(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0076982
(43) 공개일자 2025년05월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C08K 3/04 (2006.01) *C08K 9/04* (2006.01)
C08L 75/04 (2006.01) *H02N 2/00* (2006.01)
(52) CPC특허분류
C08K 3/042 (2017.05)
C08K 9/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0164276
(22) 출원일자 2023년11월23일
심사청구일자 2023년11월23일

(71) 출원인
한국기술교육대학교 산학협력단
충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1600 (한국기술교육대학교내)
(72) 발명자
배진우
서울특별시 강서구 공항대로7라길 22 웰스캐슬 103동 602호
우인선
충청북도 청주시 서원구 수곡로27번길 22 2층
(74) 대리인
조해연

전체 청구항 수 : 총 9 항

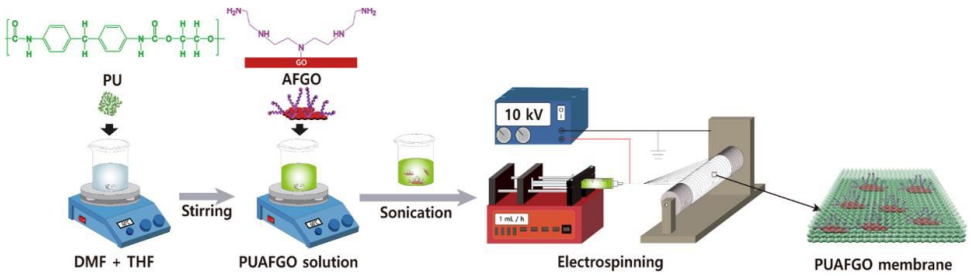
(54) 발명의 명칭 **산화그래핀 기반 나노소재를 포함하는 마찰전기 나노발전기용 마찰대전 조성물 및 이를 포함하는 마찰전기 나노발전기**

(57) 요 약

본 발명은 마찰전기 나노발전기용 마찰대전 조성물 및 이를 포함하는 마찰전기 나노발전기에 관한 것이다. 일 실시예는 산화그래핀 기반 나노소재를 포함하는 마찰대전 조성물을 마찰대전 양극층 및 마찰대전 음극층으로 적용한 마찰전기 나노발전기를 포함한다.

본 발명의 실시 예를 따르는 마찰전기 나노발전기용 마찰대전 조성물은, 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드(Reduced Graphene Oxide-Tetraethylenepentamine, rGO-TEPA) 및 제1고분자를 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
C08L 75/04 (2013.01)
H02N 2/007 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711190086
과제번호 2021R1A2C2011898
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(과기정통부)
연구과제명 비수계기반 고성능 다기능의 이온전도성 비이온전도성 고분자겔을 이용한 차세대 고투명고신축성 센서와 전기화학 디스플레이 소자로의 응용
기 여 율 1/3
과제수행기관명 한국기술교육대학교
연구기간 2021.03.01 ~ 2024.02.29
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1345370650
과제번호 LINC 3.0-2023-31
부처명 교육부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 산학연협력고도화지원
연구과제명 3단계 산학연 협력 선도 대학 육성 사업(LINC3.0)(0.5)
기 여 율 1/3
과제수행기관명 한국기술교육대학교
연구기간 2023.03.01 ~ 2024.02.29
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1415185197
과제번호 K_G012001597103
부처명 산업통상자원부
과제관리(전문)기관명 한국산업기술평가관리원
연구사업명 소재부품기술개발
연구과제명 압전성 불소계 공중합체 수지 제조 및 활용 기술 개발
기 여 율 1/3
과제수행기관명 한국기술교육대학교
연구기간 2021.04.01 ~ 2024.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드(Reduced Graphene Oxide-Tetraethylenepentamine, rGO-TEPA) 및 제1고분자를 포함하는,

마찰전기 나노발전기용 마찰대전 조성물.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1고분자는 폴리우레탄(Polyurethane, PU)인,

마찰전기 나노발전기용 마찰대전 조성물.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드의 함량은 상기 제1고분자 100중량부에 대하여 1 내지 10중량부인,

마찰전기 나노발전기용 마찰대전 조성물.

청구항 4

마찰대전 양극층(Tribo-positive layer) 및 마찰대전 음극층(Tribo-negative layer)을 포함하고,

상기 마찰대전 양극층은 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드(Reduced Graphene Oxide-Tetraethylenepentamine, rGO-TEPA) 및 제1고분자를 포함하는,

마찰전기 나노발전기.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 제1고분자는 폴리우레탄(Polyurethane, PU)인,

마찰전기 나노발전기.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 마찰대전 양극층에 포함된 상기 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드의 함량은 상기 제1고분자 100중량부에 대하여 1 내지 10중량부인,

마찰전기 나노발전기.

청구항 7

제4항에 있어서,

상기 마찰대전 양극층은 상기 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드 및 제1고분자가 혼합된 제1혼합물을 이용하여 전기방사법으로 제조한 것인,

마찰전기 나노발전기.

청구항 8

테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드(Reduced Graphene Oxide-Tetraethylenepentamine, rGO-TEPA), 제1고분자 및 용매를 혼합하여 혼합물을 제조하는 단계 및

상기 혼합물을 시트 형상으로 성형하는 단계를 포함하는,

마찰전기 나노발전기용 마찰대전 층의 제조방법.

청구항 9

상기 혼합물을 시트 형상으로 성형하는 단계는 상기 혼합물을 전기방사(electrospinning)하여 수행하는 것인,

마찰전기 나노발전기용 마찰대전 층의 제조방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 마찰전기 나노발전기용 마찰대전 조성물 및 이를 포함하는 마찰전기 나노발전기에 관한 것이다. 일 실시예는 산화그래핀 기반 나노소재를 포함하는 마찰대전 조성물을 마찰대전 양극층 및 마찰대전 음극층으로 적용한 마찰전기 나노발전기를 포함한다.

배 경 기 술

[0002] 마찰전기 나노발전기(Triboelectric Nanogenerator, TENG)는 두 가지 다른 재료가 접촉하거나 마찰될 때 발생하는 정전기를 활용하여 전기 에너지를 생성하는 장치이다. 마찰전기 나노발전기는 전통적인 발전 방식에 비해 환경에 덜 해롭고, 재생 가능한 에너지원으로 작동하기 때문에 환경친화적이고, 작은 크기로 만들 수 있기 때문에 다양한 응용 분야에 적용이 가능하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 이러한 마찰전기 나노발전기는 바이오센서, 체내 삽입 또는 체외 부착형 기기의 전기 공급, 인간의 움직임을 이용한 지속적인 발전 등에 적용이 가능하다.

[0003] 다만, 마찰전기 나노발전기는 현재 낮은 전력 밀도 및 높은 내부 임피던스 등의 기술적 한계에 직면하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 전기-기계 변환 효율(electromechanical conversion efficiency)이 높은 마찰대전 조성물을 적용해야한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 한국 공개특허공보 제10-2023-0134367호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 높은 전력 밀도 및 낮은 임피던스를 갖는 마찰전기 나노발전기용 마찰대전 조성물 및 이를 포함하는 마찰전기 나노발전기를 제공함을 목적으로 한다.

[0006] 또한, 본 발명은 높은 감도를 가진다.

[0007] 또한, 본 발명은 높은 기계적 안정성을 가진다.

[0008] 또한, 본 발명은 낮은 압력에서도 우수한 효율을 가진다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 실시 예를 따르는 마찰전기 나노발전기용 마찰대전 조성물은, 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원

그래핀 옥사이드(Reduced Graphene Oxide-Tetraethylenepentamine, rGO-TEPA) 및 제1고분자를 포함한다.

[0010] 상기 제1고분자는 폴리우레탄(Polyurethane, PU)일 수 있다.

[0011] 상기 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드의 함량은 상기 제1고분자 100중량부에 대하여 1 내지 10중량부일 수 있다.

[0013] 본 발명의 실시 예를 따르는 마찰전기 나노발전기는 마찰대전 양극층(Tribo-positive layer) 및 마찰대전 음극층(Tribo-negative layer)을 포함한다.

[0014] 상기 마찰대전 양극층은 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드(Reduced Graphene Oxide-Tetraethylenepentamine, rGO-TEPA) 및 제1고분자를 포함할 수 있다.

[0015] 상기 마찰대전 양극층에 포함된 상기 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드의 함량은 상기 제1고분자 100중량부에 대하여 1 내지 10중량부일 수 있다.

[0017] 본 발명의 실시 예를 따르는 마찰전기 나노발전기용 마찰대전 층의 제조방법은, 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드(Reduced Graphene Oxide-Tetraethylenepentamine, rGO-TEPA), 제1고분자 및 용매를 혼합하여 혼합물을 제조하는 단계 및 상기 혼합물을 시트 형상으로 성형하는 단계를 포함한다.

[0018] 상기 혼합물을 시트 형상으로 성형하는 단계는 상기 혼합물을 전기방사(electrospinning)하여 수행하는 것일 수 있다.

발명의 효과

[0019] 본 발명의 실시 예를 따르는 마찰전기 나노발전기용 마찰대전 조성물 및 이를 포함하는 마찰전기 나노발전기는 높은 전력 밀도 및 낮은 임피던스를 갖는다.

[0020] 또한, 본 발명은 높은 감도를 가진다.

[0021] 또한, 본 발명은 높은 기계적 안정성을 가진다.

[0022] 또한, 본 발명은 낮은 압력에서도 우수한 효율을 가진다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 본 발명의 실시예를 따르는 마찰대전 층의 제조방법을 도시한 것이다.

도 2는 본 발명의 실시예를 따르는 마찰대전 나노발전기의 개념도이다.

도 3은 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드, 양극비교예1, 양극실시예1 내지 4의 SEM 사진이다.

도 4는 양극비교예1, 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드 및 양극실시예4의 XRD 분석 결과이다.

도 5는 마찰전기 나노발전기의 V_{OC}, I_{SC} 측정 결과이다.

도 6은 마찰전기 나노발전기에서 하중에 따른 전기 특성 측정 결과이다.

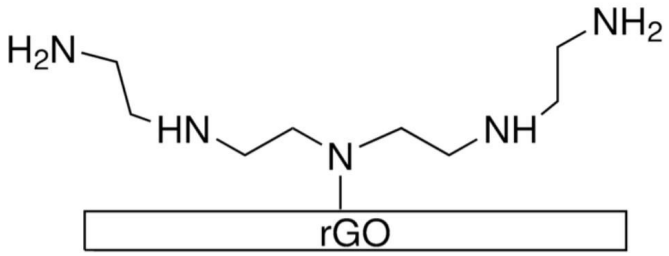
발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 형태들을 다음과 같이 설명한다. 그러나, 본 발명의 실시 형태는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 이하 설명하는 실시 형태로 한정되는 것은 아니다. 또한, 본 발명의 실시 형태는 당해 기술분야에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위해서 제공되는 것이다.

[0026] 본 발명의 실시 예를 따르는 마찰전기 나노발전기용 마찰대전 조성물은, 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드(Reduced Graphene Oxide-Tetraethylenepentamine, rGO-TEPA) 및 제1고분자를 포함한다.

[0028] 상기 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드는 주변으로 전자를 쉽게 끌어오거나 전자를 쉽게 방출하는 물질이며, 본 발명에서는 음극 마찰대전물질과 접촉하여 전자를 쉽게 방출하는 기능을 수행할 수 있다. 상기 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드는 아래의 구조식1로 표현할 수 있다.

[0029] [구조식1]

[0030] 

[0032] 일 실시예에서, 상기 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드의 함량은 상기 제1고분자 100중량부에 대하여 1 내지 10중량부, 바람직하게는 1 내지 3중량부일 수 있다. 함량이 너무 낮거나 높은 경우에는 발전 효율이 감소할 수 있다.

[0034] 상기 제1고분자는 양극 마찰대전물질이 일정한 형상을 이루어 마찰대전 양극층으로 활용할 수 있도록 하며, 상기 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드가 고르게 분산되어 높은 전류 밀도를 갖도록 한다.

[0035] 상기 제1고분자는 다양한 고분자 수지가 경화제에 의해 경화된 것일 수 있으며, 바람직하게는 상기 고분자 수지는 폴리우레탄(Polyurethane, PU)일 수 있다.

[0037] 상기 마찰전기 나노발전기용 마찰대전 조성물은 경화 및 건조되어 필름 형상의 마찰대전 층으로 제조할 수 있으며, 이를 전극 상에 배치하여 마찰전기 나노발전기로 사용할 수 있다.

[0038] 본 발명의 실시 예를 따르는 마찰전기 나노발전기용 마찰대전 층의 제조방법은, 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드(Reduced Graphene Oxide-Tetraethylenepentamine, rGO-TEPA), 제1고분자 및 용매를 혼합하여 혼합물을 제조하는 단계 및 상기 혼합물을 시트 형상으로 성형하는 단계를 포함한다. 다음으로, 상기의 방법으로 제조된 마찰대전 층을 전극 상에 배치하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0040] 상기 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드, 제1고분자 및 용매를 혼합하여 혼합물을 제조하는 단계에서 상기 환원 그래핀 옥사이드 및 제1고분자는 앞서 설명한 것이다. 본 단계에서 상기 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드의 함량은 상기 제1고분자 100중량부에 대하여 1 내지 10중량부, 바람직하게는 1 내지 3중량부일 수 있다.

[0041] 상기 용매는 상기 제1고분자를 용해할 수 있는 것이면 특별히 제한하지 않는다. 상기 용매는 유기용매일 수 있으며, 바람직하게는 N,N-디메틸포름아미드(N, N-Dimethylformamide, DMF) 또는 테트라하이드로푸란(Tetrahydrofuran, THF)일 수 있다.

[0042] 본 단계는 가열하는 상태에서 교반기에서 혼합물을 교반할 수 있다. 이 경우, 혼합물의 온도는 50 내지 70℃일 수 있고, 5 내지 10시간 동안 수행할 수 있다.

[0044] 상기 혼합물을 시트 형상으로 성형하는 단계는 상기 혼합물을 전기방사(electrospinning)하여 수행하는 것일 수

있다. 일 실시예는 전기방사법을 사용함으로써 상기 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드의 전기적 특징이 잘 나타날 수 있는 바, 적은 압력에도 반응하여 발전할 수 있어 발전 효율을 높일 수 있다.

[0045] 본 단계에서 제조된 시트는 두께가 수 십㎛일 수 있다.

[0047] 앞서 공정을 통해 마찰대전 층의 제조가 완료되었다. 다음으로, 상기 마찰대전 층을 전극 상에 배치하는 단계 더 수행할 수 있다. 상기 전극은 전도성 물질로서 금속 또는 합금으로 이루어질 수 있다. 본 단계는 접착제를 사용하여 마찰대전 층과 전극을 부착하거나, 압력 또는 열을 가하여 부착할 수 있다.

[0048] 다른 실시예에서는 상기 혼합물을 필름 형상으로 성형하는 단계에서 혼합물을 전극 상에서 캐스팅함으로써 본 단계를 생략할 수 있다.

[0050] 이와 같이 제조된 마찰대전 층은 마찰대전 양극층 또는 마찰대전 음극층으로 사용할 수 있으며, 바람직하게는 마찰대전 양극층으로 사용할 수 있다.

[0052] 도 2는 본 발명의 실시 예를 따르는 마찰전기 나노발전기(100)의 개념도이다. 도 2를 참조하면, 본 발명의 실시 예를 따르는 마찰전기 나노발전기는 마찰대전 양극층(120) 및 마찰대전 음극층(110)을 포함한다. 또한, 상기 마찰대전 양극층(120) 상에 배치된 전극(130`) 및 상기 마찰대전 음극층(110) 상에 배치된 전극(130)을 포함할 수 있다. 또한, 상기 각각의 전극(130, 130`)의 타면에 배치되어 보호하는 지지판(140, 140`)을 더 포함할 수 있다. 상기 마찰대전 양극층(120) 및 마찰대전 음극층(110)은 전자가 서로 이동하도록 전기적으로 연결될 수 있는 바, 이를 위해 상호간에 직접 또는 간접적으로 연결될 수 있다. 일 실시예는 상기 마찰대전 양극층(120) 및 마찰대전 음극층(110) 사이에 배치된 스페이서(150)를 더 포함할 수 있다. 이를 통해 상기 마찰대전 양극층(120) 및 마찰대전 음극층(110)은 평소에는 일정한 간격으로 이격하여 배치되었다가 외부에서 압력이 가해지는 경우 서로 접촉하도록 구성될 수 있다.

[0053] 상기 마찰대전 양극층 및 마찰대전 음극층 중 적어도 어느 하나는 앞서 설명한 마찰전기 나노발전기용 마찰대전 조성물을 포함한다. 바람직하게, 상기 마찰대전 양극층은 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드(Reduced Graphene Oxide-Tetraethylenepentamine, rGO-TEPA) 및 제1고분자를 포함할 수 있다.

[0054] 상기 마찰전기 나노발전기는 해당 분야에서 일반적으로 사용하는 다른 구성요소들을 포함할 수 있으며, 특별히 제한하지 않는다.

[0056] 실시예: 마찰대전 양극층의 제조

[0057] 양극실시예1(PUAFG01): 폴리우레탄은 Sigma-Aldrich 사의 Selectophore™을 준비하였고, 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드는 Sigma-Aldrich 사의 것을 준비하였다. 용매로 N,N-디메틸포름아미드(DMF,99.8%)는 Acros Organics 사의 것을 준비하고, 테트라히드로푸란(THF > 순도 99%)은 대정화학공업(주)의 것을 준비하였다. 폴리우레탄 1g 및 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드 0.01g을 DMF 및 THF가 4:6의 부피비로 혼합된 용매 9g에 넣고 60℃, 500rpm 조건으로 8시간 동안 교반하였다. 전기방사기를 이용하여 전압 10kV, 팁과 컬렉터 거리 12cm, 방출속도 1mL/h, 컬렉터 속도 100rpm, 온도 10 내지 12℃, 상대습도 40~50% 조건에서 상기 혼합물을 전기방사하여 시트 형상으로 제조하였다. 상기 전기방사 시트는 알루미늄 호일을 감싼 집전체(컬렉터) 상에서 제조하였다. 상기 시트 형상의 혼합물을 오븐에 넣고 80℃ 조건에서 10시간 동안 건조하였다. 이를 통해 폴리우레탄 100중량부에 대하여 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드가 1중량부인 마찰대전 양극층을 제조하였다. 이와 같이 제조된 마찰대전 양극층의 두께는 30-40±2㎛였다.

[0059] 양극실시예2(PUAFG02): 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드를 0.02g 첨가하여 폴리우레탄 100중량부에 대하여 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드가 2중량부인 마찰대전 양극층을 제조한 것을 제외하고는 양극실시예1과 동일하게 제조하였다.

[0060]

[0061] 양극실시예3(PUAFG05): 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드를 0.05g 첨가하여 폴리우레탄 100중량부에 대하여 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드가 5중량부인 마찰대전 양극층을 제조한 것을 제외하고는 양극실시예1과 동일하게 제조하였다.

[0063] 양극실시예4(PUAFG010): 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드를 0.10g 첨가하여 폴리우레탄 100중량부에 대하여 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드가 10중량부인 마찰대전 양극층을 제조한 것을 제외하고는 양극실시예1과 동일하게 제조하였다.

[0065] 양극비교예1(PU): 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드를 첨가하지 않은 것을 제외하고는 양극실시예1과 동일하게 제조하였다.

[0067] 실시예: 마찰대전 음극층의 제조

[0068] 음극실시예1(EC5FG): 플루오린 기능화된 그라파이트는 Sigma-Aldrich 사의 것을 준비하였고, 실리콘 고무는 Smooth-On 사의 Ecoflex™-00-30을 준비하였다. 마찰대전 음극층의 표면에 거칠기를 주기위해 P-60 규격의 사포를 준비하였다. A부재 및 B부재를 혼합한 실리콘 고무 10g에 플루오린 기능화된 그라파이트 0.5g을 혼합하여 충분히 교반하여 혼합물을 제조하였다. 다음으로, 상기 혼합물을 사포 상에 붓고 닥터 블레이드를 이용하여 두께가 235±5㎛가 되도록 한 후, 상온(20 내지 25℃)에서 24시간 동안 건조하였다. 이를 통해 실리콘 고무 100중량부에 대하여 플루오린 기능화된 그라파이트가 5중량부인 마찰대전 음극층을 제조하였다. 제조된 마찰대전 음극층의 두께는 235±5㎛였다.

[0071] 음극실시예2(EC10FG): 플루오린 기능화된 그라파이트를 1g 첨가하여 실리콘 고무 100중량부에 대하여 플루오린 기능화된 그라파이트가 10중량부인 마찰대전 음극층을 제조한 것을 제외하고는 음극실시예1과 동일하게 제조하였다.

[0073] 음극실시예3(EC15FG): 플루오린 기능화된 그라파이트를 1.5g 첨가하여 실리콘 고무 100중량부에 대하여 플루오린 기능화된 그라파이트가 15중량부인 마찰대전 음극층을 제조한 것을 제외하고는 음극실시예1과 동일하게 제조하였다.

[0075] 음극비교예1(EC): 플루오린 기능화된 그라파이트를 첨가하지 않은 것을 제외하고 음극실시예1과 동일하게 제조하였다.

[0077] 실시예: 마찰대전 나노발전기의 제조

[0078] 앞서 제조한 음극실시예3, 양극실시예 및 양극비교예를 조합하여 마찰대전 나노발전기를 제조하였다. 우선, 음극실시예3의 마찰대전 음극층을 가로 x 세로가 5 cm x 5 cm가 되도록 절단하고 일면을 같은 크기의 Al 전극의 일면에 접착하였다. 양극실시예 및 양극비교예의 마찰대전 양극층도 가로 x 세로가 5 cm x 5 cm가 되도록 절단하고 일면을 같은 크기의 Al 전극의 일면에 접착하였다. 상기 마찰대전 음극층의 타면 및 마찰대전 양극층의 타면 사이에 길이가 8 mm인 스페이서를 배치한 후, 각각의 타면이 상기 스페이서를 마주보도록 배치하고, 가로 x 세로가 5 cm x 5 cm의 아크릴 판 2개를 각각의 Al 전극의 타면에 부착하였다. 전체적인 형상은 도 2와 같다. 상기 아크릴 판에 압력을 가하면 상기 마찰대전 양극층 및 마찰대전 음극층이 서로 접촉하였다.

[0080] 실험예: SEM 분석

[0081] 본 분석은 주사전자현미경(SEM, JEOL Ltd. JSM-6510)을 이용하여 15kV 조건에서 수행하였다. 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드, 양극비교예1, 양극실시예1 내지 4의 표면을 SEM으로 촬영하여 각각 도 3(a) 내지 (f)에 나타내었다. 도 3을 참조하면, 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드의 함량이 5 중량부 이상인 양극실시예3(PUAFG05) 및 4(PUAFG010)에서 표면에 덩어리가 관찰된 것을 알 수 있다.

[0082]

[0083] 실험예: EDS 분석

[0084] EDS 장치를 이용하여 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드, 양극실시예 및 양극비교예의 표면 원소를 분석하였으며 표 1에 나타내었다. 표 1에 의하면 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드의 함량이 증가함에 따라 N 원소의 측정값이 증가함을 알 수 있다.

표 1

[0085]

구분	C (wt%)	N (wt%)	O (wt%)
rGO-TEPA 분말	73.6	12.4	14.0
양극실시예1	76.9	2.8	20.2
양극실시예2	76.2	3.2	20.4
양극실시예3	74.2	3.3	22.4
양극실시예4	75.2	3.3	24.4
양극비교예1	77.6	2.2	20.1

[0086] 실험예: XRD 분석

[0087] XRD 분석은 CuK α를 이용하여 40kV, 3mA 조건에서 수행하였다. 양극비교예1, 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드 및 양극실시예4의 XRD 분석 결과를 각각 도 4(a), (b), (c)로 도시하였고, 도 4(c)는 Origin 소프트웨어의 Gaussian 다중 피크 피팅을 이용하여 표현하였다. 도 4를 참조하면, 양극실시예4에서 폴리우레탄 및 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드의 피크가 모두 관찰됨을 알 수 있다.

[0090] 실험예: 마찰전기 나노발전기의 전기 특성 측정

[0091] 앞서 제조한 마찰대전 음극층과 마찰대전 양극층을 조합하여 제조한 마찰전기 나노발전기를 이용하여 V_{OC}, I_{SC}를 측정하였다. 이를 위해 오실로스코프(TBS2204B, Tektronix), 저잡음 전류증폭기(DLPCA-200, Femto) 및 전위계(6514, Keithley)를 사용하였다. 도 5(a)는 음극비교예1과 양극실시예1 내지 4 및 양극비교예1, 도 5(b)는 음극실시예1과 양극실시예1 내지 4 및 양극비교예1, 도 5(c)는 음극실시예2와 양극실시예1 내지 4 및 양극비교예1, 도 5(d)는 음극실시예3과 양극실시예1 내지 4 및 양극비교예1로 조합된 마찰전기 나노발전기의 측정값을 도시한 것이다. 도 5를 참조하면, 테트라에틸렌펜타민으로 기능화된 환원 그래핀 옥사이드의 함량이 2중량부인 양극실시예2에서 가장 우수한 전기적 특성을 보이며, 이를 벗어난 경우에는 전기적 특성이 감소함을 알 수 있다.

[0093] 실험예: 마찰전기 나노발전기의 하중 압력에 따른 전기 특성 측정

[0094] 음극실시예3 및 양극실시예2로 조합된 마찰전기 나노발전기에 0.3 내지 10N의 하중을 가하는 경우 V_{OC}, I_{SC}의 변화를 측정하였고, 결과값을 도 6에 도시하였다. 도 6를 참조하면, 하중에 따라 출력이 향상되고, 특히 6N 이상의 압력에서 높은 출력을 보임을 알 수 있다.

[0096] 본 발명은 상술한 실시 형태 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니며 첨부된 청구범위에 의해 한정하고자 한다. 따라서, 청구범위에 기재된 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 해당 기술분야의 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양한 형태의 치환, 변형 및 변경이 가능할 것이며, 이 또한 본 발명의 범위에 속한다

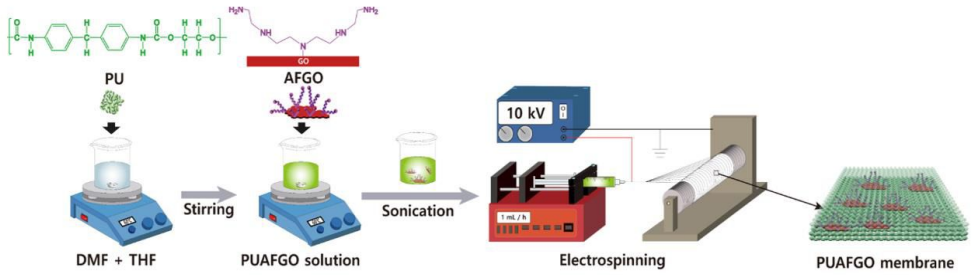
고 할 것이다.

부호의 설명

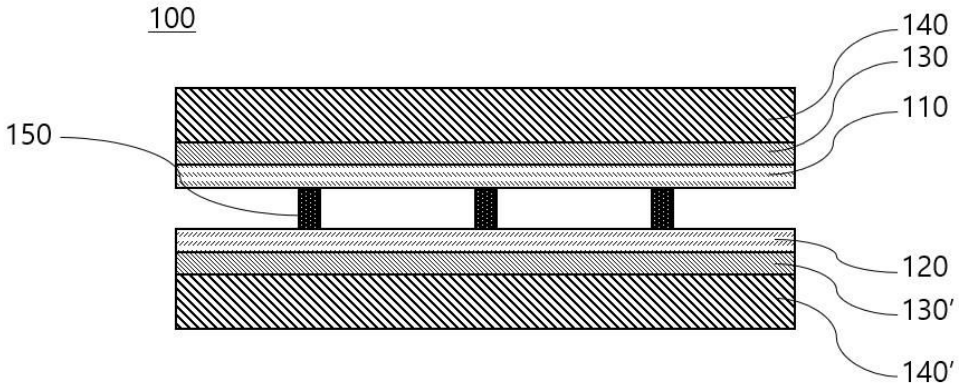
[0097] 100 : 마찰전기 나노발전기, 110 : 마찰대전 음극층, 120 : 마찰대전 양극층, 130, 130’ : 전극, 140, 140’ : 지지판, 150 : 스페이서

도면

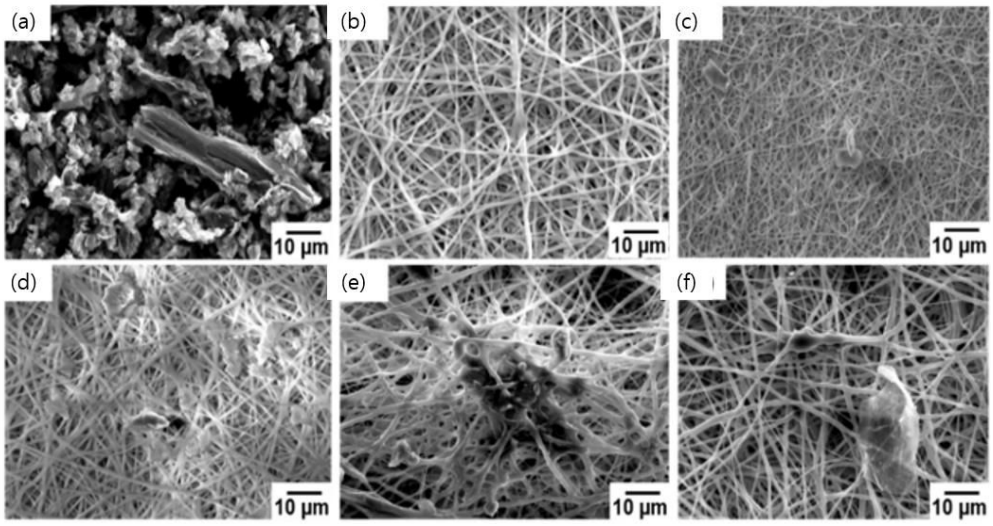
도면1



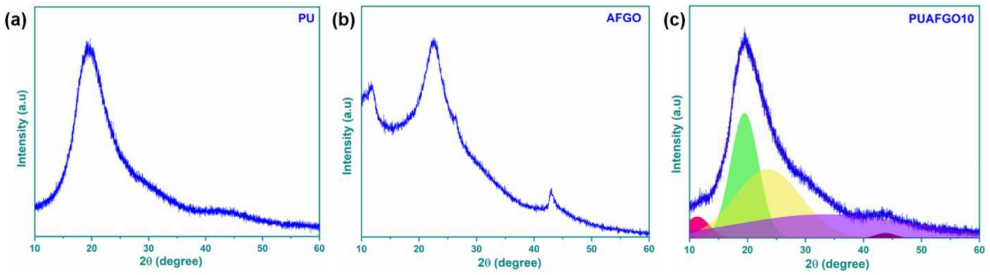
도면2



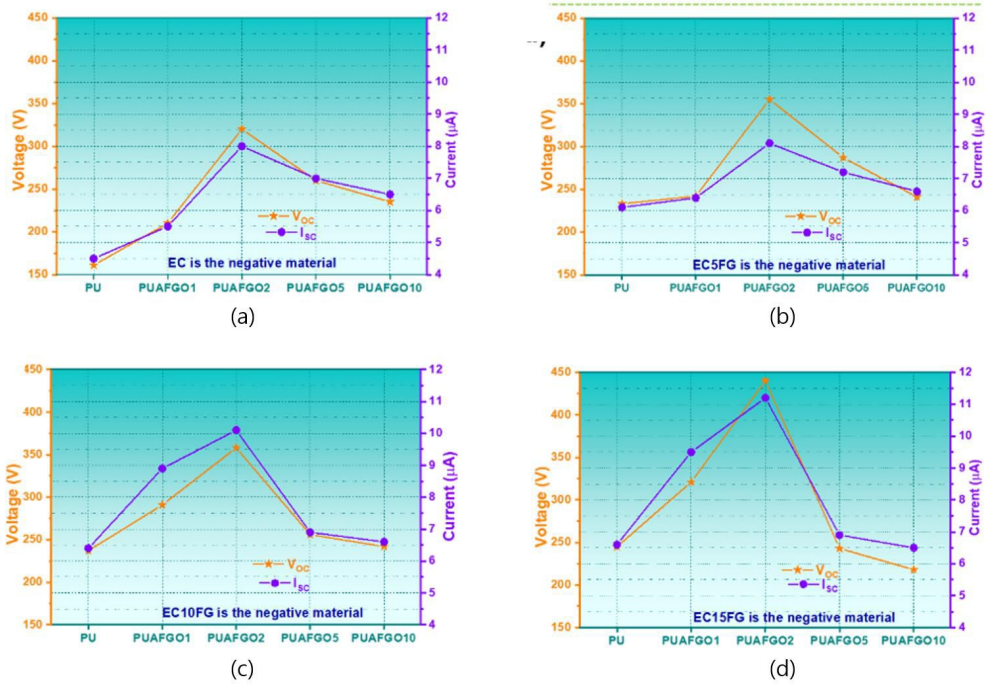
도면3


(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
(f)
10 μm

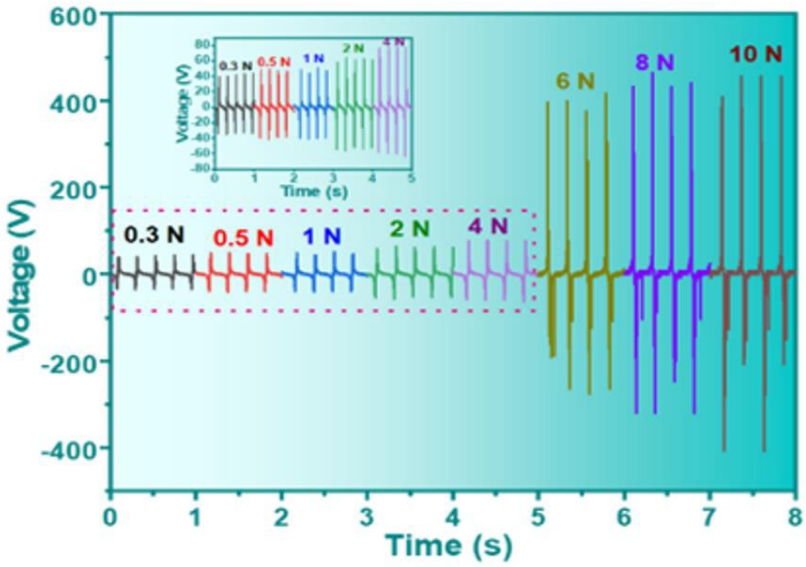
도면4


(a)
PU
(b)
AFGO
(c)
PUAFGO10
Intensity (a.u)
2θ (degree)

도면5


Voltage (V)
Current (μA)
EC is the negative material
EC5FG is the negative material
EC10FG is the negative material
EC15FG is the negative material
PU
PUAFGO1
PUAFGO2
PUAFGO5
PUAFGO10
(a)
(b)
(c)
(d)

도면6


600
400
200
0
-200
-400
Voltage (V)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
Time (s)
0.3 N
0.5 N
1 N
2 N
4 N
6 N
8 N
10 N