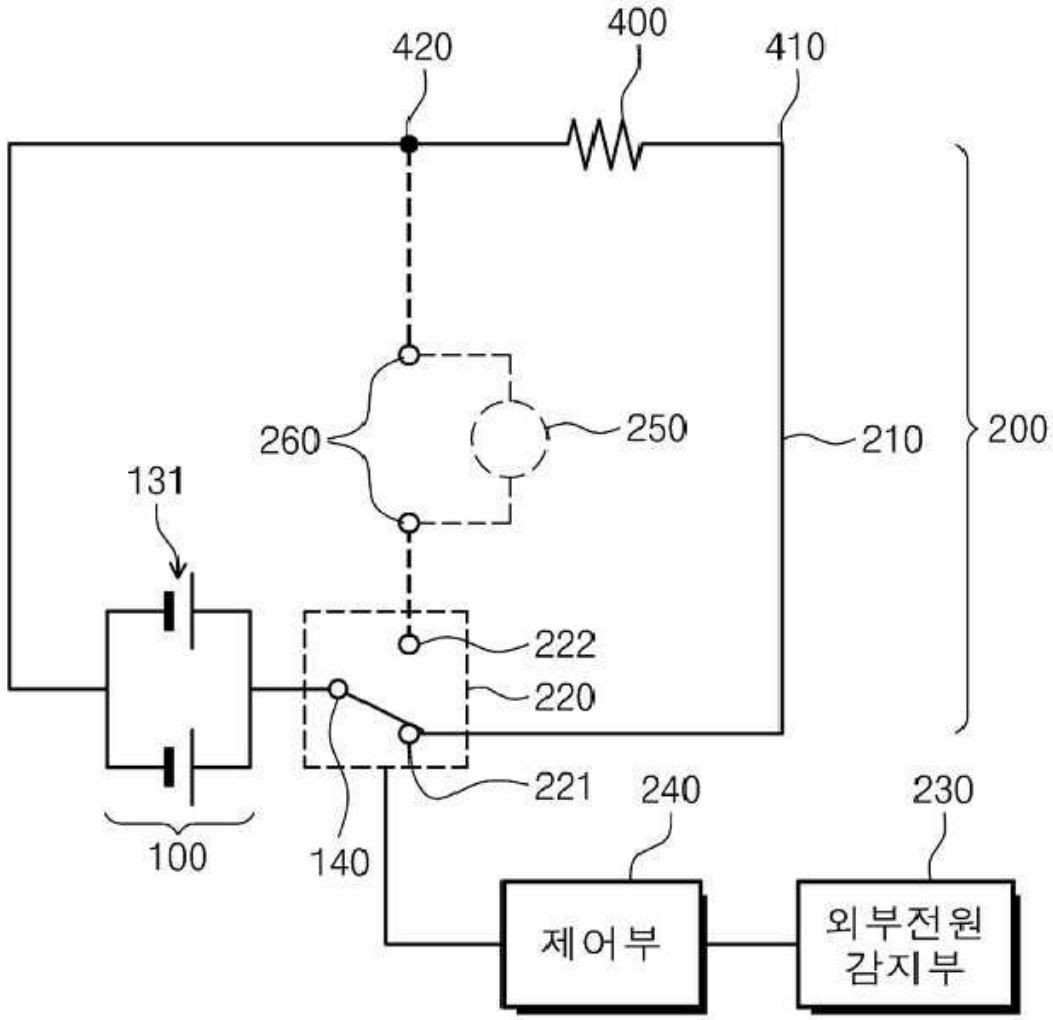
도면3


Temperature
15°C
45°C
Strain
0%
50%

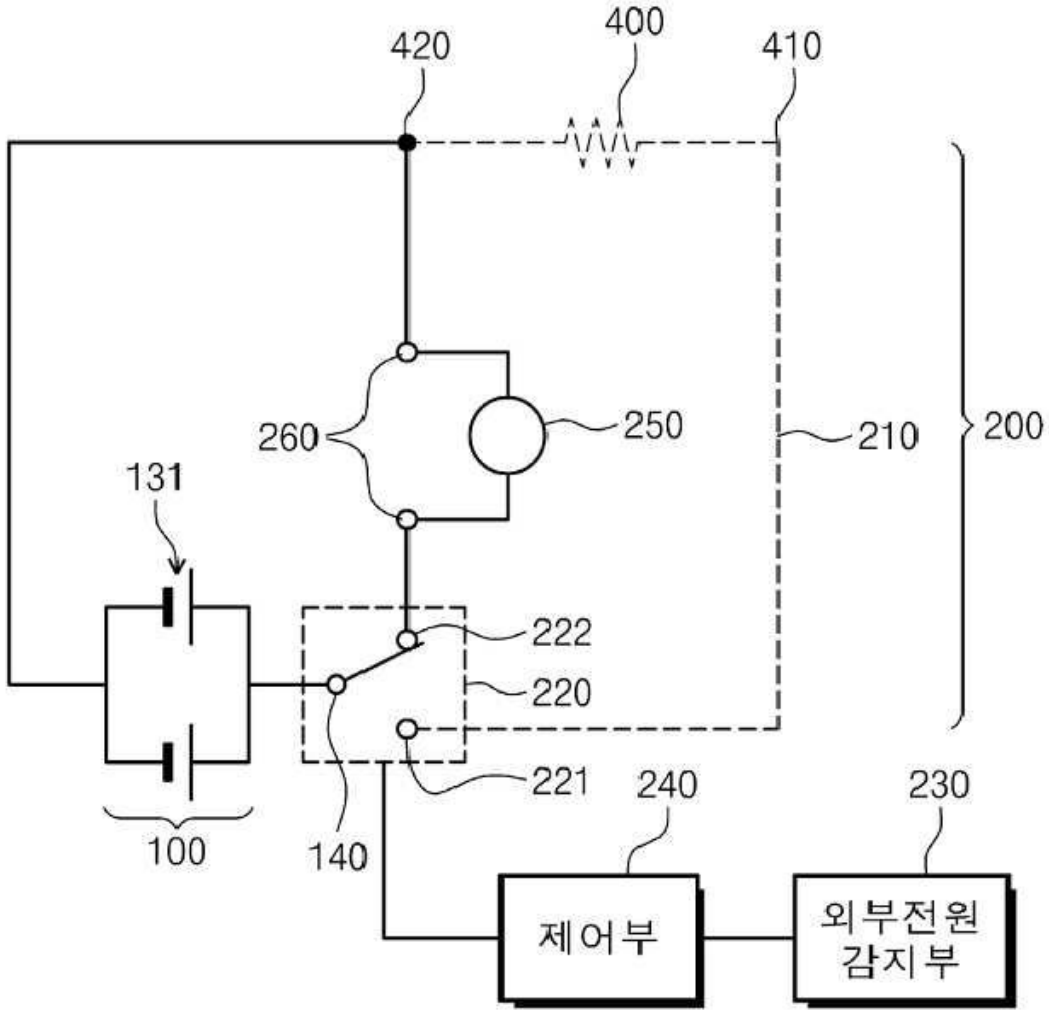
도면4


420
400
410
260
250
210
200
131
222
220
221
240
230
100
140
제어부
외부전원
감지부

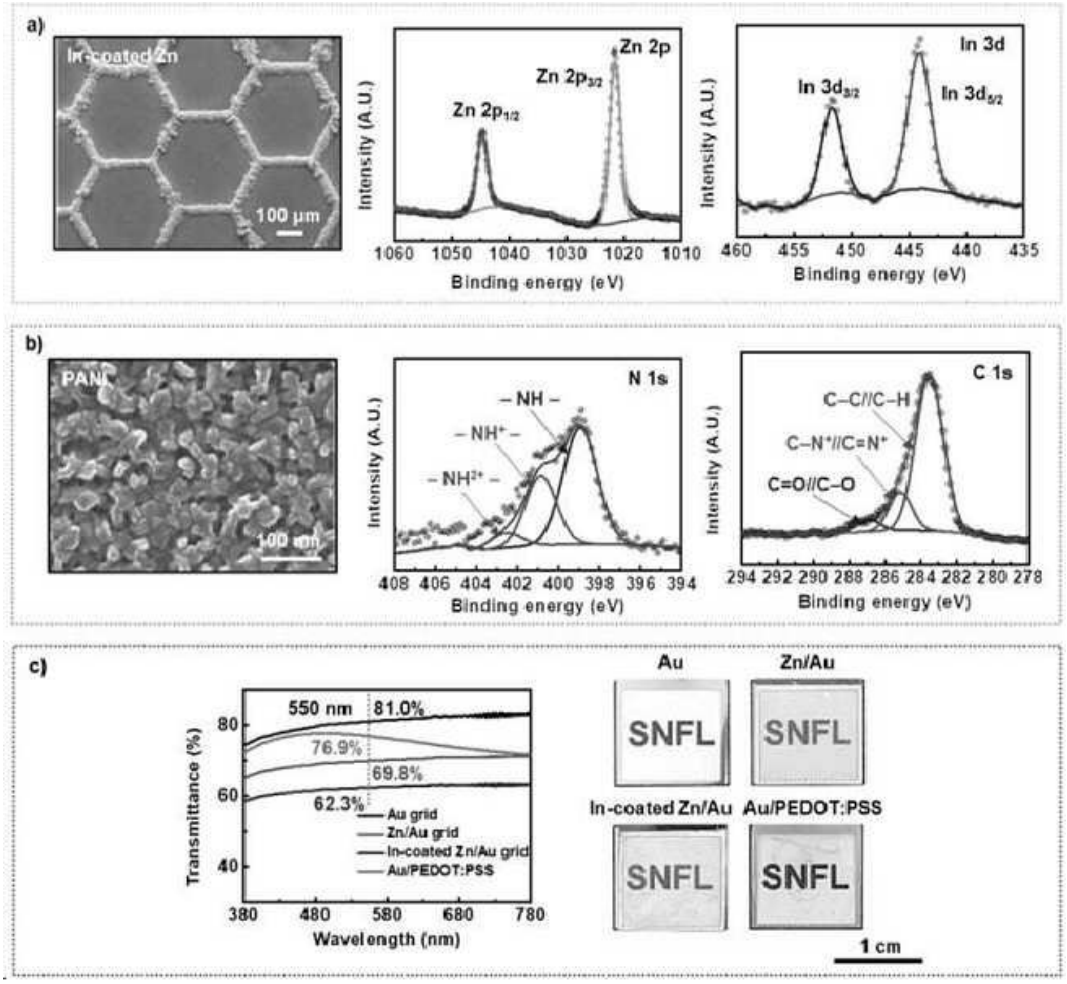
도면5


420
400
410
260
250
210
200
131
222
220
221
240
230
100
140
제어부
외부전원
감지부

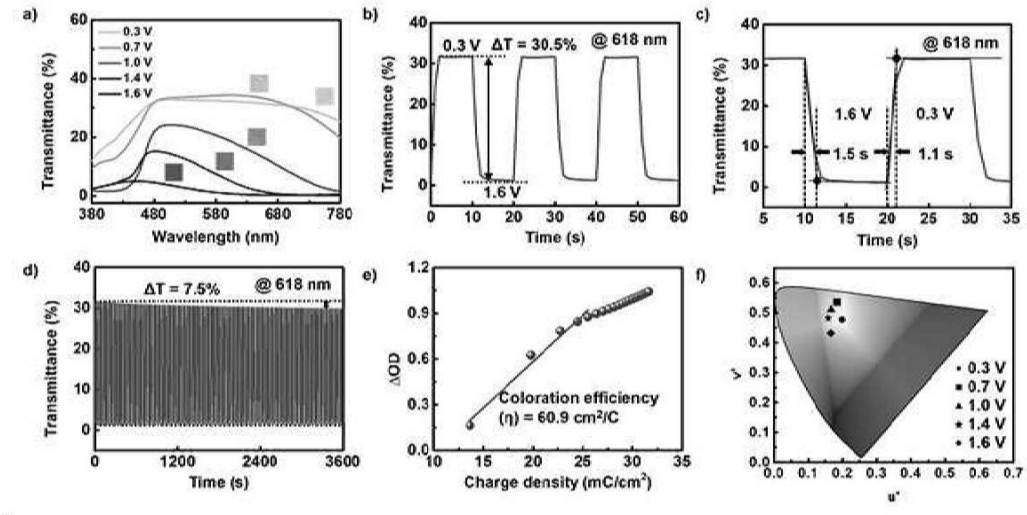
도면6


420
400
410
260
250
210
200
131
222
220
221
240
230
100
140
제어부
외부전원
감지부

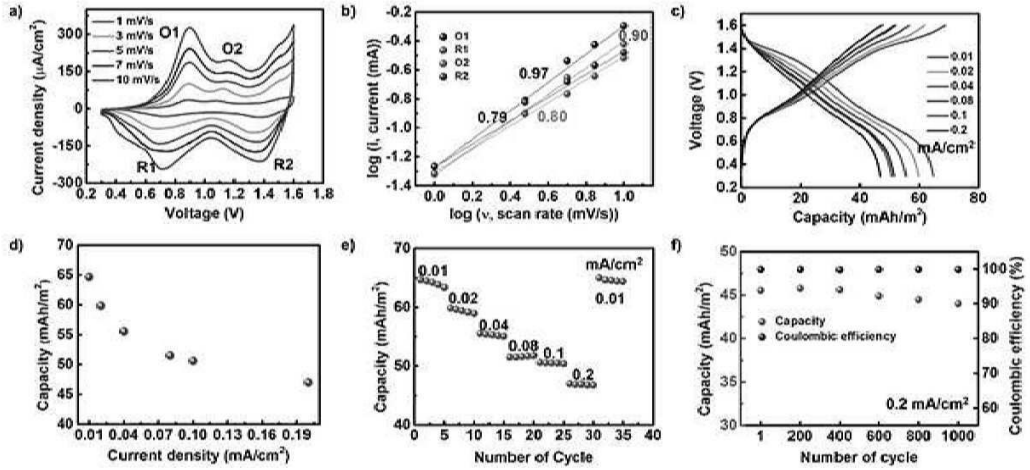
도면7


a)
In-coated Zn
100 μm
Zn 2p
Zn 2p3/2
Zn 2p1/2
Intensity (A.U.)
1060 1050 1040 1030 1020 1010
Binding energy (eV)
In 3d
In 3d3/2
In 3d5/2
460 455 450 445 440 435
b)
PANI
100 nm
N 1s
– NH –
– NH+ –
– NH2+ –
408 406 404 402 400 398 396 394
C 1s
C–C//C–H
C–N+//C=N+
C=O//C–O
294 292 290 288 286 284 282 280 278
c)
Transmittance (%)
550 nm
81.0%
76.9%
69.8%
62.3%
Au grid
Zn/Au grid
In-coated Zn/Au grid
Au/PEDOT:PSS
380 480 580 680 780
Wavelength (nm)
Au
Zn/Au
SNFL
In-coated Zn/Au
Au/PEDOT:PSS
1 cm

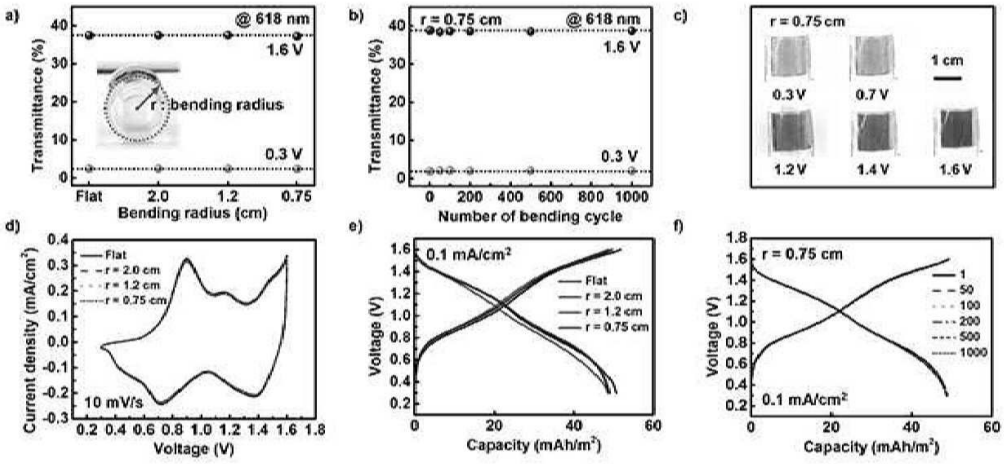
도면8


a)
0.3 V
0.7 V
1.0 V
1.4 V
1.6 V
Transmittance (%)
Wavelength (nm)
b)
0.3 V ΔT = 30.5% @ 618 nm
1.6 V
Time (s)
c)
@ 618 nm
1.6 V
0.3 V
1.5 s
1.1 s
d)
ΔT = 7.5% @ 618 nm
e)
ΔOD
Coloration efficiency
(η) = 60.9 cm²/C
Charge density (mC/cm²)
f)
0.3 V
0.7 V
1.0 V
1.4 V
1.6 V

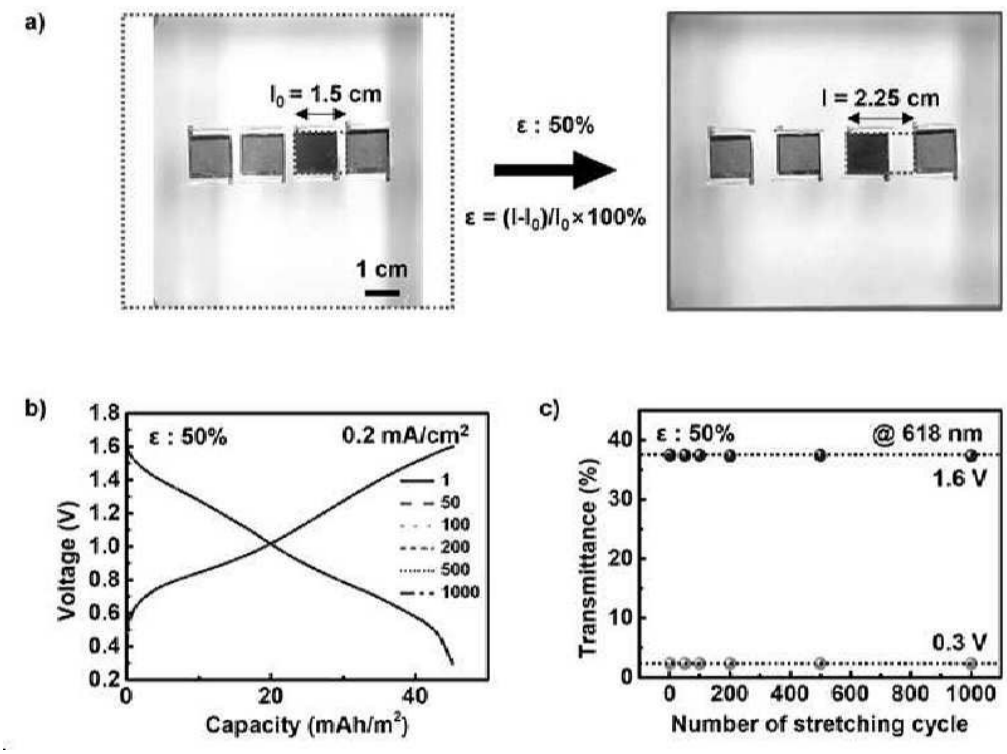
도면9


a)
1 mV/s
3 mV/s
5 mV/s
7 mV/s
10 mV/s
O1
O2
R1
R2
Current density (μA/cm²)
Voltage (V)
b)
O1
R1
O2
R2
0.79
0.80
0.97
0.90
log (I, current (mA))
log (ν, scan rate (mV/s))
c)
0.01
0.02
0.04
0.08
0.1
0.2
mA/cm²
Voltage (V)
Capacity (mAh/m²)
d)
Capacity (mAh/m²)
Current density (mA/cm²)
e)
mA/cm²
0.01
0.02
0.04
0.08
0.1
0.2
0.01
Capacity (mAh/m²)
Number of Cycle
f)
Capacity
Coulombic efficiency
0.2 mA/cm²
Capacity (mAh/m²)
Coulombic efficiency (%)
Number of cycle

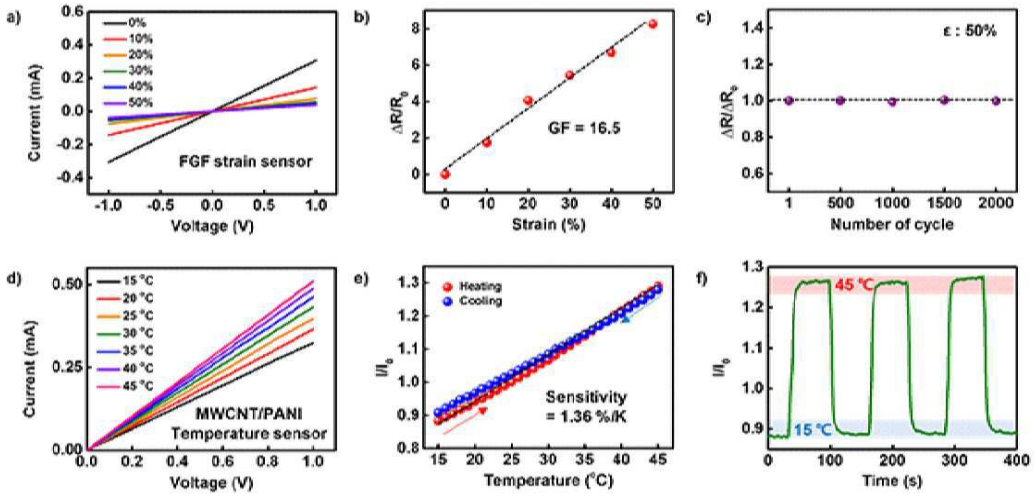
도면10


a)
@ 618 nm
1.6 V
r : bending radius
0.3 V
Transmittance (%)
Flat
2.0
1.2
0.75
Bending radius (cm)
b)
r = 0.75 cm
@ 618 nm
1.6 V
0.3 V
Transmittance (%)
Number of bending cycle
c)
r = 0.75 cm
1 cm
0.3 V
0.7 V
1.2 V
1.4 V
1.6 V
d)
Flat
r = 2.0 cm
r = 1.2 cm
r = 0.75 cm
10 mV/s
Current density (mA/cm²)
Voltage (V)
e)
0.1 mA/cm²
Flat
r = 2.0 cm
r = 1.2 cm
r = 0.75 cm
Voltage (V)
Capacity (mAh/m²)
f)
r = 0.75 cm
1
50
100
200
500
1000
0.1 mA/cm²
Voltage (V)
Capacity (mAh/m²)

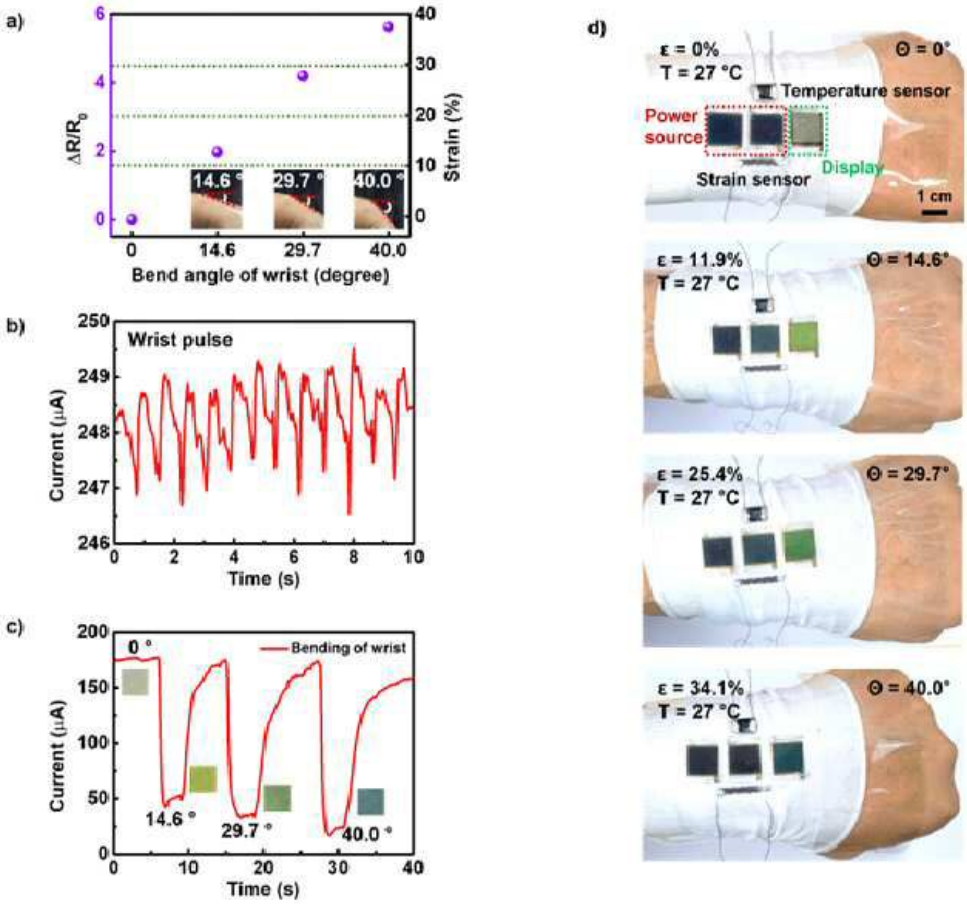
도면11


a)
l_0 = 1.5 cm
1 cm
ε : 50%
ε = (l-l_0)/l_0×100%
l = 2.25 cm
b)
ε : 50%
0.2 mA/cm²
1
50
100
200
500
1000
Voltage (V)
Capacity (mAh/m²)
c)
ε : 50%
@ 618 nm
1.6 V
0.3 V
Transmittance (%)
Number of stretching cycle

도면12


a)
0%
10%
20%
30%
40%
50%
FGF strain sensor
Current (mA)
Voltage (V)
b)
GF = 16.5
ΔR/R₀
Strain (%)
c)
ε : 50%
ΔR/ΔR₀
Number of cycle
d)
15 °C
20 °C
25 °C
30 °C
35 °C
40 °C
45 °C
MWCNT/PANI
Temperature sensor
Current (mA)
Voltage (V)
e)
Heating
Cooling
Sensitivity
= 1.36 %/K
I/I₀
Temperature (°C)
f)
45 °C
15 °C
I/I₀
Time (s)

도면13


a)
ΔR/R0
Strain (%)
14.6 °
29.7 °
40.0 °
Bend angle of wrist (degree)
b)
Wrist pulse
Current (μA)
Time (s)
c)
0 °
Bending of wrist
14.6 °
29.7 °
40.0 °
Current (μA)
Time (s)
d)
ε = 0%
T = 27 °C
Θ = 0°
Temperature sensor
Power source
Strain sensor
Display
1 cm
ε = 11.9%
T = 27 °C
Θ = 14.6°
ε = 25.4%
T = 27 °C
Θ = 29.7°
ε = 34.1%
T = 27 °C
Θ = 40.0°

도면14

