(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0140782
(43) 공개일자 2024년09월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 27/12 (2006.01) *B81C 1/00* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 27/128 (2013.01)
B81C 1/00539 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0190417
(22) 출원일자 2023년12월22일
심사청구일자 2023년12월22일
(30) 우선권주장
1020230034793 2023년03월16일 대한민국(KR)

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
신홍주
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
곽종현
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
제일특허법인(유)

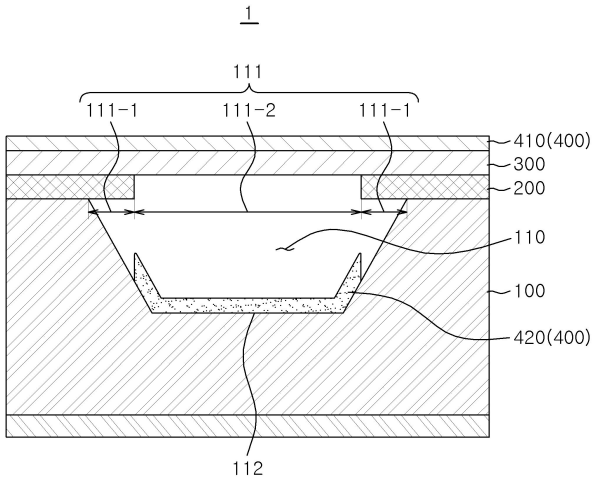
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 **공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물 및 공중부유형 탄소 구조물 제조 방법**

(57) 요 약

본 발명은 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물에 관한 것이다. 구체적으로 본 발명의 일 실시예에 따르면, 기판; 상기 기판의 상측에 배치되는 절연층; 상기 절연층 상에 배치되며 탄소를 포함하는 나노 구조물; 상기 나노 구조물의 상측의 적어도 일부에 배치되는 제1 금속층; 및 상기 기판의 일부에 배치되며, 상기 제1 금속층과 전기적으로 단절되도록 이격되는 제2 금속층을 포함하는, 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물이 제공될 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01N 27/127 (2013.01)
B81B 2201/02 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1345348792
과제번호 2020R1A6A1A03040570
부처명 교육부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 이공학학술연구기반구축
연구과제명 환경감시 자율무인시스템 연구센터
기 여 율 1/3
과제수행기관명 울산과학기술원
연구기간 2022.03.01 ~ 2023.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1415184142
과제번호 00144157
부처명 산업통상자원부
과제관리(전문)기관명 한국산업기술기획평가원
연구사업명 시장선도를위한한국주도형K-Sensor기술개발(R&D)
연구과제명 다종센서의 융복합 및 초소형화를 위한 센서 플랫폼 기술 개발
기 여 율 1/3
과제수행기관명 울산과학기술원
연구기간 2023.01.01 ~ 2023.12.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711190742
과제번호 2021R1A2C2004870
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(과기정통부)
연구과제명 공중부유형 게이트 FET (전계효과 트랜지스터) 기반 복합 비표지 바이오센서 개발
기 여 율 1/3
과제수행기관명 울산과학기술원
연구기간 2023.03.01 ~ 2024.02.29

명 세 서

청구범위

청구항 1

기판;

상기 기판의 상측에 배치되는 절연층;

상기 절연층 상에 배치되며 탄소를 포함하는 나노 구조물;

상기 나노 구조물의 상측의 적어도 일부에 배치되는 제1 금속층; 및

상기 기판의 일부에 배치되며, 상기 제1 금속층과 전기적으로 단절되도록 이격되는 제2 금속층을 포함하는,

공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 기판은 상부 표면에 요입 형성된 홈을 포함하고,

상기 홈은, 바닥면, 및 상기 바닥면으로부터 직상방으로 연장되는 영역인 개구부를 포함하며,

상기 절연층은 상기 개구부의 어느 일부를 커버하고 상기 개구부의 다른 일부를 커버하지 않는,

공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 개구부는, 상기 절연층에 의해 커버되는 제1 영역, 및 상기 절연층에 의해 커버되지 않는 제2 영역을 포함하고,

상기 제2 금속층은 상기 바닥면 중에 있어서 상기 제2 영역으로부터 직하방으로 투영되는 영역에 배치되는,

공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 개구부의 수평방향으로의 넓이는 상기 제2 금속층과 상기 바닥면이 맞닿는 영역의 수평방향으로의 넓이보다 큰,

공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 절연층은 상기 개구부의 가장자리로부터 상기 개구부의 중심방향으로 연장되고, 상기 기판으로부터 상방으로 이격되는 언더컷 형성부를 포함하는,

공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 제2 금속층의 단부는 상기 홈을 따라 상방으로 연장되고,

상기 언더컷 형성부는 상기 제2 금속층의 단부와 상기 제1 금속층의 사이에 배치되는,

공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 나노 구조물은 열분해에 의해 부피가 감소된 폴리머인,

공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물.

청구항 8

제 2 항에 있어서,

상기 개구부는, 상기 절연층에 의해 커버되는 제1 영역, 및 상기 절연층에 의해 커버되지 않는 제2 영역을 포함하고,

상기 나노 구조물은, 상기 절연층 상에 배치되는 기둥부; 및 상기 기둥부에 의해 지지되며, 상측에서 바라보았을 때 상기 제2 영역과 중첩되도록 상기 제2 영역보다 상측에서 연장되는 와이어부를 포함하는,

공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물.

청구항 9

기판 위에 절연층을 적층하는 절연층 적층 단계;

상기 절연층 상에 폴리머를 적층하는 폴리머 적층 단계;

열분해를 통해 상기 폴리머를 탄소를 포함하는 나노 구조물로 변환시키는 열분해 단계;

상기 나노 구조물 상측에 제1 금속층을 코팅하고, 상기 기판에 상기 제1 금속층과 전기적으로 단절되도록 이격되는 제2 금속층을 코팅하는 금속 코팅 단계를 포함하는,

공중부유형 탄소 구조물 제조 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 폴리머가 상기 나노 구조물로 변환되었을 때, 상기 기판을 국부적으로 식각하여 상기 나노 구조물의 하측에 홈을 형성하는 홈 형성 단계를 더 포함하며,

상기 홈은, 바닥면, 및 상기 바닥면으로부터 직상방으로 연장되는 영역인 개구부를 포함하고,

상기 절연층은 상기 개구부의 어느 일부를 커버하고 상기 개구부의 다른 일부를 커버하지 않는,

공중부유형 탄소 구조물 제조 방법.

청구항 11

제 9 항에 있어서,

상기 개구부는, 상기 절연층에 의해 커버되는 제1 영역, 및 상기 절연층에 의해 커버되지 않는 제2 영역을 포함하고,

상기 제2 금속층은 상기 바닥면 중에 있어서 상기 제2 영역으로부터 직하방으로 투영되는 영역에 배치되는,

공중부유형 탄소 구조물 제조 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 개구부의 수평방향으로의 넓이는 상기 제2 금속층과 상기 바닥면이 맞닿는 영역의 수평방향으로의 넓이보

다 큰,

공중부유형 탄소 구조물 제조 방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 절연층은 상기 개구부의 가장자리로부터 상기 개구부의 중심방향으로 연장되고, 상기 기판(100)으로부터 상방으로 이격되는 언더컷 형성부를 포함하는,

공중부유형 탄소 구조물 제조 방법.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 제2 금속층의 단부는 상기 홈(110)을 따라 상방으로 연장되고,

상기 언더컷 형성부는 상기 제2 금속층의 단부와 상기 제1 금속층의 사이에 배치되는,

공중부유형 탄소 구조물 제조 방법.

청구항 15

제 9 항에 있어서,

상기 개구부는, 상기 절연층에 의해 커버되는 제1 영역, 및 상기 절연층에 의해 커버되지 않는 제2 영역을 포함하고,

상기 나노 구조물은, 상기 절연층 상에 배치되는 기둥부; 및 상기 기둥부에 의해 지지되며, 상측에서 바라보았을 때 상기 제2 영역과 중첩되도록 상기 제2 영역보다 상측에서 연장되는 와이어부를 포함하는,

공중부유형 탄소 구조물 제조 방법.

청구항 16

제 10 항에 있어서,

상기 열분해 단계는,

상기 홈 형성 단계 이전에 상대적으로 저온에서 열분해를 진행하는 제1 열분해 단계; 및

상기 홈 형성 단계를 수행한 이후 상대적으로 고온에서 다시 열분해를 진행하는 제2 열분해 단계를 포함하는,

공중부유형 탄소 구조물 제조 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물 및 공중부유형 탄소 구조물 제조 방법에 대한 발명이다.

배 경 기 술

[0002] 공중부유형 나노 구조물은 기판에 붙어있지 않고 공중에 띄워져 형성된 나노미터 크기의 구조체이다. 예를 들어, 공중부유형 나노 구조물은 나노미터 크기의 공중부유형 와이어, 필름, 메쉬 형태일 수 있다. 공중부유형 나노 구조물은 높은 표면적비와 종횡비를 가지며 공중에 떠 있으므로 구조물이 기판의 열과 진동의 영향을 덜 받는다 장점이 있다. 또한, 공중부유형 나노 구조물과 인접한 주변 환경에 기체와 액체가 더 쉽게 출입할 수 있다는 특징을 갖는다.

[0003] 따라서, 공중부유형 나노 구조물은 높은 민감도와 반응속도를 가지는 센서에 사용되고 있다. 예를 들어, 공중부유형 나노 구조물은 가스 센서, 바이오 센서, IR 센서 등 다양한 센서에 활용되고 있다. IoT 시장의 확대로 고

성능 센서의 중요성이 커지고 있으며 고성능 센서의 제작을 가능하게 하는 공중부유형 나노 구조물 기술의 중요성 역시 증가하고 있다.

[0004] 기존에 공중부유형 나노 구조물을 제조하는 방법으로는, 탑다운(top-down) 방법, 바텀업(bottom-up)방법이 존재했다. 탑다운 방법은 일반적으로 큰 구조물이나 기판을 리소그래피(lithography) 후 식각(etching)하는 방법으로, 복잡하고 비싼 가공과정을 거친다는 한계가 있다. 바텀업 방법은 자기조립(Self-assembly)과 같이 개별 분자나 원자들을 적층하거나 결합하여 최종 구조물을 만드는 방식을 말하며, 제어가 어렵거나 균일성과 일관성을 확보하는 것이 어렵다는 한계가 있다.

[0005] 기존의 탑다운 방법과 바텀업 방법의 한계를 극복하기 위한 방법으로 C-MEMS(carbon-microelectromechanical systems) 방법이 사용되었다. C-MEMS 방법은 포토레지스트와 같은 폴리머 구조물을 고온환경에서 열분해하여 탄소구조물로 변환시키는 기술이다. 열분해 과정에서 폴리머 구조물은 최대 90%까지 부피가 감소되되므로, 마이크로미터 수준으로 폴리머 구조물을 제조하는 것만으로도 손쉽고 비용효율적으로 나노미터 수준의 탄소 구조물을 제작할 수 있다. 특히, 포토레지스트를 두 번 노광하는 방식으로 공중부유형 마이크로 폴리머 구조물을 형성한 후 열분해하여 공중부유형 탄소 나노 구조물을 제조할 수 있다. 이러한 과정을 통하여 제조된 공중부유형 나노 구조물은 전극 혹은 템플릿으로 사용될 수 있으며 센서나 마이크로 채널, 배터리 등 다양한 MEMS 디바이스 제작에 활용되고 있다.

[0006] 그러나, 이러한 C-MEMS 방법은 공중부유형 마이크로 폴리머 구조를 형성하기 위한 포토리소그래피 노광 과정에서 웨이퍼 전체에 동일한 양의 에너지를 전달하기 어려워 두께 균일도가 하락하고 매 공정마다 같은 양의 노광 에너지를 전달하기 어려워 폴리머 구조물의 두께 재현성이 낮다는 단점이 있다. 또한, 현상 공정 과정에서 현상액으로 인해 발생하는 표면 장력 때문에 공중부유형 폴리머 구조가 기판 바닥에 붙어버리는 상황이 발생할 수 있다는 문제점도 있다. 또한, 기존의 C-MEMS 방법은 열분해 과정에서 발생하는 부피가 감소될 때 폴리머 구조물의 와이어부가 뒤틀림으로써 원래의 포토 마스크 디자인으로부터 형상이 왜곡된다는 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 실시예들은 상기와 같은 배경에서 발명된 것으로서, 기판으로부터 분리되어 공중에 형성되어 있는 탄소를 포함하는 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물과 공중부유형 탄소 구조물 제조 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 측면에 따르면, 기판; 상기 기판의 상측에 배치되는 절연층; 상기 절연층 상에 배치되며 탄소를 포함하는 나노 구조물; 상기 나노 구조물의 상측의 적어도 일부에 배치되는 제1 금속층; 및 상기 기판의 일부에 배치되며, 상기 제1 금속층과 전기적으로 단절되도록 이격되는 제2 금속층을 포함하는, 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물이 제공될 수 있다.

[0009] 또한, 상기 기판은 상부 표면에 요입 형성된 홈을 포함하고, 상기 홈은, 바닥면, 및 상기 바닥면으로부터 직상방으로 연장되는 영역인 개구부를 포함하며, 상기 절연층은 상기 개구부의 어느 일부를 커버하고 상기 개구부의 다른 일부를 커버하지 않는, 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물이 제공될 수 있다.

[0010] 또한, 상기 개구부는, 상기 절연층에 의해 커버되는 제1 영역, 및 상기 절연층에 의해 커버되지 않는 제2 영역을 포함하고, 상기 제2 금속층은 상기 바닥면 중에 있어서 상기 제2 영역으로부터 직하방으로 투영되는 영역에 배치되는, 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물이 제공될 수 있다.

[0011] 또한, 상기 개구부의 수평방향으로의 넓이는 상기 제2 금속층과 상기 바닥면이 맞닿는 영역의 수평방향으로의 넓이보다 큰, 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물이 제공될 수 있다.

[0012] 또한, 상기 절연층은 상기 개구부의 가장자리로부터 상기 개구부의 중심방향으로 연장되고, 상기 기판으로부터 상방으로 이격되는 언더컷 형성부를 포함하는, 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물이 제공될 수 있다.

[0013] 또한, 상기 제2 금속층의 단부는 상기 홈을 따라 상방으로 연장되고, 상기 언더컷 형성부는 상기 제2 금속층의 단부와 상기 제1 금속층의 사이에 배치되는, 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물이 제공될 수 있다.

[0014] 또한, 상기 나노 구조물은 열분해에 의해 부피가 감소된 폴리머인, 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물이 제공될 수 있다.

[0015] 또한, 상기 개구부는, 상기 절연층에 의해 커버되는 제1 영역, 및 상기 절연층에 의해 커버되지 않는 제2 영역을 포함하고, 상기 나노 구조물은, 상기 절연층 상에 배치되는 기둥부; 및 상기 기둥부에 의해 지지되며, 상측에서 바라보았을 때 상기 제2 영역과 중첩되도록 상기 제2 영역보다 상측에서 연장되는 와이어부를 포함하는, 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물이 제공될 수 있다.

[0016] 또한. 기판 위에 절연층을 적층하는 절연층 적층 단계; 상기 절연층 상에 폴리머를 적층하는 폴리머 적층 단계; 열분해를 통해 상기 폴리머를 탄소를 포함하는 나노 구조물로 변환시키는 열분해 단계; 상기 나노 구조물 상측에 제1 금속층을 코팅하고, 상기 기판에 상기 제1 금속층과 전기적으로 단절되도록 이격되는 제2 금속층을 코팅하는 금속 코팅 단계를 포함하는, 공중부유형 탄소 구조물 제조 방법이 제공될 수 있다.

[0017] 또한, 상기 폴리머가 상기 나노 구조물로 변환되었을 때, 상기 기판을 국부적으로 식각하여 상기 나노 구조물의 하측에 홈을 형성하는 홈 형성 단계를 더 포함하며, 상기 홈은, 바닥면, 및 상기 바닥면으로부터 직상방으로 연장되는 영역인 개구부를 포함하고, 상기 절연층은 상기 개구부의 어느 일부를 커버하고 상기 개구부의 다른 일부를 커버하지 않는, 공중부유형 탄소 구조물 제조 방법이 제공될 수 있다.

[0018] 또한, 상기 개구부는, 상기 절연층에 의해 커버되는 제1 영역, 및 상기 절연층에 의해 커버되지 않는 제2 영역을 포함하고, 상기 제2 금속층은 상기 바닥면 중에 있어서 상기 제2 영역으로부터 직하방으로 투영되는 영역에 배치되는, 공중부유형 탄소 구조물 제조 방법이 제공될 수 있다.

[0019] 또한, 상기 개구부의 수평방향으로의 넓이는 상기 제2 금속층과 상기 바닥면이 맞닿는 영역의 수평방향으로의 넓이보다 큰, 공중부유형 탄소 구조물 제조 방법이 제공될 수 있다.

[0020] 또한, 상기 절연층은 상기 개구부의 가장자리로부터 상기 개구부의 중심방향으로 연장되고, 상기 기판(100)으로부터 상방으로 이격되는 언더컷 형성부를 포함하는, 공중부유형 탄소 구조물 제조 방법이 제공될 수 있다.

[0021] 또한, 상기 제2 금속층의 단부는 상기 홈(110)을 따라 상방으로 연장되고, 상기 언더컷 형성부는 상기 제2 금속층의 단부와 상기 제1 금속층의 사이에 배치되는, 공중부유형 탄소 구조물 제조 방법이 제공될 수 있다.

[0022] 또한, 상기 개구부는, 상기 절연층에 의해 커버되는 제1 영역, 및 상기 절연층에 의해 커버되지 않는 제2 영역을 포함하고, 상기 나노 구조물은, 상기 절연층 상에 배치되는 기둥부; 및 상기 기둥부에 의해 지지되며, 상측에서 바라보았을 때 상기 제2 영역과 중첩되도록 상기 제2 영역보다 상측에서 연장되는 와이어부를 포함하는, 공중부유형 탄소 구조물 제조 방법이 제공될 수 있다.

[0023] 또한, 상기 열분해 단계는, 상기 홈 형성 단계 이전에 상대적으로 저온에서 열분해를 진행하는 제1 열분해 단계; 및 상기 홈 형성 단계를 수행한 이후 상대적으로 고온에서 다시 열분해를 진행하는 제2 열분해 단계를 포함하는, 공중부유형 탄소 구조물 제조 방법이 제공될 수 있다.

발명의 효과

[0024] 본 발명의 실시예들에 따르면, 높은 공정 재현성과 균일도를 가지며, 비용 효율적으로 공중부유형 탄소 나노 구조물을 형성하는 효과가 있다. 본 발명은 마이크로미터 레벨의 정렬 공정으로도 손쉽게 나노미터 레벨의 구조물의 기능화가 가능하다.

[0025] 또한, 본 발명의 실시예들에 따르면, 공중부유형 구조물의 두께는 기판 위에 형성되는 폴리머의 두께에 의해서 결정되는데 본 발명에서 이는 스핀 코팅 방식을 통해 손쉽게 조절이 가능하다.

[0026] 또한, 본 발명의 실시예들에 따르면, 탄소 구조물은 기계적 특성이 우수하고 화학적인 프로세스에 내성이 높기 때문에 공중부유형 구조로 바뀌는 식각 공정 이후에도 손상되지 않고 유지될 수 있다.

[0027] 또한, 본 발명의 실시예들에 따르면, 열분해 과정에서 발생하는 변화는 두께 방향으로만 발생하고 길이 방향으로는 발생하지 않는다. 폴리머 구조체가 기판에 잘 접착되어 있어 열분해 과정에서 발생하는 길이방향 왜곡을 억제하기 때문이다. 따라서 기존의 C-MEMS 방법과 다르게 공중부유형 나노 구조의 왜곡이 발생하지 않는다는 효과가 있다.

[0028] 또한, 본 발명의 실시예들에 따르면, 형성된 공중부유형 나노 구조물의 손쉬운 기능화 방법 개발로서 본 발명의 구조물이 범용적으로 다양한 센서 어플리케이션에 적용될 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물이다.

도 2는 공중부유형 탄소 구조물 제조 방법의 첫번째 과정이다.

도 3은 도 2의 정면도이다.

도 4는 공중부유형 탄소 구조물 제조 방법의 두번째 과정이다.

도 5는 도 4의 정면도이다.

도 6은 공중부유형 탄소 구조물 제조 방법의 세번째 과정이다.

도 7은 도 6의 정면도이다.

도 8은 공중부유형 탄소 구조물 제조 방법의 네번째 과정이다.

도 9는 도 8의 정면도이다.

도 10은 제1 실시예의 순서도이다.

도 11은 본 발명에서 사용된 공정의 세부적인 순서도이다.

도 12는 공중부유형 탄소 구조물을 선택적으로 기능화하기 위해 패터닝 된 포토레지스트 구조이다.

도 13은 금속 증착 후 패터닝 된 포토레지스트를 제거하여 선택적 기능화가 완료된 공중부유형 탄소 구조물이다.

도 14는 패터닝된 폴리머 구조이다.

도 15는 도 14를 저온에서 열분해한 구조이다.

도 16은 도 15의 기판을 식각한 구조이다.

도 17은 도 16을 고온에서 열분해한 구조이다.

도 18은 도 14내지 도 17에 도시된 공정의 세부적인 순서도이다.

도 19는 제2 실시예의 순서도이다.

도 20은 공중부유형 탄소 나노메쉬의 주사전자현미경 사진이다.

도 21은 도 20의 A의 확대도이다.

도 22는 도 21의 B의 확대도이다.

도 23은 공중부유형 탄소 나노와이어의 주사전자현미경 사진이다.

도 24는 선택적으로 기능화된 공중부유형 탄소 나노 와이어의 주사전자현미경 사진이다.

도 25는 선택적으로 기능화된 공중부유형 탄소 나노 메쉬의 주사전자현미경 사진이다.

도 26은 금속층부의 단절을 보여주는 주사전자현미경 사진이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 이하에서는 본 발명의 기술적 사상을 구현하기 위한 구체적인 실시예에 대하여 도면을 참조하여 상세히 설명하도록 한다.

[0031] 아울러 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략한다.

[0032] 또한, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 '지지', '전달', '접촉'된다고 언급된 때에는 그 다른 구성요소에 직접적으로 지지, 전달, 접촉될 수도 있지만 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.

[0033] 본 명세서에서 사용된 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로 본 발명을 한정하려는 의도로 사용된 것은 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함한다.

[0034] 또한, 본 명세서에서 상측, 하측, 측면 등의 표현은 도면에 도시를 기준으로 설명한 것이며 해당 대상의 방향이 변경되면 다르게 표현될 수 있음을 미리 밝혀둔다. 마찬가지의 이유로 첨부 도면에 있어서 일부 구성요소는 과장되거나 생략되거나 또는 개략적으로 도시되었으며, 각 구성요소의 크기는 실제 크기를 전적으로 반영하는 것이 아니다.

[0035] 또한, 제1, 제2 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 해당 구성요소들은 이와 같은 용어들에 의해 한정되지는 않는다. 이 용어들은 하나의 구성요소들을 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.

[0036] 명세서에서 사용되는 "포함하는"의 의미는 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 성분을 구체화하며, 다른 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소, 성분 및/또는 군의 존재나 부가를 제외시키는 것은 아니다.

[0037] 이하, 도 1 내지 도 9를 참조하여 본 발명의 제1 실시예에 따른 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물(1)의 구체적인 구성에 대하여 설명한다. 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물(1)는 공중부유형 탄소 구조물을 제작하기 위한 적층 구조일 수 있다. 도 1 내지 도 9를 참조하면, 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물(1)는 기판(100), 절연층(200), 나노 구조물(300) 및 금속층(400)을 포함할 수 있다.

[0038] 기판(100)은 나노 구조물(300)을 물리적으로 지지하는 지지체일 수 있다. 기판(100)은 예를 들어, 사파이어, 쿼츠(quartz)와 같이 식각이 가능한 절연 기판(100)일 수 있다. 기판(100)은 웨이퍼 또는 필름 형상일 수 있으며, 물성적으로 리지드 기판(100) 또는 플렉시블 기판(100)일 수 있다. 결정학적으로 기판(100)은 단결정체, 다결정체 또는 비정질체이거나, 결정상과 비정질상이 혼재된 혼합상일 수 있다. 또한, 기판(100)이 둘 이상 적층된 구조일 경우 각 층은 서로 독립적으로 단결정체, 다결정체, 비정질체 또는 혼합상일 수 있다. 물질적으로, 기판(100)은 반도체를 포함할 수 있다. 이러한 기판(100)은 실리콘(Si), 게르마늄(Ge) 또는 실리콘게르마늄(SiGe)을 포함하는 4족 반도체; 갈륨비소(GaAs), 인듐인(InP) 또는 갈륨인(GaP)을 포함하는 3-5족 반도체; 황화카드뮴(CdS) 또는 텔루르화아연(ZnTe)을 포함하는 2-6족 반도체; 황화납(PbS)을 포함하는 4-6족 반도체; 또는 이들에서 선택된 둘 이상의 물질이 각 층을 이루며 적층될 수 있다. 기판은 홈(110)을 포함할 수 있다.

[0039] 홈(110)은 기판(100)의 상부 표면에 요입 형성될 수 있다. 홈(110)은 기판(100)의 식각에 의해 형성될 수 있다. 홈(110)은 개구부(111) 및 바닥면(112)을 포함할 수 있다.

[0040] 개구부(111)는 홈(110)의 상측 영역일 수 있다. 개구부(111)의 일부는 절연층(200)과 맞닿을 수 있다. 개구부(111)는 제1 영역(111-1) 및 제2 영역(111-2)을 포함할 수 있다.

[0041] 제1 영역(111-1)은 상부에 절연층(200)이 배치되는 영역일 수 있다. 제1 영역(111-1)은 기판(100)의 측면과 실리콘의 비등방성 습식 식각으로부터 형성된 언더컷 구조를 이룰 수 있다. 제1 영역(111-1)은 비등방성 금속 증착 시 증착 마스크로 사용이 가능하다. 다시 말해, 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물(1) 상단에 선택적으로 금속층부(400)를 코팅할 수 있다. 한편, 통상적인 마이크로 스케일의 정렬 공정으로도 손쉽게 나노 구조를 기능화(functionalization)할 수 있는 효과가 있다.

[0042] 제2 영역(111-2)은 상부에 절연층(200)이 배치되지 않는 영역일 수 있다. 제2 영역(111-2)은 바닥면(112)의 넓이와 동일하거나 바닥면(112)의 넓이보다 넓을 수 있다. 제2 영역(111-2)의 넓이는 후술할 제1 금속층(410)의 넓이보다 넓을 수 있다.

[0043] 절연층(200)은 나노 구조물(300)을 통해 검출되는 전류 또는 전압에 영향을 차단할 수 있다. 절연층(200)은 기판(100)의 상부 표면 상에 배치되되, 기판(100)의 홈(110)의 개구부(111) 중 어느 일부인 제1 영역(111-1)을 커버하고, 홈(110)의 개구부(111) 중 다른 일부인 제2 영역(111-2)은 커버하지 않고 노출시킬 수 있다. 절연층(200)은 마스크 역할을 할 수 있다. 절연층(200)의 좌우방향 내부 너비는 개구부(111)보다 좁을 수 있다.

[0044] 절연층(200)은 원자층 증착 (Atomic Layer Deposition), 또는 스퍼터링 (sputtering) 및 플라즈마 화학 기상 증착법 (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 등의 증착법 등 통상적으로 사용되는 방법을 통해 형성될 수 있으나, 이에 한정되지 않고, 절연층(200)은 열산화 방법을 통해 형성될 수 있다. 또한, 절연층(200)은 실리콘 산화물, 하프늄 산화물, 알루미늄 산화물, 지르코늄 산화물, 바륨-타이타늄 복합산화물, 이트륨 산화물, 텅스텐 산화물, 탄탈륨 산화물, 아연 산화물, 타이타늄 산화물, 주석 산화물, 바륨-지르코늄 복합산화물, 실리콘 질화물, 실리콘 옥시나이트라이드, 지르코늄 실리케이트, 하프늄 실리케이트, 이들의 혼합물(mixture) 또는 이들의 복합물(composite) 등일 수 있다.

[0045] 나노 구조물(300)은 절연층(200) 상에 배치되는 구조물일 수 있다. 이러한 나노 구조물(300)은 열분해를 거쳐 부피가 감소된 폴리머 구조물(500)일 수 있다. 예를 들어, 나노 구조물(300)은 탄소로 형성될 수 있다.

[0046] 열분해는 진공 상태나 불활성 가스 환경에서 기 설정된 온도로 수행될 수 있으며, 열분해 온도에 따라 나노 구조물(300)의 탄소의 전기 전도도를 조절할 수 있다. 예를 들어, 나노 구조물(300)은 열분해 온도를 낮게 유지할 경우, 금속과 비교하였을 때 금속에 비해 매우 낮은 전기 전도도를 가질 수 있으며, 나노 구조물(300)은 열분해 온도에 따라 절연체와 같은 수준에서 흑연보다 높은 전도도까지 조절될 수 있다. 다시 말해, 이러한 나노 구조물(300)은 도체 또는 부도체로서 형성될 수 있으며, 나노 구조물(300)이 부도체로서 형성될 경우에는 나노 구조물(300)위에 제1 금속층(410)이 증착되게 되면 제1 금속층(410)이 나노 전극체로서 작용하게 될 수 있다. 나노 구조물(300)은 기둥부(310) 및 와이어부(320)를 포함할 수 있다.

[0047] 기둥부(310)는 절연체(200) 상측에 적층될 수 있다. 기둥부(310)는 직육면체 형상일 수 있다. 기둥부(310)는 와이어부(320) 단부에 배치되어 와이어부(320)를 지지할 수 있다.

[0048] 와이어부(320)는 복수 개의 기둥부(310) 사이에서 일 방향 또는 타 방향으로 연장되는 복수 개 와이어를 포함할 수 있다. 이러한 와이어부(320)는 개구부(111)의 제2 영역(111-2) 상에 배치될 수 있다. 와이어부(320)는 공중부유 형태로 형성될 수 있다. 와이어부(320)는 마이크로미터 사이즈의 지름을 가지는 포토레지스트 와이어가 열분해를 통해 탄소화됨으로써 형성될 수 있다. 와이어부(320)는 열분해를 통해 나노미터 사이즈의 지름을 가질 수 있다. 이러한 나노 구조물(300)은 수십 ㎚ ~ 수백 ㎚의 직경을 가지고, 수 ~ 수백 ㎛의 연장방향으로의 길이를 가질 수 있다. 그리고 와이어부(320)는 기판으로부터 1 ~ 수십 ㎛의 거리로 이격될 수 있다. 예를 들어, 나노 구조물(300)은 250 ~ 400nm 직경을 가지며, 130 ~ 170㎛의 연장방향으로의 길이를 가지질 수 있다. 와이어부(320)의 복수 개의 와이어는 메쉬구조로 배치될 수 있다.금속층부(400)는 기판(100) 및 나노 구조물(300)의 표면에 적층될 수 있다. 금속층부(400)는 금(Au)을 포함할 수 있으나, 이에 한정되지 않고 금속층부(400)는 전기 전도도가 높은 물질을 포함할 수 있다. 또한 도전체를 증착하는 방법은 전자빔 증착에 한전되지 않고, 열 증착(thermal evaporation), 스퍼터링(sputtering) 등의 방법이 사용될 수 있다. 금속층부(400)은 제1 금속층(410) 및 제2 금속층(420)을 포함할 수 있다.

[0049] 제1 금속층(410)은 나노 구조물(300) 상부에 증착될 수 있다. 제1 금속층(410)은 제2 금속층(420)과 단절되어 제2 금속층(420)에 전류를 전달하지 않을 수 있다.

[0050] 제2 금속층(420)은 제2 영역(111-2)에 수직 대향하는 바닥면(112)의 영역에 증착될 수 있다. 제1 금속층(410)과 제2 금속층(420)이 언더컷 구조에 의해 단절이 발생될 수 있으며 후술할 기둥부(310)에 흐르는 전류는 나노 구조물(300)의 전기전도성이 낮도록 제작된 경우 제1 금속층(410)을 통해서만 흐를 수 있다. 한편, 탄소로 구성된 나노 구조물(300)의 전기 전도도는 조절이 가능하기 때문에 필요한 경우 금속층부(400)와 함께 나노 구조물(300)을 통해서도 전류를 흐르게 할 수 있다.

[0051] 폴리머 구조물(500)은 단위체가 반복적으로 연결된 고분자일 수 있다. 폴리머 구조물(500)은 열분해되어 나노 구조물(300)이 될 수 있다. 폴리머 구조물(500)에 고온을 가하면 부피가 감소할 수 있다.

[0052] 이하, 도 10 및 도 11을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 공중부유형 탄소 구조물 제조 방법(S1)에 대하여 설명한다. 공중부유형 탄소 구조물 제조 방법(S1)은 절연층 적층 단계(S100), 폴리머 적층 단계(S200), 열분해 단계(S300), 홈 형성 단계(S400) 및 금속 코팅 단계(S500)를 포함할 수 있다.

[0053] 절연층 적층 단계(S100)에서는 기판(100) 상부에 절연층(200)을 적층할 수 있다. 절연층(200)은 나노 구조물(300)을 통해 검출되는 전류 또는 전압에 영향을 미치지 않도록 할 수 있다. 절연층(200)은 예를 들어, 이산화규소일 수 있다.

[0054] 폴리머 적층 단계(S200)는 절연층(200) 상부에 폴리머 구조물(500)을 적층시키는 단계일 수 있다. 폴리머 구조물(500)이 적층된 후 포토리소그래피 방법을 이용해 폴리머 구조물(500)에 메쉬를 패터닝(patterning)할 수 있다. 포토리소그래피를 이용하는 방법은 빛에 반응하는 감광성 고분자 물질(photoresist)을 도포하여 빛을 조사하는 것을 통해 조사된 부위에 따라 원하는 패턴을 형성하는 방법일 수 있다. 빛이 조사되는 부위는 포토 마스크를 이용해 조절할 수 있다.

[0055] 열분해 단계(S300)는 열분해 과정을 통해 적층된 폴리머 구조물(500)의 부피를 감소시키는 단계일 수 있다. 열분해는 600℃ 이상 1200℃ 이하의 온도에서 일어날 수 있다.

[0056] 홈 형성 단계(S400)는 개구부(111) 중 제2 영역(111-2)을 형성하고, 기판(100)을 식각하는 단계일 수 있다. 이

과정에서 절연층(200)은 식각되지 않고 기판(100)만 식각되어 개구부(111)와 바닥면(112)을 포함하는 홈(110)이 생길 수 있다.

[0057] 금속 코팅 단계(S500)는 기판(100), 절연층(200) 및 나노 구조물(300) 상부에 금속을 코팅하는 단계일 수 있다. 금속 코팅 단계(S500)에서 금속층부(400)가 형성됨으로써 공중부유형 탄소 구조물에 전류가 흐를 수 있다.

[0058] 이하 도 11을 다시 참조하여 보다 구체적으로 공중부유형 탄소 구조물 제조 방법(S1)을 설명한다. (a) 내지 (c) 단계에서는 포토리소그래피를 이용해 폴리머 구조를 형성할 수 있다. 포토리소그래피 방법 이외에도, 두-광자(two-photon) 리소그래피, 각인(imprint) 등의 방식이 사용될 수 있다. (a)에서는 스핀 코팅과 포토레지스트의 소프트베이크(soft-bake)가 일어난다. 네거티브 포토레지스트와 포지티브 포토레지스트가 모두 사용될 수 있지만 네거티브 포토레지스트가 높은 종횡비의 구조물을 만들기에 유리할 수 있다. (b)에서는 마스크 얼라이너(mask aligner)를 이용해 노광(exposure)이 일어날 수 있다. (c)에서는 노광 이후 현상(develop)이 진행될 수 있다.

[0059] (d)에서는 열분해(pyrolysis)가 진행된다. 진공 혹은 비활성기체 상태의 환경에서 진행되며 해당 과정에서 폴리머 구조물(500)은 탄소구조체로 변환될 수 있다. 이 과정에서 부피 감소가 발생할 수 있다. 이 과정에서 형성된 탄소구조체인 나노 구조물(300)의 두께는 100nm 내지 20000nm 일 수 있다.

[0060] (e) 내지 (h) 단계에서는 실리콘 식각 마스크가 형성될 수 있다. 다시 말해, 절연층(200)이 식각 마스크로서 기능하기 위해 식각되는 과정을 살펴볼 수 있다. (e)단계에서 스핀 코팅과 포토레지스트의 소프트베이크가 진행되며 (f)단계에서 마스크 얼라이너(mask aligner)를 이용해 노광(exposure)이 진행되고 (g)단계에서 포토레지스트가 절연층(200)의 선택적 식각을 위한 보호층으로 작용함을 알 수 있다. (h) 단계에서 절연층(200)이 식각될 수 있다. 본 발명에서 식각은 습식 공정을 사용하지만 건식 공정으로도 같은 구조의 제작이 가능할 수 있다.

[0061] (i)단계에서는 기판(100)이 식각될 수 있다. 기판(100)의 식각 용액으로 TMAH(Tetramethylammonium hydroxide)가 사용되지만 식각 용액은 이에 한정되지 않으며 일반적인 실리콘 식각용액인 KOH, NaOH, EDP 수용액 등이 사용될 수 있다. TMAH 용액에서 절연층(200)을 구성하는 이산화규소는 기판(100)을 구성하는 실리콘에 비해 낮은 식각률을 가지는 바, 절연층(200)이 식각 마스크로 사용될 수 있다. 이 과정에서 절연층(200)은 거의 식각되지 않아, 기판(100)이 식각된 후 언더컷 구조가 발생할 수 있다.

[0062] (j) 내지 (n) 단계에서는 공중부유형 나노 구조물(300)의 기능화가 일어날 수 있다. 2차로 스핀코팅과 포토레지스트의 소프트베이크가 진행되며 마스크 얼라이너를 이용해 노광이 진행될 수 있다. 이후, 비등방성 금속을 증착시켜 금속층부(400)를 형성할 수 있다. 다시 말해, 공중부유하는 나노 구조물(300) 상부에 제1 금속층(410)이 형성될 수 있다. 본 발명에서는 E-beam evaporation 방법을 사용하여 금(Au)을 증착시켰지만 항상 이로 한정되는 것은 아니다. (n) 단계에서는 결과적으로 필요하지 않은 영역에 형성된 금속을 제거할 수 있다.

[0063] 도 12 내지 도 13을 참조하면, 공중부유형 나노 구조물(300)을 선택적으로 기능화하기 위한 정렬 공정의 방법을 알 수 있다. 도 12는 도 11의 (l) 단계의 확대도일 수 있다. 금속층부(400)를 선택적으로 형성하기 위한 포토레지스트 구조물(np)의 너비(W_{pr})는 공중부유형 나노 구조물(300)의 너비(W_C)보다는 넓고, 기판(100) 상의 홈(110)의 너비(W_T)보다는 좁을 수 있다. 도 13을 다시 참조하면, 홈(110)을 관통하는 형태로 금속층부(400)가 형성된다. 이 때, 절연층(200)의 제2 영역(111-1)이 증착 마스크로 작용하여 나노 구조물(300) 상부에 선택적으로 금속층부(400)가 형성될 수 있고 공중부유형 나노 구조물(300) 상단 이외에 형성된 금속층부(400)는 단절시킬 수 있다.

[0064] 한편, 이러한 구성 이외에도, 본 발명의 제2 실시예가 제시될 수 있다. 이하, 도 14 내지 18을 참조하여 본 발명의 제2 실시예를 설명한다. 제2 실시예를 설명함에 있어서, 상술한 실시예와 비교하였을 때의 차이점을 위주로 설명하며 동일한 설명은 상술한 실시예를 원용한다.

[0065] 도 14 내지 도 18을 참조하면, 홈을 형성하기 위한 기판(100) 식각 단계 이전에 열분해 공정을 추가함으로써 와이어부(320)의 너비(W_C)를 더욱 소형화할 수 있는 방법을 알 수 있다. 일반적으로 기판(100) 위에 형성된 폴리머(500)의 열분해 과정에서 발생하는 변화는 두께(b) 방향으로만 발생하고 너비(a)와 길이 방향으로는 발생하지 않는다. 따라서 공중부유형 탄소 나노 구조물(300)의 두께(b)뿐 아니라 너비(a)도 소형화하기 위한 해결방안이 요구된다. 이는 도 17에 나타난 바와 같이 추가적인 열분해 공정을 통해 해결할 수 있다. 먼저 기판(100) 위에 폴리머 구조물(500)을 형성한 후, 이를 낮은 온도에서 열분해한다. 이를 통해 폴리머 구조물(500)이 높은 온도의 실리콘 식각 용액에 대한 저항성은 가지되, 큰 부피 변화는 발생하지 않도록 한다. 다음으로 기판(100) 식각

공정을 통해 홈(110)을 형성함으로써, 폴리머 구조물(500)을 공중부유형태로 변환한다. 마지막으로 섭씨 600도 이상의 높은 온도에서 폴리머 구조물(500)을 열분해하여 이를 공중부유형 탄소 나노 구조물(300)으로 변환한다. 이 때 와이어 형상의 폴리머 구조물(500)은 기판에 붙어있는 상태가 아닌 공중부유형태에서 부피감소를 겪기 때문에, 두께(b)뿐만 아니라 너비(a) 방향으로도 소형화가 발생하게 된다. 해당 방식은 공중부유형 탄소 나노 구조물(300)을 두께(b)뿐 아니라 너비(a)도 나노미터 수준으로 제작하는 것을 가능케하는 장점을 가진다. 다시 말해, 도 14 내지 도 16의 너비(a)는 모두 같으며 도 17의 너비(a)보다는 클 수 있다. 또한, 도 15 및 도 16의 높이(b)는 같고 이는 도 14의 높이(b)보다 작으며 도 17의 높이(b)보다 클 수 있다.

[0066] 이하, 도 19를 참조하여 제2 실시예의 열분해 단계(S300)에 대하여 설명한다. 열분해 단계(S300)에서 폴리머 구조물(500)은 탄화되어 나노 구조물(300)이 될 수 있다. 열분해 단계(S300)는 제1 열분해 단계(S310) 및 제2 열분해 단계(S320)를 포함할 수 있다.

[0067] 제1 열분해 단계(S310)는 비교적 낮은 온도에서 폴리머 구조물(500)이 열분해되는 단계일 수 있다. 제1 열분해 단계(S310)는 예를 들어 폴리머 구조물(500)이 250℃ 이상 350℃ 이하의 온도에서 열분해되는 단계일 수 있다. 폴리머 구조물(500)이 낮은 온도에서 열분해되면 부피가 비교적으로 감소할 수 있다. 제1 열분해 단계(S310)는 홈 형성 단계(S400) 이전에 수행될 수 있다.

[0068] 홈 형성 단계(S400)는 제1 열분해 단계(S310)를 거친 폴리머 구조물(500)을 공중부유형 구조로 변환하는 단계일 수 있다. 홈 형성 단계(S400)는 예를 들어 폴리머 구조물(500) 근처의 절연층(200)만을 식각하거나, 기판(100)과 절연층(200)을 식각하는 단계일 수 있다.

[0069] 제2 열분해 단계(S320)는 비교적 높은 온도에서 폴리머 구조물(500)이 열분해되는 단계일 수 있다. 제2 열분해 단계(S320)에서 폴리머 구조물(500)은 600℃ 이상 1200℃ 이하에서 열분해될 수 있다. 제2 열분해 단계(S320)에서 열분해된 폴리머 구조물(500)은 탄화되어 나노 구조물(300)이 될 수 있다.

[0070] 이하, 도 20 내지 도 26을 참조하여 상술한 바와 같은 구성을 갖는 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물(1)의 작용 및 효과에 대하여 설명한다.

[0071] 도 20 내지 도 22를 참조하면, 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물(1)에 의하여 제작된 공중부유형 탄소 메쉬는 (c) 그림과 같이 사각형 형상이 그대로 유지되며, 기존의 C-MEMS 기술로 제작된 탄소 메쉬의 형상 왜곡 문제가 발생하지 않는 효과가 있다.

[0072] 도 23을 참조하면, 공중부유형 탄소 와이어를 제작함에 있어서 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물(1)의 장점을 알 수 있다. 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물(1)는 웨이퍼 상에서 높은 수율과 균일성을 가지는 공중부유형 탄소 와이어를 제작할 수 있으며 공중부유형 탄소 와이어의 두께는 공정 과정에서 사용된 포토레지스트 두께에 의해서만 결정되므로 쉽게 조절될 수 있다는 장점이 있다.

[0073] 도 24 내지 도 26을 참조하면, 선택적으로 기능화된 공중부유형 탄소 구조물의 효과를 알 수 있다. 마이크로미터 수준의 정렬 공정만으로도 나노미터 수준의 구조물(300) 상부에 선택적으로 금속층부(400)가 형성될 수 있고 언더컷 구조를 통해 공중부유형 나노 구조물(300) 상단 이외에 형성된 금속층부(400)는 단절시킬 수 있다. 예를 들어, 제2 금속층(420)은 전류의 흐름에서 단절될 수 있다.

[0074] 또한, 공중부유형 탄소 나노와이어 및 나노메쉬에 기반한 센서는 기능화를 통해 다양하게 활용될 수 있으며 높은 반응속도와 민감도를 가질 수 있다는 효과가 있다. 센서는 예를 들어, 온도 센서, 가스 센서 또는 가스 유량 센서일 수 있다.

[0075] 이상 본 발명의 실시예들을 구체적인 실시 형태로서 설명하였으나, 이는 예시에 불과한 것으로서, 본 발명은 이에 한정되지 않는 것이며, 본 명세서에 개시된 기술적 사상에 따르는 최광의 범위를 갖는 것으로 해석되어야 한다. 당업자는 개시된 실시형태들을 조합/치환하여 적시되지 않은 형상의 패턴을 실시할 수 있으나, 이 역시 본 발명의 범위를 벗어나지 않는 것이다. 이외에도 당업자는 본 명세서에 기초하여 개시된 실시형태를 용이하게 변경 또는 변형할 수 있으며, 이러한 변경 또는 변형도 본 발명의 권리범위에 속함은 명백하다.

부호의 설명

[0076] 1: 공중부유형 탄소 구조 기반 공중부유형 구조물 100: 기판

110: 홈 111: 개구부

111-1: 제1 영역 111-2: 제2 영역

112: 바닥면 200: 절연층

300: 나노 구조물 310: 기둥부

320: 와이어부 400: 금속층부

410: 제1 금속층 420: 제2 금속층

500: 폴리머 구조물

S1: 공중부유형 탄소 구조물 제조 방법 S100: 절연층 적층 단계

S200: 폴리머 적층 단계 S300: 열분해 단계

S310: 제1 열분해 단계 S320: 제2 열분해 단계

S400: 홈 형성 단계 S500: 금속 코팅 단계

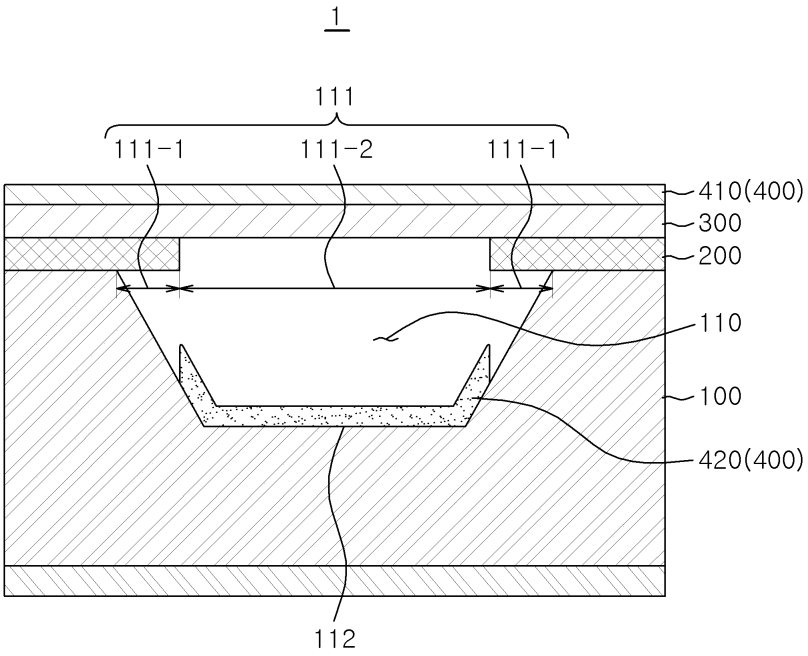
Wpr: 포토마스크 너비 W_C: 나노 구조물 너비

W_T: 홈 너비 a: 너비

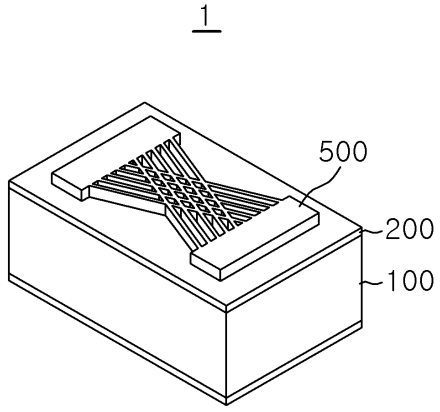
b: 높이 np: 포토레지스트 구조물

도면

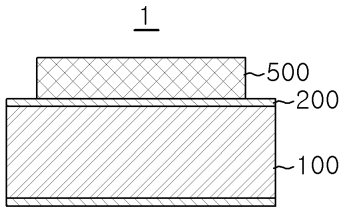
도면1



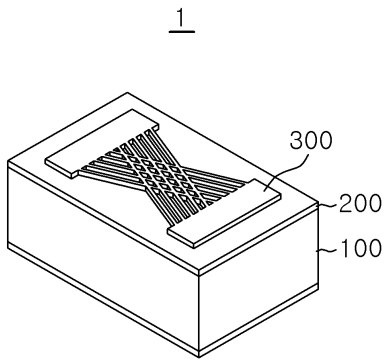
도면2



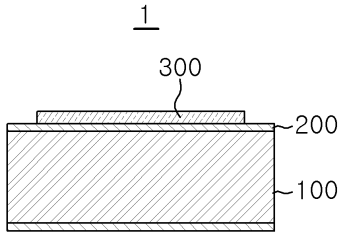
도면3



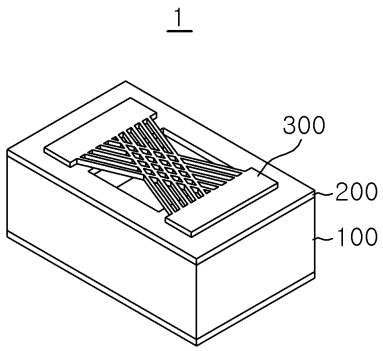
도면4



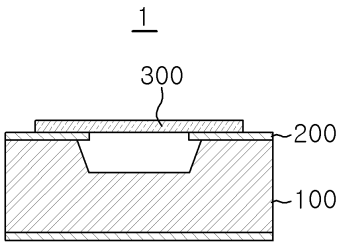
도면5



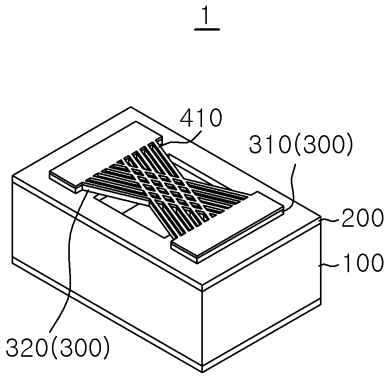
도면6



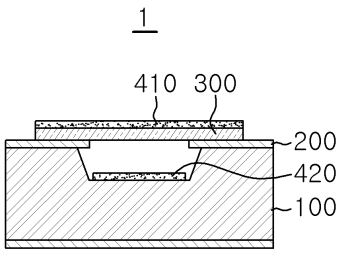
도면7



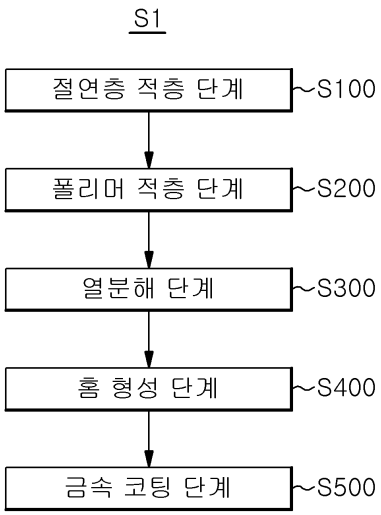
도면8



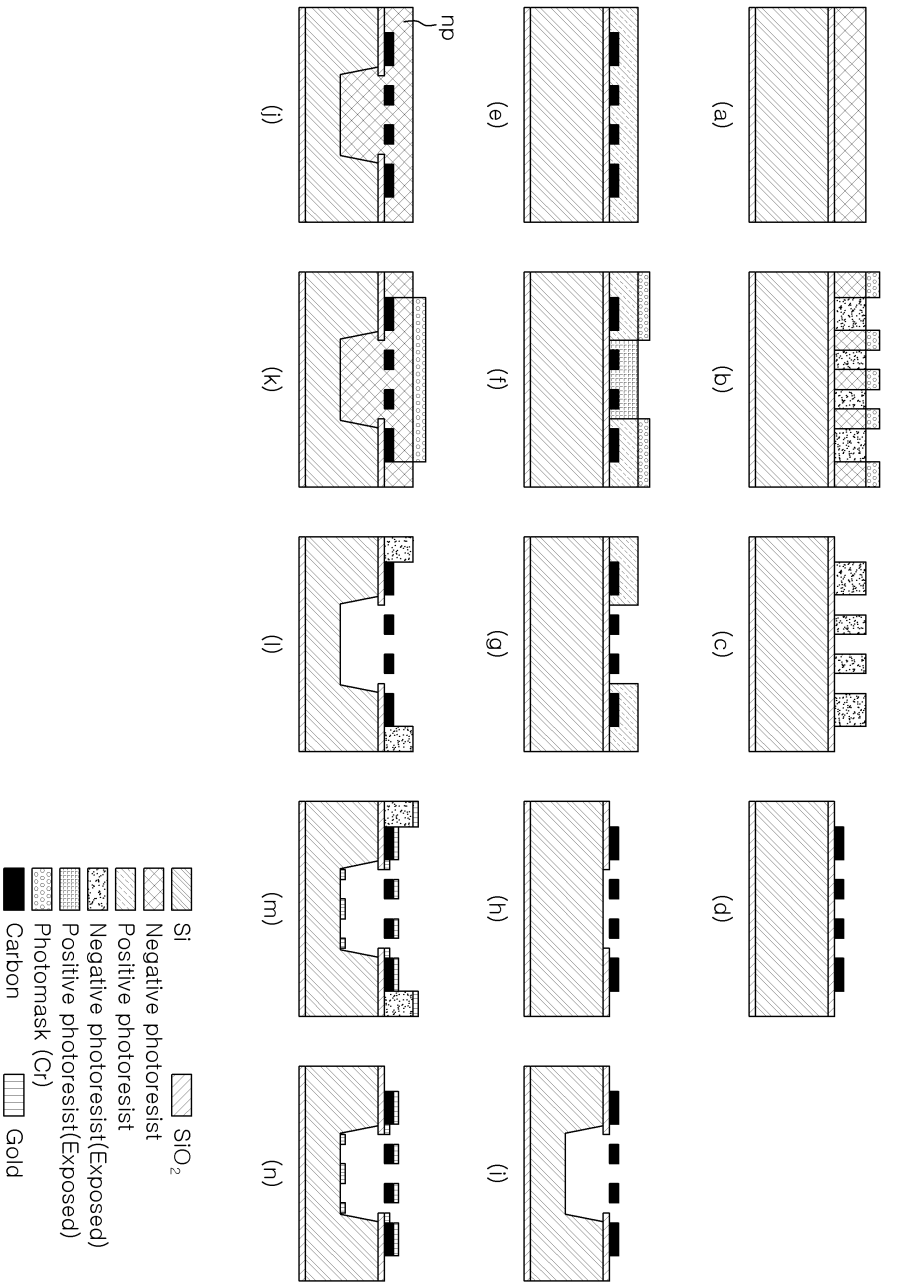
도면9



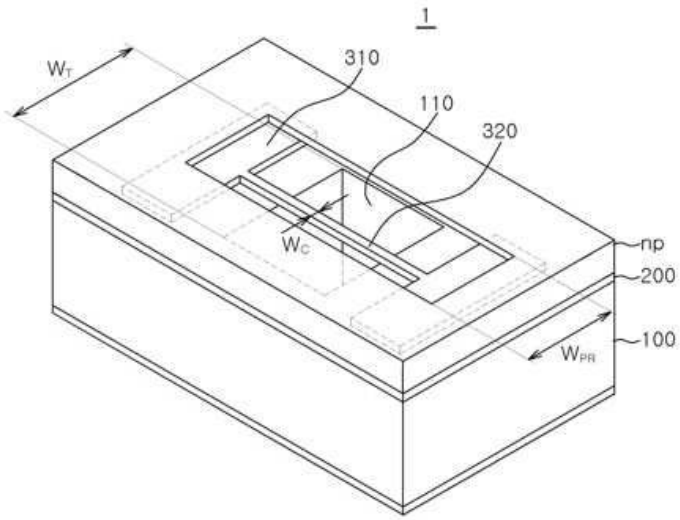
도면10


S1
절연층 적층 단계
S100
폴리머 적층 단계
S200
열분해 단계
S300
홈 형성 단계
S400
금속 코팅 단계
S500

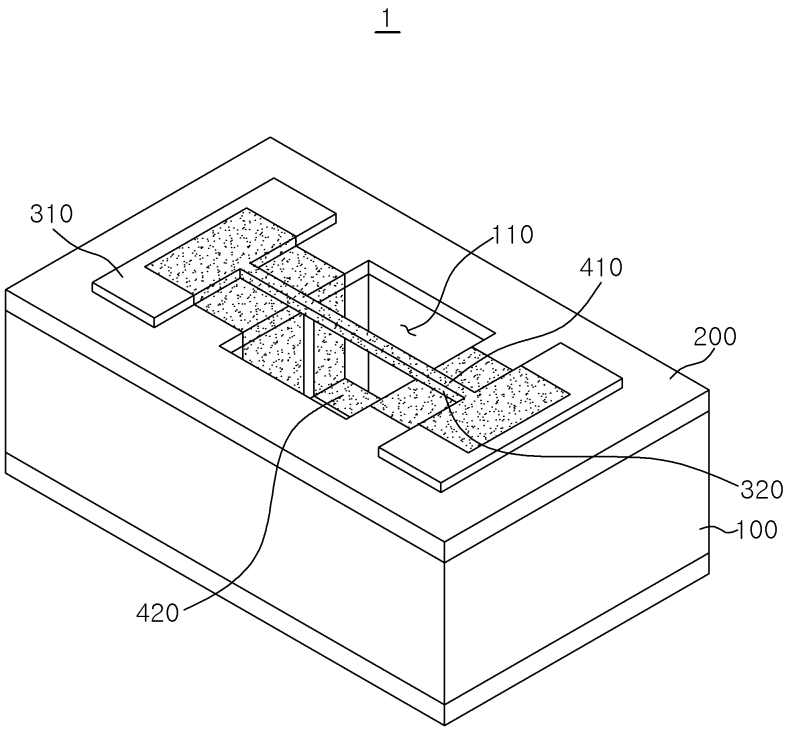
도면11


(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
(f)
(g)
(h)
(i)
(j)
np
(k)
(l)
(m)
(n)
Si
SiO2
Negative photoresist
Positive photoresist
Negative photoresist(Exposed)
Positive photoresist(Exposed)
Photomask (Cr)
Carbon
Gold

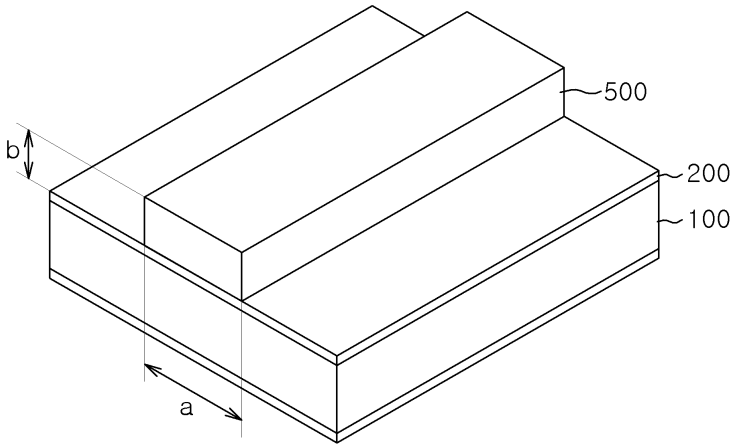
도면12



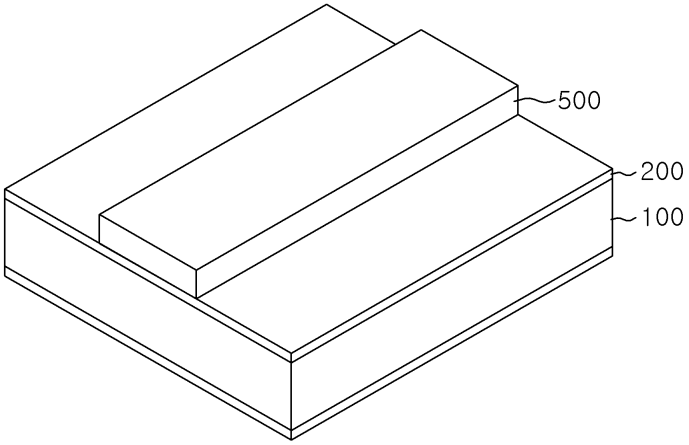
도면13



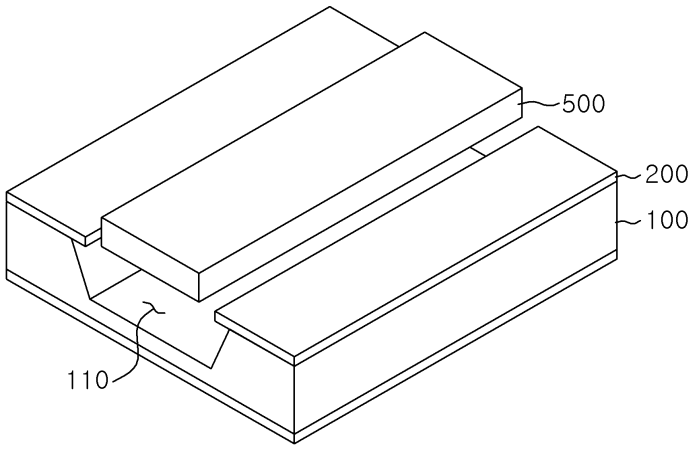
도면14



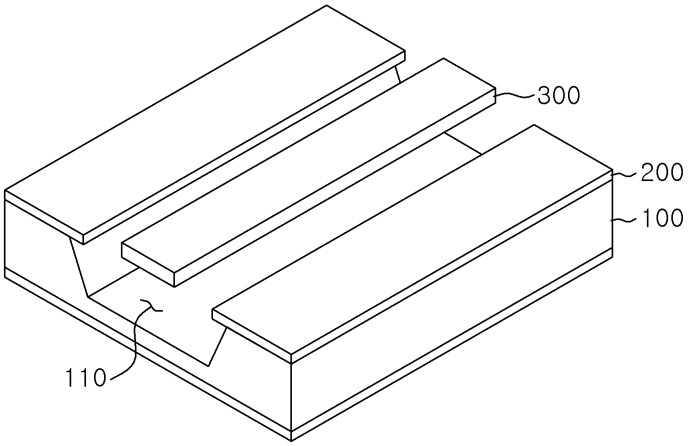
도면15



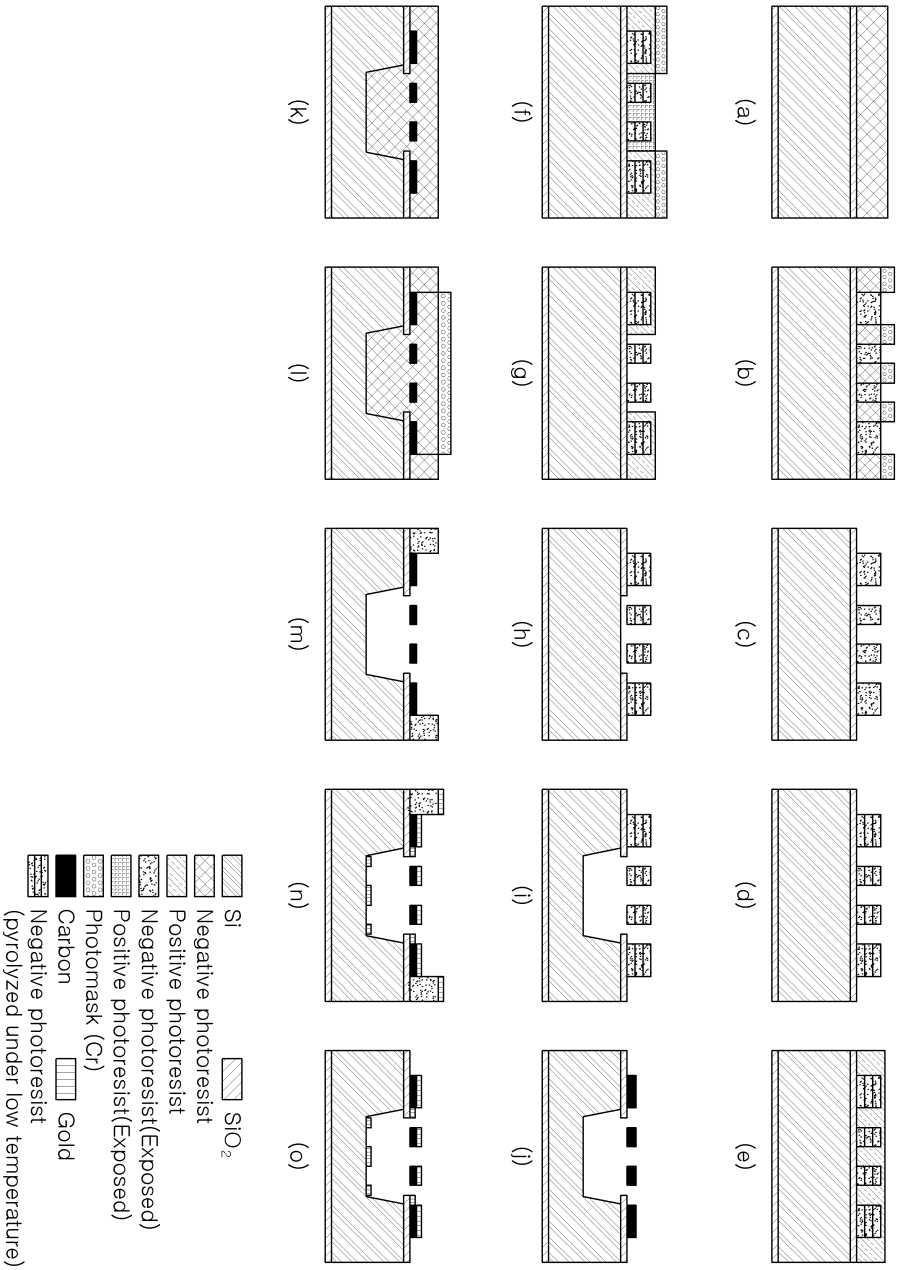
도면16



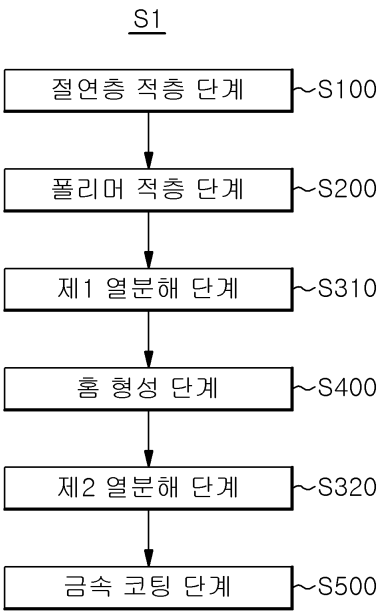
도면17



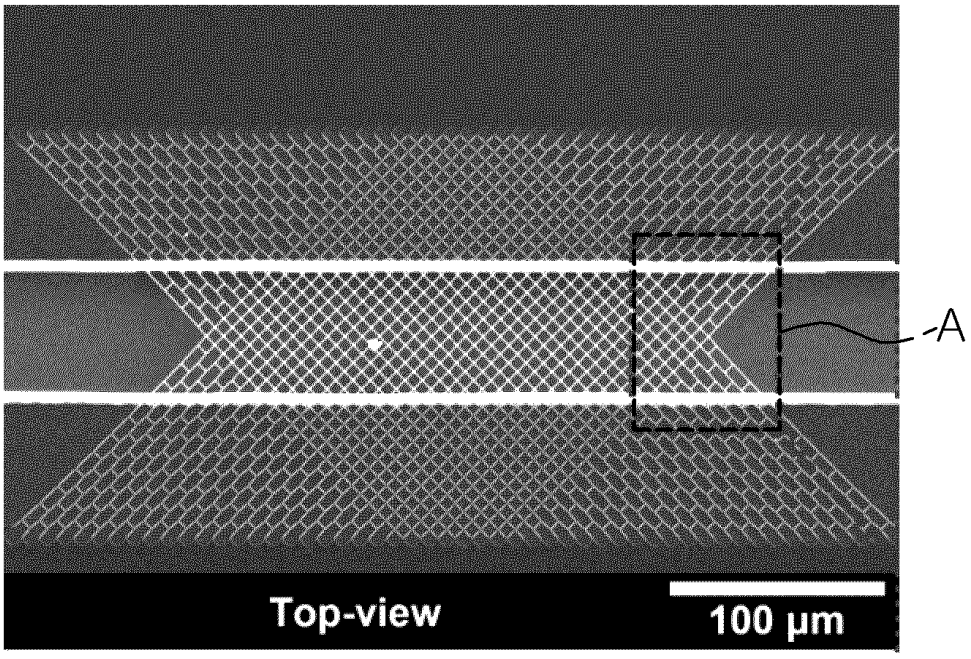
도면18


(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
(f)
(g)
(h)
(i)
(j)
(k)
(l)
(m)
(n)
(o)
Si
SiO2
Negative photoresist
Positive photoresist
Negative photoresist(Exposed)
Positive photoresist(Exposed)
Photomask (Cr)
Carbon
Gold
Negative photoresist
(pyrolyzed under low temperature)

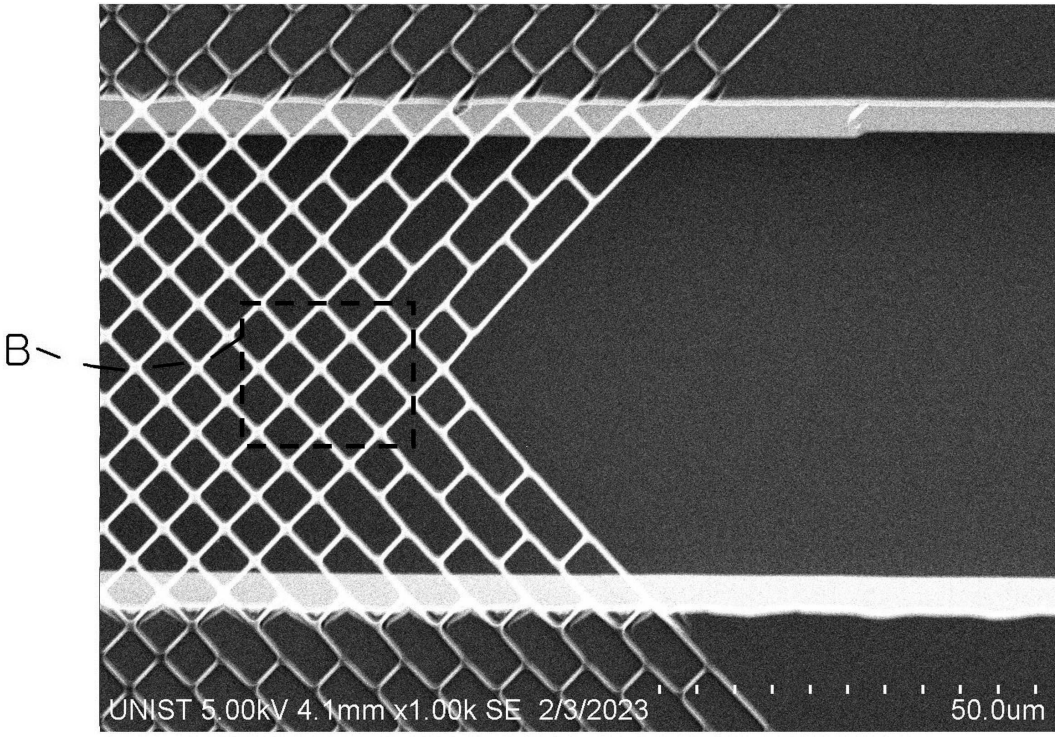
도면19


S1
절연층 적층 단계
S100
폴리머 적층 단계
S200
제1 열분해 단계
S310
홈 형성 단계
S400
제2 열분해 단계
S320
금속 코팅 단계
S500

도면20

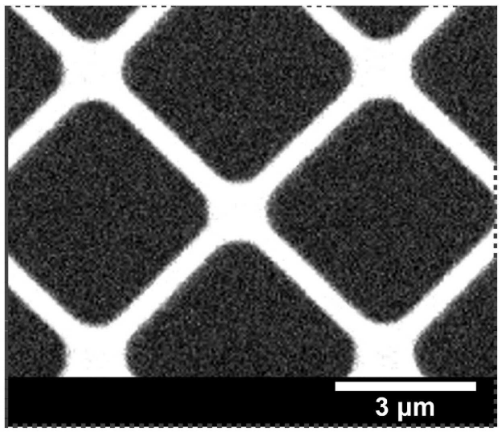

A
Top-view
100 μm

도면21



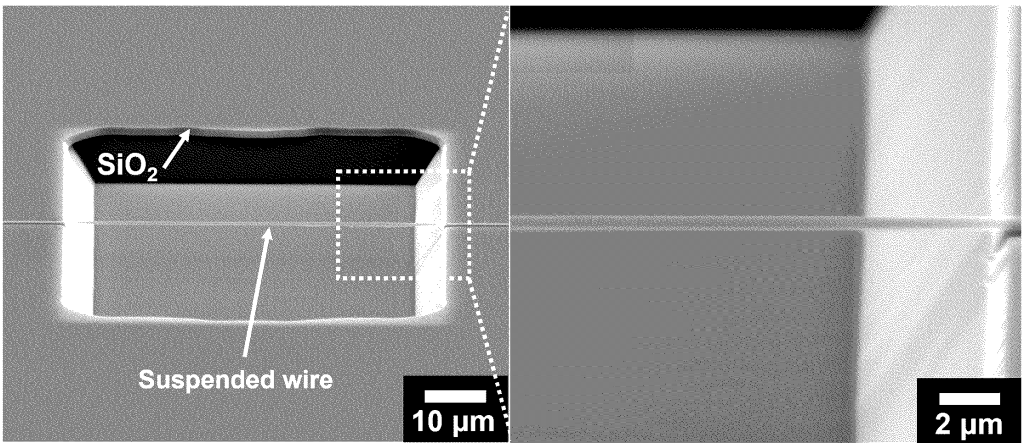
"A"

도면22

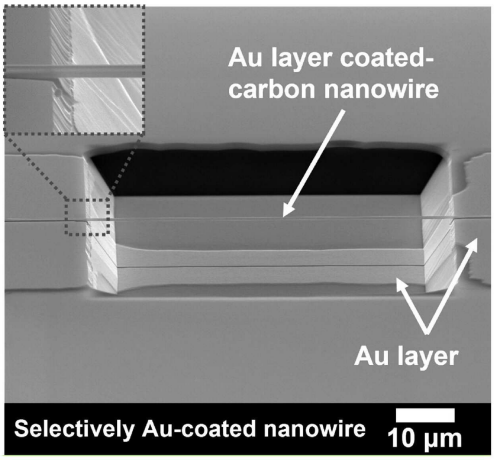


"B"

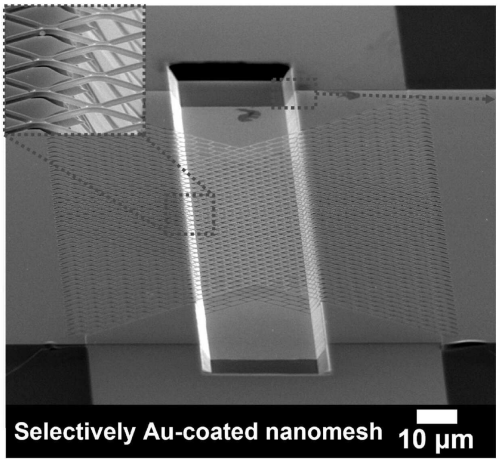
도면23



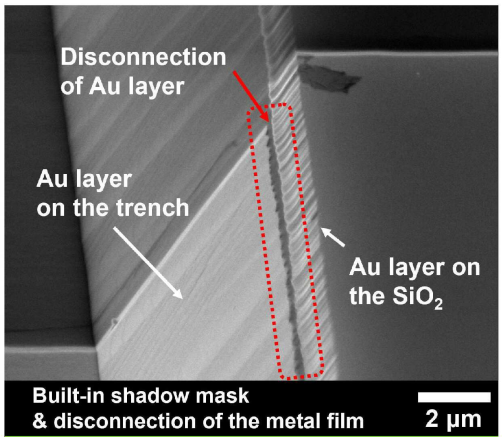
도면24



도면25



도면26


Disconnection
of Au layer
Au layer
on the trench
Au layer on
the SiO2
Built-in shadow mask
& disconnection of the metal film
2 μm