(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0050426
(43) 공개일자 2025년04월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C09K 11/02 (2006.01) *B82B 3/00* (2017.01)
C09K 11/62 (2006.01) *C09K 11/66* (2006.01)
C09K 11/74 (2006.01) *C09K 11/89* (2006.01)
B82Y 20/00 (2017.01) *B82Y 40/00* (2017.01)
(52) CPC특허분류
C09K 11/02 (2013.01)
B82B 3/0095 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0133439
(22) 출원일자 2023년10월06일
심사청구일자 2023년10월06일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
오승주
서울특별시 중구 청구로 64, 113동 104호(신당동, 청구e편한세상)
정병구
서울특별시 성북구 고려대로13길 26, 103호(안암동2가, 반석빌딩)
(74) 대리인
김연권

전체 청구항 수 : 총 14 항

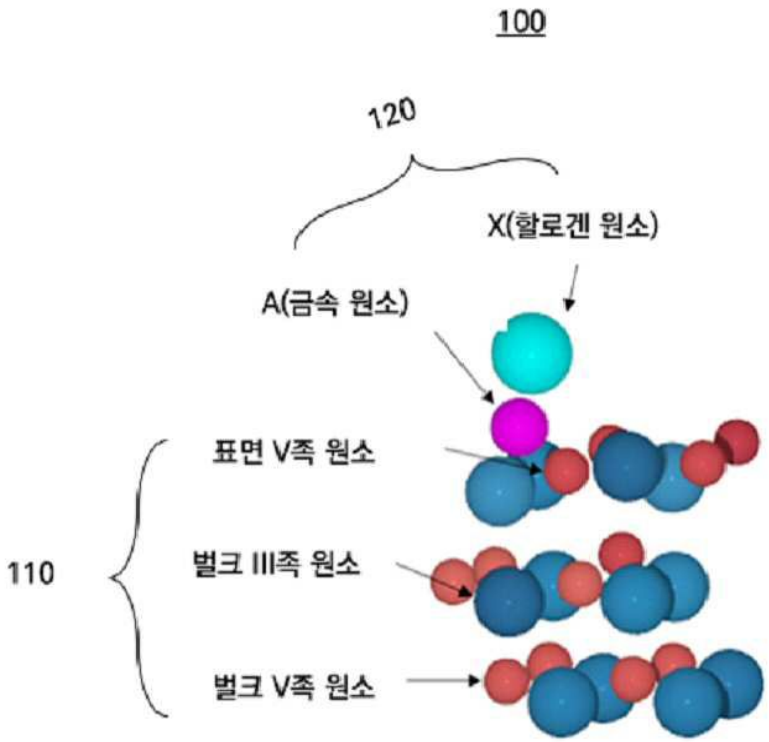
(54) 발명의 명칭 **양자점 및 이의 제조 방법, 이를 이용하여 제조된 적외선 센서**

(57) 요 약

본 발명은 양자점 및 이의 제조 방법, 이를 이용하여 제조된 적외선 센서를 개시한다. 본 발명은 III-V 족 반도체 화합물을 포함하는 III-V 족 양자점; 및 상기 III-V 족 양자점의 표면에 결합된 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드;를 포함하고, 상기 Z-형 금속 할라이드 리간드는 하기 화학식 1 및 화학식 2로 표시되는 화합물 중 적어

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[화학식 1]

MX_n

[화학식 2]

$MX_aX'_b$

(상기 화학식 1 및 2에서, 상기 M은 Sn, In, Cd, Zn, Ga 및 Ge 중 어느 하나의 금속을 포함하고, 상기 X 및 X'는 각각 Cl, Br 및 I 중 적어도 어느 하나의 할라이드를 포함하며, 상기 n은 1 또는 2이고, 상기 a 및 상기 b는 0과 1 사이의 실수이며, a+b=n임)

(52) CPC특허분류
C09K 11/626 (2013.01)
C09K 11/664 (2021.01)
C09K 11/74 (2013.01)
C09K 11/892 (2013.01)
B82Y 20/00 (2013.01)
B82Y 40/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711190047
과제번호	2022R1A2C4001517
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	(이공)중견연구자지원사업(신진중견연계)
연구과제명	픽셀리스 적외선 이미지 센서 구현을 위한 광증폭 양자점 박막 소재 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29

명 세 서

청구범위

청구항 1

III-V 족 반도체 화합물을 포함하는 III-V 족 양자점; 및

상기 III-V 족 양자점의 표면에 결합된 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드;

를 포함하고,

상기 Z-형 금속 할라이드 리간드는 하기 화학식 1 및 화학식 2로 표시되는 화합물 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 양자점.

[화학식 1]

MX_n

[화학식 2]

$MX_aX'_b$

(상기 화학식 1 및 2에서, 상기 M은 Sn, In, Cd, Zn, Ga 및 Ge 중 어느 하나의 금속을 포함하고, 상기 X 및 X'는 각각 Cl, Br 및 I 중 적어도 어느 하나의 할라이드를 포함하며, 상기 n은 1 또는 2이고, 상기 a 및 상기 b는 0과 1 사이의 실수이며, a+b=n임)

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 Z-형 금속 할라이드 리간드는 상기 금속을 포함하는 금속 부분 및 상기 할라이드를 포함하는 할라이드 부분을 포함하고, 상기 금속 부분의 Muliken 전하(Muliken charge) 값은 +1.5 e 내지 +0.2 e 인 것을 특징으로 하는 양자점.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 Z-형 금속 할라이드 리간드는 상기 금속을 포함하는 금속 부분 및 상기 할라이드를 포함하는 할라이드 부분을 포함하고, 상기 할라이드 부분의 Muliken 전하(Muliken charge) 값은 -0.8 e 내지 -0.1 e 인 것을 특징으로 하는 양자점.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드의 비율에 따라 상기 III-V 족 양자점에 결합되는 상기 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드의 흡착 에너지가 조절되는 것을 특징으로 하는 양자점.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드의 상기 할라이드에 따라 상기 양자점의 전하 이동도가 조절되는 것을 특징으로 하는 양자점.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 양자점의 전하 이동도는 10^{-2} cm^2/vs 내지 10^{-4} cm^2/vs 인 것을 특징으로 하는 양자점.

청구항 7

제2항에 있어서,

상기 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드의 상기 할라이드에 따라 상기 양자점의 전하 수명이 조절되는 것을 특징으로 하는 양자점.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 양자점의 전하 수명은 1000 ps 내지 3000 ps 인 것을 특징으로 하는 양자점의 제조 방법.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 따른 양자점을 포함하는 것을 특징으로 하는 적외선 센서.

청구항 10

표면에 유기 리간드가 결합된 III-V 족 양자점을 포함하는 양자점 용액을 제조하는 단계;

적어도 하나 이상의 금속 할라이드 화합물을 포함하는 리간드 용액을 제조하는 단계; 및

상기 양자점 용액과 상기 리간드 용액을 혼합하여 상기 III-V 족 양자점의 상기 유기 리간드를 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드로 치환하는 단계;

를 포함하고,

상기 Z-형 금속 할라이드 리간드는 하기 화학식 1 및 화학식 2로 표시되는 화합물 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 양자점의 제조 방법.

[화학식 1]

MX_n

[화학식 2]

$MX_aX'_b$

(상기 화학식 1 및 2에서, 상기 M은 Sn, In, Cd, Zn, Ga 및 Ge 중 어느 하나의 금속을 포함하고, 상기 X 및 X'는 각각 Cl, Br 및 I 중 적어도 어느 하나의 할라이드를 포함하며, 상기 n은 1 또는 2이고, 상기 a 및 상기 b는 0과 1 사이의 실수이며, a+b=n임)

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 양자점 용액과 리간드 용액을 혼합하여 상기 III-V 족 양자점의 상기 유기 리간드를 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드로 치환하는 단계에서,

상기 금속 할라이드 화합물은 해리되어 상기 III-V 족 양자점의 표면에 상기 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드가 결합되는 것을 특징으로 하는 양자점의 제조 방법.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 금속 할라이드 화합물은 하기 화학식 3으로 표시되는 화합물을 포함하는 것을 특징으로 하는 양자점의 제조 방법.

[화학식 3]

MX_m

(상기 화학식 3에서, 상기 M은 Sn, In, Cd, Zn, Ga 및 Ge 중 어느 하나의 금속을 포함하고, 상기 X 는 Cl, Br 및 I 중 적어도 어느 하나의 할라이드를 포함하며, 상기 m은 2 또는 3임)

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 금속 할라이드 화합물의 상기 M에 따라 상기 III-V 족 양자점에 결합되는 상기 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드의 비율이 조절되는 것을 특징으로 하는 양자점의 제조 방법.

청구항 14

제10항에 있어서,

상기 적어도 하나 이상의 금속 할라이드 화합물은 제1 금속 할라이드 화합물 및 제2 금속 할라이드 화합물을 포함하고,

상기 제1 금속 할라이드 화합물의 및 제2 금속 할라이드 화합물의 몰비에 따라 상기 III-V 족 양자점의 전하 이동도 및 전하 수명이 조절되는 것을 특징으로 하는 양자점의 제조 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 양자점 및 이의 제조 방법, 이를 이용하여 제조된 적외선 센서에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 본 발명은 III-V 족 양자점의 표면 리간드 치환 기술을 통해 Z-형 금속 할라이드 리간드를 포함하는 양자점 및 이의 제조 방법, 이를 이용하여 제조된 적외선 센서에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 최근 라이다, 보안, 의료용으로 적외선 센서가 크게 주목받으면서 적외선 센서에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 황화납 양자점은 실리콘이 흡수하지 못하는 적외선 영역에서 빛의 흡수가 가능하다는 소재 장점과 더불어 용액 공정이 가능하여 매우 싼 가격의 적외선 소자를 만들 수 있다는 장점이 있어 많은 연구가 이루어져 왔다.

[0004] 그러나, 최근 환경규제로 중금속의 사용이 제한되면서 적외선 영역을 흡수하면서 황화납 양자점과 비슷하게 흡광스펙트럼을 가지고 있는 프리-납 양자점인 InAS 양자점이 각광받고 있다.

[0005] 따라서, 많은 연구진들은 InAs 양자점을 합성하고 표면의 리간드를 치환하는 공정을 통해서 광전기적 물성을 개선하여 적외선 센서를 제작하고 있다.

[0006] 그러나, 종래의 InAs 양자점을 합성하고 표면의 리간드를 치환하는 공정은 균일한 크기 분포를 갖는 양자점을 합성하기 위해 긴 유기산 리간드(oleic acid, oleylamine)를 사용하기 때문에, 양자점 박막의 광전기적 특성을 향상시키기 위해서는 양자점 표면의 리간드를 짧은 유무기 리간드로 교환해주는 것이 매우 중요하다.

[0007] 많은 연구들이 이온 결합 성격이 강한 양자점(PbS, CdSe 등)을 기준으로 개발돼 왔으나, III-V 족 양자점(InP, InAs, InSb 등)의 경우 공유결합 성격이 강한 격자구조를 갖고 있어 이온결합성격이 강한 양자점에 사용된 리간드들이 치환을 잘 하지 못하는 문제가 있다.

[0008] 이에, III-V 족 양자점은 낮은 치환율로 인해서 III-V 족 양자점을 사용한 전자소자의 경우 기존 양자점 기반 소자들 대비 성능이 낮다는 단점이 있다.

[0009] 따라서, III-V 족 양자점(InP, InAs, InSb 등)의 공유결합 성격 격자에 맞는 리간드를 찾아내고 높은 결합력 리간드(high affinity ligand)에 대한 연구가 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제10-2021-0049113호, "적외선 센서 및 그 제조 방법"

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명의 실시예는 III-V 족 양자점의 표면에 동일한 전하 분포를 만들어 치환율을 높일 수 있는 표면 리간드 치환 기술을 통해 III-V 족 양자점의 표면에 Z-형 금속 할라이드 리간드를 치환시킬 수 있는 양자점 및 이의 제조 방법, 이를 이용하여 제조된 적외선 센서를 제공하고자 한다.

[0013] 본 발명의 실시예는 III-V 족 양자점 의 공유결합 성격 격자에 맞는 Z-형 금속 할라이드 리간드를 포함하여 높은 결합력 리간드(high affinity ligand)를 구현할 수 있는 양자점 및 이의 제조 방법, 이를 이용하여 제조된 적외선 센서를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0015] 본 발명의 실시예에 따른 양자점은 III-V 족 반도체 화합물을 포함하는 III-V 족 양자점; 및 상기 III-V 족 양자점의 표면에 결합된 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드;를 포함하고, 상기 Z-형 금속 할라이드 리간드는 하기 화학식 1 및 화학식 2로 표시되는 화합물 중 적어도 어느 하나를 포함한다.

[0016] [화학식 1]

[0017] MX_n

[0018] [화학식 2]

[0019] $MX_aX'_b$

[0020] (상기 화학식 1 및 2에서, 상기 M은 Sn, In, Cd, Zn, Ga 및 Ge 중 어느 하나의 금속을 포함하고, 상기 X 및 X'는 각각 Cl, Br 및 I 중 적어도 어느 하나의 할라이드를 포함하며, 상기 n은 1 또는 2이고, 상기 a 및 상기 b는 0과 1 사이의 실수이며, a+b=n임)

[0021] 상기 Z-형 금속 할라이드 리간드는 상기 금속을 포함하는 금속 부분 및 상기 할라이드를 포함하는 할라이드 부분을 포함하고, 상기 금속 부분의 Muliken 전하(Muliken charge) 값은 +1.5 e 내지 +0.2 e 일 수 있다.

[0022] 상기 Z-형 금속 할라이드 리간드는 상기 금속을 포함하는 금속 부분 및 상기 할라이드를 포함하는 할라이드 부분을 포함하고, 상기 할라이드 부분의 Muliken 전하(Muliken charge) 값은 -0.8 e 내지 -0.1 e 일 수 있다.

[0023] 상기 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드의 비율에 따라 상기 III-V 족 양자점에 결합되는 상기 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드의 흡착 에너지가 조절될 수 있다.

[0024] 상기 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드의 상기 할라이드에 따라 상기 양자점의 전하 이동도가 조절될 수 있다.

[0025] 상기 양자점의 전하 이동도는 10^{-2} cm^2/vs 내지 10^{-4} cm^2/vs 일 수 있다.

[0026] 상기 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드의 상기 할라이드에 따라 상기 양자점의 전하 수명이 조절될 수 있다.

[0027] 상기 양자점의 전하 수명은 1000 ps 내지 3000 ps 일 수 있다.

[0028] 본 발명의 실시예에 따른 적외선 센서는 본 발명의 실시예에 따른 양자점을 포함한다.

[0029] 본 발명의 실시예에 따른 표면에 유기 리간드가 결합된 III-V 족 양자점을 포함하는 양자점 용액을 제조하는 단계; 적어도 하나 이상의 금속 할라이드 화합물을 포함하는 리간드 용액을 제조하는 단계; 및 상기 양자점 용액과 상기 리간드 용액을 혼합하여 상기 III-V 족 양자점의 상기 유기 리간드를 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드로 치환하는 단계;를 포함하고, 상기 Z-형 금속 할라이드 리간드는 하기 화학식 1 및 화학식 2로 표시되는 화합물 중 적어도 어느 하나를 포함한다.

[0030] [화학식 1]

[0031] MX_n

[0032] [화학식 2]

[0033] $MX_aX'_b$

[0034] (상기 화학식 1 및 2에서, 상기 M은 Sn, In, Cd, Zn, Ga 및 Ge 중 어느 하나의 금속을 포함하고, 상기 X 및 X'는 각각 Cl, Br 및 I 중 적어도 어느 하나의 할라이드를 포함하며, 상기 n은 1 또는 2이고, 상기 a 및 상기 b는 0과 1 사이의 실수이며, a+b=n임)

[0035] 상기 양자점 용액과 리간드 용액을 혼합하여 상기 III-V 족 양자점의 상기 유기 리간드를 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드로 치환하는 단계에서, 상기 금속 할라이드 화합물은 해리되어 상기 III-V 족 양자점의 표면에 상기 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드가 결합될 수 있다.

[0036] 상기 금속 할라이드 화합물은 하기 화학식 3으로 표시되는 화합물을 포함할 수 있다.

[0037] [화학식 3]

[0038] MX_m

[0039] (상기 화학식 3에서, 상기 M은 Sn, In, Cd, Zn, Ga 및 Ge 중 어느 하나의 금속을 포함하고, 상기 X 는 Cl, Br 및 I 중 적어도 어느 하나의 할라이드를 포함하며, 상기 m은 2 또는 3임)

[0040] 상기 금속 할라이드 화합물의 상기 M에 따라 상기 III-V 족 양자점에 결합되는 상기 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드의 비율이 조절될 수 있다.

[0041] 상기 적어도 하나 이상의 금속 할라이드 화합물은 제1 금속 할라이드 화합물 및 제2 금속 할라이드 화합물을 포함하고, 상기 제1 금속 할라이드 화합물의 및 제2 금속 할라이드 화합물의 몰비에 따라 상기 III-V 족 양자점의 전하 이동도 및 전하 수명이 조절될 수 있다.

발명의 효과

[0043] 본 발명의 실시예에 따르면, III-V 족 양자점의 표면에 동일한 전하 분포를 만들어 치환율을 높일 수 있는 표면 리간드 치환 기술을 통해 III-V 족 양자점의 표면에 Z-형 금속 할라이드 리간드를 치환시킬 수 있는 양자점 및 이의 제조 방법, 이를 이용하여 제조된 적외선 센서를 제공할 수 있다.

[0044] 본 발명의 실시예에 따르면, III-V 족 양자점 의 공유결합 성격 격자에 맞는 Z-형 금속 할라이드 리간드를 포함하여 높은 결합력 리간드(high affinity ligand)를 구현할 수 있는 양자점 및 이의 제조 방법, 이를 이용하여 제조된 적외선 센서를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0046] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 양자점을 도시한 개략도이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 양자점의 제조 방법을 도시한 흐름도이다.

도 3은 실시예 1 내지 실시예 3에 따른 양자점의 FT-IR 분석 결과를 도시한 그래프이고, 도 4는 할라이드 이온에 따른 치환비율을 도시한 그래프이다.

도 5 및 도 6은 비교예 1, 실시예 1-1, 실시예 1-2, 실시예 2-1, 실시예 2-2, 실시예 3-1 및 실시예 3-2에 따른 양자점의 XPS 분석 결과를 도시한 그래프이다.

도 7은 III-V 족 양자점인 InAs 양자점의 As 면을 도시한 개략도 및 표면의 As 원자의 Muliken 전하(Muliken charge) 값과 Z-형 금속 할라이드 리간드의 Muliken 전하(Muliken charge) 값을 도시한 그래프와 표이다.

도 8은 Muliken 전하를 기반으로 InAs 표면의 As 면에 결합된 Z-형 금속 할라이드 리간드(CdX, InX_2, SnX)의 구조를 도시한 이미지이다.

도 9은 표면의 리간드가 존재하는 비율에 따른 흡착에너지(=결합 에너지affinity)의 변화를 도시한 그래프이다.

도 10은 주석 할라이드(SnX_2, x=Cl,Br,I)의 할라이드 조성 변화에 따른 XPS 분석 결과를 도시한 그래프이고, 도 11은 As 원소의 신호를 도시한 그래프이다.

도 12 및 도 13은 실시예 3-1 및 실시예 3-2에 따른 양자점의 박막 내부에서 전하의 수명을 측정하기 위한 회절 흡광도(Transient absorbance) 결과를 도시한 그래프이다.

도 14는 본 발명의 실시예에 따른 양자점을 포함하는 전계효과 트랜지스터이다.

도 15는 실시예 4에 따른 전계효과 트랜지스터의 전이 곡선(transfer curve을 도시한 그래프이고, 도 16은 전하 이동도를 도시한 그래프이다.

도 17은 본 발명의 실시예에 따른 양자점을 포함하는 포토다이오드이다.

도 18은 실시예 5에 따른 포토다이오드의 전압-전류밀도 곡선을 도시한 그래프이다.

도 19는 할라이드 이온 비율에 따른 실시예 5에 따른 포토다이오드의 외부양자효율을 도시한 그래이며, 도 20은 암전류를 이용하여 계산한 누설전류를 도시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0047] 이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명하지만, 본 발명이 실시예에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.

[0048] 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.

[0049] 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.

[0050] 또한, '또는'이라는 용어는 배타적 논리합 'exclusive or'이기보다는 포함적인 논리합 'inclusive or'를 의미한

다. 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.

[0051] 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.

[0052] 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.

[0053] 또한, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 설명 부분에서 상세한 그 의미를 기재할 것이다. 따라서 아래 설명에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌 그 용어가 가지는 의미와 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 이해되어야 한다.

[0054] 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.

[0055] 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.

[0057] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 양자점을 도시한 개략도이다.

[0058] 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)은 III-V 족 반도체 화합물을 포함하는 III-V 족 양자점(110) 및 III-V 족 양자점(110)의 표면에 결합된 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드(120)를 포함한다.

[0059] 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)은 Z-형 금속 할라이드 리간드가 치환된 III-V 족 양자점(110)을 포함함으로써, 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)이 III-V 족 양자점(110)의 공유결합 성격 격자에 맞는 Z-형 금속 할라이드 리간드(120)를 포함하여 높은 결합력 리간드(high affinity ligand)를 구현할 수 있다.

[0060] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)은 밴드갭(bandgap) 이상의 빛을 흡수할 수 있고, 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)의 밴드갭은 1.1eV 정도로 1.1eV 에너지 이상의 빛인 근적외선 영역에서부터 빛을 흡수할 수 있다.

[0061] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)은 가시광선부터 근적외선까지 광범위한 영역대의 광을 흡수할 수 있다.

[0062] 먼저, 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)은 III-V 족 반도체 화합물을 포함하는 III-V 족 양자점(110)을 포함한다.

[0063] 양자점(Quantun dot; 100)은 빛 등의 에너지로 자극하면 빛을 발하는 나노 크기의 반도체적 구조물 입자로써, 입자의 크기에 따라 방출하는 빛의 색상이 달라질 수 있다.

[0064] 구체적으로, 양자점(quantum dot; 100)은 수 나노 크기의 결정 구조를 가진 반도체 재료인데, 이러한 양자점(100)은 크기가 매우 작기 때문에 단위 부피당 표면적이 넓고, 양자 구속(quantum confinement) 효과를 나타내므로 반도체 물질 자체의 특성과는 다른 물리 화학적 특성을 가질 수 있다.

[0065] 따라서, 양자점(100)은 그 물리적 크기를 조절함에 의해 다양한 특성을 조절할 수 있다. 양자점(100)은 여기원(excitation source)으로부터 광을 흡수하여 에너지 여기 상태로 되고, 양자점의 에너지 밴드갭에 해당하는 에너지를 방출할 수 있다.

[0066] III-V 족 양자점(110)의 입자 크기는 1 nm 내지 10 nm일 수 있고, III-V 족 양자점(110)의 입자 크기가 1 nm

미만이면 너무 높은 표면 에너지(surface energy)로 인하여 주변 입자와 랜덤(random) 하게 소결(sintering) 현상이 나타나 브로드(broad)한 입자 크기 분포(distribution)를 가지는 문제가 있으며, 10 nm를 초과하면 표면의 Z-형 금속 할라이드 리간드(120)가 충분한 패시베이션을 해주지 못하여 소결되는 현상이 나타나는 문제가 있다.

[0067] III 족은 IUPAC 주기율표상 IIIA족 원소 및 IIIB족 원소를 포함할 수 있으며, III 족 원소는 예를 들어, 알루미늄(Al), 갈륨(Ga), 인듐(In), 탈륨(Tl) 등을 포함할 수 있다.

[0068] V족은 IUPAC 주기율표상 VA족 원소 및 VB족 원소를 포함할 수 있으며, V족 원소는 예를 들어, 질소(N), 인(P), 비소(As), 안티모니(Sb) 등을 포함할 수 있다.

[0069] 예를 들어, III-V 족 양자점(110)은 GaN, GaP, GaAs, GaSb, AlN, AlP, AlAs, AlSb, InN, InP, InAs 및 InSb 중 적어도 어느 하나를 포함하는 이원소 화합물; GaNP, GaNAs, GaNSb, GaPAs, GaPSb, AlNP, AlNAs, AlNSb, AlPAs, AlPSb, InGaP, InNP, InAlP, InNAs, InNSb, InPAs 및 InPSb 중 적어도 어느 하나를 포함하는 삼원소 화합물; GaAlNP, GaAlNAs, GaAlNSb, GaAlPAs, GaAlPSb, GaInNP, GaInNAs, GaInNSb, GaInPAs, GaInPSb, InAlNP, InAlNAs, InAlNSb, InAlPAs 및 InAlPSb 중 적어도 어느 하나를 포함하는 사원소 화합물; 또는 이의 임의의 조합;을 포함할 수 있다.

[0070] 실시예에 따라, III-V 족 양자점(110)은 II족 원소를 더 포함할 수 있다. II 족 원소를 더 포함한 III-V 족 양자점(110)은 InZnP, InGaZnP 및 InAlZnP 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0071] 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)은 III-V 족 반도체 화합물을 포함하는 III-V 족 양자점(110)을 포함함으로써, 중금속에 따른 유해성, 독성 등을 보이지 않아 화학적 안정성이 우수하며 공정이 용이하고, 친환경적 특성을 가짐과 동시에 현저히 향상된 양자효율, 발광효율 및 색 품질을 가질 수 있다.

[0072] 바람직하게는, III-V 족 양자점(110)으로 InAs를 포함함으로써, 중금속이 포함되지 않아, ROHS 환경규제를 피할 수 있어 상용화 가능성이 높다. 또한, InAs 양자점은 낮은 유전 상수(dielectric constant)를 갖고 있어 빠른 광 반응(photo response)을 나타내야 하는 소자에 적용 가능하다.

[0073] 실시예에 따라, III-V 족 양자점(110)은 코어-쉘 구조를 가질 수 있다.

[0074] 코어-쉘 구조의 III-V 족 양자점(110)의 코어는 III-V 족 반도체를 포함할 수 있다.

[0075] 코어-쉘 구조의 III-V 족 양자점(110)의 단일 쉘 또는 다중쉘을 포함할 수 있고, 쉘의 표면에 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드(120)가 결합될 수 있다.

[0076] 쉘은 ZnS, ZnSe, ZnTe, ZnO, ZnSeS, ZnTeS, GaAs, GaP, GaN, GaO, GaSb, HgS, HgSe, HgTe, InAs, InP, InS, InGaP, InSb, InZnP, InZnS, InGaP, InGaN, AlAs, AlP, AlSb, PbS, TiO 및 SrSe 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있고, 바람직하게는, 쉘은 InP, ZnSe 및 ZnS 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0077] 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)은 III-V 족 양자점(110)의 표면에 결합된 Z-형 금속 할라이드 리간드(120)를 포함한다.

[0078] Z-형 금속 할라이드 리간드(120)는 III-V 족 양자점(110)의 V 족 면에 결합될 수 있다.

[0079] Z-형 금속 할라이드 리간드(120)는 하기 화학식 1 및 화학식 2로 표시되는 화합물 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0080] [화학식 1]

[0081] MX_n

[0082] [화학식 2]

[0083] $MX_aX'_b$

[0084] (상기 화학식 1 및 2에서, 상기 M은 Sn, In, Cd, Zn, Ga 및 Ge 중 어느 하나의 금속을 포함하고, 상기 X 및 X'는 각각 Cl, Br 및 I 중 적어도 어느 하나의 할라이드를 포함하며, 상기 n은 1 또는 2이고, 상기 a 및 상기 b는 0과 1 사이의 실수이며, a+b=n임)

[0085] Z-형 금속 할라이드 리간드(120)는 금속 할라이드 화합물이 해리되어 생성된 리간드일 수 있다.

[0086] 구체적으로, Z-형 금속 할라이드 리간드(120)는 금속 할라이드 화합물이 이 용매의 쌍극자(dipole)에 의해서 용해되어 III-V 족 양자점(110)의 표면에 결합될 수 있다.

[0087] 예를 들어, 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)은 한 종류의 금속 할라이드 화합물을 이용하여 리간드 치환 공정을 진행하는 경우, 화학식 1로 표시되는 Z-형 금속 할라이드 리간드(120)가 III-V 족 양자점(110)의 표면에 결합될 수 있다.

[0088] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)은 두 종류의 서로 다른 금속 할라이드 화합물을 이용하여 리간드 치환 공정을 진행하는 경우, 화학식 2로 표시되는 Z-형 금속 할라이드 리간드(120)가 III-V 족 양자점(110)의 표면에 결합될 수 있다.

[0089] 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)은 III-V 족 양자점(110)의 표면을 내부(core)와 동일한 전하를 갖도록 만들어주는 리간드일수록 높은 결합력을 가질 수 있다.

[0090] 예를 들어, III-V 족 양자점(110)으로 InAs를 사용하고, Z-형 금속 할라이드 리간드(120)로 SnX를 사용하는 경우, Z-형 금속 할라이드 리간드(120)의 Sn 부분과 III-V 족 양자점(110)의 표면의 As 원자가 결합될 수 있고, 이 결합으로 인해 As 원자의 전하(charge)가 공유결합적 성격으로 인해 치우치게 될 수 있다.

[0091] 이때의 치우침의 정도가 내부의 코어(core)에 In 원자와 결합하고 있는 As 원자의 치우침과 동일하게 만들어줄수록 치환이 잘될 수 있다.

[0092] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)은 III-V 족 양자점(110)의 표면에 결합되는 리간드로 높은 결합력 리간드(high affinity ligand)인 Z-형 금속 할라이드 리간드(120)를 사용함으로써, 전하 수명 및 전하 이동도가 향상될 수 있다.

[0093] Z-형 금속 할라이드 리간드(120)는 금속을 포함하는 금속 부분 및 할라이드를 포함하는 할라이드 부분을 포함하고, 금속 부분과 할라이드 부분은 각각 Muliken 전하(Muliken charge)를 띄고 있다.

[0094] 예를 들어, Z-형 금속 할라이드 리간드(120)의 금속 부분의 Muliken 전하(Muliken charge) 값은 +1.5 e 내지 +0.2 e 일 수 있다.

[0095] 예를 들어, Z-형 금속 할라이드 리간드(120)의 할라이드 부분의 Muliken 전하(Muliken charge) 값은 -0.8 e 내지 -0.1 e 일 수 있다.

[0096] Z-형 금속 할라이드 리간드(120)의 비율에 따라 III-V 족 양자점(110)에 결합되는 Z-형 금속 할라이드 리간드(120)의 흡착 에너지가 조절될 수 있다.

[0097] 흡착 에너지의 경우, 상대적으로 어떤 리간드가 표면에 더 잘 붙는지를 붙은 후 더 안정해지는지 확인하기 위하여 계산된 값으로, 절대적인 수치는 의미가 없다.

[0098] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)은 Z-형 금속 할라이드 리간드(120)의 X(할라이드 이온)의 조성에 따라 물성(전하 이동도 및 전하 수명 중 적어도 어느 하나)이 제어될 수 있다.

[0099] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)은 Z-형 금속 할라이드 리간드(120)의 할라이드 이온(화학식 1 및 2의 X에 대응됨)의 조성을 제어하여 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)의 전하의 이동을 극대화시킬 수 있다.

[0100] Z-형 금속 할라이드 리간드(120)의 할라이드(화학식 1 및 2의 X 또는 X'에 대응)에 따라 양자점(100)의 전하 이동도가 조절될 수 있다.

[0101] 예를 들어, III-V 족 양자점(110)으로 InAs를 사용하고, Z-형 금속 할라이드 리간드(120)로 SnCl 및 SnBr를 사용하는 경우, Z-형 금속 할라이드 리간드(120)로 사용되는 SnCl과 SnBr의 리간드 복합체(ligand complex)의 밴드갭의 경우, SnCl 는 SnBr 보다 전하 이동을 더 많이 방해 하기 때문에 전하 이동도는 SnCl가 SnBr보다 클 수 있다. 반면, SnCl 는 표면 댕글링 결합(dangling bond)을 SnBr 보다 더 잘 제거해줄 수 있다.

[0102] SnCl과 SnBr의 리간드 복합체(ligand complex)의 밴드갭과 표면의 댕글링 결합(dangling bond)의 인자(factor)는 전하 이동도와 음의 상관관계를 갖고 있기 때문에, 밴드갭과 표면의 댕글링 결합(dangling bond)의 인자(factor)를 조절하여 전하 이동도를 조절할 수 있다.

[0103] 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)의 전하 이동도는 10^{-2} cm^2/vs 내지 10^{-4} cm^2/vs 일 수 있다.

[0104] Z-형 금속 할라이드 리간드(120)의 할라이드(화학식 1 및 2의 X 또는 X'에 대응)에 따라 양자점(100)의 전하 수명이 조절될 수 있다. 예를 들어, Cl은 Br보다 III-V 족 양자점(110)에 더 많이 결합되기 때문에 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)의 표면 개질 정도(치환 정도에 대응됨)가 높아지기 때문에 전하 수명이 더 길어질 수 있다.

[0105] 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)의 전하 수명은 1000 ps 내지 3000 ps 일 수 있다.

[0106] 또한, 전하의 이동거리는 전하 이동도와 전하 수명과 비례하기 때문에, 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)은 Z-형 금속 할라이드 리간드(120)의 X(할라이드 이온)의 조성에 따라 III-V 족 양자점(110)의 전하 이동 거리가 조절될 수 있다.

[0107] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)은 Z-형 금속 할라이드 리간드(120)의 M(금속 이온)에 III-V 족 양자점(110)에 결합되는 Z-형 금속 할라이드 리간드(120)의 개수가 조절될 수 있다,

[0108] 예를 들어, III-V 족 양자점(110)로 InAs를 사용하였을 때, CdX_2와 InX_3를 사용하는 경우, 열역할적으로 더 안정하여 CdX 및 InX_2 이 표면 As 원자 1개와 결합되는 반면, SnX_2를 사용하는 경우, SnX가 표면 As 원자 3개와 결합될 수 있다.

[0109] 따라서, III-V 족 양자점(110)에 대한 Z-형 금속 할라이드 리간드(120)의 흡착 에너지는 $CdX < InX_2 < SnX$ 순으로 높을 수 있다.

[0110] 또한, 두 종류의 서로 다른 금속 할라이드 화합물(제1 금속 할라이드 화합물 및 제2 금속 할라이드 화합물)을 이용한 리간드 치환 공정을 통해 제조된 화학식 2로 표시되는 Z-형 금속 할라이드 리간드(120)를 포함하는 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)의 경우, 제1 할라이드 이온(화학식 2의 X에 대응)와 제2 할라이드 이온(화학식 2의 X'에 대응)의 조성비에 따라 전하 이동도 및 전하 수명을 조절할 수 있다.

[0111] [화학식 2]

[0112] $MX_aX'_b$

[0113] (상기 화학식 2에서, 상기 M은 Sn, In, Cd, Zn, Ga 및 Ge 중 어느 하나의 금속을 포함하고, 상기 X 및 X'는 각각 Cl, Br 및 I 중 적어도 어느 하나의 할라이드를 포함하며, 상기 a 및 상기 b는 0과 1 사이의 실수이며, a+b=n임)

[0114] 바람직하게는, 화학식 2로 표시되는 Z-형 금속 할라이드 리간드(120)는 하기 화학식 3로 표시되는 화합물을 포함할 수 있다.

[0115] [화학식 3]

[0116] $SnCl_zBr_{2-z}$

[0117] (상기 화학식 3에서, 상기 z는 0.5과 1.5 사이의 실수임)

[0118] Z가 0.5 미만이면 표면의 댕글링 결합(dangling bond)이 늘어나 전하 수명이 감소하고, 1.5를 초과하면 박막의 전하 이동도가 감소될 수 있다.

[0119] 예를 들어, 두 종류의 서로 다른 금속 할라이드 화합물로 $SnCl_2$와 $SnBr_2$를 사용하는 경우, $SnCl_2$와 $SnBr_2$ 의 혼합비를 조절하여 $SnCl^+$ / $SnBr^+$ 를 동시에 만들어내어 III-V 족 양자점(110)의 표면 패시베이션(passivation)을 진행할 수 있다.

[0120] $SnBr^+$ 으로 둘러싸인 InAs 양자점 박막은 $SnCl^+$ 보다 전하 이동도가 높고, $SnCl^+$ 으로 둘러싸인 InAs 양자점 박막은 $SnBr^+$ 보다 전하 수명이 길기 때문에, $SnBr_2$와 $SnCl_2$을 비율을 조절하여 전하 이동도와 전하 수명을 조절할 수 있다.

[0121] 구체적으로, III-V 족 양자점(110)으로 InAs를 사용하고, Z-형 금속 할라이드 리간드(120)로 SnCl 및 SnBr를 사용하는 경우, Z-형 금속 할라이드 리간드(120)로 사용되는 SnCl과 SnBr의 리간드 복합체(ligand complex)의 밴드갭의 경우, SnCl 는 SnBr 보다 전하 이동을 더 많이 방해 하기 때문에 전하 이동도는 SnCl가 SnBr보다 클 수

있다. 반면, SnCl 는 표면 댕글링 결합(dangling bond)을 SnBr 보다 더 잘 제거해줄 수 있다.

[0122] SnCl과 SnBr의 리간드 복합체(ligand complex)의 밴드갭과 표면의 댕글링 결합(dangling bond)의 인자(factor)는 전하 이동도와 음의 상관관계를 갖고 있기 때문에, 밴드갭과 표면의 댕글링 결합(dangling bond)의 인자(factor)를 조절하여 전하 이동도를 조절할 수 있다.

[0123] 예를 들어, $SnBr_2$와 $SnCl_2$을 비율이 1:1일 때 최적의 물성을 유도할 수 있다.

[0124] 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)은 트랜지스터 및 양자점 포토다이오드 중 적어도 어느 하나에 적용될 수 있다.

[0125] 실시예에 따라, 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)은 박막 구조를 가질 수 있다.

[0126] 박막 구조를 갖는 경우, 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)은 기판 상에 형성되는 양자점 박막을 포함할 수 있다.

[0127] 기판은 무기물 기판 또는 유기물 기판이 사용될 수 있다.

[0128] 무기물 기판은 유리, 석영(Quartz), Al2O3, SiC, Si, GaAs 및 InP 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0129] 유기물 기판은 켑톤 호일, 폴리이미드(polyimide, PI), 폴리에테르술폰(polyethersulfone, PES), 폴리아크릴레이트(polyacrylate, PAR), 폴리에테르 이미드(polyetherimide, PEI), 폴리에틸렌 나프탈레이트(polyethylene naphthalate, PEN), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(polyethylene terephthalate, PET), 폴리페닐렌 설파이드(polyphenylene sulfide, PPS), 폴리아릴레이트(polyarylate), 폴리카보네이트(polycarbonate, PC), 셀룰로오스 트리아세테이트(cellulose triacetate, CTA) 및 셀룰로오스 아세테이트 프로피오네이트(cellulose acetate propionate, CAP) 중 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0130] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)을 포함하는 양자점 포토다이오드는 양자 통신, 바이오 이미징, 원거리 통신, 자율주행 라이다 센서, 웨어러블 센서, 산업용 대면적 센서, 의료용 센서, 보안용 센서 등 다양한 전자소자로 활용될 수 있으며 응용 적용 시, 성능 증진, 에너지 효율 증대 및 비용 절감의 장점을 가질 수 있다.

[0131] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)을 포함하는 트랜지스터 및 양자점 포토다이오드 중 적어도 어느 하나는 적외선 센서로 사용될 수 있다.

[0133] 본 발명의 실시예에 따른 적외선 센서는 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)을 포함한다.

[0134] 본 발명의 실시예에 따른 적외선 센서는 트랜지스터 구조, 광전도체(photoconductor) 구조 또는 포토다이오드 구조를 가질 수 있다.

[0135] 본 발명의 실시예에 따른 적외선 센서가 트랜지스터 구조를 갖는 경우, 본 발명의 실시예에 따른 적외선 센서는 게이트 전극, 게이트 전극 상에 형성되는 게이트 절연층, 게이트 절연층 상에 형성되고, 본 발명의 실시예에 따른 양자점을 포함하는 광활성층 및 게이트 절연층 상에 형성되고, 광활성층의 양측면에 각각 형성되는 소스/드레인 전극을 포함할 수 있다.

[0136] 게이트 전극 및 소스/드레인 전극은 금, 은, 백금, 크롬, 티타늄, 구리, 알루미늄, 탄탈륨, 몰리브데늄, 텅스텐, 니켈, 팔라듐, ITO(indium tin oxide), FTO(fluorine doped tin oxide), IZO(indium zinc oxide), 은 나노와이어, 전도성 고분자, Si 및 그래핀 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않고, 전기 전도도를 갖는 도전성 물질을 포함할 수 있다.

[0137] 예를 들어, 전도성 고분자는 PEDOT:PSS(polyethylene dioxythiophene:polystyrene sulphonate), 폴리아닐린 및 폴리피롤 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0138] 게이트 절연층은 SiO_2, SiN_x, HfO_2, Al_2O_3, ZrO_x, Si_3N_4, 폴리이미드, 실리콘 산화막 및 산화 그래핀 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않으며, 게이트 절연층은 트랜지스터에 통상적으로 사용되는 유전체를 포함할 수 있다.

[0139] 광활성층은 본 발명의 실시예에 따른 양자점을 포함할 수 있다.

[0141] 본 발명의 실시예에 따른 적외선 센서가 광전도체(photoconductor) 구조를 갖는 경우, 광전도체(photoconductor) 구조 트랜지스터 구조에서 게이트 전극이 없는 전극(electrode; 제1 전극에 대응)/본 발명의 실시예에 따른 양자점을 포함하는 광활성층/ 전극(electrode; 제2 전극에 대응) 구조를 가질 수 있다.

[0142] 기판은 무기물 기판 또는 유기물 기판이 사용될 수 있다.

[0143] 무기물 기판은 유리, 석영(Quartz), Al_2O_3, SiC, Si, GaAs 및 InP 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0144] 유기물 기판은 켑톤 호일, 폴리이미드(polyimide, PI), 폴리에테르술폰(polyethersulfone, PES), 폴리아크릴레이트(polyacrylate, PAR), 폴리에테르 이미드(polyetherimide, PEI), 폴리에틸렌 나프탈레이트(polyethylene naphthalate, PEN), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(polyethylene terephthalate, PET), 폴리페닐렌 설파이드(polyphenylene sulfide, PPS), 폴리아릴레이트(polyarylate), 폴리카보네이트(polycarbonate, PC), 셀룰로오스 트리아세테이트(cellulose triacetate, CTA) 및 셀룰로오스 아세테이트 프로피오네이트(cellulose acetate propionate, CAP) 중 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0145] 제1 전극 및 제2 전극은 동일하거나 상이할 수 있으며, 예를 들어, 제1 전극 및 제2 전극은 금, 은, 백금, 크롬, 티타늄, 구리, 알루미늄, 탄탈륨, 몰리브데늄, 텅스텐, 니켈 또는 팔라듐 등과 같은 다양한 금속 전극이 제한 없이 사용될 수 있다,

[0146] 광활성층은 본 발명의 실시예에 따른 양자점을 포함할 수 있다.

[0148] 본 발명의 실시예에 따른 적외선 센서가 트랜지스터 구조 및 광전도체 구조를 갖는 경우, 본 발명의 실시예에 따른 적외선 센서는 광자에 의해 여기자가 생성되고, 게이트 전압(Gate voltage) 혹은 소스/드레인 전압(source/drain voltage)에서 여기자가 분리(separation)되어 광전자와 광정공으로 분리되며, 둘 중 메이저 전하(major carrier) 만이 소스/드레인(source/drain) 전극에 의해서 추출되고 나머지 마이너 전하(minor carrier)는 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)을 포함하는 광활성층에 잔류하게 된다.

[0149] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 적외선 센서는 잔류 전하(carrier)로 인해 광활성층의 전하 중립(charge neutral) 상태가 깨지고 이를 채우기 위해서 새로운 메이저 전하(major carrier)를 소스/드레인(source/drain) 전극에서 드레인하고, 마이너 전하(minor carrier)가 재결합(recombination) 되기 전까지 해당 2번 내지 4번 반복하며, 흐른 전하(carrier) 개수만큼 전류 값으로 변환될 수 있다.

[0151] 본 발명의 실시예에 따른 적외선 센서가 양자점 포토다이오드 구조를 갖는 경우, 본 발명의 실시예에 따른 적외선 센서는 제1 전극, 제1 전극 상에 형성되는 전하 수송층, 전하 수송층 상에 형성되고, 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)을 포함하는 광활성층, 광활성층 상에 형성되는 정공 수송층 및 정공 수송층 상에 형성되는 제2 전극을 포함할 수 있다.

[0152] 제1 전극 및 제2 전극은 전도성 전극 및 광의 투과를 향상시키기 위해 투명 전도성 전극 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 제1 전극 및 제2 전극은 당분야에서 통상적으로 사용되는 전극 물질이면 사용 가능하다.

[0153] 예를 들어, 제1 전극 및 제2 전극은 인듐 주석 산화물(ITO;Indium Tin Oxide), 불소 도핑된 주석 산화물(FTO;Fluorinedoped tin oxide), 인듐 아연 산화물(Indium Zinc Oxide), 알루미늄 도핑된 아연 산화물(AZO;Aluminium-doped Zinc Oxide), 안티몬 도핑된 주석 산화물(ATO;Antimony-doped Tin Oxide), 갈륨 도핑된 아연 산화물(GZO;Gallium-doped Zinc Oxide), 인듐 아연 주석 산화물(IZTO:Indium Zinc Tin Oxide), 그래핀(Graphene), 탄소 나노튜브(Carbon nanotube), PEDOT:PSS (poly(3,4-ethylenedioxythiophene)poly(styrenesulfonate)), 티타늄 탄화물, 은 나노와이어 (Silver nanowire), 알루미늄(Al), 은(Ag), 금(Au), 구리(Cu), 팔라듐(Pd), 백금(Pt), 탄소나노튜브(CNT, Carbon Nano Tube) 및 그래핀(graphene) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0154] 전자 수송층은 금속 산화물, 금속 질화물 및 금속 질산화물 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0155] 바람직하게는, 전자 수송층은 나노입자 또는 벌크 형태의 전자 수송 물질을 포함할 수 있고, 나노입자 또는 벌

크 형태의 전자 수송 물질은 ZnO, ZnON, TiO_2 와 같은 n type의 금속 산화물, 금속 질화물, 금속 질산화물 반도체 소재 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있고, 더욱 바람직하게는, 전자 수송층은 ZnO 나노 입자 및 TiO_2 나노입자 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0156] 나노입자 또는 벌크 형태의 전자 수송 물질은 밴드 구조를 이용해 광전하 중 양전하의 이동을 막고 전자의 이동을 수월하게 하는 역할을 할 수 있다.

[0157] 광활성층은 본 발명의 실시예에 따른 양자점(100)을 포함할 수 있다.

[0158] 정공 주입층은 WO_3, MoO_3, V_2O_5, NiO 및 RuO 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0159] 본 발명의 실시예에 따른 적외선 센서가 양자점 포토다이오드 구조를 갖는 경우, 본 발명의 실시예에 따른 적외선 센서는 광자에 의해서 여기자 생성되고, 내부의 내부 확산 전위(built-in potential)로 인하여 여기자가 분리(separation)되어 광전자와 광정공으로 분리되며, 전자 수송층 및 정공 수송층에 의해서 전극까지 해당 광전자 광정공이 이동하여 전류로 변환될 수 있다.

[0161] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 양자점의 제조 방법을 도시한 흐름도이다.

[0162] 본 발명의 실시예에 따른 양자점의 제조 방법은 본 발명의 실시예에 따른 양자점과 동일한 구성요소를 포함할 수 있고, 동일한 구성요소에 대한 설명은 생략하기로 한다.

[0163] 본 발명의 실시예에 따른 양자점의 제조 방법은 III-V 족 양자점의 표면에 동일한 전하 분포를 만들어 치환율을 높일 수 있는 표면 리간드 치환 기술을 통해 III-V 족 양자점의 표면에 Z-형 금속 할라이드 리간드를 치환시킬 수 있다.

[0164] 먼저, 본 발명의 실시예에 따른 양자점의 제조 방법은 표면에 유기 리간드가 결합된 III-V 족 양자점을 포함하는 양자점 용액을 제조하는 단계(S110)를 진행한다.

[0165] 유기 리간드는 올레산(Oleic acid), 올레일아민(Oleylamine), 인산(Phosphoric acid) 및 트리옥틸포스파인 옥사이드(Trioctylphosphine oxide) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0166] 양자점 용액은 제1 용매를 더 포함할 수 있고, 제1 용매는 III-V 족 양자점이 잘 분산될 수 있는 것이라면 당업계에서 공지된 용매를 제한없이 사용할 수 있으며, 예를 들어, 제1 용매는 물, 아세톤, 메틸에틸케톤 등 C3 내지 C12의 케톤계, 1차 아민, 2차 아민, 3차 아민 (예; 트리옥틸아민), 피리딘 등의 질소함유 헤테로고리 화합물, 올레핀, 지방족 탄화수소, C1 내지 C20 알킬기로 치환된 방향족 탄화수소, 알킬기로 치환된 포스핀, 알킬기로 치환된 포스핀옥사이드, 방향족 에테르, 염소계, 에테르계, 에스테르계, 케톤계, 지방족 탄화수소계 및 방향족 탄화수소계 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0167] 양자점 용액의 농도는 25 mg/mL 내지 200 mg/mL 일 수 있고, 양자점 용액의 농도가 25 mg/mL 미만이면 양자점 용액 코팅(예; 스핀 코팅) 시 두께가 충분히 두껍게 형성되지 않는 문제가 있고, 200 mg/mL 를 초과하면 양자점 용액 내 불순물의 비율이 높아져 양질의 박막이 형성되지 않는 문제가 있다.

[0168] 이 후, 본 발명의 실시예에 따른 양자점의 제조 방법은 적어도 하나 이상의 금속 할라이드 화합물을 포함하는 리간드 용액을 제조하는 단계(S120)를 진행한다.

[0169] 금속 할라이드 화합물은 하기 화학식 3으로 표시되는 화합물을 포함할 수 있다.

[0170] [화학식 3]

[0171] MX_m

[0172] (상기 화학식 3에서, 상기 M은 Sn, In, Cd, Zn, Ga 및 Ge 중 어느 하나의 금속을 포함하고, 상기 X 는 Cl, Br 및 I 중 적어도 어느 하나의 할라이드를 포함하며, 상기 m은 2 또는 3임)

[0173] 리간드 용액은 제2 용매를 더 포함할 수 있고, 제2 용매는 금속 할라이드 화합물이 잘 분산될 수 있는 것이라면 당업계에서 공지된 용매를 제한없이 사용할 수 있으며, 예를 들어, 제1 용매는 물, 아세톤, 메틸에틸케톤 등 C3 내지 C12의 케톤계, 1차 아민, 2차 아민, 3차 아민 (예; 트리옥틸아민), 피리딘 등의 질소함유 헤테로고리 화합물, 올레핀, 지방족 탄화수소, C1 내지 C20 알킬기로 치환된 방향족 탄화수소, 알킬기로 치환된 포스핀, 알킬기

로 치환된 포스핀옥사이드, 방향족 에테르, 염소계, 에테르계, 에스테르계, 케톤계, 지방족 탄화수소계 및 방향족 탄화수소계 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0174] 리간드 용액의 농도는 1 mM 내지 10 mM일 수 있고, 리간드 용액의 농도가 1 mM 미만이면 치환 반응이 일어나지 않는 문제가 있고, 10 mM를 초과하면 너무 빠른 화학반응으로 인해서 증착된 양자점 박막이 기판 표면으로부터 탈착되는 현상 발생하는 문제가 있다.

[0175] 마지막으로, 본 발명의 실시예에 따른 양자점의 제조 방법은 양자점 용액과 리간드 용액을 혼합하여 III-V 족 양자점의 유기 리간드를 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드로 치환하는 단계(S130)를 진행한다.

[0176] 양자점 용액과 리간드 용액을 혼합하여 III-V 족 양자점의 유기 리간드를 Z-형(Z-type) 금속 할라이드 리간드로 치환하는 단계(S130)에서, 금속 할라이드 화합물은 해리되어 III-V 족 양자점의 표면에 Z-형 금속 할라이드 리간드가 결합될 수 있다.

[0177] 따라서, III-V 족 양자점의 표면에 결합된 Z-형 금속 할라이드 리간드는 하기 화학식 1 및 화학식 2로 표시되는 화합물 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0178] [화학식 1]

[0179] MX_n

[0180] [화학식 2]

[0181] $MX_aX'_b$

[0182] (상기 화학식 1 및 2에서, 상기 M은 Sn, In, Cd, Zn, Ga 및 Ge 중 어느 하나의 금속을 포함하고, 상기 X 및 X'는 각각 Cl, Br 및 I 중 적어도 어느 하나의 할라이드를 포함하며, 상기 n은 1 또는 2이고, 상기 a 및 상기 b는 0과 1 사이의 실수이며, a+b=n임)

[0183] 금속 할라이드 화합물의 M(금속 이온)에 따라 III-V 족 양자점에 결합되는 Z-형 금속 할라이드 리간드의 비율이 조절될 수 있다.

[0184] 적어도 하나 이상의 금속 할라이드 화합물은 제1 금속 할라이드 화합물 및 제2 금속 할라이드 화합물을 포함하고, 제1 금속 할라이드 화합물의 및 제2 금속 할라이드 화합물의 몰비에 따라 III-V 족 양자점의 전하 이동도 및 전하 수명이 조절될 수 있다.

[0185] 제1 금속 할라이드 화합물 및 제2 금속 할라이드 화합물의 몰비는 0.5:1.5 내지 1.5:0.5일 수 있다.

[0186] 예를 들어, 제1 금속 할라이드 화합물과 제2 금속 할라이드 화합물로 $SnCl_2$와 $SnBr_2$를 사용하는 경우, $SnCl_2$와 $SnBr_2$ 의 혼합비를 조절하여 $SnCl^+$ / $SnBr^+$ 를 동시에 만들어내어 III-V 족 양자점의 표면 패시베이션(passivation)을 진행할 수 있다.

[0187] $SnBr^+$ 으로 둘러싸인 InAs 양자점 박막은 $SnCl^+$ 보다 전하 이동도가 높고, $SnCl^+$ 으로 둘러싸인 InAs 양자점 박막은 $SnBr^+$ 보다 전하 수명이 길기 때문에, $SnBr_2$와 $SnCl_2$을 비율을 조절하여 전하 이동도와 전하 수명을 조절할 수 있다.

[0188] 예를 들어, $SnBr_2$와 $SnCl_2$을 비율(몰비)이 1:1일 때 최적의 물성을 유도할 수 있다.

[0189] 본 발명의 실시예에 따른 양자점은 트랜지스터 및 양자점 포토다이오드 중 적어도 어느 하나에 적용될 수 있다.

[0190] 또한, 제1 금속 할라이드 화합물 및 제2 금속 할라이드 화합물의 혼합비에 따라, Z-형 금속 할라이드 리간드의 제1 할라이드(X에 대응됨)와 제2 할라이드(X' 에 대응됨)의 몰비가 조절될 수 있다.

[0191] 따라서, Z-형 금속 할라이드 리간드의 제1 할라이드(X에 대응됨)와 제2 할라이드(X' 에 대응됨)의 몰비는 0.5:1.5 내지 1.5:0.5일 수 있다.

[0192] 리간드 치환 공정은 III-V 족 양자점 표면에 흡착되는 산소를 억제하기 위해 질소 환경에서 진행될 수 있다.

[0193] 리간드 치환 공정의 환경은 10 ppm 이하의 산소조건을 가질 수 있고, 상온 상압 환경에서 진행되어 경제성을 높

일 수 있다.

[0194] 실시예에 따라, 본 발명의 실시예에 따른 양자점이 박막 구조를 갖는 경우, 본 발명의 실시예에 따른 양자점의 제조 방법은 표면에 유기 리간드가 결합된 III-V 족 양자점을 포함하는 양자점 용액을 제조하는 단계(S111), 양자점 용액을 기판 상에 코팅하여 양자점 전구체 박막을 형성하는 단계(S112), 적어도 하나 이상의 금속 할라이드 화합물을 포함하는 리간드 용액을 제조하는 단계(S120) 및 양자점 전구체 박막 상에 리간드 용액을 코팅하여 III-V 족 양자점의 유기 리간드를 Z형(Z-type) 금속 할라이드 리간드로 치환하는 단계(S131)를 포함할 수 있다.

[0195] 기판은 무기물 기판 또는 유기물 기판이 사용될 수 있다.

[0196] 본 발명의 실시예에 따른 양자점이 박막 구조를 갖는 경우, 본 발명의 실시예에 따른 양자점의 제조 방법은 기판 상에 코팅하여 제조하는 것을 제외하면 앞서 전술한 제조 방법과 물질, 공정 조건 등이 동일할 수 있다.

[0197] 무기물 기판은 유리, 석영(Quartz), Al_2O_3, SiC, Si, GaAs 및 InP 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0198] 유기물 기판은 켑톤 호일, 폴리이미드(polyimide, PI), 폴리에테르술폰(polyethersulfone, PES), 폴리아크릴레이트(polyacrylate, PAR), 폴리에테르 이미드(polyetherimide, PEI), 폴리에틸렌 나프탈레이트(polyethylene naphthalate, PEN), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(polyethylene terephthalate, PET), 폴리페닐렌 설파이드(polyphenylene sulfide, PPS), 폴리아릴레이트(polyarylate), 폴리카보네이트(polycarbonate, PC), 셀룰로오스 트리아세테이트(cellulose triacetate, CTA) 및 셀룰로오스 아세테이트 프로피오네이트(cellulose acetate propionate, CAP) 중 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0199] 코팅은 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 진행될 수 있다.

[0200] 실시예에 따라, 양자점 용액을 기판 상에 코팅하여 양자점 전구체 박막을 형성하는 단계(S112) 및 양자점 전구체 박막 상에 리간드 용액을 코팅하여 III-V 족 양자점의 유기 리간드를 Z형(Z-type) 금속 할라이드 리간드로 치환하는 단계(S131)는 2000 rpm 내지 3000 rpm 의 속도로 스핀 코팅될 수 있다.

[0201] 실시예에 따라, 양자점 용액을 기판 상에 코팅하여 양자점 전구체 박막을 형성하는 단계(S112) 및 양자점 전구체 박막 상에 리간드 용액을 코팅하여 III-V 족 양자점의 유기 리간드를 Z형(Z-type) 금속 할라이드 리간드로 치환하는 단계(S131)는 코팅 시간이 30초 내지 2 분일 수 있다.

[0202] 본 발명의 실시예에 따른 양자점의 제조 방법은 양자점 전구체 박막 상에 리간드 용액을 코팅하여 III-V 족 양자점의 유기 리간드를 Z형(Z-type) 금속 할라이드 리간드로 치환하는 단계(S131)를 진행한 다음, Z형(Z-type) 금속 할라이드 리간드로 치환된 양자점 박막은 세척하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0204] **실험예 1: 양자점의 특성**

[0205] **비교예 1: As-syn**

[0206] InOAc (0.29.g), 올레산(oleic acid, 0.85 g) 및 1-옥타데센(1-octadence, 5 mL)를 넣고 120℃ 환경에서 교반을 하며 2h 시간 디가싱(degassing)을 진행하고, 질소로 바꾸어, 300℃도까지 온도를 승온하여 $TMSi_3As$ 프리커서를 빠르게 인젝션(injection) 하였다.

[0207] 이후 미리 제작된 In과 As 클러스터(cluster)를 일정하 속도로 적정하여 입자를 성장시키고, 원하는 입자의 크기가 됐을 때 적정을 멈추고 상온까지 온도를 내린 다음, 콜로이달 상태의 InAs 양자점이 균일한 크기를 갖도록 나노 입자를 뷰탄올(1-butanol) 용매와 혼합하여 원심분리를 진행하였다. 이후 가라앉은 균일한 InAs 양자점을 옥테인(octane)에 분산시켜 콜로이달 InAs 용액을 준비하였다.

[0209] **실시예 1: CdX_2**

[0210] **실시예 1-1: $CdCl_2$**

[0211] 10mg 내지 100 mg으로 옥탄(octane)에 분산된 InAS 양자점을 스핀 코팅으로 InAS 양자점 박막을 증착한 다음,

메탄올(methanol)에 10 mM의 농도로 $CdCl_2$를 녹인 리간드 용액을 InAS 양자점 박막 도포하였다. 2 분의 도포시간 이후 깨끗한 메탄올(pure methanol)로 리간드 치환된 InAS 양자점 박막에 도포하여 잔여 유기물을 제거하였다.

[0213] **실시예 1-2: $CdBr_2$**

[0214] $CdCl_2$ 대신 $CdBr_2$를 사용한 것을 제외하면 실시예 1-1과 동일하게 제조되었다.

[0216] **실시예 1-3: CdI_2**

[0217] $CdCl_2$ 대신 CdI_2를 사용한 것을 제외하면 실시예 1-1과 동일하게 제조되었다.

[0219] **실시예 2: InX_2**

[0220] **실시예 2-1: $InCl_3$**

[0221] $CdCl_2$ 대신 $InCl_3$를 사용한 것을 제외하면 실시예 1-1과 동일하게 제조되었다.

[0223] **실시예 2-2: $InBr_3$**

[0224] $CdCl_2$ 대신 $InBr_3$를 사용한 것을 제외하면 실시예 1-1과 동일하게 제조되었다.

[0226] **실시예 2-3: InI_3**

[0227] $CdCl_2$ 대신 InI_3를 사용한 것을 제외하면 실시예 1-1과 동일하게 제조되었다.

[0229] **실시예 3: SnX_2**

[0230] **실시예 3-1: $SnCl_2$**

[0231] $CdCl_2$ 대신 $SnCl_2$를 사용한 것을 제외하면 실시예 1-1과 동일하게 제조되었다.

[0233] **실시예 3-2: $SnBr_2$**

[0234] $CdCl_2$ 대신 $SnBr_2$를 사용한 것을 제외하면 실시예 1-1과 동일하게 제조되었다.

[0236] **실시예 3-3: SnI_2**

[0237] $CdCl_2$ 대신 SnI_2를 사용한 것을 제외하면 실시예 1-1과 동일하게 제조되었다.

[0239] 도 3은 실시예 1 내지 실시예 3에 따른 양자점의 FT-IR 분석 결과를 도시한 그래프이고, 도 4는 할라이드 이온에 따른 치환비율을 도시한 그래프이다.

[0240] 도 3 및 도 4는 금속 할라이드 화합물(CdX_2, InX_3, SnX_2, x=Cl, Br, I)을 이용하여 III-V 족 양자점인 InAs 양

자점을 치환한 결과를 나타낸 것으로, FT-IR 분석에서 검출되는 C-H 결합 피크(bonding peak)의 강도를 이용하여 기존의 다수의 C-H을 포함하는 올레산(oleic acid) 리간드(비교예 1에 따른 양자점)가 얼마나 치환이 이루어졌는지를 평가하였다.

[0241] 도 3 및 도 4를 참조하면, 금속 할라이드 화합물의 할라이드 이온의 종류에 상관없이 CdX_2 < InX_3 < SnX_2 순으로 치환율이 상승하는 것을 알 수 있다.

[0243] 도 5 및 도 6은 비교예 1, 실시예 1-1, 실시예 1-2, 실시예 2-1, 실시예 2-2, 실시예 3-1 및 실시예 3-2에 따른 양자점의 XPS 분석 결과를 도시한 그래프이다.

[0244] 도 5 및 도 6은 XPS 분석을 통해서 금속 할라이드 화합물(CdX_2, InX_3, SnX_2, x=Cl, Br, I)로 리간드 처리된 박막의 In 3d 오비탈(orbital)과 As 3d 오비탈(orbital)을 관찰하였다.

[0245] 도 5 및 도 6은 참조하면, In 3d 오비탈(orbital)의 XPS 경우, 리간드 치환 공정 이후에 모두 공통적으로 결합에너지(binding energy)가 상승하였으나, CdX_2, InX_3, SnX_2 사이에 차이가 별로 없는 것을 알 수 있다.

[0246] 반면에, As 3d 오비탈(orbital)의 경우, CdX_2 > InX_3 > SnX_2 으로 As_2O_3 신호가 줄어드는 것을 알 수 있다.

[0247] As_2O_3의 경우, 표면에 리간드가 붙지 못해 생성되는 것으로 알려져 있기 때문에, 도 5 및 도 6을 통해 As 면의 포장(결합에 대응 됨)이 CdX_2 < InX_3 < SnX_2 순으로 향상되는 것을 알 수 있다.

[0249] 도 7은 III-V 족 양자점인 InAs 양자점의 As 면을 도시한 개략도 및 표면의 As 원자의 Muliken 전하(Muliken charge) 값과 Z-형 금속 할라이드 리간드의 Muliken 전하(Muliken charge) 값을 도시한 그래프와 표이다.

[0250] 도 7은 DFT(Density Functional Theory)를 이용하여 As 면과 금속 할라이드 화합물(CdX_2, InX_3, SnX_2, x=Cl, Br, I)가 Z-형 금속 할라이드 리간드로 해리된 형태인 CdX, InX_2, SnX가 결합할 때, 표면의 As 원자와 Z-형 금속 할라이드 리간드의 금속의 Muliken 전하(Muliken charge)를 나타낸 것이다.

[0251] 도 7을 참조하면, InAs 내부의 In과 As의 원자의 Muliken 전하가 +0.44 e와 -0.44 e임을 고려한다면, CdX_2 < InX_3 < SnX_2 순으로 표면의 As 원자를 내부 As와 비슷한 전하(charge)를 띄게 만들어줄 수 있다.

[0252] 또한, CdX_2 < InX_3 < SnX_2 순으로 Z-형 금속 할라이드 리간드의 금속의 Muliken 전하가 내부의 In 원자와 비슷하게 형성되는 것을 알 수 있다.

[0254] 도 8은 Muliken 전하를 기반으로 InAs 표면의 As 면에 결합된 Z-형 금속 할라이드 리간드(CdX, InX_2, SnX)의 구조를 도시한 이미지이다.

[0255] 도 8을참조하면, CdX_2와 InX_3는 1개 표면 As 원자와 결합하는 반면에 SnX_2의 경우 표면의 3개의 As 원자와 결합하는 것을 알 수 있다.

[0257] 도 9은 표면의 리간드가 존재하는 비율에 따른 흡착에너지(=결합 에너지affinity)의 변화를 도시한 그래프이다.

[0258] 도 9를 참조하면, 모든 리간드 비율 조건에서, 금속 할라이드 화합물은 CdX_2 < InX_3 < SnX_2 순으로 높은 흡착에너지를 나타내는 것을 알 수 있다.

[0259] 또한, SnX_2 리간드는 표면의 As 원자를 내부의 As원자들과 비슷한 전하를 형성하게 해주어 높은 흡착에너지(affinity)를 보이는 것을 알 수 있다.

[0260] 따라서, 공유결합 성격이 강한 InAs의 표면을 치환할 때 내부와 표면의 전하를 동일하게 형성하는 것(identical surface charge)이 중요한 것을 알 수 있다.

[0262] 도 10은 주석 할라이드(SnX_2, x=Cl,Br,I)의 할라이드 조성 변화에 따른 XPS 분석 결과를 도시한 그래프이고, 도 11은 As 원소의 신호를 도시한 그래프이다.

[0263] 도 10 및 도 11을 참조하면, In 3d 오비탈(orbital)의 XPS신호를 분석한 결과, 전체적인 신호의 계형이 높은 에너지로 이동했음을 알 수 있다. 그러나, SnI_2의 경우, 변화량이 작은데 이는 In 표면과 I의 결합이 적음을 의미한다.

[0264] 추가적인 XPS 원소 분석 결과에서도 할라이드 이온의 비율 중 아이오딘(iodide)이 가장 적은 것을 알 수 있고, 브로마이드(Bromide)의 경우 클로라이드(chloride)보다 더 적은 비율인 것을 알 수 있다.

[0266] 도 12 및 도 13은 실시예 3-1 및 실시예 3-2에 따른 양자점의 박막 내부에서 전하의 수명을 측정하기 위한 회절 흡광도(Transient absorbance) 결과를 도시한 그래프이다.

[0267] 도 13은 도 12의 결과를 간략히 도시한 것으로, 도 12 및 도 13을 통해 양자점 박막에 여기된 여기자의 수명을 측정할 수 있다.

[0268] 도 12 및 도 13을 참조하면, 해당 측정을 통해서 $SnCl_2$와 $SnBr_2$ 을 이용하여 치환된 InAs 양자점 박막 내 전하의 수명은 각각 2218 ps 와 1262 ps 으로 측정되었다.

[0269] 따라서, $SnCl_2$는 InAs 표면에 더 많이 결합해있어 표면 개질의 정도가 높다는 도 3 및 도 4의 XPS 결과와 잘 일치되는 것을 알 수 있다.

[0271] **실험예 2: 본 발명의 실시예에 따른 양자점을 포함하는 전계효과 트랜지스터 의 특성**

[0272] **실시예 4: 전계효과 트랜지스터(FET transistor)**

[0273] 300 nm의 게이트 절연막(gate insulator)인 SiO_2를 Si기판위에 열 성자(thermal grown) 방식으로 증착한 다음, 기판 상에 양자점 박막을 50 nm 증착하고, 증착된 양자점 박막 상에 너비:길이(width:length) 비율이 60인 소스/드레인 전극을 증착하였다.

[0274] 양자점 박막은 실시예 1-1 내지 실시예 3-3 중 어느 하나의 방법을 이용하여 제조되었다.

[0275] 따라서, 도 14와 같은 전계효과 트랜지스터를 제조하였다.

[0276] 도 14는 본 발명의 실시예에 따른 양자점을 포함하는 전계효과 트랜지스터이다.

[0278] 도 15는 실시예 4에 따른 전계효과 트랜지스터의 전이 곡선(transfer curve을 도시한 그래프이고, 도 16은 전하이동도를 도시한 그래프이다.

[0279] 도 15 및 도 16을 참조하면, $SnCl_2$와 $SnBr_2$ 을 이용하여 치환된 InAs 양자점 박막의 전하이동도는 각각 4.31 X 10^{-4} $cm^2V^{-1}S^{-1}$ 과 1.017 X 10^{-4} $cm^2V^{-1}S^{-1}$ 인 것을 알 수 있다.

[0280] 따라서, 박막에서의 전하의 이동거리는 전하이동도와 전하의 수명과 비례하며 $SnBr_2$ 을 이용하여 치환된 InAs 양자점 박막의 경우 1.3 배 더 높은 전하이동거리를 나타내는 것을 알 수 있다.

[0282] **실험예 2: 본 발명의 실시예에 따른 양자점을 포함하는 포토다이오드의 특성**

[0283] **실시예 5: 포토다이오드**

[0284] 먼저 세척된 ITO 패턴 상에 UVO(UV-ozone) 처리를 30분 진행한 다음, 메탄올(Methanol)과 클로로포름(chloroform) 용액에 1:1비율로 분산된 100mg/mL의 ZnO 나노 입자를 2500 rpm으로 스핀코팅 하였다.

[0285] 그 후 합성된 InAs 양자점을 2500 rpm 으로 스핀코팅한 뒤 10 mM의 리간드 용액에 침전하는 과정을 3~4회 반복한 다음 마지막으로 쉐도우 마스크를 부착하고 금속 Au를 50-200 nm 두께로 로 열증착하여 소자를 제작 하였다.

[0287] 도 17과 같은 포토다이오드를 제조하였다.

[0288] 도 17은 본 발명의 실시예에 따른 양자점을 포함하는 포토다이오드이다.

[0290] 도 18은 실시예 5에 따른 포토다이오드의 전압-전류밀도 곡선을 도시한 그래프이다.

[0291] 도 18을 참조하면, $SnCl_2$은 높은 표면 개질의 정도 덕분에 암전류가 낮은 것을 알 수 있다. 반면, 외부양자효율(광전류)의 경우, $SnBr_2$이 더 높은데 이는 전하이동거리 측면에서는 $SnCl_2$에 비하여 더 유리하기 때문이다.

[0293] 도 19는 할라이드 이온 비율에 따른 실시예 5에 따른 포토다이오드의 외부양자효율을 도시한 그래이며, 도 20은 암전류를 이용하여 계산한 누설전류를 도시한 그래프이다.

[0294] 도 19를 참조하면, 외부 양자효율의 경우, $SnCl_{0.5}Br_{0.5}$ 리간드 용액을 사용했을 때 가장 큰 것을 알 수 있다. 반면에, 누설전류의 경우, $SnCl_{0.5}Br_{0.5}$ 이하의 Cl이 더 적은 조건에서 급격하게 누설전류가 증가하는 것을 알 수 있다.

[0295] 이에, 포토다이오드에 $SnCl_{0.5}Br_{0.5}$ 할라이드 혼합 리간드 용액을 사용하여 외부양자효율을 50% 증가시키고 누설전류의 경우 기존의 30%이하로 감소시킬 수 있다.

[0296] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 양자점은 할라이드 이온의 혼합을 제어하여 박막의 표면 개질의 정도와 전하이동거리를 극대화시킬 수 있다.

[0298] 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.

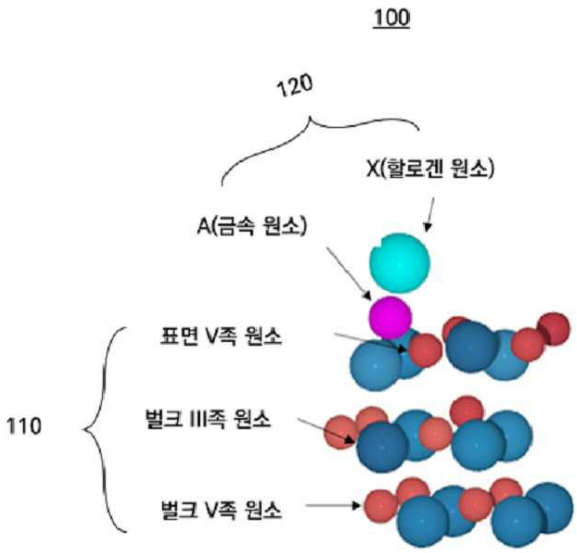
부호의 설명

[0300] 100: 양자점

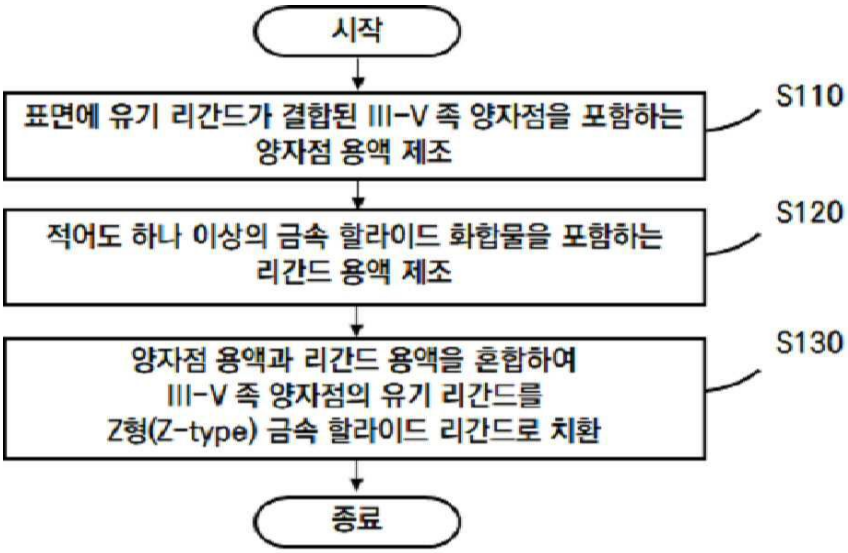
110: III-V 족 양자점 120: Z형 금속 할라이드 리간드

도면

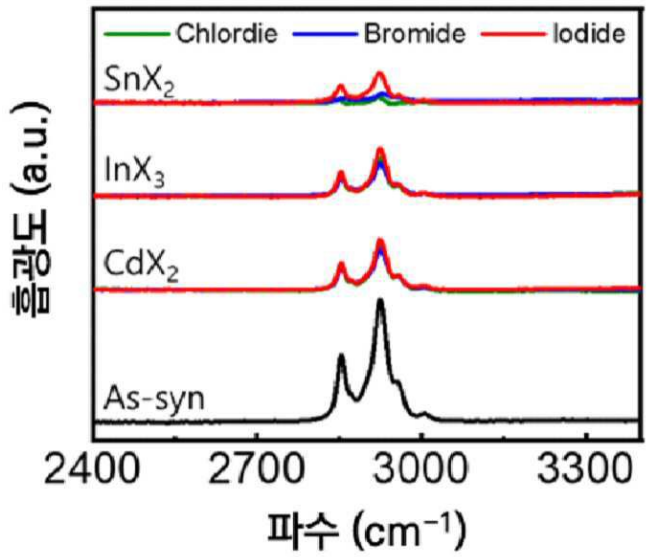
도면1


100
120
X(할로겐 원소)
A(금속 원소)
표면 V족 원소
110
벌크 III족 원소
벌크 V족 원소

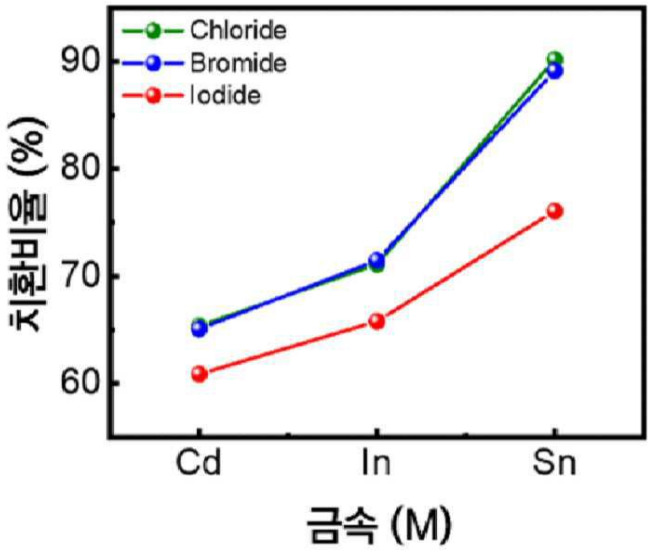
도면2


시작
표면에 유기 리간드가 결합된 III-V 족 양자점을 포함하는 양자점 용액 제조
S110
적어도 하나 이상의 금속 할라이드 화합물을 포함하는 리간드 용액 제조
S120
양자점 용액과 리간드 용액을 혼합하여 III-V 족 양자점의 유기 리간드를 Z형(Z-type) 금속 할라이드 리간드로 치환
S130
종료

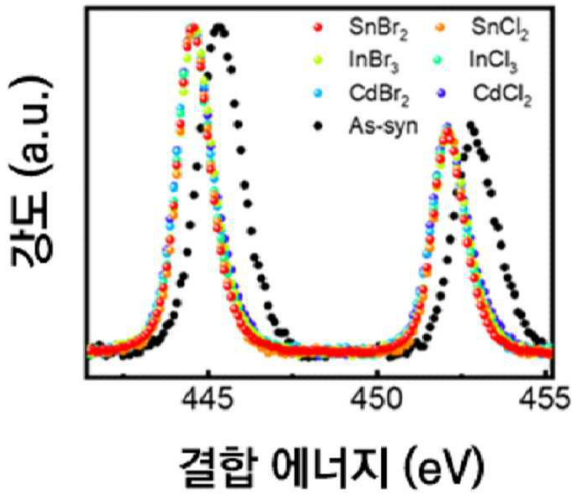
도면3


Chlordie
Bromide
Iodide
SnX2
InX3
CdX2
As-syn
흡광도 (a.u.)
2400
2700
3000
3300
파수 (cm-1)

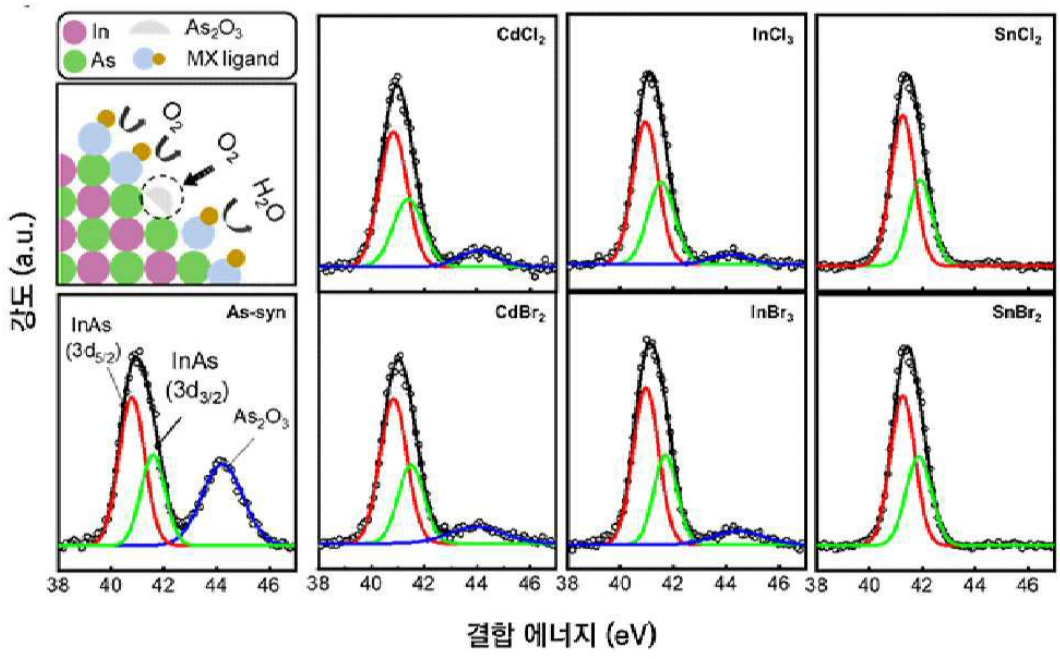
도면4


Chloride
Bromide
Iodide
90
80
70
60
치환비율 (%)
Cd
In
Sn
금속 (M)

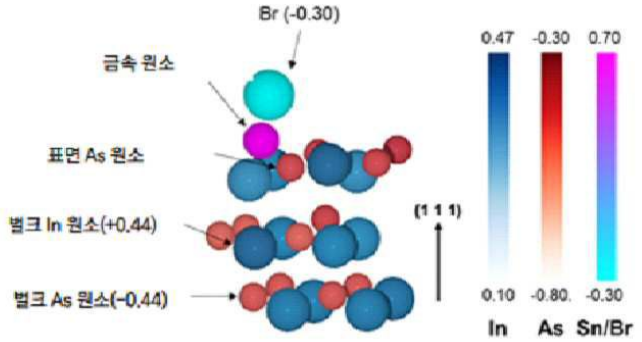
도면5


SnBr2
SnCl2
InBr3
InCl3
CdBr2
CdCl2
As-syn
강도 (a.u.)
445
450
455
결합 에너지 (eV)

도면6

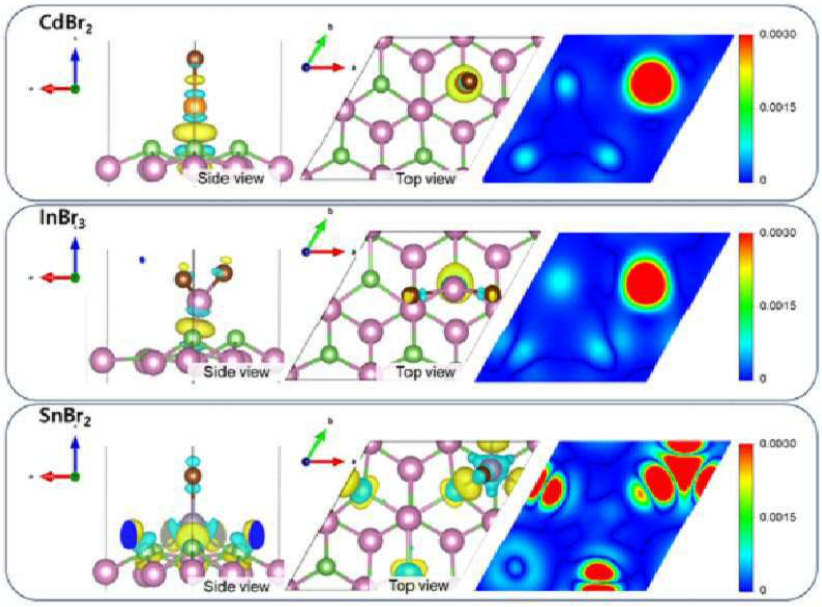

In
As
As2O3
MX ligand
O2
O2
H2O
As-syn
InAs (3d5/2)
InAs (3d3/2)
As2O3
CdCl2
InCl3
SnCl2
CdBr2
InBr3
SnBr2
강도 (a.u.)
38
40
42
44
46
결합 에너지 (eV)

도면7

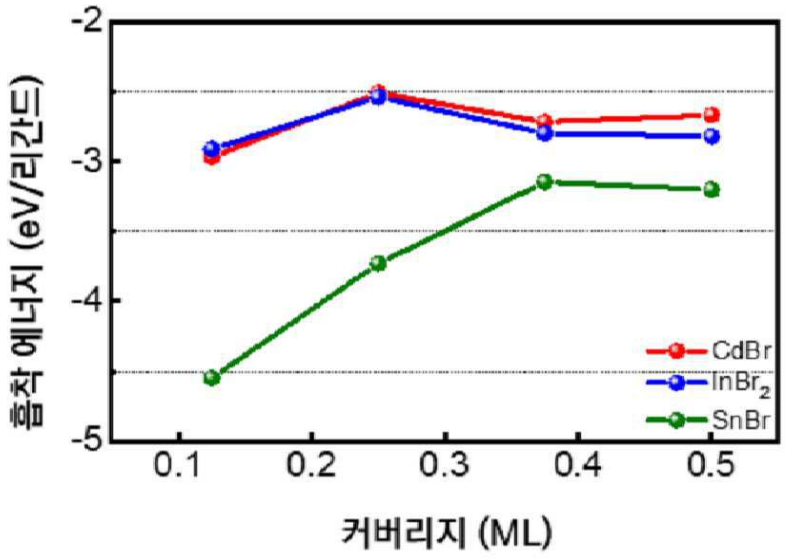


		Metal (e)	Br atom (e)	As atom (e)
0.25 ML	CdBr	+1.13	-0.61	-0.70
	$InBr_2$	+0.84	-0.34	-0.49
	SnBr	+0.67	-0.30	-0.42
0.50 ML	CdBr	+1.11	-0.61	-0.68
	$InBr_2$	+0.76	-0.29	-0.46
	SnBr	+0.56	-0.32	-0.42

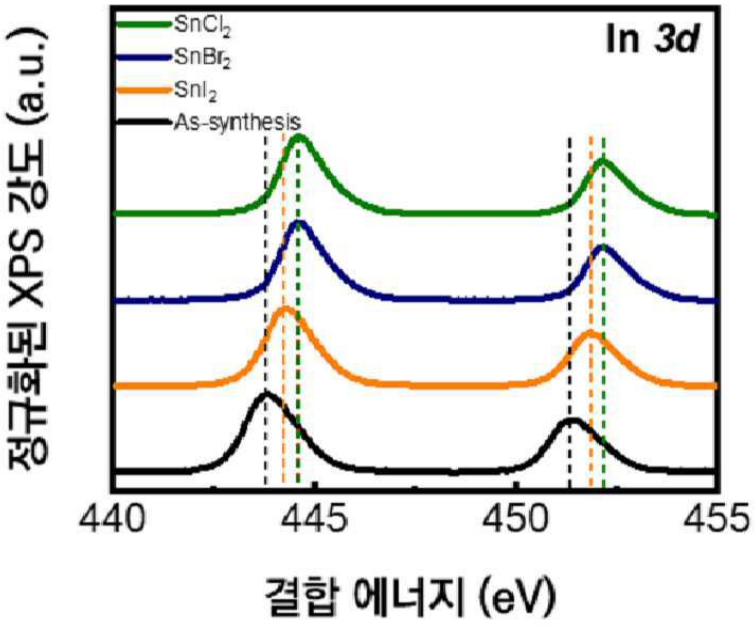
도면8



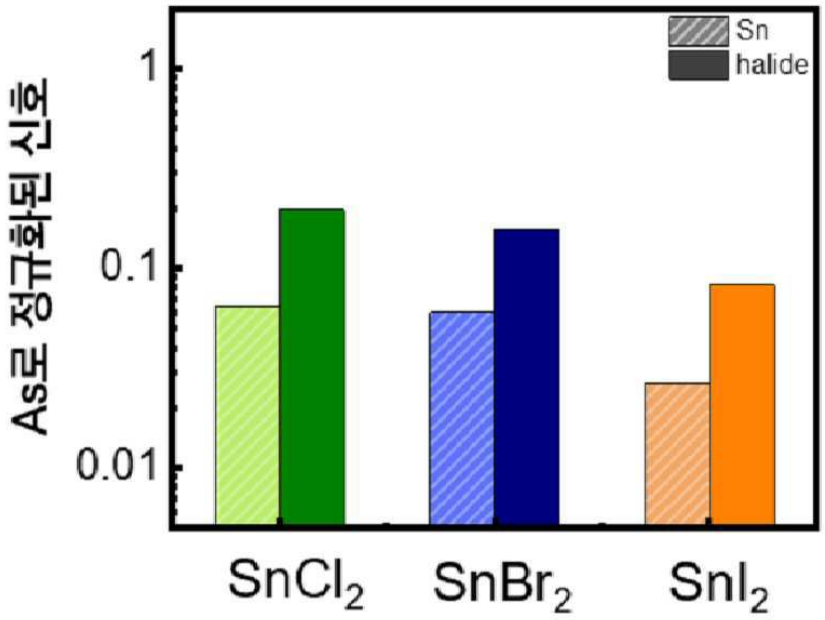
도면9


흡착 에너지 (eV/리간드)
-2
-3
-4
-5
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
커버리지 (ML)
CdBr
InBr2
SnBr

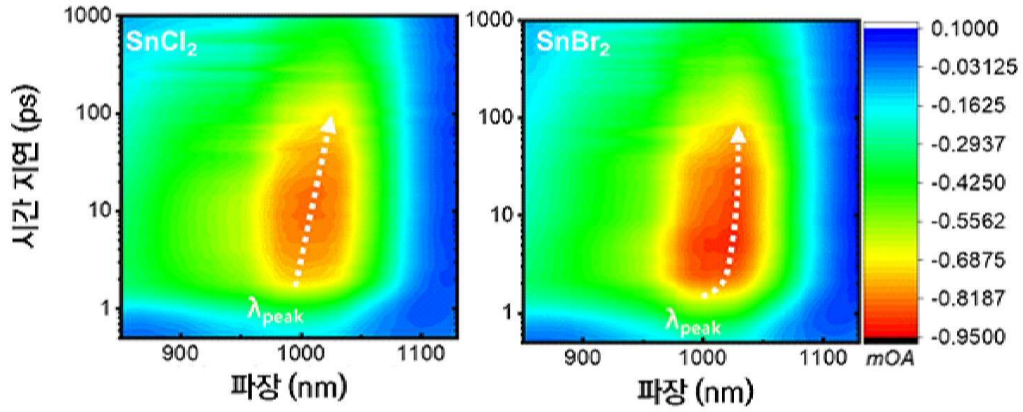
도면10


정규화된 XPS 강도 (a.u.)
SnCl2
SnBr2
SnI2
As-synthesis
In 3d
440
445
450
455
결합 에너지 (eV)

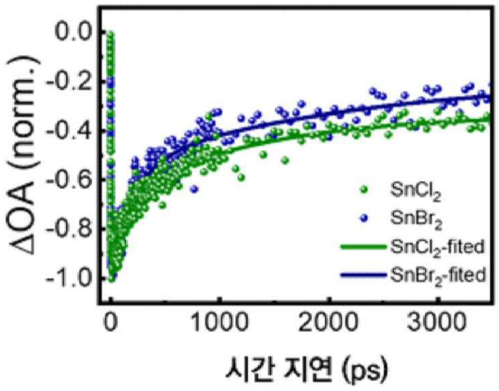
도면11



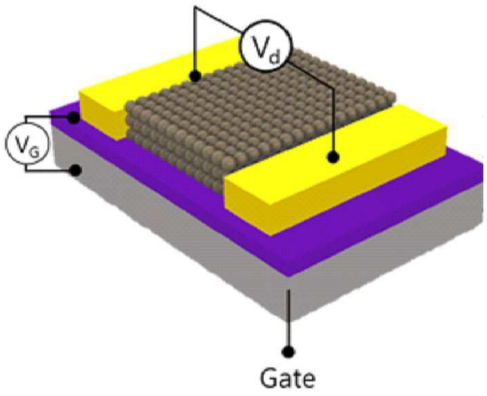
도면12



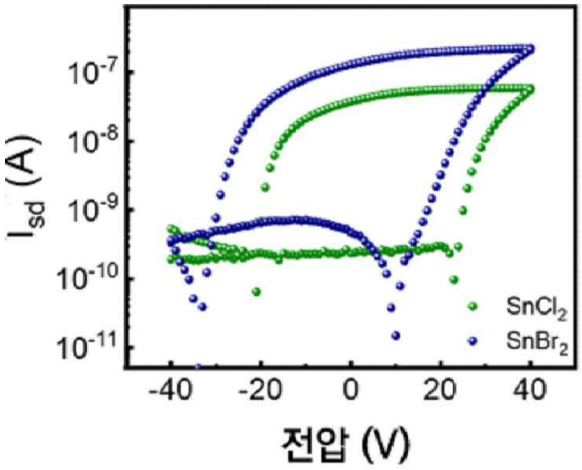
도면13



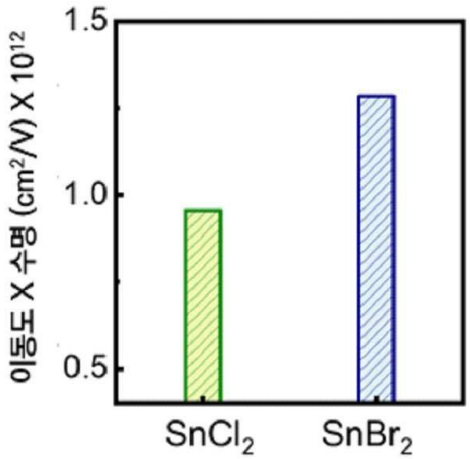
도면14



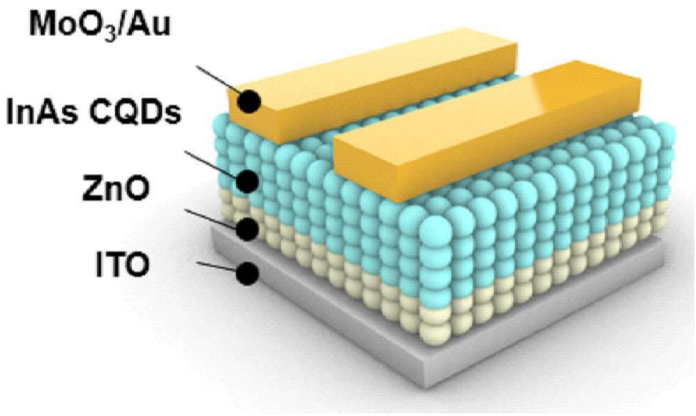
도면15



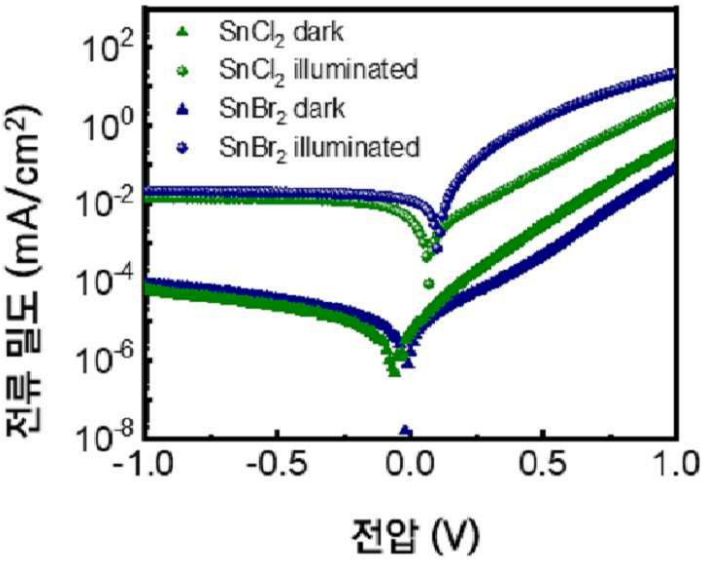
도면16



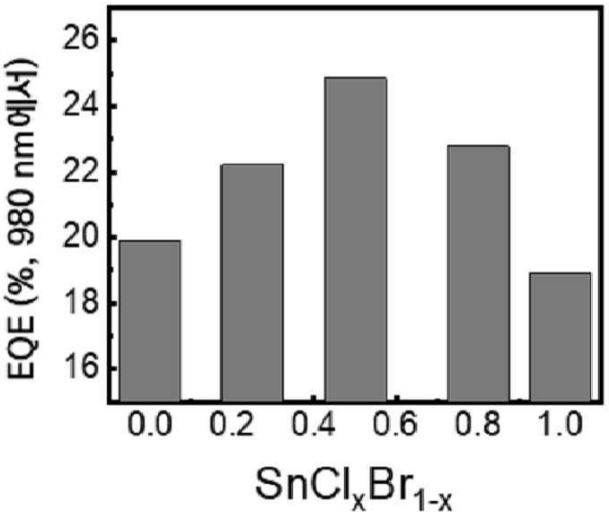
도면17



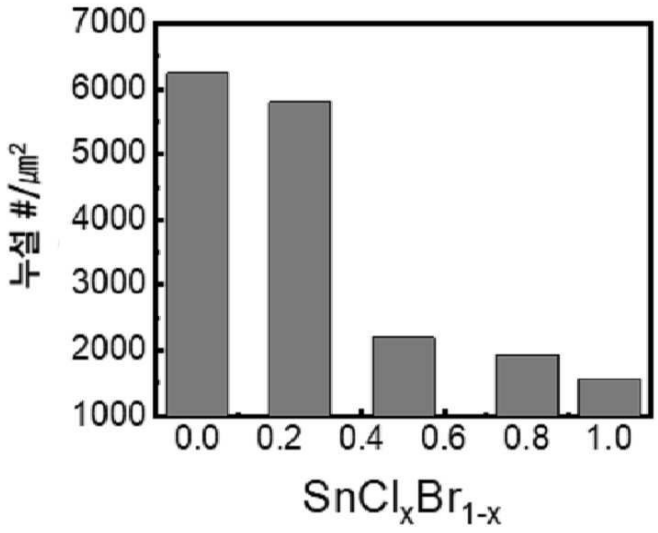
도면18



도면19



도면20


7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
누설 #/μm²
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
SnCl$_x$Br$_{1-x}$