



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년08월26일
(11) 등록번호 10-2148284
(24) 등록일자 2020년08월20일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/305 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01J 37/3056 (2013.01)
H01J 2237/221 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-7020830
(22) 출원일자(국제) 2015년12월30일
심사청구일자 2018년12월27일
- (85) 번역문제출일자 2015년07월30일
(65) 공개번호 10-2015-0102119
(43) 공개일자 2015년09월04일
(86) 국제출원번호 PCT/US2013/078315
(87) 국제공개번호 WO 2014/106182
국제공개일자 2014년07월03일
- (30) 우선권주장
61/747,516 2012년12월31일 미국(US)
61/747,515 2012년12월31일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
JP2009139132 A*
US20120286159 A1*
US20080315088A1
JP2012146659A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌
- (73) 특허권자
에프이아이 컴파니
미국 오리건 97124 힐스보로 엔이 도슨 크릭 드라이브 5350
- (72) 발명자
스톤 스테이시
미국 오레곤 97006 비버튼 사우스웨스트 소사 플레이스 795
이상훈
미국 오레곤 97124 힐스보로 넘버디320 노쓰이스트 오렌코 스테이션 파크웨이 1053
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
리엔목특허법인

전체 청구항 수 : 총 16 항

심사관 : 오제욱

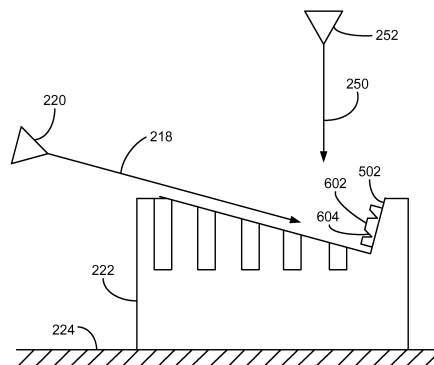
(54) 발명의 명칭 하전 입자 비임을 이용한 경사지거나 비스듬한 밑 작업들을 위한 기준 설계

(57) 요약

하전 입자 비임을 이용하여 샘플을 분석하는 방법은, 샘플 표면(제1 표면)을 향해 하전 입자 비임을 안내하는 단계; 상기 표면을 밀링하여 상기 샘플의 제2 표면을 노출하는 단계로서, 이온 소스에 대해 멀리 위치해 있는 상기 제2 표면의 단부가 이온 소스에 대해 가까이 위치해 있는 상기 제1 표면의 단부보다 참조 위치 깊이에 비해 더

(뒷면에 계속)

대표도 - 도6



깊은 깊이에서 이르기까지 밀링되는, 단계; 상기 제2 표면을 향해 상기 하전 입자 비임을 안내하여 상기 제2 표면의 하나 이상의 이미지들을 형성하는 단계; 상기 제2 표면과 전자 비임의 상호작용을 검출하여 다수의 인접한 관심 대상의 특징부의 단면들의 이미지들을 형성하는 단계; 상기 단면들의 이미지들을 어셈블링 하여 하나 이상의 관심 대상의 특징부들의 3-차원 모델을 이루는 단계;를 포함한다. 개선된 기준을 형성하고 나노스케일 3-차원 구조의 노출된 특징부의 깊이를 결정하는 방법이 제시되어 있다.

(52) CPC특허분류

H01J 2237/226 (2013.01)

H01J 2237/2814 (2013.01)

H01J 2237/31745 (2013.01)

(72) 발명자

블랙우드 제프리

미국 오레곤 97206 포틀랜드 사우스이스트 75번가
3203

슈미트 마이클

미국 오레곤 97080 그레삼 사우스이스트 해시엔더
레인 1003

김현화

서울특별시 송파구 한가람로 448 103-905

명세서

청구범위

청구항 1

하전 입자 비임을 이용하여 샘플을 분석하는 방법에 있어서,

상기 방법은,

샘플의 제1 표면을 향해 하전 입자 비임을 안내하는 단계;

상기 제1 표면을 밀링하여 상기 샘플의 제2 표면을 노출하는 단계로서, 이온 소스에 대해 멀리 위치해 있는 상기 제2 표면의 단부가 이온 소스에 대해 가까이 위치해 있는 상기 제1 표면의 단부보다 참조 위치 깊이에 비해 더 깊은 깊이에 이르기까지 밀링되는, 단계;

상기 제2 표면을 향해 상기 하전 입자 비임을 안내하여 상기 제2 표면의 하나 이상의 이미지들을 형성하는 단계;

상기 제2 표면과 전자 비임의 상호작용을 검출하여 다수의 인접한 샘플 가공물 구성요소부의 단면들의 이미지들을 형성하는 단계;

상기 단면들의 이미지들을 어셈블링 하여 하나 이상의 샘플 가공물 구성요소부들의 3-차원 모델을 이루는 단계;를 포함하는, 하전 입자 비임을 이용한 샘플 분석 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 방법은,

상기 제2 표면을 밀링하여 제3 표면을 노출하는 단계로서, 상기 제3 표면은 상기 제2 표면보다 상기 샘플 내에 깊이 있는, 단계;

상기 제3 표면을 향해 상기 하전 입자 비임을 안내하여 상기 제3 표면의 하나 이상의 이미지들을 형성하는 단계;

상기 제3 표면과 전자 비임의 상호작용을 검출함으로써 다수의 인접한 샘플 가공물 구성요소부의 단면들의 이미지들을 형성하는 단계;

를 더 포함하는, 하전 입자 비임을 이용한 샘플 분석 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 제2 표면으로부터 형성된 이미지들 및 상기 제3 표면으로부터 형성된 이미지들은 하나 이상의 샘플 가공물 구성요소부들의 3-차원 모델을 형성하도록 나타나게 되는, 하전 입자 비임을 이용한 샘플 분석 방법.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 밀링은 이온 비임에 의해 수행되는, 하전 입자 비임을 이용한 샘플 분석 방법.

청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 이미지들은 전자 비임을 이용하여 형성되는, 하전 입자 비임을 이용한 샘플 분석 방법.

청구항 6

제1항 또는 제2항의 방법을 수행하는 시스템에 있어서,
 상기 시스템은,
 집속 이온 비임 시스템;
 전자 현미경; 및
 샘플을 지지하는 샘플 스테이지;
 를 포함하는, 시스템.

청구항 7

샘플 상에 기준(fiducial)을 형성하는 방법에 있어서,
 상기 방법은,
 샘플을 위치 결정하여 하전 입자 비임이 제1 밀링 작업을 위해 상기 샘플에 안내되게 하는 단계로서, 상기 하전 입자 비임은 제1 각도로 안내되고 상기 제1 각도는 제2 각도에 실질적으로 직교하는, 단계;
 하전 입자 비임에 실질적으로 나란한 상기 샘플 상의 면을 밀링하도록 상기 샘플에 상기 하전 입자 비임을 안내 하는 단계;
 상기 하전 입자 비임에 실질적으로 나란한 상기 샘플 상의 면을 밀링하는 단계;
 상기 샘플의 밀링된 면 상에 기준을 형성하는 단계;
 이미지 인식을 위한 콘트라스트 및 판독성(readability)을 개선하기 위해 상기 기준의 적어도 하나의 표면으로 패턴을 밀링하는 단계;
 상기 샘플을 위치 결정하여 상기 하전 입자 비임이 제2 밀링 작업을 위해 상기 샘플에 안내되게 하는 단계로서, 상기 하전 입자 비임은 상기 제2 각도로 안내되고, 상기 제2 각도는 상기 샘플 표면에 대해 10도보다 크지 않은, 단계;
 를 포함하는, 샘플 상의 기준 형성 방법.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 제2 각도는 상기 샘플 표면에 대해 5도보다 크지 않은, 샘플 상의 기준 형성 방법.

청구항 9

제7항 또는 제8항에 있어서, 상기 제2 각도는 상기 샘플 표면에 대해 1도보다 크지 않은, 샘플 상의 기준 형성 방법.

청구항 10

제7항 또는 제8항의 방법을 수행하는 시스템에 있어서,
 상기 시스템은,
 집속 이온 비임 시스템;
 전자 현미경; 및
 샘플을 지지하는 샘플 스테이지;
 를 포함하는, 시스템.

청구항 11

3-차원 미세 구조를 분석하는 방법에 있어서,
 상기 방법은,

가공물(work piece) 상에 관심 대상의 영역 위치를 결정하는 단계;

상기 가공물에서 소정의 각도로 트렌치(trench)를 형성하는 단계로서, 상기 트렌치는 상기 가공물의 구성요소부를 노출하는, 단계;

상기 트렌치의 에지 및 상기 가공물의 구성요소부 간의 수평 거리를 결정하는 단계;

상기 소정의 각도 및 상기 수평 거리로부터 가공물 표면의 수평면 아래로 상기 가공물의 구성요소부의 깊이를 결정하는 단계;

를 포함하는, 3-차원 미세 구조 분석 방법.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 트렌치의 에지 및 상기 가공물의 구성요소부 간의 수평 거리를 결정하는 단계는, 참조 위치 마크(reference mark) 및 상기 가공물의 구성요소부 간의 수평 거리를 결정하고 상기 참조 위치 마크 및 상기 트렌치의 에지 간의 수평 거리를 결정하는 단계를 포함하는, 3-차원 미세 구조 분석 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 방법은,

상기 관심 대상의 영역에 인접한 집속 이온 비임을 이용하여 참조 위치 마크를 밀링하는 단계;

를 더 포함하는, 3-차원 미세 구조 분석 방법.

청구항 14

제12항에 있어서, 상기 참조 위치 마크는 가공물 상에 사전에 존재하는 구성요소부인, 3-차원 미세 구조 분석 방법.

청구항 15

제11항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 방법은,

상기 수평 거리로부터 결정된 소정의 깊이로 상기 가공물을 처리하는 단계;

를 부가적으로 포함하는, 3-차원 미세 구조 분석 방법.

청구항 16

제11항 내지 제14항 중 어느 한 항의 방법을 수행하는 시스템에 있어서,

상기 시스템은,

집속 이온 비임 시스템;

전자 현미경; 및

샘플을 지지하는 샘플 스테이지;

를 포함하는, 시스템.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 하전 입자 비임 밀링에 관한 것으로 특히, 주사형 전자 현미경(scanning electron microscope)을 위한 평면 단면 뷰(planar cross section view)를 형성하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0001]

- [0002] 하전 입자 비임 시스템들은 집적 회로들, 자기 기록 헤드들 및 포토리도그래피 마스크들과 같은 미세 가공 기기들의 제조, 보수, 점검을 포함한 다양한 애플리케이션들에 사용된다. 본원 출원의 양수인인 FEI사로부터 상업적으로 입수가 가능한 듀얼 비임 기구들과 같은 듀얼 비임 시스템들은 타깃에 최소의 손상을 주면서 고-해상 이미지를 제공할 수 있는 주사형 전자 현미경(scanning electron microscope; SEM), 및 기관들을 변경하고 이미지들을 형성하는데 사용될 수 있는 집속 또는 형상화된 비임 시스템(FIB)과 같은 이온 비임 시스템을 포함하는 것이 전형적이다. 그러한 듀얼 비임 시스템들은 예를 들면 전체 내용이 본원 출원에 참조 병합되는, Hill과 그의 동료 명의의 미국 특허 제7,161,159호에 기재되어 있다. 몇몇 듀얼 비임 시스템들에서는, 상기 FIB가 수직으로부터 52도와 같은 각도로 배향되어 있으며 전자 비임 컬럼은 수직으로 배향되어 있다. 다른 시스템들에서는, 상기 전자 비임 컬럼이 경사져 있으며 상기 FIB가 수직으로 배향되어 있거나 또는 경사져 있다. 상기 샘플이 탑재되게 하는 스테이지가 몇몇 시스템들에서는 대략 60도에 이르기까지 경사져 있을 수 있는 것이 전형적이다.
- [0003] 듀얼 비임 시스템에 대한 일반적인 애플리케이션은 미세 가공 동안 결함들 및 다른 장애들을 분석하여 미세 가공 프로세스들의 문제를 해결하고, 조정하며, 그리고 개선하는 것이다. 결함 분석은 설계 검증 진단들, 생산 진단들을 포함하는 반도체 생산의 모든 측면들과 아울러, 초소형 회로 연구 개발의 다른 측면들에서 유용하다. 기기의 기하학적 구조들이 계속 축소되고 새로운 재료들이 도입됨에 따라, 오늘날의 반도체들의 구조적 복잡성은 기하급수적으로 증가한다. 이러한 새로운 재료들로 만들어진 구조들 대부분은 이전의 층들을 통해 재-진입, 다시 침투되고 있다. 따라서, 기기 고장의 결함들 및 구조적 원인들이 종종 표면 아래에 잘 숨겨져 있다.
- [0004] "디프로세싱(deprocessing)"은 구조를 제거하여 하부 구조를 노출하는 것을 의미한다. 디프로세싱은 때때로 매립된 구조들의 특징을 묘사하는데 필요하다. 현재의 디프로세싱 기법들은 데이터의 전달에 집중되어 있으며 평면 방식-밀(mill)들로의 구조에 대한 액세스는 이미징, 프로빙, 또는 다른 국부화 기법들을 허용하도록 기기에 직교하는 표면을 생성하도록 조작된다. 마찬가지로, 웨이퍼의 클리빙(cleaving) 또는 병렬-래핑(parallel-lapping) 디프로세싱은 정보의 평면/구조에 대한 액세스를 생성한다. 현재의 이미징 및 장애 분리 기법들(마이크로프로빙, 주사형 정전용량 현미경, 전압-콘트라스트 이미징)은 이러한 평면 표면에 액세스하여 장애를 부가적으로 분리시키기 위한 구조적/도량형적(metrological) 데이터, 또는 전기적 정보를 제공한다.
- [0005] 따라서, 결함 분석은 종종 단면화(cross-sectioning) 및 3-차원을 기반으로 하는 결함들의 뷰잉(viewing)을 필요로 한다. 3-차원 결함 분석들을 수행하는 것이 가능한 좀더 양호한 시스템들은 이전보다 더 중요하다. 이는 매립되어 있고 그리고/또는 더 소형화되는 결함들이 많아지고 있고, 그 외에도 화학적 분석이 많은 경우에 필요하기 때문이다. 더욱이, 결함 특징화 및 장애 분석에 대한 구조적 진단 해결방안들은 더 짧은 시간에 더 신뢰성 있는 결과들을 끌어내서, 설계자들 및 제조업자들이 자신 있게 복잡한 구조적 장애들을 분석하고, 재료의 조성, 및 결함들의 소스를 이해하며, 그리고 수율을 증가시키는 것을 허용해야 한다.
- [0006] 그 외에도, 선행기술의 집적 회로들에 있어서의 관심 대상의 대부분의 영역들이 일반적으로 평면인 영역에서 작은 부피의 집적 회로(integrated circuit; IC) 기기로 한정되지만(다시 말하면, SRAM 또는 NAND 플래시 셀이 개별적인 X 및 Y 위치를 점유하고 활성 영역의 작은 부피는 Z 방향에 있음), 새로운 기술들의 진화는 3-차원로의 관심 대상의 부피(volume-of-interest; VOI)의 좀더 개별적인 분리를 필요로 한다. 현재 관심 대상의 영역(region of interest; ROI) 기술의 식별은 X/Y 비트 어드레스, 다이 상의 게이트 X/Y 어드레스, 또는 다른 어떤 본질적으로는 X/Y 국부화 데이터를 포함하는 것이 전형적인데, 그 이유는 활성 영역이 기판 웨이퍼 표면에 한정되어 있기 때문이다. 부상되고 있는 3D IC 제조 기술들은 활성 영역을 Z 방향의 한 평면에 국한하지 않는다. 활성 영역들은 활성 기기들의 여러 레벨을 지닌다. X, Y, 및 Z 좌표 정보가 필요하다.
- [0007] 도 1에는 선행기술에 공지된 바와 같은 듀얼 비임 SEM/FIB 시스템을 이용하여 단면을 노출하는 방법이 도시되어 있다. 전형적으로는, 샘플(102) 내에 특징부를 분석하기 위해, 집속 이온 비임(focused ion beam; FIB)이 뷰잉해야 될 숨겨진 특징부를 지나는 샘플 재료의 표면(112)의 상부에 수직인 단면, 또는 면(108)을 노출한다. 상기 SEM 비임 축(106)이 FIB 비임 축(104)에 대해 예각(acute angle)에 있는 것이 전형적이기 때문에, 상기 면의 앞에 있는 샘플의 일부는 상기 SEM 비임이 상기 면을 이미지화하는데 액세스할 수 있도록 제거되는 것이 바람직하다. 선행기술의 방법에 관련된 한 가지 문제점은 대다수의 단면이 전형적으로 트렌치의 특징을 적절히 묘사하는데 충분한 크기의 한 세트의 샘플들을 형성하도록 트렌치의 길이를 따라 노출되어야 한다는 점이다.
- [0008] 상기 FIB에 의해 형성되고 있는 개구부에 비해 깊은 특징부들의 경우, 선행기술의 방법은 감소된 신호 대 잡음비에 직면한다. 이러한 상황은 깊은 홈 내에 손전등을 비추어서 상기 홈의 측면의 이미지를 형성하려고 시도하는 것과 유사하다. 예를 들면, 전형적인 구리(copper) 상호접속 트렌치는 120 나노미터 깊이 x 5-8 나노미터(nm) 폭이다. 상기 SEM으로부터의 전극들 대부분은 트렌치에 남아 있고 검출기로 후방 산란되지 않는다.

- [0009] 예를 들면 결함 분석 애플리케이션들에서의 다른 한 결점은 여러 단면이 결함을 발견하기 위해 상기 특징부의 깊이를 따라 취해져야 한다는 점이다. 이는 시간 소비 프로세스일 수 있다. 상기 결함이 단면들 사이에 존재하는 경우에, 상기 결함이 누락될 수도 있고, 더 많은 단면들이 취해지는 경우에는, 검증 프로세스의 시간이 증가하게 된다.
- [0010] 이온 비임이 분석을 위해 3D IC 또는 3차원 나노스케일 구조의 일부를 노출하는데 사용되는 경우에, 관심 대상의 특징부의 X-Y 좌표뿐만 아니라 상기 Z 좌표, 다시 말하면 가공물 표면 아래의 특징부의 깊이를 정확하게 결정하는 것이 필수 불가결할 수 있다. 선행기술의 기법들은 나노스케일 상의 특징부들을 처리하기에 충분히 정확하지 않다.
- [0011] 기준(fiducial)들이 종종 샘플 가공물 상에 관심 대상의 특징부 위치를 결정하는데 사용된다. 한 배향에서 FIB를 이용하여 상기 샘플 상에 만들어진 기준들은 다른 한 경사진 배향에서 뷰잉될 경우에 이미지화하기 위해 그리고 차후의 FIB 밀링 참조들을 위해 최적의 특징부들을 제공하지 못한다.

발명의 내용

- [0012] 본 발명의 한 실시 예는 하전 입자 비임을 이용하여 샘플을 분석하는 방법 및 시스템에 관한 것이다. 상기 방법의 실시 예들은 샘플의 제1 표면을 향해 하전 입자 비임을 안내하는 단계; 상기 제1 표면을 밀링하여 상기 샘플의 제2 표면을 노출하는 단계로서, 이온 소스에 대해 멀리 위치해 있는 상기 제2 표면의 단부가 이온 소스에 대해 가까이 위치해 있는 상기 제1 표면의 단부보다 참조 위치 깊이에 비해 더 깊은 깊이에 이르기까지 밀링되는, 단계; 상기 제2 표면을 향해 상기 하전 입자 비임을 안내하여 상기 제2 표면의 하나 이상의 이미지들을 형성하는 단계; 상기 제2 표면과 전자 비임의 상호작용을 검출하여 다수의 인접한 관심 대상의 특징부의 단면들의 이미지들을 형성하는 단계; 및 상기 단면들의 이미지들을 어셈블링 하여 하나 이상의 관심 대상의 특징부들의 3-차원 모델을 이루는 단계;를 포함한다.
- [0013] 본 발명의 다른 한 실시 예는 샘플 상에 기준(fiducial)을 형성하는 방법 및 시스템에 관한 것이다. 상기 방법의 실시 예들은, 샘플을 위치 결정하여 하전 입자 비임이 제1 밀링 작업을 위해 상기 샘플에 안내되게 하는 단계로서, 상기 하전 입자 비임은 제1 각도로 안내되고 상기 제1 각도는 제2 각도에 실질적으로 직교하는, 단계; 하전 입자 비임에 실질적으로 나란한 상기 샘플 상의 면을 밀링하도록 상기 샘플에 상기 하전 입자 비임을 안내하는 단계; 상기 하전 입자 비임에 실질적으로 나란한 상기 샘플 상의 면을 밀링하는 단계; 상기 샘플의 밀링된 면 상에 기준을 형성하는 단계; 및 상기 샘플을 위치 결정하여 상기 하전 입자 비임이 제2 밀링 작업을 위해 상기 샘플에 안내되게 하는 단계로서, 상기 하전 입자 비임은 상기 제2 각도로 안내되고, 상기 제2 각도는 상기 샘플 표면에 대해 10도보다 크지 않은, 단계;를 포함한다.
- [0014] 다른 한 실시 예에서는, 나노스케일 3-차원 구조에서의 노출된 특징부의 깊이가 상기 특징부를 노출하는 절단 각도 및 절단 에지로부터 또는 참조 위치 마스크로부터의 수평 특징부의 거리를 사용하여 결정된다.
- [0015] 본 발명의 실시 예들은 또한 위에서 언급한 방법들을 수행하는 시스템들을 포함한다. 상기 시스템들은 집속 이온 비임 시스템, 주사형 전자 현미경, 및 샘플 스테이지를 포함한다.
- [0016] 본 발명, 및 본 발명의 이점들의 좀더 완전한 이해를 위해, 지금부터 첨부도면들과 함께 취해진 이하의 설명이 참조하게 될 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0017] 도 1은 선행기술에 공지된 듀얼 비임 SEM/FIB 시스템을 이용한 단면 노출 방법을 보여주는 도면이다.
- 도 2는 비스듬한 각도로 샘플(222)의 상부 표면을 밀링하는 이온 비임을 보여주는 도면이다 .
- 도 3은 실질적으로 동일한 다수의 인접한 특징부를 가지고 비스듬한 각도 밀링 작업을 수행한 후의 샘플 가공물의 측면도이다.
- 도 3a는 홀(hole)들(304, 306, 308 및 310) 및 서로 다른 깊이들로부터의 측정들을 이용하여 형성된 "가상(virtual)" 홀(312)을 보여주는 도면이다.
- 도 4는 실질적으로 동일한 다수의 인접한 특징부(302-310)를 가지고 비스듬한 각도 밀링 작업을 수행한 후의 샘플 가공물(222)의 평면도이다.
- 도 5는 최종 밀링 배향에 수직/직교하는 것에 근접해 있는 면(502)을 밀링하기 위해 배향된 샘플 가공물(222)의

측면도이다.

도 6은 면(502) 상에 형성된 3차원 기준(602)을 지나는 샘플 가공물(222)의 측면도이다.

도 7은 본 발명의 실시 예들에 따른 - 비스듬한 각도 밀링에 적합한 기준을 형성하는 단계들을 보여주는 흐름도(700)이다.

도 8은 본 발명의 하나 이상의 실시 예들을 구현하는데 적합한 전형적인 듀얼 비임 FIB/SEM 시스템(800)을 보여주는 도면이다.

도 9는 본 발명의 하나 이상의 실시 예들에 따른 샘플 분석을 수행하는 단계들을 보여주는 흐름도(900)이다.

도 10은 3-차원 나노스케일 구조를 지나는 가공을 보여주는 도면이다.

도 11은 본 발명의 다른 한 실시 예를 보여주는 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0018] 전체 내용이 본원 명세서에 참조 병합되는 미국 특허출원 제13/710,931호에는 직교 배향된 FIB를 사용하여 일련의 단면들을 노출하기보다는 오히려, FIB가 샘플 표면에 대하여 매우 작은 각도로, 바람직하게는 10° 보다 크지 않은 각도로 배향되어 있는 비스듬한 각도 밀링 기법을 이용하는 샘플 분석 방법이 개시되어 있다. 상기 이온 비임이 상기 샘플 표면에 대해 그러한 작은 각도로 배향되기 때문에, 이온 소스의 반대편에서 밀링되어 제거되는 샘플 재료의 양이 많아지게 된다. 다시 말하면, 노출된 표면은 상기 이온 소스에 대해 가장 가까이 위치해 있는 단부보다는 이온 소스로부터 가장 멀리 위치해 있는 샘플의 단부 상의 깊이가 더 깊게 밀링된다. 이는 상기 노출된 표면이 원래의 샘플 표면에 대해 하향 경사를 지니게 한다. 일단 경사진 샘플 표면이 노출된 경우에, 상기 노출된 면은 이때 예를 들면 전자 비임을 이용하여 하향식으로 이미지화될 수 있다. 상기 노출된 경사진 면의 이미지는 본질적으로 제공된 구조 정보에 대해 평면 뷰 및 다수의 단면 뷰의 조합이게 된다.
- [0019] 도 2에는 비스듬한 각도로 샘플(222)의 상부 표면을 이온 비임 밀링하는 것이 도시되어 있다. 도 2의 실시 예에서는, 샘플(222)이 표준 45° 로 사전에 경사진 샘플 스테브(202) 상에 탑재되며, 상기 샘플 스테브(202)는 다시 듀얼 비임 SEM/FIB와 같은 이온 비임 시스템의 경사 샘플 스테이지(224) 상에 탑재된다. 상기 전자 비임 및 상기 이온 비임은 상기 전자 비임(250)이 경사지지 않은 샘플 스테이지에 수직이고 상기 이온 비임(218)이 약 52° 각도에 있는 상태로 배향되어 있다. 다른 실시 예들에서는, 사전에 경사진 샘플 스테브(202)는 사용되지 않고 상기 샘플의 경사가 샘플 스테이지 경사 및/또는 컬럼 경사에 의해 설정된다.
- [0020] 본 발명의 여러 실시 예에 의하면, 비스듬한 각도 밀링 기법은 깊이를 증가시킬 때 관심 대상의 특징부들의 연속적인 평면 단면 뷰들을 형성하는데 사용된다. 상기 연속적인 평면 단면 뷰들은 그 후에 깊이가 증가하는 방향으로 관심 대상의 특징부들의 3차원(3D) 모델을 형성하도록 재구성된다. 본 발명의 실시 예들은 실리콘 관통 비어(through-silicon vias; TSV)와 같은 실질적으로 동일한 다수의 인접한 특징부의 연속 평면 단면 뷰들을 형성하는데 매우 적합하다. 비스듬한 각도 밀은 비임 소스로부터 가장 멀리 위치한 재료를 상대적으로 깊은 깊이에 이르도록 제거한다. 실질적으로 동일한 다수의 인접한 특징부의 경우에, 비임 소스로부터 가장 멀리 위치해 있는 특징부가 비임 소스에 대해 가까이 위치해 있는 특징부들보다 더 깊은 깊이에 이르기까지 밀링된다. 상기 비스듬한 각도 밀의 각도는 다수의 인접한 특징부 각각이 관심 대상의 한 특징부의 3차원 모델을 형성하도록 재구성될 수 있도록 선택될 수 있다. 다시 말하면, 3D 모델은 관심 대상의 하나의 특징부의 연속적으로 좀더 깊은 단면들을 형성하고 이들을 3D 모델로 재구성하는 다수의 밀링 작업 대신에 하나의 밀링 작업으로 이루어질 수 있음으로써, 실질적으로 처리 시간을 줄일 수 있다.
- [0021] 도 3에는 실질적으로 동일한 다수의 인접한 특징부들(302-310)을 가지고 비스듬한 각도 밀링 작업을 수행한 후의 샘플 가공물(222)의 측면도가 도시되어 있다. 집속 이온 비임(218)은 이온 비임 소스(220)로부터 샘플 가공물(222)의 상부 표면에 대해 비스듬한 각도로 안내된다. 그 결과로, 특징부(310)는 특징부(304)보다 깊은 깊이로 밀링된다. 전자 비임(250)은 다수의 인접한 특징부(302-310)의 단면들의 이미지들을 형성하도록 전자 비임 소스(252)로부터 샘플 가공물(222)의 상부 표면에 대해 직교에 가까운 각도로 안내된다. 본원 출원인들은 동일한 형상을 지니도록 설계되는 인접 구조들이 실제로는 본질적으로 동일하게 하기 위해 반도체 제조 프로세스가 충분히 제어되는 것이 전형적임을 인식하였다. 다수의 본질적으로는 동일한 특징부의 서로 다른 깊이로 측정들을 결합하여 3차원 이미지를 형성하는 것이 서로 다른 깊이로 단일 특징부를 여러 번 측정하는 단일 특징부를 밀링하는 것보다 훨씬 빠르다.

- [0022] 다수의 인접한 특징부(302-310)가 실질적으로 동일하고, 다수의 인접한 특징부들(302-310)의 단면이 특징부들에 따라 다른 깊이로 이루어지기 때문에, 그러한 특징부들의 단면들의 이미지들은 상기 특징부들 중 하나에 근사화 되는 3D 모델을 형성하도록 컴퓨터 소프트웨어에 의해 어셈블링될 수 있다. 다시 말하면, 특징부들(302, 304, 306, 308, 310)의 직경들은 경사진 표면상에 노출된 서로 다른 깊이들로 측정된다. 도 3a에는 홀들(304, 306, 308, 310)로부터의 측정들 및 서로 다른 깊이들을 이용하여 형성되는 "가상(virtual)" 홀(312)이 도시되어 있다. 가상 홀(312)이 4개의 측정들로부터 형성된 예로서 도시되어 있지만, 동일한 구조들로부터의 실제 개수의 측정들이 더 많을 수 있다. 수직 해상도는 상기 비임(218)이 상기 가공물을 절단하게 하는 각도 및 동일한 특징부들 간의 거리에 의존하게 된다. 다시 말하면, 상대적으로 얇은 각도에서는 인접한 구조들의 측정들 간의 깊이의 차이가 작아지게 된다. 좀더 높은 해상도가 필요한 경우에, 동일한 특징부들로부터의 3-차원 재구성 프로세스가 추가 밀링 작업과 결합될 수 있다. 예를 들면, 초기 측정 비임(218)이 경사진 표면으로부터 25 nm를 밀링할 수 있으며 다른 측정 세트가 수행될 수 있는 후에 서로 다른 깊이들로 노출된 동일한 구조들로부터의 측정들이 매 50 nm 두께에 대한 측정을 제공하는 경우에, 두 번째 세트에서의 각각의 측정이 첫 번째 세트에서의 측정과는 다른 깊이로 이루어지게 된다. 예를 들면, 첫 번째 세트에서의 측정들이 깊이 100 nm, 150 nm, 200 nm 등으로 이루어질 수 있다. 밀링 후 상기 두 번째 세트에서의 측정들은 125 nm, 175 nm, 225 nm 등등을 이루어진다. 2가지 측정 세트를 결합하면, 수직 높이의 매 25 nm에서 측정이 제공되며, 상기 측정들이 하나의 가상 특징부로 결합될 수 있다. 상기 특징부가 홀(hole)로 국한되지 않고, 반복되는 어떤 특징부라면 가능하다. 상기 단계들이 본질적으로 얇은 각도로 상기 가공물을 밀링하고, 밀링된 면을 따라 서로 다른 깊이들로 노출되는 실질적으로 동일한 특징부들의 치수를 측정하는 것이며, 그 다음에는 서로 다른 특징부들의 측정들이 단일의 가상 특징부의 서로 다른 깊이들로 상기 치수들을 결정하도록 조합되고, 옵션으로는 서로 다른 깊이들로 추가의 측정들을 제공하여 가상 특징부의 측정들의 수직 해상도를 개선하도록 추가의 측정 단계들로 추가적인 밀 단계들이 수행된다.
- [0023] 도 4에는 실질적으로 동일한 다수의 인접한 특징부(302-310)를 가지고 비스듬한 각도 밀링 작업을 수행한 후의 샘플 가공물(222)의 평면도가 도시되어 있다.
- [0024] 상기 다수의 인접한 특징부의 기하학적 구조 및 간격 그리고 밀의 각도에 의존하여, 깊이들을 증가시킬 때 여러 비스듬한 각도 밀을 수행하여 3D 모델에 대해 충분한 해상도를 제공하기에 충분한 단면들을 획득하는 것이 필요할 수 있다. 예를 들면, 밀의 각도가 너무 가파르거나, 또는 상기 다수의 인접한 특징부가 수평 방향으로 너무 멀리 떨어져 있는 경우, 또는 밀의 각도가 너무 가파르고 상기 다수의 인접한 특징부가 수평 방향으로 너무 멀리 떨어져 있는 경우, 인접한 특징부의 단면들이 수직 방향으로 너무 멀리 떨어져 있을 수 있다. 다시 말하면, 인접한 특징부들의 단면들은 수직 방향에서 2개의 인접한 특징부 간에 존재할 수 있는 깊이 및 겹에서 충분히 근접해 있지 않을 수 있다. 차후의 비스듬한 각도 밀링 작업은 좀더 깊은 깊이에서 제2 세트의 단면 이미지들을 획득하도록 수행될 수 있다.
- [0025] 몇몇 반도체 애플리케이션들에서는, 상기 다수의 인접한 특징부가 10 나노미터(nm)보다 작은 치수들을 지닐 수 있다. 그 결과로, 차후의 비스듬한 각도 밀링 작업이 이전의 비스듬한 각도 밀링 작업보다 단지 1-2 nm만 더 깊을 수 있다. 상기 밀링 작업의 정확한 배치는 정확한 단면들 및 정확한 3D 모델을 획득하는데 매우 중요하다. 그러나, 상기 FIB가 비스듬한 각도로 안내되기 때문에, 관심 대상의 특징부들의 이미지들을 이용한 상기 비임의 정확한 배치는 어렵다. 샘플 가공물 상의 특징부들의 위치를 결정하기 위한 기준(fiducial)들이 사용되는 것이 전형적이다. 그러나, 샘플 가공물 상의 특징부들의 위치를 결정하기 위해 사용되는 전형적인 기준들은 하향식 비임 이미지화를 위해 상기 샘플 가공물의 상부 표면상에 배치된다. 상기 샘플 가공물의 상부 표면상에 배치된 기준들은 비스듬한 각도 밀링 작업들에 관련된 여러 결점을 지닌다. 기준들은 상기 샘플 가공물의 상부 표면상에 배치되는 것이 전형적이다. 상기 FIB의 비스듬한 각도는 비임 배치를 위해 상기 FIB를 이용하여 상기 샘플 가공물의 상부 표면상의 기준을 관측하는 것을 어렵게 한다. 또한, 차후의 비스듬한 각도 밀링 작업들이 이전의 비스듬한 각도 밀링 작업보다 단지 1-2 nm만 더 깊을 수 있기 때문에, 상기 샘플 가공물의 상부 표면상의 기준이 정확한 비임 배치를 위한 참조 위치를 제공하기 위해 상기 밀링된 표면의 하부로부터 너무 멀리 위치해 있을 수 있다.
- [0026] 본 발명의 실시 예들에 의하면, 상기 FIB에 대한 최종 밀링 위치에 좀더 수직인 배향으로 기준이 생성된다. 이를 수행하기 위해서는 최종 밀링 배향에 수직/직교하는 것에 근접해 있는 밀링된 면을 생성하고, 그 다음에는 상기 샘플을 밀링 위치에 배향하고 상기 밀링된 면에 기준을 생성하는 것을 필요로 한다. 도 5에는 최종 밀링 배향에 수직/직교하는 것에 근접해 있는 면(502)을 밀링하기 위해 배향된 샘플 가공물(222)의 측면도가 도시되어 있다. 샘플 가공물(222)은, 이온 비임(218)이 상기 비스듬한 각도 밀링 작업을 수행할 때 이온 비임 입사각

에 실질적으로 수직 또는 직교하도록 샘플 스테이지를 180도 회전시켜 상기 스테이지를 경사지게 함으로써 이러한 배향으로 배치될 수 있다. 면(502)은 또한 비스듬한 각도 밀링 작업을 수행할 때 이온 비임 입사각에 실질적으로 수직 또는 직교하여, 비임 이미지화 및 패터닝시 참조 위치에 대한 좀더 높은 품질의 기준을 가능하게 한다. 이때, 기준은 면(502)에서 밀링된다.

[0027] 변형적으로는, 3-차원 기준이 면(502) 상에 형성될 수 있다. 전체 내용이 본원 명세서에 참조병합되는 미국 특허출원 제13/112,981호에는 샘플의 표면 상에 3개의 치수로 검출가능한 정도까지 확장하는 3차원 기준이 개시되어 있다. 3차원("3D") 기준은 서로 다른 각도들로부터 동시에 인식될 수 있는 단일의 참조 위치 지점이다. 3D 기준은 관심 대상의 영역에 가까운 샘플 상에 재료의 블록을 디포지트한 다음에, 상부면 및 측면들로 고유 패턴들을 밀링함으로써 형성된다. 이러한 패턴들은 이미지 인식을 허용하는 백그라운드 블록 재료에 대해 개별적인 휘도 및 콘트라스트 값들을 지니게 된다. 상기 기준은 하나 이상의 비임들과 아울러 다양한 스테이지 경사 및 회전 위치들로부터 인식될 수 있다. 3D 기준은 거의 수직인 면상의 이미지 인식을 이용한 FIB 절단 배치를 허용한다. 예를 들면, 기준 마스크는 용기된 백금 패드의 상부면 및 측면으로 절단되어 이러한 비스듬한 각도로부터의 비임 이미지 인식을 허용할 수 있게 된다.

[0028] 도 6에는 3차원 기준(602)이 면(502) 상에 형성된 샘플 가공물(222)의 측면도가 도시되어 있다. 3D 기준(602)은 전자 비임(250) 또는 이온 비임(218) 및 공지된 디포지션 방법들을 이용하여 면(502) 상에 재료를 디포지트함으로써 형성된다. 3D 기준(602)은 기준(602)의 콘트라스트 및 판독성(readability)을 개선하는 상기 기준에서 예칭된 하나 이상의 패턴들(604)을 포함할 수 있다. 이온 비임(218)은 기준(602)을 통해 좀더 정확하게 안내될 수 있는데, 그 이유는 기준(602)이 상기 이온 비임(218)에 실질적으로 수직이기 때문이다. 또한 기준(602) 및 패턴(604)은 비스듬한 각도 밀 작업을 통해 밀링되고 있는 표면에 좀더 근접해 있으며 상부 표면 기준 상에 개선된 참조 위치 지점을 제공한다.

[0029] 도 7은 본 발명의 실시 예들에 따른 비스듬한 각도 밀링에 적합한 기준을 형성하는 단계를 보여주는 흐름도(700)이다. 상기 방법은 시작 블록 702에서 개시된다. 단계 704에서는, 샘플이 회전되고 경사지게 되고 그림으로써 상기 샘플에 상기 FIB를 안내하는 것이 비스듬한 각도 밀 작업시 상기 FIB에 실질적으로 수직인 상기 샘플 상의 면을 생성하게 된다. 단계 706에서는, 상기 FIB가 상기 샘플에 안내되고 그림으로써 비스듬한 각도 밀 작업시 상기 FIB에 실질적으로 수직인 상기 샘플 상의 면을 생성하게 된다. 단계 708에서는, 기준이 비스듬한 각도 밀 작업시 상기 FIB에 실질적으로 수직인 상기 샘플 상의 면상에 디포지트 또는 예칭된다. 디포지트된 기준은 또한 콘트라스트/인식을 개선하도록 하는 패턴으로 예칭될 수 있다. 단계 710에서는, 상기 샘플이 회전되고 경사지게 되고 그림으로써 상기 샘플 가공물에 상기 FIB를 안내하는 것이 비스듬한 각도 밀 작업을 수행하게 된다.

[0030] 도 8에는 본 발명의 하나 이상의 실시 예들을 구현하는데 사용되는 전형적인 듀얼 비임 FIB/SEM 시스템(800)이 도시되어 있다. 집속 이온 비임 시스템(800)은 상단 목 부분(812)을 지나는 배기된 엔벨로프(evacuated envelope)(811)를 포함하며, 상기 상단 목 부분(812) 내에는 이온 소스(814) 및 추출기 전극들 및 정전 광학 시스템을 포함하는 집속 컬럼(focusing column; 816)이 위치해 있다. 이온 비임(818)은 이온 소스(814)로부터 컬럼(816)을 통해 샘플(822)을 향해 참조부호 820으로 개략적으로 나타나 있는 정전 편향 수단 사이로 통과하며, 상기 샘플(822)은 예를 들면 하부 챔버(826) 내에서 가동 샘플 스테이지(824) 상에 배치된 반도체 기기를 포함한다. 이온 펌프(828)는 배기용 목 부분(812)용으로 채용된다. 챔버(826)는 진공 제어기(832)의 제어 하에서 터보분자 및 기계식 펌핑 시스템(830)으로 배기된다. 진공 시스템은 챔버(826) 내에서 약 1×10^{-7} 토르 내지 5×10^{-4} 토르의 진공을 제공한다. 에치 보조 가스, 에치 억제 가스, 또는 디포지션 전구체 가스가 사용되는 경우에, 챔버 백그라운드 압력이 전형적으로는 1×10^{-5} 토르에 이르기까지 상승할 수 있다.

[0031] 고전압 전원(834)은 이온 소스(814)와 아울러 이온 비임(818)을 형성하고 이를 하방으로 안내하기 위한 집속 컬럼(816) 내의 적합한 전극들에 연결된다. 패턴 생성기(838)에 의해 제공되는 미리 정해진 패턴에 따라 동작하게 되는 편향 제어기 및 증폭기(936)는 편향 플레이트(820)에 연결되어 있으며, 그림으로써 비임(818)은 샘플(822)의 상부면 상에서 상응하는 패턴을 찾아내도록 제어될 수 있다. 몇몇 시스템들에서는, 상기 편향 플레이트들이 당업계에 공지되어 있는 바와 같이 최종 렌즈 전에 배치된다.

[0032] 상기 이온 소스(814)는 갈륨의 금속 이온 비임을 제공하는 것이 전형적이지만, 멀티커스프(multicusp) 또는 다른 플라즈마 이온 소스와 같은 다른 이온 소스들이 사용될 수 있다. 상기 이온 소스(814)는 이온 밀링, 강화된 에치, 재료 디포지션에 의해 상기 샘플(822)을 개질하기 위해서나, 상기 샘플(822)을 이미지화할 목적으로 샘플(822)에 서브 1/10 미크론 폭 비임으로 집속될 수 있는 것이 전형적이다. 이미지화를 위해서 2차 이온 또는 전

자 방출을 검출하는 데 사용되는 하전 입자 체배기(charged particle multiplier; 840)는 증폭기(842)에 연결된다. 증폭된 신호들은 디지털 신호들로 변환되고 신호 프로세서 유닛(843)에 의해 신호 처리를 받게 된다. 그 결과로 획득된 디지털 신호는 모니터(844)를 통해 가공물(822)의 이미지를 디스플레이하는데 사용된다.

[0033] 주사형 전자 현미경(841)이 전원 및 제어 유닛(845)과 함께 상기 FIB 시스템(800)에 또한 구비되어 있다. 전자 비임(850)은 캐소드(852) 및 애노드(854) 간에 전압을 인가함으로써 캐소드(852)로부터 방출된다. 전자 비임(850)은 집광 렌즈(856) 및 대물 렌즈(858)에 의해 미소한 스포트에 집속된다. 전자 비임(850)은 편광 코일(860)을 통해 시료 상에 2-차원으로 주사된다. 집광 렌즈(856), 대물 렌즈(858), 및 편광 코일(860)의 동작은 전원 및 제어 유닛(845)에 의해 제어된다.

[0034] 전자 비임(850)은 하부 챔버(826) 내에서 샘플 스테이지(824) 상에 있는 가공물(822) 상으로 집속될 수 있다. 전자 비임의 전자들이 가공물(822)을 타격할 경우에, 2차 전자들이 방출된다. 이러한 2차 전자들은 2차 전자 검출기(840)에 의해서나 또는 후방 산란 전자 검출기(862)에 의해 검출되며, 상기 2차 전자 검출기(840) 및 후방 산란 전자 검출기(862)는 증폭기(842)에 연결된다. 증폭된 신호들은 디지털 신호들로 변환되고 신호 프로세서 유닛(843)에 의해 신호 처리를 받게 된다. 그 결과로 획득된 디지털 신호는 모니터(844) 상에 가공물(822)의 이미지를 디스플레이하는데 사용된다.

[0035] 가스 공급 시스템(846)은 샘플(822)을 향해 가스 증기를 도입 및 안내하기 위해 하부 챔버(826) 내로 연장되어 있다.

[0036] 발명의 명칭이 "입자 비임 처리를 위한 가스 공급 시스템(Gas Delivery Systems for Particle Beam Processing)"으로 Casella와 그의 동료 명의로 허여되었으며 본 발명의 양수인에게 양도된 미국 특허 제 5,851,413호에는 적합한 유체 공급 시스템(246)이 기재되어 있다. 다른 한 가스 공급 시스템은 발명의 명칭이 "가스 주입 시스템(Gas Injection System)"으로 Rasmussen 명의로 허여되었으며 또한 본 발명의 양수인에게 양도된 미국 특허 제 5,435,850호에 기재되어 있다.

[0037] 가열 또는 냉각될 수 있는 샘플 스테이지(824) 상에 샘플(822)을 삽입하고, 또한 하나가 사용되는 경우에 내부 가스 공급 리저버를 보급하기 위해 도어(870)가 개방된다. 상기 도어는 시스템이 진공 상태에 있는 경우에 도어가 개방될 수 없도록 연동되어 있다. 상기 고전압 전원은 에너지를 공급하여 이온 비임(818)을 집속하기 위해 이온 비임 컬럼(816)의 전극들에 적합한 가속 전압을 제공한다. 듀얼 비임 FIB/SEM 시스템들은 예를 들면 본원 출원의 양수인인, 미국 오레곤 힐스보로 소재의 FEI사로부터 상업적으로 입수가능하다.

[0038] 도 9는 본 발명의 하나 이상의 실시 예들에 따른 샘플 분석을 수행하는 단계들을 보여주는 흐름도(900)이다. 그러한 프로세스는 종지부(902)에서 개시된다. 단계 904에서는, 이온 비임(218)이 샘플(222) 중 적어도 일부를 밀링하도록 샘플(222)의 제1 표면에 안내된다. 기준(602)이 이온 비임 배치를 위한 참조 위치로서 사용된다. 바람직한 실시 예에서는, 제1 표면이 샘플(222)의 상부 표면이고 이온 비임(218)이 상기 상부 표면에 거의 직교하는 각도로 안내되는 대신에 상기 상부 표면의 에지에 근접한 비스듬한 각도로 안내된다. 단계 906에서는, 이온 비임(218)이 제1 표면을 밀링하여 샘플(222)의 제2 표면을 노출하며, 이 경우에 이온 소스(214)에 대해 멀리 위치해 있는 제2 표면의 단부가 이온 소스(814)에 대해 가까이 위치해 있는 제1 표면의 단부보다 참조 위치 깊이에 비해 깊은 깊이로 밀링된다. 다시 말하면, 노출된 제2 표면의 깊이를 따라, 상기 비임 소스로부터 멀리 떨어져 있는 제2 표면의 단부가 상기 비임 소스에 가장 가까이 있는 제2 표면의 단부보다 깊은 깊이로 밀링된다. 깊이의 차이는 제1 표면에 대한 비임의 각도에 기인한다. 각도가 비스듬한 각도이기 때문에, 전체적인 제2 표면을 따른 깊이의 차는 단지 분석을 기반으로 한 것인 특징부만큼 깊은 것으로만 이루어질 수 있다. 단계 908에서, SEM(841)로부터의 전자 비임(250)은 상기 제2 표면의 이미지를 형성하기 위해 상기 제2 표면으로 안내된다. 단계 910에서는, 상기 제2 표면과 전자 비임의 상호작용을 검출함으로써 관심 대상의 다수의 인접한 특징부들의 단면들의 이미지들이 형성된다. 예를 들면, 2차 전자 검출기(240) 또는 후방 산란 전자 검출기(862)는 전자 비임(250)이 샘플(222)의 제2 표면에 안내될 경우에 방출되는 2차 전자들로부터 이미지들을 형성하는데 사용될 수 있다. 단계 912에서는, 단계 910에서 형성된 이미지들이 관심 대상의 특징부들의 3차원 모델을 형성하도록 어셈블링된다.

[0039] 소정 각도에서 FIB를 이용하여 재료를 제거하는 경우에는 소정 위치에서의 깊이를 타겟으로 하는 것이 유용하다. 표면상의 위치로부터의 오프셋을 이용해, 재료가 밀의 각도에 기반하여 타겟이 된 깊이에 이르기까지 제거될 수 있다. 다시 말하면, 집속 이온 비임을 이용한 결과적인 밀 각도가 알려져 있는 각도이기 때문에, 노출된 면의 깊이 위치는 표면 마커/기준으로부터의 노출된 면의 깊이 위치의 오프셋 만큼의 위치 함수로서 계산될 수 있다. 상기 계산을 이용해, 상기 FIB가 소정의 각도에서 밀링할 경우에 타겟이 된 깊이에서 주어진 지점

을 가로지르게 하도록 위치해 있을 수 있다.

[0040] 도 10에는 경사진 표면(1004)이 가공물의 상부 표면(1012)으로 절단되게 한 3D 집적 회로(1002)의 일부가 도시되어 있다. 상기 표면(1004)이 집속 이온 비임에 의해 절단되게 하는 각도(θ)는 정확하게 알려져 있다. 이때, 특징부(1020)의 깊이는 경사의 시작으로부터 수평 거리(X_1)를 사용하여 정확하게 결정될 수 있다. 삼각법으로부터, 깊이(Z)는 $X_1 \times \tan(\theta)$ 와 동일하다. X_1 은 결정하기 어려울 수 있는데, 그 이유는 경사의 시작을 나타내는 라인(1008)이 표면(1004) 및 표면(1012) 간의 작은 각도이므로 정확하게 위치를 결정하기 어려울 수 있기 때문이다. 참조 위치 특징부로서 라인(1008)을 사용하기보다는, 기준 마스크(1010)와 같은 참조 위치 특징부는 상부 표면에서 밀링되고 상기 기준 마크 및 상기 라인(1008) 간의 알려진 거리로부터 X_2 를 결정하는데 사용될 수 있으며, X_2 는 이때 X_1 을 결정하는데 사용될 수 있다. 기존의 특징부는 또한 관심 대상의 특징부 부근에서 찾아서 참조 위치 특징부로서 사용될 수 있다. 참조 위치 특징부는 전자 비임 또는 이온 비임이 스테이지를 이동시키지 않고 관심 대상의 특징부 및 참조 위치 특징부 양자 모두를 이미지화할 수 있을 정도로 관심 대상의 특징부에 충분히 근접해 있는 것이 바람직하다. "수평 거리(horizontal distance)"는 상부 표면(1012)의 면에서 그리고 라인(1008)에 수직인 방향에서, 상부 표면의 면 상으로의 상기 특징부의 상부 표면의 면에 수직인 투영(projection)에 상응하는 지점까지의 거리를 의미한다.

[0041] 도 11에는 구조를 노출하고 노출된 구조의 표면 아래의 깊이를 결정하는 방법이 도시되어 있다. 단계 1102에서는, 관심 대상의 영역 위치가 가공물 상에 결정된다. 관심 대상의 영역 위치는 웨이퍼 좌표계에서 영역의 좌표들을 제공하도록 예를 들면 컴퓨터 지원 설계(computer-aided design; CAD) 데이터를 사용하여 결정될 수 있다. 선택적인 단계 1104에서는, 기준 마스크가 관심 대상의 영역에 인접하여 밀링된다. 단계 1106에서는, 얇은 트렌치가 매립된 특징부들을 노출하도록 바람직하게는 집속 이온 비임을 통해 밀링된다. 상기 트렌치는 기준 또는 다른 참조 위치 특징부로부터 소정의 거리에서 밀링되는 것이 바람직하다. 몇몇 실시 예들에서는, 트렌치 위치가 국부 참조 위치 마스크의 사용 없이 단지 웨이퍼 좌표들을 사용해서만 결정될 수 있지만, 국부 참조 위치 마스크의 사용은 정확도를 높인다.

[0042] 단계 1106에서 상기 트렌치가 밀링된 후에는, 기준에 대한 상기 트렌치의 위치(X_3)가 단계 1108에서 상기 트렌치의 개시 및 상기 기준 간의 거리(X_3)를 측정함으로써 확인된다. 이는 예를 들면 SEM을 사용하여 상기 트렌치의 개시 및 상기 기준을 하향식으로 관측함으로써 수행될 수도 있으며, 상기 샘플이 상기 트렌치의 서로 다른 각도 뷰를 제공하도록 경사질 수 있다. 경사진 표면상에서 특징부(1020)가 관측되는 경우에, 그러한 특징부의 깊이는 단계 1110에서 기준 마크에서부터 상기 특징부에 이르기까지 X-Y 평면에서의 Y-축에 나란한 거리를 측정함으로써 정확하게 결정될 수 있다. 위에 설명한 바와 같이, 상기 특징부의 깊이는 $X_1 \times \tan(\theta)$ 로서 계산될 수 있고, X_1 이 X_2 와 같은 경우에는, 기준에서부터 상기 특징부에 이르기까지의 거리에서 상기 기준 및 상기 에지(1008) 간의 거리를 감산한 것으로 결정될 수 있다. 단계 1112에서는, 추가적인 프로세싱이 단계 1110에서의 깊이 결정을 사용하여 알려진 깊이에서 수행된다.

[0043] 본 발명의 실시 예들은 원하는 깊이로 추가적인 밀링 또는 다른 프로세싱을 수행하도록 깊이를 나타내는데 사용될 수 있다. 다시 말하면, 기준으로부터의 수평 거리는 노출된 특징부의 깊이를 결정하는데 사용될 수도 있고 추가적인 프로세싱을 수행해야 하는 깊이를 결정하는데 사용될 수도 있다.

[0044] 본 발명의 실시 예들은 하전 입자 비임을 이용하여 샘플을 분석하는 방법에 관한 것이다. 상기 방법은, 샘플의 제1 표면을 향해 하전 입자 비임을 안내하는 단계; 상기 제1 표면을 밀링하여 상기 샘플의 제2 표면을 노출하는 단계로서, 이온 소스에 대해 멀리 위치해 있는 상기 제2 표면의 단부가 이온 소스에 대해 가까이 위치해 있는 상기 제1 표면의 단부보다 참조 위치 깊이에 비해 더 깊은 깊이에 이르기까지 밀링되는, 단계; 상기 제2 표면을 향해 상기 하전 입자 비임을 안내하여 상기 제2 표면의 하나 이상의 이미지들을 형성하는 단계; 상기 제2 표면과 전자 비임의 상호작용을 검출하여 다수의 인접한 관심 대상의 특징부의 단면들의 이미지들을 형성하는 단계; 및 상기 단면들의 이미지들을 어셈블링 하여 하나 이상의 관심 대상의 특징부들의 3-차원 모델을 이루는 단계를 포함한다. 상기 밀링은 이온 비임에 의해 수행될 수 있다. 상기 이미지들은 전자 비임을 통해 형성될 수 있다.

[0045] 상기 방법은, 상기 제2 표면을 밀링하여 제3 표면을 노출하는 단계로서, 상기 제3 표면은 상기 제2 표면보다 상기 샘플 내에서 더 깊은, 단계; 상기 제3 표면을 향해 하전 입자 비임을 안내하여 상기 제3 표면의 하나 이상의 이미지들을 형성하는 단계; 상기 제3 표면과 전자 비임의 상호작용을 검출함으로써 관심 대상의 다수의 인접한

특정부의 단면들의 이미지들을 형성하는 단계;를 포함할 수 있다. 상기 제2 표면으로부터 형성된 이미지들 및 상기 제3 표면으로부터 형성된 이미지들은 하나 이상의 관심 대상의 특징부들의 3-차원 모델을 형성하도록 나타나게 될 수 있다.

[0046] 본 발명의 실시 예들은 또한 샘플 상에 기준(fiducial)을 형성하는 방법에 관한 것이며, 상기 방법은, 샘플을 위치 결정하여 하전 입자 비임이 제1 밀링 작업을 위해 상기 샘플에 안내되게 하는 단계로서, 상기 하전 입자 비임은 제1 각도로 안내되고 상기 제1 각도는 제2 각도에 실질적으로 직교하는, 단계; 하전 입자 비임에 실질적으로 나란한 상기 샘플 상의 면을 밀링하도록 상기 샘플에 상기 하전 입자 비임을 안내하는 단계; 상기 하전 입자 비임에 실질적으로 나란한 상기 샘플 상의 면을 밀링하는 단계; 상기 샘플의 밀링된 면 상에 기준을 형성하는 단계; 및 상기 샘플을 위치 결정하여 상기 하전 입자 비임이 제2 밀링 작업을 위해 상기 샘플에 안내되게 하는 단계로서, 상기 하전 입자 비임은 상기 제2 각도로 안내되고, 상기 제2 각도는 상기 샘플 표면에 대해 10도보다 크지 않은, 단계;를 포함한다. 몇몇 실시 예들에서는, 상기 제2 각도가 상기 샘플 표면에 대해 5도보다 크지 않다. 다른 실시 예들에서는, 상기 제2 각도가 상기 샘플 표면에 대해 1도보다 크지 않다.

[0047] 본 발명의 실시 예들은 또한 3-차원 미세 구조를 분석하는 방법에 관한 것이며, 상기 방법은, 가공물(work piece) 상에 관심 대상의 영역 위치를 결정하는 단계; 상기 가공물에서 소정의 각도로 트렌치(trench)를 형성하는 단계로서, 상기 트렌치는 관심 대상의 특징부를 노출하는, 단계; 상기 트렌치의 에지 및 관심 대상의 특징부 간의 수평 거리를 결정하는 단계; 및 상기 소정의 각도 및 상기 수평 거리로부터 가공물 표면의 수평면 아래로 관심 대상의 특징부의 깊이를 결정하는 단계;를 포함한다. 상기 방법은, 상기 트렌치의 에지 및 상기 관심 대상의 특징부 간의 수평 거리를 결정하는 단계가 참조 위치 마크(reference mark) 및 관심 대상의 특징부 간의 수평 거리를 결정하고 상기 참조 위치 마크 및 상기 트렌치의 에지 간의 수평 거리를 결정하는 단계를 포함하는 것을 포함할 수 있다. 상기 방법은, 상기 관심 대상의 영역에 인접한 집속 이온 비임을 이용하여 참조 위치 마크를 밀링하는 단계를 포함할 수 있다. 몇몇 실시 예들에서는, 상기 참조 위치 마크는 가공물 상에 사전에 존재하는 특징부이다. 상기 방법은, 상기 수평 거리로부터 결정된 소정의 깊이로 상기 가공물을 처리하는 단계를 포함할 수 있다.

[0048] 본 발명의 실시 예들은 또한 본원 명세서에 기재된 방법들 중 어느 하나를 수행하는 시스템에 관한 것이며, 상기 시스템은, 집속 이온 비임 시스템, 전자 현미경, 및 샘플을 지지하는 샘플 스테이지를 포함한다.

[0049] 본 발명의 바람직한 실시 예들은 또한 입자들의 비임을 사용하여 샘플을 이미지화하도록 FIB 또는 SEM과 같은 입자 비임 장치를 이용한다. 샘플을 이미지화하는데 사용되는 그러한 입자들은 본질적으로 상기 샘플과 상호작용하기 때문에 어느 정도 물리적인 변형이 초래하게 된다. 더욱이, 본원 명세서 전반에 걸쳐, "분석하는", "계산하는", "결정하는", "측정하는", "생성하는", "검출하는", "형성하는" 따위와 같은 용어들을 사용하는 논의들은 또한 컴퓨터 시스템 내의 물리량들로서 표현되는 데이터를 컴퓨터 시스템 또는 다른 정보 저장, 전송 또는 디스플레이 기기들 내의 물리량으로서 유사하게 표현되는 다른 데이터로 조작 및 변환하는 컴퓨터 시스템, 또는 유사한 전자 기기의 액션 및 프로세스들을 언급한다.

[0050] 본 발명은 폭넓은 이용가능성을 지니며 위의 예들에 기재되고 도시된 바와 같은 여러 이점을 제공할 수 있다. 상기 실시 예들은 특정 애플리케이션에 따라 매우 달라질 수 있으며, 모든 실시 예가 상기 이점들 모두를 제공하는 것이 아니며 본 발명에 의해 달성가능한 목적들 모두를 충족시키는 것이 아니다. 본 발명을 구현하는데 적합한 입자 비임 시스템들은 예를 들면 본원 출원의 양수인인 FEI사로부터 상업적으로 입수가능하다.

[0051] 비록 위의 설명 대부분이 반도체 웨이퍼에 관한 것이지만, 본 발명은 어느 적합한 기판 또는 표면에 적용될 수 있다. 더욱이, 본원 명세서에서 "자동의", "자동화된", 또는 유사한 용어들이 사용될 때마다, 그러한 용어들이 자동 또는 자동화된 프로세스 또는 단계의 수동 개시를 포함하는 것으로 이해될 것이다. 이하의 논의에서 그리고 청구항들에서는, "지니는" 그리고 "포함하는"이라는 용어들이 제한을 두지 않고 사용됨으로써, "지니지만, ...에 국한되지 않는"을 의미하도록 해석되어야 한다. 용어 "집적 회로"는 마이크로칩의 표면에 패터닝되는 한 세트의 전자 구성요소들 및 이들의 상호접속들(총괄해서, 내부 전기 회로 요소들)을 언급한다. 용어 "반도체 칩"은 일반적으로 반도체 웨이퍼에 일체화될 수 있고, 웨이퍼와는 개별화될 수도 있으며, 회로 보드 상에서의 사용을 위해 패키징될 수도 있는 집적 회로(integrated circuit; IC)를 언급한다. 용어 "FIB" 또는 "집속 이온 비임"은 본원 명세서에서 이온 광학기기에 의해 집속된 비임 또는 형상화된 이온 비임들을 포함하는, 임의의 '시준 이온 비임(collimated ion beam)'을 언급하는데 사용된다.

[0052] 임의의 용어가 본원 명세서에서 특정하게 정의되지 않은 경우에는, 상기 용어가 일반적이고 통상의 의미가 부여되는 것으로 의도된다. 첨부 도면들은 본 발명을 이해하는데 도움이 되도록 의도된 것이고, 달리 언급하지 않는

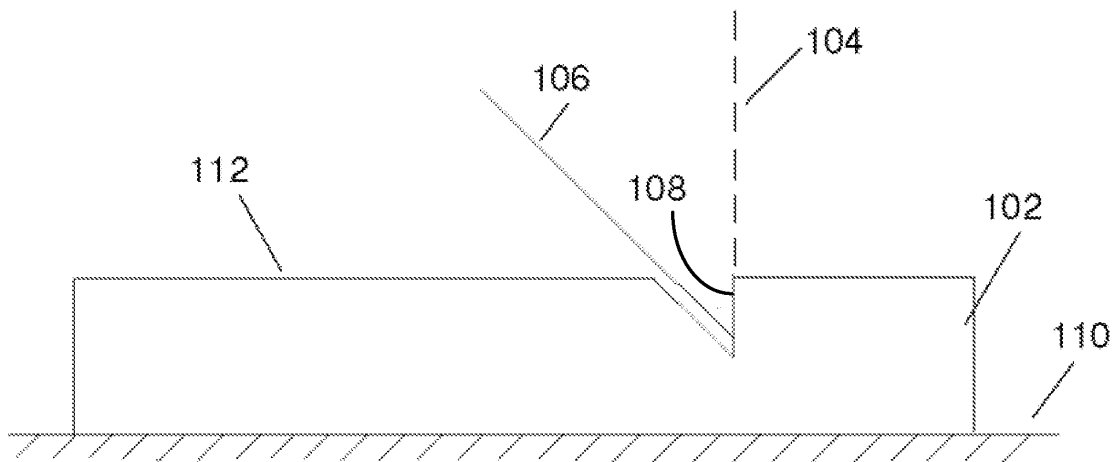
한, 축적해서 도시된 것이 아니다.

[0053]

비록 지금까지 본 발명 및 본 발명의 이점들이 구체적으로 설명되었지만, 여기서 이해하여야 할 점은 첨부된 청구항들에 의해 정의된 바와 같은 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않고 본 발명의 여러 변경, 대체 및 변형이 이루어질 수 있다는 점이다. 더욱이, 본원 출원의 범위는 본원 명세서에 기재된 프로세스, 기계, 제조, 재료의 조성, 수단, 방법들 및 단계들에 국한되는 것으로 의도된 것이 아니다. 당업자라면 본 발명의 개시로부터 쉽게 이해하겠지만, 실질적으로 동일한 기능을 수행하거나 본원 명세서에 기재된 상응하는 실시 예들과 실질적으로 동일한 결과를 달성하는 현재 존재하거나 차후에 개발될 프로세스들, 기계들, 제조, 재료의 조성들, 수단, 방법들 및 단계들이 본 발명에 따라 이용될 수 있다. 따라서, 첨부된 청구항들은 그러한 프로세스들, 기계들, 제조, 재료의 조성들, 수단, 방법들 및 단계들을 첨부된 청구항들의 범위 내에 포함하는 것으로 의도된 것이다.

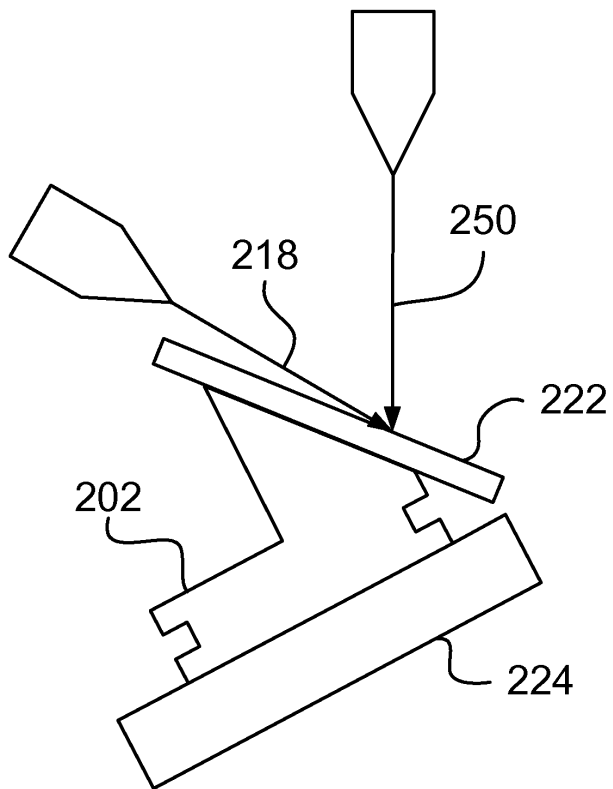
도면

도면1

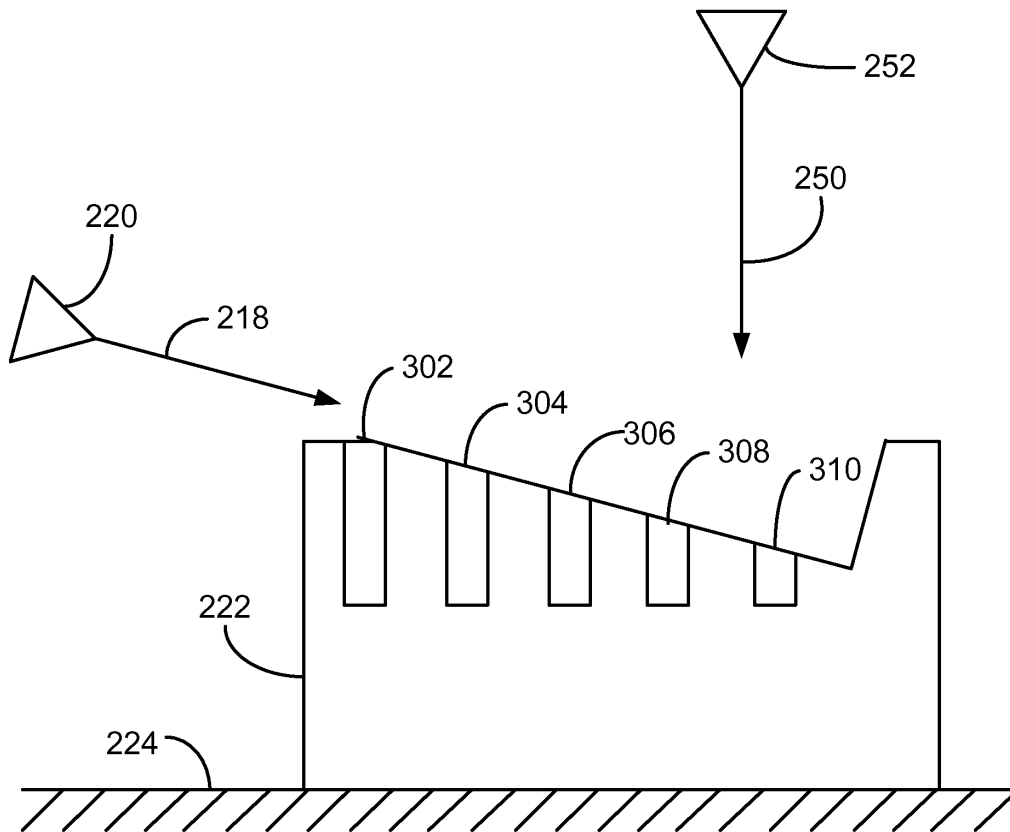


선행 기술

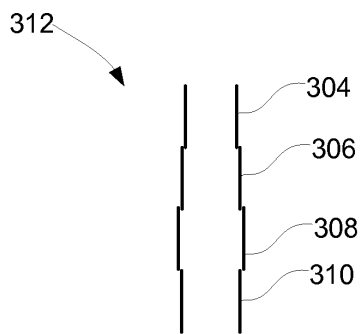
도면2



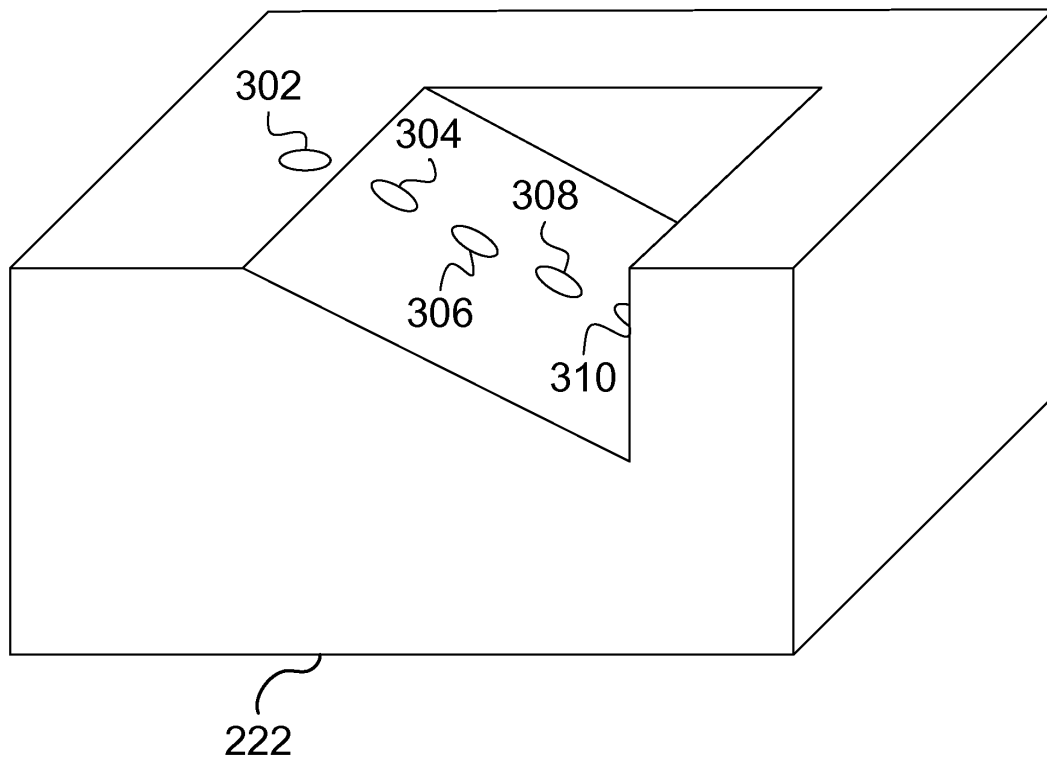
도면3



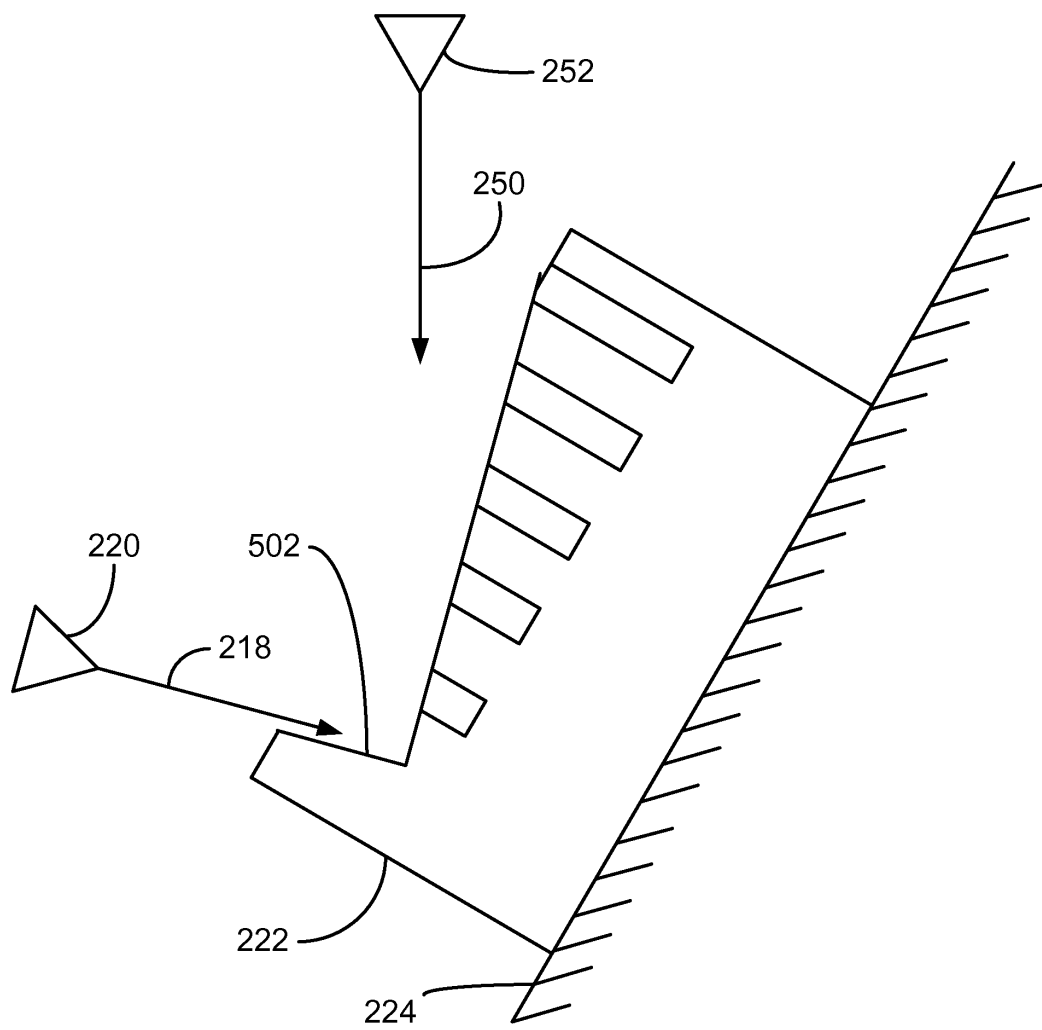
도면3a



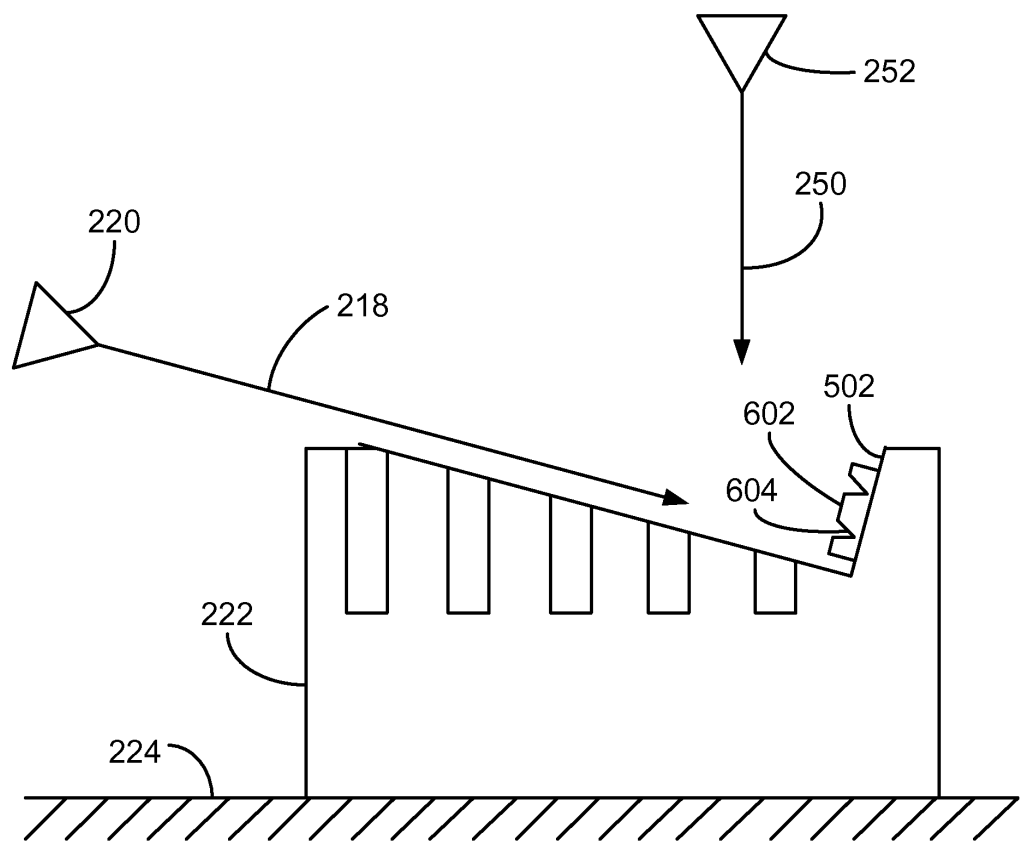
도면4



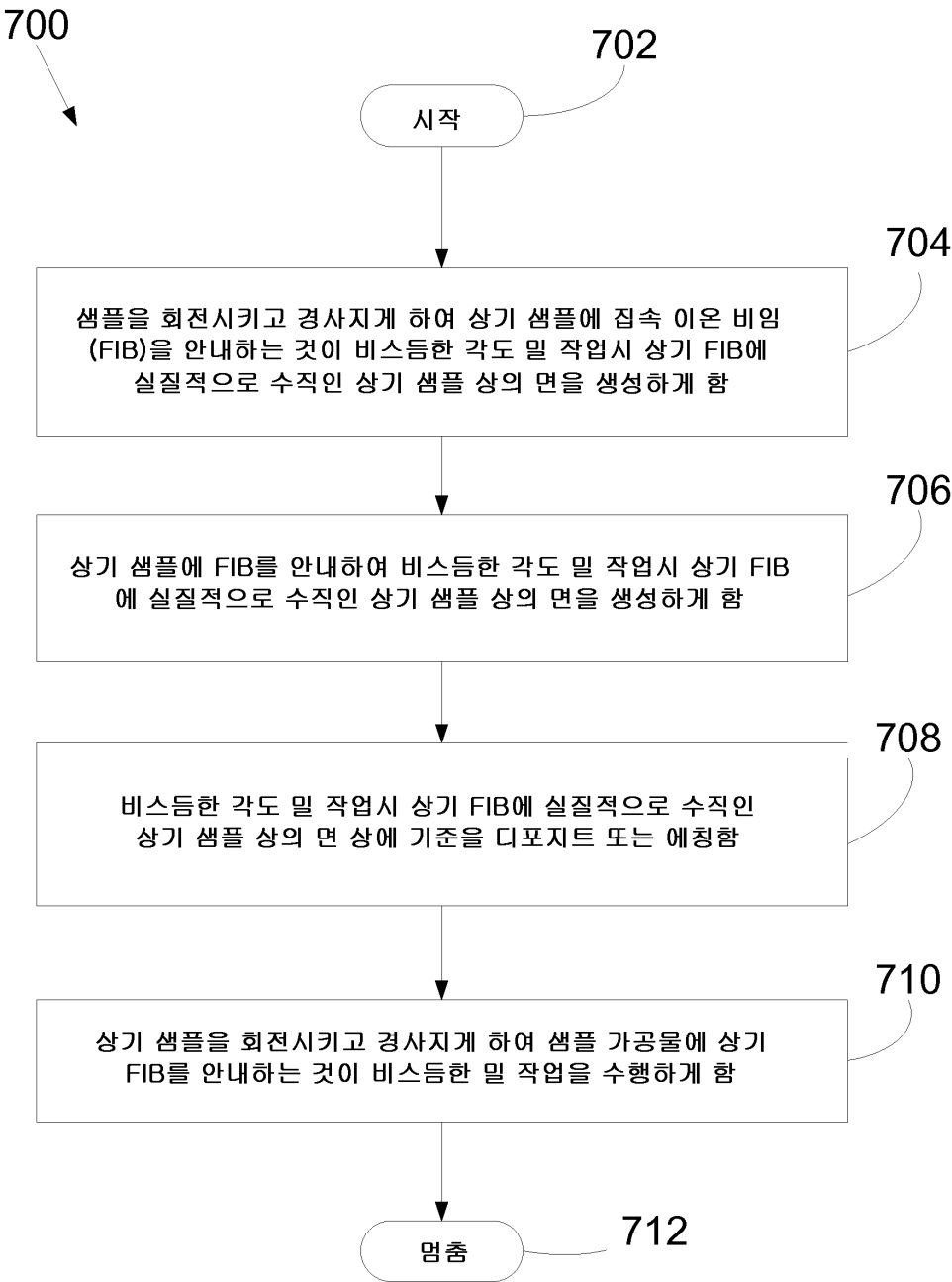
도면5



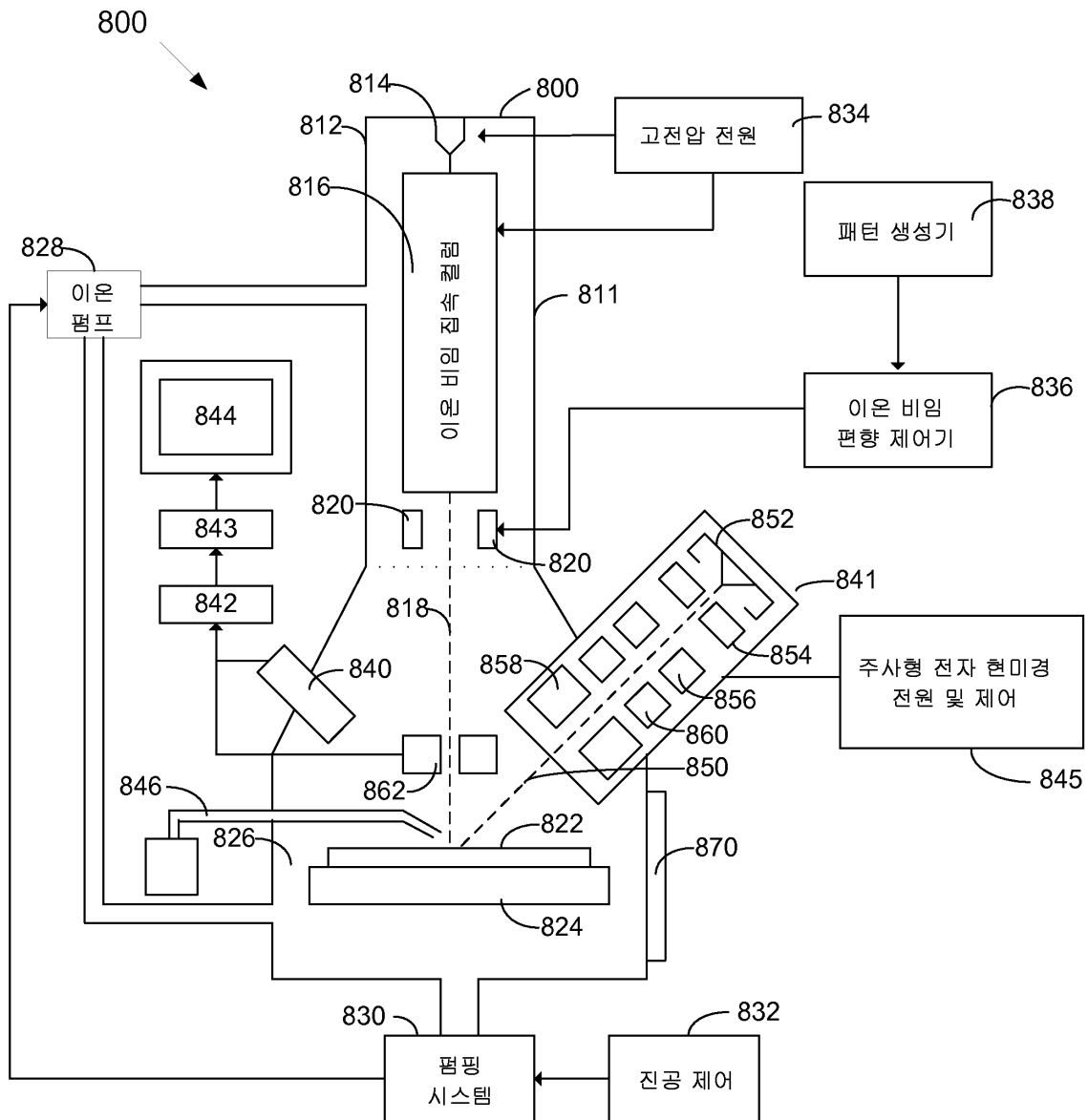
도면6



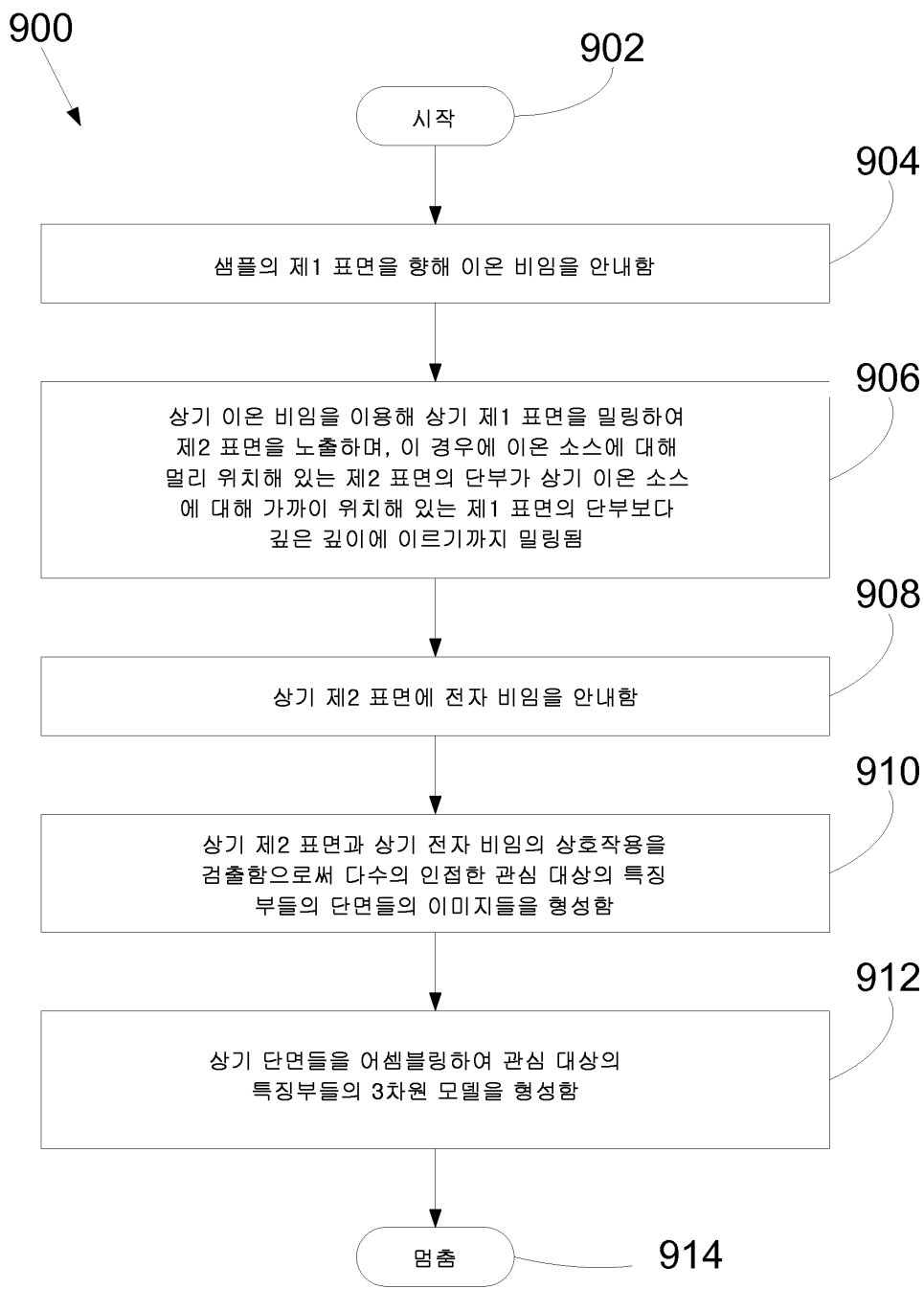
도면7



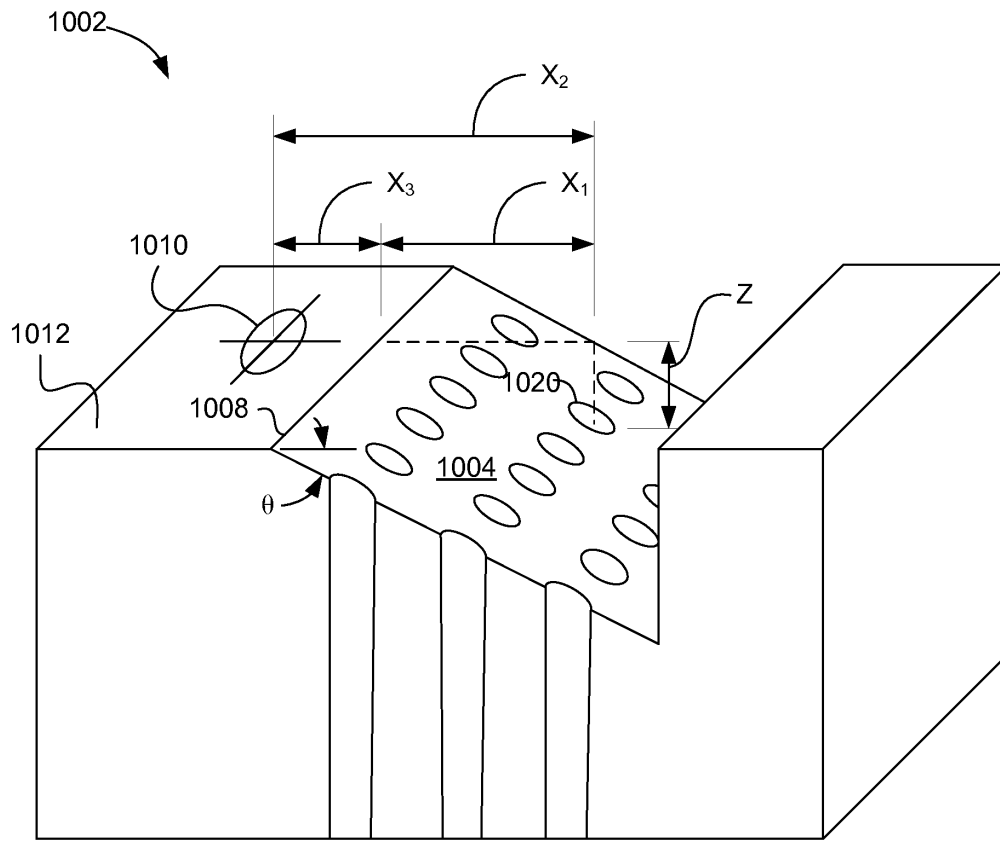
도면8



도면9



도면10



도면11

