(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2016 년 6 월 23 일 (23.06.2016)

WIPO | PCT

(10) 국제공개번호
WO 2016/099108 A1

(51) 국제특허분류:
G01N 27/30 (2006.01) *G01N 27/327* (2006.01)

(21) 국제출원번호: PCT/KR2015/013705

(22) 국제출원일: 2015 년 12 월 15 일 (15.12.2015)

(25) 출원언어: 한국어

(26) 공개언어: 한국어

(30) 우선권정보:
10-2014-0183043 2014 년 12 월 18 일 (18.12.2014) KR

(71) 출원인: **고려대학교 산학협력단 (KOREA UNIVERSITY RESEARCH AND BUSINESS FOUNDATION)** [KR/KR]; 02841 서울시 성북구 안암로 145 고려대학교 (안암동 5 가), Seoul (KR).

(72) 발명자: **한창수 (HAN, Chang Soo)**; 01721 서울시 노원구 중계로 184 중계라이프아파트 107 동 1202 호, Seoul (KR). **최욱 (CHOI, Wook)**; 34501 대전시 동구 회남로 184 번길 10, Daejeon (KR).

(74) 대리인: **이동건 (LEE, Dong Gun)**; 06106 서울시 강남구 논현로 120 길 7, 4 층 402 호, 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, BN, 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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

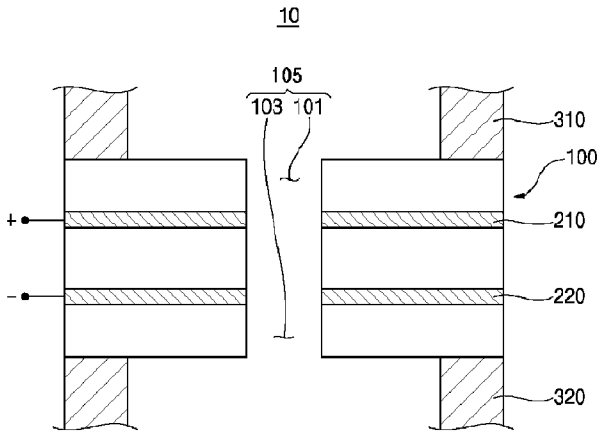
(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제 21 조(3))

(54) **Title**: NANOPORE ELEMENT AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

(54) **발명의 명칭** : 나노 포어 소자 및 이의 제조 방법



(57) **Abstract**: A nanopore element comprises: a nanopore structure provided with a nanopore having an inlet hole and an outlet hole through which a tested object is passed; and one pair of first electrodes and second electrodes, which are separately provided between the inlet hole and the outlet hole and of which an end portion is exposed to the inside of the nanopore, so as to measure a current flowing through the inside of the nanopore.

(57) **요약서**: 나노 포어 소자는 피검사체가 통과할 수 있도록 유입구 및 유출구를 갖는 나노 포어가 형성된 나노 포어 구조체 및 상기 유입구 및 유출구 사이에 상호 이격되어 구비되며, 단부가 상기 나노 포어 내부로 노출되며, 상기 나노 포어 내부로 흐르는 전류를 측정할 수 있도록 구비된 한 쌍의 제 1 전극 및 제 2 전극을 포함한다.

WO 2016/099108 A1

명세서

발명의 명칭: 나노 포어 소자 및 이의 제조 방법

기술분야

[1] 본 발명은 나노 포어 소자 및 이의 제조 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는, DNA와 같은 나노 크기의 물질을 분석할 수 있는 나노 포어 소자 및 상기 나노 포어 소자의 제조 방법에 관한 것이다.

배경기술

[2] 나노 포어 소자는 매우 적은 양의 이온이송을 제어하고, 또 나노 포어를 통과하는 물질들을 분석할 수 있는 특성을 가진다. 따라서, 최근에는 상기 나노 포어 소자에 관하여 활발히 연구되고 있다.

[3] 예를 들면 나노 포어 소자는 생명체의 이온채널과 유사한 구조를 가지므로, 상기 나노 포어 소자에 형성된 나노 포어(PORE)를 지나는 DNA와 같은 물질들에 포함된 A,G,T,C와 같은 염기를 sequencing 하는 연구가 진행 중에 있다. 상기 DNA와 같은 물질이 나노 포어를 통과할 경우, 정전기적 상호 작용 또는 기하학적 제한 등에 의한 에너지 장벽이 존재한다. 따라서, 상기 DNA는 상기 에너지 장벽을 극복하여 통과할 수 있다. 이로써 상기 나노 포어 내를 통과하는 DNA는 포어 내부를 따라 흐르는 이온의 이동에 의한 전류의 흐름을 블로킹(blocking)할 수 있다. 결과적으로, 정상적인 이온만이 통과할 때의 전위차(potential)와 비교할 때 상기 DNA가 통과할 경우 상대적으로 낮은 전위차가 발생하여 전류(current)가 감소된다. 이를 블로킹 전류(blocking current)라고 하는데 상기 블로킹 전류의 크기를 이용해 상기 DNA를 sequencing하려는 연구가 진행되고 있다.

[4] 이와 더불어 DNA 뿐만 아니라 마이크로 RNA나 나노와이어, nanoscale polymer등 나노 포어의 크기보다 작은 나노물질을 통과시키면서 이를 분석하는 연구도 진행중이다.

[5] 하지만, 상기 나노 포어 소자에 포함된 한 쌍의 전극들은 일반적으로 상기 DNA와 같은 피검사체가 저장되는 저장 용기에 위치한다. 이 경우, 두 전극들 사이에 존재하는 피검사체를 제외한 다른 물질들 또는 그 이온의 움직임과 같은 외란이 발생한다. 상기 외란에 영향에 의하여 검사의 정밀도가 악화되는 문제가 발생할 수 있다.

[6] 나아가, 상기 나노 포어의 입구 또는 출구에 클로킹(cloaking)이 발생함으로써 상기 나노 포어의 입구가 폐쇄되다가 다시 천천히 개방되어 상기 나노 포어 내부로 상기 피검사체가 이동하는 현상이 발생할 수 있다. 이로써 상기 피검사체의 이동을 정확하게 확인하기 어려울 뿐만 아니라 상기 나노 포어의 내부에서의 상기 피검사체의 유동에 따른 신호 감지가 어려운 문제가 있다.

[7] 또한, 나노 포어의 두께가 기존의 DNA와 같은 염기서열을 분석하기에는 너무

두꺼워서 염기간 간격의 변화에 따라 Blocking 전류의 변화를 정밀하게 측정하기는 매우 어렵다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

[8] 본 발명이 이루고자 하는 일 목적은, 나노 포어의 입구 및 출구 사이에서 발생하는 블로킹 전류(blocking current)를 정확하게 측정할 수 있는 나노 포어 소자를 제공하는 것이다.

[9] 본 발명이 이루고자 하는 일 목적은, 상기 나노 포어 소자의 제조 방법을 제공하는 것이다.

과제 해결 수단

[10] 본 발명의 일 실시예에 따른 나노 포어 소자는 피검사체가 통과할 수 있도록 유입구 및 유출구를 갖는 나노 포어가 형성된 나노 포어 구조체 및 상기 유입구 및 유출구 사이에 상호 이격되어 구비되며, 단부가 상기 나노 포어 내부로 노출되며, 상기 나노 포어 내부로 흐르는 전류를 측정할 수 있도록 구비된 한 쌍의 제1 전극 및 제2 전극을 포함한다.

[11] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 나노 포어는 100 nm 이하의 크기를 가지며, 10,000 nm 이하의 길이를 갖도록 구비될 수 있다.

[12] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 및 제2 전극들 각각은 금, 은, 팔라듐 플라티늄, 하프늄, 구리와 같은 금속 및 그래핀, 그래파이트, 환원된 그래핀, h-BN, WS_2, 및 MOS_2 과 같은 2차원형태의 물질을 포함할 수 있다.

[13] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 및 제2 전극들 각각은 상기 나노 포어 구조체를 수평 방향으로 관통하도록 도우넛 형상을 가질 수 있다.

[14] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 및 제2 전극들 각각은 상기 나노 포어의 수직방향으로 형성된 절연막에 의해 상호 이격되도록 배치되며, 평면적으로 볼 때 상호 오버랩되지 않도록 형성될 수 있다.

[15] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 및 제2 전극들 각각은 상기 나노 포어의 수직방향으로 형성된 절연막에 의해 상호 이격되도록 배치되며, 상기 나노 포어를 중심으로 상호 마주보도록 형성될 수 있다.

[16] 여기서, 상기 절연막은 상기 제1 및 제2 전극들 사이로 5 nm 이하의 간격을 가짐으로써 상기 제1 및 제2 전극들 사이로 터널링 전류(tunneling current)가 발생할 수 있도록 구비될 수 있다.

[17] 본 발명의 일 실시예에 따른 나노 포어 소자는, 상기 제1 및 제2 전극들 사이에 배치되며, 상기 나노 포어 내부의 흐르는 상기 피검사체의 유동을 제어하는 제3 전극을 더 포함할 수 있다. 여기서, 상기 제3 전극은 일 단부에 상기 나노 포어 내부에서 노출된 노출부를 구비하고, 상기 노출부는 유전 물질로 코팅될 수 있다.

[18] 본 발명의 일 실시예에 따른 나노 포어 소자의 제조 방법에 있어서, 피검사체가

통과할 수 있도록 유입구 및 유출구를 관통하는 나노 포어가 형성된 나노 포어 구조체를 형성한 후, 상기 유입구 및 유출구 사이에 상호 이격되어 구비되며, 단부가 상기 나노 포어 내부로 노출되며, 상기 나노 포어 내부로 전압을 인가하며 전류를 측정할 수 있도록 구비된 한 쌍의 제1 전극 및 제2 들을 형성한다.

[19] 본 발명의 일 실시예에 따른 나노 포어 소자의 제조 방법에 있어서, 기판 상에 포어층을 형성하고, 상기 포어층 상에 평면 구조물로 이루어진 제1 전극층을 형성하여 상기 포어층 및 상기 제1 전극층을 포함하는 제1 예비 포어 구조체를 형성한다. 상기 제1 전극층 상에 층간 절연막을 형성한 후, 상기 층간 절연막 상에 평면 구조물로 이루어진 제2 전극층을 형성한다. 이후, 상기 제2 전극층 상에 절연막을 형성하고, 상기 절연막, 상기 제2 전극층, 상기 층간 절연막, 제1 전극층 및 상기 포어층을 순차적으로 식각하여, 피검사체가 통과할 수 있도록 유입구 및 유출구를 갖는 나노 포어가 형성된 나노 포어 구조체, 제1 전극 및 제2 전극을 형성한다.

[20] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 전극층 상에 층간 절연막을 형성하기 전, 상기 기판을 부분적으로 식각하여 상기 나노 포어에 대응되는 위치에 제1 개구를 형성하는 공정이 추가적으로 수행될 수 있다.

[21] 본 발명의 일 실시예에 따른 나노 포어 소자의 제조 방법에 있어서, 상기 절연막 패턴 상에 상기 유입구가 노출되도록 저장 용기가 추가적으로 부착될 수 있다.

[22] 본 발명의 일 실시예에 따른 나노 포어 소자의 제조 방법에 있어서, a) 제1 기판 상에 제1 포어층을 형성하고, b) 상기 제1 포어층 상에 평면 구조물로 이루어진 제1 전극층을 형성하여 상기 제1 포어층 및 제1 전극층을 포함하는 제1 예비 포어 구조체를 형성한다. c) 상기 제1 전극층 상에 층간 절연막을 형성하고, d) a) 내지 b)단계를 이용하여 제2 기판, 제2 포어층, 제2 전극층이 순차적으로 형성된 제2 예비 포어 구조체를 준비한다. e) 상기 층간 절연막 상에 상기 제1 예비 포어 구조체와 마주보도록 상기 제2 예비 포어 구조체를 위치시키고, f) 상기 층간 절연막 및 상기 제2 전극층을 부착시킨다. 이후, e) 상기 제2 포어층, 제2 전극층, 층간 절연막, 상기 제1 전극층 및 상기 제1 포어층을 순차적으로 식각하여, 피검사체가 통과할 수 있도록 유입구 및 유출구를 갖는 나노 포어가 형성된 나노 포어 구조체, 제1 전극 및 제2 전극을 형성한다.

[23] 본 발명의 일 실시예에 따른 나노 포어 소자의 제조 방법에 있어서, 상기 f) 단계는 애노딕 본딩 공정, 플라즈마 본딩 공정 또는 마이크로웨이브 본딩 공정 중 하나를 수행하는 것을 포함할 수 있다.

[24] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 전극층 상에 층간 절연막을 형성하기 전, 상기 제1 기판을 부분적으로 식각하여 상기 나노 포어에 대응되는 위치에 제1 개구를 형성할 수 있고, 상기 제2 전극층을 형성한 후, 상기 제2 기판을 부분적으로 식각하여 상기 나노 포어에 대응되는 위치에 제2 개구를 형성할 수 있다.

발명의 효과

[25] 본 발명의 나노 포어 소자에 따르면, 나노 포어의 유입구 및 유출구 사이에 상호 이격되도록 형성된 적어도 두개의 전극들을 포함한다. 따라서, 나노포어 내부를 통과하는 이온이나 나노물질에 대하여 개선된 분해능과 감소된 노이즈로 측정할 수 있다.

[26] 나아가, 다양한 측정신호를 통해 보다 효과적으로 통과하는 피검사체를 분석할 수 있다. 따라서 상기 나노 포어 소자는 DNA, 마이크로 RNA의 Sequencing뿐 아니라 다양한 나노물질을 분석하는 장치로 활용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[27] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 나노 포어 소자를 설명하기 위한 단면도이다.

[28] 도 2 및 도 3 각각은 본 발명의 일 실시예에 따른 나노 포어 소자를 설명하기 위한 단면도 및 평면도이다.

[29] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 나노 포어 소자를 설명하기 위한 단면도이다.

[30] 도 5 내지 도 11은 본 발명에 따른 나노 포어 소자의 제조 방법을 설명하기 위한 단면도들이다.

[31] 도 12 내지 도 14는 본 발명에 따른 나노 포어 소자의 제조 방법을 설명하기 위한 단면도들이다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

[32] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들에 대해 상세히 설명한다. 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 첨부된 도면에 있어서, 대상물들의 크기와 양은 본 발명의 명확성을 기하기 위하여 실제보다 확대 또는 축소하여 도시한 것이다.

[33] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다.

[34] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "구비하다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 단계, 기능, 구성요소 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 다른 특징들이나 단계, 기능,

구성요소 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[35] 여기서, 층간 거리는 채널에 해당하며 단일층의 두께를 포함하지 않은 그 사이의 간격으로 정의된다. 하지만, 정확한 측정이 어려운 원자 두께의 층상구조 소재의 경우에는 일부 단일층의 두께가 층간간격에 포함될 수도 있다.

[36] 한편, 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[37] 본 발명의 일 실시예에 따른 나노 포어 소자는 피검사체가 통과할 수 있도록 유입구 및 유출구를 갖는 나노 포어가 형성된 나노 포어 구조체 및 상기 유입구 및 유출구 사이에 상호 이격되어 구비되며, 단부가 상기 나노 포어 내부로 노출되며, 상기 나노 포어 내부로 흐르는 전류를 측정할 수 있도록 구비된 한 쌍의 제1 전극 및 제2 전극을 포함한다.

발명의 실시를 위한 형태

[38] 나노 포어 소자

[39] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 나노 포어 소자를 설명하기 위한 단면도이다.

[40] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 나노 포어 소자(10)는 나노 포어 구조체(100) 및 제1 전극(210)과 제2 전극(220)을 포함한다.

[41] 상기 나노 포어 구조체(100)에는 피검사체가 통과할 수 있도록 유입구(101) 및 유출구(103)를 갖는 나노 포어(105)가 형성된다.

[42] 상기 나노 포어(105)는 100 nm 이하의 크기를 가지며, 10,000 nm 이하의 길이를 갖도록 구비될 수 있다. 또한 상기 나노 포어(105)는 하부로 갈수록 넓어지거나 좁아지는 크기를 가질 수 있다.

[43] 상기 제1 전극(210)과 제2 전극(220)은 상기 유입구 및 유출구 사이에 상호 이격되어 구비된다. 상기 제1 전극(210) 및 제2 전극(220) 각각의 단부는 상기 나노 포어(105) 내부로 노출되도록 구비된다. 상기 제1 전극(210) 및 상기 제2 전극(220)을 통하여 상기 나노 포어(105) 내부로 전압이 인가되며, 나아가 상기 나노 포어(105) 내부로 흐르는 전류가 측정될 수 있다. 상기 제1 전극(210) 및 상기 제2 전극(220)의 노출된 부분은 유전 물질을 이용하여 코팅될 수도 있다.

[44] 상기 제1 전극(210) 및 제2 전극(220)은 일정한 분해능을 확보하기 위해 근접하게 배치될 수 있다. 다만 제1 전극(210) 및 제2 전극(220)이 상호 전기적으로 영향이 미치지 않도록 이격되어야 한다. 즉, 제1 및 제2 전극들(210,

220) 사이에 발생하는 누설 전류(leakage current)가 나노 포어 소자에서 이온의 흐름에 의하여 발생하는 노이즈보다 적도록 상기 이격 거리가 확보되는 것이 바람직하다.

[45] 상기 나노 포어(105) 외부에 존재하며 피검사체를 수용하는 수용 용기(reservoir)에 제1 및 제2 전극들이 배치되는 경우와 비교할 때, 본 발명의 실시예들에 따른 나노 포어 소자(10)에 포함된 상기 제1 전극(210) 및 상기 제2 전극(220)은 상기 나노 포어(105)를 정의하는 상기 유입구(101) 및 유출구(103) 사이에 배치된다. 따라서, 상기 나노 포어(105) 외부에 존재하며 피검사체를 수용하는 수용 용기(reservoir)에서 발생하는 외란에 의한 영향이 억제될 수 있다. 나아가, 상기 나노 포어 소자(10)는 상기 나노 포어(105) 내부에서 발생하는 전기장의 변화를 개선된 감도로 측정할 수 있다.

[46] 한편, 나노 포어(105)의 내부에 장착된 한 쌍의 제1 및 제2 전극들(210, 220)은 일정한 간격으로 이격되어 있음으로써, 제1 및 제2 전극들(210, 220) 사이를 이동하는 피검사체 물질에 의해 블로킹 전류(blocking current)를 정밀하게 측정할 수 있다.

[47] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 및 제2 전극들(210, 220) 각각은 1 um 이하의 두께를 가질 수 있다. 하지만, 상기 나노 포어(105)의 크기를 고려하여 상기 제1 및 제2 전극들(210, 220)이 상호 이격될 수 있는 두께를 가지면 충분하다. 이에 그 두께에 대한 특별한 제한은 없다.

[48] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 및 제2 전극들(210, 220) 각각은 금, 은, 구리와 같은 금속이나 AgCl과 같은 금속화합물 또는 그래핀, 환원된 그래핀과 같은 탄소나노물질 및 이의 복합체 또는 MoS_2,WS_2,h-BN와 같은 2차원 평면 물질 및 이의 복합체를 사용할 수 있다. 한편, 상기 제1 및 제2 전극들(210, 220) 각각은 피검사체 이온에 대해 전기화학적 반응이 억제되는 전기화학적으로 안정된 물질을 포함할 수 있다.

[49] 이와 다르게, 금속 원소가 도핑된 실리콘과 같이 우수한 전기 전도도를 갖는 물질이면 충분하다. 나아가 상기 2차원 평면 물질에 보론(B), 질소(nitrogen) 과 같은 원소가 도핑된 변형된 2차원 평면 물질을 사용할 수 있으며, 도핑할 수 있는 원소는 특별히 제한하지 않는다. 이 외에도 나노 물질들의 복합체로서 금 나노 입자가 도포된 그래핀이나 Cr/Au의 이중층으로 되어있는 전극과 같이 복합체로서의 전극을 사용할 수 있다.

[50] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 및 제2 전극들(210, 220) 각각은 상기 나노 포어 구조체(100)를 수평 방향으로 관통하도록 도우넛 형상을 가질 수 있다. 이로써, 상기 제1 및 제2 전극들(210, 220)이 나노 포어(105)의 둘레 방향을 따라 전체적으로 둘러싸는 구조를 가질 수 있다. 이로써 상기 나노 포어 소자(10)는 상기 나노 포어(10) 내부에서 발생하는 전기장의 변화를 개선된 감도로 측정할 수 있다.

[51] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 나노 포어 구조체(100)에 내부에 삽입되어

구비된 제1 및 제2 전극들(210, 220)의 각 단부들은 나노 포어(105) 내부로 노출될 수 있다. 이로써 상기 제1 및 제2 전극들(210, 220)의 각 단부들은 유동하는 이온 유체와 직접 물리적으로 접촉할 수 있다. 하지만 상기 제1 및 제2 전극들(210, 220)의 노출된 노출부가 유전(dielectric) 물질에 의해 차폐될 수도 있다.

[52] 도 2 및 도 3 각각은 본 발명의 일 실시예에 따른 나노 포어 소자를 설명하기 위한 단면도 및 평면도이다.

[53] 먼저 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 나노 포어 소자(10)는 나노 포어 구조체(100) 및 제1 전극(210)과 제2 전극(220)을 포함한다.

[54] 상기 제1 전극(210) 및 상기 제2 전극(220)은 터널링 전류(tunneling current)를 측정할 수 있을 정도로 인접하게 위치할 수 있다. 이때 상기 제1 전극(210) 및 상기 제2 전극(220)은 하프 도우넛(half donut) 형상을 각각 가질 수 있다. 상기 제1 및 제2 전극들(210, 220) 사이에는 절연막이 개재될 수 있다. 또한 평면적으로 볼 때 상기 제1 및 제2 전극들(210, 220)은 나노 포어(105)를 중심으로 대칭될 수 있다.

[55] 이 경우, 상기 제1 및 제2 전극들(210, 220) 사이에 형성된 상기 절연막이 수평 방향으로 1nm 정도의 두께를 가질 경우 상기 제1 및 제2 전극들 사이에서 터널링 전류(tunneling current)가 발생할 수 있다. 이 경우, 상기 나노 포어(105) 내로 상기 제1 및 제2 전극들(210, 220) 사이로 피검사체가 유입될 경우, 상기 터널링 전류(tunneling current)의 크기가 변화하게 되어 미세한 전극들 사이의 변화를 측정할 수 있다. 예를 들면, DNA의 염기중 어느 하나가 상기 제1 및 제2 전극들(210, 220)에 위치해 있을 때 상기 제1 및 제2 전극들(210, 220) 사이의 터널링 전류(tunneling current) 값이 변화될 수 있다.

[56] 다시 도 2를 참조하면, 상기 제1 및 제2 전극들(210, 220)은 상기 절연막에 의해 이격되어 있을 뿐 아니라 평면적으로 볼 때 상호 오버랩(overlap)되지 않도록 배치될 수 있다. 즉, 상기 제1 및 제2 전극들(210, 220)이 상기 나노 포어(105)를 중심으로 나노 포어(105)를 둘러싸도록 위치하는 동시에 평면적으로 볼 때 상호 오버랩(overlap)되지 않도록 배치된다. 이로써, 상기 제1 및 제2 전극들(210, 220) 사이에 상호 간섭으로 인한 누설 전류(leakage current)의 발생이 억제될 수 있다.

[57] 도 3을 참조하면, 상기 제1 및 제2 전극들(210, 220)은 나노 포어(105)를 중심으로 서로 마주보도록 배치된다.

[58] 상기 제1 및 제2 전극들(210, 220) 사이에 나노물질이 지나갈 때, 상기 나노 물질의 유동이 상기 제1 및 제2 전극들(210, 220) 간의 수평 방향으로의 전류 흐름을 방해할 수 있다. 이로써 상기 제1 및 제2 전극들(210, 220) 간에 블로킹 전류값이 측정될 수 있다.

[59] 이때 제1 및 제2 전극들(210, 220)은 나노 포어(105) 내부에서 상하 방향을 따라 형성 위치에 있어서 높이차가 있을 수 있다. 따라서, 상기 나노 포어(105)의 크기가 작을수록 제1 및 제2 전극들(210, 220) 사이의 전류 흐름이 민감하게 방해받을 수 있다. 물론 동일 평면 상에 제1 및 제2 전극들(210, 220)이

형성되도록 제조할 수도 있지만 그런 방법은 매우 제작이 어렵다. 따라서 상기의 구조를 갖는 나노 포어 소자의 제조 방법이 상대적으로 용이할 수 있다.

[60] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 나노 포어 소자를 설명하기 위한 단면도이다.

[61] 도 4를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 나노 포어 소자는 나노 포어 구조체(100) 및 제1 전극(210)과 제2 전극(220)을 포함한다. 나아가, 상기 나노 포어 소자는 제1 및 제2 전극들 사이에 제3 전극(230)을 더 포함한다.

[62] 상기 제3 전극(230)에 인가되는 전압은 게이트 전압(V_G), 상기 제1 전극(210)에 인가되는 전압은 소스 전압(V_S), 상기 제2 전극(220)에 인가되는 전압은 드레인 전압(V_D)으로 정의할 수 있다. 상기 제1 내지 제3 전극들(210, 220, 230)에 전기 신호를 인가하는 전기 신호부(미도시)가 구비된다. 상기 전기 신호부는 상기 제1 내지 제3 전극들과 탐침(probe, 미도시)를 통하여 연결될 수 있다.

[63] 상기 전기 신호부에 의해 인가되는 게이트 전압(V_G), 소스 전압(V_S) 및 드레인 전압(V_D)에 의해 나노 포어 소자(10)는 이온 전계 트랜지스터(ionic field effect transistor, IFET)로 기능할 수 있다. 상기 피검사체에 포함된 이온이 상기 나노 포어를 통하여 이동할 경우 이온 전류가 흐르게 되며 나노 포어(105)는 이온의 이동에 대한 채널로서 작용한다. 상기 피검사체로부터 이온화된 양이온 및 음이온이 제1 및 제2 전극들(210, 220) 각각에 인가되는 소스 전압(V_S) 및 드레인 전압(V_D)에 의해 특정 방향으로 이동할 수 있다. 이때 제3 전극(230)에 인가되는 게이트 전압(V_G)에 의해 트랜지스터의 온(on) 상태 및 오프(off) 상태를 제어할 수 있다.

[64] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 나노 포어 구조체(100)에 내장된 제3 전극(230)의 각 단부들은 나노 포어(105) 내부로 노출될 수 있다. 이로써 상기 제3 전극(230)의 단부는 유동하는 이온 유체와 직접 물리적으로 접촉할 수 있다. 하지만 상기 제3 전극(230)의 노출된 노출부가 유전(dielectric) 물질에 의해 코팅될 수 있다.

[65] **나노 포어 소자의 제조 방법**

[66] 도 5 내지 도 11은 본 발명에 따른 나노 포어 소자의 제조 방법을 설명하기 위한 단면도들이다.

[67] 도 5를 참조하면, 기판(110) 상에 포어층(113)을 형성한다. 상기 포어층은 상기 실리콘으로 이루어진 기판(110)을 질화 처리한다. 이로써 상기 기판(110)의 상부 표면이 실리콘 질화물로 전환되어 포어층이 형성될 수 있다.

[68] 도 6을 참조하면, 상기 기판(110)을 부분적으로 식각하여 나노 포어에 대응되는 위치에 제1 개구(111)를 형성한다. 상기 기판(110)을 식각하기 위하여 상기 기판(110)의 하면에 마스크 패턴(미도시)을 형성한 후, 상기 마스크 패턴을 식각 마스크로 이용하여 상기 기판(110)에 대하여 식각 공정이 수행될 수 있다.

[69] 도 7을 참조하면, 상기 포어층(113) 상에 평면 구조물로 이루어진 제1 전극층(115)을 형성하여 상기 포어층(113) 및 상기 제1 전극층(115)을 포함하는

제1 예비 포어 구조체(117)를 형성한다.

[70] 상기 제1 전극층은 금, 은, 구리와 같은 금속이나 AgCl과 같은 금속화합물 또는 그래핀, 환원된 그래핀과 같은 탄소나노물질 및 이의 복합체 또는 MoS_2,WS_2,h-BN와 같은 2차원 평면 물질 및 이의 복합체를 이용하여 형성될 수 있다. 한편, 상기 제1 전극층은 피검사체 이온에 대해 전기화학적 반응이 억제되는 전기화학적으로 안정된 물질을 포함할 수 있다.

[71] 예를 들면, 상기 제1 전극층(115)을 형성하기 위하여, 구리 포일에 형성된 그래핀 박막이 상기 포어층 상에 전사될 수 있다. 상기 그래핀 박막은 화학 기상 증착 공정을 통하여 형성될 수 있다.

[72] 도 8을 참조하면, 상기 제1 전극층(115) 상에 층간 절연막(120)을 형성한다. 상기 층간 절연막(120)은 알루미늄 산화물과 같은 금속 산화물을 이용하여 형성할 수 있다. 상기 층간 절연막(120)은 화학 기상 증착 공정을 통하여 형성될 수 있다.

[73] 도 9를 참조하면, 상기 층간 절연막(120) 상에 평면 구조물로 이루어진 제2 전극층(125)을 형성한다.

[74] 상기 제2 전극층(125)은 금, 은, 구리와 같은 금속이나 AgCl과 같은 금속화합물 또는 그래핀, 환원된 그래핀과 같은 탄소나노물질 및 이의 복합체 또는 MoS_2,WS_2,h-BN와 같은 2차원 평면 물질 및 이의 복합체를 이용하여 형성될 수 있다. 한편, 상기 제2 전극층(125)은 피검사체 이온에 대해 전기화학적 반응이 억제되는 전기화학적으로 안정된 물질을 포함할 수 있다.

[75] 예를 들면, 상기 제2 전극층(125)을 형성하기 위하여, 구리 포일에 형성된 그래핀 박막이 상기 포어층 상에 전사될 수 있다. 상기 그래핀 박막은 화학 기상 증착 공정을 통하여 형성될 수 있다.

[76] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 및 제2 전극층들(115, 125) 각각은 일정한 형상을 갖도록 패터닝될 수 있다(도 2 및 도 3 참조). 상기 제1 및 제2 전극층들(115, 125) 각각을 패터닝하기 위하여, 포토리소그래피 공정, 전자빔 리소그래피(e-beam lithography) 공정, 집속 이온빔(focused ion beam; FIB) 공정 또는 나노 임프린팅 공정이 이용될 수 있다. 이로써 제1 및 제2 전극들 각각이 형성될 수 있다.

[77] 도 10을 참조하면, 상기 제2 전극층(125) 상에 절연막(140)을 형성한다. 상기 절연막(140)은 알루미늄 산화물과 같은 금속 산화물을 이용하여 형성할 수 있다. 상기 절연막(140)은 화학 기상 증착 공정을 통하여 형성될 수 있다.

[78] 도 11을 참조하면, 상기 절연막(140), 상기 제2 전극층(125), 상기 층간 절연막(120), 제1 전극층(115) 및 상기 포어층(113)을 순차적으로 식각하여, 피검사체가 통과할 수 있도록 유입구(101) 및 유출구(103)를 갖는 나노 포어(105)를 형성한다. 상기 나노 포어(105)가 형성된 나노 포어 구조체(100)는 포어층 패턴(113a), 층간 절연막 패턴(120a) 및 절연막 패턴(140a)을 포함한다. 또한 상기 제1 전극층(115) 및 제2 전극층(125)으로부터 패터닝된 제1 전극(210)

및 제2 전극(220)이 형성될 수 있다. 다시 말하면, 상기 나노 포어(105)를 형성하기 위하여, 포토리소그래피 공정, 전자빔 리소그래피 공정 또는 집속 이온빔 공정 등이 이용될 수 있다.

[79] 본 발명의 실시예들에 따른 나노 포어 소자(10)를 상기 나노 포어 외부에 존재하며 피검사체를 수용하는 수용 용기(reservoir)에 제1 및 제2 전극들이 배치되는 경우와 비교할 때, 상기 나노 포어 소자(10)에 포함된 상기 제1 전극(210) 및 상기 제2 전극(220)은 상기 나노 포어(105)를 정의하는 상기 유입구(101) 및 유출구(103) 사이에 배치된다. 따라서, 상기 나노 포어(105) 외부에 존재하며 피검사체를 수용하는 수용 용기(resevoir)에서 발생하는 외란에 의한 영향이 억제될 수 있다. 나아가, 상기 나노 포어 소자(10)는 상기 나노 포어(105) 내부에서 발생하는 전기장의 변화를 개선된 감도로 측정할 수 있다.

[80] 한편, 나노 포어(105)의 내부에 장착된 한 쌍의 제1 및 제2 전극들(210, 220)은 일정한 간격으로 이격되어 있음으로써, 제1 및 제2 전극들(210, 220) 사이를 이동하는 피검사체 물질에 의해 블로킹 전류(blocking current)를 정밀하게 측정할 수 있다.

[81] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 절연막 패턴(140a) 상에 상기 유입구(101)가 노출되도록 제1 저장 용기(310)가 형성될 수 있다. 또한 상기 기판의 하부에 상기 유출구(103)가 노출되도록 제2 저장 용기(320)가 형성될 수 있다.

[82] 도 12 내지 도 14는 본 발명에 따른 나노 포어 소자의 제조 방법을 설명하기 위한 단면도들이다.

[83] 도 12를 참조하면, a) 제1 기판(110) 상에 제1 포어층(113)을 형성하고, 상기 제1 포어층(113) 상에 평면 구조물로 이루어진 제1 전극층(115)을 형성하여 상기 제1 포어층(113) 및 제1 전극층(115)을 포함하는 제1 예비 포어 구조체(117)를 형성한다. 이후, c) 상기 제1 전극층(115) 상에 층간 절연막(120)을 형성한다.

[84] 한편, 상기 a) 단계 내지 b) 단계를 수행하여 제2 기판(410) 상에 제2 포어층(413), 제2 전극층(415)이 순차적으로 형성된 제2 예비 포어 구조체(417)를 준비한다.

[85] 이후, 상기 층간 절연막(120) 상에 상기 제1 예비 포어 구조체(117)와 마주보도록 상기 제2 예비 포어 구조체(417)를 위치시킨다.

[86] 도 13을 참조하면, 상기 층간 절연막(210) 및 상기 제2 전극층(415)을 부착시킨다. 예를 들면, 애노딕 본딩 공정, 플라즈마 본딩 공정 또는 마이크로웨이브 본딩 공정 중 하나를 수행하여 상기 층간 절연막(210) 및 상기 제2 전극층(415)을 부착시킬 수 있다. 이로써 피검사체가 상기 층간 절연막(210) 및 상기 제2 전극층(415) 사이의 계면으로 침투하는 것이 억제될 수 있다.

[87] 도 14를 참조하면, 상기 제2 포어층(413), 제2 전극층(415), 층간 절연막(210), 상기 제1 전극층(115) 및 상기 제1 포어층(113)을 순차적으로 식각하여, 피검사체가 통과할 수 있도록 유입구(101) 및 유출구(103)를 갖는 나노

포어(105)가 형성된 나노 포어 구조체(100), 제1 전극(210) 및 제2 전극(220)을 형성한다.

산업상 이용가능성

[88] 나노 포어 소자는 DNA 뿐만 아니라 마이크로 RNA나 나노와이어, nanoscale polymer등 나노 포어의 크기보다 작은 나노물질을 통과시키면서 이를 분석하는 장치에 적용될 수 있다.

[89] 이상에서 설명한 본 발명이 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능하다는 것은, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어 명백할 것이다.

청구범위

[청구항 1] 피검사체가 통과할 수 있도록 유입구 및 유출구를 갖는 나노 포어가 형성된 나노 포어 구조체; 및
상기 유입구 및 유출구 사이에 상호 이격되어 구비되며, 단부가 상기 나노 포어 내부로 노출되며, 상기 나노 포어 내부로 흐르는 전류를 측정할 수 있도록 구비된 한 쌍의 제1 전극 및 제2 전극을 포함하는 나노 포어 소자.

[청구항 2] 제1항에 있어서,
상기 나노 포어는 100 nm 이하의 크기를 가지며, 10,000 nm 이하의 길이를 갖도록 구비된 것을 특징으로 하는 나노 포어 소자.

[청구항 3] 제1항에 있어서, 상기 제1 및 제2 전극들 각각은 그래핀, 그래파이트, 환원된 그래핀, h-BN, WS_2, 및 MOS_2이 속하는 2차원 형태의 물질 군에 선택된 적어도 하나를 포함하는 나노 포어 소자.

[청구항 4] 제1항에 있어서, 상기 제1 및 제2 전극들 각각은 금, 은, 팔라듐 플라티늄, 하프늄, 구리이 속하는 금속 군에 선택된 적어도 하나를 포함하는 나노 포어 소자.

[청구항 5] 제1항에 있어서, 상기 제1 및 제2 전극들 각각은 상기 나노 포어 구조체를 수평 방향으로 관통하도록 도우넛 형상을 갖는 것을 특징으로 하는 나노 포어 소자.

[청구항 6] 제1항에 있어서, 상기 제1 및 제2 전극들 각각은 상기 나노 포어의 수직방향으로 형성된 절연막에 의해 상호 이격되도록 배치되며, 평면적으로 볼 때 상호 오버랩되지 않도록 형성된 것을 특징으로 하는 나노 포어 소자.

[청구항 7] 제1항에 있어서, 상기 제1 및 제2 전극들 각각은 상기 나노 포어의 수직방향으로 형성된 절연막에 의해 상호 이격되도록 배치되며, 상기 나노 포어를 중심으로 상호 마주보도록 형성된 것을 특징으로 하는 나노 포어 소자.

[청구항 8] 제6항 및 제7항 중 어느 하나에 있어서, 상기 절연막은 상기 제1 및 제2 전극들 사이로 5 nm 이하의 간격을 가짐으로써 상기 제1 및 제2 전극들 사이로 터널링 전류(tunneling current)가 발생할 수 있도록 구비된 것을 특징으로 하는 나노 포어 소자.

[청구항 9] 제1항에 있어서, 상기 제1 및 제2 전극들 사이에 배치되며, 상기 나노 포어 내부의 흐르는 상기 피검사체의 유동을 제어하는 제3 전극을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 나노 포어 소자.

[청구항 10] 제9항에 있어서, 상기 제3 전극은 일 단부에 상기 나노 포어 내부에서 노출된 노출부를 구비하고, 상기 노출부는 유전 물질로 코팅된 것을 특징으로 하는 나노 포어 소자.

[청구항 11] 피검사체가 통과할 수 있도록 유입구 및 유출구를 관통하는 나노 포어가

형성된 나노 포어 구조체를 형성하는 단계; 및

상기 유입구 및 유출구 사이에 상호 이격되어 구비되며, 단부가 상기 나노 포어 내부로 노출되며, 상기 나노 포어 내부로 흐르는 전류를 측정할 수 있도록 구비된 한 쌍의 제1 전극 및 제2 전극을 형성하는 단계를 포함하는 나노 포어 소자의 제조 방법.

[청구항 12] 기판 상에 포어층을 형성하는 단계:

상기 포어층 상에 평면 구조물로 이루어진 제1 전극층을 형성하여 상기 포어층 및 상기 제1 전극층을 포함하는 제1 예비 포어 구조체를 형성하는 단계;

상기 제1 전극층 상에 층간 절연막을 형성하는 단계;

상기 층간 절연막 상에 평면 구조물로 이루어진 제2 전극층을 형성하는 단계;

상기 제2 전극층 상에 절연막을 형성하는 단계;

상기 절연막, 상기 제2 전극층, 상기 층간 절연막, 제1 전극층 및 상기 포어층에 대하여 가공 공정을 수행하여, 피검사체가 통과할 수 있도록 유입구 및 유출구를 갖는 나노 포어가 형성된 나노 포어 구조체, 제1 전극 및 제2 전극을 형성하는 단계를 포함하는 나노 포어 소자의 제조 방법.

[청구항 13] 제12항에 있어서, 상기 제1 전극층 상에 층간 절연막을 형성하기 전, 상기 기판을 부분적으로 식각하여 상기 나노 포어에 대응되는 위치에 제1 개구를 형성하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 나노 포어 소자의 제조 방법.

[청구항 14] 제12항에 있어서, 상기 절연막 패턴 상에 상기 유입구가 노출되도록 저장 용기를 부착하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 나노 포어 소자의 제조 방법.

[청구항 15] a) 제1 기판 상에 제1 포어층을 형성하는 단계:

b) 상기 제1 포어층 상에 평면 구조물로 이루어진 제1 전극층을 형성하여 상기 제1 포어층 및 제1 전극층을 포함하는 제1 예비 포어 구조체를 형성하는 단계;

c) 상기 제1 전극층 상에 층간 절연막을 형성하는 단계;

d) a) 내지 b)단계를 이용하여 제2 기판, 제2 포어층, 제2 전극층이 순차적으로 형성된 제2 예비 포어 구조체를 준비하는 단계;

e) 상기 층간 절연막 상에 상기 제1 예비 포어 구조체와 마주보도록 상기 제2 예비 포어 구조체를 위치시키는 단계;

f) 상기 층간 절연막 및 상기 제2 전극층을 부착시키는 단계; 및

e) 상기 제2 포어층, 제2 전극층, 층간 절연막, 상기 제1 전극층 및 상기 제1 포어층에 대하여 가공 공정을 수행하여, 피검사체가 통과할 수 있도록 유입구 및 유출구를 갖는 나노 포어가 형성된 나노 포어 구조체, 제1 전극 및 제2 전극을 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 나노 포어

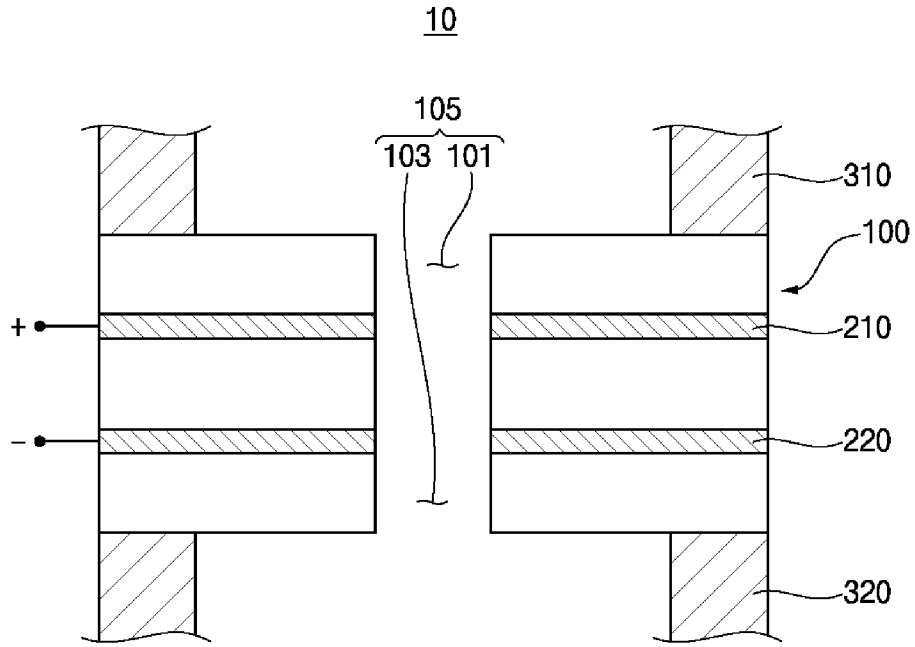
소자의 제조 방법.

[청구항 16] 제15항에 있어서, 상기 f) 단계는 애노딕 본딩 공정, 플라즈마 본딩 공정 또는 마이크로웨이브 본딩 공정 중 하나를 수행하는 것을 특징으로 하는 나노 포어 소자의 제조 방법.

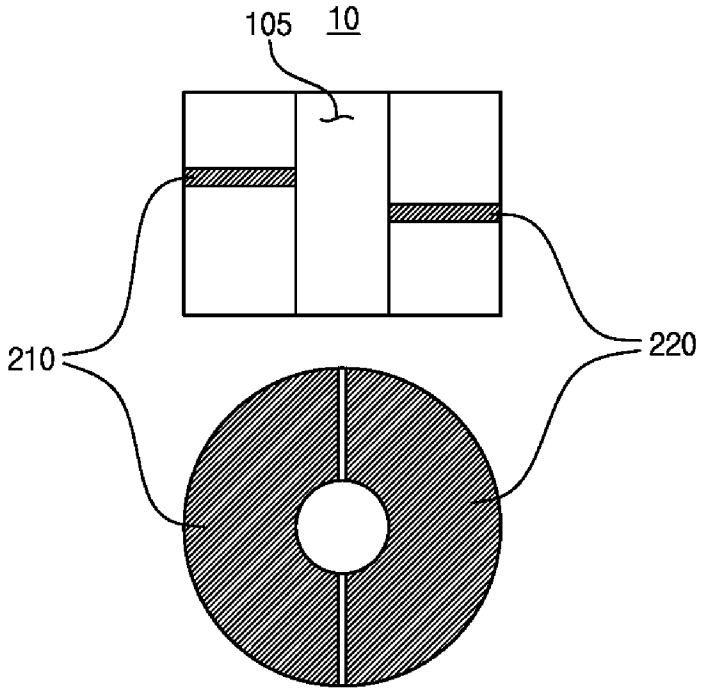
[청구항 17] 제15항에 있어서, 상기 제1 전극층 상에 층간 절연막을 형성하기 전, 상기 제1 기판을 부분적으로 식각하여 상기 나노 포어에 대응되는 위치에 제1 개구를 형성하는 단계를 더 포함하고,
상기 제2 전극층을 형성한 후, 상기 제2 기판을 부분적으로 식각하여 상기 나노 포어에 대응되는 위치에 제2 개구를 형성하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 나노 포어 소자의 제조 방법.

[청구항 18] 제12항 및 제15항 중 어느 하나의 항에 있어서,
상기 제1 및 제2 전극층들 각각을 패터닝하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 나노 포어 소자의 제조 방법.

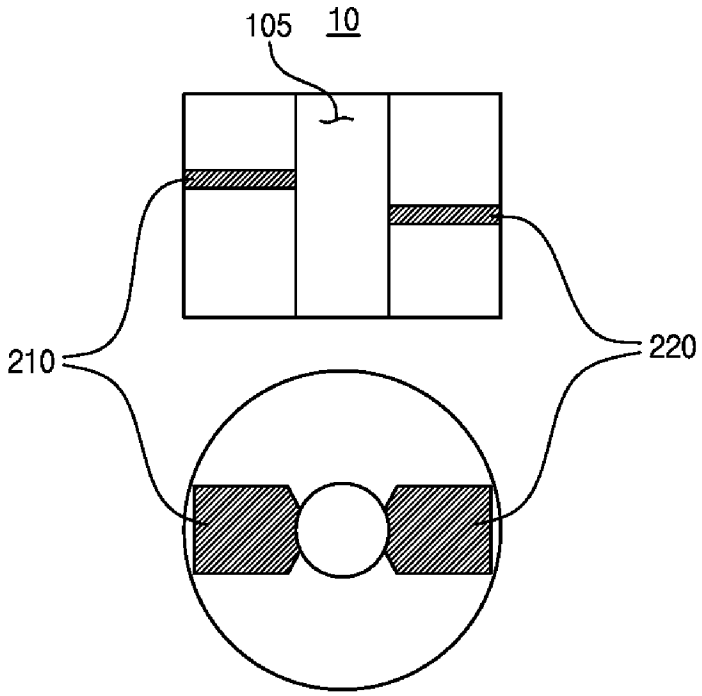
[도1]



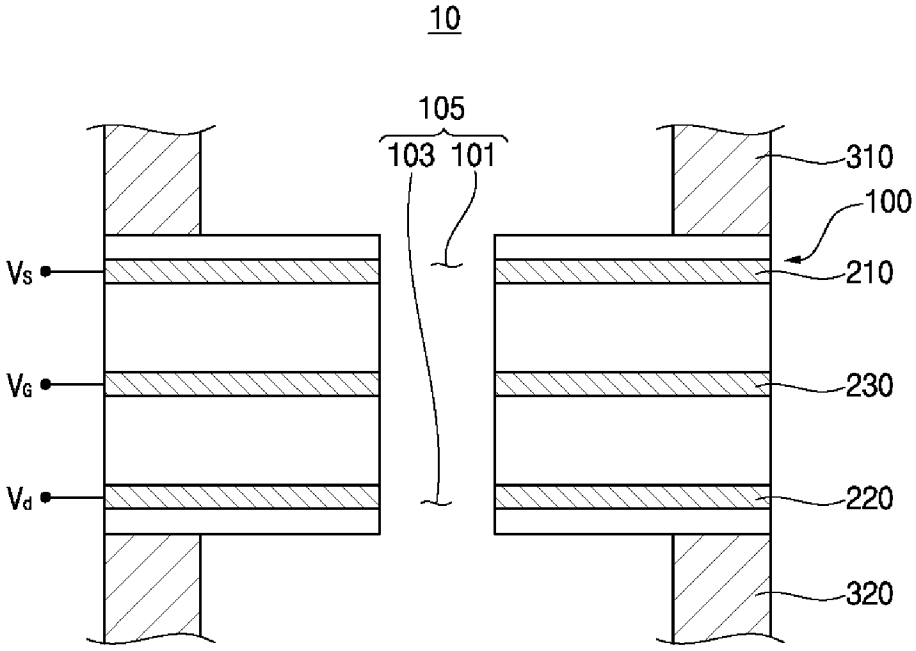
[도2]



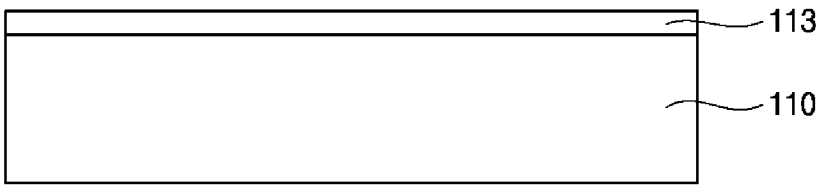
[도3]


105
10
210
220

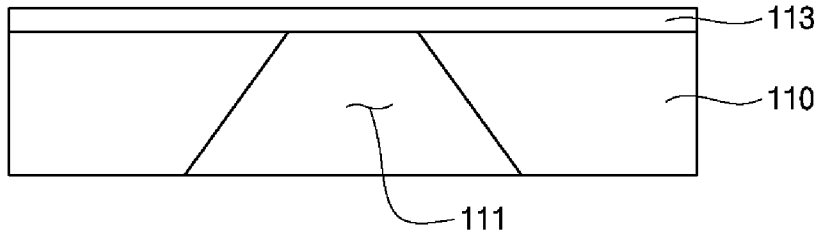
[도4]


10
105
103
101
310
100
210
230
220
320
Vs
VG
Vd

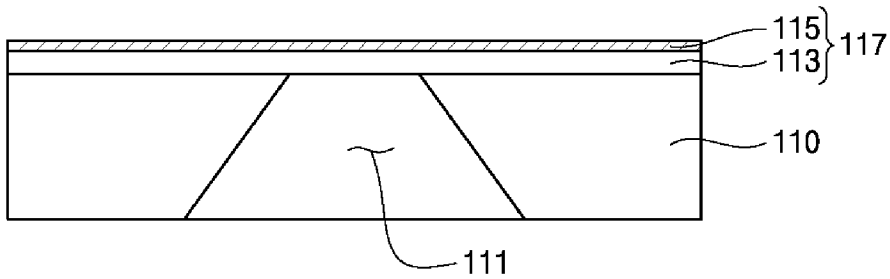
[도5]


113
110

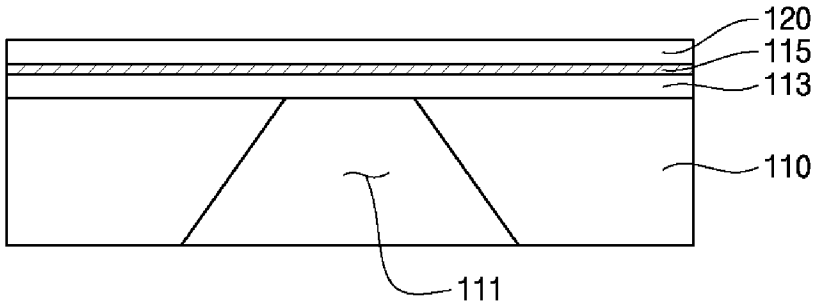
[도6]



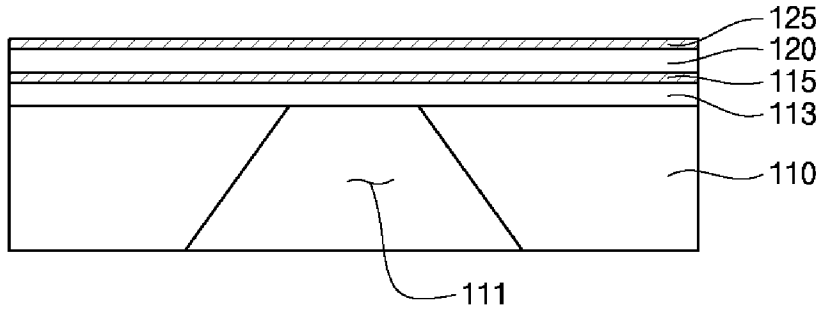
[도7]



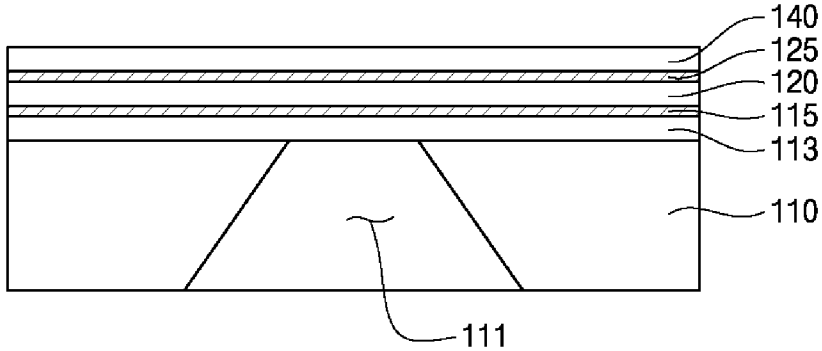
[도8]



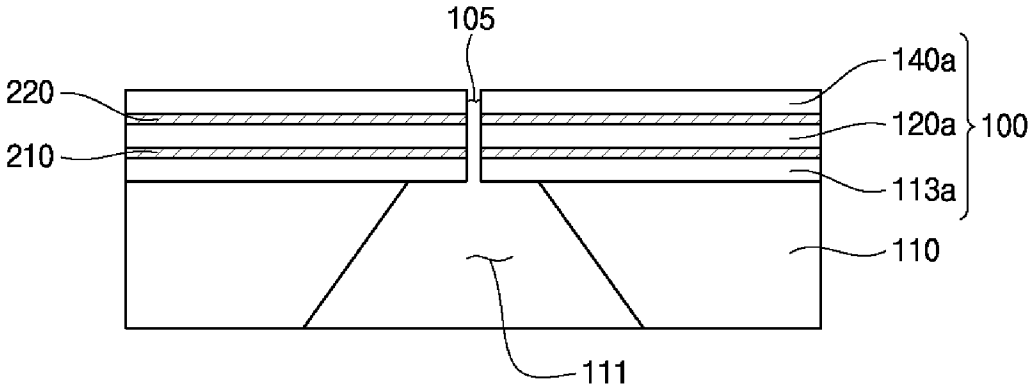
[도9]



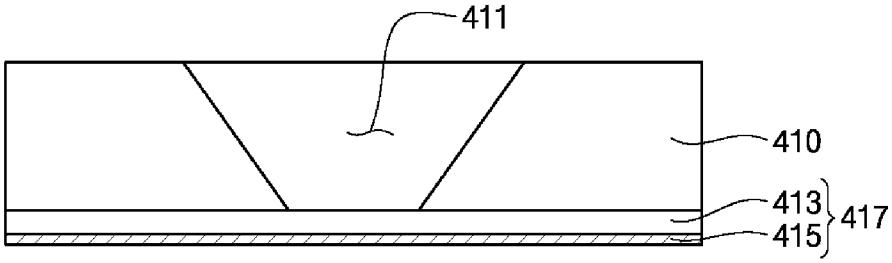
[도10]

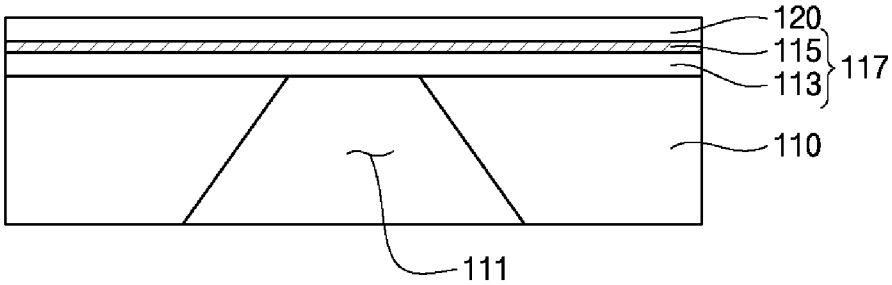


[도11]

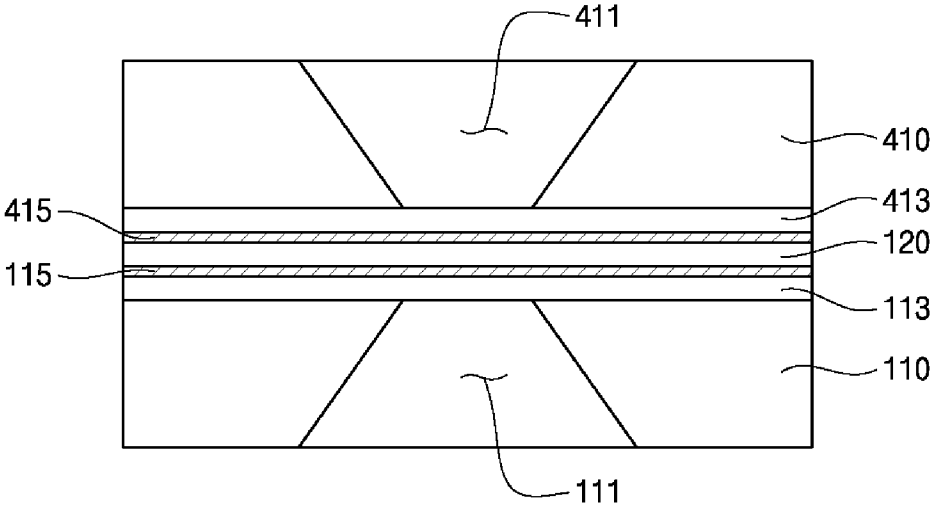

105
220
210
140a
120a
113a
100
110
111

[도12]

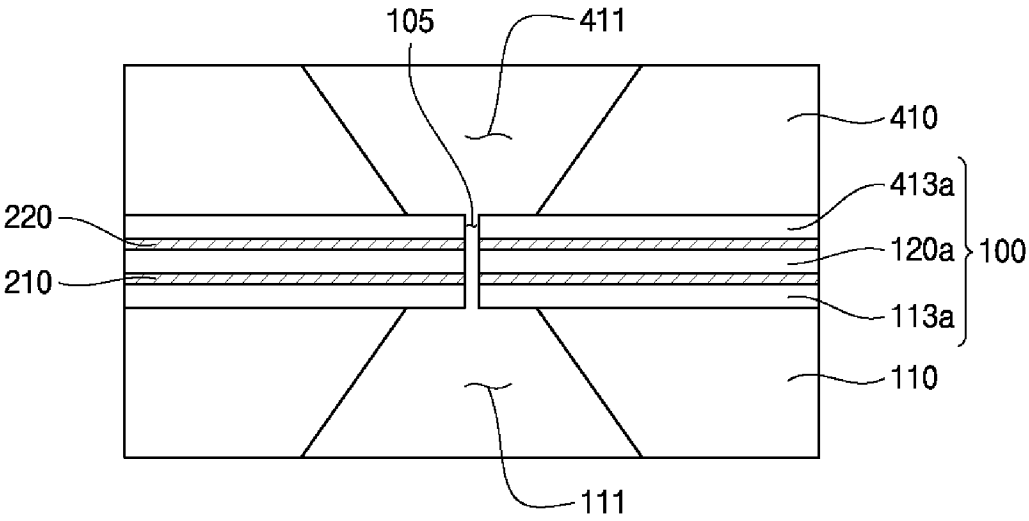

411
410
413
415
417


120
115
113
117
110
111

[도13]


411
410
415
413
115
120
113
110
111

[도14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/KR2015/013705

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 27/30(2006.01)i, G01N 27/327(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N 27/30; C23C 14/00; B31D 3/00; G01N 27/447; G01N 27/26; C12Q 1/68; C12M 1/34; G01N 27/327

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Korean Utility models and applications for Utility models: IPC as above
Japanese Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: nano pore, nano gap, electrode, electric current and tunneling

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2007-0138132 A1 (BARTH, Phillip W.) 21 June 2007 See paragraphs [0032]-[0067] and figures 2-41.	1-8,11-14,18
Y		9,10
A		15-17
Y	US 2012-0193237 A1 (AFZALI-ARDAKANI et al.) 02 August 2012 See paragraphs [0024], [0025] and figure 1.	9,10
A	US 2008-0187915 A1 (POLONSKY et al.) 07 August 2008 See abstract and figure 1.	1-18
A	US 2004-0144658 A1 (FLORY, Curt A.) 29 July 2004 See abstract and figure 1A.	1-18
A	KR 10-2012-0000520 A (SEOUL NATIONAL UNIVERSITY R&DB FOUNDATION) 02 January 2012 See abstract and figure 1.	1-18

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
16 FEBRUARY 2016 (16.02.2016)	**17 FEBRUARY 2016 (17.02.2016)**

Name and mailing address of the ISA/KR
Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon, 189 Seonsa-ro, Daejeon 302-701, Republic of Korea
Facsimile No. 82-42-472-7140

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/KR2015/013705

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
US 2007-0138132 A1	21/06/2007	EP 1486775 A1	15/12/2004
		US 7250115 B2	31/07/2007
US 2012-0193237 A1	02/08/2012	US 2015-0160159 A1	11/06/2015
		US 8986524 B2	24/03/2015
US 2008-0187915 A1	07/08/2008	CA 2708782 A1	07/08/2008
		EP 2109685 A1	21/10/2009
		EP 2109685 B1	15/10/2014
		US 2010-0025249 A1	04/02/2010
		US 8003319 B2	23/08/2011
		WO 2008-092760 A1	07/08/2008
US 2004-0144658 A1	29/07/2004	EP 1441213 A1	28/07/2004
		JP 2004-233356 A	19/08/2004
		US 7410564 B2	12/08/2008
KR 10-2012-0000520 A	02/01/2012	KR 10-1267789 B1	04/06/2013
		WO 2011-162582 A2	29/12/2011
		WO 2011-162582 A3	03/05/2012

국제조사보고서

국제출원번호
PCT/KR2015/013705

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))

G01N 27/30(2006.01)i, G01N 27/327(2006.01)i

B. 조사된 분야

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

G01N 27/30; C23C 14/00; B31D 3/00; G01N 27/447; G01N 27/26; C12Q 1/68; C12M 1/34; G01N 27/327

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))

eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 나노 포어, 나노 갭, 전극, 전류 및 터널링

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
X	US 2007-0138132 A1 (BARTH, PHILLIP W.) 2007.06.21 단락 [0032]-[0067] 및 도면 2-4I 참조.	1-8,11-14,18
Y		9,10
A		15-17
Y	US 2012-0193237 A1 (AFZALI-ARDAKANI et al.) 2012.08.02 단락 [0024], [0025] 및 도면 1 참조.	9,10
A	US 2008-0187915 A1 (POLONSKY et al.) 2008.08.07 요약 및 도면 1 참조.	1-18
A	US 2004-0144658 A1 (FLORY, CURT A.) 2004.07.29 요약 및 도면 1A 참조.	1-18
A	KR 10-2012-0000520 A (서울대학교산학협력단) 2012.01.02 요약 및 도면 1 참조.	1-18

☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.

☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

"A" 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

"E" 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

"L" 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

"O" 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

"P" 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

"T" 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

"X" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

"Y" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

"&" 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

국제조사의 실제 완료일	국제조사보고서 발송일
2016년 02월 16일 (16.02.2016)	2016년 02월 17일 (17.02.2016)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소
대한민국 특허청
(35208) 대전광역시 서구 청사로 189,
4동 (둔산동, 정부대전청사)
팩스 번호 +82-42-472-7140

심사관
이헌길
전화번호 +82-42-481-8525

국제조사보고서
대응특허에 관한 정보

국제출원번호
PCT/KR2015/013705

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
US 2007-0138132 A1	2007/06/21	EP 1486775 A1	2004/12/15
		US 7250115 B2	2007/07/31
US 2012-0193237 A1	2012/08/02	US 2015-0160159 A1	2015/06/11
		US 8986524 B2	2015/03/24
US 2008-0187915 A1	2008/08/07	CA 2708782 A1	2008/08/07
		EP 2109685 A1	2009/10/21
		EP 2109685 B1	2014/10/15
		US 2010-0025249 A1	2010/02/04
		US 8003319 B2	2011/08/23
		WO 2008-092760 A1	2008/08/07
US 2004-0144658 A1	2004/07/29	EP 1441213 A1	2004/07/28
		JP 2004-233356 A	2004/08/19
		US 7410564 B2	2008/08/12
KR 10-2012-0000520 A	2012/01/02	KR 10-1267789 B1	2013/06/04
		WO 2011-162582 A2	2011/12/29
		WO 2011-162582 A3	2012/05/03