



- (51) 국제특허분류:
G01Q 60/26 (2010.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2012/003730
- (22) 국제출원일: 2012년 5월 11일 (11.05.2012)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2011-0043811 2011년 5월 11일 (11.05.2011) KR
- (71) 출원인 (US 을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여): 건국대학교 산학협력단 (KONKUK UNIVERSITY INDUSTRIAL COOPERATION CORP.) [KR/KR]; 서울특별시 광진구 아차산로 263, 143-729 Seoul (KR).
- (72) 발명자: 겸
- (75) 발명자/출원인 (US 에 한하여): 박배호 (PARK, Bae Ho) [KR/KR]; 서울특별시 강남구 압구정동 한양아파트 7 동 601 호, 135-794 Seoul (KR). 최진식 (CHOI, Jin Sik) [KR/KR]; 서울특별시 광진구 화양동 건국대학교 과학관 507 호, 143-701 Seoul (KR).
- (74) 대리인: 이은철 (LEE, Un Cheol); 서울특별시 강남구 테헤란로 123 11 층 5T 국제특허법률사무소, 135-748 Seoul (KR).

- (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

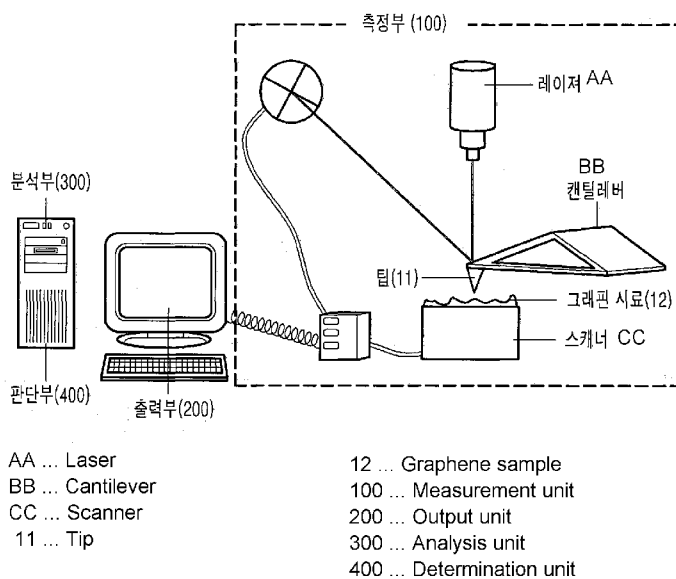
공개:

- 국제조사보고서 없이 공개하며 보고서 접수 후 이를 별도 공개함 (규칙 48.2(g))

(54) Title: GRAPHENE DOMAIN MEASUREMENT SYSTEM AND METHOD USING AFM FRICTION MAPPING

(54) 발명의 명칭 : AFM 마찰력 매핑을 이용한 그래핀 도메인 측정 시스템 및 그 방법

[Fig. 1]



(57) Abstract: The present invention relates to a graphene domain measurement system and method using AFM friction mapping, in which a graphene sample is rotated clockwise and is measured in order to allow the rotation angle from an initial measurement point to the final measurement point to be more than 180°; the same graphene sample is measured several times, e.g. at least five times, while the graphene sample is rotated clockwise; it is analyzed that the shading difference of the obtained friction mapping image relates to the direction in which the AFM tip progresses and the wrinkle direction of the graphene; and thus, the wrinkle direction of the graphene is obtained. In order to achieve the above goal, the present invention includes: measuring a graphene sample through an AFM microscope set to a Friction Mode, by using a measurement unit; adjusting a contrast range to the periphery of the graphene sample while an output unit outputs a friction mapping image; using the output unit to output a friction profile graph with respect to a specific portion obtained by horizontally cutting the friction mapping image; analyzing a relation between the direction in which the AFM tip progresses and the wrinkle direction of the graphene by using the friction profile graph; and determining the wrinkle direction of the graphene by using a contrast shading difference between each domain through the friction mapping image while using information analyzed by the determination unit.

ection of the graphene by using a contrast shading difference between each domain through the friction mapping image while using information analyzed by the determination unit.

(57) 요약서:

[다음 쪽 계속]



본 발명은 초기측정지점으로부터 최종측정지점까지의 회전각이 180° 이상 되도록 그래핀 시료를 시계방향으로 회전 시키면서 측정하되, 상기 그래핀 시료를 회전시키는 동안 최소 5 회 이상 동일한 그래핀 시료를 수회 측정함으로써, 얻어지는 마찰력 맵핑 이미지의 명암차이가 상기 AFM 팁 진행방향과 상기 그래핀의 주름방향과의 관계가 있음을 분석하고 이를 통해 그래핀의 주름방향을 알아내는 AFM 마찰력 매핑을 이용한 그래핀 도메인 측정 시스템 및 그 방법에 관한 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 측정부가 마찰력 모드(Friction Mode)로 설정된 AFM 현미경으로 그래핀 시료를 측정하는 과정; 출력부가 마찰력 맵핑 이미지를 출력하되, 콘트라스트(contrast) 범위를 그래핀 시료 주변으로 맞추도록 최소범위로 조정하는 과정; 상기 출력부가 상기 마찰력 맵핑 이미지를 횡적으로 자른 특정부분에 대한 마찰력 프로파일 그래프를 출력하는 과정; 상기 마찰력 프로파일 그래프를 이용하여 상기 AFM 팁 진행방향과 상기 그래핀의 주름방향의 관계를 분석하는 과정; 및 판단부가 분석한 정보를 이용하되, 상기 마찰력 맵핑 이미지를 통해, 각각의 도메인 간에 대비되는 명암차이를 이용하여, 그래핀의 주름방향을 판단하는 과정;을 포함한다.

명세서

발명의 명칭: AFM 마찰력 매핑을 이용한 그래핀 도메인 측정 시스템 및 그 방법

기술분야

- [1] 본 발명은 AFM 마찰력 매핑을 이용한 그래핀 도메인 측정 시스템 및 그 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 AFM 현미경의 팁(tip)이 그래핀의 표면에 접촉하여 수평방향으로 힘을 가했을 때 나타나는 마찰력의 결과를 통해 그래핀의 주름방향을 판단 및 결정하는 AFM 마찰력 매핑을 이용한 그래핀 도메인 측정 시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 2004년 테이프를 이용하여 흑연에서 원자 한 층으로 이루어진 그래핀을 분리해 내는데 성공한 이후로, 그래핀을 소자에 응용하기 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 이렇게 분리된 그래핀에서는 전자 이동속도가 빠를 뿐만 아니라 구리보다도 100배 이상 전기가 잘 통한다. 뿐만 아니라 강도가 높아 휘거나 비틀어도 부서지지 않는 성질을 가지고 있다. 이러한 전기적, 구조적 특성들로 인해 플렉서블 전자기기 및 투명전극을 대체할 수 있는 '꿈의 신소재'로 불리고 있다.
- [3] 그래핀의 우수한 물성은 완벽한 2차원의 hexagonal symmetry에서 기인하지만, 실제로 제조된 그래핀 박막의 경우 완벽한 hexagonal symmetry를 가지고 있는 것이 아니라, 다양한 구조적 결함들을 가지고 있어 이상적인 특성을 얻지 못하고 있는 문제점이 있었다. 즉, 그래핀의 구조적 결함은 그래핀의 완벽한 대칭성을 깨트리게 되고, 이것이 상술한 그래핀의 우수한 물성을 구현할 수 없게 만드는 문제가 있었다.
- [4] 일반적으로 안정된 구조 위에 성장시켜 소자가 될 때까지 그 상태가 유지되는 다른 소재들과 달리, 그래핀은 원하는 지점이나 다른 소재 위에 위치시키기 위해 박리법을 사용하거나 트랜스퍼 공정을 거치게 되어 있기 때문에 그래핀 면의 수평방향으로 가해진 복잡한 압력들이 최종적으로 증착이 된 후에도 남아있게 된다. 이러한 압력들이 결국 그래핀의 구조적인 결함을 만들게 되고, 탄소의 완벽한 hexagonal symmetry를 깨뜨려 그래핀의 이상적인 전기적 특성을 저해하게 되는 것이다.
- [5] 종래에 사용하는 광학현미경, 라만분광법과 같은 측정방법으로는 이러한 구조적 결함들을 발견할 수 없었기 때문에 문제가 있었다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [6] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 감안하여 안출된 것으로, 초기측정지점으로부터 최종측정지점까지의 회전각이 최소 180° 이상 되도록

그래핀 시료를 일정 각도로 나누어 회전시키면서 측정하되, 얻어지는 마찰력 맵핑 이미지의 명암차이가 상기 AFM 팁 진행방향과 상기 그래핀의 주름방향과의 관계가 있음을 분석하는 AFM 마찰력 매핑을 이용한 그래핀 도메인 측정 시스템 및 그 방법을 제공함에 있다.

- [7] 그리고, AFM 팁이 그래핀의 표면에 접촉하여 수평방향으로 힘을 가했을 때 나타나는 마찰력의 결과를 통해 그래핀의 주름방향을 알아내는 AFM 마찰력 매핑을 이용한 그래핀 도메인 측정 시스템 및 그 방법을 제공함에 있다.

과제 해결 수단

- [8] 이러한 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명은, 측정부가 마찰력 모드(Friction Mode)로 설정된 AFM 현미경으로 그래핀 시료를 측정하는 과정; 출력부가 마찰력 맵핑 이미지를 출력하되, 콘트라스트(contrast) 범위를 그래핀 시료 주변으로 맞추도록 최소범위로 조정하는 과정; 상기 출력부가 상기 마찰력 맵핑 이미지를 횡적으로 자른 특정부분에 대한 마찰력 프로파일 그래프를 출력하는 과정; 상기 마찰력 프로파일 그래프를 이용하여 상기 AFM 팁 진행방향과 상기 그래핀의 주름방향의 관계를 분석하는 과정; 및 판단부가 분석한 정보를 이용하되, 상기 마찰력 맵핑 이미지를 통해, 각각의 도메인 간에 대비되는 명암차이를 이용하여, 그래핀의 주름방향을 판단하는 과정;을 포함한다.

발명의 효과

- [9] 상기와 같은 본 발명에 따르면, AFM 현미경의 팁(tip)이 그래핀의 표면에 접촉하여 수평방향으로 힘을 가했을 때 나타나는 마찰력의 결과를 통해 그래핀의 주름방향을 파악하여, 고품질의 그래핀 막을 개발함에 있어, 그래핀 시료의 구조적 결함을 검출할 수 있다.
- [10] 또한, 마찰력이 접촉부의 진행 방향에 따라 변하는 현상을 가진 주름진 그래핀 소자의 상태를 이용하면, 마이크로 소자의 접촉부에 180° 주기로 마찰력이 바뀌는 윤활제로도 사용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [11] 도 1은 본 발명의 일실시에에 따른 AFM 마찰력 매핑을 이용한 그래핀 도메인 측정 시스템의 구성도.
- [12] 도 2는 본 발명의 일실시에에 따른 AFM 현미경을 통해 측정한 마찰력 맵핑 이미지로서, 도 2a는 높이측정 모드(Topography Mode)로 측정한 이미지, 도 2b는 마찰력 모드(Friction Mode)로 측정한 이미지.
- [13] 도 3은 AFM 현미경을 통해 출력한 이미지로서, 도 3a는 본 발명의 일실시에에 따른 마찰력 모드(Friction Mode)를 이용하여 출력한 마찰력 맵핑 이미지, 도 3b는 마찰력 맵핑 이미지를 횡적으로 자른 특정부분에 대한 마찰력 프로파일 그래프.
- [14] 도 4는 본 발명의 일실시에에 따라 그래핀을 회전시키는 동안 변화하는 마찰력 비율을 플로팅(plotting) 하여 얻은 연속적 그래프.

- [15] 도 5a 는 본 발명의 일실시에에 따른 그래핀의 주름방향과 AFM 팁 진행방향 간의 개략도, 도 5b 는 AFM 팁이 그래핀의 주름방향과 수직방향으로 이동하는 도면, 도 5c 는 AFM 팁이 그래핀의 주름방향과 일치하는 방향으로 이동하는 도면.
- [16] 도 6 은 본 발명의 일실시에에 따른 그래핀의 주름방향과 마찰력과의 관계를 나타내는 도시도.
- [17] 도 7 은 본 발명의 일실시에에 따른 AFM 마찰력 매핑을 이용한 그래핀 도메인 측정방법에 따른 흐름도.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [18] 본 발명의 구체적 특징 및 이점들은 첨부도면에 의거한 다음의 상세한 설명으로 더욱 명백해질 것이다. 이에 앞서 본 발명에 관련된 공지 기능 및 그 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는, 그 구체적인 설명을 생략하였음에 유의해야 할 것이다.
- [19] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명을 상세하게 설명한다.
- [20] 본 발명의 AFM 마찰력 매핑을 이용한 그래핀 도메인 측정 시스템 및 그 방법에 관한 것으로서, 도 1 내지 도 7 을 참조하여 설명하면 다음과 같다.
- [21]
- [22] 도 1 은 본 발명의 일실시에에 따른 AFM 마찰력 매핑을 이용한 그래핀 도메인 측정 시스템의 구성도이다. 통상적인 AFM 현미경을 사용하며, AFM 팁(11)과 그래핀 시료(12) 및 기타 장치가 포함되어 있다.
- [23] 본 발명의 시스템은 측정부(100), 출력부(200), 분석부(300), 판단부(400)를 포함한다.
- [24]
- [25] 도 2 는 본 발명의 일실시에에 따른 AFM 현미경을 통해 측정한 마찰력 맵핑 이미지이다. 도 2a 는 높이측정 모드(Topography Mode)로 측정한 이미지이며, 도 2b 는 마찰력 모드(Friction Mode)로 측정한 이미지이다.
- [26]
- [27] 측정부(100)는 박리된 그래핀 시료(12)를 측정하는 것으로, 측정부는 AFM 현미경으로 구성되어 있으며, 높이측정 모드(Topography Mode)와 마찰력 모드(Friction Mode)로 설정하여 측정할 수 있다.
- [28] 높이측정 모드(Topography Mode)는 그래핀 측정 시 높이 정보를 알 수 있는 이미지를 측정할 수 있는 모드이고, 마찰력 모드(Friction Mode)는 그래핀 측정시 각 그래핀의 마찰력 정보를 알 수 있는 이미지를 측정 할 수 있는 모드이다. 도 2a 가 높이측정 모드(Topography Mode)로 측정한 것인데, 기판인 SiO₂ 와 그래핀의 높이가 구별되는 것을 보여준다. 도 2b 는 마찰력 모드(Friction Mode)로 측정한 것으로서, AFM 팁(11)과의 마찰력의 차이를 이미지 명암의 차이로 보여준다. 특이한 점으로는, 성질이 다른 SiO₂와 그래핀에서 마찰력이 다르게 나타나는

현상 이외에, 동일한 성질을 가지는 그래핀 내에서 높이측정 모드에서는 보이지 않지만 마찰력으로만 차이가 보이는 도메인이 존재하는 것을 확인할 수 있다는 것이다.

- [29] AFM 현미경을 이용하여 그래핀의 높이측정 모드(Topography Mode)와 마찰력 모드(Friction Mode)로 측정하는 방법은 통상적인 방법으로, 상세히 설명하지 않는다. 다만, 본 발명은 단순히 그래핀을 측정하는 것이 아니라, 그래핀의 주름방향을 판단하기 위한 것인바, 측정하는 방법에 있어서, AFM 현미경의 마찰력 모드(Friction Mode)를 사용하는데, 초기측정지점으로부터 최종측정지점까지의 회전각이 최소 180° 이상 되도록 그래핀 시료(12)를 회전시키면서 측정하되, 그래핀 시료(12)의 회전을 제외한 진행 속도나 팁이 시료를 누르는 힘과 같은 나머지 조건들은 유지하면서 측정을 한다. 이때, 상기 그래핀 시료(12)를 일정 각도로 최소 5회 이상 나누어 회전시켜 측정하되(5개 회전각의 예: 0° , 45° , 90° , 135° , 180°), 최종측정지점까지의 회전각이 최초측정지점을 기준으로 했을 때 최소 180° 이상 회전되어야 한다. 이는 후술하겠으나, 0° 부터 180° 에 대하여 그래핀과 AFM 팁(11) 사이에 관한 마찰력의 주기성을 분석하기 위함이다.

[30]

- [31] 도 3은 AFM 현미경을 통해 출력한 이미지로서, 도 3a는 본 발명의 일실시에 따른 마찰력 모드(Friction Mode)를 이용하여 출력한 마찰력 맵핑 이미지이고, 도 3b는 마찰력 맵핑 이미지를 횡적으로 자른 특정부분에 대한 마찰력 프로파일 그래프이다.

- [32] 출력부(200)는 상기 마찰력 모드(Friction Mode)를 이용하여 상기 그래핀 시료(12)의 마찰력 맵핑 이미지를 출력하고, 사용자의 입력신호를 받아 상기 마찰력 맵핑 이미지를 횡적으로 자른 특정부분에 대한 마찰력 프로파일 그래프를 출력한다.

- [33] 이 때, 출력부(200)는 콘트라스트(contrast) 범위를 그래핀 시료(12) 주변으로 맞추도록 최소범위로 조정하여, 각각의 도메인 간에 대비되는 명암차이를 표시한 마찰력 맵핑 이미지를 출력한다. 통상의 콘트라스트(contrast) 범위를 이용하는 경우, 기판인 SiO_2 와 그래핀 간의 차이만 알 수 있을 뿐, 그래핀 자체의 도메인 간에 명암차이까지 표시하기 어렵기 때문이다.

- [34] 도 3a는 그래핀 시료(12)의 마찰력 정보에 관한 마찰력 맵핑 이미지로서, 상술한 바와 같이 그래핀 시료(12)를 0° 내지 180° 사이에서 일정 각도로 최소 5회 이상 나누어 회전시킴으로써, 동일한 그래핀 시료(12)를 측정하면서 출력되는 이미지이다.

- [35] 출력되는 이미지를 보면 알 수 있듯이, 보통 박리된 그래핀 시료(12)의 경우, 명암을 달리하는 몇 가지 도메인으로 구분되어 있음이 명확히 알 수 있다. 설명의 편의상 각각의 도메인을 I, II, III로 표현하나, 이는 본 발명의 일실시에에 불과하여 반드시 3개의 도메인을 가지는 것도 아니며, 1개 이상의 도메인을 가질

수 있다. 다만, 복수개의 도메인이 측정되더라도 본 발명의 분석 및 판단방법은 동일하다.

[36]

[37] 도 3b 는 도 3a 의 마찰력 맵핑 이미지를 횡적으로 자른 특정부분에 대한 마찰력 프로파일 그래프로서, 출력부(200)는 도 3a 의 점선부분에 대한 마찰력 신호를 읽어 이를 그래프로 출력한다. AFM 팁(11)이 그래핀 시료(12)를 측정하기 위해 앞/뒤로 움직이는데, 이때 그 마찰력의 차이를 Y축으로 하여 그 관계를 그래프화시킬 수 있다. 도 3b 의 그래프를 보면 알 수 있듯이 명암을 달리하는 도메인 경계에서 마찰력 신호 역시 큰 차이로 변화하고 있음을 알 수 있다.

[38]

[39] 분석부(300)는 도 3b 의 마찰력 프로파일 그래프를 이용하여 AFM 팁(11)의 진행방향과 그래핀의 주름방향의 관계를 분석한다.

[40] 도 4 는 본 발명의 일실시에에 따라 그래핀을 회전하는 동안 변화하는 마찰력 비율을 플로팅(plotting) 하여 얻은 연속적 그래프이다.

[41] 분석부(300)는 먼저 상기 출력부(200)에서 출력한 도 3b 의 마찰력 프로파일 그래프를 이용하여, 회전에 따라 변하지 않는 기관(SiO_2)의 마찰력 신호를 기준으로 각각의 도메인의 마찰력 신호와의 비율을 산출한다. X축을 상기 그래핀의 회전각도로 하고, 산출된 마찰력의 비율을 Y축으로 하여, 해당되는 지점에 각각 플로팅(plotting)함으로써, 비연속적 그래프를 산출할 수 있는데, 이를 잘 조절하여 플로팅한 점을 연결하면 도 4와 같은 180° 주기를 갖는 sine 형 연속 그래프를 얻을 수 있다.

[42] 도 4 의 그래프를 보면 알 수 있듯이, 각각의 도메인마다 약 180° 주기를 가지고 마찰력의 비율이 변화함을 알 수 있다. 이는 도 2a 의 AFM 마찰력 맵핑 이미지에 있어서, 도메인간의 명암차이는 즉, 도메인 I,II,III 간의 명암차이는 그래핀의 구조인 6각형(hexagonal)에 기인한 특성이 아니라, AFM 팁(11)의 진행방향과 상기 그래핀의 주름방향의 관계에 기인한 것임을 보여주는 실험으로 분석 할 수 있다.

[43] 좀 더 구체적으로, 그래핀의 구조인 6각형(hexagonal)에 기인하는 경우라면 60° 의 주기로 마찰력이 변화해야 하는 것이지만, 이와 달리 실험상 180° 의 주기로 변화하기 때문에, 이는 남북 내지 좌우로 주름져 있는 그래핀의 주름방향과 관계가 있음을 분석해 낼 수 있는 것이다.

[44] 그래핀의 주름방향에 따라 AFM 팁(11)이 진행할 때 마찰력이 달라지기 때문에, AFM의 마찰력 모드(Friction Mode)에서 측정되는 신호 역시 그 주름방향에 따라 각각 달라지므로, 같은 주름방향을 가지고 있는 도메인은 같은 신호로 출력되고, 다른 주름방향을 가진 도메인 경계에서는 다른 이미지가 출력되는 원리를 이용하고 있다.

[45] 도 5a 는 본 발명의 일실시에에 따른 그래핀의 주름방향과 AFM 팁(11) 진행방향 간의 개략도이다. 도 5a에서 보면, 그래핀 시료(12)의 점선방향을

그레핀의 주름방향이라고 정의한다. 이때 AFM 팁(11)이 a 방향으로 움직일 때는 그레핀의 주름방향과 수직으로 이동하여 측정하는 것이고 반면, AFM 팁(11)이 b 방향으로 움직일 때는 그레핀의 주름방향과 일치하는 방향으로 이동하여 측정하게 된다.

[46] 도 5b 는 AFM 팁(11)이 그레핀이 주름방향과 수직방향으로 이동하는 모습을, 도 5c 는 AFM 팁(11)이 그레핀이 주름방향과 일치하는 방향으로 이동하는 모습을 도시하고 있다.

[47] 도 5b 에서 보면 알 수 있듯이, AFM 팁(11)이 그레핀이 주름방향과 수직방향으로 이동하는 경우, 그레핀 시료(12)가 AFM 팁(11)에 의해 잘 밀리기 때문에 AFM 팁(11)과 그레핀과의 접촉 면적이 넓어지게 되고, 그 결과 접촉 면적이 넓어질수록 그 저항이 많아지기 때문에 AFM 팁(11)과 그레핀 사이에 마찰력이 크게 측정된다.

[48] 반면, 도 5c에서 보면 알 수 있듯이, AFM 팁(11)이 그레핀 주름방향과 일치하는 방향으로 이동하는 경우, 그레핀 시료(12)가 밀리는 현상이 작아 그레핀과의 접촉면적에 크게 차이가 없어서, 상대적으로 AFM 팁(11)이 그레핀이 주름방향과 수직방향으로 이동하는 경우보다 저항이 크지 않고, 따라서 마찰력도 작은 결과로 측정된다.

[49] 즉, 분석부(300)는 상기 출력부(200)에서 출력한 마찰력 프로파일 그래프를 이용하여, 그레핀의 도메인간(I,II,III)의 명암차이가 AFM 팁(11)의 진행방향과 상기 그레핀의 주름방향의 관계에서 기인한 것임을 분석하고, AFM 팁(11)이 그레핀이 주름방향과 수직방향으로 이동하는 경우, 그레핀 시료(12)가 AFM 팁(11)에 의해 잘 밀리기 때문에 AFM 팁(11)과 그레핀 사이에 마찰력이 크게 측정되고, 반면에, AFM 팁(11)이 그레핀 주름방향과 일치하는 방향으로 이동하는 경우, 마찰력이 작게 측정되는 점을 이용하여 상기 출력부(200)에서 출력된 마찰력 맵핑 이미지를 분석한다.

[50]

[51] 판단부(400)는 상기 분석부(300)에서 분석한 정보를 이용하되, 상기 마찰력 맵핑 이미지를 통해, 그레핀의 주름방향을 판단한다.

[52] AFM의 마찰력 모드(Friction Mode)에서 측정되는 신호는 AFM 팁(11)이 진행하는 동안 저항을 많이 받을수록 즉, 마찰력의 크기가 클수록 신호 세기도 크게 나타나는 점을 이용한다. 따라서, 출력된 마찰력 맵핑 이미지에서 가장 밝은 부분이 마찰력이 가장 큰 부분으로, 가장 어두운 부분을 마찰력이 가장 작은 부분으로 판단한다.

[53] 그 외의 부분은 가장 어두운 부분과 가장 밝은 부분의 명암차이와 대비하여 주름방향을 유추해볼 수 있다. 도 6 을 보면 알 수 있듯이, 화살표 방향을 AFM 팁(11)의 진행방향이라고 한다면, 명암의 차이를 각도로 표현하여, 밝은 부분일수록 각도가 크게 표시하여 그레핀의 주름방향을 판단한다. 도 6 에서는 도메인 II 가 가장 밝으므로 각도가 가장 클 것이고, 따라서 주름방향 역시 AFM

팁(11)의 진행방향과 수직에 가까운 방향으로 판단한다.

- [54] 즉, 가장 어두운 부분을 AFM 팁(11)의 진행방향과 일치하다고 보고, 가장 밝은 부분을 AFM 팁(11)의 진행방향과 수직이라 기준을 잡은 후, 그 명암차이에 따라 각도에 대응시켜, 최종적으로 그래핀의 주름방향을 판단한다.

[55]

- [56] 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 AFM 마찰력 맵핑을 이용한 그래핀 도메인 측정방법에 따른 흐름도이다.

- [57] 측정부(100)가 AFM 현미경을 이용하여 박리된 그래핀 시료(12)를 측정하되, 높이측정 모드(Topography Mode)와 마찰력 모드(Friction Mode)를 이용하여 측정한다(S10). 이 때, 상기 측정부(100)는 AFM 현미경의 마찰력 모드(Friction Mode)를 사용하는데, 초기측정지점으로부터 최종측정지점까지의 회전각이 180° 이상 되도록 그래핀 시료(12)를 일정 각도로 최소 5회 이상 나누어 회전시키면서 측정한다.

- [58] 상기 S10 단계 측정시 상기 출력부(200)는 콘트라스트(contrast) 범위를 그래핀 시료(12) 주변으로 맞추도록 최소범위로 조정하여, 각각의 도메인 간에 대비되는 명암차이를 표시한 마찰력 맵핑 이미지를 출력한다.(S20).

- [59] 상기 S20 단계 이후, 상기 출력부(200)는 마찰력 맵핑 이미지를 형적으로 자른 특정부분에 대한 마찰력 프로파일 그래프를 출력한다(S30).

- [60] 상기 분석부(300)가 상기 S30 단계에서 출력한 상기 마찰력 프로파일 그래프를 이용하여 상기 AFM 팁(11) 진행방향과 상기 그래핀의 주름방향을 관계를 분석한다(S40).

- [61] 분석하는 방법은 자세하게 상술하였으나, 그 과정을 간략히 기재하면, 상기 분석부(300)가 먼저 상기 출력부(200)에서 출력한 마찰력 프로파일 그래프를 이용하여, 기판(SiO_2)의 마찰력 신호를 기준으로 각각의 도메인의 마찰력 신호와의 비율을 산출한다. X축을 상기 그래핀의 회전각도로 하고, 산출된 마찰력의 비율을 Y축으로 하여, 해당되는 지점에 각각 플로팅(plotting)함으로써, 비연속적 그래프를 산출할 수 있는데, 이를 잘 조절하여 플로팅한 점을 연결하면 180° 주기를 갖는 sine 형 연속 그래프를 얻을 수 있다. 이를 이용하여 AFM 팁(11) 진행방향과 상기 그래핀의 주름방향을 관계를 분석한다.

- [62] 상기 판단부(400)가 상기 S40 단계에서 분석한 정보를 이용하되, 상기 S20 단계에서 출력한 상기 마찰력 맵핑 이미지를 통해, 각각의 도메인 간에 대비되는 명암차이를 이용하여, 그래핀의 주름방향을 판단한다(S50).

- [63] 상기 S20 단계에서 출력한 마찰력 맵핑 이미지 중 가장 어두운 부분을 그래핀의 진행방향과 AFM 팁(11)의 진행방향과 일치하다고 판단하고, 가장 밝은 부분을 그래핀의 진행방향과 AFM 팁(11)의 진행방향과 수직이라 기준을 잡은 후, 그 명암차이에 따라 각도를 대응시켜, 최종적으로 그래핀의 주름방향을 판단한다.

[64]

- [65] 이상으로 본 발명의 기술적 사상을 예시하기 위한 바람직한 실시예와 관련하여 설명하고 도시하였지만, 본 발명은 이와 같이 도시되고 설명된 그대로의 구성 및 작용에만 국한되는 것이 아니며, 기술적 사상의 범주를 일탈함이 없이 본 발명에 대해 다수의 변경 및 수정이 가능함을 당업자들은 잘 이해할 수 있을 것이다. 따라서 그러한 모든 적절한 변경 및 수정과 균등물들도 본 발명의 범위에 속하는 것으로 간주되어야 할 것이다.

청구범위

- [청구항 1] AFM 현미경을 이용한 그래핀 도메인 측정 시스템에 있어서,
 높이측정 모드(Topography Mode)와 마찰력 모드(Friction Mode)로
 설정된 AFM 현미경을 이용하여 그래핀 시료(12)를 측정하는
 측정부(100);
 측정된 그래핀 시료(12)의 도메인을 출력하되, 상기 그래핀
 시료(12)의 마찰력 맵핑 이미지를 출력하고, 사용자의 입력신호를
 받아 상기 마찰력 맵핑 이미지를 횡적으로 자른 특정부분에 대한
 마찰력 프로파일 그래프를 출력하는 출력부(200);
 상기 마찰력 프로파일 그래프를 이용하여 상기 AFM 팁(11)
 진행방향과 상기 그래핀의 주름방향의 관계를 분석하는
 분석부(300); 및
 상기 분석부(300)에서 분석한 정보를 이용하되, 상기 마찰력 맵핑
 이미지를 통해, 그래핀의 주름방향을 판단하는 판단부(400); 를
 포함하는 것을 특징으로 하는 AFM 마찰력 맵핑을 이용한 그래핀
 도메인 측정 시스템.
- [청구항 2] 제 1 항에 있어서,
 상기 측정부(100)는,
 초기측정지점으로부터 최종측정지점까지의 회전각이 180° 이상
 되도록 그래핀 시료(12)를 일정 각도로 최소 5회 이상 나누어
 회전시키면서 측정하는 것을 특징으로 하는 AFM 마찰력 맵핑을
 이용한 그래핀 도메인 측정 시스템.
- [청구항 3] 제 1 항에 있어서,
 상기 출력부(200)는,
 콘트라스트(contrast) 범위를 그래핀 시료(12) 주변으로 맞추도록
 최소범위로 조정하여, 각각의 도메인 간에 대비되는 명암차이를
 표시한 마찰력 맵핑 이미지를 출력하는 AFM 마찰력 맵핑을
 이용한 그래핀 도메인 측정 시스템.
- [청구항 4] AFM 현미경을 이용한 그래핀 도메인 측정방법에 있어서,
 (A) 측정부(100)가 마찰력 모드(Friction Mode)로 설정된 AFM
 현미경으로 그래핀 시료(12)를 측정하는 과정;
 (B) 출력부(200)가 마찰력 맵핑 이미지를 출력하되,
 콘트라스트(contrast) 범위를 그래핀 시료(12) 주변으로 맞추도록
 최소범위로 조정하는 과정;
 (C) 상기 출력부(200)가 상기 마찰력 맵핑 이미지를 횡적으로 자른
 특정부분에 대한 마찰력 프로파일 그래프를 출력하는 과정;
 (D) 분석부(300)가 상기 마찰력 프로파일 그래프를 이용하여 상기

AFM 팁(11) 진행방향과 상기 그래핀의 주름방향의 관계를 분석하는 과정; 및
 (E) 판단부(400)가 상기 (D) 단계에서 분석한 정보를 이용하되, 상기 S20 단계에서 출력한 상기 마찰력 맵핑 이미지를 통해, 각각의 도메인 간에 대비되는 명암차이를 이용하여, 그래핀의 주름방향을 판단하는 과정; 을 포함하는 것을 특징으로 하는 AFM 마찰력 맵핑을 이용한 그래핀 도메인 측정방법.

[청구항 5]

제 4 항에 있어서,
 상기 (A) 과정은,
 (A-1) 상기 측정부(100)가 마찰력 모드(Friction Mode)로 설정하는 단계; 및
 (A-2) 상기 측정부(100)가 초기측정지점으로부터 최종측정지점까지의 회전각이 180° 이상 되도록 그래핀 시료(12)를 일정 각도로 최소 5회 이상 나누어 회전시키면서 측정하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 AFM 마찰력 맵핑을 이용한 그래핀 도메인 측정방법.

[청구항 6]

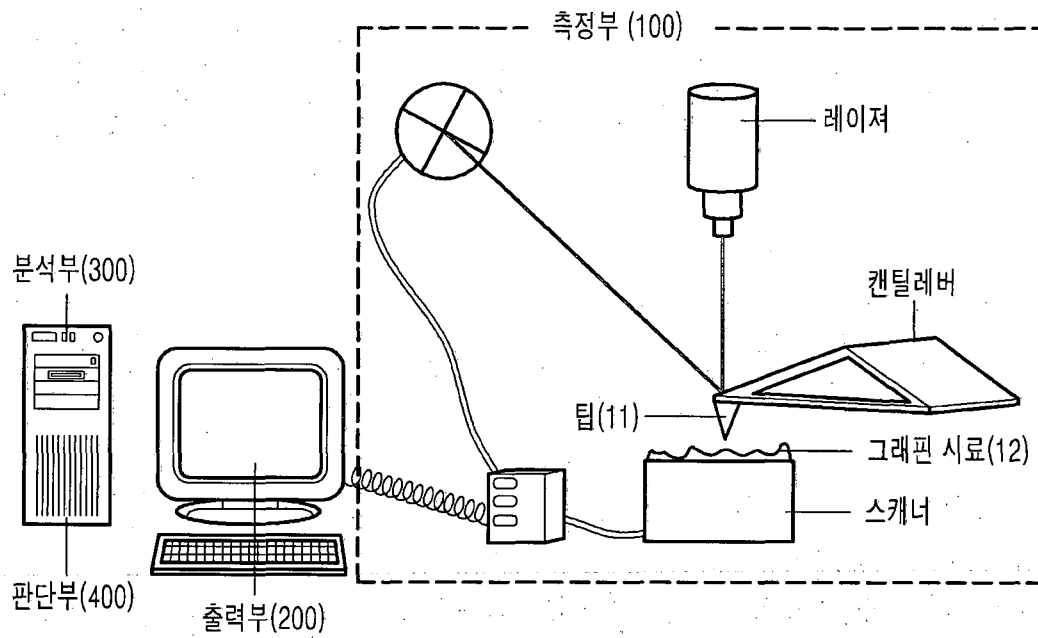
제 4 항에 있어서,
 상기 (D) 과정은,
 (D-1) 상기 분석부(300)가 상기 (C) 단계를 통해 출력된 마찰력 프로파일 그래프를 이용하여, 기판(SiO_2)의 마찰력 신호를 기준으로 각각의 도메인의 마찰력 신호와의 비율을 산출하는 단계;
 (D-2) 상기 분석부(300)가 X축을 상기 그래핀의 회전각도로 하고, 산출된 마찰력의 비율을 Y축으로 하여, 해당되는 지점에 각각 플로팅(plotting)함으로써, 비연속적 그래프를 산출하는 단계;
 (D-3) 상기 분석부(300)가 상기 (D-2) 단계로부터 산출된 비연속적 그래프를 연결하여 180° 주기를 갖는 sine 형 연속 그래프를 산출하는 단계; 및
 (D-4) 상기 분석부(300)가 상기 (D-3) 단계에서 산출한 연속적 그래프의 주기성을 이용하여, 상기 AFM 팁(11) 진행방향과 상기 그래핀의 주름방향의 관계를 분석하는 단계; 를 포함하는 AFM 마찰력 맵핑을 이용한 그래핀 도메인 측정방법.

[청구항 7]

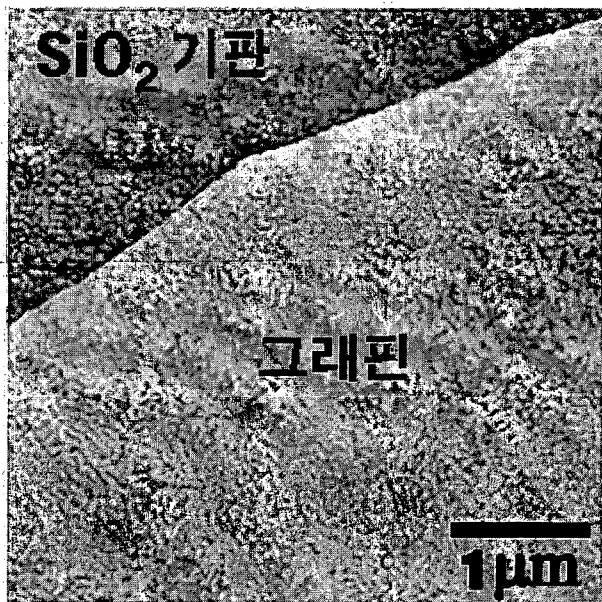
제 4 항에 있어서,
 상기 (E) 과정은,
 (E-1) 상기 판단부(400)가 상기 (B) 단계에서 출력한 상기 마찰력 맵핑 이미지(a) 중 가장 밝은 도메인의 주름방향을 AFM 팁(11) 진행방향과 일치방향이라고 판단하는 단계;
 (E-2) 상기 판단부(400)가 상기 (B) 단계에서 출력한 상기 마찰력

맵핑 이미지 중 가장 어두운 도메인의 주름방향을 AFM 팁(11) 진행방향과 수직방향이라고 판단하는 단계; 및
(E-3) 상기 판단부(400)가 상기 (E-1) 단계 및 (E-2) 단계의 명암차이와 주름방향을 이용하되, 상기 (B) 단계에서 출력한 상기 마찰력 맵핑 이미지의 도메인의 명암차이를 대비하여, 각각의 도메인의 주름방향을 판단하는 단계; 를 포함하는 AFM 마찰력 맵핑을 이용한 그래핀 도메인 측정방법.

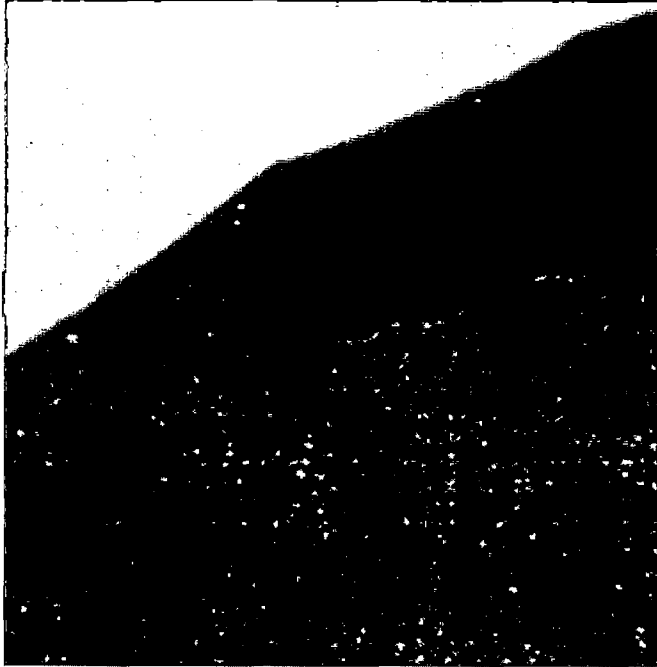
[Fig. 1]



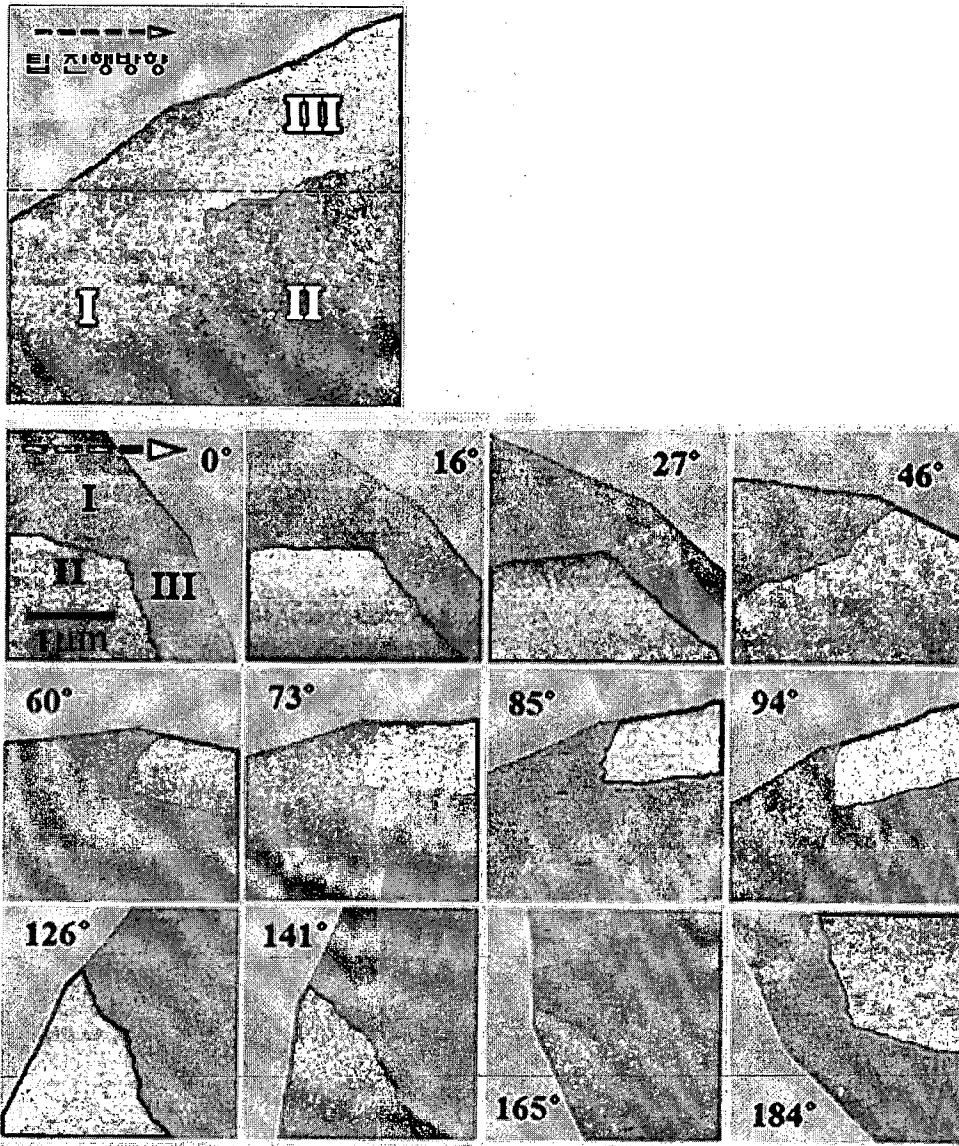
[Fig. 2a]



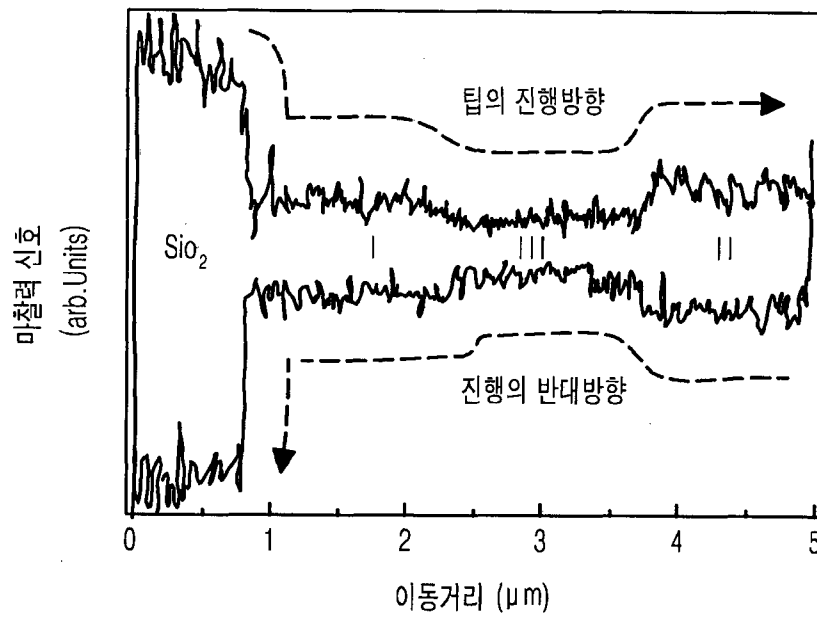
[Fig. 2b]



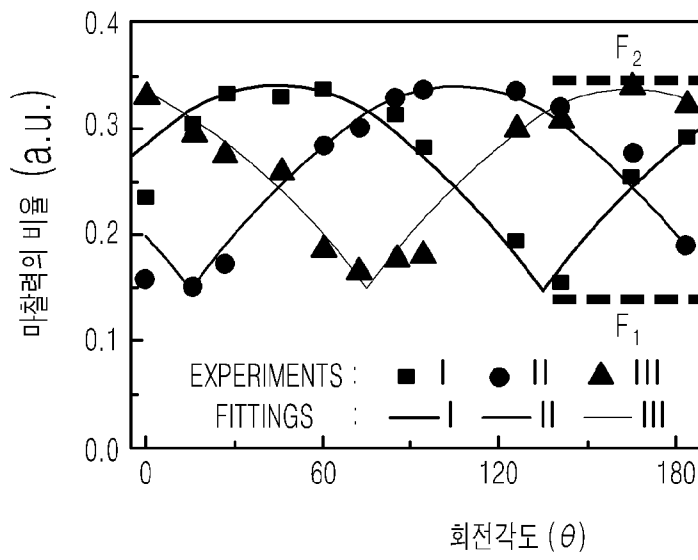
[Fig. 3a]



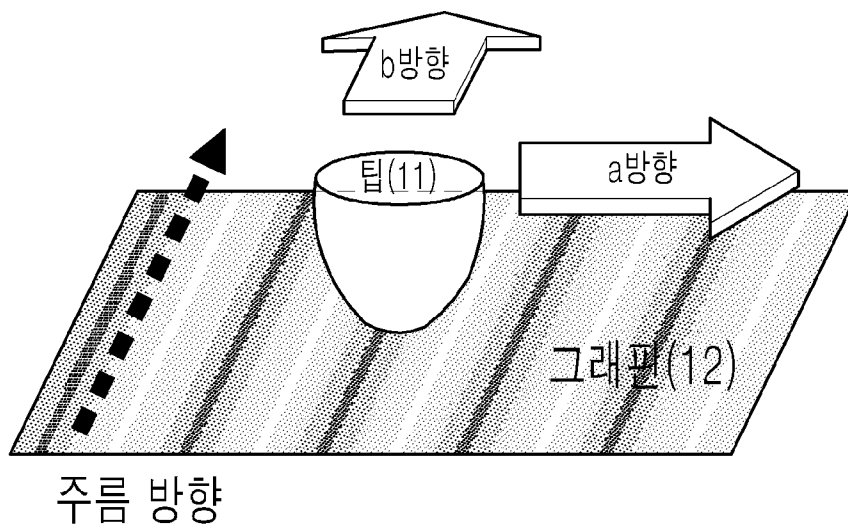
[Fig. 3b]



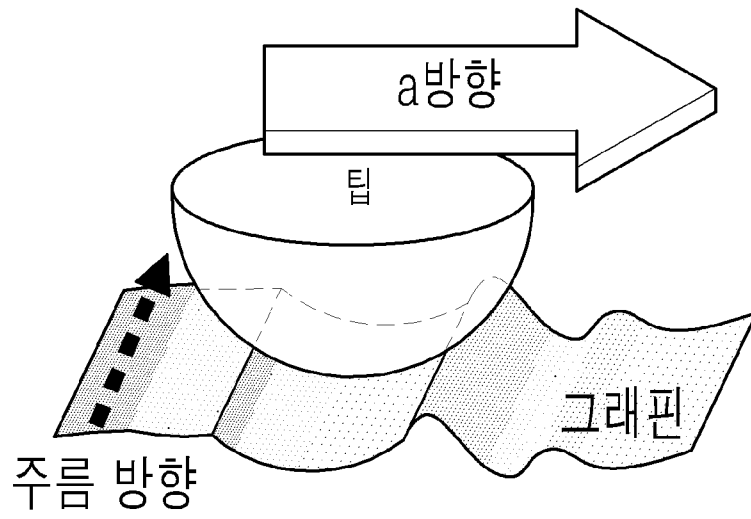
[Fig. 4]



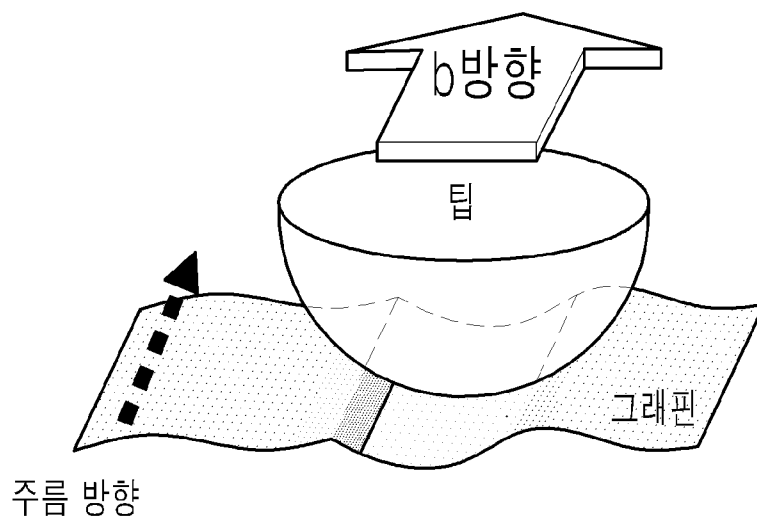
[Fig. 5a]



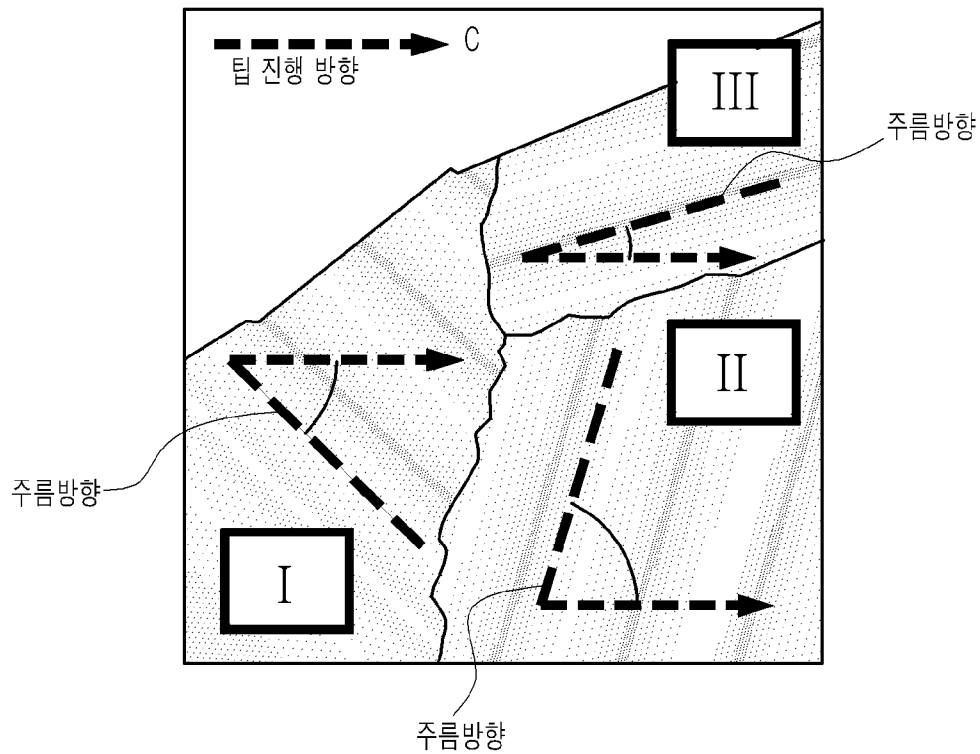
[Fig. 5b]



[Fig. 5c]



[Fig. 6]



[Fig. 7]

