(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0114005
(43) 공개일자 2015년10월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C01B 31/04 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0037209
(22) 출원일자 2014년03월28일
심사청구일자 2014년03월28일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
박호석
경기 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 화학공학과 공학관 301호 (서천동, 경희대학교)
강성웅
경기 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 공과대학 B203 (서천동, 경희대학교)
박슬기
경기 부천시 원미구 지봉로 133, 1208호 (역곡동, 우림루미아트)
(74) 대리인
유미특허법인

전체 청구항 수 : 총 12 항

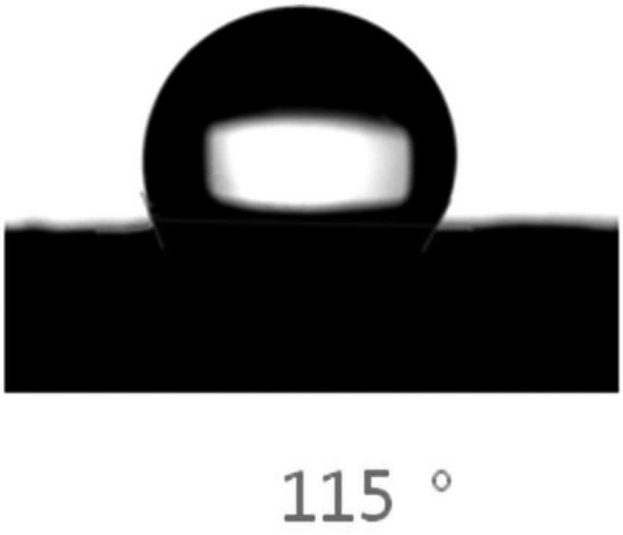
(54) 발명의 명칭 **표면 처리된 3차원의 산화 그래핀 나노 구조체, 이의 제조 방법, 및 유기물 흡착제**

(57) 요 약

기공, 및 허니콤 구조의 탄소 골격을 포함하는 산화 그래핀을 포함하고,

상기 탄소 골격은 실리콘 코팅층을 포함하는 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체, 이의 제조 방법 및 이를 포함하는 유기물 흡착제가 제공된다.

대 표 도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 NRF-2013M1A8A1035858
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 Korea CCS 2020사업
연구과제명 이온성액체의 SO2 흡수 메카니즘 해석
기 여 율 1/1
주관기관 경희대학교 산학협력단
연구기간 2012-06-01~2014-05-31

명 세 서

청구범위

청구항 1

기공, 및

허니콤 구조의 탄소 골격을 포함하는 산화 그래핀을 포함하고,

상기 탄소 골격은 실리콘 코팅층을 포함하는 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체.

청구항 2

제1항에 있어서,

밀도가 5 mg/cm^3 내지 20 mg/cm^3 인 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체.

청구항 3

제1항에 있어서,

공극율이 95% 내지 99.9%인 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 실리콘 코팅층의 두께는 2 nm 내지 5 nm인 3차원의 다공성산화 그래핀 나노 구조체.

청구항 5

산화그래핀을 박리/분산하여 산화그래핀 분산 용액을 제조하는 단계;

상기 산화그래핀 분산 용액을 용기에 담아 액체 질소로 동결시키는 단계;

상기 동결된 산화그래핀 분산 용액을 동결 건조하여 분산매가 제거된 산화그래핀 분산체를 제조하는 단계; 및

상기 산화 그래핀 분산체를 PDMS(polydimethylsiloxane)로 증기 증착하여 표면 처리하는 단계를 포함하는 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체의 제조 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 산화그래핀을 박리/분산하여 산화그래핀 분산 용액을 제조하는 단계는, 산화 그래핀을 증류수에서 30분 내지 2시간 동안 초음파 분산 처리함으로써 수행되는 것인 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체의 제조 방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 산화그래핀 분산 용액은 산화그래핀이 1 mg/mL 내지 10 mg/mL의 농도로 포함되는 것인 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체의 제조 방법.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 산화그래핀 분산 용액을 용기에 담아 액체 질소로 동결시키는 단계는, -180℃ 내지 -200℃의 온도에서 30분 내지 1시간 동안 수행되는 것인 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체의 제조 방법.

청구항 9

제5항에 있어서,

상기 동결된 산화그래핀 분산 용액을 동결 건조하여 분산매를 제거하는 단계는, -60℃ 내지 -55℃의 온도에서 40 시간 내지 50 시간 동안 수행되는 것인 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체의 제조 방법.

청구항 10

제5항에 있어서,

상기 산화 그래핀은 PDMS(polydimethylsiloxane) 1 중량부에 대하여 10 내지 20 중량부인 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체의 제조 방법.

청구항 11

제5항에 있어서,

상기 증기 증착은 200℃ 내지 300℃의 온도에서 30분 내지 2시간 동안 수행되는 것인 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체의 제조 방법.

청구항 12

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 따른 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체를 포함하는 유기물 흡착제.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 기재는 표면 처리된 3차원의 산화 그래핀 나노 구조체, 이의 제조 방법, 및 유기물 흡착제에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 현재까지 실내공간 및 수중에 존재하는 유기화합물을 제거할 수 있는 흡착제로는 활성탄 및 소수성 제올라이트를 주로 사용하였다. 또한 수분의 흡착 소재로 제올라이트, 메조포러스 및 클레이등의 무기계 다공성소재가 주로 보고되어 있다 (Microporous and Mesoporous Materials 114 (2008) 1-6). 활성탄은 미세동공이 발달되어 비표면적이 매우 크고, 비극성 분자에 대한 흡착력이 강하여 배기가스 제거, 냄새제거 및 탈색 효과가 우수한 반면, 제올라이트는 3 내지 10 Å 정도의 세공직경을 갖는 친수성 흡착제로서 일산화탄소, 이산화탄소 및 수분 흡착특성이 강한 특성을 갖는다. 하지만 휘발성 유기화합물의 흡착력을 높이기 위해 소수성 흡착제를 사용하기 때문에 물이 포함된 휘발성 유기화합물을 효과적으로 흡착하여 제거하는데 한계가 있다. 따라서 극성의 물과 비극성의 유기화합물을 동시에 제거할 수 있는 흡착제의 개발이 하나의 중요한 과제가 되고 있다. 이에, 본 발명자들은 표면 처리된 3차원의 산화 그래핀 나노 구조체를 흡착제로 이용하여 유기물 흡착에 유용한 재료를 개발하고자 하였다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 본 발명의 일 구현예는 유기물 흡착에 유용한 표면 처리된 3차원의 다공성산화 그래핀 나노 구조체를 제공하기 위한 것이다.

[0004] 본 발명의 다른 일 구현예는 상기 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체의 제조 방법을 제공하기 위한 것이다.

[0005] 본 발명의 또 다른 일 구현예는 상기 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체를 포함하는 유기물 흡착제를 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 일 구현예는 기공, 및 허니콤 구조의 탄소 골격을 포함하는 산화 그래핀을 포함하고,

[0007] 상기 탄소 골격은 실리콘 코팅층을 포함하는 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체를 제공한다.

[0008] 상기 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체는 밀도가 5 mg/cm^3 내지 20 mg/cm^3 일 수 있다.

[0009] 상기 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체는 공극율이 99 내지 99.9%일 수 있다.

[0010] 상기 실리콘 코팅층은 2 nm 내지 5 nm의 두께를 가질 수 있다.

[0011] 본 발명의 다른 일 구현예는 산화그래핀을 박리/분산하여 산화그래핀 분산 용액을 제조하는 단계;

[0012] 상기 산화그래핀 분산 용액을 용기에 담아 액체 질소로 동결시키는 단계;

[0013] 상기 동결된 산화그래핀 분산 용액을 동결 건조하여 분산매가 제거된 산화그래핀 분산체를 제조하는 단계; 및

[0014] 상기 산화 그래핀 분산체를 PDMS(polydimethylsiloxane)로 증기증착하여 표면 처리하는 단계를 포함하는 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체의 제조 방법을 제공한다.

[0015] 상기 산화그래핀을 박리/분산하여 산화그래핀 분산 용액을 제조하는 단계는, 산화 그래핀을 증류수에서 30분 내지 2시간 동안 초음파 분산 처리함으로써 수행될 수 있다.

[0016] 상기 산화그래핀 분산 용액은 산화그래핀이 1 mg/mL 내지 10 mg/mL의 농도로 포함될 수 있다.

[0017] 상기 산화그래핀 분산 용액을 용기에 담아 액체 질소로 동결시키는 단계는, -180℃ 내지 -200℃의 온도에서 30분 내지 1시간 동안 수행될 수 있다.

[0018] 상기 동결된 산화그래핀 분산 용액을 동결 건조하여 분산매를 제거하는 단계는, -60℃ 내지 -55℃의 온도에서 40 시간 내지 50 시간 동안 수행될 수 있다.

[0019] 상기 산화 그래핀은 PDMS(polydimethylsiloxane) 1 중량부에 대하여 10 내지 20 중량부일 수 있다.

[0020] 상기 증기 증착은 200℃ 내지 300℃의 온도에서 30분 내지 2시간 동안 수행될 수 있다.

[0021] 본 발명의 또 다른 일 구현예는 전술한 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체를 포함하는 유기물 흡착제를 제공한다.

발명의 효과

[0022] 유기물 흡착에 유용한 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체, 이의 제조 방법, 및 이를 포함하는 유기물 흡착제를 구현할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 본 발명의 일 구현예에 따른 표면 처리된 3차원 산화그래핀 나노 구조체의 접촉각 측정결과를 나타낸 것이다.

도 2는 비교예 1에 따른 3차원 산화그래핀 나노 구조체의 접촉각 측정결과를 나타낸 것이다.

도 3은 본 발명의 일 구현예에 따른 표면 처리된 3차원 산화그래핀 나노구조체의 제조 공정 모식도를 나타낸 것이다.

도 4 및 도 5는 본 발명의 일 구현예에 따른 표면 처리된 3차원 산화그래핀 나노구조체의 SEM 분석 결과를 나타낸 것이다.

도 6은 EDS를 이용한 3차원 그래핀 나노 구조체의 성분 분석 결과를 나타낸 그래프이다.

도 7은 표면 처리된 3차원 산화그래핀 나노 구조체의 유기물 흡수결과를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 이하, 본 발명의 구현예를 상세히 설명하기로 한다. 다만, 이는 예시로서 제시되는 것으로, 이에 의해 본 발명이 제한되지는 않으며 본 발명은 후술할 청구범위의 범주에 의해 정의될 뿐이다.

[0025] 일 구현예에 따른 다공성의 산화 그래핀 나노 구조체는 기공, 허니콤 구조의 탄소 골격을 포함하는 산화 그래핀을 포함하고, 상기 탄소 골격은 실리콘 코팅층을 포함할 수 있다.

[0026] 본 발명의 일 구현예에 따른 다공성의 산화 그래핀 나노 구조체에서, 허니콤 구조의 탄소 골격이 실리콘 코팅층을 포함함으로써, 소수성을 나타내는 유기물 흡착에 유용한 흡착제를 제조할 수 있다.

[0027] 상기 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체의 밀도는 5mg/cm^3 내지 20mg/cm^3 일 수 있고, 구체적으로 5mg/cm^3 내지 15mg/cm^3 일 수 있다.

[0028] 상기 밀도는 최종 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체의 부피 및 무게를 측정하여 계산한 값이다.

[0029] 상기 산화 그래핀 나노 구조체의 밀도는 동일 무게 대비 산화 그래핀의 밀도 보다 낮은 값이다. 이는, 동일 무게 대비 산화 그래핀 나노 구조체의 부피가 더 크다는 것을 의미하며, 이로 인하여 유기물이 흡착될 수 있는 표면적의 증가를 기대할 수 있다.

[0030] 상기 산화 그래핀 나노 구조체의 공극율은 95% 내지 99.9%, 구체적으로는 99% 내지 99.9%일 수 있다.

[0031] 상기 공극율은 하기 식 1을 이용하여 계산하였다.

[0032] **[식 1]**

[0033] (산화그래핀 밀도)/(3차원의 다공성 산화그래핀 나노구조체의 밀도)

[0034] 상기 실리콘 코팅층은 2 nm 내지 5 nm, 구체적으로 3 nm의 두께를 가질 수 있다.

[0035] 실리콘 코팅층의 두께가 상기 범위 내인 경우, 3차원의 다공성 산화그래핀 나노 구조체의 높은 공극률 및 비표면적을 유지하여 표면상태를 소수성으로 처리할 수 있다.

[0036] 본 발명의 다른 일 구현예에 따른 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체의 제조 방법을 제공할 수 있다. 구체적인 제조방법은 도 3을 참고하여 설명한다.

[0037] 산화그래핀을 박리/분산하여 산화그래핀 분산 용액을 제조하는 단계; 상기 산화그래핀 분산 용액을 용기에 담아 액체 질소로 동결시키는 단계; 상기 동결된 산화그래핀 분산 용액을 동결 건조하여 분산매가 제거된 산화그래핀 분산체를 제조하는 단계; 및 상기 산화 그래핀 분산체를 PDMS(polydimethylsiloxane)로 증기 증착하여 표면 처리하는 단계를 포함할 수 있다.

[0038] 도 3을 참고하면, (a) 동결 주형법에 의한 구조체의 생성, 즉 액체 질소에 의한 동결 및 동결 건조에 의한 분산매 제거 단계를 수행함으로써, 다수의 기공 및 허니콤 구조의 탄소 골격을 포함하는 산화 그래핀 구조체가 제조될 수 있고, 여기에 (b) 증기 증착에 의한 실리콘 코팅 단계를 거침으로써, (c) 본 발명에 따른 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체가 제조됨을 알 수 있다.

[0039] 본 발명의 일 구현예에 따른 제조 방법에서 산화 그래핀 분산체를 PDMS로 증기 증착하여 표면 처리하는 단계를 포함함으로써, 본 발명의 일 구현예에 따른 다공성의 산화 그래핀 나노 구조체 내부의 허니콤 구조의 탄소 골격의 표면은 소수성 실리콘으로 코팅될 수 있다.

[0040] 상기 허니콤 구조의 탄소 골격의 표면이 소수성 실리콘으로 코팅됨에 따라소수성을 띠는 유기물이 보다 잘 흡착될 수 있다.

[0041] 이와 더불어, 상기 산화그래핀 분산 용액을 목적하는 바에 따라 적절한 부피 및 모양을 갖는 용기에 담아 동결시키고, 이를 동결 건조함으로써, 원하는 부피와 모양을 갖는 유기물 흡착 시스템을 구현할 수 있다.

[0042] 상기 산화그래핀을 박리/분산하여 산화그래핀 분산 용액을 제조하는 단계는, 산화 그래핀을 증류수에서 30분 내지 2시간 동안 초음파 분산 처리함으로써 수행될 수 있다.

[0043] 상기 산화그래핀 분산 용액은 산화그래핀이 1 mg/mL 내지 10 mg/ mL, 구체적으로는 2 mg/mL 내지 5 mg/mL의 농도로 포함될 수 있다.

[0044] 산화그래핀의 농도가 1 mg/mL 미만인 경우, 3차원 나노 구조체의 기계적특성이 저하되는 단점이 있고,

[0045] 10 mg/ mL을 초과하는 경우, 공극률 및 비표면적이 낮아져 흡착특성이 저하되는 단점이 있다.

[0046] 상기 산화그래핀 분산 용액을 용기에 담아 액체 질소로 동결시키는 단계는, -180℃ 내지 -200℃, 가장 구체적으로 -196℃의 온도에서 30분 내지 1시간 동안 수행될 수 있다.

[0047] 액체 질소의 기화 온도가 약 -196℃이므로, 상기 동결 단계는 -180℃ 내지 -200℃에서 수행될 수 있다.

[0048] 상기 온도 범위에서는 본 발명의 일 구현예에 따라 사용되는 분산매가 충분히 동결될 수 있다. 상기 온도 범위에서 동결될 수 있는 분산매로는 증류수가 가장 바람직하다. 그러나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0049] 상기 동결된 산화그래핀 분산 용액을 동결 건조하여 분산매를 제거하는 단계는, -55℃ 내지 -60℃의 온도에서 40 내지 50 시간 동안 수행될 수 있다.

[0050] 동결 건조로 분산매가 제거됨으로써, 산화그래핀 시트 사이에 mm 수준의 메크로기공과 수십 nm크기의 메조기공이 형성되어 표면적을 증가시킬 수 있다. 증가된 표면적으로 인하여 유기물 흡착능이 향상될 수 있다.

[0051] 상기 증기 증착은 구체적으로 화학 기상 증착법(chemical vapor deposition method, CVD)에 의해 수행될 수 있다. 예컨대, 200 내지 300℃의 온도에서 30분 내지 2시간 동안 수행될 수 있다.

[0052] 상기 산화 그래핀은 PDMS(polydimethylsiloxane) 1 중량부에 대하여 10 내지 20 중량부, 가장 구체적으로는 10 중량부일 수 있다.

[0053] 산화 그래핀과 PDMS의 혼합비가 상기 범위 내인 경우, 3차원 산화그래핀 나노구조체의 높은 공극률 및 비표면적을 유지하여 표면상태를 소수성으로 처리할 수 있다.

[0054] 또 다른 일 구현예에 따르면, 전술한 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체를 포함하는 유기물 흡착제가 제공된다.

[0055] 이하 본 발명의 구체적인 실시예들을 기재한다. 다만, 하기에 기재된 실시예들은 본 발명을 구체적으로 예시하거나 설명하기 위한 것에 불과하며, 이로서 본 발명이 제한되어서는 아니된다.

[0056] 또한, 여기에 기재되지 않은 내용은 이 기술 분야에서 숙련된 자이면 충분히 기술적으로 유추할 수 있는 것이므로 그 설명을 생략한다.

[0057] **실시예 1**

[0058] 산화그래핀 (graphene oxide, GO)을 약 2mg/mL 내지 5 mg/mL의 농도가 되도록 하여 증류수에서 약 1시간 이상 초음파 분산 처리 하였다.

[0059] 상기 산화 그래핀 분산 용액을 부피 적절한 형태 및 부피의 용기에 담아 액체 질소 하에서 약 30분 동안 동결시켰다.

[0060] 상기 동결된 산화 그래핀 분산 용액을 약 -60℃에서 -55℃에서 48시간 동안 동결건조하여 분산매인 증류수를 제거하여 산화 그래핀 나노 구조체를 제조하였다.

[0061] PDMS를 상압 하에서 235℃의 온도 조건으로 약 1시간 동안 상기 동결 건조된 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체의 표면에 증기 증착시켜 표면 처리 하였다.

[0062] **비교예 1**

[0063] PDMS로 표면 처리 하지 않은 것을 제외하고는, 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체를 제조하였다.

[0064] **비교예 2**

[0065] 19.1 mmol의 K_2SO_4와, $K_2S_2O_8$ 및 $MnSO_4 \cdot H_2O$가 1:2:1의 비율로 탈이온수 80 ml에 용해된 혼합물을 준비하였다.

[0066] 상기 혼합물을 250℃에서 4일 동안 방치하여 얻어진 고체를 800 ml의 탈이온수에 용해한 후, 교반시켜 분산시켰다.

[0067] 상기 분산된 용액을 필터링 및 세척하여 불순물을 제거한 후, 85℃에서 24 h 동안 방치하여 나노 와이어를 제조하였다.

[0068] PDMS를 상압 하에서 234℃의 온도 조건으로 약 30분 동안 상기 상기 나노 와이어의 표면에 증기 증착시켜 표면 처리 하였다.

[0069] **평가 1: 표면 처리된 3차원 산화 그래핀 나노 구조체의 접촉각 측정**

[0070] 실시예 1 및 비교예 1에 따른 3차원 산화 그래핀 나노 구조체의 접촉각을 측정하여 그 결과를 도 1 및 도 2에 나타내었다.

[0071] 도 1은 실시예 1 에 따른 3차원 산화그래핀 나노구조체의 접촉각 측정결과를 나타낸 것이다.

[0072] 도 2는 비교예 1 에 따른 3차원 산화그래핀 나노구조체의 접촉각 측정결과를 나타낸 것이다.

[0073] 도 1 및 2를 참조하면, PDMS로 표면 처리된 본 발명의 일 구현예에 따른 3차원 산화 그래핀 나노 구조체의 접촉각은 110° 이상이고, 표면 처리되지 않은 3차원 산화 그래핀 나노 구조체의 접촉각은 약 41° 이므로, 본 발명의 일 구현예에 따라 표면 처리된 3차원 산화 그래핀 나노 구조체가 표면 처리되지 않은 나노 구조체에 비해 더 큰 접촉각을 가짐을 확인할 수 있다.

[0074] **평가 2: 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체의 형태 분석**

[0075] 실시예 1에 따른 다공성의 산화 그래핀 나노 구조체의 구조 분석을 SEM(LEO SUPRA 55, ZEISS)를 사용하여 측정한 결과를 하기 도 4 및 도 5에 나타내었다.

[0076] 도 4 및 도 5는 본 발명의 일 구현예에 따른 표면 처리된 3차원 산화그래핀 나노구조체의 SEM 분석 결과를 나타낸 것이다.

[0077] 도 4 및 도 5를 참고하면, 다수의 기공을 포함하는 허니콤 구조의 3차원 다공성 나노 구조체를 확인할 수 있다.

[0078] **평가 3: 표면처리된 산화그래핀 3차원 나노구조체의 표면 성분 분석**

[0079] 실시예 1에 따른 표면처리된 산화그래핀 3차원 나노 구조체의 표면성분 분석을 EDS(JEM-ARM200F, JEOL)를 사용하여 측정한 결과를 하기 도 6에 나타내었다.

[0080] 도 6은 EDS를 이용한 3차원 그래핀 나노 구조체의 성분 분석 결과를 나타낸 그래프이다.

[0081] 도 6을 참고하면, 산화그래핀 표면위에 실리콘층이 균일하게 코팅되어 있는것를 확인할 수 있다.

[0082] **평가 4: 유기물 흡착능 평가**

[0083] 3차원 산화그래핀 나노 구조체의 흡착능을 평가하기 위하여 유기물의 흡착계수를 계산하여 하기 표 1 및 도 7에 나타내었다.

[0084] 표 1은 실시예 1 및 비교예 1에 따른 3차원 산화그래핀 나노 구조체의 유기물 흡수결과를 도표로 나타낸 것이다.

[0085] 도 7은 표면 처리된 3차원 산화그래핀 나노 구조체의 유기물 흡수결과를 나타낸 그래프이다.

[0086] 흡착 계수는 하기 식 2에 의해 계산된 값이다.

[0087] **[식 2]**

[0088] 흡착계수(K)=$(w_f-w_i)/w_i$

[0089] (w_f: 최종 유기물의 양, w_i: 최초 유기물의 양)

[0090] *표 1*

	비교예 1	실시예 1
실리콘 오일	43.93	117
모터 오일	21.51	29.85
디젤 오일	19.46	44.87
에탄올	39.95	55.52
아세톤	22.86	80.90

클로로벤젠	31.94	112.64
톨루엔	20.74	65.04
클로로포름	56.14	113.68

[0091] 표 1과 도 7을 참조하면, 실시예 1에 따른 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체를 흡착제로 사용한 경우, 최초 유기물 양 대비 유기물의 감소량이 비교예 1에 비해 현저히 증가하였음을 알 수 있다.

부호의 설명

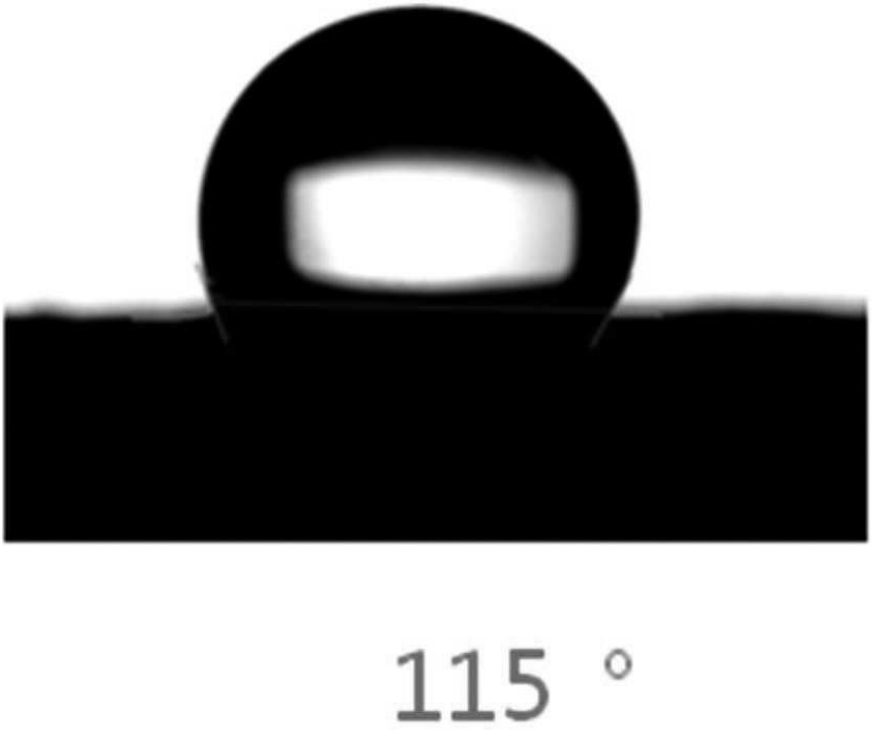
[0092] a: 동결 주형법에 의한 구조체의 생성

b: 증기 증착에 의한 실리콘 코팅 단계

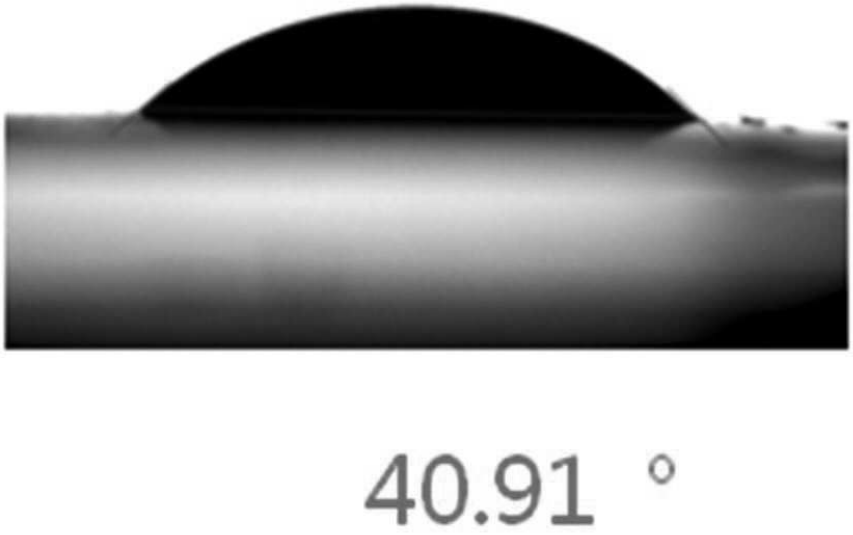
c: 3차원의 다공성 산화 그래핀 나노 구조체의 제조

도면

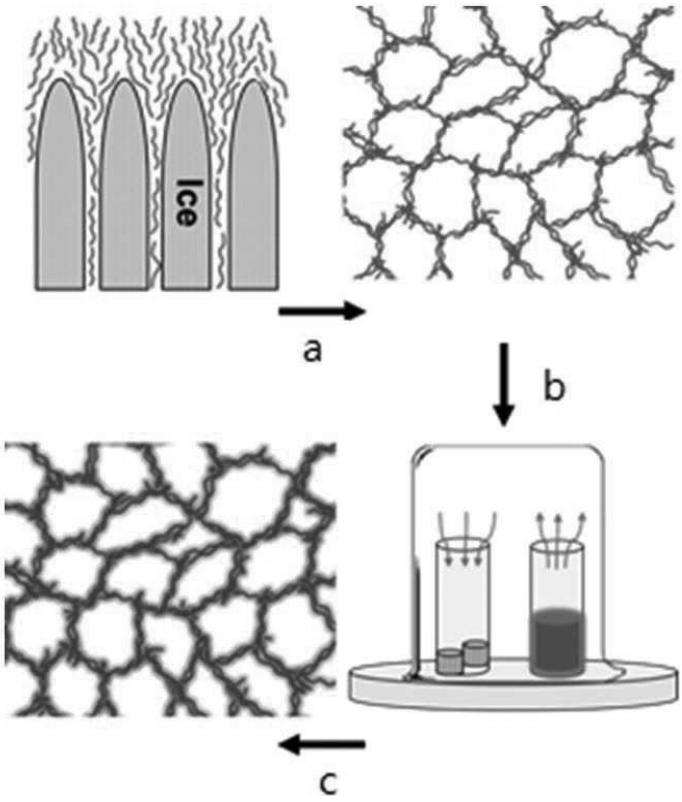
도면1



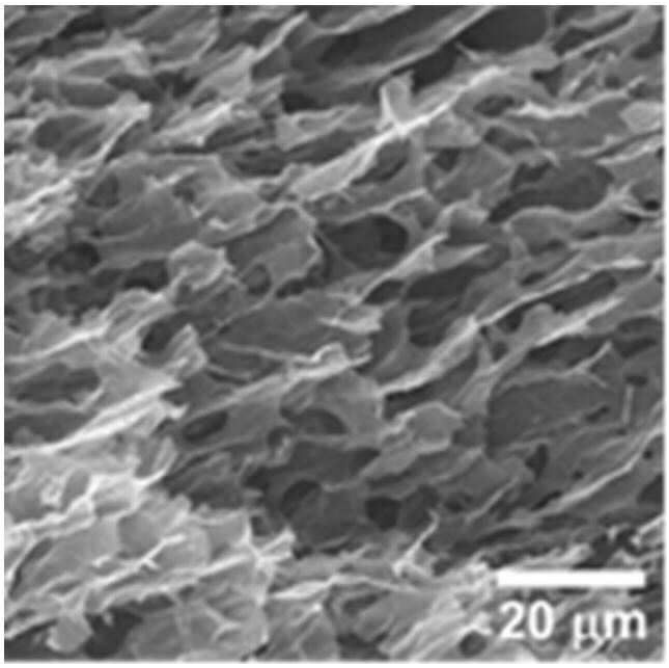
도면2



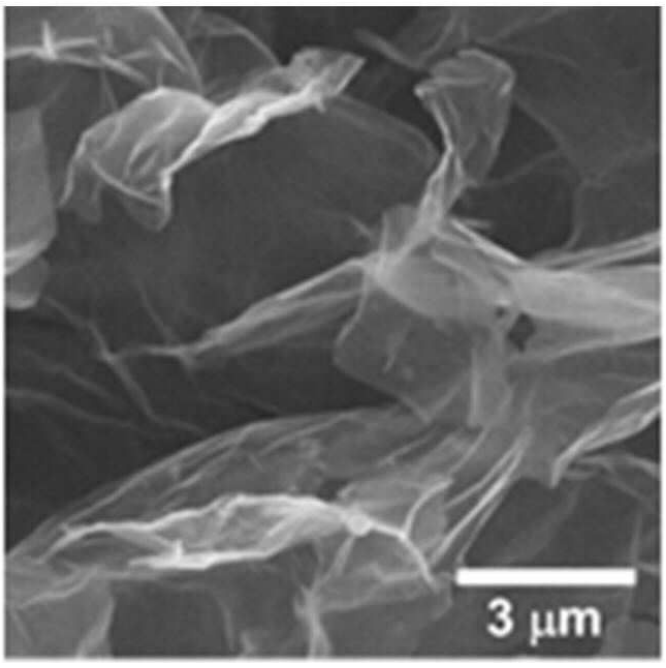
도면3



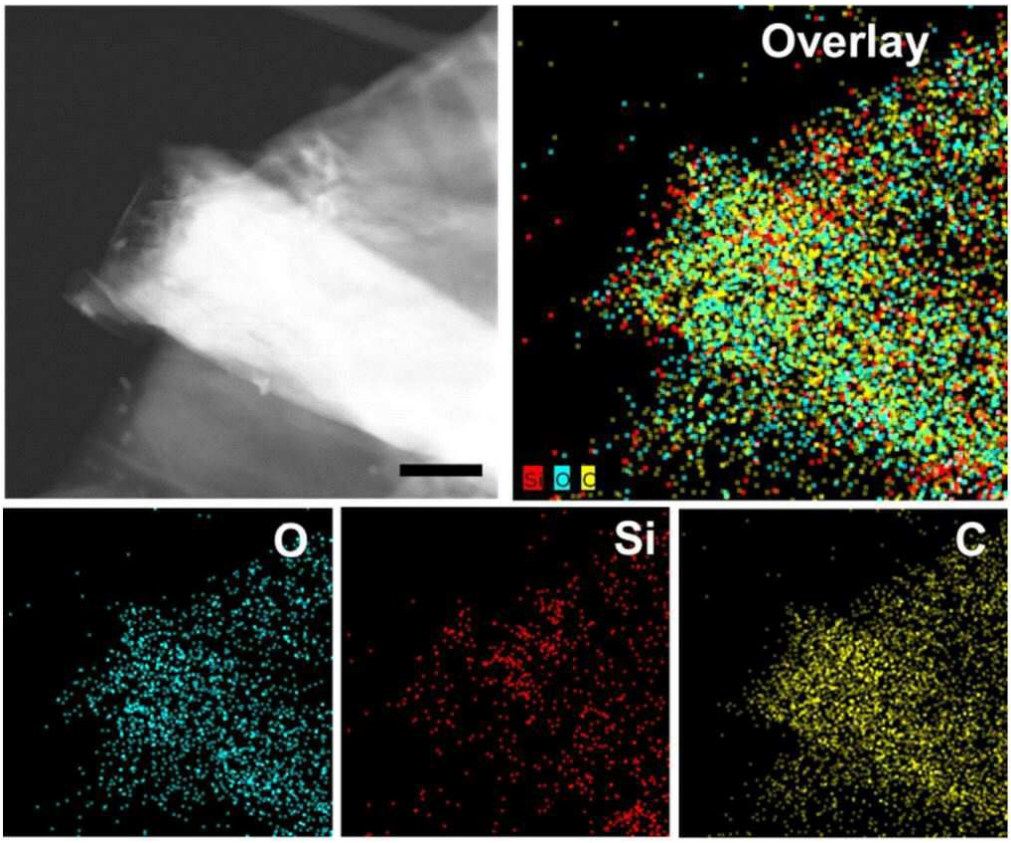
도면4



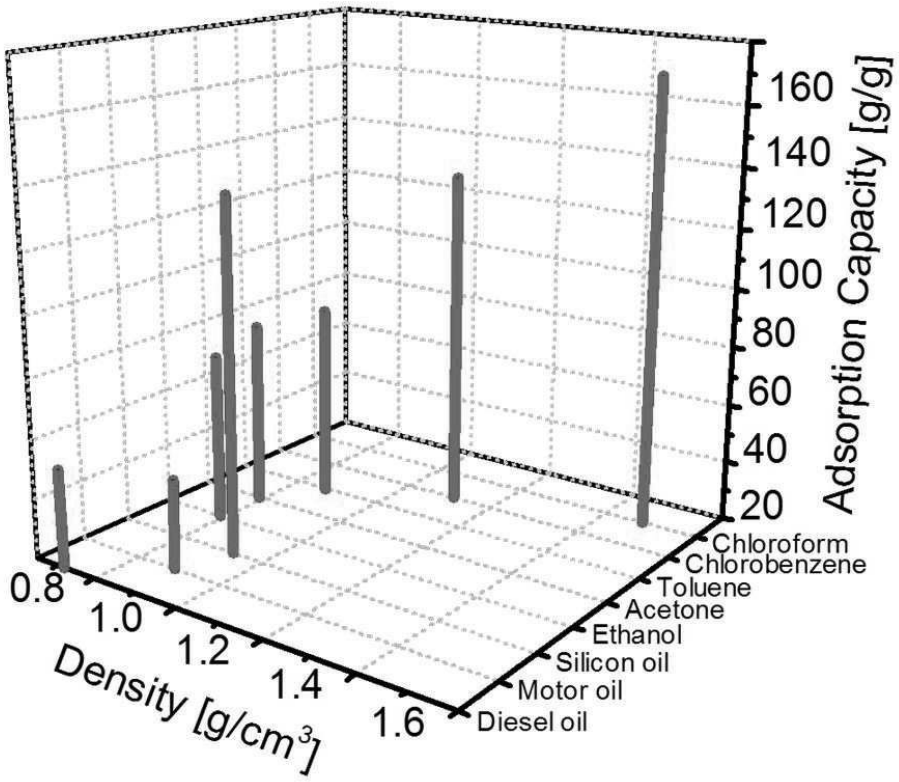
도면5



도면6



도면7


160
140
120
100
80
60
40
20
Adsorption Capacity [g/g]
Chloroform
Chlorobenzene
Toluene
Acetone
Ethanol
Silicon oil
Motor oil
Diesel oil
0.8
1.0
1.2
1.4
1.6
Density [g/cm3]