(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0072806
(43) 공개일자 2017년06월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 29/16 (2006.01) *C01B 31/04* (2006.01)
H01L 21/02 (2006.01) *H01L 21/3065* (2006.01)
H05H 1/46 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 29/1606 (2013.01)
C01B 31/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0170269
(22) 출원일자 2016년12월14일
심사청구일자 2016년12월14일
(30) 우선권주장
1020150181004 2015년12월17일 대한민국(KR)

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
김지현
서울특별시 강남구 언주로 332, 104동 604호
이건엽
경상북도 안동시 송현길 84-29, 102동 103호
(74) 대리인
정은열

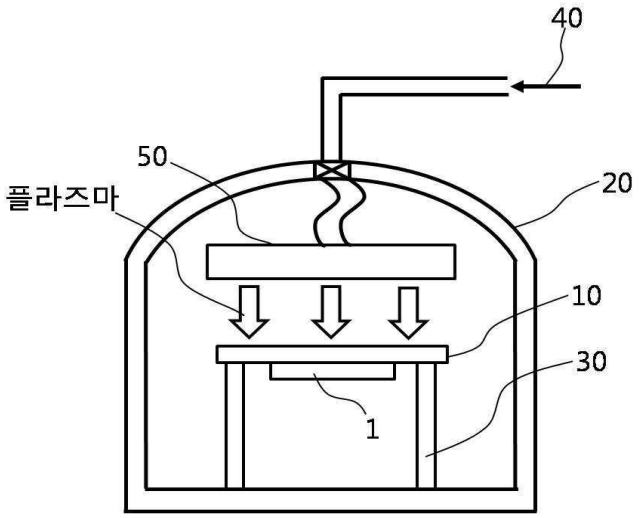
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **흑린 식각장치**

(57) 요 약

본 발명은 흑린 식각장치에 관한 것으로, 본 발명의 제1 실시예에 따른 흑린 식각장치는 하면에 흑린 단편(1)이 고정되는 기판(10), 내부에 기판(10)을 수용하는 반응챔버(20), 반응챔버(20)의 바닥면으로부터 흑린 단편(1)이 이격되도록, 기판(10)을 지지하는 지지대(30), 휘발성 부산물을 생성하는 공정가스(40); 및 공정가스(40)를 공급받아 플라즈마를 유도하고, 플라즈마를 기판(10)의 상면으로 분사하여, 플라즈마 이온 확산에 의해 흑린 단편(1)을 식각하는 플라즈마 발생기(50)를 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H01L 21/02315 (2013.01)
H01L 21/3065 (2013.01)
H05H 1/46 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 R1521101
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 이공학개인기초연구지원
연구과제명 방사선을 이용한 black phosporus 초박막의 물성제어연구
기 여 율 1/1
주관기관 고려대학교 산학협력단
연구기간 2015.11.01 ~ 2016.10.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

하면에 흑린 단편이 고정되는 기판;

내부에 상기 기판을 수용하는 반응챔버;

상기 반응챔버의 바닥면으로부터 상기 흑린 단편이 이격되도록, 상기 기판을 지지하는 지지대;

휘발성 부산물을 생성하는 공정가스; 및

상기 공정가스를 공급받아 플라즈마를 유도하고, 상기 플라즈마를 상기 기판의 상면으로 분사하여, 상기 플라즈마 이온 확산에 의해 상기 흑린 단편을 식각하는 플라즈마 발생기;

를 포함하는 흑린 식각장치.

청구항 2

상면에 흑린 단편이 고정되는 기판;

내부에 상기 기판을 수용하는 반응챔버;

상기 흑린 단편과 이격되도록, 상기 기판보다 상향에 배치되는 커버;

상기 커버를 지지하는 지지대;

휘발성 부산물을 생성하는 공정가스; 및

상기 공정가스를 공급받아 플라즈마를 유도하고, 상기 플라즈마를 상기 커버에 분사하여, 상기 플라즈마 이온 확산에 의해 상기 흑린 단편을 식각하는 플라즈마 발생기;

를 포함하는 흑린 식각장치.

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 공정가스는 플루오린(fluorine, F)을 포함하는 가스인 흑린 식각장치.

청구항 4

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 공정가스는 육불화황(SF_6)인 흑린 식각장치.

청구항 5

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 공정가스의 양을 제어하여, 식각비율을 조절하는 가스제어기;

를 더 포함하는 흑린 식각장치.

청구항 6

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 플라즈마 발생기의 출력을 제어하여, 식각비율을 조절하는 출력제어기;

를 더 포함하는 흑린 식각장치.

청구항 7

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 플라즈마의 노출 시간을 제어하여, 식각비율을 조절하는 시간제어기;

를 더 포함하는 흑린 식각장치.

청구항 8

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 흑린 단편의 두께를 측정하는 두께측정기;

를 더 포함하는 흑린 식각장치.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 두께측정기는

상기 흑린 단편에 광을 조사하는 광원; 및

상기 흑린 단편으로부터 반사된 광의 라만분광을 측정하는 분광기;

를 포함하는 흑린 식각장치.

청구항 10

청구항 8에 있어서,

상기 두께측정기는

상기 흑린 단편에 전압을 인가하는 전원; 및

상기 흑린 단편의 전기적 데이터 변화를 측정하는 데이터 측정기;

를 포함하는 흑린 식각장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 흑린의 식각장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 반도체 소자의 크기가 점차 줄어들게 됨에 따라 새로운 소재 개발에 대한 필요성이 점차 증대되고 있다. 이에 따라 그래핀, 이황화 몰리브덴 등의 이차원 물질들이 신소재로서 많은 주목을 받고 있다. 그러나 그래핀의 경우 밴드갭이 존재하지 않아 세미-메탈로 작용하여 반도체 소자에 적용하기에 어려움이 있고, 이황화 몰리브덴의 경우에는 전자이동도 (200 $cm^2/V \cdot s$) 등이 낮아서 기존의 실리콘 물질을 대체하기에 곤란함이 있다. 한편, 흑린은 인(P)이 이차원으로 결합된 물질로서, 한겹의 두께가 0.5 nm 수준이고, 높은 이동도 (20,000 $cm^2/V \cdot s$), 및 우수한 온/오프 전류 특성과 밴드갭 (0.3 eV ~ 2.0 eV)을 가지고 있어, 그래핀 등의 이차원 물질들의 단점을 극복할 수 있는 신소재로서 각광을 받고 있다.

[0004] 흑린의 경우 일반적으로 두께가 얇아지면, 전자이동도가 증가하고, 전류의 온/오프 전환이 가능한 물질로 변화된다. 또한, 밴드갭의 경우 벌크 형태의 흑린이 0.3 eV를 가지는 데 비해, 한 겹의 흑린(포스포린)에서는 2.0 eV까지 점차 증가한다. 따라서, 두께 조절을 통한 물성의 제어가 가능하다.

[0005] 현재 그래핀 등과 같은 이차원물질의 두께 조절방법으로는, 하기 선행기술문헌의 특허문헌에 개시된 것처럼, 테이프를 활용한 기계적 박리법이 거의 유일한 방법으로 알려져 있다. 그러나 기계적 박리법을 흑린에 적용하는 경우, 미세한 두께 및 사이즈 조절이 어렵다.

[0006] 기계적 박리법 이외에도, 물리적 에칭 방법이 보고된 바 있는데, 이에 의하면 고주파 유도 결합 플라즈마(ICP) 장비를 활용해, 고속·고에너지의 아르곤 이온을 직접적으로 흑린에 가하여 수 nm 수준의 흑린을 얻을 수 있다고 한다. 하지만, 고에너지의 아르곤 이온입자들의 직접적인 물리적 충돌은 흑린의 결정구조에 필연적인 손상을 발생시킨다. 또한, 흑린의 경우에 주변의 산소 및 수분과 쉽게 반응하여 열화현상이 일어나므로, 열처리 과정을 통한 소자의 회복을 기대하기도 어렵다.

[0007] 이에, 종래 흑린 두께 조절 기술의 문제점을 해결하기 위한 방안이 절실히 요구되고 있는 상황이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) KR 10-1146560 B1

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 상술한 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명의 일 측면은 공정가스를 공급받아 플라즈마를 유도하되, 플라즈마 이온의 직접적 충돌 없이, 확산으로 인한 화학적 방법만으로 흑린을 식각하는 흑린 식각장치를 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 발명의 제1 실시예에 따른 흑린 식각장치는 하면에 흑린 단편이 고정되는 기판; 내부에 상기 기판을 수용하는 반응챔버; 상기 반응챔버의 바닥면으로부터 상기 흑린 단편이 이격되도록, 상기 기판을 지지하는 지지대; 휘발성 부산물을 생성하는 공정가스; 및 상기 공정가스를 공급받아 플라즈마를 유도하고, 상기 플라즈마를 상기 기판의 상면으로 분사하여, 상기 플라즈마 이온 확산에 의해 상기 흑린 단편을 식각하는 플라즈마 발생기;를 포함한다.

[0013] 한편, 본 발명의 제2 실시예에 따른 흑린 식각장치는 상면에 흑린 단편이 고정되는 기판; 내부에 상기 기판을

수용하는 반응챔버; 상기 흑린 단편과 이격되도록, 상기 기판보다 상향에 배치되는 커버; 상기 커버를 지지하는 지지대; 휘발성 부산물을 생성하는 공정가스; 및 상기 공정가스를 공급받아 플라즈마를 유도하고, 상기 플라즈마를 상기 커버 방향으로 분사하여, 상기 플라즈마 이온 확산에 의해 상기 흑린 단편을 식각하는 플라즈마 발생기;를 포함한다.

[0014] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 흑린 식각장치에 있어서, 상기 공정가스는 플루오린(fluorine, F)을 포함하는 가스이다.

[0015] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 흑린 식각장치에 있어서, 상기 공정가스는 육불화황(SF_6)이다.

[0016] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 흑린 식각장치에 있어서, 상기 공정가스의 양을 제어하여, 식각비율을 조절하는 가스제어기;를 더 포함한다.

[0017] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 흑린 식각장치에 있어서, 상기 플라즈마 발생기의 출력을 제어하여, 식각비율을 조절하는 출력제어기;를 더 포함한다.

[0018] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 흑린 식각장치에 있어서, 상기 플라즈마의 노출 시간을 제어하여, 식각비율을 조절하는 시간제어기;를 더 포함한다.

[0019] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 흑린 식각장치에 있어서, 상기 흑린 단편의 두께를 측정하는 두께측정기;를 더 포함한다.

[0020] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 흑린 식각장치에 있어서, 상기 두께측정기는 상기 흑린 단편에 광을 조사하는 광원; 및 상기 흑린 단편으로부터 반사된 광의 라만분광을 측정하는 분광기;를 포함한다.

[0021] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 흑린 식각장치에 있어서, 상기 두께측정기는 상기 흑린 단편에 전압을 인가하는 전원; 및 상기 흑린 단편의 전기적 데이터 변화를 측정하는 데이터 측정기;를 포함한다.

[0023] 본 발명의 특징 및 이점들은 첨부도면에 의거한 다음의 상세한 설명으로 더욱 명백해질 것이다.

[0025] 이에 앞서 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이고 사전적인 의미로 해석되어서는 아니되며, 발명자가 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

발명의 효과

[0027] 본 발명에 따르면, 공정가스를 공급받아 플라즈마를 유도하고, 흑린 단편이 고정된 기판을 뒤집거나, 또는 흑린 단편보다 위에 커버를 배치함으로써, 플라즈마 이온의 직접적 충돌 없이, 확산으로 인한 화학적 방법만으로 흑린을 식각하므로, 물리적 충돌에 의해 발생하는 결정구조의 손상을 방지할 수 있다.

[0029] 또한, 본 발명은 공정가스를 활용한 화학적 건식 식각방법을 통해 흑린의 두께를 조절하므로, 용액을 사용하는 습식 식각에 비해 흑린의 두께 조절이 용이하다.

[0031] 나아가, 플라즈마 발생기의 출력, 플라즈마 노출시간, 및 공정가스의 양 조절을 통해 식각비율을 쉽게 제어할 수도 있다.

도면의 간단한 설명

[0033] 도 1은 본 발명의 제1 실시예에 따른 흑린 식각장치를 개략적으로 도시한 단면도이다.

도 2는 본 발명의 제2 실시예에 따른 흑린 식각장치를 개략적으로 도시한 단면도이다.

도 3은 본 발명의 제3 실시예에 따른 흑린 식각장치를 개략적으로 도시한 단면도이다.

도 4는 식각하기 전 흑린의 투과전자현미경(TEM) 및 전자회절 패턴(SAED) 이미지이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 흑린 식각장치에 의해 식각된 흑린의 투과전자현미경(TEM) 및 전자회절 패턴(SAED) 이미지이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 흑린 식각장치에 의해 식각된 흑린의 광학이미지, 원자현미경(AFM) 이미지, 및 높이 프로파일이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 흑린 식각장치의 플라즈마 노출 시간에 따라 식각된 흑린의 광학이미지이다.

도 8은 본 발명의 실시예에 따른 흑린 식각장치에 의한 식각 후에 라만분광법을 통해 측정한 흑린의 물성변화 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0034] 본 발명의 목적, 특정한 장점들 및 신규한 특징들은 첨부된 도면들과 연관되어지는 이하의 상세한 설명과 바람직한 실시예들로부터 더욱 명백해질 것이다. 본 명세서에서 각 도면의 구성요소들에 참조번호를 부가함에 있어서, 동일한 구성 요소들에 한해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 번호를 가지도록 하고 있음에 유의하여야 한다. 또한, "제1", "제2" 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위해 사용되는 것으로, 구성요소가 상기 용어들에 의해 제한되는 것은 아니다. 이하, 본 발명을 설명함에 있어서, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 관련된 공지 기술에 대한 상세한 설명은 생략한다.

[0036] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시형태를 상세히 설명하기로 한다.

[0038] 도 1은 본 발명의 제1 실시예에 따른 흑린 식각장치를 개략적으로 도시한 단면도이다.

[0039] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 제1 실시예에 따른 흑린 식각장치는 하면에 흑린 단편(1)이 고정되는 기판(10), 내부에 기판(10)을 수용하는 반응챔버(20), 반응챔버(20)의 바닥면으로부터 흑린 단편(1)이 이격되도록, 기판(10)을 지지하는 지지대(30), 휘발성 부산물을 생성하는 공정가스(40); 및 공정가스(40)를 공급받아 플라즈마를 유도하고, 플라즈마를 기판(10)의 상면으로 분사하여, 플라즈마 이온 확산에 의해 흑린 단편(1)을 식각하는 플라즈마 발생기(50)를 포함한다.

[0041] 흑린은 인(P)이 이차원으로 결합된 물질로서, 한겹의 두께가 0.5 nm 수준이고, 높은 이동도 (20,000 $cm^2/V \cdot s$), 및 우수한 온/오프 전류 특성과 밴드갭 (0.3 eV ~ 2.0 eV)을 가진다. 또한, 그 두께가 얇아지면, 전자이동도 및 밴드갭이 증가하고, 전류의 온/오프 전환이 가능한 물질로 변화되는 특성이 있다. 따라서, 두께에 따라 서로 다른 양상을 보이는 흑린의 물성을 이용함으로써, 흑린 기반 소자의 특성을 결정할 수 있는바, 흑린 두께 조절 기술이 중요하다. 종래 벌크 결정(bulk crystal)의 이차원 물질을 얇은 조각으로 벗겨내기 위한 방법으로서, 기계적 박리법과 물리적 에칭 방법이 있다. 기계적 박리법은 테이프를 활용하여 결정을 박리하는데, 이에 의하면 뛰어난 결정성의 조각을 얻을 수는 있지만, 원하는 두께를 얻기에는 부적합하다. 또한, 물리적 에칭 방법은 플라즈마 장비를 이용해 고속·고에너지의 아르곤 이온을 직접 흑린에 가하여 물리적으로 식각하므로, 이온 충돌에 의한 흑린의 결정구조 손상이 필연적이고, 흑린의 경우에 주변의 산소 및 수분과 쉽게 반응하여 열화현상이 일어나므로 열처리 과정을 통한 소자의 회복을 기대하기 어렵다. 이에, 종래 흑린 두께 조절 기술의 문제점을 해결하고자 본 발명에 따른 흑린 식각장치가 안출되었다.

[0043] 본 발명에 따른 흑린 식각장치는 기판(10), 반응챔버(20), 지지대(30), 공정가스(40), 및 플라즈마 발생기(50)를 포함한다.

[0044] 여기서, 기판(10)은 흑린 단편(1)을 고정하는 부재로서, 그 하면에 흑린 단편(斷片, 1)을 부착하고, 반응챔버(20)에 수용된다. 이때, 기판(10)은 실리콘(Si) 기판을 사용할 수 있지만, 반드시 이에 한정되어야 하는 것은

아니다.

[0046] 상기 반응챔버(20)는 흑린 단편(1)의 식각공정이 이루어지도록 내부 공간을 제공하는바, 그 공간에 기판(10)이 배치된다. 또한, 반응챔버(20) 내부에서의 식각공정은 플라즈마 이온을 이용하므로, 반응챔버(20)의 내부 공간은 진공 분위기로 조성된다. 한편, 반응챔버(20) 내부 공간에 배치된 기판(10)은 지지대(30)에 의해 지지된다.

[0048] 여기서, 지지대(30)는 기판(10)을 지탱하는 부재로서, 반응챔버(20)의 바닥면으로부터 소정의 높이만큼 기판(10)을 이격시킨다. 따라서, 기판(10)의 하면에 부착된 흑린 단편(1)도 반응챔버(20)의 바닥면으로부터 이격 배치되고, 이때 서로 대향하는 흑린 단편(1)과 반응챔버(20)의 바닥면 사이에는 소정의 공간이 구비된다. 여기서 생성된 공간을 통해, 후술할 플라즈마 이온이 확산되고, 그 이온이 흑린 단편(1)을 식각한다.

[0050] 공정가스(40)는 플라즈마로 유도되는 가스인데, 여기서 플라즈마는 같은 수의 양이온과 전자를 포함하는 고도로 이온화된 가스를 말한다. 본 발명에 사용되는 공정가스(40)는 PF_3, PF_5, PSF_3, POF_3 등과 같은 휘발성 부산물(phosphorus hallides)을 생성하는 가스이다. 이때, 그 부산물은 상온에서 휘발성을 가지므로 식각공정에 영향을 미치지 않는다.

[0051] 이러한 공정가스(40)는 플루오린(fluorine, F)을 포함하는 가스로서, 예를 들어, 육불화항(SF_6)을 사용할 수 있다. 다만, 본 발명에 따른 공정가스(40)가 반드시 SF_6에 한정되는 것은 아니고, CF_4, C_3F_6 또는 이에 O_2 등을 혼합 사용하는 경우 등과 같이 F를 포함하는 모든 공지의 물질을 포함할 수 있다. 이러한 공정가스(40)는 플라즈마 발생기(50)에 의해 플라즈마로 유도된다.

[0053] 여기서, 플라즈마 발생기(50)는 공정가스(40)를 공급받아 플라즈마를 유도하고 이를 분사하는 기기로서, 예를 들어, ICP 또는 RIE를 사용할 수 있다(다만, 반드시 이에 한정될 필요 없음). 이때, 유도된 플라즈마를 분사하는 플라즈마 분사구는 기판(10)보다 높은 위치에 배치되어, 플라즈마는 기판(10)의 상면을 향해 분사된다. 따라서, 플라즈마 이온은 기판(10)의 하면에 배치된 흑린 단편(1)과 직접적인 물리적 충돌 없이, 반응챔버(20) 내부로 확산되는데, 이때 상술한 흑린 단편(1)과 반응챔버(20)의 바닥면 사이 공간으로 침투하여, 흑린 단편(1)을 화학적으로 식각한다.

[0055] 종합적으로, 본 발명에 따르면, 공정가스를 공급받아 플라즈마를 유도하고, 기판(10)의 하면에 흑린 단편(1)을 배치하여, 플라즈마 이온에 의한 직접 충돌 없이 확산에 의한 화학적 방법만으로 흑린을 식각함으로써, 이온 충돌에 의한 결정구조의 손상을 방지한다. 또한, 본 발명은 공정가스(40)를 활용한 화학적 건식 식각방법을 통해 흑린의 두께를 조절하는바, 용액을 사용하는 습식 식각에 비해 용이하게 흑린의 두께를 조절할 수 있다.

[0057] 한편, 본 발명의 제1 실시예에 따른 흑린 식각장치에서는 플라즈마 이온과 흑린 단편(1)의 상호 충돌을 방지하기 위해서, 플라즈마가 조사되는 기판(10) 표면(상면)의 반대쪽 하면에 흑린 단편(1)을 배치하였으나, 이와 다른 방식으로 플라즈마 이온과의 충돌을 피할 수도 있는바, 이하에서 설명한다.

[0059] 도 2는 본 발명의 제2 실시예에 따른 흑린 식각장치를 개략적으로 도시한 단면도이다.

[0060] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 제2 실시예에 따른 흑린 식각장치는 상면에 흑린 단편(1)이 고정되는 기판(100), 내부에 기판(100)을 수용하는 반응챔버(200), 흑린 단편(1)과 이격되도록, 기판(100)의 상향에 배치되는 커버(300), 커버(300)를 지지하는 지지대(400), 휘발성 부산물을 생성하는 공정가스(500), 및 공정가스(500)를 공급받아 플라즈마를 유도하고, 플라즈마를 상기 커버(300) 방향으로 분사하여, 플라즈마 이온 확산에 의해 흑린 단편(1)을 식각하는 플라즈마 발생기(600)를 포함한다.

[0062] 본 실시예에 따른 흑린 식각장치는 기판(100), 반응챔버(200), 커버(300), 지지대(400), 공정가스(500), 및 플라즈마 발생기(600)를 포함하는데, 특히, 기판(100), 반응챔버(200), 공정가스(500), 및 플라즈마 발생기(600)는 상술한 제1 실시예에 따른 기판(10, 도 1 참조), 반응챔버(20, 도 1 참조), 공정가스(40, 도 1 참조) 및 플라즈마 발생기(50, 도 1 참조)와 동일 내지 유사하므로, 이하에서는 차이점을 중심으로 설명하고, 중복되는 내용에 대해서는 설명을 생략하거나, 간단하게만 기술한다.

[0064] 여기서, 기판(100)은 제1 실시예와 달리 그 상면에 흑린 단편(1)을 고정하고, 진공 상태의 반응챔버(200) 내부에 배치된다.

[0066] 커버(300)는 플라즈마 발생기(600)에서 유도되어 조사되는 플라즈마 이온이 흑린 단편(1)에 직접 충돌하는 것을 방지하기 위해서 사용되는 부재이다. 구체적으로, 커버(300)는 흑린 단편(1)보다 크기가 크고, 흑린 단편(1)보다 위쪽에, 즉 흑린 단편(1)과 소정의 간격을 두고 이격되도록 기판(100)보다 상향에 배치된다.

[0068] 이때, 지지대(400)가 커버(300)를 지지하여 고정한다. 여기서, 지지대(400)는 기판(100)에서부터 연장되거나, 또는 반응챔버(200)의 내면이나 바닥면에서부터 연장되어(도시되지 않음), 커버(300)에 연결된다.

[0070] 한편, 플라즈마 발생기(600)의 플라즈마 분사구는 커버를 사이에 두고, 기판(100)과 대향하는 위치에 배치된다. 따라서, 플라즈마 분사구에서 분사되는 플라즈마는 커버(300)에 의해 차단되므로, 기판(100) 상의 흑린 단편(1)과 서로 충돌하지 않고, 흑린 단편(1)과 커버(300) 사이의 이격된 공간으로 플라즈마 이온이 확산되어 흑린 단편(1)의 표면을 식각한다.

[0072] 본 실시예에 의한 경우에도, 플라즈마 이온과 흑린 단편(1) 사이에 물리적 충돌이 발생하지 않고, 화학적 건식 식각방식에 의해 흑린을 식각하므로, 흑린 결정구조의 손상을 방지하면서, 쉽고 간단하게 흑린의 두께를 조절할 수 있다.

[0074] 한편, 본 발명에 따른 흑린 식각장치는 흑린 단편(1)의 두께를 측정하고, 여러 가지 요소를 제어하여 식각비율을 조절할 수 있는바, 이하에서 관련 사항을 설명한다. 여기서, 관련 사항은 도 3을 토대로 설명하는데, 비록 도 3에서는 제1 실시예에 따른 흑린 식각장치에 관한 도 1를 기준으로 후술할 구성을 추가 도시하였으나, 제2 실시예에 따른 흑린 식각장치(도 2 참조)에도 후술하는 구성이 추가될 수 있다.

[0076] 도 3은 본 발명의 제3 실시예에 따른 흑린 식각장치를 개략적으로 도시한 단면도이다.

[0077] 도 3과 같이, 본 발명의 실시예에 따른 흑린 식각장치는 두께측정기(60)를 더 포함할 수 있다. 여기서, 두께측정기(60)는 식각되는 흑린 단편(1)의 두께를 실시간으로 측정하여, 원하는 두께의 흑린 박막을 얻게 한다.

[0078] 구체적으로, 두께측정기(60)는 라만분광법을 이용하거나, 또는 두께에 따라 가변적인 전기적 특성을 이용하여 흑린 단편(1)의 두께를 측정할 수 있다.

[0080] 먼저, 라만분광법을 이용하는 두께측정기(60)는 광원, 및 분광기를 포함한다. 여기서, 광원이 흑린 단편(1)에 광을 조사하고, 분광기가 흑린 단편(1)에서 반사된 광을 수광하여 반사광의 라만분광을 측정한다. 라만분광법에 의하면 각 피크(peak)들의 포지션 (position), FWHM (Full width at half maxmium) 정보를 통해 샘플의 결정성 등의 물성 변화를 확인할 수 있고, 이를 통해 두께 변화를 측정할 수 있다.

[0082] 가변적인 전기적 특성을 이용하는 경우에, 두께측정기(60)는 전원, 및 데이터 측정기를 포함한다. 여기서, 전원이 흑린 단편(1)에 전압을 인가하는데, 흑린은 두께에 따라 물성이 변하므로, 흑린 단편(1)의 두께가 줄어들면, 전기적 데이터가 변한다. 이때, 데이터 측정기가 그 전기적 데이터를 측정하고, 데이터 변화량을 분석하여 흑린 단편(1)의 두께를 측정한다.

[0084] 또한, 본 발명에 따른 흑린 식각장치는 가스제어기(90)를 더 포함할 수 있다. 가스제어기(90)는 배관을 따라 플라즈마 발생기(50)로 유입되는 공정가스(40)의 양을 조절함으로써, 유도되는 플라즈마 이온 양을 제어하여 식각비율을 조절한다. 이때, 가스제어기(90)는 두께측정기(60)와 상호동작하여, 측정된 흑린 단편(1)의 두께를 실시간으로 모니터하면서 정교하게 가스량을 제어할 수 있다.

[0086] 식각비율 조절을 위해서, 본 발명에 따른 흑린 식각장치는 플라즈마 발생기(50)의 출력을 제어하는 출력제어기(70)를 더 포함할 수 있다. 출력제어기(70)는 플라즈마 발생기(50)의 출력을 제어하여 생성되는 플라즈마의 양을 조정함으로써 식각비율을 조절하는데, 이때에도 두께측정기(60)와 상호동작하여 흑린 단편(1)의 두께를 모니터하고 그 두께에 따라 출력을 제어할 수 있다.

[0088] 또한, 시간제어기(80)를 포함하여, 플라즈마의 노출 시간을 조절함으로써, 식각비율을 제어할 수도 있다. 이때에도 시간제어기(80)는 두께측정기(60)와 상호동작 가능하다.

[0090] 이하에서는 실험 데이터 등을 통해, 본 발명에 따른 흑린 식각장치의 상술한 효과가 구현됨을 설명한다.

[0092] 도 4는 식각하기 전 흑린의 투과전자현미경(TEM) 및 전자회절 패턴(SAED) 이미지이고, 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 흑린 식각장치에 의해 식각된 흑린의 투과전자현미경(TEM) 및 전자회절 패턴(SAED) 이미지이다. 또한, 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 흑린 식각장치에 의해 식각된 흑린의 광학이미지, 원자현미경(AFM) 이미지, 및 높이 프로파일이고, 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 흑린 식각장치의 플라즈마 노출 시간에 따라 식각된 흑린의 광학이미지이며, 도 8 내지 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 흑린 식각장치에 의한 식각 후에 라만분광법을 통해 측정한 흑린의 물성변화 그래프이다.

[0094] 도 4 내지 도 5에서는, 본 발명에 따른 흑린 식각장치를 이용해 흑린을 식각하는 경우에 흑린 결정구조가 손상되는지 여부를 확인하기 위해서, 흑린 샘플의 식각 전 투과전자현미경 이미지(도 4의 (a)) 및 전자회절패턴 이미지(도 4의 (b))와, 식각 후 투과전자현미경 이미지(도 5의 (a)) 및 전자회절패턴 이미지(도 5의 (b))를 상호 비교하였다.

[0095] 그 결과, 결정성이 깨진 샘플의 경우에는 전자회절패턴 이미지의 패턴 모양이 원형으로 보이거나, 그 패턴이 명확하게 드러나지 않는데, 도 5에서와 같이 본 발명에 따른 플라즈마 처리 후에도 그 패턴이 선명하게 보이는바, 흑린 샘플에 손상이 거의 없다는 것을 알 수 있다.

[0096] 또한, 도 6과 같이, 30초간 플라즈마 처리를 한 경우에 그 두께가 약 10 nm 감소함을 확인했다.

[0098] 도 7에서는, 플라즈마 노출 시간에 따른 식각 정도를 알아보기 위해서, 0에서부터 15초 동안, 3초 간격으로 노출 시간을 바꾸면서 흑린 샘플의 광학이미지를 촬영하였다.

[0099] 시간에 따라 도 7의 (a)에서부터 (f) 순서대로 광학이미지를 얻고, 이를 분석한 결과, 15초 이후에 매우 얇은 수준의 두께로 에칭됨을 확인하였고, 이를 통해 플라즈마 노출 시간에 따라 식각비율이 조절될 수 있음을 알 수 있다.

[0101] 도 8 내지 도 9에서는, 라만분광법에 따라 흑린 샘플의 두께 변화를 확인하였다. 여기서, 흑린 샘플의 A^1_g, A^2_g peak와 Si 기판의 peak intensity 비교를 통해 두께 변화를 확인할 수 있는데, 실험 결과 스펙트럼의 FWHM은 크게 변하지 않았으나, intensity ratio가 점차 감소하였는바, 이를 통해 흑린 샘플의 두께가 감소하는 변화량을 분석하여 그 두께를 측정할 수 있을 것이다.

[0103] 이상 본 발명을 구체적인 실시예를 통하여 상세히 설명하였으나, 이는 본 발명을 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명은 이에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상 내에서 당 분야의 통상의 지식을 가진 자에 의해 그 변형이나 개량이 가능함이 명백하다.

[0105] 본 발명의 단순한 변형 내지 변경은 모두 본 발명의 영역에 속한 것으로 본 발명의 구체적인 보호 범위는 첨부된 특허청구범위에 의하여 명확해질 것이다.

부호의 설명

[0107] 1: 흑린 단편 10, 100: 기판

20, 200: 반응챔버 30, 400: 지지대

40, 500: 공정가스 50, 600: 플라즈마 발생기

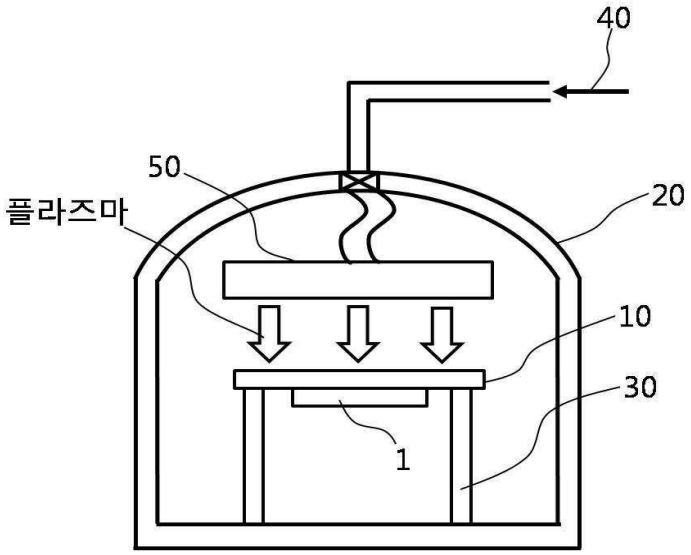
60: 두께측정기 70: 출력제어기

80: 시간제어기 90: 가스제어기

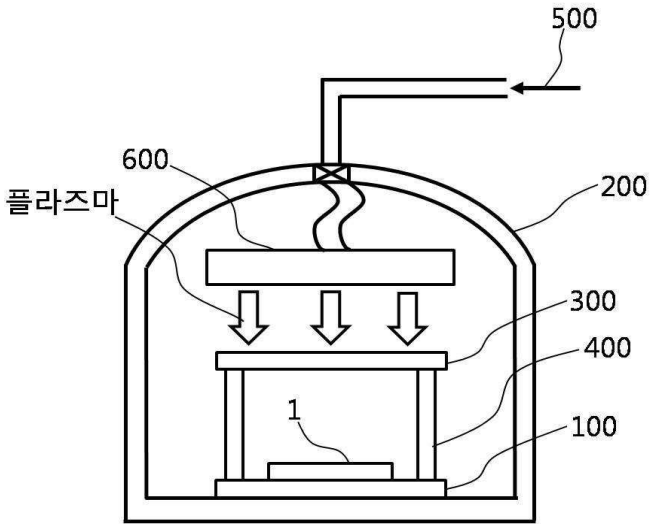
300: 커버

도면

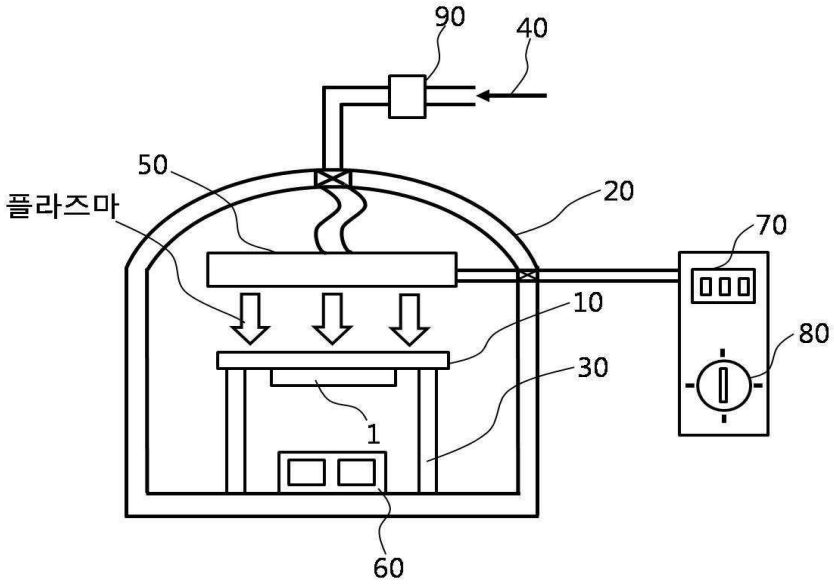
도면1



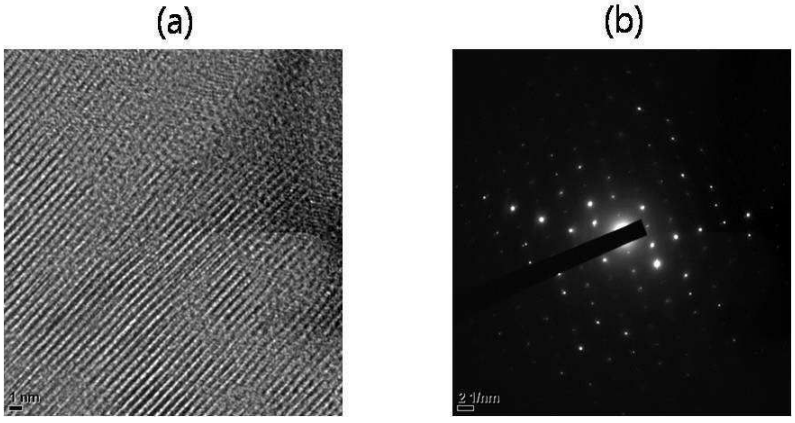
도면2



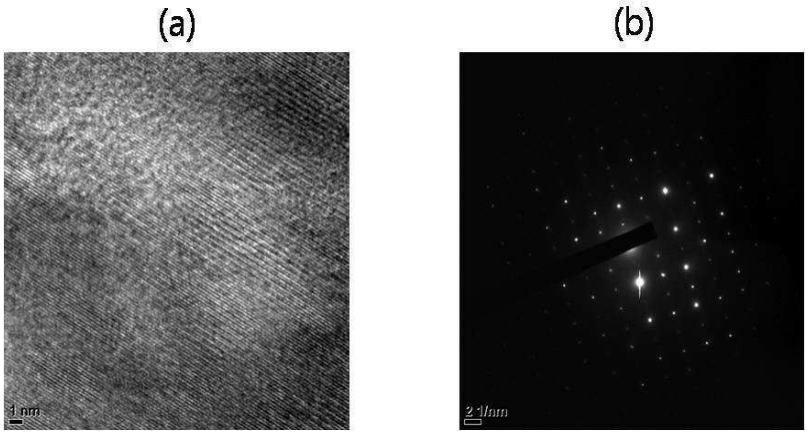
도면3



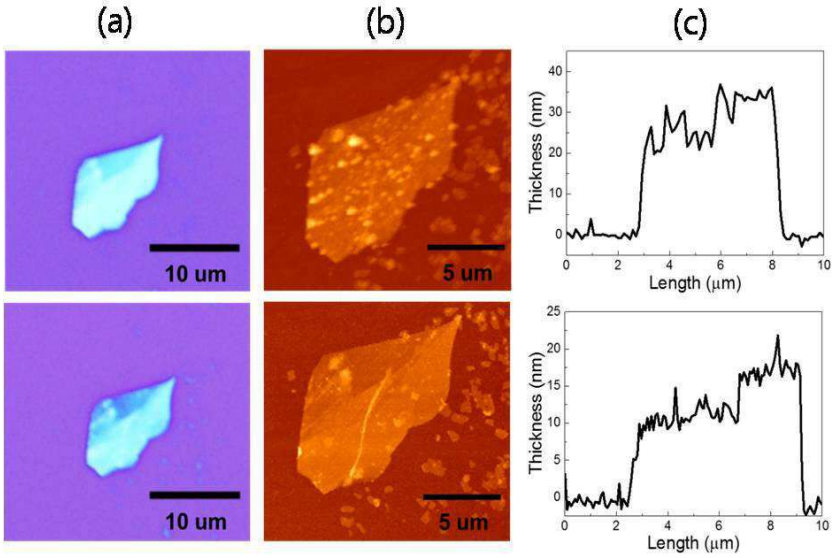
도면4



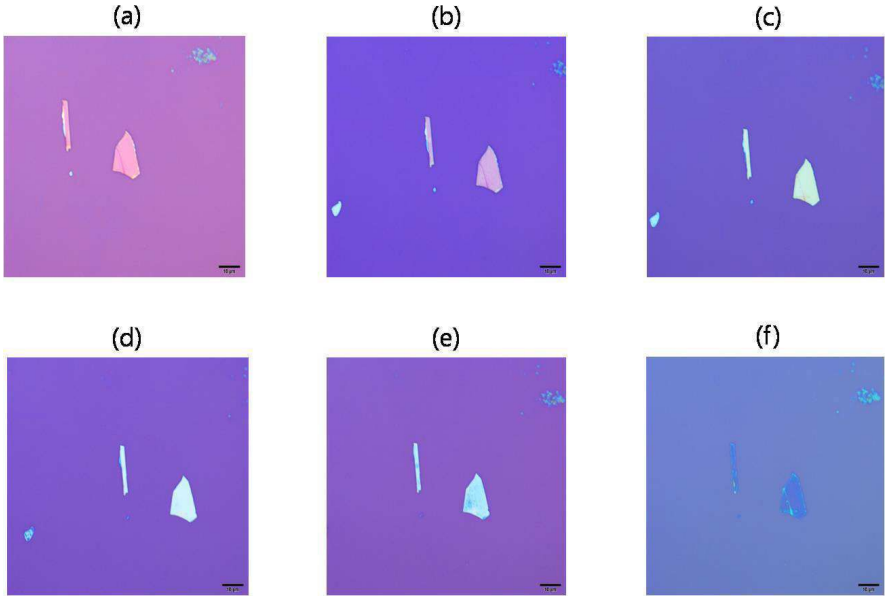
도면5


(a)
(b)
1 nm

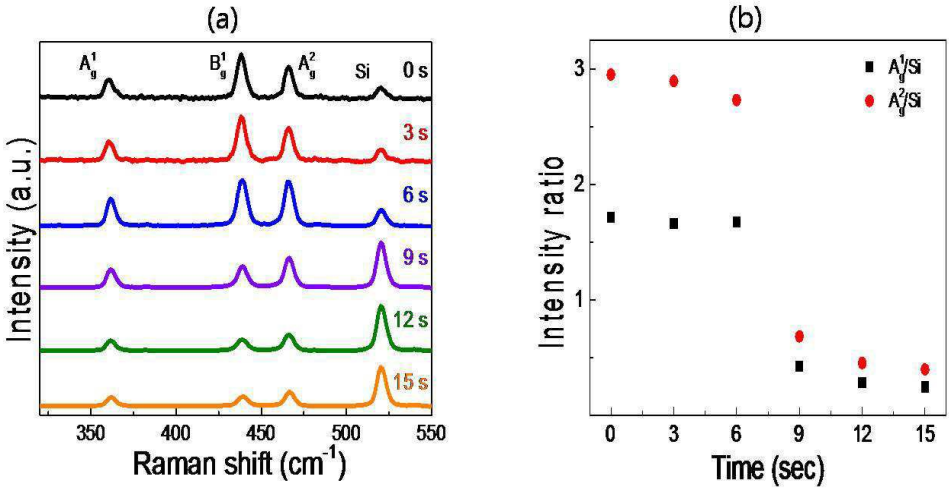
도면6


(a)
(b)
(c)
10 um
5 um
10 um
5 um
Thickness (nm)
Length (μm)
Thickness (nm)
Length (μm)

도면7


(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
(f)

도면8


(a)
A1g
B1g
A2g
Si
0 s
3 s
6 s
9 s
12 s
15 s
Intensity (a.u.)
350
400
450
500
550
Raman shift (cm-1)
(b)
A1g/Si
A2g/Si
Intensity ratio
1
2
3
0
3
6
9
12
15
Time (sec)