



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0104685
(43) 공개일자 2025년07월08일

- | | |
|--|---|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 <i>B09B 3/80</i> (2022.01) <i>B09B 101/15</i> (2022.01)
 <i>B09B 3/30</i> (2022.01) <i>B09B 3/40</i> (2022.01)
 <i>B09B 3/70</i> (2024.01) <i>B09B 5/00</i> (2006.01)
 <i>H10K 77/10</i> (2023.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
 <i>B09B 3/80</i> (2022.01)
 <i>B09B 3/30</i> (2023.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2023-0197340
 (22) 출원일자 2023년12월29일
 심사청구일자 2023년12월29일</p> | <p>(71) 출원인
 울산과학기술원
 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50</p> <p>(72) 발명자
 심교승
 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
 박해찬
 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50</p> <p>(74) 대리인
 특허법인 무한</p> |
|--|---|

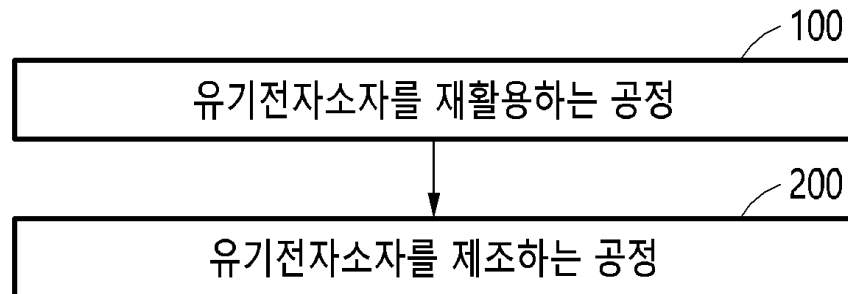
전체 청구항 수 : 총 19 항

(54) 발명의 명칭 **유기전자소자의 재활용 방법 및 이를 이용한 유기전자소자의 폐쇄 루프 재활용 방법**

(57) 요약

본 발명은, 유기전자소자의 재활용 방법 및 이를 이용한 유기전자소자의 폐쇄 루프 재활용 방법에 관한 것이다. 본 발명의 유기전자소자의 재활용 방법은, 유기전자소자를 재활용하는 공정; 및 재활용하는 공정에서 획득한 소재를 이용하여 유기전자소자를 제조하는 공정; 을 포함하고, 상기 재활용하는 공정은, 폐유기전자소자에서 기재, 및 기재 상에 형성된 단일 또는 다중 성분의 유기전자 소재를 개별적으로 분리하고 회수하고, 상기 유기전자소자를 제조하는 공정은, ROF 유기전자소자(recyclable organic flexible electronic device)를 제조하는 것일 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

B09B 3/40 (2023.01)
B09B 3/70 (2024.01)
B09B 5/00 (2022.01)
H10K 77/111 (2023.02)
B09B 2101/15 (2022.01)
Y02W 30/20 (2020.08)
Y02W 30/82 (2020.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711192377
과제번호	2021R1C1C1007714
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)
연구과제명	신축성 소재로만 구성된 유기 연성 전자소자의 응답 특성 향상 기술 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

유기전자소자를 재활용하는 공정; 및

재활용하는 공정에서 획득한 소재를 이용하여 유기전자소자를 제조하는 공정;

을 포함하고,

상기 재활용하는 공정은,

폐유기전자소자에서 기재, 및 기재 상에 형성된 단일 또는 다중 성분의 유기전자 소재를 개별적으로 분리하고 회수하고,

상기 유기전자소자를 제조하는 공정은,

ROF 유기전자소자(recyclable organic flexible electronic device)를 제조하는 것인, 유기전자소자의 재활용 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 유기전자 소재는,

유기반도체, 유기전도체 및 유기유전체 중 적어도 하나 이상을 포함하는 것인, 유기전자소자의 재활용 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 유기반도체는 P3HT이며,

상기 유기전도체는 PEDOT:PSS이고,

상기 유기유전체는 PVDF-HFP, EMIM-TFSI 또는 이들 모두를 포함하고, 이온겔 형태인 것인, 유기전자소자의 재활용 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 재활용하는 공정은,

고상, 겔, 액상 또는 슬러리 형태로 유기전자 소재를 회수하는 것인, 유기전자소자의 재활용 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 재활용하는 공정은,

아세톤, 물 및 아니솔 중 적어도 하나 이상의 용제를 이용하는 것인, 유기전자소자의 재활용 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 재활용하는 공정은,

유기전자소자를 용제 내에 침지하는 단계;

상기 유기전자소자에서 유기전자 소재를 분리하는 단계; 및

분리된 유기전자 소재를 회수하는 단계;

를 포함하고,

상기 분리하는 단계는 유기전자 소재를 벗겨내고,

상기 회수하는 단계는 벗겨진 유기전자 소재를 용제 내에 분산시켜 분산 용액을 획득하는 것인, 유기전자소자의 재활용 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 회수하는 단계는, 10 분 이상 교반한 이후 10분 이상 초음파 처리하여 유기전자 소재를 분산시키는 것인, 유기전자소자의 재활용 방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 분산 용액은 50 nm 내지 1300 nm의 입자의 유기전자 소재를 포함하고,

상기 유기전자 소재는 유기전도체 소재인 것인, 유기전자소자의 재활용 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 재활용하는 공정은,

상기 유기전자소자에서 유기전자 소재를 분리하는 단계; 및

분리된 유기전자 소재를 회수하는 단계; 및

상기 회수된 유기전자 소재에 용제를 첨가한 이후 가열하여 유기전자 소재 용액을 제조하는 단계;

를 포함하고,

상기 분리하는 단계는 기재 상의 유기전자 소재의 막을 필링 오프하는 것인, 유기전자소자의 재활용 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 유기전자 소재 용액을 제조하는 단계는 아세톤을 가한 이후 60 ℃ 내지 80 ℃(섭씨)온도에서 가열하고,

상기 유기전자 소재 용액은 이온겔 형태의 유기유전체를 포함하는 것인, 유기전자소자의 재활용 방법.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 재활용하는 공정은,

유기전자소자에서 기재 상의 유기전자 소재를 선택적으로 용해하는 단계; 및

상기 유기전자 소재를 회수하는 단계;

를 포함하는 것인, 유기전자소자의 재활용 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 선택적으로 용해하는 단계는, 아세톤을 가하여 유기반도체를 용해시키고,

상기 회수하는 단계는 아세톤을 제거하여 유기반도체 분말을 획득하는 것인, 유기전자소자의 재활용 방법.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 유기전자소자를 제조하는 공정은,

상기 재활용하는 공정에서 획득한 소재를 드랍 캐스팅 공정으로 유기전자소자를 제조하는 것인, 유기전자소자의 재활용 방법.

청구항 14

제1항에 있어서,

상기 유기전자소자는,

유기물 기반의 유연 전자소자 또는 웨어러블 전자소자인 것인, 유기전자소자의 재활용 방법.

청구항 15

폐유기전자소자를 재활용하는 공정; 및

재활용하는 공정에서 획득한 소재를 이용하여 유기전자소자를 제조하는 공정;

을 포함하고,

폐유기전자소자와 유기전자소자는 상이한 유기전자소자인 것인, 유기전자소자의 폐쇄 루프 재활용 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 폐유기전자소자를 재활용하는 공정은,

제1항 내지 제13항 중 어느 한 항의 유기전자소자의 재활용 방법을 이용하는 것인, 유기전자소자의 폐쇄 루프

재활용 방법.

청구항 17

제15항에 있어서,

상기 유기전자소자를 제조하는 공정은,

제1항 내지 제14항 중 어느 한 항의 유기전자소자의 재활용 방법에서 획득한 유지전자 소재를 직접 적용하여 ROF 유기전자소자(recyclable organic flexible electronic device)를 제조하는 것인, 유기전자소자의 폐쇄 루프 재활용 방법.

청구항 18

제1항 또는 제14항의 방법으로 제조된, ROF 유기전자소자.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 ROF 유기전자소자는, 유기물 기반의 유연 전자소자 또는 웨어러블 전자소자며,

상기 ROF 유기전자소자는, ROF 감지 전극, ROF 히터 또는 ROF 온도 센서인 것인, ROF 유기전자소자.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 실시 예들에 따른, 유기전자소자의 재활용 방법 및 이를 이용한 유기전자소자의 폐쇄 루프 재활용 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 급속한 기술의 발전으로 인해 전자제품의 과도한 생산과 폐기가 발생하고 있으며, 이는 유해 폐기물 발생과 높은 에너지/자원 소비로 인해 인간의 건강과 환경에 악영향을 미치고 있다. 또한, 결함이 있거나 쓸모 없는 전자 제품을 폐기하면 전자 폐기물(즉, e-폐기물) 오염이 발생한다. 유연전자제품의 재활용으로 기관 재사용, 전도성 물질(예: 은 나노와이어 및 액체 금속)의 재캡처, 탄소 기반 부품 재생이 알려져 있다. 그러나 이러한 방법은 유기전자재료 등 첨단 기능성 소재로 재활용하는데 어려움이 있고, 유연한 구성 기반의 웨어러블 장치에 적용하기에는 부적합하다.

[0003] 유기전자재료는 합성, 활용 및 폐기 과정에서 환경과 인간의 건강에 부정적인 영향을 미치고, 자연에서 유기전자장치를 폐기하면 환경과 인간 건강에 예측할 수 없는 잠재적인 독성(예: 유전독성 및 세포독성)을 초래할 수 있다.

[0004] 유기전자재료의 합성에는 각종 유해용매 폐기물, 유독성 부산물, 높은 시간 소모, 고온, 광범위한 정제 과정이 수반되고, 인체 건강과 환경에 악영향을 미칠 뿐만 아니라 막대한 비용이 필요하고, 경제적으로도 비효율적이다. 유기전자 재료(예: 티오펜, 퓨란, 아졸 및 기타 여러 방향족 고리형 탄화수소 등)의 일반적인 분자 구성 요소가 심각한 독성을 발생시킬 수 있다.

[0005] 이에 친환경적이고 경제적인 방식으로 유기전자재료를 재활용할 수 있고, 웨어러블 전자제품의 소재를 제공할 수 있는 재활용 방법이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 일 실시 예에 따라, 본 발명은, 친환경적이고, 재료 손실을 최소화할 수 있는 공정으로 유기전자 재료를 회수/수집하고, 유기전자소자의 재구성에 직접 활용할 수 있는 유기전자 소재를 제공할 수 있는, 유기전자소자의 재활용 방법을 제공하는 것이다.
- [0007] 일 실시 예에 따라, 본 발명은, 본 발명의 유기전자소자의 재활용 방법을 이용하고, 재활용 대상(예: 재활용 공정에 이용되는 폐유기전자소자)과 상이한 유기전자소자로 재구성할 수 있는, 유기전자소자의 폐쇄 루프 재활용 방법을 제공하는 것이다.
- [0008] 일 실시 예에 따라, 본 발명의 유기전자소자의 재활용 방법을 이용하여 제조된, ROF 유기전자소자(recyclable organic flexible electronic device)을 제공할 수 있다.
- [0009] 그러나, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 것들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 해당 분야 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0010] 일 실시 예에 따른, 유기전자소자의 재활용 방법은, 유기전자소자를 재활용하는 공정; 및 재활용하는 공정에서 획득한 소재를 이용하여 유기전자소자를 제조하는 공정;을 포함하고, 상기 재활용하는 공정은, 폐유기전자소자에서 기재, 및 기재 상에 형성된 단일 또는 다중 성분의 유기전자 소재를 개별적으로 분리하고 회수하고, 상기 유기전자소자를 제조하는 공정은, ROF 유기전자소자(recyclable organic flexible electronic device)를 제조하는 것일 수 있다.
- [0011] 일 실시 예에 따라, 상기 유기전자 소재는, 유기반도체, 유기전도체 및 유기유전체 중 적어도 하나 이상을 포함하는 것일 수 있다.
- [0012] 일 실시 예에 따라, 상기 유기반도체는 P3HT이며, 상기 유기전도체는 PEDOT:PSS이고, 상기 유기유전체는 PVDF-HFP, EMIM-TFSI 또는 이들 모두를 포함하고, 이온겔 형태인 것일 수 있다.
- [0013] 일 실시 예에 따라, 상기 재활용하는 공정은, 고상, 젤, 액상 또는 슬러리 형태로 유기전자 소재를 회수하는 것일 수 있다.
- [0014] 일 실시 예에 따라, 상기 재활용하는 공정은, 아세톤, 물 및 아니솔 중 적어도 하나 이상의 용제를 이용하는 것일 수 있다.
- [0015] 일 실시 예에 따라, 상기 재활용하는 공정은, 유기전자소자를 용제 내에 침지하는 단계; 상기 유기전자소자에서 유기전자 소재를 분리하는 단계; 및 분리된 유기전자 소재를 회수하는 단계;를 포함하고, 상기 분리하는 단계는 유기전자 소재를 벗겨내고, 상기 회수하는 단계는 벗겨진 유기전자 소재를 용제 내에 분산시켜 분산 용액을 획득하는 것일 수 있다.
- [0016] 일 실시 예에 따라, 상기 회수하는 단계는, 10 분 이상 교반한 이후 10분 이상 초음파 처리하여 유기전자 소재를 분산시키는 것일 수 있다.
- [0017] 일 실시 예에 따라, 상기 분산 용액은 50 nm 내지 1300 nm 크기를 갖는 입자의 유기전자 소재를 포함하고, 상기 유기전자 소재는 유기전도체 소재인 것일 수 있다.
- [0018] 일 실시 예에 따라, 상기 재활용하는 공정은, 상기 유기전자소자에서 유기전자 소재를 분리하는 단계; 및 분리된 유기전자 소재를 회수하는 단계; 및 상기 회수된 유기전자 소재에 용제를 첨가한 이후 가열하여 유기전자 소재 용액을 제조하는 단계;를 포함하고, 상기 분리하는 단계는 기재 상의 유기전자 소재의 막을 필링 오프하는 것일 수 있다.
- [0019] 일 실시 예에 따라, 상기 유기전자 소재 용액을 제조하는 단계는 아세톤을 가한 이후 60 ℃ 내지 80 ℃ 온도에서 가열하고, 상기 유기전자 소재 용액은 이온겔 형태의 유기유전체를 포함하는 것일 수 있다.
- [0020] 일 실시 예에 따라, 상기 재활용하는 공정은, 유기전자소자에서 기재 상의 유기전자 소재를 선택적으로 용해하는 단계; 및 상기 유기전자 소재를 회수하는 단계;를 포함하는 것일 수 있다.
- [0021] 일 실시 예에 따라, 상기 선택적으로 용해하는 단계는, 아세톤을 가하여 유기반도체를 용해시키고, 상기 회수하는 단계는 아세톤을 제거하여 유기반도체 분말을 획득하는 것일 수 있다.
- [0022] 일 실시 예에 따라, 상기 유기전자소자를 제조하는 공정은, 상기 재활용하는 공정에서 획득한 소재를 드랍 캐스

팅 공정으로 유기전자소자를 제조하는 것일 수 있다.

- [0023] 일 실시 예에 따라, 상기 유기전자소자는, 유기물 기반의 유연 전자소자 또는 웨어러블 전자소자인 것일 수 있다.
- [0024] 일 실시 예에 따른, 유기전자소자의 폐쇄 루프 재활용 방법은, 폐유기전자소자를 재활용하는 공정; 및 재활용하는 공정에서 획득한 소재를 이용하여 유기전자소자를 제조하는 공정; 을 포함하고, 폐유기전자소자와 유기전자소자는 상이한 유기전자소자인 것일 수 있다.
- [0025] 일 실시 예에 따라, 상기 폐유기전자소자를 재활용하는 공정은, 본 발명의 실시 예들에 따른, 유기전자소자의 재활용 방법을 이용하는 것일 수 있다.
- [0026] 일 실시 예에 따라, 상기 유기전자소자를 제조하는 공정은, 본 발명의 실시 예들에 따른, 유기전자소자의 재활용 방법에서 획득한 유기전자 소재를 직접 적용하여 ROF 유기전자소자(recyclable organic flexible electronic device)를 제조하는 것일 수 있다.
- [0027] 일 실시 예에 따른, ROF 유기전자소자(recyclable organic flexible electronic device)는 본 발명의 실시 예들에 따른, 유기전자소자의 재활용 방법 또는 유기전자소자의 폐쇄 루프 재활용 방법으로 제조된 것일 수 있다.
- [0028] 일 실시 예에 따라, 상기 ROF 유기전자소자는, 유기물 기반의 유연 전자소자 또는 웨어러블 전자소자며, 상기 ROF 유기전자소자는, ROF 감지 전극, ROF 히터 또는 ROF 온도 센서인 것일 수 있다.

발명의 효과

- [0029] 본 발명은, 친환경적이고 경제적인 유기전자소자의 재활용 방법 및 이를 이용한 유기전자소자를 제공할 수 있다. 본 발명은, 친환경적이고, 재료 손실을 최소화할 수 있는 공정으로 유기전자 재료를 회수/수집하고, 유기전자소자의 재구성에 직접 활용할 수 있는, 유기전자소자의 재활용 방법을 제공할 수 있다.
- [0030] 본 발명은, 유기전자소자의 기판 및 유기전자 재료를 재활용할 수 있는, 유기전자소자의 재활용 방법을 제공할 수 있다.
- [0031] 본 발명은, 유기전자소자의 폐루프 재활용(closed-loop recycling) 방법 및 이를 이용한 유기전자소자(예: ROF 유기전자소자)를 제공할 수 있다.
- [0032] 본 발명은, 다양한 기능 장치의 소스를 더 이상 보충하지 않고 재활용 재료만을 사용하여 제작된 다양한 ROF 전자 장치를 재구성하여 지속 가능한 장치 재활용 사이클(sustainable device cycle)을 달성할 수 있다.
- [0033] 본 발명은, 각 부품의 폐루프 재활용(closed-loop recycling)을 가능하게 하는 재활용 가능한 유기 유연성(recyclable organic flexible ROF) 전자 장치를 제공하고, 제조 및 재활용에 친환경 용제를 사용하여 모든 공정에서 재료의 손실을 최소화할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0034] 도 1은 본 발명의 실시 예들에 따른, 유기전자소자의 재활용 방법의 흐름도이다.
- 도 2는 본 발명의 실시 예들에 따른, 유기전자소자의 재활용하는 공정(100)의 흐름도이다.
- 도 3은 본 발명의 실시 예들에 따른, 유기전자소자의 재활용하는 공정(100)의 흐름도이다.
- 도 4는 본 발명의 실시 예들에 따른, 유기전자소자의 재활용하는 공정(100)의 흐름도이다.
- 도 5는 본 발명의 실시 예들에 따른, 유기전자소자의 재활용 방법에 관한 모식도이다.
- 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른, 유기전자소자의 재활용 방법을 활용한 유기전자소자의 제조방법의 공정을 나타낸 것이다.
- 도 7은 본 발명의 실시 예들에 따른, 유기전자소자의 재활용 방법에서 표면 에너지 차이에 의한 드랍 캐스팅 공정을 나타낸 것이다.
- 도 8은 본 발명의 실시 예들에 따른, 유기전자소자의 폐쇄 루프 재활용 방법의 흐름도이다.
- 도 9는 본 발명의 실시 예들에 따른, 유기전자소자의 폐쇄 루프 재활용 방법에서 재활용 및 재구성에 관한 모식

도이다.

도 10은 본 발명의 실시 예들에 따른, 유기전도체의 재활용 공정(PEDOT:PSS 전극)을 나타낸 것이다.

도 11a은 본 발명의 실시 예들에 따른, 유기반도체의 재활용 공정(P3HT 반도체)을 나타낸 것이다.

도 11b는 본 발명의 실시 예들에 따른, 유기반도체의 재활용 공정(P3HT 반도체)을 나타낸 것이다.

도 12는 본 발명의 실시 예들에 따른, 유기유전체(이온겔)의 재활용 공정을 나타낸 것이다.

도 13은 본 발명의 실시 예에 따라, 유기전자소자의 재활용 방법에 따른 유기전자 소재의 특성을 평가한 것이다.

도 14는 본 발명의 실시 예에 따라, 유기전자소자의 재활용 방법으로 제조된 유기전자 소재의 특성을 평가한 것이다.

도 15는 본 발명의 실시 예에 따라, 유기전자소자의 재활용 방법으로 제조된 유기전자 소재의 특성을 평가한 것이다.

도 16은 본 발명의 실시 예에 따라, 유기전자소자의 폐쇄 루프 재활용 방법으로 제조된 유기전자소자의 특성을 평가한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명한다. 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 용어들은 본 발명의 바람직한 실시예를 적절히 표현하기 위해 사용된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 본 발명이 속하는 분야의 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서, 본 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.

[0036] 명세서 전체에서, 어떤 부재가 다른 부재 "상에" 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부재가 다른 부재에 접해 있는 경우뿐 아니라 두 부재 사이에 또 다른 부재가 존재하는 경우도 포함한다.

[0037] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0038] 본 문서에서, "A 또는 B", "A 및 B 중 적어도 하나", "A 또는 B 중 적어도 하나", "A, B 또는 C", "A, B 및 C 중 적어도 하나", 및 "A, B, 또는 C 중 적어도 하나"와 같은 문구들 각각은 그 문구들 중 해당하는 문구에 함께 나열된 항목들 중 어느 하나, 또는 그들의 모든 가능한 조합을 포함할 수 있다. "제1", "제2", 또는 "첫째" 또는 "둘째"와 같은 용어들은 단순히 해당 구성요소를 다른 해당 구성요소와 구분하기 위해 사용될 수 있으며, 해당 구성요소들을 다른 측면(예: 중요성 또는 순서)에서 한정하지 않는다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다. 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

[0039] 이하, 본 개시의 유기전자소자의 재활용 방법 및 이를 이용한 유기전자소자의 폐쇄 루프 재활용 방법에 대하여 실시예 및 도면을 참조하여 구체적으로 설명하도록 한다. 그러나, 본 발명이 이러한 실시예 및 도면에 제한되는 것은 아니다.

[0040] 일 실시 예에 따라, 도 1은 본 발명의 실시 예들에 따른, 유기전자소자의 재활용 방법의 흐름도를 나타낸 것이다. 도 1을 참조하면, 유기전자소자의 재활용 방법은, 유기전자소자를 재활용하는 공정(100); 및 재활용하는 공정에서 획득한 소재를 이용하여 유기전자소자를 제조하는 공정(200); 을 포함할 수 있다.

[0041] 일 실시 예에 따라, 본 발명의 유기전자소자의 재활용 방법은 유기전자소자에서 친환경적이고 경제적인 공정으로 유기전자재료를 재포획/재사용(recapture/reuse)하고, 신뢰성 있고, 성능이 우수한 유기전자소자로 재구성할 수 있다.

[0042] 일 실시 예에 따라, 유기전자소자를 재활용하는 공정(100)은, 폐유기전자소자에서 유기전자 소재를 분리 및 회수(즉, 재포획)하는 가공 공정을 거쳐 유기전자소자의 제조에 활용 가능한 소재로 획득하는 것일 수 있다. 일

실시 예에 따라, 유기전자소자를 재활용하는 공정(100)은, 폐유기전자소자에서 기판 및 유기전자 소재를 재활용 가능하도록 회수할 수 있다.

[0043] 일 실시 예에 따라, 상기 유기전자소자는 유연성 전자소자 또는 웨어러블 전자소자일 수 있다. 즉, 상기 유기 전자소자는 유기물 기반의 전자 소자로서, 기판 상에 유기전자 소재가 장착되거나 인쇄된 것으로, 단일 또는 다 중 성분의 유기전자 재료를 포함할 수 있다. 예를 들어, 기판은 유연성 전자소자 또는 웨어러블 전자소자에 적용 가능한 것이라면 제한 없이 적용될 수 있으며, 유리, 석영, 유연 폴리머, 직조물, 섬유 등일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 예를 들어, 상기 유기전자소자는 전기생리학적 감지 전극, 키패드, 히터/온도 센서, 전기 화학 트랜지스터 및 인버터 등일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.

[0044] 일 실시 예에 따라, 상기 유기전자 소재는 유연성 전자소자 또는 웨어러블 전자소자에 적용되는 반도체층, 전도 성층(즉, 전극), 유전체층 및/또는 전해질층에 적용되는 기능성 유기물질이라면 제한 없이 적용될 수 있다. 바람직하게는 상기 유기전자 소재는 유기반도체, 유기전도체 및/또는 유기유전체일 수 있다. 예를 들어, 상기 유기반도체는 P3HT(poly(3-hexylthiophene)), PQT-12, TIPS-펜타센(6,13-Bis(triisopropylsilyl)ethynyl)pentacene), TES-ADT(5,11-Bis(triethylsilyl)ethynyl)anthradithiophene), TCNQ(Tetracyanoquinodimethane), F4-TCNQ, PBT(TT(poly[2,5-bis(3-tetradecylthiophen-2-yl) thieno [3,2-b] thiophene)]) 및 PDA2T(poly(dialkylthieno[3,2-b]thiophene-co-bithiophene))-C16 중 적어도 하나 이상 또는 이들의 조합을 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 예를 들어, 상기 유기전도체는 PEDOT/PSS(poly(3,4-ethylenedioxythiophene)/poly(4-styrene sulfonate)), PANI(polyaniline), PPy(polypyrrole), PT(polythiophene), PA(polyacetylene), PPV(poly para-phenylene vinylene) 및 PPP(polyparaphenylene) 중 적어도 하나 이상 또는 이들의 조합을 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 예를 들어, 상기 유기유전체는 PVdF-CTFE(polyvinylidene fluoride-chlorotrifluoroethylene), PVDF-HFP(poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene), BMIM-TFSI(1-butyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide) 및 EMIM-TFSI(1-ethyl-3-methylimidazole bistrifluoromethanesulfonylimide) 중 적어도 하나 이상 또는 이들의 조합을 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 바람직하게는 상기 유기반도체는 P3HT이며, 상기 유기전도체는 PEDOT:PSS이고, 상기 유기유전체는 PVDF-HFP, EMIM-TFSI(1-ethyl-3-methylimidazole bistrifluoromethanesulfonylimide) 또는 이들 모두를 포함하고, 이온 겔 형태일 수 있다.

[0045] 일 실시 예에 따라, 재활용 공정(100)은, 선택적 용해 또는 기재 상에 떼어내는 방식(예: 벗겨내거나 필링 오프 방식)을 이용할 수 있다.

[0046] 일 실시 예에 따라, 재활용 공정(100)에서 사용되는 용제는 친환경적이거나 환경 또는 인체에 독성이 낮거나 제거가 용이한 것일 수 있다. 예를 들어, 상기 용제는 아세톤, 물 및 아니솔 중 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0047] 일 실시 예에 따라, 재활용 공정(100)에서 획득한(즉, 회수한) 유기전자 소재는 고상(예: 분말 또는 결정), 액상, 겔, 분산액, 슬러리 등의 형태일 수 있다. 상기 획득한(즉, 회수한) 유기전자 소재는 유기전자 소자로 재구성 가능한 소재일 수 있다.

[0048] 일 실시 예에 따라, 재활용 공정(100)에서 재활용 대상인 유기전자소자는 폐유기전자소자일 수 있다.

[0049] 일 실시 예에 따라, 도 2, 도 3 및 도 4는 재활용 공정(100)의 흐름도를 나타낸 것이다. 일 실시 예에 따라, 도 2를 참조하면, 재활용 공정(100)은, 유기전자소자를 용제 내에 침지하는 단계(110A), 유기전자소자에서 유기 전자 소재를 분리하는 단계(120A) 및 분리된 유기전자 소재를 회수하는 단계(130A)를 포함할 수 있다.

[0050] 일 실시 예에 따라, 침지하는 단계(110A)는, 유기전자소자를 용제 내에 침지하여 기재 상의 유기전자 소재를 스웰링(swelling)시켜 기재와 부착력을 약화시킬 수 있다. 예를 들어, 상기 용제는 유기전자 소재를 스웰링시킬 수 있는 용제로서, 유기전자 소재의 종류에 따라 선택될 수 있으며, 바람직하게는 물일 수 있다. 상기 유기전자소자는 0 °C 내지 50 °C 온도 및 20초 이상; 30초 이상; 1 분 이상; 3분 이상; 5 분 이상; 또는 10분 이내의 시간 동안 침지될 수 있다. 언급된 범위를 적용하여 유기전자 소재를 기재에서 분리(또는, 이탈)가 잘 이루어지게 할 수 있다.

[0051] 일 실시 예에 따라, 유기전자 소재를 분리하는 단계(120A)는 스웰링된 유기전자 소재를 기재에서 벗겨(즉, scrapping)내는 것으로, 기재의 손상을 최소화하면서 도구를 이용하여 긁어내거나 진동(예: 초음파, 원심분리, 교반) 등을 가하여 기재에서 벗겨낼 수 있다. 즉, 용제에 침지하여 스웰링된 소재는 기재에서 쉽게 분리(또는, 이탈)될 수 있다. 일 실시 예에 따라, 분리하는 단계(120A)에서 획득한 유기전자 소재는 필름 또는 시트의 플

레이크, 파편(또는, 조각) 등의 형태일 수 있다. 어떤 경우에는 온전한 형태의 필름 또는 시트일 수 있다.

- [0052] 일 실시 예에 따라, 분리된 유기전자 소재를 회수하는 단계(130A)는 단계(120A)에서 분리된 유기전자 소재를 수집하고 입자화하는 것으로, 단계(120A)에서 벗겨낸 유기전자 소재를 용제 내에 분산시키고 교반 및 초음파 처리를 통해 분쇄 또는 미세화하여 입자를 획득할 수 있다. 상기 입자는 수나노에서 수백 마이크로 크기일 수 있다. 회수하는 단계(130A)에서 상기 분리된 유기전자 소재는 상기 입자의 농도 조절을 통해 분산 용액 또는 잉크 조성물로 회수될 수 있다. 이는 유기전자 소자의 재구성에 바로 적용될 수 있다.
- [0053] 일 실시 예에 따라, 회수하는 단계(130A)는 분리된 유기전자 소재를 용제 내에서 10분 이상; 30분 이상; 1 시간 이상 동안 교반한 이후 10분 이상; 30분 이상; 1 시간 동안 초음파 처리하여 미세화하고 분산시킬 수 있다.
- [0054] 일 실시 예에 따라, 회수하는 단계(130A)에서 상기 분산 용액은 50 nm 이상; 100 nm 이상; 200 nm 이상; 400 nm 이상; 500 nm 이상; 1000 nm 이상; 2000 nm 이상; 50 nm 내지 1300 nm; 100 nm 내지 1300 nm; 150 nm 내지 1260 nm; 150 nm 내지 1000 nm; 150 nm 내지 500 nm; 150 nm 내지 300 nm; 또는 180 nm 내지 250 nm 크기의 입자의 유기전자 소재를 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 크기는 직경, 두께, 길이 등일 수 있다. 예를 들어, 상기 유기전자 소재는 유기전도체 소재인 것일 수 있다.
- [0055] 일 실시 예에 따라, 도 3을 참조하면, 재활용하는 공정(100)은, 유기전자소자에서 기재 상의 유기전자 소재를 선택적 용해하는 단계(110B); 및 유기전자 소재를 회수하는 단계(120B)를 포함할 수 있다.
- [0056] 일 실시 예에 따라, 선택적 용해하는 단계(110B)는 용제를 가하여 유기전자 소재를 선택적으로 용해시켜 기재와 분리할 수 있다. 상기 용제는 유기전자 소재를 선택적으로 용해시킬 수 있는 용제라면 제한 없이 적용될 수 있으며, 바람직하게는 아세톤일 수 있다. 일 실시 예에 따라, 선택적 용해하는 단계(110E)는 40 °C 내지 100 °C; 50 °C 내지 90 °C; 또는 60 °C 내지 80 °C 온도에서 이루어질 수 있다.
- [0057] 일 실시 예에 따라, 회수하는 단계(120B)는 용제를 제거하여 유기전자 소재의 분말을 획득할 수 있다. 바람직하게는 상기 유기전자 소재는 유기반도체일 수 있다.
- [0058] 일 실시 예에 따라, 도 4를 참조하면, 재활용하는 공정(100)은, 유기전자소자에서 유기전자 소재를 분리하는 단계(110C); 및 분리된 유기전자 소재를 회수하는 단계(120C); 및 회수된 유기전자 소재에 용제를 첨가한 이후 가열하여 유기전자 소재 용액을 제조하는 단계(130C); 를 포함할 수 있다.
- [0059] 일 실시 예에 따라, 분리하는 단계(110C)는 기재 상의 유기전자 소재의 막을 필링 오프(또는, 박리)하는 것일 수 있다. 유기전자 소재의 막은 단일막 또는 다중막일 수 있다. 상기 유기전자 소재의 막은 연속적으로 연결된 하나의 막 또는 패터닝된 막일 수 있다. 분리하는 단계(110C)는 온전한 형태로 유기전자 소재의 막을 필링 오프할 수 있다. 어떤 경우에는 조각, 플레이크 등의 형태로 유기전자 소재의 막을 필링 오프할 수 있다.
- [0060] 일 실시 예에 따라, 회수하는 단계(120C)는 분리하는 단계(110C)에서 분리된 유기전자 소재를 수집할 수 있다.
- [0061] 일 실시 예에 따라, 유기전자 소재 용액을 제조하는 단계(130C)는 용제를 가한 이후 용액을 형성할 수 있으며, 50 °C 내지 80 °C 온도; 60 °C 내지 80 °C; 또는 60 °C 내지 70 °C 온도(섭씨)에서 더 가열할 수 있다. 상기 용제는 유기전자 소재를 용해시킬 수 있는 용제이며, 바람직하게는 아세톤일 수 있다. 일 실시 예에 따라, 상기 유기전자 소재 용액은 이온겔 형태의 유기유전체를 포함하고, 상기 용액은 이온겔 형태의 유기유전체 용액일 수 있다.
- [0062] 일 실시 예에 따라, 폐유기전자소자에서 기재, 및 기재 상에 형성된 단일 또는 다중 성분의 유기전자 소재를 분리 및 회수하는 것으로, 다중 성분의 유기전자 소재를 각 성분별에 따라 개별적으로 분리 및 회수할 수 있다. 이는 언급된 재활용 공정의 각 단계를 다중 성분의 유기전자 소재의 배치 또는 적층 구성을 고려하여 공정 순서를 설정할 수 있다. 일 실시 예에 따라, 도 5는 본 개시의 실시 예들에 따른, 재활용 방법의 공정의 모시도를 나타낸 것으로, 도 5에서 유연전기 소자에서 유기 유전체, 유기 반도체 및 유기 전도체 순으로 재활용 공정으로 회수(재캡처)될 수 있다. 각 회수된 소재 및 기판은 원하는 유기전자소자로 재구성하여 재활용될 수 있다.
- [0063] 일 실시 예에 따라, 유기전자소자를 제조하는 공정(200)은, 스핀 코팅, 딥코팅, 드롭 캐스팅(drop-casting), 프린팅, 스핀 코팅, 존 캐스팅(zone casting), 딥 코팅(dip coating), 블레이드 코팅(blade coating) 및 분사(sparying) 공정 등 본 발명의 기술 분야에서 알려진 유기전자 소자를 제조하는 공정을 이용할 수 있다. 바람직하게는 상기 재활용하는 공정에서 획득한 소재를 드랍 캐스팅 공정으로 유기전자소자를 제조할 수 있다.

- [0064] 일 실시 예에 따라, 유기전자소자를 제조하는 공정(200)은, 재활용 가능한 ROF(recyclable organic flexible) 전자소자를 제조할 수 있다. 상기 ROF 전자소자는 ROF 유연유기전자소자 또는 웨어러블 유기전자소자일 수 있다. 예를 들면, ROF 전기생리학적 감지 전극, ROF 키패드, ROF 히터/온도 센서, ROF 전기화학 트랜지스터 및 ROF 인버터 등일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0065] 일 실시 예에 따라, 유기전자소자를 제조하는 공정(200)은, 다양한 기능 장치의 소스를 더 이상 보충하지 않고 공정(100)에서 획득한 재활용 재료만을 사용하여 제작된 다양한 ROF 전자 장치를 재구성하여 지속 가능한 장치 사이클(sustainable device cycle)을 구현할 수 있다. 또한 재활용된 재료로 구성되어 성능 저하를 낮추고, 성능 효율 및 신뢰성이 확보된 유기전자소자를 제공할 수 있다.
- [0066] 일 실시 예에 따라, 도 6은 본 발명의 실시 예들에 따른, 유기전자소자의 제조공정을 나타낸 것으로, i) 기재(예: PET 기판)를 준비하고 표면 처리(예: UV-O3 처리)하는 단계; ii) 기재(예: PET 기판) 상에 섀도우 마스크(예: 폴리이미드 기반 섀도우 마스크)를 라미네이션하는 단계; iii) 유기전도체 용액(예: PEDOT:PSS 용액)을 드랍 캐스팅하는 단계; iv) 섀도우 마스크를 필링 오프하는 단계, 유기전도체는 키패드 및 센싱 전극으로 패터닝됨; v) 키패드 및 센싱 전극을 위한 전극 배선을 형성하는 단계; vi) 키패드를 위한 스페이서와 상부층을 조립하는 단계,
- [0067] vii) 유기반도체를 드랍 캐스팅하는 단계; 및 viii) 이온 겔을 라미네이션하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0068] 일 실시 예에 따라, 유기전자소자의 제조공정(200)은 섀도우 마스크와 표면 에너지 차이를 이용한 유기물 기반의 유연성 전자소자의 제조공정일 수 있다. 즉, 도 7을 참조하면, 도 7은, a) 유기전도체인 PEDOT:PSS의 다양한 기판 위에서 표면 에너지 차이에 의한 표면각 및 b) 표면에너지 차이를 이용한 PEDOT:PSS의 패터닝 공정을 나타낸 것이다. 도 7에서 폴리이미드 기반 섀도우 마스크에서 PEDOT:PSS의 표면각이고, 표면 처리된 기재는 상대적으로 낮은 표면각을 가질 수 있다. 이러한 표면 에너지 차이를 이용한 드랍 캐스팅 공정에서 기재 상에서 유기전도체 패턴이 잘 형성될 수 있다.
- [0069] 일 실시 예에 따라, 도 8은 본 발명의 실시 예들에 따른, 유기전자소자의 폐쇄 루프 재활용 방법의 흐름도이다. 도 9는, 유기전자소자의 폐쇄 루프 재활용 방법의 공정의 모식도를 나타낸 것이다. 도 8에서 상기 방법은, 폐 유기전자소자를 재활용하는 공정(300); 및 재활용하는 공정에서 획득한 소재를 이용하여 유기전자소자를 제조하는 공정(400)을 포함할 수 있다. 즉, 도 9를 살펴보면, "폐쇄 루프 재활용 방법"은 본 발명의 유기전자소자의 재활용 방법으로 이용하고, 회수된 유기전자 소재를 폐유기전자소자와 상이한 구성 또는 종류의 유기전자소자로 재구성하는 것이다. 재구성된 유기전자소자는 다시 본 발명의 재활용 방법(예: 도 1 내지 도 5의 공정)을 이용하여 재활용될 수 있다. 즉, 친환경적이고 독성이 낮은 공정 물질(예: 용제)을 사용하고, 경제적인 재활용 방법으로 유연전자소자의 재활용 및 유연 전자 소자의 폐쇄 루프 재활용을 통한 재구성 방법에 의해서 유기전자 재료를 재활용하고, 추가적인 소비 없이 원하는 유연전자소자를 제작할 수 있다.
- [0070] 일 실시 예에 따라, 폐유기전자소자를 재활용하는 공정(300)은 본 발명의 실시 예들에 따른 재활용하는 공정(예: 도 1 내지 도 5의 공정)을 이용할 수 있다.
- [0071] 일 실시 예에 따라, 유기전자소자를 제조하는 공정(400)은, 본 발명의 실시 예들에 따른 재활용하는 공정(예: 도 1 내지 도 5의 공정)에서 획득한 유기전자 소재를 직접 적용하여 유기전자소자를 제조(예: 도 6 및 도 7의 공정)하는 것일 수 있다.
- [0072] 일 실시 예에 따라, 본 발명의 ROF 유기전자소자는 본 개시의 실시 예들에 따른, 유기전자소자의 재활용 방법(예: 도 1 내지 도 7의 공정) 또는 유기전자소자의 폐쇄 루프 재활용 방법(예: 도 8 내지 도 9의 공정)에 따라 제조된 것일 수 있다. 즉, 언급된 재활용 공정에서 획득한 유기전자 소재를 적용하여 ROF 유기전자소자를 제조할 수 있다.
- [0073] 일 실시 예에 따라, 언급된 재활용 공정에서 처리된 기판 및/또는 획득한 유기전자 소재를 적용하여 제조된 것일 수 있다. 일 실시 예에 따라, 언급된 재활용 공정에서 획득한 유기전자 소재는 추가 성분의 첨가 없이 직접적으로 유기전자 소재의 제조 공정에 적용될 수 있다.
- [0074] 일 실시 예에 따라, 상기 ROF 유기전자소자는 본 발명의 기술 분야에서 알려진 소자 제조 방법(예: 도 6 및 도 7)을 적용할 수 있으며, 바람직하게는 드랍 캐스팅 공정을 이용할 수 있다.
- [0075] 일 실시 예에 따라, 상기 ROF 유기전자소자는 언급된 재활용 공정에서 재활용 대상인 유기전자소자와 동일하거나 상이한 소자로 제조된 것일 수 있다. 즉, 유기전자소자의 폐쇄 루프 재활용 방법에 따라 새로운 유기전자소

자로 재활용되고, 제조된 유기전자소자는 재활용 가능한 소자로서, 반복적인 재활용 가능한 것일 수 있다.

- [0076] 일 실시 예에 따라, 언급된 재활용 공정에서 획득한 유기전자 소재로 제조된 유기전자소자는 우수한 성능 및 품질을 나타내고, 유기전자소자의 재활용 방법 또는 유기전자소자의 폐쇄 루프 재활용 방법에 유용하게 활용 가능하고, 공정 효율을 높일 수 있다.
- [0077] 일 실시 예에 따라, 본 개시의 ROF 유기전자소자는 유연전자소자 또는 웨어러블 전자소자일 수 있다. 일 실시 예에 따라, 유기전자소자는 유기물 기반의 전자 소자로서, 유연 또는 스트레처블 기판 상에 유기반도체, 유기전도체, 유기유전체의 필름, 박막, 시트, 적층구조 등이 형성된 것일 수 있다. 또한, 언급된 구성이 다양한 패턴으로 인쇄된 것일 수 있다. 일 실시 예에 따라, 본 개시의 유기전자소자 또는 웨어러블 전자 소자는 ROF 감지전극, ROF 히터 또는 ROF 온도 센서일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0078] 실시 예
- [0079] 재료
- [0080] 폴리(비닐리덴 플루오라이드-co-헥사플루오로프로필렌)(Poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene); PVDF-HFP; MW =, ~400,000) 및 regioregular P3HT(MW = 50,000 - 100,000)는 Sigma-Aldrich에서 구입하였다. 폴리에틸렌 테레프탈레이트(Polyethylene terephthalate; PET, 프리미엄 OHP 필름(두께=100 μ m)이다.
- [0081] 도 10, 도 11a, 도 11b 및 도 12의 재활용 공정에 따라 유기전자 소재를 재활용하고, 도 6의 유기전자소자의 제조공정에 따라 다음의 소자를 제조하였다.
- [0082] ROF 감지 전극 및 ROF 히터/온도 센서 제작
- [0083] 기술된 패터닝 공정을 통해 원하는 구성의 PET 기판 위에 PEDOT:PSS 기반 ROF 감지 전극과 ROF 히터/온도 센서를 제작하였다. 전기생리학적 신호 모니터링(electrophysiological signal monitoring)을 위한 ROF 감지 전극 제작을 위해 외부 장비에 인터페이스용 은 페이스트(silver paste)를 도포하여 구리선을 전극에 연결하였다. Kapton 테이프를 사용하여 와이어를 기판에 부착하여 기계적 견고성을 향상시켰다. PDMS는 예상치 못한 전기적 노이즈를 방지하기 위해 노출된 은 페이스트를 차폐하였다. 유연한 투명 붕대(flexible transparent bandage, AD-1010, Everaid)를 전극 뒷면에 부착하여 센서를 피부에 직접 부착하였다.
- [0084] 피부 장착형 ROF 키패드(skin-mountable ROF keypad) 제작
- [0085] 피부 장착형 ROF 키패드는 프로그래밍 가능한 절단기를 사용하여 적절한 모양의 PET 스페이서로 분리된 두 개의 PEDOT:PSS 기반 유연 전극을 조립하여 제작되었다. 먼저, 전술한 바와 같이 원하는 패턴을 갖는 각각의 유연 전극을 제조하였다. 다음으로, 외부 데이터 수집 장비에 대한 전기적 인터페이스를 보장하기 위해 전극을 은 페이스트를 사용하여 차폐된 금속 와이어에 연결하였다. 마지막으로 두 패턴의 전극을 유연한 붕대로 덮어서 겹치고 조립하였다.
- [0086] ROF *a*-ECT 및 인버터의 제작
- [0087] ROF *a*-ECT의 제조 공정에는 전극 패터닝, 유기 반도체층 형성 및 이온겔 준비가 포함된다. 먼저, 기술한 공정을 이용하여 소스 및 드레인 전극용 PET 기판에 PEDOT:PSS를 패터닝하였다. P3HT-NF는 우수한 전하 수송 특성으로 인해 유기 반도체 층을 형성하기 위해 선택되었다. P3HT-NF의 제조는 P3HT를 아니솔(anisole, 80 $^{\circ}$ C에서 1시간 동안 0.5 mg/mL)에 용해하여 시작되었으며, 이후 -20 $^{\circ}$ C에서 30분 동안 유지되었다. 이러한 가열 및 냉각 과정은 π - π 스택킹에 의한 티오펜 백본(thiophene backbone)의 자기 조립을 통해 P3HT-NF의 형성을 가능하게 한다. 준비된 P3HT-NFs 용액을 채널 영역에 드롭 캐스팅한 후 80 $^{\circ}$ C에서 30분간 어닐링하였다. 이온겔은 PVDF-co-HFP, 탈수된 EMIM-TFSI, 아세톤을 각각 1:4:7의 중량비로 혼합한 용액을 이용하여 제조하였다. 80 $^{\circ}$ C 핫플레이트에서 1시간 동안 교반하여 균일한 혼합물을 획득하였다. 자립형(free-standing) 이온겔(ion gel) 필름은 깨끗한 유리 기판 상에 캐스팅하고 진공 오븐에서 70 $^{\circ}$ C에서 12시간 동안 응고시켜 획득하였다. 이어서, 이온 겔을 원하는 모양으로 절단하고 P3HT-NF 층에 적층하여 ROF *a*-ECT의 제조 공정을 완료하였다. ROF 인버터의 제조 공정은 전극 패턴 구성을 제외하고 *a*-ECT의 제조 공정과 유사하다.
- [0088] PEDOT:PSS 기반 ROF 전극의 재활용 절차
- [0089] PEDOT:PSS 기반 ROF 전극의 재활용은 탈이온수(DI)와 아세톤을 사용한 연속적인 행굼(rinsing)으로 시작되며, 불순물을 제거하기 위해 20 μ m(기공 직경) 다공성 주사기 필터로 필터링하고, 행굼은 적어도 두 번 수행하였다. 기판에서 PEDOT:PSS를 회수하기 위해 전극을 여과수에 약 20초 동안 침지하였다. 물 속에서 부풀어 오른(즉,

스웰링(swelling)된 PEDOT:PSS는 깨끗한 칼날을 사용하여 조심스럽게 벗겨내고, 이로 인해 재료 손실이 발생하지 않았다. 또한, PET 기재 표면에 큰 손상이 없어 기존 폴리머 재활용과 유사하게 직접 재사용이 가능하다. original PEDOT:PSS와 동일한 농도를 갖도록 회수된 PEDOT:PSS 단편을 적절한 양의 여과된 DI-물에 담구었다. 용액을 실온(room temperature)에서 10시간 동안 격렬하게 교반(1000rpm)하여 단편을 응집된 입자로 분쇄하였다. PEDOT:PSS 기반 ROF 전극을 준비하는 데 재사용할 수 있는 well-dispersed PEDOT:PSS 용액을 얻기 위해 1시간 동안 추가 초음파 처리를 진행하였다.

[0090] P3HT-NF 반도체층의 재활용 절차

[0091] P3HT-NF의 재활용 절차에는 이온 겔이 없는 장치를 아세톤에 담근 다음 건조시키는 단계를 반복하는 것이 포함된다. 이러한 단계는 유기 반도체층 표면에 남아 있는 이온성 액체를 제거하는 데 도움이 된다. 이어서, P3HT의 녹색 용매인 아니솔을 적용하여 P3HT-NF를 선택적으로 다시 회수(recapture)하고 80 °C의 핫플레이트에서 다시 회수(recapture)하였다. 마지막으로 회전 증발기를 통해 아니솔을 감압증발로 제거하고, P3HT 분말을 회수하였다. 상기 감압 증발되는 아니솔은 냉각 시스템을 통해 응축하여 회수된다.

[0092] 이온 겔 게이트 유전체의 재활용 절차

[0093] ROF 전자 장치에서 이온 겔을 벗겨내는 것이 이온 겔을 재활용하는 첫 번째 단계이다. 수집된 이온겔을 이온겔 총량의 1.4 배에 해당하는 아세톤을 사용하여 약 80 °C에서 1시간 동안 용해시켰다. 재용해된 용액을 깨끗한 기판 위에 캐스팅한 후 이온겔 제조에 사용된 것과 동일한 과정을 사용하여 응고시켰다.

[0094] 실시예에서 제조된 각 소자의 성능을 평가하였으며, 그 결과는 도 13 내지 도 16에 나타내었다.

[0095] 도 13은 유기소재의 재활용 특성을 나타낸 것이다. (a) 및 (b)는 교반 시간(a)(n = 8) 및 초음파 처리 시간(b)(n = 8)에 따른 PEDOT:PSS의 d/d_0 이다.

[0096] (c) PEDOT:PSS의 평균 크기(n = 8), (d) PEDOT:PSS의 ζ 전위(n = 8), (e) PEDOT:PSS 필름의 전도도(n = 8)이다.

[0097] (f) 재활용 공정을 기반으로 한 PEDOT:PSS 필름의 위상 모드에서 AFM 이미지이다.

[0098] (g) 교반 및 초음파 처리 후 PEDOT:PSS 용액의 광학 이미지이다.

[0099] (h) 회석 용매 내 TFSI 음이온의 표준화된 강도 프로파일(삽입도: P3HT 유기 반도체 층의 전기화학적 도핑 공정의 개략도임.)이다.

[0100] (i) 다양한 이온성 액체 회석 용매를 사용한 pristine P3HT 용액과 재활용된 P3HT 용액의 UV-vis 흡수 스펙트럼이다.

[0101] (j) 다양한 이온성 액체 회석 용매를 사용한 순수 및 재활용 유기 반도체 층의 높이 모드(AFM 이미지, 하단)의 광학 이미지(상단)이다. AFM 이미지에서 d는 왼쪽에서부터 30, 30, 50, 80이다.

[0102] (k) 및 (l)은 pristine 및 재활용 이온 겔의 광학 이미지(k) 및 체적 용량(l)이다.

[0103] 도 2에서 d/d_0 값은 초음파 처리(120 분)에서 PEDOT:PSS($d/d_0 = 1.02 \pm 0.13$)로 감소된 것을 확인할 수 있다. 평균 입자 크기 (d_{avg}) 및 제타 포텐셜 (ζ -potential) 값은 pristine PEDOT:PSS(177.9 ± 10.2 nm)와 유사한 200.7 ± 19.5 nm로 획득하였고, 제타 포텐셜(ζ -potential)은 pristine PEDOT:PSS와 거의 유사한 값이다. 재활용된 PEDOT:PSS 필름의 전도성(σ)는 $\sigma_{stirred} = 434.78 \pm 45.90$ S/cm 및 $\sigma_{ultrasonicated} = 612.19 \pm 74.03$ S/cm이며, 이는 $\sigma_{pristine} = 629.64 \pm 80.25$ S/cm와 유사한 값이다. 또한, 분산성이 잘 이루어진 용액을 획득할 수 있다.

[0104] 교반 이후에 초음파 처리를 통해 PEDOT:PSS의 재활용 공정의 효율 및 재활용성(recyclability, 지속가능성)이 높은 것을 알 수 있다.

[0105] 도 14는, 웨어러블 ROF 전자 장치(PEDOT:PSS 기반 웨어러블 ROF 전자장치)의 성능 평가 결과이다.

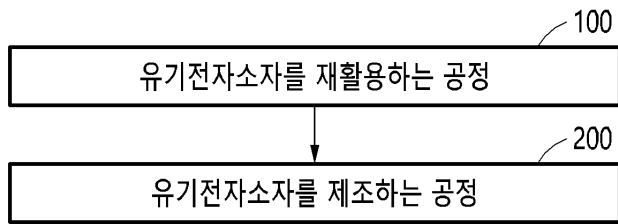
[0106] (a) 웨어러블 ROF 전자 장치의 구성을 나타낸 것이다.

[0107] (b) pristine 및 5회 재활용 전극에 따른 ECG 추적 결과이다.

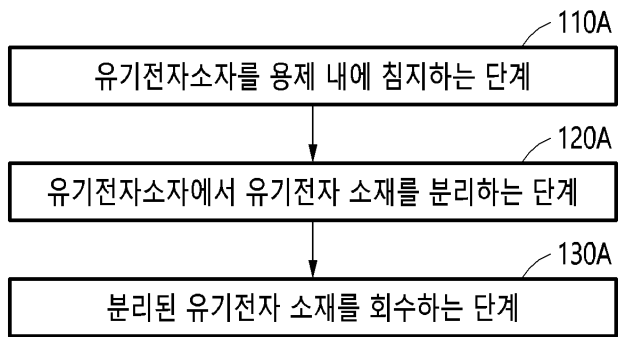
- [0108] (c) ROF 온도 센서의 구성을 나타낸 것이다.
- [0109] (d) 및 (e)에서 pristine 및 5회 재활용 ROF 온도 센서에서 온도에 따른 변화 R (d) 및 Arrhenius 피팅 (e)을 사용한 $1/T$ 대비 $\ln R$ 플롯이다.
- [0110] (f) 내지 (h)에서 (f) 단계적 전압 인가에 따른 동적 온도 변화, (g) 정전압 ON/OFF(V_{APP})= 4V) 및 pristine 및 (h) 5회 재활용된 ROF 히터의 IR 온도 매핑이다.
- [0111] 도 14에서 재활용된 웨어러블 ROF 전자장치(PEDOT:PSS-based wearable ROF electronics)는 pristine 웨어러블 전자 소자와 유사한 센싱 성능을 갖는 것을 확인할 수 있다.
- [0112] 도 15는 ROF α -ECT 및 ROF 논리 게이트(logic gate)의 성능 평가 결과이다.
- [0113] (a) ROF α -ECT 및 ROF 논리 게이트의 구성을 나타낸 것이다.
- [0114] (b) pristine 및 재활용 ROF α -ECT의 전계 효과 이동도 및 임계 전압 비교(= 30)이다.
- [0115] (c) pristine 및 재활용 ROF α -ECT의 온/오프 비율 및 임계값 이하 스윙 비교(= 30)이다.
- [0116] (d) pristine 및 재활용된 ROF 인버터의 VTC이다.
- [0117] (e) pristine ROF 인버터와 재활용된 ROF 인버터의 게인(gain, 상단)과 V_M (하단)의 비교(= 10)이다.
- [0118] 도 15에서 재활용된 ROF 인버터는 pristine ROF와 유사하거나 동일한 논리 게이트(logic gate)의 성능을 갖는 것을 확인할 수 있다.
- [0119] 도 16은, ROF 전자 장치의 폐쇄 루프 재활용을 통한 재구성한 소자의 성능을 평가한 것이다. 이는 도 9의 ROF 전자장치의 폐쇄 루프 재활용 방법(closed-loop recycling)에 따라 제조된 것이다. (a) pristine ROF 인버터의 VTC, 재활용된 ROF α -ECT의 (b) 출력 및 (c) 전달 곡선, 재활용 ROF 온도 센서에서 (d) 온도 변화에 따른 R 및 Arrhenius 피팅 (e)을 사용한 $1/T$ 대 $\ln R$ 플롯이다. (f) 재활용 ROF 히터의 다양한 V_{APP} 에 따른 줄 가열(Joule heating) 특성이다. 도 16에서 ROF 인버터에서 재활용된 유기전자 소재(PEDOT:PSS)로 제조된 ROF α -ECT는 4 mS의 흐름을 나타내며, 열 및 온도 센싱 능력이 우수한 것을 확인할 수 있다.
- [0120] 본 발명에서 유기전자재료를 재포획/재사용하고, 무해한 용제를 사용하며, 재료의 손실을 최소화할 수 있는 재활용 가능한 ROF(recyclable organic flexible) 전자소자를 제조할 수 있다. 제안된 ROF 전자 장치는 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜):폴리(스티렌 설포네이트)(PEDOT:PSS)로 제작된 유기 전도체, 폴리(3-헥실티오펜-2,5-디일)(P3HT)로 만들어진 반도체, 및 선택적 용해를 통한 효과적인 재포획의 특성과 함께 우수한 전기적 성능을 지닌 이온겔로 이루어진 유전체를 포함할 수 있다. 특히, ROF 전자 장치의 제조 및 재활용은 PEDOT:PSS용 물, P3HT용 아니솔, 이온 겔용 아세톤과 같은 위험하지 않은 용매를 사용하였다. 또한, 소자 제작을 위해 최적화된 드롭 캐스팅 공정은 재료 손실을 무시할 수 있다. 유기전자 재료는 재활용 후에도 신뢰성 있는 특성을 유지하여 다양한 웨어러블 ROF 전자 장치의 제조 및 폐쇄 루프 재활용이 가능할 수 있다. 본 발명은, 추가 소수를 보충하지 않고 다양한 장치의 재활용 재료를 사용하여 ROF 전자 장치를 재구성함으로써 지속 가능한 장치 사이클을 구현할 수 있다.
- [0121] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다. 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

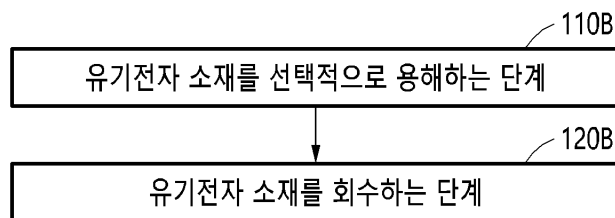
도면1



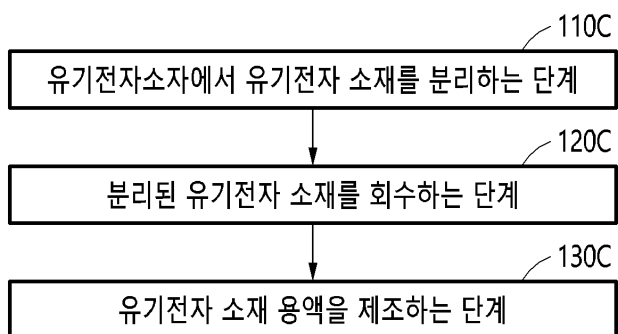
도면2



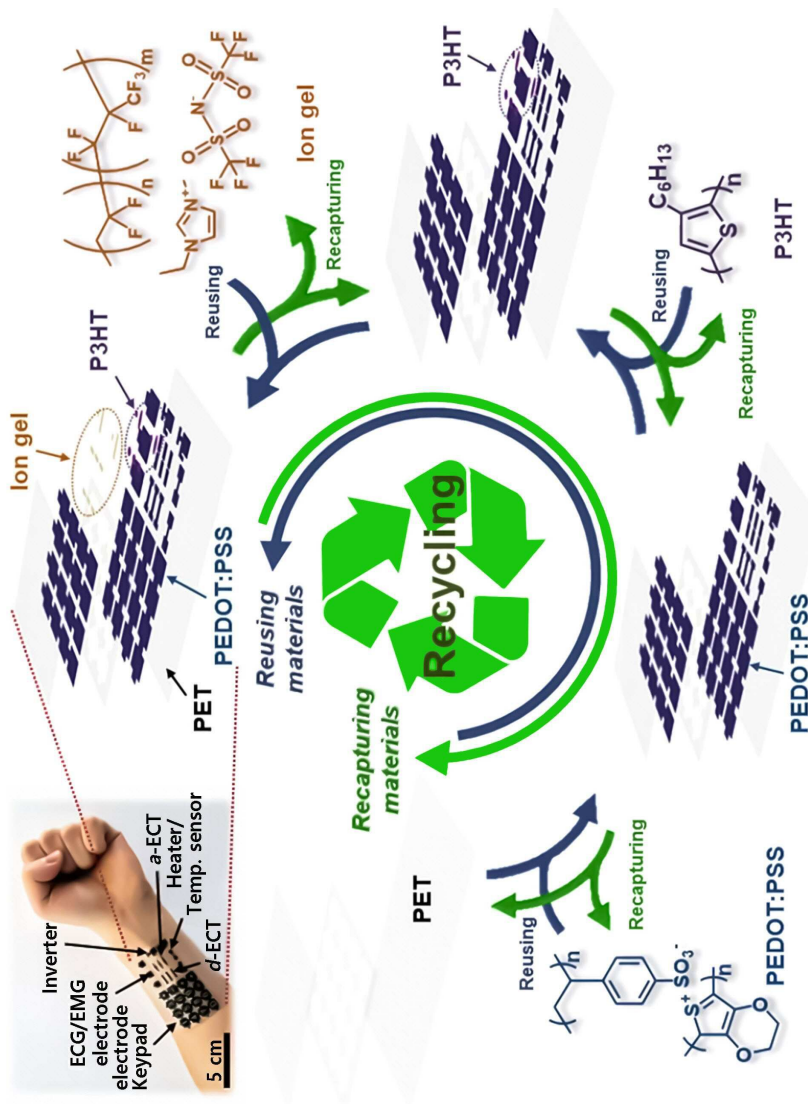
도면3



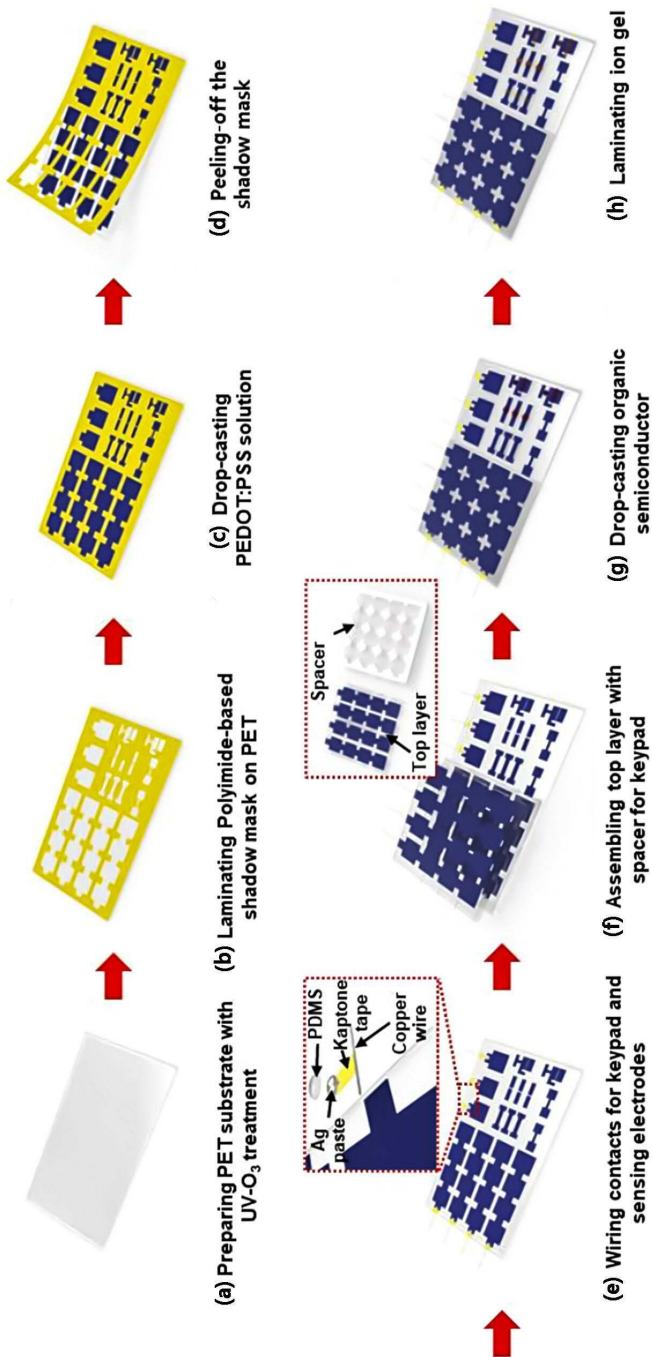
도면4



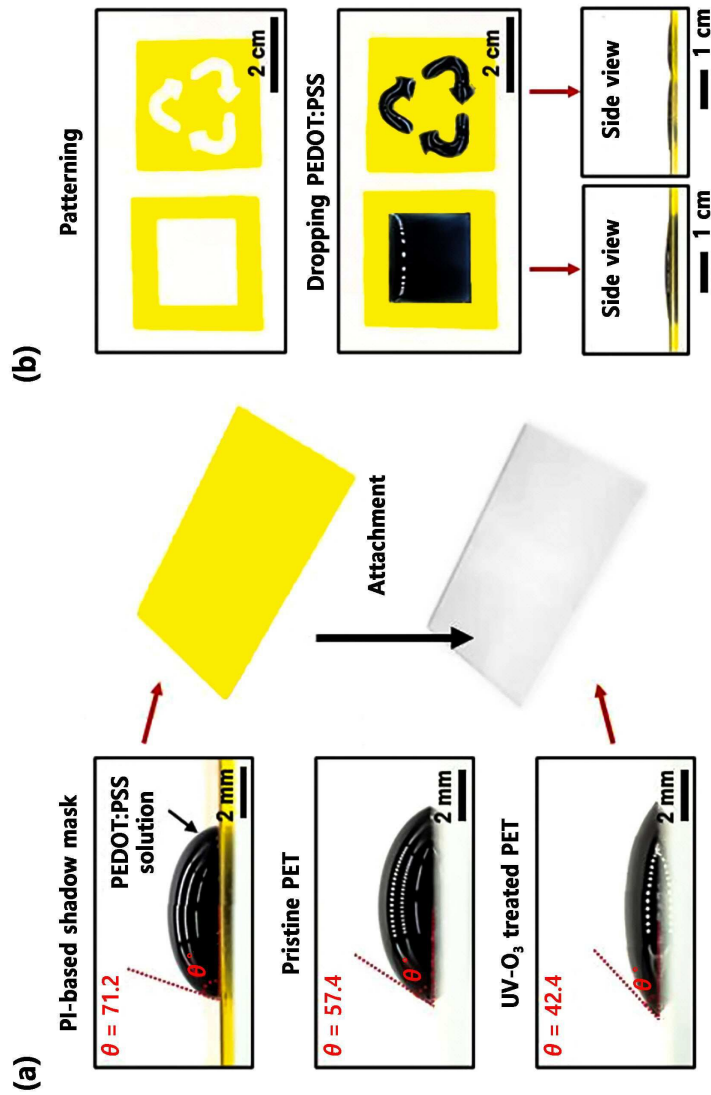
도면5



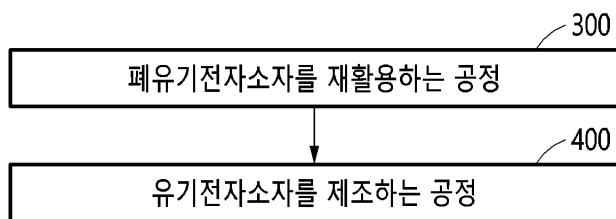
도면6



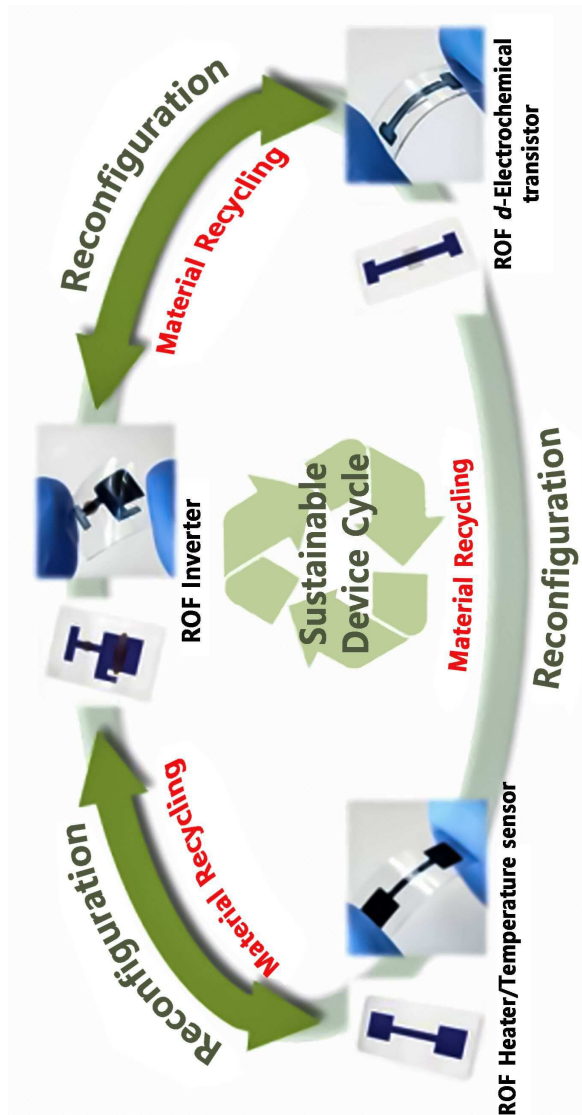
도면7



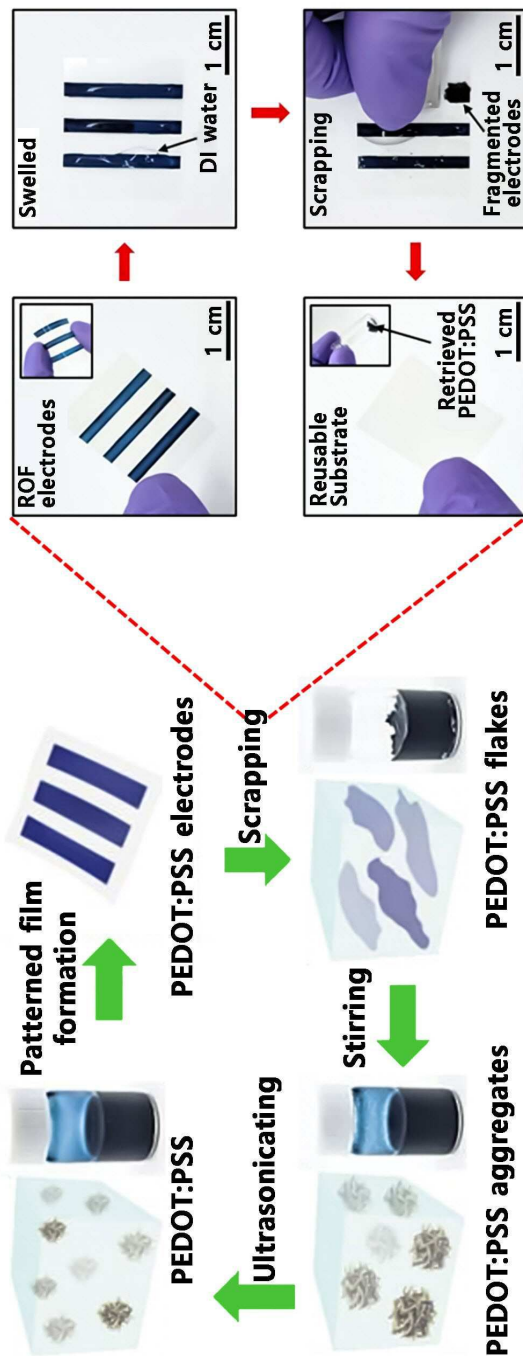
도면8



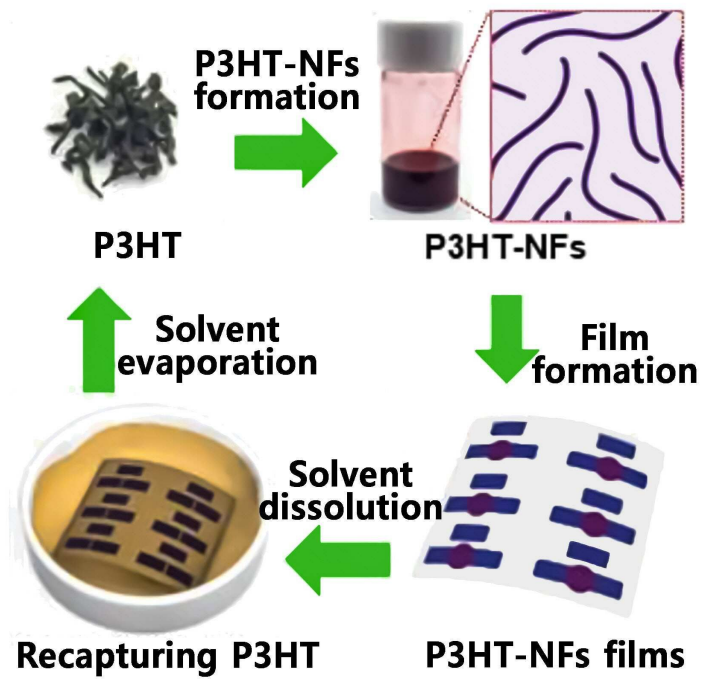
도면9



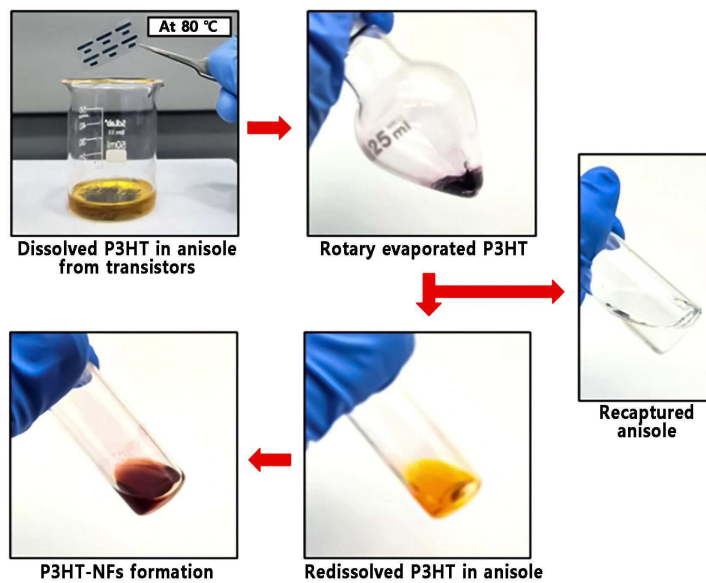
도면10



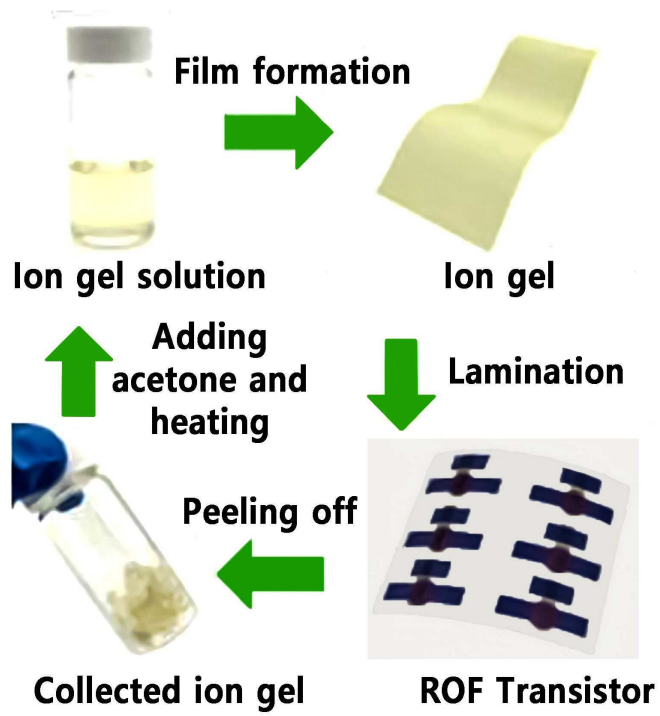
도면11a



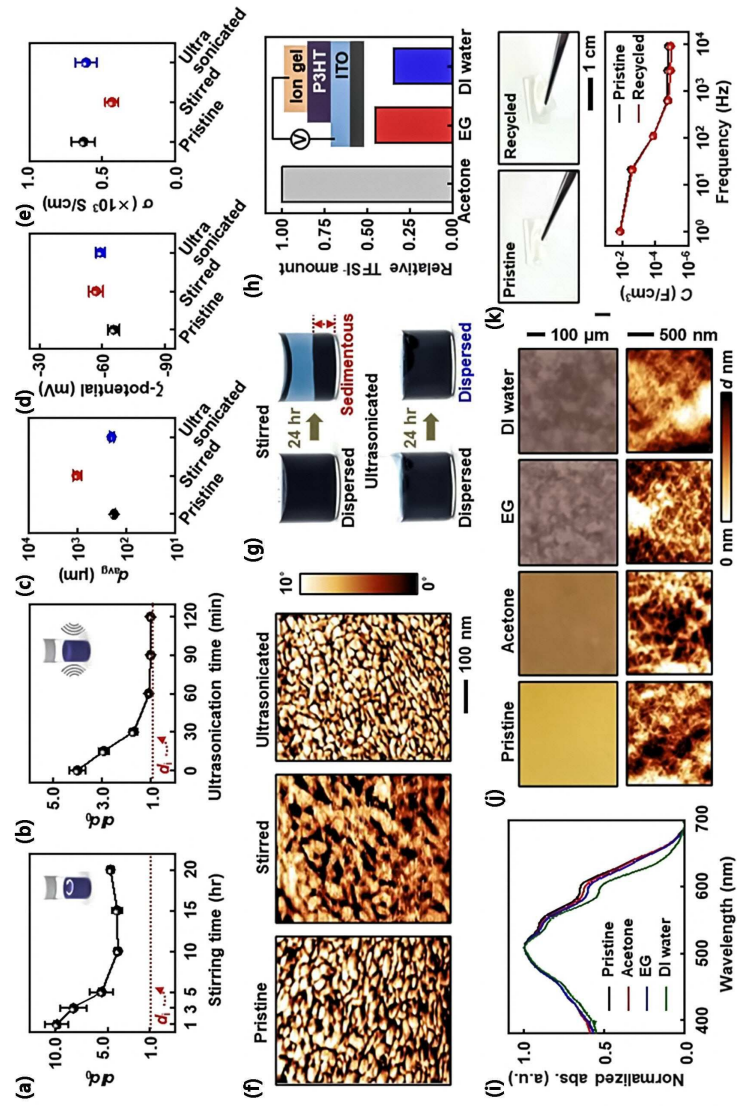
도면11b



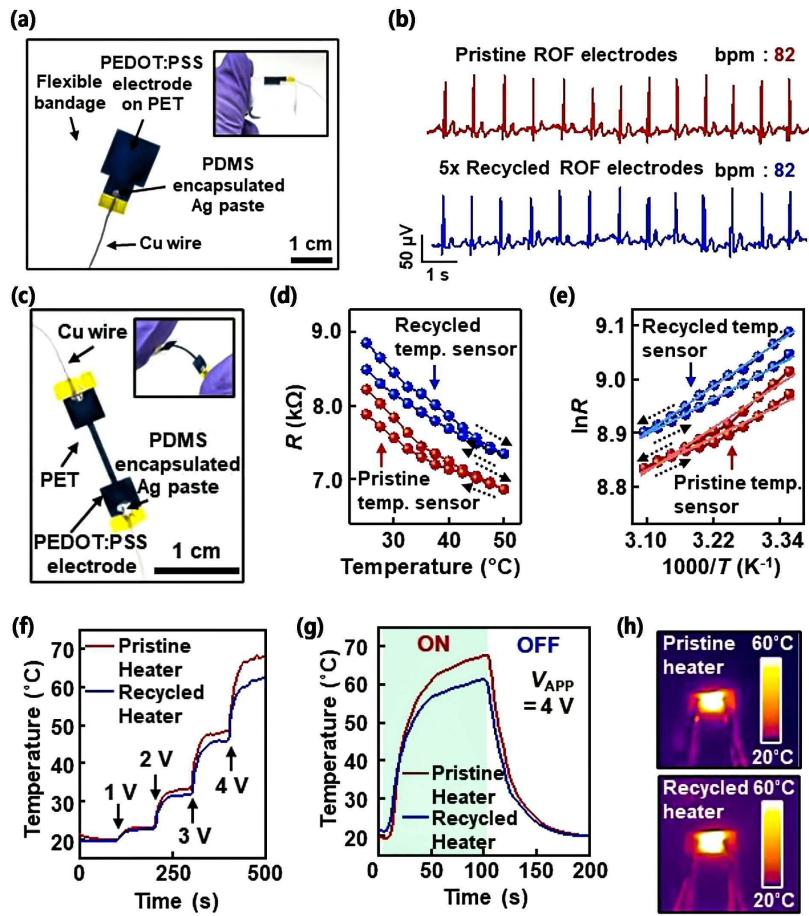
도면12



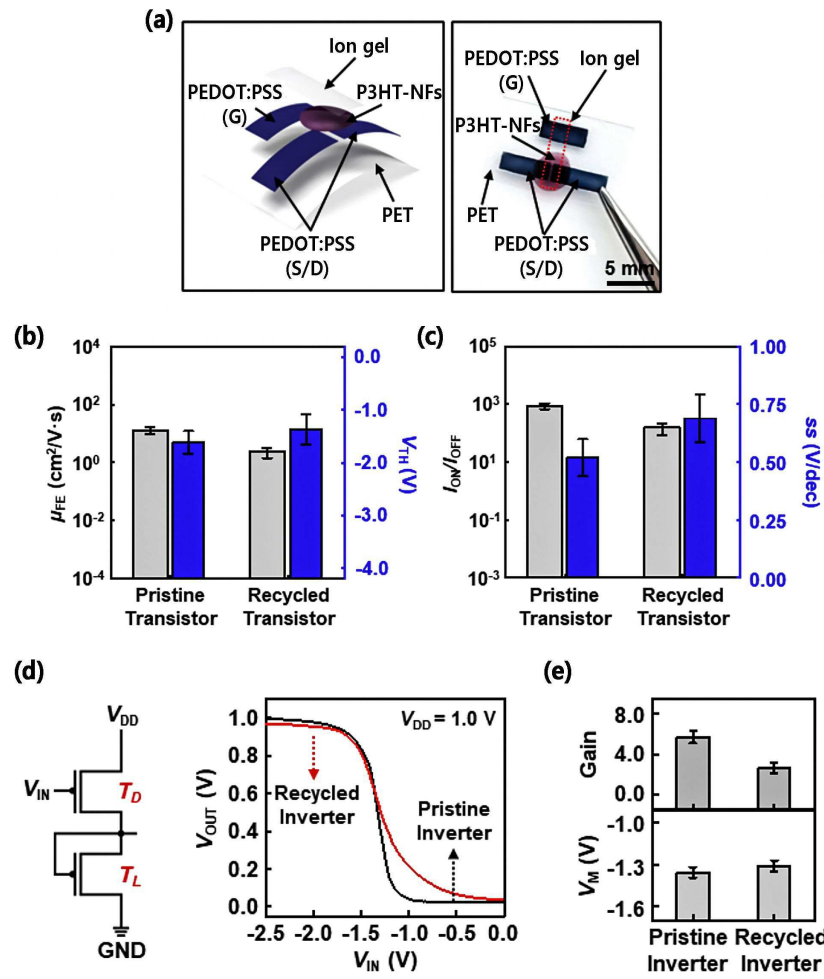
도면13



도면14



도면15



도면16

