



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0043452
(43) 공개일자 2020년04월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C01B 32/184 (2017.01) C30B 1/02 (2006.01)
C30B 29/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C01B 32/184 (2017.08)
C30B 1/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-7008437
(22) 출원일자(국제) 2018년08월24일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2020년03월23일
(86) 국제출원번호 PCT/GB2018/052408
(87) 국제공개번호 WO 2019/038558
국제공개일자 2019년02월28일
(30) 우선권주장
17187835.8 2017년08월24일
유럽특허청(EPO)(EP)

(71) 출원인
알디 그래핀 리미티드
영국 스틸링 에프케이7 7알피 스틸링 엔터프라이즈 파크 87
(72) 발명자
카피오 마크로
영국 던 에프케이16 6디터 스테이션 와인드 43
마쿼트 클라우스
영국 에든버러 이에이치5 3에이에이 챌슬릿 그로브 6 피에프1
(74) 대리인
리앤목특허법인

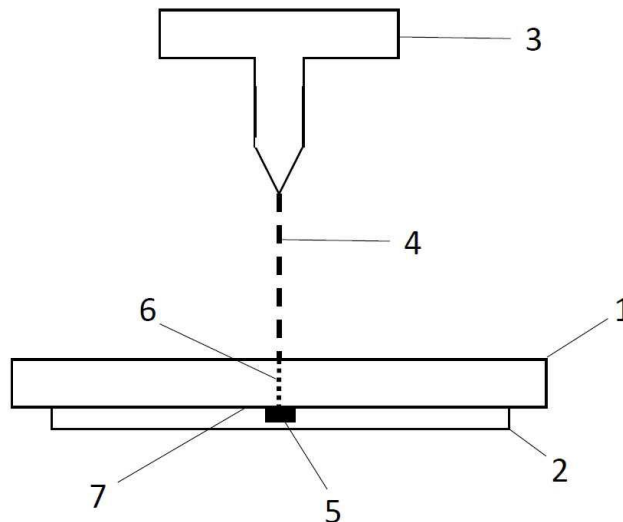
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 3D 그래핀

(57) 요약

기재의 표면에 부착된 3D 그래핀 재료를 형성하는 방법은 상기 기재의 표면에 탄소 공급원을 제공하는 단계; 및 상기 탄소 공급원의 적어도 일부 및/또는 상기 기재의 적어도 일부분을 레이저 빔에 노출시킴으로써, 상기 탄소 공급원의 적어도 일부분을 상기 기재의 표면에 부착된 3D 그래핀 재료로 전환시키는 단계;를 포함한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

C30B 29/02 (2013.01)

C01P 2004/30 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

기재의 표면에 부착된 3D 그래핀 재료의 형성 방법으로서, 상기 기재의 표면에, 탄소 함유 재료를 포함하는 탄소 공급원을 제공하는 단계; 및 상기 탄소 공급원의 적어도 일부 및/또는 상기 기재의 적어도 일부분을 레이저 빔에 노출시킴으로써, 상기 탄소 공급원의 적어도 일부분을 상기 기재의 표면에 부착된 3D 그래핀 재료로 전환시키는 단계;를 포함하는 형성 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 탄소 공급원은 탄소 함유 재료를 포함하는 예비성형된 시트(preformed sheet)이고, 상기 탄소 공급원의 적어도 일부분을 상기 기재의 표면에 부착된 상기 3D 그래핀 재료로 전환시키는 단계는 상기 예비성형된 시트로부터 상기 기재의 표면으로 탄소를 전달하는 단계 및 상기 기재의 표면에 부착된 3D 그래핀 재료를 형성하는 단계를 포함하는, 형성 방법.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서, 상기 3D 그래핀 재료로 전환되지 않은 상기 탄소 공급원의 하나 이상의 미전환 부분들을 상기 기재의 표면으로부터 제거하는 단계를 더 포함하는 형성 방법.

청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄소 공급원은 하나 이상의 폴리머들을 포함하는, 형성 방법.

청구항 5

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 기재는 상기 레이저 빔에 실질적으로 투명한 하나 이상의 재료들을 포함하는, 형성 방법.

청구항 6

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 기재는, 상기 레이저 빔의 파장 또는 파장들에서, 상기 레이저 빔으로부터의 입사광의 60% 초과를 흡수하는, 형성 방법.

청구항 7

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 기재는 실리콘, 실리콘 디옥사이드, 갈륨 나이트라이드, 갈륨 아르세나이드, 및 아연 옥사이드 중 하나 이상을 포함하는, 형성 방법.

청구항 8

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 기재는 하나 이상의 폴리머들을 포함하는, 형성 방법.

청구항 9

제 1 항 내지 제 8 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 레이저 빔은 펄스 레이저 빔(pulsed laser beam)인, 형성 방법.

청구항 10

제 1 항 내지 제 9 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 기재에 형성되고 부착된 상기 3D 그래핀 재료 내로 하나 이상의 도펀트들을 도입하는 단계를 더 포함하는 형성 방법.

청구항 11

제 1 항 내지 제 10 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 방법은 대기압 및 실온에서 수행되는, 형성 방법.

청구항 12

기체에 부착된 3D 그래핀 재료를 포함하는 시스템으로서, 상기 3D 그래핀 재료는 제 1 항 내지 제 11 항 중 어느 한 항에 따른 방법에 의해 형성된, 시스템.

청구항 13

하나 이상의 장치 부품의 제조에서의 제 1 항 내지 제 11 항 중 어느 한 항에 따른 방법의 용도.

청구항 14

제 13 항에 따른 방법에 의해 제조되거나 및/또는 제 12 항에 따른 시스템을 포함하는 장치 부품.

청구항 15

3% 미만의 원자 퍼센트의 산소 및/또는 3% 미만의 원자 퍼센트의 질소를 포함하는 3D 그래핀 재료.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 3D 그래핀 재료, 기체에 부착된 3D 그래핀 재료의 형성 방법, 기체에 부착된 3D 그래핀 재료를 포함하는 시스템, 3D 그래핀 재료를 포함하는 장치 부품, 및 3D 그래핀 재료를 포함하는 장치 부품의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 탄소는 많은 다양한 동소체를 형성하는 것으로 알려져 있다. 다이아몬드(면심 입방 격자가 기본 단위 셀당 2개의 sp^3 혼성 4면체 배열 탄소 원자들의 모티프(motif)로 장식되어 있음) 또는 흑연(sp^2 혼성 탄소 원자들이 6 각형으로 배열되어 평면 시트들을 형성하고 있고, 이때, 인접한 시트들은 약한 반데르발스 상호작용에 의해 함께 고정됨)과 같은 동소체들이 오랫동안 알려져 왔다. 그래핀, buckminsterfullerenes, 탄소 나노튜브, 탄소 나노리본, 다이아몬드 유형 탄소, 및 비결정질 탄소와 같은 다른 탄소 기반 구조체들은 최근에서야 발견되었다.

[0003] 그래핀은 그것의 특이한 전자적, 열적 및 기계적 특성으로 인해 특별한 관심을 불러 일으켰다. 하나의 특정 그래핀 재료는 2D 그래핀으로 알려져 있다; 이것은 6각형 격자 상에 배열된 sp^2 -결합 탄소 원자들의 단일의 2차원 시트이고, 본질적으로 하나의 개별적 흑연 층이다. 2D 그래핀은 실온에서 대략 $10^{-6} \Omega\text{cm}$ 의 저항률 및 $15,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 초과 전자 이동도를 갖는 재료-갭 반도체이다. 2D 그래핀은 전자 장치, 특히 나노스케일 전자 장치에 적용되고 있다. 그러나, 흑연의 박리 및 박리된 그래핀 시트의 기재로의 전사를 전형적으로 요구하는 2D 그래핀 제조 공정들 또는 증착 후 어닐링 처리와 결합된 물리적 또는 화학적 증착을 포함하는 복잡한 증착 공정들의 규모를 확장하는 데에는 상당한 어려움이 있다.

[0004] 관심대상인 다른 그래핀 재료는 다공성 그래핀 또는 레이저 유도 그래핀(laser-induced graphene: LIG)으로도 알려져 있는 3D 그래핀이다. 3D 그래핀은, 평면 시트가 아닌 3차원 구조체를 형성하기 위해 서로 접혀진 하나 이상의 2D 그래핀 시트들로 이루어진다. 3D 그래핀의 원자간 결합들은 주로 sp^2 -혼성 오비탈들 사이에 형성되고, 3D 그래핀 내의 탄소 원자들의 지배적인 국소 배위는 2D 그래핀 내의 그것과 유사하며, 그 결과 2D 및 3D 그래핀은 유사한 전자적 특성들을 갖는다. 따라서, 3D 그래핀은 2D 그래핀에 대한 가능한 대체재로서 전자 장치에 적용하기에 유망한 재료이다. 또한, 접힌 구조로 인해, 3D 그래핀은 전형적으로 다공성이며, 높은 비표면적을 갖는다. 이는 3D 그래핀을 축전기(특히, 슈퍼축전기) 및 배터리와 같은 에너지 저장 장치에서의 사용에 특히 적합하도록 만든다. 3D 그래핀은 또한 센서 부품 또는 고강도 복합재료에 적용될 수 있다.

[0005] 그러나, 3D 그래핀의 실제 적용은 현재, 기재 상에 제어된 방식으로 3D 그래핀 구조체를 증착시키는 것의 어려움으로 인해 제한된다. 3D 그래핀 구조체의 증착을 위한 기존의 방법들은, 폴리머 시트에서 3D 그래핀 구조체의 형성, 폴리머 시트로부터 3D 그래핀 구조체의 제거, 및 이어서 기재 상으로의 3D 그래핀 구조체의 전사를 포함

한다. 이러한 방법들은 느리고, 예를 들어 전자 장치 부품의 제조에 사용되는 인-라인 가공(in-line processing)에 적합하지 않다. 또한, 그 결과 생성된 3D 그래핀 구조체의 기재 상에서의 정확한 배치를 제어하는 것이 어려우며, 이는 나노스케일 전자 장치의 제조에 문제를 발생시킨다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 따라서, 3D 그래핀 구조체의 기재 상으로의 제어된 증착을 위한 방법으로서 인-라인 가공에 적합한 방법을 제공하는 것이 유리할 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 제1 측면은 기재의 표면에 (즉, 직접) 부착된 3D 그래핀 재료를 형성하는 방법을 제공한다. 본 방법은 다음의 단계들을 포함한다: 기재의 표면에 탄소 함유 재료를 포함하는 탄소 공급원을 제공하는 단계; 및 탄소 공급원의 적어도 일부분 및/또는 기재의 적어도 일부분을 레이저 빔에 노출시킴으로써, 탄소 공급원의 적어도 일부분을 기재의 표면에 (즉, 직접) 부착된 3D 그래핀 재료로 전환시키는 단계. 탄소 공급원의 적어도 일부분을 기재의 표면에 부착된 3D 그래핀 재료로 전환시키는 단계는 전형적으로, 탄소 공급원으로부터 기재의 표면으로 탄소를 함께(concurrently)(즉, 동시에(at the same time)) 전달하는 단계, 3D 그래핀 재료를 형성하는 단계, 및 3D 그래핀 재료를 기재의 표면에 부착(adhering)시키는 단계를 포함한다.

[0008] 탄소 공급원은 전형적으로, 탄소 함유 재료를 포함하는 (예비형성된) 시트이다. 따라서, 탄소 공급원의 적어도 일부분을 기재의 표면에 부착된 3D 그래핀 재료로 전환시키는 단계는 전형적으로, 탄소를 (즉, 예비형성된) 시트로부터 기재의 표면으로 함께(즉, 동시에) 전달하는 단계, 3D 그래핀 재료를 형성하는 단계, 및 3D 그래핀 재료를 기재의 표면에 부착시키는 단계를 포함한다.

[0009] 특히, 본 발명자들이 밝혀낸 바에 따르면, 탄소 공급원(예를 들어, (즉, 예비형성된) 시트)의 적어도 일부분을 레이저 빔에 노출시켜, 기재의 표면 상에 제공된 상기 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 상기 시트)의 적어도 일부분을 3D 그래핀 재료로 전환시킴으로써, 형성된 3D 그래핀 재료는 전형적으로, 기재의 표면으로 전달되고 거기에 직접 부착된다. 임의의 미전환 재료(즉, 탄소 공급원(예를 들어, (즉, 예비형성된) 시트)의 일부분을 형성하되, 3D 그래핀 재료로 전환되지 않은 재료)가 기재의 표면으로부터 제거된 후에, 형성된 3D 그래핀 재료의 적어도 일부분(예를 들어, 대부분, 예를 들어, 전부)은 전형적으로 기재의 표면에 직접 부착된 상태로 유지된다. 이는, 3D 그래핀 구조체가 기재의 표면 상에서 형성되고 또한 기재 표면에 직접 부착되는 것을 가능하게 한다.

[0010] 레이저 빔의 파라미터들(예를 들어, 레이저 빔 폭, 레이저 광 파장, 레이저 파워, 및 레이저 빔이 탄소 공급원 및/또는 기재에 입사되는 위치)은 전형적으로 정밀하게 제어될 수 있기 때문에, 기재의 표면에 형성되고 부착된 3D 그래핀 재료의 위치 및 파라미터(예를 들어, 두께)는 정확하게 제어될 수 있다. 따라서, 3D 그래핀 구조체로 기재 표면을 신속하게 장식하는데 특히 적합하고 또한 인-라인 가공에 적합화될 수 있는 놀랍도록 간단한 방법을 사용하여, 기재 표면의 미리 결정된 위치에 복잡하고 미세한(finely detailed) 3D 그래핀 구조를 형성시키는 것이 가능하다. 예를 들어, 기재의 표면 상에 증착되고 기재에 직접 결합되는 탄소 함유 재료의 층이 아니라 탄소 함유 재료의 (예비형성된) 시트를 사용함으로써, 본 방법을 간단하고 빠른 상태로 유지하고, 예를 들어, 진공 조건, 플라스마 가공 단계 또는 복잡하고 값비싼 증착 장치에 대한 필요성을 방지한다. 결정적으로, 이는, 기재 표면의 손상 또는 그에 부착된 3D 그래핀 재료의 과도한 파괴 없이, 탄소 공급원의 미전환 부분들이 쉽게 제거되는 것을 가능하게 한다.

[0011] 가능하게는, 기재의 표면 상에 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)을 제공하는 단계는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)과 기재의 표면이 (예를 들어, 직접적으로) 접촉하도록 만드는 단계를 포함할 수 있다. 가능하게는, 기재의 표면 상에 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)을 제공하는 단계는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)을 기재의 표면 상에 (예를 들어, 직접) 배치하는 단계를 포함할 수 있다. 부가적으로 또는 대안적으로, 가능하게는, 기재의 표면 상에 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)을 제공하는 단계는, 기재를 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트) 상에 (예를 들어, 직접) 배치하는 단계를 포함할 수 있다.

[0012] 본 방법은 전형적으로, 물리 기상 증착(PVD), 화학 기상 증착(CVD), 분자 빔 에피택시(MBE), 스퍼터링, 펄스 레

이저 증착, 음극 아크 증착, 스핀 코팅, 딥 코팅 또는 졸-겔 방법과 같은 화학적 또는 물리적 침착 방법을 사용하여 탄소 공급원을 기재의 표면 상에 침착시키는 단계를 포함하지 않는다. 본 방법은 전형적으로, 기재 표면에 탄소 공급원을 제공하기 위해 플라즈마에 대한 노출을 필요로 하지 않는다. 이러한 화학적 및 물리적 침착 방법은 전형적으로, 탄소 공급원의 탄소 함유 재료가 기재의 표면에 직접 부착되도록(예를 들어, 영구적으로 결합되도록) 만든다. 대조적으로, 본 발명에서는, 기재의 표면 상에 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)을 제공하는 단계는 전형적으로, 탄소 함유 재료를 기재의 표면에 직접 부착(adhering)시키는 단계 및/또는 탄소 함유 재료를 기재의 표면에 영구적으로 결합시키는 단계를 포함하지 않는다.

[0013] 가능하게는, 기재의 표면 상에 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)을 제공하는 단계는 접착제(adhesive)를 사용하여 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)을 기재의 표면에 가역적으로(예를 들어, 임시로) 부착(adhering)시키는 단계를 포함할 수 있다. 그러나, 가능하게는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 레이저 빔에 노출되기 전에 어떠한 방식으로든 기재의 표면에 부착되지 않을 수 있다.

[0014] 본 방법은 기재의 표면에 부착된 3D 그래핀 재료 층을 형성하는 방법일 수 있으며, 이 방법은 다음의 단계들을 포함할 수 있다: 기재의 표면 상에 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)을 제공하는 단계; 및 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 적어도 일부 및/또는 기재의 적어도 일부를 레이저 빔에 노출시켜, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 적어도 일부를 기재의 표면에 부착된 3D 그래핀 재료의 층으로 전환시키는 단계.

[0015] 본 방법은 기재의 표면에 부착된 3D 그래핀 재료의 패턴을 형성하는 방법(즉, 기재에 부착된 3D 그래핀 재료로 기재의 표면을 패터닝하는 방법)일 수 있으며, 이 방법은 다음의 단계들을 포함할 수 있다: 기재의 표면 상에 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)을 제공하는 단계; 및 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 적어도 일부 및/또는 기재의 적어도 일부를 레이저 빔에 노출시켜, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 적어도 일부를 3D 그래핀 재료로 전환시킴으로써, 기재의 표면에 부착된 3D 그래핀 재료의 패턴을 형성하는(즉, 기재의 표면을 거기에 부착된 3D 그래핀 재료로 패터닝하는) 단계.

[0016] 이해될 수 있는 바와 같이, 탄소 함유 재료는 탄소를 포함하는 재료이다. 탄소 함유 재료(즉, 탄소를 포함하는 재료)는 원소 탄소, 탄소를 포함하는 하나 이상의 혼합물들, 하나 이상의 탄소 화합물들, 및/또는 하나 이상의 분자(예를 들어, 매크로분자) 구조체들 형태의 탄소를 포함할(예를 들어, 이것으로 이루어질) 수 있다. 탄소 함유 재료는 전형적으로 적어도 50 질량%, 더욱 전형적으로 적어도 75 질량%, 또는 더욱더 전형적으로 적어도 90 질량%의 탄소를 포함한다.

[0017] 탄소 공급원은 전형적으로, 탄소를 포함하는 적어도 하나의 재료를 포함한다. 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트는 전형적으로, 탄소를 포함하는 적어도 하나의 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트(즉, 적어도 일부의 탄소를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)이다. 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 전형적으로, 기재의 표면 상으로의 전달 및 3D 그래핀 재료의 형성을 위한 탄소의 공급원으로서 작용한다.

[0018] 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 전형적으로 고체(solid) 상태이다. 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 전형적으로 고체(solid body)이다. 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 유연성일 수 있다.

[0019] 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 조성 또는 구조가 반드시 균질하지는 않다. 예를 들어, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 상이한 또는 동일한 재료들의 하나 이상의 영역들을 포함할(예를 들어, 이들로 이루어질) 수 있다. 상기 하나 이상의 영역들 중 적어도 하나는 전형적으로, 탄소 함유 재료를 포함한다(예를 들어, 이들로 형성된다). 가능하게는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 상이한 또는 동일한 재료들의 하나 이상의 층들을 포함할(예를 들어, 이들로 이루어질) 수 있다. 상기 층들 중 적어도 하나는 전형적으로, 탄소 함유 재료를 포함한다(예를 들어, 이로부터 형성된다).

[0020] 가능하게는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 적어도 50 질량%,

더욱 전형적으로 적어도 75 질량%, 또는 더욱더 전형적으로 적어도 90 질량%의 탄소를 포함할 수 있다.

- [0021] 가능하게는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 하나 이상의 폴리머들을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다. 가능하게는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는(즉, 예비형성된) 시트)은 다음 재료들 중 하나 이상을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다: 폴리이미드(예를 들어, 폴리(4,4'-옥시디페닐렌-피로멜리트이미드), 다르게는 캡톤(Kapton)으로 알려져 있음), 폴리에테리이미드(PEI), 폴리(메틸 메타크릴레이트)(PMMA)(예를 들어, 스프레이 코팅된 PMMA), 폴리우레탄(PU), 폴리에스테르, 비닐 폴리머, 탄화 폴리머, 포토레지스트 폴리머, 알키드 수지, 우레아-포름알데히드 수지.
- [0022] 가능하게는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 다음 재료들 중 하나 이상을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다: 폴리(아믹산)(예를 들어, 아릴-함유 폴리(아믹산))(예를 들어, 폴리(피로멜리트산 이무수물-코-4,4'-옥시디아닐린) 아믹산 - 다르게는 폴리아믹산으로 알려져 있음); 이무수물(예를 들어, 아릴 이무수물)(예를 들어, 피로멜리트산 이무수물); 상기 폴리(아믹산)의 유도체; 상기 이무수물의 유도체(예를 들어, 피로멜리트산 이무수물의 유도체).
- [0023] 통상의 기술자가 이해할 수 있는 바와 같이, 탄소 공급원으로서 사용되는 재료들은 그 자체가 그래핀으로 전환될 수 있거나, 또는 그래핀이 형성되기 전에 중간체 또는 예비 폴리머 또는 다른 폴리머로 전환될 수 있다.
- [0024] 가능하게는, 탄소 공급원은 다음 재료들 중 하나 이상을 포함할 수 있다: 방향족 재료(예를 들어, 방향족 폴리머); 헤테로방향족 재료(예를 들어, 헤테로방향족 폴리머); 방향족 모이어티를 함유하는 폴리머; 고리형 재료(예를 들어, 고리형 모이어티를 함유하는 폴리머); 헤테로고리형 재료(예를 들어, 헤테로고리형 모이어티를 함유하는 폴리머); 헤테로방향족 재료(예를 들어, 헤테로방향족 모이어티를 함유하는 폴리머). 레이저 빔에 노출될 때 그래핀을 형성하는데 유용한 것으로 밝혀진 재료들 중 일부는 방향족 결합, 헤테로방향족 결합 및 헤테로결합(예를 들어, 이미드 결합) 중 하나 이상을 함유하는 재료를 포함한다.
- [0025] 가능하게는, 탄소 공급원은 천연 또는 재생 가능한 재료, 또는 식품 또는 기타 산업의 부산물을 포함할 수 있다. 가능하게는, 탄소 공급원은 커피 제품, 커피 찌꺼기(coffee grounds), 커피 은 스킨 또는 리그닌(coffee silver skins or lignin) 중 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0026] 가능하게는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 레이저 빔에 노출시 3D 그래핀 재료를 형성할 수 있는 하나 이상의 탄소 함유 재료들을 포함할(예를 들어, 이들로 형성될) 수 있다. 가능하게는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은, 500 °C 초과, 또는 더 전형적으로 800 °C 초과, 또는 500 °C 내지 2000 °C, 또는 더 전형적으로 800 °C 내지 1030 °C의 온도로 가열시 3D 그래핀 재료를 형성할 수 있는 하나 이상의 탄소 함유 재료를 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다. 가능하게는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은, 1 ns 내지 10 μs 이내에, 500 °C 초과, 더욱 전형적으로는 800 °C 초과, 또는 500 °C 내지 2000 °C, 또는 더 전형적으로 800 °C 내지 1030 °C의 온도로(즉, 약 5×10^7 °C/s 내지 2×10^{12} °C/s의 속도로) 가열시 3D 그래핀 재료를 형성할 수 있는 하나 이상의 탄소 함유 재료들을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다.
- [0027] 가능하게는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 레이저 빔에 노출시 3D 그래핀 재료를 형성할 수 있는 하나 이상의 폴리머들을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다. 가능하게는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은, 500 °C 초과, 더욱 전형적으로는 800 °C 초과, 또는 500 °C 내지 2000 °C, 또는 더욱 전형적으로는 800 °C 내지 1030 °C의 온도로 가열시 3D 그래핀 재료를 형성할 수 있는 하나 이상의 폴리머들을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다. 가능하게는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은, 1 ns 내지 10 μs 이내에, 500 °C 초과, 더욱 전형적으로 800 °C 초과, 또는 500 °C 내지 2000 °C, 또는 더욱 전형적으로 800 °C 내지 1030 °C의 온도로(즉, 약 5×10^7 °C/s 내지 2×10^{12} °C/s의 속도로) 가열시 3D 그래핀 재료를 형성할 수 있는 하나 이상의 폴리머들을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다.
- [0028] 가능하게는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 하나 이상의 방향족 폴리머들을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다. 가능하게는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 하나 이상의 헤테로방향족 폴리머들을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다. 가능하게는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 방향족 모이어티를 함유하는 하나 이상의 폴리머들을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다. 가능하게는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 고리형 모이어티를 함유하는 하나

이상의 폴리머들을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다. 가능하게는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 헥테로고리형 모이어터를 함유하는 하나 이상의 폴리머들을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다. 가능하게는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 헥테로방향족 모이어터를 함유하는 하나 이상의 폴리머들을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다.

[0029] 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 실질적으로 평평할 수 있다. 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 (예를 들어, 얇은) 필름일 수 있다. 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 5 μm 보다 큰 두께를 가질 수 있다. 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 120 μm 미만의 두께를 가질 수 있다. 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 5 μm 내지 120 μm 의 두께를 가질 수 있다. 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 두께는 기재의 표면에 걸쳐(즉, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)이 기재 위에 제공될 때) 실질적으로 균일할 수 있다. 이해될 수 있는 바와 같이, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 두께는, 그 위에 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)이 제공되는 기재의 표면(예를 들어, 상기 표면의 국소 부분)에 실질적으로 수직인 방향으로 측정된다.

[0030] 본 방법은 기재 표면의 하나 이상의 부분들에 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)을 제공하는 단계를 포함할 수 있다. 본 방법은 기재의 전체 표면 상에(예를 들어, 이에 걸쳐서) 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)을 제공하는 단계를 포함할 수 있다. 3D 그래핀 재료는 전형적으로 탄소 공급원(예를 들어, 탄소-함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)이 제공된 기재의 표면의 부분들 상에 (즉, 레이저 빔에 노출되기 직전에) 형성되고 부착된다.

[0031] 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 제1 표면 및 제2 표면을 갖는 폴리이미드 테이프(예를 들어, 캡톤(Kapton) 테이프)일 수 있다. 가능하게는, 폴리이미드 테이프의 제1 표면에는 접착제(예를 들어, 실리콘 접착제)가 제공될 수 있다. 가능하게는, 기재의 표면 상에 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)을 제공하는 단계는, 접착제에 의해 폴리이미드 테이프의 제1 표면을 기재의 표면 상에 부착시키는(예를 들어, 가역적으로 부착시키는 또는 일시적으로 부착시키는) 단계를 포함할 수 있다.

[0032] 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 적어도 일부분 및/또는 기재의 적어도 일부분을 레이저 빔에 노출시키는 것은 전형적으로, 레이저 빔을 사용하여 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 적어도 일부분 및/또는 기재의 적어도 일부분을 가열하는 단계를 포함한다. 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 적어도 일부분 및/또는 기재의 적어도 일부분을 레이저 빔에 노출시키는 것은 전형적으로, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 적어도 일부분 및/또는 기재의 적어도 일부분을 500 $^{\circ}\text{C}$ 초과, 더욱 전형적으로는 800 $^{\circ}\text{C}$ 초과, 또는 500 $^{\circ}\text{C}$ 내지 2000 $^{\circ}\text{C}$, 또는 더욱 전형적으로 800 $^{\circ}\text{C}$ 내지 1030 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도까지 가열하는 단계를 포함하는데, 이는 전형적으로, 3D 그래핀 재료로의 전환이 일어나기 위해 요구된다.

[0033] 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 적어도 일부분을 레이저 빔에 노출시키는 것은 전형적으로, 레이저 빔을 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 상기 적어도 일부분에 지향시키는 단계를 포함한다. 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 적어도 일부분을 레이저 빔에 노출시키는 것은, 레이저 빔을 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 표면의 적어도 일부분에 지향시키는 단계를 포함할 수 있다. 레이저 빔이 지향될 수 있는 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 표면은 전형적으로, 그 위에 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)이 제공되는 기재의 표면과 대향하지 않는(즉, 접촉하지 않는) 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 표면이다. 레이저 빔은 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)에 대해(예를 들어, 탄소 공급원의 표면의 적어도 일부분에 대해) 대략 90 $^{\circ}$ 로 지향될 수 있으며, 다시 말하자면, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)에 대한 (예를 들어, 탄소 공급원의 표면의 적어도 일부분에 대한) 레이저 빔의 입사각은 대략 90 $^{\circ}$ 일 수 있다.

[0034] 기재의 적어도 일부분을 레이저 빔에 노출시키는 것은 전형적으로, 레이저 빔을 기재의 상기 적어도 일부분에

지향시키는 단계를 포함한다. 가능하게는, 기재는 제1 및 제2 대향 표면들을 포함할 수 있고, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 기재의 제1 표면 상에 제공될 수 있으며(즉, 기재의 제2 표면이 탄소 공급원과 대향하지 않게 됨), 기재의 적어도 일부분을 레이저 빔에 노출시키는 것은 레이저 빔을 기재의 제2 표면의 적어도 일부분에 지향시키는 단계를 포함할 수 있다. 레이저 빔은 기재에 대해(예를 들어, 기재의 제2 표면의 적어도 일부분에 대해) 대략 90° 로 지향될 수 있으며, 다시 말하자면, 기재에 대한(예를 들어, 기재의 제2 표면의 적어도 일부분에 대한) 레이저 빔의 입사각은 대략 90° 일 수 있다.

[0035] 기재는 전기 절연체(예를 들어, 하나 이상의 전기 절연성 재료들)를 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다. 기재는 전기 반도체(예를 들어, 하나 이상의 전기 반도체성 재료들)를 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다. 기재는 전기 전도체(예를 들어, 하나 이상의 전기 전도성 재료들(예를 들어, 하나 이상의 금속들, 금속 합금들 또는 전도성 폴리머들))을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다.

[0036] 이해될 수 있는 바와 같이, 레이저 빔은 실질적으로 결맞은 레이저 광의 빔이다. 레이저 빔은 자외선 레이저 빔일 수 있다. 레이저 빔은 가시광 레이저 빔일 수 있다. 레이저 빔은 적외선 레이저 빔일 수 있다. 레이저 빔은 전형적으로 235 nm 내지 27 μ m 범위의 파장을 갖는다(즉, 레이저 빔은 235 nm 내지 27 μ m 범위의 파장을 갖는 광으로 형성됨). 가능하게는, 레이저 빔은 대략 10.6 μ m의 파장을 가질 수 있다(즉, 레이저 빔은 대략 10.6 μ m의 파장을 갖는 광으로 형성될 수 있음). 레이저 빔은 이산화탄소(CO₂) 레이저에 의해 생성될 수 있다. 레이저 빔은 실질적으로 단색일 수 있다.

[0037] 기재는 레이저 빔에 대해 실질적으로 투명(즉, 광학적으로 투명)할 수 있으며, 다시 말하자면, 기재는 레이저 빔의 파장 또는 파장들에서 실질적으로 투명(즉, 광학적으로 투명)할 수 있다. 예를 들어, 기재는, 레이저 빔의 파장 또는 파장들에서, 레이저 빔으로부터의 입사광의 20% 미만을 반사할 수 있다(즉, 기재는 20%보다 낮은 반사율을 가질 수 있다).

[0038] 가능하게는, 기재는 레이저 빔에 대해 실질적으로 투명(즉, 광학적으로 투명)하지 않을 수 있으며, 다시 말하자면, 기재는 레이저 빔의 파장 또는 파장들에서 실질적으로 투명(즉, 광학적으로 투명)하지 않을 수 있다. 기재는 레이저 빔에 대해 실질적으로 불투명(즉, 광학적으로 불투명)할 수 있으며, 다시 말하자면, 기재는 레이저 빔의 파장 또는 파장들에서 실질적으로 불투명(즉, 광학적으로 불투명)할 수 있다. 예를 들어, 기재는 레이저 빔의 파장 또는 파장들에서 레이저 빔으로부터의 입사광의 60% 초과를 흡수할 수 있다(즉, 기재는 60%보다 큰 흡수율을 가질 수 있음). 기재가 실질적으로 투명하지 않거나 또는 기재가 레이저 빔에 대해 실질적으로 불투명한 구현예에서, 기재의 열 전도성은 전형적으로 높다. 예를 들어, 기재는 전형적으로, 적어도 10 W/mK의 열전도도를 갖는 하나 이상의 재료들을 포함한다(예를 들어, 이로부터 형성된다).

[0039] 기재는 레이저 빔에 실질적으로 투명한(즉, 광학적으로 투명한) 하나 이상의 재료들을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있으며, 다시 말하자면, 하나 이상의 재료는 레이저 빔의 파장 또는 파장들에서 실질적으로 투명(즉, 광학적으로 투명)하다.

[0040] 기재는 실리콘(Si), 실리콘 디옥사이드(SiO₂), 갈륨 나이트라이드(GaN), 갈륨 아르세나이드(GaAs), 아연 옥사이드(ZnO) 중 하나 이상을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다.

[0041] 기재는 실리콘 웨이퍼일 수 있다. 기재는 실리콘 디옥사이드 웨이퍼(때때로 실리콘 옥사이드 웨이퍼라고 지칭됨)일 수 있다. 기재는 실리콘 및 실리콘 디옥사이드를 둘 다 포함하는 웨이퍼일 수 있다.

[0042] 가능하게는, 기재는 레이저 빔에 대해 실질적으로 투명할 수 있거나, 또는 기재는 레이저 빔으로부터의 입사광의 상당한 부분을 흡수할 수 있고(즉, 그에 따라 기재를 가열할 수 있음), 또한 기재는 높은 열전도성을 가질 수 있으며(즉, 기재는 적어도 10 W/mK의 열전도도를 갖는 하나 이상의 재료들을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있음), 본 방법은, 기재의 적어도 일부분을 레이저 빔에 노출시킴으로써, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 적어도 일부분을 기재의 표면에 부착된 3D 그래핀 재료로 전환시키는 단계를 포함한다. 이론에 구속되는 것을 바라는 것은 아니지만, 본 발명자들이 추정하는 바에 따르면, 기재가 레이저 빔에 대해 실질적으로 투명한 구현예에서, 광은 전형적으로, 기재를 통해 투과하여, 기재와 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트) 사이의 계면으로 전달되고, 거기서 광은 흡수되어 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)을 국소적으로 가열한다. 이번에도 이론에 구속되는 것을 바라는 것은 아니지만, 본 발명자들이 추정하는 바에 따르면, 기재가 레이저 빔으로부터의 입사광의 상당한 부분을 흡수하고(그에 따라, 기재가 가열됨) 또한 기재가 높은 열전도성을 갖는(즉, 기재는 적어도 10 W/mK의 열전도도를 갖는 하나 이상의 재료들을 포함함(예를 들어, 이로부터 형성

됨)) 구현예에서, 열은 전형적으로, 기재를 통해, 기재와 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트) 사이의 계면으로 전도되며, 그에 따라, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)을 국소적으로 가열한다.

[0043] 바람직하게는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은, 3D 그래핀 재료로의 전환이 일어나도록 하기 위해, 500 °C 초과, 더욱 전형적으로는 800 °C 초과의 온도까지 빠르게 가열된다. 가능하게는, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은, 3D 그래핀 재료로의 전환이 일어나도록 하기 위해, 500 °C 내지 2000 °C, 또는 더욱 전형적으로는 800 °C 내지 1030 °C의 온도까지 빠르게 가열될 수 있다.

[0044] 본 발명자들이 밝혀낸 바에 따르면, 탄소 함유 재료는 전형적으로, 탄소 함유 재료를 3D 그래핀 재료로 전환시키기 위해, 실온(예를 들어 대략 20 °C의 온도)로부터 500 °C 초과, 또는 더욱 전형적으로 800 °C 초과, 또는 500 °C 내지 2000 °C, 또는 더 전형적으로 800 °C 내지 1030 °C의 온도까지, 1 ns 내지 10 μs 이내에(즉, 약 5×10^7 °C/s 내지 2×10^{12} °C/s의 속도로) 가열되어야 한다. 탄소 함유 재료가 너무 느리게 가열되면(예를 들어, 기재가 너무 많은 광을 반사하거나 및/또는 낮은 열전도성을 갖는 것으로 인해(즉, 기재가 너무 낮은 열전도도를 갖는 하나 이상의 재료를 포함하는(예를 들어, 이로부터 형성되는) 것으로 인해)), 탄소 함유 재료는, 대신에, 비결정질 탄소와 같은 다른 재료로 전환될 수 있다.

[0045] 가능하게는, 기재는 하나 이상의 폴리머들을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다. 가능하게는, 기재는 하나 이상의 열가소성 폴리머들을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다. 기재는 다음 재료들 중 하나 이상을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다: 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET), 폴리프로필렌(PP), 고리형 올레핀 코폴리머(COC), 폴리(메틸 메타크릴레이트)(PMMA), 폴리디메틸실록산(PDMS), 폴리카보네이트(PC), 열가소성 엘라스토머(TPE), 폴리올레핀 블렌드(TPE-o), 엘라스토머 알로이(TPE-v), 열가소성 폴리우레탄(TPU), 열가소성 코폴리에스테르, 열가소성 폴리아미드(COP), 폴리(락트-코-글리콜산)(PGLA), 폴리락타이드(PLA), 아크릴로니트릴 부타디엔 스티렌(ABS), 폴리에테르 에테르 케톤(PEEK), 폴리스티렌(PS), 고무.

[0046] 기재는 유연성 기재일 수 있다.

[0047] 본 방법은 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 적어도 일부분을 레이저 빔에 노출시킴으로써 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 적어도 일부분을 3D 그래핀 재료로 전환시키는 단계를 포함할 수 있다. 특히, 기재가 하나 이상의 폴리머들을 포함하거나(예를 들어, 이로부터 형성되거나) 또는 기재가 유연성 기재인 구현예들에 있어서, 본 방법은 전형적으로, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 적어도 일부분을 레이저 빔에 노출시킴으로써 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 적어도 일부분을 3D 그래핀 재료로 전환시키는 단계를 포함한다.

[0048] 기재는 실질적으로 평평할 수 있다. 그 위에 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)이 제공되는 기재의 표면은 실질적으로 평평할 수 있다. 기재는 얇은 필름일 수 있다. 가능하게는, 기재는 100 μm보다 큰 두께를 가질 수 있다. 가능하게는, 기재는 700 μm 미만의 두께를 가질 수 있다.

[0049] 본 방법이 기재의 적어도 일부분을 레이저 빔에 노출시키는 단계를 포함하는 구현예들에서, 더 두꺼운 기재 상으로의 증착을 위해서는, 더 강력한 레이저 빔이 전형적으로 요구된다. 그러나, 본 방법이 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (예를 들어, 예비형성된) 시트)의 적어도 일부분을 레이저 빔에 노출시키는 단계를 포함하는 구현예는 전형적으로, 임의의 두께의 기재 상에 3D 그래핀 재료를 형성하고 부착시키는데 사용될 수 있다.

[0050] 기재의 두께는 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)이 제공되는 기재의 표면에 평행한 평면에서 실질적으로 균일할 수 있다. 이해될 수 있는 바와 같이, 기재의 두께는 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)이 제공되는 기재의 표면(즉, 기재의 제1 표면)에 실질적으로 수직인 방향으로 측정된다.

[0051] 기재 및 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 전형적으로 하나 이상의 상이한 재료들로 형성되며, 즉, 기재 및 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은 전형적으로, 동일한 구조 및/또는 조성을 갖지 않는다.

[0052] 가능하게는, 기재는 그래핀 친화성 기재가 아닐 수 있다. 가능하게는, 3D 그래핀이 형성되는 기재의 표면은 그

래핀 친화성 기재가 아닐 수 있다. 전형적으로, 기재의 표면 상에 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (예를 들어, 예비형성된) 시트)을 제공하기 전에, 기재의 표면 상에 그래핀 친화성 층을 제공(예를 들어, 증착)할 필요는 없다. 이해될 수 있는 바와 같이, 그래핀 친화성 기재, 표면 또는 층은, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)이 레이저 빔에 노출될 때 그 위에서의 그래핀 재료(예를 들어, 2D 그래핀 및/또는 3D 그래핀 재료)의 형성을 촉진하는 특정한 물리적 및/또는 화학적 특성을 갖는 기재, 표면 또는 층이다. 본 방법은 전형적으로, 3D 그래핀 재료의 형성을 촉진시키는 촉매의 사용을 필요로 하지 않는다.

[0053] 이해될 수 있는 바와 같이, 3D 그래핀 재료는 적어도 일부의 3D 그래핀을 포함하는 재료이다. 3D 그래핀 재료는 주로 3D 그래핀을 포함할 수 있다. 3D 그래핀 재료는 3D 그래핀일 수 있다. 이해될 수 있는 바와 같이, 용어 "3D 그래핀"(또는, "다공성 그래핀" 또는 "레이저-유도 그래핀"으로도 알려져 있음)은, 평평한 시트가 아니라 3차원 구조를 형성하기 위해 서로 접혀진 하나 이상의 2D 그래핀 시트들로 이루어진 그래핀 재료의 형태를 지칭한다. 3D 그래핀은 흑연 또는 다층 2D 그래핀에서 발견되는 평평한 그래핀 시트의 규칙적인 AB 적층(stacking)을 결여한다. 3D 그래핀 재료는 전형적으로 다공성이다. 3D 그래핀을 형성하는 개별적인 접힌 탄소 시트들은 격자 결합 및/또는 구부러진 탄소-탄소 결합을 포함할 수 있다. 개별적인 접힌 탄소 시트들 내의 탄소 원자들은 (즉, 주로) 6각형 격자 상에 배열될 수 있다. 이 탄소 원자들은 또한 5각형-6각형 쌍을 형성하도록 배열될 수 있다. 3D 그래핀에서의 원자간 결합들은 전형적으로, 주로 sp^2 -혼성화 탄소 오비탈들 사이에 형성된다.

[0054] 3D 그래핀 재료는 기능화된 3D 그래핀을 포함할 수 있다(예를 들어, 기능화된 3D 그래핀일 수 있음). 3D 그래핀 재료는 하나 이상의 도펀트들을 포함할 수 있으며, 즉, 3D 그래핀 재료는 도핑된 3D 그래핀을 포함할 수 있다(예를 들어, 도핑된 3D 그래핀일 수 있음). 3D 그래핀 재료는 하나 이상의 나노입자들(예를 들어, 금속 나노입자들)을 포함할 수 있다.

[0055] 3D 그래핀 재료는 적어도 96%의 원자 퍼센트로 탄소를 포함할 수 있다.

[0056] 3D 그래핀 재료는 3% 미만의 원자 퍼센트로 산소를 포함할 수 있다. 3D 그래핀 재료는 1.2% 미만의 원자 퍼센트로 산소를 포함할 수 있다. 본 방법이 진공 조건에서 수행되는 경우, 형성된 3D 그래핀 재료는 0.5% 미만의 원자 퍼센트로 산소를 포함할 수 있다.

[0057] 3D 그래핀 재료는 3% 미만의 원자 퍼센트로 질소를 포함할 수 있다. 3D 그래핀 재료는 1.2% 미만의 원자 퍼센트로 질소를 포함할 수 있다. 본 방법이 진공 조건에서 수행되는 경우, 형성된 3D 그래핀 재료는 0.5% 미만의 원자 퍼센트로 질소를 포함할 수 있다.

[0058] 레이저 빔은 1 μm 내지 100 μm 의 빔 폭(예를 들어, FWHM(반치전폭) 빔 폭)을 가질 수 있다. 레이저 빔은 대략 50 μm 의 빔 폭(예를 들어, FWHM 빔 폭)을 가질 수 있다. 레이저 빔은 (즉, 빔 축에 수직인 방향에서) 실질적으로 원형인 단면을 가질 수 있다.

[0059] 레이저 빔은 0.05 W 내지 120 W의 출력을 가질 수 있다. 레이저 빔은 1.2 W 내지 24 W의 출력을 가질 수 있다. 가능하게는, 레이저 빔은 10 W 내지 18 W의 출력(예를 들어, 대략 14 W)을 가질 수 있고, 본 방법은 기재의 적어도 일부분을 이러한 레이저 빔에 노출시키는 단계를 포함할 수 있다. 가능하게는, 레이저 빔은 2 W 내지 10 W의 출력을 가질 수 있으며, 본 방법은 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 적어도 일부분을 이러한 레이저 빔에 노출시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0060] 본 방법은 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트) 및/또는 기재를 가로질러 레이저 빔을 스캐닝하는 단계를 포함할 수 있다. 본 방법은 1.7 mm/s 내지 3550 m/s, 또는 더 전형적으로 35 mm/s 내지 350 mm/s의 스캔 속도로, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트) 및/또는 기재를 가로질러 레이저 빔을 스캐닝하는 단계를 포함할 수 있다.

[0061] 레이저 빔은 펄스 레이저 빔일 수 있다. 대안적으로, 레이저 빔은 연속파 레이저 빔일 수 있다.

[0062] 레이저 빔은 1 GHz 미만의 (즉, 1 ns보다 큰 주기를 갖는) 주파수(즉, 펄스 반복 속도(pulse repetition rate: PRP))로 펄스화될 수 있다. 레이저 빔은 80 as 내지 1 ms, 또는 더욱 전형적으로 1 μs 내지 50 μs 의 펄스 지속시간을 갖도록 펄스화될 수 있다. 레이저 빔은 대략 14 μs 의 펄스 지속시간을 갖도록 펄스화될 수 있다.

[0063] 본 방법은, 인치 당 펄스(pulses per inch: PPI)의 수가 100 내지 10000이 되도록, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트) 및/또는 기재를 가로질러 레이저 빔을 스캐닝하는 단계를 포함할 수 있다.

- [0064] 본 방법은 대기압에서 수행될 수 있다. 본 방법은 전형적으로 가압 또는 진공 조건을 요구하지 않는다.
- [0065] 본 방법은 실온에서 수행될 수 있다. 그러나, 이해될 수 있는 바와 같이, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트) 및/또는 기재의 온도는 전형적으로, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 적어도 일부분 및/또는 기재의 적어도 일부분을 레이저 빔에 노출시키는 단계 동안 변동한다. 실제로, 본 발명자들이 밝혀낸 바에 따르면, 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)은, 3D 그래핀 재료로의 전환이 일어나도록 하기 위해, 국소적으로 500 °C 내지 2000 °C, 또는 더욱 전형적으로 800 °C 내지 1030 °C에 도달해야 한다. 그럼에도 불구하고, 본 방법은 전형적으로, 레이저 빔에 노출시키는 것 이외에, 기재 및/또는 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)을 가열할 필요가 없다.
- [0066] 본 방법은, 3D 그래핀 재료로 전환되지 않은 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 하나 이상의 부분들을 기재의 표면으로부터 제거하는 단계를 포함할 수 있다. 미전환 부분들은 전형적으로, 레이저 빔에 (즉, 직접적으로) 노출되지 않은 상기 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 부분들(즉, 레이저 빔이 지향되지 않은 부분들, 또는 레이저 빔에 (즉, 직접적으로) 노출되지 않았으며 기재의 부분들에 바로 인접하지 않았던 탄소 공급원(예를 들어, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트)의 부분들)이다. 3D 그래핀 재료는 전형적으로, 미전환 부분들이 제거될 때에도, 기재의 표면에 부착된 상태를 유지한다.
- [0067] 본 방법은 하나 이상의 도펀트들을 기재 상에 형성된 3D 그래핀 재료 내로 도입하여 도핑된 3D 그래핀 재료를 형성하는 단계를 포함할 수 있다. 하나 이상의 도펀트들은 붕소 및/또는 질소를 포함할 수 있다. 하나 이상의 도펀트들은 이온 주입(예를 들어, 플라즈마 침지 이온 주입), 플라즈마 도핑 및/또는 플라즈마 활성화 방법들을 사용하여 3D 그래핀 재료로 도입될 수 있다.
- [0068] 가능하게는, 레이저 빔에 노출되기 전에, 탄소 공급원과 기재의 중간에 유체(예를 들어, 고점도 유체)가 제공될 수 있다.
- [0069] 유체는 선택적으로(optionally), 1 내지 250,000 cP, 또는 10 내지 100,000 cP, 또는 50 내지 10,000 cP, 또는 50 내지 1,000 cP, 또는 100 내지 750 cP, 또는 200 내지 600 cP, 또는 300 내지 500 cP, 또는 370 내지 430 cP의 점도를 갖는 액체일 수 있다. 점도는 선택적으로(optionally) 표준 시험 방법 ASTM D7945-16을 사용하여 25 °C에서 측정될 수 있다.
- [0070] (예를 들어, 고점도) 유체는 계면활성제, 예를 들어, 폴리소르베이트, 예를 들어 폴리소르베이트 20, 폴리소르베이트 80, Tween 20, Tween 80 또는 소듐 도데실 술페이트, 라우릴 디메틸 아민 옥사이드, 폴리옥시알킬화된 알코올, 폴리옥시에틸렌 소르비탄, 옥톡시놀(Triton X100TM), 또는 폴리옥실 10 라우릴 에테르일 수 있다.
- [0071] 이론에 구속되는 것을 바라는 것은 아니지만, 탄소 공급원과 기재 중간에 유체(예를 들어, 고점도 유체)의 존재는 그래핀의 기재에 대한 형성 및 부착을 향상시킬 수 있는데, 이는 그레인들(grains)이 더 큰 어셈블리 및/또는 더 두꺼운 층으로 응집(coalescing)하는 것을 촉진하기 때문이다. 이는, 그래핀 플레이크가 탄소 공급원(예를 들어, 폴리이미드)의 표면으로부터 이탈하는 것을 방지할 수 있다.
- [0072] 기재는 하나 이상의 금속을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다. 그러한 경우, 금속 카바이드가 계면에 형성될 수 있고, 접착 층으로서 작용할 수 있다. 예를 들어, 금속은 알루미늄, 구리 또는 금 또는 다른 금속일 수 있거나, 또는 이를 포함할 수 있다. 기재는 상기 금속들의 산화물, 질화물 또는 비소화물을 포함할(예를 들어, 이로부터 형성될) 수 있다.
- [0073] 본 발명의 제2 측면은 하나 이상의 장치 부품들의 제조에서의 본 발명의 제1 측면의 방법의 용도를 제공한다. 하나 이상의 장치 부품들은 하나 이상의 전자 장치 부품들(즉, 전자 장치에 사용하기 위한 부품들)일 수 있다. 하나 이상의 장치 부품들은 하나 이상의 집적회로 부품들일 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 장치 부품들은 하나 이상의 트랜지스터들, 전극들 또는 축전기들일 수 있다. 하나 이상의 장치 부품들은 하나 이상의 센서 부품들(즉, 센서에 사용하기 위한 부품들)일 수 있다. 하나 이상의 장치 부품들은 하나 이상의 압전 장치 부품들일 수 있다. 하나 이상의 장치 부품들은 하나 이상의 에너지 저장 부품들일 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 장치 부품들은 하나 이상의 배터리 부품들(예를 들어, 배터리들), 연료전지 부품들(예를 들어, 연료전지들), 바이오 연료전지 부품들(예를 들어, 바이오 연료전지들), 축전기들 또는 슈퍼축전기들일 수 있다.
- [0074] 본 발명의 제3 측면은 기재에 부착된 3D 그래핀 재료를 포함하는 시스템을 제공하며, 여기서 3D 그래핀 재료는

본 발명의 제1 측면에 따른 방법에 의해 형성된 것이다.

- [0075] 본 발명의 제4 측면은, 본 발명의 제2 측면에 따른 방법에 의해 제조되는 및/또는 본 발명의 제3 측면에 따른 시스템을 포함하는 장치 부품(예를 들어, 전자 장치 부품, 집적회로 부품, 센서 부품, 압전 장치 부품 및/또는 에너지 저장 부품)를 제공한다.
- [0076] 본 발명의 제5 측면은 3% 미만의 원자 퍼센트로 산소를 포함하는 3D 그래핀 재료를 제공한다. 가능하게는, 3D 그래핀 재료는 1.5% 미만의 원자 퍼센트로 산소를 포함할 수 있다. 가능하게는, 3D 그래핀 재료는 1.2% 미만의 원자 퍼센트로 산소를 포함할 수 있다. 가능하게는, 3D 그래핀 재료는 기재 상에 제공(예를 들어, 부착(adhered))될 수 있다.
- [0077] 본 발명의 제 6 측면은 3% 미만의 원자 퍼센트로 질소를 포함하는 3D 그래핀 재료를 제공한다. 가능하게는, 3D 그래핀 재료는 2.8% 미만의 원자 퍼센트로 질소를 포함할 수 있다. 가능하게는, 3D 그래핀 재료는 1.5% 미만의 원자 퍼센트로 질소를 포함할 수 있다. 가능하게는, 3D 그래핀 재료는 기재 상에 제공(예를 들어, 부착)될 수 있다.
- [0078] 본 발명의 제 7 측면은 기재의 표면에 (즉, 직접) 집착된 그래핀 재료를 형성하는 방법을 제공한다. 이 방법은 다음 단계들을 포함한다: 기재의 표면에 탄소 함유 재료를 포함하는 탄소 공급원을 제공하는 단계; 및 탄소 공급원의 적어도 일부분 및/또는 기재의 적어도 일부분을 레이저 빔에 노출시킴으로써, 탄소 공급원의 적어도 일부분을 기재의 표면에 (즉, 직접) 부착된 그래핀 재료로 전환시키는 단계. 탄소 공급원의 적어도 일부분을 기재의 표면에 부착된 그래핀 재료로 전환시키는 단계는 전형적으로, 탄소 공급원으로부터 기재의 표면으로 탄소를 함께(concurrently)(즉, 동시에(at the same time)) 전달하는 단계, 그래핀 재료를 형성하는 단계, 및 그래핀 재료를 기재의 표면에 부착(adhering)시키는 단계를 포함한다. 탄소 공급원은 전형적으로, 탄소 함유 재료를 포함하는 (즉, 예비형성된) 시트이다. 따라서, 탄소 공급원의 적어도 일부분을 기재의 표면에 부착된 그래핀 재료로 전환시키는 단계는 전형적으로, 탄소를 (즉, 예비형성된) 시트로부터 기재의 표면으로 함께(즉, 동시에) 전달하는 단계, 그래핀 재료를 형성하는 단계, 및 그래핀 재료를 기재의 표면에 부착시키는 단계를 포함한다.
- [0079] 그래핀 재료는 2D 그래핀을 포함할 수 있다(예를 들어, 2D 그래핀일 수 있음). 그래핀 재료는 3D 그래핀을 포함할 수 있다(예를 들어, 3D 그래핀일 수 있음). 그래핀 재료는 기능화된 그래핀을 포함할 수 있다(예를 들어, 기능화된 그래핀일 수 있음). 그래핀 재료는 하나 이상의 도펀트들을 포함할 수 있다. 그래핀 재료는 하나 이상의 나노입자들(예를 들어, 금속 나노입자들)을 포함할 수 있다. 그래핀 재료는 적어도 96%의 원자 퍼센트로 탄소를 포함할 수 있다. 그래핀 재료는 3% 미만, 또는 1.2% 미만, 또는 0.5% 미만의 원자 퍼센트로 산소를 포함할 수 있다. 그래핀 재료는 3% 미만, 또는 1.2% 미만, 또는 0.5% 미만의 원자 퍼센트로 질소를 포함할 수 있다.
- [0080] 본 발명의 임의의 일 측면의 선택적(optional) 및 바람직한 특징들은 본 발명의 임의의 다른 측면의 특징들일 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0081] 본 발명의 예시적인 구현예가 이제 다음의 도면들을 참조하여 설명될 것이다.
- 도 1은 레이저 처리 이전에 CO₂ 펄스 레이저 조각(laser engraving) 시스템 아래에 배치된, 실리콘 기재와 접촉하는 폴리이미드 필름을 도시한다.
- 도 2는 레이저 처리 동안 도 1의 폴리이미드 필름 및 실리콘 기재를 도시한다.
- 도 3은 레이저 처리 후 도 1의 폴리이미드 필름 및 실리콘 기재를 도시한다.
- 도 4는 레이저 처리 후 폴리이미드 필름을 제거한 후의 도 1의 실리콘 기재를 도시한다.
- 도 5는 도 1 내지 4에 도시된 방법을 사용하여 실리콘 기재 상에 증착된 3D 그래핀에 대해 측정된 라만 스펙트럼을 도시한다.
- 도 6은 도 1 내지 4에 도시된 방법을 사용하여 실리콘 기재 상에 증착된 3D 그래핀에 대한 X선 광전자 스펙트럼을 도시한다.
- 도 7은 레이저 처리 전에 CO₂ 펄스 레이저 조각 시스템 아래에 배치된 폴리스티렌 기재와 접촉하는 폴리이미드 필름을 도시한다.

도 8은 레이저 처리 동안 도 7의 폴리이미드 필름 및 폴리스티렌 기재를 도시한다.

도 9는 레이저 처리 후 도 7의 폴리이미드 필름 및 폴리스티렌 기재를 도시한다.

도 10은 레이저 처리 후 폴리이미드 필름을 제거한 후 도 7의 폴리스티렌 기재를 도시한다.

도 11은 도 7 내지 10에 도시된 방법을 사용하여 폴리스티렌 기재 상에 증착된 3D 그래핀에 대해 측정된 라만 스펙트럼을 도시한다.

도 12는 폴리이미드 기재 상에 증착된 3D 그래핀 필름의 AFM 이미지를 보여준다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

제1 예시적 구현예

3D 그래핀은 아래에 기술되고 도 1 내지 4에 도시된 방법에 의해 실리콘 기재 상에 증착되고 부착된다. 600 μm 두께의 실리콘 기재(1)를 도 1에 도시된 바와 같이 120 μm 두께의 폴리이미드 필름 위에 직접 놓았다.

도 2에 나타난 바와 같이, CO₂ 적외선 펄스 레이저 조각 및 절단 시스템(Trotec Speedy 400 flexx)(3)을 사용하여, 폴리이미드 필름을 대향하지 않는 기재 표면에 레이저 빔(4)을 지향시켰다. 레이저 시스템은 10.6 μm 의 파장, 50 μm 의 빔 크기, 14 μs 의 펄스 지속시간 및 14.14 W의 출력으로 빔을 방출하도록 조정되었다. 레이저 빔을 284 mm/s의 스캔 속도로 기재 표면에 걸쳐 스캐닝하였다. 이 공정은 실온 및 대기압에서 수행되었다.

도 2에 도시된 바와 같이, 레이저 빔이 지향된 기재의 영역에 바로 인접한 폴리이미드 필름의 일부분(5)이 3D 그래핀으로 전환되었다. 이론에 구속되는 것을 바라는 것은 아니지만, 본 발명자들이 추정하는 바에 따르면, 레이저에 의해 발생한 열(및/또는 광)은 기재를 통해 (도 2에서 점선 6으로 표시된 바와 같이) 기재와 폴리이미드 필름 사이의 계면(7)으로 전달되고, 그에 따라, 폴리이미드 필름의 온도는 800 $^{\circ}\text{C}$ 내지 1030 $^{\circ}\text{C}$ 로 국소적으로 상승하였고, 이 온도에서 폴리이미드 필름은 3D 그래핀으로 전환되었다.

폴리이미드 필름은 계면(7)에서 3D 그래핀으로 전환되었다. 형성된 3D 그래핀은 폴리이미드 필름의 전체 두께를 통해 연장되지 않았다.

레이저 빔을 끄고(도 3), 폴리이미드 필름의 미전환 부분들을 기재로부터 제거했다(도 4). 본 발명자들이 확인한 바에 따르면, 폴리이미드 필름으로부터 형성된 3D 그래핀의 부분(5A)은 폴리이미드 필름의 미전환 부분이 제거될 때에도 기재에 부착된 채로 남아있었다. 3D 그래핀의 나머지 부분(5B)은 폴리이미드 필름에 부착된 상태로 유지되었다.

추가 검사에서, 본 발명자들은 기재와 3D 그래핀 사이의 계면에서 실리콘 기체의 구조가 변형되었음을 발견하였다. 실리콘 카바이드(SiC) 또는 실리콘 옥시카바이드(SiO_xC_y)로 여겨지는 것의 얇은 층이 실리콘 기재와 3D 그래핀 사이의 계면에 형성되어 3D 그래핀을 실리콘 기재에 결합(bonding)시킨다는 표시가 있다.

실리콘 기재 상에 증착된 3D 그래핀은 라만 분광법 및 X선 광전자 분광법(XPS)을 사용하여 특성분석되었다.

도 5에 도시된 라만 스펙트럼은 3D 그래핀의 3개 주 피크들 특성을 갖는다. 특히, 1344 cm^{-1} 에서의 D 피크는 격자 결함 및 구부러진 sp² 탄소-탄소 결합의 존재의 특성이고, 1577 cm^{-1} 에서의 G 피크는 sp² 탄소 혼성화의 특성이며, 이때, 왜곡된 6중 탄소 고리(six-fold carbon rings) 또는 다른 차수(order)의 탄소 고리가 존재하고, sp³ 탄소 혼성화의 상한은 5%이다. 2685 cm^{-1} 에서의 2D 피크는 3D 그래핀에서의 2차 전이(second order transitions)의 특성이며, 이중선 구조(doublet structure)의 부재(absence)는 다층 2D 그래핀 또는 흑연에서 발견되는 평평한 AB 적층의 결여를 나타낸다. 2685 cm^{-1} 을 중심으로 단일 로렌츠 피크(Lorentzian peak)(67 cm^{-1} 의 반치전폭을 가짐)로 2D 피크를 피팅하면, 형성된 3D 그래핀에 단 하나 또는 단지 몇 개의 그래핀 같은 층들이 있다는 것이 나타난다. D/G 피크 비율(0.4)의 분석은 평균 그래핀 크기(즉, 3D 그래핀 미결정(crystallite) 크기)가 43.6 nm임을 나타낸다.

도 6에 도시된 XPS 스펙트럼은 284.5 eV에서 우세한 피크를 가지며, 이는 sp² 탄소-탄소 결합의 존재를 나타낸다. 탄소-산소 단일 및 이중 결합뿐만 아니라 탄소-질소 단일 및 이중 결합과 관련된 피크들은 작다. XPS 분석 결과, 존재하는 원자의 96%가 탄소 원자인 반면, 존재하는 원자의 2.8%만이 질소 원자이고 존재하는 원자의

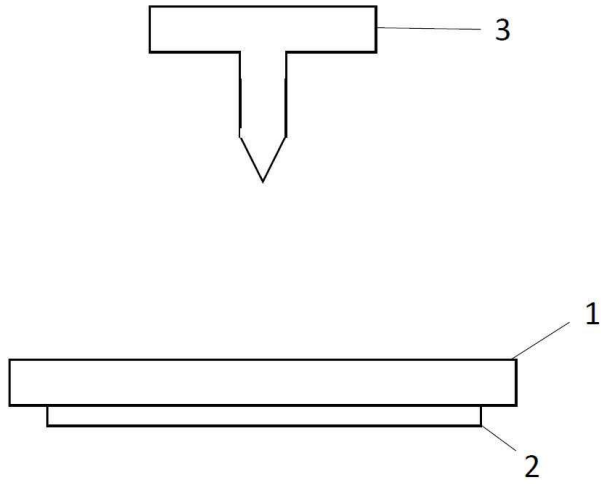
1.2%만이 산소 원자인 것으로 나타났다.

- [0092] 이 방법에 의해 형성된 3D 그래핀은 두께가 5 μm 내지 20 μm 인 것으로 밝혀졌다. 이 3D 그래핀은 평균 기공 크기가 4 nm 내지 10 nm이고 또한 다공성인 것으로 밝혀졌다.
- [0093] 본 발명의 제1 예시적 구현예에 따른 방법은 또한, 유사한 결과로, 실리콘 디옥사이드 웨이퍼(실리콘 웨이퍼 위의 300 nm 두께의 실리콘 디옥사이드 층으로 구성됨) 상에 3D 그래핀을 형성하는데 사용되었다.
- [0094] 이 제1 구현예에 따른 방법을 사용하여 증착된 3D 그래핀 재료는, 플라즈마 도핑을 포함하는 당해 기술 분야에 알려진 표준 도핑 방법을 사용하여 붕소 및 질소로 도핑되었다.
- [0095] **제2 예시적 구현예**
- [0096] 3D 그래핀이 도 7 내지 10에 도시된 바와 같이 아래에 제시된 방법에 의해 폴리스티렌 기재 상에 증착되고 부착되었다. 도 7에 도시된 바와 같이, 25 μm 두께의 폴리이미드 필름(8)을 600 μm 두께의 폴리스티렌 기재(9) 위에 직접 배치하였다.
- [0097] CO_2 적외선 펄스 레이저 조각 및 절단 시스템(Trotec Speedy 400 flexx)(10)이, 도 8에 도시된 바와 같이, 기재(9)와 대향하지 않는 폴리이미드 필름(8)의 표면에 레이저 빔(11)을 지향시키는데 사용되었다. 레이저 시스템은 10.6 μm 의 파장, 50 μm 의 빔 크기, 14 μs 의 펄스 지속시간 및 6 W의 파워로 빛을 방출하도록 조정되었다. 레이저 빔을 87.5 mm/s의 스캔 속도로 기재 표면에 걸쳐 스캐닝하였다. 이 공정은 실온 및 대기압에서 수행되었다.
- [0098] 도 8에 도시된 바와 같이, 레이저 빔이 지향된 폴리이미드 필름의 부분(12)이 3D 그래핀으로 전환되었다. 폴리이미드 필름의 전체 두께가 3D 그래핀으로 전환되었다.
- [0099] 레이저 빔을 끄고(도 9), 폴리이미드 필름의 미전환 부분들을 기재로부터 제거했다(도 10). 본 발명자들이 밝혀낸 바에 따르면, 폴리이미드 필름으로부터 형성된 3D 그래핀은, 폴리이미드 필름의 미전환 부분들이 제거될 때에도, 기재에 부착된 채로 남아 있었다. 추가 검사에서, 본 발명자들은 폴리스티렌 기재와 3D 그래핀 사이의 계면에서 폴리스티렌 기재의 구조가 변형되었음을 발견하였다. 계면에서 폴리스티렌 기재의 얇은 층이 용융된 후 다시 고화되어, 3D 그래핀을 기재에 결합시켰다는 표시가 있다.
- [0100] 폴리스티렌 기재 상에 증착된 3D 그래핀은 라만 분광법을 사용하여 특성분석되었다.
- [0101] 도 5에 도시된 라만 스펙트럼은 3D 그래핀의 3개 주 피크들 특성을 갖는다. 특히, 1340 cm^{-1} 에서의 D 피크는 격자 결합 및 구부러진 sp^2 탄소-탄소 결합의 존재의 특성이고, 1577 cm^{-1} 에서의 G 피크는 sp^2 탄소 혼성화의 특성이며, 이때, 왜곡된 6중 탄소 고리 또는 다른 차수(orders)의 탄소 고리가 존재하고, sp^3 탄소 혼성화의 상한은 5%이다. 2680 cm^{-1} 에서의 2D 피크는 3D 그래핀에서 2차 전이(second order transitions)의 특성이고, 이중선 구조(doublet structure)의 부재(absence)는 다층 2D 그래핀 또는 흑연에서 발견되는 평평한 AB 적층의 결여를 나타낸다. 2680 cm^{-1} 에 중심을 둔 단일 로렌츠 피크(61 cm^{-1} 의 반치전폭을 가짐)에 2D 피크를 피팅하면, 형성된 3D 그래핀에 단 하나의 또는 단지 몇 개의 그래핀 같은 층들이 있다는 것이 나타난다. D/G 피크 비율(0.8)의 분석은 평균 그래핀 크기(즉, 3D 그래핀 미결정 크기)가 23.5 nm임을 나타낸다.
- [0102] 이 방법에 의해 형성된 3D 그래핀 층은 두께가 20 μm 내지 45 μm 인 것으로 밝혀졌다. 갈바니 임피던스 측정에 의해 결정된 3D 그래핀의 전기 전도도는 10 S/cm 내지 100 S/cm인 것으로 밝혀졌다. 이 3D 그래핀은 평균 기공 크기가 4 nm 내지 10 nm이고 또한 다공성인 것으로 밝혀졌다.
- [0103] 본 발명의 제2 예시적 구현예에 따른 방법은 또한, (1) 고리형 올레핀 코폴리머(COC)의 얇은 필름 및 (2) 폴리(메틸 메타크릴레이트)(PMMA)의 얇은 필름으로 이루어진 기재 상에 3D 그래핀을 형성하는데 사용되었으며, 유사한 결과를 나타냈다.
- [0104] 도 12는 이 방법에 의해 증착될 수 있는 미세한 3D 그래핀 구조체의 예를 제공하는 원자 힘 현미경(AFM) 이미지이다.
- [0105] 이 제1 예시적 구현예에 따른 방법을 사용하여 증착된 3D 그래핀 재료는 플라즈마 도핑을 포함하는 당해 기술 분야에 알려진 표준 도핑 방법들을 사용하여 붕소 및 질소로 도핑되었다.

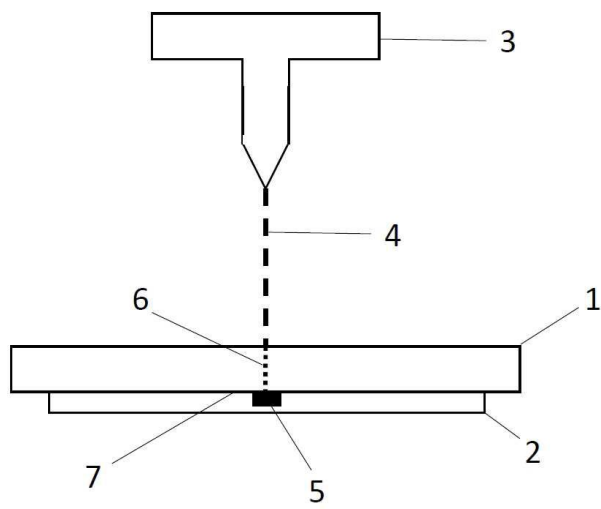
[0106] 본 명세서에 개시된 본 발명의 범위 내에서 추가의 변형 및 수정이 이루어질 수 있다.

도면

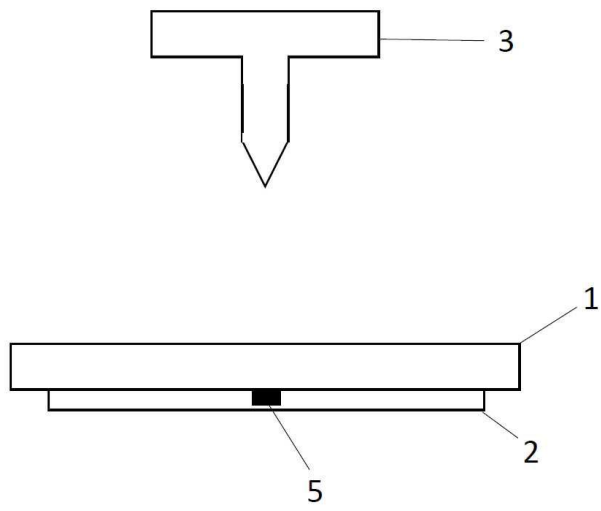
도면1



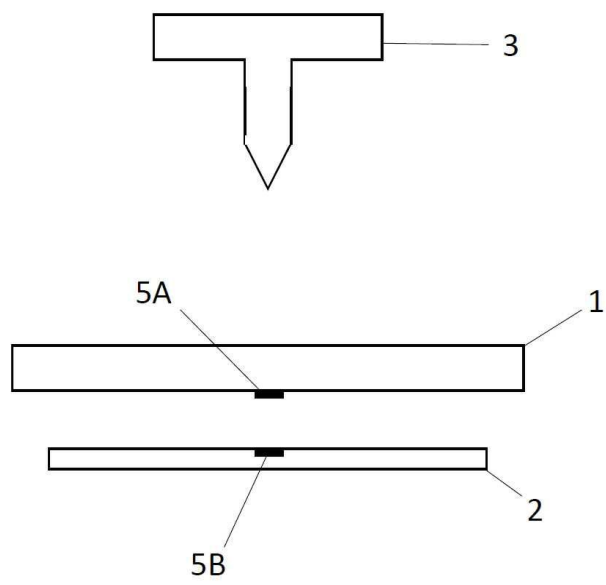
도면2



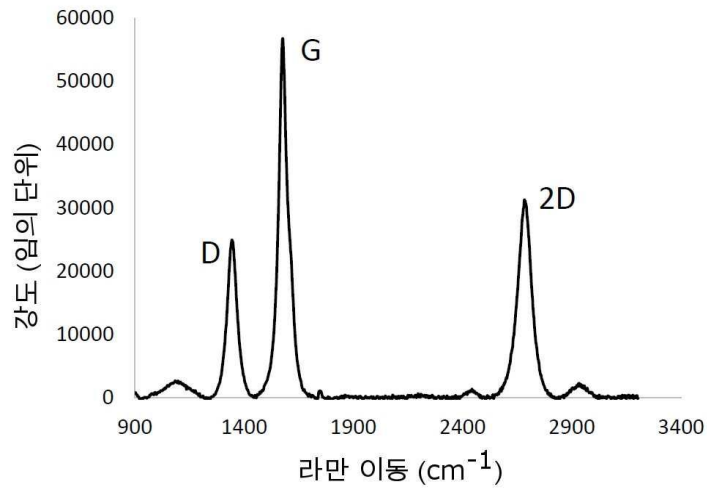
도면3



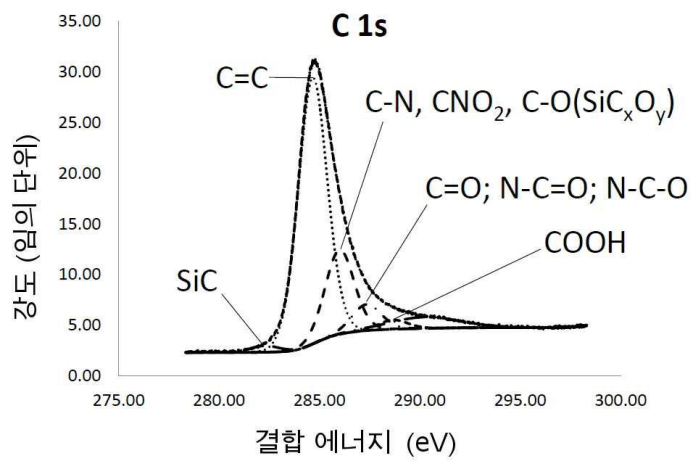
도면4



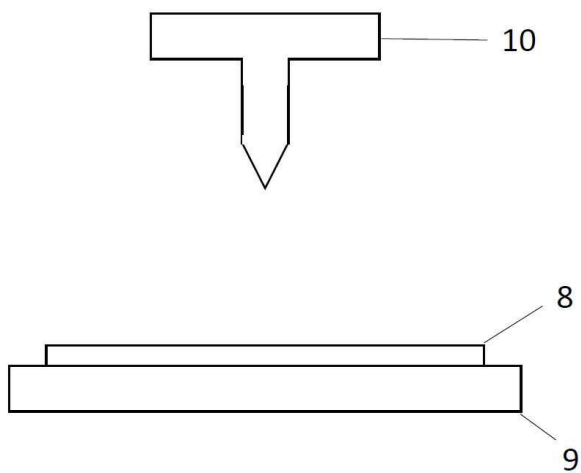
도면5



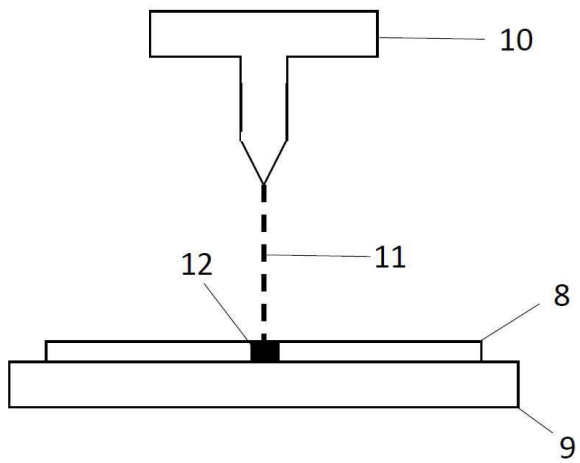
도면6



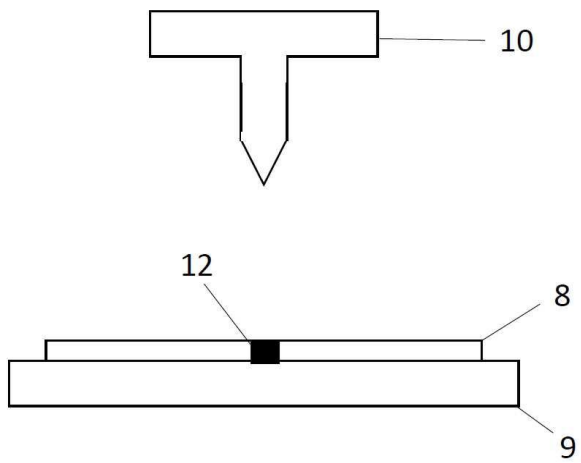
도면7



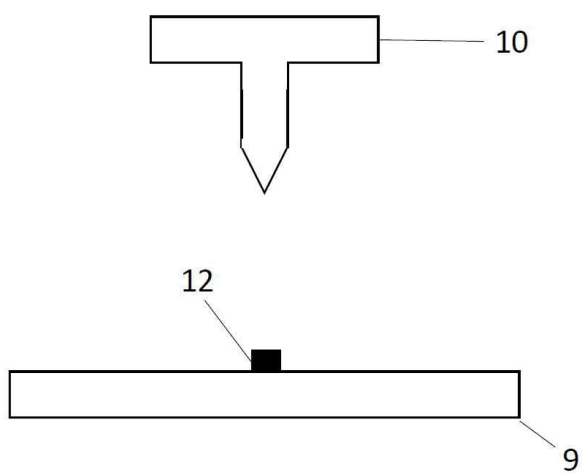
도면8



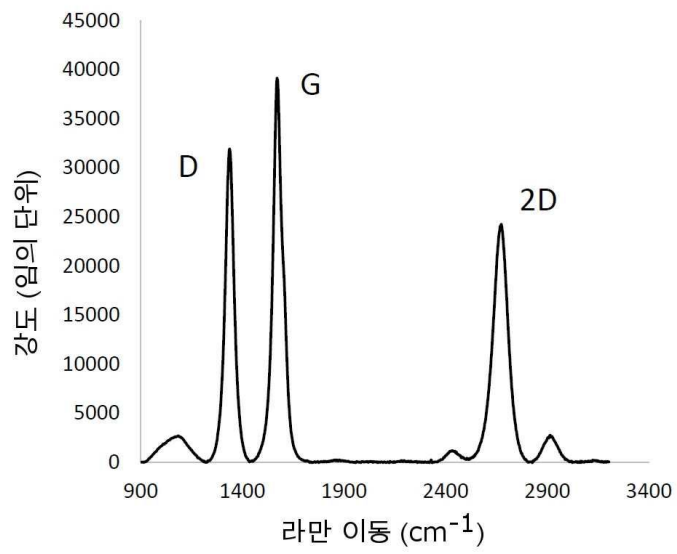
도면9



도면10



도면11



도면12

