

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2017-0042271 (43) 공개일자 2017년04월18일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) <i>H01B 5/14</i> (2006.01) <i>H01B 13/00</i> (2006.01) (52) CPC특허분류 <i>H01B 5/14</i> (2013.01) <i>H01B 13/0013</i> (2013.01) (21) 출원번호 10-2017-0044963(분할) (22) 출원일자 2017년04월06일 심사청구일자 없음 (62) 원출원 특허 10-2015-0001307 원출원일자 2015년01월06일 심사청구일자 2015년01월06일		(71) 출원인 연세대학교 산학협력단 서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교) (72) 발명자 박진우 서울특별시 종로구 사직로8길 4, 104동 1204호(사직동, 광화문풍림스페이스본) (74) 대리인 김연권

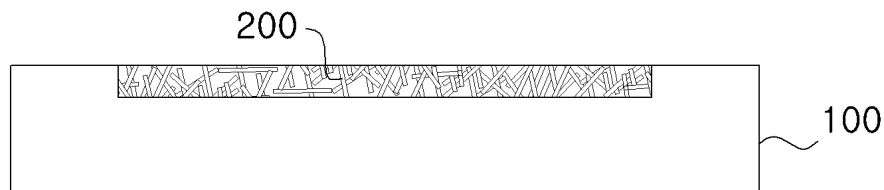
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 투명전극 및 그의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 투명전극에 관한 것으로, 본 발명에 따른 투명전극은 투명기판(100), 및 네트워크를 형성하는 전도성 나노와이어(10) 및 나노와이어(10)를 서로 접합시키고 다수개의 세공(pore)이 형성된 다공성 나노입자(20)를 포함하고, 투명기판(100)에 임베디드(embeded)되는 전도층(200)을 포함한다.

대 표 도 - 도1



명세서

청구범위

청구항 1

투명기관; 및

상기 투명기관 내에 임베디드되고, 복합재 메쉬로 이루어진 전도층

을 포함하고,

상기 복합재 메쉬는 은 나노와이어 및 다수개의 세공이 형성된 다공성 실리카 에어로젤을 포함하며,

상기 실리카 에어로젤의 세공 내부에는 상기 은 나노와이어의 은 원자가 분산되어 전도성 채널이 형성되는 것을 특징으로 하는 투명전극.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 다공성 실리카 에어로젤은 압축응력에 따른 상기 은 나노와이어의 이동을 방지하는 것을 특징으로 하는 투명전극.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 다공성 실리카 에어로젤의 세공의 직경은 9 ~ 11nm인 것을 특징으로 하는 투명전극.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 다공성 실리카 에어로젤의 농도(wt%)에 대한 상기 은 나노와이어의 농도(wt%)의 비율은 0.8 ~ 1.2인 것을 특징으로 하는 투명전극.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 복합재 메쉬는 상기 다공성 실리카 에어로젤이 상기 은 나노와이어에 결합되어 상기 은 나노와이어들을 서로 접합시켜 형성된 것을 특징으로 하는 투명전극.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 투명기관은 유연성을 가지는 것을 특징으로 하는 투명전극.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 투명기관은 광투과율이 80% 이상의 기관인 것을 특징으로 하는 투명전극.

청구항 8

(A) 은 나노와이어 및 상기 은 나노와이어를 서로 접합시키는 다수개의 세공이 형성된 다공성 실리카 에어로젤을 혼합하여 분산액을 제조하는 단계;

(B) 상기 분산액을 릴리즈 기관에 도포하여 전도층을 형성하는 단계;

(C) 상기 전도층에 폴리머를 도포하는 단계;

(D) 상기 폴리머를 경화시켜서 상기 전도층이 임베디드된 투명기관을 형성하는 단계; 및

(E) 상기 투명기관 및 상기 전도층으로부터 상기 릴리즈 기관을 제거하는 단계를 포함하고,

상기 실리카 에어로젤의 세공 내부에는 상기 은 나노와이어의 은 원자가 분산되어 전도성 채널이 형성되는 것을 특징으로 하는 투명전극의 제조방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 전도층을 형성하는 단계에서, 릴리즈 기관에 상기 분산액을 도포한 후, 열처리하여 용매를 증발시키는 것을 특징으로 하는 투명전극의 제조방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 릴리즈 기관은 실리콘 기관인 투명전극의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 투명전극 및 그의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003]

최근에는 전자기기의 휴대성이 강조되면서 유연성과 신축성을 가진 전자소자의 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구 개발의 성과로서 다양한 플렉서블(flexible) 전자기기가 등장했는데, 그 대표적인 것이 플렉서블 디스플레이이다. 플렉서블 디스플레이는 유연성을 가지므로 자유롭게 구부리거나 접을 수 있어서, 휴대폰과 같은 다양한 휴대용 전자기기에 응용되고 있다. 이러한 플렉서블 디스플레이에는 유연하면서도 투명성을 가진 플렉서블 투명전극이 사용되는데, 투명전극의 전도성 산화물로서는 산화인듐주석(Indium-Tin Oxide, ITO)가 주로 활용된다. 투명전극에 사용되는 산화인듐주석(ITO) 박막은 전도성과 투명도가 우수하지만, 잘 부서지는 물성을 가지고 있어서 휘거나 접을 때에 크랙이 발생하는 등 기계적인 안정성이 떨어지고, 이는 시트저항(sheet resistance)을 증가시키는 원인이 된다. 또한, 산화인듐주석(ITO) 박막의 소재인 인듐의 희소성으로 인해서, 고가의 제조비가 소요되는 문제도 있다.

[0004]

이러한 산화인듐주석(ITO) 박막의 문제를 해결하기 위해서, 하기 선행기술문헌의 특허문헌에 개시된 바와 같이, 탄소나노튜브(Carbon Nano Tube, CNT)를 박막으로 하는 투명전극이 고안되었다. 그러나, 탄소나노튜브를 이용한 종래 투명전극은 수분에 매우 민감하여 수분을 잘 흡수하고, 이로 인해 시트저항이 크게 증가하므로, 오버코팅을 해야하는 문제점이 있다. 또한, 탄소나노튜브는 산화인듐주석(ITO)에 비해 유연성은 우수하지만, 전기적, 광

학적 성질은 떨어지는 문제가 있다.

[0005] 따라서, 종래 투명전극에 발생하는 문제를 해결하기 위한 방안이 절실히 요구되고 있는 상황이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) KR 10-2013-0026643 A

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상술한 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명의 일 측면은 전도층이 전도성 나노와이어 및 다공성 나노입자를 포함함으로써, 시트저항이 작고, 기질 접착력과 분산도가 향상되며, 표면조도가 우수한 투명전극을 제공하는 것이다.

[0009] 또한, 본 발명의 다른 측면은 전도층이 폴리머 투명기판에 임베디드(embeded)됨으로써, 반복굽힘에 대한 휨 안정성이 우수한 투명전극을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 본 발명의 실시예에 따른 투명전극은 투명기판, 및 네트워크를 형성하는 전도성 나노와이어, 및 상기 나노와이어를 서로 접합시키는 다수개의 세공(pore)이 형성된 다공성 나노입자를 포함하고, 상기 투명기판에 배치되는 전도층을 포함한다.

[0012] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 투명전극에 있어서, 상기 투명기판은 유연성을 가진다.

[0013] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 투명전극에 있어서, 상기 투명기판은 광투과율이 80% 이상의 기판이다.

[0014] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 투명전극에 있어서, 상기 나노와이어는 은(Ag) 나노와이어이다.

[0015] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 투명전극에 있어서, 상기 나노입자의 농도(wt%) 대한 상기 나노와이어의 농도(wt%)의 비율이 0.8 ~ 1.2이다.

[0016] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 투명전극에 있어서, 상기 나노입자는 실리카 에어로젤(silica aerogel)이다.

[0017] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 투명전극에 있어서, 상기 나노입자의 세공(pore)은 내부에 상기 은(Ag) 나노와이어의 은 원자(Ag atom)가 분산되어, 전도성 채널을 형성한다.

[0018] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 투명전극에 있어서, 상기 전도층은 상기 투명기판에 임베디드(embeded)된다.

[0019] 본 발명의 실시예에 따른 투명전극의 제조방법은 (A) 네트워크를 형성하는 전도성 나노와이어, 및 상기 나노와이어를 서로 접합시키는 다수개의 세공(pore)이 형성된 다공성 나노입자를 혼합하여 분산액을 제조하는 단계, (B) 상기 분산액을 릴리즈 기판(release substrate)에 도포하여 전도층을 형성하는 단계, (C) 상기 전도층에 폴리머를 도포하는 단계, (D) 상기 폴리머를 경화시켜서, 상기 전도층이 임베디드(embeded)된 투명기판을 형성하는 단계, 및 (E) 상기 투명기판 및 상기 전도층으로부터 상기 릴리즈 기판(release substrate)을 제거하는 단계를 포함한다.

[0020] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 투명전극의 제조방법에 있어서, 상기 나노와이어는 은(Ag) 나노와이어이다.

[0021] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 투명전극의 제조방법에 있어서, 상기 분산액을 제조하는 단계에서, 상기 나노입자의 농도(wt%)에 대한 상기 나노와이어의 농도(wt%)의 비율이 0.8 ~ 1.2가 되도록, 상기 나노와이어와 상기 나노입자를 혼합한다.

[0022] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 투명전극의 제조방법에 있어서, 상기 나노입자는 실리카 에어로젤(silica

aerogel)이다.

- [0023] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 투명전극의 제조방법에 있어서, 상기 나노입자의 세공(pore)은 내부에 상기 은(Ag) 나노와이어의 은 원자(Ag atom)가 분산되어, 전도성 채널을 형성한다.
- [0024] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 투명전극의 제조방법에 있어서, 상기 전도층을 형성하는 단계에서, 릴리즈 기판(release substrate)에 상기 분산액을 도포한 후, 열처리하여 용매를 증발시킨다.
- [0025] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 투명전극의 제조방법에 있어서, 상기 릴리즈 기판(release substrate)은 실리콘 기판이다.
- [0027] 본 발명의 특징 및 이점들은 첨부도면에 의거한 다음의 상세한 설명으로 더욱 명백해질 것이다.

- [0029] 이에 앞서 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이고 사전적인 의미로 해석되어서는 아니되며, 발명자가 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

발명의 효과

- [0031] 본 발명에 따르면, 전도층이 전도성 나노와이어 및 다공성 나노입자를 포함함으로써, 전도성 나노와이어들이 다공성 나노입자에 의해 서로 접합되어 복합재 메쉬를 이루므로, 시트저항이 작고, 기질 접착력과 분산도가 향상되며, 표면조도가 우수해지는 효과가 있다.
- [0032] 또한, 본 발명에 따르면, 전도층이 폴리머 투명기판에 임베디드(embedded)됨으로써, 다공성 나노입자가 폴리머 매트릭스 내부에 배치되어 압축응력으로 인한 전도성 나노와이어의 이동을 방지하므로, 반복굽힘에 대한 휨 안정성이 우수한 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0034] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 투명전극의 단면도이다.
- 도 2는 도 1에 도시된 전도층을 확대한 사진이다.
- 도 3은 은 나노와이어 네트워크 및 복합재 메쉬의 은 나노와이어의 농도에 따른 시트저항을 나타내는 그래프이다.
- 도 4는 다공성 나노입자의 농도에 따른 시트저항을 나타내는 그래프이다.
- 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 투명전극의 제조방법의 순서도이다.
- 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 투명전극의 제조방법에 의해 제조되는 투명전극의 구성도이다.
- 도 7은 릴리즈 기판의 종류에 따른 시트저항을 나타내는 그래프이다.
- 도 8은 릴리즈 기판에 잔존하는 은 나노와이어 네트워크 및 복합재 메쉬의 사진이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0035] 본 발명의 목적, 특정한 장점들 및 신규한 특징들은 첨부된 도면들과 연관되어지는 이하의 상세한 설명과 바람직한 실시예들로부터 더욱 명백해질 것이다. 본 명세서에서 각 도면의 구성요소들에 참조번호를 부가함에 있어서, 동일한 구성 요소들에 한해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 번호를 가지도록 하고 있음에 유의하여야 한다. 또한, "제1", "제2" 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위해 사용되는 것으로, 구성요소가 상기 용어들에 의해 제한되는 것은 아니다. 이하, 본 발명을 설명함에 있어서, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 관련된 공지 기술에 대한 상세한 설명은 생략한다.

- [0037] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시형태를 상세히 설명하기로 한다.
- [0039] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 투명전극의 단면도이고, 도 2는 도 1에 도시된 전도층을 확대한 사진이다.
- [0040] 도 1 내지 도 2에 나타난 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 투명전극은 투명기관(100), 및 네트워크를 형성하는 전도성 나노와이어(10) 및 나노와이어(10)를 서로 접합시키고 다수개의 세공(pore)이 형성된 다공성 나노입자(20)를 포함하고, 투명기관(100)에 배치되는 전도층(200)을 포함한다.
- [0042] 본 발명에 따른 투명전극은 디스플레이나 이를 응용하는 기기 등에 사용되는 전극으로서, 투명기관(100), 및 전도층(200)을 포함한다.
- [0043] 여기서, 투명전극은 전기전도성이 우수하고, 가시광선 영역에서의 광투과율이 80% 이상인 박막소자이다. 투명전극은 광투과도 대비 전도특성에 따라 그 응용분야가 달라지는데, 지금까지 대전방지막, 열반사막, 면발열체, 광전변환소자 및 각종 평판디스플레이의 전극 등으로 사용되어 왔다. 최근에는 유연성과 신축성을 가진 플렉서블 전자기기, 특히 플렉서블(flexible) 디스플레이의 전극으로도 각광받고 있으므로, 본 발명에 따른 투명전극은 이하에서 플렉서블 디스플레이의 투명전극으로 가정하여 설명한다. 다만, 본 발명에 따른 투명전극이 반드시 플렉서블 디스플레이의 전극에 한정되는 것은 아니고, 유기발광다이오드(OLED), 터치패널, 박막히터 등으로 이용될 수도 있다.
- [0045] 한편, 투명기관(100)은 광투과율이 80% 이상인 기관이다. 이러한 투명기관(100)은 투명한 플렉서블 디스플레이에 사용되도록, 유연성을 가질 수 있다. 구체적으로, 투명기관(100)은 경화되어도 자유롭게 구부리거나 접을 수 있는 폴리머(polymer)로 형성될 수 있다. 이러한 폴리머는 예를 들어, 폴리에틸렌 테레프탈레이트(polyethylene terephthalate, PET), 폴리에틸렌 나프탈레이트(polyethylene naphthalate, PEN), 폴리이미드(polyimide, PI), 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane, PDMS), 폴리우레탄(polyurethane) 등일 수 있다. 다만, 폴리머는 투명한 플렉서블 디스플레이에 사용될 있을 정도의 투명성과 유연성을 가지는 한, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0047] 전도층(200)은 투명기관(100)에 배치되는 박막으로서, 전도성 나노와이어(nanowire, 10) 및 다공성 나노입자(20)를 포함한다.
- [0048] 나노와이어(10)는 전도성이 우수한 은(Ag)을 비롯한 금(Au), 구리(Cu) 등 모든 금속성 나노와이어(metal nanowire)를 포함하지만, 은 나노와이어(Ag nanowire, AgNW, 10)가 전도성, 투명성, 유연성 등의 측면에서 가장 바람직하다. 이하에서, 나노와이어(10)는 은 나노와이어(10)로 가정하여 설명하지만, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 은 나노와이어(10)는 종래 투명전극에 사용되는 산화인듐주석(ITO) 박막, 탄소나노튜브를 대체하는 전도성 소재로서, 산화인듐주석(ITO) 박막이나 탄소나노튜브에 비해 전도성뿐만 아니라 유연성이 우수하다. 이러한 은 나노와이어(10)들은 네트워크(network)를 구성하여 대면적의 투명기관(100)에 배치되는데, 이때 다공성 나노입자(20)와 혼합되어 전도층(200)을 이룬다.
- [0049] 여기서, 다공성 나노입자(20)는 나노와이어(10)들을 서로 접합시키고, 다수개의 세공(pore)을 구비한다. 이때, 다공성 나노입자(20)는 나노와이어(10) 네트워크(AgNW networks)에 균일하게 코팅되어 복합재(composite)를 형성한다. 이러한 다공성 나노입자(20)는 에어로겔(aerogel)일 수 있고, 좀 더 구체적으로는, 실리카 에어로겔(silica aerogel)일 수 있다. 다만, 다공성 나노입자(20)가 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 다공성 나노입자(20)는 나노와이어(10) 네트워크 특히, 네트워크의 교차점(junction)에 잘 부착되고, 이로 인해 나노와이어(10)들을 강하게 서로 접합시킨다. 따라서, 전도층(200)은 나노와이어(10) 네트워크에 다공성 나노입자(20)가 혼합된 복합재 메쉬(composite meshes)를 형성한다. 이러한 전도층(200)은 분산액이 릴리즈 기판(release substrate)에 코팅되어 형성되는데, 여기서 분산액은 예를 들어 에탄올 등과 같은 소정의 용매에 나노와이어(10)와 다공성 나노입자(20)가 함께 혼합되어 만들어진 다. 이와 관련된 자세한 사항은 후술한다.
- [0050] 나노입자(20)에 형성된 세공의 직경은 9 ~ 11nm로 관통되어 형성될 수 있다. 이때, 나노입자(20)의 세공은 내부

에 은 원자(Ag atom)가 분산되어, 전도성 채널(conductive channel)을 형성할 수 있다.

- [0052] 여기서, 전도층(200)은 투명기관(100)에 배치된다. 구체적으로, 전도층(200)은 투명기관(200)에 임베디드(embedded)될 수 있다. 이렇게 형성된 본 발명에 따른 투명전극의 전도층(200)은 나노와이어(10)만으로 이루어진 종래 투명전극에 비해 우수한 효과를 가지는데, 이하에서 자세히 설명한다.
- [0054] 본 발명에 따른 투명전극은 전도층(200)이 복합재 메쉬(composite mesh)로 형성되어, 낮은 시트저항을 갖는다.
- [0055] 도 3은 은 나노와이어 네트워크 및 복합재 메쉬의 은 나노와이어의 농도에 따른 시트저항을 나타내는 그래프이다.
- [0056] 도 3에서는, 용매에 은 나노와이어만 혼합된 제1 분산액과 용매에 은 나노와이어와 다공성 나노입자가 혼합된 제2 분산액에서 각각 은 나노와이어의 농도(wt%)를 0.05 wt% 씩 높이면서 시트저항을 측정하였다. 그 결과, 동일한 농도에서 제1 분산액에 의해 형성된 은 나노와이어 네트워크(AgNW networks) 전도층에 비해 제2 분산액에 의해 형성된 복합재 메쉬(Composite meshes) 전도층의 시트저항이 더 낮게 나타났다.
- [0057] 또한, 각각의 경우에 은 나노와이어의 농도(wt%)가 커질수록 시트저항이 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 은 나노와이어 네트워크에는 은 나노와이어 사이에 절연공간이 형성되므로, 은 나노와이어의 농도(wt%)가 커질수록 절연공간이 줄어들기 때문이다. 따라서, 시트저항을 낮추기 위해서는 은 나노와이어의 농도가 높아야 한다. 다만, 은 나노와이어의 농도가 높아지면, 광투과율이 떨어지는 문제가 발생하므로, 은 나노와이어의 농도를 일정 수준에서 제한할 필요가 있다. 이때, 다공성 나노입자가 광투과율에 영향을 미치지 않고, 농도가 낮은 은 나노와이어와 혼합되어, 시트저항을 낮추는 역할을 한다.
- [0059] 또한, 본 발명에 따른 투명전극은 복합재 메쉬의 전도층이 투명기관에 임베디드됨으로써, 반복굽힘에 대한 휨 안정성이 우수하다. 이는 전도층을 구성하는 다공성 나노입자가 투명기관을 형성하는 폴리머 매트릭스(polymer matrix) 내부에 배치되기 때문이다. 구체적으로, 반복굽힘에 따른 압축응력이 작용할 때에, 은 나노와이어는 투명기관의 폴리머 매트릭스 내부로 이동하는데, 이때 다공성 나노입자가 폴리머 매트릭스 내부에 배치되어, 은 나노와이어의 움직임을 최소화하므로, 휨 안정성이 향상된다.
- [0061] 한편, 본 발명에 따른 투명전극은 다공성 나노입자의 농도(wt%)에 대한 은 나노와이어의 농도(wt%)의 비율(ratio)은 0.8 ~ 1.2일 수 있다. 전도층을 구성하는 다공성 나노입자에 대한 은 나노와이어의 농도(wt%)는 시트저항에 영향을 미치므로, 최적의 농도(wt%)를 산출할 필요가 있다.
- [0062] 이와 관련하여, 은 나노와이어의 농도를 0.2 wt%로 고정하고, 다공성 에어로젤의 농도를 0.1 wt%에서부터 0.05%씩 증가하며 시트저항을 측정하였다.
- [0063] 도 4는 다공성 나노입자(에어로젤)의 농도에 따른 시트저항을 나타내는 그래프이다. 도 4에 나타난 바와 같이, 다공성 에어로젤의 농도(wt%)에 대한 은 나노와이어의 농도(wt%)의 비율이 1일 때, 가장 낮은 시트저항을 나타낸다. 이는 다공성 에어로젤의 농도(wt%)에 대한 은 나노와이어의 농도(wt%)의 비율이 1 미만일 때에는, 다공성 에어로젤의 양이 릴리즈 기관에 은 나노와이어를 코팅시키기에 불충분하기 때문으로 분석된다. 반면에, 다공성 에어로젤의 농도(wt%)에 대한 은 나노와이어의 농도(wt%)의 비율이 1을 초과하는 경우에는 너무 많은 다공성 에어로젤이 오히려 전기전도를 방해하므로, 시트저항이 높게 나타난다. 따라서, 혼합과정에서의 오차를 고려할 때에, 다공성 에어로젤의 농도(wt%)에 대한 은 나노와이어의 농도(wt%)의 비율은 0.8 ~ 1.2, 바람직하게는 0.9 ~ 0.1일 때에 최적의 시트저항을 갖는다.
- [0065] 이하에서는, 본 발명에 따른 투명전극의 제조방법에 대해서 설명한다.
- [0066] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 투명전극의 제조방법의 순서도이고, 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 투명전극의 제조방법에 의해 제조되는 투명전극의 구성도이다.
- [0067] 도 5 내지 도 6에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 투명전극의 제조방법은 (A) 네트워크를 형성하는

전도성 나노와이어(10), 및 나노와이어(10)를 서로 접합시키는 다수개의 세공(pore)이 형성된 다공성 나노입자(20)를 혼합하여 분산액(40)을 제조하는 단계(S10), (B) 분산액(40)을 릴리즈 기판(release substrate, 300)에 도포하여 전도층(200)을 형성하는 단계(S20), (C) 전도층(200)에 폴리머(50)를 도포하는 단계(S30), (D) 폴리머(50)를 경화시켜서, 전도층(200)이 임베디드(embeded)된 투명기판(100)을 형성하는 단계(S40), 및 (E) 투명기판(100) 및 전도층(200)으로부터 릴리즈 기판(300)을 제거하는 단계(S50)를 포함한다.

[0068] 상술한 바와 같이, 나노와이어(10)는 은 나노와이어(10)로 가정하여 설명하지만, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 또한, 폴리머(50)도 예를 들어, 폴리에틸렌 테레프탈레이트(polyethylene terephthalate, PET), 폴리에틸렌 나프탈레이트(polyethylene naphthalate, PEN), 폴리이미드(polyimide, PI), 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane, PDMS), 폴리우레탄(polyurethane) 등일 수 있고, 다공성 나노입자(20)는 에어로젤, 구체적으로는 실리카 에어로젤일 수 있지만, 각각 반드시 이에 한정되는 것도 아니다.

[0070] 본 발명에 따른 투명전극의 제조방법은 분산액(40)을 제조하는 단계(S10), 전도층(200)을 형성하는 단계(S20), 폴리머(50)를 도포하는 단계(S30), 투명기판(100)을 형성하는 단계(S40), 및 릴리즈 기판(300)을 제거하는 단계(S50)를 포함한다.

[0071] 분산액(40)을 제조하는 단계(S10)에서 은 나노와이어(10)에 다공성 나노입자(20)를 혼합한다. 구체적으로, 은 나노와이어(10)를 에탄올 용매에 혼합하여 은 나노와이어 용액(30)을 만든다. 이때, 은 나노와이어 용액(30)에서 은 나노와이어(10)의 농도는 0.15 ~ 0.3 wt%이다. 이러한 은 나노와이어 용액(30)에 다공성 나노입자(20)를 혼합하여, 분산액(40)을 제조한다. 이때, 다공성 나노입자(20)의 농도(wt%)에 대한 은 나노와이어(10)의 농도(wt%)의 비율은 상술한 바와 같이 0.8 ~ 1.2이고, 바람직하게는 0.9 ~ 1.1이다.

[0073] 전도층(200)을 형성하는 단계(S20)에서 이렇게 제조된 분산액(40)을 릴리즈 기판(300)에 도포한다. 이때, 분산액(40)은 1000 rpm에서 60초간 스핀코팅 방식으로 도포할 수 있는데, 반드시 이에 한정되는 것은 아니고, 회전 속도와 시간을 다르게 할 수 있고, 다른 공지의 코팅 방식을 이용할 수도 있다. 이렇게 분산액(40)을 릴리즈 기판(300)에 도포한 후에는, 용매를 증발 건조시키기 위해서 열처리를 수행한다. 구체적으로, 열처리는 100℃에서 20분간 이루어지지만, 반드시 이에 한정되는 것은 아니고, 은 나노와이어(10) 및 다공성 나노입자(20)의 농도(wt%)를 고려해 열처리 조건을 정한다. 이러한 열처리를 거쳐 은 나노와이어(10)와 다공성 나노입자(20)가 혼합된 박막 형태의 복합재 메쉬가 형성된다. 상술한 바와 같이, 이때 다공성 나노입자(20)가 은 나노와이어(10)에 결합되어 은 나노와이어(10)들을 서로 접합시키고 복합재 메쉬를 형성하는 것이다. 한편, 다공성 나노입자(20)의 세공은 9 ~ 11nm로 매우 미세하게 형성되는데, 그 내부에 은 나노와이어(10)의 은 원자가 분산되므로, 다공성 나노입자(20)의 세공은 전도성 채널을 형성한다.

[0075] 한편, 폴리머(50)를 도포하는 단계(S30)에서 투명기판(100)이 소재가 되는 폴리머(50)를 전도층(200)에 도포하는데, 이때 스핀코팅 방식으로 도포할 수 있다. 다만, 반드시 스핀코팅 방식에 한정되는 것은 아니고, 모든 공지의 솔루션(solution) 코팅 방식에 의한 도포도 가능하다.

[0077] 폴리머(50)를 도포하는 단계(S30) 이후에, 투명기판(100)을 형성하는 단계(S40)를 거친다. 투명기판(100)을 형성하는 단계(S40)에서는 전도층(200)에 도포된 폴리머(50)를 경화시킨다. 이때, 폴리머(50)는 자외선(UV)에 의해 경화될 수 있다. 구체적으로, 자외선 램프를 이용해서 5분 동안 폴리머(50)를 경화한다. 이렇게 폴리머(50)가 경화됨으로써, 투명기판(100)이 형성되는데, 투명기판(100)에서 요구되는 소정의 조건을 충족하기 위해서, 핫플레이트(hot plate)에서 50℃로 12시간 동안 경화된 폴리머(50)를 열처리할 수도 있다. 한편, 폴리머(50)는 릴리즈 기판(300) 위의 전도층(200)에 도포되어 경화되므로, 전도층(200)은 투명기판(100)에 임베디드된다.

[0079] 투명기판(100)이 형성된 후에는, 릴리즈 기판(300)을 제거하는 단계(S50)를 통해서, 투명기판(100) 및 전도층(200)에서 릴리즈 기판(300)을 제거한다. 이렇게 릴리즈 기판(300)이 제거됨으로써, 본 발명에 따른 투명전극이 제조된다.

- [0081] 한편, 본 발명에 따른 투명전극의 제조방법에 사용되는 릴리즈 기판(300)은 유리 또는 실리콘(Si) 기판일 수 있지만, 시트저항의 측면에서 실리콘 기판이 바람직하다.
- [0082] 도 7은 릴리즈 기판의 종류에 따른 시트저항을 나타내는 그래프이다. 도 7에서, 유리와 실리콘 기판을 각각 릴리즈 기판으로 사용하여, 트랜스퍼(transfer) 전후의 시트저항을 측정하였다. 여기서, 트랜스퍼 이전(Before transfer)은 릴리즈 기판에 전도층이 배치된 상태를 의미하고, 트랜스퍼 이후(After transfer)는 투명기판에 전도층이 임베디드된 상태를 의미한다. 그 결과, 유리를 이용한 릴리즈 기판의 경우에는 트랜스퍼 이후에 시트저항이 트랜스퍼 이전에 비해 상당히 높아진다. 반면에, 실리콘 기판을 릴리즈 기판으로 사용하는 경우에는 트랜스퍼 전후의 시트저항의 차이가 거의 없는 것을 확인했다. 이는 실리콘 기판에 배치되는 전도층이 트랜스퍼 이후에 실리콘 기판에 잔존하지 않고 효과적으로 투명기판에 트랜스퍼되기 때문인 것으로 분석된다.
- [0084] 이때, 다공성 나노입자는 전도층이 투명기판으로 균일하게 트랜스퍼되도록 한다.
- [0085] 도 8은 릴리즈 기판에 잔존하는 은 나노와이어 네트워크 및 복합재 메쉬의 사진이다. 도 8에서, 은 나노와이어로 구성된 은 나노와이어 네트워크(AgNW networks) 전도층과 은 나노와이어와 다공성 나노입자가 혼합된 복합재 메쉬(Composite meshes) 전도층을 각각 트랜스퍼한 경우에 릴리즈 기판에 남아있는 전도층을 촬영하였다. 그 결과, 도 8의 (a)의 은 나노와이어 네트워크 전도층에 잔존하는 은 나노와이어 네트워크는 릴리즈 기판의 전영역에 걸쳐 불균일하게 나타났다. 이에 반해, 도 8의 (b)의 복합재 메쉬 전도층에 잔존하는 은 나노와이어 네트워크는 릴리즈 기판에서 거의 확인이 되지 않았다. 즉, 다공성 나노입자가 은 나노와이어와 상호작용을 하여, 전도층을 투명기판으로 균일하게 트랜스퍼하고, 이때 트랜스퍼 효율도 향상시킨다. 이는 용매에 혼합되고, 릴리즈 기판에서 건조될 때에, 은 나노와이어들은 그 자체의 응집력으로 인해서 자기들끼리 서로 엉키는데, 다공성 나노입자가 이러한 엉킴 현상을 방지하고, 투명기판을 구성하는 폴리머 매트릭스 내부에 균일하게 분산되기 때문으로 분석된다.
- [0086] 또한, 다공성 나노입자는 은 나노와이어와 함께 복합재 메쉬를 이루며, 균일하게 투명기판에 임베디드되므로, 투명기판의 표면조도를 향상시킨다. 투명기판의 표면이 매우 거친 경우 즉, 표면조도가 큰 경우에는 누설전류가 생기고, 발광표시소자의 휘도가 불균일해진다. 또한, 회로를 구성하는 패터닝 공정에서 좁고 정교한 선폭으로 가공이 어려운 문제를 야기시킨다. 하지만, 본 발명에 따른 전도층은 다공성 나노입자가 은 나노와이어에 결합하여 균일하게 투명기판에 임베디드되므로, 본 발명에 따른 투명전극의 표면조도가 향상된다.
- [0087] 부가적으로, 전도층이 투명기판의 전영역에 걸쳐 균일하게 분산되므로, 전도층은 히팅영역(heating area)이 넓고, 다공성 나노입자 특히, 실리카 에어로겔의 우수한 단열성으로 인해서, 높은 온도까지 고속으로 가열되고 천천히 냉각된다.
- [0089] 종합적으로 설명하면, 본 발명에 따른 투명전극은 은 나노와이어 및 다공성 나노입자(특히, 실리카 에어로겔)가 복합재 메쉬를 형성하여, 투명기판에 임베디드됨으로써, 시트저항이 낮아져 전기전도성이 높고, 표면조도가 향상된다. 또한, 투명기판과의 접착력이 향상되어 트랜스퍼 효율이 증가하고, 균일한 분산도를 얻을 수 있다. 뿐만 아니라, 반복굽힘에 대한 휨 안정성과, 히팅 성능(heating performance)을 향상시킨다.
- [0091] 이상 본 발명을 구체적인 실시예를 통하여 상세히 설명하였으나, 이는 본 발명을 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명은 이에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상 내에서 당 분야의 통상의 지식을 가진 자에 의해 그 변형이나 개량이 가능함이 명백하다.
- [0093] 본 발명의 단순한 변형 내지 변경은 모두 본 발명의 영역에 속한 것으로 본 발명의 구체적인 보호 범위는 첨부된 특허청구범위에 의하여 명확해질 것이다.

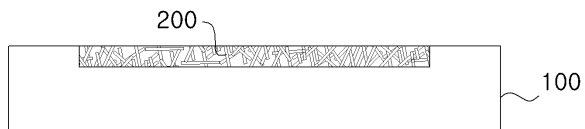
부호의 설명

[0095]

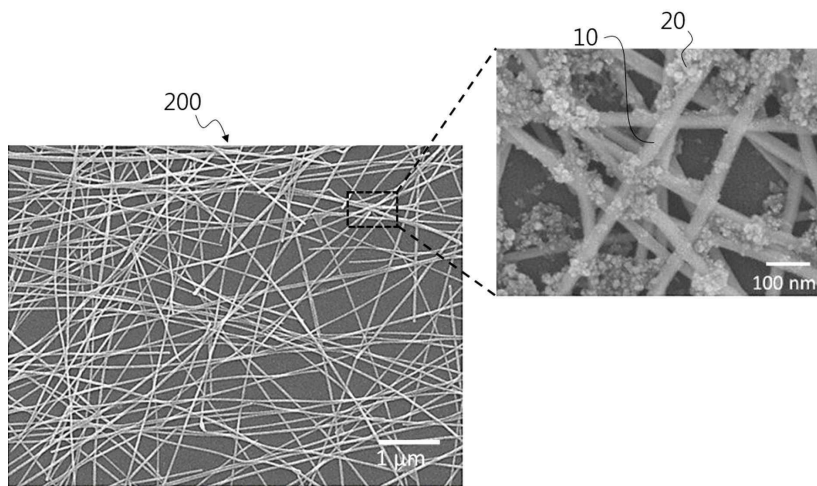
10: 나노와이어 20: 나노입자
 30: 나노와이어 용액 40: 분산액
 50: 폴리머 100: 투명기판
 200: 전도층 300: 릴리즈 기판

도면

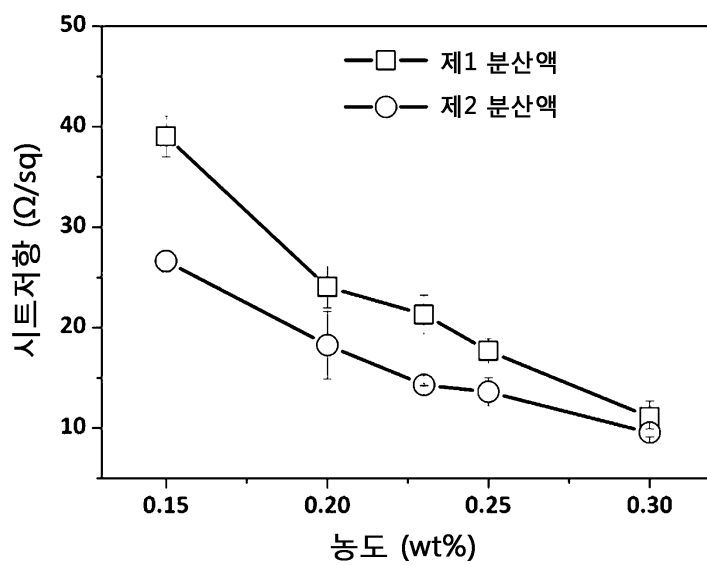
도면1



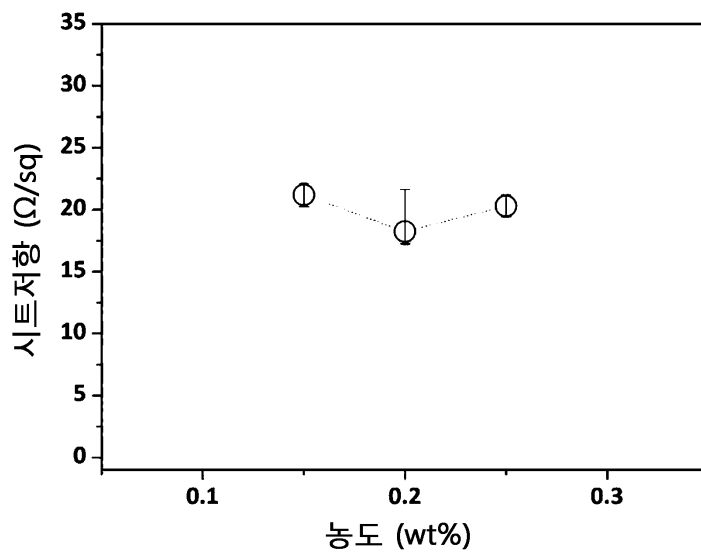
도면2



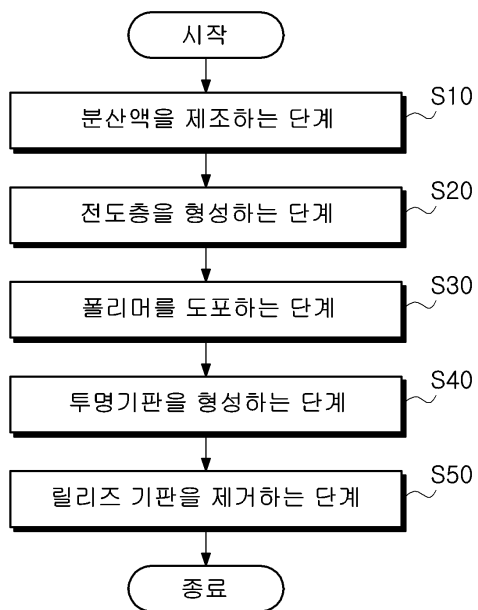
도면3



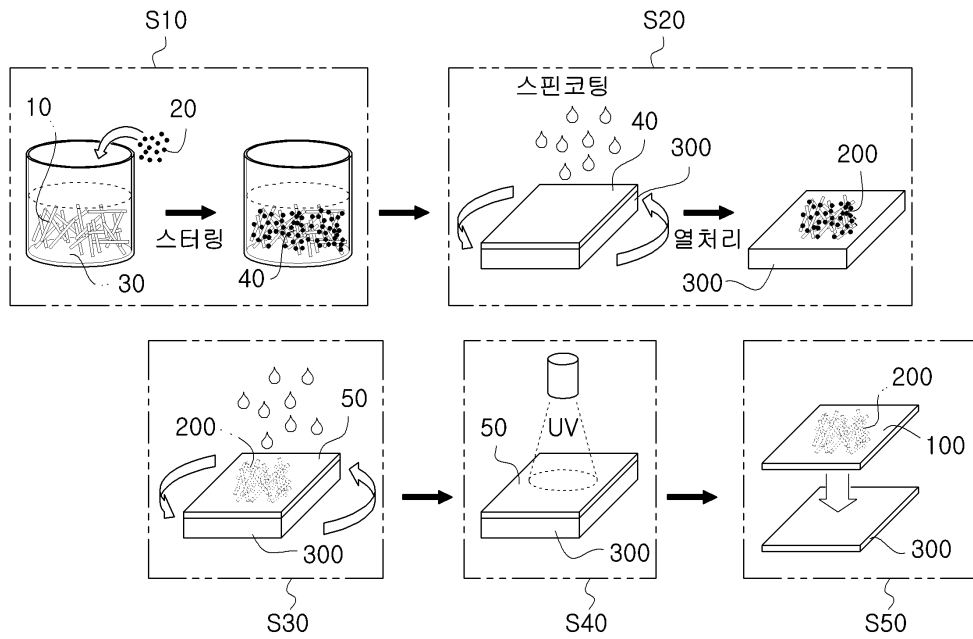
도면4



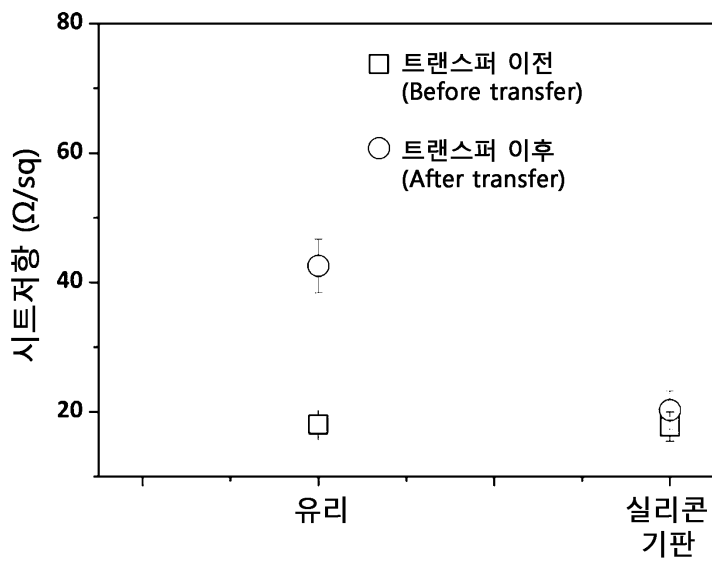
도면5



도면6

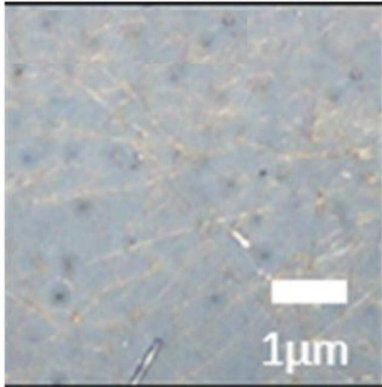


도면7



도면8

(a)



(b)

