(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0029219
(43) 공개일자 2023년03월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03F 7/004 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G03F 7/004 (2013.01)
G03F 7/0043 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0111460
(22) 출원일자 2021년08월24일
심사청구일자 2021년08월24일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
오승주
서울특별시 중구 청구로 64, 113동 104호(신당동, 청구 e편한세상)
안준혁
서울특별시 강남구 개포로 408, 501호 (개포동)
배정호
경기도 과천시 별양로 163, 701동 1201호(별양동, 래미안 센트럴스위트)
(74) 대리인
김연권

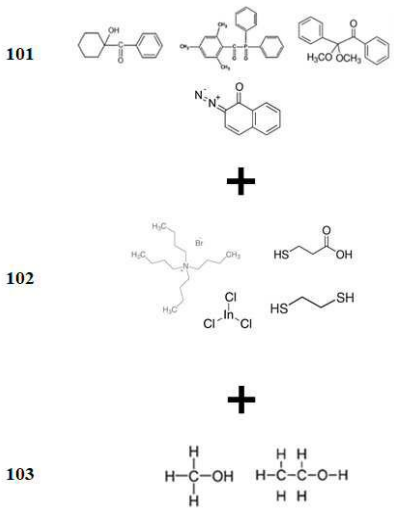
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 **기능성 포토레지스트 및 이를 이용한 나노 입자 박막의 패터닝 방법**

(57) 요 약

본 발명은 기능성 포토레지스트 및 이를 이용한 나노 입자 박막의 패터닝 방법을 개시한다. 본 발명은 기판 상에 나노 입자들을 포함하는 나노 입자 박막을 패터닝하는 기능성 포토레지스트에 있어서, 상기 기능성 포토레지스트는, 광활성 화합물(Photoactive compound: PAC); 및 상기 나노 입자의 표면에 결합하고, 상기 나노 입자의 물성을 제어하는 기능성 리간드;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H01L 21/0274 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711109752
과제번호	2019R1C1C1003319
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	(이공)우수신진연구
연구과제명	유연 적외선 아발란지 광검출기 응용을 위한 양자점 다중양자우물 개발 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

기판 상에 나노 입자들을 포함하는 나노 입자 박막을 패터닝하는 기능성 포토레지스트에 있어서,

상기 기능성 포토레지스트는,

광활성 화합물(Photoactive compound: PAC); 및

상기 나노 입자의 표면에 결합되고, 상기 나노 입자의 물성을 제어하는 기능성 리간드;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 기능성 포토레지스트.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 나노 입자의 물성은 전기적 물성일 수 있고,

상기 전기적 물성은 전도도, 밴드갭 및 자유 전하 농도 중 적어도 어느 하나인 것을 특징으로 하는 기능성 포토레지스트.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 나노 입자의 물성은 광학적 물성이고,

상기 광학적 물성은 광발광(photoluminescence) 세기, 광발광 수명(lifetime) 및 발광 양자수율(Photoluminescence Quantum Yield, PLQY) 중 적어도 어느 하나인 것을 특징으로 하는 기능성 포토레지스트.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 나노 입자는 표면 리간드를 포함하고,

상기 표면 리간드는 상기 기능성 포토레지스트에 의해 상기 기능성 리간드로 치환되는 것을 특징으로 하는 기능성 포토레지스트.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 기능성 리간드는 상기 나노 입자 간의 거리가 조절되는 것을 특징으로 하는 기능성 포토레지스트.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 기능성 리간드는 유기 리간드를 포함하고,

상기 유기 리간드는 MPA(3-mercaptopropionic acid), EDT(1,2-ethanedithiol), 티오글리콜산(Thioglycolic acid), EDA(ethylenediamine), BDT(benzenedithiol), 피리딘(pyridine), TGA(methanethiosulfonyl-galactoside), PDT(propanedithiol), 에틸렌디아민(Ethylenediamine) 및 페닐렌디아민(phenylenediamine) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 기능성 포토레지스트.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 기능성 리간드는 무기 리간드를 포함하고,

상기 무기 리간드는 황 이온(S^{2-}), 염소 이온(Cl^-), 브롬 이온(Br^-), 티오시안산 이온(SCN^-), 아이오딘 이온(I^-), 이황화물 이온(HS^-), 텔루륨 이온(Te^{2-}), 수산화 이온(OH^-), 사불화붕산 이온(BF_4^-) 및 육불화인산 이온(PF_6^-) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 기능성 포토레지스트.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 기능성 리간드의 농도는 100 mM 내지 500 mM인 것을 특징으로 하는 기능성 포토레지스트.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 나노 입자는 금속, 금속 산화물, 칼코게나이드 및 양자점 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 기능성 포토레지스트.

청구항 10

기판 상에 나노 입자를 포함하는 나노 입자 박막을 형성하는 단계;

제1항에 따른 기능성 포토레지스트를 코팅하는 단계;

상기 코팅된 기능성 포토레지스트를 노광하는 단계;

상기 노광된 기능성 포토레지스트를 현상하여 기능성 포토레지스트 패턴을 형성하는 단계; 및

상기 기능성 포토레지스트 패턴을 식각 식각 마스크로 사용하여 나노 입자 패턴을 형성하는 단계;

를 포함하고,

상기 기능성 포토레지스트는 상기 나노 입자의 표면에 결합되고, 상기 나노 입자의 물성을 제어하는 기능성 리간드를 포함하는 것을 특징으로 하는 나노 입자 박막의 패터닝 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 나노 입자의 물성은 전기적 물성일 수 있고,

상기 전기적 물성은 전도도, 밴드갭 및 자유 전하 농도 중 적어도 어느 하나인 것을 특징으로 하는 나노 입자 박막의 패터닝 방법.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 나노 입자의 물성은 광학적 물성이고,

상기 광학적 물성은 광발광(photoluminescence) 세기, 광발광 수명(lifetime) 및 발광 양자수율(Photoluminescence Quantum Yield, PLQY) 중 적어도 어느 하나인 것을 특징으로 하는 나노 입자 박막의 패터닝 방법.

청구항 13

제10항에 있어서,

상기 나노 입자는 표면 리간드를 포함하고,

상기 기능성 포토레지스트를 코팅하는 단계에서,

상기 표면 리간드는 상기 기능성 포토레지스트에 의해 상기 기능성 리간드로 치환되는 것을 특징으로 하는 나노 입자 박막의 패터닝 방법.

청구항 14

제10항에 있어서,

상기 기능성 리간드는 유기 리간드를 포함하고,

상기 유기 리간드는 MPA(3-mercaptopropionic acid), EDT(1,2-ethanedithiol), 티오글리콜산(Thioglycolic acid), EDA(ethylenediamine), BDT(benzenedithiol), 피리딘(pyridine), TGA(methanethiosulfonyl-galactoside), PDT(propanedithiol), 에틸렌디아민(Ethylenediamine) 및 페닐렌디아민(phenylenediamine) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 나노 입자 박막의 패터닝 방법.

청구항 15

제10항에 있어서,

상기 기능성 리간드는 무기 리간드를 포함하고,

상기 무기 리간드는 황 이온(S^{2-}), 염소 이온(Cl^{-}), 브롬 이온(Br^{-}), 티오시안산 이온(SCN^{-}), 아이오딘 이온(I^{-}), 이황화물 이온(HS^{-}), 텔루륨 이온($Te2^{-}$), 수산화 이온(OH^{-}), 사불화붕산 이온(BF^{4-}) 및 육불화인산 이온(PF^{6-}) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 나노 입자 박막의 패터닝 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 기능성 포토레지스트 및 이를 이용한 나노 입자 박막의 패터닝 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 본 발명은 포토레지스트 내에 기능성 리간드를 첨가하여 나노 입자 박막의 패터닝을 진행하는 동시에 나노 입자의 물성을 제어할 수 있는 기능성 포토레지스트 및 이를 이용한 나노 입자 박막의 패터닝 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 4차 산업이 발달함에 따라 웨어러블 및 IoT(Internet-of-Things) 센서, 유연 디스플레이, 자율주행을 위한 이미지 센서 등의 고성능화 및 고집적도화가 요구되고 있다.

[0004] 한편, 상기와 같은 산업에서 높은 효율 및 성능을 나타내는 소재로 양자점이 주목을 받고 있다. 양자점은 높은 부피 대 표면적비와 우수한 광학적 및 전기적 물성을 가지고 있기 때문에, 발광소자(LED), 트랜지스터, 광검출기(photodetector) 등의 소자에 활용되어 태양전지, 디스플레이, 컴퓨팅(computing) 시스템과 같은 다양한 응용분야에서 활발히 연구되고 있다.

[0005] 양자점을 이용한 고성능, 고집적 소자의 구현을 위해서는 소재의 전기적 및 광학적 물성 등을 향상시킬 수 있는 물성 제어 공정과 반도체 소재를 미세화하고 원하는 모양으로 패터닝하여 집적화하는 포토리소그라피(Photolithography) 공정 기술의 개발이 필요하다.

[0006] 하지만 현재 반도체 공정에서 소자를 제작하기 위하여 소재의 물성 제어 공정과 리소그라피 기술 공정의 두 가지 별도의 공정으로 이루어져 있기 때문에 공정 복잡성이 야기될 뿐만 아니라, 두 가지 별도의 공정은 혹독한 환경(harsh conditions)에서 이루어지기 때문에 앞선 공정에서 제작된 소재의 물성을

[0007] 실제로 양자점은 낮은 산화 및 수분 안정성으로 혹독한 환경(harsh conditions)의 여러 공정 상에서 물성이 변하는 문제점을 가지고 있고, 특히, 포토리소그래피 공정에 사용되는 감광액, 분산 용매 등의 화학 물질에 의한 나노 입자의 손상으로 물성 저하가 발생되는 문제가 있다.

[0008] 따라서, 포토리소그라피(Photolithography) 공정 상에서 나노 입자 손상을 줄이기 위한 추가적인 표면 물성 제어 및 패시베이션(passivation) 기술이 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제1724032호, "다색 양자점 패턴의 형성 방법 및 그 방법에 따라 형성된 다색 양자점 패턴, 양자점 발광소자"

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명의 실시예는 포토레지스트 내에 기능성 리간드를 포함하여 나노 입자 박막을 패터닝하는 동시에 나노 입자의 리간드 치환 또는 표면 화학을 제어하여 나노 입자의 물성을 제어할 수 있는 기능성 포토레지스트 및 이를 이용한 나노 입자 박막의 패터닝 방법을 제공하고자 한다.

[0012] 본 발명의 실시예는 포토레지스트 내에 기능성 리간드를 포함하여 나노 입자 박막을 패터닝하는 동시에 나노 입자의 표면을 패시베이션(passivation)할 수 있는 기능성 포토레지스트 및 이를 이용한 나노 입자 박막의 패터닝 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0014] 본 발명의 실시예에 따른 기능성 포토레지스트는 기판 상에 나노 입자들을 포함하는 나노 입자 박막을 패터닝하는 기능성 포토레지스트에 있어서, 상기 기능성 포토레지스트는, 광활성 화합물(Photoactive compound: PAC); 및 상기 나노 입자의 표면에 결합되고, 상기 나노 입자의 물성을 제어하는 기능성 리간드;를 포함한다.

[0015] 상기 나노 입자의 물성은 나노 입자의 물성은 전기적 물성일 수 있고, 상기 전기적 물성은 전도도, 밴드갭 및 자유 전하 농도 중 적어도 어느 하나일 수 있다.

[0016] 상기 나노 입자의 물성은 광학적 물성이고, 상기 광학적 물성은 광발광(photoluminescence) 세기, 광발광 수명(lifetime) 및 발광 양자수율(Photoluminescence Quantum Yield, PLQY) 중 적어도 어느 하나일 수 있다.

[0017] 상기 나노 입자는 표면 리간드를 포함하고, 상기 표면 리간드는 상기 기능성 포토레지스트에 의해 상기 기능성 리간드로 치환될 수 있다.

[0018] 상기 기능성 리간드는 상기 나노 입자 간의 거리가 조절될 수 있다.

[0019] 상기 기능성 리간드는 유기 리간드를 포함하고, 상기 유기 리간드는 MPA(3-mercaptopropionic acid), EDT(1,2-ethanedithiol), 티오글리콜산(Thioglycolic acid), EDA(ethylenediamine), BDT(benzenedithiol), 피리딘(pyridine), TGA(methanethiosulfonyl-galactoside), PDT(propanedithiol), 에틸렌디아민(Ethylenediamine) 및 페닐렌디아민(phenylenediamine) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0020] 상기 기능성 리간드는 무기 리간드를 포함하고, 상기 무기 리간드는 황 이온(S^{2-}), 염소 이온(Cl^-), 브롬 이온(Br^-), 티오시안산 이온(SCN^-), 아이오딘 이온(I^-), 이황화물 이온(HS^-), 텔루륨 이온(Te^{2-}), 수산화 이온(OH^-), 사불화붕산 이온(BF_4^-) 및 육불화인산 이온(PF_6^-) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0021] 상기 기능성 리간드의 농도는 100 mM 내지 500 mM일 수 있다.

[0022] 상기 나노 입자는 금속, 금속 산화물, 칼코게나이드 및 양자점 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0023] 본 발명의 실시예에 따른 나노 입자 박막의 패터닝 방법은 기판 상에 나노 입자를 포함하는 나노 입자 박막을 형성하는 단계; 제1항에 따른 기능성 포토레지스트를 코팅하는 단계; 상기 코팅된 기능성 포토레지스트를 노광하는 단계; 상기 노광된 기능성 포토레지스트를 현상하여 기능성 포토레지스트 패턴을 형성하는 단계; 및 상기 기능성 포토레지스트 패턴을 식각 식각 마스크로 사용하여 나노 입자 패턴을 형성하는 단계; 를 포함하고, 상기 기능성 포토레지스트는 상기 나노 입자의 표면에 결합되고, 상기 나노 입자의 물성을 제어하는 기능성 리간드를 포함한다.

[0024] 상기 나노 입자의 물성은 전기적 물성일 수 있고, 상기 전기적 물성은 전도도, 밴드갭 및 자유 전하 농도 중 적어도 어느 하나일 수 있다.

[0025] 상기 나노 입자의 물성은 광학적 물성이고, 상기 광학적 물성은 광발광(photoluminescence) 세기, 광발광 수명(lifetime) 및 발광 양자수율(Photoluminescence Quantum Yield, PLQY) 중 적어도 어느 하나일 수 있다.

[0026] 상기 나노 입자는 표면 리간드를 포함하고, 상기 기능성 포토레지스트를 코팅하는 단계에서, 상기 표면 리간드는 상기 기능성 포토레지스트에 의해 상기 기능성 리간드로 치환될 수 있다.

[0027] 상기 기능성 리간드는 유기 리간드를 포함하고, 상기 유기 리간드는 MPA(3-mercaptopropionic acid), EDT(1,2-ethanedithiol), 티오글리콜산(Thioglycolic acid), EDA(ethylenediamine), BDT(benzenedithiol), 피리딘(pyridine), TGA(methanethiosulfonyl-galactoside), PDT(propanedithiol), 에틸렌디아민(Ethylenediamine) 및 페닐렌디아민(phenylenediamine) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0028] 상기 기능성 리간드는 무기 리간드를 포함하고, 상기 무기 리간드는 황 이온(S^{2-}), 염소 이온(Cl^-), 브롬 이온(Br^-), 티오시안산 이온(SCN^-), 아이오딘 이온(I^-), 이황화물 이온(HS^-), 텔루륨 이온($Te2^-$), 수산화 이온(OH^-), 사불화붕산 이온(BF^{4-}) 및 육불화인산 이온(PF^{6-}) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0030] 본 발명의 실시예에 따르면, 포토레지스트 내에 기능성 리간드를 포함하여 나노 입자 박막을 패터닝하는 동시에 나노 입자의 리간드 치환 또는 표면 화학을 제어하여 나노 입자의 물성을 제어할 수 있는 기능성 포토레지스트 및 이를 이용한 나노 입자 박막의 패터닝 방법을 제공할 수 있다.

[0031] 본 발명의 실시예에 따르면, 포토레지스트 내에 기능성 리간드를 포함하여 나노 입자 박막을 패터닝하는 동시에 나노 입자의 표면을 패시베이션(passivation)할 수 있는 기능성 포토레지스트 및 이를 이용한 나노 입자 박막의 패터닝 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0033] 도 1는 본 발명의 실시예에 따른 기능성 포토레지스트에 포함되는 광활성 화합물, 기능성 리간드 및 분산 용매의 예시 물질을 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 나노 입자 박막의 패터닝 방법의 기능성 포토레지스트를 코팅하는 단계에서, 표면 리간드가 기능성 포토레지스트에 의해 기능성 리간드로 치환되는 과정을 도시한 개략도이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 나노 입자 박막의 패터닝 방법을 도시한 단면도이다.

도 3은 실시예 1-2에 따른 기능성 포토레지스트를 사용하여 패터닝된 나노입자 패턴의 주사전자현미경(SEM) 측정 결과를 도시한 이미지이다.

도 4는 실시예 1-2에 따른 기능성 포토레지스트 코팅 전(As-synthesized G.C.) 및 후(MRAP+PR-treated G.C.)의 푸리에 변환 적외선 분광법(Fourier transform infrared spectroscopy) 스펙트럼을 도시한 그래프이다.

도 5는 비교예에 따른 포토레지스트 코팅 전 및 후의 PL 강도를 도시한 그래프이고, 도 6은 실시예 1-1에 따른 기능성 포토레지스트 코팅 전 및 후의 PL 강도를 도시한 그래프이며, 도 7은 실시예 1-2에 따른 기능성 포토레지스트 코팅 전 및 후의 PL 강도를 도시한 그래프이고, 도 8은 실시예 1-3에 따른 기능성 포코레지스트 코팅 전 및 후의 PL 강도를 도시한 그래프이다.

도 9는 실시예 2-1에 따른 스트레인 게이지 센서(Strain gauge sensors)의 전류-전압 특성을 도시한 그래프이고, 도 10은 저항 변화 사이클(Resistance change cycle)을 도시한 그래프이다.

도 11은 실시예 2-2에 따른 온도 센서(Temperature sensors)의 전류-전압 특성을 도시한 그래프이고, 도 12는 저항 변화 사이클(Resistance change cycle)을 도시한 그래프이다.

도 13은 실시예 3-1에 따른 N형 트랜지스터(N-type transistor)를 도시한 개략도이고, 도 14는 실시예 3-1에 따른 N형 트랜지스터(N-type transistor)의 전기적 특성을 도시한 그래프이다.

도 15는 실시예 3-2에 따른 광검출기(Vis, NIR photodetector)의 가시광 하에서의 전류-전압 특성을 도시한 그래프이고, 도 16은 극적외선 하에서의 전류-전압 특성을 도시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0034] 이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명하지만, 본 발명이 실시예에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.

[0035] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 단계는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[0036] 본 명세서에서 사용되는 "실시예", "예", "측면", "예시" 등은 기술된 임의의 양상(aspect) 또는 설계가 다른 양상 또는 설계들보다 양호하다거나, 이점이 있는 것으로 해석되어야 하는 것은 아니다.

[0037] 또한, '또는'이라는 용어는 배타적 논리합 'exclusive or'이기보다는 포함적인 논리합 'inclusive or'를 의미한다. 즉, 달리 언급되지 않는 한 또는 문맥으로부터 명확하지 않는 한, 'x가 a 또는 b를 이용한다'라는 표현은 포함적인 자연 순열들(natural inclusive permutations) 중 어느 하나를 의미한다.

[0038] 또한, 본 명세서 및 청구항들에서 사용되는 단수 표현("a" 또는 "an")은, 달리 언급하지 않는 한 또는 단수 형태에 관한 것이라고 문맥으로부터 명확하지 않는 한, 일반적으로 "하나 이상"을 의미하는 것으로 해석되어야 한다.

[0039] 아래 설명에서 사용되는 용어는, 연관되는 기술 분야에서 일반적이고 보편적인 것으로 선택되었으나, 기술의 발달 및/또는 변화, 관례, 기술자의 선호 등에 따라 다른 용어가 있을 수 있다. 따라서, 아래 설명에서 사용되는 용어는 기술적 사상을 한정하는 것으로 이해되어서는 안 되며, 실시예들을 설명하기 위한 예시적 용어로 이해되어야 한다.

[0040] 또한, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 설명 부분에서 상세한 그 의미

를 기재할 것이다. 따라서 아래 설명에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌 그 용어가 가지는 의미와 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 이해되어야 한다.

[0041] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.

[0042] 한편, 본 발명의 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는, 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고, 본 명세서에서 사용되는 용어(terminology)들은 본 발명의 실시예를 적절히 표현하기 위해 사용된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 본 발명이 속하는 분야의 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서, 본 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0044] 도 1는 본 발명의 실시예에 따른 기능성 포토레지스트에 포함되는 광활성 화합물, 기능성 리간드 및 분산 용매의 예시 물질을 도시한 도면이다.

[0045] 본 발명의 실시예에 따른 기능성 포토레지스트는 기판 상에 나노 입자들을 포함하는 나노 입자 박막을 패터닝하는 기능성 포토레지스트로, 기능성 포토레지스트는, 광활성 화합물(Photoactive compound: PAC; 101) 및 나노 입자의 표면에 결합되고, 나노 입자의 물성을 제어하는 기능성 리간드(102)를 포함한다.

[0046] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 기능성 포토레지스트는 포토레지스트 내에 기능성 리간드를 포함하여 나노 입자 박막을 패터닝하는 동시에 나노 입자의 리간드 치환 또는 표면 화학을 제어하여 나노 입자의 물성을 제어할 수 있고, 나노 입자의 표면을 패시베이션(passivation)할 수 있다.

[0047] 먼저, 본 발명의 실시예에 따른 기능성 포토레지스트는 광활성 화합물(Photoactive compound: PAC; 101)을 포함한다.

[0048] 광활성 화합물(Photoactive compound: PAC; 101)은 빛을 받았을 때 반응성을 가지는 화합물을 의미한다. 본 발명에서는 광활성 화합물(Photoactive compound: PAC; 101)은 특별히 제한되는 것은 아니고, 당 기술분야에서 널리 사용되는 물질을 사용할 수 있다. 바람직하게는, 광활성 화합물(Photoactive compound: PAC; 101)은 디아조나프토퀴논(diazonaphthoquinone, DNQ)계의 화합물을 포함할 수 있다.

[0049] 광활성 화합물(Photoactive compound: PAC; 101)의 함량은 특별히 제한되지 않고, 광활성 화합물(Photoactive compound: PAC; 101)의 함량이 너무 적을 경우, 자외선에 의한 노광 후 기능성 포토레지스트가 현상액에서 적절하게 현상되지 않기 때문에 광활성 화합물(Photoactive compound: PAC; 101)의 함량은 기존에 사용되는 포토레지스트에 포함되는 광활성 화합물(Photoactive compound: PAC; 101)의 함량과 유사할 수 있다.

[0050] 예를 들어, 광활성 화합물(Photoactive compound: PAC; 101)의 함량은 10ml일 수 있다.

[0051] 본 발명의 실시예에 따른 기능성 포토레지스트는 기능성 리간드(102)를 포함하고, 기능성 리간드(102)는 나노 입자의 표면에 결합되어 나노 입자의 표면의 개질(surface modification)시킴으로써, 나노 입자의 물성을 제어할 수 있다.

[0052] 보다 구체적으로, 기능성 리간드(102)는 나노 입자의 전기적 물성을 제어할 수 있고, 전기적 물성은 전도도, 밴드갭 및 자유 전하 농도 중 적어도 어느 하나일 수 있다.

[0053] 따라서, 기능성 포토레지스트에 포함되는 기능성 리간드(102)가 나노 입자의 표면에 결합(치환)되어, 금속 나노입자 박막의 경우, 금속 나노입자의 전도도가 향상될 수 있고, 반도체 나노입자 박막의 경우, 반도체 나노입자의 밴드갭이 조절될 수 있으며, 비고유 반도체(extrinsic semiconductor; 특성이 첨가되는 불순물에 의해서 특정지어지는 반도체) 형성으로 전도띠의 자유 전하 농도가 증가될 수 있다.

[0054] 예를 들어, 기능성 리간드(102)로 TBAB, TBAI 와 같은 무기 리간드가 사용되는 경우, 무기 리간드의 짧은 길이에 의해 나노 입자 간의 거리가 짧아져 전자 이동이 용이해져 전도도가 향상될 수 있다.

[0055] 또한, 기능성 리간드(102)로 $InCl_3$ 와 같은 무기 리간드가 사용되는 경우, 무기 리간드가 나노 입자 표면에 결합됨으로써, 이온 도핑될 수 있다.

[0056] 보다 구체적으로, In은 FET(field effect transitor)로 제작되는 CdSe 박막에 효과적인 n형 도펀트로 알려져 있기에, In의 도핑을 위해 열 증착 또는 CdSe 나노입자(NC) 박막에 In 나노 입자(NC)의 합성과 같은 비싸고 복잡하거나 시간이 많이 소요되는 공정이 필요하였다. 그러나, 본 발명의 실시예에 따른 기능성 포토레지스트는 인듐 할라이드(In halide) 리간드를 포함한 기능성 포토레지스트(PR)를 이용하여 패터닝함으로써, 동시에 In 도핑이 가능하다.

[0057] 따라서, CdSe 박막 위에 기능성 포토레지스트(PR)를 도포하는 간단한 공정으로 리간드 치환 및 In 도핑을 통해 FET 소자로 활용하여 높은 전하 이동도를 얻을 수 있다.

[0058] 따라서, 기능성 리간드(102)는 무기 리간드를 포함할 수 있고, 무기 리간드는 황 이온(S^{2-}), 염소 이온(Cl^-), 브롬 이온(Br^-), 티오시안산 이온(SCN^-), 아이오딘 이온(I^-), 이황화물 이온(HS^-), 텔루륨 이온(Te^{2-}), 수산화 이온(OH^-), 사불화붕산 이온(BF_4^-) 및 육불화인산 이온(PF_6^-) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 바람직하게는, 무기 리간드는 $InCl_3$, TBAC(tetrabutyl ammonium chloride), TBAI(tetrabutyl ammonium iodide) 및 TBAB(tetrabutyl ammonium bromide) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0059] 또한, 기능성 리간드(102)는 나노 입자의 광학적 물성을 제어할 수 있고, 광학적 물성은 광발광(photoluminescence) 세기, 광발광 수명(lifetime) 및 발광 양자수율(Photoluminescence Quantum Yield, PLQY) 중 적어도 어느 하나일 수 있다.

[0060] 보다 구체적으로, 나노 입자(예; 양자점)의 광학적 물성을 평가하는 지표로는 밴드갭보다 큰 에너지의 빛을 흡수하고 밴드갭에 해당하는 빛을 다시 방출하는 광발광 (photoluminescence)특성, 빛을 받은 후 광발광이 지속되는 시간을 나타내는 광발광 수명(lifetime), 흡수한 광자의 수 대비 방출하는 광자의 수를 나타내는 발광 양자수율(Photoluminescence Quantum Yield, PLQY) 등이 있다.

[0061] 예를 들어, 기능성 리간드(102)로 티올 기를 포함하는 유기 리간드가 사용되고, 티올 기는 나노 입자 표면에 강하게 결합되는 특성을 갖기 때문에, 나노 입자(예; 양자점)의 표면에 결합된 티올 기를 포함하는 유기 리간드가 나노 입자의 표면을 보호(surface passivation)하여 앞서 전술한 바와 같은 광학적 물성들이 저하되는 것을 방지할 수 있다.

[0062] 더욱이, 기능성 포토레지스트를 사용하면, 나노 입자(예; 양자점) 표면의 밴드갭 내의 트랩 사이트(trap site)로 작용하는 공공(vacancy)을 치환된 기능성 리간드가 패시베이션(passivation)시켜 주어 트랩 사이트(trap site)가 감소됨으로써, 여기자의 비발광 결합을 감소시켜, 나노 입자의 광학적 물성(예; 광발광(photoluminescence) 세기 및 광발광 수명(lifetime)) 중 적어도 어느 하나가 증가될 수 있다.

[0063] 따라서, 기능성 리간드는 유기 리간드를 포함할 수 있고, 유기 리간드는 MPA(3-mercaptopropionic acid), EDT(1,2-ethanedithiol), 티오글리콜산(Thioglycolic acid), EDA(ethylenediamine), BDT(benzenedithiol), 피리딘(pyridine), TGA(methanethiosulfonyl-galactoside), PDT(propanedithiol), 에틸렌디아민(Ethylenediamine) 및 페닐렌디아민(phenylenediamine) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 또한, 유기 리간드가 표면 리간드보다 리간드 길이가 짧은 유기 리간드가 사용되는 경우, 유기 리간드는 유기 리간드는 1개 내지 3개의 탄소 사슬을 포함할 수 있다.

[0064] 기능성 리간드(102)은 전체 조성물 대비 100 mM 내지 500 mM 포함할 수 있고, 100 mM 미만이면 나노 입자 표면에 결합 되어있는 표면 리간드가 기능성 포토레지스트 내의 기능성 리간드(102)로 효과적으로 치환되지 않는 문제가 있고, 500 mM 를 초과하면 반응시간이 빨라져 나노입자 간의 뭉침이 발생하고 결국 기판에서 나노입자 박막이 떨어져 나오는 현상이 발생하는 문제가 있다.

[0065] 실시예에 따라, 나노 입자가 표면에 표면 리간드를 포함하는 경우, 본 발명의 실시예에 따른 기능성 포토레지스트는 표면 리간드로 둘러싸인 나노 입자를 포함하는 나노 입자 박막에 코팅됨으로써, 기능성 포토레지스트에 포함된 기능성 리간드(102)가 나노 입자 표면의 표면 리간드를 치환하여, 나노 입자 표면에 기능성 리간드(102)가 부착될 수 있다.

[0066] 표면 리간드는 나노 입자 합성 시에 나노 입자의 모양 및 크기를 제어하고, 나노 입자를 둘러싸고 있어 합성 용매 내에서 나노 입자가 잉크처럼 분산될 수 있게 해주며, 표면 리간드 간 반발력으로 나노 입자가 뭉쳐 석출되는 것을 방지할 수 있다.

[0067] 나노 입자의 표면을 둘러싸고 있는 표면 리간드는 8개 내지 18개의 탄소 사슬을 포함할 수 있고, 예를 들어, 표면 리간드는 트리옥틸포스핀(trioctylphosphine), 트리옥틸포스핀 산화물(trioctylphosphine oxide), 올레산(Oleic acid) 및 올레일아민(Oleylamine) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0068] 따라서, 나노 입자는 본 발명의 실시예에 따른 기능성 포토레지스트에 포함되는 기능성 리간드(102)에 의해 나노 입자 간의 거리가 조절될 수 있다.

[0069] 본 발명의 실시예에 따른 기능성 포토레지스트는 분산 용매(103)를 더 포함할 수 있고, 분산 용매(103)는 기능성 리간드(102) 물질(특히, 고체 상태의 무기 리간드)을 용해시키고, 계면활성제 역할을 하여 기능성 포토레지스트 내에 잘 분산시킬 수 있다.

[0070] 또한, 분산 용매(103)는 하이드록실 기를 가지는 포함하는 분산 용매일 수 있고, 분산 용매는 하이드록실 기가 극성을 띄어 기능성 리간드(102)를 용해시킬 수 있다. 따라서, 기능성 포토레지스트 내에서 기능성 리간드(102)가 잘 분산되도록 하는 계면활성제 역할을 하여 기능성 리간드가 포토레지스트의 성분들과 잘 섞일 수 있다.

[0071] 예를 들어, 분산 용매(103)는 메탄올, 에탄올, 이소프로필알코올, 아밀알코올, 4-메틸-2-펜탄올, 시클로헥산올, 3,3,5-트리메틸시클로헥산올, 푸르푸릴알코올, 벤질알코올, 디아세톤 알코올, 에틸렌글리콜, 프로필렌글리콜, 디에틸렌글리콜, 디프로필렌글리콜, 트리에틸렌글리콜 및 트리프로필렌글리콜 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0072] 분산 용매(103)는 전체 조성물 대비 10% 미만으로 포함될 수 있고, 바람직하게는, 분산 용매(103)는 전체 조성물 대비 0.1% 내지 10% 으로 포함될 수 있다.

[0073] 본 발명의 실시예에 따른 기능성 포토레지스트는 분산 용매의 비율이 증가하게 되면 점도의 감소로 스핀 코팅 시, 기능성 포토레지스트의 두께가 얇아지고 기판 상에 기능성 포토레지스트 박막이 제대로 형성되지않아 포토리소그래피 공정 시에 문제가 발생될 수 있다. 또한, 노광 후 현상 과정 시 과현상되거나 현상액에 쉽게 용해되어 해상도가 감소되거나 목표하는 패턴이 형성되지 않는 문제가 있다.

[0074] 본 발명의 실시예에 따른 기능성 포토레지스트는 고분자 수지를 더 포함할 수 있다. 예를 들어, 고분자 수지는 노볼락 수지일 수 있고, 노볼락 수지는 알카리 가용성이며, 종래의 포토레지스트에서 사용되고 있는 통상의 것을 사용할 수 있다. 예를 들어, 노볼락 수지는 페놀계 화합물과 알데하이드계 화합물 또는 케톤계 화합물을 산촉매하에서 축중합 반응시켜 얻을 수 있다. 예를 들면, 노볼락 수지는 메타 크레졸 단독으로 합성된 노볼락 수지, 파라 크레졸 단독으로 합성된 노볼락 수지, 레조시놀을 사용한 노볼락 수지, 살리실릭 알데하이드와 벤질알데하이드를 반응시켜 제조한 노볼락 수지, 메타 크레졸, 파라크레졸, 레조시놀 등을 혼합 사용한 노볼락 수지 등이 모두 사용될 수 있다.

[0075] 고분자 수지의 함량은 특별히 제한되지 않고, 기존에 사용되는 포토레지스트에 포함되는 함량과 유사하게 포함될 수 있다.

[0076] 본 발명의 실시예에 따른 기능성 포토레지스트는 유기 용매를 더 포함할 수 있다. 유기 용매는 종래의 포토레지스트에서 사용되고 있는 통상의 것을 사용할 수 있다. 예를 들어, 유기 용매는 부틸 아세테이트, 아밀 아세테이트, 사이클로헥실 아세테이트, 3-메톡시부틸 아세테이트, 메틸 에틸 케톤, 메틸 아밀 케톤, 사이클로헥산온, 사이클로펜탄온, 에틸-3-에톡시 프로파노에이트, 메틸-3-에톡시 프로파노에이트, 메틸-3-메톡시 프로파노에이트, 메틸 아세토아세테이트, 에틸 아세토아세테이트, 디아세톤 알코올, 메틸 피발레이트, 에틸 피발레이트, 프로필렌 글리콜 모노메틸 에테르, 프로필렌 글리콜 모노에틸 에테르, 프로필렌 글리콜 모노메틸 에테르 프로파노에이트, 프로필렌 글리콜 모노에틸 에테르 프로파노에이트, 에틸렌 글리콜 모노메틸 에테르, 에틸렌 글리콜 모노에틸 에테르, 디에틸렌 글리콜 모노메틸 에테르, 디에틸렌 글리콜 모노에틸 에테르, 3-메틸-3-메톡시부탄올, N-메틸피롤리돈, 디메틸 설폭사이드, 감마-부티로락톤, 프로필렌 글리콜 메틸 에테르 아세테이트, 프로필렌 글리콜 에틸 에테르 아세테이트, 프로필렌 글리콜 프로필 에테르 아세테이트, 메틸 락테이트, 에틸 락테이트, 프로필 락테이트, 테트라메틸렌 설폰, 프로필렌 글리콜 디메틸 에테르, 디프로필렌 글리콜 디메틸 에테르, 에틸렌 글리콜 디메틸 에테르 또는 디에틸렌 글리콜 디메틸 에테르 및 감마 부티로락톤 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0077] 유기 용매의 함량은 특별히 제한되지 않고, 기존에 사용되는 포토레지스트에 포함되는 함량과 유사하게 포함될 수 있다.

[0078] 실시예에 따라, 본 발명의 실시예에 따른 기능성 포토레지스트는 통상적으로 사용되는 포토레지스트 내에 기능성 리간드(102) 및 분산 용매(103)를 추가하는 간단한 방법으로, 기능성 포토레지스트를 제조하여, 나노 입자 박막을 패터닝하는 동시에 나노 입자의 물성을 제어할 수 있다.

[0079] 통상적으로 사용되는 포토레지스트에 기능성 리간드(102) 및 분산 용매(103)를 추가하는 경우, 포토레지스트에 기능성 리간드(102) 및 분산 용매(103)를 포함하는 분산액(100 mM 내지 500 mM 의 기능성 리간드 포함)은 전체 조성물 대비 10 v/v% 미만으로 포함될 수 있고, 나머지는 90 v/v% 이상은 통상적으로 사용되는 포토레지스트일 수 있다.

[0080] 이하에서는, 본 발명의 실시예에 따른 나노 입자 박막의 패터닝 방법을 참고하여, 기능성 리간드를 포함하는 기능성 포토레지스트에 대해 보다 상세히 설명하기로 한다.

[0082] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 나노 입자 박막의 패터닝 방법을 도시한 단면도이다.

[0083] 본 발명의 실시예에 따른 나노 입자 박막의 패터닝 방법은 기판(110) 상에 나노 입자를 포함하는 나노 입자 박막(120)을 형성하는 단계(S110), 본 발명의 실시예에 따른 기능성 포토레지스트(130)를 코팅하는 단계(S120), 코팅된 기능성 포토레지스트(130)를 노광하는 단계(S130), 노광된 기능성 포토레지스트(130)를 현상하여 기능성 포토레지스트 패턴(131)을 형성하는 단계(S140) 및 기능성 포토레지스트 패턴(131)을 식각 마스크로 사용하여 나노 입자 패턴(140)을 형성하는 단계(S150)를 포함한다.

[0084] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 나노 입자 박막의 패터닝 방법은 포토레지스트 내에 기능성 리간드를 포함하는 기능성 포토레지스트(130)를 사용함으로써, 나노 입자 박막(120)을 패터닝하는 동시에 나노 입자의 리간드 치환 또는 표면 화학을 제어하여 나노 입자의 물성을 제어할 수 있고, 나노 입자의 표면을 패시베이션(passivation)할 수 있다.

[0085] 본 발명의 실시예에 따른 나노 입자 박막의 패터닝 방법은 기판(110) 상에 나노 입자를 포함하는 나노 입자 박막(120)을 형성하는 단계(S110)를 진행한다.

[0086] 기판(110)은 유리(glass), 석영(quartz), 실리콘(silicon) 및 플라스틱(plastic) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 일례로, 플라스틱 기판은 플렉서블(flexible) 또는 벤더블(bendable)일 수 있다.

[0087] 예를 들어, 플렉서블 기판은 폴리디메틸실록산(PDMS; Polydimethylsiloxane), 실리콘 러버(Silicon rubber), 폴리 우레탄(polyurethane, PU), 폴리이미드(polyimide, PI), 폴리에틸렌테레프탈레이트(polyethyleneterephthalate, PET), 폴리에틸렌나프탈레이트(Polyethylene Naphthalate, PEN) 및 에폭시(Epoxy), 테프론(Teflon) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0088] 기판(110)은 단순히 기판(110)으로만 형성되어 있거나, 기판(110) 상에 적어도 하나 이상의 층이 형성되어 있을 수 있다.

[0089] 나노 입자 박막(120)은 나노 입자를 포함할 수 있고, 나노 입자는 금속, 금속 산화물, 칼코게나이드 및 양자점 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0090] 나노 입자 박막(120)에 금속 나노 입자를 포함한다면, 기능성 포토레지스트(130) 사용함으로써, 은 나노 입자의 경우 긴 올레산 리간드(표면 리간드)를 짧은 유기 리간드 혹은 할라이드 계열의 무기 리간드(기능성 리간드)로 치환하여 은 나노 입자 간의 거리를 감소시켜, 전류가 은 나노 입자를 통해 쉽게 흐를 수 있어 저항이 감소하여 전도성을 증가시킬 수 있다. 따라서, 유연 기판(110) 상에 치환된 은 나노 입자 박막(120)을 형성하여 스트레인 센서 또는 온도 센서로 제작 할 수 있다.

[0091] 금속(metal) 나노 입자는 은(Ag), 구리(Cu), 알루미늄(Al), 금(Au), 백금(Pt), 니켈(Ni) 및 티타늄(Ti) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있고, 바람직하게는, 금속은 은(Ag)일 수 있다.

[0092] 나노 입자 박막(120)에 금속 산화물 나노 입자를 포함한다면, 기능성 포토레지스트(130) 사용함으로써, 금속 산화물은 산소 공공을 가지고 있는데 기능성 리간드가 나노 입자 표면과 결합하여 산소 공공을 채워 전자 캐리어 농도를 증가시켜 N형 박막 트랜지스터의 채널(n-type thin film transistor channel)로 활용될 수 있다.

[0093] 금속 산화물(metal oxide) 나노 입자는 티탄 산화물, 주석 산화물, 아연 산화물, 텅스텐 산화물, 지르코늄 산화물, 하프늄 산화물, 스트론튬 산화물, 인듐 산화물, 세륨 산화물, 이트륨 산화물, 란탄 산화물, 바나듐 산화물,

니오브 산화물, 알루미늄 산화물, 탄탈 산화물, 인듐주석산화물(ITO, Indium Tin Oxide), 인듐아연산화물(IZO, Indium Zinc Oxide), 알루미늄아연산화물(AZO, Aluminum Zinc Oxide) 및 불소산화주석(FTO, Fluorine Tin Oxide) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0094] 나노 입자 박막(120)에 칼코게나이드(chalcogenide) 나노 입자를 포함한다면, 기능성 포토레지스트(130) 사용함으로써, CdSe 나노 입자의 경우, 인듐 할라이드(In halide) 기능성 리간드를 포함한 기능성 포토레지스트(130)를 이용하여 In 도핑이 가능하다. 보다 구체적으로, CdSe 나노 입자 박막(120) 상에 기능성 포토레지스트(130)를 도포함으로써 리간드 치환 및 In 도핑을 통해 FET 소자로 활용하여 높은 전하 이동도를 얻을 수 있다. 또한 입자 간의 거리를 감소시켜 빛에 의해 여기된 전하들이 쉽게 전극 쪽으로 빠져나올 수 있어 온-전류(on-current)의 향상으로 광검출기(photodetector)의 반응도(responsivity)를 증가시킬 수 있다.

[0095] 칼코게나이드(chalcogenide) 나노 입자는 황(S), 셀레늄(Se), 텔루륨(Te) 또는 이들의 조합이 공유결합되어 형성된 네트워크 구조를 갖고, 고립 전자쌍 밴드(lone-pair band)가 가전자대의 최상부를 차지하는 고립 전자쌍 반도체일 수 있다.

[0096] 예를 들어, 칼코게나이드는 금속 설파이드, 금속 셀레나이드 및 금속 텔루라이드일 수 있고, 구체적으로, 칼코게나이드는 Cu 설파이드, Ag 설파이드, Au 설파이드, Zn 설파이드, Cd 설파이드, Hg 설파이드, Ge 설파이드, Sn 설파이드, Cu 셀레나이드, Ag 셀레나이드, Au 셀레나이드, Zn 셀레나이드, Cd 셀레나이드, Hg 셀레나이드, Ge 셀레나이드, Sn 셀레나이드, Cu 텔루라이드, Ag 텔루라이드, Au 텔루라이드, Zn 텔루라이드, Cd 텔루라이드, Hg 텔루라이드, Ge 텔루라이드 및 Sn 텔루라이드 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0097] 나노 입자 박막(120)에 양자점을 포함한다면, 기능성 포토레지스트(130) 사용함으로써, 양자점을 기능성 포토레지스트(130)를 이용해 티올기를 포함하는 유기 리간드를 치환 또는 패시베이션(passivation)시켜줌으로써 양자점 표면의 비결합 원자 및 결함(defect)을 줄여 반도체 밴드갭 내의 트랩 사이트(trap site)를 감소시킬 수 있다. 따라서, 양자점의 광발광 특성 향상 및 발광 수면(lifetime) 증가를 일으켜 기능성 포토레지스트(130)를 이용하여 양자점 패턴(140)을 구현하고 좋은 발광 효율을 보이는 색 필터 및 LED를 제작할 수 있다.

[0098] 양자점(quantum dot)은 Ⅱ-Ⅵ족, Ⅲ-Ⅴ족, Ⅰ-Ⅲ-Ⅵ족, Ⅳ-Ⅵ족 반도체 화합물 또는 이들의 혼합물일 수 있다. 양자점은 CdS, CdSe, CdTe, ZnS, ZnSe, ZnTe, ZnO, HgS, HgSe, HgTe, CdSeS, CdSeTe, CdSTe, ZnSeS, ZnSeTe, ZnSTe, HgSeS, HgSeTe, HgSTe, CdZnS, CdZnSe, CdZnTe, CdHgS, CdHgSe, CdHgTe, HgZnS, HgZnSe, CdHgZnTe, CdZnSeS, CdZnSeTe, CdZnSTe, CdHgSeS, CdHgSeTe, CdHgSTe, HgZnSeS, HgZnSeTe, HgZnSTe; GaN, GaP, GaAs, GaSb, AlN, AlP, AlAs, AlSb, InN, InP, InAs, InSb, GaNP, GaNAs, GaNSb, GaPAs, GaPSb, AlNP, AlNAs, AlNSb, AlPAs, AlPSb, InNP, InNAs, InNSb, InPAs, InPSb, GaAlNP, GaAlNAs, GaAlNSb, GaAlPAs, GaAlPSb, GaInNP, GaInNAs, GaInNSb, GaInPAs, GaInPSb, InAlNP, InAlNAs, InAlNSb, InAlPAs, InAlPSb; SnS, SnSe, SnTe, PbS, PbSe, PbTe, SnSeS, SnSeTe, SnSTe, PbSeS, PbSeTe, PbSTe, SnPbS, SnPbSe, SnPbTe, SnPbSSe, SnPbSeTe, SnPbSTe; Si, Ge, SiC 및 SiGe 중 적어도 하나를 포함하나, 이에 제한되지 않는다. 경우에 따라, 나열한 양자점들 중 2 이상의 혼합물을 사용할 수 있다. 예를 들어, 2 종 이상의 양자점이 단순 혼합상태로 존재하는 양자점 혼합물, 혹은, 코어-쉘(core-shell) 구조를 가진 결정 또는 그래디언트(gradient) 구조를 가진 결정과 같이 동일 결정 내에 2 종 이상의 화합물 결정이 부분적으로 나뉘어져 존재하는 혼합결정, 또는 2 종 이상의 나노결정 화합물을 사용할 수도 있다. 예를 들어, 양자점은 홀이 외부로 잘 빠져나갈 수 있도록 하는 코어 구조를 가지거나, 코어 및 코어를 덮는 쉘을 포함한 코어/쉘 구조를 가질 수 있다.

[0099] 코어는 Ⅱ-Ⅵ족, Ⅲ-Ⅴ족, Ⅰ-Ⅲ-Ⅵ족, Ⅳ-Ⅵ족 반도체 화합물 또는 이들의 혼합물일 수 있으며, 바람직하게는, CdS, CdSe, CdTe, ZnS, ZnSe, ZnTe, HgS, HgSe, HgTe, GaN, GaP, GaAs, InP, InAs, $CuInS_2$, $CuInSe_2$, $CuInTe_2$, PbS, PbSe 및 PbTe 중 적어도 하나를 포함하나, 이에 제한되지 않는다. 쉘은 CdSe, ZnSe, ZnS, ZnTe, CdTe, PbS, TiO, SrSe 및 HgSe 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.

[0100] 실시예에 따라, 나노 입자는 표면에 표면 리간드를 포함할 수 있고, 표면 리간드는 나노 입자 합성 시에 나노 입자의 모양 및 크기를 제어하고, 나노 입자를 둘러싸고 있어 합성 용매 내에서 나노 입자가 잉크처럼 분산될 수 있게 해주며, 표면 리간드 간 반발력으로 나노 입자가 뭉쳐 석출되는 것을 방지할 수 있다.

[0101] 나노 입자의 표면을 둘러싸고 있는 표면 리간드는 8개 내지 18개의 탄소 사슬을 포함할 수 있고, 예를 들어, 표면 리간드는 트리옥틸포스핀(trioctylphosphine), 트리옥틸포스핀 산화물(trioctylphosphine oxide), 올레산(Oleic acid) 및 올레일아민(Oleylamine) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0102] 나노 입자 박막(120)은 스핀 코팅, 유연 코팅, 롤코팅, 슬릿 앤 스핀 코팅, 슬릿 코팅, 스프레이 코팅, 롤 투

롤, 바 코팅, 딥 코팅, 캐스팅, 다이 코팅, 블레이드 코팅, 그라비아 코팅, 닥터 코팅, 진공 증착법(vacuum deposition), 화학 기상 증착법(chemical vapor deposition), 물리 기상 증착법(physical vapor deposition), 원자층 증착법(atomic layer deposition), 유기금속 화학 증착법(Metal Organic Chemical Vapor Deposition), 플라즈마 화학 증착법(Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition), 분자선 성장법(Molecular Beam Epitaxy), 수소화물 기상 성장법(Hydride Vapor Phase Epitaxy) 및 스퍼터링(Sputtering) 중 적어도 어느 하나의 방법으로 형성될 수 있다.

[0103] 본 발명의 실시예에 따른 나노 입자 박막의 패터닝 방법은 본 발명의 실시예에 따른 기능성 포토레지스트(130)를 코팅하는 단계(S120)를 진행한다.

[0104] 본 발명의 실시예에 따른 기능성 포토레지스트(130)는 앞서 전술한 바와 동일한 구성요소를 포함하고 있으므로, 동일한 구성에 대한 설명은 생략하기로 한다.

[0105] 기능성 포토레지스트(130)는 기능성 리간드를 포함할 수 있고, 기능성 리간드는 나노 입자의 표면에 결합되어 나노 입자를 표면 개질(surface modification)시킴으로써, 나노 입자의 물성을 제어할 수 있다.

[0106] 기능성 포토레지스트(130)은 스핀 코팅, 유연 코팅, 롤코팅, 슬릿 앤 스핀 코팅, 슬릿 코팅, 스프레이 코팅, 롤 투 롤, 바 코팅, 딥 코팅, 캐스팅, 다이 코팅, 블레이드 코팅, 그라비아 코팅 및 닥터 코팅 중 적어도 어느 하나의 방법으로 코팅될 수 있다.

[0107] 종래에는 포토리소그라피는 포토레지스트 코팅, 노광 및 현상 과정을 거쳐 포토레지스트 패턴(131)을 형성한 다음, 식각을 통해 나노 입자 패턴(140)을 형성하는 패터닝 공정을 진행한 후, 나노 입자 패턴(140)의 물성을 제어하기 위한 리간드 치환 공정을 별도로 진행하여야 했으나, 본 발명의 실시예에 따른 나노 입자 박막의 패터닝 방법은 기능성 포토레지스트(130) 내에 기능성 리간드를 포함함으로써, 나노 입자 박막(110) 상에 기능성 포토레지스트(130)를 코팅하는 공정을 통해 기능성 리간드가 나노 입자의 표면에 결합되어 나노 입자의 전기적/광학적 물성을 제어하는 동시에 패터닝을 진행할 수 있다.

[0108] 또한, 기능성 리간드 등으로 패시베이션 되지 않은 나노 입자는 표면에 결합되지 않은 원자가 노출되어 공기중의 산소와 반응하여 산화 되거나 수분에 노출되어 소재의 물성 저하를 일으키고, 표면에 약하게 결합되어 있는 표면 리간드나 패시베이션이 되지 않은 나노 입자는 공정 상에서 사용하는 용매들에 의해 표면의 결함이 발생하여 손상되는 문제를 가지나, 본 발명의 실시예에 따른 나노 입자 박막의 패터닝 방법은 기능성 포토레지스트(130) 내에 기능성 리간드를 포함함으로써, 나노 입자 박막(110) 상에 포토레지스트를 코팅하는 공정을 통해 가능성 리간드가 나노 입자의 표면에 결합됨으로써, 나노 입자를 패시베이션(passivation)하여 나노 입자 패턴(140)의 안정성을 향상시킬 수 있다.

[0109] 따라서, 기능성 포토레지스트(130)를 사용하여 제조된 패터닝된 나노 입자 패턴(140)의 광학적, 광전기적, 전기적, 전기-기계적 물성을 패터닝 과정에서 제어함으로써, 광검출기(photodetectors; 자외선, 가시광선, 적외선 감지용), n형 트랜지스터(n-type transistor), 스트레인 센서(strain sensors)와 같은 소자의 광학적, 광전기적, 전기적, 전기-기계적 물성을 손쉽게 개선할 수 있다.

[0110] 보다 구체적으로, 기능성 리간드는 나노 입자의 전기적 물성을 제어할 수 있고, 전기적 물성은 전도도, 밴드갭 및 자유 전하 농도 중 적어도 어느 하나일 수 있다.

[0111] 따라서, 기능성 포토레지스트(130)에 포함되는 기능성 리간드가 나노 입자의 표면에 결합(치환)되어, 금속 나노입자 박막(120)의 경우, 금속 나노입자의 전도도가 향상될 수 있고, 반도체 나노입자 박막(120)의 경우, 반도체 나노입자의 밴드갭이 조절될 수 있으며, 비고유 반도체(extrinsic semiconductor; 특성이 첨가되는 불순물에 의해서 특정지어지는 반도체) 형성으로 전도띠의 자유 전하 농도가 증가될 수 있다.

[0112] 또한, 금속 나노입자 간의 거리를 조절하여 나노입자 박막(120)의 전도도를 향상시킬 수 있으며, 입자 표면의 이온 도핑을 통해 전하 농도를 높여 트랜지스터의 전하 이동도를 향상시킬 수 있다.

[0113] 나노 입자 박막(120)이 금속 나노 입자를 포함하는 경우, 금속 나노 입자 박막(120)의 전기 저항은 호핑 수송(hopping transport)에 의해 지배되고, 금속 나노 입자를 둘러싸는 리간드의 길이에 의해 정해지는 금속 나노 입자 간 거리에 비례할 수 있다.

[0114] 따라서, 기능성 리간드로 TBAB, TBAI 와 같은 무기 리간드가 사용되는 경우, 무기 리간드의 짧은 길이에 의해 나노 입자(예; 양자점) 간의 거리가 짧아져 전자 이동이 용이해져 전도도가 향상될 수 있다.

[0115] 반대로, 기능성 리간드로 길이가 긴 무기 리간드 또는 유기 리간드가 사용되는 경우, 나노 입자 사이의 거리가 멀어져 전기적으로 절연되어 절연성을 나타낼 수 있다.

[0116] 따라서, 기능성 리간드의 길이에 따라 전도도가 조절되어, 절연성을 갖는 금속 나노 패턴(140), 금속-절연체 전이 구조를 갖는 금속 나노 패턴(140) 또는 금속성을 갖는 금속 나노 패턴(140)을 제조할 수 있다.

[0117] 또한, 기능성 리간드로 $InCl_3$ 와 같은 무기 리간드가 사용되는 경우, 무기 리간드가 나노 입자 표면에 결합됨으로써, 이온 도핑될 수 있다.

[0118] 보다 구체적으로, In은 FET(field effect transitor)로 제작되는 CdSe 박막(120)에 효과적인 n형 도펀트로 알려져 있기에, In의 도핑을 위해 열 증착 또는 CdSe 나노입자(NC) 박막(120)에 In 나노 입자(NC)의 합성과 같은 비싸고 복잡하거나 시간이 많이 소요되는 공정이 필요하였다. 그러나, 본 발명의 실시예에 따른 기능성 포토레지스트(130)는 인듐 할라이드(In halide) 리간드를 포함한 기능성 포토레지스트(130)를 이용하여 패터닝함으로써, 동시에 In 도핑이 가능하다.

[0119] 따라서, CdSe 박막(120) 위에 기능성 포토레지스트(130)를 도포하는 간단한 공정으로 리간드 치환 및 In 도핑을 통해 FET 소자로 활용하여 높은 전하 이동도를 얻을 수 있다.

[0120] 따라서, 기능성 리간드는 무기 리간드를 포함할 수 있고, 무기 리간드는 황 이온(S^{2-}), 염소 이온(Cl^-), 브롬 이온(Br^-), 티오시안산 이온(SCN^-), 아이오딘 이온(I^-), 이황화물 이온(HS^-), 텔루륨 이온(Te^{2-}), 수산화 이온(OH^-), 사불화붕산 이온(BF_4^-) 및 육불화인산 이온(PF_6^-) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 바람직하게는, 무기 리간드는 $InCl_3$, TBAC(tetrabutyl ammonium chloride), TBAI(tetrabutyl ammonium iodide) 및 TBAB(tetrabutyl ammonium bromide) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0121] 또한, 기능성 리간드 중 무기 리간드를 사용하는 경우, I^- 리간드로 치환을 진행하면, Cl^- , Br^- 에 비해 상대적으로 입자간 거리가 늘어나며 이에 따른 나노입자 박막(120) 내의 나노 크랙(crack)과 포어(pore)의 양이 증가되어 저항률(resistivity) 증가되므로, 이에 따라 저항 변화율이 증가되어 게이지(guage factor) 또한 증가되기 때문에 I^- 리간드를 사용하는 것이 바람직하다.

[0122] 또한, 기능성 리간드는 나노 입자의 광학적 물성을 제어할 수 있고, 광학적 물성은 광발광(photoluminescence) 세기, 광발광 수명(lifetime) 및 발광 양자수율(Photoluminescence Quantum Yield, PLQY) 중 적어도 어느 하나일 수 있다.

[0123] 보다 구체적으로, 나노 입자(예; 양자점)의 광학적 물성을 평가하는 지표로는 밴드갭보다 큰 에너지의 빛을 흡수하고 밴드갭에 해당하는 빛을 다시 방출하는 광발광 (photoluminescence)특성, 빛을 받은 후 광발광이 지속되는 시간을 나타내는 광발광 수명(lifetime), 흡수한 광자의 수 대비 방출하는 광자의 수를 나타내는 발광 양자수율(Photoluminescence Quantum Yield, PLQY) 등이 있다.

[0124] 예를 들어, 기능성 리간드로 티올 기를 포함하는 유기 리간드가 사용되고, 티올 기는 나노 입자 표면에 강하게 결합되는 특성을 갖기 때문에, 나노 입자(예; 양자점)의 표면에 결합된 티올 기를 포함하는 유기 리간드가 나노 입자의 표면을 보호(surface passivation)하여 앞서 전술한 바와 같은 광학적 물성들이 저하되는 것을 방지할 수 있다.

[0125] 더욱이, 기능성 포토레지스트(130)를 사용하면, 나노 입자(예; 양자점) 표면의 밴드갭 내의 트랩 사이트(trap site)로 작용하는 공공(vacancy)을 치환된 기능성 리간드가 패시베이션(passivation)시켜 주어 트랩 사이트(trap site)가 감소됨으로써, 여기자의 비발광 결합을 감소시켜, 나노 입자의 광학적 물성(예; 광발광(photoluminescence) 세기 및 광발광 수명(lifetime)) 중 적어도 어느 하나가 증가될 수 있다.

[0126] 기능성 리간드는 유기 리간드를 포함하고, 유기 리간드는 MPA(3-mercaptopropionic acid), EDT(1,2-ethanedithiol), 티오글리콜산(Thioglycolic acid), EDA(ethylenediamine), BDT(benzenedithiol), 피리딘(pyridine), TGA(methanethiosulfonyl-galactoside), PDT(propanedithiol), 에틸렌디아민(Ethylenediamine) 및 페닐렌디아민(phenylenediamine) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0127] 본 발명의 실시예에 따른 기능성 포토레지스트(130)를 코팅하는 단계(S120)는 기능성 포토레지스트(130)를 코팅

한 다음, 가열 건조(프리베이크), 또는 감압 건조 후에 가열하여 포토레지스트막을 형성할 수 있다.

[0128] 가열을 진행하면 용매 등의 휘발 성분을 휘발시킬 수 있고, 가열 온도는 상대적으로 저온인 70℃내지 100℃일 수 있다.

[0129] 예를 들어, 기능성 포토레지스트(130)는 나노 입자 박막(120) 상에 4000rpm의 속도로 30초 이상 스핀 코팅된 다음. 90℃에서 1분간 열처리될 수 있다.

[0130] 실시예에 따라, 본 발명의 실시예에 따른 기능성 포토레지스트(130)를 코팅하는 단계(S120)는 기능성 리간드와 나노 입자를 반응 시키는 단계(S121)를 더 포함할 수 있다.

[0131] 기능성 리간드와 나노 입자를 반응 시키는 단계(S121)는 나노 입자 박막(120) 상에 코팅된 기능성 포토레지스트(130)를 일정 시간 동안 두면 기능성 포토레지스트(130) 내의 기능성 리간드가 나노 입자 박막(120) 내의 나노 입자의 표면에 결합될 수 있다.

[0132] 기능성 리간드와 나노 입자를 반응 시키는 단계(S121)의 반응 시간은 1분 내지 3일 수 있고, 반응 시간이 1분 미만이면 기능성 리간드가 나노 입자의 표면에 충분히 결합(치환)되지 않는 문제가 있고, 3분을 초과하면 나노 입자 간의 뭉침이 심해지고 결국 기판(110)에서 나노입자 박막(120)이 떨어져 나오는 현상이 발생하여 소자의 성능을 감소시키는 문제가 있다.

[0133] 또한, 나노 입자 패턴(140)은 반응 시간에 따라 기능성 포토레지스트(130)에 의한 나노 입자 박막(120)의 리간드 치환 정도(양)가 조절될 수 있다.

[0134] 실시예에 따라, 나노 입자는 표면 리간드를 포함할 수 있고, 기능성 포토레지스트(130)를 코팅하는 단계(S120)에서, 표면 리간드는 기능성 포토레지스트(130)에 의해 기능성 리간드로 치환될 수 있다.

[0135] 일반적으로 나노 크기의 입자는 표면 에너지가 매우 커서 서로 결합하는 뭉침 현상이 발생하게 된다. 이러한 뭉침 현상을 방지하기 위해 8개 내지 18개의 탄소 사슬을 포함하는 사슬 길이가 긴 표면 리간드로 둘러싸이도록 나노 입자를 합성한다.

[0136] 예를 들어, 나노 입자로 은 나노 입자(Ag nanocrystal)를 사용하는 경우, 은 나노 입자(Ag nanocrystal)는 긴 탄소사슬로 이루어진 올레이트(oleate) 등과 같은 표면 리간드로 둘러싸여 있게 된다.

[0137] 그러나, 사슬 길이가 긴 표면 리간드로 둘러싸인 나노 입자는 길이가 긴 탄소 사슬에 의해 나노 입자 간 거리가 멀어 전하가 원활히 이동되지 못해 전기적 특성을 보이지 못한다는 문제점이 있다.

[0138] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 나노 입자 박막의 패터닝 방법은 나노 입자 박막(120)을 패터닝하기 위한 포토리소그라피 공정에서, 기능성 리간드를 포함하는 기능성 포토레지스트(130)를 사슬 길이가 긴 표면 리간드로 둘러싸인 나노 입자를 포함하는 나노 입자 박막(120) 상에 코팅함으로써, 나노 입자의 표면을 둘러싸고 있는 사슬 길이가 긴 표면 유기 리간드를 표면 유기 리간드보다 상대적으로 길이가 짧은 기능성 리간드(예; I- ligand)로 치환하여 나노 입자 간 거리가 가까워져 전하가 원활히 이동되어 전도성을 향상시켜 전기적 특성을 개선할 수 있다.

[0139] 즉, 본 발명의 실시예에 따른 나노 입자 박막의 패터닝 방법은 기능성 포토레지스트(130)를 사용하여 나노 입자 박막(120)의 패터닝 및 물성 제어를 동시에 수행할 수 있다.

[0140] 본 발명의 실시예에 따른 나노 입자 박막의 패터닝 방법은 코팅된 기능성 포토레지스트(130)를 노광하는 단계(S130)를 진행한다.

[0141] 기능성 포토레지스트(130)에 타겟 패턴이 새겨진 마스크(M)를 사용하여 노광하는 단계로, 타겟 패턴을 형성하기 위한 마스크(M)를 사용하여 자외선을 조사함으로써 노광을 수행할 수 있다. 이때, 기능성 포토레지스트(130)에 자외선을 조사하면, 자외선이 조사된 부위의 기능성 포토레지스트(130)의 화학 구조가 바뀌어 현상액에 쉽게 용해되지 않을 수 있다.

[0142] 본 발명의 실시예에 따른 나노 입자 박막의 패터닝 방법은 노광된 기능성 포토레지스트(130)를 현상하여 기능성 포토레지스트 패턴(131)을 형성하는 단계(S140)를 진행한다.

[0143] 노광이 수행된 기능성 포토레지스트(130)에 현상액을 이용하여 현상 공정을 진행하는 단계로, 기능성 포토레지스트(130)에 형성된 타겟 패턴을 제외한 자외선이 조사되지 않은 부위의 기능성 포토레지스트(130)을 제거하여 기능성 포토레지스트 패턴(131)을 형성할 수 있다.

[0144] 본 발명의 실시예에 따른 나노 입자 박막의 패터닝 방법은 기능성 포토레지스트 패턴(131)을 식각 마스크로 사용하여 나노 입자 패턴(140)을 형성하는 단계(S150)를 진행한다.

[0145] 기능성 포토레지스트 패턴(131)을 이용하여 식각함으로써, 기능성 리간드로 둘러싸인 나노 입자를 포함하는 나노 입자 패턴(140)이 형성될 수 있다.

[0146] 식각은 건식 식각(dry etch) 또는 습식 식각 (wet etch) 일 수 있다.

[0147] 본 발명의 실시예에 따른 나노 입자 박막의 패터닝 방법은 기능성 포토레지스트(130)를 사용하여 나노 입자 박막(120)을 패터닝하는 동시에 물성을 제어하므로, 모든 공정이 상온 및 상압에서 진행될 수 있다.

[0149] **비교예: Conventional PR**

[0150] AZ GXR-601의 포토레지스트를 사용하였다.

[0152] **실시예 1-1: Thiol ligand + PR(EDT)**

[0153] 리간드 용액은 EDT 리간드를 EtOH에 분산시켜 2M 농도로 제조한다. 포지티브 포토레지스트(Positive PR) 10ml에 제조한 리간드 용액 1ml를 가하여 빛을 차단하고 실온에서 30분간 교반시킨다. 포지티브 포토레지스트(Positive PR)의 성분은 에틸 락테이트(Ethyl lactate) 60-65 % w/w, n-부틸 아세테이트(n-Butyl acetate) 10-15 % w/w, 다이아조나프토퀴논에스테르 1-5 % w/w, 크레졸 노볼락 수지(Cresol novolak resin) 20-25 % w/w 로 구성된다.

[0155] **실시예 1-2: Thiol ligand + PR(MPA)**

[0156] 기능성 리간드로 MPA(3-mercaptopropionic acid)를 사용한 것을 제외하면 실시예 1-1과 동일하게 제조되었다.

[0158] **실시예 1-3: Thiol ligand + PR(TGA)**

[0159] 기능성 리간드로 티오글리콜산(Thioglycolic acid, TGA) 리간드를 사용한 것을 제외하면 실시예 1-1과 동일하게 제조되었다.

[0161] **실시예 2-1: 스트레인 센서(strain sensor)**

[0162] 먼저, SAM(Self Assembly Monolayer)이 형성된 PET 기판 위에 용액상의 은 나노입자(Ag NC)를 2,000rpm의 속도로 스핀 코팅한 후, TBAC 리간드를 포함하는 기능성 포토레지스트를 Ag 박막위에 도포한다. 그 후 2분간 리간드 치환 반응을 진행한 후 3,000 rpm의 속도로 스핀 코팅한 한다. 핫 플레이트에서 90 ℃로 60 초 동안 소프트 베이킹한 후. 자외선 노광기(UV exposure)를 이용해 12 초 동안 노광시켜, 금속 마스크를 통해 스트레인(strain) 센서의 작동 부를 패터닝 한다.

[0163] 노광된 기판을 AZ-MIF 300K 현상액으로 40 초간 현상하고 탈이온수로 세척하였다. 이후, 탈이온수 : 염산 : 질산 = 5 : 4.5: 0.5 의 비율의 산 식각액(etchant)를 이용해 기능성 포토레지스트가 남아있는 않은 부분의 나노 입자 박막을 식각(etching)한다. 그 후, 잔류하는 기능성 포토레지스트를 아세톤으로 제거하여(리프트 오프 공정) 스트레인 센서의 작동 부를 제작한다. 작동 부 양 끝에 은 페이스트(silver paste)를 도포하여 전극을 형성하여 스트레인 센서(strain sensor)를 제작하였다.

[0165] **실시예 2-2: 온도 센서(Temperature sensors)**

[0166] 실시예 2-1과 동일한 방법으로 온도 센서(Temperature sensors)를 제조하였다.

[0168] **실시예 3-1: N형 트랜지스터(N-type FET)**

[0169] SAM(Self Assembly Monolayer)이 형성된 SiO_2 기판 위에 용액 상의 CdSe 나노 입자(CdSe NC)를 2,000rpm의 속도로 스핀 코팅한 후, 제조한 $InCl_3$ 리간드를 포함하는 기능성 포토레지스트를 CdSe 박막위에 도포한다. 그 후 2분간 리간드 치환 반응을 진행한 후 3,000 rpm의 속도로 스핀 코팅한 한다.

[0170] 핫 플레이트에서 90 ℃로 60 초 동안 소프트 베이킹한 후, 자외선 노광기(UV exposure)를 이용해 12 초 동안 노광시켜, 금속 마스크를 통해 FET의 채널(channel) 부를 패터닝한다. 노광된 기판을 AZ-MIF 300K 현상액으로 40 초간 현상하고 탈이온수로 세척하였다. 그 후, 산 식각액(etchant)을 이용해 기능성 포토레지스트가 남아있는 않은 부분의 나노입자 박막을 식각(etching)한다.

[0171] 이후, 잔류하는 기능성 포토레지스트를 아세톤으로 제거하여(리프트 오프 공정) FET 채널(channel)을 제작한다. 작동 부 양 끝에 열증착법을 이용해 Al 전극을 60nm 로 증착하여 N형 트랜지스터(N-type FET)를 제작하였다.

[0173] **실시예 3-2: 광검출기(Vis, NIR photodetector)**

[0174] 열 증착법을 이용해 제작한 Au 전극이 형성되어 있는 SiO_2 기판 또는 유리 기판 위에 용액상의 PbS 나노입자(PbS NC)를 2,000rpm의 속도로 스핀 코팅한 후, 제조한 $InCl_3$ 리간드를 포함하는 기능성 포토레지스트를 PbS 박막위에 도포한다. 그 후 2분간 리간드 치환 반응을 진행한 후 3,000 rpm의 속도로 스핀 코팅한다.

[0175] 핫 플레이트에서 90 ℃로 60 초 동안 소프트 베이킹한 후. 자외선 노광기(UV exposure)를 이용해 12 초 동안 노광시켜, 금속 마스크를 통해 광검출기(photodector)의 활성 영역(active area)을 패터닝한다.

[0176] 노광된 기판을 AZ-MIF 300K 현상액으로 40 초간 현상하고 탈이온수로 세척하였다. 그 후, 산 식각액(etchant)을 이용해 기능성 포토레지스트가 남아있는 않은 부분의 나노입자 박막을 식각(etching)한다 이후, 잔류하는 기능성 포토레지스트를 아세톤으로 제거하여(리프트 오프 공정) 광검출기(phodotector)의 활성 영역(active area)을 제작한다.

[0178] 도 3은 실시예 1-2에 따른 기능성 포토레지스트를 사용하여 패터닝된 나노입자 패턴의 주사전자현미경(SEM) 측정 결과를 도시한 이미지이다.

[0179] 도 3을 참조하면, 본 발명의 도 3은 실시예 1-2에 따른 기능성 포토레지스트는 MPA 기능성 리간드를 포함함으로써 다양한 크기 및 형상으로 박막을 패터닝할 수 있는 것을 알 수 있다.

[0181] 도 4는 실시예 1-2에 따른 기능성 포토레지스트 코팅 전(As-synthesized G.C.) 및 후(MPA+PR-treated G.C.)의 푸리에 변환 적외선 분광법(Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) 스펙트럼을 도시한 그래프이다.

[0182] 실시예 1-2에 따른 기능성 포토레지스트 코팅 전(As-synthesized G.C.)의 나노입자 박막의 그래프 선(검은색)은 아무 처리도 진행되지 않은 CdSe/ZnS giant coreshell(G.C) 구조의 나노입자 박막이고, 실시예 1-2에 따른 기능성 포토레지스트 코팅 후(MPA+PR-treated G.C.)의 나노입자 박막의 그래프 선(파랑색)은 CdSe/ZnS giant coreshell(G.C) 구조의 나노입자 박막에 MPA 리간드를 포함하는 기능성 포토레지스트를 도포하여 리간드 치환을 진행한 후, 아세톤(acetone)으로 제거한 나노입자 박막이다.

[0183] 도 4를 참조하면, 실시예 1-2에 따른 기능성 포토레지스트 코팅 전(As-synthesized G.C.)의 나노입자 박막은 $2900cm^{-1}$ 에 존재하는 C-H 구간(C-H stretch)에 해당하는 피크들을 포함하고 있으나, 실시예 1-2에 따른 기능성 포토레지스트 코팅 후(MPA+PR-treated G.C.)의 나노입자 박막은 짧은 유기 리간드로 치환이 진행되어 $2900cm^{-1}$ 에 존재하는 C-H 구간(C-H stretch)에 해당하는 피크들이 대부분 사라지는 것을 알 수 있다.

[0185] 도 5는 비교예에 따른 포토레지스트 코팅 전 및 후의 PL 강도를 도시한 그래프이고, 도 6은 실시예 1-1에 따른

기능성 포토레지스트 코팅 전 및 후의 PL 강도를 도시한 그래프이며, 도 7은 실시예 1-2에 따른 기능성 포토레지스트 코팅 전 및 후의 PL 강도를 도시한 그래프이고, 도 8은 실시예 1-3에 따른 기능성 포코레지스트 코팅 전 및 후의 PL 강도를 도시한 그래프이다.

[0186] 도 5를 참조하면, 종래의 포토레지스트를 사용한 것으로, 비교예에 따른 포토레지스트를 코팅한 후, 아세톤으로 제거하면, 나노 입자(G.C 입자)의 표면에 결합된 올레산(Oleic acid) 리간드 등이 포토레지스트 코팅과 아세톤 워싱(washing)에 의해 쉽게 떨어져 나노입자 박막(G.C. 입자 박막)의 결함(defect)을 유발하여 나노입자 박막의 PL 강도가 감소되는 것을 알 수 있다. 함을 확인할 수 있다.

[0187] 도 6 내지 도 8을 참조하면, 각각 실시예 1-1에 따른 기능성 포토레지스트, 실시예 1-2에 따른 기능성 포토레지스트 및 실시예 1-3에 따른 기능성 포토레지스트를 코팅한 후, 아세톤으로 제거하였을 때, 나노입자 박막(G.C. 입자 박막은 기능성 포토레지스트를 사용하기 때문에, 기능성 리간드가 나노 입자(G.C 입자)의 표면을 강하게 보호(passivation)해주기 때문에 포토리소그래피 공정을 진행하여도 PL 강도가 증가되는 것을 알 수 있다.

[0189] 도 9는 실시예 2-1에 따른 스트레인 게이지 센서(Strain gauge sensors)의 전류-전압 특성을 도시한 그래프이고, 도 10은 저항 변화 사이클(Resistance change cycle)을 도시한 그래프이다.

[0190] 도 9 및 도 10에서 ε는 가해진 스트레인(strain)을 의미하고, y축은 각 스트레인에서의 저항 변화율 값을 의미한다.

[0191] 도 9 및 도 10을 참조하면, 스트레인 센서는 스트레인이 증가하면 나노입자 간의 거리가 멀어져 저항이 증가하는데, 실시예 2-1에 따른 스트레인 게이지 센서는 기능성 포토레지스트를 사용하여 은 나노입자 박막을 리간드 치환 및 패터닝함으로써, 스트레인 센서의 성능이 향상되는 것을 알 수 있다.

[0193] 도 11은 실시예 2-2에 따른 온도 센서(Temperature sensors)의 전류-전압 특성을 도시한 그래프이고, 도 12는 저항 변화 사이클(Resistance change cycle)을 도시한 그래프이다.

[0194] 도 11을 참조하면, 할라이드(halide)계 무기 리간드로 치환된 Ag 나노입자 박막은 금속성 전달 매커니즘(metallic transport mechanism)에 의한 전자 이동을 가지기 때문에 온도가 증가하면 포논 진동(phonon virbration)으로 인해 전자의 이동이 제한되어 저항률(resistivity)이 증가되는 것을 알 수 있다.

[0195] 도 12를 참조하면, 실시예 2-2에 따른 온도 센서(Temperature sensors)가 300K와 323K 온도에서의 사이클 테스트(cycle test)로 높은 온도에서 저항 변화율이 높은 것을 알 수 있다.

[0197] 도 13은 실시예 3-1에 따른 N형 트랜지스터(N-type transistor)를 도시한 개략도이고, 도 14는 실시예 3-1에 따른 N형 트랜지스터(N-type transistor)의 전기적 특성을 도시한 그래프이다.

[0198] 도 14는 게이트 전압을 -50 V 에서 +50 V 까지 증가시킨 후 다시 +50V에서 -50V 로 인가한 히스테리시스(hysteresis) I-V 곡선(curve)으로, 도 14를 참조하면, 실시예 3-1에 따른 N형 트랜지스터는 N형(N-type)이기 때문에 음전압에서는 드레인 전류가 거의 흐르지 않다가 양전압에서 전자 캐리어(electron carrier)가 기능성 포토레지스트로 패터닝된 나노입자 패턴에서 채널(channel)을 형성하면서 급격히 전류량이 증가하는 것을 알 수 있다.

[0200] 도 15는 실시예 3-2에 따른 광검출기(Vis, NIR photodetector)의 가시광 하에서의 전류-전압 특성을 도시한 그래프이고, 도 16은 극적외선 하에서의 전류-전압 특성을 도시한 그래프이다.

[0201] 도 15에서 온-전류(on-current)는 실시예 3-2에 따른 광검출기에 532nm에 해당하는 가시광선을 조사했을 때 두 전극 사이에 전압을 걸어 두 전극 사이에 흐르는 전류에 해당하는 I-V 곡선(curve)이고, 오프-전류(off-current)는 빛을 조사하지 않고 어두운 상태에서의 I-V 곡선(curve)이다.

[0202] 도 15를 참조하면, 가시광선을 조사했을 때, 기능성 포토레지스트로 패터닝된 나노입자 패턴에 포함되는 나노입자가 빛을 흡수하여 전자가 여기(excitation)되고, 이때 생성된 전하 캐리어(charge carrier)가 인가된 전압에

의해 추출(extraction)되어 전류량이 상승되는 것을 알 수 있다.

[0203] 도 16는 도 15와 마찬가지로 980nm에 해당하는 근적외선을 조사했을 때 on, off-current를 나타내는 그래프이다.

[0205] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

부호의 설명

[0207] 101: 광활성 화합물 102: 기능성 리간드

103: 분산 용매 110: 기판

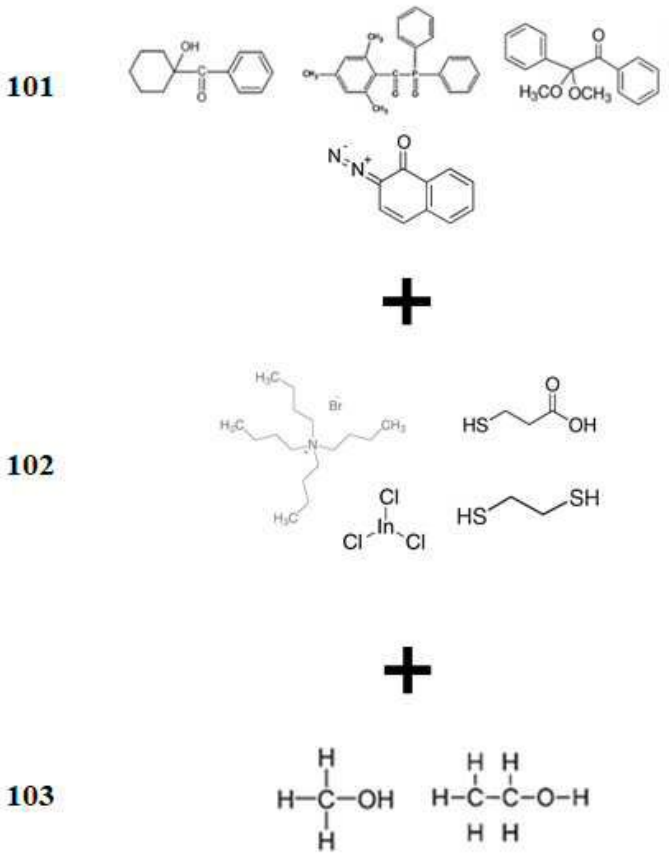
120: 나노 입자 박막 130: 기능성 포토레지스트

131: 기능성 포토레지스트 패턴 140: 나노 입자 패턴

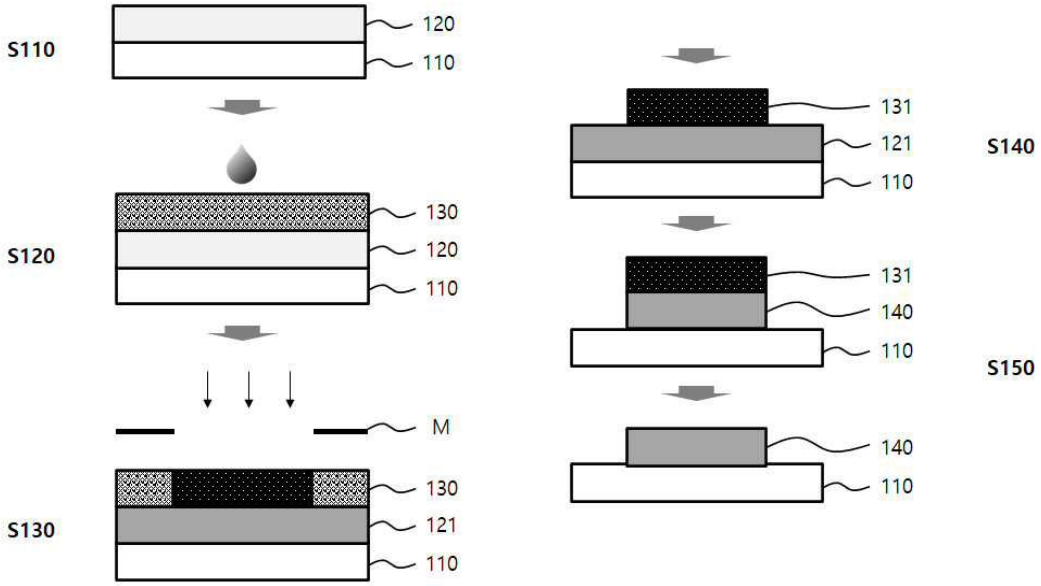
M: 마스크

도면

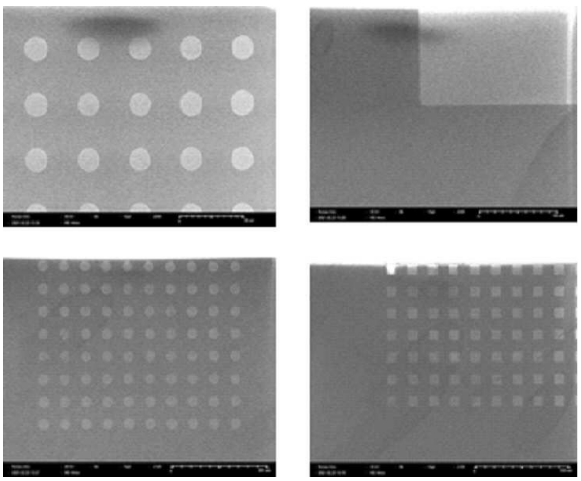
도면1



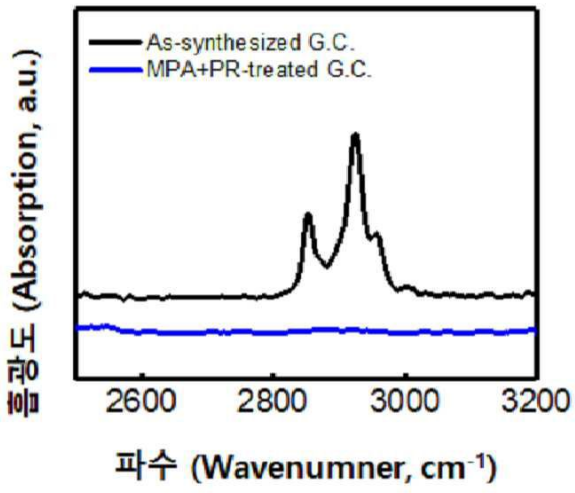
도면2


S110
120
110
S120
130
120
110
M
S130
130
121
110
131
121
110
S140
131
140
110
S150
140
110

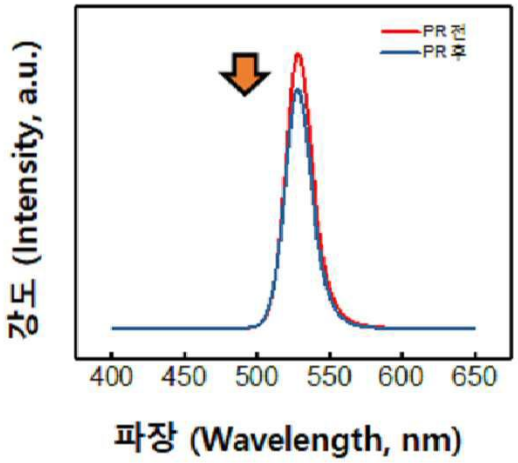
도면3



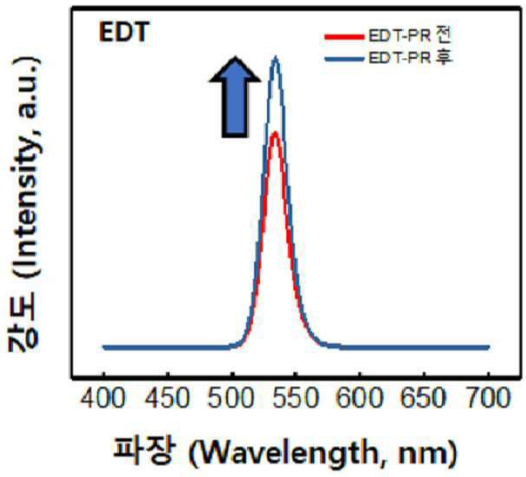
도면4


As-synthesized G.C.
MPA+PR-treated G.C.
흡광도 (Absorption, a.u.)
2600
2800
3000
3200
파수 (Wavenumner, cm-1)

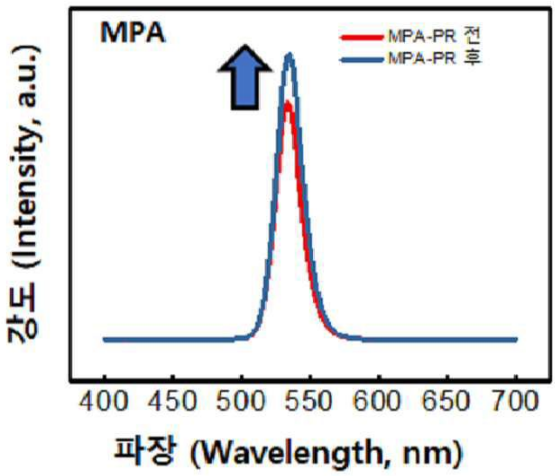
도면5


PR 전
PR 후
강도 (Intensity, a.u.)
400 450 500 550 600 650
파장 (Wavelength, nm)

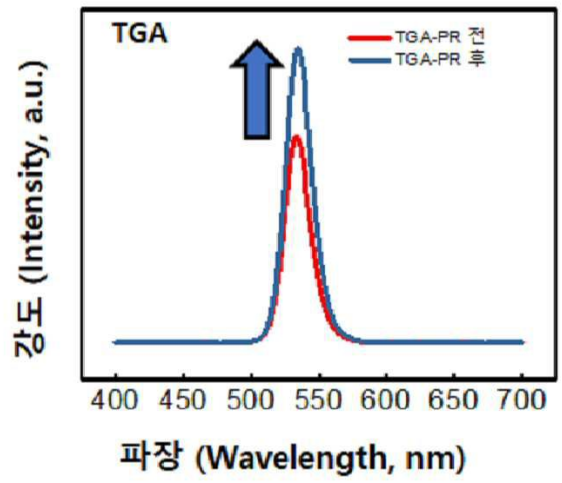
도면6


EDT
EDT-PR 전
EDT-PR 후
강도 (Intensity, a.u.)
400 450 500 550 600 650 700
파장 (Wavelength, nm)

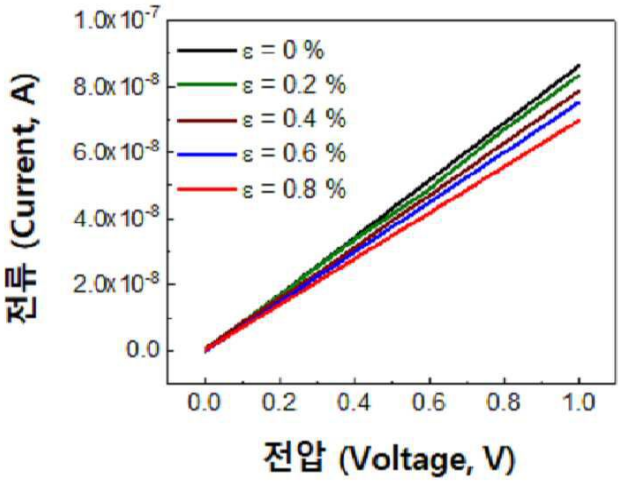
도면7


MPA
MPA-PR 전
MPA-PR 후
강도 (Intensity, a.u.)
400 450 500 550 600 650 700
파장 (Wavelength, nm)

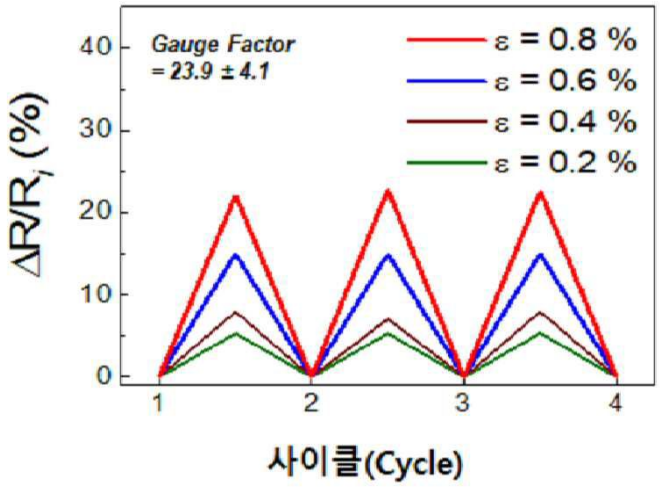
도면8


TGA
TGA-PR 전
TGA-PR 후
강도 (Intensity, a.u.)
400 450 500 550 600 650 700
파장 (Wavelength, nm)

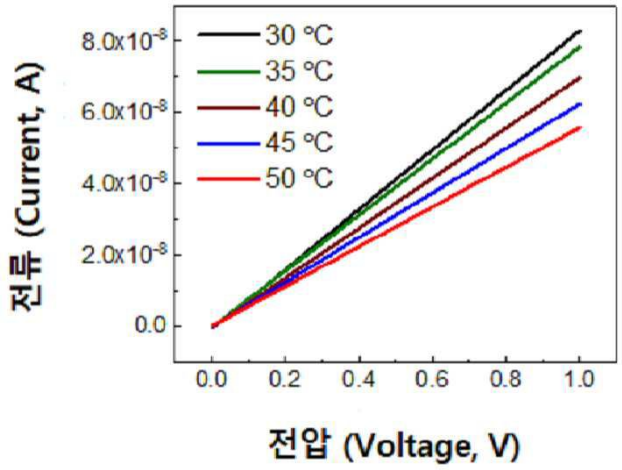
도면9


1.0x10-7
8.0x10-8
6.0x10-8
4.0x10-8
2.0x10-8
0.0
ε = 0 %
ε = 0.2 %
ε = 0.4 %
ε = 0.6 %
ε = 0.8 %
전류 (Current, A)
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0
전압 (Voltage, V)

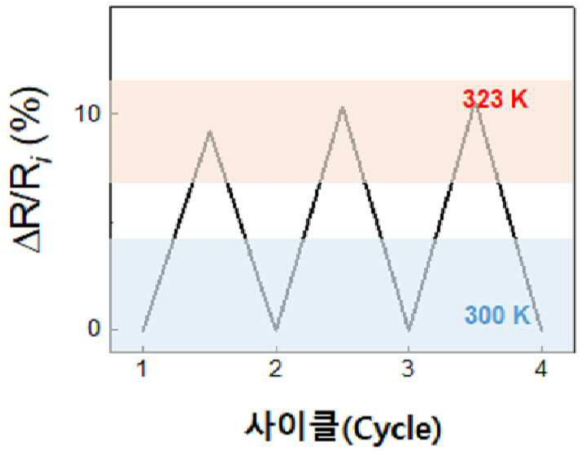
도면10


Gauge Factor
= 23.9 ± 4.1
ε = 0.8 %
ε = 0.6 %
ε = 0.4 %
ε = 0.2 %
ΔR/R0 (%)
40
30
20
10
0
1 2 3 4
사이클(Cycle)

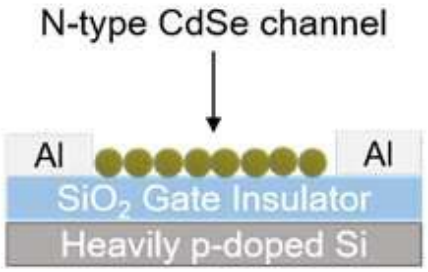
도면11



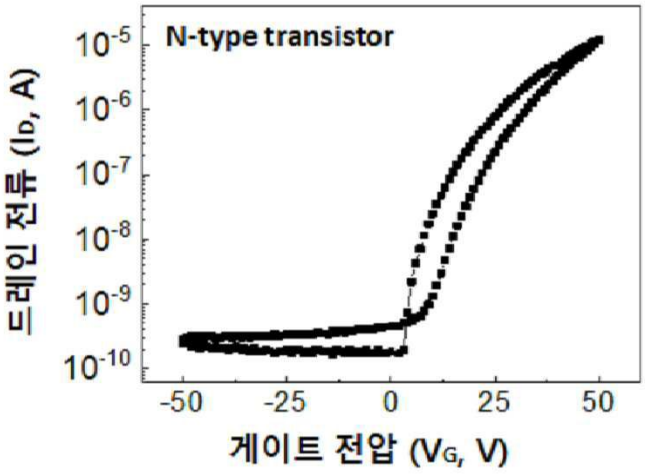
도면12



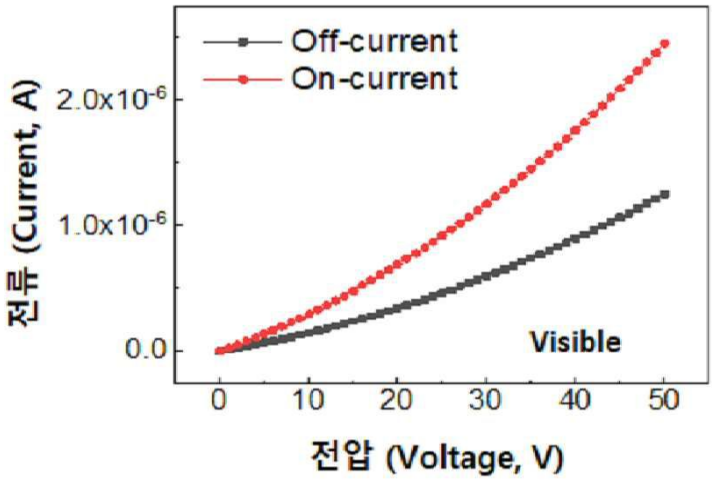
도면13



도면14



도면15



도면16

