(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0031147
(43) 공개일자 2016년03월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 35/04 (2006.01) *H01L 35/34* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0120482
(22) 출원일자 2014년09월11일
심사청구일자 2015년05월12일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
김상식
서울 강남구 도곡로78길 22, 108동 1205호 (대치동, 삼성아파트1차)
조경아
서울 광진구 천호대로110길 72
최진용
서울특별시 서초구 서초2동 우성아파트 17동 205호
(74) 대리인
홍동우

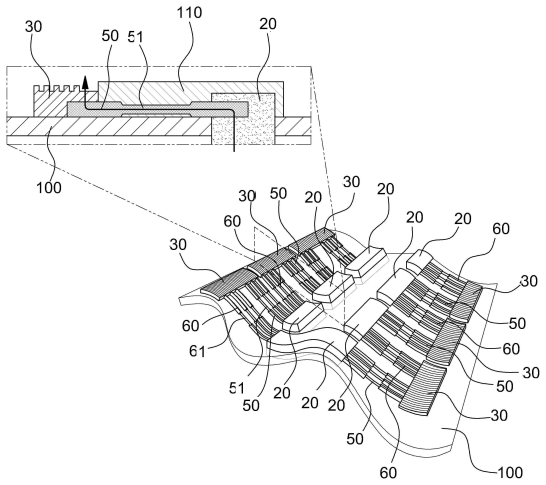
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 **열전발전모듈 및 그 제조방법**

(57) 요 약

본 발명은, 상이한 두 개의 열원 사이에 개재되어 열전발전을 이루는 기초 구조인 단위체(10)들의 집합으로 이루어지는 열전발전모듈에 있어서, 상기 단위체(10)는, 어느 하나의 열원 측에 배치되는 제 1 전극과, 다른 하나의 열원 측으로 상기 제 1 전극과 이격되어 배치되는 제 2 전극과, 상기 제 1 전극과 상기 제 2 전극을 연결시키되, n 타입이나 p 타입의 반도체로 이루어지는 제 1 나노와이어(50)와, 상기 제 1 나노와이어(50)를 형성하는 타입과 다른 타입의 도체 또는 반도체로 이루어지고, 일측은 상기 제 1 전극 측에 연결되고, 타측은 상기 단위체(10)와 인접하는 다른 단위체의 제 2 전극 측에 연결되는 제 2 나노와이어(60)를 구비하는 것을 특징으로 하는 열전발전모듈 및 이의 제조 방법을 제공한다.

대 표 도 - 도3a



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2013070750
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 중견연구자지원_도약연구(전략)
연구과제명 전하운반체/포논 제어나노구조체 기반 플렉시블 열전시스템 구현 및 특성향상 연구
기 여 율 1/1
주관기관 고려대학교 산학협력단
연구기간 2013.11.01 ~ 2014.10.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

상이한 두 개의 열원 사이에 개재되어 열전발전을 이루는 기초 구조인 단위체(10)들의 집합으로 이루어지는 열전발전모듈에 있어서,

상기 단위체(10)는,

어느 하나의 열원 측에 배치되는 제 1 전극과,

다른 하나의 열원 측으로 상기 제 1 전극과 이격되어 배치되는 제 2 전극과,

상기 제 1 전극과 상기 제 2 전극을 연결시키되, n 타입이나 p 타입의 반도체로 이루어지는 제 1 나노와이어(50)와,

상기 제 1 나노와이어(50)를 형성하는 타입과 다른 타입의 도체 또는 반도체로 이루어지고, 일측은 상기 제 1 전극 측에 연결되고, 타측은 상기 단위체(10)와 인접하는 다른 단위체의 제 2 전극 측에 연결되는 제 2 나노와이어(60)를 구비하는 것을 특징으로 하는 열전발전모듈.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 전극과 상기 제 2 전극은 동일 평면 상에 배치되고,

상기 제 1 나노와이어(50)와 제 2 나노와이어(60) 중 어느 하나는 상기 제 1 전극(20)으로부터 연장되어 이격 배치되는 동일 단위체 내의 제 2 전극(30)과 연결되고, 다른 하나는 인접 단위체 내의 제 2 전극과 연결되고,

상기 단위체(10) 중의 적어도 하나의 상기 제 1 전극 및 제 1 나노와이어(50)와 제 2 나노와이어(60)는 "ㄷ" 자 형태 형성이 가능한 것을 특징으로 하는 열전발전모듈.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 "ㄷ" 자 형상을 이루는 상기 제 1 전극 및 제 1 나노와이어(50)와 제 2 나노와이어(60)의 단위체를 포함하는 상기 단위체들을 기판(100) 상에 직렬 연속 배치하여 어느 하나의 열원을 포획 가능한 것을 특징으로 하는 열전발전모듈.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상이한 두 개의 열원 사이에 배치되는 기판(100)이 구비되고,

상기 제 2 전극 및 상기 제 1 나노와이어와 제 2 나노와이어는 상기 기판의 일면 상에 배치되되, 상기 제 1 전극은 상기 기판을 관통하여 상기 제 1 전극의 타면이 상기 기판의 타면에 노출되도록 배치되고,

상기 제 1 전극 및 상기 제 2 전극 사이로 상기 기판의 일면에는 열차단 보호층이 배치되는 것을 특징으로 하는 열전발전모듈.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 열차단 보호층은 상기 제 1 나노와이어, 상기 제 2 나노와이어 및 상기 제1 전극의 타면을 도포하는 것을 특징으로 하는 열전발전모듈.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 열차단 보호층은:

ZrO2, SiO2, Al2O3, TiO2, SiC 또는 ZrO2와 같은 세라믹 계열 재료 및 폴리머 중의 하나 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는 열전발전모듈.

청구항 7

제 4 항에 있어서,

상기 기판은 플렉서블 기판인 것을 특징으로 하는 열전발전모듈.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 플렉서블 기판은:

PDMS(Poly dimethyl siloxane), 폴리이미드(Polyimide), 폴리 카보네이트(Poly carbonate), PMMA(Poly methyl methacrylate), 사이클릭 올레핀 코폴리머(COC;Cyclo olefin copolymer), 파릴린(Parylene), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET), 폴리부틸렌테레프탈레이트(PBT), 폴리실란(polysilane), 폴리실록산(polysiloxane), 폴리실라잔(polysilazane), 폴리카르보실란(polycarbosilane), 폴리아크릴레이트(polyacrylate), 폴리메타크릴레이트(polymethacrylate), 폴리메틸아크릴레이트(polymethylacrylate), 폴리메틸메타크릴레이트(PMMA), 폴리에틸아크릴레이트(polyethylacrylate), 폴리에틸메타크릴레이트 (polyethylmetacrylate), 사이클릭 올레핀 폴리머(COP), 폴리에틸렌(PE), 폴리프로필렌(PP), 폴리스타이렌(PS), 폴리아세탈(POM), 폴리에테르에테르케톤(PEEK), 폴리에스테르설폰(PES), 폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE), 폴리비닐클로라이드(PVC), 폴리비닐리덴플로라이드(PVDF), 퍼플루오로알킬 고분자(PFA) 중 어느 하나로 구성되거나 이들의 조합으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 열전발전모듈.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 나노와이어(50)와 상기 제 2 나노와이어(60)는 전사 방식으로 상기 제 1 전극(20) 및 제 2 전극(30)에 연결 배치되는 것을 특징으로 하는 열전발전모듈.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 제 1 나노와이어 또는 제 2 나노와이어는 50nm 이하 직경의 포논 초크부를 구비하는 것을 특징으로 하는 열전발전모듈.

청구항 11

열전발전모듈의 제조방법에 있어서,

실리콘 웨이퍼(100) 상에 포토리소그래피 처리를 수행하여 제 1 전극을 위한 패턴(200)을 형성하는 제 1 전극 패턴 형성 단계;

상기 실리콘웨이퍼(100)상에 PDMS 기판층(300)을 형성하는 기판 형성 단계;

상기 실리콘웨이퍼(100)상에 형성된 패턴(200)을 제거하여 패턴(200)이 제거된 위치에 비아(210)를 형성하는 기판 비아 형성단계;

상기 비아(210)가 형성된 부분에만 포토리소그래피 처리를 수행하여 제 1 전극용 도전층 증착을 위한 패턴(400)을 형성하는 제1 전극 증착 패턴 단계;

상기 패턴(400) 상에 도전층을 증착시켜 제 1 전극(500)을 형성하는 제 1 전극 증착 단계;

상기 제 1 전극(500)이 증착된 상기 PDMS 기판층(300)을 실리콘 웨이퍼(100)로부터 분리시키는 기판층 분리 단계;

상기 분리된 PDMS 기판층(300)에 형성된 제 1 전극(500)에 제 1 나노와이어(50)와 제 2 나노와이어(60)를 전사시켜 상기 제 1 전극(500)에 제 1 및 제 2 나노와이어(50,60)를 결선시키는 전사 및 결선 단계;

상기 제 1 및 제 2 나노와이어(50,60)의 타측 부분에 포토리소그래피 처리를 수행하여 제 2 전극용 도전층 증착을 위한 패턴을 형성하는 제 2 전극 증착 패턴 형성 단계;

상기 패턴 상에 도전층을 증착시켜 제 2 전극(700)을 형성하는 제 2 전극 증착 단계;

제 1 전극(500)과 제 2 전극(700) 사이에 열차단 보호층(800)을 형성하는 보호층 형성 단계;

를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 열전발전모듈의 제조방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 제 1 나노와이어(50)와 제 2 나노와이어(60)는 다음의 단계를 거쳐서 PDMS층(1500)에 전사되는 것을 특징으로 하는 열전발전모듈의 제조방법.

상기의 PDMS층(1500)상에 자외선에 의하여 경화되는 유기물층(1600)을 형성하는 단계;

부양된 상태의 실리콘 나노와이어(1400,1401)를 형성한 실리콘웨이퍼(1000) 기판을 상기 PDMS층(1500)의 상부에 정렬시키고 압력을 가하여 PDMS층(1500)에 코팅된 유기물층(1600)의 내부에 나노와이어(1400,1401)를 내삽시키는 단계;

상기 나노와이어(1400,1401)가 유기물층(1600)의 내부에 내삽되면 상부의 PDMS 기판층(1500)을 제거하고 유기물층(1600)을 자외선에 노출시켜 유기물층(1600)을 경화시키는 단계;

상기 유기물층(1600)의 경화가 완료된 후 유기물층(1600)을 제거하는 단계.

청구항 13

제 11 항 또는 제 12 항의 제조방법으로 제조된 열전발전모듈.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 열전발전모듈에 관한 것으로서, 보다 상세하게는, 전기적인 신호는 평면상에서 상호 직렬 연결된 단위체들에 의하여 수평적으로 전달되고, 열의 이동은 공통전극으로부터 제 1 전극과 제 2 전극으로 수직적으로 전달되는 3차원적 입체 구조를 가진 하이브리드형 열전발전모듈에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로, 열전 현상(Thermoelectric effect)이란 열과 전기 사이의 가역적, 직접적인 에너지 변환에 의하여 외부로부터 인가된 전류에 의해 형성된 양단의 온도차를 이용하여 냉각 분야에 응용하는 펠티어 효과(Peltier effect)와, 재료 양단의 온도 차로부터 발생하는 기전력을 이용하여 발전분야에 응용하는 제벡 효과(Seebeck effect)로 구분된다.

[0003] 상기의 펠티어 효과를 응용한 열전 냉각 기술은 환경문제를 유발하는 냉매가스를 사용하지 않는 친환경 냉각기술이면서 나아가, 무진동과 저소음을 가지는 잇점을 가지고 있으며, 향후 고효율의 열전냉각 재료의 개발이 이루어지게 된다면 냉장고나 에어컨 등의 범용 냉각 분야에까지 응용의 폭을 확대할 수 있는 가능성을 가지고 있는 기술이다.

[0004] 또한, 상기의 제백 효과를 응용한 열전 발전 기술은 자동차의 엔진, 산업현장에서의 열 방출 장비나 해당 구간에 열전 발전 재료를 적용하면 재료 양단에 발생하는 온도차에 의한 발전을 수행하는 기술로서, 이미 태양열 발전이 이루어질 수 없는 원거리 우주 탐사선에 이러한 열전 발전 시스템이 적용되고 있는 실정이다.

[0005] 상기의 열전발전모듈은 p 형 및 n 형 도체 또는 반도체를 연결하여 한쪽은 고온, 다른 쪽은 저온 열원으로 설정하였을 때 발생되는 열기전력에 의해서 전류를 흐르도록 만든 회로이다.

[0006] 근래에는 상기와 같은 열전발전모듈의 소형 컴팩트화를 달성하기 위하여 나노와이어(nano-wire)를 이용하는 열전발전모듈이 개발되고 있으며, 이러한 기술로서 대한민국 특허 제 1249292 호(2013. 3. 26, 이하, '선행기술 1' 이라 함)의 열전소자, 열전소자 모듈, 및 그 열전 소자의 형성 방법이 공지되어 있다.

[0007] 상기의 선행기술 1 은 상기 소자는 하나의 이상의 제 1 장벽영역을 포함하는 제 1 도전형의 제 1 반도체 나노와이어, 하나의 이상의 제 2 장벽영역을 포함하는 제 2 도전형의 제 2 반도체 나노와이어, 제 1 반도체 나노와이어의 일단에 연결된 제 1 전극, 제 2 반도체 나노와이어의 일단에 연결된 제 2 전극, 및 제 1 반도체 나노와이어의 타단 및 제 2 반도체 나노와이어 타단에 연결된 공통 전극을 포함하는 구성의 열전소자 모듈의 구성이다.

[0008] 상기와 같은 선행기술 1 의 열전소자 모듈은 제 1 반도체 나노와이어와 제 2 반도체 나노와이어가 상기 제 1 전극과 제 2 전극 및 공통 전극을 연결하는 브릿지(bridge)의 역할을 수행하는데, 이러한 브릿지를 형성하는 구조는 열전소자 모듈의 제조 공정을 복잡하게 할 뿐만 아니라, 이러한 복잡한 제조 공정과 택일적인 구조의 제조만을 허용한다는 점에서 열전소자 모듈의 성능과 설계 자유도를 향상시키는데에 한계점을 드러내고 있는 실정이다.

[0009] 또한, 나노와이어를 이용하여 열전 소자를 제조하는 방법으로서 대한민국특허공개 제 10-2012-71254 호(2012. 7. 2, 이하, '선행기술 2' 이라 함)의 열전소자 및 그 제조방법이 공지되어 있다.

[0010] 상기의 선행기술 2 는 기판 상부에 반도체층을 증착하고 패터닝하여 제 1 나노와이어 패턴, 상기 제 1 나노와이어 패턴, 고온부 및 저온부를 형성하는 구조물 형성 단계; 상기 제 1 나노와이어 패턴 및 상기 제 2 나노와이어 패턴에 제 1 도전형 물질 및 제 2 도전형 물질을 각각 이온 주입하여 형성하는 나노와이어 형성 단계; 상기 기판 전면에 절연 물질을 증착하고 패터닝하여 상기 제 1 나노와이어와 상기 제 2 나노와이어 상부에 절연층을 형성하는 절연층 형성 단계; 상기 기판 전면에 금속 물질을 증착하고 패터닝하여 상기 제 1 나노와이어측 절연층 상부에 제 1 금속층을 형성하는 제 1 금속층 형성 단계; 및 상기 기판 전면에 금속 물질을 증착하고 패터닝하여 상기 제 2 나노와이어측 절연층 상부에 제 2 금속층을 형성하는 제 2 금속층 형성 단계를 포함하는 열전소자의 제조 방법의 구성이다.

[0011] 그러나, 상기의 선행기술 2 역시 제 1 나노와이어와 제 2 나노와이어를 형성하기 위하여 패턴 형성, 절연층 형성 및 금속층 형성 등의 여러 공정을 거쳐야 하므로, 전술한 선행기술 1 과 마찬가지로 제조 공정이 복잡하고, 열전소자 모듈의 성능 증대에 제약이 있으며, 택일적 구조의 제조방법이므로 열전소자 모듈의 설계 자유도가 저하되는 문제점을 가지고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 상기와 같은 종래의 제반 문제점을 해소하기 위하여 창안된 본 발명은, 열전발전모듈의 전극 연결 브릿지를 나노와이어를 이용하여 제조하되 열전발전모듈의 발전 성능을 향상시킬 수 있으며, 제조공정 및 구조를 단순하게 함으로써 제조 원가를 절감할 수 있을 뿐만 아니라 컴팩트한 구조를 가진 열전 발전 모듈의 개발을 가능하게 하며, 나아가 전극과 나노와이어를 이용하는 브릿지 구조가 다양하게 배치될 수 있음으로써 설계상의 자유도를 증

대시킬 수 있는 하이브리드형 열전발전모듈 및 그 제조방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0013] 상기와 같은 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명은, 상이한 두 개의 열원 사이에 개재되어 열전발전을 이루는 기초 구조인 단위체(10)들의 집합으로 이루어지는 열전발전모듈에 있어서, 상기 단위체(10)는, 어느 하나의 열원 측에 배치되는 제 1 전극과, 다른 하나의 열원 측으로 상기 제 1 전극과 이격되어 배치되는 제 2 전극과, 상기 제 1 전극과 상기 제 2 전극을 연결시키되, n 타입이나 p 타입의 반도체로 이루어지는 제 1 나노와이어(50)와, 상기 제 1 나노와이어(50)를 형성하는 타입과 다른 타입의 도체 또는 반도체로 이루어지고, 일측은 상기 제 1 전극 측에 연결되고, 타측은 상기 단위체(10)와 인접하는 다른 단위체의 제 2 전극 측에 연결되는 제 2 나노와이어(60)를 구비하는 것을 특징으로 하는 열전발전모듈을 제공한다.

[0014] 상기 열전발전모듈에 있어서, 상기 제 1 전극과 상기 제 2 전극은 동일 평면 상에 배치되고, 상기 제 1 나노와이어(50)와 제 2 나노와이어(60) 중 어느 하나는 상기 제 1 전극(20)으로부터 연장되어 이격 배치되는 동일 단위체 내의 제 2 전극(30)과 연결되고, 다른 하나는 인접 단위체 내의 제 2 전극과 연결되고, 상기 단위체(10) 중의 적어도 하나의 상기 제 1 전극 및 제 1 나노와이어(50)와 제 2 나노와이어(60)는 "ㄷ" 자 형태 형성이 가능할 수도 있다.

[0015] 상기 열전발전모듈에 있어서, 상기 "ㄷ" 자 형상을 이루는 상기 제 1 전극 및 제 1 나노와이어(50)와 제 2 나노와이어(60)의 단위체를 포함하는 상기 단위체들을 기판(100) 상에 직렬 연속 배치하여 어느 하나의 열원을 포획 가능할 수도 있다.

[0016] 상기 열전발전모듈에 있어서, 상이한 두 개의 열원 사이에 배치되는 기판(100)이 구비되고, 상기 제 2 전극 및 상기 제 1 나노와이어와 제 2 나노와이어는 상기 기판의 일면 상에 배치되되, 상기 제 1 전극은 상기 기판을 관통하여 상기 제 1 전극의 타면이 상기 기판의 타면에 노출되도록 배치되고, 상기 제 1 전극 및 상기 제 2 전극 사이로 상기 기판의 일면에는 열차단 보호층이 배치될 수도 있다.

[0017] 상기 열전발전모듈에 있어서, 상기 열차단 보호층은 상기 제 1 나노와이어, 상기 제 2 나노와이어 및 상기 제1 전극의 타면을 도포할 수도 있다.

[0018] 상기 열전발전모듈에 있어서, 상기 열차단 보호층은: ZrO2, SiO2, Al2O3, TiO2, SiC 또는 ZrO2와 같은 세라믹 계열 재료 및 폴리머 중의 하나 이상을 포함할 수도 있다.

[0019] 상기 열전발전모듈에 있어서, 상기 기판은 플렉서블 기판일 수도 있다.

[0020] 상기 열전발전모듈에 있어서, 상기 플렉서블 기판은: PDMS(Poly dimethyl siloxane), 폴리이미드(Polyimide), 폴리 카보네이트(Poly carbonate), PMMA(Poly methyl methacrylate), 사이클릭 올레핀 코폴리머(COC;Cyclo olefin copolymer), 파릴린(Parylene), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET), 폴리부틸렌테레프탈레이트(PBT), 폴리실란(polysilane), 폴리실록산(polysiloxane), 폴리실라잔(polysilazane), 폴리카르보실란(polycarbosilane), 폴리아크릴레이트(polyacrylate), 폴리메타크릴레이트(polymethacrylate), 폴리메틸아크릴레이트(polymethylacrylate), 폴리메틸메타크릴레이트(PMMA), 폴리에틸아크릴레이트(polyethylacrylate), 폴리에틸메타크릴레이트 (polyethylmetacrylate), 사이클릭 올레핀 폴리머(COP), 폴리에틸렌(PE), 폴리프로필렌(PP), 폴리스타이렌(PS), 폴리아세탈(POM), 폴리에테르에테르케톤(PEEK), 폴리에스테르설폰(PES), 폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE), 폴리비닐클로라이드(PVC), 폴리비닐리덴플로라이드(PVDF), 퍼플루오로알킬 고분자(PFA) 중 어느 하나로 구성되거나 이들의 조합으로 이루어질 수도 있다.

[0021] 상기 열전발전모듈에 있어서, 상기 제 1 나노와이어(50)와 상기 제 2 나노와이어(60)는 전사 방식으로 상기 제 1 전극(20) 및 제 2 전극(30)에 연결 배치될 수도 있다.

[0022] 상기 열전발전모듈에 있어서, 상기 제 1 나노와이어 또는 제 2 나노와이어는 50nm 이하 직경의 포논 초크부를 구비할 수도 있다.

[0023] 본 발명의 다른 일면에 따르면, 본 발명은, 실리콘 웨이퍼(100) 상에 포토리소그래피 처리를 수행하여 제 1 전극을 위한 패턴(200)을 형성하는 제 1 전극 패턴 형성 단계; 상기 실리콘웨이퍼(100)상에 PDMS 기판층(300)을 형성하는 기판 형성 단계; 상기 실리콘웨이퍼(100)상에 형성된 패턴(200)을 제거하여 패턴(200)이 제거된 위치에 비아(210)를 형성하는 기판 비아 형성단계; 상기 비아(210)가 형성된 부분에만 포토리소그래피 처리를 수행하여 제 1 전극용 도전층 증착을 위한 패턴(400)을 형성하는 제1 전극 증착 패턴 단계; 상기 패턴(400) 상에 도

전층을 증착시켜 제 1 전극(500)을 형성하는 제 1 전극 증착 단계; 상기 제 1 전극(500)이 증착된 상기 PDMS 기판층(300)을 실리콘 웨이퍼(100)로부터 분리시키는 기판층 분리 단계; 상기 분리된 PDMS 기판층(300)에 형성된 제 1 전극(500)에 제 1 나노와이어(50)와 제 2 나노와이어(60)를 전사시켜 상기 제 1 전극(500)에 제 1 및 제 2 나노와이어(50,60)를 결선시키는 전사 및 결선 단계; 상기 제 1 및 제 2 나노와이어(50,60)의 타측 부분에 포토리소그래피 처리를 수행하여 제 2 전극용 도전층 증착을 위한 패턴을 형성하는 제 2 전극 증착 패턴 형성 단계; 상기 패턴 상에 도전층을 증착시켜 제 2 전극(700)을 형성하는 제 2 전극 증착 단계; 상기 제 1 전극(500)과 제 2 전극(700) 사이에 열차단 보호층(800)을 형성하는 보호층 형성 단계;를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 열전발전모듈의 제조방법을 제공한다.

[0024] 상기 열전발전모듈의 제조방법에 있어서, 상기 제 1 나노와이어(50)와 제 2 나노와이어(60)는 다음의 단계를 거쳐서 PDMS층(1500)에 전사될 수도 있다.

[0025] 상기 열전발전모듈의 제조방법에 있어서, 상기의 PDMS층(1500)상에 자외선에 의하여 경화되는 유기물층(1600)을 형성하는 단계; 부양된 상태의 실리콘 나노와이어(1400,1401)를 형성한 실리콘웨이퍼(1000) 기판을 상기 PDMS층(1500)의 상부에 정렬시키고 압력을 가하여 PDMS층(1500)에 코팅된 유기물층(1600)의 내부에 나노와이어(1400,1401)를 내삽시키는 단계; 상기 나노와이어(1400,1401)가 유기물층(1600)의 내부에 내삽되면 상부의 PDMS 기판층(1500)을 제거하고 유기물층(1600)을 자외선에 노출시켜 유기물층(1600)을 경화시키는 단계; 상기 유기물층(1600)의 경화가 완료된 후 유기물층(1600)을 제거할 수도 있다.

[0026] 본 발명의 또 다른 일면에 따르면, 본 발명은 상기 제조 방법으로 제조된 열전발전모듈을 제공할 수도 있다.

발명의 효과

[0027] 상기와 같은 구성을 가지는 본 발명 열전발전모듈 및 그 제조방법은, 전사 방식으로 나노와이어를 형성하는 구성을 가지므로 열전발전모듈의 제조공정 및 구조를 단순화시킬 수 있는 효과가 있다.

[0028] 또한, 상호 반대면을 향하도록 배치되는 양 전극들 사이에 나노와이어 소자가 연결되는 구조이므로, 연속적 직렬 연결 구조 배치를 통하여 열전발전모듈의 발전 효율을 증대시키고 발전 성능도 향상시키는 효과가 있다.

[0029] 또한, 제조공정 및 구조의 단순화를 통하여 열전발전모듈의 제조 원가를 절감할 수 있을 뿐만 아니라, 소형 컴팩트한 구조로서 열전발전모듈의 개발을 가능하게 하는 효과가 있다.

[0030] 또한, 전극과 나노와이어를 이용하는 브릿지 구조가 다양한 패턴으로 배치될 수 있으므로, 열전발전 효율을 향상시키기 위한 설계상의 자유도를 증대시킬 수 있는 효과가 있는 매우 진보한 발명인 것이다.

[0031] 또한, 본 발명의 열전발전모듈은 열흐름 경로와 전기적 흐름 경로를 수직 배치되는 구조를 통하여 두 개의 열원 사이에 간극을 최소화시킨 경우에도 대면적화를 통한 직렬 연결 배치 구조를 가능하게 하여 열전성능을 극대화시킬 수도 있다.

도면의 간단한 설명

[0032] 도 1a 은 본 발명 열전발전모듈의 단위체의 구성도,

도 1b는 본 발명 열전발전모듈의 단위체 나열의 상태도,

도 2 는 본 발명 열전발전모듈의 단위체가 연속적으로 배치된 상태의 일례를 나타낸 도면,

도 3a 은 본 발명 열전발전모듈의 단면도,

도 3b 내지 도 3d는 본 발명의 열전발전모듈의 일구현예를 도시하는 상태도,

도 4 는 본 발명 열전발전모듈의 제조 공정도,

도 5 는 본 발명 열전발전모듈의 나노와이어의 제조 공정도,

도 6 은 본 발명 열전발전모듈의 나노와이어가 전사되는 과정을 나타내는 공정도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0033] 이하, 첨부 도면에 의거하여 본 발명의 열전발전모듈 및 그 제조방법의 구성을 상세하게 설명한다.

[0034] 단, 개시된 도면들은 당업자에게 본 발명의 사상이 충분하게 전달될 수 있도록 하기 위한 예로서 제공되는 것이다. 따라서, 본 발명은 이하 제시되는 도면들에 한정되지 않고 다른 태양으로 구체화될 수도 있다.

[0035] 또한, 본 발명 명세서에서 사용되는 용어에 있어서 다른 정의가 없다면, 본 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 상세한 설명은 생략한다.

[0036] 도 1a 은 본 발명 열전발전모듈의 단위체의 구성도이다.

[0037] 본 발명 열전발전모듈은 열전발전을 위한 기본적인 기초 구조인 단위체(10)들의 집합체이다.

[0038] 도면을 참조하면, 본 발명의 열전발전모듈은 상이한 온도를 구비하여 양자 간에 온도차를 갖는 상이한 두 개의 열원 사이에 개재되고 하나 이상의 단위체(10)를 구비한다.

[0039] 단위체(10)는 열전발전을 이루는 기초 구조로서, 단위체(10)는 제 1 전극(20)과 제 2 전극(30)과, 제 1 나노와이어(50)와 제 2 나노와이어(60)를 포함한다. 제 1 전극(20)은 열원 중 어느 하나의 열원 측에 배치되고, 제 2 전극(20)은 다른 하나의 열원 측으로 제 1 전극과 이격되어 배치된다. 제 1 나노와이어(50)와 제 2 나노와이어(60)는 전사 방식으로 연결 배치될 수 있다.

[0040] 본 실시예에서 제 1 전극(20)은 고온 열원 측에 배치되고, 제 2 전극(30)은 저온 열원 측에 배치되나 이는 일예로서 서로 반대되는 구성을 취할 수도 있는 등다양한 변형이 가능하다.

[0041] 제 1 나노와이어(50)는 제 1 전극(20)과 제 2 전극(30)을 연결시키되, n 타입이나 p 타입의 반도체로 이루어지고, 제 2 나노와이어(60)는 제 1 나노와이어(50)를 형성하는 타입과 다른 타입의 도체 또는 반도체로 이루어지고, 일측은 상기 제 1 전극 측에 연결되고, 타측은 상기 단위체(10)와 인접하는 다른 단위체의 제 2 전극 측에 연결된다. 즉, 제 1 나노와이어(50)가 n 타입일 경우 제 2 나노와이어(60)는 p 타입, 역으로 제 1 나노와이어(50)가 p 타입일 경우 제 2 나노와이어(60)는 n 타입의 도체 또는 반도체로 이루어진다.

[0042] 경우에 따라, 제 1 나노와이어(50) 및 제 2 나노와이어(60)의 일부, 대체적으로 중앙 부위에 포논 초크부(51,61)가 형성될 수도 있다. 포논 초크부(51,61;1402,1403)는 대체적으로 50㎚ 이하의 직경, 실질적인 유효 직경, 보다 구체적으로는 20㎚ 내지 50㎚ 범위의 직경 값을 갖는데, 포논 초크부를 형성하여 전하운반체의 이동은 허용하나 포논의 이동을 제한하여 나노와이어를 통한 열전도성을 실질적으로 차단하여 열전발전성능을 향상시킬 수도 있다.

[0043] 상기와 같이 이루어지는 본 발명의 열전발전모듈의 단위체(10)는 제 1 전극(20) 및 제 2 전극(30)이 대향되게 배치되고, 제 1 나노와이어(50)와 제 2 나노와이어(60)가 제 1 전극(20)과 제 2 전극(30)을 연결하여 배치되는데, 도 1a, 도 1b 및 도 2의 본 실시예에서 제 1 전극(20)과 제 2 전극(30)은 동일 평면 상에 배치된다. 제 1 전극(20)과 제 2 전극(30)은 서로 이격되어 배치되되, 제 1 나노와이어(50)와 제 2 나노와이어(60)는 제 1 전극(20)으로부터 연장되어 이격 배치되는 동일 단위체 내의 제 2 전극(30) 및 인접 단위체 내의 제 2 전극과 연결되고, 단위체(10) 중의 적어도 하나의 제 1 전극(20) 및 제 1 나노와이어(50)와 제 2 나노와이어(60)는 "ㄷ"자 형태 형성이 가능하다. 즉, 단위체(10)는 다양한 배치 구조가 가능하나, 본 발명의 열전발전모듈의 단위체(10) 중의 적어도 하나는 제 1 전극(20)과 제 2 전극(30)이 서로 평행하게 이격되어 배치되나, 길이 방향에 대하여 동일 선분으로 투영시킬 때 서로 일부만이 중첩되는 구조를 취하여 제 1 전극(20)의 중심과 제 2 전극(30)의 중심이 서로 이격되는 구조를 취한다. 또한, 적어도 이와 같은 단위체를 포함하는 복수 개의 단위체의 연속적 연결 배치를 이룸으로써, 제 1 나노와이어(50)와 제 2 나노와이어(60) 중의 어느 하나는 동일 단위체 내의 제 2 전극(30)과 연결되고 다른 하나는 인접 단위체 내의 제 2 전극과 연결되어, 결과적으로 단위체 내의 적어도 하나의 제 1 전극(20) 및 제 1 나노와이어(50) 및 제 2 나노와이어(60)는 "ㄷ"자 형태 형성 배치 구조를 이룬다.

[0044] 한편 도 1a의 본 실시예에서 제 1 전극(20)과 제 2 전극은 동일 평면 상에서만 형성되는 구조를 취하였으나, 후술되는 바와 같이 제 1 전극(20) 및 제 2 전극(30)은 상호 평행하게 이격 대향 배치되어 적어도 일부가 서로 동일한 평면 상에 배치되되, 각각의 전극이 노출되어 열의 유출입을 허용하는 일면은 서로 반대되는 면을 형성하는 구조를 취할 수 있다. 즉, 제 1 전극(20)은 지면의 아래쪽을 향하여 노출되는 구조를 취하고, 제 2 전극(30)은 지면의 윗쪽을 향하여 노출되는 구조를 취할 수 있고, 이와 같은 구조를 통하여, 열의 흐름은 수직 방향의 열전달 구조를 이루되, 전극의 배치는 수평면 상에서 이루어져 열전발전모듈의 집적화 및 대면적화를 가능하

게 하여 열전 효율을 극대화시킬 수 있는 수직, 수평 혼합 하이브리드 구조를 형성할 수도 있다.

[0045] 한편, 본 발명의 열원발전모듈은 이와 같은 "ㄷ"자 형상을 이루는 단위체를 포함하는 단위체들을 기판(100) 상에 직렬 연속 배치하여 어느 하나의 열원을 포획하는 구조를 취할 수도 있다.

[0046] 도 2 는 본 발명 열전발전모듈의 단위체(10)가 연속적으로 배치되어 본 발명의 열전발전모듈을 구성한 일례를 나타낸 도면이다.

[0047] 상술한 바와 같이, 제 1 전극(20) 및 제 1 나노와이어(50)과 제 2 나노와이어(60)에 의하여 연결되어 이루어진 "ㄷ" 자 형상의 단위체(10) 들을 포함하는 복수 개의 단위체들을 직렬 연결하여 연속적인 배치를 이루면서 4 각형의 집적 구조를 형성함으로써 열전발전모듈을 구성한다.

[0048] 그리고, 상기와 같이 4 각형의 집적 구조를 형성한 단위체(10)들의 중앙에 어느 하나의 열원, 즉 고온 측 열원(70)(heat source)이 설치되고 포획한 영역의 외측에 고온 측 열원(70)보다 낮은 온도의 열원이 배치되는 구조를 통하여, 이들 두 개의 열원 사이에 배치되는 상기 단위체(10)들에 의하여 열전 발전(發電)이 수행된다.

[0049] 상기와 같은 본 발명 실시예의 열전발전모듈은 본 발명의 "ㄷ" 자 구조의 단위체(10)를 포함하는 단위체들을 연속적 및 효율적으로 배치시킴으로써 열전발전모듈을 소형 컴팩트화시킨 것으로서, 본 발명 열전발전모듈이 설치되는 공간의 활용성을 극대화시킬 수 있는 구조이다. 이와 같은 구조의 일예로는 컴퓨터 등의 CPU 등의 고온 발열 요소의 주위를 포획하여 열전발전 기능을 수행할 수 있다. 경우에 따라, 예를 들어 CPU 등이 과열되어 성능 저하가 우려되는 경우 열전발전모듈에 전류를 인가하여 펠티에 효과를 이용한 CPU와 같은 고온 열원 요소를 강제 냉각시키는 구성을 취할 수도 있다.

[0050] 여기서, 앞서 기술된 바와 같이, 본 실시예에서는 제 2 전극(30)이 예시된 하나의 열원(70)을 향하는 일면 상에 배치되고, 제 1 및 제 2 전극(20,30)이 제 2 전극(30)이 노출된 면과 반대면을 향하도록 배치된다. 여기서는 "ㄷ"자 구조의 단위체(10)들을 열원을 주위로 포획하는 구조를 예시하였으나, 이는 본 발명의 일예로서 본 발명의 열전소자, 즉 열전발전모듈은 제 1전극/제2전극이 향하는 일면이 열원을 향하여 이격되거나 또는 직접 접촉하여 면접촉을 이루는 구조를 형성할 수 있고, 특히 열전발전모듈이 형성되는 베이스 내지 기판이 플렉서블한 소재로 이루어져 굴곡이 있는 열원의 외부면도 효과적으로 면접촉을 이루는 열원 경로와 전기적 흐름의 경로가 수직 교차되는 하이브리드 타입의 입체적 구조를 형성할 수도 있다.

[0051] 도 3a은 도 2 에 도시된 경우의 확장된 예로서의 입체적 구조의 열전발전모듈의 일예가 도시되는데, 열전발전모듈은 하이브리드타입을 취하여 열 흐름 경로와 전기적 흐름 경로가 수직 교차되는 구조를 취한다. 보다 구체적으로, 본 발명의 열전발전모듈은 기판(100)을 더 구비하는데, 기판은 플렉서블 기판으로 구현 가능하다. 이와 같은 플렉서블 기판은 PDMS(Poly dimethyl siloxane), 폴리이미드(Polyimide), 폴리 카보네이트(Poly carbonate), PMMA(Poly methyl methacrylate), 사이클릭 올레핀 코폴리머(COC;Cyclo olefin copolymer), 파릴린(Parylene), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET), 폴리부틸렌테레프탈레이트(PBT), 폴리실란(polysilane), 폴리실록산(polysiloxane), 폴리실라잔(polysilazane), 폴리카르보실란(polycarbosilane), 폴리아크릴레이트(polyacrylate), 폴리메타크릴레이트(polymethacrylate), 폴리메틸아크릴레이트(polymethylacrylate), 폴리메틸메타크릴레이트(PMMA), 폴리에틸아크릴레이트(polyethylacrylate), 폴리에틸메타크릴레이트(polyethylmetacrylate), 사이클릭 올레핀 폴리머(COP), 폴리에틸렌(PE), 폴리프로필렌(PP), 폴리스타이렌(PS), 폴리아세탈(POM), 폴리에테르에테르케톤(PEEK), 폴리에스테르설폰(PES), 폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE), 폴리비닐클로라이드(PVC), 폴리비닐리덴플로라이드(PVDF), 퍼플루오로알킬 고분자(PFA) 중 어느 하나로 구성되거나 이들의 조합으로 형성될 수 있다.

[0052] 제 2 전극(30) 및 제 1 나노와이어(50)와 제 2 나노와이어(60)는 기판(100)의 일면 상에 배치되되, 제 1 전극(20)은 기판(100)을 관통하여 제 1 전극(20)의 타면이 기판(100)의 타면에 노출되도록 배치된다. 즉, 제 1 전극(20)은 도면 상 기판(100)의 아랫면이 노출 배치되고, 제 2 전극(30)은 기판(100)의 윗면에서 노출되도록 배치된다. 이때, 제 1 전극(20) 및 제 2 전극(30) 사이로 기판(100)의 일면에는 열차단 보호층(110)이 배치되는데, 열차단 보호층(110)은 제 1 나노와이어(50), 제 2 나노와이어(60) 및 제 1 전극(20)의 타면을 도포하여, 열차단 보호층(110)의 커버리지는 제 1 나노와이어(50), 제 2 나노와이어(60) 및 제 1 전극(20)까지 이루어져, 제 1 나노와이어(50), 제 2 나노와이어(60) 및 제 1 전극(20)이 기판(100)의 일면 상에서 노출되지 않도록 하고, 제 2 전극(30)의 적어도 일부만이 기판(100)의 일면 상에서 노출되어 기판(100)의 일면 측에 배치되는 열원과의

열전달을 이루도록 하고, 제 1 전극(20)은 기판(100)의 타면, 즉 도면 상 아랫면에 배치되는 열원과의 열전달을 이루도록 한다.

[0053] 즉, 본 발명의 열전발전모듈은 다른 구성요소들이 플렉서블한 기판(100) 상에 실장되는 구조를 취하는데, 하나 이상의 단위체(10)들이 기판(100) 상에 실장되되 단위체(10)의 제 1 전극(20) 및 제 2 전극(30)이 열전소자로서의 제 1 나노와이어(50)과 제 2 나노와이어(60)에 의하여 직렬 연결되며, 제 1 전극(20) 및 제 2 전극(30) 사이에, 보다 구체적으로는 기판(100)의 일면 상에서 제 1 나노와이어(50), 제 2 나노와이어(60) 및 제 1 전극(20)의 타면을 완전하게 덮는 열차단 보호층(110)을 형성한다. 열차단 보호층(110)은 제 1 전극(20) 측이 기판(100)의 도면 상 아랫면에 배치되는 열원에만 노출되도록 하고 기판(100)의 윗면에 배치되는 다른 열원으로의 노출을 방지하여 열전발전모듈에 단열 효과를 부여하여 열전성능을 향상시킴과 동시에 기판(100)의 일면 상에 배치되는 구성요소들이 외부로부터의 이물질 유입으로 인한 손상을 방지하기 위함이다. 이러한 열차단 및 보호적 기능을 수행하도록, 본 실시예에서 열차단 보호층(110)은 ZrO2, SiO2, Al2O3, TiO2, SiC 또는 ZrO2와 같은 세라믹 계열 재료 및 단열특성이 우수한 폴리머 중의 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0054] 이때, 상기와 같이 구성되는 단위체(10) 상에서, 기판(100)을 중심으로 수직하게 배치되는 두 개의 열원, 즉 제 1 전극(20) 측에 배치되는 고온 열원과, 제 2 전극(30) 측에 배치되는 저온 열원 간의 온도차에 의하여 제 1 전극(20) 및 제 2 전극(30)과 사이의 양단의 온도차로부터 제벡 효과(Seebeck effect)에 의한 기전력이 발생되면서 단위체(10)에서 열전 발전이 이루어지는데, 열원의 수직 배치로 열전달 흐름은 수직 전달 구조를 취하나, 기전력의 전기적 흐름을 발생시키는 제 1 나노와이어(50) 내지 제 2 나노와이어(60)는 열흐름과 수직 교차되는 기판 상에 수평하게 배치되는 방향으로의 연속적 직렬 연결 전개 구조로 인하여 전기적 흐름은 수평 배치되는 구조를 취할 수 있다.

[0055] 이러한 본 발명의 열전발전모듈은 상기 단위체(10)들이 평면상에서 상호 직렬 연결되어 전기적인 신호가 수평적으로 전달되는 구조이되, 상술한 바와 같이 제 1 전극(20)으로부터 제 2 전극(30)으로 열이 수직적으로 전달되는 구조를 형성함으로써, 전기적 신호는 수평방향으로 전달되고 열은 수직방향으로 전달되는 3차원적인 입체 구조의 하이브리드(hybrid,복합) 타입의 열전발전모듈로 구현될 수 있다.

[0056] 또한, 상기의 기판(100)을 공지된 플랙시블(flexible)한 성질을 가지는 박층의 소재를 이용한다면, 열전발전모듈 자체를 휘어지거나 구부러지게 형성시킬 수 있기 때문에 열전발전모듈을 기존의 건전지와 같은 물품에 적용시킬 수도 있게 된다.

[0057] 도 3b, 도 3c 및 도 3d에는 이와 같은 플렉서블 기판 상에 구현되는 열전발전모듈의 일예가 도시된다. 즉, 웨어러블 기기로서의 스마트 워치 등의 리스트 밴드 측에 소정의 전극(20)을 배치하여 인체로부터 발열되는 열을 고열원으로 이용하여 자가 발전 기능을 수행할 수도 있다(도 3b 참조). 또한, 아암 밴드의 내측면에 소정의 전극(20)을 배치하여 운동하는 신체로부터 발생하는 급격한 열을 고열원으로 이용하여 열전발전을 이룰 수도 있다.

[0058] 또한, 경우에 따라, 한 장의 시트 타입으로 형성하여 비상 발전 요소로서 태양열의 고온 열원 측에 소정의 전극을 배치하고, 잔디밭 등의 저온 열원 측에 다른 전극을 배치시켜 양자 간의 온도차를 이용한 긴급 발전 요소로 사용할 수도 있고, 이러한 시트타입은 건물 등의 외벽에 부착되는 구현예를 이룰 수도 는 등 다양한 변형이 가능하다.

[0059] 이하에서는, 본 발명의 일예에 따른 열전발전모듈의 제조 과정을 도면을 참조하여 설명하다. 도 4에는 본 발명 일예에 따른 열전발전모듈의 제조 공정이 도시된다.

[0060] 본 발명의 열전발전모듈의 제조 방법상의 가장 큰 특징은, 나노와이어를 기판상에 전사(transfer)함으로써 나노와이어를 각 전극들과 결선시키는 단계를 가지고 있다는 점이다. 이러한 본 발명 열전발전모듈의 제조 공정을 도면에 기재된 알파벳순의 단계(a 내지 j 단계)에 따라서 개조식으로 설명하면 다음과 같다.

[0061] (a) 단계: 제 1 전극을 위한 패턴을 형성하는 제 1 전극 패턴 형성 단계

[0062] 실리콘 웨이퍼(100) 상에 포토 리소그래피(Photo Lithography) 방법을 이용하여 제 1 전극을 위한 사각형의 패턴(200)을 형성한다.

[0063] 구체적으로는, 상기 실리콘 웨이퍼(100) 상에 감광액을 도포하고, 노광 장비를 이용하여 해당 패턴이 담긴 마스크에 빛을 통과시켜 선택적으로 조사시킨 후(노광 과정) 현상액을 분사하여 실리콘 웨이퍼(100)상에 제 1 전극을 위한 패턴(200)을 형성한다.

[0064] 필요시, 측정 장비나 광학 현미경 또는 육안을 통하여 해당 패턴이 양호하게 형성되었는지 검수한다.

[0065] (b) 단계: 실리콘 웨이퍼 상에 기판 층을 형성하는 기판 형성 단계

[0066] 상기와 같이 제 1 전극(20)을 위한 패턴(200)이 형성되면, 공지의 표면처리 과정을 통하여 상기 실리콘웨이퍼(100)상에 실록산 중합체인 PDMS(polydimethylsiloxan, 폴리디메틸실록산)층(300)을 형성한다.

[0067] 상기 PDMS 는 오일, 에멀션, 화합물, 윤활제, 수지, 탄성체, 고무 등을 제조시 표면처리에 이용되는 다목적 중합체 소재이다.

[0068] 본 실시예에서 기판층은 PDMS를 이용하였으나, 본 발명은 이에 국한되지 않고, 상기한 바와 같이 다양한 재료들이 사용될 수 있다.

[0070] (c) 단계: 패턴(200)을 제거하여 비아(via)를 형성하는 기판 비아 형성 단계

[0071] 상기 PDMS 기판층, 즉 기판층(300)이 형성되면, 공지의 리프트 오프(Lift-Off) 공정을 통하여 상기 실리콘웨이퍼(100)상에 형성된 패턴(200)을 제거한다.

[0072] 패턴(200)이 제거되면 제거된 위치에 비아(via,관통공)(210)가 잔여된 형태의 PDMS 기판층(300)이 만들어지게 된다.

[0074] (d) 단계: 전극용 도전층 증착을 위한 패턴을 형성하는 제 1 전극 증착 패턴 단계

[0075] 상기와 같이 비아(210)가 형성된 PDMS 기판층(300) 상에 형성된 비아(210) 부분에만 포토 리소그래피(Photo Lithography) 처리를 수행하여 제 1 전극용 도전층 증착을 위한 사각형의 패턴(400)을 형성한다.

[0076] 여기서, 도시된 (d) 단계의 도면은 상기 PDMS 기판층(300)에 형성된 비아(210)의 위치에 추후 패턴(400)으로 남게되는 감광층(400) 상에 비아(410)를 형성시킨 상태를 도시한 것이며, 이후, 노광 과정과 현상 과정을 거치게 되면 하기 (e) 단계의 도면에 도시된 바와 같이 상기 PDMS 기판층(300)의 비아(210) 부분에만 전극용 도전층 증착을 위한 패턴(400)이 형성되게 된다.

[0078] (e) 단계: 전극 형성을 위한 패턴상에 도전층을 증착하는 제 1 전극 증착 단계

[0079] 상기와 같이 PDMS 기판층(300) 상에 패턴(400)이 형성되면, 공지의 진공 열 증착공정 (thermal evaporation process)나 스퍼터 공정 (sputter deposition process)을 통하여 상기 패턴(400) 상에 전기전도도가 양호한 도전층을 증착시켜 제 1 전극(500)을 형성한다.

[0081] (f) 단계: PDMS 기판층(300)과 실리콘 웨이퍼(100)를 분리시키는 기판층 분리 단계

[0082] 상기와 같이 제 1 전극(500)이 증착되면 상기 PDMS 기판층(300)과 실리콘 웨이퍼(100)를 분리시킨다.

[0084] (g) 단계: 나노와이어의 전사 및 결선 단계

[0085] 전술한 바와 같이, 본 발명의 열전발전모듈의 제조 방법상의 가장 큰 특징적인 공정으로서, 분리된 PDMS 기판층(300)의 패턴(400)상에 형성된 제 1 전극(500)에 제 1 나노와이어(50)와 제 2 나노와이어(60)를 전사(transcription)시켜 상기 제 1 전극(500)에 나노와이어(50,60)를 결선시킨다. 이 단계의 나노와이어의 전사를

위한 상세 공정은 도 5 를 참조하여 후술한다.

[0086] (h) 단계: 제 2 전극을 위한 제 2 전극 증착 패턴 형성 단계

[0087] 상기와 같이 나노와이어(50,60)들이 전사되면, 일측이 상기 제 1 전극(500)에 결선된 나노와이어(50,60)의 타측 부분에 포토 리소그래피(Photo Lithography) 처리를 수행하여 제 2 전극용 도전층 증착을 위한 사각형의 패턴을 형성한다.

[0088] 여기서, 도시된 (h) 단계의 도면은 제 2 전극용 도전층 증착을 위한 패턴으로 남게되는 감광층(600) 상에 비아(610)를 형성시킨 상태를 도시한 것이며, 이후, 노광 과정과 현상 과정을 거치게 되면 상기의 감광층(600) 상의 비아(610) 부분에만 제 2 전극용 도전층 증착을 위한 패턴이 형성되게 된다.

[0090] (i) 단계: 제 2 전극을 형성하는 제 2 전극 증착 단계

[0091] 상기와 같이 제 2 전극용 도전층 증착을 위한 패턴이 형성되면, 공지의 화학적 기상증착 공정(chemical vapor deposition process)을 통하여 형성된 패턴 상에 전기전도도가 양호한 도전층을 증착시켜 제 2 전극(700)을 형성한다.

[0092] (j) 단계: 보호층의 형성단계

[0093] 상기와 같이 제 2 전극(700)이 형성되면 제 1 전극 및 제 2 전극의 도전층전극(500)과 제 2 전극(40) 사이에 실리콘 산화막으로 이루어진 보호층(800)(passivation layer)을 형성한다. 상기의 보호층(800)은 단열 효과와 함께 외부로부터의 이물질 유입을 방지하는 기능을 한다.

[0095] 상술한 바와 같은 단계에 의하여 제조되는 본 발명의 열전발전모듈은 도 4 의 (j) 부분에 도시된 바와 같이, PDMS층(300) 상에 제 1 전극(500)들과 제 2 전극(700) 들이 각각 형성되고, 상기 제 1 전극용 도전층전극(500)과 제 2 전극(700) 사이를 나노와이어(50,60)를 이용하여 상호 연결시킨 구성의 열전발전모듈을 형성하게 된다.

[0096]

[0097] 다음으로, 상기와 같은 본 발명의 열전발전모듈의 제조과정에 이용되는 나노와이어의 제조과정을 설명한다.

[0098] 나노와이어 소자의 제조는 접근 방식에 따라 두 가지로 대분할 수 있다. 극미세 사진식각 공정 등을 이용하여 실리콘 등의 재료를 식각하여 원하는 위치에 나노와이어 소자를 직접 제작하는 탑-다운(top-down) 방식과, 나노와이어를 VLS(Vapor-Liquid Solid) 성장법 등을 이용하여 합성한 후 특정 위치에 정렬하여 나노와이어 소자를 제작하는 버튼-업(bottom-up) 방식이 있으며, 본 발명의 나노와이어의 제조는 상기의 탑-다운 방식이라 할 수 있다.

[0099] 도 5 는 본 발명 열전발전모듈의 나노와이어의 제조 공정도로서, 도면에 기재된 알파벳순의 단계(a 내지 f 단계)에 따라서 개조식으로 설명하면 다음과 같다.

[0100] (a) 단계: 나노와이어 패턴 형성 단계

[0101] 실리콘 웨이퍼(1000) 기판상에 실리콘옥사이드(SiO2) 층(1100)과 실리콘나이트라이드(Si3N4)층(1200)을 형성하고, 상기 실리콘나이트라이드층(1200) 상에 전술한 포토 리소그래피(Photo Lithography) 방법을 이용하여 나노와이어의 직선 형상의 패턴(1300)을 형성한다.

[0103] (b) 단계: 트렌치 형성 단계

[0104] 상기와 같이 실리콘나이트라이드층(1200) 상에 나노와이어 형상의 패턴(1300)이 형성되면 공지의 반응성 이온식

각(Reactive Ion Etching) 처리를 수행하여 상기 패턴(1300) 부분을 식각시켜 추후 나노와이어 형성을 위한 바디(body) 역할을 하는 트렌치(trench, 도랑)(1001)를 형성한다.

[0105] 상기 트렌치(1001)는 실리콘 웨이퍼(1000) 상에서 수직으로 돌출된 바 형상으로서 실리콘 웨이퍼(1000) 상에 실리콘옥사이드(SiO2) 층(1100)과 실리콘나이트라이드(Si3N4)층(1200)이 적층된 상태이다.

[0106] (c) 단계: 트렌치의 식각 단계

[0107] 상기 트렌치(1001)를 실리콘 웨이퍼(1000)의 물성 특성에 따라서 비등방성 습식식각(Wet-etching) 방법으로 식각하여 삼각형 라인을 가진 하부 트라이앵글부(1002)와 역삼각형 라인을 가진 상부 트라이앵글부(1003)를 형성한다.

[0108] (d) 단계: 트렌치의 분리 단계

[0109] 상기 트렌치(1001)의 실리콘 웨이퍼(1000)를 공지의 산화공정을 통하여 부분적으로 산화시켜 가면서 상기 하부 트라이앵글부(1002)와 상부 트라이앵글부(1003)의 크기를 축소시켜 상기 하부 트라이앵글부(1002)와 상부 트라이앵글부(1003)를 상호 분리시킨다. 미설명부호 1300 은 하부 트라이앵글부(1002)와 상부 트라이앵글부(1003)의 외벽을 가리킨다.

[0110] (e) 단계: 이온주입 단계

[0111] n 형 또는 p 형의 나노와이어를 제조하기 위하여, 상기와 같이 분리된 상태의 상부 트라이앵글부(1003)에 포토리소그래피(Photo Lithography) 방법과 As(비소)나 BF2(불화붕소) 등의 이온 주입 공정을 통하여 상부 트라이앵글부(1003)의 특정 구간이나 특정 위치를 n 형 또는 p 형의 반도체 타입과 특정 농도를 가지도록 형성한다.

[0112] 이때, 상기 실리콘웨이퍼(1000)는 농도에 따른 습식 식각의 속도가 상이하므로 농도를 조절함에 따라서 나노와이어의 크기를 조절하는 부분 식각도 가능하다. 이와 같은 부분 식각을 통하여 나노와이어(또는 제 1 및 제 2 나노와이어; 도 1a, 도 3a 및 도 5의 (f) 참조)의 일부, 대체적으로 중앙 부위에 포논 초크부(51,61;1402,1403)를 형성할 수도 있다. 포논 초크부(51,61;1402,1403)는 대체적으로 50nm 이하의 직경, 실질적인 유효 직경, 보다 구체적으로는 20nm 내지 50nm 범위의 직경 값을 갖는데, 전하운반체의 경우 나노와이어에 있어 10nm 미만의 직경 범위에서 나노와이어의 표면 거칠기에 따른 모빌리티 저하 현상이 발생하나, 포논의 경우 포논의 경우 20-50 nm부터 나노와이어의 표면 거칠기의 영향을 받게 되고, 나노와이어의 직경이 작아질수록 포논은 경계 산란(boundary scattering)에 의하여 전파가 저하된다. 본 발명의 포논 초크부를 구비하는 나노와이어의 경우 기판, 경우에 따라 플렉서블 기판 상에 전사되어 열전모듈을 형성하는 구조를 취하는바, 벤딩 내지 토션 등의 변형 등에 의한 외부 스트레스로 파손되는 위험성을 최소화시키도록 본 발명의 포논 초크부는 20-50 nm의 범위의 값을 갖는다.

[0113] 이와 같이 나노와이어의 특정 부분만을 직경을 50nm이하의 포논 초크부를 형성하여 전하운반체의 이동은 허용하나 포논의 이동을 제한하여 나노와이어를 통한 열전도성을 실질적으로 차단하여 열전성능을 향상시킬 수도 있고, 본 발명의 일예로서의 하이브리드 타입의 열전모듈의 구현, 즉 수평면 상에서의 전기적 흐름을 형성하고 수직면 상에서의 열전도성 흐름을 형성하여 열과 전기 흐름의 수직적 교차를 통한 열 전기 경로의 분리 구조를 강화시켜 단위체의 열전 효율을 증대시킬 수도 있다.

[0114] (f) 단계: 나노와이어 완성 단계

[0115] 상기와 같은 이온주입을 완료하여 원하는 타입의 n 형 또는 p 형 반도체 타입이 형성되면, 버퍼 옥사이드 에챙(Buffer Oxide Etchant) 방법에 의하여 상기 상부 트라이앵글부(1003)와 하부 트라이앵글부(1002) 및 그의 외벽(1300)에 남아있던 실리콘옥사이드층(1100)을 녹여서 제거한다.

[0116] 그러면, 실리콘웨이퍼(1000) 기판상에서 나노와이어의 양단이 망치 형상의 지지체(미도시)로 고정되어 공중에 부양된(suspended) 상태의 실리콘 나노와이어(1400,1401)가 완성되게 된다.

[0117] 도 6 은 본 발명 열전발전모듈의 나노와이어가 전사되는 과정을 나타내는 공정도로서, 본 발명의 열전발전모듈의 제조단계중 상기 (g) 단계의 나노와이어의 전사 과정을 보다 상세하게 설명한다. 다만, 설명의 편의를 위하여 PDMS 기판층(300)의 도면부호를 1500 으로 기재하였다.

[0118] 상기의 도 5 에 도시된 바와 같은 단계를 통하여 형성되는 본 발명의 나노와이어(1400,1401)는 전사 과정을 통하여 PDMS층(1500)상에 전사되며, 이를 도면에 기재된 알파벳순의 단계(a 내지 d 단계)에 따라서 개조식으로 설명하면 다음과 같다.

[0120] (a) 단계: 자외선 경화층 형성 단계

[0121] 상기의 PDMS층(1500)상에 자외선에 의하여 경화되는 UV 코팅층과 같은 유기물층(1600)을 형성한다.

[0122] (b) 단계: 나노와이어 내삽 단계

[0123] 공중에 부양된 상태의 실리콘 나노와이어(1400,1401)를 형성한 상태의 상기 실리콘웨이퍼(1000) 기판을 상기 PDMS층(1500)의 상부에 정렬시켜 하방으로 압력을 가하여 PDMS층(1500)에 코팅된 유기물층(1600)의 내부에 나노와이어(1400,1401)가 내삽되게 한다.

[0124] (c) 단계: 유기물층 경화단계

[0125] 상기와 같이 나노와이어(1400,1401)가 유기물층(1600)의 내부에 내삽되면 상부의 PDMS 기판층(1500)을 제거하고 유기물층(1600)을 자외선에 노출시켜 유기물층(1600)을 경화시킨다.

[0127] (d) 단계: 유기물층 제거후 전사 완료 단계

[0128] 유기물층(1600)의 경화가 완료된 후 유기물층(1600)을 산소 플라즈마 또는 에탄올에 녹여서 제거하면, 최종적으로 나노와이어(1400,1401)의 PDMS층(1500)에 대한 전사가 완료되며, 공고한 전사 상태를 유지할 수 있게 된다.

[0129] 상기와 같이 제조되는 본 발명의 열전발전모듈은 자동차 온도조절 시트(Climate C-ntr-l)와 같은 자동차 부품, 반도체(순환기, 냉각판), 바이오(혈액분석기, PCR, 시료온도싸이클 테스터기), 이학분야(스펙트로포토미터), 광학분야(CCD 쿨링, 적외선센서 냉각, 레이저다이오드 냉각, 포토다이오드 냉각, SHG 레이저 냉각), 컴퓨터(CPU 냉각), 가전제품(김치냉장고, 소형냉장고, 냉온수기, 와인냉장고, 쌀통, 제습기 등), 발전(폐열발전기, 리모트 파워발전) 등 열과 전기가 연동하는 다양한 분야에 적용 가능하다. 즉, 열원으로부터 열이 방출되는 소자 등에 대하여 면접촉 가능한 구조를 취하여, 열원으로부터 방사상으로 방출되는 열의 전달 방향에 수직하도록 수평 배치되어 대면적화 가능한 하이브리드 구조를 이루는 범위에서 다양한 변형이 가능하며, 플렉서블 기판에 실장되는 구조 내지 유연 재료로서의 기능성 섬유 등에 실장되는 구조를 취하여 인체로부터 발산되는 열을 이용하여 자가 발전을 이루어 스마트폰, 태블릿 등의 휴대 기기의 전원으로 활용할 수도 있다.

[0130] 또한, 기판 내지 전극을 투명 재료 내지 소정의 재료로 형성하여 빌딩, 차량 등의 유리 등에 설치함으로써 외부 열원을 이용한 발전 설비로 활용할 수도 있고, 반대로 장치의 오작동 발생을 방지하도록 소정의 제어 상태에서 전기를 공급하여 면접촉 내지 이격된 구조(바람직하게는 면접촉)을 통한 포획된 영역에서의 긴급 냉각 동작을 통한 방열성 향상 구조를 형성할 수도 있음은 상기 사항으로부터 본 발명의 효과로서 명백하다.

[0131] 또한, 본 발명의 하이드브리드 구조의 열전발전모듈의 특성 상 면에 수직한 방향으로의 열전달성을 개선하도록 대면적화되어 실장된 기판의 양면에 별도의 열전달 향상층이 더 구비될 수도 있는 등, 서로 대향하여 배치되되 열의 유출입 일면이 서로 반대되는 제 2 전극 및 제1,2전극의 배치 구조를 이루는 범위에서 다양한 구성이 가능하다.

[0132] 이상의 설명에서 본 발명의 하이브리드형 열전발전모듈 및 그 제조방법의 구성 및 작동을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명하였으나, 본 발명은 당업자에 의하여 다양한 수정, 변경 및 치환이 가능하고, 이러한 수정, 변경 및 치환은 본 발명의 보호범위에 속하는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

[0133] * 도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명 *

10; 열전발전모듈 단위체

20; 제 1 전극

30; 제 2 전극

50; 제 1 나노와이어

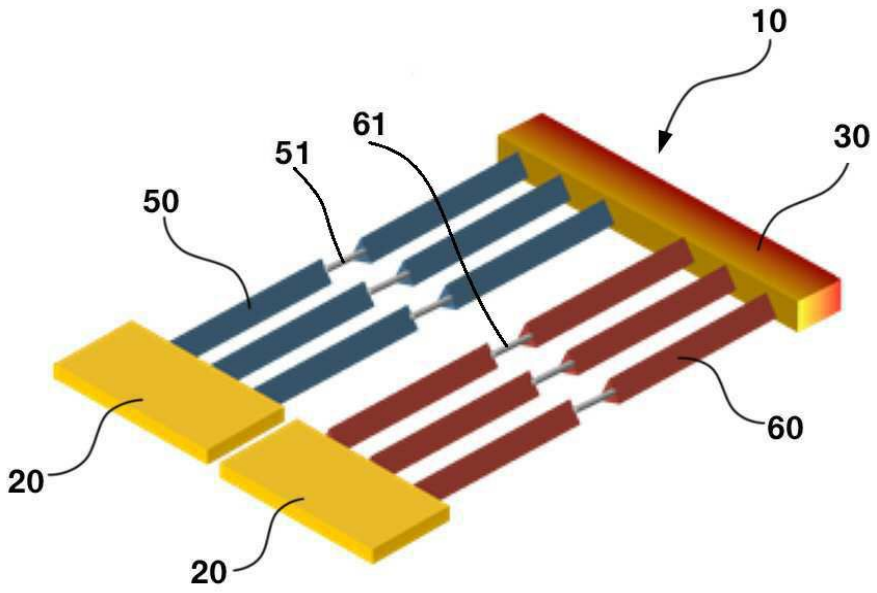
60; 제 2 나노와이어

70; 열원

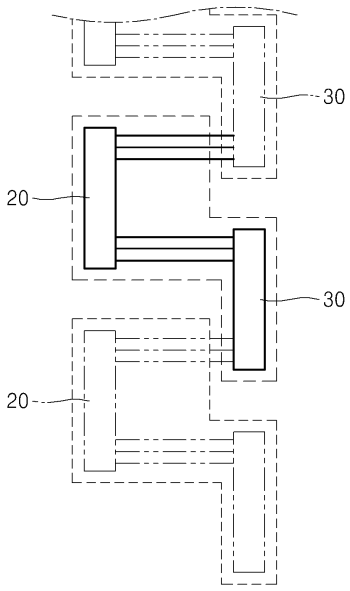
100; 기판

도면

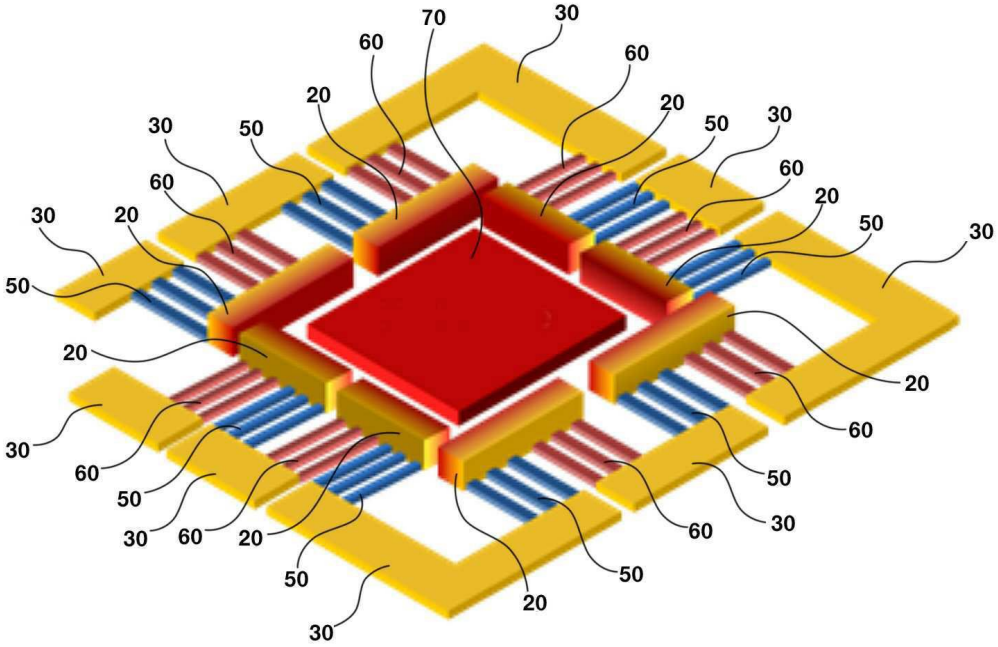
도면1a



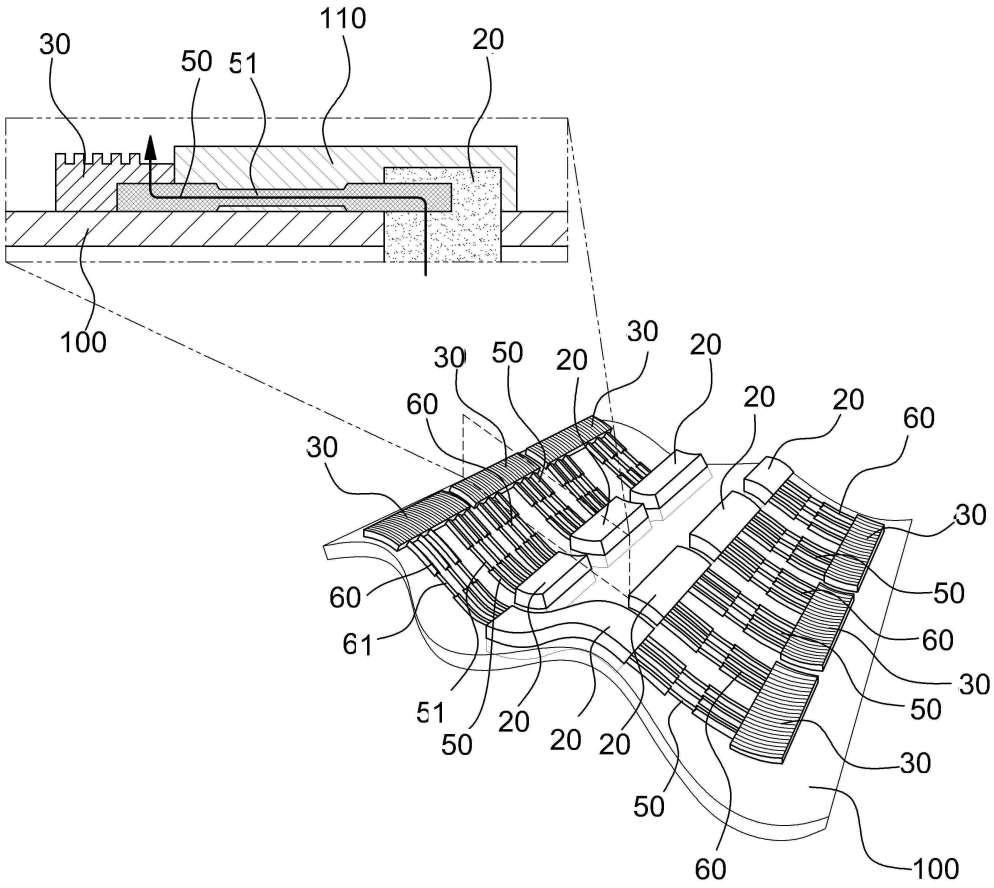
도면1b


30
20
30
20

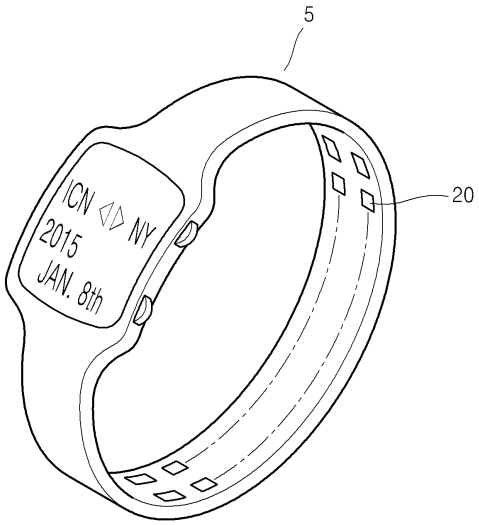
도면2


70
60
30
60
20
20
50
30
30
50
60
20
50
30
60
20
50
30
30
20
50
20
60
30
60
50
30
60
20
50
60
30
50
20
30

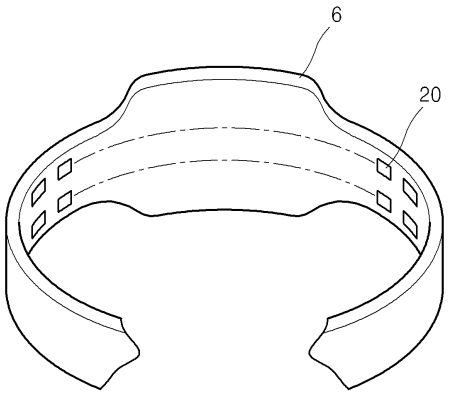
도면3a


30
50
51
110
20
100
30
50
20
30
20
60
20
20
60
30
30
60
50
61
60
30
51
50
20
20
20
50
30
50
60
100

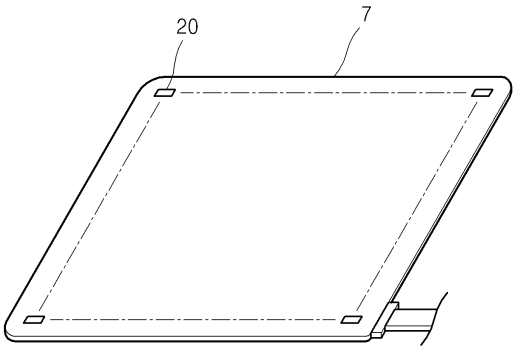
도면3b


5
20
ICN ◁▷ NY
2015
JAN. 8th

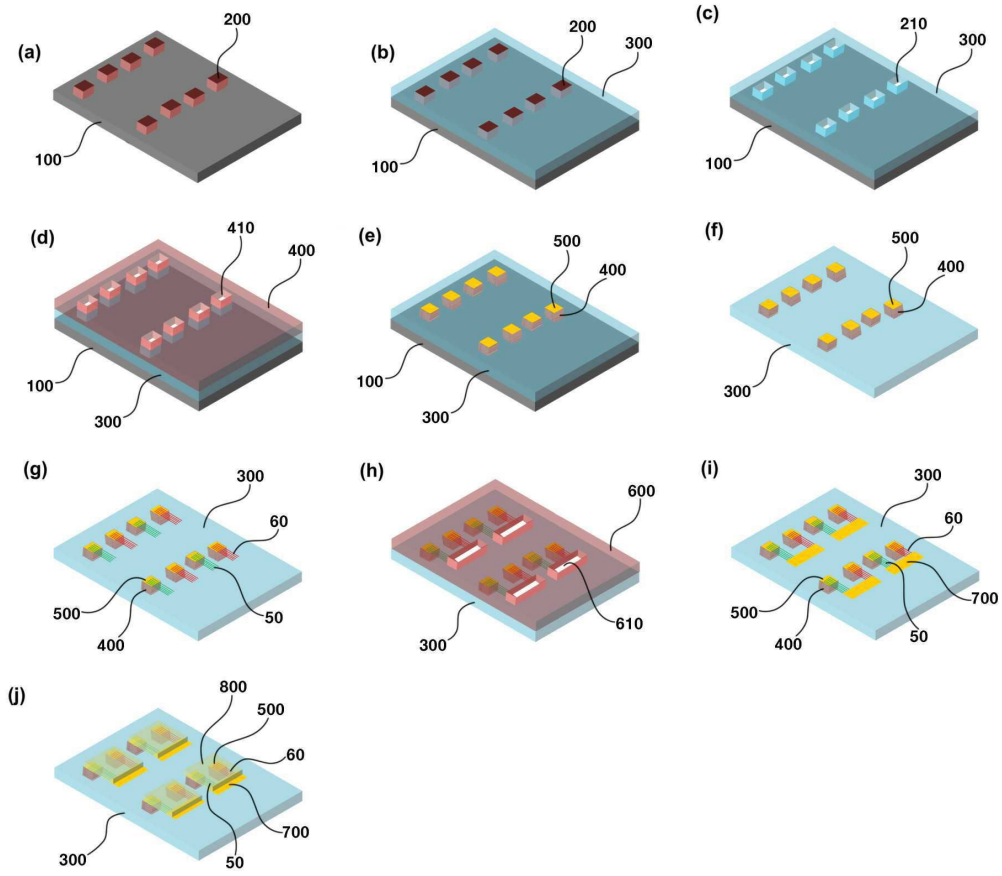
도면3c



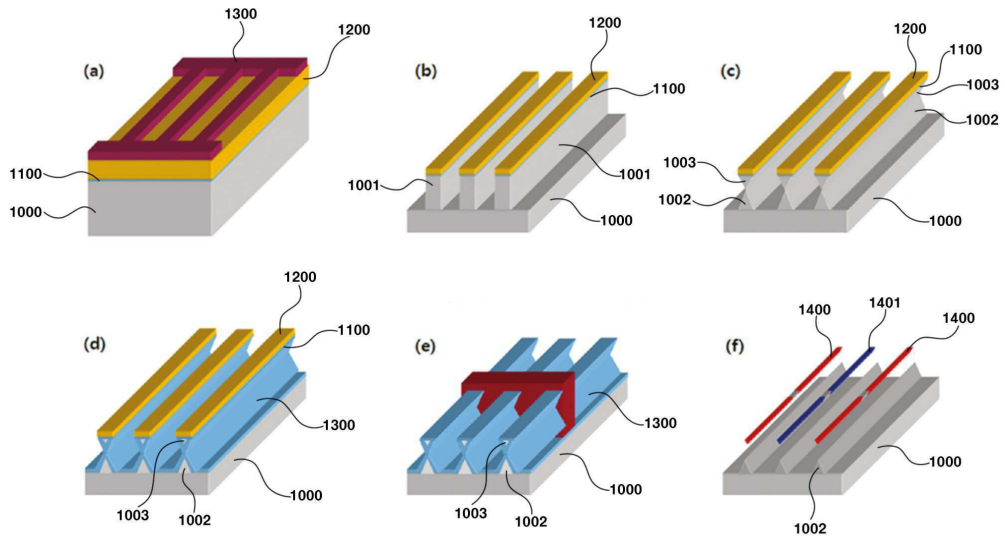
도면3d



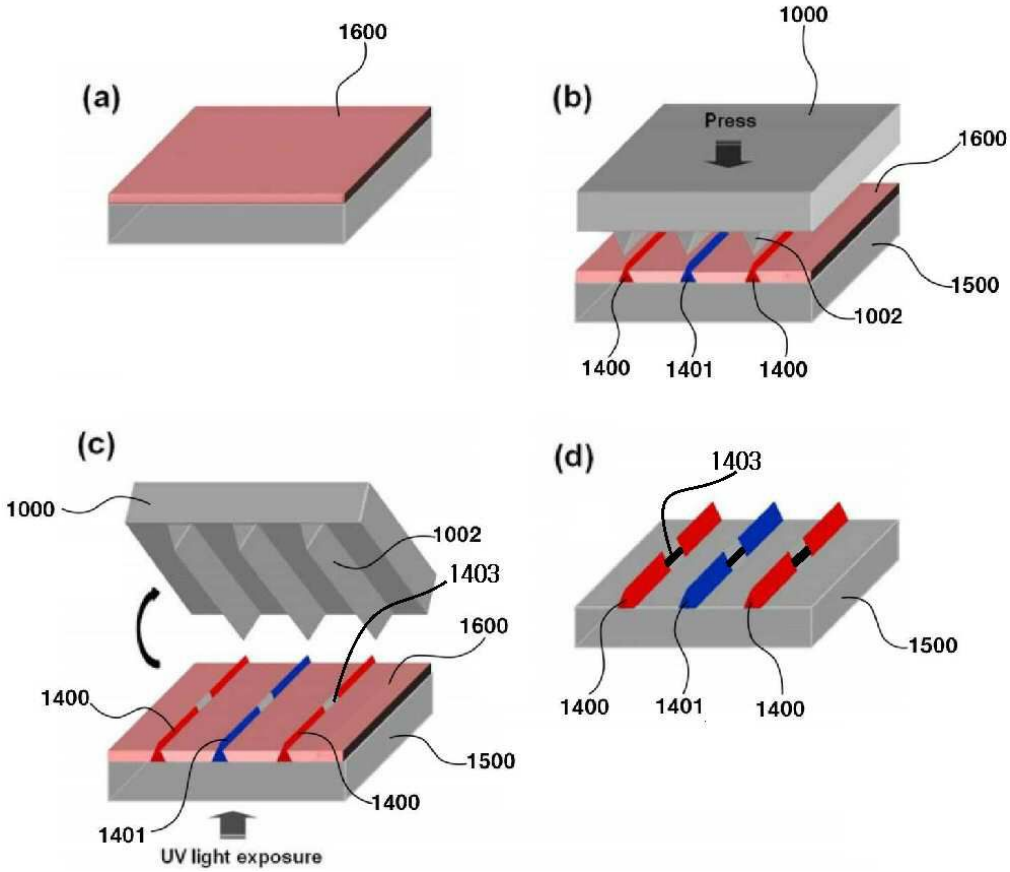
도면4


(a)
200
100
(b)
200
300
100
(c)
210
300
100
(d)
410
400
100
300
(e)
500
400
100
300
(f)
500
400
300
(g)
300
60
500
50
400
(h)
600
300
610
(i)
300
60
700
500
400
50
(j)
800
500
60
700
300
50

도면5


(a)
1300
1200
1100
1000
(b)
1200
1100
1001
1000
(c)
1200
1100
1003
1002
1003
1002
1000
(d)
1200
1100
1300
1000
1003
1002
(e)
1300
1000
1003
1002
(f)
1400
1401
1400
1000
1002

도면6


(a)
1600
(b)
1000
Press
1600
1500
1002
1400
1401
1400
(c)
1000
1002
1403
1600
1400
1500
1400
1401
UV light exposure
(d)
1403
1500
1400
1401
1400