



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2018년10월11일  
 (11) 등록번호 10-1906967  
 (24) 등록일자 2018년10월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 G01N 27/02 (2006.01) C12Q 1/68 (2018.01)  
 (21) 출원번호 10-2012-0035600  
 (22) 출원일자 2012년04월05일  
 심사청구일자 2017년03월17일  
 (65) 공개번호 10-2013-0113206  
 (43) 공개일자 2013년10월15일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 KR1020120000343 A\*  
 CN102095768 A  
 WO2009035647 A1  
 US20120037919 A1  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
 삼성전자주식회사  
 경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동)  
 (72) 발명자  
 심저영  
 경기 용인시 기흥구 기흥로38번길 11, 101동 106호 (구갈동, 세종그랑시아)  
 전태한  
 경기 화성시 병점2로 35, 101동 1606호 (병점동, 주공1단지아파트)  
 (뒷면에 계속)  
 (74) 대리인  
 리엔목특허법인

전체 청구항 수 : 총 7 항

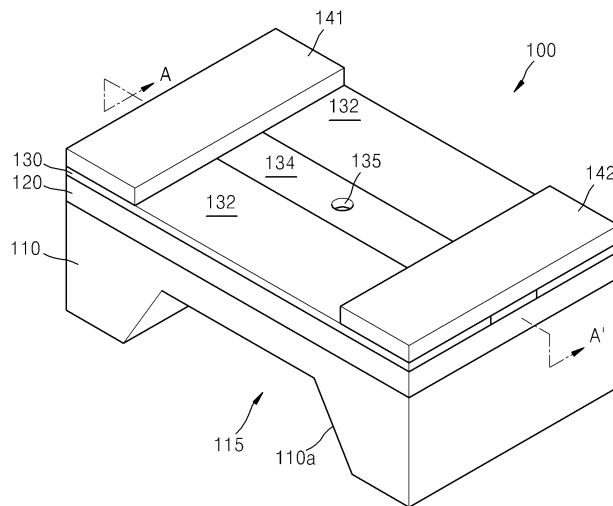
심사관 : 전형태

(54) 발명의 명칭 **나노갭 센서 및 이의 제조 방법**

**(57) 요약**

나노갭 센서가 개시된다. 개시된 나노갭 센서는 마이크로포어(micropore)가 형성된 마이크로포어층; 상기 마이크로포어층 위에 마련된 것으로, 상기 마이크로포어와 마주하는 위치에 나노갭이 형성된 나노 전극 영역을 구비하는 그래핀 시트(graphene sheet); 상기 그래핀 시트 상에, 상기 나노 전극 영역의 양단에 각각 연결되게 형성된 제1전극 및 제2전극;을 포함한다.

**대표도** - 도1



(72) 발명자

**엄근선**

부산 연제구 세병로 16, 101동 107호 (연산동, 한성기린아파트)

**이동호**

경기 성남시 분당구 미금로 177, 313동 1502호 (구미동, 까치마을신원아파트)

**정희정**

서울 강남구 양재대로55길 12, 118동 207호 (일원동, 수서아파트)

**조성호**

경기 과천시 관문로 143, 1102동 303호 (중앙동, 래미안에코팰리스)

**명세서**

**청구범위**

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

기판 상에 절연물질로 이루어진 마이크로포어층을 형성하는 단계;  
 상기 마이크로포어층 상에 그래핀으로 이루어진 나노 전극을 형성하는 단계;  
 상기 마이크로포어층을 관통하는 마이크로포어(micropore)를 형성하는 단계; 및  
 상기 나노 전극을 관통하며 상기 마이크로포어와 마주하는 나노갭(nanoogap)을 형성하는 단계;를 포함하며,  
 상기 나노 전극을 형성하는 단계는  
 상기 마이크로포어층 상에 그래핀 시트를 형성하는 단계;  
 상기 그래핀 시트가 물리적으로는 수 마이크론 크기의 폭을 가지고 전기적으로는 나노 크기의 폭을 가지도록,  
 상기 그래핀 시트의 영역 중 일부 영역을 전기적으로 불활성화시키는 단계;를 포함하며,  
 상기 일부 영역을 전기적으로 불활성화시키는 단계는  
 상기 그래핀 시트 상에 금속층을 형성하는 단계;  
 상기 금속층을 소정의 나노 영역 및 상기 나노 영역 양단에 각각 연결되는 제1전극과 제2전극을 포함하는 형상  
 으로 패터닝하여 상기 그래핀 시트상의 일부 영역을 노출시키는 단계;  
 상기 일부 영역을 표면 처리하여 불활성영역을 형성하는 단계;  
 상기 금속층에서 상기 나노 영역 부분을 식각하는 단계;를 포함하는, 나노갭 센서 제조방법.

**청구항 16**

삭제

**청구항 17**

제15항에 있어서,  
 상기 표면 처리는 F, Cl, 또는 Br을 사용하는, 나노갭 센서 제조방법.

**청구항 18**

제15항에 있어서,  
 상기 금속층을 패터닝할 때, 전자빔 리소그래피(electron beam lithography) 방법을 사용하는 나노갭 센서 제조  
 방법.

**청구항 19**

제15항에 있어서,  
 상기 금속층에서 상기 나노 영역 부분을 식각하는 단계 이전에,  
 상기 제1전극 및 제2전극에 각각 연결되는 제1 전극패드 및 제2 전극패드를 형성하는 단계;를 더 포함하는 나노  
 갭 센서 제조방법.

**청구항 20**

제15항에 있어서,  
 상기 금속층에서 상기 나노 영역 부분을 식각하는 단계 이전에,  
 상기 제1전극 및 제2전극에 각각 연결되는 제1 전극패드 및 제2 전극패드를 형성하는 단계;를 더 포함하는 나노  
 갭 센서 제조방법.

**청구항 21**

제20항에 있어서,  
 상기 제1 전극패드 및 제2 전극패드를 형성하는 단계에서 포토 리소그래피(photo lithography) 공정을 사용하는

나노갭 센서 제조방법.

**청구항 22**

제15항에 있어서,

상기 나노갭을 형성하는 단계는

TEM(transmission electron microscope) 장비를 이용하는 나노갭 센서 제조방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 개시는 나노갭 센서 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 시료 내에서 핵산(DNA)과 같은 표적 생분자를 검출하기 위해 다양한 방법이 개발되고 있는데, 그 중에서 나노갭(nanogap)을 이용한 방법은 바이오포어(bio-pore) 모방 시스템으로서 고감도 DNA 검출 시스템으로 각광을 받고 있다.

[0003] 나노갭(nanogap)을 이용한 DNA 검출 시스템으로, DNA, RNA 등이 나노갭(nanogap)을 지나갈 때 터널링 전류(tunneling current)를 측정하는 방식의 시스템이 다양한 형태로 구현되고 있다.

[0004] 나노갭(nanogap)을 가지는 나노 전극(nanoelectrode)을 형성하기 위해서는 나노 공정을 이용해야 하므로 공정 난이도가 높다. 또한, 대부분의 경우 금속을 이용한 공정을 이용하는데, 일반적인 금속 물질을 이루어진 금속 박막의 두께는 수십 nm 이상이므로 여기에 형성된 나노갭(nanogap)의 크기가 표적 생분자의 크기보다 매우 커 분해능(resolution)이 낮으며, 분해능 향상을 금속 박막 제조에 어려움이 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0005] 본 개시는 그래핀을 이용하며 공정이 용이한 나노갭 센서 및 이의 제조 방법을 제공한다.

**과제의 해결 수단**

[0006] 일 유형에 따르는 나노갭 센서는 마이크로포어(micropore)가 형성된 마이크로포어층; 상기 마이크로포어층 위에 마련된 것으로, 상기 마이크로포어와 마주하는 위치에 나노갭이 형성된 나노 전극 영역을 구비하는 그래핀 시트(graphene sheet); 상기 그래핀 시트 상에, 상기 나노 전극 영역의 양단에 각각 연결되게 형성된 제1전극 및 제2전극;을 포함한다.

[0007] 상기 그래핀 시트에서 상기 나노 전극 영역 이외의 영역은 전기적으로 불활성화되어 있는 불활성 영역으로 이루어질 수 있다.

[0008] 상기 불활성 영역은 F, Cl 또는 Br로 표면 처리된 영역일 수 있다.

[0009] 상기 마이크로포어층은 실리콘 질화물 또는 실리콘 산화물로 이루어질 수 있다.

[0010] 상기 그래핀 시트의 폭은 대략 100um 이하일 수 있다.

[0011] 상기 나노 전극 영역의 폭은 대략 100nm 이하일 수 있다.

[0012] 상기 마이크로포어의 직경은 상기 나노갭의 직경보다 클 수 있으며, 상기 마이크로포어의 직경은 100um 이하일 수 있고, 상기 나노갭의 직경은 50nm 이하일 수 있다.

[0013] 상기 나노갭 센서는 개구가 형성된 기관을 더 포함하며, 상기 마이크로포어층은 상기 마이크로포어가 상기 개구와 마주하도록 상기 기관 상에 형성될 수 있다.

[0014] 상기 개구는 경사진 측면을 가지며 입구로부터 안쪽으로 들어갈수록 좁아지는 형상으로 형성될 수 있다.

[0015] 또한, 상기 나노갭 센서는 상기 나노갭을 통과하는 시료를 담기 위한 수조; 및 시료 내의 표적 생분자를 이동시

키기 위해 시료 내에 전기장을 형성하는 전원부;를 더 포함할 수 있다.

- [0016] 상기 전원부는 상기 수조 내에, 상기 나노갭의 상부 영역 및 하부 영역에 각각 배치된 제3전극 및 제4전극을 포함할 수 있다.
- [0017] 상기 수조는 물 또는 전해질 용액으로 채워질 수 있다.
- [0018] 또한, 일 유형에 따르는 나노갭 센서 제조방법은 기판 상에 절연물질로 이루어진 마이크로포어층을 형성하는 단계; 상기 마이크로포어층 상에 그래핀으로 이루어진 나노 전극을 형성하는 단계; 상기 마이크로포어층을 관통하는 마이크로포어(micropore)를 형성하는 단계; 및 상기 나노 전극을 관통하며 상기 마이크로포어와 마주하는 나노갭(nanoogap)을 형성하는 단계;를 포함한다.
- [0019] 상기 나노 전극을 형성하는 단계는 상기 마이크로포어층 상에 그래핀 시트를 형성하는 단계; 상기 그래핀 시트 상의 일부 영역을 전기적으로 불활성화시키는 단계;를 포함한다.
- [0020] 상기 소정의 나노 영역을 전기적으로 불활성화시키는 단계는 상기 그래핀 시트 상에 금속층을 형성하는 단계; 상기 금속층을 소정의 나노 영역 및 상기 나노 영역 양단에 각각 연결되는 제1전극과 제2전극을 포함하는 형상으로 패터닝하여 상기 그래핀 시트상의 일부 영역을 노출시키는 단계; 상기 상기 그래핀 시트상의 일부 영역을 F, Cl, 또는 Br로 표면 처리하여 불활성영역을 형성하는 단계; 상기 금속층에서 상기 나노 영역 부분을 식각하는 단계;를 포함한다.
- [0021] 상기 금속층을 패터닝할 때, 전자빔 리소그래피(electron beam lithography) 공정을 사용할 수 있다.
- [0022] 상기 금속층에서 상기 나노 영역 부분을 식각하는 단계 이전에, 상기 제1전극 및 제2전극에 각각 연결되는 제1전극패드 및 제2 전극패드를 형성하는 단계;를 더 포함할 수 있다.
- [0023] 상기 제1전극패드 및 제2전극패드를 형성하는 단계는 포토 리소그래피(photo lithography) 공정을 사용할 수 있다.
- [0024] 상기 마이크로포어를 형성하는 단계는 상기 기판의 후면을 소정 깊이로 식각하고, 식각된 면으로부터 FIB(focused ion beam) 장비를 이용하여, 상기 마이크로포어층에 마이크로포어를 형성할 수 있다.
- [0025] 상기 나노갭을 형성하는 단계는 TEM(transmission electron microscope) 장비를 이용할 수 있다.

**발명의 효과**

- [0026] 상기 나노갭 센서는 그래핀 시트 영역 중, 나노갭이 형성된 나노 전극 영역만을 전기적으로 활성화시킨 구조로서, 물리적으로는 나노 크기 이상으로 형성된 전극 재질을 이용하여 전기적으로는 나노 크기의 나노 전극을 구현하고 있다.
- [0027] 또한, 그래핀 시트를 이용하여 나노갭을 구현하고 있으므로, 표적 분자가 지나가는 나노갭의 길이가 매우 짧아 표적 분자 검출의 분해능이 높아진다.
- [0028] 또한, 나노갭과 마주하는 마이크로포어를 나노 크기 이상, 대략 마이크론의 크기로 형성하므로 공정이 용이하며, 마이크로포어와 나노갭을 정렬하는 과정이 불필요하다.

**도면의 간단한 설명**

- [0029] 도 1은 실시예에 따른 나노갭 센서의 개략적인 구조를 보이는 사시도이다.
- 도 2는 도 1의 나노갭 센서의 A-A' 단면도이다.
- 도 3은 다른 실시예에 따른 나노갭 센서의 개략적인 구조를 보이는 단면도이다.
- 도 4a 내지 도 4l은 실시예에 따른 나노갭 센서의 제조방법을 설명하는 도면들이다.
- 도 5a 내지 도 5h는 다른 실시예에 따른 나노갭 센서의 제조방법을 설명하는 도면들이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0030] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 이하의 도면들에서 동일한 참조부호는 동일한 구성요소를 지칭하며, 도면상에서 각 구성요소의 크기는 설명의 명료성과 편의상 과장되

어 있을 수 있다.

- [0031] 도 1은 실시예에 따른 나노갭 센서(100)의 개략적인 구조를 보이는 사시도이고, 도 2는 도 1의 나노갭 센서(100)의 A-A' 단면도이다.
- [0032] 도면들을 참조하면, 나노갭 센서(100)는 마이크로포어(micropore)(125)가 형성된 마이크로포어층(120)과, 마이크로포어층(120) 위에 마련된 것으로, 마이크로포어(120)와 마주하는 위치에 나노갭(nanogap)(135)이 형성된 나노 전극 영역(134)을 구비하는 그래핀 시트(graphene sheet)(130)를 포함한다.
- [0033] 그래핀 시트(graphene sheet)(130)는 나노 전극 영역(134)과 전기적으로 불활성화되어 있는 불활성 영역(132)을 포함하며, 불활성 영역(132)은 예를 들어, F, Cl 또는 Br로 표면 처리되어 있다. 그래핀 시트는 탄소로 이루어진 육방정계(hexagonal) 단층 구조물로서, 그래핀 시트 내에서 전하의 이동도(mobility)는 매우 높아, 전기전도도가 매우 높은 금속과 같은 거동을 한다. 실시예에서는 그래핀 시트(130)의 영역을 원래의 성질대로 전기전도도가 높은 나노 전극 영역(134)과 전기적으로 불활성화된 불활성영역(132)으로 구성하고 있다. 이와 같은 구조의 그래핀 시트(130)는 나노갭(135)을 통과하는 표적 생분자에 의한 터널링 전류(tunneling current) 변화를 측정하기 위해 나노 크기의 전극을 구현함에 있어, 물리적으로는 나노 크기 이상이나 전기적으로는 나노 크기를 가지도록 제시되는 것이다. 즉, 전도성이 높은 그래핀 시트(130)를 수 내지 수 마이크로미터 범위의 크기로 형성하고, 그래핀 시트(130)의 영역 중 나노 크기의 일부 영역, 즉, 나노 전극 영역(134) 이외의 영역을 전기적으로 불활성화되도록 하여, 터널링 전류를 측정할 수 있는 나노 전극을 구현한 것이다.
- [0034] 그래핀 시트(130)는 그 폭이 대략, 100 $\mu$ m 이하일 수 있으며, 그 중에서, 나노 전극 영역(134)은 그 폭이 대략 100nm 이하일 수 있다.
- [0035] 나노갭 센서(100)의 보다 상세한 구조와 재질에 대해 살펴보면 다음과 같다.
- [0036] 기관(100)은 마이크로포어층(120) 및 그래핀시트(130)를 지지하기 위해 마련되는 것으로, 반도체 재료, 폴리머 재료 등으로 형성될 수 있다. 상기 반도체 재료는 예를 들어, Si, Ge, GaAs, GaN 등을 포함할 수 있고, 상기 폴리머 재료는 유기 폴리머와 무기 폴리머를 포함할 수 있다. 그 밖에 기관(100)은 석영(quartz), 유리 등으로 형성될 수도 있다. 기관(100)에 형성된 개구(115)는 그 크기가 수  $\mu$ m 이하일 수 있으며, 개구(115)의 측면(110a)은 경사면으로 이루어지며, 예를 들어, 기관(100)의 하면으로부터 마이크로포어층(120)이 마련된 기관(100)의 상면 쪽으로 갈수록 좁아지는 형상을 가질 수 있다. 이러한 형태의 개구(115)는 표적 분자가 기관(100)의 하부로부터 마이크로포어(125)로 용이하게 유입되도록 가이드할 수 있다.
- [0037] 마이크로포어층(120)은 절연물질, 예를 들어, 실리콘 질화물 또는 실리콘 산화물로 이루어질 수 있다. 마이크로포어층(120)에 형성된 마이크로포어(120)는 기관(100)의 개구(115)와 연결될 수 있다. 즉, 마이크로포어(125)는 개구(115)와 대응되는 위치에 마련될 수 있다. 마이크로포어(125)의 크기는 검출하고자 하는 표적 분자의 크기를 고려하여 정할 수 있다. 마이크로포어(125)의 직경은 나노갭(135)의 직경보다 크게 형성되며, 또한, 대략, 100 $\mu$ m 이하의 직경을 가질 수 있다. 마이크로포어(125)는 FIB(focused ion beam) 장비를 사용하여 형성될 수 있다.
- [0038] 나노갭(135)은 그래핀 시트(130)의 나노 전극 영역(134) 상에 형성되며, 대략, 50nm 이하의 직경을 가질 수 있다. 나노갭(135)의 형상은 도시된 형상에 제한되지 않으며, 원형, 타원형, 또는 다각형 등의 형상을 가질 수 있다.
- [0039] 또한, 나노 전극 영역(134)의 양단에 각각 연결되는 제1전극(141) 및 제2전극(142)이 그래핀 시트(130) 상에 형성되어 있다. 제1전극(141) 및 제2전극(142)은 전도성 소재로 형성되며, 예를 들어, Au, Cu, Ag 또는 Al 등으로 형성될 수 있다.
- [0040] 도 3은 다른 실시예에 따른 나노갭 센서(200)의 개략적인 구조를 보이는 단면도이다.
- [0041] 본 실시예의 나노갭 센서(200)는 도 1에 예시한 나노갭 센서(100)가 나노갭을 통과하는 시료(210) 내에 배치된 구조로서, 즉, 시료(210) 내의 표적 생분자를 유동하는 채널 구성을 예시적으로 보인다.
- [0042] 수조(210) 내에는 기관(110), 마이크로포어층(120), 나노갭(135)이 형성된 나노 전극 영역(134)을 구비하는 그래핀 시트(130), 나노 전극 영역(134)의 양단에 마련된 제1전극(141), 제2전극(142)을 포함하는 구조물이 배치되어 있다. 또한, 시료(210) 내의 표적 생분자를 이동시키기 위해 시료(210) 내에 전기장을 형성하는 전원부가 구비되며, 전원부는 수조(210) 내에, 나노갭(135)의 상부 영역 및 하부 영역에 각각 배치된 제3전극(241) 및 제4전극(242)을 포함한다. 수조(210)는 물, 탈이온수(deionized water), 전해질(electrolyte) 용액 등의 버퍼 용액으로 채워질

수 있다. 버퍼 용액은 나노갭 센서(200)가 검출할 표적 분자의 이동 매개체가 될 수 있다. 외부 전원으로부터 제3 및 제4전극(241, 242)에 전압이 인가되는 경우에, 예를 들어 단일 가닥의 DNA(N)는 음(-)전하를 띠므로, 제3 및 제4전극(241, 242)에 인가된 전압에 의한 전기장에 의해서 음(-)의 전극(242)이 있는 하부 영역에서 양(+)의 전극(241)이 있는 상부 영역으로 이동할 수 있다. 즉, 하부 영역으로 유입된 단일 가닥의 DNA(N)는 인가된 전기장에 의해서, 기관(110)의 개구(115) 근처로 이동하게 되고, 개구(115)에 의해서 가이드되어 마이크로포어(125)로 접근하게 된다. 단일 가닥의 DNA(N)가 마이크로포어(125)를 지나 나노갭(135)을 통과할 때, 제1전극(141) 및 제2전극(142) 사이의 전기적 신호 변화 예를 들어, 터널링 전류(tunneling current) 변화를 측정하여 염기를 구별할 수 있다. 즉, 단일 가닥의 DNA(N)를 구성하는 염기가 나노갭(135)을 통과하는 순간의 나노갭(G)에서의 터널링 전류 변화를 측정하여, 그 염기를 분별해낼 수 있다.

- [0043] 상술한 구조 외에도, 표적 분자가 나노갭(135)을 통과하여 유동하도록 하는 다양한 채널 구조가 채용될 수 있다.
- [0044] 상술한 구조의 나노갭 센서(100)(200)는 수 옴스트롱(Å) 범위 두께의 그래핀 시트(130)를 이용하여 나노갭(135)을 구현하고 있으므로, 나노갭(135)을 통과하는 표적 분자를 검출하는 분해능이 높아질 수 있다.
- [0045] 도 4a 내지 도 4l은 실시예에 따른 나노갭 센서의 제조방법을 설명하는 도면들이다.
- [0046] 먼저, 도 4a와 같이, 기관(110) 상에 절연물질로 이루어진 마이크로포어층(120)을 형성한다. 마이크로포어층(120)의 재질로는 실리콘 산화물 또는 실리콘 질화물이 사용될 수 있다. 기관(110)으로는 다양한 재질의 반도체, 폴리머 기관이 사용될 수 있다. 예를 들어, 실리콘 기관을 소정 두께, 대략 300um이 되도록 CMP(chemical mechanical polishing) 등의 방법으로 연마하여 기관(110)을 준비할 수 있다. 기관(110)의 하면에는 도시되지는 않았으나, 소정의 개구 형성을 위한 식각 마스크층이 더 마련될 수도 있다.
- [0047] 도 4b를 참조하면, 마이크로포어층(120)상에 그래핀 시트(130)를 형성한다. 그래핀 시트(130)는 전사(transfer) 방법에 의해서 기관(110) 상에 형성될 수 있다.
- [0048] 다음, 도 4c와 같이, 그래핀 시트(110) 상에 전자빔 리지스트(ER)을 형성한다. 전자빔 리지스트(ER)는 전자빔에 의해 경화되는 성질을 가지며, 분해능이 대략 50nm로 일반적인 포토리지스트에 비해 우수한 분해능을 가지므로, 나노 패터닝이 가능하다.
- [0049] 도 4d 및 이의 평면도인 도 4e를 참조하면, 전자빔 리지스트(ER)를 소정의 나노 영역을 포함하는 형상 부분의 그래핀 시트(130)가 노출되도록 패터닝한다. 예를 들면, 도시된 바와 같이, 노출된 그래핀 시트(130)는 나노전극 영역과 나노전극 영역 양단에 형성될 제1전극, 제2전극에 대응되는 영역을 포함한다.
- [0050] 다음, 도 4f와 같이 전자빔 리지스트(ER) 및 그래핀 시트(130) 위로 제1금속층(M1)을 형성한다. 제1금속층(M1)은 전기전도성이 좋은 Au, Cu, Ag 또는 Al 등의 물질로 형성될 수 있다. 다음, 리프트 오프(lift off) 공정에 의해 전자빔 리지스트(ER)를 제거하면, 전자빔 리지스트(ER) 위에 형성된 제1금속층(M1) 부분이 함께 제거된다.
- [0051] 도 4g 및 도 4h는 도 4f의 단계에서 리프트 오프(lift off) 공정을 수행한 결과로서, 단면도 및 평면도이다. 제1금속층(M1)이 패터닝된 형상은 도 4e의 전자빔 리지스트(ER)가 패터닝된 형상과 역상이며, 이에 대응하는 그래핀 시트(130)의 영역은 다음, 불활성화 공정에서 보호되는 영역이다.
- [0052] 도 4i는 불활성화 공정단계로서, 그래핀 시트(130)의 노출된 부분을 전기적으로 불활성화시킨다. 예를 들어, XeF<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>를 1:35로 조합한 가스를 이용하여 표면 처리 및 150℃에서 간이 열처리(brief annealing) 하는 경우, 그래핀 시트(130) 표면이 F와 결합된다. 이와 같이, 플루오르화된 그래핀 시트(130)의 영역은 전기적으로 불활성화된 불활성영역(132)이 된다. 즉, 그래핀 시트(130)의 영역에서 제1금속층(M1)에 가려진 영역은 원래의 전기적 성질을 가지게 되며 나머지 영역은 불활성영역(132)이 된다. F 이외에도, Br, Cl을 사용하여 불활성 공정을 수행할 수 있다.
- [0053] 다음, 도 4j와 같이 패터닝된 제1금속층(M1)에서 그래핀 시트(130)의 나노전극 영역(134)이 노출되도록 일부를 식각 등의 방법으로 제거하면, 제1전극(141)과 제2전극(142)이 그래핀 시트(130) 상에 형성된다.
- [0054] 이와 같은 공정에 따라 그래핀 시트(130)의 영역은 원래의 전기적 성질을 갖는 나노 전극 영역(134)과 나노 전극 영역(134) 주변의 불활성영역(132)으로 이루어지게 된다.
- [0055] 다음, 도 4k 및 도 4l은 마이크로포어(125)와 나노갭(135)을 형성하는 공정으로, 먼저, 기관(110)의 하면에 식각 등의 방법으로 개구(115)를 형성한 후, 마이크로포어(125) 및 나노갭(135)을 형성하여 나노갭 센서(100)가



형성된다. 마이크로포어(125)는 개구(115)와 연결되는 위치에 형성되며, FIB(focused ion beam) 장비를 이용하여 형성될 수 있다. 또한, 나노갭(135)은 마이크로포어(125)와 연결되는 위치에, TEM(transmission electron microscope) 장비를 이용하여 형성될 수 있다. 마이크로포어(125)는 나노갭(135)보다 큰 직경을 가지며, 약 100um이하의 직경으로, 나노갭(135)은 약 50nm 이하의 직경으로 형성될 수 있다. 나노갭(135)의 형상은 제한되지 않으며, 원형, 타원형, 또는 다각형 형상을 가질 수 있다.

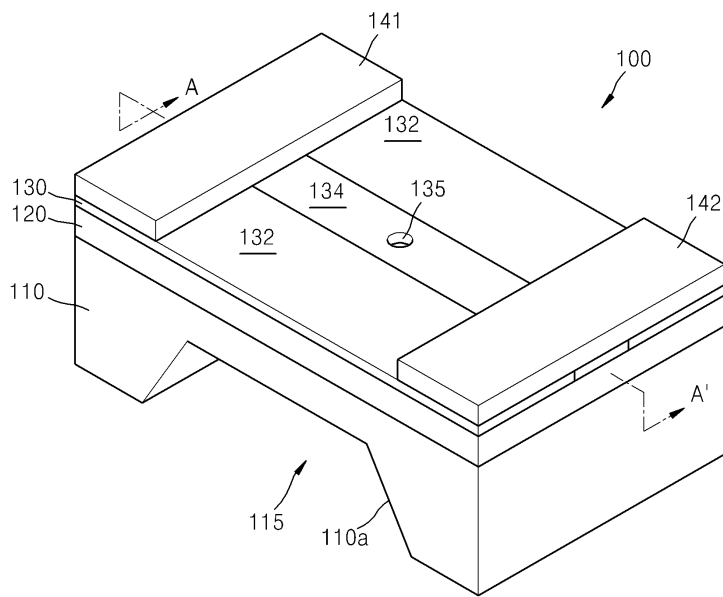
- [0056] 도 5a 내지 도 5f는 다른 실시예에 따른 나노갭 센서의 제조방법을 설명하는 도면들이다.
- [0057] 본 실시예의 제조방법은 도 4i 단계의 불활성화 공정 후 그래핀 시트(130)의 나노 전극 영역(134)이 오픈되도록 제1금속층(M1)을 식각하기 전에, 전극 패드 공정을 더 추가한 점에서 도 4a 내지 도 4i에서 설명한 제조방법과 차이가 있다.
- [0058] 도 5a를 참조하면, 도 4i의 불활성화 공정이 끝난 후, 형성하고자 하는 전극 패드의 형상으로 포토리지스트(PR)를 패터닝한다. 이 때는 일반적인 포토 리소그래피 공정을 사용할 수 있다.
- [0059] 다음, 도 5b와 같이, 포토리지스트(PR) 및 그래핀 시트(130)상에 전체적으로 제2금속층(M2)을 형성하고, 포토리지스트(PR)를 제거하는 리프트오프(liftoff) 공정을 수행하면, 포토리지스트(PR) 상에 형성된 제2금속층(M2) 부분이 함께 제거된다.
- [0060] 도 5c 및 도 5d는 리프트오프 공정이 끝난 후의 단면도 및 평면도로서, 제1전극(141), 제2전극(142) 및 이에 각각 연결되는 제1전극패드(151)와 제2전극패드(152)가 형성된다. 다음, 그래핀 시트(130)의 나노 전극 영역(134) 상에 형성된 제1금속층(M1) 일부를 식각하면, 도 5e와 같이 나노 전극 영역(134)이 오픈되고, 나노 전극 영역(134) 양단에 연결된 제1전극(141), 제1전극패드(151), 제2전극(142), 제2전극패드(152) 구조가 완성된다.
- [0061] 다음, 이러한 전극 구조 위로 패시베이션층(160)을 형성하고, 이 때, 제1전극패드(151) 및 제2전극패드(152)는 오픈되도록 한다. 패시베이션층(160)은 예를 들어, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 형성될 수 있다.
- [0062] 도 5g 및 도 5f는 마이크로포어(125)와 나노갭(135)을 형성하는 공정이다. 먼저, 기관(110)의 하면에 식각 등의 방법으로 개구(115)를 형성한 후, 개구(115)와 연결되는 위치에 마이크로포어(125)를 형성하며, 예를 들어, FIB(focused ion beam) 장비를 이용할 수 있다. 또한, 나노갭(135)은 마이크로포어(125)와 연결되는 위치에, TEM(transmission electron microscope) 장비를 이용하여 형성될 수 있다. 마이크로포어(125)는 나노갭(135)보다 큰 직경을 가지며, 약 100um이하의 직경으로, 나노갭(135)은 약 50nm 이하의 직경으로 형성될 수 있다. 나노갭(135)의 형상은 제한되지 않으며, 원형, 타원형, 또는 다각형 형상을 가질 수 있다. 상기 과정에 따라 나노갭 센서(100')가 제조된다.
- [0063] 이러한 본원 발명인 나노갭 센서 및 이의 제조방법은 이해를 돕기 위하여 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 분야에서 통상적 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위에 의해 정해져야 할 것이다.

**부호의 설명**

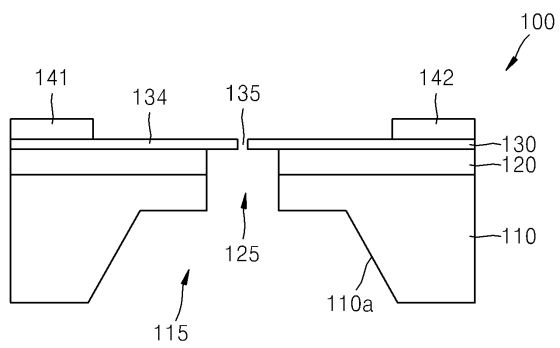
- [0064] 100, 100' 200...나노갭 센서                    110...기관
- 115...개구    120...마이크로포어층
- 125...마이크로포어                                130...그래핀 시트
- 132...불활성영역                                  134...나노전극영역
- 141...제1전극                                        142...제2전극
- 151...제1 전극패드                                152...제2 전극패드
- 210...수조    241...제3전극
- 242...제4전극

도면

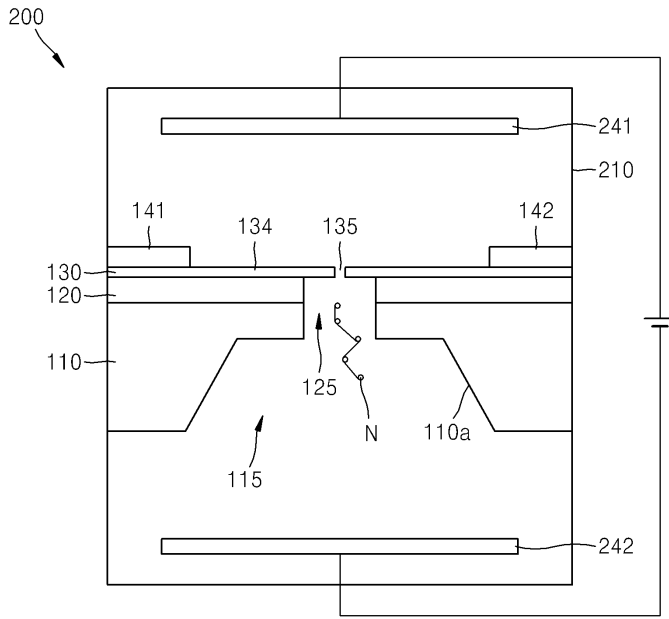
도면1



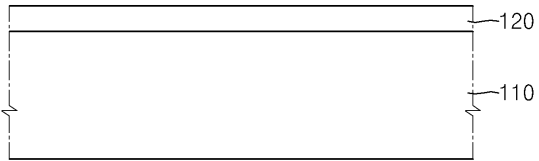
도면2



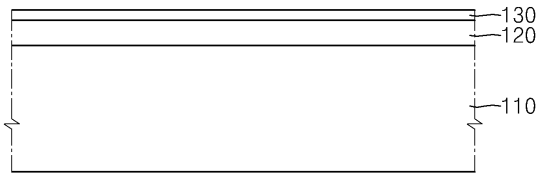
도면3



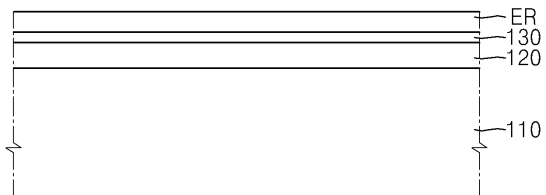
도면4a



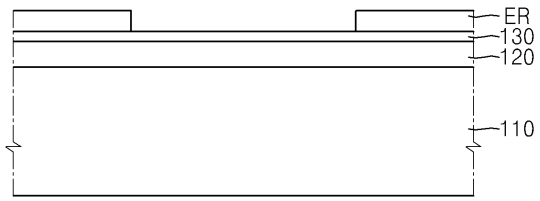
도면4b



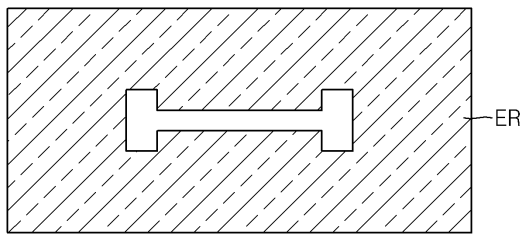
도면4c



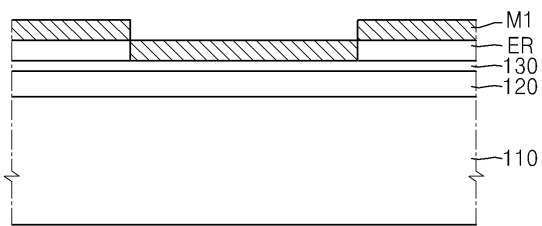
도면4d



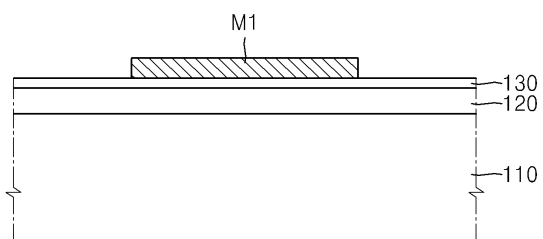
도면4e



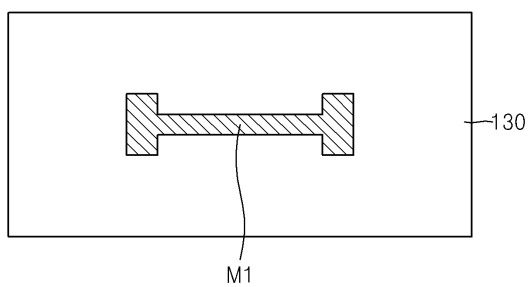
도면4f



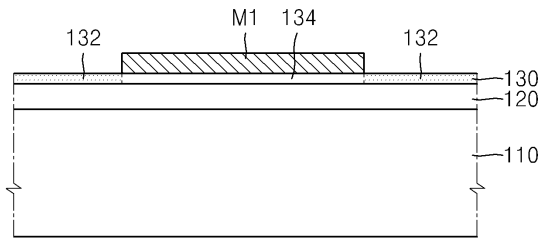
도면4g



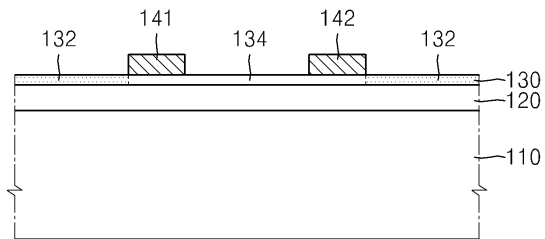
도면4h



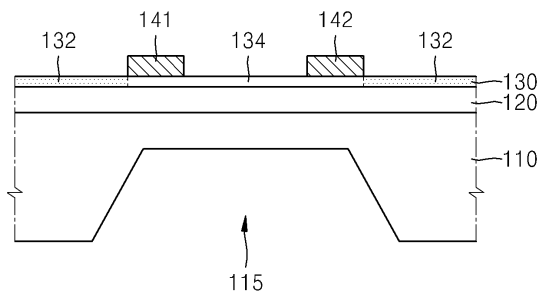
도면4i



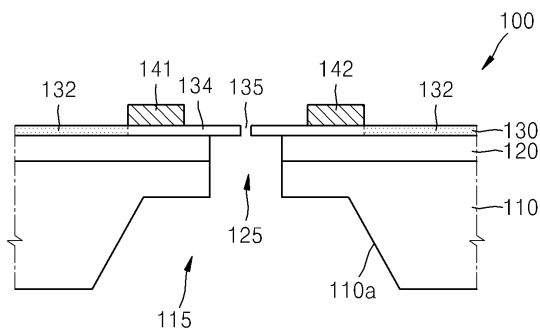
도면4j



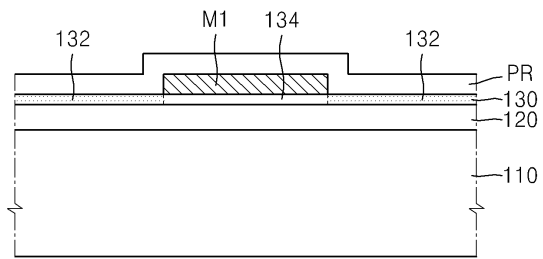
도면4k



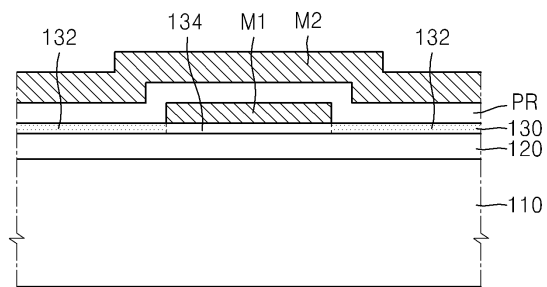
도면4l



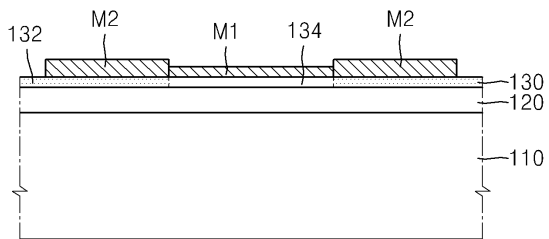
도면5a



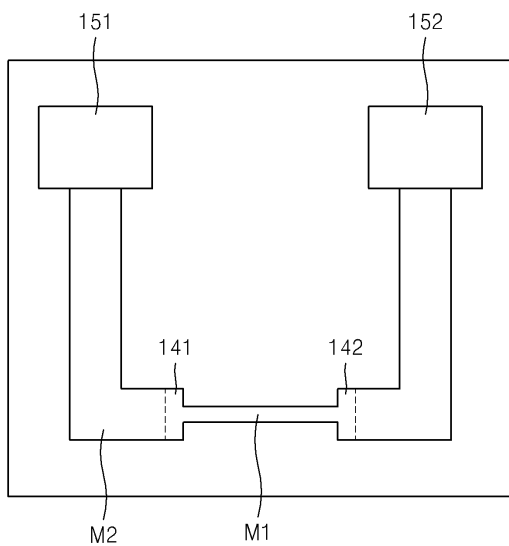
도면5b



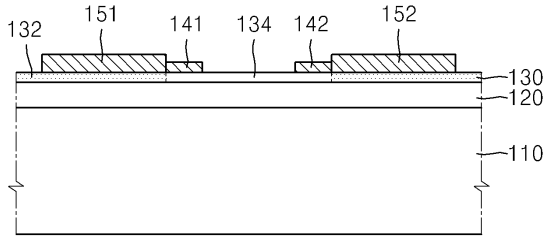
도면5c



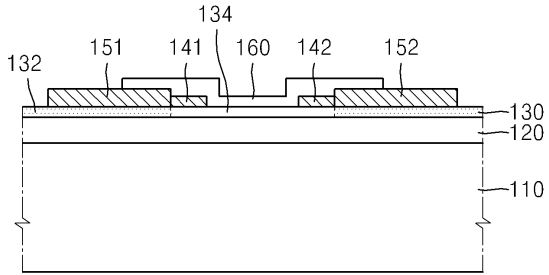
도면5d



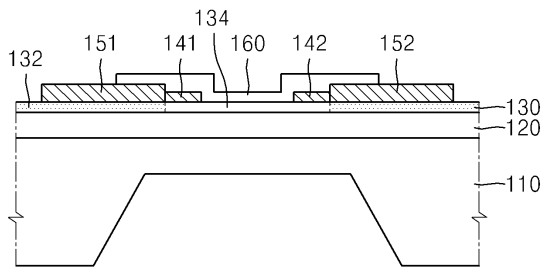
도면5e



도면5f



도면5g



도면5h

