



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0091555  
(43) 공개일자 2021년07월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01B 13/00 (2006.01) H01B 5/14 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
H01B 13/0026 (2013.01)  
H01B 5/14 (2020.05)  
(21) 출원번호 10-2020-0004871  
(22) 출원일자 2020년01월14일  
심사청구일자 없음

(71) 출원인  
에스케이이노베이션 주식회사  
서울특별시 종로구 종로 26 (서린동)  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
김준형  
대전광역시 유성구 엑스포로 325 SK이노베이션  
지상윤  
대전광역시 유성구 엑스포로 325 SK이노베이션  
박장웅  
서울특별시 양천구 목동서로 155, 108-701호(목동)  
(74) 대리인  
특허법인 플러스

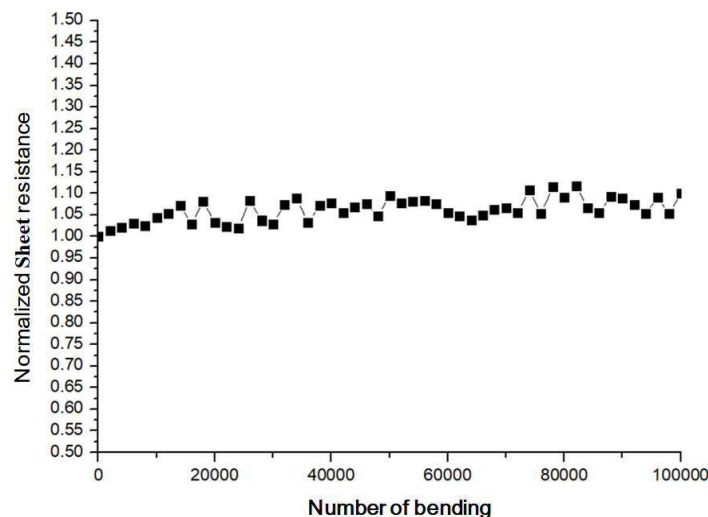
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 패턴화된 유연 전극의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 패턴화된 유연 전극의 제조방법에 관한 것으로, 상세하게, 본 발명에 따른 제조방법은 권취상태에서 풀어지는 제1시트에 금속 나노와이어를 함유하는 제1분산액을 도포하여 나노와이어 네트워크를 형성하는 나노와이어 형성 단계; 상기 나노와이어 네트워크에 금속 나노입자를 함유하는 제2분산액을 전기 방사하여 금속 나노입자들이 묻쳐진 금속성 파이버(fiber)가 나노와이어 네트워크에 혼입된 파이버-나노와이어 네트워크를 형성하는 파이버 형성 단계; 및 상기 파이버-나노와이어 네트워크를 광 소결하여 전도성 네트워크를 형성하는 소결 단계를 포함하며, 상기 소결 단계 전 파이버-나노와이어 네트워크를 패터닝하거나, 상기 소결 단계 후 전도성 네트워크를 패터닝하는 패터닝 단계;가 수행된다.

대표도 - 도6



## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

권취상태에서 풀어지는 제1시트에 금속 나노와이어를 함유하는 제1분산액을 도포하여 나노와이어 네트워크를 형성하는 나노와이어 형성 단계;

상기 나노와이어 네트워크에 금속 나노입자를 함유하는 제2분산액을 전기 방사하여 금속 나노입자들이 뭉쳐진 금속성 파이버(fiber)가 나노와이어 네트워크에 혼입된 파이버-나노와이어 네트워크를 형성하는 파이버 형성 단계; 및

상기 파이버-나노와이어 네트워크를 광 소결하여 전도성 네트워크를 형성하는 소결 단계;를 포함하며,

패터닝 롤을 이용하여, 상기 소결 단계 전 파이버-나노와이어 네트워크를 패터닝하거나, 상기 소결 단계 후 전도성 네트워크를 패터닝하는 패터닝 단계;가 수행되는 패턴화된 유연 전극의 제조방법.

#### 청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 패터닝 단계는 돌출부가 형성된 패터닝 롤이 회전하며 상기 제1시트 및 권취상태에서 풀어지는 투명 시트인 제2시트와 각각 접촉하며, 상기 제1시트와 패터닝 롤의 접촉에 의해, 상기 돌출부 형상으로 상기 파이버-나노와이어 네트워크 또는 전도성 네트워크가 패턴화되어 패터닝 롤로 전사되고, 상기 패터닝 롤과 상기 제2시트의 접촉에 의해, 패터닝 롤 상 위치하는 패턴화된 네트워크가 제2시트에 전사되는 패턴화된 유연 전극의 제조방법.

#### 청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 패터닝 롤의 돌출부는 실록산계 탄성 중합체인 패턴화된 유연 전극의 제조방법.

#### 청구항 4

제 2항에 있어서,

상기 제1시트를 사이에 두고 상기 패터닝 롤과 대향하도록 구비된 제1가압 롤 및 상기 제2시트를 사이에 두고 상기 패터닝 롤과 대향하도록 구비된 제2가압 롤에 의해 상기 제1시트와 상기 패터닝 롤의 접촉시 및 상기 제2시트와 상기 패터닝 롤의 접촉시 각각 압력이 인가되는 패턴화된 유연 전극의 제조방법.

#### 청구항 5

제 2항에 있어서,

상기 제2시트의 적어도 상기 패터닝 롤과의 접촉하는 면은 코로나 처리, 플라즈마 처리, 또는 오존 처리된 패턴화된 유연 전극의 제조방법.

#### 청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 나노와이어 형성 단계 직후 또는 상기 파이버 형성 단계 직후 적외선을 포함하는 광 조사, 열풍이나 건조 공기의 인가 또는 가열에 의한 건조가 더 수행되는 패턴화된 유연 전극의 제조방법.

#### 청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 파이버 형성 단계에서, 전기 방사시 내부 노즐과 상기 내부 노즐을 둘러싼 외부 노즐을 포함하는 동축 이중 노즐을 이용하여, 상기 내부 노즐을 통해 상기 제2분산액이 방사되고, 상기 외부 노즐을 통해 고분자 용액이 방사되어, 상기 금속성 파이버가 고분자 껍질에 감싸인 복합파이버가 형성되는 패턴화된 유연 전극의 제조방법.

#### 청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 전기 방사 후, 상기 복합파이버에서 고분자 껍질을 제거하는 단계를 더 포함하는 패턴화된 유연 전극의 제조방법.

#### 청구항 9

제 1항에 있어서,

상기 소결 단계의 소결에 의해 상기 금속성 파이버가 전도성 파이버로 전환되며 상기 파이버-나노와이어 네트워크의 파이버와 나노와이어간 및 나노와이어와 나노와이어간 용착이 이루어지는 패턴화된 유연 전극의 제조방법.

#### 청구항 10

제 1항에 있어서,

상기 나노와이어 형성 단계에서 상기 제1시트의 면적 중 상기 금속 나노와이어에 의해 덮인 면적의 비율인 나노와이어 필 팩터(fill factor)는 3 내지 11%이며, 상기 금속성 파이버(fiber)에 의해 덮인 면적의 비율인 파이버 필 팩터는 3 내지 10%이고, 상기 파이버-나노와이어 네트워크에 의해 덮인 면적을 합한 면적의 비율인 네트워크 필 팩터는 9 내지 13%인 패턴화된 유연 전극의 제조방법.

#### 청구항 11

제 1항에 있어서,

상기 광소결은 800 내지 1600 J/cm<sup>2</sup>강도의 펄스형 백색광 조사에 의해 수행되는 패턴화된 유연 전극의 제조방법.

#### 청구항 12

제 1항에 있어서,

상기 금속성 파이버의 직경을 상기 금속 나노와이어의 직경으로 나눈 비는 10 내지 1000인 패턴화된 유연 전극의 제조방법.

#### 청구항 13

제 1항에 있어서,

상기 금속성 파이버의 금속 나노입자와 상기 금속 나노와이어는 각각 은(Ag), 금(Au), 알루미늄(Al), 구리(Cu), 크롬(Cr), 니켈(Ni), 철(Fe), 또는 이들의 알로이를 포함하는 패턴화된 유연 전극의 제조방법.

#### 청구항 14

투명 시트; 상기 투명 시트 상 위치하고 금속 나노와이어 및 금속성의 전도성 파이버가 혼재하는 전도성 네트워크를 포함하는 패턴화된 전극;을 포함하며,

상기 투명 시트에서 상기 패턴화된 전극이 위치하는 전극 영역을 기준으로, 상기 전극 영역에서 상기 금속 나노와이어에 의해 덮인 면적의 비율인 나노와이어 필 팩터(fill factor)는 3 내지 11%이며, 상기 전도성 파이버에 의해 덮인 면적의 비율인 파이버 필 팩터는 3 내지 10%이고, 상기 전도성 네트워크에 의해 덮인 면적의 비율인 전도성 네트워크 필 팩터는 9 내지 13%인 패턴화된 유연 전극.

#### 청구항 15

제 14항에 있어서,

상기 패터화된 유연 전극은 전극 영역 기준 광투과율이 90% 이상이며, 1mm 선폭의 선형 패턴 기준 면 저항이 80  $\Omega/\text{sq}$ . 이하인 패터화된 유연 전극.

## 청구항 16

제 14항에 있어서,

상기 패터화된 유연 전극은 1mm 선폭의 선형 패턴 기준, 3mm 벤딩 반경으로 100,000회의 벤딩 테스트시, 면 저항 증가율이 8% 이하인 패터화된 유연 전극.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 패터화된 유연 전극의 제조방법에 관한 것으로, 상세하게, 미세 전극 폭에서도 우수한 전기적, 광학적 특성을 갖는 패터화된 유연 전극의 제조방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] ITO등과 같이 전통적인 투명 전도성 산화물에 기반한 투명 전극은 대면적화가 어렵고 진공 증착등 고가의 까다로운 공정을 거쳐야 하며, 미세화시 전기적 특성이 크게 감소할 뿐만 아니라 유연성이 없어 유연성 미세 소자에 활용하기 어려운 문제점이 있다.

[0003] 이러한 종래 투명 전극의 문제점을 개선하고자, 탄소나노튜브, 그래핀, 금속 나노와이어등과 같은 나노소재를 이용하여 유연성 투명전극을 개발하는 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.

[0004] 그러나, 나노소재를 이용하는 경우에도 전극의 선폭이 미세화될수록 나노소재간의 접촉 저항에 의해 전극의 저항이 증가되는 문제점이 있으며 또한 다량의 전류가 흐를 때 전기전진(electromigration)등에 의해 나노소재가 손상되는 문제점이 있다.

[0005] 이러한 나노소재가 갖는 문제점을 해결하고자 제1 직경을 가지는 제1 나노 구조체와 상기 제1 직경에 비하여 작은 제2 직경을 가지는 제2 나노 구조체가 서로 결합하여 형성한 하이브리드 구조체 기술(대한민국 등록특허 제 1863818호)이 제안된 바 있다. 제안된 복합 전극 기술은 전극이 미세 선폭을 가질 때에도 상당히 우수한 전기적 특성을 나타내나, 전기적 특성이 향상되는 경우 투명도가 떨어지는 문제점이 있으며, 반복적인 휘어짐에 의해 전기적 특성이 급격히 열화되어 실제 플렉서블이나 롤러블 소자에 활용하기 어려운 문제점이 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제1863818호

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 상업화 가능한 간단하고 신속한 연속 공정에 의해 우수한 전기적, 광학적 및 기계적 특성을 갖는 패터화된 유연 투명 전극 및 이의 제조방법을 제공하는 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0008] 패터화된 유연 전극의 제조방법은 권취상태에서 풀어지는 제1시트에 금속 나노와이어를 함유하는 제1분산액을 도포하여 나노와이어 네트워크를 형성하는 나노와이어 형성 단계; 상기 나노와이어 네트워크에 금속 나노입자를 함유하는 제2분산액을 전기 방사하여 금속 나노입자들이 묻혀진 금속성 파이버(fiber)가 나노와이어 네트워크에 혼입된 파이버-나노와이어 네트워크를 형성하는 파이버 형성 단계; 및 상기 파이버-나노와이어 네트워크를 광 소결하여 전도성 네트워크를 형성하는 소결 단계;를 포함하며, 패터닝 물을 이용하여, 상기 소결 단계 전 파이버-나노와이어 네트워크를 패터닝하거나, 상기 소결 단계 후 전도성 네트워크를 패터닝하는 패터닝 단계;가 수

행된다.

- [0009] 본 발명의 일 실시예에 따른 제조방법에 있어, 상기 패터닝 단계는 돌출부가 형성된 패터닝 롤이 회전하며 상기 제1시트 및 권취상태에서 풀어지는 투명 시트인 제2시트와 각각 접촉하며, 상기 제1시트와 패터닝 롤의 접촉에 의해, 상기 돌출부 형상으로 상기 파이버-나노와이어 네트워크 또는 전도성 네트워크가 패터닝되어 패터닝 롤로 전사되고, 상기 패터닝 롤과 상기 제2시트의 접촉에 의해, 패터닝 롤 상 위치하는 패터닝된 네트워크가 제2시트에 전사될 수 있다.
- [0010] 본 발명의 일 실시예에 따른 제조방법에 있어, 상기 패터닝 롤의 돌출부는 실록산계 탄성 중합체일 수 있다.
- [0011] 본 발명의 일 실시예에 따른 제조방법에 있어, 상기 제1시트를 사이에 두고 상기 패터닝 롤과 대향하도록 구비된 제1가압 롤 및 상기 제2시트를 사이에 두고 상기 패터닝 롤과 대향하도록 구비된 제2가압 롤에 의해 상기 제1시트와 상기 패터닝 롤의 접촉시 및 상기 제2시트와 상기 패터닝 롤의 접촉시 각각 압력이 인가될 수 있다.
- [0012] 본 발명의 일 실시예에 따른 제조방법에 있어, 상기 제2시트의 적어도 상기 패터닝 롤과의 접촉하는 면은 코로나 처리, 플라즈마 처리, 또는 오존 처리된 표면일 수 있다.
- [0013] 본 발명의 일 실시예에 따른 제조방법에 있어, 상기 나노와이어 형성 단계 직후 또는 상기 파이버 형성 단계 직후 적외선을 포함하는 광 조사, 열풍이나 건조 공기의 인가 또는 가열에 의한 건조가 더 수행될 수 있다.
- [0014] 본 발명의 일 실시예에 따른 제조방법에 있어, 상기 파이버 형성 단계에서, 전기 방사시 내부 노즐과 상기 내부 노즐을 둘러싼 외부 노즐을 포함하는 동축 이중 노즐을 이용하여, 상기 내부 노즐을 통해 상기 제2분산액이 방사되고, 상기 외부 노즐을 통해 고분자 용액이 방사되어, 상기 금속성 파이버가 고분자 겹질에 감싸인 복합파이버가 형성될 수 있다.
- [0015] 본 발명의 일 실시예에 따른 제조방법에 있어, 상기 전기 방사 후, 상기 복합파이버에서 고분자 겹질을 제거하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0016] 본 발명의 일 실시예에 따른 제조방법에 있어, 상기 소결 단계의 소결에 의해 상기 금속성 파이버가 전도성 파이버로 전환되며 상기 파이버-나노와이어 네트워크의 파이버와 나노와이어간 및 나노와이어와 나노와이어간 용착이 이루어질 수 있다.
- [0017] 본 발명의 일 실시예에 따른 제조방법에 있어, 상기 나노와이어 형성 단계에서 상기 제1시트의 면적 중 상기 금속 나노와이어에 의해 덮인 면적의 비율인 나노와이어 필 팩터(fill factor)는 3 내지 11%이며, 상기 금속성 파이버(fiber)에 의해 덮인 면적의 비율인 파이버 필 팩터는 3 내지 10%이고, 상기 파이버-나노와이어 네트워크에 의해 덮인 면적을 합한 면적의 비율인 네트워크 필 팩터는 9 내지 13%일 수 있다.
- [0018] 본 발명의 일 실시예에 따른 제조방법에 있어, 상기 광소결은  $800$  내지  $1600 \text{ J/cm}^2$  강도의 펄스형 백색광 조사에 의해 수행될 수 있다.
- [0019] 본 발명의 일 실시예에 따른 제조방법에 있어, 상기 금속성 파이버의 직경을 상기 금속 나노와이어의 직경으로 나눈 비는 10 내지 1000일 수 있다.
- [0020] 본 발명의 일 실시예에 따른 제조방법에 있어, 상기 금속성 파이버의 금속 나노입자와 상기 금속 나노와이어는 각각 은(Ag), 금(Au), 알루미늄(Al), 구리(Cu), 크롬(Cr), 니켈(Ni), 철(Fe), 또는 이들의 알로이를 포함할 수 있다.
- [0021] 본 발명은 상술한 제조방법으로 제조된 패터닝된 유연 전극을 포함한다.
- [0022] 본 발명에 따른 패터닝된 유연 전극은 투명 시트; 상기 투명 시트 상 위치하고 금속 나노와이어 및 금속성의 전도성 파이버가 혼재하는 전도성 네트워크를 포함하는 패터닝된 전극;을 포함하며, 상기 투명 시트에서 상기 패터닝된 전극이 위치하는 전극 영역을 기준으로, 상기 전극 영역에서 상기 금속 나노와이어에 의해 덮인 면적의 비율인 나노와이어 필 팩터(fill factor)는 3 내지 11%이며, 상기 전도성 파이버에 의해 덮인 면적의 비율인 파이버 필 팩터는 3 내지 10%이고, 상기 전도성 네트워크에 의해 덮인 면적의 비율인 전도성 네트워크 필 팩터는 9 내지 13%이다.
- [0023] 본 발명의 일 실시예에 따른 패터닝된 유연 전극은 전극 영역 기준 광투과율이 90% 이상이며, 1mm 선폭의 선형 패터닝 기준 면 저항이  $80 \text{ } \Omega/\text{sq.}$  이하일 수 있다.
- [0024] 본 발명의 일 실시예에 따른 패터닝된 유연 전극은 1mm 선폭의 선형 패터닝 기준 3mm 벤딩 반경으로 100,000회의

벤딩 테스트시, 면 저항 증가율이 8% 이하일 수 있다.

### 발명의 효과

[0025] 본 발명에 따른 제조방법은, 리소그래피 공정이나 에칭 공정을 이용하지 않고, 간단하고 신속한 스테이지에 기반한 인 라인 연속 공정으로 우수한 광학적, 기계적, 전기적 특성을 갖는 패턴화된 유연 전극을 대량 생산할 수 있는 장점이 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따라, 소결 단계 후 패터닝 롤을 이용한 패터닝 단계가 수행되는 공정도를 도시한 예이며,

도 2는 본 발명의 다른 일 실시예에 따라, 소결 단계 전 패터닝 롤을 이용한 패터닝 단계가 수행되는 공정도를 도시한 예이며,

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 전도성 네트워크를 관찰한 주사전자 현미경 이미지이며,

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 전도성 네트워크에서 나노와이어간의 네트워크 부분을 관찰한 주사전자 현미경 이미지이며,

도 5는 패턴화되지 않은 네트워크 층을 광소결하여 제조된 투명 전극을 3mm의 곡률 반경으로 100,000회 굽힘 테스트를 수행하며 굽힘 횟수에 따른 면저항을 측정 도시한 도면이며,

도 6은 1mm 폭의 선형 전극으로 패턴화된 네트워크를 광소결하여 제조된 투명 전극을 3mm의 곡률 반경으로 100,000회 굽힘 테스트를 수행하며 굽힘 횟수에 따른 면저항을 측정 도시한 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 이하 첨부한 도면들을 참조하여 본 발명의 패턴화된 유연 전극 및 이의 제조방법을 상세히 설명한다. 다음에 소개되는 도면들은 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 예로서 제공되는 것이다. 따라서, 본 발명은 이하 제시되는 도면들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있으며, 이하 제시되는 도면들은 본 발명의 사상을 명확히 하기 위해 과장되어 도시될 수 있다. 이때, 사용되는 기술 용어 및 과학 용어에 있어서 다른 정의가 없다면, 이 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 통상적으로 이해하고 있는 의미를 가지며, 하기의 설명 및 첨부 도면에서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 공지 기능 및 구성에 대한 설명은 생략한다.

[0028] 또한 명세서 및 첨부된 특허청구범위에서 사용되는 단수 형태는 문맥에서 특별한 지시가 없는 한 복수 형태도 포함하는 것으로 의도할 수 있다.

[0029] 본 명세서 및 첨부된 특허청구범위에서 제1, 제2 등의 용어는 한정적인 의미가 아니라 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소와 구별하는 목적으로 사용된다.

[0030] 본 명세서 및 첨부된 특허청구범위에서 포함하다 또는 가지다 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 또는 구성 요소가 존재함을 의미하는 것이고, 특별히 한정하지 않는 한, 하나 이상의 다른 특징들 또는 구성요소가 부가될 가능성을 미리 배제하는 것은 아니다.

[0031] 본 명세서 및 첨부된 특허청구범위에서, 막(층), 영역, 구성 요소 등의 부분이 다른 부분 위에 또는 상에 있다고 할 때, 다른 부분과 접하여 바로 위에 있는 경우뿐만 아니라, 그 중간에 다른 막(층), 다른 영역, 다른 구성 요소 등이 개재되어 있는 경우도 포함한다.

[0032] 본 발명에 따른 패턴화된 유연 전극의 제조방법은 권취상태에서 풀어지는 제1시트에 금속 나노와이어를 함유하는 제1분산액을 도포하여 나노와이어 네트워크를 형성하는 나노와이어 형성 단계; 상기 나노와이어 네트워크에 금속 나노입자를 함유하는 제2분산액을 전기 방사하여 금속 나노입자들이 묻쳐진 금속성 파이버(fiber)가 나노와이어 네트워크에 혼입된 파이버-나노와이어 네트워크를 형성하는 파이버 형성 단계; 및 상기 파이버-나노와이어 네트워크를 광 소결하여 전도성 네트워크를 형성하는 소결 단계;를 포함하며, 패터닝 롤을 이용하여, 상기 소결 단계 전 파이버-나노와이어 네트워크를 패터닝하거나, 상기 소결 단계 후 전도성 네트워크를 패터닝하는 패터닝 단계;가 수행된다.

[0033] 상술한 바와 같이, 본 발명에 따른 패턴화된 유연 전극의 제조방법은 제1시트 상 금속 나노와이어 네트워크를



먼저 형성한 후, 금속 나노와이어 네트워크에 제2분산액을 전기 방사하여, 금속 나노와이어 네트워크에 금속성 파이버의 네트워크를 혼입시켜 파이버-나노와이어 네트워크를 형성하고, 제조된 파이버-나노와이어 네트워크를 광 소결하여 파이버-나노와이어 네트워크를 전도성 네트워크로 전환시킨다. 이러한 방법에 의해, 매우 높은 투명도를 가짐과 동시에 현저하게 우수한 전기적 특성을 갖는 유연 전극이 제조될 수 있으며, 또한, 우수한 유연성을 가지면서도 미세 전극 피치에서도 반복적인 변형에도 전기적 특성의 열화가 거의 발생하지 않는 유연 전극이 제조될 수 있다. 이때, 네트워크는 나노와이어나 파이버등이 서로 랜덤하게 접촉하며 임의의 두 지점간에 연속적인 경로가 제공되는 구조를 의미할 수 있다.

[0034] 또한, 상술한 바와 같이, 본 발명에 따른 패턴화된 유연 전극의 제조방법은 광소결 전 또는 광소결 후, 패터닝 롤을 이용하여 제1시트에 형성된 네트워크 층(파이버-나노와이어 네트워크 층 또는 전도성 네트워크 층)을 설계된 패턴으로 패턴화함에 따라, 정밀한 다단계 공정인 리소그래피나 유독한 폐기물이 발생하는 에칭 공정 없이, 패터닝 롤에 의한 물리적 방법으로 파이버-나노와이어 네트워크 층 또는 전도성 네트워크 층을 패턴화할 수 있다.

[0035] 패터닝 롤을 이용한 물리적 패터닝 및 광에 의한 소결(광 소결)에 의해, 나노와이어 형성 공정, 파이버 형성 공정, 전극 패터닝 공정 및 소결 공정을 포함하는 패턴화된 유연 전극의 제조 공정이 연속적인 인-라인 공정으로 구현될 수 있다. 이하, 제1시트 상 위치하는 층 형태의 파이버-나노와이어 네트워크나 전도성 네트워크는 '네트워크 층'이나 '네트워크'로, 패터닝 롤에 의해 패턴화된 파이버-나노와이어 네트워크나 전도성 네트워크는 '패턴화된 네트워크'로 지칭한다.

[0036] 일 구체예에서, 제1분산액은 금속 나노와이어 및 제1분산매를 함유할 수 있다. 금속 나노와이어는 은(Ag), 금(Au), 알루미늄(Al), 구리(Cu), 크롬(Cr), 니켈(Ni), 철(Fe), 또는 이들의 알로이일 수 있으나, 이에 한정되지 않는다. 수십 마이크로미터 오더의 미세 피치(폭)를 갖는 미세 패턴화가 수행되는 경우에도, 나노와이어에 의해 안정적인 네트워크가 형성될 수 있도록, 금속 나노와이어의 평균 직경은 5 내지 100nm 수준일 수 있으며, 종횡비는 100 내지 10000일 수 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.

[0037] 제1분산매는 금속 나노와이어가 용이하게 분산되며 저온에서 휘발 제거될 수 있는 용매이면 사용 가능하다. 구체적인 일 예로, 제1분산매는 2-부톡시에틸 아세테이트, 프로필렌 글리콜 모노메틸 에테르 아세테이트, 디에틸렌 글리콜 모노에틸 에테르 아세테이트, 에틸렌 글리콜 부틸에테르, 시클로헥사논, 시클로헥사놀, 2-에톡시에틸 아세테이트, 에틸렌 글리콜 디아세테이트, 테르피네올(terpineol), 이소부틸 알코올, 물 또는 이들의 혼합용액을 들 수 있으나, 본 발명이 제1분산매의 종류에 의해 한정될 수 없음은 물론이다.

[0038] 제1분산액은 제1분산매 100 중량부를 기준으로 0.01 내지 70 중량부의 금속 나노와이어를 함유할 수 있으나, 본 발명이 제1분산액 내 금속 나노와이어의 함량에 의해 한정될 수 없음은 물론이다.

[0039] 필요시, 제1분산액은 금속 나노와이어 및 제1분산매와 함께, 나노와이어의 분산성을 향상시키는 분산제, 부식 방지제, 바인더등과 같이 나노와이어 기반 투명 전극 분야에서 나노와이어 분산액에 통상적으로 사용되는 첨가제들을 더 포함할 수 있음은 물론이다.

[0040] 제1분산액의 도포는, 반도체나 디스플레이 제조 분야에서, 액상이나 분산상을 도포 및 건조하여 막이나 패턴을 제조하는데 기 사용되는 어떠한 방법을 사용하여도 무방하다. 일 예로, 제1분산액의 도포는 코팅, 코팅, 스프레이(분사), 인쇄등 다양한 방법을 들 수 있는데, 구체적인 일 예로, 스핀코팅; 스크린 프린팅; 잉크젯 프린팅; 바-코팅; 그라비아-코팅; 블레이드 코팅; 롤-코팅; 슬롯 다이; 전기 방사; 스프레이 방사;등을 들 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0041] 나노와이어 형성 단계에서, 제1분산액의 도포가 수행된 후, 필요시, 건조가 더 수행될 수 있다. 자연 건조, 적외선을 포함한 광의 조사, 열풍 건조, 건조된 공기의 흐름을 이용하는 방법, 열원을 이용한 가열등을 통해 수행될 수 있다. 그러나, 별도의 건조단계 없이 파이버 형성 단계의 전기 방사가 수행되어도 무방하다.

[0042] 파이버 형성 단계는 전기방사를 이용하여 나노와이어 네트워크에 금속성 파이버를 혼입시켜 파이버-나노와이어 네트워크를 형성하는 단계이다. 이때, 별도의 한정이 없는 한, 금속성 파이버는 금속 나노입자들이 파이버 형태로 뭉쳐진 것을 의미하며, 금속성 파이버는 실질적으로 전극으로 활용할 수 없을 정도로 높은 저항을 갖는다. 후술하는 바와 같이, 금속성 파이버는 소결 단계의 광 소결에 의해 뭉쳐진 금속 나노입자들이 서로 융착됨으로써, 전도성을 갖는 전도성 파이버로 전환될 수 있다. 이에, 금속성 파이버와 전도성 파이버는 명확히 구별되어야 한다.

[0043] 파이버 형성 단계는, 내부 노즐과 내부 노즐을 둘러싼 외부 노즐을 포함하는 동축 이중 노즐을 이용하되, 내부

노즐을 통해 금속 나노입자를 함유하는 제2분산액이 방사되고, 외부 노즐을 통해 고분자 용액이 방사되어, 금속성 파이버가 고분자 껍질에 감싸인 복합파이버가 형성되는 단계를 포함할 수 있다.

- [0044] 외부 노즐에서 고분자가 방사되며 내부 노즐을 통해 방사되는 금속 나노입자들을 감싸게 되며, 금속 나노입자가 넓게 분사되지 않고 파이버 형상을 형성 및 유지할 수 있다.
- [0045] 제2분산액의 금속 나노입자는 금속 나노와이어와 독립적으로, 은(Ag), 금(Au), 알루미늄(Al), 구리(Cu), 크롬(Cr), 니켈(Ni), 철(Fe), 또는 이들의 알로이일 수 있으나, 이에 한정되지 않는다. 다만, 소결 단계의 광 소결 시 금속 나노입자가 서로 융착되며 금속성 파이버가 전도성 파이버로 전환됨과 동시에, 균일하고 안정적으로, 전도성 파이버(또는 전도성 파이버로 전환 중인 금속성 파이버)와 금속 나노와이어간, 및 금속 나노와이어와 금속 나노와이어간의 접촉 부위가 서로 용이하게 융착될 수 있도록 금속 나노입자는 금속 나노와이어의 금속과 동일한 금속인 것이 좋다.
- [0046] 금속 나노입자는 내부 노즐을 통해 용이하게 방사될 수 있는 정도의 크기면 족하다. 일 예로, 금속 나노입자의 직경은 5nm 내지 200nm 수준일 수 있다. 다만, 소결 단계의 광 소결 시 금속 나노입자에 의해 높은 소결 구동력이 제공될 수 있도록, 금속 나노입자의 직경은 5 내지 100nm, 구체적으로 5 내지 60nm, 보다 구체적으로 20 내지 60nm 수준인 것이 좋다.
- [0047] 제2분산액 내 금속 나노입자의 함량은 60 내지 85 중량%일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 제2분산액의 분산매는 알칸계, 방향족, 에테르계(Ethers), 알킬 할라이드, 에스테르계, 알데히드계, 케톤계, 아민계, 알코올계, 아미드계, 물 또는 이들의 혼합 용매등일 수 있다. 실질적인 일 예로, 제2분산액의 분산매는 메탄올, 아세톤, 데트라하이드로퓨란, 톨루엔, 디에틸 에테르, 디메틸포름아미드, 클로로포름, α-터르피넨올등일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0048] 고분자 용액의 고분자는 폴리비닐피롤리돈, 폴리비닐알콜, 폴리메틸메타크릴레이트, 폴리디메틸실록산, 폴리우레탄, 폴리에테르우레탄, 셀룰로오스 아세테이트, 셀룰로오스 아세테이트 부틸레이트, 셀룰로오스 아세테이트 프로피오네이트, 폴리메틸아크릴레이트, 폴리비닐아세테이트, 폴리아크릴로니트릴, 폴리피롤릴알콜, 폴리스티렌, 폴리에틸렌 옥사이드, 폴리프로필렌옥사이드, 폴리카보네이트, 폴리비닐클로라이드, 폴리카프로락톤, 폴리비닐플루오라이드, 폴리아마이드, 또는 이들의 공중합체등일 수 있으나, 용이하게 전기 방사 가능한 물질이면 어떠한 고분자이든 무방하다. 고분자 용액의 용매는 알칸계, 방향족, 에테르계 알킬 할라이드, 에스테르계, 알데히드계, 케톤계, 아민계, 알코올계, 아미드계, 물 또는 이들의 혼합 용매등, 고분자가 용해되며 용이 휘발 제거 가능한 액상 물질이면 무방하다. 고분자 용액 내 고분자의 농도는 20 내지 80 중량% 수준이면 족하다.
- [0049] 금속성 파이버의 직경은 동축 이중 노즐의 내부 노즐 직경에 의해 제어될 수 있으며, 고분자 껍질의 두께는 내부 노즐과 외부 노즐 사이의 간격에 의해 제어될 수 있다.
- [0050] 소결 단계에 의해 전도성 파이버로 전환되는 금속성 파이버는, 나노와이어 대비 낮은 저항에 의해 주된 전류 이동 경로를 형성할 수 있으며, 파이버 대비 상대적으로 미세한 나노와이어는 미세 패턴화에 의해 파이버에 의한 주된 전류 이동 경로가 끊기는 경우 파이버와 파이버간을 연결해주는 역할을 수행할 수 있다.
- [0051] 이에, 나노와이어 대비 낮은 저항에 의해 주된 전류 이동 경로를 제공할 수 있도록 금속성 파이버의 직경(내부 노즐 직경)은  $10^2$ nm 오더(order) 내지  $10^1\mu\text{m}$  오더(order) 수준, 구체적으로  $10^0\mu\text{m}$  오더(order) 내지  $10^1\mu\text{m}$  오더(order) 수준일 수 있다. 실질적인 일 예로, 금속성 파이버의 직경은 500nm 내지  $10\mu\text{m}$ , 또는  $1\mu\text{m}$  내지  $5\mu\text{m}$  수준일 수 있다. 또한, 금속성 파이버의 직경을 상기 금속 나노와이어의 직경으로 나눈 비는 10 내지 1000, 구체적으로 50 내지 1000일 수 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 이때, 금속성 파이버(또는 복합 파이버)가 전기 방사에 의해 형성됨에 따라, 금속성 파이버(또는 복합 파이버)의 길이는 실질적으로 제한되지 않는다. 일 예로, 금속성 파이버(또는 복합 파이버)의 길이는 수 내지 수십 cm에 이를 수 있으며, 극단적인 일 예로, 나노와이어 네트워크에 도입되는 금속성 파이버(또는 복합 파이버)는 랜덤하게 휘어져 얹힌 단일한 파이버일 수 있다.
- [0052] 고분자 껍질의 두께(내부 노즐과 외부 노즐 사이의 간격)은 내부 노즐에서 방사되는 금속 나노입자들을 안정적으로 파이버 형태로 구속할 수 있는 정도의 두께면 무방하다. 일 예로, 고분자 껍질의 두께는 금속성 파이버의 직경(D)을 기준으로 0.1 내지 1D 수준일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0053] 일 구체예에서, 금속성 파이버 형성을 위한 전기 방사 시, 노즐의 토출율은 0.1 내지 1.0ml/h 수준일 수 있고,



전압은 5 내지 10kV 수준일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

- [0054] 상술한 바와 같이, 전기 방사에 의해 금속성 파이버를 코어로 고분자를 껍질(sheath)로 갖는 코어-껍질(core-sheath) 구조의 복합파이버가 나노와이어 네트워크에 도입될 수 있다.
- [0055] 파이버 형성 단계의 전기 방사 후 및 소결 단계의 소결 전, 또는 소결 단계 전 패터닝 단계가 수행되는 경우, 전기 방사 후 및 패터닝 단계의 패터닝 전, 복합파이버에서 고분자 껍질을 제거하는 껍질 제거 단계가 더 수행될 수 있다. 고분자 껍질은 유기 용매를 이용한 습식 제거, 반응성 이온 식각(RIE)을 이용한 건식 제거, 공기중 150 내지 200℃ 수준의 열처리를 이용한 열분해 제거, 또는 이들의 조합등을 이용하여 제거될 수 있다. 다만, 인-라인 연속 공정 측면에서, 유기 용매의 스프레이(분사) 또는 유기 용매에의 디핑(담금)을 통해 고분자 껍질을 제거하는 것이 유리하다. 이에, 유리한 일 예에 따른 패터닝된 유연 전극의 제조방법은 권취상태에서 풀어지는 제1시트에 금속 나노와이어를 함유하는 제1분산액을 도포하여 나노와이어 네트워크를 형성하는 나노와이어 형성 단계; 동축 이중 노즐을 이용하여 전기 방사하되, 내부 노즐을 통해 금속 나노입자를 함유하는 제2분산액을 방사하고, 외부 노즐을 통해 고분자 용액을 방사하여, 상기 나노와이어 네트워크에 금속 나노입자들이 묻쳐진 금속성 파이버가 고분자 껍질에 감싸인 복합파이버를 도입하는 단계; 유기 용매를 이용하여 복합파이버의 고분자 껍질을 제거하여 금속성 파이버(fiber)가 나노와이어 네트워크에 혼입된 파이버-나노와이어 네트워크를 형성하는 파이버 형성 단계; 및 상기 파이버-나노와이어 네트워크를 광 소결하여 전도성 네트워크를 형성하는 소결 단계;를 포함하며, 패터닝 물을 이용하여, 상기 소결 단계 전 파이버-나노와이어 네트워크를 패터닝하거나, 상기 소결 단계 후 전도성 네트워크를 패터닝하는 패터닝 단계;를 포함할 수 있으며, 유기 용매를 이용한 고분자 껍질 제거는 유기 용매의 스프레이(분사) 또는 유기 용매에의 디핑(담금)을 통해 수행될 수 있다.
- [0056] 나노와이어 형성 단계의 나노와이어 네트워크 형성 및 파이버 형성 단계의 금속성 파이버 형성시, 제1시트에서 상기 금속 나노와이어에 의해 덮인 면적의 비율인 나노와이어 필 팩터(fill factor, 나노와이어에 의해 덮인 면적/제1시트의 면적)는 3 내지 11%일 수 있으며, 금속성 파이버(fiber)에 의해 덮인 면적의 비율인 파이버 필 팩터(파이버에 의해 덮인 면적/제1시트의 면적)는 3 내지 10%일 수 있다. 또한, 나노와이어 필 팩터와 파이버 필 팩터를 만족함과 동시에, 금속 나노와이어에 의해 덮인 면적과 상기 금속성 파이버에 의해 덮인 면적을 합한 면적의 비율인 네트워크 필 팩터(파이버-나노와이어 네트워크에 의해 덮인 면적/제1시트의 면적)는 9 내지 13%, 구체적으로 11 내지 13%일 수 있다.
- [0057] 즉, 나노와이어 형성 단계의 도포시 나노와이어 필 팩터가 3 내지 11%를 만족하도록 제1분산액이 도포될 수 있으며, 파이버 형성 단계의 전기 방사시, 파이버 필 팩터가 3 내지 10%를 만족하도록 제2분산액이 전기 방사되되, 파이버-나노와이어 네트워크 필 팩터가 9 내지 13%를 만족하도록 나노와이어 형성 단계의 도포와 파이버 형성 단계의 전기 방사가 수행될 수 있다.
- [0058] 나노와이어 필 팩터와 파이버 필 팩터, 총계는 나노와이어 필 팩터, 파이버 필 팩터 및 파이버-나노와이어 네트워크 필 팩터가 상술한 범위를 만족함으로써, 제조되는 전극이 우수한 전기전도도를 가지면서도 높은 투명도(광 투과율)를 가질 수 있다.
- [0059] 상세하게, 나노와이어 필 팩터는 3 내지 5%일 수 있고, 파이버 필 팩터는 8 내지 10%일 수 있으며, 네트워크 필 팩터는 11 내지 13%일 수 있다. 또는 나노와이어 필 팩터는 8 내지 11%일 수 있고, 파이버 필 팩터는 3 내지 5%일 수 있으며, 네트워크 필 팩터는 11 내지 13%일 수 있다. 이러한 필 팩터를 만족하는 경우, 네트워크 층이 광 소결되어 제조되는 전극은 90% 이상, 구체적으로 91% 이상, 보다 구체적으로 92% 이상의 광 투과율을 가질 수 있으며, 이러한 우수한 광학적 특성과 함께, 면저항이 1.9 Ω/sq. 이하, 구체적으로 1.8Ω/sq. 이하, 보다 구체적으로 1.7 Ω/sq. 이하인 우수한 전기적 특성을 동시에 가질 수 있다. 이때, 광투과율은 ASTM D 1003에 따라 측정된 것일 수 있으며, 550nm 파장 기준 광투과율일 수 있다. 또한, 실험적으로 면 저항은 4-포인트 프루브(4-point probe)를 이용하여 측정된 것일 수 있다. 또한, 면 저항은 5개 이상의 임의의 영역, 구체적으로 5 내지 50개의 임의의 영역에서 측정된 면저항 값을 평균한 평균값일 수 있다. 또한, 실험적으로, 나노와이어나 파이버의 필 팩터는 제1시트에 전극 제조시와 동일하게 제1분산액을 도포하여 나노와이어 네트워크가 단독으로 형성된 샘플 또는 제1시트(나노와이어가 미 도포된 제1시트)에 전극 제조시와 동일하게 제2분산액을 전기 방사하고 고분자 껍질을 제거하여 파이버 네트워크가 단독으로 형성된 샘플에 대해 측정된 값일 수 있다. 네트워크 필 팩터는 제1시트에 전극 제조시와 동일하게 제1분산액을 도포하여 나노와이어 네트워크를 형성한 후 나노와이어 네트워크에 제2분산액을 전기 방사하고 고분자 껍질을 제거하여 파이버-나노와이어 네트워크가 형성된 샘플에 대해 측정된 값일 수 있다. 각 필 팩터의 측정은 주사전자현미경등을 이용하여 미세 조직 관찰 이미지를 얻은 후, 이미지의 전체 면적에서 파이버의 면적(파이버 필 팩터), 나노와이어의 면적(나노와이어 필 팩터), 또는 파이버와

나노와이어가 차지하는 면적(네트워크 필 팩터)를 계산하여 산출될 수 있다. 용이한 산출을 위해 관찰 이미지는 흑/백으로 전환될 수 있으며, 나노와이어나 파이버가 흑 또는 백으로 지정될 수 있음은 물론이며, 전체 이미지 픽셀 수 대비 흑 또는 백의 픽셀 수를 이용하여 얻인 면적이 산출될 수 있음은 물론이다. 또한, 각 필 팩터는 각 샘플의 5개 이상의 임의의 영역, 구체적으로 5 내지 50개의 임의의 영역에서 측정된 각 필 팩터값을 평균한 평균값일 수 있다.

[0060] 상술한 바와 같이, 파이버 형성 단계에 의해 제조되는 파이버-나노와이어 네트워크는 금속성 파이버의 금속 나노입자들에 의해 매우 높은 소결 구동력을 갖는 상태일 수 있다.

[0061] 패터닝 단계 전 또는 패터닝 단계 후, 파이버-나노와이어 네트워크를 소결하는 소결 단계가 수행될 수 있다.

[0062] 소결 단계의 광 소결에 의해 파이버 형태로 뭉쳐있는 금속 나노입자들이 용융 결합되며 금속성 파이버가 전도성 파이버로 전환될 수 있으며, 이와 함께, 파이버와 나노와이어의 접점 및 나노와이어와 나노와이어간의 접점에서 융착(결착)이 이루어질 수 있다.

[0063] 광소결은 800 내지 1600 J/cm<sup>2</sup> 강도, 구체적으로 1300 내지 1600 J/cm<sup>2</sup> 강도의 펄스형 백색광 조사에 의해 수행될 수 있다. 백색광은 300 - 1000nm 대역광일 수 있으며, 펄스 폭은 500 내지 2000  $\mu$ sec, 구체적으로 1000 내지 2000  $\mu$ sec일 수 있다. 광 소결시 조사되는 펄스의 수는 1 내지 5, 구체적으로 1 내지 3일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0064] 열처리에 의해 소결을 수행하는 경우, 파이버-나노와이어 네트워크 하부에 위치하는 제1시트를 포함한 적층체가 전체적으로 가열되어야 함에 따라, 제1시트에 열적 손상이 발생할 위험이 있으며 적절한 내열성을 갖는 제1시트를 사용하여야 하는 한계가 있다. 또한, 소결이 열처리에 의해 수행되는 경우, 가능한 낮은 온도에서 열처리가 수행되어야 함에 따라, 높은 전기전도도가 얻어지는 정도의 소결이 이루어지기 위해서는 수 시간의 장기 열처리가 요구되어 상업적 공정에 사용하기에는 어려움이 있다. 나아가, 본 발명에 따라, 나노와이어 네트워크를 먼저 형성한 후, 나노와이어 네트워크에 금속성 파이버를 혼입시킴에 따라, 열처리시 금속성 파이버와 함께 나노와이어 네트워크 또한 열처리될 수 밖에 없는데, 파이버의 소결을 위해 나노와이어가 불필요하게 고온으로 장기간 가열되며 나노와이어가 끊어지며 나노와이어 네트워크가 열적으로 손상될 위험 또한 존재한다.

[0065] 반면, 광소결의 경우 밀리초나 초 단위에서 소결이 완료될 수 있고, 제1시트가 열적 손상으로부터 자유로우며, 극히 간단하고 저가의 에너지 절약 공정임에 따라, 열처리 대비 우수한 상업성을 갖는다. 또한, 나아가, 본 발명에 따라, 나노와이어 네트워크를 먼저 형성한 후, 나노와이어 네트워크에 금속성 파이버를 혼입시킨 후, 광소결을 수행하는 경우, 금속성 파이버에 의해 나노와이어가 억압되어 있어, 광소결시 발생하는 나노와이어의 뒤틀림에 의한 접촉점(contact point) 감소를 효과적으로 억제할 수 있는 장점이 있다.

[0066] 본 발명과 달리, 기재상 제2분산액을 전기방사하고, 고분자 껍질을 제거한 후 소결하여 전도성 파이버 네트워크를 먼저 형성한 후 금속 나노와이어를 도포하여 전도성 파이버 네트워크에 금속 나노와이어를 도입하는 경우, 이미 금속 나노입자들이 소결되어 소결 구동력을 대부분 상실한 상태임에 따라, 금속 나노와이어와 전도성 파이버 간의 실질적으로 융착되기 어려운 한계가 있다. 실질적으로, 이미 소결된 전도성 파이버에 금속 나노와이어가 융착시키기 위해서는 나노와이어간의 접점에서의 융착에 필요한 에너지보다도 높은 열이나 광 에너지가 요구되어, 금속 나노와이어의 부분적 용융에 의해 나노와이어가 끊어져 나노와이어 네트워크가 손상되는 위험이 있다.

[0067] 또한, 본 발명과 달리, 기재상 제2분산액을 전기방사하고 고분자 껍질을 제거하여 금속성 파이버의 네트워크를 형성한 후 금속 나노와이어를 도포하여 금속성 파이버 네트워크에 금속 나노와이어를 도입한 후, 소결하여 금속성 파이버 네트워크를 전도성 파이버 네트워크로 전환시키는 경우, 광 소결시 전극의 전기적/기계적 특성이 크게 떨어져, 실질적으로 상업적 공정에 유리한 광 소결을 이용할 수 없는 한계가 있다. 실질적으로, 금속성 파이버 네트워크에 금속 나노와이어를 도입한 후 광 소결하는 경우, 금속 나노와이어간의 접점들이 가까이 모여있는 영역 하부의 금속성 파이버 부분이 불완전하게 전도성 파이버로 전환될 위험이 있다. 전극의 변형시 이러한 불완전 전환 영역에서 응력이 집중되며 파이버가 끊어져 전기적 특성이 크게 열화되는 문제점이 발생할 수 있다.

[0068] 반면, 본 발명에 따라, 제1시트상 금속 나노와이어 네트워크를 먼저 형성하고, 나노와이어 네트워크에 금속성 파이버를 도입한 후, 금속성 파이버가 도입된 나노와이어 네트워크(파이버-나노와이어 네트워크)를 한꺼번에 소결하는 경우, 광 소결에 의해, 금속성 파이버가 전체적으로 균질하게 소결되며 전도성 파이버로 전환됨과 동시에 파이버와 나노와이어간, 나노와이어와 나노와이어간 안정적이고 고른 융착이 이루어질 수 있다.

- [0069] 이에 의해, 네트워크층이 광소결되어 제조된 전극은 3mm 벤딩 반경으로 100,000회의 벤딩 테스트시에도, 면 저항 증가율이 5% 이하로 유지되는 극히 우수한 물리적/전기적 특성을 가질 수 있다.
- [0070] 상술한 바와 같이, 소결 단계 전, 또는 소결 단계 후, 패터닝 롤을 이용하여 물리적으로 네트워크 층을 패터닝 하는 패터닝 단계가 수행될 수 있다.
- [0071] 도 1은 일 실시예에 따라, 소결 단계 후 패터닝 롤을 이용한 패터닝 단계가 수행되는 공정도를 도시한 예이며, 도 2는 다른 일 실시예에 따라, 소결 단계 전 패터닝 롤을 이용한 패터닝 단계가 수행되는 공정도를 도시한 예이다.
- [0072] 다만, 광 소결 시 광 조사에 의해 순간적으로 가열되는 나노와이어와 파이버 모두 우수한 열전도도를 갖는 금속 임에 따라, 전도성 네트워크와 접하는 투명 시트 영역이 유리전이온도(Tg) 이상으로 가열되며 전도성 네트워크가 투명 시트에 결착될 수 있다. 이에, 투명 시트와의 우수한 결착 측면에서, 도 2와 같이 파이버 형성단계 후 패터닝 단계가 수행되고, 패터닝된 네트워크에 광이 조사되며 광 소결되는 것이 좋다. 그러나, 제1시트에 높은 Tg를 갖는 이형층등을 형성하여 광 소결시 네트워크와 시트간의 결착을 방지할 수 있음에 따라, 광 소결 후 패터닝 롤에 의한 패터닝이 이루어져도 무방함은 물론이며, 본 발명이 광 소결 후 패터닝이 수행되는 경우를 배제하는 것은 아니다.
- [0073] 도 1에 도시한 예와 같이, 나노와이어 형성 단계(Metal NW coating), 파이버 형성 단계(Metal NF coating) 및 소결 단계(photonic sintering)이 수행된 후, 패터닝 롤(patterning roll)에 의한 물리적인 패터닝 단계가 수행될 수 있다. 또는, 도 2에 도시한 일 예와 같이, 나노와이어 형성 단계(Metal NW coating) 및 파이버 형성 단계(Metal NF coating)가 수행된 후, 패터닝 롤(patterning roll)에 의한 물리적인 패터닝 단계 및 소결 단계(photonic sintering)가 수행될 수 있다.
- [0074] 패터닝 단계는 돌출부가 형성된 패터닝 롤(patterning roll)이 회전하며 제1시트(1<sup>st</sup> sheet) 및 권취상태에서 풀 어지는 투명 시트인 제2시트(2<sup>nd</sup> sheet)와 각각 접촉하며, 제1시트와 패터닝 롤의 접촉에 의해, 패터닝 롤의 돌출부 형상으로 네트워크 층이 패터닝되어 패터닝 롤로 전사되고, 패터닝 롤과 제2시트의 접촉에 의해, 패터닝 롤 상 위치하는 패터닝된 네트워크가 제2시트에 전사될 수 있다.
- [0075] 패터닝 롤은 설계된 전극 패턴에 상응하는 형상과 디멘전을 갖는 돌출부를 포함할 수 있다. 이에, 돌출부의 형상과 디멘전은 유연 전극의 용도를 고려하여 적절히 변경될 수 있음은 물론이다. 실질적인 일 예로, 터치 패널이나 지문 인식 센서의 용도를 고려할 때, 패터닝 롤에는 롤의 회전 방향 또는 롤의 폭 방향으로 서로 이격 배열된 선형 돌출부가 형성될 수 있다. 도 1의 일 예는 롤의 폭 방향으로 서로 이격 배열된 선형 돌출부가 형성된 예이며, 롤의 폭이 제1시트나 제2시트의 폭에 상응하는 길이를 갖는 일 예에 해당한다. 이때, 선형 돌출부의 폭은 10<sup>1</sup> μm 오더에서 10<sup>4</sup> μm 오더 수준일 수 있으나, 본 발명이 패터닝 롤의 구체 돌출부 형상이나 돌출부 크기등에 의해 한정될 수 없음은 물론이다.
- [0076] 제1시트 상의 네트워크층이 패터닝 롤의 돌출부와 접촉하며 돌출부와 접촉하는 네트워크층 부분이 돌출부와 접촉하지 않는 네트워크층 부분으로부터 떨어져 나와 돌출부에 붙어 물리적인 패터닝이 이루어지며, 돌출부가 제2시트와 접촉하며 돌출부에 붙어 있던 네트워크 층 부분이 제2시트에 전사됨으로써 제2시트 상 패터닝된 네트워크가 형성될 수 있다.
- [0077] 도 1 및 도 2에 도시한 일 예와 같이, 패터닝 롤을 이용한 패터닝시, 제1시트(1<sup>st</sup> sheet)를 사이에 두고 패터닝 롤(patterning roll)과 대향하도록 구비된 제1가압 롤(1<sup>st</sup> pressing roll)에 의해 제1시트와 패터닝 롤의 접촉시 압력(제1압력)이 인가될 수 있으며, 제2시트(2<sup>nd</sup> sheet)를 사이에 두고 패터닝 롤(patterning roll)과 대향하도록 구비된 제2가압 롤(2<sup>nd</sup> pressing roll)에 의해 제2시트와 상기 패터닝 롤의 접촉시 압력(제2압력)이 인가될 수 있다. 이러한 압력은 돌출부에 의한 네트워크 층의 물리적인 패터닝을 용이하게 하며, 패터닝된 네트워크의 전사를 용이하게 할 수 있다. 제1가압 롤에 의한 제1압력은 돌출부가 네트워크 층을 누르며 돌출부의 에지 영역에서 네트워크 층이 용이하게 잘려질 수 있는 정도로 적절히 조절되면 무방하다. 구체 예로, 제1압력은 50kPa 내지 1000kPa, 구체적으로 100kPa 내지 1000kPa 수준일 수 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 또한, 제2가압 롤에 의한 제2압력은 패터닝 롤의 돌출부에 위치하는 패터닝된 네트워크가 제2시트에 안정적으로 전사될 수 있는 정도로 적절히 조절되면 무방하며, 구체 예로 50 kPa 내지 1000kPa, 구체적으로 50kPa 내지 700kPa

수준일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

- [0078] 패터닝 몰의 적어도 돌출부는, 실록산계 탄성 중합체일 수 있다. 실록산계 탄성 중합체는 탄성이 높고 물리적 힘의 인가에도 쉽게 손상되지 않아 전사를 위한 몰 재료로 적합하며, 나아가, 금속 성분인 네트워크 층이 돌출부에 잘 달라붙어 제1시트에서 패터닝 몰로의 전사가 용이하게 이루어질 수 있다.
- [0079] 실록산계 탄성 중합체는 지방족 폴리실록산, 방향족폴리실록산 또는 지방족기와 방향족기를 하나의 반복단위 내에 모두 포함하거나 독립적으로 각각 포함하는 실록산 반복단위를 포함하는 폴리실록산 중합체일 수 있다. 비한정적인 일 구체예로, 지방족 폴리실록산은, 폴리디메틸실록산, 폴리디에틸실록산, 폴리메틸에틸실록산, 폴리디메틸실록산-co-디에틸실록산, 폴리디메틸실록산-co-에틸메틸실록산 등에서 선택될 수 있으며, 방향족 폴리실록산은 폴리디페닐실록산, 폴리메틸페닐실록산, 폴리에틸페닐실록산, 폴리(디메틸실록산-co-디페닐실록산) 등에서 선택될 수 있다. 지방족기와 방향족기를 하나의 반복단위 내에 모두 포함하거나 독립적으로 각각 포함하는 실록산 반복단위를 포함하는 폴리실록산은 상기 예시된 지방족 실록산의 반복단위 및 방향족 실록산의 반복단위를 모두 포함하거나, 상기 예시된 지방족 치환기와 상기 예시된 방향족 치환기를 하나의 반복단위 내에 위치하는 실리콘 원소에 각각 결합된 형태를 의미하는 것일 수 있으나 이에 한정되진 않는다. 실질적인 일 예로, 실록산계 탄성 중합체는 스탬프등을 이용한 소프트 리소그래피(soft-lithography)로 미세 패턴을 전사하는 분야에서 통상적으로 사용하는, 실록산계 탄성 중합체이면 사용 가능하며, 상용 제품의 일 예에 따른 폴리실록산은 Dow Corning의 Sylgard<sup>®</sup> 184등을 들 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0080] 일 구체예에서, 제2시트는 친수성으로 표면처리되거나, 낮은 Tg를 갖는 표면 코팅층을 갖거나, 낮은 Tg를 가지며 친수성으로 표면처리된 코팅층을 가질 수 있다. 상세하게, 제2시트는 패터닝 몰과 접촉하는 면이 친수성으로 표면처리된 투명 시트일 수 있다. 또는 제2시트는 투명 베이스 시트; 및 투명 베이스 시트에서 패터닝 몰과 접촉하는 면에 형성된 코팅층;을 포함할 수 있다. 또는, 제2시트는 투명 베이스 시트; 및 투명 베이스 시트에서 패터닝 몰과 접촉하는 면에 위치하고 친수성으로 표면처리된 코팅층;을 포함할 수 있다.
- [0081] 친수성 표면처리에 의해 친수성 작용기가 형성된 제2시트에 의해, 패터닝 몰과 제2시트간의 접촉시 패터닝 몰에 위치하는 패턴화된 네트워크가 제2시트로 용이하고 쉽게 전사될 수 있다.
- [0082] 친수성 표면 처리는 코로나 처리, 플라즈마 처리, 및/또는 오존 처리등, 고분자를 친수성으로 표면 개질하는데 통상적으로 사용하는 방법이면 족하다. 그러나, 친수성 표면 처리가 표면 개질로 한정되는 것은 아니며, 친수성 작용기를 갖는 프라이머(primer) 층을 형성하여 수행될 수도 있다. 프라이머 층은 종래 금속 나노와이어 기반 투명 전극에서 친수성 표면을 형성하기 위해 통상적으로 사용되는 프라이머 물질이면 족하며, 일 예로, 우레탄 아크릴레이트, 아크릴 아크릴레이트, 에폭시 아크릴레이트, 우레탄 등의 모노머, 올리고머, 폴리머 또는 이들의 조합등을 들 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0083] 코팅층은 낮은 Tg, 구체적으로 유리전이온도(Tg)가 80 내지 140℃, 구체적으로, 100 내지 140℃, 보다 구체적으로, 100 내지 130℃인 낮은 Tg를 갖는 투명 고분자층일 수 있다. 도 2와 같이 패턴화가 수행된 후 광소결이 수행될 때, 낮은 Tg를 갖는 투명 고분자층의 코팅층에 의해 전도성 네트워크가 소결됨과 동시에 제2시트에 결합될 수 있다. 실질적인 물질의 일 예로, 투명 고분자 층의 투명 고분자는 폴리에스테르(polyester), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(polyethylene terephthalate)(PET), 아크릴레이트(acrylate)(AC), 폴리부틸렌 테레프탈레이트(polybutylene terephthalate), 폴리메틸 메타크릴레이트(polymethyl methacrylate)(PMMA), 아크릴수지(acrylic resin), 폴리카보네이트(polycarbonate)(PC), 폴리스티렌(polystyrene), 트리아세이트(triacetate)(TAC), 폴리비닐 알콜(polyvinyl alcohol), 폴리비닐 염화물(polyvinyl chloride), 폴리비닐리덴 염화물(polyvinylidene chloride), 폴리에틸렌(polyethylene), 에틸렌-비닐 아세테이트 코폴리머(ethylenevinylacetate copolymer)들, 폴리비닐 부티랄(polyvinyl butyral), 금속 이온-교차결합된 에틸렌-메타크릴산코폴리머(metal ion-crosslinked ethylene-methacrylic acid copolymer), 폴리우레탄(polyurethane), 셀로판(cellophane) 및 폴리올레핀(polyolefin)에서 하나 또는 둘 이상의 혼합물일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 보다 구체적인 일 예로, 투명 고분자 층의 투명 고분자는 비이온성 우레탄 및 아크릴에서 하나 또는 둘 이상 선택되는 물질일 수 있다. 이때, 투명 고분자의 중량평균 분자량은 1000 내지 500,000,000일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 투명 고분자의 구체적인 물질들의 예에서, 물질의 종류, 중합도, 분자량 분포, 서로 상이한 물질의 혼합비, 작용기 도입, 첨가제등 알려진 다양한 방법을 이용하여, 제시된 유리전이온도를 만족하는 물성을 가질 수 있음은 물론이다. 투명 고분자층의 두께는, 패턴화된 유연 전극의 용도를 고려하여 적절히 조절될 수 있다. 일 예로, 투명 고분자층(코팅층)의 두께는 50nm 내지 10 μm 수준일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.



- [0084] 제1시트와 제2시트(또는 투명 베이스 시트)는 용도와 구체 공정 조건을 고려하여 적절히 선택될 수 있는데, 일 예로, 제1시트와 제2시트(또는 투명 베이스 시트)는 서로 독립적으로, 폴리에스테르 나프탈레이트나 폴리카보네 이트와 같은 폴리에스테르계; 선형, 분지(branched), 및 환형 폴리올레핀과 같은 폴리올레핀계 필름; 폴리염화 비닐, 폴리염화비닐리덴, 폴리비닐 아세탈, 폴리스티렌 및 폴리아크릴과 같은 폴리비닐계 필름; 셀룰로오스 트 리아세테이트(cellulose triacetate)나 셀룰로오스 아세테이트(cellulose acetate)와 같은 셀룰로오스 에스테 르 염기 필름; 폴리에테르설폰과 같은 폴리설폰 필름; 폴리이미드 필름; 또는 실리콘 필름;등을 들 수 있으나, 본 발명이 시트의 구체 물질에 의해 한정될 수 없음은 물론이다. 다만, 투명 시트(또는 투명 고분자 층)은 550nm 파장 광에 대한 광투과율은 90% 이상, 구체적으로 93% 이상, 보다 구체적으로 95% 이상, 보다 구체적으로 97% 이상일 수 있다.
- [0085] 본 발명은 상술한 제조방법으로 제조된 패턴화된 유연 전극을 포함한다.
- [0086] 본 발명은 금속 나노와이어 및 금속성의 전도성 파이버가 혼재하는 전도성 네트워크가 패턴화된 패턴화된 유연 전극을 제공한다. 이때, 금속 나노와이어는 제조방법에서 상술한 금속 나노와이어에 상응하며, 금속성의 전도성 파이버는 제조방법의 소결 단계에서 금속성 파이버가 소결되어 얻어지는 전도성 파이버에 상응하며, 전도성 네 트워크는 제조방법에서 파이버-나노와이어 네트워크가 광 소결되어 얻어지는 네트워크에 상응하며, 패턴화된 전 도성 네트워크의 패턴은 제조방법에서 상술한 돌출부의 패턴에 상응한다. 이에, 투명전극은 앞서 상술한 제조방 법의 모든 내용을 포함한다.
- [0087] 본 발명에 따른 패턴화된 유연 전극은 투명 시트; 상기 투명 시트 상 위치하고 금속 나노와이어 및 금속성의 전 도성 파이버가 혼재하는 전도성 네트워크를 포함하는 패턴화된 전극;을 포함하며, 투명 시트에서 패턴화된 전극 이 위치하는 전극 영역을 기준으로, 전극 영역에서 금속 나노와이어에 의해 덮인 면적의 비율인 나노와이어 필 팩터(fill factor)는 3 내지 11%이며, 전도성 파이버에 의해 덮인 면적의 비율인 파이버 필 팩터는 3 내지 10% 이고, 전도성 네트워크에 의해 덮인 면적의 비율인 네트워크 필 팩터는 9 내지 13%이다.
- [0088] 일 실시예에 따른 패턴화된 유연 전극에 있어, 나노와이어 필 팩터는 3 내지 5%일 수 있고, 전도성 파이버 필 팩터는 8 내지 10%일 수 있으며, 전도성 네트워크 필 팩터는 11 내지 13%일 수 있다. 일 실시예에 따른 패턴화된 유연 전극에 있어, 나노와이어 필 팩터는 8 내지 11%일 수 있고, 전도성 파이버 필 팩터는 3 내지 5%일 수 있으 며, 네트워크 필 팩터는 11 내지 13%일 수 있다. 이러한 필 팩터를 만족하는 경우, 투명 전극은 90% 이상, 구체 적으로 91% 이상, 보다 구체적으로 92% 이상의 광 투과율을 가질 수 있으며, 이러한 우수한 광학적 특성과 함께, 패턴화되지 않은 네트워크층이 광소결될 때 면저항이 1.9  $\Omega/\text{sq.}$  이하, 구체적으로 1.8 $\Omega/\text{sq.}$  이하, 보다 구체적으로 1.7  $\Omega/\text{sq.}$  이하인 우수한 전기적 특성을 동시에 가질 수 있다.
- [0089] 또한, 일 실시예에 따른 패턴화된 유연 전극은 패턴화되지 않은 네트워크층이 광소결될 때 3mm 벤딩 반경으로 100,000회의 벤딩 테스트시, 면 저항 증가율이 5% 이하일 수 있다.
- [0090] 또한, 일 실시예에 따른 패턴화된 유연 전극은 전극 영역 기준 광투과율이 90% 이상이며, 1mm 선폭의 선형 패턴 (도 1 참고) 기준 면 저항이 80  $\Omega/\text{sq.}$  이하일 수 있다.
- [0091] 또한, 일 실시예에 따른 패턴화된 유연 전극은 1mm 선폭의 선형 패턴 기준, 3mm 벤딩 반경으로 100,000회의 벤 딩 테스트시, 면 저항 증가율이 8% 이하, 구체적으로 7.5% 이하일 수 있다.
- [0092] 벤딩 테스트는 통상의 2점 굽힘 시험기를 이용하여 3mm 반경으로 벤딩으로 수행될 수 있으며, 벤딩 테스트에 사 용되는 샘플은 가로x세로가 5 내지 30cmx5 내지 30cm 수준일 수 있다.
- [0093] 본 발명은 상술한 제조방법으로 제조된 투명 전극 또는 상술한 투명 전극을 포함하는 디스플레이 장치를 포함한 다.
- [0094] 구체예로, 본 발명은 상술한 제조방법으로 제조된 투명 전극 또는 상술한 투명 전극을 포함하는 액정 표시장치 (liquid crystal displays)를 포함한다.
- [0095] 구체예로, 본 발명은 상술한 제조방법으로 제조된 투명 전극 또는 상술한 투명 전극을 포함하는 터치 패널 (touch panel)을 포함한다.
- [0096] 구체예로, 본 발명은 상술한 제조방법으로 제조된 투명 전극 또는 상술한 투명 전극을 포함하는 전자 발광 장치 (electroluminescent devices)를 포함한다.
- [0097] 구체예로, 본 발명은 상술한 제조방법으로 제조된 투명 전극 또는 상술한 투명 전극을 포함하는 태양전지

(photovoltaic cells)를 포함한다.

[0098] 구체예로, 본 발명은 상술한 제조방법으로 제조된 투명 전극 또는 상술한 투명 전극을 포함하는 대전 방지층(anti-static layers)을 포함한다.

[0099] 구체예로, 본 발명은 상술한 제조방법으로 제조된 투명 전극 또는 상술한 투명 전극을 포함하는 지문 인식 센서를 포함한다.

[0100] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 전도성 네트워크를 관찰한 주사전자 현미경 이미지이며, 도 4는 전도성 네트워크에서 나노와이어간의 네트워크 부분을 관찰한 주사전자 현미경 이미지이다. 상세하게, 도 3( 및 도 4)의 전도성 네트워크는 Ag 나노와이어(직경 80nm, 종횡비 1000) 분산액을 이용하여, 나노와이어 필 팩터가 9.5%가 되도록 기재(폴리에틸렌테레프탈레이트 필름)에 나노와이어 분산액을 도포하여 나노와이어 네트워크를 형성하고, 나노와이어 네트워크에 78중량% 은 나노입자(직경 20nm) 분산액과 폴리에틸렌 옥사이드 고분자 액을 동축 이중 노즐로 전기 방사하여 금속성 파이버 필 팩터가 4.4%가 되도록 파이버(금속성 파이버 직경=1 $\mu$ m)를 혼입시킨 다음, 유기 용매로 세척하여 폴리에틸렌 옥사이드 고분자 겹질을 제거하여 파이버-나노와이어 네트워크를 제조한 후, 1500 $\mu$ sec의 펄스 폭 및 1201.5 J/cm<sup>2</sup>의 강도로 백색광(300-1000nm) 펄스를 3회 조사하여 제조된 투명 전극 샘플(표 1의 샘플 5)이다. 이때, 전도성 네트워크의 필 팩터는 12.4%였다. 제조된 전극의 광 투과도는 91%였으며, 면저항은 1.7  $\Omega$ /sq.였다.

[0101] 도 3 및 도 4에서 알 수 있듯이 광소결에 의해 내부 보이드나 표면 크랙 없이 균일하게 소결된 전도성 파이버가 제조됨을 확인할 수 있으며, 금속성 파이버의 은 나노입자들이 소결됨과 함께 나노와이어들간의 접점들이 융착된 전도성 네트워크가 제조됨을 알 수 있다.

[0102] 도 3 및 도 4의 샘플과 동일하게 제조하되, 제1분산액 도포시의 나노와이어 필 팩터-제2분산액 전기 방사시의 금속성 파이버 필팩터가 4.2%-8.9%가 되도록 혼입시켜 투명 전극(표 1의 샘플 3)을 제조하였다. 이때, 전도성 네트워크의 필 팩터는 11.6%였다. 제조된 투명 전극의 광 투과도는 92%였으며, 면저항은 1.9  $\Omega$ /sq.였다.

[0103] 유사하게, 제1분산액 도포시의 나노와이어 필 팩터(Wir.FF)-제2분산액 전기 방사시의 금속성 파이버 필팩터(Fib.FF)를 달리하여 제조된 투명 전극의 전도성 네트워크 필팩터(Net.FF), 투과도 및 면저항을 표 1로 정리 도시하였다.

[0104] (표 1)

	샘플 1	샘플 2	샘플 3	샘플 4	샘플 5	샘플 6	샘플 7	샘플 8	샘플 9
Wir. FF(%)	4.2	4.2	4.2	9.5	9.5	9.5	14.1	14.1	14.1
Fib. FF(%)	2.1	4.4	8.9	2.1	4.4	8.9	2.1	4.4	8.9
Net. FF(%)	4.8	8.9	11.6	10.1	12.4	16.9	14.7	17	21.5
투과도(%)	95	94	92	93	91	87	89	86	82
면저항( $\Omega$ /sq)	9.5	3.1	1.9	7.9	1.7	1.4	7.5	1.5	1.3

[0105]

[0106] 표 1을 통해 알 수 있듯이, 나노와이어 필 팩터가 3 내지 5%이고 전도성 파이버 필 팩터는 8 내지 10%의 범위에 있을 때, 및 나노와이어 필 팩터는 8 내지 11%이고 전도성 파이버 필 팩터는 3 내지 5%의 범위에 있을 때, 광 투과율이 91% 이상인 우수한 투명성과 면저항이 1.9 $\Omega$ /sq.이하인 우수한 전기적 특성을 동시에 가질 수 있음을 알 수 있다.

[0107] 도 5는 제조된 투명 전극(샘플 5)을 3mm의 곡률 반경으로 100,000회 굽힘 테스트를 수행하며 굽힘 횟수에 따른 면저항을 측정 도시한 도면이다. 도 5에서 알 수 있듯이, 100,000회 굽힘 테스트 후 면저항이 1.76 $\Omega$ /sq.로, 저항 증가율=[(100,000회의 굽힘 테스트 후의 면저항-제조 직후의 면저항)/(제조 직후의 면저항) x 100]이 3.5%에 불과함을 알 수 있다.

[0108] 비교를 위해, 샘플 5와 동일한 방법과 동일한 필 팩터로 투명 전극을 제조하되, 제2분산액을 먼저 전기 방사하고 유기 용매로 세척하여 파이버 네트워크를 제조한 후, 파이버 네트워크에 나노와이어가 분산된 제1분산액을 도포하고 광 소결하여 투명 전극(비교샘플 1)을 제조하였다. 제조된 투명 전극(비교샘플 1)은 샘플 5와 유사한 광 투과율을 나타냈으나, 면 저항이 2.0 $\Omega$ /sq.로 증가했으며, 3mm 곡률 반경 하 100,000회의 굽힘 테스트 시 4.7 $\Omega$ /sq.로 면저항이 크게 증가함을 확인하였다.

[0109] 또한, 샘플 5와 동일한 방법과 동일한 필 팩터로 투명 전극을 제조하되, 제2분산액을 먼저 전기 방사하고 유기 용매로 세척하여 파이버 네트워크를 제조한 후, 200 $^{\circ}$ C에서 2시간동안 열처리하여 금속성 파이버 네트워크를 전도성 파이버 네트워크로 전환시킨 후, 전도성 파이버 네트워크에 나노와이어가 분산된 제1분산액을 도포하고 동



일하게 광 소결하여 투명 전극(비교샘플 1)을 제조하였다. 제조된 투명 전극(비교샘플 2)은 샘플 5와 유사한 광 투과율을 나타냈으나, 면 저항이  $1.8\Omega/\text{sq.}$ 로 증가하였으며, 3mm 곡률 반경 하 100,000회의 굽힘 테스트 시  $2.3\Omega/\text{sq.}$ 로 면저항이 증가함을 확인하였다.

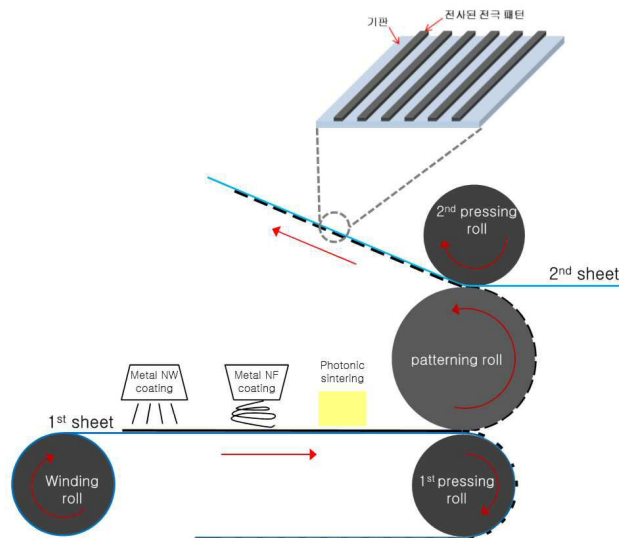
[0110] 도 6은 도 2의 공정도에 따라, 폭 1mm인 선형 전극이 서로 평행하게 이격(이격 거리 1mm) 배열되게 전사되도록 돌출부가 형성된 폴리디메틸실록산 패터닝 롤을 이용하고, 제1시트로 폴리에틸렌테레프탈레이트 필름을 사용하고, 제2시트로 오존 처리된 폴리에틸렌테레프탈레이트 필름을 사용하되, 압력 롤들을 이용하여 패터닝 롤과 제1시트간의 접촉시 500kPa의 압력이 인가되고, 패터닝 롤과 제2시트간의 접촉시 100kPa의 압력이 인가되도록 하여, 제2시트에 소결되지 않은 파이버-나노와이어 네트워크 패턴을 전사하고, 광소결함으로써 제조된 패턴화된 유연 전극을 3mm의 곡률 반경으로 100,000회 굽힘 테스트를 수행하며 굽힘 횟수에 따른 면저항 증가비(굽힘 테스트 후의 면저항/굽힘 테스트 전의 면저항, normalized sheet resistance)를 도시한 도면이다. 이때, 나노와이어 형성, 파이버의 형성 및 광소결 조건은 샘플 5와 동일한 조건이었다. 미세 패턴화에 의해 면 저항이  $79\Omega/\text{sq.}$ 로 증가하였으나, 1mm 폭의 선형 패턴화가 이루어진 경우에도 100,000회의 굽힘 테스트시 저항 증가율이 7.48%에 불과한 것을 확인할 수 있다.

[0111] 이상과 같이 본 발명에서는 특정된 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

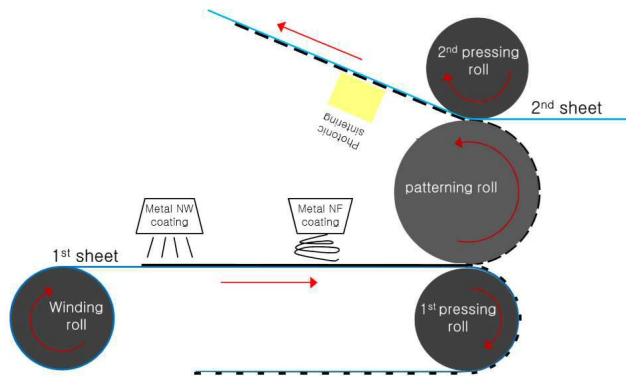
[0112] 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

## 도면

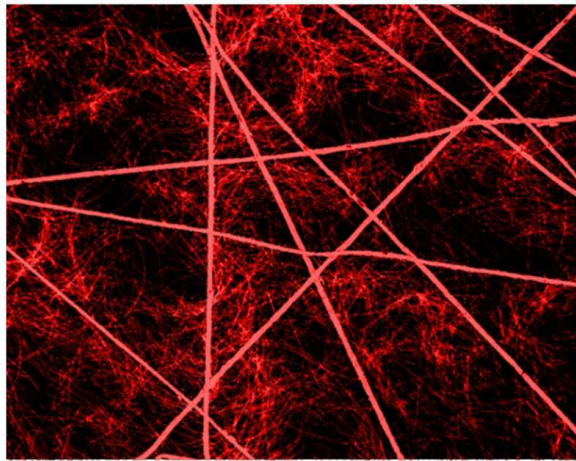
### 도면1



도면2

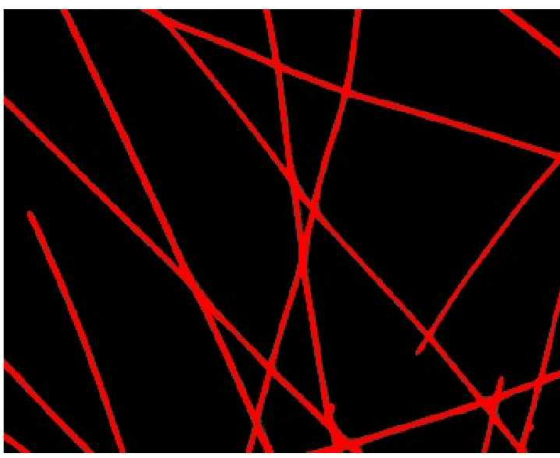


도면3



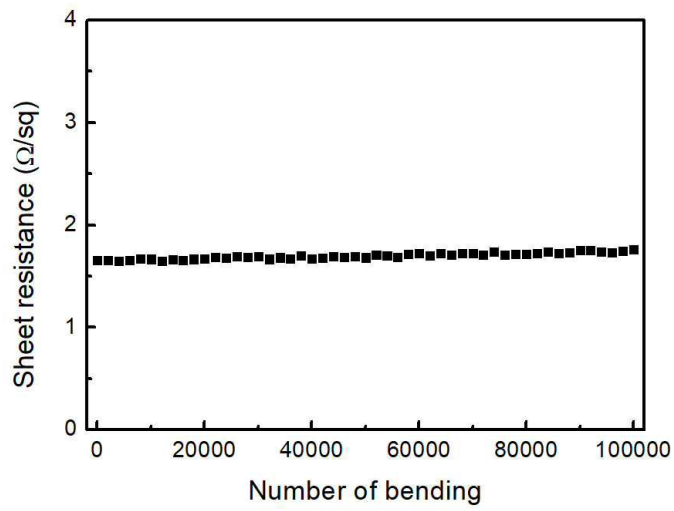
Scale bar: 20  $\mu\text{m}$

도면4



Scale bar: 1  $\mu\text{m}$

도면5



도면6

