



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년02월24일  
(11) 등록번호 10-2080501  
(24) 등록일자 2020년02월18일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C01B 32/182 (2017.01) A61K 47/02 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
C01B 32/182 (2017.08)  
A61K 47/02 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2018-0064458  
(22) 출원일자 2018년06월04일  
심사청구일자 2018년06월04일  
(65) 공개번호 10-2019-0138189  
(43) 공개일자 2019년12월12일  
(56) 선행기술조사문헌  
APPLIED PHYSICS LETTERS., 2014, Vol.104,  
pp.092417\*  
(뒷면에 계속)
- (73) 특허권자  
세종대학교 산학협력단  
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
- (72) 발명자  
천승현  
서울특별시 송파구 양재대로 1089, 3동 905호(방이동, 잠실3차한양아파트)
- (74) 대리인  
정상균  
서울특별시 양천구 목동중앙북로6길 25(목동) 특허법인리체
- 전체 청구항 수 : 총 13 항

심사관 : 최문정

(54) 발명의 명칭 강자성 그래핀 및 이의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 강자성을 띠는 그래핀 및 이의 제조방법에 관한 것으로, 안정적으로 장시간 강자성을 나타낼 수 있고, 가혹 조건에서도 그 성질이 변화하지 않으므로, 자성메모리 또는 약물전달체로 활용가능하다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C01B 2204/20 (2013.01)

C01B 2204/32 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

Carbon, 2012, Vol.50, No.2, pp.395-403\*

Scientific Reports., 2014, Vol.4, No.3862, pp.1-7

KR1020110115389 A

KR1020170119817 A

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345260196

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 이공학학술연구기반구축

연구과제명 그래핀연구소

기 여 율 1/1

주관기관 세종대학교 산학협력단

연구기간 2017.05.01 ~ 2018.02.28

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

수평성장 그래핀층 및 상기 그래핀층 상측의 수소처리층을 포함하며,  
상기 그래핀층은 복수개의 그래인을 포함하고, 상기 그래인의 직경이 1 내지 20 nm 이고,  
300K에서 자성이 10 emu/g 이상인 강자성 그래핀.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서,  
EELS 스펙트럼 상에서  $\sigma^*$  상태의 갈라짐 피크를 나타내는 강자성 그래핀.

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

청구항 1에 있어서,  
상기 그래핀은 10K 내지 700K의 온도에서 강자성을 유지하는 강자성 그래핀.

#### 청구항 5

청구항 1, 2 및 4 중 어느 한 항의 그래핀을 포함하는 자성메모리.

#### 청구항 6

청구항 5에 있어서,  
상기 그래핀은 기판상에 배치되는 자성메모리.

#### 청구항 7

청구항 6에 있어서,  
상기 기판은 반강자성체인 자성메모리.

#### 청구항 8

청구항 7에 있어서,  
상기 반강자성체는 MnFe, FeCl<sub>2</sub>, CoCl<sub>2</sub>, NiCl<sub>2</sub>, MnO, CrO, NiO 및 IrMn로 이루어진 군으로부터 선택되는 적어도 하나인 자성메모리.

## 청구항 9

청구항 1, 2 및 4 중 어느 한 항의 그래핀을 포함하는 약물전달체.

## 청구항 10

기관 상에 제1 그래핀층을 수평성장시키는 단계;

상기 제1 그래핀층을 수소 플라즈마 처리하여 제1 수소처리층을 형성하는 단계; 및

상기 제1 수소처리층 상에 제2 그래핀층을 수평성장시키는 단계;를 포함하고,

상기 제1 그래핀층은 복수개의 그래인을 포함하고, 상기 그래인의 직경이 1 내지 20 nm인, 강자성 그래핀의 제조방법.

## 청구항 11

청구항 10에 있어서,

상기 제2 그래핀층을 수소 플라즈마 처리하여 제2 그래핀층 상부에 제2 수소처리층을 형성하는 단계를 더 포함하는 강자성 그래핀의 제조방법.

## 청구항 12

기관 상에 그래핀층을 수평성장시키는 단계;

상기 그래핀층을 산소 플라즈마 처리하는 단계; 및

상기 산소 플라즈마 처리된 그래핀층을 수소 플라즈마 처리하는 단계;를 포함하고,

상기 그래핀층은 복수개의 그래인을 포함하고, 상기 그래인의 직경이 1 내지 20 nm인, 강자성 그래핀의 제조방법.

## 청구항 13

청구항 10 내지 12 중 어느 한 항에 있어서,

상기 기관은 반도체, 부도체 및 전도체로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 하나를 포함하는 플렉서블 또는 비-플렉서블 기관인 강자성 그래핀의 제조방법.

## 청구항 14

청구항 10 내지 12 중 어느 한 항에 있어서,

상기 기관은 반강자성체인 강자성 그래핀의 제조방법.

## 발명의 설명

## 기술 분야

[0001] 본 발명은 강자성을 띠는 그래핀 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

## 배경 기술

- [0003] 최근 들어 실리콘 기반 반도체 기술이 한계점에 접근함에 따라 기존 실리콘 소재 기반 기술의 한계를 극복할 수 있는 새로운 패러다임의 기술 개발이 절실한 상황이다. 2004년도에 처음 발견되고, 2010년도에 노벨물리학상의 주제가 된 그래핀은 탄소 원자들이 2차원 평면상에서 강한 공유결합에 의한 육각형 벌집 구조를 형성하고 있기 때문에 한 층이면서도 구조적, 화학적으로 매우 안정하며, 뛰어난 열전도도와 전도체로서의 특징을 가진다. 특히 무엇보다도 놀라운 그래핀의 고유물성은 전도전자의 에너지-모멘텀 분산 관계  $E(k)$ 가 전형적인 2차원 전자계의 포물선적인 의존도( $\propto k^2$ )가 아니라 소위 디랙 밴드라고 불리는 직선적인 의존도( $\propto k$ )에 기인한다는 것이다. 따라서 페르미 속도가 실리콘의 그것보다 수백 배에 이르는  $10^6$  m/s에 해당하는 값을 가지기 때문에 그래핀은 새로운 고속 전자소자 및 나노 디바이스, 화학센서·테라헤르츠(THz) 소스(source)와 검출기 등과 같이 초고속의 새로운 전자산업에 대동될 것으로 기대된다.
- [0004] 하지만 이처럼 뛰어난 물리적 성질을 가지고 있는 그래핀을 실제 소재로 응용하기까지는 기술적으로 해결되어야 할 문제들이 많다.
- [0005] 이는 그래핀 특성상 페르미 에너지 주변에서 선형의 에너지 분산을 갖지만 동시에 밴드갭이 없기 때문에 반도체 소재로서 이용하기 위해 필요한 on/off 스위칭 기능을 할 수 없다는 것이다.
- [0006] 이러한 이유로 그래핀의 고유 특성을 유지한 상태에서 충분한 밴드갭을 형성하고, 그 크기를 인위적으로 조절하는 연구들이 많이 진행되어 왔다. 예를 들어 그래핀을 나노리본 형태로 구현하여 양자가둠 효과를 발생시켜 밴드갭을 형성시키는 방법과 복층의 그래핀을 이용하여 밴드갭을 형성시키는 방법 등이 있다.
- [0007] 하지만 전자의 경우 수십 나노의 선폴을 가진 나노리본의 리소그래피 방법이 쉽지 않고 폭이 20 nm일 경우 약 0.1 eV 정도의 밴드갭이 형성되기 때문에 응용성 측면에서 어려움이 따른다. 후자의 경우 그래핀의 수직방향으로 일정한 외부 전기장을 가해 주어야 하기 때문에 이 방법 역시 응용에 있어 제약이 따른다.
- [0008] 최근 연구에서 이러한 방법과는 달리 수소와 산소 원자를 그래핀의 두 개의 탄소 원자 중에 하나에 붙임으로써 밴드갭을 형성시킨 방법이 있다. 하지만 이 방법은 거울 대칭을 가지고 있는 두 개의 탄소원자의 대칭을 깨는 원리에 의해 밴드갭이 형성되는 것으로, 0.5 eV 이상의 밴드갭이 형성되더라도 선형 분산관계와 같은 그래핀의 고유 성질이 사라지기 때문에 그래핀의 뛰어난 특성을 사용할 수 없는 모순에 빠진다.
- [0009] 한편, 그래핀은 자기 메모리 소자(Magnetic Random Access Memory, MRAM)로도 활용 가능성이 점쳐지고 있다.
- [0010] 자기 메모리 소자는 나노 자성체 특유의 스핀 의존 전도 현상에 기초한 거대 자기저항 효과 또는 터널링 자기저항 효과를 이용하는 비휘발성 고체 자기 메모리 소자이다.
- [0011] 자기 메모리 소자는 자기 터널링 접합 (magnetic tunnel junction, MTJ)의 자유층(free layer)과 핀드층(pinned layer)의 자화상태에 따른 저항차를 측정하여 MTJ에 기록된 데이터를 읽는다. 핀드층의 자화방향은 고정되어 있고, 자유층의 자화 방향은 일정세기 이상의 자기장이 인가될 때 또는 MTJ를 통해 흐르는 전류의 스핀 상태에 따라 바뀔 수 있다. 자유층과 핀드층의 자화 방향이 같을 때, 측정된 저항을 온(On) 저항이라 하고, 자유층과 핀드층의 자화 방향이 반대일 때, 측정된 저항을 오프(Off) 저항이라 한다. 자기 메모리 소자는 온 저항과 오프 저항의 차이를 통해 데이터를 읽을 수 있으므로, 자기 메모리 소자에서 온 저항과 오프 저항의 차이가 작으면, 곧, 온/오프 비(On/Off ratio)가 작으면, 센싱 마진(sensing margin)이 감소하여 읽은 데이터에 대한 신뢰성이 떨어질 수 있고, 셀 산포의 overlap과 어레이 사이즈 감소 등의 문제가 발생할 수 있다. 특히, 집적도가 높아지면서 저항이 증가하게 되면 센싱 마진은 더 감소될 수 있다.
- [0012] 현재 그래핀은 자기 메모리 소자에 활용되기 위한 만큼의 자성을 띠지 않고 있으며, 전술한 바와 같이, 밴드갭의 부재로 인하여 센싱 마진이 발생하지 않아 자성 메모리로서의 활용 가능성이 제한되어 왔다.
- [0013] 또 한편, 약물전달시스템(Drug delivery system, DDS)란 치료부위에 질병 치료용 약물을 효율적으로 전달함으로써 약물의 부작용을 줄이고, 약물에 대한 환자의 순응도를 높이며 효능 및 효과를 극대화 할 수 있도록 제형을 설계하고 약물치료를 최적화하는 기술이다.
- [0014] 이와 관련하여, 자성 나노입자를 약물전달시스템에 활용하려는 연구가 이루어지고 있다. 예를 들어, 자성 나노입자는 약물 또는 유전자의 전달을 통한 생체 치료에도 사용될 수 있다. 자성 나노입자에 화학적인 결합 또는 흡착을 통해 약물 또는 유전자를 싣고 외부 자기장을 이용하여 원하는 배치로 이동시켜 원하는 특정부위에 약물 및 유전자를 방출할 수 있게 하여 선택적인 치료효과를 가져올 수 있게 한다.
- [0015] 이러한 자성 나노입자를 약물전달시스템에 효율적으로 사용하기 위해서는 자기적 성질이 우수하고, 생체 내 즉

수용성 환경에서 안정적으로 운반 및 분산되어야 하며, 생체 활성 물질과 쉽게 결합할 수 있어야 한다.

[0016] 그래핀은 생체 내 환경에서 안정적으로 분산될 수 있으며, 결합 또는 탑재된 약물의 운반 또한 안정적으로 가능하며, 생체 활성 물질과 쉽게 결합할 수 있어 약물전달시스템에 활용하기 위하여 다양한 연구가 이루어지고 있으나, 그래핀 그 자체로는 자기적 성질이 우수하지 않아, 이에 대한 해결방안이 요구되고 있는 실정이다.

[0017] 현재까지는 장시간 안정적으로 강자성을 갖는 그래핀 및 이의 제조방법에 관하여는 아직까지 보고된 바가 없어, 전술한 그래핀의 용도에 대한 활용 가능성에 제한이 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0019] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2010-0114827호

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0020] 본 발명의 일 목적은 상온에서 안정적으로 장시간 강자성을 나타낼 수 있고, 가혹 환경(예를 들면 열처리 또는 냉각처리)에서도 그 성질이 변화하지 않는 강자성 그래핀 및 이의 제조방법을 제공하는 것이다.

[0021] 본 발명의 일 목적은 장시간 안정적으로 강자성을 유지할 수 있는 강자성 그래핀을 포함하는 자성메모리를 제공하는 것이다.

[0022] 본 발명의 일 목적은 장시간 안정적으로 강자성을 유지할 수 있는 강자성 그래핀을 포함하는 약물전달체를 제공하는 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0024] 1. 그래핀층을 포함하며, 그래핀의 그래인 직경이 1 내지 20 nm 이고 온도 300K에서 자성이 1 emu/g 이상인 강자성 그래핀.

[0025] 2. 위 1에 있어서, EELS 스펙트럼 상에서  $\sigma^*$  상태의 갈라짐 피크를 나타내는 강자성 그래핀.

[0026] 3. 위 1에 있어서, 수소처리층을 포함하는 강자성 그래핀.

[0027] 4. 위 1에 있어서, 상기 그래핀은 10K 내지 700K의 온도에서 강자성을 유지하는 강자성 그래핀.

[0028] 5. 위 1 내지 4 중 어느 한 항의 그래핀을 포함하는 자성메모리.

[0029] 6. 위 5에 있어서, 상기 그래핀은 기관상에 배치되는 자성메모리

[0030] 7. 위 6에 있어서, 상기 기관은 반강자성체인 자성메모리

[0031] 8. 위 7에 있어서, 상기 반강자성체는 MnFe, FeCl<sub>2</sub>, CoCl<sub>2</sub>, NiCl<sub>2</sub>, MnO, CrO, NiO 및 IrMn로 이루어진 군으로부터 선택되는 적어도 하나인 자성메모리.

[0032] 9. 위 1 내지 4 중 어느 한 항의 그래핀을 포함하는 약물전달체.

[0033] 10. 기관 상에 제1 그래핀층을 형성시키는 단계; 상기 제1 그래핀층을 수소 플라즈마 처리하여 수소처리층을 형성하는 단계; 및 상기 제1 수소처리층 상에 제2 그래핀층을 형성시키는 단계; 를 포함하는 강자성 그래핀의 제조방법.

[0034] 11. 위 10에 있어서, 상기 제2 그래핀층을 수소 플라즈마 처리하여 제2 그래핀층 상부에 제2 수소처리층을 형성하는 단계를 더 포함하는 강자성 그래핀의 제조방법.

[0035] 12. 기관 상에 그래핀을 형성하는 단계; 상기 그래핀을 산소 플라즈마 처리하는 단계; 및 상기 산소 플라즈마 처리된 그래핀을 수소 플라즈마 처리하는 단계; 를 포함하는 강자성 그래핀의 제조방법

[0036] 13. 위 10 내지 12 중 어느 한 항에 있어서, 상기 기관은 반도체, 부도체 및 전도체로 이루어진 군에서 선택되

는 적어도 하나를 포함하는 플렉서블 또는 비-플렉서블 기관인 강자성 그래핀의 제조방법.

14. 위 10 내지 12 중 어느 한 항에 있어서, 상기 기관은 반강자성체인 강자성 그래핀의 제조방법.

### 발명의 효과

본 발명의 일 실시예에 따르면, 강자성 그래핀은 상온에서 안정적으로 장시간 강자성을 나타낼 수 있다.

본 발명의 일 실시예에 따르면, 강자성 그래핀은 가혹 조건(예를 들면 열처리 또는 냉각처리)에서도 상기 강자성이 변화하지 않는다.

본 발명의 일 실시예에 따르면, 강자성 그래핀은 안정적으로 강자성을 유지할 수 있어, 자성메모리로서 활용될 수 있다.

본 발명의 일 실시예에 따르면, 강자성 그래핀은 안정적으로 강자성을 유지할 수 있어, 약물전달체로 활용될 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 강자성 그래핀의 제조방법에 대한 간략한 순서도를 나타낸 도이다.

도 2는 본 발명의 강자성 그래핀에 대한 자기장 강도 (Magnetic Field strength, kOe)와 단위 질량당 자화 (Magnetization per unit mass, memu)에 대한 그래프를 나타낸 것이다.

도 3은 본 발명의 강자성 그래핀을 상온(300K)에서 (A) 성장조건을 각각 달리하여(PG1, PG2(최적조건), PG3), (B) 외부 자기장을 각각 달리하여 SQUID(Superconducting quantum interference device) magnetometer 로 측정 한 히스테리시스 루프 그래프이다.

도 4는 본 발명의 강자성 그래핀의 온도의 변화에 따른 자화정도를 SQUID magnetometer로 측정한 그래프이다.

도 5는 본 발명의 강자성 그래핀의 EELS(Electron energy-loss spectroscopy) 결과 스펙트럼의 그래프이다.

도 6은 본 발명의 강자성 그래핀의 그래인을 HRTEM(High-resolution transmission electron microscopy)로 촬영한 사진이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

이하, 본 발명을 상세히 설명한다.

본 명세서에서 층이 기관 "상"에 있다고 언급되는 경우에 그것은 다른 그래핀층 또는 기관 상에 직접 형성될 수 있거나, 그들 사이에 제3의 층이 개재될 수도 있다는 것을 의미한다.

또한, 본 명세서에서 위쪽, 상(부), 상면 등의 방향적인 표현은 그 기준에 따라 아래쪽, 하(부), 하면 등의 의미로 이해될 수 있다. 즉, 공간적인 방향의 표현은 상대적인 방향으로 이해되어야 하며 절대적인 방향을 의미하는 것으로 한정 해석되어서는 안 된다.

본 명세서에서 강자성은 외부 자기장이 없는 상태에서도 자화되는 물질의 자기적 성질을 의미하고, 반강자성은 전자의 스핀이 인접한 스핀과 균일하게 반대로 정렬하여 순자성이 없는 자기적 성질을 의미한다.

본 명세서에서 자성이 비슷한 경우라도 자성의 세기를 나타내는 수치가 다른 경우 자성이 서로 다른 것으로 본다.

### <강자성 그래핀>

본 발명의 일 실시예는 그래핀층을 포함하며, 그래핀의 그래인 직경이 1 내지 20 nm 이고, 300K에서 자성이 1 emu/g 이상인 강자성 그래핀을 제공한다.

본 발명에서 본 발명에서 그래핀층은 단층 또는 복층을 의미하며, 예를 들면, 수직 성장 그래핀 또는 수평 성장 그래핀이 각각 또는 혼합되어 복수로 적층된 그래핀층을 의미할 수 있다.

본 발명의 강자성 그래핀을 형성하도록 적층된 그래핀층 수는 특별히 한정되지 않는다. 예컨대, 적층된 그래핀 층 수는 1층 또는 수 내지 수십 층일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.

본 발명에서 그래인이란 격자방향이 일정한 영역으로서(도 6의 적색 테두리가 하나의 그래인을 의미한다), 그래



인의 크기에 따라 그래핀층의 밀도, 수소 플라즈마 처리시의 수소화정도 등의 물성이 다르게 나타난다.

- [0057] 본 발명의 경우, 그래핀층의 그래핀의 직경은 1 내지 20 nm 일 수 있으나, 보다 바람직하게는 2 내지 10 nm 일 수 있다. 그래핀의 그래핀 크기가 상기 범위인 경우에 강자성이 안정적으로 장시간 유지될 수 있다. 본 명세서에서 그래핀의 "직경"은 그래핀의 최장축 길이의 평균을 의미한다. 그래핀의 직경이 1 nm 미만이거나 20 nm 초과인 경우에는 강자성이 발현되지 않는 문제가 있다.
- [0059] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 강자성 그래핀은, 300K에서 1 emu/g 이상의 자성을 띤다. 강자성 그래핀이 전술한 그래핀 크기 범위를 가지면서 300K에서 1 emu/g 이상의 자성을 나타내는 경우에 강자성이 안정적으로 장시간 유지될 수 있다.
- [0060] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 강자성 그래핀은 EELS(Electron Energy Loss Spectroscopy) 스펙트럼 상에서  $\sigma^*$  상태의 갈라짐 피크를 나타낼 수 있다.
- [0061] EELS 스펙트럼 상에서  $\sigma^*$ 의 피크는 edge-hydrogenation이 있는 경우에 나타나는 것인데, 본 발명에 따른 강자성 그래핀은  $\sigma^*$ 의 피크가 갈라짐 피크(splitting of  $\sigma^*$ )를 나타낸다 (도 5 참조). 그래핀이  $\sigma^*$ 의 피크가 갈라짐 피크를 나타내는 경우에 강자성이 안정적으로 장시간 유지되는 것으로 생각된다.
- [0062] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 강자성 그래핀은 수소처리층을 포함할 수 있다.
- [0063] 본 발명의 수소처리층은 그래핀층 내부에 수소가 삽입된 층을 의미한다. 그래핀 내부에 수소가 삽입되면 강자성을 나타낼 수 있으며, 본 발명의 일 실시예에 따른 강자성 그래핀은 전술한 구조를 가짐으로써, 수소처리층에서 수소의 이탈을 방지하여 강자성을 안정적으로 유지할 수 있는 것으로 판단되나, 이에 한정되어 해석되어서는 안 되고 추후 연구에 의해 다른 메커니즘으로 해석되는 것을 제한하지 않는다.
- [0064] 본 발명의 강자성 그래핀에 포함되는 수소처리층의 그래핀 또는 수소처리층이 아닌 그래핀은 관능기를 포함하지 않는 그래핀, 그래핀 산화물, 환원된 그래핀 산화물 또는 이들의 혼합물 등으로 이루어질 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0065] 전술한 본 발명의 강자성 그래핀은 가혹조건(예컨대, 열처리 또는 냉각처리)으로 처리하더라도 전술한 강자성이 유지된다. 본 발명의 일 실시예에 따르면, 본 발명의 강자성 그래핀은 약 700K의 온도로 열처리 또는 약 10K의 온도로 냉각처리한 후에도 강자성을 변함없이 유지할 수 있다. (도 4 참조)
- [0067] 또한, 본 발명은 상기 강자성 그래핀을 포함하는 자성메모리에 관한 것이다.
- [0068] 자성메모리는 빠른 속도, 비휘발성, 보다 많은 데이터를 저장할 수 있는 초고집적 비휘발성 메모리 소자이다.
- [0069] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 본 발명의 자성메모리는 기판을 더 포함할 수 있으며, 강자성 그래핀은 상기 기판 표면 (예컨대, 표면 상)에 배치될 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0070] 기판은 반도체 또는 부도체, 전도체 또는 부전도체, 자성체 또는 부자성체일 수 있으며, 자성체인 경우, 강자성체 또는 반강자성체일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0071] 자성 메모리의 경우에는 반강자성체와 강자성체의 경계면에서 교합결합이 발생하고, 이로 인하여 발생한 강한 내부 자기장이 정보 저장을 위한 외부 자기장으로 작용한다. 따라서, 자성 메모리의 경우 반강자성체와 강자성체가 적층 구조가 형성되어야 한다.
- [0072] 상기 기판을 반강자성체로 하는 경우, 추가적으로 반강자성체 기판을 결합(또는 적층)하는 단계를 거치지 않아도 되며, 또한 별도 부재를 사용하여 박막화하는 단계가 불필요하다.
- [0073] 따라서, 별도의 부재를 사용하지 않고 박막화의 측면에서, 상기 기판은 반강자성체인 것이 보다 바람직하고, 보다 구체적인 일 실시예에 따르면, 반강자성체는 예컨대, MnFe, FeCl<sub>2</sub>, CoCl<sub>2</sub>, NiCl<sub>2</sub>, MnO, CrO, NiO 및 IrMn로 이루어진 군으로부터 선택되는 적어도 하나일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0075] 또한, 본 발명은 상기 강자성 그래핀을 포함하는 약물전달체에 관한 것이다.
- [0076] 본 발명의 강자성 그래핀은 자기장의 분포에 따라 배열되거나 이동할 수 있다. 또한, 본 발명의 강자성 그래핀은 유전물질 (예컨대, RNA 또는 DNA), 단백질, 항체, 올리고뉴클레오타이드, 유기 또는 무기 화합물 등 다양한 물질과 전기적 또는 화학적으로 결합이 용이하다.
- [0077] 따라서, 전술한 강자성 그래핀의 성질을 이용하여, 약물을 강자성 그래핀의 결합 또는 담지시키고, 자기장을 사



용하여 대상의 목적하는 국소 부위로 상기 약물이 결합 또는 담지된 강자성 그래핀을 이동시킴으로써 약물을 국소 부위에 전달할 수 있다.

- [0078] 따라서, 본 발명의 강자성 그래핀이 포함된 약물전달체는 자기장을 이용하여 대상의 특정 부위에 약물을 집중시켜 치료 효과를 극대화하는 한편 약물의 전신 부작용을 최소화시킬 수 있다. 또한, 최소한의 약물 사용이 가능함으로써 부작용을 줄이고, 목적하는 효과를 최대로 나타낼 수 있다.
- [0079] 본 발명의 약물전달체에 포함되는 강자성 그래핀은 전달되고자 하는 약물을 담지할 수 있는 형태이거나, 약물의 일부에 직접 또는 간접적으로 부착될 수 있는 형태일 수 있다.
- [0080] 강자성 그래핀이 약물의 일부 또는 전부에 직접 부착되는 경우 예컨대, 공유 또는 비-공유 결합, 수소 결합, 파이 결합 등 다양한 결합으로 결합될 수 있다. 그리고, 강자성 그래핀이 약물과 간접적으로 결합되는 경우 예컨대, 약물과 강자성 그래핀 사이에 다른 분자 (예컨대, 링커)가 배치되어 이들을 이어줌으로써 결합될 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0081] 또한, 본 발명의 강자성 그래핀은 약물전달체 뿐만 아니라 그의 디자인에 따라 MRI 조영제, 약물의 방출량 조절 등으로도 활용이 가능하다.
- [0082] 약물은 대상에 투여될 때 국소적 및/또는 전신적 작용에 의해 요망되는 약리학적, 면역원성 및/또는 생리학적 효과를 유도하는 임의의 화합물 또는 조성물을 언급한다.
- [0083] 따라서 약물은 백신, 및 단백질, 펩티드, 호르몬, 핵산, 유전자 구성물 등과 같은 분자를 포함하는 생체약제로서 간주되는 화합물 또는 화학물질을 포함한다.
- [0084] 예컨대, 약물은 하기 물질을 포함하나 이로 제한되지 않는 모든 주요 치료 분야에 사용되는 화합물 또는 조성물을 포함한다: 항생제 및 항바이러스제와 같은 항-감염제; 진통제 및 진통 조합물; 국소 및 일반적인 마취제; 식욕감퇴제; 항관절염제; 항천식제; 항경련제; 항우울제; 항히스타민제; 항염증제; 항구토제; 항편두통제; 항신생물제; 항가려움제; 항정신병제; 해열제; 항연축제; 심혈관 제조물 (칼슘 채널 차단제,  $\beta$ -차단제,  $\beta$ -효능제 및 항부정맥제 포함); 항고혈압제; 화학요법제; 이뇨제; 혈관확장제; 중추 신경계 자극제; 기침 및 감기 제조물; 충혈제거제; 진단제; 호르몬; 골형성 자극제 및 골 재흡수 억제제; 면역억제제; 근육 이완제; 정신자극제; 진정제; 신경안정제; 단백질, 펩티드 및 이의 단편 (천연 발생, 화학적으로 합성 또는 재조합에 의해 생성); 및 핵산 분자 (둘 이상의 뉴클레오타이드의 고분자 형태, 이중- 및 단일-가닥 분자 및 슈퍼코일되거나 축합된 분자를 포함하는 리보뉴클레오타이드 (RNA) 또는 데옥시리보뉴클레오타이드(DNA), 유전자 구성물, 발현 벡터, 플라스미드, 안티센스 분자 등).
- [0085] 대상은 인간, 소, 개, 기니피그, 토끼, 닭, 곤충 등을 포함하여 치료가 요구되는 임의의 단일개체를 의미한다. 또한, 임의의 질병 임상 소견을 보이지 않는 임상 연구 시험에 참여한 임의의 대상 또는 역학연구에 참여한 대상 또는 대조군으로 사용된 대상이 대상에 포함된다.
- [0087] 또한, 본 발명의 강자성 그래핀은 전도성과 강자성을 띠므로 외부 전자기파 교란을 차단할 수 있으며, 이로 인해 전자기 차폐 물질로서도 활용될 수 있다. 예컨대, 본 발명의 강자성 그래핀을 사용하여 공간의 특정 부분을 둘러싸서 내부가 외부 전자기장으로부터 영향을 받지 않도록 하거나, 반대로 내부에서 발생한 전자기장이 외부에 미치지 않도록 할 수 있다. 전자기파의 차폐 정도는 본 발명의 강자성 그래핀의 두께, 차폐하려는 공간의 크기, 막으려는 전자기파의 진동수에 따라 다양하게 조절할 수 있다.
- [0089] 또한, 본 발명의 강자성 그래핀은 스핀 평관된 빛을 방출시킬 수 있다. 따라서, 본 발명의 강자성 그래핀 스핀트로닉 소자로 사용될 수 있다. 예컨대, 본 발명의 강자성 그래핀은 발광 다이오드의 투명 전극으로 사용함으로써 광통신에 응용될 수 있다. 또한, 본 발명의 강자성 그래핀을 사용하여 좌편광, 우편광된 빛을 조절하는 소자를 제작할 수 있으며 이것은 암호화된 통신에 사용되어 양자 컴퓨터의 정보처리의 기본단위인 양자 비트로 응용될 수도 있다.
- [0091] 또한, 본 발명은 상기 강자성 그래핀을 제조하는 방법을 제공한다. 이하에서는 강자성 그래핀의 실시형태에 대해서 기술하기로 한다.
- [0093] <강자성 그래핀의 제조방법 - 제1 실시형태>
- [0094] 본 발명의 강자성 그래핀 제조방법의 일 실시형태는 기판 상에 제1 그래핀층을 형성시키는 단계; 상기 제1 그래핀층을 수소 플라즈마 처리하여 제1 수소처리층을 형성하는 단계; 및 상기 제1 수소처리층 상에 상에 제2 그래

핀층을 형성시키는 단계를 포함한다.

- [0095] 도 1에는 본 발명에 따른 강자성 그래핀 제조방법의 제1 실시형태가 개략적으로 도시되어 있으며, 이하 도면을 참고하여 강자성 그래핀 제조방법의 일 실시예에 대해 구체적으로 설명하도록 한다.
- [0097] 먼저, 기판 상에 제1 그래핀층을 형성시킨다.
- [0098] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 기판은 반도체, 부도체 및 전도체로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 하나를 포함하는 플렉서블 또는 비-플렉서블 기판일 수 있다. 특히, 플렉서블 기판인 경우, 플렉서블 소자에 적용할 수 있는 이점이 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0099] 이하, 반도체, 부도체 및 전도체 등의 예시를 설명한다.
- [0100] 기판이 반도체 또는 부도체 기판일 경우, 기판은 Si, GaAs, GaN, 실리카(SiO<sub>2</sub>), 석영(quartz), 유리(glass), 사파이어(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 및 마이카(mica) 중에서 선택되는 적어도 하나로 이루어질 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 또한, 예컨대, 기판이 부도체인 경우, 기판은 PI(polyimide), PEEK(polyetheretherketon), PES(polyethersulfone), PEI(polyetherimide), PC(polycarbonate), PEN(polyethylenenapthalate) 또는 PET(polyester) 중에서 선택되는 적어도 하나로 이루어질 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0101] 또한, 기판이 반도체와 부도체의 적층 기판일 경우, 기판은 Si/SiO<sub>2</sub> 기판일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0102] 또한, 기판이 전도체 기판일 경우, 기판은 Ni, Co, Fe, Pt, Pd, Au, Al, Cr, Cu, Mn, Mo, Rh, Ir, Ta, Ti, W, U, V 및 Zr 중에서 선택되는 적어도 어느 하나로 이루어질 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0103] 본 발명의 다른 일 실시예에 따르면, 기판은 반강자성체일 수 있다.
- [0104] 기판이 반강자성체일 경우, 제조된 강자성 그래핀을 자성 메모리로 활용함에 있어, 별도의 반강자성체가 요구되지 않으며, 제조된 강자성 그래핀을 박리한 후 반강자성체에 박막화 하는 작업이 요구되지 않아 간편하다.
- [0105] 예컨대, 반강자성체는 MnFe, FeCl<sub>2</sub>, CoCl<sub>2</sub>, NiCl<sub>2</sub>, MnO, CrO, NiO 및 IrMn로 이루어진 군으로부터 선택되는 적어도 하나일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0106] 전술한 기판 외, 본 발명에서는 원하는 목적에 따라 다양한 재료의 기판을 사용할 수 있다.
- [0108] 그래핀층의 형성은 플라즈마를 사용하는 화학 기상 증착(CVD) 챔버 내에서 수행될 수 있다. 구체적으로, 화학 기상 증착 챔버 내 전술한 기판을 배치시키고, 기판 상으로 공정 가스를 공급하여 기판 상에 직접 그래핀층을 형성시킨다. 그래핀층은 그래핀을 기판을 기준으로 기판을 따라 수평 성장 또는 기판에 대해 수직 성장시킴으로써 형성될 수 있다.
- [0109] 공정 가스는 탄소 소스를 포함할 수 있고, 상기 탄소 소스는 예컨대, 탄소수 1 내지 10을 가지는 탄소-함유 화합물을 포함할 수 있다. 일 예로, 상기 탄소 소스는 일산화탄소, 이산화탄소, 메탄, 에탄, 에틸렌, 에탄올, 아세틸렌, 프로판, 프로필렌, 부탄, 부틸렌, 부타디엔, 펜탄, 펜텐, 펜틴, 펜타디엔, 사이클로펜탄, 사이클로펜타디엔, 헥산, 헥센, 사이클로헥산, 사이클로헥사디엔, 벤젠 및 톨루엔 중에서 선택되는 어느 하나일 수 있다.
- [0110] 또한, 공정 가스는 공지의 불활성 가스를 더 포함할 수 있으며, 불활성 가스로 예컨대, He 또는 Ar일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0111] 챔버 내의 온도는 100℃ 내지 800℃일 수 있다. 상기 온도는 통상적인 성장 온도인 700℃ 내지 1,000℃에 비해 저온일 수 있다. 상기와 같이, 플라즈마 화학 기상 증착을 이용하여 저온에서 그래핀층을 성장시킬 수 있다.
- [0112] 챔버 내에 입력되는 플라즈마 파워는 기판의 종류 또는 가스의 혼합비 등에 따라 변화될 수 있다. 상기 플라즈마 파워는 10W 내지 500W의 범위 내에서 선택될 수 있다.
- [0114] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 기판에 그래핀층을 형성시키기 전에 기판을 전처리하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0115] 전처리를 통해 기판 내 불순물 등을 제거할 수 있고, 기판 후술하는 공정 가스와 반응할 수 있는 사이트(site)를 증가시킬 수 있다. 따라서, 기판의 전면에서 균일하게 그래핀층을 성장시킬 수 있다.
- [0116] 또한, 전처리를 통해, 기판의 종류에 상관 없이 그래핀층을 성장시킬 수 있어, 목적에 따라 다양한 기판 상에서 그래핀을 성장시킬 수 있으며, 이 경우, 별도의 박리 및 박막화의 단계가 요구되지 않을 수 있다.

- [0117] 전처리는 산화성 가스 플라즈마를 기판에 처리함으로써 수행될 수 있으며, 산화성 가스는 예컨대,  $O_2$ ,  $O_3$ ,  $F_2$ ,  $Cl_2$  및  $Br_2$  중에서 선택되는 어느 하나일 수 있다.
- [0118] 전처리는 1 내지 10분동안 수행될 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0120] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 기판 상에 그래핀층을 형성하기 전에 마스크 패턴을 형성시키는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0121] 마스크 패턴 형성 단계를 더 포함함으로써 목적하는 용도의 그래핀층을 형성시킬 수 있으며, 예컨대, 약물 담지를 목적으로 그래핀층을 형성시키는 경우, 이러한 약물을 담지할 수 있는 디자인을 가진 그래핀층을 형성시킬 수 있다.
- [0122] 이러한 마스크 패턴 형성 단계를 그래핀층 형성 전에 수행함으로써 완성된 그래핀을 가공하는 단계가 생략될 수 있어 가격 경쟁력 측면에서 바람직하고, 또한 간편하다.
- [0123] 상기 마스크 패턴은 규칙적으로 형성된 패턴일 수 있다. 상기 마스크 패턴은 금속으로 이루어질 수 있다. 예컨대, 상기 마스크 패턴은 패터닝된 파인 메탈 마스크(FMM), 포토 레지스트 패턴 등일 수 있다.
- [0124] 마스크 패턴은 기판의 전처리 후 또는 전에 형성될 수 있으며, 전처리 효과 극대화 측면에서 마스크 패턴 형성 후 기판의 전처리가 수행될 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0126] 다음으로, 상기 제1 그래핀층을 수소 가스 플라즈마 처리하여 제1 수소처리층을 형성한다.
- [0127] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 가스 플라즈마는  $H_2$ 의 플라즈마일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 플라즈마 소스 가스로  $H_2$ 를 사용하여 그래핀층에 자성을 부여하여 개질하면, 강자성을 띤다.
- [0129] 다음으로, 상기 제1 수소처리층 상에 제2 그래핀층을 형성시킨다.
- [0130] 제2 그래핀층의 형성은 제1 그래핀층의 형성과 동일한 방법으로 수행될 수 있다.
- [0131] 그리고 제2 그래핀층은 제1 수소처리층 상에 직접 형성될 수 있어, 제1 수소처리층이 복수로 적층된 그래핀층 사이에 밀접하게 개재됨으로써 제1 수소처리층에서 수소가 탈리되는 것을 효과적으로 보호할 수 있다. 이를 통해, 제조된 본 발명의 강자성 그래핀에 부여된 강자성이 안정적으로 구현될 수 있다.
- [0132] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 복수로 적층된 그래핀층에서 각 그래핀층이 수소처리층에서 직접 성장된 층이므로 수소처리층과의 결합 상태가 매우 밀접하여 수소처리층의 보호 효과가 매우 뛰어나다. 즉, 수소처리층이 복수로 적층된 그래핀층 사이에 밀접하게 개재됨으로써 수소처리층에서 수소가 탈리되는 것을 효과적으로 보호할 수 있다. 따라, 수소처리층에 부여된 강자성 성질의 안정적인 구현이 가능하다.
- [0133] 또한, 별도의 바인더 없이 어느 한 그래핀층이 다른 그래핀층과 결합될 수 있어, 본 발명의 강자성 그래핀의 적층 구조를 형성하기 위한 층 사이의 결합을 위한 추가 공정이 요구되지 않는다. 그리고, 본 발명의 강자성 그래핀은 바인더를 필요로 하지 않음으로써 바인더에 의하여 발생할 수 있는 그래핀의 성질, 구조 등이 변화되는 문제가 발생하지 않을 수 있다. 또한, 그래핀층을 바인더로 결합시키지 않아 바인더가 필수적으로 요구되는 적층 구조에 비해 최종 제작된 강자성 그래핀의 두께, 크기 등을 줄일 수 있어, 두께, 크기 등이 얇은 소자를 사용하는 다양한 분야에 활용될 수 있다.
- [0135] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 제2 그래핀층을 수소 플라즈마 처리하여 제2 수소처리층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0136] 본 발명의 강자성 그래핀의 제조방법에서 각 단계의 순서는 바뀔 수 있으며, 순서가 바뀌더라도 최종 제조되는 강자성 그래핀들의 성질은 서로 차이가 없을 수 있다.
- [0137] 본 발명의 강자성 그래핀의 제조방법에서 각 단계는 용도에 따라 수회 내지 수십, 수백 회로 반복될 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0138] 예컨대, 두꺼운 강자성 그래핀이 필요한 경우 반복 횟수를 수십 회 내지 수백 회로 수행할 수 있고, 얇은 강자성 그래핀이 필요한 경우 반복 횟수를 수회 내지 수십 회로 수행할 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0140] <강자성 그래핀의 제조방법 - 제2 실시형태>
- [0141] 본 발명의 강자성 그래핀 제조방법의 다른 실시형태는 기판 상에 그래핀을 형성하는 단계, 상기 그래핀을 산소

플라즈마 처리하는 단계, 및 상기 산소 플라즈마 처리된 그래핀을 수소 플라즈마 처리하는 단계를 포함한다.

[0142] 보다 구체적으로, 기판에 그래핀층을 형성하는 단계는 상기 제1 실시형태와 동일한 방법으로 수행할 수 있으며, 그래핀층 형성 전의 전처리 단계 및 마스크 패턴 형성 단계 역시 동일한 방법으로 수행할 수 있다.

[0143] 본 발명의 일 실시예에 따른 산소 플라즈마 처리 단계에서 그래핀층에 산소 원자가 삽입되는 것으로 생각된다. 그래핀층에 삽입된 산소 원자는 후속하는 수소 플라즈마 처리 시에 C-H의 결합을 보다 촉진하여 수소 원자의 삽입을 용이하게 하며 수소 원자의 이탈을 억제하는 것으로 판단된다. 이에 따라 상대적으로 큰 강자성을 안정적으로 유지하는 강자성 그래핀을 제조할 수 있게 된다.

[0144] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 산소 플라즈마는  $O_2$ 의 플라즈마일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 플라즈마 소스 가스로  $O_2$ 를 사용하여 그래핀층에 처리하여 산소 원자가 삽입된 후, 수소 플라즈마 처리가 후속된다.

[0145] 상기 수소 플라즈마를 가하는 단계는 상기 제1 실시형태와 동일한 방법으로 수행될 수 있다.

[0147] 이하, 본 발명을 구체적으로 설명하기 위해 실시예를 들어 상세하게 설명하기로 한다. 하기 실시예는 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐 본 발명의 범위를 한정하는 것은 아니다.

#### [0149] 실시예 1. 강자성 그래핀의 제조 - 제1 실시형태

[0150] Si/SiO<sub>2</sub> 기판을 준비하였다. 상기 Si/SiO<sub>2</sub> 기판을 플라즈마 화학 기상 증착 챔버 내에 배치하고, 2분간  $O_2$  플라즈마 처리하였다. 이후, 500℃의 온도에서 탄소 소스가스로 메탄과 수소의 혼합 가스( $CH_4$ :  $H_2$  = 2 sccm : 20 sccm)를 공급하여 그래핀층 1 nm를 성장시켰다.

[0151] 그 다음 20 sccm의 수소 가스 플라즈마를 챔버 내로 주입하여, 성장된 그래핀층에 수소처리층을 형성하였다.

[0152] 이후 전술한 조건과 동일한 조건으로 다시 그래핀층 1 nm를 성장시켰다.

#### [0154] 실시예 2. 강자성 그래핀의 제조 - 제2 실시형태

[0155] Si/SiO<sub>2</sub> 기판을 준비하였다. 상기 Si/SiO<sub>2</sub> 기판을 플라즈마 화학 기상 증착 챔버 내에 배치하고, 유기 오염물의 제거를 위해 90초 동안  $O_2$  플라즈마 처리하였다. 이후, 2-3 시간동안 그래핀층을 성장시키는데, 평행 그래핀층(PG)의 경우 메탄과 수소의 비율이 2:20 sccm인 혼합가스로 550℃인 조건에서, 수직 그래핀층(VG)의 경우 메탄과 수소의 비율이 10:20 sccm인 혼합가스로 900℃인 조건에서 처리하였다. 상기 그래핀층에 산소 플라즈마(20-40 sccm)를 15초동안 가하고 난 후, PG의 경우 10-40 sccm의 수소 플라즈마를 3분동안, VG의 경우 5 sccm의 수소 플라즈마를 5분동안 가하여 수소화시켰다. 이 때의 전체 공정 파워는 50W이고, 압력은 10 mTorr이다.

#### [0157] 실험예 1. 제1 실시형태 강자성 그래핀의 자성 측정

[0158] 실시예 1에서 제조된 그래핀에 대한 외부 자기장 (Magnetic Field strength, kOe) 크기에 따른 자화량 (Magnetic moment, emu)의 플롯팅을 통해 강자성의 성질이 나타나는지를 확인하였으며, 이를 10K와 300K의 두 온도에서 측정함으로써 제조된 그래핀의 강자성이 상온에서도 유지되는지 여부를 확인하였고, 그 결과를 도 2에 도시하였다.

[0159] 자화량 측정은 상용 SQUID magnetometer(MPMS-3, Quantum Design, Inc)를 사용하였다.

[0160] 강자성 그래핀의 MOKE(Magneto-optic Kerr effect) 히스테리시스 루프는 HeNe 레이저(파장 632nm, 광자에너지 1.96eV)와 PEM(Photo-elastic modulator) 등을 이용하여 측정되었다. 레이저 전력은 3mW 이고, 빔의 직경은 1mm 이내였으며, 측정 과정에서의 가열효과는 무시가능한 수준이다.

[0161] 도 2에 나타난 바와 같이, 플롯팅은 히스테리시스와 함께 4 kOe 이상에서 포화자화(Magnetic saturation)를 보이는 그래프를 나타내, 제조된 그래핀이 강자성을 띠는 것을 확인하였다. 히스테리시스 루프를 나타내는 자성체는 주로 속도에 독립적이어서 내구성 있는 메모리 저장을 가능하게 할 수 있다. 즉, 제조된 그래핀은 자성메모리 장치 등 메모리 장치에 활용될 수 있다.

[0162] 또한, 10K와 300K의 그래프 형태가 모두 강자성체의 특성을 보이며, 특히 10K에서의 포화자화량 값이 상온에서도 80% 이상 유지되어, 강자성이 사라지는 전이온도는 상온에 비해 매우 높은 것으로 짐작된다. 즉, 특별한 냉각장치 없이도, 제조된 그래핀의 강자성을 이용하여 일상적인 다양한 분야에 활용이 가능하다.

[0164] **실험예 2. 제 2실시형태 강자성 그래핀의 물성 측정**

[0166] **1. 그래핀의 자성 측정**

[0167] 실시예 2에서 제조된 강자성 그래핀의 자성에 대해 수소 플라즈마 처리시의 수소 농도, 외부 자기장 및 온도를 변화시키며 실험예 1의 1.항목과 동일한 방법으로 측정하였고, 그 결과를 도 3(수소 플라즈마 농도 변화(A) 및 외부 자기장 변화(B) : 300K) 및 도 4(온도 변화)에 나타내었다.

[0168] 자성 모멘트는 12.8Hz의 vibrating 샘플들을 통해 측정하였고, 고온에서의 실험(300K 이상)을 위해 샘플들은 Zicar cement(P/N : 4097-030, Quantum Design, Inc)와 함께 가열기 막대에 부착되었으며, 균일가열을 위해 구리포일에 싸인 채로 진행되었다.

[0169] 도 3을 참고하면, 본 발명의 그래핀(PG2)은 상온에서 안정적으로 59 emu/g 내외의 강한 포화자성(saturated mass magnetization)을 보여주며 히스테리시스 루프의 자화곡선을 나타내는데, 상기 포화자성은 전이금속인 Ni(55 emu/g)보다 큰 수치를 나타내는 것임을 알 수 있다.

[0170] 도 3 (A)에서 PG1, PG2, PG3는 수소 플라즈마 처리시의 수소 농도를 각각 10, 20, 40 sccm으로 달리한 그래핀을 의미하며, 이는 성장 조건에 따라 포화자성값이 바뀔 수 있음을 보여주는 것이다.

[0171] 도 3 (B)는 PG2 조건에서 측정된 히스테리시스 마이너루프를 나타낸 그래프이다.

[0172] 도 4에는 10K 내지 900K의 범위에서 히스테리시스 루프의 자화곡선이 도시되어 있다. 도 4를 참고하면, 700K까지는 매우 안정적인 강자성을 드러낼 수 있음을 알 수 있다.

[0174] **2. 그래핀의 전자적 구조 분석**

[0175] 실시예 2의 강자성 그래핀에 대해 EELS 분석을 수행하였고 그 결과를 도 5에 나타내었다. 에너지 해상도는 0.3eV이고 에너지 분산도는 0.1eV이었다.

[0176] 도 5를 참고하면, 스펙트럼상에 본 실시예의 강자성 그래핀의 특수한 갈라짐 피크가 관찰되는 것을 확인할 수 있다.

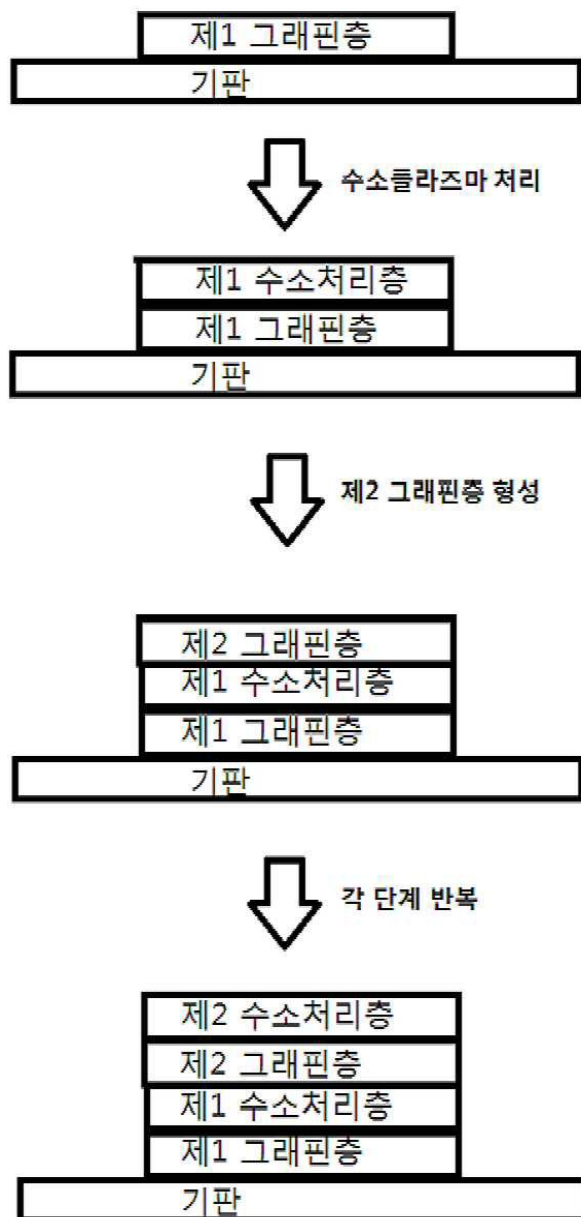
[0178] **3. 그래핀의 형태적 구조 분석**

[0179] 실시예 2의 강자성 그래핀을 HRTEM을 사용하여 촬영하였고, 그 사진을 도 5에 나타내었다.

[0180] 도 6를 참고하면, 실시예 2의 강자성 그래핀이 매우 작은 그래인의 크기를 가짐을 확인할 수 있다.

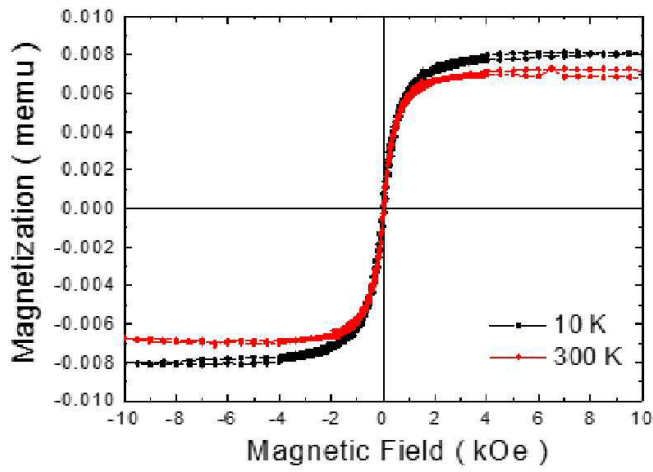
도면

도면1

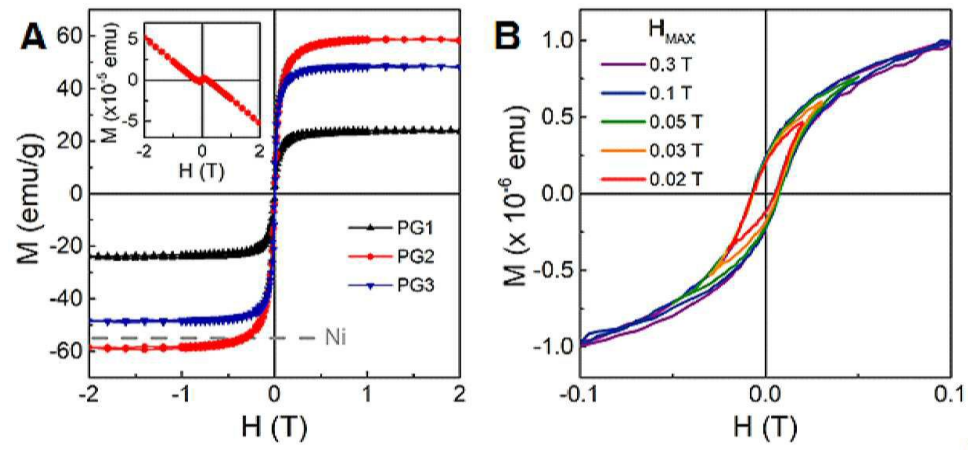




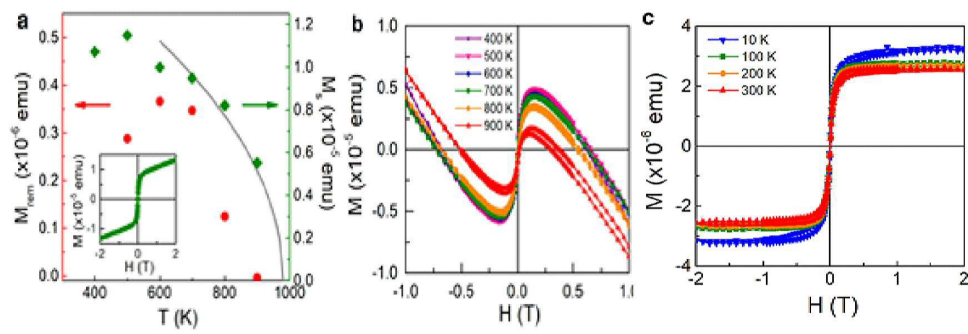
도면2



도면3

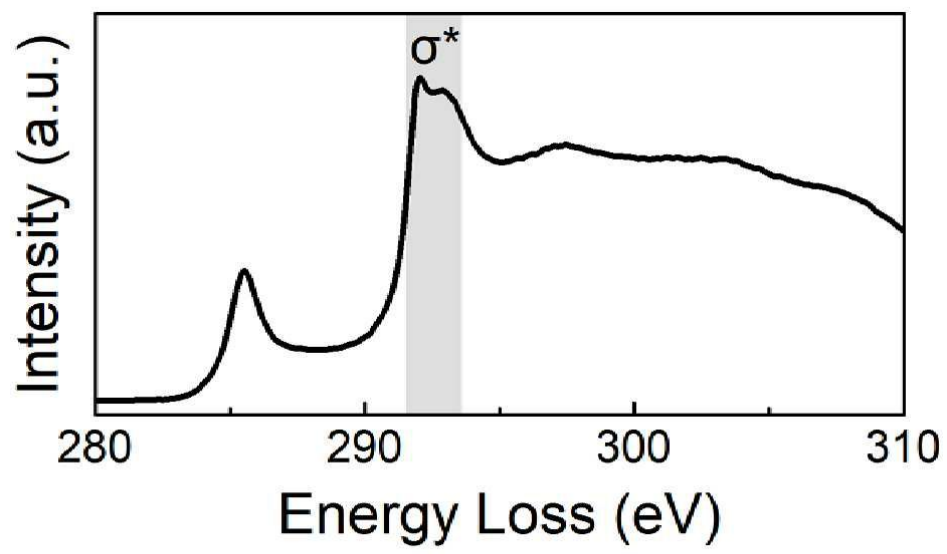


도면4





도면5



도면6

