



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0016591
 (43) 공개일자 2017년02월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01B 5/14 (2006.01) *H01B 1/02* (2006.01)
H01B 1/08 (2006.01) *H01B 13/00* (2006.01)
 (52) CPC특허분류
H01B 5/14 (2013.01)
H01B 1/02 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2015-0109865
 (22) 출원일자 2015년08월04일
 심사청구일자 2015년08월04일

(71) 출원인
인천대학교 산학협력단
 인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
 (72) 발명자
김준동
 인천광역시 연수구 송도과학로51번길 136, 202동 1301호 (송도동, 캐슬&해모로)
김홍식
 충청남도 천안시 동남구 터미널9길 59, 201동 401호 (신부동, 대림한들아파트)
파텔 말케시쿠마르
 인천광역시 연수구 아카데미로 119, 404호 (송도동)
 (74) 대리인
특허법인가산

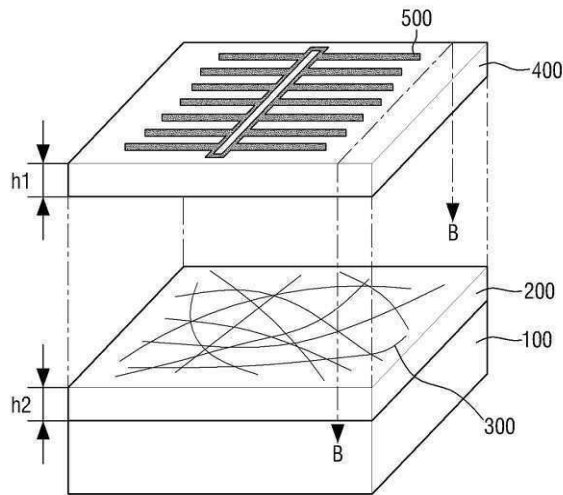
전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 **투명 전극 및 그 제조방법**

(57) 요약

투명 전극 및 그 제조방법을 제공한다. 상기 투명 전극은 하나의 물질로 형성되는 나노 구조체 및 상기 나노 구조체 상에 상기 나노 구조체의 형상을 유지시키도록 코팅되는 제1 투명 전도체를 포함하되, 상기 나노 구조체는 결정질이다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

H01B 1/08 (2013.01)

H01B 13/0016 (2013.01)

H01B 13/0026 (2013.01)

H01B 13/0033 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 KETEP-20133030011000

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국에너지기술평가원

연구사업명 에너지기술개발사업

연구과제명 투명 전도체 나노 렌즈를 이용한 태양전지 성능 향상 기술개발

기여율 1/1

주관기관 인천대학교

연구기간 2013.12.01 ~ 2016.10.31

명세서

청구범위

청구항 1

하나의 물질로 형성되는 나노 구조체; 및
상기 나노 구조체 상에 상기 나노 구조체의 형상을 유지시키도록 코팅되는 제1 투명 전도체를 포함하되,
상기 나노 구조체는 결정질(Crystalline)인 투명 전극.

청구항 2

제 1항에 있어서,
상기 나노 구조체 아래에 위치하고, 상기 제1 투명 전도체의 하면과 결합되어 상기 나노 구조체를 코팅하는 제2 투명 전도체를 더 포함하는 투명 전극.

청구항 3

제 2항에 있어서,
상기 제2 투명 전도체는 상기 제1 투명 전도체와 동일한 물질을 포함하는 투명 전극.

청구항 4

제 2항에 있어서,
상기 제2 투명 전도체는 ITO(Indium-tin-oxide), AZO(Aluminum-zinc-oxide), 산화주석(tin-oxide), 산화 인듐(In_2O_3), Pt, Au 또는 IZO(Indium-zinc-oxide) 중에서 적어도 하나를 포함하는 투명 전극.

청구항 5

제 2항에 있어서,
상기 나노 구조체는 상기 제2 투명 전도체의 표면의 10 내지 70%를 덮는 투명 전극.

청구항 6

제 2항에 있어서,
상기 제2 투명 전도체 아래에 형성되는 기판을 더 포함하는 투명 전극.

청구항 7

제 2항에 있어서,
상기 나노 구조체의 표면은 상기 제1 및 제2 투명 전도체에 의해 완전히 둘러싸이는 투명 전극.

청구항 8

제1 항에 있어서,
상기 나노 구조체 아래에 형성되는 기판을 더 포함하고,
상기 나노 구조체의 표면은 상기 제1 투명 전도체 및 상기 기판에 의해 완전히 둘러싸이는 투명 전극.

청구항 9

제 1항에 있어서,
상기 나노 구조체는 Ag, Ni, Au, Al, Cu, 실리사이드(Silicide) 및 저마나이드(Germanide) 중 어느 하나를 포

함하는 투명 전극.

청구항 10

제 1항에 있어서,

상기 나노 구조체는 나노 와이어 및 나노 입자 중 적어도 하나를 포함하는 투명 전극.

청구항 11

제 1항에 있어서,

상기 제1 투명 전도체는 ITO(Indium-tin-oxide), AZO(Aluminum-zinc-oxide), 산화주석(tin-oxide), 산화 인듐(In_2O_3), Pt, Au 또는 IZO(Indium-zinc-oxide) 중에서 적어도 하나를 포함하는 투명 전극.

청구항 12

제 1항에 있어서,

상기 제1 투명 전도체의 두께는 10 내지 500nm인 투명 전극.

청구항 13

하나의 물질로 형성되는 나노 구조체를 형성하고,

상기 나노 구조체 상에 제1 투명 전도체를 형성하여 상기 나노 구조체를 코팅하는 것을 포함하되, 상기 제1 투명 전도체는 결정질인 투명 전극 제조 방법.

청구항 14

제 13항에 있어서,

상기 제1 투명 전도체는 ITO(Indium-tin-oxide), AZO(Aluminum-zinc-oxide), 산화주석(tin-oxide), 산화 인듐(In_2O_3), Pt, Au 또는 IZO(Indium-zinc-oxide) 중에서 적어도 하나를 포함하는 투명 전극 제조 방법.

청구항 15

제 13항에 있어서,

상기 나노 구조체는 나노 입자 및 나노 와이어 중 적어도 하나를 포함하는 투명 전극 제조 방법.

청구항 16

제 13항에 있어서,

상기 나노 구조체를 형성하는 것은,

제2 투명 전도체를 형성하고,

상기 제2 투명 전도체 상에 상기 나노 구조체를 형성하는 것을 포함하는 투명 전극 제조 방법.

청구항 17

제 16항에 있어서,

상기 제1 투명 전도체를 형성하는 것은,

상기 제1 투명 전도체를 200 내지 900℃ 사이에서 증착하는 것을 포함하고,

상기 제2 투명 전도체를 형성하는 것은 상기 제2 투명 전도체를 200 내지 900℃ 사이에서 증착하는 것을 포함하는 투명 전극 제조 방법.

청구항 18

제 16항에 있어서,

상기 제1 투명 전도체 및 제2 투명 전도체를 형성하는 것은,

상기 제1 투명 전도체 및 제2 투명 전도체를 상온(Room temperature)에서 증착하고,

증착된 상기 제1 투명 전도체 및 제2 투명 전도체를 200 내지 900℃ 사이에서 열처리하는 것을 포함하는 투명 전극 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 투명 전극 및 그 제조방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 열 안정성과 유연성 및 광 포집력이 우수한 투명 전극 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 투명 전도성 전극(TCEs; Transparent Conductive Electrodes)의 중요성은 터치 패널, 평판 디스플레이, 다른 광전자 소자 등의 응용을 위해 그 중요성이 날로 커져가고 있다. TCO(Transparent conductor oxide)는 유기 태양전지 등의 분야에서 현재 투명 전극으로 가장 폭넓게 사용되는 재료이지만 단독으로 사용하는 경우에는 소성 재료이므로 공정 온도가 높고 외부의 물리적인 자극에 의하여 깨지기 쉬우며 힘 변형 등에 취약하다. 또한 폴리머 기판 위에 코팅했을 때 기판을 구부리면 막이 부서지는 단점이 있다.

[0003] 최근 이러한 TCO의 문제점들을 해결하기 위한 방안으로 플렉서블 투명 전극이면서 TCO를 대체 할 수 있는 재료 주목 받고 있는 것에 전도성 고분자, 탄소 나노 튜브, 그래핀, 그리고 금속 나노와이어 및 나노 입자가 있다. 그러나 탄소 나노 튜브 또는 그래핀은 전도도가 낮고 투과도 향상이 어렵다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 상기와 같은 문제점들을 극복하고 유연성이 개선된 투명 전극을 제공하는 것이다.

[0005] 본 발명이 해결하고자 하는 다른 과제는, 상기와 같은 문제점들을 극복하고 유연성이 개선된 투명 전극 제조 방법을 제공하는 것이다.

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 과제들은 이상에서 언급한 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 전극은 하나의 물질로 형성되는 나노 구조체 및 상기 나노 구조체 상에 상기 나노 구조체의 형상을 유지시키도록 코팅되는 제1 투명 전도체를 포함하되, 상기 나노 구조체는 결정질(Crystalline)이다.

[0008] 상기 다른 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 전극 제조 방법은 하나의 물질로 형성되는 나노 구조체를 형성하고, 상기 나노 구조체 상에 제1 투명 전도체를 형성하여 상기 나노 구조체를 코팅하는 것을 포함하되, 상기 제1 투명 전도체는 결정질이다.

[0009] 기타 실시예들의 구체적인 사항들은 상세한 설명 및 도면들에 포함되어 있다.

발명의 효과

[0010] 본 발명의 일 실시예에 의하면 적어도 다음과 같은 효과가 있다.

[0011] 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 전극은 유연성이 개선되고 빛에 대한 표면적이 넓어 광 포집력을 향상시킬 수 있다.

[0012] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 전극은 열 안정성이 개선되어 높은 온도에서의 가공도 가능할 수 있다.

[0013] 본 발명에 따른 효과는 이상에서 예시된 내용에 의해 제한되지 않으며, 더욱 다양한 효과들이 본 명세서 내에

포함되어 있다.

도면의 간단한 설명

- [0014] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 전극의 구조를 설명하기 위한 부분 분해 사시도이다.
- 도 2는 도 1의 A-A를 따라 절단한 단면도이다.
- 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 투명 전극의 구조를 설명하기 위한 부분 분해 사시도이다.
- 도 4는 도 3의 B-B를 따라 절단한 단면도이다.
- 도 5는 비교예 1의 투명 전극의 구조를 설명하기 위한 사시도이다.
- 도 6은 비교예 2의 투명 전극의 구조를 설명하기 위한 부분 분해 사시도이다.
- 도 7은 도 3의 투명 전극, 비교예 1 및 2의 투명 전극의 파장에 따른 투과도를 설명하기 위한 그래프이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 전극 제조 방법의 열처리 공정을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 9는 비교예 2의 투명 전극의 열처리 후의 나노 와이어를 설명하기 위한 평면도이다.
- 도 10은 도 3의 투명 전극의 열처리 후의 나노 와이어를 설명하기 위한 평면도이다.
- 도 11은 도 3의 투명 전극과 비교예 2의 투명 전극의 전압 전류 특성을 설명하기 위한 그래프이다.
- 도 12는 도 3의 투명 전극과 비교예 2의 투명 전극의 반사도를 설명하기 위한 그래프이다.
- 도 13은 도 3의 투명 전극과 비교예 2의 투명 전극의 외부양자효율(EQE)을 설명하기 위한 그래프이다.
- 도 14는 도 3의 투명 전극과 비교예 2의 투명 전극의 내부양자효율(IQE)을 설명하기 위한 그래프이다.
- 도 15는 도 3의 투명 전극과 비교예 2의 투명 전극의 600nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이다.
- 도 16은 도 3의 투명 전극과 비교예 2의 투명 전극의 900nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이다.
- 도 17은 도 3의 투명 전극과 비교예 2의 투명 전극의 외부양자효율(EQE)의 파장 구간을 설명하기 위한 그래프이다.
- 도 18은 비교예 1의 투명 전극과 비교예 2의 투명 전극의 900nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이다.
- 도 19 내지 도 22는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 전극 제조 방법을 설명하기 위한 중간 단계 도면들이다.
- 도 23은 온도에 따른 투명 전도체의 저항을 설명하기 위한 그래프이다.
- 도 24는 온도에 따른 투명 전도체의 투과도를 설명하기 위한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.
- [0016] 비록 제1, 제2 등이 다양한 소자, 구성요소 및/또는 섹션들을 서술하기 위해서 사용되나, 이들 소자, 구성요소 및/또는 섹션들은 이들 용어에 의해 제한되지 않음은 물론이다. 이들 용어들은 단지 하나의 소자, 구성요소 또는 섹션들을 다른 소자, 구성요소 또는 섹션들과 구별하기 위하여 사용하는 것이다. 따라서, 이하에서 언급되는 제1 소자, 제1 구성요소 또는 제1 섹션은 본 발명의 기술적 사상 내에서 제2 소자, 제2 구성요소 또는 제2 섹션일 수도 있음은 물론이다.
- [0017] 소자(elements) 또는 층이 다른 소자 또는 층의 "위(on)" 또는 "상(on)"으로 지칭되는 것은 다른 소자 또는 층

의 바로 위뿐만 아니라 중간에 다른 층 또는 다른 소자를 개재한 경우를 모두 포함한다. 반면, 소자가 "직접 위(directly on)" 또는 "바로 위"로 지칭되는 것은 중간에 다른 소자 또는 층을 개재하지 않은 것을 나타낸다.

- [0018] 공간적으로 상대적인 용어인 "아래(below)", "아래(beneath)", "하부(lower)", "위(above)", "상부(upper)" 등은 도면에 도시되어 있는 바와 같이 하나의 소자 또는 구성 요소들과 다른 소자 또는 구성 요소들과의 상관관계를 용이하게 기술하기 위해 사용될 수 있다. 공간적으로 상대적인 용어는 도면에 도시되어 있는 방향에 더하여 사용시 또는 동작시 소자의 서로 다른 방향을 포함하는 용어로 이해되어야 한다. 예를 들면, 도면에 도시되어 있는 소자를 뒤집을 경우, 다른 소자의 "아래(below 또는 beneath)"로 기술된 소자는 다른 소자의 "위(above)"에 놓여질 수 있다. 따라서, 예시적인 용어인 "아래"는 아래와 위의 방향을 모두 포함할 수 있다. 소자는 다른 방향으로도 배향될 수 있으며, 이 경우 공간적으로 상대적인 용어들은 배향에 따라 해석될 수 있다.
- [0019] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [0020] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.
- [0021] 이하, 도 1 및 도 2를 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 전극을 설명한다.
- [0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 전극의 구조를 설명하기 위한 부분 분해 사시도이고, 도 2는 도 1의 A-A를 따라 절단한 단면도이다.
- [0023] 도 1을 참고하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 전극은 기판(100), 나노 구조체(300), 제1 투명 전도체(400) 및 상부 전극(500)을 포함한다.
- [0024] 구체적으로, 기판(100)은 유리 기판 또는 실리콘(Si) 기판, 게르마늄(Ge) 기판 등의 단일 반도체 기판일 수도 있고, 갈륨비소(GaAs)기판과 같이 화합물 반도체 기판일 수도 있다. 또는 기판(100)은 예를 들어 유연 기판(flexible substrates)일 수도 있다. 단, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0025] 나노 구조체(300)는 기판(100) 상에 위치할 수 있다. 나노 구조체(300)는 나노 와이어(nano wire) 또는 나노 입자(nano particle)를 포함할 수 있다. 도 1의 나노 구조체(300)는 예시적으로 나노 와이어를 포함하는 것으로 도시하였다. 나노 구조체(300)는 하나의 물질로 형성될 수 있다. 나노 구조체(300)는 순수한 금속, 실리사이드(Silicide) 및 저마나이드(Germanide) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 상기 금속은 예를 들어, Ag, Ni, Al, Cu 및 Au 중 적어도 하나일 수 있다. 단, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0026] 나노 구조체(300)가 기판(100) 상에 위치함에 따라 빛에 대한 표면적이 넓어지고, 투명 전극의 유연성이 증가할 수 있다. 즉, 나노 구조체(300)의 표면은 일반적인 투명 전극의 표면보다 넓으므로 빛을 받아들이는 수용 면적이 상대적으로 증가하게 된다. 이에 따라 투명 전극의 광 포집력이 우수해진다.
- [0027] 또한, 나노 구조체(300)가 투명 전극에 포함됨에 따라서, 투명 전극의 유연성이 증가할 수 있다. 즉, 투명 전극에 가해지는 외력에 대해서 투명 전극이 파손되지 않고 버티는 정도가 증가할 수 있다. 따라서, 투명 전극의 내구성이 증가할 수 있다.
- [0028] 나노 구조체(300)는 기판(100)의 상면의 일부를 덮을 수 있다. 즉, 나노 구조체(300)는 입자 또는 와이어 구조이므로, 각각의 입자 또는 와이어 사이의 틈을 통해서 기판(100)의 상면이 노출될 수 있다. 따라서 나노 구조체(300)는 기판(100)의 상면을 전부 덮지는 못하므로, 기판(100)의 상면의 일부는 나노 구조체(300)와 오버랩되지 않을 수 있다. 나노 구조체(300)는 예를 들어, 기판(100)의 표면의 10 내지 70%를 덮을 수 있다. 나노 구조체(300)가 기판(100)의 표면을 너무 많이 덮으면 투과도가 낮아질 수 있고, 나노 구조체(300)가 기판(100)의 표면을 너무 조금 덮으면 투명 전극의 유연성 및 내구성이 약해질 수 있다.
- [0029] 제1 투명 전도체(400)는 기판(100) 상에 형성될 수 있다. 제1 투명 전도체(400)는 투명한 도전체 물질로 형성될 수 있다. 제1 투명 전도체(400)는 예를 들어, ITO(Indium-tin-oxide), AZO(Aluminum-zinc-oxide), 산화주석(tin-oxide), 산화 인듐(In₂O₃), Pt, Au 또는 IZO(Indium-zinc-oxide) 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다.

- [0030] 제1 투명 전도체(400)는 결정질(Crystalline)일 수 있다. 제1 투명 전도체(400)는 200 내지 900℃ 의 온도에서 증착되거나 열처리될 수 있다. 이에 따라, 비정질(amorphous)에서 결정질로 결정화 될 수 있다. 결정질인 제1 투명 전도체(400)는 비정질의 상태에서보다 투과도가 높을 수 있다.
- [0031] 한편, 상기 제1 투명 전도체(400)의 높이(h1)는 특별히 한정되는 것은 아니지만, 예를 들어, 10 nm 내지 500 nm 범위일 수 있다. 제1 투명 전도체(400)의 높이(h1)가 10nm 미만인 경우 전기 전도성이 충분치 않고, 입사광에 대한 반사율 저감 효과가 줄어들 수 있어 바람직하지 않다. 또한, 제1 투명 전도체(400)의 높이(h1)가 500 nm 이상인 경우, 전기 전도도는 높아지지만, 광전반응에 의해 발생하는 전자의 포집 성능이 낮아져 광전 소자의 성능을 저하시킬 수 있다. 나아가, 제1 투명 전도체(400)가 너무 두꺼우면, 반사율의 저감 효과가 줄어들 수 있어 바람직하지 않다.
- [0032] 기존의 소자의 경우, 같은 물질을 도핑하여 PN 또는 PIN접합을 사용하였으나, 본 발명의 투명 전극은 이종접합(heterojunction)을 사용할 수 있다. 광 다이오드의 제조시에 도핑 공정을 이용하는 경우, 캐리어의 재결합(recombination)에 의한 손실이 클 수 있다. 그러나, 도핑 공정이 없는 이종접합(heterojunction)의 경우에는 캐리어의 손실률을 줄일 수 있다. 더욱이, ITO 등의 투명 전도체는 전기 전도성이 우수하고, 빛의 투과성도 우수하므로 이종접합 소자로서 빈번하게 사용된다.
- [0033] 투명 전극의 기관(100)과, 나노 구조체(300) 및 제1 투명 전도체(400) 내에서 전자들이 비대칭적으로 존재한다. 열적 평형상태에서 제1 투명 전도체(400)와 기관(100)의 접합으로 이루어진 다이오드 영역 내에서는 캐리어의 농도 구배에 의한 확산으로 전하의 불균형이 생기고, 이로 인해 전기장(electric field)이 형성된다.
- [0034] 이에, 제1 투명 전도체(400)와 기관(100)의 접합으로 이루어진 다이오드 영역 내부로, 다이오드 영역을 이루는 물질의 전도대(conduction band)와 가전자대(valence band) 사이의 에너지 차이인 밴드갭 에너지(band gap energy)보다 큰 에너지를 갖는 빛이 조사되었을 경우, 빛 에너지를 받은 전자들은 가전자대에서 전도대로 여기(excite)되며, 전도대로 여기된 전자들은 자유롭게 이동할 수 있게 된다.
- [0035] 구체적으로, 제1 투명 전도체(400) 및 나노 구조체(300)는 빛을 투과할 수 있으므로, 반사되지 않은 빛은 기관(100)에 도달할 수 있다. 도달된 빛에 의해 여기된 전자들은 기관(100)에서 비저항의 차이에 의해 제1 투명 전도체(400)로 쉽게 이동할 수 있다.
- [0036] 예를 들어, 기관(100)의 재질이 p형 실리콘인 경우 그 비저항은 약 1 내지 10 Ωcm가 될 수 있다. 제1 투명 전도체(400)가 ITO재질인 경우, 상기 실리콘의 비저항보다 훨씬 작은 비저항을 가질 수 있다.
- [0037] 이에 따라, 상기 여기된 전자들은 저항이 작은 제1 투명 전도체(400)로 쉽게 이동할 수 있다. 따라서, 다수의 전자가 기관(100)에서 제1 투명 전도체(400)로 이동하게 된다.
- [0038] 따라서, 상기 여기된 전자의 확산에 의해 다이오드 영역 내부에 전압차(potential difference)가 생기게 되며, 다이오드 영역 양측에 위치하는 상부 전극(500)을 외부 회로에 연결하여 기전력을 활용할 수 있다.
- [0039] 상부 전극(500)은 제1 투명 전도체(400) 상에 형성될 수 있다. 상부 전극(500)은 제1 투명 전도체(400)와 전기적으로 접촉될 수 있다. 상부 전극(500)은 도전성 물질로 형성될 수 있다. 예를 들어, 상부 전극(500)은 금속을 포함할 수 있다. 예를 들어, 상부 전극(500)은 Ag, Au, Pt, Al 또는 Cu일 수 있다. 단, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0040] 도시되진 않았지만, 기관(100)의 타면에 하부 전극이 형성될 수 있다. 하부 전극은 도전성 물질로 형성될 수 있다. 바람직하게는 하부 전극은 금속일 수 있다. 예를 들어, 하부 전극은 Ag, Au, Pt, Al 또는 Cu일 수 있다. 단, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0041] 도 2를 참고하면, 본 발명의 나노 구조체(300)는 제1 투명 전도체(400)에 의해서 완전히 코팅될 수 있다. 즉, 나노 구조체(300)의 표면은 기관(100)과 제1 투명 전도체(400)에 의해서 완전히 둘러싸일 수 있다. 이에 따라, 나노 구조체(300)는 그 형상이 훼손되지 않고 유지될 수 있다. 제1 투명 전도체(400)는 나노 구조체(300)의 상면뿐만 아니라 그 사이사이를 채울 수 있다. 즉, 나노 구조체(300)와 제1 투명 전도체(400)는 일체로 하나의 투명전극의 역할을 할 수 있다.
- [0042] 이하, 도 3 및 도 4를 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 투명 전극을 설명한다. 상술한 도 1의 실시예와 중복되는 부분은 생략하거나 간략히 한다.
- [0043] 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 투명 전극의 구조를 설명하기 위한 부분 분해 사시도이고, 도 4는 도 3의

B-B를 따라 절단한 단면도이다.

- [0044] 도 3을 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 투명 전극은 제2 투명 전도체(200)를 더 포함한다.
- [0045] 제2 투명 전도체(200)는 기판(100) 상에 형성될 수 있다. 제2 투명 전도체(200)는 기판(100) 상에 컨포멀하게 형성될 수 있다. 제2 투명 전도체(200)는 투명한 도전체 물질로 형성될 수 있다. 제2 투명 전도체(200)는 예를 들어, ITO(Indium-tin-oxide), AZO(Aluminum-zinc-oxide), 산화주석(tin-oxide), 산화 인듐(In2O3), Pt, Au 또는 IZO(Indium-zinc-oxide) 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0046] 한편, 상기 제2 투명 전도체(200)의 높이(h2)는 특별히 한정되는 것은 아니지만, 예를 들어, 10 nm 내지 500 nm 범위일 수 있다. 제2 투명 전도체(200)의 높이(h2)가 10nm 미만인 경우 전기 전도성이 충분치 않고, 입사광에 대한 반사율 저감 효과가 줄어들 수 있어 바람직하지 않다. 또한, 제2 투명 전도체(200)의 높이(h2)가 500 nm 이상인 경우, 전기 전도도는 높아지지만, 광전반응에 의해 발생하는 전자의 포집 성능이 낮아져 광전 소자의 성능을 저하시킬 수 있다. 나아가, 제2 투명 전도체(200)가 너무 두꺼우면, 반사율의 저감 효과가 줄어들 수 있어 바람직하지 않다.
- [0047] 제2 투명 전도체(200) 상에 나노 구조체(300)가 형성될 수 있다. 그 위에 제1 투명 전도체(400)가 형성될 수 있다. 이에 따라, 나노 구조체(300)는 제2 투명 전도체(200)와 제1 투명 전도체(400)의 사이에 위치할 수 있다. 나노 구조체(300)는 제2 투명 전도체(200)와 제1 투명 전도체(400)에 의해서 코팅될 수 있다. 나노 구조체(300)는 제2 투명 전도체(200)와 제1 투명 전도체(400)의 코팅에 의해서 그 형상이 유지될 수 있다.
- [0048] 나노 구조체(300)는 제2 투명 전도체(200)의 상면의 일부를 덮을 수 있다. 나노 구조체(300)는 제2 투명 전도체(200)의 상면을 전부 덮지는 못하므로, 제2 투명 전도체(200)의 상면의 일부는 나노 구조체(300)와 오버랩되지 않을 수 있다. 즉, 나노 구조체(300)는 입자 또는 와이어 구조이므로, 각각의 입자 또는 와이어 사이의 틈을 통해서 제2 투명 전도체(200)의 상면이 노출될 수 있다. 따라서 나노 구조체(300)는 예를 들어, 제2 투명 전도체(200)의 표면의 10 내지 70%를 덮을 수 있다. 나노 구조체(300)가 제2 투명 전도체(200)의 표면을 너무 많이 덮으면 투과도가 낮아질 수 있고, 나노 구조체(300)가 제2 투명 전도체(200)의 표면을 너무 조금 덮으면 투명 전극의 유연성 및 내구성이 약해질 수 있다.
- [0049] 제2 투명 전도체(200)의 두께(h2)는 제1 투명 전도체(400)의 두께(h1)와 같을 수 있다. 이에 따라, 나노 구조체(300)는 제2 투명 전도체(200) 및 제1 투명 전도체(400)가 결합된 구조에서 수직적으로 중심부에 위치할 수 있다. 단, 이에 제한되는 것은 아니고, 제2 투명 전도체(200)의 두께(h2)와 제1 투명 전도체(400)의 두께(h1)는 서로 다를 수도 있다.
- [0050] 도 4를 참고하면, 본 발명의 나노 구조체(300)는 제1 투명 전도체(400) 및 제2 투명 전도체(200)에 의해서 완전히 코팅될 수 있다. 즉, 나노 구조체(300)의 표면은 제2 투명 전도체(200)와 제1 투명 전도체(400)에 의해서 완전히 둘러싸일 수 있다. 이에 따라, 나노 구조체(300)는 그 형상이 훼손되지 않고 유지될 수 있다. 제1 투명 전도체(400) 및 제2 투명 전도체(300)는 나노 구조체(300)의 상면뿐만 아니라 그 사이사이를 채울 수 있다. 즉, 나노 구조체(300)와 제1 투명 전도체(400) 및 제2 투명 전도체(200)는 일체로 하나의 투명전극의 역할을 할 수 있다.
- [0051] 제2 투명 전도체(200)는 제1 투명 전도체(400)와 결합될 수 있다. 즉, 제2 투명 전도체(200)의 상면과 제1 투명 전도체(400)의 하면이 결합할 수 있다. 단, 제2 투명 전도체(200)의 상면의 일부는 나노 구조체(300)에 의해서 커버되므로 나노 구조체(300)에 의해서 커버되지 않는 제2 투명 전도체(200)의 상면의 일부가 제1 투명 전도체(400)의 하면과 결합될 수 있다.
- [0053] **실시예 1**
- [0054] p형 실리콘 웨이퍼를 기판으로 사용하였다. 기판 상에 도 2에 도시되었듯이, ITO(Indium-tin-oxide)재질의 제2 투명 전도체(200)를 형성한다. 제2 투명 전도체(200)는 100nm의 두께로 형성되었다. 그 위에 은 나노 와이어를 배치하고, 다시 제1 투명 전도체(400)를 ITO 재질로 형성한다. 제1 투명 전도체(400)는 100nm의 두께로 형성되었다. 제1 투명 전도체(400) 상에 상부 전극(500)을 형성한다.

[0056] **비교예 1**

[0058] 도 5는 비교예 1의 투명 전극의 구조를 설명하기 위한 사시도이다. 도 5를 참고하면, 제2 투명 전도체(200)와 나노 구조체(300)를 형성하지 않고, ITO 재질의 제1 투명 전도체(400)를 기판(100) 상에 바로 형성하였다. 제1 투명 전도체(400)는 200nm의 두께로 형성되어 실시예 1과 직접적인 비교가 가능하도록 하였다. 제1 투명 전도체(400) 상에 상부 전극(500)을 형성하였다.

[0060] **비교예 2**

[0062] 도 6은 비교예 2의 투명 전극의 구조를 설명하기 위한 부분 분해 사시도이다. 도 6을 참고하면, 제2 투명 전도체(200) 및 제1 투명 전도체(400)를 형성하지 않고, 은 나노 와이어 재질의 나노 구조체(300)를 기판(100) 상에 바로 형성하였다. 나노 구조체(300) 상에 상부 전극(500)을 형성하였다.

[0064] **실험예 1**

[0065] 상기 실시예 1 및 비교예 1 내지 2의 투명 전극의 투과율을 입사광의 파장에 따라 측정하였다.

[0066] 도 7은 도 3의 투명 전극, 비교예 1 및 2의 투명 전극의 파장에 따른 투과도를 설명하기 위한 그래프이다.

[0067] 도 7을 참고하면, ITO 층만을 단독으로 사용한 비교예 1과 ITO 층 대신에 은 나노 와이어를 사용한 비교예 2를 비교하면, 전반적으로 투과율이 높아지는 것을 확인할 수 있다. 즉, 일부 구간을 제외하고는 비교예 2의 투명 전극의 투과율이 높게 나타나고, 비교예 1의 투명 전극의 투과율이 더 높게 나타나는 구간에도 비교예 2의 투명 전극의 투과율이 크게 낮지 않은 것으로 확인된다. 즉, 투과율 부분에서는 은 나노 와이어를 사용한 비교예 2가 ITO 단독층을 사용한 비교예 1 보다 우수하다고 볼 수 있다.

[0068] 실시예 1의 투명 전극의 경우, 즉, ITO/은 나노 와이어/ITO의 이중 구조의 경우에 은 나노 와이어를 단독으로 사용한 비교예 2의 경우보다는 투과율이 낮아짐을 알 수 있다. 즉, 비교예 2의 투명 전극이 투과율의 특성에서는 가장 우수하다는 것을 알 수 있다. 다만, 실시예 1의 투명 전극은 비교예 1의 투명 전극에 비해서는 투과율이 전반적으로 우수하다는 것을 확인할 수 있다. 특히, 장파장 구간에서 비교예 1의 투명 전극은 투과율이 급격히 떨어짐에 반해 실시예 1의 투명 전극은 상대적으로 서서히 투과율이 내려가서 비교예 1의 투명 전극보다 우수함을 알 수 있다. 다른 구간은 실시예 1 및 비교예 1의 투명 전극이 서로 비슷한 정도의 높은 투과율을 보여 줌을 확인할 수 있다.

[0069] 실시예 1의 투명 전극이 은 나노 와이어를 단독으로 사용한 비교예 2의 투명 전극보다 투과율에서는 앞서지 못하지만, 전기적 특성은 더 우수할 수 있다. 구체적으로, 실시예 1의 투명 전극의 시트 저항(sheet resistance)은 $6.48\Omega/\square$ 으로 측정되었다. 이에 반해, 비교예 1의 투명 전극의 단위 면적당 저항은 $13.29\Omega/\square$ 이고, 비교예 2의 투명 전극의 단위 면적당 저항은 $28.63\Omega/\square$ 이다.

[0070] 즉, ITO를 상하 방향으로 코팅한 은 나노 와이어를 사용한 실시예 1의 투명 전극이 전기적 특성에는 가장 우수할 수 있다. 따라서, 본 발명의 실시예 1이 투과율 측면에서도 나쁘지 않고, 전기적 특성에서도 월등하다는 것을 확인할 수 있다.

[0072] **실험예 2**

[0073] 실시예 1과 비교예 2의 열 안정성(thermal stability)를 비교하기 위해서 10분 동안 500°C의 온도에서 실시예 1과 비교예 2의 투명 전극에 열처리를 가했다. 열처리는 급속 열처리(Rapid Thermal processing, RTP)를 이용하였다.

[0074] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 전극 제조 방법의 열처리 공정을 설명하기 위한 도면이고, 도 9는 비교예 2의 투명 전극의 열처리 후의 나노 와이어를 설명하기 위한 평면도이다. 도 10은 도 3의 투명 전극의 열처리 후의 나노 와이어를 설명하기 위한 평면도이다.

- [0075] 도 8을 참고하면, 시간에 따른 열처리의 온도를 확인할 수 있다. 300℃ 이하에서 2분간 300℃에 도달할 때까지 가열하고, 300℃에서 2분간 가열한 뒤 500℃까지 온도를 2분간 올리고, 10분간 500℃에서 열처리를 한다. 이러한 열처리는 ITO를 증착하고 경화시키는 공정에서 사용될 수 있다.
- [0076] 도 9를 참고하면, 비교예 2의 나노 와이어는 열처리에 의해 끊어짐을 확인할 수 있다. 일반적으로, 은 나노 와이어는 약 200℃의 온도에서 연결이 끊어질 수 있다. 따라서, 비교예 2의 나노 와이어도 열에 바로 노출되어 와이어의 연결이 끊어지고, 그 형상을 유지할 수 없다.
- [0077] 이에 반해, 도 10을 참고하면, 실시예 1의 나노 와이어는 열처리 후에도 그 형상을 그대로 유지하고 끊어지지 않음을 알 수 있다. 즉, 실시예 1의 은 나노 와이어는 ITO에 의해서 코팅이 되어 200℃가 훨씬 넘는 500℃의 급속 열처리의 온도를 견딜 수 있다. 이에 따라, 상기 열처리는 투명 전극의 제조 공정에서 물질의 증착에 사용될 수 있으므로, 은 나노 와이어의 열 안정성에 따라 공정의 온도 조건의 제한이 결정될 수 있다. 따라서, 실시예 1의 투명 전극은 비교예 2에 비해서 우수한 열 안정성을 가질 수 있고, 제조 공정의 자유도도 높아질 수 있다.
- [0079] **실험예 3**
- [0080] 상기 실시예 1 및 비교예 2의 전류 전압 특성, 반사도, 외부 양자 효율 및 내부 양자 효율을 측정하였다.
- [0081] 도 11은 도 3의 투명 전극과 비교예 2의 투명 전극의 전압 전류 특성을 설명하기 위한 그래프이고, 도 12는 도 3의 투명 전극과 비교예 2의 투명 전극의 반사도를 설명하기 위한 그래프이다. 도 11은 도 2의 투명 전극과 비교예 2의 투명 전극의 외부양자효율(external quantum efficiency, EQE)을 설명하기 위한 그래프이고, 도 14는 도 2의 투명 전극과 비교예 2의 투명 전극의 내부양자효율(internal quantum efficiency, IQE)을 설명하기 위한 그래프이다.
- [0083] *도 11을 참조하면, 실시예 1의 ITO/AgNW(은 나노 와이어)/ITO/p-Si의 구조와 비교예 2의 AgNW/p-Si 구조의 I-V 곡선이 도시되어 있다. 실시예 1의 구조는 시트 저항이 낮으므로, $V > 0$ 인 영역에서 기울기가 비교예 2의 투명 전극보다 상대적으로 높음을 알 수 있다.
- [0084] 도 12를 참고하면, 실시예 1의 ITO/AgNW/ITO/p-Si의 구조와 비교예 2의 AgNW/p-Si 구조의 반사도 곡선이 도시되어 있다. 파장의 전 영역에 걸쳐서 실시예 1의 투명 전극의 반사도는 비교예 2의 반사도보다 낮음을 알 수 있다. 즉, 입사광의 반사도가 낮으므로 투명 전극의 효율은 상승할 수 있다.
- [0085] 도 13을 참고하면, 실시예 1의 ITO/AgNW/ITO/p-Si의 구조와 비교예 2의 AgNW/p-Si 구조의 외부 양자 효율 곡선이 도시되어 있다. 반사도와 관련하여 실시예 1의 반사도가 낮으므로 실시예 1의 투명 전극의 외부 양자 효율이 비교예 2의 투명 전극의 외부 양자 효율 보다 높음을 알 수 있다.
- [0086] 도 14를 참고하면, 실시예 1의 ITO/AgNW/ITO/p-Si의 구조와 비교예 2의 AgNW/p-Si 구조의 내부 양자 효율 곡선이 도시되어 있다. 내부 양자 효율에 있어서는 미세하게 비교예 2의 투명 전극이 실시예 1의 투명 전극보다 높게 측정되었다.
- [0087] 즉, 도 11 내지 도 14의 그래프를 참조하면, 실시예 1의 투명 전극이 비교예 2의 투명 전극보다 상대적으로 반사도가 감소하여 투명 전극 외부에서 광자가 에너지로 변환되는 효율이 높음을 알 수 있다.
- [0089] **실험예 3**
- [0090] 상기 실시예 1 및 비교예 2의 광 반응 특성(photoresponse)을 측정하였다.
- [0091] 도 15는 도 3의 투명 전극과 비교예 2의 투명 전극의 600nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이고, 도 16은 도 3의 투명 전극과 비교예 2의 투명 전극의 900nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이다. 도 17은 도 2의 투명 전극과 비교예 2의 투명 전극의 외부양자효율(EQE)의 파장 구간을 설명하기 위한 그래프이다.
- [0092] 도 15를 참고하면, 파장이 600nm일 때, 실시예 1의 ITO/AgNW/ITO/p-Si의 구조와 비교예 2의 AgNW/p-Si 구조의 시간에 따른 전류 곡선이 도시되어 있다. 입사광의 600nm의 파장에서 광반응은 실시예 1의 투명 전극이 비교예

2의 투명 전극보다 높게 측정됨을 알 수 있다.

- [0093] 도 16을 참고하면, 파장이 900nm일 때, 실시예 1의 ITO/AgNW/ITO/p-Si의 구조와 비교예 2의 AgNW/p-Si 구조의 시간에 따른 전류 곡선이 도시되어 있다. 입사광의 900nm의 파장에서 광반응은 실시예 1의 투명 전극이 비교예 2의 투명 전극보다 높게 측정됨을 알 수 있다.
- [0094] 도 17을 참고하면, 500 내지 1050nm 이상에서는 외부 양자 효율이 실시예 1의 투명 전극이 비교예 2의 투명 전극보다 높게 측정되었다. 이에 따라 도 15 및 도 16와 같이 파장이 600nm 및 900nm인 구간에서는 광반응이 실시예 1의 투명 전극이 비교예 2의 투명 전극보다 높게 나타날 수 있다.
- [0096] *
- [0097] **실험예 4**
- [0098] 상기 비교예 1 및 비교예 2의 광 반응 특성을 측정하였다.
- [0099] 도 18은 비교예 1의 투명 전극과 비교예 2의 투명 전극의 900nm 파장의 빛에서의 광반응을 설명하기 위한 그래프이다.
- [0100] 도 18을 참고하면, 파장이 900nm일 때, 비교예 1의 ITO/p-Si의 구조와 비교예 2의 AgNW/p-Si 구조의 시간에 따른 전류 곡선이 도시되어 있다. 입사광의 900nm의 파장에서 광반응은 비교예 2의 투명 전극이 비교예 1의 투명 전극보다 훨씬 높게 측정됨을 알 수 있다.
- [0101] 도 15 내지 도 18의 결과를 종합하면 실시예 1의 ITO/AgNW/ITO/p-Si 구조의 투명 전극의 광반응 특성이 비교예 2의 AgNW/p-Si 구조의 투명 전극의 광반응 특성보다 높고, 비교예 2의 투명 전극의 광반응 특성이 비교예 1의 ITO/p-Si 구조의 투명 전극의 광반응 특성보다 높다. 즉, 실시예 1의 투명 전극의 광반응 특성이 비교예 1의 투명 전극의 광반응 특성보다 높다.
- [0102] 이하, 도 19 내지 도 22를 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 전극 제조 방법을 설명한다. 제조되는 투명 전극은 도 3의 투명 전극이다. 상술한 설명과 중복되는 부분은 간략히 하거나 생략한다.
- [0103] 도 19 내지 도 22는 본 발명의 일 실시예에 따른 투명 전극 제조 방법을 설명하기 위한 중간 단계 도면들이다.
- [0104] 도 19를 참고하면, 기판(100)을 제공한다.
- [0105] 기판(100)은 유리 기판, 실리콘(Si) 기판, 게르마늄(Ge) 기판 등의 단일 반도체 기판일 수도 있고, 갈륨비소(GaAs)기판과 같이 화합물 반도체 기판일 수도 있다.
- [0106] 도 20을 참조하면, 기판(100) 상에 제2 투명 전도체(200)를 형성한다. 제2 투명 전도체(200)는 100 내지 900℃의 온도에서 증착될 수 있다. 단, 이에 제한되는 것은 아니다. 제2 투명 전도체(200)는 기판(100) 상에 권포말하게 형성될 수 있다.
- [0107] 이 때, 제2 투명 전도체(200)는 상온에서 증착될 수 있다. 상온에서 증착된 제2 투명 전도체(200)는 비정질일 수 있다. 추후에 제2 투명 전도체(200)는 200 내지 900℃의 온도에서 열처리될 수 있다. 단, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0108] 제2 투명 전도체(200)는 200 내지 900℃의 온도에서 증착될 수 있다. 이러한 경우에 제2 투명 전도체(200)는 결정질일 수 있다.
- [0109] 도 21을 참조하면, 제2 투명 전도체(200) 상에 나노 구조체(300)를 형성할 수 있다. 나노 구조체(300)는 나노 입자 또는 나노 와이어를 포함할 수 있다. 이 때, 나노 구조체(300)는 복합 구조가 아닌 하나의 물질로 형성될 수 있다. 나노 구조체(300)는 순수한 금속, 실리사이드(Silicide) 및 저마나이드(Germanide) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 상기 금속은 예를 들어, Ag, Ni 및 Au 중 적어도 하나일 수 있다. 단, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0110] 도 22를 참조하면, 제2 투명 전도체(200) 및 나노 구조체(300) 상에 제1 투명 전도체(400)를 형성할 수 있다. 제1 투명 전도체(400) 및 제2 투명 전도체(200)는 나노 구조체(300)를 코팅하여 나노 구조체(300)의 형상이 유지되도록 할 수 있다. 이 때, 제1 투명 전도체(400)는 200 내지 900℃ 사이의 온도에서 결정질로 증착될 수 있다. 단, 이에 제한되는 것은 아니다.

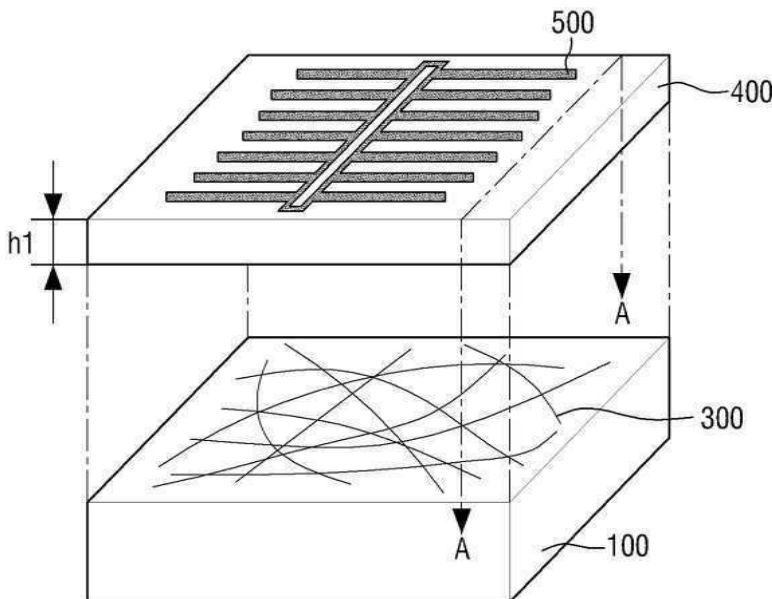
- [0111] 제1 투명 전도체(400)는 상온(room temperature)에서 형성되어 열처리 과정을 거칠 수 있다. 이 때는, 제2 투명 전도체(200)가 같이 상온에서 증착되어 같이 열처리 과정을 거칠 수 있다. 상기 열처리 과정은 200 내지 900℃ 사이의 온도에서 수행될 수 있다. 이 때, 제1 투명 전도체(400) 및 제2 투명 전도체(200)는 모두 비정질에서 결정질이 될 수 있다.
- [0112] 이 때, 제1 투명 전도체(400) 및 제2 투명 전도체(200)에 의해서 나노 구조체(300)는 연결이 끊어지지 않고 그대로의 형상을 유지할 수 있다. 이어서, 제1 투명 전도체(400) 상에 상부 전극(500)을 형성할 수 있다.
- [0113] 도 23은 온도에 따른 투명 전도체의 저항을 설명하기 위한 그래프이고, 도 24는 온도에 따른 투명 전도체의 투과도를 설명하기 위한 그래프이다.
- [0114] 도 23을 참고하면, 증착 시 또는 열처리시의 온도가 가로축이고, 그에 따른 ITO 필름의 저항이 세로축이다. 즉, 증착 시 또는 열처리시의 온도가 높아질수록 ITO 필름의 저항이 낮아짐을 알 수 있다.
- [0115] 도 24를 참고하면, 증착 시 또는 열처리시의 온도에 따라, 상온 증착 혹은 열처리(ITO-RT), 300℃ 증착 혹은 열처리(ITO-300℃) 및 600℃ 증착 혹은 열처리(ITO-600℃)가 각각 도시되었다. 입사광의 파장이 가로축이고, 그에 따른 상기 3가지 ITO 필름의 투과도가 세로축이다. 즉, 증착 시 또는 열처리시의 온도가 높아질수록 ITO 필름의 투과도 특성이 좋아짐을 알 수 있다.
- [0116] 이는 200℃ 이상의 고온에서 증착 혹은 열처리된 투명 전도체가 결정질이 되어 투과도가 높아지고, 저항이 낮아지기 때문이다.
- [0117] 이상 실험예 및 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

부호의 설명

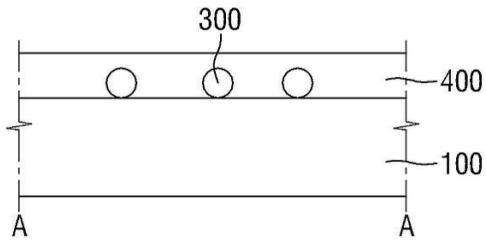
- [0118] 100: 기판 200: 제2 투명 전도체
- 300: 나노 구조체 400: 제1 투명 전도체
- 500: 상부 전극

도면

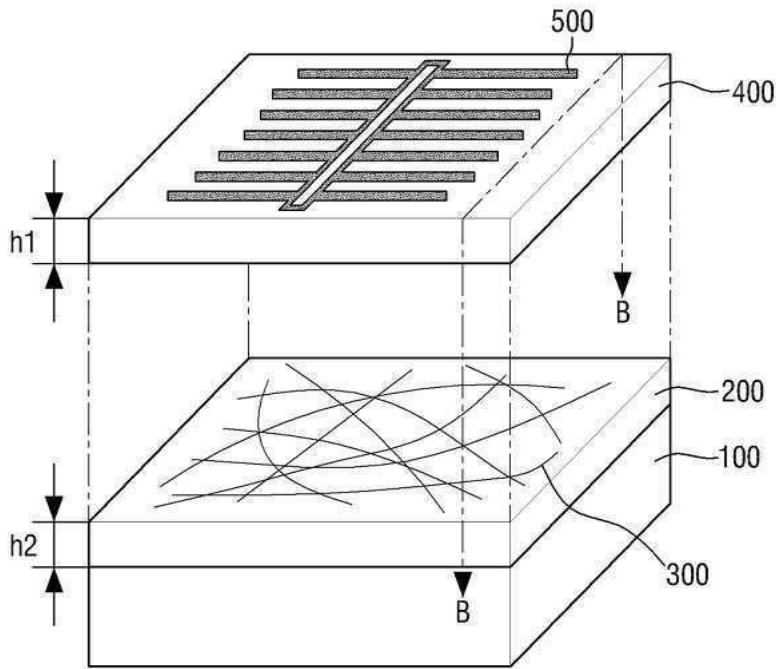
도면1



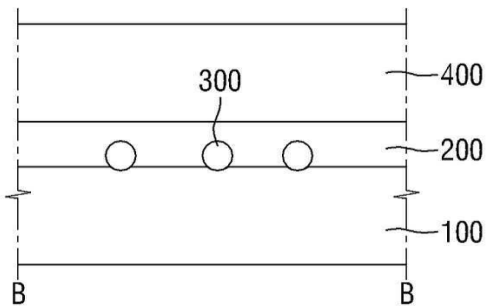
도면2



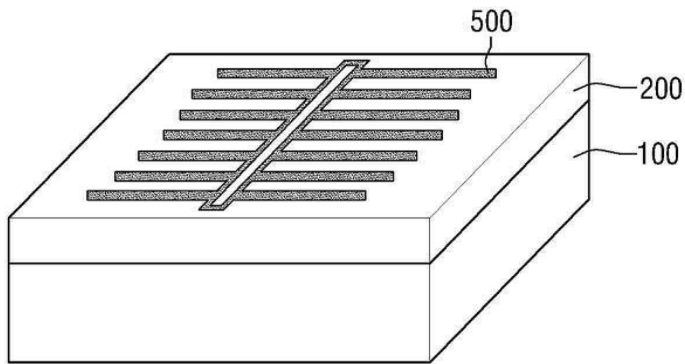
도면3



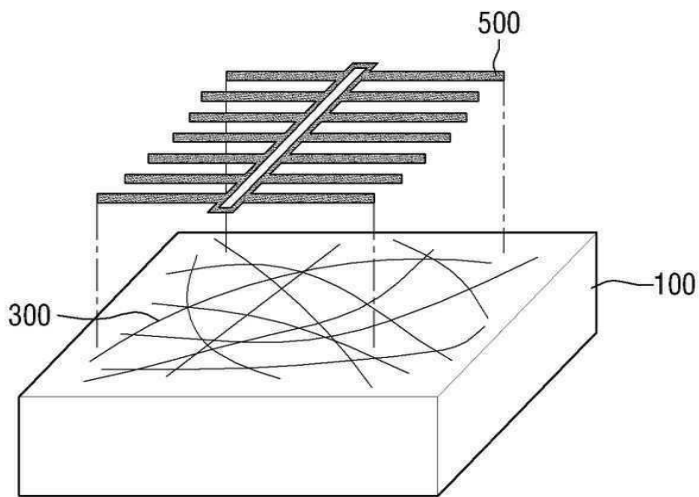
도면4



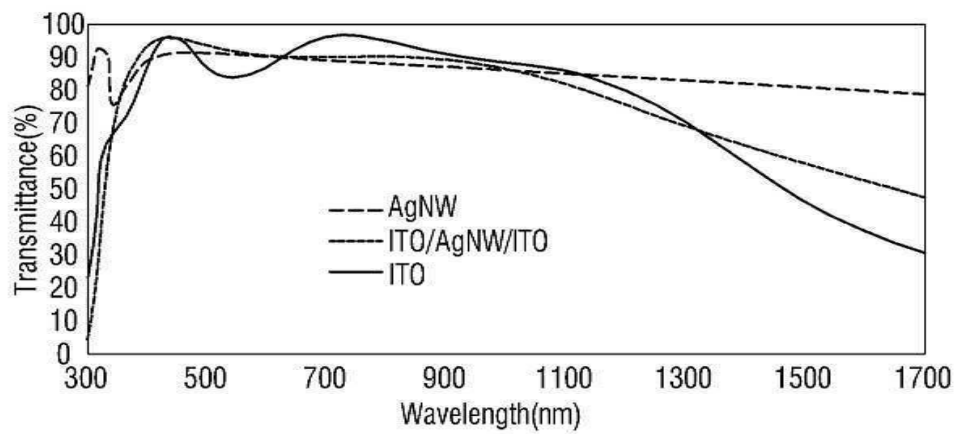
도면5



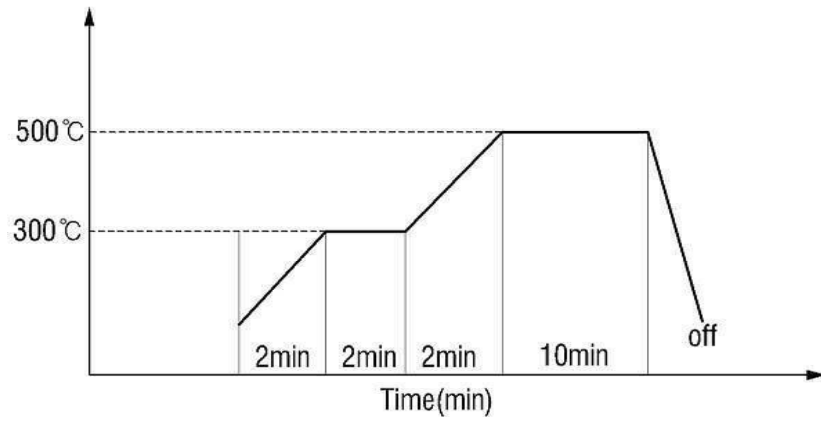
도면6



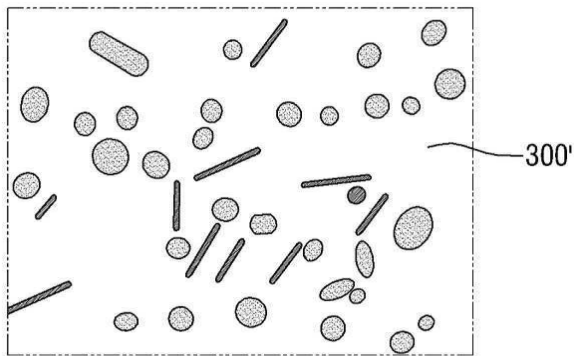
도면7



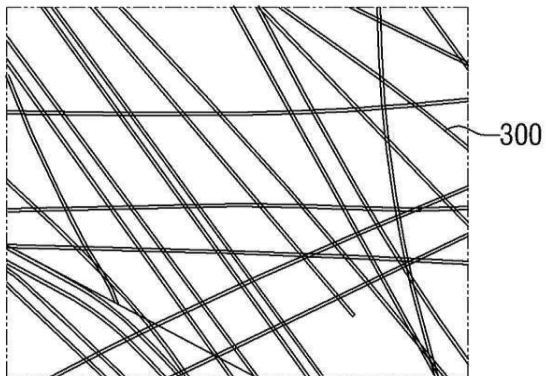
도면8



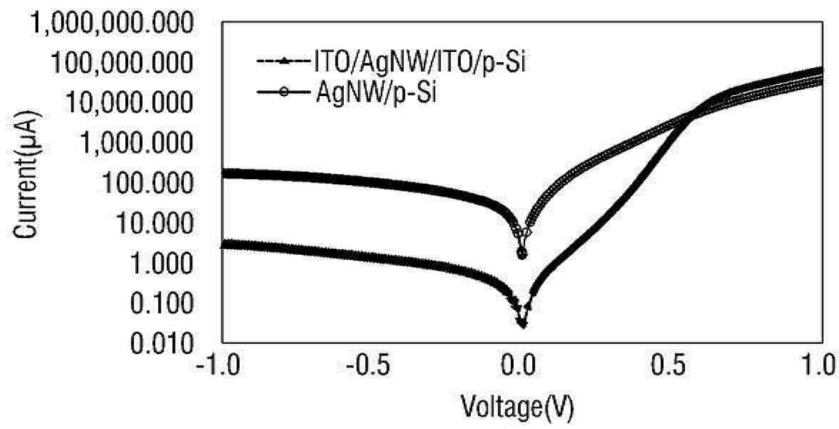
도면9



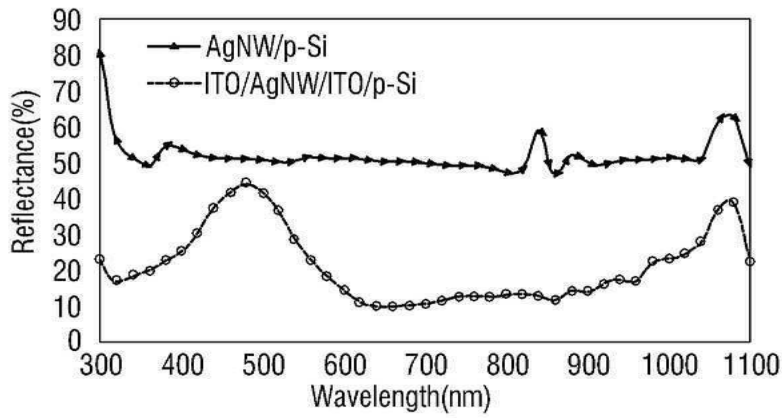
도면10



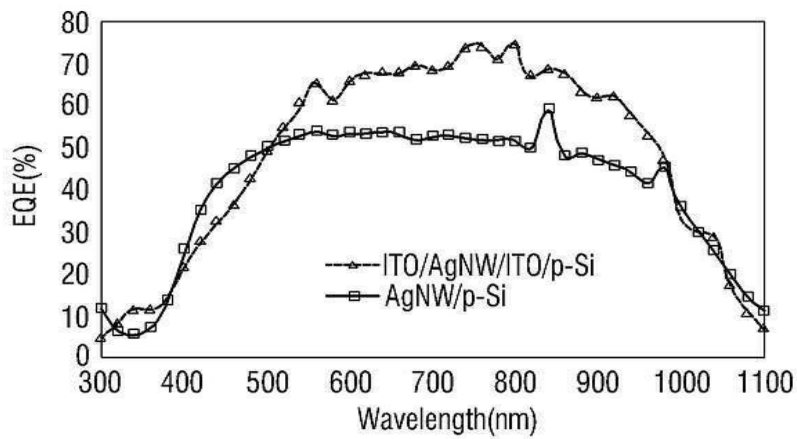
도면11



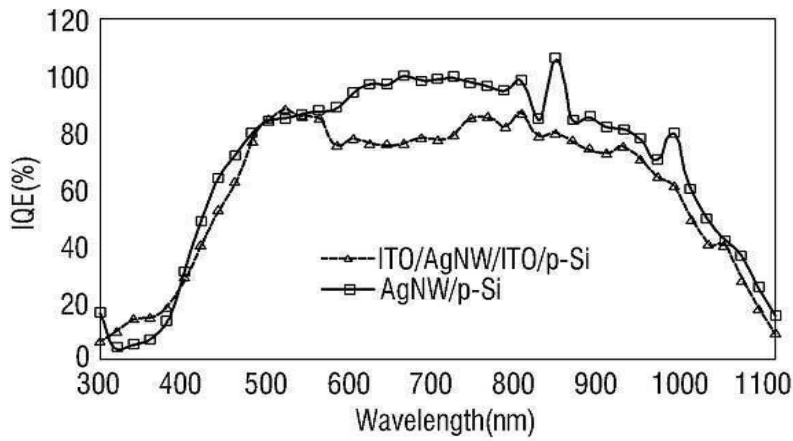
도면12



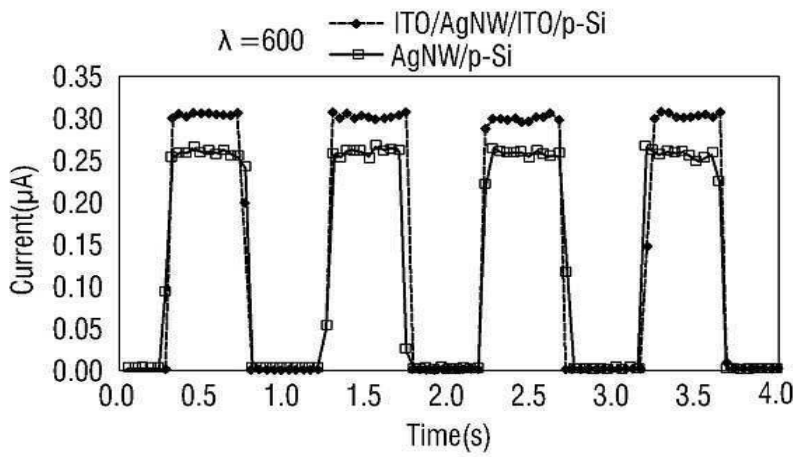
도면13



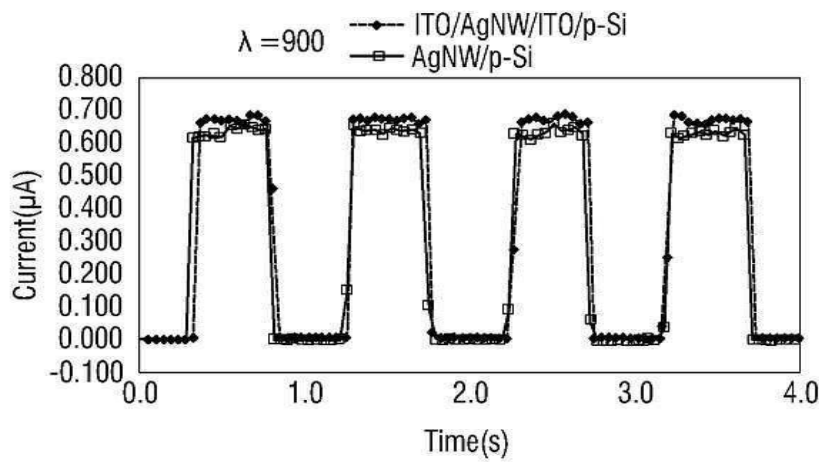
도면14



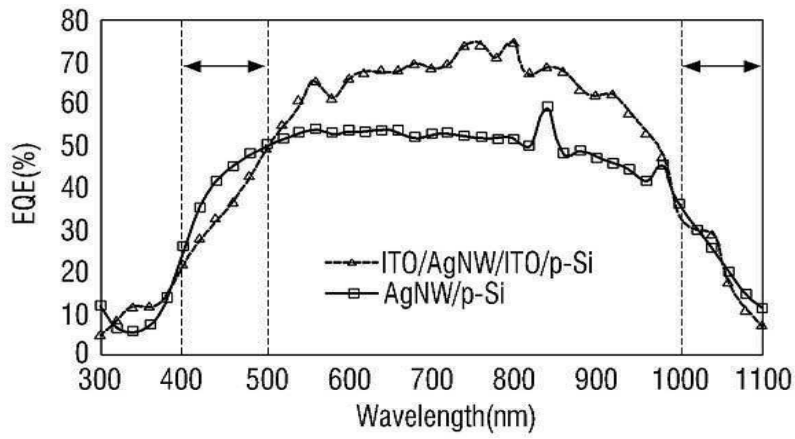
도면15



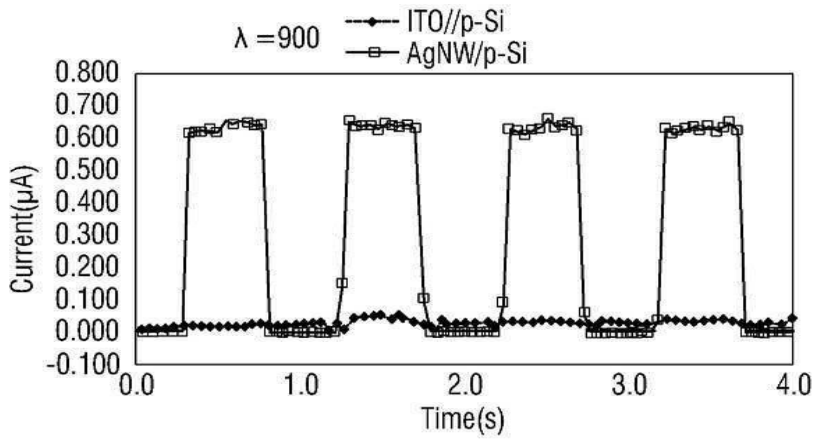
도면16



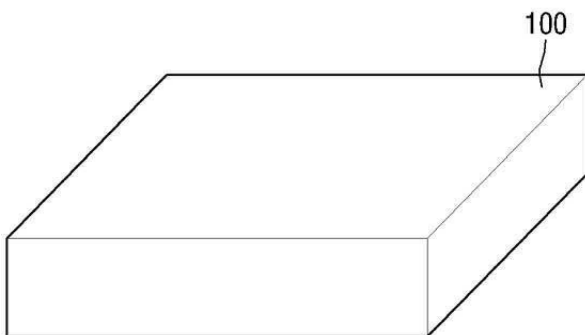
도면17



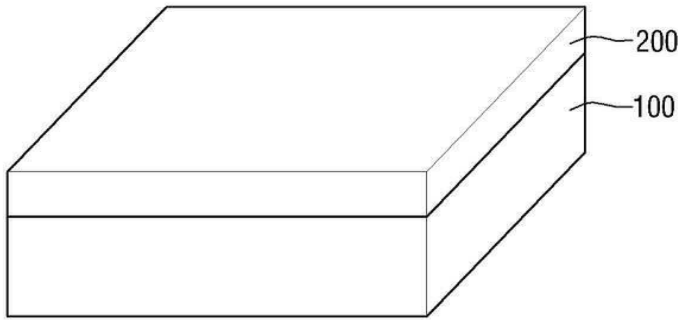
도면18



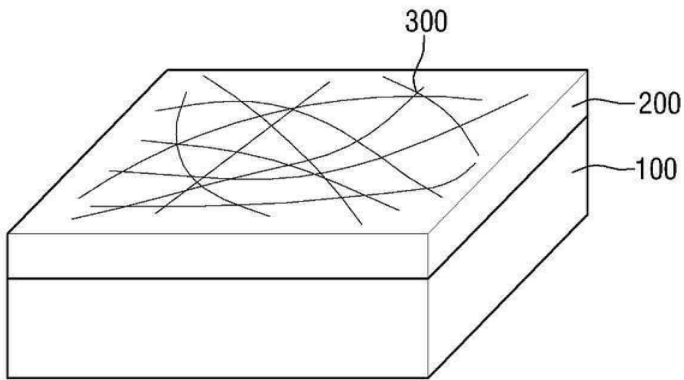
도면19



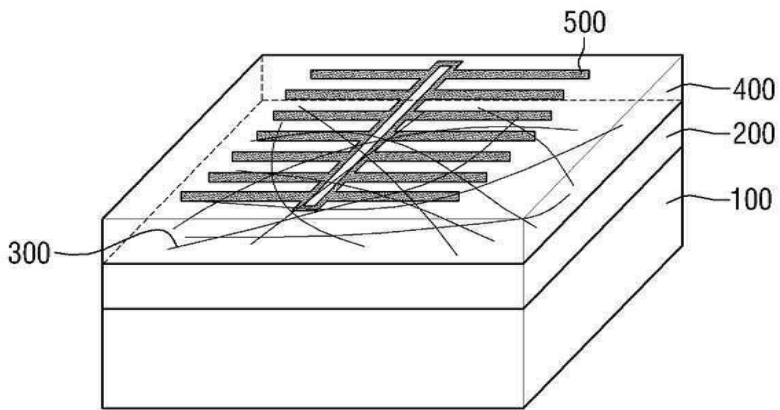
도면20



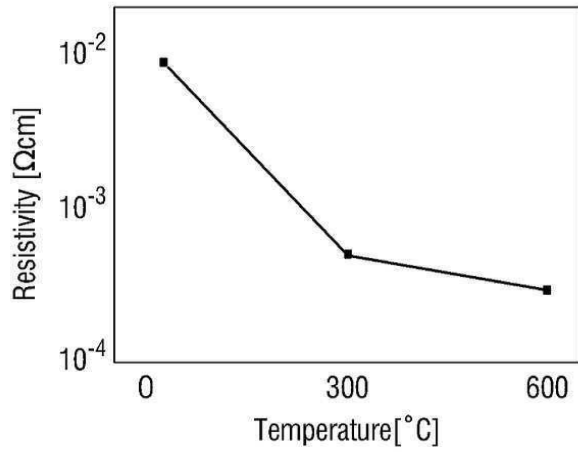
도면21



도면22



도면23



도면24

