

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0121097

(43) 공개일자 2019년10월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C01B 21/06 (2006.01)

(52) CPC특허분류

C01B 21/0605 (2013.01)

C01P 2004/24 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0044621

(22) 출원일자 2018년04월17일

심사청구일자 2018년04월17일

(71) 출원인

이화여자대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)

(72) 발명자

최진호

서울특별시 강남구 압구정로 113, 27동 301호(압구정동, 미성아파트)

표희연

서울특별시 서대문구 이화여대길 52, 종합과학관 비동 401호(대현동)

최고은

서울특별시 마포구 마포대로 143, 2009호(공덕동)

(74) 대리인

특허법인엠에이피에스

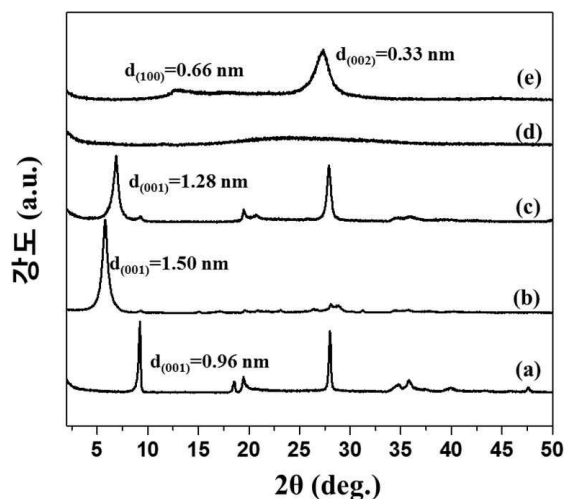
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 탄소질화물 단일층 나노시트 및 이의 제조 방법

(57) 요약

층상 나노리액터 분말과 탄소질화물 전구체 분말의 혼합물을 약 80℃ 내지 약 120℃에서 제 1 열처리하여 탄소질화물 전구체가 상기 층상 나노리액터 내 층간에 삽입된 탄소질화물 전구체-나노리액터 복합체를 수득하는 단계; 상기 복합체를 약 400℃ 내지 약 600℃에서 제 2 열처리하여 탄소질화물 단일층 나노시트-나노리액터 복합체를 수득하는 단계; 및 상기 탄소질화물 단일층 나노시트-나노리액터로부터 상기 나노리액터를 제거하여 탄소질화물 단일층 나노시트를 수득하는 단계를 포함하는, 탄소질화물 단일층 나노시트의 제조 방법, 및 상기 방법에 의하여 제조되는 탄소질화물 단일층 나노시트에 관한 것이다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2017K2A9A2A10013104

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 국제협력사업(2017)-NRF특별협력사업-A3 Foresight Program

연구과제명 중앙 이미징과 치료가 가능한 유/무기 나노하이브리드 플랫폼 개발

기 여 율 1/1

주관기관 이화여자대학교 산학협력단

연구기간 2017.08.01 ~ 2022.07.31

명세서

청구범위

청구항 1

층상 나노리액터 분말과 탄소질화물 전구체 분말의 혼합물을 80℃ 내지 120℃에서 제 1 열처리하여 탄소질화물 전구체가 상기 층상 나노리액터 내 층간에 삽입된 탄소질화물 전구체-나노리액터 복합체를 수득하는 단계;

상기 복합체를 400℃ 내지 600℃에서 제 2 열처리하여 탄소질화물 단일층 나노시트-나노리액터 복합체를 수득하는 단계; 및

상기 탄소질화물 단일층 나노시트-나노리액터로부터 상기 나노리액터를 제거하여 탄소질화물 단일층 나노시트를 수득하는 단계

를 포함하는, 탄소질화물 단일층 나노시트의 제조 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 탄소질화물 전구체는 시안아마이드류 (Cyanamides), 다이시안다이아미드 (Dicyandiamide, $C_2H_4N_4$), 멜라민 (Melamine, $C_3H_6N_6$), S-트리아진 고리 화합물(s-triazine), 및 티오우레아 (Thiourea, CH_4N_2S)로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것인, 탄소질화물 단일층 나노시트의 제조 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 층상 나노리액터는 나노클레이, 금속 산화물, 또는 전이금속 칼코겐화물을 포함하는 것인, 탄소질화물 단일층 나노시트의 제조 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 나노클레이는 몬트모릴로나이트(montmorillonite), 헥토라이트(hectorite), 사포나이트(saponite), 바이델라이트(beidelite), 논트로나이트(nontronite), 팽윤성 운모(Synthetic mica), 버미큘라이트(vermicullite), 카네마이트(kanemite), 마가다이트(magadite), 케냐이트(kenyaite), 안티고라이트(antigorite), 나크라이트(nacrite), 견운모(sericite), 레디카이트(ledikite), 및 온석면(chrysotile)으로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것인, 탄소질화물 단일층 나노시트의 제조 방법.

청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 금속 산화물은 Ti, Ru, Co, Cu, Zn, Mn, Mo, V, Zn, Ni, 및 이들의 조합들로 이루어진 군으로부터 선택되는 금속의 산화물을 포함하는 것인, 탄소질화물 단일층 나노시트의 제조 방법.

청구항 6

제 3 항에 있어서,

상기 전이금속 칼코겐화물은 Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Mo, W, Tc, Re, Pd, Pt, 및 이들의 조합들로 이루어진 군으로부터 선택되는 금속의 칼코겐화물을 포함하는 것인, 탄소질화물 단일층 나노시트의 제조 방법.

청구항 7

제 3 항에 있어서,

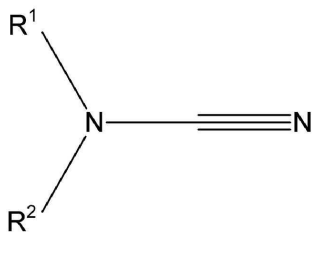
상기 전이금속 칼코겐화물은 TiS_2 , $TiSe_2$, $TiTe_2$, ZrS_2 , $ZrSe_2$, $ZrTe_2$, HfS_2 , $HfSe_2$, $HfTe_2$, VS_2 , VSe_2 , VTe_2 , NbS_2 , $NbSe_2$, $NbTe_2$, TaS_2 , $TaSe_2$, $TaTe_2$, MoS_2 , $MoSe_2$, $MoTe_2$, WS_2 , WSe_2 , WTe_2 , TcS_2 , $TcSe_2$, $TcTe_2$, ReS_2 , $ReSe_2$, $ReTe_2$, PdS_2 , $PdSe_2$, $PdTe_2$, PtS_2 , $PtSe_2$, $PtTe_2$, 및 이들의 조합들로 이루어진 군으로부터 선택되는 전이금속 칼코겐화물을 포함하는 것인, 탄소질화물 단일층 나노시트의 제조 방법.

청구항 8

제 2 항에 있어서,

상기 탄소질화물 전구체 중 상기 시안아마이드류는 하기 화학식 1로서 표시되는 것인, 탄소질화물-나노클레이 복합체:

[화학식 1]



상기 화학식 1에서,

R^1 , 및 R^2 는, 각각 독립적으로 H, 또는 탄소수 1 내지 6의 선형 또는 분지형 알킬기임.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 나노리액터 및 상기 탄소질화물 전구체의 중량비는 1 : 0.1 내지 1 : 0.5 인 것인, 탄소질화물 단일층 나노시트의 제조 방법.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 탄소질화물 단일층 나노시트-나노리액터로부터 상기 나노리액터를 제거하는 것은, 산성불화 암모늄, 불산, 염산, 질산, 인산, 과염소산, 및 황산으로 이루어진 군으로부터 선택되는 용매를 이용하여 상기 나노리액터를 용해시켜 제거하는 것을 포함하는 것인, 탄소질화물 단일층 나노시트의 제조 방법.

청구항 11

제 1 항 내지 제 10 항 중 어느 한 항에 따른 방법에 의하여 제조되는, 탄소질화물 단일층 나노시트로서, 400 nm 이하 파장의 자외선 영역에서 60% 이상의 흡수율을 갖는 것인, 탄소질화물 단일층 나노시트.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 탄소질화물 단일층 나노시트는 물, 에탄올, 아이소프로필 알코올 및 이들의 혼합 용매에서 콜로이드 상태로 안정하게 존재하는 것인, 탄소질화물 단일층 나노시트.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본원은, 탄소질화물 단일층 나노시트의 제조 방법, 및 상기 방법에 의하여 제조되는 탄소질화물 단일층 나노시트에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 2 차원 구조를 가지고 있는 나노시트는 특유의 특성으로 인해 많은 주목을 받고 있다. 그래핀, MoS_2 , WS_2 등의 나노시트들은 센서, 촉매와 같은 에너지 영역에서 많이 응용되고 있다. 특히 최근에는 대면적 및 대량 생산을 위한 새로운 나노시트 합성방법들이 개발되면서 다양한 전자 소자로서의 응용 가능성이 한층 더 높아졌다.

[0003] 탄소질화물은 탄소와 질소로 형성된 이원화합물로서, 그래핀과 유사한 구조를 가지고 있다. 상기 탄소질화물은 구조를 형성하기 쉽고, 기계적, 열적, 화학적 안정성이 뛰어난 유기 반도체 특성을 가진다. 또한, 탄소질화물은 이러한 광학적 성질을 이용한 광촉매로서 널리 사용되고 있다. 이러한 특징으로 인하여 탄소질화물의 합성/제조 및 응용 관련 연구가 전세계적으로 활발히 진행되고 있다. 하지만, 탄소질화물 단일층 나노시트의 제조 방법은 아직 연구가 많이 되어있지 않은 상태이다. 최근 주로 연구되고 있는 방법으로는 벌크 탄소질화물을 물리적, 화학적으로 박리화하여 탄소질화물 나노시트를 제조하는 것이다. 예를 들어, 물리적, 화학적 박리 방법은 초음파 분쇄, 열 산화 방법 등이 있는데 이러한 방법으로 제조한 탄소질화물 나노시트의 두께는 약 2 nm로서, 단일층이 아닌 다층의 탄소질화물 나노시트이다. 따라서, 용이한 방법으로 탄소질화물 단일층 나노시트를 제조하는 방법의 개발이 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 중국 특허공개공보 CN104588063 A

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본원은, 층상 나노리액터 분말과 탄소질화물 전구체 분말의 혼합물을 약 80℃ 내지 약 120℃에서 제 1 열처리하여 탄소질화물 전구체가 상기 층상 나노리액터 내 층간에 삽입된 탄소질화물 전구체-나노리액터 복합체를 수득하는 단계; 상기 복합체를 약 400℃ 내지 약 600℃에서 제 2 열처리하여 탄소질화물 단일층 나노시트-나노리액터 복합체를 수득하는 단계; 및 상기 탄소질화물 단일층 나노시트-나노리액터로부터 상기 나노리액터를 제거하여 탄소질화물 단일층 나노시트를 수득하는 단계를 포함하는, 탄소질화물 단일층 나노시트의 제조 방법 및 상기 방법에 의하여 제조되는 탄소질화물 단일층 나노시트를 제공하고자 한다.

[0006] 그러나, 본원이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 본원의 제 1 측면은, 층상 나노리액터 분말과 탄소질화물 전구체 분말의 혼합물을 약 80℃ 내지 약 120℃에서 제 1 열처리하여 탄소질화물 전구체가 상기 층상 나노리액터 내 층간에 삽입된 탄소질화물 전구체-나노리액터 복합체를 수득하는 단계; 상기 복합체를 약 400℃ 내지 약 600℃에서 제 2 열처리하여 탄소질화물 단일층 나노시트-나노리액터 복합체를 수득하는 단계; 및 상기 탄소질화물 단일층 나노시트-나노리액터로부터 상기 나노리액터를 제거하여 탄소질화물 단일층 나노시트를 수득하는 단계를 포함하는, 탄소질화물 단일층 나노시트의 제조 방법을 제공한다.

[0008] 본원의 제 2 측면은, 상기 본원의 제 1 측면에 따른 방법에 의하여 제조되는, 탄소질화물 단일층 나노시트로서, 약 400 nm 이하 파장의 자외선 영역에서 약 60% 이상의 흡수율을 갖는 것인, 탄소질화물 단일층 나노시트를 제공한다.

발명의 효과

[0009] 본원의 구현예들에 의하면, 나노리액터 층간에서 고체 삽입반응과 열처리에 의해 단일층의 탄소질화물을 합성한 후, 상기 나노리액터를 제거하여 탄소질화물 단일층 나노시트를 제조할 수 있다.

[0010] 본원의 일 구현예에 따라 제조된 탄소질화물 단일층 나노시트는 비표면적이 크고 빛을 효율적으로 흡수할 수 있어서 센서, 촉매 등과 같은 빛 에너지 관련 영역에서 다양하게 응용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은, 본원의 일 실시예에 있어서, (a) 나노리액터, (b) 시안아마이드-나노리액터 복합체, (c) 탄소질화물-나노리액터 복합체, (d) 탄소질화물 단일층 나노시트, 및 (e) 벌크 탄소질화물의 X-선 회절 패턴이다.

도 2a는, 본원의 일 실시예에 있어서, 나노리액터의 단면 전자투과 현미경(TEM) 사진이다.

도 2b는, 본원의 일 실시예에 있어서, 시안아마이드-나노리액터 복합체의 단면 전자투과 현미경(TEM) 사진이다.

도 2c는, 본원의 일 실시예에 있어서, 탄소질화물-나노리액터 복합체의 단면 전자투과 현미경(TEM) 사진이다.

도 3a는, 본원의 일 실시예에 있어서, 벌크 탄소질화물(비교예) 및 탄소질화물 단일층 나노시트의 구조를 도시한 것이다.

도 3b는, 본원의 일 실시예에 있어서, 벌크 탄소질화물(비교예) 및 탄소질화물 단일층 나노시트의 적외선 분과 광도계 (FT-IR)를 나타낸 것이다.

도 3c는, 본원의 일 실시예에 있어서, 벌크 탄소질화물(비교예) 및 탄소질화물 단일층 나노시트의 확산반사 스펙트럼 (DRS)을 나타낸 것이다.

도 3d는, 본원의 일 실시예에 있어서, 벌크 탄소질화물(비교예) 및 탄소질화물 단일층 나노시트의 광루미네선스 스펙트럼 (PL)을 나타낸 것이다.

도 3e는, 본원의 일 실시예에 있어서, 벌크 탄소질화물(비교예) 및 탄소질화물 단일층 나노시트의 X-선 광전자 스펙트럼 (XPS)을 나타낸 것이다.

도 4a는, 본원의 일 실시예에 있어서, 탄소질화물 단일층 나노시트의 콜로이드 이미지이다.

도 4b는, 본원의 일 실시예에 있어서, 탄소질화물 단일층 나노시트의 제타 전위이다.

도 5는, 본원의 일 실시예에 있어서, 탄소질화물 단일층 나노시트의 원자힘 현미경(AFM) 사진이다.

도 6은, 본원의 일 실시예에 있어서, 탄소질화물 단일층 나노시트의 현미경 분석 사진으로서, 도 6의 (a) 내지 (c)는 수차 보정 투과전자현미경(Cs-corrected HR-TEM) 사진이고, 도 6의 (d)는 시뮬레이션 HR-TEM 사진이고, 도 6의 (e)는 구조 모델이다.

도 7은, 본원의 일 실시예에 있어서, 탄소질화물 단일층 나노시트의 전자 에너지 손실 스펙트럼 (EELS) 그래프

이다.

도 8a는, 본원의 일 실시예에 있어서, (a) 탄소질화물 단일층 나노시트 및 (b) 탄소질화물 다층 나노시트(비교예)의 STEM 사진이다.

도 8b는, 본원의 일 실시예에 있어서, (a) 탄소질화물 단일층 나노시트 및 (b) 탄소질화물 다층 나노시트(비교예)의 저손실 에너지 스펙트럼 (low-loss EELS) 그래프이다.

도 9는, 본원의 일 실시예에 있어서, (a) 시안아마이드 전구체를 이용하여 형성된 탄소질화물 단일층 나노시트(실시예 1), (b) 시안아마이드 전구체를 이용하여 형성된 탄소질화물-나노리액터 복합체, 및 (c) 우레아 전구체를 이용한 탄소질화물-나노리액터 복합체(비교예 2)의 자외선 흡수율을 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

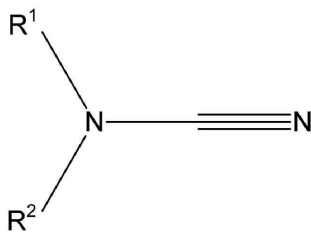
- [0012] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본원의 구현예 및 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본원은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 구현예 및 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0013] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다.
- [0014] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부재가 다른 부재 "상에" 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부재가 다른 부재에 접해 있는 경우뿐 아니라 두 부재 사이에 또 다른 부재가 존재하는 경우도 포함한다.
- [0015] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0016] 본 명세서에서 사용되는 정도의 용어 "약", "실질적으로" 등은 언급된 의미에 고유한 제조 및 물질 허용오차가 제시될 때 그 수치에서 또는 그 수치에 근접한 의미로 사용되고, 본원의 이해를 돕기 위해 정확하거나 절대적인 수치가 언급된 개시 내용을 비양심적인 침해자가 부당하게 이용하는 것을 방지하기 위해 사용된다.
- [0017] 본원 명세서 전체에서 사용되는 정도의 용어 “~ 하는 단계” 또는 “~의 단계”는 “~를 위한 단계”를 의미하지 않는다.
- [0018] 본원 명세서 전체에서, 마쿠시 형식의 표현에 포함된 "이들의 조합(들)"의 용어는 마쿠시 형식의 표현에 기재된 구성 요소들로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상의 혼합 또는 조합을 의미하는 것으로서, 상기 구성 요소들로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것을 의미한다.
- [0019] 본원 명세서 전체에서, "A 및/또는 B"의 기재는, "A 또는 B, 또는 A 및 B"를 의미한다.
- [0021] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본원의 구현예 및 실시예를 상세히 설명한다. 그러나, 본원이 이러한 구현예 및 실시예와 도면에 제한되는 것은 아니다.
- [0023] 본원의 제 1 측면은, 층상 나노리액터 분말과 탄소질화물 전구체 분말의 혼합물을 약 80℃ 내지 약 120℃에서 제 1 열처리하여 탄소질화물 전구체가 상기 층상 나노리액터 내 층간에 삽입된 탄소질화물 전구체-나노리액터 복합체를 수득하는 단계; 상기 복합체를 약 400℃ 내지 약 600℃에서 제 2 열처리하여 탄소질화물 단일층 나노시트-나노리액터 복합체를 수득하는 단계; 및 상기 탄소질화물 단일층 나노시트-나노리액터로부터 상기 나노리액터를 제거하여 탄소질화물 단일층 나노시트를 수득하는 단계를 포함하는, 탄소질화물 단일층 나노시트의 제조 방법을 제공한다.
- [0024] 먼저, 탄소질화물 단일층 나노시트를 제조하기 위해, 층상 나노리액터 분말과 탄소질화물 전구체 분말의 혼합물을 약 80℃ 내지 약 120℃에서 제 1 열처리하여 탄소질화물 전구체가 상기 층상 나노리액터 내 층간에 삽입된 탄소질화물 전구체-나노리액터 복합체를 수득한다.
- [0025] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 탄소질화물 전구체가 상기 층상 나노리액터 내 층간에 삽입되는 것은, 상기

탄소질화물 전구체를 이온 다이폴 작용에 의해 상기 나노리액터의 2 차원 격자에 층간 삽입 반응하는 것을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0026] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 탄소질화물 전구체로서 질소 함량이 높은 화합물을 사용할 수 있으며, 예를 들어, 상기 탄소질화물 전구체는 시안아마이드류 (Cyanamides), 다이시안다이아미드 (Dicyandiamide, $C_2H_4N_4$), 멜라민(Melamine, $C_3H_6N_6$), S-트리아진 고리 화합물(s-triazine), 및 티오우레아 (Thiourea, CH_4N_2S)로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0027] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 탄소질화물 전구체 중 상기 시안아마이드류는 하기 화학식 1로서 표시되는 것일 수 있다:

[0028] [화학식 1]



[0029] ;

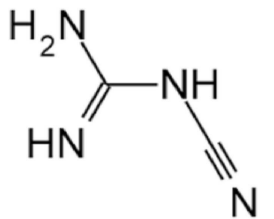
[0030] 상기 화학식 1에서,

[0031] R^1 및 R^2 는, 각각 독립적으로 H, 또는 탄소수 1 내지 6의 선형 또는 분지형 알킬기임.

[0032] 예를 들어, 상기 탄소수 1 내지 6의 선형 또는 분지형 알킬기는, 메틸기(Me), 에틸기(Et), n-프로필기(n Pr), iso-프로필기(i Pr), n-부틸기(n Bu), tert-부틸기(t Bu), iso-부틸기(i Bu), sec-부틸기(s Bu), 펜틸기, 헥실기, 이소헥실기, 및 이들의 이성질체 등을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0033] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 탄소질화물 전구체로서 다이시안다이아미드 (Dicyandiamide, $C_2H_4N_4$)는 하기 화학식 2로서 표시된다:

[0034] [화학식 2]



[0035] .

[0036] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 층상 나노리액터는 나노클레이, 금속 산화물, 또는 전이금속 칼코겐화물을 포함하는 것일 수 있다.

[0037] 예를 들어, 상기 나노클레이는 몬트모릴로나이트(montmorillonite), 헥토라이트(hectorite), 사포나이트(saponite), 바이텔라이트(beidelite), 논트로나이트(nontronite), 팽윤성 운모(Synthetic mica), 버미큘라이트(vermiculite), 카네마이트(kanemite), 마가다이트(magadite), 케냐이트(kenyaite), 안티고라이트(antigorite), 나크라이트(nacrite), 견운모(sericite), 레디카이트(ledikite) 및 온석면(chrysotile)으로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0038] 예를 들어, 상기 금속 산화물은 Ti, Ru, Co, Cu, Zn, Mn, Mo, V, Zn, Ni, 및 이들의 조합들로 이루어진 군으로부터 선택되는 금속의 산화물을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0039] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 전이금속 칼코겐화물은 Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Mo, W, Tc, Re, Pd, Pt, 및 이들의 조합들로 이루어진 군으로부터 선택되는 금속의 칼코겐화물을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는

것은 아니다. 예를 들어, 상기 전이금속 칼코겐화물은 TiS_2 , TiSe_2 , TiTe_2 , ZrS_2 , ZrSe_2 , ZrTe_2 , HfS_2 , HfSe_2 , HfTe_2 , VS_2 , VSe_2 , VTe_2 , NbS_2 , NbSe_2 , NbTe_2 , TaS_2 , TaSe_2 , TaTe_2 , MoS_2 , MoSe_2 , MoTe_2 , WS_2 , WSe_2 , WTe_2 , TcS_2 , TcSe_2 , TcTe_2 , ReS_2 , ReSe_2 , ReTe_2 , PdS_2 , PdSe_2 , PdTe_2 , PtS_2 , PtSe_2 , PtTe_2 , 및 이들의 조합들로 이루어진 군으로부터 선택되는 전이금속 칼코겐화물을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0040] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 제 1 열처리 온도는 약 80°C 내지 약 120°C 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 제 1 열처리 온도는 약 80°C 내지 약 120°C , 약 80°C 내지 약 110°C , 약 80°C 내지 약 100°C , 약 80°C 내지 약 90°C , 약 90°C 내지 약 120°C , 약 100°C 내지 약 120°C , 약 110°C 내지 약 120°C , 또는 약 90°C 내지 약 110°C 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 제 1 열처리는 약 1 시간 내지 약 4 시간 동안 수행될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0041] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 나노리액터 및 상기 탄소질화물 전구체의 중량비는 약 1 : 0.1 내지 약 1 : 0.5일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 나노리액터 및 상기 탄소질화물 전구체의 중량비는 약 1 : 0.1 내지 약 1 : 0.5, 약 1 : 0.1 내지 약 1 : 0.4, 약 1 : 0.1 내지 약 1 : 0.30, 약 1 : 0.1 내지 약 1 : 0.25, 약 1 : 0.1 내지 약 1 : 0.2, 또는 약 1 : 0.1 내지 약 1 : 0.15일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0042] 이어서, 상기 복합체를 약 400°C 내지 약 600°C 에서 제 2 열처리하여 탄소질화물 단일층 나노시트-나노리액터 복합체를 수득한다.

[0043] 예를 들어, 상기 제 2 열처리 온도는 약 400°C 내지 약 600°C , 약 400°C 내지 약 550°C , 약 400°C 내지 약 500°C , 약 400°C 내지 약 450°C , 약 450°C 내지 약 600°C , 약 500°C 내지 약 600°C , 또는 약 550°C 내지 약 600°C 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 제 2 열처리는 약 3 시간 내지 약 6 시간 동안 수행될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 제 2 열처리 온도는 상기 탄소질화물 전구체의 종류에 따라 적절히 조절될 수 있으며, 예를 들어, 상기 탄소질화물 전구체로서 시안아마이드를 사용하는 경우, 약 500°C 내지 약 600°C 의 온도 범위, 또는 약 550°C 에서 열처리하는 것이 바람직하고, 상기 탄소질화물 전구체로서 티오우레아를 사용하는 경우, 약 450°C 의 온도에서 제 2 열처리하는 것이 바람직할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0044] 이어서, 상기 탄소질화물 단일층 나노시트-나노리액터로부터 상기 나노리액터를 제거하여 탄소질화물 단일층 나노시트를 수득한다.

[0045] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 탄소질화물 단일층 나노시트-나노리액터로부터 상기 나노리액터를 제거하는 것은, 산성불화 암모늄, 불산, 염산, 질산, 인산, 과염소산, 및 황산으로 이루어진 군으로부터 선택되는 용매를 이용하여 상기 나노리액터를 용해시켜 제거하는 것을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0046] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 탄소질화물 단일층 나노시트는 물, 에탄올, 아이소프로필 알코올 및 이들의 혼합 용매에서 콜로이드 상태로 안정하게 존재하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0047] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 탄소질화물 단일층 나노시트의 두께는 약 0.3 nm 내지 약 0.65 nm 또는 약 0.44 nm 내지 약 0.64 nm일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 탄소질화물 단일층 나노시트의 두께는 약 0.3 nm 내지 약 0.65 nm, 약 0.35 nm 내지 약 0.6 nm, 약 0.4 nm 내지 약 0.55 nm, 또는 약 0.45 nm 내지 약 0.5 nm일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0048] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 탄소질화물 단일층 나노시트는 트리-s-트리아진 (tri-s-triazine) 구조를 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0050] 본원의 제 2 측면은, 상기 본원의 제 1 측면에 따른 방법에 의하여 제조되는, 탄소질화물 단일층 나노시트로서, 약 400 nm 이하 파장의 자외선 영역에서 약 60% 이상의 흡수율을 갖는 것인, 탄소질화물 단일층 나노시트를 제공한다.

[0051] 본원의 제 2 측면에 따른 탄소질화물 단일층 나노시트는, 상기 본원의 제 1 측면에 따른 탄소질화물 단일층 나노시트의 제조 방법에 대하여 기술된 내용을 모두 적용할 수 있으며, 중복되는 부분들에 대해서는 상세한 설명을 생략하였으나, 그 설명이 생략되었더라도 동일하게 적용될 수 있다.

[0052] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 탄소질화물 단일층 나노시트는, 층상 나노리액터 분말과 탄소질화물 전구체

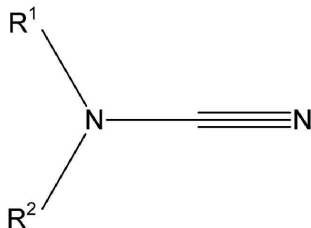
분말의 혼합물을 약 80℃ 내지 약 120℃에서 제 1 열처리하여 탄소질화물 전구체가 상기 층상 나노리액터 내 층간에 삽입된 탄소질화물 전구체-나노리액터 복합체를 획득하는 단계; 상기 복합체를 약 400℃ 내지 약 600℃에서 제 2 열처리하여 탄소질화물 단일층 나노시트-나노리액터 복합체를 획득하는 단계; 및 상기 탄소질화물 단일층 나노시트-나노리액터로부터 상기 나노리액터를 제거하여 탄소질화물 단일층 나노시트를 획득하는 단계를 포함하는, 상기 본원의 제 1 측면에 따른 탄소질화물 단일층 나노시트의 제조 방법에 의하여 제조된다.

[0053] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 탄소질화물 전구체가 상기 층상 나노리액터 내 층간에 삽입되는 것은, 상기 탄소질화물 전구체를 이온 다이폴 작용에 의해 상기 나노리액터의 2 차원 격자에 층간 삽입 반응하는 것을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0054] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 탄소질화물 전구체로서 질소 함량이 높은 화합물을 사용할 수 있으며, 예를 들어, 상기 탄소질화물 전구체는 시안아마이드류(Cyanamides), 다이시안다이아미드(Dicyandiamide, $C_2H_4N_4$), 멜라민(Melamine, $C_3H_6N_6$), S-트리아진 고리 화합물(s-triazine), 및 티오우레아(Thiourea, CH_4N_2S)으로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0055] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 탄소질화물 전구체 중 상기 시안아마이드류는 하기 화학식 1로서 표시되는 것일 수 있다:

[0056] [화학식 1]



[0057] ;

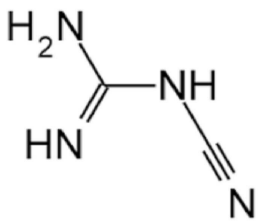
[0058] 상기 화학식 1에서,

[0059] R^1 및 R^2 는, 각각 독립적으로 H, 또는 탄소수 1 내지 6의 선형 또는 분지형 알킬기임.

[0060] 예를 들어, 상기 탄소수 1 내지 6의 선형 또는 분지형 알킬기는, 메틸기(Me), 에틸기(Et), n-프로필기(nPr), iso-프로필기(iPr), n-부틸기(nBu), tert-부틸기(tBu), iso-부틸기(iBu), sec-부틸기(sBu), 펜틸기, 헥실기, 이소헥실기, 및 이들의 이성질체 등을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0061] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 탄소질화물 전구체로서 다이시안다이아미드(Dicyandiamide, $C_2H_4N_4$)는 하기 화학식 2로서 표시된다:

[0062] [화학식 2]



[0063] .

[0064] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 층상 나노리액터는 나노클레이, 금속 산화물, 또는 전이금속 칼코겐화물을 포함하는 것일 수 있다.

[0065] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 탄소질화물 단일층 나노시트는 물, 에탄올, 아이소프로필 알코올 및 이들의 혼합 용매에서 콜로이드 상태로 안정하게 존재하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0066] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 탄소질화물 단일층 나노시트는 약 400 nm 이하 파장의 자외선 영역에서 약 60% 이상, 약 70% 이상, 약 80% 이상, 또는 약 90% 이상의 흡수율을 갖는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은

아니다.

- [0067] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 탄소질화물 단일층 나노시트는 약 400 nm 이하 파장의 자외선 영역, 예를 들어, 약 315 nm 내지 약 400 nm 파장의 UVA의 자외선 영역, 약 280 nm 내지 약 315 nm 파장의 UVB의 자외선 영역, 및 약 100 nm 내지 약 280 nm 파장의 UVC의 자외선 영역 각각에서 약 60% 이상, 약 70% 이상, 약 80% 이상, 또는 약 90% 이상의 흡수율을 갖는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0068] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 탄소질화물 단일층 나노시트는 물, 에탄올, 아이소프로필 알코올 및 이들의 혼합 용매에서 콜로이드 상태로 안정하게 존재하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0069] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 탄소질화물 단일층 나노시트의 두께는 약 0.3 nm 내지 약 0.65 nm 또는 약 0.44 nm 내지 약 0.64 nm일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 탄소질화물 단일층 나노시트의 두께는 약 0.3 nm 내지 약 0.65 nm, 약 0.35 nm 내지 약 0.6 nm, 약 0.4 nm 내지 약 0.55 nm, 또는 약 0.45 nm 내지 약 0.5 nm일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0070] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 탄소질화물 단일층 나노시트는 약 2.95 eV의 밴드갭 에너지를 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 탄소질화물 단일층 나노시트의 밴드갭 에너지는 약 2.6 eV 내지 약 3.0 eV, 약 2.6 eV 내지 약 2.9 eV, 약 2.6 eV 내지 약 2.8 eV, 약 2.6 eV 내지 약 2.7 eV, 약 2.7 eV 내지 약 3.0 eV, 약 2.8 eV 내지 약 3.0 eV, 약 2.9 eV 내지 약 3.0 eV, 또는 약 2.7 eV 내지 약 2.9 eV일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0071] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 탄소질화물 단일층 나노시트는 트리-s-트리아진 (tri-s-triazine) 구조를 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0072] 본원의 일 구현예에 따라 제조된 탄소질화물 단일층 나노시트는 비표면적이 크고 빛을 효율적으로 흡수할 수 있어서 센서, 촉매 등과 같은 빛 에너지 관련 영역에서 다양하게 응용될 수 있다.

[0074] 이하, 실시예를 참조하여 본원을 좀더 자세히 설명하지만, 본원은 이에 제한되는 것은 아니다.

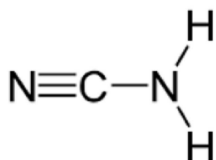
[실시예]

[실시예 1: 탄소질화물 단일층 나노시트]

1. 탄소질화물 전구체-나노리액터 복합체 제조

[0079] 본 실시예에서는, 나노리액터로서 나노클레이를 사용하였으며, 상기 나노클레이에 탄소질화물 전구체를 삽입하는 단계는 고체상 반응을 통하여 제조되었다. 1 g의 합성 운모(Mica, COOP Chemicals)와 0.25 g의 하기 시안아마이드(CH_2N_2 ; Sigma Aldrich)를 혼합하여 골고루 잘 섞은 후 100℃에서 3 시간 열처리 과정을 통해서 시안아마이드-나노클레이(나노리액터) 복합체를 제조하였다:

[0080] <시안아마이드(CH_2N_2)>



[0081]

2. 탄소질화물-나노리액터 복합체 제조

[0083] 상기 제조된 시안아마이드-나노클레이(나노리액터) 복합체 1.4 g을 파이렉스 유리관에 넣어서 공기를 제거해 주고 진공 상태에서 밀봉하여 550℃에서 4 시간 동안 열처리하여 탄소질화물-나노클레이(나노리액터) 복합체를 제조하였다.

3. 탄소질화물 단일층 나노시트 제조

[0085] 상기 탄소질화물-나노클레이(나노리액터) 복합체를 4 M의 산성 불화암모늄 (Ammonium bifluoride) 용액에서 24

시간 반응시켜 나노클레이 층을 제거하였다. 반응 후 2 M염산(HCl)을 첨가하여 80℃에서 2 시간 반응시켜 나노클레이 층을 녹이는 과정에서 생긴 MgF_2 불순물을 제거하고, 물로 충분히 워싱하여 탄소질화물 단일층 나노시트 용액을 제조하였다.

[0087] **비교예 1: 벌크 탄소질화물의 제조**

[0088] 벌크 탄소질화물은 상기 시안아마이드를 550℃에서 4 시간 동안 열처리하여 제조하였다.

[0090] **X-선 회절 분석**

[0091] 상기 실시예 1에서 수득된 탄소질화물-나노리액터 복합체 X-선 회절 분석을 수행하였으며, 그 결과를 도 1에 나타내었다. 구체적으로 도 1에서는 나노리액터의 d-간격은 9.6 Å에서 시안아마이드-나노클레이(나노리액터) 복합체의 d-간격 값이 15.0 Å로 커지고 550℃ 열처리 후 12.8 Å으로 감소되었다. 이로부터 나노리액터 층간의 탄소질화물의 두께는 3.2 Å이라는 것을 확인할 수 있다. 이는 탄소질화물의 단일층 두께와 일치하였다. X-선 회절 분석으로부터 시안아마이드가 성공적으로 나노리액터로서 상기 나노클레이에 삽입되고 열처리 후 중합되어 단일층의 탄소질화물 나노시트가 합성되었음을 증명할 수 있다.

[0093] **전자투과현미경(TEM) 분석**

[0094] 상기 실시예 1에서 수득된 나노시트들은 투과전자현미경으로 구조의 전형적 단면 (cross sectional TEM)을 나타내었으며, 그 결과는 도 2에 나타내었다. 층간 지역이 층 사이에서 더 어두운 대조로 나타나는 반면에, 나노리액터층은 밝은 라인으로 명확히 구별된다. 내지 도 2c의 (C)에서 나타낸 바와 같이, 나노리액터(도 2a)의 (001) 플레인 d-간격은 0.93 ± 0.02 nm이고, 시안아마이드-나노리액터 복합체(도 2b)의 (001) 플레인 d-간격은 1.44 ± 0.04 nm이고, 탄소질화물-나노리액터 복합체(도 3c)의 (001) 플레인 d-간격은 1.31 ± 0.09 nm 이며, 이는 X-선 회절 분석의 결과와 일치하였다.

[0096] **분광 분석**

[0097] **1. 적외선 분광 광도계(FT-IR) 분석**

[0098] 상기 실시예 1에서 수득된 탄소질화물 단일층 나노시트와 비교예 1의 벌크 탄소질화물로 FT-IR 분석을 수행하였으며, 그 결과를 도 3b에 나타내었다. 구체적으로, 탄소질화물 단일층 나노시트는 벌크 탄소질화물과 비교했을 때 아로마틱 C=N 결합 밴드와 $N-sp^2$ C 결합 밴드의 특정 피크가 블루 시프트 되는 것을 확인할 수 있다. 이는 탄소질화물 단일층의 양자 효과 때문에 나타나는 것이다.

[0099] **2. 확산반사 스펙트럼(DRS) 분석**

[0100] 상기 실시예 1에서 수득된 탄소질화물 단일층 나노시트와 비교예 1의 벌크 탄소질화물로 확산 반사 스펙트럼 분석을 수행하였으며, 그 결과는 도 3c에서 나타내었다. 도 3c에서 나타낸 바와 같이, 상기 탄소질화물 단일층 나노시트는 벌크 탄소질화물보다 블루 시프트되는 것을 확인할 수 있다. 이는 단일층의 양자 효과 때문에 밴드 에너지 갭이 커지는 것이다.

[0101] **3. 광루미네선스 스펙트럼(PL) 분석**

[0102] 상기 실시예 1에서 수득된 탄소질화물 단일층 나노시트와 비교예 1의 벌크 탄소질화물로 광루미네선스 스펙트럼 (PL) 분석을 수행하였으며, 그 결과를 도 3d에 나타내었다. 도 3d에 나타낸바 와 같이, 상기 탄소질화물 단일층 나노시트는 벌크 탄소질화물보다 블루 시프트되는 것을 확인할 수 있다. 이는 단일층의 양자 효과 때문에 나타나는 것이다.

[0103] **4. X-선 광전자 스펙트럼 (XPS) 분석**

[0104] 상기 실시예 1에서 수득된 탄소질화물 단일층 나노시트와 비교예 1의 벌크 탄소질화물로 X-선 광전자 스펙트럼 (XPS) 분석을 수행하였으며, 그 결과를 도 3e에 나타내었다. 도 3e에 나타낸바 와 같이, 상기 탄소질화물

단일층 나노시트와 벌크 탄소질화물은 모두 284.8 eV에서 표면에 있는 탄소의 C 1s 피크를 나타내었고, 탄소질화물 단일층 나노시트는 286.4 eV 및 288.2 eV에서 각각 아로마틱 고리 (N-C=N)의 탄소와 C-NH₂ 종의 탄소를 확인할 수 있었다. 또한 N 1s스펙트럼에서도 398.7 eV와 400.0 eV에서 각각 아로마틱 고리 (N-C=N)의 질소와 C-NH₂ 종의 질소를 확인할 수 있었다. 하지만 벌크 탄소질화물과 비교하면 상기 피크는 모두 높은 에너지로 이동한 것을 확인할 수 있었다. 이는 단일층의 양자 효과 때문에 나타나는 것이다.

[0106] **나노시트 안정성 평가시험**

[0107] 도 4a에 나타낸 바와 같이, 상기 실시예 1에서 수득된 탄소질화물 단일층 나노시트는 틴들 효과(Tyndall effect)를 나타내었고, 도 4b에 나타낸 바와 같이, 제타 전위(zeta potential) 분석 결과, 전위 값은 표면과 모서리에 있는 아미노 그룹으로 인해 +37 mV로 측정되었다. 이를 통해 합성된 탄소질화물 단일층 나노시트 콜로이드는 모두 안정한 상태를 유지하고 있는 것을 확인할 수 있다.

[0109] **원자힘(AFM) 분석**

[0110] 상기 실시예 1에서 수득된 탄소질화물 단일층 나노시트를 마이카 표면 위에 스핀코팅을 하여 AFM 분석을 수행하였다(도 5). AFM 분석을 통해 탄소질화물 단일층의 평균 두께는 0.52 nm인 것으로 확인되었다. 이는 이론적인 단일층 두께인 0.34 nm와 유사한 것으로서, 이중층의 두께인 0.68 nm의 두께보다는 작으므로, 본 실시예에서 제조된 탄소질화물 나노시트가 단일층 나노시트라는 것을 증명할 수 있다.

[0112] **수차 보정 전자투과 현미경(Cs-corrected TEM) 분석**

[0113] 수차 보정 전자투과 현미경(TEM)을 이용하여 상기 실시예에서 수득된 탄소질화물 단일층 나노시트의 원자 구조 배열을 확인하였다. 도 6a 내지 도 6c에 나타낸 바와 같이, 본 실시예의 탄소질화물 단일층 나노시트는 넓은 영역에서 규칙적으로 홀이 반복되는 구조를 가지고 있었다. 도 6c 및 도 6d에 나타낸 바와 같이, 각각 확대한 TEM 사진과 탄소질화물 단일층 나노시트의 시뮬레이션 HR-TEM 이미지가 원자 수준에서 완전히 일치한다는 것을 확인할 수 있다. 이는, 본 실시예의 탄소질화물 단일층 나노시트가 도 6e의 구조와 같은 트리-s-트리아진(tri-s-triazin) 탄소질화물 단일층의 전형적인 구조를 가지고 있다는 것을 확인할 수 있다.

[0115] **전자 에너지 손실 스펙트럼(EELS) 분석**

[0116] 상기 실시예 1에서 수득된 탄소질화물 단일층 나노시트를 이용하여 전자 에너지 손실 스펙트럼(EELS) 분석을 수행하였다. 도 7에 나타낸 바와 같이, 본 실시예의 탄소질화물 단일층 나노시트는 1s → π^* 전자 전이를 나타내며 이를 통해 sp²-hybridized 탄소와 질소 원자가 존재한다는 것을 확인할 수 있다.

[0117] 또한, 본 실시예 1의 탄소질화물 단일층 나노시트의 원소 조성을 분석하였으며, 이를 하기 표 1에 나타내었다. 하기 표 1에 나타낸 바와 같이, 본 실시예의 탄소질화물 단일층 나노시트는 질소와 탄소 비율이 1.32이며, 이는 탄소질화물 이론 값과 일치한다.

표 1

[0118]

원소	전자 껍질	탄소질화물 단일층 원소 (%)	
		실험 값	이론 값
탄소	K	43.2	42.9
질소	K	56.8	57.1
질소/탄소 (비율)		1.32	1.33

[0120] 도 8a는 (a) 실시예 1의 탄소질화물 단일층 나노시트 및 (b) 탄소질화물 다층의 STEM 사진이고, 도 8b는 (a) 실

시에 1의 탄소질화물 단일층 나노시트 및 (b) 탄소질화물 다층의 저손실 에너지 스펙트럼이다. 도 8b에 나타낸 바와 같이, 탄소질화물 다층은 탄소질화물 단일층 나노시트보다 π 플라즈몬 영역에서 높은 에너지 쪽으로 0.7 eV 이동하고, $\pi + \sigma$ 영역에서 높은 에너지 쪽으로 1.6 eV 이동한 것을 확인할 수 있다. 이는 나노시트의 두께가 두꺼워지면서 층과 층 사이의 커플링이 생겨 나타나는 현상이다. 이를 통해 실시예 1의 상기 탄소질화물 나노시트가 단일층이 확실함을 증명할 수 있다.

[0122] **비교예 2: 우레아 전구체를 이용한 탄소질화물-나노리액터 복합체 의 제조**

[0123] 1 g의 합성 운모(Mica, COOP Chemicals)와 0.25 g의 우레아를 혼합하여 골고루 잘 섞은 후 150℃에서 3 시간 열처리 과정을 통해서 우레아-나노클레이(나노리액터) 복합체를 제조하였다.

[0124] 상기 시안아마이드-나노클레이 복합체는 제 1 열처리를 100℃에서 수행하여 제조할 수 있는 반면, 상기 우레아-나노클레이(나노리액터) 복합체는 제 1 열처리를 150℃에서 수행하여야 제조 가능하였다. 이를 통해 탄소질화물 전구체로서 시안아마이드가 우레아보다 약 50℃ 낮은 온도에서도 제조 가능하다는 것을 확인하였다.

[0125] 도 9는 (a) 탄소질화물 단일층 나노시트 (실시예 1), (b) 시안아마이드 전구체를 이용한 탄소질화물-나노리액터 복합체, 및 (c) 우레아 전구체를 이용한 탄소질화물-나노리액터 복합체(비교예 2)의 자외선 흡수율을 비교한 그래프이다.

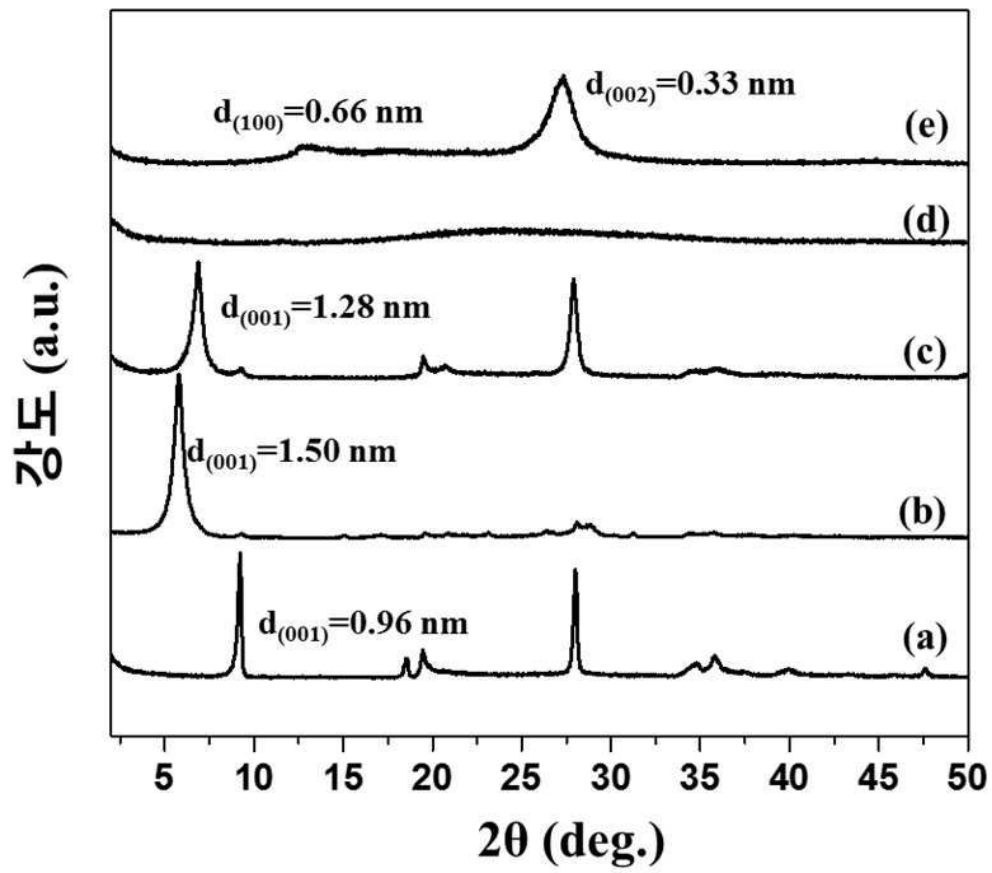
[0126] 이를 통해, 상기 시안아마이드 전구체를 이용하여 형성된 탄소질화물-나노리액터 복합체가, 우레아 전구체를 이용하여 제조된 탄소질화물-나노리액터 복합체(비교예 2)에 비하여, UVA 영역(315 nm 내지 400 nm)에서 20% 이상, UVB 영역(280 nm 내지 315 nm)에서 30% 이상 더 높은 흡수율을 가지는 것을 확인할 수 있고, 상기 시안아마이드 전구체를 이용하여 형성된 상기 탄소질화물-나노리액터 복합체로부터 분리되어 형성된 상기 탄소질화물 단일층 나노시트(실시예 1) 또한, 상기 우레아 전구체를 이용한 탄소질화물-나노리액터 복합체(비교예 2)에 비하여, UVA 영역(315 nm 내지 400 nm)에서 50% 이상, UVB 영역(280 nm 내지 315 nm)에서 60% 이상 더 높은 흡수율을 가지고 있는 것을 확인할 수 있었다.

[0128] 전술한 본원의 설명은 예시를 위한 것이며, 본원이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본원의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수도 있다.

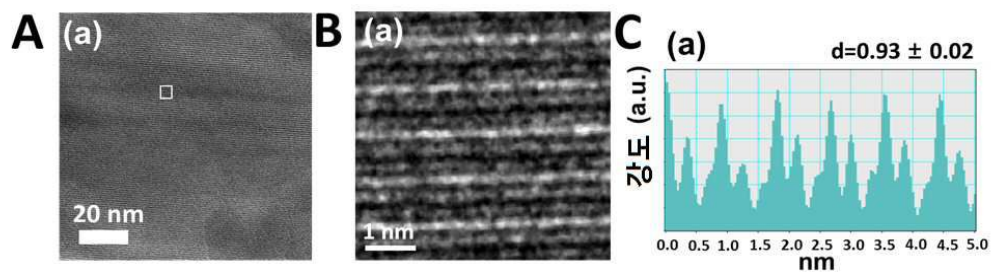
[0129] 본원의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위, 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본원의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

도면

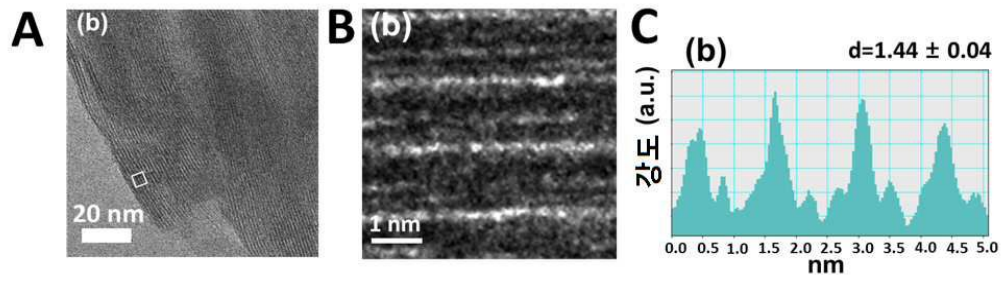
도면1



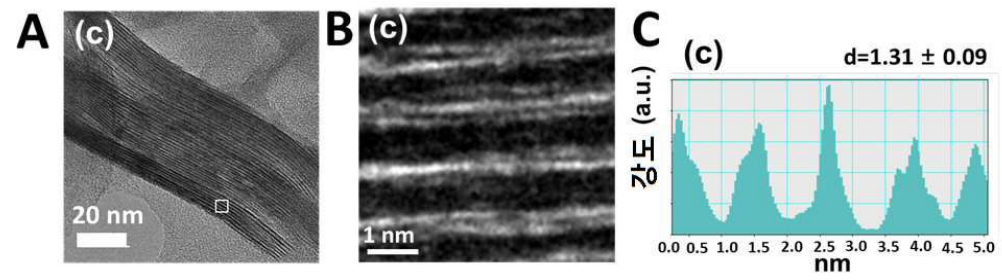
도면2a



도면2b

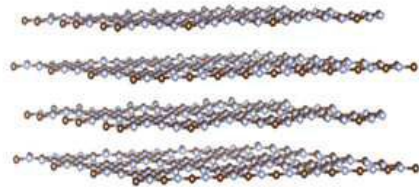


도면2c

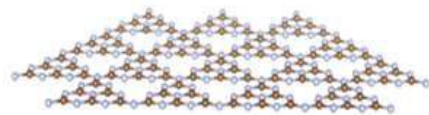


도면3a

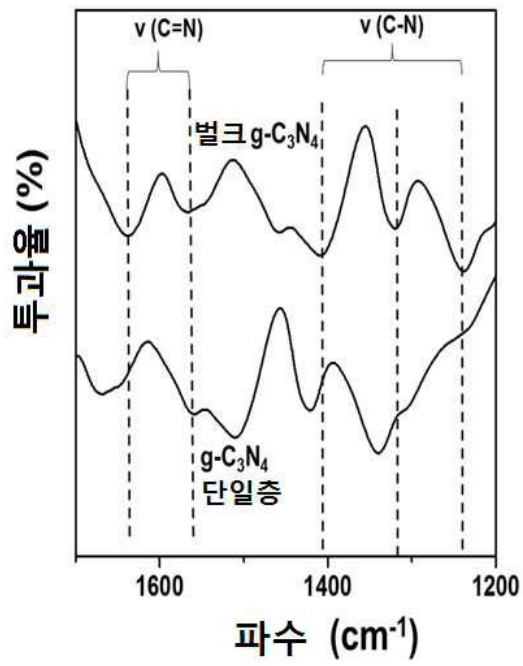
벌크 g-C₃N₄



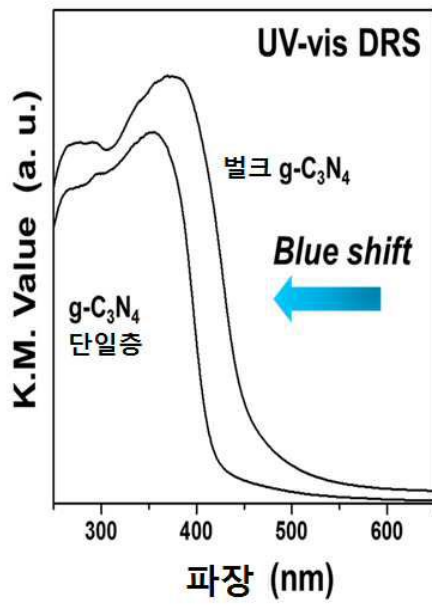
g-C₃N₄ 단일층



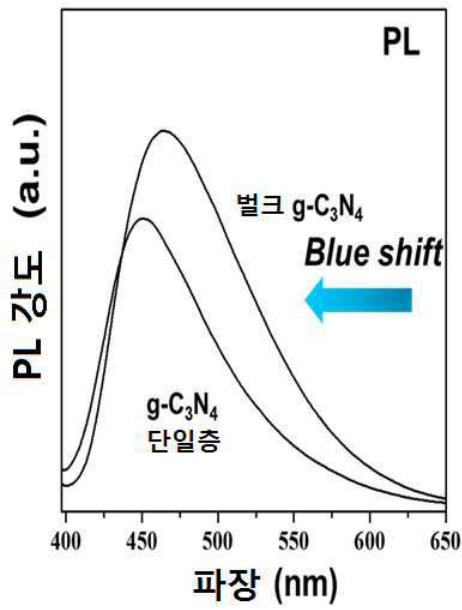
도면3b



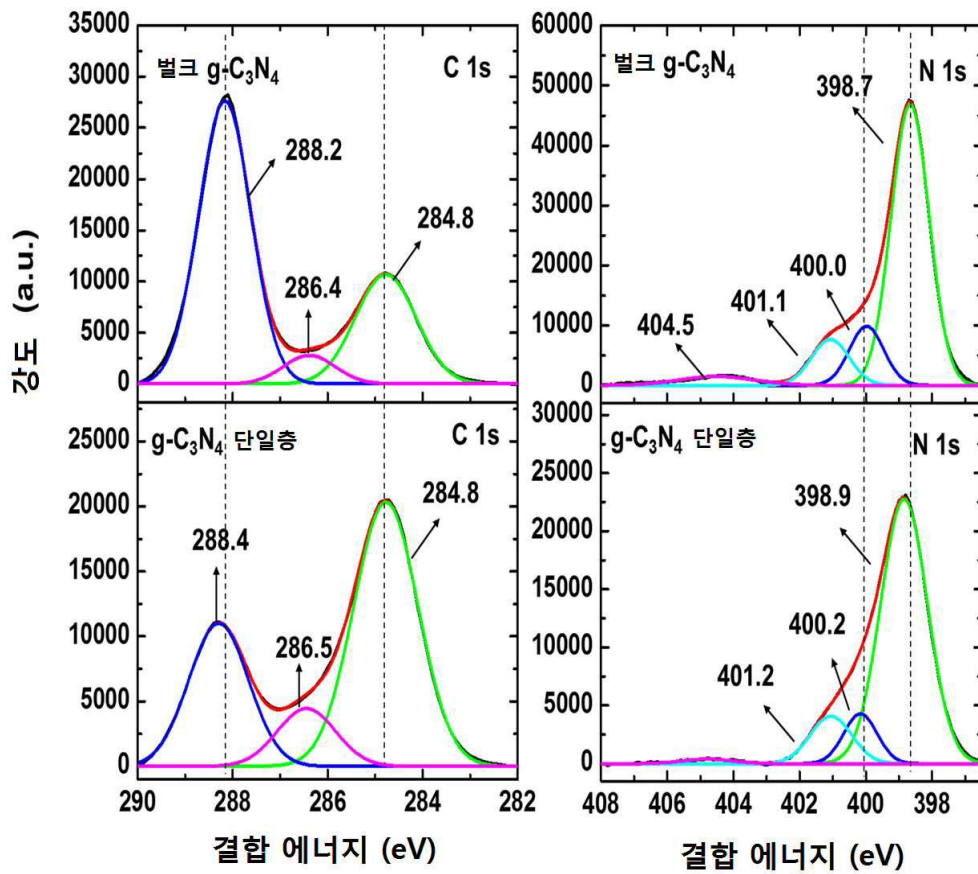
도면3c



도면3d



도면3e

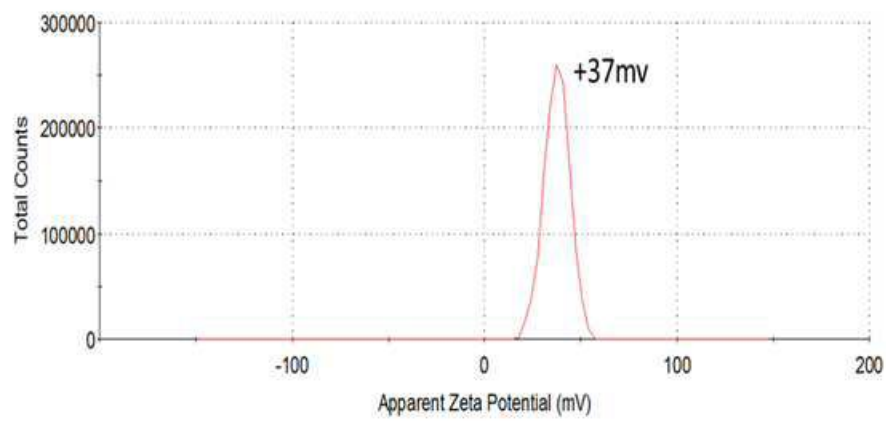


도면4a

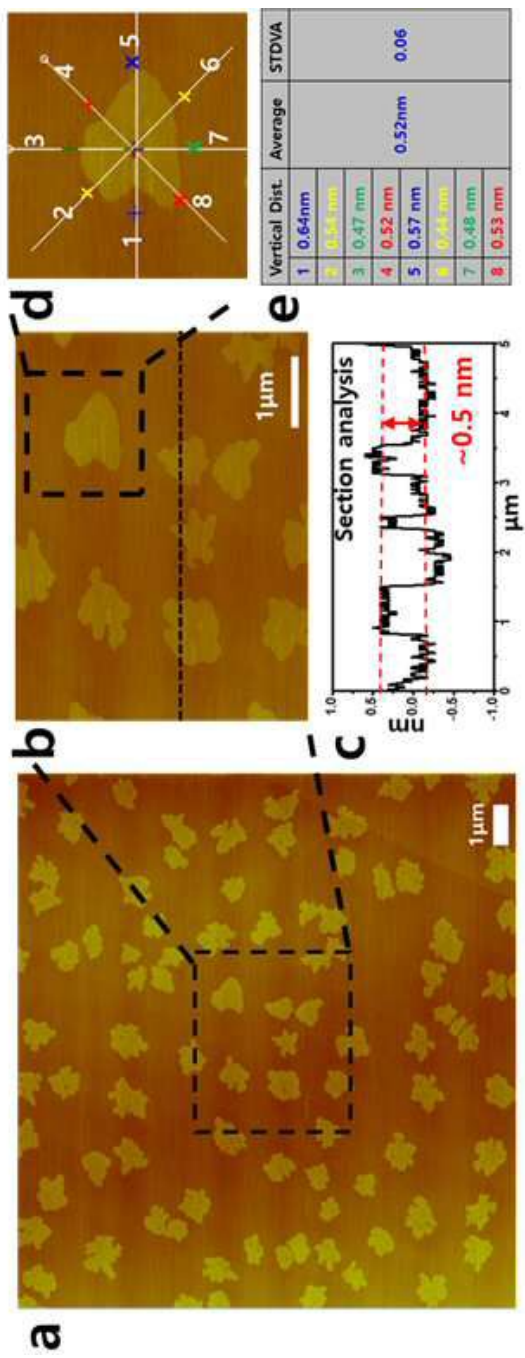


g-C₃N₄ 단일층 현탁액

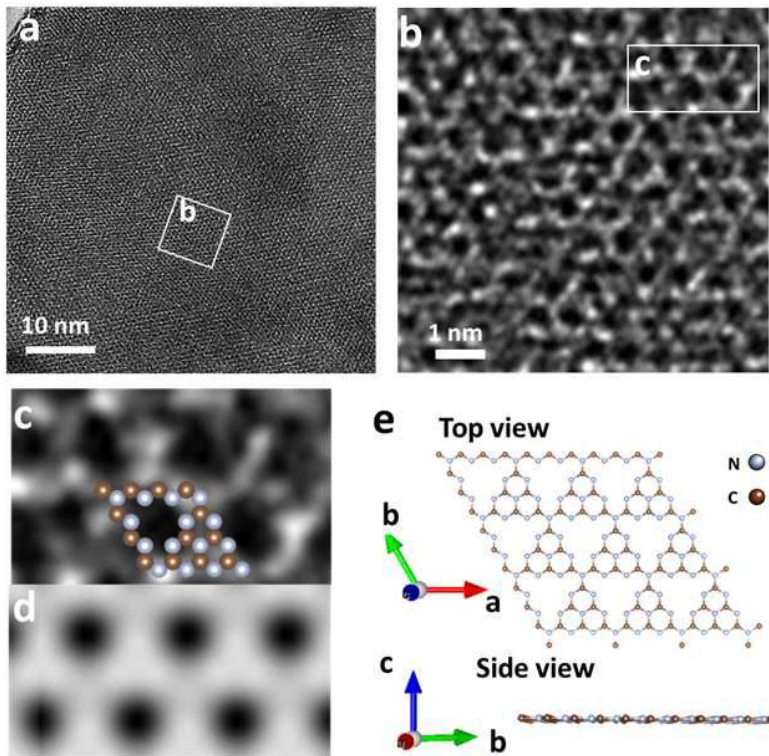
도면4b



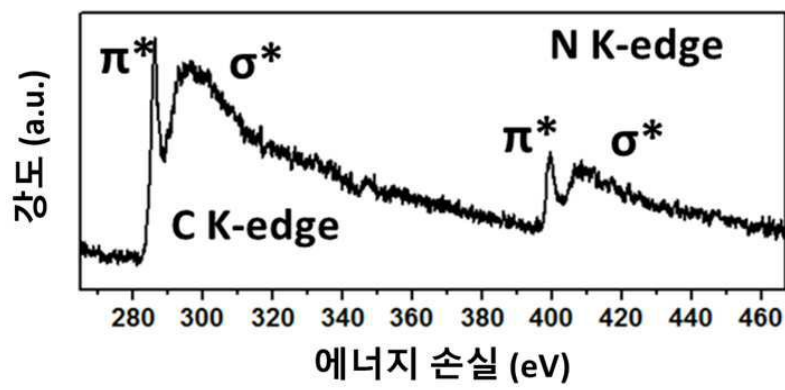
도면5



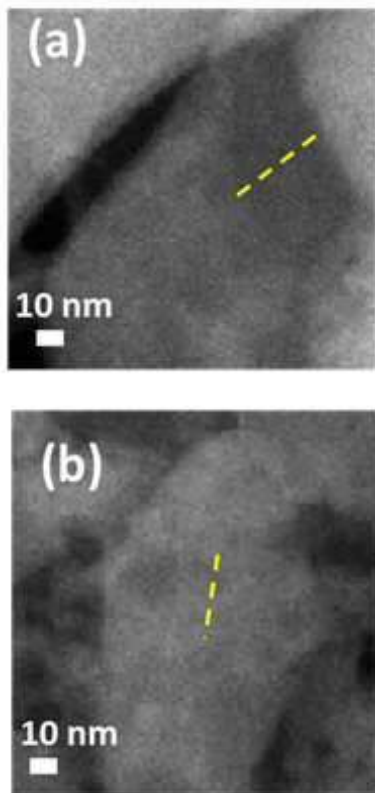
도면6



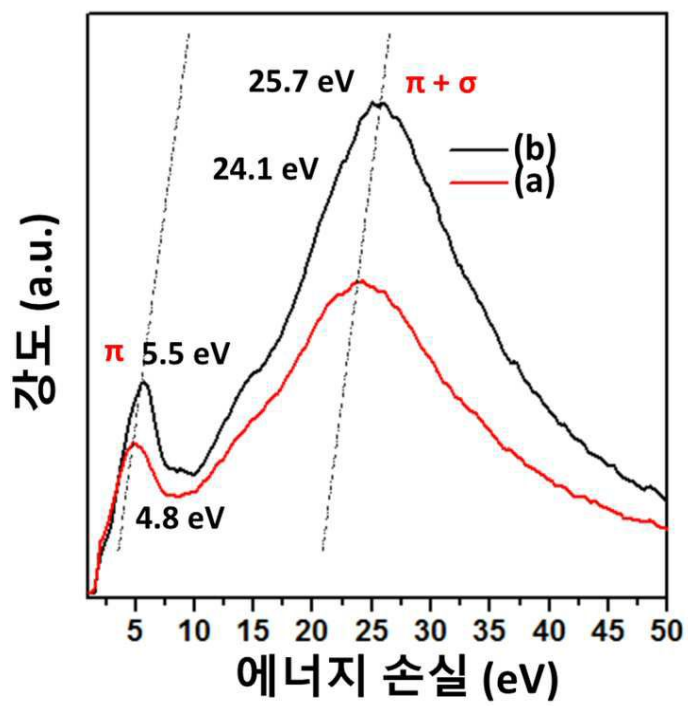
도면7



도면8a



도면8b



도면9

