



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년02월02일
(11) 등록번호 10-1701731
(24) 등록일자 2017년01월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/317 (2006.01) C23C 14/06 (2006.01)
C23C 14/48 (2006.01) H01L 21/02 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-7024665
(22) 출원일자(국제) 2013년02월01일
심사청구일자 2014년09월02일
(85) 번역문제출일자 2014년09월02일
(65) 공개번호 10-2014-0145123
(43) 공개일자 2014년12월22일
(86) 국제출원번호 PCT/US2013/024269
(87) 국제공개번호 WO 2013/116595
국제공개일자 2013년08월08일
(30) 우선권주장
61/594,547 2012년02월03일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
W01994021557 A1
EP0240088 A
Hofsass H. et al., "Doping and Growth of
Diamond-Like Carbon Films by Ion Beam
Deposition", DIAMOND AND RELATED MATERIALS,
ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, vol.3, no.1/02,
p.137-142 (1994.01.01.)*
Kazuhiko Ito et al., "Evaluation of Thin
Films Fabricated by Low Energy Direct Ion
Beam Deposition for Soft X-Rays", NUCLEAR
INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH,
SECTION -B*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
시게이트 테크놀로지 엘엘씨
미국 캘리포니아 95014 쿠퍼티노 사우쓰 디 엔자
블러바드 10200
(72) 발명자
피쳐, 필립, 조지
미국 55379 미네소타 새코퍼 스탬머 리지 로드 노
스웨스트 16263
(74) 대리인
특허법인 남앤드남

전체 청구항 수 : 총 20 항

심사관 : 임은정

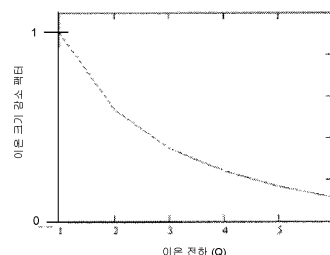
(54) 발명의 명칭 층들을 형성하는 방법들

(57) 요약

층을 형성하는 방법은 그 위의 증착을 위해 적용되는 적어도 하나의 표면을 갖는 기판을 제공하는 단계; 및 기판의 표면을 향해 입자 빔을 지향시키는 단계를 포함하며, 입자 빔은 적당히 충전된 이온들(moderately charged ions: MCIs)을 포함하며, 실질적으로 모든 MCI들은 독립적으로 ± 2 내지 ± 6 의 전하들 및 약 200 eV보다 크지 않

(뒷면에 계속)

대표도 - 도3



은 운동 에너지들을 가지며, MCI들은 기관 상에 층을 형성하기 위해 기관의 표면으로의 약 30Å보다 크게 관통하지 않는다.

명세서

청구범위

청구항 1

층을 형성하는 방법으로서,

적어도 하나의 표면을 갖는 기판을 제공하는 단계 — 상기 적어도 하나의 표면은 상기 적어도 하나의 표면상에 서의 증착을 위해 적응되고, 상기 적어도 하나의 표면은 비전도성 표면이고 상기 적어도 하나의 표면은 층이 형성될 영역 상에 절연 재료들만을 포함함 —; 및

상기 기판의 표면을 향해 입자 빔을 지향시키는 단계

를 포함하며,

상기 입자 빔은 적당히 하전된 이온(moderately charged ions: MCI)들을 포함하며, 실질적으로 모든 상기 MCI들은 독립적으로 ± 2 내지 ± 6 의 전하들 및 200 eV보다 크지 않은 운동 에너지들을 가지며,

상기 MCI들은 상기 기판 상에 층을 형성하기 위해 상기 기판의 표면에 30 Å보다 크게 관통하지 않는, 층을 형성하는 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 MCI들은 단원자 종, 분자 다원자 종, 클러스터 종 또는 이들의 조합들인, 층을 형성하는 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

실질적으로 모든 상기 MCI들은 5 eV 내지 200 eV의 운동 에너지들을 갖는, 층을 형성하는 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

실질적으로 모든 상기 MCI들은 5 eV 내지 100 eV의 운동 에너지들을 갖는, 층을 형성하는 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

실질적으로 모든 상기 MCI들은 ± 3 내지 ± 6 의 전하들을 갖는, 층을 형성하는 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

실질적으로 모든 상기 MCI들은 ± 3 의 전하들을 갖는, 층을 형성하는 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 입자 빔의 소스는 배수로 하전된 이온들(multiply charged ions)을 생성하도록 구성되는, 층을 형성하는 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 소스는 전자 사이클로트론 공진(ECR) 이온 소스, 다중첨단(multicusp) 이온 소스, 또는 전자 빔 이온 트랩(electron beam ion trap : EBIT) 이온 소스로부터 선택되는, 층을 형성하는 방법.

청구항 9

층을 형성하는 방법으로서,

적어도 하나의 표면을 갖는 기판을 제공하는 단계 — 상기 적어도 하나의 표면은 상기 적어도 하나의 표면상에 서의 증착을 위해 적응되고, 상기 적어도 하나의 표면은 비전도성 표면이고 상기 적어도 하나의 표면은 층이 형성될 영역 상에 절연 재료들만을 포함함 —; 및

상기 기판의 표면을 향해 입자 빔을 지향시키는 단계

를 포함하며,

상기 입자 빔은 적당히 하전된 이온(MCI)들을 포함하며, 실질적으로 모든 상기 MCI들은 독립적으로 ± 2 내지 ± 10 의 전하들 및 2000 eV보다 크지 않은 운동 에너지들을 가지며,

상기 MCI들은 상기 기판 상에 층을 형성하기 위해 상기 기판의 표면으로 50 Å보다 크게 관통하지 않는, 층을 형성하는 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

실질적으로 모든 상기 MCI들은 5 eV 내지 2000 eV의 운동 에너지들을 갖는, 층을 형성하는 방법.

청구항 11

제 9 항에 있어서,

실질적으로 모든 상기 MCI들은 ± 3 내지 ± 6 의 전하들을 갖는, 층을 형성하는 방법.

청구항 12

제 9 항에 있어서,

상기 입자 빔의 소스는 배수로 하전된 이온들을 생성하도록 구성되는, 층을 형성하는 방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 소스는 전자 사이클로트론 공진(ECR) 이온 소스, 다중첨단 이온 소스, 또는 전자 빔 이온 트랩(EBIT) 이온 소스로부터 선택되는, 층을 형성하는 방법.

청구항 14

층을 형성하는 방법으로서,

적어도 하나의 표면을 갖는 기판을 제공하는 단계 — 상기 적어도 하나의 표면은 상기 적어도 하나의 표면상에 서의 증착을 위해 적응되고, 상기 적어도 하나의 표면은 비전도성 표면이고 상기 적어도 하나의 표면은 층이 형성될 영역 상에 절연 재료들만을 포함함 —; 및

상기 기판의 표면을 향해 입자 빔을 지향시키는 단계

를 포함하며,

상기 입자 빔은 적당히 하전된 이온(MCI)들을 포함하며, 실질적으로 모든 상기 MCI들은 독립적으로 ± 2 내지 ± 10 의 전하들 및 5 eV 내지 2000 eV의 운동 에너지들을 가지며, 상기 입자 빔은 적어도 액셀-디셀(accel-decel) 빔 전송 기술을 이용하여 상기 표면에 향해지며,

상기 MCI들은 기판 상에 층을 형성하기 위해 기판의 표면으로 50 Å보다 크게 관통하지 않는, 층을 형성하는 방법.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

실질적으로 모든 상기 MCI들은 ± 3 내지 ± 6 의 전하를 갖는, 층을 형성하는 방법.

청구항 16

제 14 항에 있어서,

실질적으로 모든 상기 MCI들은 5 eV 내지 200 eV의 운동 에너지들을 갖는, 층을 형성하는 방법.

청구항 17

제 14 항에 있어서,

상기 입자 빔의 소스는 배수로 하전된 이온들을 생성하도록 구성되는, 층을 형성하는 방법.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 소스는 전자 사이클로트론 공진(ECR) 이온 소스, 다중침단 이온 소스, 또는 전자 빔 이온 트랩(EBIT) 이온 소스로부터 선택되는, 층을 형성하는 방법.

청구항 19

제 14 항에 있어서,

상기 MCI들은 탄소를 포함하는, 층을 형성하는 방법.

청구항 20

제 19 항에 있어서,

상기 MCI들은 ± 3 내지 ± 6 의 전하를 갖는, 층을 형성하는 방법.

발명의 설명

배 경 기 술

[0001]

[001] 약간의 나노미터 깊이들까지의 서브-모노층의 스케일 상에, 표면들, 계면들 또는 서브-표면 층들의 재료들 엔지니어링은 많은 다양한 분야들에서 점점더 기술적으로 중요해지고 있다. 그와 같은 분야들은 단지 약간만 명칭화하는 예를 들어, 데이터 스토리지, 마이크로일렉트로닉스, 촉매작용 및 생체 의학 애플리케이션들을 포함할 수 있다. 그와 같은 재료들 엔지니어링을 실행하기 위한 신규한 프로세스들이 그에 따라 항상 필요할 것이다.

발명의 내용

[0002]

[002] 표면 나노엔지니어링 기술에서의 프로세스 상호작용들은 표면층 원자들로 또는 표면으로부터의 약간의 결합 길이들로 국한될 수 있다. 예를 들어, 표면 임플랜테이션(SI), 표면 서브-플랜테이션(SSP), 에칭, 도핑 및 계면 엔지니어링을 포함하는 표면 나노엔지니어링 기술을 확장하고 개선하기 위한 방법들이 본원에 개시된다. 본원에 개시되는 방법들은 적당히 멀티-충전된, 단원자 또는 분자 또는 클러스터, 이온들에 대해 느리게 낮게 활용한다. 애플리케이션들은 예를 들어, 표면으로부터의 수 나노미터들을 연장하는 깊이 스케일 상의 표면 변형, 재료들 합성 및 조성 변형, 에칭 및 계면 엔지니어링을 포함할 수 있다. 탄소 또는 수소화된 탄소 막들이 본원에 논의되지만, 개시된 방법들은 예를 들어, 그래핀(graphene)뿐 아니라 다른 엘리먼트들 또는 엘리먼트들의 조합들을 포함하는 다른 재료들에 널리 적용가능하다. 일부 실시예들에서, 대략 250 원자 질량 단위들까지의 엘리먼트들의 층들 및 이들의 조합들이 형성될 수 있다. 더욱이, 예를 들어, 준안정성 표면 조성들 또는 표면 층들을 포함하는 다양한 타입들의 재료들이 형성될 수 있다. 탄소 막들에 대해 본원에 포함되는 참조들은 단지 예시적이며 그와 같이 예시하도록 의도되지만 본 개시물의 범위를 제한하지 않는다.

[0003] [03] 그 위의 증착을 위해 적응되는 적어도 하나의 표면을 갖는 기관을 제공하는 단계; 및 기관의 표면을 향해 입자 빔을 지향시키는 단계를 포함하며, 입자 빔은 적당히 충전된 이온들(moderately charged ions: MCIs)을 포함하며, 실질적으로 모든 MCI들은 독립적으로 ± 2 내지 ± 6 의 전하들 및 약 200 eV보다 크지 않은 운동 에너지들을 가지며, MCI들은 기관 상에 층을 형성하기 위해 기관의 표면으로의 약 30Å보다 크게 관통하지 않는, 층을 형성하는 방법들이 본원에 개시된다.

[0004] [04] 그 위의 증착을 위해 적응되는 적어도 하나의 표면을 갖는 기관을 제공하는 단계; 및 기관의 표면을 향해 입자 빔을 지향시키는 단계를 포함하며, 입자 빔은 적당히 충전된 이온(MCI)들을 포함하며, 실질적으로 모든 MCI들은 독립적으로 ± 2 내지 ± 10 의 전하들 및 약 2000 eV보다 크지 않은 운동 에너지들을 가지며, MCI들은 기관 상에 층을 형성하기 위해 기관의 표면으로의 약 50Å보다 크게 관통하지 않는, 층을 형성하는 방법들이 본원에 개시된다.

[0005] [05] 층을 형성하는 방법은 그 위의 증착을 위해 적응되는 적어도 하나의 표면을 갖는 기관을 제공하는 단계; 및 기관의 표면을 향해 입자 빔을 지향시키는 단계를 포함하며, 입자 빔은 적당히 충전된 이온(MCI)들을 포함하며, 실질적으로 모든 MCI들은 독립적으로 ± 2 내지 ± 10 의 전하들 및 약 5 eV 내지 2000 eV사이의 운동 에너지들을 가지며, 입자 빔은 적어도 액셀-디셀(accel-decel) 빔 전송 기술을 이용하여 표면에 향해지며, MCI들은 기관 상에 층을 형성하기 위해 기관의 표면으로의 약 30Å보다 크게 관통하지 않는다.

[0006] [06] 본 개시물의 상기 요약은 본 개시물의 각 개시된 실시예 또는 모든 구현을 설명하도록 의도되지 않는다. 후속하는 설명은 더 구체적으로 예시적인 실시예를 예시한다. 애플리케이션 전반의 여러 장소들에서, 예시들의 목록들을 통해 안내가 제공되며, 그 예들은 다양한 조합들에서 이용될 수 있다. 각 사례에서, 인용된 목록이 단지 대표적인 그룹으로서 기능하며 그리고 배타적 목적으로서 해석되어서는 안 된다.

도면의 간단한 설명

[0007] [07] 도 1은 깊이(Å)의 함수로서 서브-플랜트된(sub-planted) 탄소 원자들 및 손상된 원자들 둘 다의 농도를 도시한다.

[008] [08] 도 2는 표면 임플랜테이션이 삽입 및 이동 효과들을 통해 표면 밀도를 변조할 수 있는 방법을 예시한다.

[009] [09] 도 3은 전하의 함수로서 탄소 함유 이온의 이온 크기 감소 팩터를 도시한다.

[010] [10] 도 4는 운동 에너지의 함수로서 단일로 충전된 탄소 이온의 폴리에르 직경을 도시한다.

[011] [11] 도면들은 반드시 실척일 필요는 없다. 도면들에서 이용되는 유사 부호들은 유사한 컴포넌트들을 지칭한다. 그러나, 정해진 도면에서 컴포넌트를 지칭하는 부호의 이용은 동일한 부호로 라벨링되는 다른 도면에서의 컴포넌트를 제한하도록 의도되지 않음이 이해될 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0008] [12] 다음의 설명에서, 그 일부를 형성하며 예시로서 여러 특정 실시예들이 도시되는 도면들의 첨부하는 세트에 대해 참조가 이루어진다. 본 개시물의 범위 또는 정신으로부터 이탈하지 않고서 다른 실시예들이 고려되며 이루어질 수 있다. 다음의 상세한 설명은 따라서, 제한하는 의미가 아니다.

[0009] [13] 달리 표시되지 않는다면, 명세서 및 청구범위에 이용되는 피처 크기들, 양들 및 물리적 특성들을 표현하는 모든 숫자들은 용어 "약(about)"에 의해 모든 사례들에서 수정되는 것으로 이해되는 것이다. 따라서, 반대로 표시되지 않는다면, 전술한 명세서 및 첨부되는 청구범위에 설명되는 수치적 파라미터들은 본원에 개시되는 교시들을 활용하는 당업자에 의해 획득되도록 추구되는 특성들에 따라 변화할 수 있는 근사화들이다.

[0010] [14] 종점들에 의한 수치적 범위들의 나열은 그 범위 내에 부분함산된 모든 숫자들(예를 들어, 1 내지 5는 1, 1.5, 2, 2.75, 3, 3.80, 4 및 5) 및 그 범위 내의 임의의 범위를 포함한다.

[0011] [15] 본 명세서 및 첨부되는 청구범위에 이용된 바와 같이, 그 내용이 달리 명확하게 서술되지 않는다면, 단수 형태들 "a", "an" 및 "the"는 복수의 지시 대상들을 갖는 실시예들을 망라한다. 본 명세서 및 첨부되는 청구범위에 이용된 바와 같이, 용어 "또는"은 그 내용이 달리 명확하게 서술하지 않으면 "및/또는"을 포함하는 의미에서 일반적으로 사용된다.

[0012] [16] "포함하다", "포함하는" 등의 용어들은 망라하는 것을 의미하지만 그에 제한되지 않으며, 즉

포함하는 것이며 배제하는 것이 아니다. "최상부" 및 "바닥부"(또는 "상부" 및 "하부"와 같은 다른 용어들)는 관련 설명들을 위해 엄격하게 활용되며 그리고 설명된 엘리먼트가 위치되는 관사의 임의의 전체적인 지향을 암시하지 않음이 주목되어야 한다.

[0013] [017] 개시된 방법들은 표면 임플란테이션(surface implantation: SI), 표면 서브-플랜테이션(surface sub-plantation: SSP), 에칭, 도핑 및 계면 엔지니어링을 포함하는(그러나 이에 제한되지 않음) 표면 나노엔지니어링 기술을 확장하며 개선하는 방식들을 제공할 수 있다. 본원에 개시되는 방법들은 예를 들어, 데이터 스토리지, 마이크로일렉트로닉스, 촉매작용 및 생체 의학 애플리케이션들을 포함하는 본질적으로 비제한된 수의 애플리케이션들에 대해 활용될 수 있다.

[0014] [018] 예를 들어, 데이터 스토리지를 위한 진보된 오버코트(overcoat) 기술과 같은 많은 중요한 박막 애플리케이션들에서, 공통으로 활용되는 박막 증착으로부터 표면 나노엔지니어링 기술까지의 천이는 면적 밀도 요구들을 증가시키는 것을 더 잘 충족시킬 수 있다. 두께, 균일성 및 프로세스 재생성은 오버코트 엔지니어링에서 공통으로 활용되는 핵심 품질 요소(critical to quality : CTQ) 측정들이다. 개시된 방법들은 오버코트들에서의 바람직한 기계적, 화학적 및 열적 견고성 특성들에서의 개선들을 제공할 수 있다. 개시된 방법들은 또한 장래 헤드 매체 간격(head media spacing : HMS) 및 오버코트들의 열적, 기계적 및 화학적 요건들을 충족시키기 위해 표면들 또는 근처 표면 구역들 상에 그리고/또는 그곳으로 엔지니어링되는 준안정 재료들 및/또는 탄소 기반된 재료들의 새로운 형태들을 제공할 수 있다.

[0015] [019] 데이터 스토리지 오버코트들을 위한 박막 애플리케이션들의 예시적인 문맥에서, (수십 나노미터들 내지 마이크로미터들의) 비교적 두꺼운 탄소 막들에 관한 연구들은 sp^3 대 sp^2 탄소 원자들의 증가된 비(sp^3/sp^2)가 일반적으로 탄소 막들의 특성들을 개선함을 도시한다. 서브-플랜테이션 모델들은 에너지틱 탄소 이온들의 얇은 이온 임플란테이션이 sp^3 결합 혼성화에서의 증가(sp^3/sp^2 비)만큼 수용되는 막 밀도에서의 로컬화된 증가들을 유도하는 고열 프로세싱 기술로서의 문헌에서 잘 문서화된다. 이들 기술들은 일반적으로 예를 들어, 헤드 오버코트 애플리케이션들을 위해 바람직한 것들보다 상당히 더 두꺼운 막들에 대해 보고된다. 이들 잘-알려진 방식들의 애플리케이션은 표면으로의 깊이에 관하여 기관 원자들과 에너지틱한, 임플란팅 입자들의 비-선형 상호작용들 때문에 nm 스케일 두께 막들에 대해 복잡해질 수 있다.

[0016] [020] 약 100 eV의 전형적인 이온 에너지들에서, (오버코트의 얇은 본질 때문에) 서브-플랜트된 원자들의 깊이 및 결과적인 손상 범위 프로파일들이 상당하며 그리고 능동적으로 프로세싱되는 표면 아래의 계면들 및 층들의 원자 조성, 결합 및 구조에 대한 큰 영향을 가질 수 있다. 도 1은 100 eV에서의 서브-플랜트된 탄소 원자들 및 손상된 원자들의 양 대 깊이(Å)의 이론적 표현을 도시한다. 길이 스케일은 높은 sp^3 함량을 생성하는 의도로 탄소 오버코트 막들을 프로세싱할 때, 실제 탄소 오버코트 막이 sp^2 에서 바람직하지 않게 풍부한 최종 표면을 가질 수 있도록 되어 있다. 이것은 sp^3 을 생성하기 위해 요구되는 원자 상호작용들이 능동적으로 프로세싱되는 표면 아래의 여러 층들을 발생시키는 더 높은 확률을 가질 수 있음을 나타낼 수 있다. 또한, 이온 상호작용 깊이 외로 상당히 확장할 수 있는 이온 운동 에너지의 열적 소실 또는 결합 이주 효과들을 발생시키는 바람직하지 않은 원자 이완 프로세스들에 의해 막에서 이전에 생성된 sp^3 구역들이 sp^2 로 역전될 수 있는 상황이 발생할 수 있다.

[0017] [021] 2012년 4월 5일에 출원된 "METHODS OF FORMING LAYERS"란 명칭의 출원인들이 공통으로 소유한 미국 특허 출원 일련번호 제 13/440071 호(그 개시물은 본원에 인용에 의해 포함됨)는 깊이 의존 합성과 반대로, 제어된 막 특성들로 근처 층 단위(layer-by-layer) 성장을 엔지니어링하는 SSP 방법을 이용하는 표면 나노엔지니어링의 방법들을 개시한다. 그 개시물에서, 서브-플랜테이션 프로세싱 효과들은 성장이 진행됨에 따라 연속적으로 성장된 층의 표면 층 및/또는 최상부 약간의 표면 층들로 국한된다. 비-선형의, 원자 상호작용 효과들을 통해 제거된 효과들 및 종래의 서브-플랜테이션 기술들로부터 프로세싱하는 이러한 피쳐 둘 다는 구별된다(2012년 4월 5일에 출원된 "METHODS OF FORMING LAYERS"란 명칭의 출원인들의 다른 공통으로 소유한 미국 특허 출원 일련번호 제 13/440068 호를 참조하는데, 그 개시물은 본원에 인용에 의해 포함된다).

[0018] [022] 본원에 개시된 방법들은 성장이 진행함에 따라, 연속적으로 층의 최상부 약간의 결합 길이들까지 프로세싱 효과들을 국한하도록 노력한다. 이것은 기관 원자들과 임플란팅 입자들의 비-선형 원자 상호작용의 효과들을 최소화 또는 제거할 수 있다. 도 2는 표면 임플란테이션이 삽입 및 이동 효과들을 통해 표면 밀도를 변조할 수 있는 방법을 예시한다. 탄소를 포함하는 막이 형성되는 일부 실시예들에서, 이것은 또한 sp^3 결합 혼성화를 변조할 수 있다.

[0019] [023] 도 2에 나타난 바와 같이, 표면 임플란테이션 또는 표면 서브-플랜테이션(SSP)은 스퍼터 에칭,

표면 에너지 배리어의 관통 및 이온 반사를 포함하는 여러 메커니즘들에 의해 복잡해질 수 있다. 프로세스 에너지 윈도우는 이들 효과들의 계산 추정치들로부터 추정될 수 있다.

[0020] [024] sp³ 중심 발생의 효과성의 관점에서, (주입 유도된 포논(phonon) 플럭스를 통해) 각각 결합 이주 및 열적 어닐링(annealing)에 의해 로컬화된 변형을 완화하기 위한 메커니즘들을 제공함으로써 sp³ 중심 농도를 감소시킬 수 있는 결합 생성 및 비탄성 에너지 손실의 메커니즘들의 추가적인 고려가 이루어져야 한다. 서브-임플랜테이션 및 표면 서브-플랜테이션 프로세스들에서의 sp³ 중심들의 생성 및 소멸의 상대적인 비율들(및 sp³ 중심들의 생성의 순(net) 비율)은 따라서 증착된 에너지의 주의깊은 제어 및 표면 및 근처 표면 구역으로 커플링되는 방법에 의존한다. 상충하는 것은 낮은 입사 입자 에너지들로 이용가능한 에너지 윈도우를 제약하는 약간의 결합 길이들보다 작게 중단 거리를 제한하며 그리고 표면 관통에 대한 에너지 배리어를 극복하는 것들 다를 필요로 한다. 불운하게도, 에너지학은 전형적으로 변위 충돌에서 전형적인 원자 변위 에너지들(E_d), $E_d \sim 20$ 내지 25eV에 가까운 에너지들이 운동학적으로 교환될 수 있도록 되어 있다. E_d 에 가까운 ΔE 교환

에서, sp³ 중심 형성을 위해 요구될 것으로 생각되는 로컬화된 왜곡을 무효화하는, 변위된 입자 및 그 공격자점의 순간적 재조합을 위한 높은 확률이 존재한다. 분자 이온들의 이용은 이온 단편들 상에 입사 이온 에너지를 분할함으로써 SSP 프로세스 윈도우를 효율적으로 확장하는 방법으로서 상기 인용된 미국 특허 출원 일련번호 제 13/440071 호에 제안된다. 운동학은 표면 전위 배리어를 극복하는 수소를 배제할 수 있더라도, 예를 들어, 아세틸렌인 탄화수소 분자 이온들이 이용되는 경우에, 화학적 효과들은 그럼에도 불구하고 오버코트 애플리케이션들에서, 층에서의 수도를 통합할 수 있으며, 이것은 높은 농도들에서 바람직하지 않을 수 있다.

[0021] [025] 개시된 방법들은 예를 들어, 표면 임플랜테이션(SI), 표면 서브-플랜테이션(SSP), 에칭, 도핑 및 계면 엔지니어링을 위한 서로 다른 및/또는 유용한 결과들을 제공하기 위해 상기 논의된 현상을 활용한다.

[0022] [026] 개시된 방법들은 일반적으로 수많은 단계들을 포함할 수 있으며, 그 일부는 기관을 제공하는 단계, 및 층을 형성하기 위해 기관을 향해 적당하게 충전된 이온들(본원에서 "MCI들"로서 지칭됨)을 포함하는 입자 빔을 지향시키는 단계를 포함할 수 있다. 기관을 제공하는 단계는 예를 들어, 시스템 내에 기관을 배치하고, 구성하거나 그렇지 않으면 위치시킴으로써 달성될 수 있다.

[0023] [027] 그 위에 층이 형성되는 기관은 임의의 타입의 재료 또는 구조일 수 있다. 일부 실시예들에서, 예시적인 기관은 그 위에 층 형성이 발생할 적어도 하나의 표면을 가질 수 있다. 그와 같은 표면은 층이 적어도 원하는 표면 상에 형성되도록 간단하게 프로세스 챔버에서 배치되는 것을 포함할 수 있는 "층 형성을 위해 적응되는" 것으로서 지칭될 수 있다. 일부 실시예들에서, 기관은 그 위에 또는 그 내부에 형성되는 구조들 또는 디바이스들을 포함할 수 있다. 특정 실시예들에서, 본원에 개시되는 방법들은 다양한 구조들 상에 오버코트들을 형성하기 위해 활용될 수 있다; 그리고 그와 같은 실시예들에서, 그 위에 오버코트가 형성되는 디바이스는 기관으로 고려될 수 있다. 다양한 프로세스들 및 절차들은 층이 그 위에 형성되기 전에 기관 상에 임의선택적으로 실행될 수 있다.

[0024] [028] 일부 실시예들에서, 기관의 표면 또는 기관의 전기적 전도성이 고려될 수 있다. 전기적으로 전도성인지, 전기적으로 절연하든지 또는 그의 일부 조합이든지 간에, 본원에 개시된 방법들이 가상적으로 임의의 표면 상에 층들을 형성하기 위해 활용될 수 있음이 주목되어야 한다. 일부 사례들에서, 충전된 입자들은 금속 표면들 상에 나노스케일 표면 붕괴를 생성할 수 있는 이온 전위 에너지의 소멸을 야기시킬 수 있다. 이러한 현상은 비전도성 표면들 상에 관찰되지 않을 수 있다. 일부 실시예들에서, 따라서, 개시된 방법들은 전기적으로 비전도성 표면들을 활용할 수 있다. 일부 실시예들에서, 전기적으로 비전도성 표면들은 층이 형성되는 면적 상에 절연 재료들만을 포함한다. 일부 실시예들에서, 전기적으로 비전도성 표면들은 전기적으로 비전도성으로 이루어질 수 있다. 예를 들어, 그렇지 않으면 전기적으로 전도성인 표면이 표면 프로세싱 기술을 통해 전기적으로 비전도성으로 이루어질 수 있거나 전기적으로 비전도성 재료로 코팅될 수 있다. 표면 프로세싱 기술의 특정 예는 더 높은 sp³ 함량 층을 적용하기 위해 개시된 방법들의 이용 이전에 sp² 탄소에서 풍부한 전구체 탄소 층의 증착을 포함한다.

[0025] [029] 비-전도성 표면의 이용은 또한 표면 또는 서브-표면 층들과의 유효한 프로세스 레벨 상호작용이 발생할 수 있기 전에 재료 표면 위에 중립화되는 입사 이온에 의해 야기될 수 있는 표면 중립화 효과들을 감소시키거나 방지하기 위해 유용할 수 있다. sp³ 풍부한 탄소 오버코트들을 형성하는 바로 특정의, 비-제한 예를 위해 MCI들을 활용하는 다른 잠재적 이점은 일단 표면 라잉(lying) 원자들 또는 근처 표면 원자 서브층들을 관통하면 입사 MCI의 중립화를 포함한다. 이것은 이전에 설명된 바와 같은 혼성화를 통해 sp³ 중심들의 로컬화

된 변형 및 수반하는 생성에서의 증가를 야기하는 과동함수(즉, 이온의 유효한 크기에서의 증가)의 후속적인 팽창을 발생시킬 수 있다. 일부 실시예들에서, 표면 중립화 효과들을 방지하기 위해, MCI들은 원하는 표면 또는 계면에서의 입사 전에 전하가 보존되도록 적합하게 얇은 절연 또는 음전기 재료를 관통하는데 충분히 높은 에너지들에서 입사할 수 있다. 유사하게, 기관으로의 관통으로 발생할 수 있는 전하 중립화를 보상하기 위해 요구되는 것보다 높은 입사 입자 전하가 (전위 에너지 교환 고려사항들에 관하여) 활용될 수 있다.

[0026] [030] 그 전기적 전도성에 관하여, 특정 타입의 표면을 갖는 것이 바람직할 수 있는 사례들이 존재할 수 있더라도, 임의의 타입의 기관 및/또는 표면이 본원에 활용될 수 있음이 다시 주목되어야 한다.

[0027] [031] 개시된 방법들은 또한 기관을 향해 입자 빔을 지향시키는 단계를 포함할 수 있다. 입자 빔은 적당하게 충전된 이온들(본원에서 "MCI들"로서 지칭됨)을 포함할 수 있다. 개시된 MCI들은 그들의 다양한 특성들에 의해 설명될 수 있다. 예를 들어, MCI들은 그들의 전하(Q), 그들의 운동 에너지들, 그들의 전위 에너지들, 그들의 타입, 그들의 컴포넌트 원자들의 질량 또는 이들의 조합들에 의해 설명될 수 있다. 일부 실시예들에서, 정해진 입자 질량에 대해, MCI들의 전하(Q) 및 운동 에너지는 고려할 가장 관련된 특성들일 수 있다.

[0028] [032] 개시된 방법들은 (또한 본원에서 "Q"로서 지칭될 수 있는) 그들의 전하 상태에 의해 설명될 수 있는 MCI들을 포함하는 입자 빔들을 활용한다. MCI들은 포지티브 또는 네거티브의 전하 상태들을 가질 수 있다. 그와 같이, 전하 상태는 (포지티브 또는 네거티브를 특정하는) 실제 전하 또는 전하의 절대 값만으로 지칭될 수 있다. 종종, 입자 빔에서의 MCI들의 전부는 동일한 전하를 가질 것이다. 이것은 예를 들어, 이하에 논의될 질량 및/또는 전하 필터링을 포함하는, 다양한 기술들을 이용하여 달성될 수 있다. 그러나, 특정 입자 빔에서의 MCI들의 전부는 동일한 전하를 가질 필요가 없다. 일부 실시예들에서, MCI들은 ± 2 내지 ± 10 의 전하들을 가질 수 있다. 일부 실시예들에서, MCI들은 ± 2 내지 ± 6 의 전하들을 가질 수 있다. 일부 실시예들에서, MCI들은 ± 3 내지 ± 6 의 전하들을 가질 수 있다. 일부 실시예들에서, MCI들은 3의 전하를 가질 수 있다. 일부 실시예들에서, 입자 빔은 2 내지 6의 전하 상태들로 포지티브 또는 네거티브로 충전되는 MCI들로 이루어질 수 있다.

[0029] [033] 개시된 방법들은 그들의 운동 에너지들에 의해 또한 설명될 수 있는 MCI들을 포함하는 입자 빔들을 활용한다. 입자의 운동 에너지는 또한 입자가 빠르거나 느린지 여부를 설명하는 것이라고 할 수 있다. 본원에 활용되는 MCI들은 "느린" 것으로 또는 "낮은 운동 에너지들"을 갖는 것으로서 고려될 수 있다. 종종 입자 빔에서의 MCI들의 전부는 실질적으로 동일한 운동 에너지 또는 낮은 열적(에너지) 확산을 가질 것이다. 이것은 예를 들어, 이하에 논의될 액셀-디셀 기술들을 포함하는 다양한 기술들을 이용하여 달성될 수 있다. 그러나, 특정 입자 빔에서의 MCI들의 전부는 동일한 운동 에너지를 갖지 않아도 된다. 일부 실시예들에서, MCI들은 약 2000 전자 볼트들(eV)보다 크지 않은 운동 에너지들을 가질 수 있다. 일부 실시예들에서, MCI들은 약 5 eV 내지 약 2000 eV의 운동 에너지들을 가질 수 있다. 일부 실시예들에서, MCI들은 약 200 eV보다 크지 않은 운동 에너지들을 가질 수 있다. 일부 실시예들에서, MCI들은 약 5 eV 내지 약 200 eV의 운동 에너지들을 가질 수 있다. 일부 실시예들에서, MCI들은 약 5 eV 내지 약 100 eV의 운동 에너지들을 가질 수 있다.

[0030] [034] MCI들은 또한 그들의 전위 에너지에 의해 설명될 수 있다. MCI들은 그들의 전위 에너지가 그들의 운동 에너지를 초과할 수 있다는 점에서 장점을 제공할 수 있다. 이하의 표 1은 전하의 함수로서 탄소 함유 이온의 전위 에너지를 도시한다.

표 1

[0031]

탄소 함유 이온(Q)의 전하	전위 에너지(eV)
1	11
2	35
3	81
4	145
5	536
6	1026

[0032] [035] 개시된 MCI들은 또한 그들의 컴포넌트 원자들의 원자 질량에 의해 설명될 수 있다. 일부 실시예들에서, MCI들은 약 1 내지 약 250개의 통합된 원자 질량 단위들(u)까지의 원자 질량을 갖는 원자들로 구성될 수 있다. 일부 실시예들에서, MCI들은 약 1 내지 약 100 u까지의 원자 질량을 갖는 원자들로 구성될 수 있다. 단원자 MCI들이 성분 원자의 원자 질량과 동일한 질량을 가질 것인 한편, 분자 및 클러스터 MCI들은 성분 원자

들의 원자 질량 단위들의 합성물인 질량을 가질 것임이 주목되어야 한다.

- [0033] [036] 개시된 방법들은 또한 그들의 타입에 의해 설명될 수 있는 MCI들을 포함하는 입자 빔들을 활용한다. MCI들은 예를 들어 단위자 이온들, 분자 또는 다원자 이온들 또는 이온들의 클러스터들(또는 나노클러스터들)일 수 있다. 종종 입자 빔에서의 MCI들의 전부는 동일한 타입일 것이다. 이것은 예를 들어, 이하에 논의될 질량 선택된 액셀-디셀 기술들을 포함하는 다양한 기술들을 이용하여 달성될 수 있다. 그러나, 특정 입자 빔에서의 MCI들의 전부가 동일한 타입이어야 하는 것은 아니다.
- [0034] [037] 개시된 MCI들은 또한 그들의 "유효한 크기"에 의해 설명될 수 있다. 본원에 이용된 바와 같은 "유효한 크기"는 이온화의 정도, Q를 갖는 전자와 함수의 공간 범위(크기 및 형상)를 지칭한다. MCI들의 다중 전하 상태(즉, 1보다 큰 절대값을 갖는 전하들)는 입자의 "유효한 크기"가 맞추어질 수 있는 장점을 제공할 수 있다. 도 3은 이온의 전하(Q)의 함수로서 탄소 함유 이온의 표준화된 이온 크기 감소 팩터("유효한 크기"의 측정)를 도시한다. 거기에 나타난 바와 같이, 탄소 함유 이온의 "유효한 크기"는 전하가 증가함에 따라 감소한다.
- [0035] [038] 원자들 또는 이온들의 많은 물리적 특성들은 그들의 "유효한 크기"로부터 도출한다. 원자 또는 분자 스케일에서, 이것은 박막 프로세싱에서의 입사 입자들과 타겟 원자들 사이의 원자간 힘들의 상호작용의 범위를 설명하는 유효한 거리를 포함할 수 있다. 정해진 표면을 갖는 정해진 입사 이온의 운동 상호작용의 본질은 그의 속도 종속 충돌들 단면을 통한 입자의 운동 에너지에 의존한다. 이것의 예는 도 4에 도시된다. 도 4는 정적 탄소 타겟 원자들과 충돌할 때 운동 에너지(eV)의 함수로서 단일로 충전된 탄소 이온의 물리에르 직경(Å)을 도시한다. 낮은 에너지들에서, 표면을 접근하는 느린 이온들에 대한 다수의 원자들을 중복시키기 위해 단면이 (더 낮은 에너지들에서 더 크게) 확장함에 따라 이진 충돌 모드로부터 예를 들어, 표면 원자들과의 파형 표면 상호작용 전위에 의해 지배되는 복합의 많은 몸체 타입 충돌들까지의 천이가 발생할 관련된 충돌 단면으로부터 보여질 수 있다. 이것은 표면을 엔지니어하는 능력을 복잡하게 할 수 있으며 그리고 심지어 제한할 수 있다.
- [0036] [039] 낮은 에너지 SSP 충돌 운동학의 제도의 특징의, 그러나 비-제한 예에서, (예를 들어, sp³ 형성 타입 프로세스들에서) 나노스케일 서브-플랜테이션 삽입 및/또는 변위로의 표면 관통 또는 표면 관통의 프로세스는 입사 운동 에너지가 감소함에 따라 결국 (더 많은 sp² 타입 형성 프로세스인) 표면 증착형으로 될 것이다. 이전에 상기에 논의된 표면 관통 배리어 에너지, 결합 생성 및 포논 어닐링 효과들에 관련되는 운동 효과들에 더하여 이들 고려사항들은 공통으로 소유되는 미국 특허 출원 일련번호 제 13/440071 호에 설명되는 "막" 특성들을 엔지니어링하기 위해 이용가능한 프로세스 가변 원도의 폭 및 SI 및 SSP 기술의 유효성 및/또는 효율성 둘 다를 제한할 수 있다.
- [0037] [040] 개시된 방법들은 표면 나노엔지니어링 기술들의 능력을 개선하기 위해 MCI들의 구별된 운동 및 전위 에너지를 이용하는 장점을 갖는다. 일 예로서, 3의 전하 상태(Q=3)를 갖는 MCI를 포함하는 탄소를 활용하는 방법은 탄소의 1가 이온들이 그렇듯이 (도 4에서 상기에 도시되는) 에너지 종속 물리에르 단면의 절반을 효율적으로 가질 것이다. 이것은 예를 들어, 결합 발생에서의 후속적인 바람직한 감소로 표면 구역으로 운동학적으로 교환되는 에너지의 정도 및 깊이를 제어하는데 장점들을 공급하며 그리고 종래의 1가 이온들에 대한 상당히 더 낮은 입사 입자 에너지들의 이용을 가능하게 할 수 있다. 프로세싱은 표면 에너지 배리어들에 가깝지만 잠재적으로 결합 없는 표면 엔지니어링 기술을 가능하게 하는 결합 생성을 위한 에너지 임계치 아래 입사 에너지들에서 진행할 수 있다.
- [0038] [041] 더욱이, 느린 MCI 프로세스들을 활용하는 개시된 방법들에서, 에너지 교환은 운동 에너지 교환보다는 오히려 전위 에너지 교환에 의해 더 지배될 수 있으며 이온들의 전위 에너지는 종래의 박막 프로세싱에서의 순수하게 운동학 효과들보다는 오히려 전자 여기를 통해 교환된다. SSP 기술들에 대한 애플리케이션에서, MCI 전위 에너지는 입사 입자 운동 에너지를 초과할 수 있다. 큰 운동 교환보다는 오히려 전위 에너지 손실을 통한 상당한 에너지를 손실하는 느린 MCI 프로세싱에서의 입사 입자들의 능력은 박막 나노엔지니어링에서의 전적으로 새로운 능력들을 가능하게 할 수 있다. 또한 느린 MCI 프로세싱에서, MCI의 유효한 이온 전하는 들어오는 입자의 표면으로의 관통의 깊이(경로 길이)로 변화할 수 있으며, 그러므로 MCI가 어떻게 상호작용하며 표면 층에 에너지를 교환하는 방법의 본질은 정해진 발사체-타겟 원자 시스템에 대한 깊이로의 중립화의 정도에 의존하여 기관 표면으로의 경로 길이(깊이)로 변경할 것이다.
- [0039] [042] 이온들의 알려진 소스들은 개시된 방법들에서의 입자 빔으로서 활용될 수 있다. 일반적으로, 배가된(multiply) 충전된 이온들을 생성할 수 있는 소스가 활용될 수 있다. 활용될 수 있는 예시적인 이온 소

스들은 예를 들어, 전자 사이클로트론 공진(ECR) 이온 소스들, 다중첨단(multicusp) 이온 소스들, 및 전자 빔 이온 트랩(EBIT) 이온 소스들을 포함할 수 있다.

- [0040] [043] 본원에 개시된 방법들은 기관 또는 표면에서 입자 빔을 지향시키는 단계들을 포함할 수 있다. 입자 빔을 지향시키는 단계는 예를 들어, "엑셀-디셀" 빔 전송 기술들을 포함하는 다양한 기술들을 이용하여 달성될 수 있다. "이온 엑셀-디셀"로서 본원에 지칭될 수 있는 이온들의 가속화 및/또는 감속화는 프로세스 현상들, 예를 들어, 에칭, 계면 나노엔지니어링, 나노도핑, 나노재료들 및 준안정 표면 재료들의 표면 나노엔지니어링의 제어를 제공하는 팩터들을 제어하기 위해 각도 운동학 프로세싱((빔 축에 관하여) 타겟 프로세스 표면의 각도 측정 (각도) 배치로의 입자 빔 파라미터들의 조정된 실시간 변화)과 함께 질량 선택, 빔 조정 및 웨이핑으로 달성될 수 있다. 이온 엑셀-디셀 방식들은 프로세스 제어를 개선하기 위해 입자 빔 전송 효과들, 예를 들어, 공간-전하 팽창, 및 낮은 에너지들(예를 들어, 쓸모없이 낮은 빔 전류들)에서의 열악한 이온 소스 성능 특성들을 회피할 수 있다. MCI들은 높은 에너지들에서 가속될 수 있고 조정될 수 있으며 그 후에 기관과의 충돌 직전의 에너지에 영향을 미치기 위해 감속될 수 있다. 낮은 에너지 프로세스들을 위한 존재 제한들은 그러나, 극도로 좁을 수 있으며 쉽게 손상될 수 있다.
- [0041] [044] 다른 실시예에서, 빔은 임의선택적으로 웨이핑될 수 있다. 빔의 웨이핑은 예를 들어, 이온 소스에서 또는 예를 들어, 질량 선택 후에 발생할 수 있다. 일부 실시예들에서, 좁은 직사각 또는 라인 웨이핑된 빔이 유용한 형상일 수 있다. 다른 유용한 양상은 입자 빔 자체가 정적이며 기관은 빔에 관하여 기계적으로 스캔될 수 있는 것이다. 정적 입사를 웨이핑하는 것 및 독립적인 기관 스캐닝은 키노 각도측정(kinogoniometric) 중립 입자 프로세싱에서의 중요한 양상들일 수 있다.
- [0042] [045] 대량의 빔 다이버전스는 기관 테이블에 대한 "스로(throw)" 거리의 적절한 고려가 프로세스 윈도우에서의 증착 비율의 적절한 제어와 함께 인스트루먼트 설계에서 이루어지지 않는 경우에 (프로세스 제어의 확률적 손실을 갖는) 빔에 의해 나타날 수 있다. 입자 에너지, 빔 전류, 빔 다이버전스, 전하 상태 및 이온 질량의 프로세스 제어는 전형적으로 종래의 프로세스 기술들에서 정적이다. 그러나 선택된 빔 파라미터들의 변화는 예를 들어, 샘플 각도 측정 모션들로 그리고 모션없이 계면들, 조성적 또는 손상 중심 농도 프로파일들을 맞추기 위해 이용될 수 있다. 이와 함께, 가변가능하게 도핑된 멀티층 나노구조들 또는 선택적 깊이 또는 표면 도핑은 예를 들어, 윤활유 엔지니어링 애플리케이션들에서의 사후-막 성장 동안 질량 필터 파라미터들의 적절한 스위칭에 의해 달성될 수 있다.
- [0043] [046] 개시된 방법들은 임의의 재료의 층들을 형성하기 위해 활용될 수 있다; 또는 다른 방식으로 서술되는 표면 층에 삽입되는 MCI들은 임의의 아이덴티티를 가질 수 있다. 일부 실시예들에서, 개시된 방법들은 탄소를 포함하는 층들을 형성하기 위해 활용될 수 있다. 일부 실시예들에서, 개시된 방법들은 탄화수소로서의 탄소(예를 들어, 수소화된 탄소)를 포함하는 층들을 형성하기 위해 활용될 수 있다. 그러나 탄소 및 탄화수소들이 단순히 예시이며 개시된 방법들은 탄소 및/또는 탄화수소 층들 또는 막들의 형성에 제한되지 않음이 이해되어야 한다.
- [0044] [047] MCI들을 구성하는 재료는 형성되는 층의 재료의 성분이 될 것이다. 일부 실시예들에서, 입자 빔으로부터의 재료들은 기관에 삽입될 것이며, 그 경우에 입자 빔으로부터의 재료 및 기관 재료의 혼합물이 형성될 것이다. 일부 실시예들에서, MCI의 재료를 포함하는 층들(예를 들어, 탄소)이 형성된다. 일부 다른 실시예들에서, (탄소 및 수소 둘 다인) 수소화된 탄소를 포함하는 층들이 형성된다.
- [0045] [048] 형성되는 층들은 다양한 두께들을 가질 수 있다. 그 어구가 본원에 활용된 바와 같은 층의 두께는 두께의 측정을 지칭한다. 예를 들어, 두께의 측정은 평균 두께를 제공할 수 있거나, 층의 평균 두께 또는 두께에 관련될 수 있는 특성을 제공할 수 있다. 예를 들어, 층들은 (재료의 모노층보다 작은) 약 서브-모노층으로부터 약 30Å 두께로 있을 수 있다. 일부 실시예들에서 층들이 약 15Å으로부터 약 25Å 두께로 있을 수 있다; 그리고 일부 실시예들에서, 층들은 약 15Å으로부터 약 20Å 두께로 있을 수 있다.
- [0046] [049] 층은 기관의 표면 상의 재료, 기관의 계면에서의 재료(즉, 기관으로 부분적으로 주입되지만 또한 표면 상에서와 같이 노출되는 재료들), 기관 내의 재료(즉, 기관에 주입되며 기관의 표면에 노출되지 않는 재료들) 또는 그의 임의의 조합을 지칭할 수 있다. 일부 실시예들에서, MCI들은 기관의 표면으로 약 50Å보다 많은 원자들 또는 분자들을 관통하지 않으며 및/또는 상호작용하지 않는다. 일부 실시예들에서, MCI들은 기관의 표면으로 약 30Å보다 많은 원자들 또는 분자들을 관통하지 않으며 및/또는 상호작용하지 않는다. 일부 실시예들에서, MCI들은 기관의 표면으로 약 15Å 내지 25Å보다 많은 원자들 또는 분자들을 관통하지 않으며 및/또는 상호작용하지 않는다. 일부 실시예들에서, MCI들은 기관의 표면으로 약 15Å 내지 20Å보다 많은 원자들

또는 분자들을 관통하지 않으며 및/또는 상호작용하지 않는다. 실시예들에서, 본원에 개시된 방법들은 핵생성 성장 메커니즘들에 기초하여 층들을 형성하지 않는다. 핵생성 성장 메커니즘들은 기본적으로 연속적인 막의 최소 두께를 기본적으로 제한한다.

[0047]

[050] 입사 입자 플럭스 분포, 그 에너지 분포 및 도달각 분포의 제어는 표면 나노엔지니어링의 가능한 프로세스들을 개발하는데 핵심 성분들이다. 그러나, 원자들의 많은 물리적 특성들은 원자의 "크기", 즉 그 파동함수의 크기 및 형상으로부터 도출한다. 이것은 박막 프로세스들을 제어하는데 기본적으로 중요한 원자들/입자들 사이의 원자간 힘들의 상호작용의 범위를 설명하는 유효한 거리를 포함한다. 느린, 적당하게 충전된 이온(MCI)들의 이용은 이온들 전위 에너지와 에너지 교환시에 변환된 에너지 사이의 상호작용과 입자의 전하 상태에 관한 입자의 파동함수의 의존성 때문에 박막 프로세싱에서의 새로운 정도들의 자유도에 대한 액세스를 가능하게 한다.

[0048]

[051] 일부 개시된 방법들은 나노클러스터들 또는 분자 이온들을 활용할 수 있다. 그와 같은 경우들에서, 입자들은 (그들의 입사 에너지들과 반대로) 그들의 주입 에너지에 의해 더 설명될 수 있다. 다음의 구성은 입자들의 에너지를 설명하기 위해 본원에 활용될 수 있다. 그라운드된 빔 입자 소스의 예시적인 경우에, 비-바이어스된, 비-충전된 기관 표면과의 상호작용 직전에 입자의 입사 에너지(V_{inc})는 입사 입자가 단원자, 단일로 충전된 이온을 가정하여, 빔 전압(또는 스크린 바이어스), V_b 및 플라즈마 전위, V_p 의 합산에 의해 제공된다. 본 예에서, 주입 에너지(V_{imp})는 설명된 바와 같은 입사 에너지(V_{inc})와 동일하다. 단일로 충전된 분자 이온 또는 클러스터의 경우에 대해, 기관 표면에서의 원자들과의 상호작용시에, 분자 궤도 중첩은 그 컴포넌트 원자 종로 분자(또는 클러스터)의 완전한 분열을 발생시킨다. 입사 운동 에너지($V_b + V_p$) 마이너스 분자 또는 클러스터 해리(dissociation) 에너지는 그 후에 각 단편의 V_{imp} 를 제공하기 위해 원래의 입사 분자 또는 클러스터 질량의 질량 단편($\frac{\text{mass}_{\text{atomic component}}}{\text{mass}_{\text{total molecule or cluster}}}$)에 따른 각 원자 "단편" 위에 분할된다.

[0049]

[052] (나노클러스터 또는 분자 이온과 같은) 입자의 주입 에너지는 약간의 결합 길이들의 최대치보다 작게 표면으로의 이온 투사된 범위를 제한하기 위해 선택될 수 있다(최대치가 선택된다). 입자의 주입 에너지가 또한 표면으로의 입자들의 통합을 허용하기 위해 표면 에너지 배리어(barrier)의 관통을 허용하는데 최소한 충분하도록 선택될 수 있다(최소치가 선택된다). (기관으로의 입자의 관통을 허용하는데 충분한) 선택된 최소 에너지때문에, 전형적인 핵생성 성장 메커니즘들을 통해 층의 성장이 달성되지 않는다. 주입 입자 에너지들의 선택된 범위는 타겟 원자들로의 운동 에너지 전달이 이동을 생성하는데, 또는 평균적으로 단지 하나 또는 2개의 이동 반응들을 일반적으로 생성하는 불충분하거나, 표면으로의 또는 표면으로부터의 약간의 결합 길이들 내의 거리들까지의 삽입을 허용하는데 충분하도록 되어 있다.

[0050]

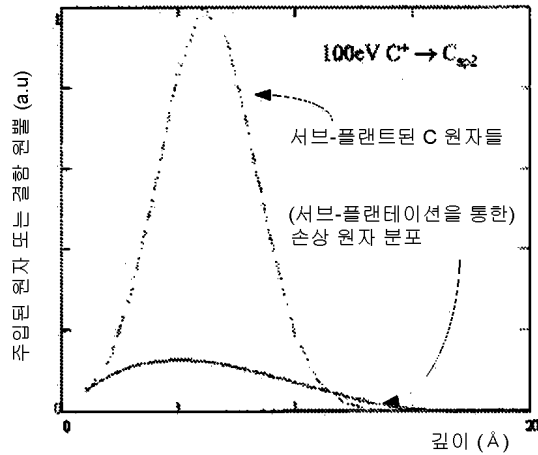
[053] 일단 기관의 표면과 접촉되는 입자들은 더 작은 입자들로 분열할 수 있다. 그와 같은 경우들에서, 입자들 스스로들, 그와 같은 입사 입자들의 단편들 또는 그의 일부 조합은 에너지들, 즉 100 eV보다 크지 않은 주입 에너지들을 가질 수 있다. 주입 에너지들이 본원에서 논의될 때, 그와 같은 에너지들은 입사 입자들, 표면과의 상호작용에 의해 생성되는 그와 같은 입사 입자들의 단편들 또는 그의 임의의 조합을 지칭할 수 있음이 이해되어야 한다. 일부 실시예들에서, 개시된 방법들은 수십(10s) 전자 볼트들(eV)의 주입 에너지들을 갖는 입자들을 활용하는 단계를 포함한다. 일부 실시예들에서, 방법들은 약 100 eV보다 작은 주입 에너지들을 갖는 입자들을 활용하는 단계를 포함한다. 일부 실시예들에서, 방법들은 약 80 eV보다 크지 않은 주입 에너지들을 갖는 입자들을 활용하는 단계를 포함한다. 일부 실시예들에서, 방법들은 약 60 eV보다 크지 않은 주입 에너지들을 갖는 입자들을 활용하는 단계를 포함한다. 일부 실시예들에서, 방법들은 약 40 eV보다 크지 않은 주입 에너지들을 갖는 입자들을 활용하는 단계를 포함한다. 일부 실시예들에서, 방법들은 약 20 eV보다 크지 않은 주입 에너지들을 갖는 입자들을 활용하는 단계를 포함한다. 일부 실시예들에서, 방법들은 약 20 eV 내지 100 eV의 주입 에너지들을 갖는 입자들을 활용하는 단계를 포함한다. 일부 실시예들에서, 방법들은 약 20 eV 내지 80 eV의 주입 에너지들을 갖는 입자들을 활용하는 단계를 포함한다. 일부 실시예들에서, 방법들은 약 20 eV 내지 60 eV의 주입 에너지들을 갖는 입자들을 활용하는 단계를 포함한다. 일부 실시예들에서, 방법들은 약 20 eV 내지 40 eV의 주입 에너지들을 갖는 입자들을 활용하는 단계를 포함한다.

[0051]

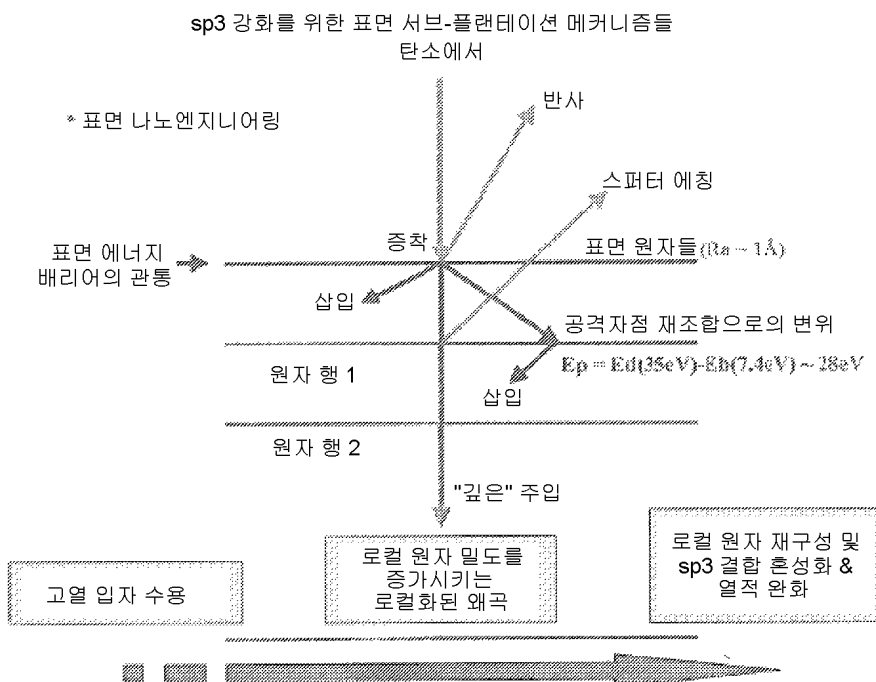
[054] 따라서, METHODS OF FORMING LAYERS의 실시예들이 개시된다. 상기에 설명된 구현들 및 다른 구현들은 후속하는 청구범위의 범위 내에 있다. 당업자는 본 개시물이 개시된 것들과 다른 실시예들로 실시될 수 있음을 인식할 것이다. 개시된 실시예들은 제한이 아닌 예시의 목적들을 위해 제시된다.

도면

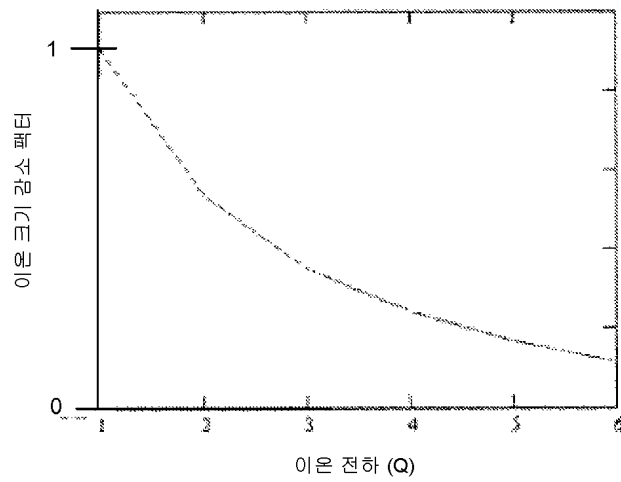
도면1



도면2



도면3



도면4

