



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0020899

(43) 공개일자 2015년02월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 31/04 (2014.01) H01L 31/052 (2014.01)

H01L 31/18 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-0097989

(22) 출원일자 2013년08월19일

심사청구일자 2013년08월19일

(71) 출원인

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 국제캠퍼스 내 (서천동, 경희대학교)

(72) 발명자

최재우

서울 송파구 송파대로 567, 510동 307호 (잠실동, 주공아파트)

(74) 대리인

특허법인가산

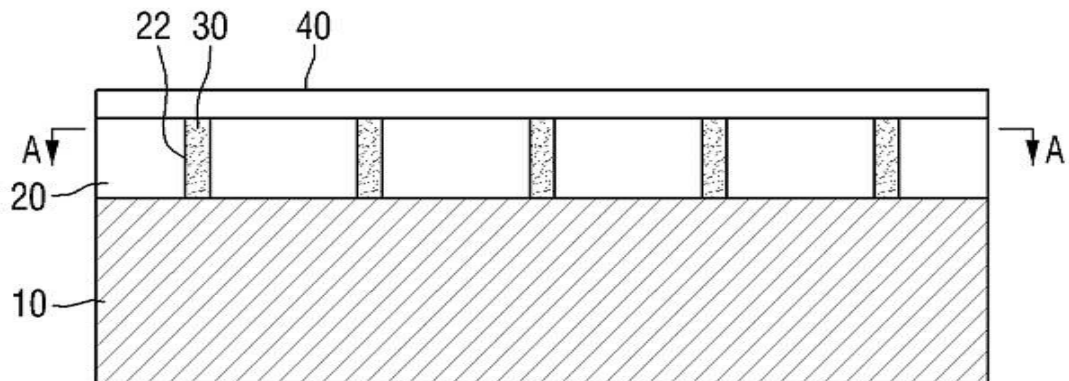
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 태양 전지 및 그 제조 방법, 그리고 태양 전지 부스터

(57) 요약

태양 전지 및 태양 전지의 제조 방법, 그리고 태양 전지 부스터가 제공된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 태양 전지는, 빛에너지를 흡수하는 흡수층; 상기 흡수층 상에 형성되며, 복수의 관통홀을 포함하는 절연층; 및 상기 절연층 상에 형성되는 그래핀층을 포함하되, 상기 절연층의 관통홀에 금속이 증착된다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

빛에너지를 흡수하는 흡수층;

상기 흡수층 상에 형성되며, 복수의 관통홀을 포함하는 절연층; 및

상기 절연층 상에 형성되는 그래핀층을 포함하되,

상기 절연층의 관통홀에 금속이 증착되는, 태양 전지.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 흡수층은, 상기 빛에너지보다 작은 에너지 밴드갭을 가지는 반도체 물질로 이루어지는, 태양 전지.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 흡수층은, n형 반도체 또는 p형 반도체 중 적어도 하나인, 태양 전지.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 금속은, 상기 흡수층이 n형 반도체인 경우, Au, Ag, Cu 중 적어도 하나인, 태양 전지.

청구항 5

제 3항에 있어서,

상기 금속은, 상기 흡수층이 p형 반도체인 경우, Al, In, Ti, MgAg 중 적어도 하나인, 태양 전지.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 절연층은, 상기 빛에너지보다 큰 에너지 밴드갭을 가지는 부도체 물질로 이루어지는, 태양 전지.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 절연층은, 상기 관통홀의 깊이가 1~10 μm 사이로 형성되는, 태양 전지.

청구항 8

제 6항에 있어서,

상기 절연층은, 상기 관통홀의 최소 단면 길이가 1~10 mm 사이로 형성되는, 태양 전지.

청구항 9

제 6항에 있어서,

상기 절연층은, 상기 관통홀 간의 간격이 1~10cm 사이로 형성되는, 태양 전지.

청구항 10

빛에너지를 흡수하는 반도체 물질로 이루어진 흡수층을 형성하는 단계;

상기 흡수층 상에 반도체 물질로 이루어진 절연층을 형성하는 단계;
 상기 절연층을 식각하여 복수의 관통홀을 형성하는 단계;
 상기 복수의 관통홀에 각각 금속을 증착하는 단계; 및
 상기 절연층 상에 그래핀층을 형성하는 단계를 포함하는, 태양 전지의 제조 방법.

청구항 11

제 10항에 있어서,
 상기 흡수층을 형성하는 단계는, 상기 흡수층의 두께가 100 μm 이하로 형성되는 단계를 포함하는, 태양 전지의 제조 방법.

청구항 12

제 10항에 있어서,
 상기 절연층을 형성하는 단계는, 상기 절연층의 두께가 10 μm 이하로 형성되는 단계를 포함하는, 태양 전지의 제조 방법.

청구항 13

제 10항에 있어서,
 상기 관통홀을 형성하는 단계는, 포토레지스트와 마스크를 사용하여 상기 절연층을 식각하는 단계를 포함하는, 태양 전지의 제조 방법.

청구항 14

제 10항에 있어서,
 상기 금속을 증착하는 단계는, 마스크를 사용하여 상기 금속을 증착하는 단계를 포함하는, 태양 전지의 제조 방법.

청구항 15

제 10항에 있어서,
 상기 단계들을 순차적으로 적어도 1회 반복하여 적층 구조를 형성하는 단계를 더 포함하는, 태양 전지의 제조 방법.

청구항 16

반도체 물질로 이루어진 흡수층과, 상기 흡수층 상에 적층된 제1 그래핀층과, 상기 제1 그래핀층 상에 적층된 절연층과, 상기 절연층 상에 적층된 제2 그래핀층을 포함하는 태양 전지; 및
 상기 제1 및 제2 그래핀층에 각각 양단이 연결되는 직류 전원을 포함하되,
 상기 절연층에 의해 상기 제1 및 제2 그래핀층 사이에 전압만 가해지는, 태양 전지 부스터.

청구항 17

제 16항에 있어서,
 상기 흡수층은, n형 반도체 또는 p형 반도체 중 적어도 하나인, 태양 전지 부스터.

청구항 18

제 17항에 있어서,
 상기 직류 전원은, 상기 흡수층이 p형 반도체인 경우, 상기 제1 그래핀층에 양극이 연결되고, 상기 제2 그래핀층에 음극이 연결되는, 태양 전지 부스터.

청구항 19

제 17항에 있어서,

상기 직류 전원은, 상기 흡수층이 n형 반도체인 경우, 상기 제1 그래핀층에 음극이 연결되고, 상기 제2 그래핀층에 양극이 연결되는, 태양 전지 부스터.

청구항 20

제 16항에 있어서,

상기 절연층은, 유전체 또는 전해질 중 적어도 하나인, 태양 전지 부스터.

명세서

기술분야

[0001]

본 발명은 태양 전지 및 태양 전지의 제조 방법, 그리고 태양 전지 부스터에 관한 것으로, 보다 상세하게는 흡수체와 일함수 차이가 큰 금속을 사용하여 빛의 차단을 최소화하고, 그래핀을 투과전극으로 활용하여 효율을 극대화한 태양 전지 및 태양 전지의 제조 방법, 그리고 태양 전지 부스터에 관한 것이다.

배경기술

[0002]

탄소 원자 한 층의 2차원 물질인 그래핀은 발견된 이래 여러 가지 새롭고 우수한 물성으로 인하여 많은 주목을 받고 있다. 특히, 2010년 노벨 물리학상이 단원자층 그래핀을 최초로 분리한 가임과 노보셀로프 두 사람에게 수여됨으로써 전 세계의 연구자들뿐만 아니라 일반인들의 많은 관심을 끌고 있다.

[0003]

그래핀은 단일의 원자층으로 구성된 매우 얇은 결정체로써, 이미 잘 알려진 그래핀의 특성을 이용한 응용 기술에 대한 많은 연구가 다양한 분야에서 이루어지고 있다. 그래핀은 지금까지 알려진 물질 중에 가장 얇으면서도, 전기나 열을 가장 잘 전도할 수 있을 뿐 아니라 가장 강하면서도 유연한 물질이다.

[0004]

이 같은 그래핀의 우수한 특성을 활용하여, 구조 재료로 사용되거나, Si 전자 소자를 대체할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 그래핀은 플렉서블 디스플레이와 터치 패널 등 차세대 디스플레이 분야와 태양 전지 등의 에너지 산업분야, 스마트 윈도우, RFID 등 다양한 전자 산업 분야에서 신소재로 활용도가 확대되고 있다.

[0005]

최근에는 친환경 에너지에 대한 관심의 증대로 수력 발전, 풍력 발전 및 태양광 발전이 각광을 받고 있으며, 그 중에서도 태양 에너지를 이용한 태양광 발전에 대한 연구가 매우 활발하다. 이 태양광 발전의 대표 예로서, 반도체를 사용한 태양 전지를 들 수 있다. 이러한 태양 전지는 빛을 쏘이면 전자가 생성되는 광기전력 효과(photovoltaic effect)를 이용하여 빛 에너지를 전기 에너지로 변환시키는 소자이다.

[0006]

이러한 반도체 태양 전지의 효율을 높이기 위해서는, 태양 에너지를 효율적으로 흡수할 수 있는 적당한 크기의 에너지 밴드갭을 가진 흡수체와, 빛의 흡수로 생성된 전자와 홀을 효율적으로 분리할 수 있는 빌트인 전압(builtin voltage)과, 전자와 홀의 빠른 이동 등이 중요한 요소가 된다.

[0007]

그런데, 태양 전지 구성을 위하여 필요로 하는 요소들이 빛이 흡수체에 도달하는데 장애 요인으로 작용할 수 있다. 즉, 태양 전지의 효율을 높이기 위해, 빛이 흡수층에 도달하는데 장애 요인이 되는 것을 최소화할 필요가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008]

(특허문헌 0001) 일본공개특허 제2011-108883호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 태양 전지에서, 빛이 흡수체에 입사하여 광 흡수로 생성된 전자와 홀을 분리하기 적당한 영역에서 빛이 도달하고, 가능한 모든 빛이 흡수되어야 높은 효율을 얻을 수 있다. 즉, 빛의 흡수는 빛의 이동 거리에 지수함수적으로 증가하므로, 이 영역이 넓을수록 흡수된 빛이 전류로 될 확률은 증가하게 된다. 그러므로, 태양 전지에 효율적인 전극 구조를 이용하여 높은 빌트인 전압(builtin voltage)이 형성되게 하고, 거의 모든 빛이 빌트인 전압(builtin voltage)이 가해지는 영역에서 흡수되고, 광전자(photoelectron)와 광홀(photohole)을 효율적으로 분리하여 이동하도록 소자의 구조를 구성해야 한다. 여기에서, 빌트인 전압(builtin voltage)은 내부에 자발적으로 형성된 전압을 의미한다.
- [0010] 높은 빌트인 전압(builtin voltage)을 형성하기 위해서는 일함수가 크게 다른 흡수체(p-n junction solar cell), 흡수체와 일함수가 매우 큰 도체(Schottky junction solar cell)를 활용하면 된다. 이들 태양 전지의 경우, builtin voltage는 계면에서 형성됨으로, 빛이 흡수체의 표면이 아니라, 흡수체 간의 계면 또는 흡수체와 도체의 계면에서 흡수되어야 높은 효율의 태양 전지를 기대할 수 있다. 따라서, p-n junction solar cell의 경우, 빛이 입사하는 면은 에너지 밴드갭이 빛의 에너지보다 큰 물질을 이용한다. 그리고, Schottky junction solar cell의 경우, 높은 일함수를 큰 도체가 빛의 진행 경로에 놓이게 되면, 빛을 차단하게 되므로, 태양 전지는 금속이 태양 전지를 뒤덮은 면적비가 클수록 태양 전지의 효율을 급격히 감소하게 된다.
- [0011] 이를 극복하기 위해, 투명 전극을 이용하거나 매우 좁은 금속전극 띠를 활용하여 빛의 차단 효율을 감소시킬 수 있다. 투명 전극으로는 ITO(Indium Tin Oxide)와 같은 물질이 사용될 수 있으나, 인듐 시장 가격의 불안정으로 인한 대체 물질을 필요로 한다. 특히, 휘어지기 쉬운 플렉서블 태양 전지 개발에는 깨지기 쉬운 ITO(Indium Tin Oxide)와 같은 물질은 적합하지 않다. 또한, 좁은 전극띠를 이용할 경우, 광전자와 광홀이 전극 주변에서 생성될 때 큰 문제가 되지 않지만, 전극으로부터 멀리 생성된 광전자와 광홀은 전류에 공헌하지 못하고, 다시 재결합하여 열에너지로 방출되어 손실된다.
- [0012] 그리하여, 높은 빌트인 전압(builtin voltage)을 얻기 위해, 흡수체와 일함수의 차이가 큰 금속을 사용하고, 특히 매우 좁은 금속 전극을 필요로 하나, 이러한 방법만으로 고효율 태양 전지를 개발할 경우에는 금속 전극에 의한 빛의 차단 효과를 피할 수 없어 고효율을 기대하기 어려운 점이 있다.
- [0013] 따라서, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는, 흡수체와 일함수 차이가 큰 금속을 사용하되, 빛의 차단을 최소화하고 자발적으로 생성된 빌트인 전압(builtin voltage)을 빛의 흡수로 생성된 광전자와 광홀이 모두 감지하여 광전자와 광홀의 분리가 쉽게 이루어지고 전극으로 빠른 이동을 할 수 있는 태양 전지 및 태양 전지의 제조 방법, 그리고 태양 전지 부스터를 제공하는 것이다.
- [0014] 또한, 본 발명이 해결하고자 하는 다른 과제는, 흡수층에 적층된 절연층과 그래핀층은 빛의 반사를 최소화할 수 있도록 두께를 조정하여 효율을 극대화할 수 있는 태양 전지 및 태양 전지의 제조 방법, 그리고 태양 전지 부스터를 제공하는 것이다.
- [0015] 그리고, 본 발명이 해결하고자 하는 또 다른 과제는, 높은 Schottky junction barrier를 얻기 위하여, 금속 대신에 그래핀 자체를 활용하여 빌트인 전압(builtin voltage)을 증가시킬 수 있는 태양 전지 및 태양 전지의 제조 방법, 그리고 태양 전지 부스터를 제공하는 것이다.
- [0016] 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

- [0017] 상기 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 태양 전지는, 빛에너지를 흡수하는 흡수층; 상기 흡수층 상에 형성되며, 복수의 관통홀을 포함하는 절연층; 및 상기 절연층 상에 형성되는 그래핀층을 포함하되, 상기 절연층의 관통홀에 금속이 증착된다.
- [0018] 상기 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 태양 전지의 제조 방법은, 빛에너지를 흡수하는 반도체 물질로 이루어진 흡수층을 형성하는 단계; 상기 흡수층 상에 부도체 물질로 이루어진 절연층을 형성하는 단계; 상기 절연층을 식각하여 복수의 관통홀을 형성하는 단계; 상기 복수의 관통홀에 각각 금속을 증착하는 단계; 및 상기 절연층 상에 그래핀층을 형성하는 단계를 포함한다.
- [0019] 상기 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 태양 전지 부스터는, 반도체 물질로 이루어진 흡수층과, 상기 흡수층 상에 적층된 제1 그래핀층과, 상기 제1 그래핀층 상에 적층된 절연층과, 상기 절연층 상에 적층된 제2 그래핀층을 포함하는 태양 전지; 및 상기 제1 및 제2 그래핀층에 각각 양단이 연결되는 직류 전

원을 포함하되, 상기 절연층에 의해 상기 제1 및 제2 그래핀층 사이에 전압만 가해지는 것을 특징으로 한다.

[0020] 본 발명의 기타 구체적인 사항들은 상세한 설명 및 도면들에 포함되어 있다.

발명의 효과

[0021] 본 발명에 따르면, 빛의 차단을 최소화하고 자발적으로 생성된 빌트인 전압(builtin voltage)을 빛의 흡수로 생성된 광전자와 광홀이 모두 감지하여 광전자와 광홀의 분리가 쉽게 이루어지고 전극으로 빠른 이동을 함으로써, 고효율의 태양 전지를 구현할 수 있다.

[0022] 또한, 흡수층에 적층된 절연층과 그래핀층은 빛의 반사를 최소화할 수 있도록 두께를 조정하여 태양 전지의 효율을 극대화할 수 있다.

[0023] 그리고, 금속 대신에 그래핀 자체를 활용하여 빌트인 전압(builtin voltage)을 증가시켜 높은 Schottky junction barrier를 얻을 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양 전지의 단면도이다.

도 2는 도 1의 태양 전지를 A-A에서 바라본 상면도이다.

도 3은 도 1의 태양 전지에서 Schottky junction 형성에 의한 포텐셜의 분포를 도시한 도면이다.

도 4a는 빛의 유무에 따른 I_{gs} vs V_{gs} 커브를 도시한 그래프이다.

도 4b는 빛의 유무에 따른 I_{ds} vs V_{gs} 커브를 도시한 그래프이다.

도 4c는 여러 V_{gs} 에 대한 I_{ds} vs V_{ds} 커브를 도시한 그래프이다.

도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 태양 전지의 단면도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양 전지의 제조 방법의 순서도이다.

도 7은 도 6의 태양 전지의 제조 방법에서 각 단계를 도시한 제1 도면이다.

도 8은 도 6의 태양 전지의 제조 방법에서 각 단계를 도시한 제2 도면이다.

도 9는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 태양 전지의 제1 단면도이다.

도 10은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 태양 전지의 제2 단면도이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양 전지 부스터의 단면도이다.

도 12a는 흡수층이 p형일 경우에 태양 전지 부스터의 구조를 도시한 도면이다.

도 12b는 도 12a에서의 에너지 밴드 구조를 도시한 도면이다.

도 13a는 흡수층이 n형일 경우에 태양 전지 부스터의 구조를 도시한 도면이다.

도 13b는 도 13a에서의 에너지 밴드 구조를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명한다. 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시 예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시 예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시 예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 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.

[0026] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술분야에서 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 해

석되지 않는다.

[0027] 이하, 본 발명에 대하여 첨부된 도면에 따라 보다 상세히 설명한다.

[0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양 전지의 단면도이다. 또한, 도 2는 도 1의 태양 전지를 A-A에서 바라본 상면도이다.

[0029] 도 1 및 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 태양 전지는, 빛에너지를 흡수하는 흡수층(10), 흡수층(10) 상에 형성되며, 복수의 관통홀(22)을 포함하는 절연층(20), 및 절연층(20) 상에 형성되는 그래핀층(40)을 포함하되, 절연층(20)의 관통홀(22)에 금속(30)이 증착된다. 이러한 본 발명의 일 실시예에 따른 태양 전지는 흡수층(10)과 일함수(work function) 차이가 큰 금속(30)을 사용하되, 금속 띠 대신에 작은 면적을 가진 패턴된 금속(30)을 활용하게 된다. 또한, 흡수층(10) 표면이 절연층(20)으로 덮여 있고, 절연층(20)에 패턴된 관통홀(22)을 형성하여 금속(30)을 증착하며, 이러한 금속(30)은 흡수층(10)과 Schottky junction을 형성한다. 그리고, 화학적으로 안정성을 보이는 그래핀층(40)은 투과 전극의 역할을 수행한다.

[0030] 흡수층(10)은 빛의 흡수를 위하여, 빛에너지보다 작은 에너지 밴드갭을 가지는 반도체 물질로 이루어질 수 있다. 그리하여, 흡수층(10)은 n형(n-type) 반도체 또는 p형(p-type) 반도체 중 적어도 하나일 수 있다. 이러한 흡수층(10)은 표면에서 빛의 반사가 적어야 한다. 대부분의 빛은 자발적으로 형성된 빌트인 전압(built-in voltage)이 가해지는 영역에서 흡수될 때, 빛이 전류로 전환되는 효율이 매우 높게 된다. 또한, 높은 전류 시 저항 손실(Ohmic loss)와 같은 여러 가지 손실이 최소화된다. 따라서, 흡수층(10)의 에너지 밴드갭 및 빛의 흡수 계수, 전자와 홀의 이동도, 에너지 준위의 위치 및 빛에 대한 굴절율 등이 고려되어야 한다.

[0031] 흡수층(10)으로 사용될 수 있는 반도체 물질 중, GaAs 반도체 결정체가 가장 효율적인 것으로 알려져 있으나, 이에만 제한되지 않음은 당업자에게 자명하다 할 것이다. 예를 들어, Si 반도체 결정체도 흡수층(10)으로 사용될 수 있다. 이들 단결정 반도체 외에도, 다결정 및 비정질 반도체 재료들도 흡수층(10)으로 고려될 수 있다. 유기물 반도체 흡수체로 이루어진 태양 전지의 효율은 무기물 반도체 흡수체로 이루어진 태양 전지보다 다소 낮으나, 유기물 반도체 흡수체는 플렉서블하고, 다양한 크기의 에너지 밴드갭을 가지고 있다. 다만, 유기물 반도체의 전도성, 즉 전하 운반자의 이동도가 낮아 높은 효율을 달성하는데 어려움도 있다. 그러므로, 비정질 및 유기물 반도체를 흡수층(10)으로 사용할 경우, 광전자와 광홀을 효과적으로 추출하기 위해, 흡수층(10)이 매우 얇아야 하고, 태양 전지를 직렬로 적층하는 구조가 바람직하다. 태양 전지의 직렬 적층 구조에 대해서는 후술하여 살펴 보도록 한다.

[0032] 절연층(20)은 빛에너지보다 큰 에너지 밴드갭을 가지는 부도체 물질로 이루어질 수 있다. 절연층(20)으로 무기물, 산화물, 유기물 유전체 등 부도체 성질을 가진 모든 물질이 이용될 수 있다. 빛의 굴절률이 흡수층(10)보다 작은 것이 빛의 반사를 줄이기 위해 적합하다. 절연층(20)은 금속(30)이 증착되는 관통홀(22)을 포함하는데, 이러한 관통홀은 마스크와 PR(포토리소그래피)을 이용하여 식각하여 형성될 수 있다. 관통홀(22)에 금속(30)이 증착되므로, 고효율의 태양 전지를 구현하기 위해, 절연층(20)은 관통홀(22)의 깊이가 1~10 μm 사이로 형성되고, 관통홀(22)의 최소 단면 길이가 1~10 mm 사이로 형성되고, 관통홀(22) 간의 간격이 1~10cm 사이로 형성될 수 있다. 도 2에 패턴된 금속(30)의 구조가 도시되어 있다. 이때, 절연층(20)의 두께, 즉 관통홀의 깊이가 1~10 μm 사이로 형성되는 경우, 단층으로 이루어진 흡수층(10)은 10~100 μm 사이로 형성될 수 있다. 또한, 관통홀(22)은 원형, 타원형, 사각형 등 여러 가지 형상으로 형성될 수 있다. 관통홀(22)이 여러 가지 형상으로 형성되더라도, 가장 짧은 단면 길이, 즉 최소 단면 길이는 1~10 mm 사이일 수 있다. 물론, 절연층(20)에 형성되는 관통홀의 크기 및 관통홀 간의 간격은 다른 사이즈로 형성될 수 있음은 당업자에게 자명하다 할 것이다.

[0033] 금속(30)은 식각된 관통홀(22)에 마스크 등을 이용하여 증착될 수 있다. 금속(30)이 관통홀(22)에 증착됨으로써, 흡수층(10)과 Schottky junction을 형성하게 된다. Schottky junction을 형성하도록, 금속(30)은 흡수층(10)과 일함수의 차이가 큰 것이 바람직하다. 예를 들어, 흡수층(10)이 n형 반도체인 경우, 높은 일함수를 가진 Au, Ag, Cu 등을 사용할 수 있다. 또한, 흡수층(10)이 p형 반도체인 경우, 낮은 일함수를 가진 Al, In, Ti, MgAg, 알칼리 금속 등을 사용할 수 있다. Schottky junction 태양 전지의 경우, 금속(30)이 뒤덮은 면적비가 클수록 태양 전지의 효율이 급격히 감소하므로, 관통홀(22)에 증착된 금속 패턴이 흡수층(10)의 표면을 차지하는 비율이 1% 이내로 조정하는 것이 바람직하다. 이러한 경우, 금속(30)이 빛의 진행에 방해하는 정도를 무시할 수 있어, 빛의 흡수율을 최대로 할 수 있다. 빛으로 생성된 광전자와 광홀을 효율적으로 구현하기 위해서는 높은 전도도를 필요로 한다. 관통홀(22)의 깊이가 1~10 μm 사이로 형성할 수 있으므로, 금속(30)에 의한 전기저항은 매우 적다. 그러나, 이들 금속(30)으로 이루어진 전극으로부터 전달된 전류를 외부로 전달하기 위해서는 추가 전극이 필요하며, 이를 그래핀으로 대체할 수 있다.

- [0034] 그래핀층(40)은 다층 또는 단일층 모두 가능하나, 단일층으로 이루어진 그래핀층(40)이 적절하다. 그래핀층(40)의 수가 증가함에 따라 빛의 투과도가 감소하나, 전기 전도도는 증가한다. 즉, 태양 전지에서 발생하는 전류 밀도에 따라 변경될 수 있으나, 통상의 태양 전지에서 발생하는 전류 밀도가 수십 mA/cm² 정도이므로, 단일층을 활용하는 것이 가능하다. 단일 원자층으로 구성된 그래핀의 특성으로 인해, 그래핀은 매우 작은 힘에 의해서도 쉽게 휘어지거나 펼쳐지는 성질과, 그 휘어지는 정도가 수 nm 정도에서부터 가능하다. 또한, 그래핀과 다른 물질을 이중층 이상의 다층 구조로 적층한 경우, 그래핀의 형상 구조를 자유자재로 조절할 수 있다. 그리고, 그래핀은 물체의 표면과 그래핀 사이에 작용하는 반데르발스 힘(van der Waals force)에 의해 쉽게 물체의 표면에 증착할 수 있다. 그리하여, 전기 전도와 빛의 투과도가 매우 높으며, 화학적으로 안정성을 보이는 그래핀은 투과 전극으로 매우 적합하다. 통상의 투명 전극을 활용해도 되나, 그래핀은 높은 빛의 파장 영역에서 빛의 반사율이 낮고 투과율이 높아 일반적인 투명 전극보다 우수하다. 또한, 그래핀은 플렉서블한 태양 전지에 적용하기에도 용이하다.
- [0035] 도 3은 도 1의 태양 전지에서 Schottky junction 형성에 의한 포텐셜의 분포를 도시한 도면이다. 또한, 도 4a는 빛의 유무에 따른 I_{gs} vs V_{gs} 커브를 도시한 그래프이며, 도 4b는 빛의 유무에 따른 I_{ds} vs V_{gs} 커브를 도시한 그래프이고, 도 4c는 여러 V_{gs} 에 대한 I_{ds} vs V_{ds} 커브를 도시한 그래프이다.
- [0036] 도 3에서, A 지점은 Schottky Contact가 이루어지고, B 지점은 Ohmic Contact가 이루어진다. 그래핀층(40)이 없을 시 Schottky junction 형성에 의한 효과는 전극 준위에만 형성되나, 그래핀층(40)이 있을 시 포텐셜(potential)의 분포는 전면에 형성됨으로써, 전자와 홀의 분리를 유도하여 광전류 수집 효율을 극대화할 수 있다. 그래핀의 역할은 크게 빛의 흡수로 생성된 광전자와 광홀을 모으는 전극, 빛의 투과를 돕는 역할, 흡수층(10) 표면에 생성된 전자와 홀에 금속(30)과 흡수층(10)에 형성된 built-in voltage를 전달하여 분리시키는 기능, 그리고, 부도체로 이루어진 절연층(20) 및 금속(30)을 보호하는 diffusion barrier로 활용된다. 도 4a 내지 도 4c에 전류에 따른 전압 여러 그래프가 도시되어 있으며, 빛이 비추었을 때(ON) 전류로 변환된다.
- [0037] 도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 태양 전지의 단면도이다.
- [0038] 전술한 바와 같이, 유기물 및 전하 운반자의 이동도가 매우 낮은 흡수층(10)이 사용될 경우, 태양 전지는 적층 구조로 직렬 연결된 구조가 적합하다. 도 5에 도시한 바와 같이, 흡수층(10), 절연층(20), 그래핀층(40) 위에, 차례대로 흡수층(10), 절연층(20), 그래핀층(40)을 순차적으로 적층함으로써, 태양 전지의 효율을 높일 수 있다. 여기에서, 빛의 흡수로 발생한 광전자와 광홀이 모두 전류로 전환될 수 있는 영역에서만 빛이 흡수되도록 흡수층(10)의 두께를 얇게 하며, 이 층에서 흡수되지 않은 빛은 다음 층들에서 흡수가 일어나게 하여 빛의 흡수율 및 전류 발생 효율, 즉 에너지 변환율을 증가시킬 수 있다. 이때, 흡수층(10)의 두께를 마이크로미터 이내($\sim \mu m$)로 조절하여 적층 구조를 형성하는 것이 바람직하다.
- [0039] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양 전지의 제조 방법의 순서도이다. 또한, 도 7은 도 6의 태양 전지의 제조 방법에서 각 단계를 도시한 제1 도면이며, 도 8은 도 6의 태양 전지의 제조 방법에서 각 단계를 도시한 제2 도면이다.
- [0040] 도 6을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 태양 전지의 제조 방법은, 빛에너지를 흡수하는 반도체 물질로 이루어진 흡수층(10)을 형성하고(S10), 상기 흡수층(10) 상에 부도체 물질로 이루어진 절연층(20)을 형성하고(S10), 상기 절연층(20)을 식각하여 복수의 관통홀(22)을 형성하고(S10), 상기 복수의 관통홀(22)에 각각 금속(30)을 증착하고(S10), 상기 절연층(20) 상에 그래핀층(40)을 형성한다(S10).
- [0041] 도 7에서, 흡수층(10)을 형성하는 경우(a), 흡수층(10)의 두께가 100 μm 이하로 형성될 수 있다. 또한, 절연층(20)을 형성하는 경우(b), 절연층(20)의 두께가 10 μm 이하로 형성될 수 있다. 그리고, 관통홀(22)을 형성하는 경우(c), 포토레지스트와 마스크를 사용하여 절연층(20)을 식각할 수 있고, 금속(30)을 증착하는 경우(d), 마스크를 사용하여 증착할 수 있다. 이때, 흡수층(10) 및 절연층(20)의 두께가 다르게 형성될 수 있음은 물론이다.
- [0042] 도 8에서, 흡수층(10), 절연층(20), 관통홀(22)에 증착된 금속(30), 그래핀층(40)의 구조는 직렬 연결된 적층 구조로 형성될 수도 있다(f). 즉, 도 6의 각 단계가 순차적으로 적어도 1회 반복하여 적층 구조를 형성할 수 있다. 이러한 경우, 흡수층(10)이 적어도 2개층 이상이므로, 흡수층(10)의 두께가 10 μm 이하로 형성되는 것이 바람직하다. 또한, 절연층(20)의 두께가 10 μm 이하로 형성될 수 있다. 더욱 바람직하게는, 절연층(20)의 두께가 10 μm 정도로 형성되는 경우, 흡수층(10)의 두께가 1 μm 이하로 형성될 수 있다.
- [0043] 도 9는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 태양 전지의 제1 단면도이다. 또한, 도 10은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 태양 전지의 제2 단면도이다.

- [0044] 전술한 방법에서는 절연층(20)에 패턴된 금속(30) 전극으로 높은 Schottky junction barrier를 얻고, 높은 빛의 투과율을 얻으며, 그래핀층(40)을 이용하여 전자와 홀이 효율적으로 분리되어 전류로 변환되도록 하였다. 도 9 및 도 10에 도시한 태양 전지에서는, 패턴된 전극을 사용하는 대신에, 빛의 흡수체와 높은 일함수의 차이를 가지는 금속(30)을 직접 흡수층(10) 상에 증착하고, 이 증착된 금속(30) 면에 그래핀층(40)을 증착하고, 흡수층(10) 하면에도 그래핀층(40)을 증착한다. 이때, 그래핀층(40)의 두께는 빛의 스킨 깊이(skin depth)보다 매우 낮도록 증착하여 대부분의 빛이 통과하게 한다. 또한, 금속(30) 층의 두께도 빛의 스킨 깊이(skin depth)보다 얇게 증착하여 높은 빛의 투과도를 유지한다. 따라서, 금속(30) 층에 의한 전기 전도도가 감소되나, 그래핀층(40)을 증착하여 빛의 투과도에 영향을 주지 않고, 전기 전도도를 향상시킨다.
- [0045] 흡수층(10)의 전면에 걸쳐 높은 빌트인 전압(builtin voltage)이 나타나도록 하기 위해서는 percolation limit 보다 두껍게 금속(30)을 증착하는 것이 바람직하나, 얇게 금속(30)을 증착하는 경우에는 그래핀에 의해 낮은 전기 전도도가 보장된다. 즉, 금속(30) 층의 두께가 percolation limit 이하이거나, 또는 성장 방법이 금속(30) 면을 완전히 wetting 하지 않은 경우에 전기 전도도는 현격하게 낮아지게 되나, 이는 그래핀에 의해 보장된다.
- [0046] 금속(30) 층은 도 9와 같이 연속적인 면을 가질 수도 있고, 도 10과 같이 불연속적인 면을 가질 수도 있다. 즉, percolation limit보다 큰 값의 두께를 가지거나 또는 작은 값을 가지게 할 수 있다. 도 9에서, 금속(30) 층의 두께가 빛의 스킨 깊이(skin depth)보다 얇지만 금속(30)의 일함수를 이용하여 높은 빌트인 전압(builtin voltage)을 형성하고, 그래핀을 이용한 높은 전도도를 형성하고, 빛의 투과도를 유지할 수 있다. 도 10에서, 금속(30) 층의 두께가 매우 낮도록 하여 불연속적인 면을 형성하거나, 또는 금속 나노입자(nano particle)를 증착하여 불연속적인 면을 형성할 수 있다. 따라서, 빌트인 전압(builtin voltage)은 금속(30)과 흡수층(10)에 의해 형성되고, 그래핀층(40)에 의해 전기 전도도가 향상된다. 특히, 불연속적인 금속(30) 층으로 인하여 플라즈몬 효과(Plasmon effect)가 발생하고, 이로 인하여 빛의 흡수가 증폭된다. 즉, 불연속적인 금속 박막은 빛의 반사를 줄이고, 빛의 흡수를 강화하는 블라즈몬 생성을 촉진하여, 높은 효율을 가진 태양 전지를 구현할 수 있다. 그러므로, 나노 입자(nano particle)를 이용하여 이를 극대화할 수 있다. 여기에서, 절연층(20)을 증착할 필요가 없으므로, 공정이 더욱 간단해지며, 플라즈몬 효과와 그래핀으로 인한 반사율이 최소화되는 장점이 있다.
- [0047] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양 전지 부스터의 단면도이다.
- [0048] 도 11을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 태양 전지 부스터는, 반도체 물질로 이루어진 흡수층(10)과, 상기 흡수층(10) 상에 적층된 제1 그래핀층(40)과, 상기 제1 그래핀층(40) 상에 적층된 절연층(20)과, 상기 절연층(20) 상에 적층된 제2 그래핀층(40)을 포함하는 태양 전지 및 상기 제1 및 제2 그래핀층(40)에 각각 양단이 연결되는 직류 전원(50)을 포함한다. 이때, 절연층(20)에 의해 상기 제1 및 제2 그래핀층(40) 사이에 전압만 가해진다. 즉, 제1 및 제2 그래핀층(40) 사이에는 전류가 흐르지 않게 된다.
- [0049] 이러한 태양 전지 부스터를 통해, 높은 Schottky junction barrier를 얻기 위하여, 금속 대신에 그래핀 자체를 활용하게 된다. 그래핀의 일함수는 보통의 크기를 가지고 있지만, 그 일함수는 화학적으로나 전기적으로 조절이 가능하다. 본 발명의 일 실시예에 따른 태양 전지 부스터에서 일함수를 전기적으로 조절하여, 태양 전지의 빌트인 전압(builtin voltage)을 증가시키는 것이다. 그래핀의 일함수를 조절하기 위하여 그래핀이 직접 흡수층(10)에 접촉하고 그래핀 위에 유전체 또는 전해질 중 적어도 하나로 이루어진 절연층(20)을 올리고, 다시 그 위에 그래핀을 증착하고, 이러한 구조에서 두 그래핀 사이에 전압을 가하는 것이다. 이때, 제1 및 제2 그래핀층(40) 사이에 전압만 가해지고, 전류는 흐르지 않아야 하므로, 절연층(20)의 두께는 누설 전류(leakage current)가 흐르지 않도록 충분히 두꺼워야 파워 손실이 적게 된다. 그리고, 충분한 페르미 준위의 이동이 유도되어야 하므로, 유전 상수가 매우 큰 유전체를 사용하거나 또는 고농도의 전기화학적으로 안정된 전해질을 사용하는 것이 바람직하다.
- [0050] 도 12a는 흡수층이 p형일 경우에 태양 전지 부스터의 구조를 도시한 도면이며, 도 12b는 도 12a에서의 에너지 밴드 구조를 도시한 도면이다. 또한, 도 13a는 흡수층이 n형일 경우에 태양 전지 부스터의 구조를 도시한 도면이며, 도 13b는 도 13a에서의 에너지 밴드 구조를 도시한 도면이다.
- [0051] 흡수층(10)은 n형 반도체 또는 p형 반도체 중 적어도 하나인데, 흡수층(10)에 따라 직류 전원(50)이 그래핀층(40)에 연결되는 극성이 다르게 된다.
- [0052] 도 12a 및 도 12b를 참조하면, 직류 전원(52)은 흡수층이 p형 반도체(12)인 경우, 제1 그래핀층에 양극이 연결되고, 제2 그래핀층에 음극이 연결된다. 이로써, 그래핀의 페르미 준위가 조절된다. 이에 대한 에너지 밴드 구조가 도 12b에 도시되어 있다. 그래핀과 p형 반도체(12) 사이에 Schottky junction이 형성되며, builtin

voltage는 직류 전원(52)의 전압과 절연층(20)의 유전 상수 및 두께에 의해 결정된다.

[0053] 또한, 도 13a 및 도 13b를 참조하면, 직류 전원(54)은 흡수층이 n형 반도체(14)인 경우, 제1 그래핀층에 음극이 연결되고, 제2 그래핀층에 양극이 연결된다. 이로써, 그래핀의 페르미 준위가 조절된다. 이에 대한 에너지 밴드 구조가 도 13b에 도시되어 있다. 그래핀과 n형 반도체(14) 사이에 Schottky junction이 형성되며, builtin voltage는 직류 전원(54)의 전압과 절연층(20)의 유전 상수 및 두께에 의해 결정된다.

[0054] 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 태양 전지 부스터를 통해, 금속을 이용하지 않고 그래핀을 이용하여, builtin voltage를 능동적으로(active) 조절할 수 있다.

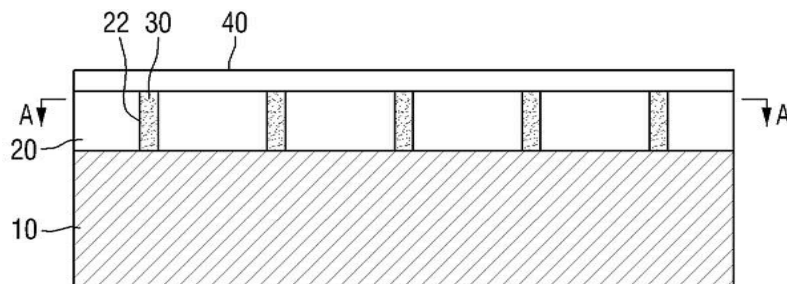
[0055] 이상 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

부호의 설명

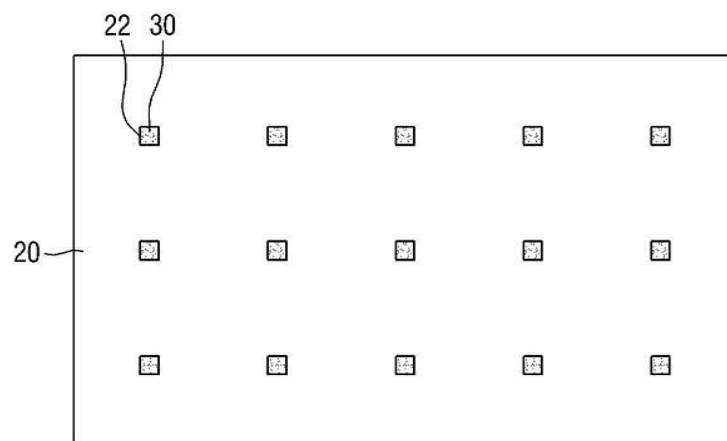
[0056] 10: 흡수층
20: 절연층
30: 금속
40: 그래핀층

도면

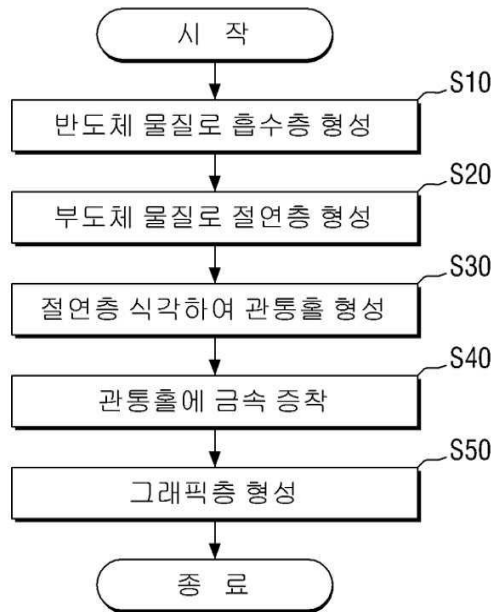
도면1



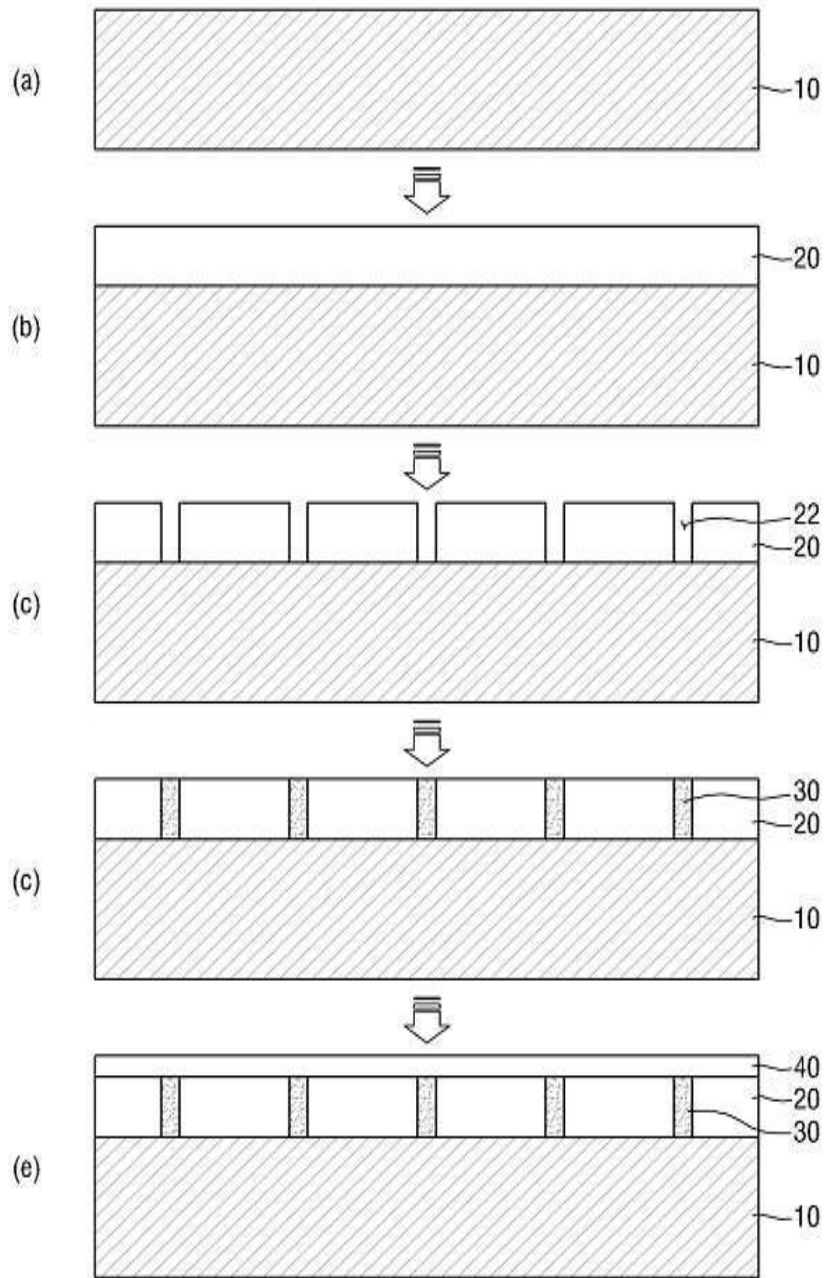
도면2



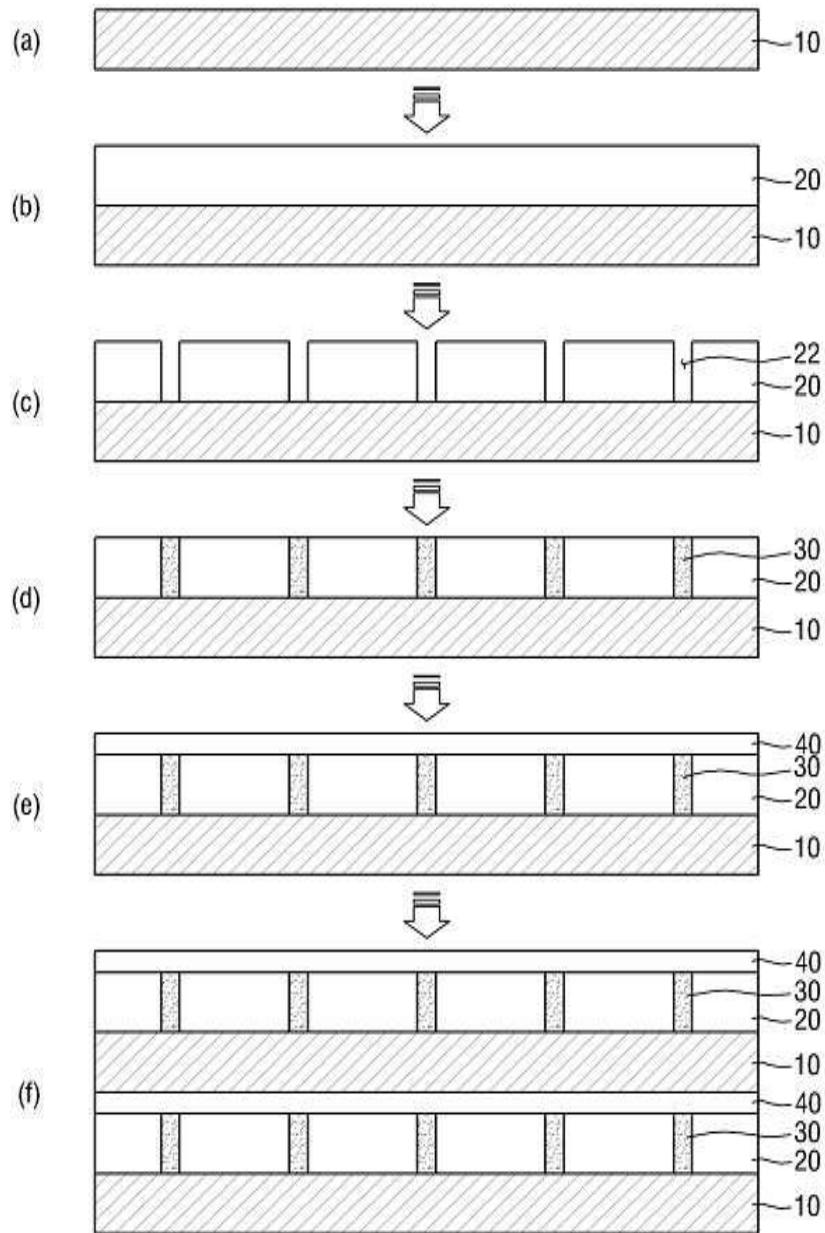
도면6



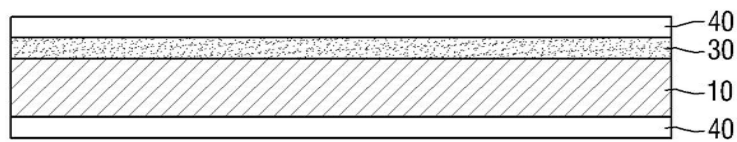
도면7



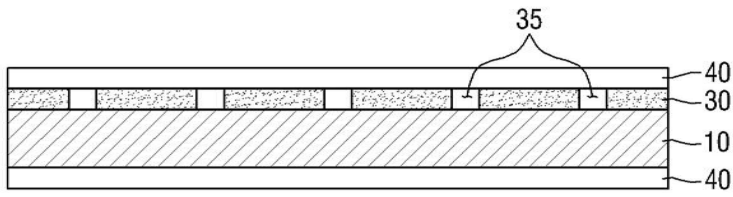
도면8



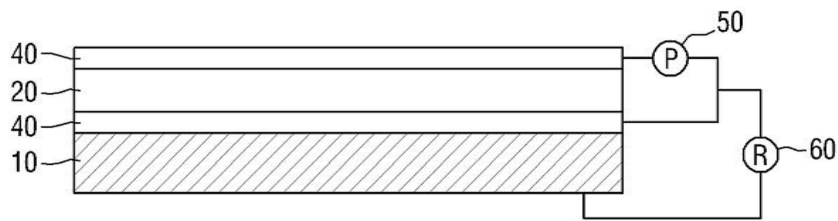
도면9



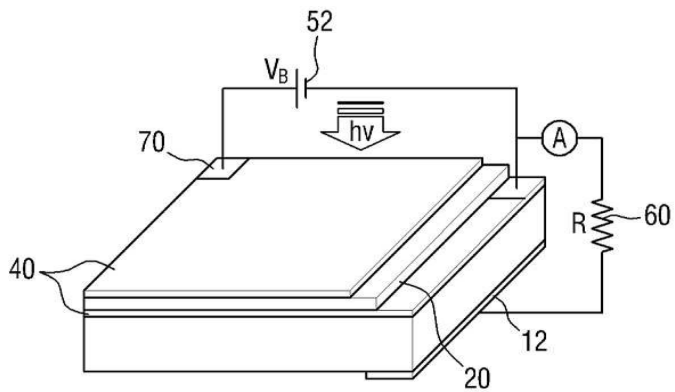
도면10



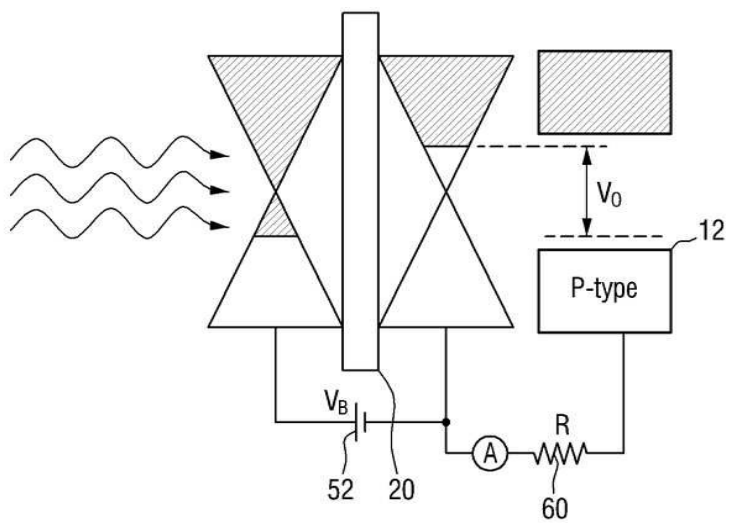
도면11



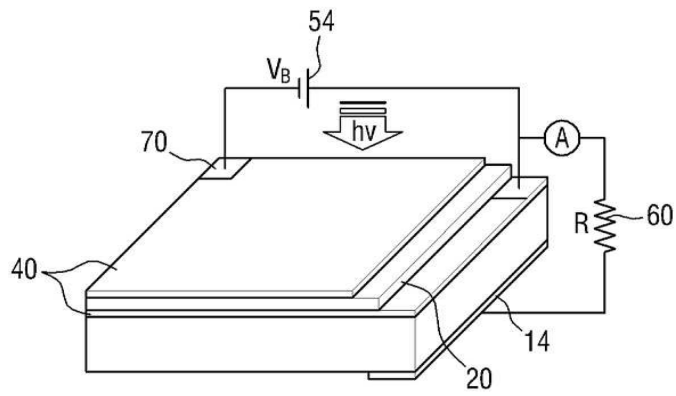
도면12a



도면12b



도면13a



도면13b

