

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 (43) 공개일자	10-2013-0005969 2013년01월16일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) C01B 31/02 (2006.01) C23C 16/26 (2006.01) C23C 16/56 (2006.01) (21) 출원번호 10-2011-0067706 (22) 출원일자 2011년07월08일 심사청구일자 2011년07월08일		(71) 출원인 경희대학교 산학협력단 경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 국제캠퍼스 내 (서천동, 경희대학교) (72) 발명자 최재우 서울특별시 송파구 송파대로 567, 주공아파트 504동 1502호 (잠실동) 이창목 서울특별시 동대문구 회기로12나길 29, 302호 (회기동) (74) 대리인 오세중	

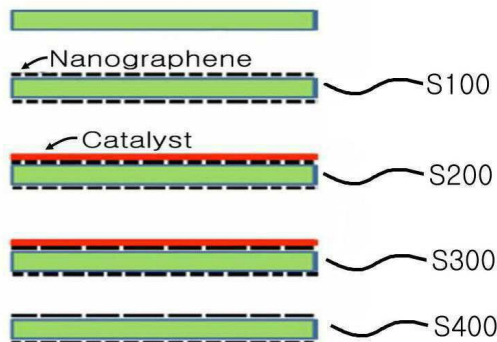
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 그래핀 성장방법 및 그래핀의 결정크기 조절방법

(57) 요약

본 발명의 그래핀 성장방법은 촉매없이 유리기판상에 그래핀을 증착하여 그래핀을 성장시키는 성장단계; 및 상기 그래핀이 성장되면, 상기 성장된 그래핀상에 금속 촉매를 증착시키는 증착단계를 포함한다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20110946

부처명 교육과학기술부

연구사업명 일반연구 지원사업

연구과제명 무촉매 나노그래핀 성장 및 재결정화 기술개발

주관기관 경희대학교 산학협력단

연구기간 2010.05.01 ~ 2013.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

촉매없이 유리기판상에 그래핀을 증착하여 그래핀을 성장시키는 성장단계; 및

상기 그래핀이 성장되면, 상기 성장된 그래핀상에 금속 촉매를 증착시키는 증착단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 그래핀 성장방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 금속 촉매가 그래핀상에 증착되면, 화학기상증착(CVD)를 이용하여 열처리하는 열처리단계; 및

금속 식각 용액을 이용하여 상기 금속 촉매를 제거하기 위한 식각단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 그래핀 성장방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 성장단계는 약 750℃에서 60분 동안 처리되는 것을 특징으로 하는 그래핀 성장방법.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 증착단계는 RF(Radio Frequency) 스퍼터를 이용하여 3-5분 동안 처리되는 것을 특징으로 하는 그래핀 성장방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 증착단계에서, RF 스퍼터의 파워는 40W이고, 2.7×10^{-3} Torr의 압력과 21.4sccm의 아르곤 가스분위기에서 처리되는 것을 특징으로 하는 그래핀 성장방법.

청구항 6

제2항에 있어서,

상기 열처리단계는 50sccm의 아르곤 가스분위기에서 300-500℃에서 30분 동안 처리되는 것을 특징으로 하는 그래핀 성장방법.

청구항 7

제2항에 있어서,

상기 식각 단계는 니켈 금속을 제거하기 위해 니켈 식각 용액을 이용하여 30-80초 동안 처리되는 것을 특징으로 하는 그래핀 성장방법.

청구항 8

제2항에 있어서,

상기 그래핀은 나노 그래핀 및 나노 그래피틱 필름을 포함하는 것을 특징으로 하는 그래핀 성장방법.

청구항 9

유리기판상의 양면에 그래핀을 증착하여 그래핀을 성장시키는 성장단계;

상기 그래핀이 성장되면, 상기 유리기관상의 일면에 증착된 그래핀상에 니켈 촉매를 증착시키는 증착단계;

상기 니켈 촉매가 그래핀상에 증착되면, 화학기상증착(CVD)를 이용하여 상기 그래핀의 크기를 조절하도록 열처리하는 열처리단계; 및

니켈 식각 용액을 이용하여 상기 니켈 촉매를 제거하기 위한 식각단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 그래핀의 결정크기 조절방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 성장단계는 약 750℃에서 60분 동안 처리되고, 상기 증착단계는 RF(Radio Frequency) 스퍼터를 이용하여 2.7×10^{-3} Torr의 압력과 21.4sccm의 아르곤 가스분위기하에서 3-5분 동안 처리되는 것을 특징으로 하는 그래핀의 결정크기 조절방법.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 열처리단계는 50sccm의 아르곤 가스분위기에서 300-500℃에서 30분 동안 처리되는 것을 특징으로 하는 그래핀의 결정크기 조절방법.

청구항 12

제9항에 있어서,

상기 그래핀은 나노 그래핀 및 나노 그래피틱 필름을 포함하는 것을 특징으로 하는 그래핀의 결정크기 조절방법.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 그래핀 성장방법 및 그래핀의 결정크기 조절방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, 금속 촉매의 사용 없이 유리기관상에 직접 그래핀을 성장시키고, 성장된 그래핀상에 니켈 금속을 증착함으로써 그래핀의 결정크기를 조절하는 그래핀 성장방법 및 그래핀의 결정크기 조절방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 탄소나노튜브와는 달리 그래핀은 유일한 평면 구조를 가지며, 기존의 잘 알려진 식각 방법을 이용하여 패턴 공정도 할 수 있어서, 그래핀이 가지고 있는 독특한 물리적 특성을 충분히 활용하여 대형 소자를 만들 수 있으리라 기대된다. 하지만, 이러한 기대를 충족하기 위해서는 먼저 대면적의 양질의 그래핀 제조 기술이 선행되어야 한다.

[0003] 이를 위해, 최근에는 화학기상증착(CVD: Chemical Vapor Deposition)을 이용하여 그래핀을 대면적으로 성장시키는 방법에 대한 연구 결과가 발표되고 있다. 그러나 지금까지 CVD를 이용한 그래핀 성장 방법에 대한 많은 발전이 있었음에도 불구하고, 종래의 CVD를 이용한 그래핀 성장 방법은 미리 촉매물질을 증착해야 하고 거의 1000℃ 이상의 높은 성장온도의 필요성 때문에 그래핀의 생산효율을 떨어뜨린다는 문제점이 있었다.

[0004] 특히, 그래핀의 고유의 물리적 특성을 이용하는 소자 응용을 위해서, 촉매 금속을 사전에 증착시킨 다음 매우 높은 성장온도에서 CVD를 이용하여 성장시킨 그래핀은 추가적인 공정이 필요하게 된다는 문제점이 있다.

[0005] 이하, 도 5를 참조하여 종래기술에 따른 그래핀 성장방법을 설명하는데, 도 5는 종래기술에 따른 그래핀 성장과정을 나타내는 도면이다.

[0006] 먼저, 유리기관을 준비하고(S510), 준비된 유리기관 상에 금속촉매를 증착한다(S520). 이어서, 금속촉매가 유리기관위에 증착되면 약 1000℃ 이상의 온도에서 CVD를 이용하여 그래핀을 성장시킨 후(S530) 금속촉매를 제거하기 위해 금속촉매를 식각한다(S540).

- [0007] 이어서, 성장된 그래핀을 별도의 특정 기관으로 트랜스퍼(Transfer)하게 된다(S550).
- [0008] 그러나, 이러한 종래기술에 따른 그래핀 성장법은 촉매 금속 표면 위에 그래핀을 성장시킨 뒤 그래핀을 촉매로부터 떼어내는 과정이 어렵다는 문제점이 있다.
- [0009] 특히, 그래핀 밑에 붙어 있는 니켈 금속 층을 제거하기 위해서 수십 또는 수백 나노미터(nm)밖에 되지 않는 니켈층을 단면적이 매우 작은 측면으로부터 점차적으로 화학적으로 에칭을 해야 하는데, 이는 에칭액이 확산해 가는데 장시간이 소요되어 대면적의 그래핀을 획득하는데에 효율적이지 못하다.
- [0010] 일 예로 니켈의 에칭을 대략적으로 평가해보면, 시편의 폭이 2cm이고 니켈층의 두께가 200nm인 경우라면 종횡비(aspect ratio)가 약 100,000 이나 되어 액체 에칭액을 이용하여 니켈을 에칭하는 데에는 상당한 시간이 소요될 것으로 예상된다.
- [0011] 특히, 대형의 시료를 이러한 방법으로 만드는 것은 비현실적이라고 할 수 있다. 비록 니켈층 밑에 있는 상대적으로 두꺼운 실리콘 산화막을 먼저 에칭하고 나중에 니켈을 에칭한다 할지라도 여전히 실리콘 산화막을 제거하는데 걸리는 시간은 앞의 경우와 비슷하여, 대면적의 그래핀을 제조하는데는 효율적인 방법이라 할 수 없다.
- [0012] 또한, 촉매 금속도 전도체이므로 그래핀의 특성을 활용하는데 저해 요소로 작용하며, 그래핀을 투명 전극에 활용하는 경우에 있어서 촉매 금속으로 인해 빛이 통과할 수 없는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0013] 본 발명은 상술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 금속 촉매의 사용없이 유리기관상에 직접 그래핀을 성장시키는 그래핀 성장방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.
- [0014] 또한, 본 발명은 금속 촉매없이 유리기관상에 성장된 그래핀에 니켈 금속을 증착함으로써 그래핀의 결정크기를 조절하는 그래핀의 결정크기 조절방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0015] 상기한 바와 같은 기술적 과제를 달성하기 위하여, 본 발명의 일 측면에 따른 그래핀 성장방법은 촉매없이 유리기관상에 그래핀을 증착하여 그래핀을 성장시키는 성장단계; 및 상기 그래핀이 성장되면, 상기 성장된 그래핀상에 금속 촉매를 증착시키는 증착단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 또한, 본 발명은 상기 금속 촉매가 그래핀상에 증착되면, 화학기상증착(CVD)를 이용하여 열처리하는 열처리단계; 및 금속 식각 용액을 이용하여 상기 금속 촉매를 제거하기 위한 식각단계를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 또한, 본 발명의 다른 측면에 따른 그래핀의 결정크기 조절방법은 유리기관상의 양면에 그래핀을 증착하여 그래핀을 성장시키는 성장단계; 상기 그래핀이 성장되면, 상기 유리기관상의 일면에 증착된 그래핀상에 니켈 촉매를 증착시키는 증착단계; 상기 니켈 촉매가 그래핀상에 증착되면, 화학기상증착(CVD)를 이용하여 상기 그래핀의 크기를 조절하도록 열처리하는 열처리단계; 및 니켈 식각 용액을 이용하여 상기 니켈 촉매를 제거하기 위한 식각단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0018] 본 발명에서는, 상대적으로 저온에서 유리기관 위에 직접 나노그래핀을 성장시키므로써 나노그래핀을 촉매없이 성장시킬 수 있도록 한다.
- [0019] 또한, 본 발명은 성장된 나노그래핀에 니켈 촉매를 증착한 후 열처리를 해줌으로써 나노그래핀의 결정 크기를 조절할 수 있도록 한다.
- [0020] 또한, 본 발명은 나노그래핀의 결정 크기를 조절함으로써 다른 디바이스에 응용시에 자유롭게 이용될 수 있도록 한다.
- [0021] 또한, 본 발명은 성장된 나노그래핀상에 니켈 촉매를 증착하고 이를 식각함으로써 니켈 촉매의 식각이 용이하다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 그래핀 성장과정을 나타내는 도면이다.
- 도 2는 나노그래핀 필름의 투과도이다.
- 도 3은 니켈이 증착된 나노그래핀을 열처리한 다음 니켈을 식각한 이후에 측정된 라만 스펙트럼을 나타낸다.
- 도 4는 니켈이 증착된 나노그래핀을 열처리한 다음 니켈을 식각한 이후에 측정된 EDS스펙트럼을 나타낸다.
- 도 5는 종래기술에 따른 그래핀 성장과정을 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 상술한 목적, 특징 및 장점은 첨부된 도면과 관련한 다음의 상세한 설명을 통하여 보다 분명해질 것이며, 그에 따라 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명의 기술적 사상을 용이하게 실시할 수 있을 것이다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어서 본 발명과 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에 그 상세한 설명을 생략하기로 한다.
- [0024] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 일실시예를 상세히 설명한다.
- [0025] 도 1을 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 그래핀 성장방법 및 그래핀의 결정크기 조절방법을 설명하는데, 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 그래핀 성장과정을 나타내는 도면이다.
- [0026] 도 1에 도시된 본 발명의 일 실시예에 따른 그래핀 성장방법은 성장단계(S100), 증착단계(S200), 열처리단계(S300) 및 식각단계(S400)를 포함한다.
- [0027] 성장단계(S100)에서는 유리기관상의 양면에 나노그래핀/나노그래피틱 필름을 증착하여 25sccm(standard cubic centimeters per minute)의 아세틸렌과 50sccm의 아르곤 가스분위기 하에서 500Torr의 압력으로 약 750℃에서 60분 동안 나노그래핀/나노그래피틱 필름을 성장시킨다.
- [0028] 상기 유리기관은 alkaline earth boro-aluminosilicate (Corning co. Eagle 2000™) 유리 기관이 사용되었으며, 상기 나노그래핀/나노그래피틱 필름을 증착하기 이전에, 아세톤을 이용하여 유리 기관을 10분 동안 초음파 세척한 다음 3인치 쿼츠 튜브의 중앙에 유리기관을 위치시키고 쿼츠 튜브를 1mTorr까지 진공상태로 만든다음 50sccm의 아르곤가스에서 가열시키는 것이 바람직하다.
- [0029] 증착단계(S200)에서는, 상기 나노그래핀/나노그래피틱 필름이 성장되면, 상기 유리기관상의 일면에 증착된 나노그래핀/나노그래피틱 필름상에 니켈 촉매를 증착시킨다.
- [0030] 이때, 상기 니켈 촉매의 증착은 RF(Radio Frequency) 스퍼터를 이용하여 2.7×10^{-3} Torr의 압력과 21.4sccm의 아르곤 가스분위기하에서 약 3-5분 동안 처리되는 것이 바람직하다. 또한, 상기 RF 스퍼터의 파워는 40W인 것이 바람직하다.
- [0031] 열처리단계(S300)에서는 상기 니켈 촉매가 나노그래핀/나노그래피틱 필름상에 증착되면, 화학기상증착(CVD)를 이용하여 상기 그래핀의 크기를 조절하도록 50sccm의 아르곤 가스분위기에서 300-500℃에서 30분 동안 열처리한다.
- [0032] 식각단계(S400)에서는, 니켈 식각 용액을 이용하여 상기 니켈 촉매를 제거하기 위해 니켈 식각 용액(DI water : HNO3 : HCl = 35 : 12 : 3)을 이용하여 30-80초 동안 식각공정을 진행한다.
- [0033] 이하, 도 2 내지 도 4를 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 그래핀 성장방법의 실험결과를 설명하는데, 도 2는 나노그래핀 필름의 투과도이고, 도 3은 니켈이 증착된 나노그래핀을 열처리한 다음 니켈을 식각한 이후에 측정된 라만 스펙트럼을 나타내며, 도 4는 니켈이 증착된 나노그래핀을 열처리한 다음 니켈을 식각한 이후에 측정된 EDS스펙트럼을 나타낸다.
- [0034] 도 2를 상세히 설명하면 다음과 같다. 도 2(a)는 니켈 필름을 3분 동안 증착한 경우의 나노그래핀의 투과도를 나타내고, 도 2(b)는 니켈 필름을 7분 동안 증착한 경우의 나노그래핀의 투과도를 나타낸다. 도 2(a) 및 도 2(b)에 각각 도시된 얇은 검정선은 300℃에서 증착된 경우이고, 얇은 파랑선은 400℃에서 증착된 경우이며, 얇은 빨강선은 500℃에서 증착된 경우이다. 또한, 두꺼운 검정선은 300℃에서 증착된 다음 니켈 금속이 식각된 후의 투과도를 나타낸 경우이고, 두꺼운 파랑선은 400℃에서 증착된 다음 니켈 금속이 식각된 후의 투과도를 나

타낸 경우이며, 두꺼운 빨강선은 500℃에서 증착된 다음 니켈 금속이 식각된 후의 투과도를 나타낸 경우이다.

[0035] 도 2에 도시된 바와 같이, 증착 직후 아무 처리도 하지 않은 필름의 투과도 (녹색선)는 350nm 이하의 짧은 파장 영역에서도 높은 투과도를 유지하는 것을 알 수 있다. 측정된 총 투과도 값인 T_m 은 유리기관이 갖는 고유 투과도 값인 T_g 에 의해서 다음과 같이 수식화된다. $T_F = T_m/T_g$. 이어서 니켈 증착 후 300, 400, 500 ℃ 에서 열처리 시켜줌으로써 여전히 니켈이 남아 있음에도 불구하고 나노그래핀의 장파장대의 투과도(두꺼운 선)가 증가한 것을 알 수 있다.

[0036] 파장 700nm 에서 초기 증착한 나노그래핀의 투과도는 91.1% 였으며, 300, 400, 500 ℃ 에서 열처리한 나노그래핀의 투과도는 각각 90.6% , 93.8% , 95.4 % 였다. 그래핀의 양자 투과도에 근거하여 볼 때, 500 ℃ 에서 열처리한 나노그래핀의 투과도는 나노그래핀이 2-3 층의 그래핀의 두께를 갖고 있음을 나타낸다.

[0037] 또한, 도 2(a)에 도시된 바와 같이, 파장 350nm 이하의 유리기관의 투과도는 좋지 않다. 하지만 나노그래핀 증착후에는 짧은 파장 영역에서도 높은 투과도를 갖는 것을 확인할 수 있으며, 이것은 유리 기관 위에 증착한 나노그래핀이 비결정화와 수소화되었고, 상대적으로 넓은 가상 밴드 갭(pseudo-band gap)을 갖게 된다는 것을 나타낸다.

[0038] 한편, 도 2에 도시된 바와 같이, 니켈 금속을 7분 동안 증착한 나노그래핀의 열처리는 니켈 금속을 3분 동안 증착한 나노그래핀의 열처리와 비교할 때, 투과도가 크게 개선되지 않았다. 이것은 니켈 금속의 알갱이 형성과 상대적으로 두꺼운 니켈 필름이 나노그래핀 층 아래로 확산된 것 때문이다.

[0039] 즉, 니켈 금속을 7분 동안 증착한 나노그래핀의 열처리 온도에 의존하는 투과도의 변화는 니켈 금속을 3분 동안 증착한 나노그래핀의 열처리 온도에 의존하는 투과도의 변화에 비해서 상대적으로 매우 작다. 이것은 또한 니켈 금속이 나노그래핀 밑으로 확산된다는 것을 의미한다.

[0040] 도 3을 상세히 설명하면 다음과 같다.

[0041] 도 3의 (a)는 스퍼터에서 3분 동안 증착된 니켈 필름을 열처리한 다음 니켈 금속을 식각한 이후에 측정한 라만 스펙트럼을 나타내고, (b)는 스퍼터에서 7분 동안 증착된 니켈 필름을 열처리한 다음 니켈 금속을 식각한 이후에 측정한 라만 스펙트럼을 나타내며, (c)는 D밴드 와 G밴드의 세기의 비율을 이용하여 평면 결정성 크기를 계산한 결과를 열처리 온도와 니켈 필름의 두께에 따라서 나타난 결과이다. 도 3(a) 및 도 3(b)에 각각 도시된 검정선은 300℃에서 열처리된 경우이고, 파랑선은 400℃에서 열처리된 경우이며, 빨강선은 500℃에서 열처리된 경우이고, 녹색선은 초기의 아무 처리도 하지 않은 유리 기관 위에 성장시킨 나노그래핀의 라만 스펙트럼을 나타낸다.

[0042] 도 3에 도시된 바와 같이, 녹색 선으로 나타난 아무 처리도 하지 않은 나노그래핀의 라만 스펙트럼은 1600 cm^{-1} 의 G 밴드 최고점의 세기(intensity)와 비교해서 상대적으로 1350 cm^{-1} 의 D 밴드 최고점의 세기가 큰 것을 나타낸다.

[0043] 그러나 상대적으로 높은 온도에서 열처리 해줌에 따라 전체적인 최고점의 세기가 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 보다 높은 열처리 온도에서 열처리하였을 때 보다 더 큰 투과도의 값을 갖는 것과 일치한다.

[0044] 특히, G밴드 최고점의 세기가 상대적으로 D밴드 최고점의 세기보다 더 커지는 것을 알 수 있다. 이러한 사실은 보다 더 높은 열처리 온도에서 열처리하였을 때 나노그래핀과 나노 그래피틱 필름의 결정성이 개선된다는 것을 알 수 있다.

[0045] 또한, 최고점 세기의 비율은 니켈 금속을 7분 동안 증착한 후 300 ℃에서 열처리한 경우를 제외하고는 전체적으로 감소한 것을 알 수 있다. 최고점 세기의 비율로부터, 다음에 보이는 수식을 이용하여 평면 결정성 길이를 계산할 수 있다.

$$Lc(nm)=(560/[E(eV)^4])(I_D/I_G)^{-1}$$

[0046]

[0047] 이때, I_D 와 I_G 는 D밴드와 G밴드의 최고점의 세기를 나타내고, E는 라만 분광기에 사용한 실제 레이저의 에너지값

을 나타낸다. 상기 수식을 이용하여 계산한 평면 결정성 길이가 도 3의 (c)에 도시된다.

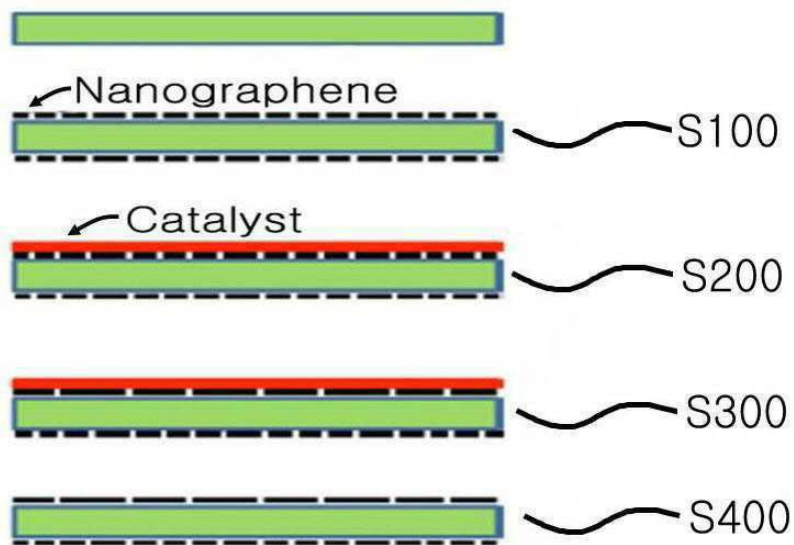
- [0048] 상기 수식을 통하여, 초기에 아무 처리도 하지 않은 나노그래핀의 경우 결정성 길이가 약 15nm인 것을 알 수 있으며, 초기에 아무 처리도 하지 않은 필름은 상대적으로 매우 높은 D밴드와 G밴드의 최고점 세기의 비율이 크기 때문에 나노그래피틱 탄소로 간주될 수 있다. 또한, 상기 수식을 통하여 500 ℃에서 열처리한 이후에 결정성 크기가 약 23nm까지 증가한 것을 계산할 통하여 알 수 있다. 결정성 크기는 니켈 금속을 3분 동안 증착한 경우에, 열처리 온도에 따라서 거의 선형적으로 변하는 것을 알 수 있다.
- [0049] 도 4를 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0050] 도 4의 (a)는 스퍼터에서 3분 동안 증착된 니켈 필름을 열처리한 다음 니켈 금속을 식각한 이후에 측정한 EDS스펙트럼을 나타내고, (b)는 스퍼터에서 7분 동안 증착된 니켈 필름을 열처리한 다음 니켈 금속을 식각한 이후에 측정한 EDS스펙트럼을 나타낸다. 도 4(a) 및 도 4(b)에 각각 도시된 검정선은 300℃에서 열처리된 경우이고, 파랑선은 400℃에서 열처리된 경우이며, 빨강선은 500℃에서 열처리된 경우를 나타낸다.
- [0051] 도 4에 도시된 바와 같이, EDS스펙트럼을 통해 니켈 식각 이후에 필름에 존재하는 화학 조성비에는 니켈(0.84 keV), 산소(0.52 keV), 알루미늄(1.48 keV) 및 규소(1.74 keV)가 존재함을 확인할 수 있다.
- [0052] 즉, 300 ℃에서 열처리한 경우에는, 식각 이후에 니켈 신호를 발견할 수 없었는데, 이 사실은 니켈이 완전히 식각되었다는 것을 의미한다. 300 ℃ 이상의 온도에서 열처리된 경우에는, 식각 이후에도 니켈이 발견되는 것을 알 수 있었다. 이 사실은 니켈이 나노그래핀 층의 아래와 같은 위치에서는 식각되기 어렵다는 것을 의미한다.
- [0053] 도 2 내지 4에 도시된 바와 같은 실험 결과를 통해, 니켈 금속이 나노그래핀 아래에 위치한다는 것을 알 수 있으며, 특히 열처리 이전에 더 두꺼운 니켈 필름을 증착하였을 때 니켈이 나노그래핀 아래에 위치한다는 것을 알 수 있다.
- [0054] 또한, 금속 촉매를 사용하지 않고 750℃에서 유리 기판 위에 직접 나노그래핀을 성장시키므로써, 15nm 크기였던 나노그래핀의 결정 크기가 니켈 증착 후 300℃ , 400℃ , 500 ℃ 에서 열처리한 이후에 각각 약 20nm, 21nm, 23nm와 같이 열처리 온도 따라서 선형적으로 증가한다.

부호의 설명

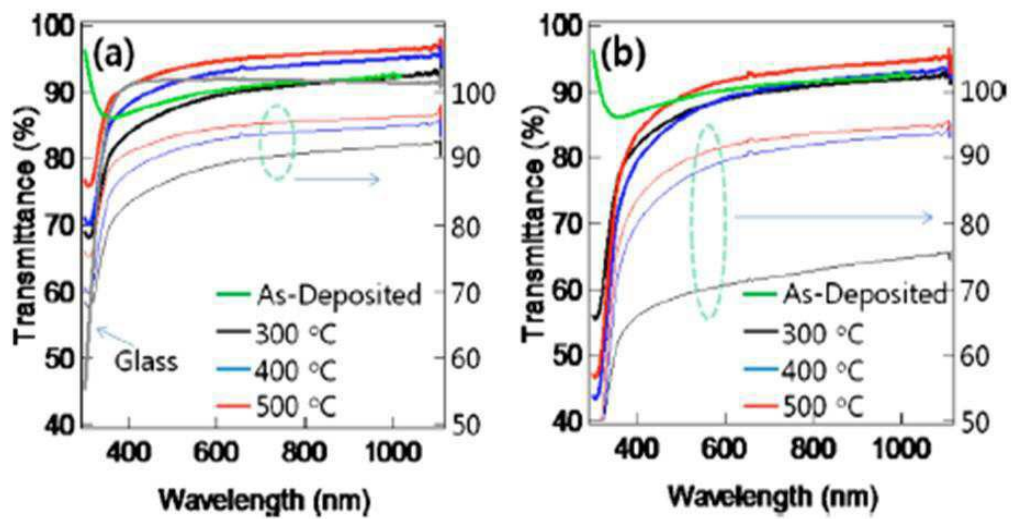
- [0055] S100 : 성장단계
S200 : 증착단계
S300 : 열처리단계
S400 : 식각단계

도면

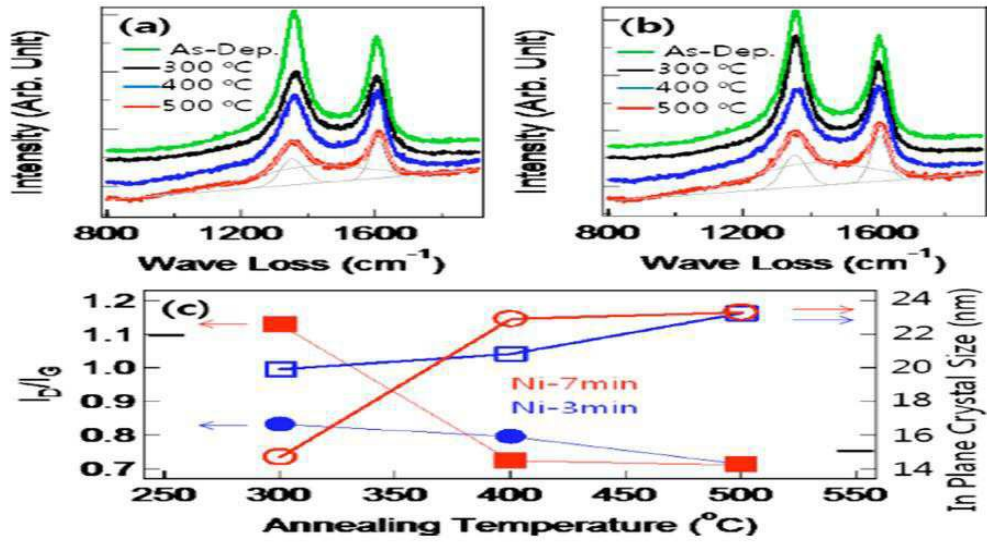
도면1



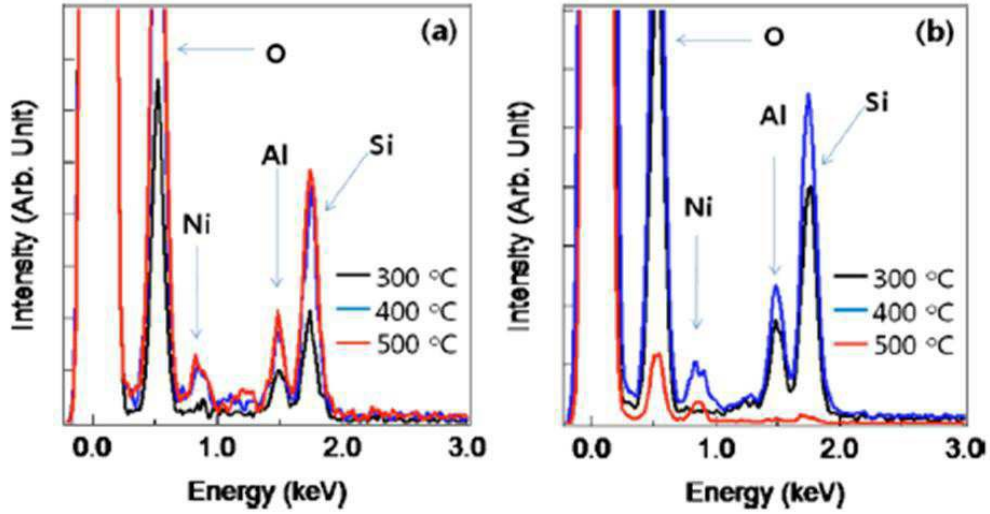
도면2



도면3



도면4



도면5

