

-

(52) CPC특허분류

G01B 15/00 (2013.01)

G01N 21/65 (2013.01)

G01N 23/00 (2013.01)

G01N 23/225 (2013.01)

H01J 37/3056 (2013.01)

(72) 발명자

블랙우드 제프리

미국 오레곤 97206 포틀랜드 사우스이스트 75번가
3203

슈미트 마이클

미국 오레곤 97080 그레샴 사우스이스트 해시엔더
레인 1003

명세서

청구범위

청구항 1

하전 입자 빔(charged particle beam)을 사용하여 작업물 상에서 관심 영역을 노출시키는 방법으로서,
 상기 관심 영역에 인접하고 그리고 제1 표면과 경사진 제2 각도를 형성하는 제2 표면을 노출시키기 위하여, 상기 작업물의 상부의 제1 표면에 대하여 경사진 제1 각도로 트렌치를 이온 빔 밀링(ion beam milling)하는 단계;
 상기 제2 표면의 일부분 상에 보호층을 퇴적하는 단계;
 상기 제1 표면에 대하여 실질적으로 수직인 제3 각도로, 상기 보호층 및 상기 제2 표면의 일부를 통하여, 이온 빔 밀링에 의해 상기 보호층 아래의 상기 관심 영역의 제1 단면을 노출시키는 단계; 및
 상기 제1 단면을 하전 입자 빔 이미징(imaging) 함에 의해서 상기 관심 영역을 관찰하는 단계;를 포함하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 트렌치를 이온 빔 밀링하는 단계는 다수의 높은 종횡비(high aspect ratio) 피쳐(feature)들을 가지는 상기 작업물의 영역에서 상기 트렌치를 밀링하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,
 상기 다수의 높은 종횡비 피쳐들은 홀(hole)들인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,
 상기 제2 표면의 일부분 상에 상기 보호층을 퇴적하는 단계는 상기 높은 종횡비 홀들을 통과하여 상기 트렌치를 밀링하는 단계 및 상기 보호층으로 상기 홀들을 덮는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,
 상기 관심 영역의 제2 단면을 노출시키기 위하여 상기 제1 표면에 대해 실질적으로 수직하게 후속하는 밀링 단계를 수행하는 단계 및 하전 입자 빔 이미징을 사용하여 상기 제2 단면을 주시하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 6

제1항 또는 제5항에 있어서,
 상기 관심 영역의 추가적인 표면들을 순차적으로 노출시키기 위하여 다수의 후속하는 밀링 단계들을 수행하는 단계 및 하전 입자 빔 이미징을 사용하여 상기 추가적인 단면들의 각각을 주시하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 7

제1항 또는 제5항에 있어서,
 상기 트렌치의 벽은 상기 제2 표면을 포함하며, 그리고 상기 제1 표면에 대한 수직선과 5° 내지 50° 사이의 제4 각도를 형성하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제4 각도는 18° 내지 22° 의 범위인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

제1항 또는 제5항에 있어서,

상기 제2 표면의 일부분 상에 상기 보호층을 퇴적하는 단계는 빔-유도된 퇴적(beam-induced deposition)을 사용하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 빔-유도된 퇴적을 사용하는 단계는 10 keV보다 큰 에너지들을 가지는 전자들을 사용하는 전자 빔-유도된 퇴적을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 전자 빔-유도된 퇴적을 사용하는 단계는 20 keV보다 큰 에너지들을 가지는 전자들을 사용하는 전자 빔-유도된 퇴적을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 12

제1항 또는 제5항에 있어서,

상기 제2 표면의 상기 일부분 상에 상기 보호층을 퇴적하는 단계는 레이저-유도된 퇴적 또는 이온 빔 유도된 퇴적을 사용하여 상기 보호층을 퇴적하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 13

제1항 또는 제5항에 있어서,

상기 관심 영역은 3D NAND 구조 또는 3D DRAM 구조들의 일부분을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 14

관찰을 위하여 샘플의 높은 종횡비 피처의 일부분의 단면을 노출하는 방법으로서,

샘플의 표면에 대하여 경사진 면을 노출시키기 위하여, 상기 샘플의 표면에 대하여 비수직인(non-normal) 각도로, 그리고 높은 종횡비(high aspect ratio) 피처의 장축에 대하여 비수직인 각도로, 포커싱된 이온 빔(focused ion beam)을 사용하여 트렌치를 밀링(milling)하는 단계;

상기 높은 종횡비 피처의 선택된 깊이에서 상기 면 상에 보호층을 퇴적하는 단계;

상기 높은 종횡비 피처의 제1 단면을 노출시키기 위하여, 상기 보호층을 통과하고 상기 샘플의 표면에 실질적으로 수직인 제1 단면을 포커싱된 이온 빔을 이용하여 밀링하는 단계; 및

노출된 상기 제1 단면을 관찰하는 단계;를 포함하는 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 노출된 제1 단면을 관찰하는 단계는 주사 전자 현미경(scanning electron microscopy), x-선 분석, 또는 마이크로-라만(micro-Raman) 방법들을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 16

제14항 또는 제15항에 있어서,

상기 제1 단면에 평행한 상기 높은 종횡비 피처의 제2 단면을 노출시키기 위하여, 상기 보호층을 통과하여 상기

제2 단면을 밀링하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 17

제14항 또는 제15항에 있어서,

상기 높은 중형비 구조의 일련의 추가적인 단면들을 순차적으로 처리함으로써 상기 높은 중형비 피처의 일련의 단면 이미지들을 얻는 단계를 더 포함하며,

각각의 추가적인 단면을 처리하는 것은,

상기 보호층을 통과하도록 밀링하고 상기 추가적인 단면을 노출하도록 상기 포커싱된 이온 빔을 사용하는 단계; 및

전자 빔을 사용하여 노출된 상기 단면을 관찰함으로써 상기 추가적인 단면의 이미지를 형성하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 18

제14항 또는 제15항에 있어서,

보호층을 퇴적하는 단계는 15 keV보다 큰 에너지들을 가지는 전자들로 전자 빔-유도된 퇴적(electron beam-induced deposition)을 사용하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 19

제14항 또는 제15항에 있어서,

상기 면 상에 상기 보호층을 퇴적하는 단계는 빔-유도된 퇴적(beam-induced deposition)을 사용하여 상기 면 상에 보호층을 퇴적하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 20

작업물의 제1 표면 아래 관심 영역을 분석하는 방법으로서,

상기 제1 표면에 대해 경사진 제2 표면을 생산하기 위하여 상기 작업물의 상기 제1 표면과 관심 영역 사이의 물질을 제거하도록 상기 작업물 쪽으로 이온 빔(ion beam)을 향하게 하는 단계로서, 상기 제2 표면의 일부분은 상기 관심 영역과 상기 제1 표면의 위치 사이에 있는, 상기 이온 빔을 향하게 하는 단계;

상기 제2 표면 상으로 보호층을 퇴적하는 단계;

상기 보호층을 통과하도록 밀링하기 위하여 그리고 상기 관심 영역을 통과하여 지나는 제3 표면을 노출하기 위해 이온 빔을 사용하는 단계; 및

하전 입자 빔 이미징(charged particle beam imaging)을 사용하여 상기 관심 영역을 관찰하는 단계;를 포함하며,

상기 보호층은, 상기 이온 빔이 상기 제3 표면의 커트닝(curtaining)을 야기하지 않고서 상기 제3 표면을 노출시키도록 상기 관심 영역에 충분히 근접한 상기 제2 표면의 영역 상에 퇴적되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 21

제20항에 있어서,

상기 제3 표면은 상기 제1 표면에 실질적으로 직각인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 22

제21항에 있어서,

상기 제2 표면은 상기 제1 표면에 대한 수직선에 대하여 5° 및 50° 사이 각도로 기울어진 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 23

제22항에 있어서,

상기 제2 표면은 상기 제1 표면에 대한 수직선에 대하여 18° 및 22° 사이 각도로 기울어진 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 24

샘플에서 관심 영역의 단면을 관찰하기 위한 시스템으로서,

상기 시스템은,

이온들의 포커싱된 빔(focused beam)을 제공하기 위한 이온 광학 컬럼(ion optical column);

전자들의 포커싱된 빔을 제공하기 위한 전자 광학 컬럼;

상기 샘플로부터 방출되는 2차 입자들을 검출하기 위한 입자 검출기; 및

컴퓨터 메모리와 통신하는 컨트롤러를 포함하고,

상기 컴퓨터 메모리는,

상기 관심 영역에 인접하고 상기 샘플의 외부 표면에 대하여 경사진 표면을 노출시키기 위하여, 상기 샘플의 상기 외부 표면 속으로 트랜치를 밀링하는 단계;

상기 관심 영역에 인접한 상기 표면의 일부분 상에 보호층을 퇴적하는 단계;

상기 관심 영역을 노출시키기 위하여 상기 관심 영역에 인접한 상기 보호층을 통과하여 상기 표면의 일부분을 밀링하는 단계; 및

하전 입자 빔 이미징(charged particle beam imaging)에 의해서 상기 관심 영역을 관찰하는 단계;를 수행하기 위한 명령어들을 저장하는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 25

제24항에 있어서,

상기 컴퓨터 메모리는, 전자-빔-유도된 퇴적(electron-beam-induced deposition)에 의해 상기 보호층을 퇴적하기 위하여 상기 전자 빔이 20 keV보다 큰 에너지들을 가지는 전자들을 제공하는 것을 유발하기 위한 명령어들을 저장하는 것을 특징으로 하는 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 구조들의 하전 입자 빔(charged particle beam) 처리에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 공정 모니터링 및 결함 분석을 위하여 (나노미터 스케일을 포함하는) 극미세 구조들을 시험하는 통상의 방법은 단면을 노출시키기 위해 FIB(focused ion beam)로써 그 구조에서 트랜치(trench)를 절단하고, 그 다음에 SEM(scanning electron microscope)으로써 단면을 주시하는 것이다. 그러나, 이온 빔 밀링(ion beam milling) 인공물(artifact)들은 노출된 단면을 왜곡할 수 있고, 그 결과 전자 빔 이미지(electron beam image)는 구조의 정확한 이미지를 보여주지 못한다.

[0003] 어떠한 하나의 인공물은, 커튼처럼 보일 수 있기 때문에 "커트닝(curtain)"으로 지칭된다. 커트닝은, 샘플이 이온 빔에 의해 다른 속도들로 밀링(milling)되는 물질들로 구성될 때와 같이, 다른 물질들이 다른 속도로 제거될 때 발생한다. 커트닝은 불규칙적인 형상을 가지는 표면을 밀링할 때 발생할 수도 있다.

[0004] 심각한 인공물들은 폭 보다 훨씬 큰 높이를 가지는 피쳐(feature)를 노출시킬 때 생성될 수 있다. 그러한 구조는 "높은 종횡비(aspect ratio)" 피쳐로 지칭된다. 예를 들면, 폭보다 4배만큼 더 큰 높이를 가지는 피쳐는 높은 종횡비 피쳐로 간주될 수 있다. 예를 들면, 집적 회로에서 층들 사이에 홀(hole)들 및 컨택(contact)들은 흔히 그 폭보다 몇 배만큼 더 큰 높이를 가진다.

- [0005] 반도체 제조 공정들이 보다 많은 회로를 보다 작은 패키지들에 채움에 따라, 집적회로 설계들은 보다 3차원적(3D)으로 되고 보다 많은 높은 종횡비 피쳐들을 결합시킨다. 3D NAND 회로들과 같은 3D 집적 회로(IC) 구조들을 위하여 높은 종횡비 구조들, 특히 채워지지 아니한 컨택 홀들을 분석하는데 있어서, 종래의 이온 빔 샘플을 준비하는 것은, 구조적인 왜곡(distortion) 및 커트닝과 같은 수용할 수 없는 인공물들을 유발한다.
- [0006] 샘플 상에서 채워지지 아니한 높은 종횡비 홀들이 있는 경우, 고체 영역들 및 채워지지 아니한 홀에 인접한 영역들 사이에 밀링 속도들에서 큰 차이들이 있다. 밀링 속도들에서의 큰 차이는 커트닝이나 워터폴 효과(waterfall effect)들, 홀의 형상을 왜곡하는 다른 인공물들을 초래한다. 이온 빔 밀링 공정으로부터의 구조적 손상 및 인공물들은 높은 종횡비 수직 구조들을 분석하는 것을 곤란하게 한다.
- [0007] 예를 들어, 공정 엔지니어들이 관찰하고자 하는 어떠한 하나의 구조적 피쳐가 TSV(through-silicon via)라고 하자. TSV 단면 측량(cross-sectioning)은 보이드(void)들 및 표면 계면(interface)들을 특징짓기 위하여 반도체 연구소들에서 일반적인 통례이다. 통상적으로 50-300 nm인 TSV들의 깊이에 기인하여, 이온 빔으로 TSV의 단면을 밀링하는 것은 실질적인 커트닝을 초래할 수 있다.
- [0008] 피쳐들을 노출시키기 위하여 피쳐들에 대한 이온 빔 밀링의 사용으로 인해 유발된 손상 및 인공물들 때문에, 이미지들은 제작 공정의 결과물들을 충실하게 보여주지 못한다. 이미지 및 측정들은 제조 공정의 산물뿐만 아니라 샘플 준비의 결과물들 역시 보여주기 때문에, 인공물들은 측정들 및 제조 공정의 평가(assessment)를 방해한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 구조들을 변경하거나 인공물들을 생성하지 아니하면서 높은 종횡비 구조들을 주시하고 측정하는 방법이 필요하다.

과제의 해결 수단

- [0010] 본 발명의 목적은 높은 종횡비 구조들을 분석하기 위한 신뢰성 높은 시스템을 제공하는 것이다.
- [0011] 경사진 트렌치가 작업물(work piece) 표면으로 밀링된다. 보호층이 경사진 트렌치의 표면 상에 퇴적되고, 그 다음에 관심 피쳐의 단면이 보호층을 통해서 밀링됨으로써 노출된다. 보호층 아래의 관심 피쳐의 깊이가 원래의 작업물 표면 아래의 피쳐의 깊이와 비교해서 감소되기 때문에 인공물(artifact)들이 감소된다.
- [0012] 노출된 단면은, 주사 전자 현미경 관찰(scanning electron microscopy), 광학 현미경 관찰(optical microscopy), x-선 분석, 또는 마이크로 라만(Raman) 분석과 같은 다양한 기술들을 사용하여 주시되거나 분석될 수 있다. 본 공정은 높은 종횡비의 3D IC 구조 공정, 및 홀들, 트렌치들과 다른 구조들을 포함하는 다른 높은 종횡비 공정들에 대해서 신뢰성 높은 분석 결과들을 제공한다.
- [0013] 전술한 내용은 본 발명의 특징들 및 기술적 이점들을 개괄적으로 개요를 서술한 것이고, 이하의 본 발명의 상세한 설명은 보다 나은 이해를 제공할 수 있다. 본 발명의 추가적인 특징들 및 이점들이 이하에서 설명될 것이다. 개시된 개념 및 특정 실시예들이 본 발명의 동일한 목적들을 수행하기 위하여 다른 구조들을 변형하거나 설계하는데 대한 기반으로 쉽게 사용될 수 있는 점은 당업자들에 의해 이해되어 있어야 한다. 또한 그러한 균등한 구성들이 첨부된 청구항들에서 설명되는 것과 같은 본 발명의 사상 및 범위로 부터 벗어나지 않는 점은 당업자들에게 인식되어야 있어야 한다.

도면의 간단한 설명

- [0014] 본 발명 및 그것의 장점들의 보다 완전한 이해를 위하여, 동반된 도면들과 결합되어 기재된 이하의 설명들이 참조된다.

도 1은 도 2 내지 도 5에서 도해된 바와 같은 공정 단계들을 도시하는 순서도이다.

도 2는 FIB로써 단면 밀링된 기울어진 샘플을 도시한다.

도 3은 e-빔 지점 퇴적(e-beam point deposition)이 수행된 기울어지지 아니한 샘플을 도시한다.

도 4는 FIB-밀링된 단면을 갖는 기울어진 샘플을 도시한다.

도 5는 관심 영역(region of interest; ROI) 상에서 SEM 이미징(imaging)을 사용하는 슬라이스-앤-뷰(slice

and view) 과정을 도시한다.

도 6a 내지 도 6c는 작업물 표면 아래 서로 다른 깊이들에서 관심 영역을 도시한다.

도 7은 본 발명을 구현하는데 사용될 수 있는 이중 빔 시스템을 개략적으로 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 본 발명의 실시예들은 이온 빔 밀링에 의해 노출된 피처들에서 손상 및 인공물(artifact)들을 감소시킨다. 실시예들은 3D NAND 구조들과 같은, 채워지지 아니한 높은 종횡비 홀들을 포함하는 신규한 3D 구조들의 분석에 특히 유용하다. 본 방법은 웨이퍼 형태에서의 샘플 상에서, 또는 개별적인 집적 회로와 같이 보다 작은 샘플 상에서 수행될 수 있다.
- [0016] 본 발명의 일 실시예는 보호층의 퇴적 이전에 비수직적(non-vertical) 각도로 샘플을 밀링하고, 이미징(imaging)을 위하여 높은 종횡비 구조의 단면을 노출하기 위한 수직적 밀링이 뒤따른다. 스테이지 기울기 각도 및 수직적 밀링의 위치를 조절함으로써, 관심영역(region of interest; ROI)는 높은 종횡비 구조의 임의의 원하는 깊이에서 노출될 수 있다.
- [0017] 예컨대 보호층의 퇴적 이전에 약 30° 내지 약 33.5° 사이로, 스테이지를 기울임으로써, 보호층 및 ROI 사이의 물질이 감소하기 때문에 커튼 효과들은 감소되거나 제거되고, 표면 아래 ROI의 깊이는 짧아진다. 보호층을 갖는 표면 아래에서 보다 짧은 깊이는, 이온 빔 불균일성을 저감시키도록 ROI 위에 보다 적은 물질이 있기 때문에 커트닝을 감소시킨다.
- [0018] 단면이 절단된 각도 때문에, 노출된 단면 표면에서 번갈아 생기는 고체 물질 및 보이드(void)들은 높이가 1 μm 내지 1.5 μm 인 단차(step)들을 보여준다. 바람직한 보호층 퇴적 공정은, 이온 빔이 밀링하기에 상대적으로 균일한 표면을 제공하기 위하여 이러한 단차들을, 샘플에 존재하는 경우에 덮는다. 예를 들면, 전자-빔-유도 퇴적(electron-beam-induced deposition)은, 바람직하게는 10 keV보다 높거나, 20 keV보다 높거나, 보다 바람직하게는 약 30 keV인 상대적으로 고전압 전자 빔을 사용하여 수행된다. 이는 텅 빈 높은 종횡비 구조들에 의해 생성된 단차들을 백금(platinum)이나 텅스텐(tungsten)과 같은 보호 물질들로서 채우는 것을 가능하게 한다. 그 결과, 본 발명은 이러한 강건한 해결책으로써 신뢰도 높은 ROI 분석을 제공한다. 다른 퇴적 기술들, 예컨대 이온 빔-유도 퇴적, 레이저 빔-유도 퇴적 또는 클러스터(cluster) 빔 퇴적을 포함하는 다른 빔-유도 퇴적이 사용될 수 있다.
- [0019] 도 1은 3D 집적 회로의 높은 종횡비 구조를 위한 이온 빔 분석 방법을 제공하는 공정의 단계들을 도시하는 공정 순서도이다. 도 2 내지 도 5는 공정 단계들 동안 샘플을 스케일과 무관하게 도시하고, 도 7은 도 1의 공정을 수행하는데 사용될 수 있는 통상적인 이중 빔 시스템을 도시한다. 도 1의 공정은 전자 컬럼이 수직이고 이온 컬럼이 52° 기울어진 이중 빔 시스템에서 수행된 것으로 설명된다. 다른 하드웨어 구성들에서, 스테이지 기울기들은 빔과 작업물 사이 동일한 상대적 각도들을 만들기 위해 다를 것이다.
- [0020] 단계(102)에서, 스테이지는 약 30° 및 약 33.5° 사이의 각도로 기울어지고, 결과적으로 이온 빔(202), 및 작업물 표면(206)에 대한 수직선(204) 사이는 약 18.5° 및 약 22° 사이의 각도가 된다. 다른 실시예들에서, 이온 빔(202) 및 수직선(204) 사이 각도는 약 5° 및 50° 사이이다. 단계(104)에서, FIB(focused ion beam)는 높은 종횡비 홀들(212)을 포함하는 도 2에 도시된 바와 같은 단면 표면(216)을 노출하기 위하여 트랜치(210)를 밀링(milling)한다. 단면 표면(216)은 샘플 표면에 대하여 수직이 아니다. 각각의 화살표는 이온 빔(202)의 주사(scan) 경로를 도시하고, 이온 빔(202)이 트랜치를 밀링하기 위해 주사됨에 따라 주사는 페이지 면 속으로 진행된다.
- [0021] 소수의 2차 전자들이 좁은 트랜치의 바닥으로부터 탈출하기 때문에, 트랜치(210)는 바람직하게는, 트랜치에서 ROI의 깊은 곳으로부터 이미징을 위하여 양호한 2차 전지 신호를 제공하도록 충분히 넓다. 넓은 단면적은 트랜치의 바닥으로부터 탈출하는 2차 전지가 검출되도록 한다. 통상적으로, 트랜치의 단면적은 관심 영역의 크기의 적어도 2배이어야 한다.
- [0022] 단계(106)에서, 전자 빔(302)이 작업물 표면(206)에 수직으로, 그리고 경사진 표면(216)에 대해 18.5° 및 22° 사이로 향하도록 스테이지는 0° 까지 기울어진다. 단계(108)에서, 백금, 텅스텐 또는 다른 물질의 보호층(304)이 도 3에 도시된 바와 같이 전자 빔-유도 퇴적을 사용하여 관심 영역 위로 퇴적된다. 약 30 keV인 전자 에너지는 바람직하게는, 노출된 단차들을 채우기 위하여 전자들의 운동량(momentum)을 증가시킴으로써 최적의 단차 피복(step coverage)을 위해 사용된다.

- [0023] 단계(110)는, 도 4에 도시된 바와 같이 이온 빔이 표면에 수직이 되도록 스테이지가 52° 까지 기울어지는 것을 도시한다. 단계(112)는 FIB 단면이 수행되는 것을 도시한다. 52° 스테이지 기울기는 샘플 표면 및 이온 컬럼 사이를 직각으로 만든다.
- [0024] 단계(112)는, 주사 전자 현미경 관찰, x-선 분석, 마이크로 라만, 또는 다른 방법들을 포함하는 다양한 방법들에 의해서 이미징되거나 분석될 수 있는 관심 영역의 수직 단면을 형성한다. 도 4는 이온 빔(402)이 관심 영역(406)을 통해서 수직 표면(404)을 노출시키기 위하여 수직 컷(cut)을 만드는 것을 도시한다. 이온 빔(402) 처리는 바람직하게는, 수직 벽을 형성하기 위해 물질을 제거하는 벌크 컷(bulk cut), 및 작은 물질을 제거하되 관찰하기 위하여 보다 깨끗한 표면을 만드는 단면 세척 (cleaning)을 한다. 작업물 표면(206)은 제1 표면을 나타내고, 경사진 표면(216)은 제2 표면을 나타내며, 수직 표면(404)은 제3 표면을 나타낸다. 제2 표면의 일부는 관심 영역 및 제1 표면 사이에 있고, 제3 표면은 제1 표면에 실질적으로 수직이다. 단계(114)에서, 전자 빔(502)은 도 5에 도시된 바와 같이 전자 빔 주사를 형성하기 위해 샘플로 향한다.
- [0025] ROI에서 피처의 3D 묘사가 형성되도록 일련의 단면 이미지들을 형성하기 위하여, 선택적으로 단계들(112, 114)은 피처를 통해 단계별로 하는 것을 계속하기 위해서 반복된다. 이러한 공정은 "슬라이스-앤-뷰(slice-and-view)"로 지칭되고, 이는 ROI의 다른 표면을 노출시키기 위해 이온 빔으로 추가적인 물질을 반복적으로 제거하고 그 다음에 전자 빔을 사용하여 노출된 표면의 이미지를 형성하는 것을 의미한다.
- [0026] 종래 단면 공정 기술에 있어서, 거친 표면 토폴로지(topology) 또는 깊이 방향으로 복잡한 구조의 경우에서, 수직 깊이가 수 마이크로미터 깊이보다 더 깊어질수록 커튼 효과들은 피할 수 없다. 전자-빔 유도 퇴적 이전에 약 30° 내지 33.5° 의 스테이지 기울기 각도를 사용함으로써, ROI 위 물질들이 제거되고 ROI의 표면 아래 깊이가 감소되기 때문에 커튼 효과들은 제거된다. 동시에, 높은 에너지 전자들이 단차들을 덮고, 이는 백금이나 텅스텐과 같은 보호 물질들로서 높은 종횡비 구조들의 임의의 텅 빈 홀을 부분적으로 채우는 것을 가능하게 한다. 그 결과, 실시예들은 신뢰성 높은 결함 분석 또는 공정 모니터링을 제공한다.
- [0027] 스테이지 기울기 각도 및 관심 영역을 노출시키기 위한 이온 빔 컷의 위치를 조절함으로써, 높은 종횡비 구조의 임의의 깊이에서 ROI는 노출될 수 있고 시험될 수 있다. 물론, 전술한 것은 본 발명의 예시적인 실시예들에 관한 것이고 변형들이 청구항들에서 설명된 바와 같은 발명의 사상 및 범위로부터 벗어나지 않고 만들어질 수 있음은 이해되어야 한다.
- [0028] 본 발명의 실시예들은, 텅 빈 채널들 및 기관 사이에서 뾰뚱하고(crisp) 깨끗한 경계들을 보여준다. 본 강건한 공정은 조사 대상인 구조를 손상시키지 않고 높은 종횡비 구조 결함 분석을 가능하게 한다.
- [0029] 높은 종횡비 피처는 표면(216)의 각도 또는 표면(216)을 통과하는 수직적 컷의 위치를 조절함으로써 표면으로부터 다른 깊이들에서 관찰될 수 있다. 도 6a, 도 6b 및 도 6c는 작업물 표면 아래 서로 다른 깊이들에서 관심 영역을 도시한다. 샘플들은 밀링된 트랜치(210)로서 도시되나, 관찰을 위한 표면을 생산하기 위한 수직 컷은 아직 수행되지 아니한 상태이다. 타원들(602A, 602B, 602C)은 관심 영역들을 나타내고, 수직선들(604A, 604B, 604C)은 전자 빔 퇴적된 보호층(606A, 606B, 606C)을 통과하고 ROI를 통과하는 수직 이온 빔 컷의 위치를 도시한다. 들쭉날쭉한 선은 상기 단계(104) 및 도 2에서와 같이 이온 밀링을 도시한다. 보호층(606A, 606B, 606C)의 위치는 ROI의 위치에 따라 다르다. 보호층 퇴적을 위한 공정은 존재하는 임의의 홀들을 채운다. 도 6a에서 ROI는 채널 홀의 바닥 쪽이다. 도 6b에서 ROI는 채널의 바닥으로부터 약 1/2 지점이다. 도 6c는 채널 홀의 상부 쪽 ROI를 도시한다. 도 6a, 도 6b, 도 6c에서, ROI를 통과하는 수직선은 단계(112)에서 도시된 바와 같은 보호층을 통과하는 이온 빔 컷을 도시한다. 각 경우에서, ROI 위에 남아있는 물질을 통과하여 아래로 밀링된 거리는 거의 동일하고 상대적으로 작으며, 그 결과 ROI 위 가려짐으로 인해 유발된 커트닝이 거의 또는 전혀 없다.
- [0030] 도 7은, 수직으로 고정된 SEM 컬럼 및 수직으로부터 약 52° 의 각도로 고정된 FIB 컬럼을 갖고, 본 발명을 실시하기에 적합한 통상적인 이중 빔 시스템(710)을 도시한다. 적합한 이중 빔 시스템들은, 예컨대 본 출원의 출원인(양수인)인 FEI사(FEI Company, Hillsboro, Oregon)로부터 상업적으로 사용 가능하다. 적합한 하드웨어의 예시가 아래에 제공되지만, 본 발명은 임의의 특정 유형의 하드웨어에서 구현되는 것으로 제한되지 아니한다.
- [0031] 전원 및 제어부(745)와 함께 주사 전자 현미경(741)이 이중 빔 시스템(710)에 제공된다. 전자 빔(743)은 캐소드(cathode)(752) 및 애노드(anode)(754) 사이에 전압을 인가함으로써 캐소드(752)로부터 방출된다. 전자 빔(743)은 집광 렌즈(condensing lens)(756) 및 대물 렌즈(758)에 의해서 미세한 지점에 포커싱(focusing)된다. 전자 빔(743)은 편향 코일(deflection coil)(760)에 의해서 표본(specimen) 상에서 2차원적으로 주사된다. 집

광 렌즈(756), 대물 렌즈(758), 편향 코일(760)은 전원 및 제어부(745)에 의해서 제어된다.

- [0032] 전자 빔(743)은, 하위 챔버(726) 내에서 이동 가능한 스테이지(725) 상에 있는 기관(722)에 포커싱될 수 있다. 전자 빔 내의 전자들이 기관(722)을 때릴 때, 2차 전자들이 방출된다. 이러한 2차 전자들이 후술되는 바와 같이 2차 전자 검출기(740)에 의해 검출된다.
- [0033] 이온 빔 시스템(710)은, 이온 공급원(714) 및 추출기 전극들과 정전 광학 시스템을 포함하는 포커싱 컬럼(716)이 내부에 위치하는, 상부(712)를 가지는 배기된(evacuated) 챔버를 포함하는 FIB(focused ion beam) 시스템(711)을 포함할 수도 있다. 포커싱 컬럼(716)의 축은 전자 컬럼의 축으로부터 52도 기울어진다. 상부(712)는 이온 공급원(714), 추출 전극(715), 포커싱 구성요소들(720) 및 포커싱된 이온 빔(718)을 포함한다. 이온 빔(718)은 이온 공급원(714)로부터 포커싱 컬럼(716)을 통과하여, 예컨대 하위 챔버(726) 내에서 이동 가능한 스테이지(725) 상에 위치하는 반도체 소자를 포함하는 기관(722) 쪽으로 참조번호 720으로 개략적으로 표시된 정전 편향 수단들 사이를 통과한다.
- [0034] 스테이지(725)는 바람직하게는, 수평면(X 및 Y 축들)에서 그리고 수직으로(Z 축) 이동할 수 있다. 스테이지(725)는 약 60° 기울어 질 수도 있고 Z 축을 중심으로 회전할 수 있다. 도어(door)(761)는 X-Y 스테이지(725) 위로 기관(722)을 삽입하는 동안 개방되고, 내부 기체 공급 저장고(reservoir)가 사용되는 경우 이를 정비하는 동안 개방되기도 한다. 도어는 시스템이 진공일 때 개방될 수 없도록 연동(interlock)되어 있다. 다르게는, 에어록(airlock)이 챔버(726)가 대기에 노출되는 것을 방지하는데 사용될 수 있다.
- [0035] 이온 펌프(미도시)가 상부(712)를 배기(evacuating)하기 위하여 채용된다. 챔버(726)는 진공 컨트롤러(732)의 제어하에서 터보분자(turbomolecular) 및 기계적 펌핑(pumping) 시스템(730)으로써 배기된다. 진공 시스템은 챔버(726) 내에서 약 1×10^{-7} Torr 및 5×10^{-4} Torr 사이의 진공을 제공한다. 식각-보조 기체(etch-assisting gas), 식각-억제 기체(etch-retarding gas) 또는 퇴적 전구체(precursor) 기체가 사용되는 경우, 챔버 백그라운드 압력은 통상적으로 약 1×10^{-5} Torr까지 상승할 수 있다.
- [0036] 고전압 전원은 이온 빔(718)에 에너지를 공급하고 이온 빔(718)을 포커싱하기 위하여 이온 빔 포커싱 컬럼(716)에서 전극들에 적절한 가속 전압을 제공한다. 이온 빔(718)이 기관(722)을 때릴 때, 물질은 샘플로부터 스퍼터링(sputtering), 즉 물리적으로 튀어나온다. 다르게는, 이온 빔(718)은 물질을 퇴적하기 위한 전구체 기체를 분해할 수 있다.
- [0037] 고전압 전원(734)은 액체 금속 이온 공급원(714)뿐만 아니라, 약 1keV 내지 60 keV 이온 빔(718)을 형성하고 샘플로 향하게 하기(directing) 위하여 이온 빔 포커싱 컬럼(716)에서 적절한 전극들에 연결된다. 패턴 생성기(738)에 의해 제공된 미리 정해진 패턴에 따라 동작되는 편향 컨트롤러 및 증폭기(736)는 편향 판들(720)에 결합되고, 이로써 이온 빔(718)이 기관(722)의 상위 표면 상에 대응하는 패턴을 쫓아 수동적으로나 자동적으로 제어될 수 있다. 일부 시스템들에서 편향 판들은, 당해 기술분야에서 잘 알려진 바와 같이 최종 렌즈들 앞에 위치된다. 블랭킹 컨트롤러(미도시)가 블랭킹 전극에 블랭킹 전압을 인가할때, 이온 빔 포커싱 컬럼(716) 내부에 빔 블랭킹(blanking) 전극들(미도시)은 이온 빔(718)이 기관(722) 대신에 블랭킹 조리개(미도시)에 충돌하는 것을 유발한다.
- [0038] 액체 금속 이온 공급원(714)은 통상적으로, 갈륨(gallium)의 금속 이온 빔을 제공한다. 본 공급원은 통상적으로, 이온 밀링, 증강된 식각(enhanced etch), 물질 퇴적에 의한 기관(722) 변형을 위하여 또는 기관(722)의 이미징 목적으로, 기관(722)에서 십분의 1 마이크로미터 폭의 빔으로 포커싱될 수 있다. 플라즈마 이온 공급원과 같은 다른 이온 공급원들도 사용될 수 있다.
- [0039] 에버하트-톤리(Everhart-Thornley) 검출기 또는 다중채널 플레이트(multi-channel plate)와 같은, 2차 이온이나 전자 방출을 검출하는데 사용되는 하전 입자 검출기(740)는 비디오 모니터(744)에 구동 신호들을 공급하는 비디오 회로(742)에 연결되고, 컨트롤러(719)로부터 편향 신호들을 수신한다. 하위 챔버(726) 내에서 하전 입자 검출기(740)의 위치는 서로 다른 실시예들에서 서로 다를 수 있다. 예를 들면, 하전 입자 검출기(740)는 이온 빔과 동축(coaxial)일 수 있고, 이온 빔이 통과 가능한 홀을 포함할 수 있다. 다른 실시예들에서, 2차 입자들은 최종 렌즈를 통해서 수집될 수 있고, 그 다음에 수집을 위하여 축으로부터 전환될 수 있다.
- [0040] 기체 이송 시스템(746)은 기관(722) 쪽으로 기체 증기를 도입하고 향하게 하기 위하여 하위 챔버(726)로 연장된다. 본 발명의 양수인에게 양도된, 발명자 Casella, 명칭 "Gas Delivery Systems for Particle Beam Processing"의 미국 특허 제 5,851,413호는 적합한 기체 이송 시스템(746)을 설명한다. 다른 기체 이송 시스템

은, 본 발명의 양수인에게 또한 양도된, 발명자 Rasmussen, 명칭 "Gas Injection System"의 미국 특허 제 5,435,850호에서 설명되어 있다. 예를 들면, 금속 유기 화합물은, 이온 빔이나 전자 빔의 충돌시 금속을 퇴적하기 위하여 빔 충돌 지점으로 이송될 수 있다. 백금을 퇴적하기 위한 $(CH_3)_3Pt(C_6H_5)_3$ 또는 텅스텐을 퇴적하기 위한 텅스텐 헥사카보닐(hexacarbonyl)과 같은 전구체 기체는 단계(108)에서 보호층을 제공하기 위하여 전자 빔에 의해 분해되도록 이송될 수 있다.

[0041] 시스템 컨트롤러(719)는 이중 빔 시스템(710)의 다양한 부분들의 동작들을 제어한다. 시스템 컨트롤러(719)를 통해서, 사용자는 이온 빔(718)이나 전자 빔(743)이 통상의 사용자 인터페이스(미도시)로 들어온 명령들을 통해서 원하는 방식으로 주사되는 것을 유발할 수 있다. 다르게는, 시스템 컨트롤러(719)는 프로그래밍된 명령어(instruction)들에 따라 이중 빔 시스템(710)을 제어할 수 있다. 바람직한 컨트롤러는 도 1의 단계들을 자동으로 수행하기 위한 명령어들을 저장하는 메모리와 통신하거나 이를 포함한다. 일부 실시예들에서, 이중 빔 시스템(710)은, Cognex사(Cognex Corporation, Natick, Massachusetts)로부터 상업적으로 사용 가능한 소프트웨어와 같은, 관심 영역을 자동으로 식별하기 위한 이미지 인식 소프트웨어를 탑재하고, 그 다음에 시스템은 본 발명에 따라 수동으로 또는 자동으로 이미징을 위한 단면들을 노출시킬 수 있다. 예를 들면, 본 시스템은 다수의 소자들을 포함하는 반도체 웨이퍼들 상에서 유사한 피쳐들을 자동으로 위치시킬 수 있고, 다른(또는 동일한) 소자들 상에서 관심 피쳐들의 이미지들을 노출시키고 형성할 수 있다.

[0042] 본 발명은 전술된 예시들에서 설명되고 도시된 바와 같이 넓은 적용범위를 가지고 많은 장점들을 제공할 수 있다. 실시예들은 특정 어플리케이션에 따라 큰 폭으로 달라질 것이고, 모든 실시예가 본 발명에 의해 달성되는 모든 장점들을 제공한다거나 모든 목적들을 충족시키는 것은 아닐 것이다. 본 발명을 수행하기에 적합한 입자 빔 시스템들은, 예컨대 본 출원의 출원인(양수인)인 FET사(FET Company)로부터 상업적으로 이용 가능하다.

[0043] 본 명세서는 본 방법의 동작들을 수행하기 위한 방법 및 장치를 모두 개시한다. 그러한 장치는 요구되는 목적들을 위해서 특정하게 구성될 수 있고, 또는 범용 컴퓨터나 컴퓨터에 저장된 컴퓨터 프로그램에 의해 선택적으로 활성화되거나 재구성되는 다른 장치를 포함할 수 있다. 다양한 범용 하전 입자 빔 시스템들이 본 명세서에서 교시된 것들에 따라 프로그램들과 함께 사용될 수 있다. 다르게는, 요구되는 방법 단계들을 수행하기 위한 보다 특화된 장비의 구성이 적절할 수 있다.

[0044] 게다가, 본 명세서는 또한, 컴퓨터 프로그램을 내재적으로 개시하고, 본 명세서에서 설명된 방법의 각 단계들이 그 컴퓨터 프로그램에서 컴퓨터 코드에 의해 실행될 수 있는 것이 당업자에게 명백하다. 컴퓨터 프로그램은 임의의 특정한 프로그래밍 언어 및 그것들의 구현에 제한되는 것으로 의도되지 않는다. 다양한 프로그래밍 언어들 및 그것들의 코딩(coding)이 본 명세서에 포함된 개시의 교시들을 구현하는데 사용될 수 있다. 더욱이, 컴퓨터 프로그램은 임의의 특정 컨트롤 플로우(control flow)에 제한되는 것으로 의도되지 않는다. 본 발명의 사상이나 범위로부터 벗어나지 않고서 다른 컨트롤 플로우들을 사용할 수 있는, 컴퓨터 프로그램의 많은 다양한 변형들이 존재한다.

[0045] 그러한 컴퓨터 프로그램은 임의의 컴퓨터로 읽기 가능한 매체에 저장될 수 있다. 컴퓨터로 읽기 가능한 매체는, 자기 또는 광학 디스크들, 메모리 칩들, 또는 범용 컴퓨터와 인터페이스하기에 적합한 다른 저장 장치들과 같은 저장 장치들을 포함할 수 있다. 컴퓨터 읽기 가능한 매체는 인터넷 시스템에서 예시되는 바와 같은 하드웨어에 내장된(hard-wired) 매체, 또는 GSM 휴대 전화 시스템에서 예시되는 바와 같은 무선 매체를 포함할 수도 있다. 범용 컴퓨터에 로딩(loading)되고 실행될 때의 컴퓨터 프로그램 또는 하전 입자 빔을 위한 컨트롤러는 효과적으로, 바람직한 방법의 단계들을 구현하는 장비들로 귀착된다.

[0046] 본 발명은 하드웨어 모듈들로서 구현될 수도 있다. 더 자세하게는, 하드웨어 관점에서, 모듈은 다른 부품들이나 모듈들과 함께 사용하기 위해 설계된 기능적인 하드웨어 유닛(functional hardware unit)이다. 예를 들면, 모듈은 개별 전자 부품들을 사용하여 구현될 수 있고, 또는 ASIC(Application Specific Integrated Circuit)과 같은 온전한 전자 회로의 일부를 형성할 수 있다. 다양한 다른 가능성들이 존재한다. 당업자는 본 시스템이 하드웨어 및 소프트웨어 모듈들의 조합으로써 구현될 수도 있음을 인정할 것이다.

[0047] 전술된 많은 것들이 반도체 웨이퍼들에 대한 것이나, 본 발명은 임의의 적합한 기판이나 표면에 적용될 수 있다. 추가적으로, "자동적", "자동화" 또는 유사한 용어들이 본 명세서에서 사용되는 경우, 이러한 용어들은 자동적 또는 자동화 공정이나 단계의 수동적 시작(initiation)을 포함하는 것으로 이해될 것이다. 이하의 설명 및 청구항들에서, "포함하는(including)" 및 "포함하는(comprising)" 용어들은 개방형으로 사용되고, 따라서 "...을 포함하지만 제한되지 않는" 의미로 해석되어야 한다.

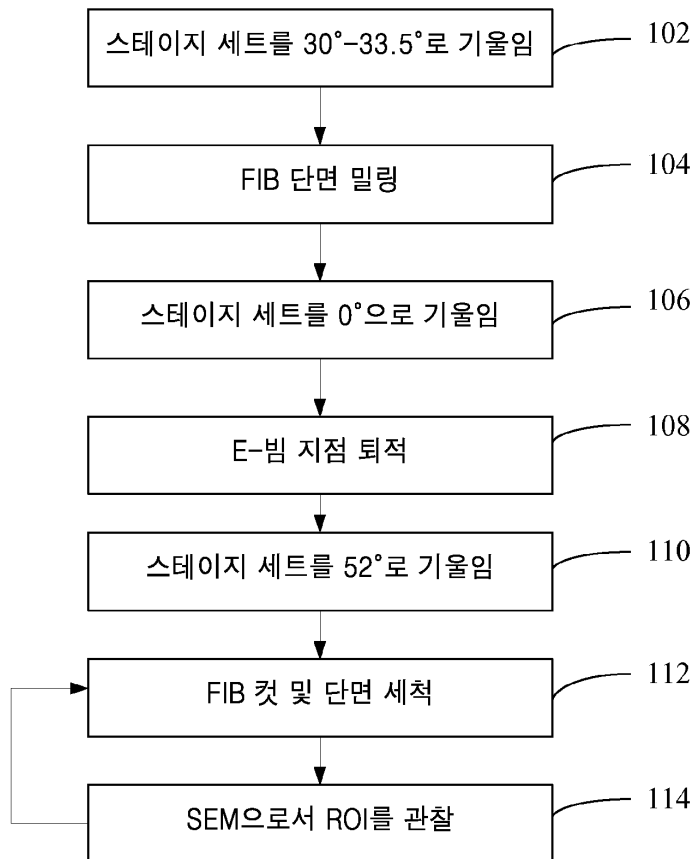
- [0048] 임의의 용어가 본 명세서에서 특별하게 정의되지 아니하는 한, 그 용어는 평범한 그리고 보통의 의미가 부여되는 점이 의도된다. 첨부된 도면들은 본 발명을 이해하는 데 도움을 주고자 의도되고, 다른 표시가 없는 한 스케일에 맞게 그려지지 아니한다.
- [0049] "집적 회로(integrated circuit)" 용어는, 마이크로칩의 표면에 패터닝되는 전자 부품들 및 그것들의 상호연결들(총괄적으로, 내부 전기적 회로 구성요소들)의 집합을 지칭한다. "반도체 칩(semiconductor chip)" 용어는 일반적으로, 반도체 웨이퍼에 집적되거나, 웨이퍼로부터 분리되거나, 회로 보드(board) 상에서 사용을 위해 패키징될 수 있는 집적 회로(IC)를 지칭한다. "FIB" 또는 "포커싱된 이온 빔(focused ion beam)"은 본 명세서에서, 이온 렌즈(optic)들에 의해 포커싱된 빔 및 형상화된 이온 빔들을 포함하는 임의의 콜리메이트드(collimated) 이온 빔을 지칭하는 것으로 사용된다.
- [0050] 이상의 실시예에는 3D NAND-형 구조들을 설명하지만, 본 발명은 그러한 구조들에 제한되지 않으며, 예컨대 DRAM들에 유용하고, 트랜치를 및 다른 구조들뿐만 아니라 원형 홀들을 특징짓는데 유용하다.
- [0051] 본 발명의 일부 실시예들은 하전 입자 빔을 사용하여 작업물 상에서 관심 영역을 노출하는 방법을 제공하고, 상기 방법은 관심 영역에 인접하고 작업물 표면에 대하여 경사진 표면을 노출시키기 위하여 작업물의 상면에 대하여 비수직인(non-normal) 제1 각도로 트랜치를 이온 빔 밀링하는 단계; 관심 영역에 인접한 노출된 표면의 일부분 상에 보호층을 퇴적하는 단계; 관심 영역을 노출시키기 위하여 관심 영역에 인접한 표면의 일부분, 작업물의 상면에 대하여 실질적으로 수직인 각도로 이온 빔 밀링하는 단계; 및 하전 입자 빔 이미징에 의해 관심 영역을 관찰하는 단계를 포함한다.
- [0052] 일부 실시예들에서, 작업물의 상면에 대하여 비수직인 제1 각도로 트랜치를 밀링하는 단계는 다수의 높은 종횡비 피쳐들을 가지는 작업물의 영역에서 트랜치를 밀링하는 단계를 포함한다.
- [0053] 일부 실시예들에서, 다수의 높은 종횡비 피쳐들은 홀(hole)들이다.
- [0054] 일부 실시예들에서, 관심 영역에 인접한 표면의 일부 상에 보호층을 퇴적하는 단계는 높은 종횡비 홀들을 통과하여 트랜치를 밀링함으로써 생성되는 단차들을 덮는 단계를 포함한다.
- [0055] 일부 실시예들은 관심 영역의 제2 표면을 노출하기 위하여 작업물의 상면에 실질적으로 수직하게 후속하는 밀링 단계를 수행하는 단계 및 하전 입자 빔 이미징을 사용하여 제2 표면을 주시하는 단계를 더 포함한다.
- [0056] 일부 실시예들은 관심 영역의 다른 표면들을 순차적으로 노출시키기 위하여 다수의 후속하는 밀링 단계들을 수행하는 단계 및 하전 입자 빔 이미징을 사용하여 다른 표면들 각각을 주시하는 단계를 더 포함한다.
- [0057] 일부 실시예들에서, 작업물의 상면에 대해서 비수직인 제1 각도로 트랜치를 밀링하는 단계는 작업물 표면에 대한 수직선으로부터 5° 및 50° 사이의 각도로 벽을 가지는 트랜치를 밀링하는 단계를 포함한다.
- [0058] 일부 실시예들에서, 트랜치를 밀링하는 단계는 작업물 표면에 대한 수직선으로부터 약 18° 내지 22°의 각도로 벽을 가지는 트랜치를 밀링하는 단계를 포함한다.
- [0059] 일부 실시예들에서, 관심 영역에 인접한 표면의 일부분 상에 보호층을 퇴적하는 단계는 빔-유도된 퇴적을 사용하는 단계를 포함한다.
- [0060] 일부 실시예들에서, 빔-유도된 퇴적을 사용하는 단계는 10 keV보다 크거나 20 keV보다 큰 에너지들을 가지는 전자들을 사용하는 전자-빔 유도된 퇴적을 포함한다.
- [0061] 일부 실시예들에서, 관심 영역에 인접한 표면의 일부분 상에 보호층을 퇴적하는 단계는 레이저-유도된 퇴적 또는 빔 유도된 퇴적을 사용하여 보호층을 퇴적하는 단계를 포함한다.
- [0062] 일부 실시예들에서, 관심 영역은 3D NAND 구조 또는 3D DRAM 구조들의 일부를 포함한다.
- [0063] 일부 실시예들에서, 관찰을 위해 높은 종횡비 구조 중 일부의 단면을 생성하는 방법은 아래 단계들을 포함한다.
- [0064] 포커싱된 이온 빔을 사용하여 샘플의 표면에 비수직인 각도로 그리고 높은 종횡비 피쳐의 장축에 비수직인 각도로 트랜치를 밀링하는 단계;
- [0065] 높은 종횡비 피쳐의 선택된 깊이에서 트랜치의 벽 상에 보호층을 퇴적하는 단계;
- [0066] 하전 입자 빔을 사용하여, 높은 종횡비 피쳐의 단면을 노출시키기 위하여 보호층을 통과하고 샘플의 표면에 실질적으로 평행하게 단면을 밀링하는 단계; 및

- [0067] 노출된 단면을 관찰하는 단계.
- [0068] 일부 실시예들에서, 노출된 단면을 관찰하는 단계는 전자 현미경 관찰, x-선 분석, 마이크로 라만, 또는 다른 방법들을 포함한다.
- [0069] 일부 실시예들은 관심 영역의 제2 단면을 노출시키기 위하여 제1 단면에 평행하게 보호층을 통과하여 제2 단면을 밀링하는 단계를 더 포함한다.
- [0070] 일부 실시예들은, 관심 영역에서 피처의 일련의 단면 이미지들을 형성하기 위해, 하전 입자 빔을 사용하여 보호층을 통과하여 단면을 밀링하는 단계 및 전자 빔을 사용하여 노출된 단면을 관찰하는 단계를 더 포함한다.
- [0071] 일부 실시예들에서, 트랜치의 벽 상에 보호층을 퇴적하는 단계는 빔-유도된 퇴적을 사용하여 보호층을 퇴적하는 단계를 포함한다.
- [0072] 본 발명의 일부 실시예들은 작업물의 제1 표면 아래 관심 영역을 분석하는 방법을 제공하고, 아래 단계들을 포함한다.
- [0073] 제2 표면을 생산하기 위하여 작업물의 제1 표면 및 관심 영역 사이에서 물질을 제거하도록 작업물 쪽으로 이온 빔을 향하게 하는 단계로서, 제2 표면의 일부분이 관심 영역 및 제1 표면의 위치 사이에 있는 것을 특징으로 하는 단계;
- [0074] 제2 표면으로 보호층을 퇴적하는 단계;
- [0075] 분석을 위하여 제3 표면을 생산하기 위해 보호층을 통과하여 밀링하도록 이온 빔을 향하게 하는 단계로서, 제3 표면은 관심 영역을 통과하는 것을 특징으로 하는 단계; 및
- [0076] 하전 입자 빔 이미징에 의해 관심 영역을 관찰하는 단계로서, 제2 표면 상의 보호층은 관심 영역이 커트닝 없이 관찰을 위해 노출되도록 관심 영역에 충분히 가까운 것을 특징으로 하는 단계.
- [0077] 일부 실시예들에서, 제3 표면은 제1 표면에 실질적으로 직각이다.
- [0078] 일부 실시예들에서, 제2 표면은 제1 표면에 대한 수직선에 대해서 5° 및 50° 사이 각도로 기울어진다.
- [0079] 일부 실시예들에서, 제2 표면은 제1 표면에 대한 수직선에 대해서 약 18° 내지 약 22° 사이 각도로 기울어진다.
- [0080] 본 발명의 일부 실시예들은 샘플의 단면을 관찰하기 위한 시스템을 제공하고, 아래의 단계들을 포함한다.
- [0081] 이온들의 포커싱된 빔을 제공하기 위한 이온 광학 컬럼;
- [0082] 전자들의 포커싱된 빔을 제공하기 위한 전자 광학 컬럼;
- [0083] 샘플로부터 방출되는 2차 입자들을 검출하기 위한 입자 검출기; 및
- [0084] 아래 단계들을 위한 명령어들을 저장하는 컴퓨터 메모리와 통신하는 컨트롤러;
- [0085] 관심 영역에 인접하고 작업물 표면에 대하여 경사진 표면을 노출시키기 위하여 작업물 표면에 대해 비수직인 제1 각도로 트랜치를 밀링하는 단계;
- [0086] 관심 영역에 인접한 표면의 일부분 상에 보호층을 퇴적하는 단계;
- [0087] 관심 영역을 노출시키기 위하여 관심 영역에 인접한 표면의 일부분을 밀링하는 단계; 및
- [0088] 하전 입자 빔 이미징에 의해서 관심 영역을 관찰하는 단계.
- [0089] 일부 실시예들에서, 컴퓨터 메모리는, 전자-빔-유도된 퇴적에 의해 보호층을 퇴적하기 위하여 20 keV보다 높은 에너지들을 가지는 전자들을 전자 빔이 제공하는 것을 유발하기 위한 명령어들을 저장한다.
- [0090] 비록 본 발명 및 그 이점들이 상세하게 설명되었지만, 다양한 변경들, 치환들 및 대체들이 첨부된 청구항에 의해 정의되는 바와 같은 본 발명의 사상 및 범위로부터 벗어나지 아니하고 만들어질 수 있음은 이해되어야 한다. 더욱이, 본 출원의 범위는, 본 명세서에서 설명된 공정, 기계, 제조, 물질의 구성, 수단들, 방법들 및 단계들의 특정 실시예들에 제한되고자 의도되지 아니한다. 당업자는 본 발명의 개시로부터, 현존하거나 추후 개발될 공정들, 기계들, 제조, 물질의 구성들, 수단들, 방법들 또는 단계들이, 본 명세서에서 설명된 대응하는 실시예들이 본 발명에 따라 채용될 수 있는 바와 실질적으로 동일한 기능을 수행하거나 실질적으로 동일한 결과를 달성한다

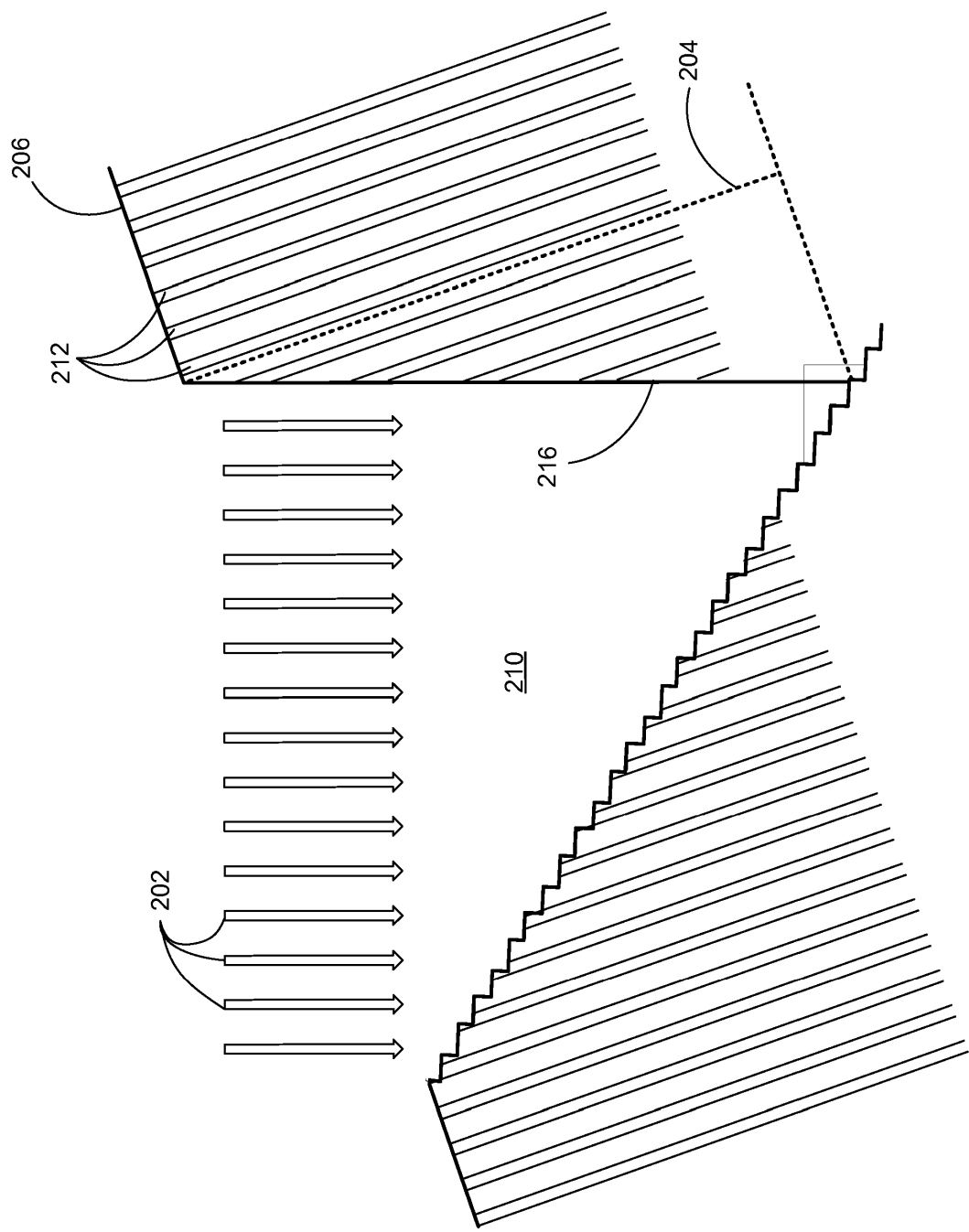
는 점은 쉽게 인정할 것이다. 따라서, 첨부된 청구항들은 그것들의 범위 내에, 그러한 공정들, 기계들, 제조, 물질의 구성들, 수단들, 방법들 또는 단계들을 포함하는 것으로 의도된다.

도면

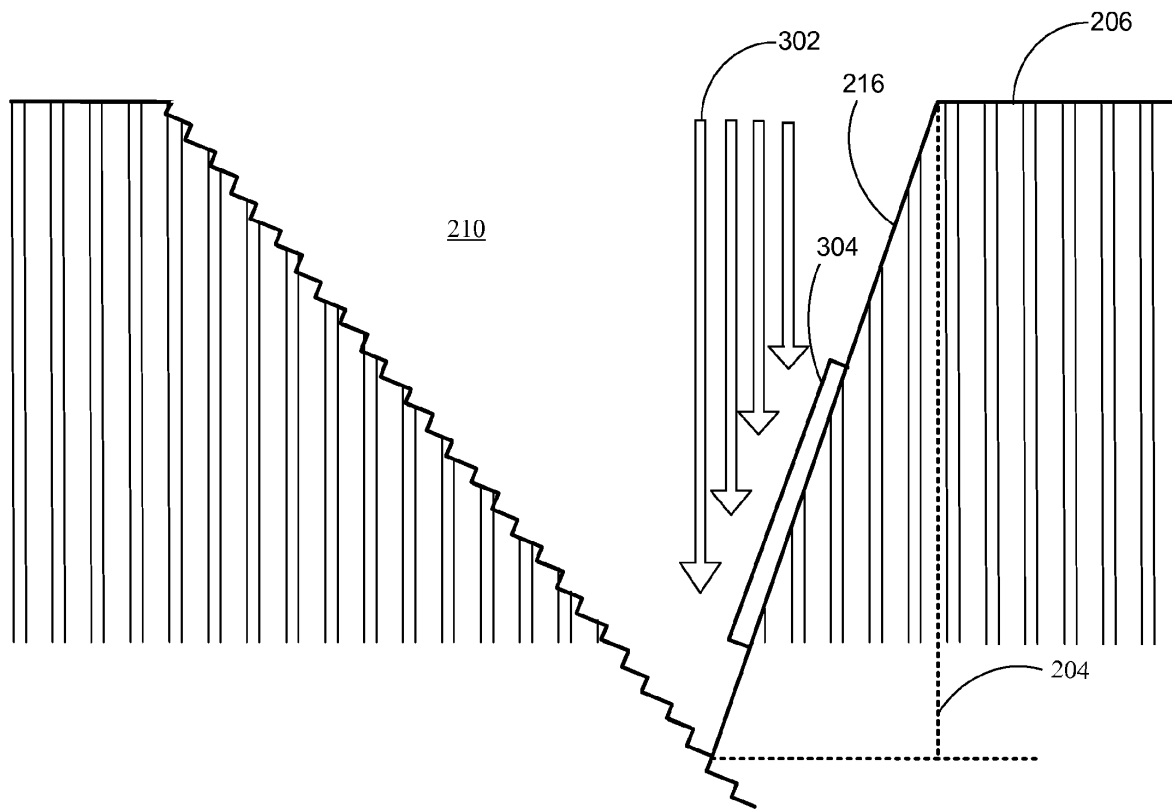
도면1



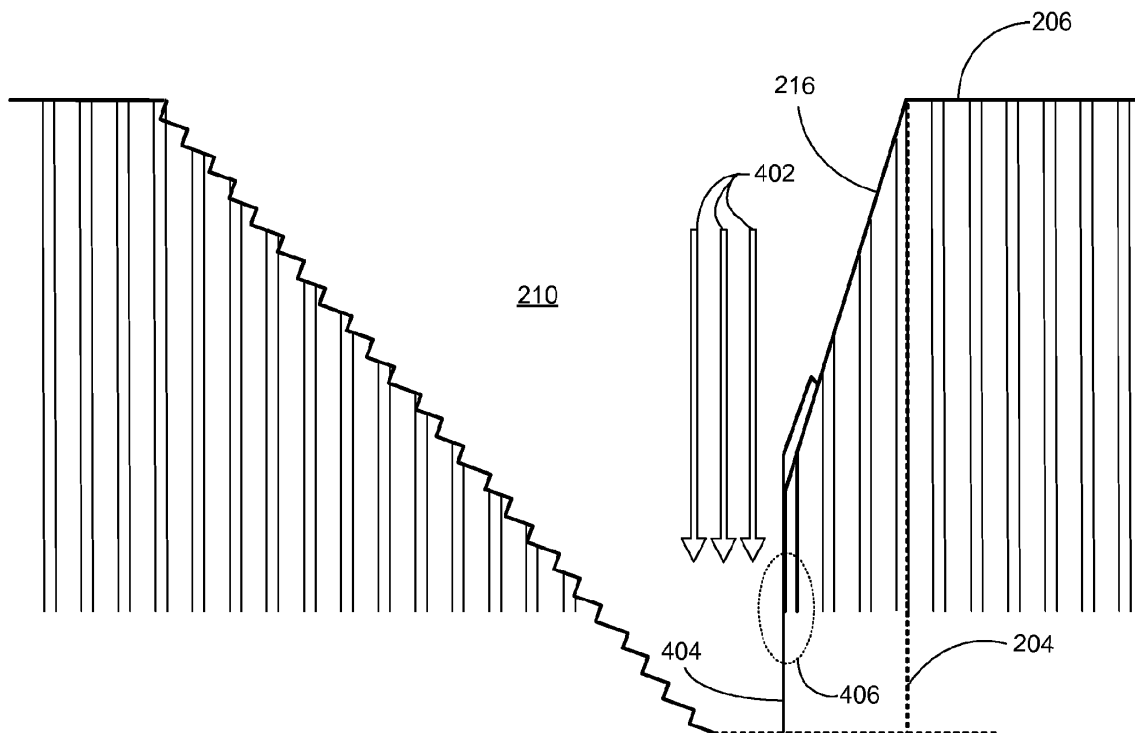
도면2



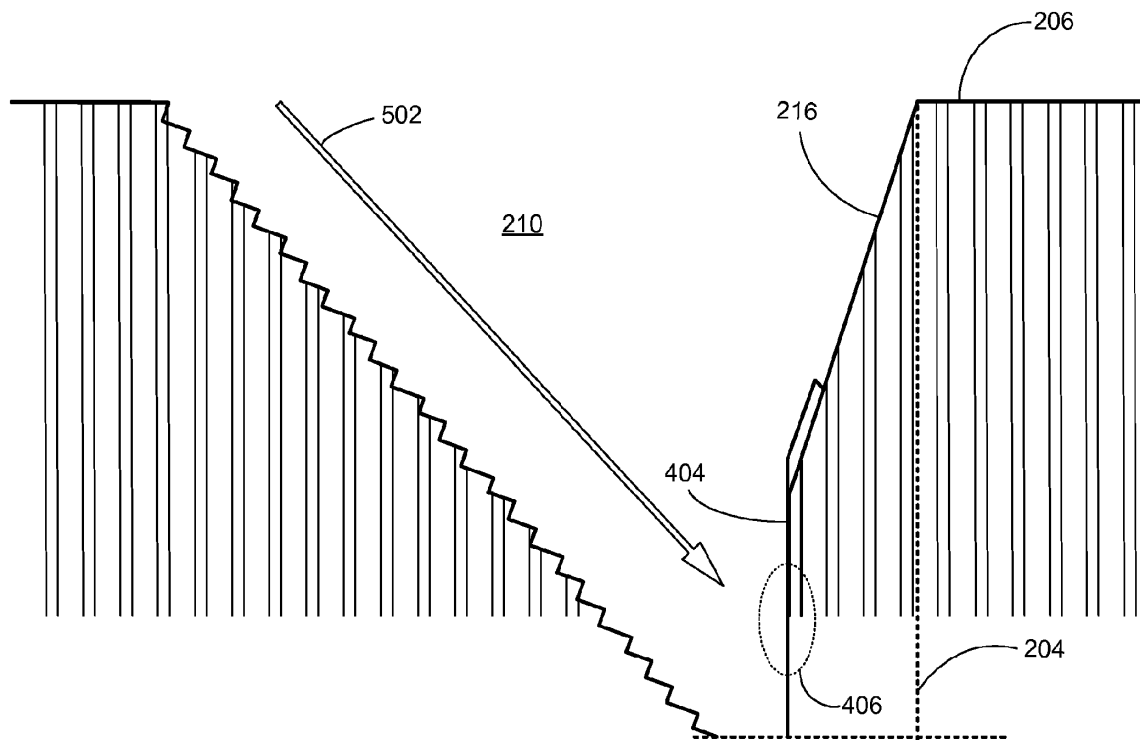
도면3



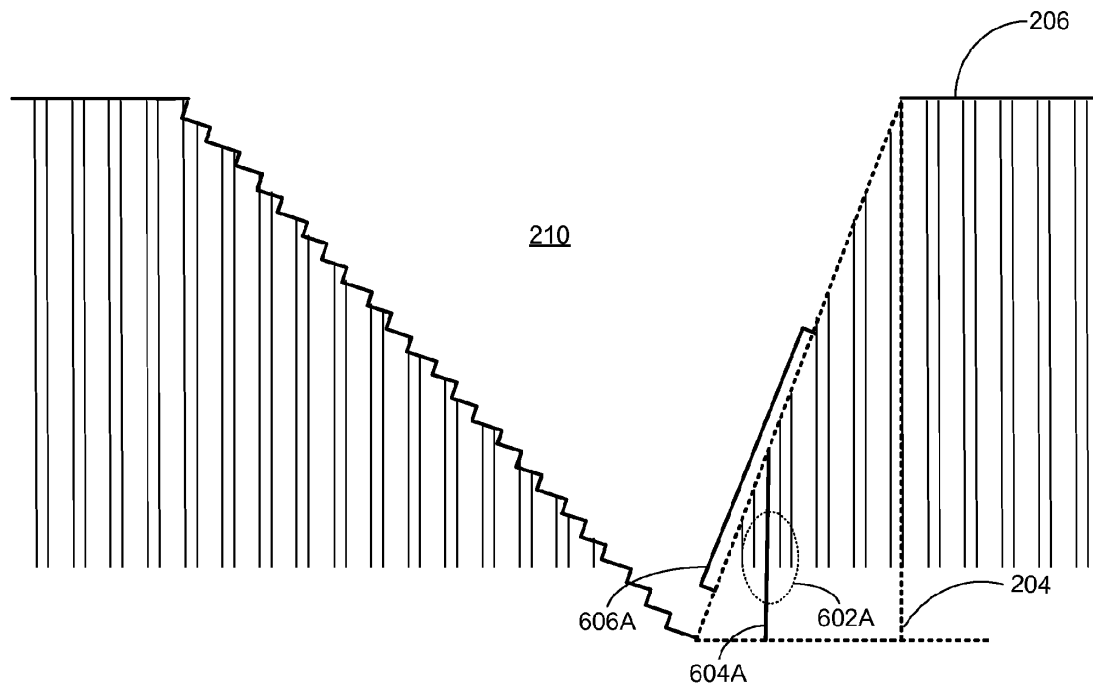
도면4



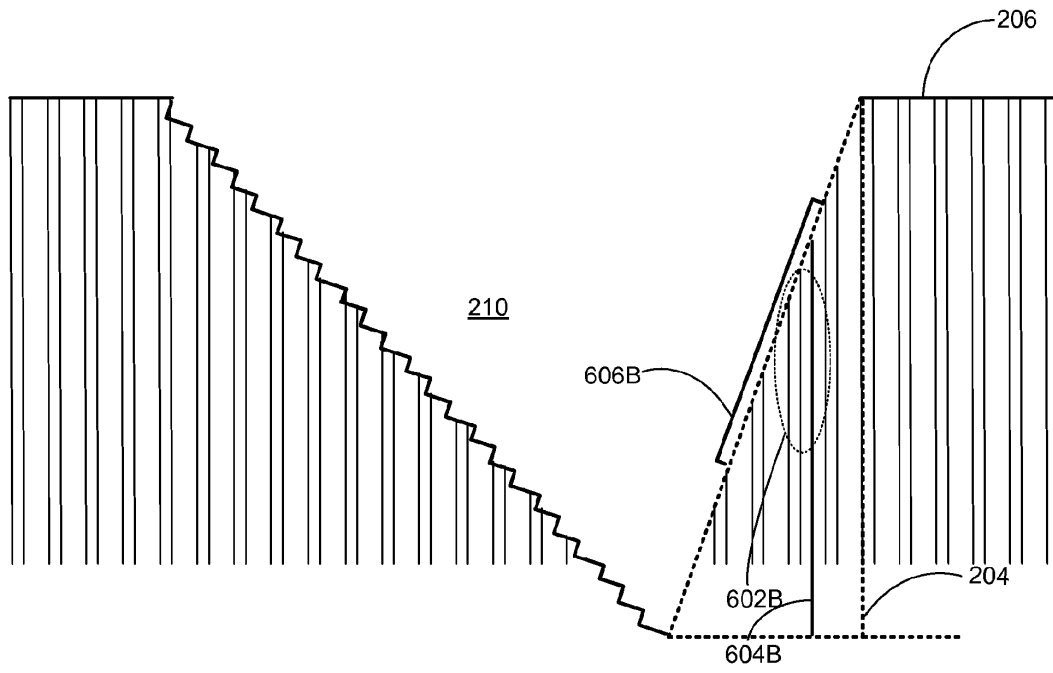
도면5



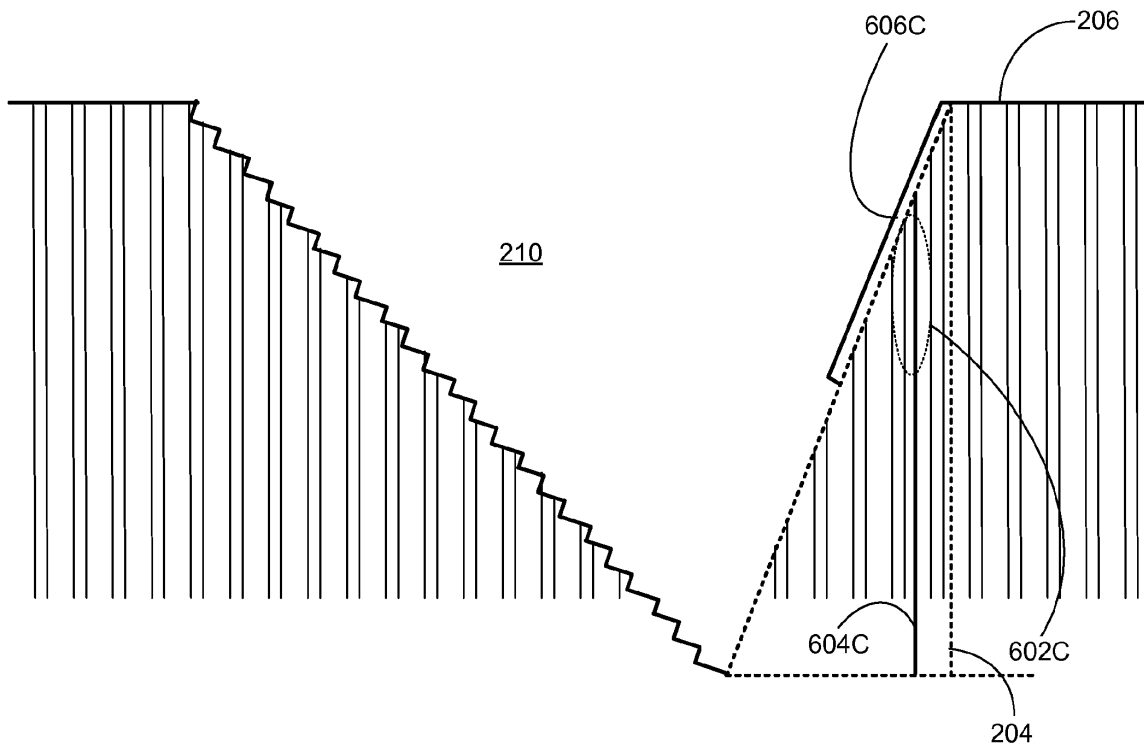
도면6a



도면6b



도면6c



도면7

