	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2013-0134538 (43) 공개일자 2013년12월10일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) G01N 27/02 (2006.01) G01N 27/12 (2006.01)		(71) 출원인 연세대학교 산학협력단 서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 (신촌동)
(21) 출원번호 10-2012-0058123		(72) 발명자 전성찬 서울특별시 서대문구 신촌동 134 연세대학교 공학관 A587 임주환 서울특별시 은평구 대조동 231번지 삼성타운 101-1502 (뒷면에 계속)
(22) 출원일자 2012년05월31일 심사청구일자 2012년05월31일		(74) 대리인 특허법인화우

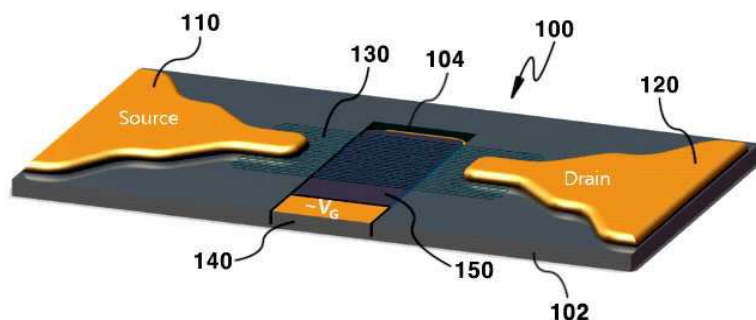
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 성능조절이 가능한 초 고감도 그래핀 센서 및 그 제조방법

(57) 요약

본 발명은 반응감도의 튜닝(tuning)이 가능하고, 빠른 회복성(fast-recovery)과 재개 가능성(renewability)을 갖는 초 고감도 그래핀 센서 및 그 제조방법에 관한 것이다. 이를 위한 본 발명은, 홈이 형성된 기판; 상기 홈 내부에 형성된 유전체층; 상기 유전체층과 부분적으로 맞닿으며 상기 홈의 좌,우측에 위치한 기판의 상부면에 걸쳐지도록 형성된 그래핀층; 상기 기판 위에 적층되어 상기 그래핀층의 양단과 각각 연결되는 소스 전극과 드레인 전극; 상기 홈 내부에 상기 유전체층과 접촉을 이루며 형성되고, 외부로부터 전압이 인가되는 게이트 전극을 포함하여 구성된 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

윤형서

서울특별시 서대문구 연희3동 48-53

오주영

경기도 김포시 통진읍 서암리 휴먼시아 107-902

정영모

서울특별시 서대문구 신촌동 134 연세대학교 공학관 A527

박형구

경기도 시흥시 목감동 대명아파트 411호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2011-0001675
부처명	교육과학기술부
연구사업명	원천기술개발사업(미래유망융합기술 파이오니어사업)
연구과제명	에너지 수확소자의 고효율 인터페이스 및 관리 회로 기술 개발
기 여 율	1/3
주관기관	한국과학기술연구원(KIST)
연구기간	2010.07.01 ~ 2016.02.28이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호	2011-0004890
부처명	교육과학기술부
연구사업명	일반연구자지원(기본연구지원)
연구과제명	탄소소재를 적용한 능동 제어 나노 공진기 개발
기 여 율	1/3
주관기관	연세대학교 산학협력단
연구기간	2010.05.01 ~ 2013.04.30이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호	2011-0022975
부처명	교육과학기술부
연구사업명	기초연구역량강화사업(대학중점연구소 지원)
연구과제명	나노융합 그린에너지 원천기술 개발(나노과학기술연구소)
기 여 율	1/3
주관기관	연세대학교 산학협력단
연구기간	2009.09.01 ~ 2018.08.31

특허청구의 범위

청구항 1

홈이 형성된 기관;

상기 홈 내부에 형성된 유전체층;

상기 유전체층과 부분적으로 맞닿으며 상기 홈의 좌,우측에 위치한 기관의 상부면에 걸쳐지도록 형성된 그래핀층;

상기 기관 위에 적층되어 상기 그래핀층의 양단과 각각 연결되는 소스 전극과 드레인 전극;

상기 홈 내부에 상기 유전체층과 접촉을 이루며 형성되고, 외부로부터 전압이 인가되는 게이트 전극을 포함하는 것을 특징으로 하는 성능조절이 가능한 초 고감도 그래핀 센서

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 게이트 전극에는 (+) 또는 (-) 극성의 전압이 인가되는 것을 특징으로 하는 성능조절이 가능한 초 고감도 그래핀 센서

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 그래핀층은 화학기상증착(CVD)을 통해 기관 위에 증착되는 것을 특징으로 하는 성능조절이 가능한 초 고감도 그래핀 센서

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 그래핀층은 그래핀 옥사이드(graphene oxide)를 스핀 코팅(spin coating)하여 기관 위에 증착되는 것을 특징으로 하는 성능조절이 가능한 초 고감도 그래핀 센서

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 기관은 실리콘 산화막이 형성된 실리콘 기관인 것을 특징으로 하는 성능조절이 가능한 초 고감도 그래핀 센서

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 소스, 드레인, 게이트 전극은 금(Au)으로 이루어진 것을 특징으로 하는 성능조절이 가능한 초 고감도 그래핀 센서

청구항 7

(a) 기관에 홈을 형성한 후, 홈 내부에 게이트 전극과 유전체를 순차적으로 적층하는 단계;

(b) 상기 유전체의 상부면과 접촉되도록 기관의 상부면에 그래핀을 증착한 후 리소그래피 공정을 통해 원하는 모양으로 패터닝하는 단계; 및

(c) 상기 패터닝된 그래핀의 양단과 연결되도록 기관의 상부면에 소스 전극과 드레인 전극을 형성하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 성능조절이 가능한 초 고감도 그래핀 센서 제조방법.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 (b)단계에서 상기 그래핀의 증착은 화학기상증착(CVD) 공정을 통해 이루어지는 것을 특징으로 하는 성능조절이 가능한 초 고감도 그래핀 센서 제조방법

청구항 9

제7항에 있어서, 상기 (b)단계에서 상기 그래핀의 증착은 그래핀 옥사이드(graphene oxide)를 스핀 코팅(spin coating)하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 성능조절이 가능한 초 고감도 그래핀 센서 제조방법

청구항 10

제7항에 있어서, 상기 (c)단계에서 상기 소스 전극과 드레인 전극은 리소그래피 공정을 통해 형성되는 것을 특징으로 하는 성능조절이 가능한 초 고감도 그래핀 센서 제조방법

청구항 11

제7항에 있어서, 상기 (c)단계에서 상기 소스 전극과 드레인 전극은 리프트-오프(Lift-Off) 공정을 통해 형성되는 것을 특징으로 하는 성능조절이 가능한 초 고감도 그래핀 센서 제조방법

청구항 12

(a) 기판에 홈을 형성한 후, 홈 내부에 게이트 전극과 유전체를 순차적으로 적층하는 단계;
 (b) 상기 홈의 좌,우측에 위치한 기판의 상부면에 소스 전극과 드레인 전극을 형성하는 단계; 및
 (c) 상기 소스 전극과 드레인 전극 사이에 위치한 기판의 상부면에 그래핀 나노입자를 유전영동법(Dielectrophoresis)을 이용하여 증착하는 단계;
 를 포함하는 것을 특징으로 하는 성능조절이 가능한 초 고감도 그래핀 센서 제조방법.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 (a)단계에서 상기 소스 전극과 드레인 전극은 리소그래피 공정을 통해 형성되는 것을 특징으로 하는 성능조절이 가능한 초 고감도 그래핀 센서 제조방법

청구항 14

제12항에 있어서, 상기 (a)단계에서 상기 소스 전극과 드레인 전극은 리프트-오프(Lift-Off) 공정을 통해 형성되는 것을 특징으로 하는 성능조절이 가능한 초 고감도 그래핀 센서 제조방법.

청구항 15

제1항의 구성을 갖는 그래핀 센서를 인쇄회로기판(PCB) 상에 회로 구성하여 제조한 반도체 칩

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 가스센서에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 반응감도의 튜닝(tuning)이 가능하고 빠른 회복성(fast-recovery)과 재개 가능성(renewability)을 갖는 성능조절이 가능한 초 고감도 그래핀 센서 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 공기 중의 유해 물질을 실시간으로 검출하는 기술은 생활 환경, 노동 환경을 쾌적하게 유지하기 위해 매우 중요하다. 인간의 감각 기관으로는 위험 가스의 농도를 정량하거나 종류를 거의 판별할 수 없기 때문에 이에 대응하기 위해 물질의 물리적, 화학적 성질을 이용한 가스센서가 개발되어 가스의 누설감지, 농도의 측정 기록, 경보 등에 사용되고 있다.

[0003] 또한, 최근 새집 증후군, 환경 보존 등 주거 환경이 사회 문제로 부각되면서 가스센서에 요구되는 성능과 기기도 고도화되고 있다. 이러한 사회적 욕구를 충족시키기 위해서는 기존의 가스센서 재료를 대체할 수 있는 감도, 응답 속도, 안정성 등이 우수한 특성을 가진 재료를 개발하는 것이 필수적이다.

[0004] 현재 가스 센서는 종래의 세라믹 소결이나 후막 형태의 구조에서 점차적으로 반도체 공정 기술의 적용에 의한 미세전자기계시스템(Micro Electro Mechanical System; MEMS) 형태의 마이크로 가스 센서로 진화하고 있다. 이러한 미세전자기계시스템 형태를 갖는 마이크로 가스 센서의 일 예는 한국 공개특허 제2009-0064693호에서도 개시된 바 있다.

[0005] 한편, 현재 가스 센서에서 가장 널리 사용되고 있는 측정방법은 센서의 가스 감응막에 특정한 가스 입자가 흡착되었을 때 그 흡착된 표면에서 재료의 전기적 특성이 변화하는 것을 측정하는 것이다. 이러한 가스 센서의 가스 감응막으로 많이 사용되는 물질로는 SnO_2 와 같은 금속산화물 반도체, 고체 전해질 물질, 다양한 유기물질, 그리고 카본 블랙(carbon black)과 유기물의 복합체 등이 있다.

[0006] 그런데, 이와 같은 물질로 이루어진 가스센서의 경우 여러 문제점이 있다. 예를 들어, 금속산화물 반도체나 고체 전해질을 사용하는 경우에는 200 내지 600℃ 혹은 그 이상의 온도로 가열을 하여야 센서의 동작이 정상적으로 이루어지고, 유기물질의 경우에는 전기전도도가 낮으며, 카본 블랙과 유기물의 복합체는 감도가 낮은 문제점이 있다. 특히, 금속 산화물을 사용하는 가스 감응막은 고온으로 가열되어 동작될 때 그 측정값의 변화가 더욱 현저하기 때문에, 빠르고 정확한 가스 농도의 측정을 위해서는 정확한 온도 조절이 필수적이다.

[0007] 한편, 가스 센서를 이용한 측정시 가스 감응막에 흡착되어 있는 기존의 가스종이나 수분들을 고온으로 가열하여 강제적으로 제거함으로써 가스 감응막을 초기 상태로 복구(recovery)시키는 과정이 요구된다. 이와 같이 가스 센서에 있어 초기상태로의 빠른 복구는 빠른 반응성, 재생 가능성과 더불어 매우 중요한 인자로 여겨지고 있다.

[0008] 그러나, 이러한 종래의 가스 센서는 상온에서의 열에너지보다 탈착에 필요한 에너지가 더 크기 때문에 가스입자의 탈착이 쉽지 않고, 이 때문에 센서를 초기 상태로 회복시키는데 오랜 시간이 걸리는 문제점이 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 가스 감응막에 자외선을 조사하거나 히터를 사용하여 회복 특성을 향상시키기 위한 시도가 있었지만 자외선 광원이나 히터를 가스센서에 집적하는데 많은 어려움이 있었다. 아울러 종래의 가스 센서는 가스 감응막으로 사용되는 물질이 정해진 정공 수를 가지고 있기 때문에 그 물질의 정공 수에 해당되는 양만큼의 가스 분자와 반응할 수밖에 없다. 이 때문에 가스 센서의 반응감도 튜닝(tuning)이 실질적으로 불가능했던 단점이 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 이에, 본 발명은 상기한 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은 가스 입자가 흡착되는 가스 감응막을 우수한 감도 특성과 효율성을 갖는 그래핀(graphene) 물질로 구성하고 이러한 그래핀으로 구성된 가스 감응막 표면에 외부 포텐셜(potential)을 인가하여 그래핀 표면의 전하량을 조절해줌으로써, 센서의 반응감도의 튜닝이 가능하고 빠른 회복성과 재개 가능성을 갖는 초 고감도 그래핀 센서 및 그 제조방법을 제공함에

있다.

과제의 해결 수단

- [0010] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 성능조절이 가능한 초 고감도 그래핀 센서는, 홈이 형성된 기관; 상기 홈 내부에 형성된 유전체층; 상기 유전체층과 부분적으로 맞닿으며 상기 홈의 좌,우측에 위치한 기관의 상부면에 걸쳐지도록 형성된 그래핀층; 상기 기관 위에 적층되어 상기 그래핀층의 양단과 각각 연결되는 소스 전극과 드레인 전극; 상기 홈 내부에 상기 유전체층과 접촉을 이루며 형성되고, 외부로부터 전압이 인가되는 게이트 전극을 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0011] 여기서, 상기 게이트 전극에 (+) 또는 (-) 극성의 전압을 선택적으로 인가하는 것을 통해 센서의 반응감도를 조절할 수 있다.
- [0012] 이때, 상기 그래핀층은 화학기상증착(CVD)을 통해 기관 위에 증착될 수 있다.
- [0013] 또는, 상기 그래핀층은 그래핀 옥사이드(graphene oxide)를 스핀 코팅(spin coating)하여 기관 위에 증착될 수 있다.
- [0014] 그리고, 상기 기관의 재질은 실리콘 산화막이 형성된 실리콘 기관이 적용될 수 있다.
- [0015] 아울러, 상기 소스, 드레인, 게이트 전극은 전기 전도도가 우수한 금(Au)으로 구성할 수 있다.
- [0016] 한편, 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 성능조절이 가능한 초 고감도 그래핀 센서 제조방법은, (a)기관에 홈을 형성한 후, 홈 내부에 게이트 전극과 유전체를 순차적으로 적층하는 단계와; (b)상기 유전체의 상부면과 접촉되도록 기관의 상부면에 그래핀을 증착한 후 리소그래피 공정을 통해 원하는 모양으로 패터닝하는 단계; 및 (c)상기 패터닝된 그래핀의 양단과 연결되도록 기관의 상부면에 소스 전극과 드레인 전극을 형성하는 단계;를 포함하여 구성될 수 있다.
- [0017] 이때, 상기 (b)단계에서 상기 그래핀의 증착은 화학기상증착(CVD) 공정을 통해 이루어질 수 있다.
- [0018] 그리고, 상기 (b)단계에서 상기 그래핀의 증착은 그래핀 옥사이드(graphene oxide)를 스핀 코팅(spin coating)하여 이루어질 수 있다.
- [0019] 이와 함께, 상기 (c)단계에서 상기 소스 전극과 드레인 전극은 리소그래피 공정을 통해 형성될 수 있다.
- [0020] 또는, 상기 (c)단계에서 상기 소스 전극과 드레인 전극은 리프트-오프(Lift-Off) 공정을 통해 형성될 수도 있다.
- [0021] 한편, 상기한 목적을 달성하기 위한 또 다른 형태의 초 고감도 그래핀 센서 제조방법은, (a)기관에 홈을 형성한 후, 홈 내부에 게이트 전극과 유전체를 순차적으로 적층하는 단계와; (b)상기 홈의 좌,우측에 위치한 기관의 상부면에 소스 전극과 드레인 전극을 형성하는 단계; 및 (c)상기 소스 전극과 드레인 전극 사이에 위치한 기관의 상부면에 그래핀 나노입자를 유전영동법(Dielectrophoresis)을 이용하여 증착하는 단계;를 포함하여 구성될 수 있다.
- [0022] 또한, 본 발명을 통해 구현 가능한 또 하나의 반도체 소자의 형태로서, 전술된 구성을 갖는 본 발명의 초 고감도 그래핀 센서를 인쇄회로기판(PCB) 상에 회로 구성하여 반도체 칩 패키지를 구현할 수도 있다.

발명의 효과

- [0023] 상기한 구성을 갖는 본 발명은 가스 입자가 흡착되는 센서의 감응막을 우수한 감도 특성을 갖는 그래핀 물질로 구성하고 이러한 그래핀으로 구성된 가스 감응막 표면에 게이트 전극을 통해 (+) 또는 (-)극성의 외부 포텐셜(potential)을 인가하여 그래핀 표면의 전하량을 조절해줌으로써, 필요에 따라 센서의 반응감도를 적절하게 튜닝할 수 있고, 센서의 사용 후에도 가스 감응막을 초기 상태로 빠르게 복구시킬 수 있어서 가스 센서의 성능향상을 도모할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 초 고감도 그래핀 센서의 구조를 도시한 사시도.
 도 2는 도 1의 단면도.
 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 그래핀 센서 제조공정을 예시한 공정도.
 도 4는 본 발명의 다른 실시 예에 따른 그래핀 센서 제조공정을 예시한 공정도.
 도 5는 본 발명의 그래핀 센서에서 게이트 전극에 전압이 인가되지 않은 경우 그래핀 표면에 정공이 분포된 상태를 보여주는 예시도.
 도 6은 도 5와 같은 상태의 그래핀 센서가 가스 환경에 노출된 경우 그래핀 표면에 분포된 정공에 가스 분자가 반응하는 모습을 보여주는 예시도.
 도 7은 본 발명의 그래핀 센서에서 게이트 전극에 (+)극성의 전압이 인가된 경우 그래핀 표면에 정공이 분포된 상태를 보여주는 예시도.
 도 8은 도 7과 같은 상태의 그래핀 센서가 가스 환경에 노출된 경우 그래핀 표면에 분포된 정공에 가스 분자가 반응하는 모습을 보여주는 예시도.
 도 9는 본 발명의 그래핀 센서에서 게이트 전극에 (-)극성의 전압이 인가된 경우 그래핀 표면에 정공이 분포된 상태를 보여주는 예시도.
 도 10은 도 9와 같은 상태의 그래핀 센서가 가스 환경에 노출된 경우 그래핀 표면에 분포된 정공에 가스 분자가 반응하는 모습을 보여주는 예시도.
 도 11은 도 1 및 도 2에 도시된 본 발명의 그래핀 센서가 인쇄회로기판에 회로구성되어 반도체 칩 형태로 제작된 모습을 보여주는 예시도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] 본 발명은 차세대 소자로 각광받고 있는 그래핀(Graphene)의 우수한 전기적 특성을 이용하여 높은 반응감도와 효율성을 갖는 그래핀 가스센서를 제조할 수 있는 그래핀 센서 제조방법을 제공한다. 또한, 게이트 전극에 외부 포텐셜 에너지를 걸어줌에 따라 센서의 반응감도를 원하는 대로 조절할 수 있는 센서의 성능조절이 가능한 그래핀 센서를 제공한다.
- [0026] 일반적으로 그래핀(graphene)은 2차원 형상을 가지는 탄소 단일 원소 물질로서 기존의 탄소나노튜브 센서가 가지는 장점을 모두 가지면서 다양한 형상구현이 용이하고 센서구조 설계에 따라 가스와 접촉면적을 증가시킬 수 있는 장점을 갖는다.
- [0027] 또한, 그래핀은 균일한 단원자 구조의 균일한 면을 가지고 있기 때문에 열 잡음(Thermal Noise)이 적어 기존의 탄소나노튜브보다 높은 감도를 가질 수 있고, 센서 소자 제작에 어려움이 따르는 탄소나노튜브 센서에 비해서 저렴한 비용으로 대량생산이 가능한 이점이 있고 간단한 공정을 이용하여 센서를 제작할 수 있는 장점을 갖는다.
- [0028] 본 발명은 상기와 같이 기존의 탄소나노튜브보다 우수한 장점들을 갖는 그래핀 소재를 가스센서의 가스 감응막으로 채용하여 센서의 반응감도를 높일 수 있고, 게이트 전극에 다양한 극성과 크기의 전압을 인가하여 센서의 반응감도를 자유롭게 조절할 수 있으며, 저비용으로 대량생산이 가능하고, 높은 재현성, 신뢰성을 가지는 그래핀 가스센서를 제공한다.
- [0029] 이하, 본 발명의 일 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.
- [0030] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 그래핀 센서의 구조를 도시한 사시도이고, 도 2는 도 1의 단면도이다.
- [0031] 도 1 및 도 2를 참조하면, 본 발명에 따른 그래핀 센서(100)는 홈(104)이 형성된 실리콘 기판(102)과, 상기 홈(104)의 내부에 형성되며 전압이 인가되는 게이트 전극(140)과, 상기 게이트 전극(140)과 접촉되도록 상기 홈(104) 내부에 형성되는 유전체층(150)과, 상기 유전체층(150)의 상부면과 접촉을 이루며 상기 실리콘 기판(102)의 상부면에 패터닝되는 그래핀층(130)과, 상기 그래핀층(130)의 양단과 각각 연결되도록 상기 실리콘 기판(102) 위에 패터닝되는 소스 전극(110) 및 드레인 전극(120)을 포함하여 구성된다.

- [0032] 상기 실리콘 기판(102)은 실리콘 산화막(SiO_2)이 적층된 기판으로서, 그 중앙 부분에는 상부면으로부터 일정 폭과 깊이를 가지며 함몰된 홈(104)이 형성되고, 상기 홈(104)의 내부에는 외부로부터 전압이 공급되는 게이트 전극(140)과, 유전체층(150)이 형성된다.
- [0033] 즉, 실리콘 기판(102)에 리소그래피(rithography) 공정을 통해 먼저 게이트 전극(140) 모양을 패터닝한 다음, 상기 패터닝된 부분을 드라이 에칭(dry etching)으로 식각하여 게이트 전극 형성을 위한 홈(104)을 형성한다. 그리고, 이렇게 형성된 홈(104) 내부에 게이트 전극(140)과 유전체층(150)을 순차적으로 적층하여 형성하게 된다.
- [0034] 이때, 실리콘 기판(102)의 홈(104) 내부에 게이트 전극(140)과 유전체층(150)이 형성된 다음에 유전체층(150)의 상부면과 실리콘 기판(102)의 상부면이 서로 평평한 수평면을 유지할 수 있도록 폴리싱(polishing) 공정을 통해 표면을 고르게 연마할 수 있다.
- [0035] 상기 게이트 전극(140)은 실리콘 기판(102)과 연결되어 외부로부터 전압이 인가되는 전극으로서, 실리콘 기판(102)의 홈(104) 부분에 형성된 유전체(150)와 부분적으로 맞닿으며 형성된다. 이때, 상기 게이트 전극(140)은 Pt, Au, Pd, Ag, Ni, Cr 등의 전도성 금속 물질로 구성할 수 있는데, 바람직하게는 금(Au)으로 구성할 수 있다.
- [0036] 상기 그래핀층(130)은 2차원 평면형태의 결합구조를 갖는 그래핀(graphene) 물질이 박막 형태로 증착된 층(layer)으로서, 홈(104)의 상부 영역이 부분적으로 덮여질 수 있도록 홈(104)의 좌,우측에 위치한 실리콘 기판(102) 위에 일정한 면적을 가지며 증착된다. 이렇게 실리콘 기판(102) 위에 증착된 그래핀층(130)의 하부면은 홈(104) 내부에 형성된 유전체층(150)의 상부면과 서로 접촉된 상태로 유지된다.
- [0037] 이때, 상기 실리콘 기판(102) 위에 그래핀층(130)의 증착시 화학기상증착(CVD)법을 이용하거나, 또는 수용액 상태의 그래핀 옥사이드(graphene oxide)를 실리콘 기판(102) 위에 스핀코팅(spin coating)하여 형성할 수 있다. 이와 같이 그래핀은 2차원 평면 형태의 구조적 특성을 갖기 때문에 실리콘 기판(102) 위의 전면에 박막 형태로 증착이 가능하다.
- [0038] 이와 같은 그래핀층(130)은 센서의 가스 감응막으로서 작용하게 되는데, 상기 그래핀층(130)을 구성하는 그래핀은 2차원 형상의 균일한 단원자 구조의 균일한 면을 가지고 있고, 열 잡음이 적어 기존의 탄소나노튜브보다 높은 감도를 가질수 있을 뿐 아니라, 다양한 형상구현이 용이하기 때문에 가스 센서의 구조 설계에 따라 가스와의 접촉면적을 증가시키도록 구현할 수 있다. 또한, 상기한 그래핀 물질이 가지는 구조적 특성에 의해 가스 환경에 노출시 가스와의 접촉면적을 최대화시킬 수 있고 가스센서의 반응감도와 효율을 높일 수 있다.
- [0039] 상기 소스 전극(110)과 드레인 전극(120)은 상기 그래핀층(130)의 양단부와 부분적으로 접촉되어 서로 전기적으로 연결되도록 상기 실리콘 기판(102) 위에 증착되어 패터닝된다.
- [0040] 이러한 소스 전극(110)과 드레인 전극(120)은 전술된 게이트 전극(140)과 같이 Pt, Au, Pd, Ag, Ni, Cr 또는 전도성 금속 등의 다양한 금속 물질을 사용하여 구성할 수 있는데, 본 실시 예에서는 금(Au)으로 소스 전극(110)과 드레인 전극(120)을 구성하였다.
- [0041] 이와 같이 구성된 본 발명의 그래핀 센서(100)는 게이트 전극(140)을 통해 (+) 또는 (-) 극성의 전압을 공급하여 그래핀층(130) 표면의 전하의 양을 조절해 줌으로써 상기 그래핀층(130) 표면의 전하와 반응하는 가스 분자수의 조절을 통해 센서의 반응감도를 튜닝(tuning)할 수 있다. 또한, 게이트 전극(140)을 통해 (+) 극성의 전압을 인가할 경우 그래핀층(130)의 표면에 분포되는 정공(P)의 수를 줄일 수 있기 때문에 게이트 전극(140)을 통해 인가되는 전압의 세기를 변화시켜 그래핀층(130) 표면에 분포된 정공(P)을 감소시키는 것을 통해 센서의 회복 시간(recovery time)을 단축시킬 수 있다.
- [0042] 한편, 도 3은 상기한 구성을 갖는 본 발명의 그래핀 센서(100)를 제조하기 위한 제조공정의 일 예를 보여주는 것이다.
- [0043] 도 3의 공정도에서 보는 바와 같이, 먼저, 실리콘 산화막이 형성된 실리콘 기판(102)의 중앙부 영역에 홈(104)을 형성한 후 상기 홈(104) 내부에 게이트 전극(140)과 유전체(150)를 순차적으로 적층한다.(a)
- [0044] 그런 다음, 그래핀(graphene)(130)을 유전체(150)의 상부면과 접촉되도록 실리콘 기판(102)의 상부면에 증착한 후 리소그래피 공정을 통해 원하는 모양으로 패터닝한다.(b)
- [0045] 이때, 상기 그래핀(130)의 증착은 화학기상증착(CVD) 공정을 이용하거나 또는 그래핀 옥사이드(graphene oxide)의 스핀 코팅(spin coating) 공정을 이용하여 수행될 수 있다.

- [0046] 이와 같이 실리콘 기판(102) 위에 그래핀(130)이 패터닝된 후에는, 상기 그래핀(130)의 양단과 연결되도록 전도성 금속(금)을 실리콘 기판(102)의 상부면에 증착한 후 리소그래피 공정 및 리프트-오프(Lift-Off) 공정을 통해 패터닝하여 소스 전극(110)과 드레인 전극(120)을 형성하여 최종적인 그래핀 센서 디바이스를 제조한다(c)
- [0047] 한편, 도 4는 전술된 도 3의 그래핀 센서 제조공정과 다른 방식인 유전영동법(Dielectrophoresis)을 이용한 그래핀 센서 제조방법을 보여주는 것이다.
- [0048] 도 4에서 보는 바와 같이, 먼저, 실리콘 산화막이 형성된 실리콘 기판(102)의 중앙부 영역에 홈(104)을 형성한 후 상기 홈(104) 내부에 게이트 전극(140)과 유전체(150)를 순차적으로 적층한다.(a)
- [0049] 그런 다음, 실리콘 기판(102)의 상부면에 전도성 금속(금)을 증착한 후 리소그래피 공정 및 리프트-오프(Lift-Off) 공정을 통해 패터닝하여 홈(104)의 좌,우측에 소스 전극(110)과 드레인 전극(120)을 형성한다.(b)
- [0050] 다음으로, 상기 소스 전극(110)과 드레인 전극(120) 사이에 위치한 실리콘 기판(102)의 상부면에 그래핀 나노입자를 유전영동법(Dielectrophoresis)을 이용하여 증착하여 최종적인 그래핀 센서 디바이스를 제조한다.(c)
- [0051] 한편, 도 5 및 도 6은 상술한 본 발명의 제조공정을 통해 제작된 그래핀 센서 동작을 설명하는 것으로서, 그래핀 센서(100)의 게이트 전극(140)에 전압이 인가되지 않은 경우 그래핀 표면에 분포된 정공(P)과 가스 입자(G)가 반응되는 모습을 보여주는 것이다.
- [0052] 먼저, 도 5와 같이, 그래핀 센서(100)의 게이트 전극(140)에 전압이 인가되지 않은 경우($V_g=0$)에는 그래핀(130) 물질 자체가 갖는 물성으로 인해 그래핀(130)의 표면에는 정해진 일정한 수의 정공(양전하;P)이 분포하게 된다.
- [0053] 이와 같이 게이트 전극(140)에 전압이 인가되지 않은 상태에서 그래핀 센서(100)가 가스 환경에 노출될 경우에는, 도 6에서 보는 것과 같이, 그래핀(130) 표면에 분포된 정해진 정공(P) 수만큼의 가스 분자(G)가 반응하게 되어 그래핀 센서의 센싱 동작이 이루어지게 된다.
- [0054] 이와 같은 경우는 그래핀(130) 표면에 분포되는 정공(P)의 수가 항상 일정하기 때문에 센서의 반응감도가 일정한 상태로 정해져서 센서의 성능은 다소 우수하지 못할 수 있다.
- [0055] 도 7 및 도 8은 그래핀 센서(100)의 게이트 전극(140)에 (+) 극성의 전압이 인가된 경우 그래핀 표면에 분포된 정공(P)과 가스 분자(G)가 반응되는 모습을 보여주고 있다.
- [0056] 그래핀 센서(100)의 게이트 전극(140)에 (+) 극성의 전압을 걸어주게 되면, 도 7에서 보는 것과 같이 그래핀(130) 표면의 정공(P) 수는 전압이 인가되지 않은 경우(도 5의 경우)에 비하여 정공(P)의 수가 적어지게 되는데, 이러한 상태에서 그래핀 센서(100)가 가스 환경에 노출될 경우에는, 도 8에서 보는 것과 같이, 그래핀(130) 표면에 분포된 비교적 적은 수의 정공(P)과 적은 수의 가스 분자(G)가 서로 반응하게 된다.
- [0057] 이와 같은 경우는 그래핀(130) 표면에 분포된 상대적으로 적은 수의 정공(P)에 가스 분자(G)가 반응하기 때문에 센서의 반응감도(sensitivity)가 낮게 된다. 따라서, 이렇게 낮은 반응감도를 갖는 그래핀 센서는 측정 대상의 가스 농도가 매우 높을 경우 저감도의 센서로 구현하여 고농도의 가스의 측정에 용이하게 적용될 수 있다.
- [0058] 한편, 도 9 및 도 10은 그래핀 센서(100)의 게이트 전극(140)에 (-) 극성의 전압이 인가된 경우 그래핀 표면에 분포된 정공(P)과 가스 분자(G)가 반응하는 모습을 보여주고 있다.
- [0059] 그래핀 센서(100)의 게이트 전극(140)에 (-) 극성의 전압을 걸어주게 되면, 도 9에서와 같이, p-type을 갖는 그래핀(130) 표면의 정공(P)의 수는 전압이 인가되지 않은 경우(도 5의 경우)에 비하여 정공(P)의 수가 더 많아지게 되는데, 이러한 상태에서 그래핀 센서(100)가 가스 환경에 노출될 경우에는, 도 10과 같이, 그래핀(130) 표면에 분포된 많은 수의 정공(P)과 많은 수의 가스 분자(G)가 서로 반응하게 된다. 이와 같은 경우는 그래핀(130) 표면에 분포된 상대적으로 많은 수의 정공(P)에 가스 분자(G)가 반응하기 때문에 센서의 반응감도(sensitivity)가 높아진다.
- [0060] 이와 같이, 그래핀 센서(100)의 게이트 전극(140)에 인가되는 전압의 극성 및 크기를 달리함에 따라 그래핀(130) 표면에 분포된 정공(P)의 수가 변화되고, 이러한 정공(P)과 반응하게 되는 가스 입자(G)의 수가 달라지는 현상을 이용하여 필요에 따라 센서의 반응감도를 적정 수준의 감도로 튜닝(tuning)할 수 있다.
- [0061] 한편, 도 11은 전술된 도 1 및 도 2의 그래핀 센서를 인쇄회로기판(PCB)에 회로구성 하여 반도체 칩(300)으로 제작된 모습을 보여주는 실물사진 및 시뮬레이션도다.

[0062] 도 11에서 보는 것과 같이, 실리콘 기판(SiO_2/Si substrate) 위에 소스 전극(110), 드레인 전극(120), 게이트 전극(미도시), 및 그래핀(graphene)이 증착된 본 발명의 그래핀 센서(100)를 인쇄회로기판(PCB; 200) 위에 설치하여 회로 구성하되, 상기 소스 전극(110) 및 드레인 전극(120)을 인쇄회로기판(200)의 좌,우측에 형성된 금속 패드(Gold pad)에 와이어(wire)를 통해 연결함으로써, 그래핀 센서가 장착된 반도체 칩을 구현할 수 있다. 이렇게 제작된 반도체 칩은 도 11의 우측 그림과 같이 가스측정 실험장치에서 가스가 흐르는 석영 튜브(Quartz tube) 내부에 설치하여 가스 측정 실험에 용이하게 사용할 수 있다.

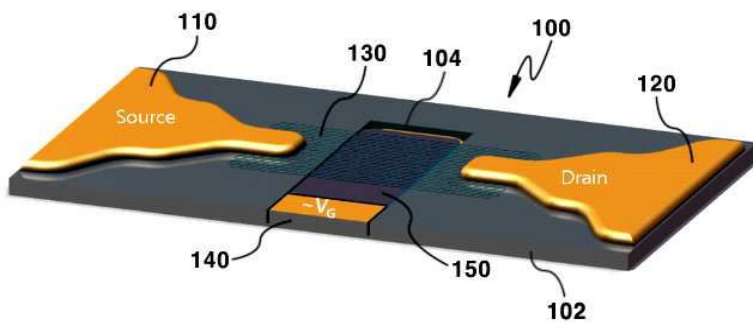
[0063] 이상에서는 본 발명의 바람직한 실시 예를 설명하였으나, 본 발명의 범위는 이같은 특정 실시 예에만 한정되지 않으며, 해당분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 특허청구범위 내에 기재된 범주 내에서 적절하게 변경이 가능할 것이다.

부호의 설명

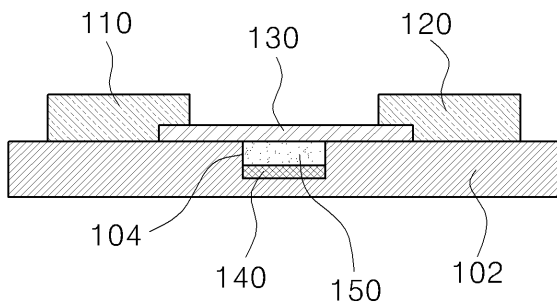
[0064]	100 : 그래핀 센서	102 : 실리콘 기판
	104 : 홈	110 : 소스 전극
	120 : 드레인 전극	130 : 그래핀
	140 : 게이트 전극	150 : 유전체
	200 : 인쇄회로기판	300 : 반도체 칩

도면

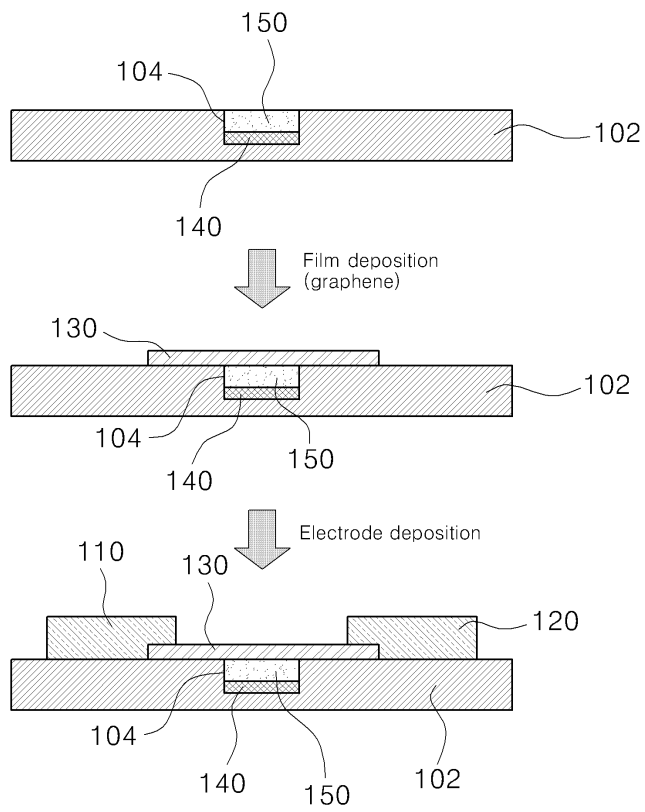
도면1



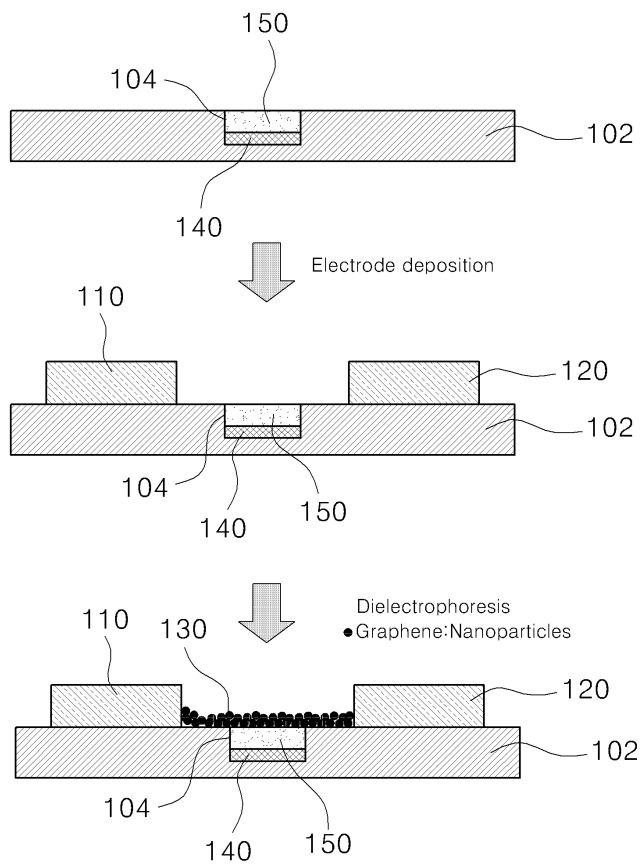
도면2



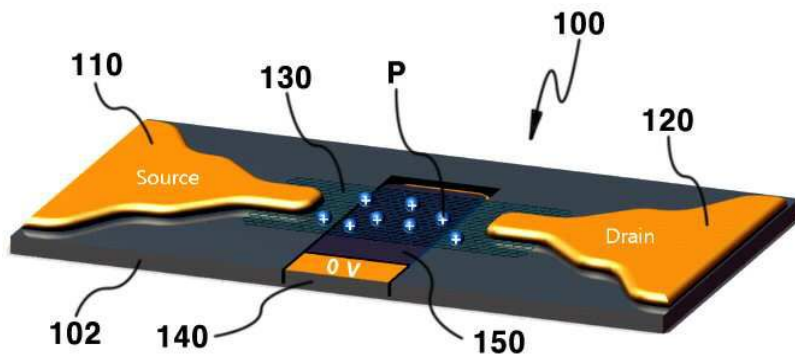
도면3



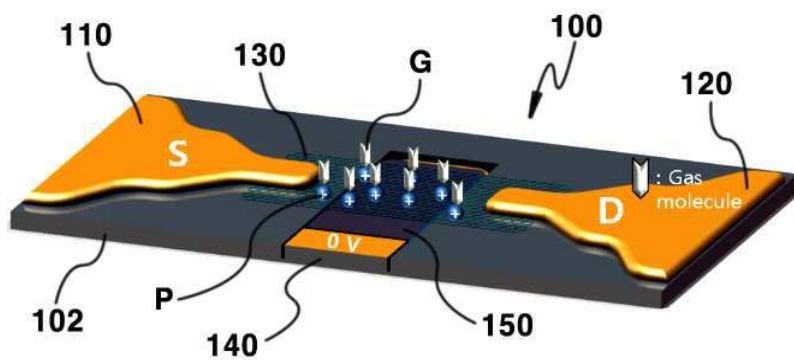
도면4



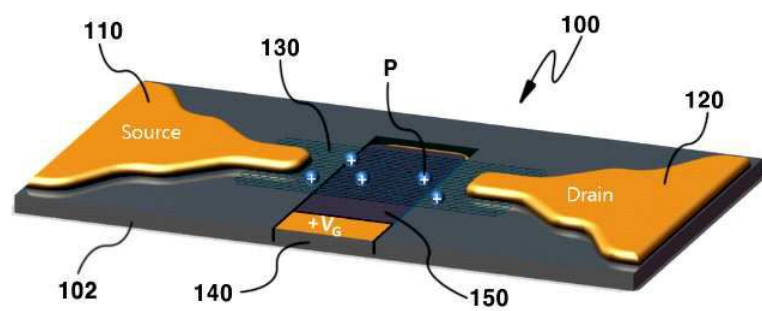
도면5



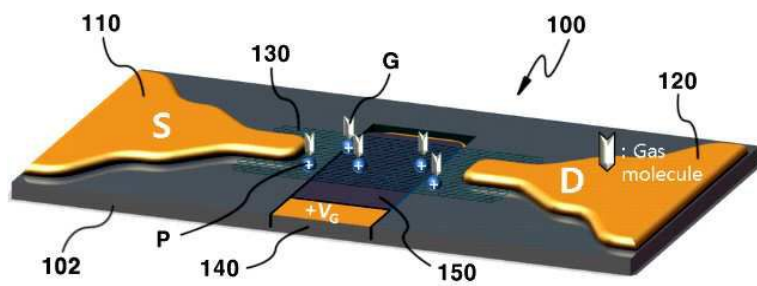
도면6



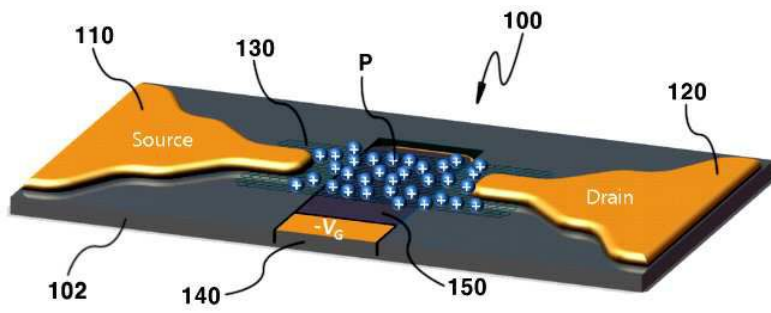
도면7



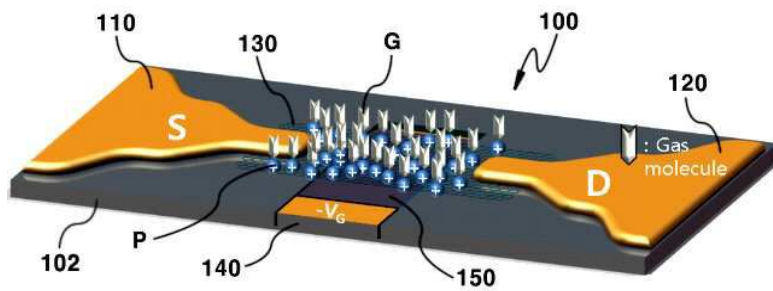
도면8



도면9



도면10



도면11

