



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0130702
(43) 공개일자 2017년11월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C01B 31/02 (2006.01) B01J 6/00 (2006.01)
H01L 21/027 (2006.01) H01L 29/06 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C01B 32/05 (2017.08)
B01J 6/008 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0061202
(22) 출원일자 2016년05월19일
심사청구일자 2016년05월19일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
신흥주
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
권순용
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인태백

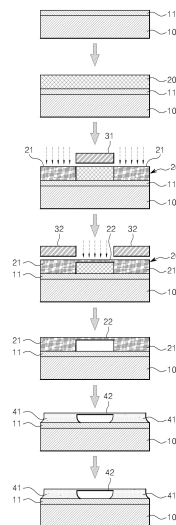
전체 청구항 수 : 총 3 항

(54) 발명의 명칭 탄소구조체 제조방법

(57) 요약

본 발명에 따른 탄소구조체 제조방법은 a)준비된 실리콘웨이퍼 상면에 절연층을 형성하는 단계와, b)상기 a)단계에 의해 형성된 절연층 상에 포토레지스트그래피로 해당 형상의 포토레지스트구조물을 형성하는 단계와, c)상기 b)단계에 의해 형성된 포토레지스트구조물을 탄소구조체로 전환되도록, 상기 포토레지스트구조물을 열분해하는 단계와, d)상기 c)단계에 의해 포토레지스트구조물에서 탄소구조체로 전환된 탄소구조체를 급속 후열처리하는 단계로, 탄소구조체의 전기 전도도가 획기적으로 향상시키는 탄소구조체 제조방법을 제공한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 21/0274 (2013.01)

H01L 29/0665 (2013.01)

C01P 2006/40 (2013.01)

(72) 발명자

임영진

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

주재환

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 10054548

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 센서산업고도화를위한첨단센서육성사업

연구과제명 공중부유형 다중 나노소자기반 초소형 유해가스 센서시스템 기술개발

기 여 율 1/1

주관기관 울산과학기술원

연구기간 2015.08.01 ~ 2019.07.31

명세서

청구범위

청구항 1

- a)준비된 실리콘웨이퍼 상면에 절연층을 형성하는 단계;
- b)상기 a)단계에 의해 형성된 절연층 상에 포토리소그래피로 해당 형상의 포토레지스트구조물을 형성하는 단계;
- c)상기 b)단계에 의해 형성된 포토레지스트구조물을 탄소구조체로 전환되도록, 상기 포토레지스트구조물을 열분해하는 단계;
- d)상기 c)단계에 의해 포토레지스트구조물에서 탄소구조체로 전환된 탄소구조체를 급속 후열처리하는 단계를 포함하는 탄소구조체 제조방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 c) 단계인 상기 포토레지스트구조물을 열분해하는 단계에서,

열분해가 실시되는 챔버 내의 분위기가 5×10^{-6} torr의 진공상태 또는 Ar, N₂ 의 가스로 충전된 가스 분위기이고, 600℃ ~ 900℃의 온도로, 1시간 동안 열분해하는 것을 특징으로 하는 탄소구조체 제조방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 d)단계인 탄소구조체를 급속 후열처리하는 단계에서,

급속 후열처리가 실시되는 챔버 내의 분위기가 5×10^{-6} torr의 진공상태 또는 Ar, N₂ 의 가스로 충전된 가스 분위기이고, 1000℃ 이상의 온도로, 5분간 급속 열처리하는 것을 특징으로 하는 탄소구조체 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 탄소구조체 제조방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 열분해 탄소의 단점인 상대적으로 낮은 전기 전도도를 개선하기 위해 열분해 탄소에 존재하고 있는 결함들을 감소시키고 탄소 결정성 향상시켜 전기전도도를 열분해 공정 전보다 최고 약 63배 정도 증가시킬 수 있도록, 급속 후열처리 공정(rapid thermal annealing process)을 적용한 탄소구조체 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0003] 일반적으로, 탄소구조체 중 그래핀(Graphene), 탄소나노튜브(CNT, Carbon Nanotube), 흑연(Graphite), 열분해 탄소(Pyrolytic carbon) 그리고, 유리질탄소(Glassy carbon) 등은 전기전도성을 가지고 있어 다양한 분야에 활용 및 연구되고 있다.
- [0004] 이들 중 그래핀과 탄소나노튜브의 경우에는 높은 전기 전도성을 보이나 부분적인 결함들로 인한 급격한 전기적 특성 감소 및 대면적 제품 개발의 한계 등의 단점이 있다.
- [0005] 이러한 이유로 근래에는 그래핀이나 탄소나노튜브보다는 낮은 전기 전도성을 가지나, 상용화에 있어 단점을 보

완할 수 있는 열분해 탄소와 유리질 탄소에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다.

- [0006] 종래의 기술을 살펴보면, 공개특허 제10-2014-0142854호(2014.12.15)에서는 a) 금속촉매를 밀링된 알루미늄(A1)계 지지체에 담지시켜 담지촉매 전구체를 준비하는 단계; b) 상기 a)단계의 담지촉매 전구체를 300 내지 700℃에서 소성하는 단계; 및 c) 상기 b)단계의 담지촉매에 불활성가스, 탄소원가스 및 환원가스의 혼합가스를 60 내지 270sccm의 유량으로 공급하여 담지촉매와 혼합가스를 300 내지 750℃에서 반응시키는 단계;를 포함하는 탄소나노구조체 제조방법을 제공하였다.
- [0007] 이러한, 탄소구조체 중 열분해 탄소와 유리질 탄소는 금과 같은 금속을 대체하기보다는 마이크로일렉트로닉스(Microelectronics)에서 전극으로 사용되는 다결정 실리콘(Poly silicon)을 대체하는데 장점이 있다.
- [0008] 하지만, 상기한 열분해 탄소와 유리질 탄소로 이루어진 마이크로 센서는 전극의 크기가 나노스케일로 축소되면서 상대적으로 낮은 전기전도도로 인해 전기적 성능이 향상되지 못하는 문제점이 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명은 일괄 공정인 카본 멤스(Carbon-MEMS)를 이용하여 높은 수율 및 값싼 비용으로 제작이 가능하고, 포토마스크의 모양, 노광의 양 그리고 열분해 공정 조건에 따라 탄소구조체의 형상 및 전기 전도도가 결정되도록 해, 다양한 형상의 탄소구조체와 용도에 따라 다른 전기 전도도를 가지는 탄소구조체의 제작이 가능하며, 카본 멤스를 이용하여 다양한 탄소 구조체를 제작한 후, 급속 후열처리 공정을 통해 탄소구조체의 전기 전도도가 획기적으로 향상시킨 탄소구조체 제조방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0012] 본 발명에 따른 탄소구조체 제조방법은 a)준비된 실리콘웨이퍼 상면에 절연층을 형성하는 단계와, b)상기 a)단계에 의해 형성된 절연층 상에 포토리소그래피로 해당 형상의 포토레지스트구조물을 형성하는 단계와, c)상기 b)단계에 의해 형성된 포토레지스트구조물을 탄소구조체로 전환되도록, 상기 포토레지스트구조물을 열분해하는 단계와, d)상기 c)단계에 의해 포토레지스트구조물에서 탄소구조체로 전환된 탄소구조체를 급속 후열처리하는 단계를 포함한다.
- [0013] 이때, 본 발명에 따른 상기 c) 단계인 상기 포토레지스트구조물을 열분해하는 단계에서는, 열분해가 실시되는 챔버 내의 분위기가 5×10^{-6} torr의 진공상태 또는 Ar, N₂ 의 가스로 충전된 가스 분위기이고, 600℃ ~ 900℃의 온도로, 1시간 동안 열분해하는 것이 바람직하다.
- [0014] 그리고, 본 발명에 따른 상기 d)단계인 탄소구조체를 급속 후열처리하는 단계에서는, 급속 후열처리가 실시되는 챔버 내의 분위기가 5×10^{-6} torr의 진공상태 또는 Ar, N₂ 의 가스로 충전된 가스 분위기이고, 1000℃ 이상의 온도로, 5분간 급속 열처리하는 것이 바람직하다.

발명의 효과

- [0016] 본 발명의 실시예에 따른 탄소구조체 제조방법으로 나타나는 효과는 다음과 같다.
- [0017] 첫째, 탄소구조체는 일괄 공정인 카본 멤스(Carbon-MEMS)를 이용하여 제작하기에 높은 수율 및 값싼 비용으로 제작이 가능하고, 포토마스크의 모양, 노광의 양 그리고 열분해 공정 조건을 조절하여, 다양한 형상의 탄소구조체와 용도에 따라 다른 전기 전도도를 가지는 탄소구조체의 제작이 가능한 효과를 가진다.
- [0018] 둘째, 카본 멤스를 이용하여 다양한 탄소 구조체를 제작한 후, 급속 후열처리 공정을 통해 전기 전도성이 획기적으로 향상된 탄소구조체를 제공하는 효과를 가진다.
- [0019] 셋째, 웨이퍼 단위로 제작되는 탄소구조체의 높은 수율과 급속 후열처리 공정을 통한 탄소구조체의 전기전도도 상승의 높은 재현성으로 인해 산업화에 바로 접목할 수 있는 효과를 가진다.

도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 공중부유형 나노와이어 형태의 탄소구조체 제조 방법을 단계적으로 간략하게 보인 예시도이다.
- 도 2는 본 발명의 다른 실시 예에 따른 바닥형 나노와이어 형태의 탄소구조체 제조 방법을 단계적으로 간략하게 보인 예시도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 열분해 단계 및 급속 후열처리 단계의 실시 상태를 보인 그래프이다.
- 도 4는 본 발명의 실시 예에 따라 제조된 탄소구조체를 보인 사진이다.
- 도 5는 본 발명의 실시 예에 따라 제조된 탄소구조체의 전기 전도도 변화 및 전압-전류의 특성을 나타낸 그래프이다.
- 도 6은 본 발명의 실시 예에 따라 제조된 탄소구조체의 라만 스펙트럼 변화를 보인 그래프이다.
- 도 7은 본 발명의 실시 예에 따라 제조된 탄소구조체의 탄소 함량 및 산소 함량을 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시 예를 상세히 설명하기로 한다. 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니 되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여, 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.
- [0023] 따라서 본 명세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 실시 예에 불과할 뿐이고, 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들은 대체할 수 있는 균등한 변형 예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.
- [0024] 본 발명은 열분해 탄소의 단점인 상대적으로 낮은 전기 전도도를 개선하기 위해 열분해 탄소에 존재하고 있는 결합들을 감소시키고 탄소 결정성 향상시켜 전기전도도를 열분해 공정 전보다 최고 약 63배 정도 증가시킬 수 있도록, 급속 후열처리 공정(rapid thermal annealing process)을 적용한 탄소구조체 제조방법에 관한 것으로, 도면을 참조하여 살펴보면 다음과 같다.
- [0026] 도 1을 참조하여 본 발명의 일 실시 예에 따른 탄소구조체(공중부유형 유리질 탄소 나노와이어) 제조방법을 살펴보면, 먼저 a)단계로 준비된 실리콘웨이퍼(10) 상면에 절연층(11)을 형성한다.
- [0027] 이때, 실시되는 절연층(11)의 형성은 열 산화(thermal oxidation)방식의 증착으로 이루어지는데, 원소기호가 Si 인 실리콘웨이퍼(10) 상면을 800~1200℃의 열을 가해 산화시켜, 실리콘웨이퍼(10) 상면에 원소기호가 SiO₂ 인 절연층(11)을 증착 형성한다.
- [0028] 여기서, 증착 형성되는 상기 절연층(11)의 두께는 0.01~1μm로 상기 실리콘웨이퍼(10)의 두께 및 센서의 측정용량에 따라 그 두께를 선택적으로 선정하여 증착 형성할 수 있고, 플라즈마 화학증착(PECVD: Plasma assisted chemical vapor deposition)방식으로 증착할 수도 있다.
- [0029] 다음은 b)단계로, 상기 a)단계에 의해 형성된 상기 실리콘웨이퍼(10)의 절연층(11) 상에 포토리소그래피로 해당 형상의 포토레지스트구조물을 형성한다.
- [0030] 상기 포토리소그래피는 감광성 수지를 도포한 기판에 포토마스크를 통해 자외선을 조사하면 포토마스크에 새겨진 패턴이 포토레지스트에 전사되고, 이를 현상하여 기판 상에 패턴을 형성하는 것으로, 상기 b)단계는 복수 개의 단계로 이루어지는데, 이를 보다 상세하게 살펴보면 다음과 같다.
- [0031] 먼저 b-1)단계로, 상기 a)단계에 의해 형성된 절연층(11) 상에 포토레지스트를 도포하여 포토레지스트층(20)을 형성한다.
- [0032] 이때, 상기 절연층(11)에 도포되는 포토레지스트 재질로는 SU-8을 이용하고, 스핀 코팅방식으로 포토레지스트를

상기 절연층(11) 상에 고르게 도포하여, 상기 절연층(11) 상에 포토레지스트층(20)을 형성한다.

- [0033] 여기서, 형성되는 포토레지스트층(20)의 두께는 5~100 μ m로 센서의 측정용량에 따라 그 두께가 선택적으로 선정되어 이루어진다.
- [0034] 다음은 b-2)단계로, 상기 b-1)단계에 의해 형성된 포토레지스트층(20) 상부에 포토레지스트구조물 중 한 쌍의 전극부 위치와 대응하는 영역이 타공된 제1포토마스크(31)를 위치한 후, 자외선을 조사하여 1차 노광을 실시한다.
- [0035] 이때, 실시되는 1차 노광은 상기 포토레지스트층(20) 중 전극부 영역에 상응하는 포토레지스트층(20)의 바닥까지 광학적 중합(Polymerization)이 이루어질 만큼 충분한 에너지로 노광을 실시하는 것이 바람직하다.
- [0036] 그리고 다음은 b-3)단계로, 상기 b-2)단계에 의해 포토레지스트구조물 중 한 쌍의 전극부 영역이 1차 노광된 포토레지스트층(20) 상부에 포토레지스트구조물 중 포토레지스트 마이크로와이어 위치와 대응하는 영역이 타공된 제2포토마스크(32)를 위치한 후, 자외선으로 2차 노광을 실시한다.
- [0037] 이때 포토레지스트구조물 중 한 쌍의 포토레지스트 전극부(21)를 연결하는 포토레지스트 마이크로와이어(22)는 마이크로 크기의 와이어 형태로 형성되기 위해 2차 노광시에는 포토레지스트 마이크로와이어 영역에 상응하는 포토레지스트층(20)의 상단 부분만 중합이 이루어지도록 조사량을 조절하는 것이 바람직하는데, 자외선 노광 에너지에 따라 상기 포토레지스트 마이크로와이어(22)의 두께가 조절할 수 있다.
- [0038] 다음은 b-4)단계로, 상기 b-2)단계 및 a-3)단계에 의해 노광된 영역을 제외한 나머지 부분의 포토레지스트층(20)을 현상 제거하여, 상기 실리콘웨이퍼(10)의 절연층(11) 상에 포토레지스트구조물인 한 쌍의 포토레지스트 전극부(21)와 상기 포토레지스트 전극부(21)들을 연결하는 포토레지스트 마이크로와이어(22)를 형성한다.
- [0039] 이때 자외선이 조사되어 광학적으로 중합된 부분을 제외한 부분을 선택적으로 에칭할 수 있는 현상액(Developer)을 사용하여 중합된 포토레지스트 재질의 공중부유형 포토레지스트 마이크로와이어(22)와 상기 포토레지스트 마이크로와이어(22)를 지지하는 한 쌍의 포토레지스트 전극부(21) 구조체가 형성된다.
- [0040] 다음은 c)단계로, 상기 b)단계에 의해 상기 절연층(11) 상에 형성된 상기 포토레지스트구조물인 한 쌍의 포토레지스트 전극부(21) 및 포토레지스트 마이크로와이어(22)를 열분해하여, 탄소구조체인 한 쌍의 탄소전극부(41)와 탄소나노와이어(42)로 변환한다.
- [0041] 이때, 중합된 포토레지스트 재질의 상기 한 쌍의 포토레지스트 전극부(21) 및 포토레지스트 마이크로와이어(22) 구조체를 챔버에 수용시킨 후, 도 3의 (a)와 같이 상기 챔버의 내부 분위기가 5×10^{-6} torr의 진공 또는 Ar, N₂의 가스 환경에서 600℃ ~ 900℃의 온도로 1시간 동안 가열하는 폴리머 열분해 공정을 실시한다.
- [0042] 상기한 폴리머 열분해 공정을 통한 상기 포토레지스트구조물인 한 쌍의 포토레지스트 전극부(21) 및 포토레지스트 마이크로와이어(22)는 부피감소로 인해 형상변화가 발생하는데, 상기한 폴리머 열분해 과정에서 상기 한 쌍의 포토레지스트 전극부(21) 및 포토레지스트 마이크로와이어(22) 구조체는 열분해 전, 부피에 비해 부피가 최고 90% 정도 감소하게 된다.
- [0043] 여기서, 상기한 열분해 공정은 시간, 온도, 가열 속도, 냉각 속도, 주입 가스 등의 조건에 따라 상기 한 쌍의 포토레지스트 전극부(21) 및 포토레지스트 마이크로와이어(22) 구조체의 부피 감소를 조절할 수 있다.
- [0044] 따라서, 폴리머 마이크로 제작용 포토마스크의 크기 및 노광 에너지조절 및 폴리머 열분해 조건을 조절하여 최종 탄소나노와이어의 형상을 조절할 수 있다.
- [0045] 다음은 d)단계로, 상기 c)단계에 의해 포토레지스트구조물인 한 쌍의 포토레지스트 전극부(21) 및 포토레지스트 마이크로와이어(22)에서 탄소구조체로 전환된 탄소구조체인 한 쌍의 탄소전극부(41)와 탄소나노와이어(42)를 급속 후열처리 한다.
- [0046] 이때, 탄소구조체는 챔버에 수용되어, 도 3의 (b)와 같이 상기 챔버의 내부 분위기가 5×10^{-6} torr의 진공 또는 Ar, N₂의 가스 환경에서 1000℃ 이상의 온도로 5분간 열처리한 후 자연냉각하는 급속 후열처리 공정을 실시한다.
- [0047] 상기한 과정으로 완성된 공중부유형 유리질 탄소 나노와이어는 도 4의 (a,b,c)를 통해 확인 가능하다.

- [0049] 그리고, 본 발명의 다른 실시예에 따른 탄소구조체(바닥형 유리질 탄소 나노와이어) 제조방법을 도 2를 참조하여 살펴보면, 먼저 a)단계로, 준비된 실리콘웨이퍼(10) 상면에 절연층(11)을 형성한다.
- [0050] 이때, 실시되는 절연층(11)의 형성은 열 산화(thermal oxidation)방식의 증착으로 이루어지는데, 원소기호가 Si 인 실리콘웨이퍼(10) 상면을 800~1200℃의 열을 가해 산화시켜, 실리콘웨이퍼(10) 상면에 원소기호가 SiO₂ 인 절연층(11)을 증착 형성한다.
- [0051] 여기서, 증착 형성되는 상기 절연층(11)의 두께는 0.01~1μm로 상기 실리콘웨이퍼(10)의 두께 및 센서의 측정용량에 따라 그 두께를 선택적으로 선정하여 증착 형성할 수 있고, PECVD (Plasma assisted chemical vapor deposition)으로 증착할 수도 있다.
- [0052] 다음은 b)단계로, 상기 a)단계에 의해 형성된 상기 실리콘웨이퍼(10)의 절연층(11) 상에 포토리소그래피로 해당 형상의 포토레지스트구조물을 형성한다.
- [0053] 상기 포토리소그래피는 감광성 수지를 도포한 기판에 포토마스크를 통해 자외선을 조사하면 포토마스크에 새겨진 패턴이 포토레지스트에 전사되고, 이를 현상하여 기판 상에 패턴을 형성하는 것으로, 상기 b)단계는 복수 개의 단계로 이루어지는데, 이를 보다 상세하게 살펴보면 다음과 같다.
- [0054] 먼저 b-1)단계로, 상기 a)단계에 의해 형성된 절연층(11) 상에 포토레지스트를 도포하여 포토레지스트층(20)을 형성한다.
- [0055] 이때, 상기 절연층(11)에 도포되는 포토레지스트 재질로는 SU-8을 이용하고, 스핀 코팅방식으로 포토레지스트를 상기 절연층(11) 상에 고르게 도포하여, 상기 절연층(11) 상에 포토레지스트층(20)을 형성한다.
- [0056] 여기서, 형성되는 포토레지스트층(20)의 두께는 0.1~100μm로 센서의 측정용량에 따라 그 두께가 선택적으로 선정되어 이루어진다.
- [0057] 다음은 b-2)단계로, 상기 b-1)단계에 의해 형성된 포토레지스트층(20) 상부에 포토레지스트구조물인 한 쌍의 전극부 위치 및 포토레지스트 마이크로와이어와 대응하는 영역이 타공된 제1포토마스크(31)를 위치한 후, 자외선을 조사하여 노광을 실시한다.
- [0058] 이때, 실시되는 노광은 상기 포토레지스트층(20) 중 전극부 영역 및 와이어 영역에 상응하는 포토레지스트층(20)의 바닥까지 광학적 중합(Polymerization)이 이루어질 만큼 충분한 에너지로 노광을 실시하는 것이 바람직하다.
- [0059] 그리고 다음은 b-3)단계로, 상기 b-2)단계에 의해 노광된 영역을 제외한 나머지 부분의 포토레지스트층(20)을 현상 제거하여, 상기 실리콘웨이퍼(10)의 절연층(11) 상에 포토레지스트구조물인 한 쌍의 포토레지스트 전극부와 상기 포토레지스트 전극부(21)들을 사이를 바닥에서부터 연결한 바닥형 포토레지스트 마이크로와이어(22)를 형성한다.
- [0060] 이때 자외선이 조사되어 광학적으로 중합된 부분을 제외한 부분을 선택적으로 에칭할 수 있는 현상액(Developer)을 사용하여 중합된 포토레지스트 재질의 바닥형 포토레지스트 마이크로와이어(22)와 상기 포토레지스트 마이크로와이어(22)를 연결한 한 쌍의 포토레지스트 전극부(21) 구조체가 형성된다.
- [0061] 다음은 c)단계로, 상기 b)단계에 의해 상기 절연층(11) 상에 형성된 상기 포토레지스트구조물인 한 쌍의 포토레지스트 전극부(21) 및 바닥형 포토레지스트 마이크로와이어(22)를 열분해하여, 탄소구조체인 한 쌍의 탄소전극부(41)와 탄소나노와이어(42)로 변환한다.
- [0062] 이때, 중합된 포토레지스트 재질의 상기 한 쌍의 포토레지스트 전극부(21) 및 바닥형 포토레지스트 마이크로와이어(22) 구조체는 챔버에 수용되어, 도 3의 (a)와 같이 상기 챔버의 내부 분위기가 5×10^{-6} torr의 진공 또는 Ar, N₂ 의 가스 환경에서 600℃ ~ 900℃의 온도로 1시간 동안 가열하는 폴리머 열분해 공정을 실시한다.
- [0063] 상기한 폴리머 열분해 공정을 통한 상기 포토레지스트구조물인 한 쌍의 포토레지스트 전극부(21) 및 바닥형 포토레지스트 마이크로와이어(22)는 부피감소로 인해 형상변화가 발생하는데, 상기한 폴리머 열분해 과정에서 상기 한 쌍의 포토레지스트 전극부(21) 및 바닥형 포토레지스트 마이크로와이어(22) 구조체는 열분해 전, 부피에 비해 부피가 최고 90% 정도 감소하게 된다.
- [0064] 여기서, 상기한 열분해 공정은 시간, 온도, 가열 속도, 냉각 속도, 주입 가스 등의 조건에 따라 상기 한 쌍의 포토레지스트 전극부(21) 및 바닥형 포토레지스트 마이크로와이어(22) 구조체의 부피 감소를 조절할 수 있다.

- [0065] 따라서, 폴리머 마이크로 제작용 포토마스크의 크기 및 노광 에너지조절 및 폴리머 열분해 조건을 조절하여 최종 탄소나노와이어의 형상을 조절할 수 있다.
- [0066] 다음은 d)단계로, 상기 c)단계에 의해 포토레지스트구조물인 한 쌍의 포토레지스트 전극부(21) 및 바닥형 포토레지스트 마이크로와이어(22)에서 탄소구조체로 전환된 탄소구조체인 한 쌍의 탄소전극부(41)와 바닥형 탄소나노와이어(42)를 후열처리 한다.
- [0067] 이때, 탄소구조체는 챔버에 수용되어, 도 3의 (b)와 같이 상기 챔버의 내부 분위기가 5×10^{-6} torr의 진공 또는 Ar, N₂ 의 가스 환경에서 1000℃ 이상의 온도로 5분간 급속 열처리한 후, 자연냉각하는 급속 후열처리 공정을 실시한다.
- [0068] 상기한 후열처리는 챔버 내에서 열분해 과정을 포토레지스트구조물에서 탄소구조체로 전환된 한 쌍의 탄소전극부(41)와 바닥형 탄소나노와이어(42)을 바로 1000℃ 이상의 온도로 5분간 열처리한 후 자연냉각하는 급속 후열처리 공정을 실시한다.
- [0069] 상기한 과정으로 완성된 바닥형 유리질 탄소 나노와이어는 도 4의 (d,e,f)를 통해 확인 가능하다.
- [0071] 본 발명의 실시예에 따라 완성된 공중부유형 유리질 탄소 나노와이어 및 바닥형 유리질 탄소 나노와이어의 전기적 특성을 살펴보면 다음과 같다.
- [0072] 먼저, 도 5의 (a)는 열분해 공정 온도에 따른 공중부유형 유리질 탄소 나노와이어와 바닥형 유리질 탄소 나노와이어의 전기전도도 변화 및 급속 후열처리 공정 후의 변화된 전기전도도 변화를 나타낸 것이고, 도 5의 (b)는 바닥형 유리질 탄소 나노와이어의 급속 후열처리 공정 전(녹색)과 급속 후열처리 공정 후(주황색)의 전압-전류 그래프이며, 도 5의 (c)는 공중부유형 유리질 탄소 나노와이어의 급속 후열처리 공정 전 (파란색)과 후열처리 후(분홍색)의 전압-전류 그래프이다.
- [0073] 도 5와 같이 본 발명의 실시예에 따른 탄소구조체는 급속 후열처리 공정 (rapid thermal annealing process)을 통해, 전기 전도도가 향상되는 것을 확인할 수 있고, 열분해 공정 온도에 따라 급속 후열처리를 통한 전기 전도도 향상 정도에 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있으며, 열분해 공정 온도가 낮을수록 급속 후열처리 공정 후의 전기 전도도 상승폭도 증가함을 알 수 있다.
- [0074] 또한, 공중부유형 유리질 탄소 나노와이어가 바닥형 유리질 탄소 나노와이어에 비해 전기 전도도 향상 정도가 보다 높은 값을 보이는 것을 확인할 수 있다.
- [0076] 도 6의 (a)는 600℃의 온도로 열분해 공정한 탄소구조체의 급속 후열처리 공정 전(녹색)과, 후열처리 공정 후(주황색)의 라만 스펙트럼 변화를 나타낸 그래프이고, 도 6의 (b)는 700℃의 온도로 열분해 공정한 탄소구조체의 급속 후열처리 공정 전(녹색)과, 후열처리 공정 후(주황색)의 라만 스펙트럼 변화를 나타낸 그래프이며, 도 6의 (c)는 800℃의 온도로 열분해 공정한 탄소구조체의 급속 후열처리 공정 전(녹색)과, 후열처리 공정 후(주황색)의 라만 스펙트럼 변화를 나타낸 그래프이고, 도 6의 (d)는 900℃의 온도로 열분해 공정한 탄소구조체의 급속 후열처리 공정 전(녹색)과, 후열처리 공정 후(주황색)의 라만 스펙트럼 변화를 나타낸 그래프로, 도 6을 참조하면 탄소구조체의 결정특성을 라만 측정방법을 이용하여 G-band(1583 cm^{-1})와 D-band(1370 cm^{-1})를 분석하였는데, G-band는 이차원 탄소 결정 구조를 가리키며 탄소구조체의 결정성이 높을수록 분명하게 나타나는 것이다.
- [0077] 그리고, D-band는 탄소구조체의 결함을 가리키는데에 급속 후열처리 공정 전의 G-band와 D-band의 비율은 비슷하나, 급속 후열처리 공정 후에 G-band가 크게 증가함을 볼 수 있는데, 이는 이차원 탄소 결정구조가 증가된 것을 나타내며, 결정 크기가 열분해 공정 온도가 증가함에 따라 증가하는 것을 확인할 수 있다.
- [0078] 이러한 경향은 열분해 온도가 낮을수록 더욱 분명하게 나타난다.
- [0079] 도 7의 (a)는 XPS로 분석한 폴리머 열분해 공정 온도에 따른 급속 후열처리 전(녹색)과, 후(주황색)의 탄소 함량을 보인 그래프이고, 도 7의 (b)는 XPS로 분석한 폴리머 열분해 공정 온도에 따른 급속 후열처리 전(녹색)과, 후(주황색)의 산소 함량 그래프로, 도 7을 참조하면 광전자분광법(XPS, X-ray photoelectron spectroscopy)을 이용하여 탄소와 산소 함량을 측정한 결과, 열분해 공정 온도가 증가함에 따라 탄소의 함량을 증가하고, 산소의 함량은 감소함을 알 수 있는데, 열분해 된 탄소구조체에 급속 후열처리 공정을 진행하면 탄소의 함량이 추가적

으로 증가하고, 산소의 함량은 추가적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 성분변화가 급속 후열처리 고정을 통한 전기전도도 향상의 한 원인임을 알 수 있다.

[0080] 그리고, 급속 후열처리 공정 전후의 탄소와 산소 함량의 변화폭은 열분해 공정 온도가 감소함에 따라 커지는데, 이러한 성분변화가 급속 후열처리 공정을 통한 전기전도도 향상의 한 원인임을 알 수 있다.

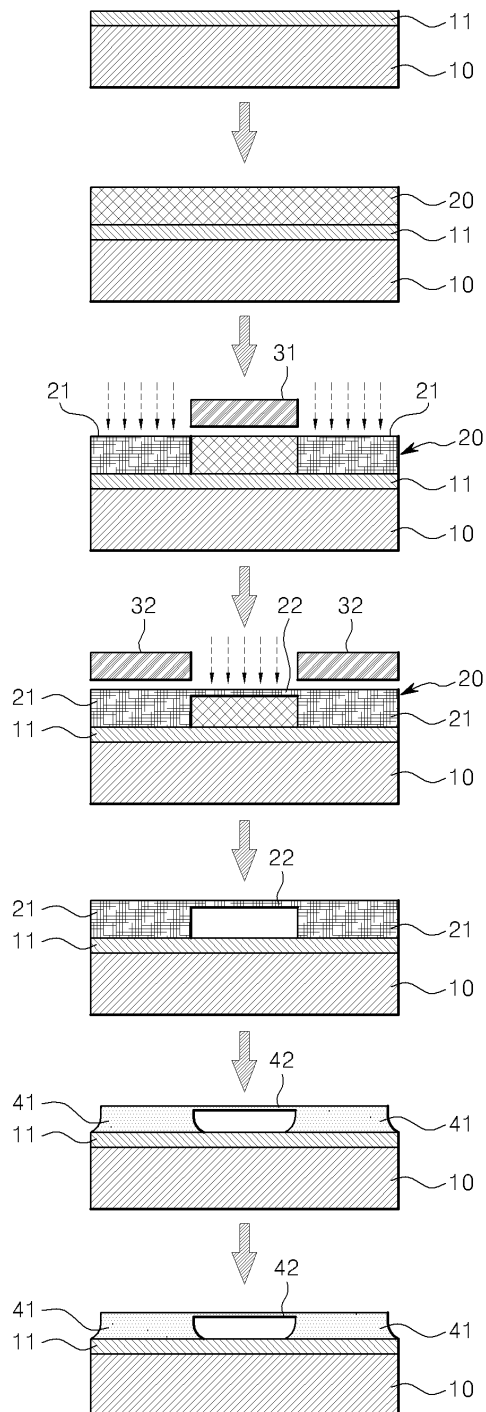
[0081] 본 발명은 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

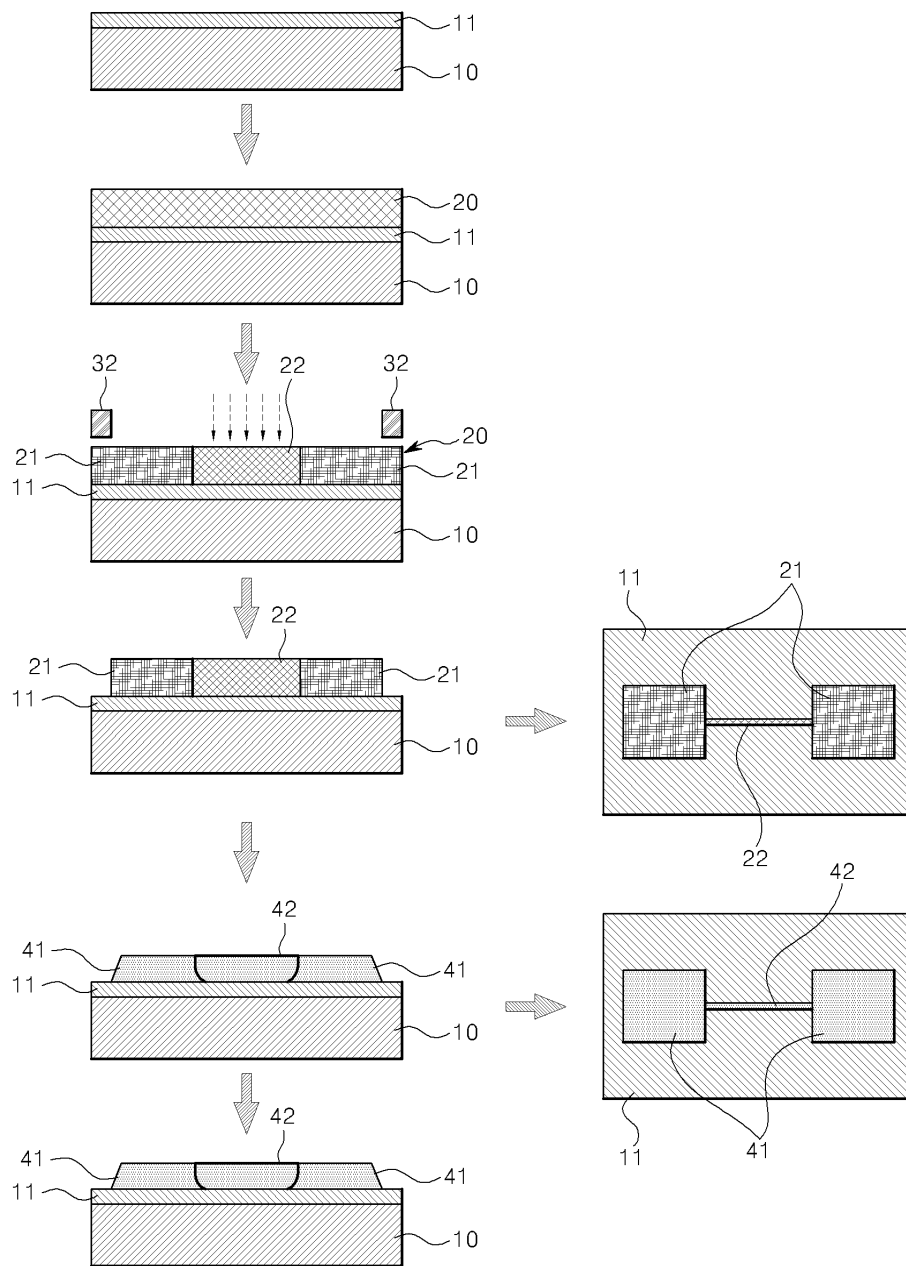
- [0083]
- 10: 실리콘웨이퍼
 - 11: 절연층
 - 20: 포토레지스트층
 - 21: 포토레지스트 전극부
 - 22: 포토레지스트 마이크로와이어
 - 31: 제1포토마스크
 - 32: 제2포토마스크
 - 41: 탄소전극부
 - 42: 탄소나노와이어

도면

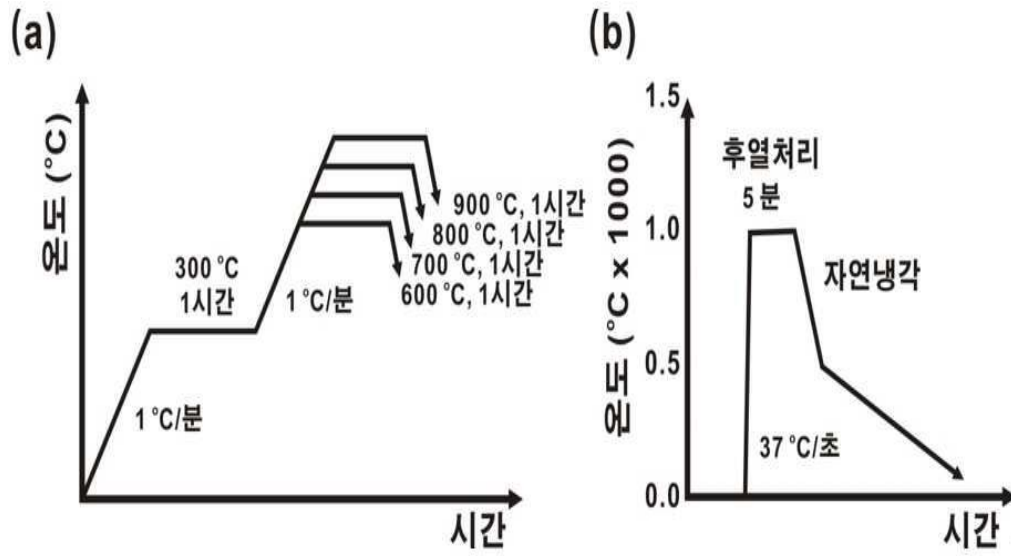
도면1



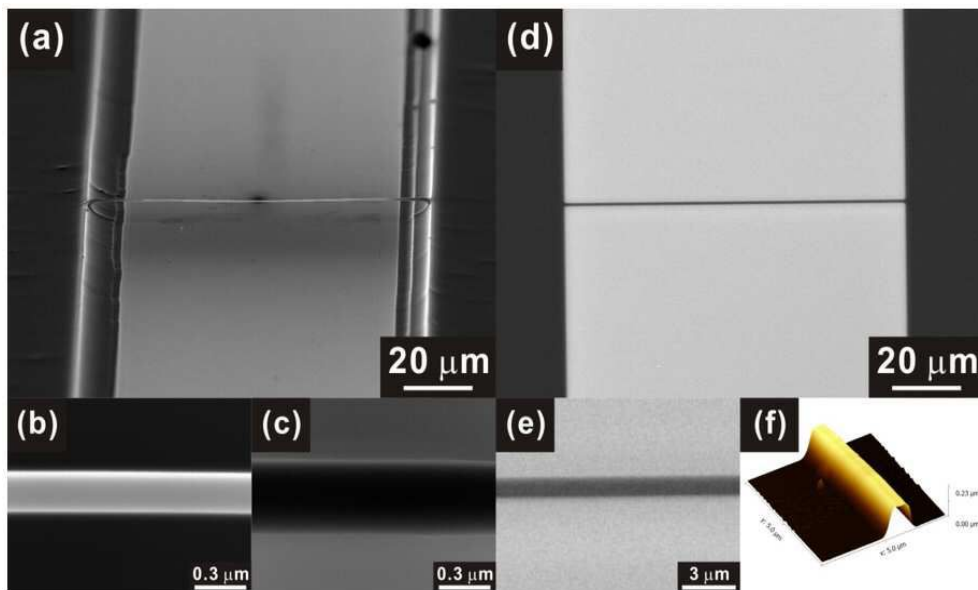
도면2



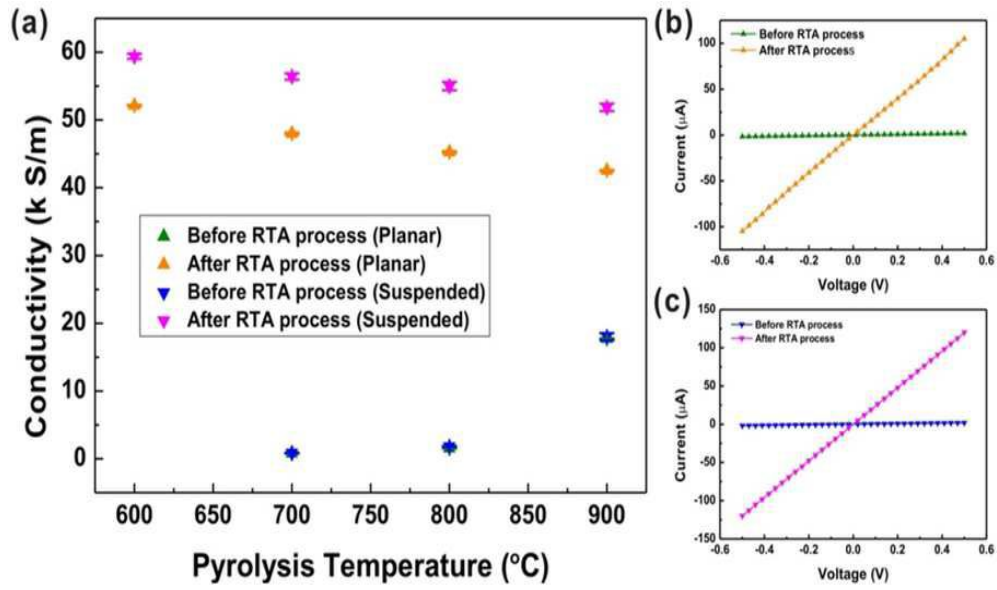
도면3



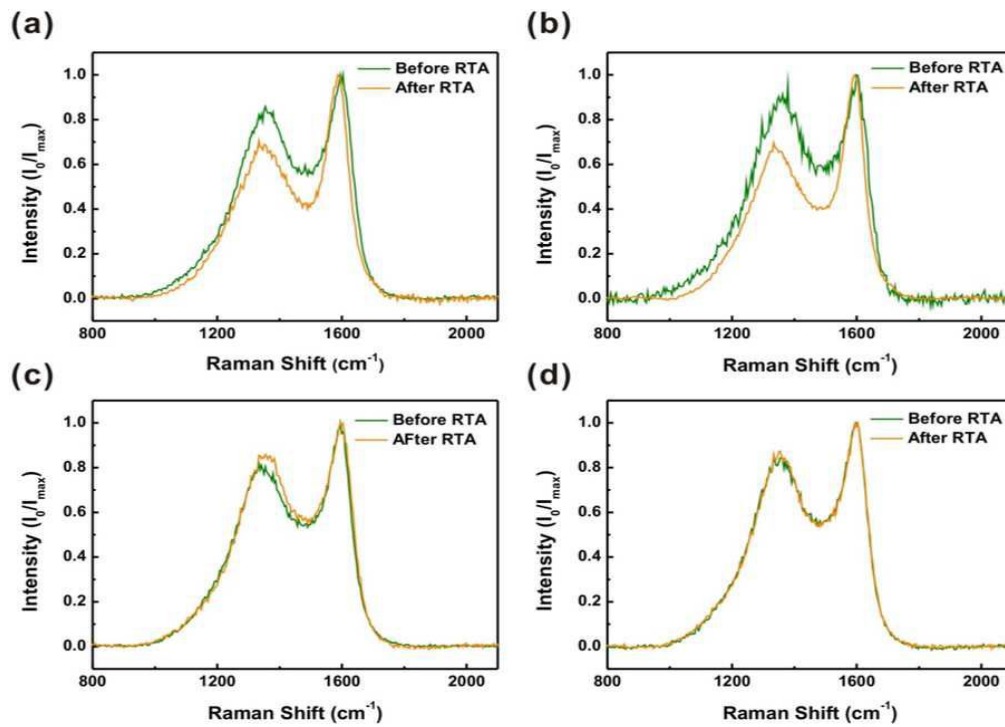
도면4



도면5



도면6



도면7

