

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국



(10) 국제공개번호

WO 2010/050775 A2

PCT

(43) 국제공개일
2010년 5월 6일 (06.05.2010)

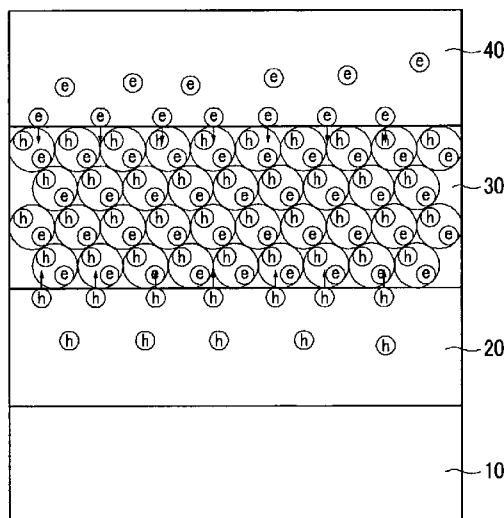
- (51) 국제특허분류:
B82B 3/00 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2009/006343
- (22) 국제출원일: 2009년 10월 30일 (30.10.2009)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2008-0107840 2008년 10월 31일 (31.10.2008) KR
- (71) 출원인 (US 을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여): 한국기계연구원 (KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS) [KR/KR]; 대전 유성구 장동 171, 305-343 Daejeon (KR).
- (72) 발명자: 겸
- (75) 발명자/출원인 (US 에 한하여): 정소희 (JEONG, So-Hee) [KR/KR]; 대전 유성구 하기동 송림마을 601 동 1802 호, 305-759 Daejeon (KR). 한창수 (HAN, Chang-Soo) [KR/KR]; 대전 유성구 반석동 반석마을 509 동 602 호, 305-749 Daejeon (KR). 심형철 (SHIM, Hyung-Cheoul) [KR/KR]; 서울 서초구 반포동 32-5 서초 한양아파트 2 동 307 호, 137-040 Seoul (KR). 김준동 (KIM, Joon-Dong) [KR/KR]; 대전 서구 만년동 상아아파트 105 동 1007 호, 302-739 Daejeon (KR).
- (74) 대리인: 팬코리아 특허법인 (PanKorea Patent and Law Firm); 서울 강남구 역삼동 649-10 서림빌딩, 135-080 Seoul (KR).
- (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 유럽 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[다음 쪽 계속]

(54) Title: COMPOSITE MATERIAL FOR ENERGY CONVERSION, FABRICATION METHOD THEREOF, AND ENERGY CONVERSION DEVICE USING THE SAME

(54) 발명의 명칭 : 에너지 변환용 복합물질과 그 제조 방법 및 그를 이용한 에너지 변환소자

[도 2]



(57) Abstract: The present invention relates to a composite material for energy conversion, a fabrication method thereof and an energy conversion device using the same, wherein the composite material for energy conversion is able to increase luminance or photoelectric efficiency by enabling a nano-wire to function as an electron transfer mediator between quantum dots. The invention concerning the composite material for energy conversion of the energy conversion device includes: the nano-wire; plural quantum dots that are formed on the nano-wire and made of a semiconductor material; and a low-molecule linker that connects the nano-wire with the quantum dots through a noncovalent bond.

(57) 요약서: 본 발명은 나노와이어가 양자점들 사이의 전자 전달 매개체 역할을 하도록 하여 발광 또는 광전 효율을 높일 수 있는 에너지 변환용 복합물질과 그 제조 방법 및 그를 이용한 에너지 변환소자에 관한 것이다. 이를 위한 본 발명은 양자점으로 구성되는 에너지 변환소자의 에너지 변환용 복합물질에 관한 것으로서, 나노와이어와, 상기 각 나노와이어 상에 형성되며 반도체 물질로 구성되는 다수의 양자점, 및 상기 나노와이어와 상기 양자점을 비공유 결합 방식으로 연결하는 저분자 링커를 포함한다.

WO 2010/050775 A2



공개:

- 국제조사보고서 없이 공개하며 보고서 접수 후 이를 별도 공개함 (규칙 48.2(g))

【명세서】**【발명의 명칭】**

에너지 변환용 복합물질과 그 제조 방법 및 그를 이용한 에너지 변환소자

【기술분야】

본 발명은 에너지변환소자와 에너지 변환을 위한 복합물질 및 그 제조 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 나노와이어가 양자점들 사이의 전자 전달 매개체 역할을 하도록 하여 발광 또는 광전 효율을 높일 수 있는 에너지 변환용 복합물질과 그 제조 방법 및 그를 이용한 에너지변환 소자에 관한 것이다.

【배경기술】

양자점(quantum dot)은 나노 크기의 반도체 물질로서 양자 제한(quantum confinement) 효과를 나타내는데, 이러한 양자점은 여기원(excitation source)으로부터 빛을 받아 에너지 여기 상태에 이르면, 자체적으로 해당하는 에너지 밴드갭(bandgap)에 따른 에너지를 방출하게 된다.

따라서 양자점의 크기를 조절하게 되면 해당 밴드 갭을 조절할 수 있게 되는바, 전기적, 광학적 특성을 조절할 수 있으므로 양자점을 발광소자 또는 광전변환소자 등 다양한 소자에 응용할 수 있다.

도 1은 종래 기술에 따른 양자점을 이용한 발광소자의 일예를 개략적으로 나타낸 단면도이다.

도 1을 참조하면, 제 1 전극층(10)과, 정공수송층(20), 양자점 활성층(30), 및 제 2 전극층(40)을 포함하는 것으로서, 후면 발광형의 구조를 갖는다.

제 1 전극층(10)은 정공 주입을 위한 양극으로서, ITO 전극과 같이 투명한 금속 산화물로 이루어진다.

정공수송층(20)은 제 1 전극층(10)으로부터의 정공을 전달하는 것으로서, 다이아민(diamine) 유도체인 TPD 등이 이용된다.

양자점 활성층(30)은 정공수송층(20)과 제 2 전극층(40)으로부터 각각 전달된 정공과 전자의 재결합에 의해 발광한다.

그리고, 제 2 전극층(40)은 전자 주입을 위한 음극이다.

이러한 발광 소자의 원리를 도 2 및 도 3을 참조하여 설명하면 다음과 같다.

우선, 제 1 전극층(10)에 + 전압을, 제 2 전극층(20)에 - 전압을 인가한다.

그러면, 제 1 전극층(10)으로부터 주입된 정공과, 제 2 전극층(20)으로부터 주입된 전자는 양자점 활성층(10)의 양자점에 포획된다.

이렇게 양자점에 각각 포획된 전자와 정공은 재결합을 하게 되고 재결합시 발생하는 에너지는 빛의 형태로 외부로 발광된다.

한편, 도 4는 종래 기술에 따른 양자점을 이용한 태양전지의 일예를 개략적으로 나타낸 단면도이다.

도 4를 참조하면, 대향전극층(100)과, 전해질층(200), 광흡수층(300), 도전성 투명기판(400)을 포함한다.

대향전극층(100)은 도전성 물질로 이루어지며, 전해질층(200)은 전해액으로 이루어진다.

그리고, 광흡수층(300)은 양자점(미도시함)으로 이루어지는 금속산화물층(300a) 및 염료층(300b)으로 이루어진다.

이러한 구조에 따른 태양전지의 원리를 살펴보면 광흡수층(300)으로 입사되는 태양광에 의해 생성되는 전자는 양자점들의 커플링(coupling) 효과에 의해 양자점들을 통해 대향전극층(100)을 거쳐 외부의 부하로 전기 에너지를 전달하게 된다.

이와 같이, 발광소자나 태양전지와 같은 광소자에 이용되는 양자점은 도전성이 낮기 때문에 이웃하는 양자점들 사이의 커플링(coupling) 효율이 낮아 전자 전달 능력이 떨어지는 단점이 있다.

즉, 양자점들 간의 계면이 저항체로 작용하여 전기 전도도가 낮아져 전자 전달 능력이 떨어져 발광소자의 경우 발광 효율이 낮고, 태양전지와 같은 광전 소자의 경우 에너지 전달 효율이 낮은 단점이 있다.

또한, 열전소자에서 효율을 향상시키려면 열전도도를 낮추고, 전기전도도를 높이는 물질의 개발이 필수적인데, 양자점의 경우 매우 작은 크기로 인해 열전도도가 매우 낮아지는 현상이 발생해서 이상적인 소재로 여겨지고 있다.

그런데, 양자점만으로는 필름을 형성하기 어려울 뿐만 아니라 양자점간의 접촉저항 문제로 인해 전기전도도가 높지 않은 문제점이 있다.

【발명의 상세한 설명】

【기술적 과제】

상기 배경기술의 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 목적은, 다수의 전하수송능력이 우수한 나노와이어 상에 양자점을 배치하고 나노와이어와 양자점을 저분자 링커를 이용하여 비공유 결합시킴으로써, 나노와이어가 인접하는 양자점들 간의 전자 전달 매개체 역할을 하도록 하여 전자 전달 능력을 향상시킨 에너지 변환용 복합물질과 그 제조 방법 및 그를 이용한 에너지변환소자를 제공함에 있다.

【기술적 해결방법】

상기 과제를 해결하기 위한 본 발명은 양자점으로 구성되는 에너지변환소자의 에너지 변환용 복합물질에 있어서, 나노와이어와, 상기 각 나노와이어 상에 형성되며 반도체 물질로 구성되는 다수의 양자점, 및 상기 나노와이어와 상기 양자점을 비공유 결합 방식으로 연결하는 저분자 링커를 포함한다.

상기 과제를 해결하기 위한 본 발명은 양자점으로 구성되는 에너지변환소자의 에너지 변환용 복합물질을 제조하는 방법에 있어서, 다수의 도전성 나노와이어를 형성하는 단계와, 상기 나노와이어 상에 양자점을 배치시키는 단계와, 상기 다수의 나노와이어 상에 다수의 양자점을 연속적으로 배치시키는 단계를 포함한다.

또, 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명은 전자-정공의 재결합에 의해 빛을 발산하거나 외부로부터 입사되는 에너지를 전기적 에너지로 변환 또는 외부에서 인가되는 열은 전기에너지로 변환하여 전달하는 에너지 변환층을 갖는 에너지변환소자에 있어서, 상기 에너지 변환층이, 나노와이어와 상기 각 나노와이어 상에 형성되며 반도체 물질로 구성되는 다수의 양자점 및 상기 나노와이어와 상기 양자점을 비공유 결합 방식으로 연결하는 저분자 링커로 구성되는 에너지 변환용 복합물질로 이루어진다.

【유리한 효과】

본 발명은 도전성의 나노와이어가 이웃하는 양자점들 간의 전자 전달 능력을 향상시키는 매개체 역할을 하도록 하여 양자점들 간의 계면 저항에 의한 전자 전달 능력 저하를 방지하여 발광 효율 및 광전 변환 효율을 향상시킬 수 있는 이점이 있다.

또한 양자점이나 나노와이어의 표면을 양자점과 나노와이어의 전기적 특성을 보존하는 동시에 흡착이 원활하도록 설계하여 양자점에서 나노와이어로의 전하 이동을 극대화함으로써 발광 효율, 광전 변환 효율, 열전효율을 향상시킬 수 있다.

아울러, 본 발명에 따른 에너지변환용 복합물질은 다양한 전자소자, 센서 등에 활용될 수 있다.

【도면의 간단한 설명】

도 1은 종래 기술에 따른 양자점을 이용한 발광소자의 일예를 개략적으로 나타낸 단면도.

도 2 및 도 3은 도 1의 발광소자의 작용을 설명한 도면.

도 4는 종래 기술에 따른 양자점을 이용한 태양전지의 일예를 개략적으로 나

타낸 단면도.

도 5는 본 발명의 에너지 변환용 복합물질 개략도.

도 6은 도 5의 일부 확대도.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 에너지 변환용 복합 물질 형성 방법을 설명한 개략도.

도 8은 본 발명에 따른 에너지 변환용 복합물질을 투과전자현미경으로 관찰한 그림.

도 9는 본 발명에 따른 에너지 변환용 복합물질로 이루어지는 FET 소자와 종래 기술에 따른 양자점으로 이루어진 FET 소자의 광전류 특성을 나타낸 그래프도.

<도면의 주요 부분에 대한 부호 설명>

1 : 에너지 변환용 복합물질

2 : 나노 와이어

3 : 양자점

【발명의 실시를 위한 형태】

본 발명은 전자-정공의 재결합에 의해 빛을 발산하는 발광 소자, 외부로부터 유입되는 빛 에너지를 전기적 에너지로 변환하는 광전소자, 외부로부터 전달되는 열을 전기에너지로 변환하여 전달하는 열전소자와 같은 에너지변환소자에 관한 것이다.

도 5는 본 발명의 에너지변환소자를 구성하는 에너지 변환용 복합물질을 나타낸 것이고, 도 6은 도5의 일부 확대도로서, 본 발명에 따른 에너지변환소자의 에너지 변환층(30)은 나노와이어(2)와, 양자점(3), 링커 저분자(4)로 구성되는 에너지 변환용 복합물질로 이루어진다.

그리고, 나노와이어(2)와 양자점(3)은 저분자 링커에 의해 비공유 결합 방식으로 연결된다.

여기서, 양자점(3)은 반도체 물질로 이루어지는 것으로서, 각 나노와이어 상에 연속적으로 형성된다.

그리고, 양자점은 II-VI족, III-V족, IV-VI족, IV족 반도체 화합물 및 이들의 혼합물로 이루어진 군에서 선택될 수 있으며, 구체적으로는 양자점은 CdS, CdSe, CdTe, ZnS, ZnSe, ZnTe, HgS, HgSe, HgTe, PbS, PbSe, PbTe, AlN, AlP, AlAs, GaN, GaP, GaAs, InN, InP, InAs, 또는 및 이들의 혼합물로 이루어진 군에서 선택될 수 있다.

또한, 양자점(3)이 빛을 흡수하여 전자 정공을 생성하는데 이용되고, 나노와이어(2)가 양자점(3)에 의해 생성된 전자를 전달하는데 이용될 경우, 나노와이어(2)는 산화물(Oxide) 계열 등 양자점보다 밴드갭이 넓으면서 전자 이동을 위한 에너지 준위를 가진 것으로 이루어지도록 함이 바람직하다.

또한, 양자점(3) 빛을 흡수하여 전자 정공을 생성하는데 이용되고, 나노와이어가 전자 및 정공 전달용으로 이용될 경우, 나노와이어(2)는 탄소나노튜브(CNT)등 밴드갭이 낮은 와이어로 이루어지도록 함이 바람직하다.

이때, 탄소나노튜브는 탄소를 기반으로 하는 탄소나노튜브, 탄소나노화이버, 금속 또는 반도체 물질이 도핑된 탄소나노튜브를 포함한다.

이러한 본 발명의 에너지 변환층은 전하의 이동이 원활한 나노와이어(2)에 양자점(3)이 배치되어 있으므로, 양자점에서 나노와이어로의 전자 교환이 잘 이루어진다.

즉, 종래의 에너지변환소자에 이용되는 양자점들은 각 양자점들 사이의 계면이 저항체로 작용하여 전기 전도도가 낮아져 전자 전달 능력이 떨어졌으나, 본 발명은 나노와이어가 양자점 사이의 전자 및 정공 전달 매개체 역할을 하도록 한다.

본 발명에서는 나노와이어에 양자점을 부착 시킬 때 양자점의 용액 안정성 및 광특성을 유지하는 동시에 나노와이어로의 흡착이 용이한 피리딘 등 아민, 포스핀 계열이면서 아로마틱 링을 포함하거나 4개 이하의 탄소수를 갖는 알리파틱 체인을 갖는 저분자를 링커로 사용한다.

즉, 링커가 빛을 자체 흡수, 자체 내에서 전자와 정공의 재결합, 발열 등의 역할을 하게 되면 흡수된 광에서 발생한 전하를 양자점에서 나노와이어로 전달하는데 효과적이지 않다.

따라서, 설퍼(Sulfur, 황)와 같이 빛에 의한 반응성이 큰 링커는 복합물질의 안정성을 떨어뜨리므로, 제안하는 링커 분자는 빛에 둔감하여 광안정성이 우수하고, 그 길이가 매우 짧아서 전하를 빠르게 전달할 뿐 아니라 양자점과 나노와이어로의 부착이 용이한 구조의 저분자를 이용함이 바람직하다.

이에 따라, 발광소자의 경우 발광 효율이 개선되고, 광전소자의 경우 전기 에너지 생성 효율이 개선되며, 열전소자의 경우 열전효율의 향상된다.

이하, 본 발명의 에너지변환용 복합 물질을 제조하기 위한 방법을 도 7을 참조하여 설명하도록 한다.

우선, 나노와이어(2)를 형성한다.

이때, 나노와이어(2)는 전하의 이동이 원활한 물질로 형성하되, 양자점(3)의 전자 전달용으로 이용될 경우 나노와이어(2)는 산화물(Oxide) 계열 등 양자점보다 밴드갭이 넓으면서 전자 이동을 위한 에너지 준위를 가진 것으로 형성한다.

또한, 나노와이어(2)가 양자점(3)의 전자 및 정공 전달용으로 이용될 경우 나노와이어(2)는 탄소나노튜브(CNT)등 밴드갭이 낮은 와이어로 형성함이 바람직하다.

그리고 나서, 나노와이어(2) 상에 다수의 양자점을 형성한다.

이때, 나노와이어(2) 상에 양자점을 배치시키기 위해서 다수의 나노와이어(2)를 유기용매 내에 담지한 후 나노와이어(2) 상에 양자점이 비공유 결합을 통해 결합되도록 한다.

여기서, 양자점은 고온의 분산 용매를 이용한 일반적인 화학적 습식 방법을 통해 형성할 수 있다.

그리고, 양자점을 코어 또는 코어/셸 구조 갖도록 형성할 수 있고, II-VI족, III-V족, IV-VI족, IV족 반도체 화합물 및 이들의 혼합물로 이루어진 군에서 선택될 수 있으며, 구체적으로는 양자점은 CdS, CdSe, CdTe, ZnS, ZnSe, ZnTe, HgS, HgSe, HgTe, PbS, PbSe, PbTe, AlN, AlP, AlAs, GaN, GaP, GaAs, InN, InP, InAs, InSb 또는 및 이들의 혼합물로 이루어진 군에서 선택된 물질로 형성할 수 있다.

본 실시예에 있어서 양자점은 가시광 영역에서 빛을 흡수하여 전자 정공을 형성하는 II VI 족 반도체 중 CdSe를, 나노와이어로는 전자 정공을 동시에 받아 전극으로 이동하기 위한 탄소나노튜브를 사용한다.

그리고, 습식 방법을 통해 형성한 후 양자점의 용액 안정성 및 광특성을 유지하는 동시에 나노 튜브에의 흡착이 용이한 피리딘 등 아민, 포스핀 계열이면서 아로마틱 링을 포함하는 저분자 링커로 표면 개질을 실시한다.

이때, 표면의 개질은 치환하고자 하는 분자를 과량 주입 후 50-100℃로 가온 상태에서 3-24 시간동안 교반하여 얻을 수 있다.

도 8은 본 발명에 따른 에너지 변환용 복합물질을 투과전자현미경으로 관찰한 그림이고, 도 9는 본 발명에 따른 에너지 변환용 복합물질로 이루어지는 FET 소자와 종래 기술에 따른 양자점으로 이루어진 FET 소자의 광전류 특성을 나타낸 그래프도이다.

도 9를 참조하면, (a)는 종래 기술에 따른 FET 소자의 광전류 특성을 (b)는

본 발명에 따른 FET 소자의 광전류 특성을 나타낸 것으로서, 본 발명에 따르면 저 분자 링커에 의해 양자점들이 나노 와이어 상에 배치되어 있으므로, 나노 와이어를 통해서 양자점들 간의 전하 이동의 효율이 증가하여 종래 기술에 비하여 광전류가 증가됨을 볼 수 있다.

【청구의 범위】**【청구항 1】**

양자점으로 구성되는 에너지변환소자의 에너지 변환용 복합물질에 관한 것으로서,

나노와이어와,

상기 각 나노와이어 상에 형성되며 반도체 물질로 구성되는 다수의 양자점, 및

상기 나노와이어와 상기 양자점을 비공유 결합 방식으로 연결하는 저분자 링커를 포함함을 특징으로 하는 에너지 변환용 복합물질.

【청구항 2】

제 1항에 있어서,

상기 저분자 링커는 아민이나 포스핀을 포함하며 아로마틱 링이나 4개 이하의 탄소수를 갖는 알리파틱 체인을 가지고 있는 분자중에서 선택되는 것을 특징으로 하는 에너지 변환용 복합물질.

【청구항 3】

제 1항에 있어서,

상기 양자점은 II-VI족, III-V족, IV-VI족, IV족 반도체 화합물 및 이들의 혼합물로 이루어진 군에서 선택되는 것임을 특징으로 하는 에너지 변환용 복합물질.

【청구항 4】

제 3항에 있어서,

상기 양자점은 CdS, CdSe, CdTe, ZnS, ZnSe, ZnTe, HgS, HgSe, HgTe, PbS, PbSe, PbTe, AlN, AlP, AlAs, GaN, GaP, GaAs, InN, InP, InAs, InSb 또는 및 이들의 혼합물로 이루어진 군에서 선택된 것을 특징으로 하는 에너지 변환용 복합물질.

【청구항 5】

제 1항에 있어서,

상기 나노와이어가 전자 전달용으로 이용될 경우 산화물 계열로 이루어짐을 특징으로 하는 에너지 변환용 복합물질.

【청구항 6】

제 1항에 있어서,

상기 나노와이어가 전자 및 정공 전달에 이용될 경우 나노와이어는 탄소나노

튜브 또는 II-VI족, III-V족 반도체 화합물로 이루어짐을 특징으로 하는 에너지 변환용 복합물질.

【청구항 7】

제 1 항에 따른 에너지 변환용 복합물질을 에너지변환층으로 갖는 에너지 변환소자.

【청구항 8】

양자점으로 구성되는 에너지변환소자의 에너지 변환용 복합물질을 제조하는 방법에 있어서,

다수의 도전성 나노와이어를 형성하는 단계,

상기 나노와이어 상에 양자점을 배치시키는 단계,

상기 다수의 나노와이어 상에 다수의 양자점을 연속적으로 배치시키는 단계를 포함함을 특징으로 하는 에너지 변환용 복합물질 제조 방법.

【청구항 9】

제 8항에 있어서,

상기 다수의 나노와이어 상에 양자점을 배치시키는 단계는,

용매 내에서 상기 나노와이어 상에 양자점을 흡착 또는 공유 결합시키는 것을 특징으로 하는 에너지 변환용 복합물질 제조 방법.

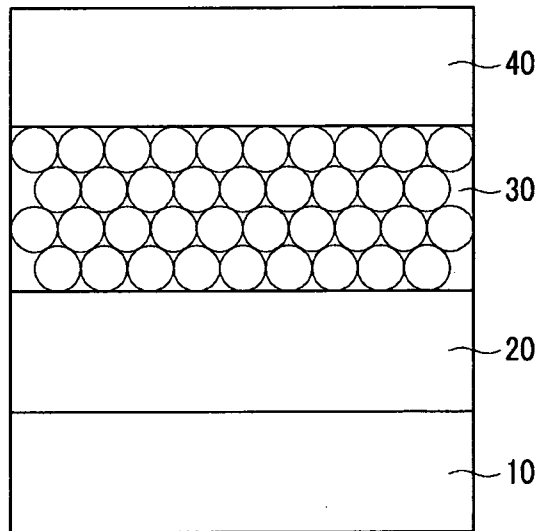
【청구항 10】

제 9항에 있어서,

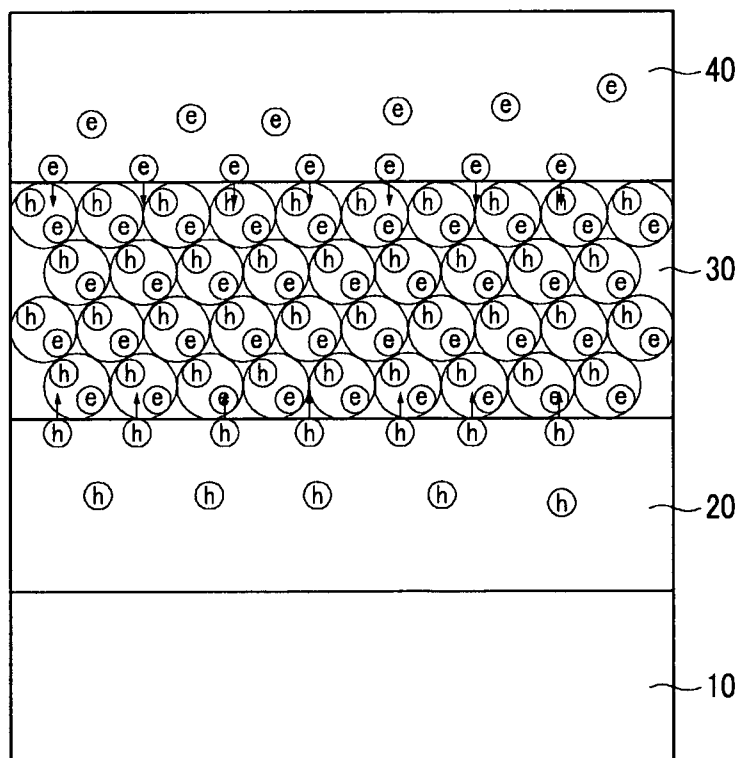
상기 나노와이어 상에 양자점을 배치시킨 후 표면 개질을 통해 저분자 링커를 이용하여 나노와이어와 양자점을 비공유 결합 방식으로 연결시키는 단계를 더 포함함을 특징으로 하는 에너지 변환용 복합물질 제조 방법.

【도면】

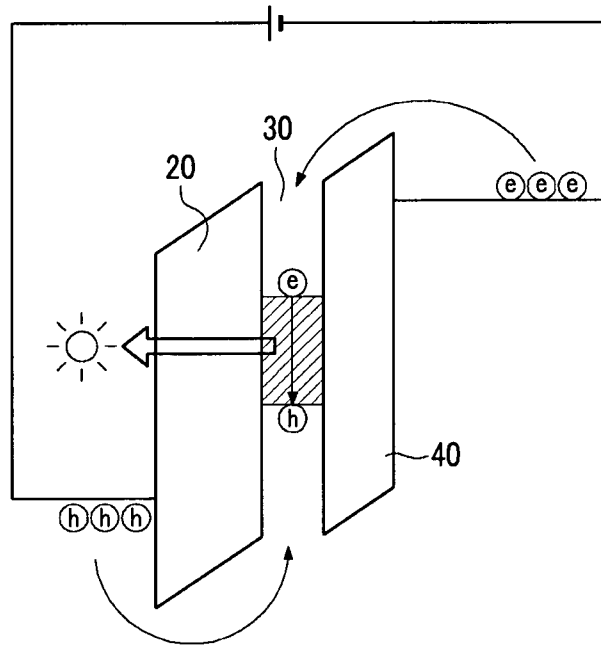
【도 1】



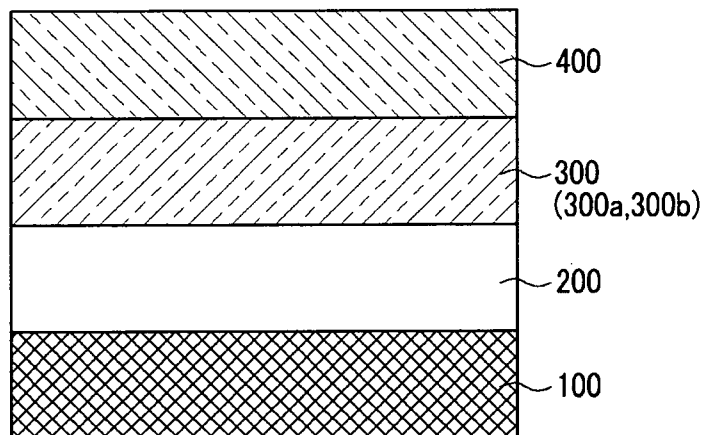
【도 2】



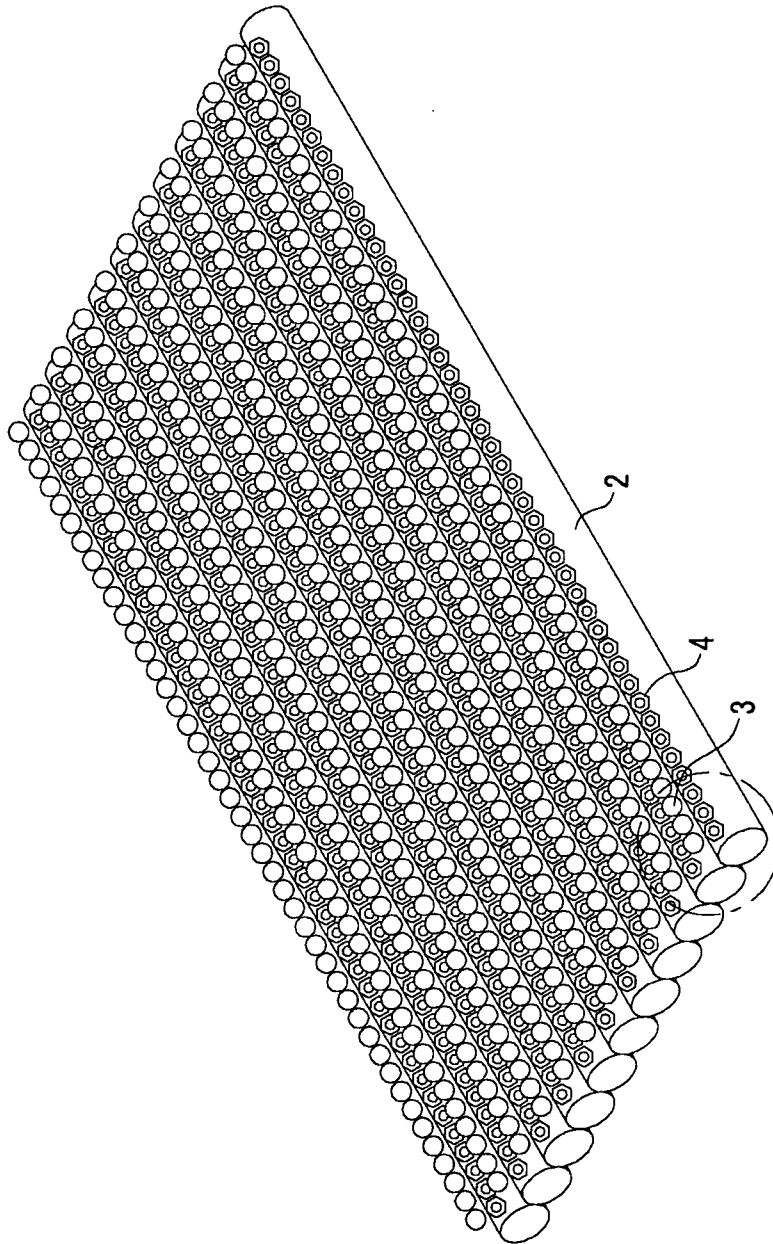
【도 3】



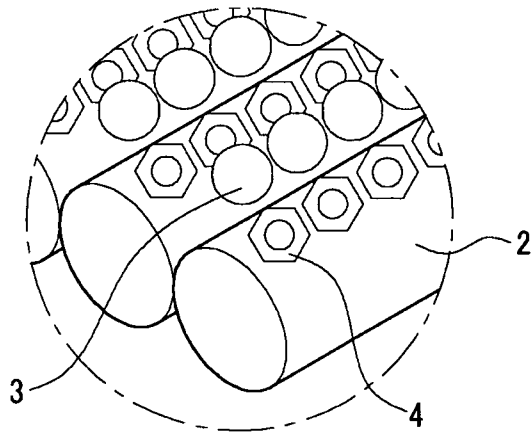
【도 4】



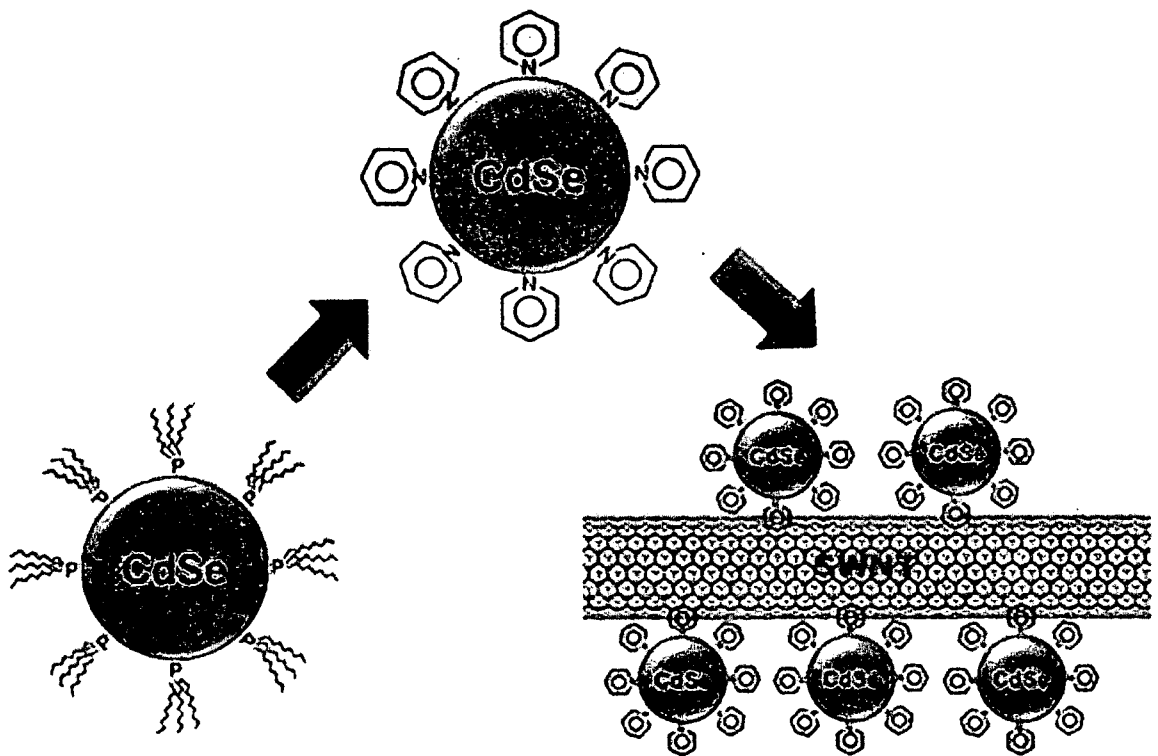
【도 5】



【도 6】



【도 7】



【도 8】



단일벽 탄소나노튜브(SWNTs)에 형성된
나노크리스탈 양자점(NQDs)

【도 9】

