



등록특허 10-2041272



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년11월27일  
(11) 등록번호 10-2041272  
(24) 등록일자 2019년10월31일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*G01R 31/00* (2006.01) *G01N 1/28* (2006.01)  
*G01N 1/32* (2006.01) *G01R 1/067* (2006.01)  
*H01J 37/00* (2006.01) *H01J 37/30* (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
*G01R 31/00* (2013.01)  
*G01N 1/286* (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-7008674
- (22) 출원일자(국제) 2013년10월04일  
심사청구일자 2018년10월02일
- (85) 번역문제출일자 2015년04월03일
- (65) 공개번호 10-2015-0063410
- (43) 공개일자 2015년06월09일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2013/063556
- (87) 국제공개번호 WO 2014/055935  
국제공개일자 2014년04월10일
- (30) 우선권주장  
61/710,668 2012년10월05일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문현  
US20030183776 A1\*  
US20110151597 A1\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

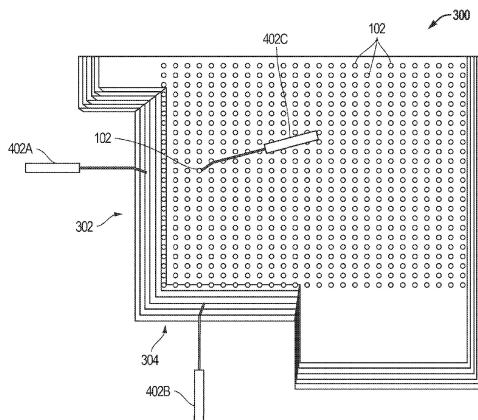
전체 청구항 수 : 총 21 항

심사관 : 정종한

(54) 발명의 명칭 3차원 접적 회로 구조 내 관심 영역을 분석하는 방법 및 시스템

**(57) 요 약**

샘플 내의 다중의 평면들은 전기 프로브에 의한 접촉을 위해서 단일의 시야로부터 노출된다. 상기 샘플은 비-직교 각도에서 밀링되어 상이한 레이어들을 경사진 표면들로서 노출시킨다. 다중의 평행한 도체 평면들의 경사진 가장자리들은 다중의 레벨들로의 위에서부터의 액세스를 제공한다. 상기 평면들은, 예를 들면, 전압을 인가하거나 (뒷면에 계속)

**대 표 도**

나 감지하기 위해서 전기 프로브와 접촉할 용도로 액세스될 수 있다. 접촉된 노출된 레이어의 레벨은, 예를 들면, 상기 노출된 레이어들을 상기 샘플 표면으로부터 카운트 다운함으로써 확인될 수 있으며, 이는 비-직교 밀이 모든 레이어들을 위로부터 보일 수 있도록 만들기 때문이다. 대안으로, 상기 샘플은 표면에 대해 직교하여 밀링될 수 있으며, 그리고 그 후에 경사지고 그리고/또는 회전될 수 있으며, 상기 디바이스의 다중의 레벨들로의 액세스를 제공한다. 관심 영역에 대한 손상을 최소화하면서 그 영역으로의 전기적인 액세스를 제공하기 위해서, 상기 밀링은 상기 관심 영역으로부터 멀리에서 수행되는 것이 바람직하다.

## (52) CPC특허분류

*G01N 1/32* (2013.01)*G01R 1/067* (2013.01)*H01J 37/00* (2013.01)*H01J 37/3005* (2013.01)

## (72) 발명자

**슈미트 마이클**미국 오레곤 97080 그雷삼 사우스이스트 해시엔더  
레인 1003**스톤 스테이시**미국 오레곤 97006 비버톤 사우스웨스트 소사 플레  
이스 795**홀란드 카리**미국 오레곤 97133 노쓰 플레인스 노쓰웨스트 데어  
리 크릭 로드 22855

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

적어도 하나의 전도성 레이어를 통해 관심 영역으로 전기적인 액세스를 제공하기 위해 수평 방향으로 확장하는 다중의 전도성 레이어들을 가진 3차원 집적 회로 구조 내 상기 관심 영역을 분석하는 방법으로서,

집속 이온 범을 상기 3차원 집적 회로 구조로 향하게 하여, 상기 관심 영역으로부터 멀리에 있는 그리고 수평 방향으로 확장하는 복수의 노출된 전도성 레이어들을 포함하는 밀링된 표면을 산출하는 단계;

수평 방향으로 확장한 적어도 하나의 노출된 전도성 레이어의 상기 밀링된 표면 위로부터 접촉시키기 위해서 적어도 하나의 전기 프로브를 이동시키는 단계;

상기 적어도 하나의 전기 프로브에 전압을 인가하는 단계; 그리고

상기 관심 영역을 분석하기 위해서 상기 인가된 전압의 영향을 관찰하는 단계를 포함하며,

상기 복수의 노출된 전도성 레이어들 각각은 위에서부터 보이며, 그리고

집속 이온 범을 상기 3차원 집적 회로 구조로 향하게 하는 단계를 수행하는 것은:

집속 이온 범을 상기 수평 방향에 비-법선 각도로 배치함; 및

집속 이온 범을 상기 수평 방향에 법선 각도로 배치하여, 그 이후에 상기 3차원 집적 회로 구조가 기울어져서 상기 밀링된 표면에 대한 법선이 수직 성분을 가지도록 함,

중 하나를 포함하는, 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

집속 이온 범을 상기 회로 구조로 향하게 하는 것은 상기 밀링된 표면을 산출하면서 상기 관심 영역을 그대로 두며 손상받지 않게 하면서 떠나기 위해 상기 집속 이온 범의 방향을 정하는 것을 포함하는, 방법.

#### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

적어도 하나의 선택된 노출된 전도성 레이어의 상기 밀링된 표면 위로부터 접촉시키기 위해서 적어도 하나의 전기 프로브를 이동시키는 단계는,

적어도 하나의 선택된 노출된 전도성 레이어의 상기 밀링된 표면 위로 상기 프로브를 위치하게 하기 위해 상기 적어도 하나의 전기 프로브를 이동시키고 그리고 적어도 하나의 선택된 노출된 전도성 레이어의 상기 밀링된 표면에 접촉시키기 위해 수직 성분을 가지는 방향으로 상기 프로브를 이동시키는 것을 포함하는, 방법.

#### 청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

집속 이온 범을 상기 수평 방향에 비-법선 각도로 향하게 하는 것은,

상기 집속 이온 범을 상기 수평 방향으로의 법선으로부터 30도 내지 45도 사이의 각도로 향하게 하는 것을 포함하는, 방법.

#### 청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 관심 영역을 분석하기 위해 상기 인가된 전압의 영향을 관찰하는 단계는,

전압 대비 이미징 (voltage contrast imaging)을 사용하는데 있어서 상기 영향을 관찰하거나, 전기 신호를 감지하는 것을 통해 상기 영향을 관찰하거나, 또는 원자간력 현미경 (atomic force microscope) 프로브를 사용하는데 있어서 상기 영향을 관찰하는 것을 포함하는, 방법.

### 청구항 6

제5항에 있어서,

전기 신호를 감지하는 것은 전기 프로브 또는 프로브들을 이용하여 전압이나 전류를 감지하는 것을 포함하는, 방법.

### 청구항 7

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 3차원 집적 회로 구조는 데이터 저장 회로를 포함하는, 방법.

### 청구항 8

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 3차원 집적 회로 구조는,

로직 회로를 포함하며 또는

로직 회로 및 NAND, SRAM, DRAM 또는 메모리 셀 중 적어도 하나를 포함하는, 방법.

### 청구항 9

적어도 하나의 전도성 레이어를 통해 관심 영역으로 전기적인 액세스를 제공하기 위해 수평 방향으로 확장하는 전도성 레이어들을 가진 3차원 집적 회로 구조 내 상기 관심 영역을 분석하는 방법으로서,

집속 이온 빔을 상기 회로 구조로 향하게 하여, 상기 관심 영역으로부터 멀리에 있는 표면으로서, 수평 방향으로 확장하는 복수의 노출된 전도성 레이어들을 포함하는 표면을 밀링하는 단계;

수평 방향으로 확장하는 노출된 전도성 레이어들 중 어느 것이 상기 밀링된 표면으로부터 멀리에 있는 상기 관심 영역으로의 전기적인 액세스를 제공하는가를 수직 위치에 의해 판별하는 단계;

상기 관심 영역으로의 전기적인 액세스를 제공하는 수평 방향으로 확장하는 상기 노출된 전도성 레이어들의 상기 밀링된 표면에 접촉시키기 위해 전기 프로브를 낚추는 단계;

상기 전기 프로브에 전압을 인가하는 단계; 그리고

상기 관심 영역을 분석하기 위해서 상기 인가된 전압의 영향을 관찰하는 단계를 포함하며,

상기 복수의 노출된 전도성 레이어들 각각은 위에서부터 보이는, 방법.

### 청구항 10

제9항에 있어서,

집속 이온 빔을 상기 회로 구조로 향하게 하여, 상기 관심 영역으로부터 멀리에 있는 표면으로서, 수평 방향으로 확장하는 복수의 노출된 전도성 레이어들을 포함하는 표면을 밀링하는 단계는,

상기 수평 방향에 법선인 각도로 상기 집속 이온 빔을 향하게 하는 것을 포함하며 그리고 공정 중 제품을 기울이는 것을 더 포함하여, 상기 밀링된 표면에 법선인 각도가 수직 성분을 가지도록 하는, 방법.

### 청구항 11

제10항에 있어서,

상기 공정 중 제품을 기울이는 것은 상기 공정 중 제품을 30도부터 45도 사이의 각도로 기울이는 것을 포함하는, 방법.

**청구항 12**

제9항에 있어서,

집속 이온 빔을 상기 회로 구조로 향하게 하여, 상기 관심 영역으로부터 멀리에 있는 표면으로서, 수평 방향으로 확장하는 복수의 노출된 전도성 레이어들을 포함하는 표면을 밀링하는 단계는,

상기 집속 이온 빔을 상기 수평 방향에 비-법선인 각도로 향하게 하는 것을 포함하는, 방법.

**청구항 13**

제12항에 있어서,

집속 이온 빔을 상기 수평 방향에 비-법선인 각도로 향하게 하는 것은 상기 집속 이온 빔을 상기 수평 방향에 30도부터 45도 사이의 각도로 향하게 하는 것을 포함하는, 방법.

**청구항 14**

제9항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 관심 영역을 분석하기 위해서 상기 인가된 전압의 영향을 관찰하는 단계는,

전압 대비 이미징을 사용하는데 있어서 상기 영향을 관찰하거나, 전기 신호를 감지하는 것을 통해 상기 영향을 관찰하거나, 또는 원자간력 현미경 프로브를 사용하는 것을 통해 상기 영향을 관찰하는 것을 포함하는, 방법.

**청구항 15**

제14항에 있어서,

전기 신호를 감지하는 것을 통해 상기 영향을 관찰할 때에, 상기 전기 신호를 감지하는 것은 전기 프로브 또는 프로브들을 이용하여 전압이나 전류를 감지하는 것을 포함하는, 방법.

**청구항 16**

수평 방향으로 확장하는 전도성 레이어들을 구비한 3차원 집적 회로 구조 내 관심 영역을 분석하는 시스템으로서,

집속 이온 빔을 제공하기 위한 이온 광학 컬럼 (column);

집속 전자 빔을 제공하기 위한 전자 광학 컬럼;

상기 구조로부터 방사된 2차 입자들을 탐지하기 위한 입자 탐지기;

상기 집적 회로 구조에 접촉하고 상기 관심 영역에 전기적인 접촉을 제공하기 위해서 3차원에서 움직일 수 있는 전기 프로브;

컴퓨터 메모리에 통신하는 제어기를 포함하며,

상기 컴퓨터 메모리는:

집속 이온 빔을 상기 회로 구조로 향하게 하여, 상기 관심 영역으로부터 멀리에 있는 표면으로서, 수평 방향으로 확장하는 복수의 노출된 전도성 레이어들을 포함하는 표면을 밀링하는 동작;

수평 방향으로 확장하는 노출된 전도성 레이어들 중 어느 것이 상기 밀링된 표면으로부터 멀리에 있는 상기 관심 영역으로의 전기적인 액세스를 제공하는가를 수직 위치에 의해 판별하는 동작;

상기 관심 영역으로의 전기적인 액세스를 제공하는 수평 방향으로 확장하는 상기 노출된 전도성 레이어들의 상기 밀링된 표면에 접촉시키기 위해 전기 프로브를 낚추는 동작;

상기 전기 프로브에 전압을 인가하는 동작; 그리고

상기 관심 영역을 분석하기 위해서 상기 인가된 전압의 영향을 관찰하는 동작을 포함하는 동작들을 위한,

명령어들을 저장하며,

상기 복수의 노출된 전도성 레이어들 각각은 위에서부터 보이는, 시스템.

### 청구항 17

제16항에 있어서,

집속 이온빔을 상기 회로 구조로 향하게 하기 위한 컴퓨터 명령어들은, 상기 집속 이온빔을 상기 수평 방향에 비-법선인 각도로 향하게 하기 위한 컴퓨터 명령어들을 포함하는, 시스템.

### 청구항 18

제16항 또는 제17항에 있어서,

집속 이온빔을 상기 회로 구조로 향하게 하기 위한 컴퓨터 명령어들은 집속 이온빔을 상기 수평 방향에 법선인 각도로 향하게 하기 위한 컴퓨터 명령어들, 그리고 상기 밀링된 표면에 법선인 각도가 수직 성분을 가지도록 하기 위해 공정 중 제품을 기울이는 동작을 더 포함하는 동작들을 위한 명령어들을 상기 컴퓨터 메모리가 저장하게 하는 컴퓨터 명령어들을 포함하는, 시스템.

### 청구항 19

제1항에 있어서,

집속 이온빔을 상기 3차원 집적 회로 구조로 향하게 하는 것은,

다중 레벨들 상에서 트랜지스터들을 구비하며 그리고 상기 다중 레벨들 상의 상기 트랜지스터들에 접촉하는 수직 도체들의 어레이를 구비한 3차원 집적 회로로 집속 이온빔을 향하게 하는 것을 포함하며; 그리고

상기 관심 영역과 전기적 연결하는 상기 수직 도체들 중 하나 이상에 전압을 인가하는 것을 더 포함하며 또는 상기 인가된 전압의 영향을 관찰하는 것은 상기 수직 도체들 중 상기 하나 이상에서의 전압을 관찰하는 것을 포함하는, 방법.

### 청구항 20

제9항에 있어서,

집속 이온빔을 상기 3차원 집적 회로 구조로 향하게 하는 것은,

다중 레벨들 상에서 트랜지스터들을 구비하며 그리고 상기 다중 레벨들 상의 상기 트랜지스터들에 접촉하는 수직 도체들의 어레이를 구비한 3차원 집적 회로로 집속 이온빔을 향하게 하는 것을 포함하며; 그리고

상기 관심 영역과 전기적 연결하는 상기 수직 도체들 중 하나 이상에 전압을 인가하는 것을 더 포함하며 또는 상기 인가된 전압의 영향을 관찰하는 것은 상기 수직 도체들 중 상기 하나 이상에서의 전압을 관찰하는 것을 포함하는, 방법.

### 청구항 21

제16항에 있어서,

상기 시스템은, 수평 방향에서 확장하는 상이한 전도성 레이어들 내 수직으로 정렬된 요소들로 전기 접속하는 수직 도체에 접촉하기 위한 추가의 전기 프로브를 더 포함하며, 상기 수직 도체는 상기 관심 영역과 전기적으로 연결하는, 시스템.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 다중 차원적이며 혼미경적인 구조들을 프로세싱하여 내구 구조들로의 전기적인 액세스를 제공하는 것에 관련된다.

### 배경 기술

[0002] 반도체 조립 프로세스들은 더 많은 회로를 더 작은 패키지들에 채워넣기 때문에, 집적 회로 (integrated

circuit (IC)) 설계들은 더 3차원 (3D)적으로 되어가고 있다. 3D의 (나노급을 포함하는) 현미경적인 구조들에서 결합들을 측정하고, 분석하며 위치를 알아내는 것은 어렵다.

[0003] 엔지니어는 예를 들면 회로 컴포넌트의 이상한 전기적인 행동을 기초로 하여 자신이 조사하기를 원하는 관심 영역 (region-of-interest (ROI))을 확인하는 것이 보통이다. 통상적인 IC들에서 대부분의 ROI들은 평면의 영역 내 디바이스의 작은 볼륨으로 제한된다. 예를 들면, 정적 랜덤 액세스 메모리 (SRAM) 또는 통상적인 "비-앤파드 (not-and)" (NAND) 플래시 셀은 각각 Z 방향 내의 액티브 구역의 작은 볼륨을 가진 별개의 X 및 Y 위치를 점유한다. 엔지니어는 로직 비트 또는 게이트 주소로 시작하여 ROI를 확인하는 것이 일반적이며, 이는 구조 내의 액티브 영역 내의 물리적인 X/Y 위치에 매핑될 수 있다.

[0004] ROI는 종종 절연체 및 도체들의 레이어들 아래에 매복된다. 일단 ROI가 확인되면, 상기 회로는 "디프로세스 (deprocessed)될 수 있으며, 즉, 위에 놓여있는 구조가 제거될 수 있으며, 그래서 상기 ROI를 노출시킨다. 현재의 디프로세싱 기술들은 평면의 방식인 구조로의 액세스를 제공하는 것이 보통이며 - 이온 빔 밀링은 디바이스 표면에 직교하는 표면들을 생성하여, 이미징 (imaging), 프로빙 (probing), 또는 다른 로컬화 기술들이 가능하게 한다. 비슷하게 웨이퍼를 쪼개거나 (cleaving) 또는 병렬-겹침 (parallel-lapping) 디프로세싱은 상기 구조의 평면으로의 액세스를 제공한다.

[0005] ROI를 분석하기 위한 기술들은, 예를 들면, 마이크로-프로빙을 포함하며, 이 경우에 전도성 프로브들이 IC 상의 도체들에 접촉되어 전압들이나 전류들을 인가하고 그리고/또는 측정하도록 한다. ROI를 분석하기 위한 다른 기술은 전압 대비 이미징으로, 이 경우 하전 (charged) 입자 빔 이미지는 이미징된 표면 상의 어떤 전압도 감지하며, 상기 회로의 일부에 전압이 인가될 때에 획득된다. 다른 분석 기술들은 주사-용량성 현미경과 같은 주사형 탐침 현미경 (scanning probe microscopy)을 포함하며, 이 경우 상기 관심 영역 위로 정밀한 프로브가 스캔되며 그리고 그 프로브의 전기적인 또는 물리적인 행동이 모니터된다. 본원에서 사용되는 것과 같은 분석 기술들은 이미징 기술들을 포함한다.

[0006] 현재의 기술들은, 디바이스가 빌딩들이 한 하나의 층만을 가지는 도시인 것처럼 위치들을 집적 회로 상으로 매핑한다 - 메일을 올바른 위치로 배송하기 위해서 단순하게 도로 주소를 얻는 것만으로 충분하다. 최근의 3차원 (3D) IC 제조 기술들은 액티브 구역 (즉, 트랜지스터 또는 메모리 셀)을 Z 방향 내 하나의 평면으로 강제하지 않는다 - 액티브 구역들은 3D 디바이스들의 많은 레벨들을 차지한다. 상기 도시 맵에는 이제는 초고층 빌딩들이 장소를 차지한다 - 주소 정보는 메일이 배송될 층에 대한 레퍼런스를 필요로 한다. 2D 관심 영역을 확인하기보다는, 엔지니어는 3차원에서 관심 볼륨 (volume-of-interest (VOI))의 개별 격리를 필요로 할 것이다.

[0007] 3D IC 구조들을 위해서, 평면적인 액세스를 제공하는 종래 기술들은 태생적으로 2차원의 구조로 제한되며, 이는 VOI로의 더욱 복잡한 또는 불가능한 최종 액세스 중 어느 하나의 결과가 된다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 실시예는 3차원 구조의 내부 컴포넌트들로의 전기적인 액세스를 제공한다.

### 과제의 해결 수단

[0009] 샘플 내의 다중 평면들이 이미징 및/또는 프로빙용의 단일 시야 (perspective)로부터 노출된다. 예를 들면, 상기 샘플은 비-직교 각도로 밀링되어, 상이한 레이어들을 경사진 표면들로 노출시킨다. 상기 비-직교 밀링은 다중의, 평행한 도체 평면들의 가장자리들을 노출시켜, 위로부터 다중의 레벨들로의 액세스를 제공한다. 일단 노출되면, 예를 들면, 전압을 인가하거나 감지하기 위해서 전기 프로브 (electrical probe)로 접촉시키기 위해서 상기 평면들에 액세스할 수 있다. 접촉될 노출된 레이어의 레벨은, 예를 들면, 샘플 표면으로부터 상기 노출된 레이어들로 카운트 다운함으로써 확인될 수 있으며, 이는 비-직교 밀링이 모든 레이어들을 위로부터 볼 수 있도록 만들기 때문이다. 대안으로, 상기 샘플은 표면에 직교하는 방향으로 밀링될 수 있으며, 그리고 그 후 기울여지고 그리고/또는 회전되어 상기 디바이스의 다중의 레벨들로의 액세스를 제공한다. 상기 밀링은 바람직하게는 관심 영역으로부터 멀리에서 수행되어, 상기 영역으로의 손상을 최소화하면서 그 영역으로의 전기적인 액세스를 제공하도록 한다.

[0010] 프로빙 포인트들을 생성하거나 행동을 변경하기 위해서, 예를 들면, 패시베이팅 (passivating), 샘플의 일부 위에 절연체 증착 (deposition), 회로 절단, 그리고 도체 증착과 같은 회로 편집-유형 기술들을 이용하여 추가의

프로세싱이 상기 노출된 레이어들에 적용될 수 있다.

이와 같은 본 발명은 적어도 하나의 전도성 레이어를 통해 관심 영역으로 전기적인 액세스를 제공하기 위해 수평 방향으로 확장하는 다중의 전도성 레이어들을 가진 3차원 집적 회로 구조 내 상기 관심 영역을 분석하는 방법을 제공하며, 상기 방법은:

집속 이온 빔을 상기 3차원 집적 회로 구조로 향하게 하여, 상기 관심 영역으로부터 멀리에 있는 그리고 수평 방향으로 확장하는 복수의 노출된 전도성 레이어들을 포함하는 밀링된 표면을 산출하는 단계;

수평 방향으로 확장한 적어도 하나의 노출된 전도성 레이어의 상기 밀링된 표면 위로부터 접촉시키기 위해서 적어도 하나의 전기 프로브를 이동시키는 단계;

상기 적어도 하나의 전기 프로브에 전압을 인가하는 단계; 그리고

상기 관심 영역을 분석하기 위해서 상기 인가된 전압의 영향을 관찰하는 단계를 포함하며,

상기 복수의 노출된 전도성 레이어들 각각은 위에서부터 보이며, 그리고

집속 이온 빔을 상기 3차원 집적 회로 구조로 향하게 하는 상기 단계를 수행하는 것은:

집속 이온 빔을 상기 수평 방향에 비-법선 각도로 배치함; 및

집속 이온 빔을 상기 수평 방향에 법선 각도로 배치하여, 그 이후에 상기 3차원 집적 회로 구조가 기울어져서 상기 밀링된 표면에 대한 법선이 수직 성분을 가지도록 함,

종 하나를 포함한다.

집속 이온 빔을 상기 회로 구조로 향하게 하는 것은 상기 밀링된 표면을 산출하면서 상기 관심 영역을 그대로 두며 손상받지 않게 하면서 떠나기 위해 상기 집속 이온 빔의 방향을 정하는 것을 포함하는, 방법.

적어도 하나의 선택된 노출된 전도성 레이어의 상기 밀링된 표면 위로부터 접촉시키기 위해서 적어도 하나의 전기 프로브를 이동시키는 단계는,

적어도 하나의 선택된 노출된 전도성 레이어의 상기 밀링된 표면 위로 상기 프로브를 위치하게 하기 위해 상기 적어도 하나의 전기 프로브를 이동시키고 그리고 적어도 하나의 선택된 노출된 전도성 레이어의 상기 밀링된 표면에 접촉시키기 위해 수직 성분을 가지는 방향으로 상기 프로브를 이동시키는 것을 포함한다.

집속 이온 빔을 상기 수평 방향에 비-법선 각도로 향하게 하는 것은,

상기 집속 이온 빔을 상기 수평 방향으로의 법선으로부터 30도 내지 45도 사이의 각도로 향하게 하는 것을 포함한다.

상기 관심 영역을 분석하기 위해서 상기 인가된 전압의 영향을 관찰하는 단계는,

전압 대비 이미징 (voltage contrast imaging)을 사용하는데 있어서 상기 영향을 관찰하거나, 전기 신호를 감지하는 것을 통해 상기 영향을 관찰하거나, 또는 원자간력 현미경 (atomic force microscope) 프로브를 사용하는데 있어서 상기 영향을 관찰하는 것을 포함한다.

전기 신호를 감지하는 것은 전기 프로브 또는 프로브들을 이용하여 전압이나 전류를 감지하는 것을 포함한다.

상기 3차원 집적 회로 구조는 데이터 저장 회로를 포함한다.

상기 3차원 직접 회로 구조는,

로직 회로를 포함하며 또는

로직 회로 및 NAND, SRAM, DRAM 또는 메모리 셀 중 적어도 하나를 포함한다.

본 발명은 적어도 하나의 전도성 레이어를 통해 관심 영역으로 전기적인 액세스를 제공하기 위해 수평 방향으로 확장하는 전도성 레이어들을 가진 3차원 집적 회로 구조 내 상기 관심 영역을 분석하는 방법을 제공하며, 상기 방법은:

집속 이온 빔을 상기 회로 구조로 향하게 하여, 상기 관심 영역으로부터 멀리에 있는 표면으로서, 수평 방향으로 확장하는 복수의 노출된 전도성 레이어들을 포함하는 표면을 밀링하는 단계;

수평 방향으로 확장하는 노출된 전도성 레이어들 중 어느 것이 상기 밀링된 표면으로부터 멀리에 있는 상기 관심 영역으로의 전기적인 액세스를 제공하는가를 수직 위치에 의해 판별하는 단계;

상기 관심 영역으로의 전기적인 액세스를 제공하는 수평 방향으로 확장하는 상기 노출된 전도성 레이어들의 상기 밀링된 표면에 접촉시키기 위해 전기 프로브를 낚추는 단계;

상기 전기 프로브에 전압을 인가하는 단계; 그리고

상기 관심 영역을 분석하기 위해서 상기 인가된 전압의 영향을 관찰하는 단계를 포함하며,

상기 복수의 노출된 전도성 레이어들 각각은 위에서부터 보인다.

집속 이온 빔을 상기 회로 구조로 향하게 하여, 상기 관심 영역으로부터 멀리에 있는 표면으로서, 수평 방향으로 확장하는 복수의 노출된 전도성 레이어들을 포함하는 표면을 밀링하는 단계는,

상기 수평 방향에 법선인 각도로 상기 집속 이온 빔을 향하게 하는 것을 포함하며 그리고 공정 중 제품을 기울이는 것을 더 포함하여, 상기 밀링된 표면에 법선인 각도가 수직 성분을 가지도록 한다.

상기 공정 중 제품을 기울이는 것은 상기 공정 중 제품을 30도부터 45도 사이의 각도로 기울이는 것을 포함한다.

집속 이온 빔을 상기 회로 구조로 향하게 하여, 상기 관심 영역으로부터 멀리에 있는 표면으로서, 수평 방향으로 확장하는 복수의 노출된 전도성 레이어들을 포함하는 표면을 밀링하는 단계는,

상기 집속 이온 빔을 상기 수평 방향에 비-법선인 각도로 향하게 하는 것을 포함한다.

집속 이온 빔을 상기 수평 방향에 비-법선인 각도로 향하게 하는 것은 상기 집속 이온 빔을 상기 수평 방향에 30도부터 45도 사이의 각도로 향하게 하는 것을 포함한다.

상기 관심 영역을 분석하기 위해서 상기 인가된 전압의 영향을 관찰하는 단계는,

전압 대비 이미징을 사용하는데 있어서 상기 영향을 관찰하거나, 전기 신호를 감지하는 것을 통해 상기 영향을 관찰하거나, 또는 원자간력 현미경 프로브를 사용하는 것을 통해 상기 영향을 관찰하는 것을 포함한다.

전기 신호를 감지하는 것을 통해 상기 영향을 관찰할 때에, 상기 전기 신호를 감지하는 것은 전기 프로브 또는 프로브들을 이용하여 전압이나 전류를 감지하는 것을 포함한다.

본 발명은 수평 방향으로 확장하는 전도성 레이어들을 구비한 3차원 집적 회로 구조 내 관심 영역을 분석하는 시스템을 제공하며, 상기 시스템은:

집속 이온 빔을 제공하기 위한 이온 광학 컬럼 (column);

집속 전자 빔을 제공하기 위한 전자 광학 컬럼;

상기 구조로부터 방사된 2차 입자들을 탐지하기 위한 입자 탐지기;

상기 집적 회로 구조에 접촉하고 상기 관심 영역에 전기적인 접촉을 제공하기 위해서 3차원에서 움직일 수 있는 전기 프로브;

컴퓨터 메모리에 통신하는 제어기를 포함하며,

상기 컴퓨터 메모리는:

집속 이온 빔을 상기 회로 구조로 향하게 하여, 상기 관심 영역으로부터 멀리에 있는 표면으로서, 수평 방향으로 확장하는 복수의 노출된 전도성 레이어들을 포함하는 표면을 밀링하는 동작;

수평 방향으로 확장하는 노출된 전도성 레이어들 중 어느 것이 상기 밀링된 표면으로부터 멀리에 있는 상기 관심 영역으로의 전기적인 액세스를 제공하는가를 수직 위치에 의해 판별하는 동작;

상기 관심 영역으로의 전기적인 액세스를 제공하는 수평 방향으로 확장하는 상기 노출된 전도성 레이어들의 상기 밀링된 표면에 접촉시키기 위해 전기 프로브를 낚추는 동작;

상기 전기 프로브에 전압을 인가하는 동작; 그리고

상기 관심 영역을 분석하기 위해서 상기 인가된 전압의 영향을 관찰하는 동작을 포함하는 동작들을 위

한,

명령어들을 저장하며,

상기 복수의 노출된 전도성 레이어들 각각은 위에서부터 보인다.

집속 이온 범을 상기 회로 구조로 향하게 하기 위한 컴퓨터 명령어들은, 상기 집속 이온 범을 상기 수평 방향에 비-법선인 각도로 향하게 하기 위한 컴퓨터 명령어들을 포함한다.

집속 이온 범을 상기 회로 구조로 향하게 하기 위한 컴퓨터 명령어들은 집속 이온 범을 상기 수평 방향에 법선인 각도로 향하게 하기 위한 컴퓨터 명령어들, 그리고 상기 밀링된 표면에 법선인 각도가 수직 성분을 가지도록 하기 위해 공정 중 제품을 기울이는 동작을 더 포함하는 동작들을 위한 명령어들을 상기 컴퓨터 메모리가 저장하게 하는 컴퓨터 명령어들을 포함한다.

집속 이온 범을 상기 3차원 집적 회로 구조로 향하게 하는 것은,

다중 레벨들 상에서 트랜지스터들을 구비하며 그리고 상기 다중 레벨들 상의 상기 트랜지스터들에 접촉하는 수직 도체들의 어레이를 구비한 3차원 집적 회로로 집속 이온 범을 향하게 하는 것을 포함하며; 그리고

상기 관심 영역과 전기적 연결하는 상기 수직 도체들 중 하나 이상에 전압을 인가하는 것을 더 포함하며 또는 상기 인가된 전압의 영향을 관찰하는 것은 상기 수직 도체들 중 상기 하나 이상에서의 전압을 관찰하는 것을 포함한다.

집속 이온 범을 상기 3차원 집적 회로 구조로 향하게 하는 것은,

다중 레벨들 상에서 트랜지스터들을 구비하며 그리고 상기 다중 레벨들 상의 상기 트랜지스터들에 접촉하는 수직 도체들의 어레이를 구비한 3차원 집적 회로로 집속 이온 범을 향하게 하는 것을 포함하며; 그리고

상기 관심 영역과 전기적 연결하는 상기 수직 도체들 중 하나 이상에 전압을 인가하는 것을 더 포함하며 또는 상기 인가된 전압의 영향을 관찰하는 것은 상기 수직 도체들 중 상기 하나 이상에서의 전압을 관찰하는 것을 포함한다.

상기 시스템은, 수평 방향에서 확장하는 상이한 전도성 레이어들 내 수직으로 정렬된 요소들로 전기 접속하는 수직 도체에 접촉하기 위한 추가의 전기 프로브를 더 포함하며, 상기 수직 도체는 상기 관심 영역과 전기적으로 연결한다.

**[0011]** 전술한 것은 본 발명의 특징들 및 기술적인 이점들을 오히려 더 넓게 요약했으며, 이는 이어지는 본 발명의 상세한 설명이 더 잘 이해될 수 있도록 하기 위한 것이다. 본 발명의 추가적인 특징들 및 이점들은 아래에서 설명될 것이다. 개시된 개념 및 특정 실시예들은 본 발명의 동일한 목적들을 수행하기 위해 다른 구조들을 수정하거나 설계하기 위한 기초로서 쉽게 활용될 수 있을 것이라는 것이 본 발명이 속한 기술 분야에서의 통상의 지식을 가진 자들에 의해서 이해되어야 한다. 그런 등가의 구성들은 첨부된 청구항들에서 제시된 본 발명의 범위 및 사상으로부터 벗어나지 않는다는 것이 본 발명이 속한 기술 분야에서의 통상의 지식을 가진 자들에 의해서 또한 이해되어야 한다.

### 발명의 효과

**[0012]** 본 발명의 효과는 본 명세서의 해당되는 부분들에 개별적으로 명시되어 있다.

### 도면의 간단한 설명

**[0013]** 본 발명 그리고 본 발명의 이점에 대한 더욱 철저한 이해를 위해서, 동반하는 도면들과 함께 취해진 다음의 설명들을 이제 참조한다.

도 1은 수직 표면을 노출시키기 위해서 밀링된 트렌치를 내부에 구비한 3D 저장 디바이스를 보여준다.

도 2는 도 1의 3D 저장 디바이스를 위에서 밑으로 본 모습이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따라 밀링된 3D 저장 디바이스를 보여준다.

도 4는 도 3의 저장 디바이스를 보여주는 탑-다운 뷰이다.

도 5는 공정 중 제품 (work piece) 표면에 각도를 주어 밀링할 것을 필요로 하지 않는 매복된 도전성 레이어들

로의 액세스를 제공하는 기울어진 공정 중 제품의 일부를 보여준다.

도 6은 본 발명의 실시예의 단계들을 보여주는 흐름도이다.

도 7은 본 발명을 구현하기 위해서 사용될 수 있는 이중 빔 시스템을 개략적으로 보여준다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014]

2차원 프로세싱의 하나의 통상적인 분석에서, 관심 영역은 이온 빔 밀링에 의해서 노출되며 그리고 전기 프로브들이 관심 영역에 보통은 위로부터 접촉한다. 상기 관심 영역은 전압 대비 이미징을 위해 인가된 전압과 함께 전자 빔을 이용하여 위로부터 볼 수 있다. 이것은 2D 구조들에 대해서 잘 동작하지만, 많은 레이어들 상에 트랜지스터들이나 메모리 셀들을 구비한 더 새로운 구조들에 대해서는 그렇지 않으며, 위에서부터 상기 구조를 바라볼 때에 스택 내의 을바른 레이어에 액세스하는 것이 매우 어렵다. 본 발명의 몇몇 실시예들의 모습들에 따라서, 상기 샘플은 밀링되며 그리고/또는 기울어지며, 그래서 상기 샘플들 내 다중의 평면들이 이미징 또는 프로빙을 위해서 단일의 시야로부터 보통으로 위로부터 노출된다.

[0015]

또한, 대부분의 종래의 횡단면 (cross-sectional) 기술들은, 실패한 분석에서 특별하게 실패한 부분과 같은 상기 관심 영역을 통해서 수행된다. 새로운 3D 구조들의 증가된 복잡성으로 인해, 분석하는 동안에 관심 영역 주위의 구조들의 가능한 많은 부분을 손상되지 않은 채로 유지하는 것이 이익이다. 본 발명의 몇몇의 모습들에 따라서, 상기 밀링은 ROI로의 전기적인 연결들을 노출시키며, 그리고 그 ROI로의 전기적인 액세스를 제공하면서 그 ROI의 가능한 많은 부분이 손상되지 않도록 유지한다. 본원에서 사용되는 것처럼, ROI 또는 관심 영역의 용어는 관심 볼륨 또는 VOI를 언급하기 위해서도 또한 사용된다.

[0016]

오프-각도 (off-angle) 밀링, 바람직하게는 표면에 법선부터 약 30 내지 약 45 사이로의 밀링은 탑-다운 뷰에서 레이어들을 공간적으로 분리시켜서, 그 레이어들을 볼 수 있고 그리고 그 레이어들에 액세스할 수 있도록 한다. 직각으로부터의 편차가 더 클수록, 더 많은 표면이 상기 샘플 위로부터의 수직 뷰에 노출된다. 노출된 구역에 대한 법선은 수직 방향에서의 성분을 가지며, 그래서 상기 수평의 레이어가 위에서부터 관찰될 수 있도록 하며 그리고 전기 프로브에 의해서 위로부터 접촉될 수 있도록 한다. 기울어진 샘플은 동일한 효과를 제공할 수 있으며, 레이어들을 탑 다운 뷰로 보고 노출시키기 위해서 그 레이어들을 분리시킨다.

[0017]

공정 중 제품 표면에 직교하지 않는 방위로 밀링하거나 또는 수직 밀링 이후에 상기 구조를 기울어지게 하여, 사용자들은 광학 현미경이나 SEM을 이용하여 ROI로의 전기적인 어드레싱 연결들을 볼 수 있으며, 그러므로 ROI를 실제로 볼 수 없으면서도 상기 ROI로 전기적인 신호들을 제공할 수 있다. 태퍼 밀링 (tapered mill) 또는 기울어진 샘플은 각도를 이룬 측벽들 내 샘플들로의 액세스를 제공하여, 결합 또는 다른 ROI의 전기적인 국지화를 가능하게 한다. 각도를 이룬 측벽들로의 액세스는 관심 z-심도 (z-depth)로 상기 평면에 프로빙하는 것을 가능하게 하며, 그러면서도 수직 도체로의 액세스를 여전히 제공한다. 본 발명의 실시예들은 샘플의 탑-뷰 (top-view)로부터 X, Y 및 Z 국지화로의 액세스를 제공하며, 그리고 현재의 탑-다운 프로빙 기술들을 이용하여 VOI로의 전기 프로빙 액세스를 제공하는 것을 가능하게 한다.

[0018]

각도를 이룬 또는 수직의 밀링 이후에, 상기 샘플은 상기 샘플의 밀링된 표면 및 탑 표면 모두가 보이고 그리고 /또는 전기적으로 프로브될 수 있는 방위이다. 상기 보기 및 프로빙은, 예를 들면, 전압 대조 이미징 (voltage contrast imaging); 상이한 레이어들을 프로빙한다는 전기적 특성; 및 진단 장비, 원자간력 현미경 (atomic force microscope) 감지, 또는 포토닉 방사 (photonic emission) 관찰을 이용한 전기적인 응답 관찰;을 위해서 사용된다.

[0019]

도 1은 수직 횡단면을 노출시키기 위해서 밀링된 트렌치 (trench)를 내부에 구비한 저장 디바이스 (100)를 보여준다. 그런 디바이스들은 보통은 유리로 캡슐화된다 (도시되지 않음). 수직 도체들 (102)은 상이한 수평 레이어들 내 수직으로 정렬된 요소들로의 전기적인 연결들을 형성한다. 패턴 형성된 수평 도체들 (104)은 x-y 평면에서의 연결들을 형성한다. 라벨이 붙여진 3개의 도체들 (104) 각각은 동일한 Y-Z 평면 내 (즉, 동일한 x 좌표를 가진)에 있지만 상이한 Z-평면들 내의 회로 요소들에 접촉한다. 도 1은 밀링되어 표면 (106)을 노출한 섹션을 보여준다. 표면 (106)으로의 연결을 만들기 위해서 탑 다운보다는 측면으로부터 인입하는 접촉이 필요하다. 프로브를 보면서 조종하여 측면 액세스를 제공하는 것은 어려우며, 이는 노출된 수직 표면의 측면이 탑-다운 뷰로부터는 보이지 않으며 그리고 대부분의 프로브들은 도체에 위에서부터 접촉하도록 설계되지 않기 때문이다. 도 2는 3D 저장 디바이스의 탑-다운 뷰이다. X-Y 위치가 관찰될 수 있지만, 밀링된 표면 (106)의 탑-다운 뷰로부터는 어떤 Z 정보도 이용가능하지 않다는 것에 유의한다. 그런 경우에, 탑 레이어 내에 또는 상기 디바이스 스택

내에 더 낮은 곳 어딘가에 결함이 있는가를 확인하는 신뢰할 수 있는 방법은 존재하지 않는다.

[0020] 도 3은 기울어진 측면들 (302 및 304)를 생성하는 본 발명의 실시예에 따라 각도를 이루는 밀 (mill)들을 구비하여, 도 1의 수직 표면 (106)보다 아주 더 쉬운 전기 접촉을 가능하게 하는 저장 디바이스 (300)를 보여준다. 도 4는 상기 디바이스의 각도를 이룬 밀링된 표면들 (302 및 304)을 보여주는 탑-다운 뷰이다. 접촉 포인트들의 X-Y 위치들은 판별하기 쉬우며, 이는 상기 접촉 포인트들의 Z 위치들이 스택 내에 있기 때문이다. 상이한 Z 위치들에서 다양한 레이어들을 경사진 표면들 내에서의 관찰을 위해서 이용 가능하게 만들어서, 관심 대상인 정확한 Z 레이어에 대응하는 도체 평면이 확인되며 그리고 접촉되어, VOI에 전기적인 접촉을 제공할 수 있다. 도 4는 관심 영역과 전기적으로 접촉하는 내부 도체들의 노출된 가장자리에 접촉하는 전기 프로브들 (402A 및 402B)을 보여준다. 참조번호 402C의 프로브는 관심 영역과 전기적으로 접촉하는 수직 도체 (102)에 접촉한다. 상기 프로브들은 수동 제어 하에 또는 자동화된 제어기의 제어 하에 원하는 위치로 수평으로 이동하며, 그리고 그 후 원하는 위치에서 상기 선택된 전도성 레이어에 접촉하기 위해서 낮추어져서, 또한 수동으로 또는 제어기의 제어 하 중 어느 하나에 의해, Z-방향에서 이동할 수 있다. 전기적인 신호들이 하나 또는 그 이상의 프로브들에 인가될 수 있으며, 그러면서, 예를 들면, 다른 전기적인 신호들이 하나 또는 그 이상의 프로브들에 대해서 감지되며 또는 전압 대조 이미지가 관찰된다. 상기의 전기 프로브들은 위에서부터 낮추어져서 상기 노출된 도체 위로 접촉되며, 그때에 상기 프로세스는 위에서부터 관찰된다.

[0021] 상기 각도를 이루는 밀들은, 컴포넌트 그 자체가 노출되지 않는다고 하더라도 특별한 전기적 컴포넌트가 주소 지정되는 것을 가능하게 하는 접촉들을 노출시킨다. 그래서, 상기 컴포넌트 그리고 이웃하는 컴포넌트들은 손상되지 않은 상태가 유지될 수 있다. 몇몇의 실시예들에서, 각 전기적인 구조는, 예를 들면, 3D NAND 또는 DRAM 내 단일 비트를 나타낸다. 그 비트는 대응하는 레벨을 위한 노출된 X 및 Y 연결들 그리고 대응하는 Z 연결을 이용하여 주소 지정될 수 있다. 임의 레벨의 Z에 대한 X 및 Y 도체들은, 상기 각도를 이루는 밀링 또는 보통의 각도 밀링 이후의 기울어짐에 대해서 상기 도체들이 노출될 때에, 위로부터 쉽게 관찰될 수 있다. 상기 노출된 도체들은 관심 대상인 구조에 인접할 필요는 없다. 사용자는 레이어들을 카운트 다운함으로써 상기 x 및 y 커넥터들이 어느 Z 레벨에 있는가를 판별하기 위해서 상기 각도를 이루는 밀 내 스텝들의 개수를 알 수 있다.

[0022] 각도를 이루는 밀링 또는 기울어지게 하는 것은 상기 연결을 노출시켜서, 그것이 측면으로부터가 아니라 위에서부터 접촉될 수 있도록 한다. 밀링은, 예를 들면, 미국 특허 출원 번호 13/921,466에서 설명된 것과 같은 에치-강화 글래스 (etch-enhancing glass)를 수반하거나 또는 수반하지 않고 이온빔을 이용하여 수행될 수 있다.

[0023] 도 5는 3D 구조의 일부를 보여주며, 이는 벽들 (302 및 304)의 단면에 가까운 도 3의 볼륨과 유사하다. 그러나 도 5에서 밀링된 벽 (502 및 504)은 수직이다. 공정 중 제품 (work piece)은 그러면 기울어지며, 그래서 각 밀링된 표면들 (502 및 504) 각각의 법선 (normal)이 수직 방향에서의 성분을 가지도록 한다. 즉, 상기 밀링된 표면들 (502 및 504)은 위에서부터 보이며 그래서 상기 전기 프로브들 (402A, 402B 및 402C)은 수평 평면에서 개별적으로 이동되어 선택된 도체들 위에 위치할 수 있으며 그 후에 위로부터 낮추어져서 적절한 레이어에 접촉하여 관심 영역에 전기적인 접촉을 제공할 수 있다. 다중레이어 디바이스 (504)는 약 30도부터 약 45도 사이에서 기울어지는 것이 바람직하다.

[0024] 도 6은 본 발명의 바람직한 실시예의 단계들을 보여주는 흐름도이다. 단계 602에서, 관심 영역이 확인된다. 예를 들면, 상기 ROI는 불완전하게 동작하는 것으로 발견된 디바이스의 요소에 대응할 수 있다. 상기 ROI의 위치는 로직 요소를 전기적인 컴포넌트로 매핑하고 그리고 상기 디바이스 상의 물리적인 위치로 매핑하는 컴퓨터-보조-설계로부터 결정된다. 단계 604에서, 상기 디바이스는 밀링되며, 바람직하게는 약 30도 내지 약 45도 사이의 각도로 밀링되어, 관심 영역 가까이에 있는 도체들을 노출시킨다. 단계 606에서, 프로브 접점의 바람직한 위치가 판별된다. 예를 들면, 전도성 레이어가 상기 관심 영역과 접촉하는 것이 어느 도체 위인가를 판별하기 위해서 칩의 레이아웃이 체크된다. 확인된 전도성 레이어는 상기 칩의 탑으로부터 적절한 레벨까지 카운트 다운함으로써 확인 가능하며, 이는 상기 각도를 이룬 밀이 다중의 레벨들의 시야를 제공하기 때문이다. 단계 608에서, 전기 프로브들이 X-Y 방향에서 이동되어 단계 606에서 판별된 것처럼 적절하게 상기 프로브들의 위치를 정하도록 하며, 그리고 단계 610에서, 상기 프로브들은 Z 방향으로 낮추어져서 상기 관심 영역에서 또는 가까이에서 전기 도체들에 접촉한다. 상기 프로브 움직임은 단순한 직사각형 X-Y-Z 움직임이 아닐 수 있으며, 상기 프로브는 상기 전기 도체에 접촉하기 위해서 공간을 통해서 그리고 아래 방향으로 움직일 것이라는 것이 이해된다. 본원에서 사용되는 것처럼, X-Y 방향이나 Z 방향에서 움직이는 것이 상기 언급된 평면들이나 방향에서의 개별적인 움직임을 필요로 하지 않지만, 동일한 결과를 달성하는 상이한 방향들에서의 동시의 움직임들 및 회전들을 포함한다. 단계 612에서, 하나 또는 둘 이상의 프로브들을 통해서 상기 샘플에 전압이나 전류가 인가된다. 단계 614에서, 인가된 전압이나 전류의 영향이 관찰된다. 그 영향을 관찰하는 것은, 예를 들면, 하나 또는 그 이상의 프

로브들로부터의 전압들이나 전류들 감지, 전압 대조 이미징을 이용한 관심 영역 관찰, 마이크로-라만 (micro-Raman) 분석, 또는 다른 이미징이나 분석 기술을 포함할 수 있다.

[0025] 예를 들면, 프로빙 포인트들을 생성하거나 행동을 변경하기 위해서, 예를 들면, 패시베이팅 (passivating), 상기 샘플의 일부 위에 절연체 증착, 회로 절단, 그리고 도체 증착과 같은 회로 편집-유형 기술들을 이용하여 추가의 프로세싱이 상기 노출된 레이어들에 적용될 수 있다. 회로 편집-유형 기술들은 잘 알려진 것이다. 예를 들면, 도체는 범-축소 증착 (deposition)에 의해서 증착되어, 둘 또는 그 이상의 노출된 레이어들에 접촉한다. 상기 증착된 도체로부터의, 상기 접적 회로의 전기적으로 노출된 다른 레이어들로의 도체 증착 이전의 범-축소 증착에 의해서 절연체가 증착될 수 있다. 노출된 도체들은 이온 범을 이용하여 또한 잘라져서, 전기적인 접촉을 맺 수 있다.

[0026] 도 7은 본 발명을 실행하기에 적합한 전형적인 이중 범 시스템 (710)을 보여주며, 이 시스템은 수직으로 설치된 SEM 컬럼 및 수직으로부터 대략 52도의 각도로 설치된 FIB 컬럼을 구비한다. 적절한 이중 범 시스템들이, 예를 들면, 본 발명의 양수인인 FEI Company, Hillsboro, Oregon 으로부터 상업적으로 입수 가능하다. 적합한 하드웨어의 예가 아래에서 제시되지만, 본 발명은 어떤 특정 유형의 하드웨어에서 구현되는 것으로 제한되지 않는다.

[0027] 주사 전자 현미경 (741)이 파워 서플라이 및 제어 유닛 (745)과 함께 이중 범 시스템 (710)에게 제공된다. 캐소드 (752) 및 아노드 (754) 사이에 전압을 인가하여 캐소드 (752)로부터 전자 범 (743)이 방사된다. 전자 범 (743)은 집광 렌즈 (756) 및 대물 렌즈 (758)에 의해서 정밀한 스폿으로 집속된다 (focused). 전자 범 (743)은 편향 코일 (760)에 의해서 표본 상에서 2차원적으로 스캔된다. 집광 렌즈 (756), 대물 렌즈 (758), 그리고 편향 코일 (760)의 동작은 파워 서플라이 및 제어 유닛 (745)에 의해서 제어된다.

[0028] 전자 범 (743)은 기판 (722) 상으로 집속될 수 있으며, 상기 기판은 하단 챔버 (726) 내 이동 가능한 스테이지 (725) 상에 위치한다. 상기 전자 범 내의 전자들이 상기 기판 (722)을 타격할 때에, 2차 전자들이 방사된다. 이 2차 전자들은 아래에서 설명되는 것과 같은 2차 전자 탐지기 (740)에 의해서 탐지된다.

[0029] 이중 범 시스템 (710)은 집속 이온 범 (focused ion beam (FIB)) 시스템 (711)을 또한 포함하며, 이 FIB 시스템은 진공 챔버를 포함하며, 이 진공 챔버는 상단 부분 (712)을 구비하며, 이 상단 부분 내에 이온 소스 (714) 및 포커싱 컬럼 (716)이 위치하며, 상기 포커싱 컬럼 (716)은 추출기 전극들 및 정전형 광학 시스템을 포함한다. 포커싱 컬럼 (716)의 축은 상기 전자 컬럼의 축으로부터 52도 기울어져 있다. 상기 상단 부분 (712)은 이온 소스 (714), 추출 전극 (715), 포커싱 요소 (717), 편향 요소들 (720), 그리고 집속 이온 범 (718)을 포함한다. 이온 범 (718)은 이온 소스 (714)로부터 포커싱 컬럼 (716)을 통해서 그리고 정전형 편향기 (720)를 사이로 기판 (722)을 향하며, 이 기판은, 예를 들면, 하단 챔버 (726) 내 이동가능 스테이지 (725) 상에 위치한 반도체 디바이스를 포함한다.

[0030] 참조번호 725의 스테이지는 수평 평면 (X 및 Y 축)에서 그리고 수직으로 (Z 축) 이동할 수 있는 것이 바람직하다. 또한 스테이지 (725)는 약 60도 기울어질 수 있고 그리고 Z 축 주위로 회전할 수 있다. 기판 (722)을 X-Y 스테이지 (725) 상으로 넣기 위해서 그리고 내부 가스 공급 저장기가 사용된다면 그 가스 공급 저장기에 대한 서비스를 위해서 문 (761)이 열린다. 그 문은, 상기 시스템이 진공 상태라면 그 문이 열릴 수 없도록 하기 위해서 서로 맞물린다.

[0031] 상단 부 (712)를 진공으로 하기 위해서 이온 펌프 (도시되지 않음)가 채택된다. 상기 챔버 (726)는 진공 제어기 (732)의 제어 하에 터보분자 및 기계적인 펌핑 시스템 (730)을 이용하여 진공이 된다. 진공 시스템은 챔버 (726) 내에 약  $1 \times 10^{-7}$  Torr 및  $5 \times 10^{-4}$  Torr 사이의 진공을 제공한다. 에치-보조 (etch-assisting) 가스, 에치-지연 (etch-retarding) 가스, 또는 증착 전구 가스 (deposition precursor gas)가 사용된다면, 챔버 배경 압력은, 보통은 약  $1 \times 10^{-5}$  Torr 로 올라갈 수 있다.

[0032] 고 전압 파워 서플라이는 이온 범 (718)에 전력을 공급하고 초점을 맞추기 위해서 이온 범 포커싱 컬럼 포커싱 (716) 내의 전극들에게 적절한 가속 전압을 제공한다. 이온 범이 기판 (722)을 타격할 때에, 재질이 샘플로부터 튀겨지며, 즉, 물리적으로 배출된다. 대안으로, 이온 범 (718)은 재질을 증착시키기 위해서 전구 가스를 분해시킨다.

[0033] 고 전압 파워 서플라이 (734)는 대략 1 keV 내지 60 keV 이온 범 (718)을 형성하고 그리고 그 이온 범을 샘플로 향하도록 하기 위해서 액체 금속 이온 소스 (714)에 그리고 이온 범 포커싱 컬럼 (716) 내 적절한 전극들에 연결된다. 편향 제어기 및 증폭기 (736)는 패턴 생성기 (738)에 의해서 제공된 미리 정해진 패턴에 따라서 동작하

며, 편향 플레이트들 (720)에 연결되며, 그럼으로써 이온 빔 (718)이 수동으로 또는 자동으로 제어되어 기관 (722)의 상단 표면 상 대응 패턴을 추적하도록 한다. 몇몇의 시스템들에서, 상기 편향 플레이트들은 최종 렌즈 이전에 위치하며, 이것은 본 발명이 속한 기술 분야에서는 잘 알려진 것이다. 이온 빔 포커싱 컬럼 (716) 내의 빔 블랭킹 (beam blanking) 전극들 (도시되지 않음)은 블랭킹 제어기 (도시되지 않음)가 상기 블랭킹 전극에 블랭킹 전압을 인가할 때에 이온 빔 (718)으로 하여금 기관 (722) 대신에 블랭킹 기관 (도시되지 않음) 상에 충돌하도록 한다.

[0034] 상기 액체 금속 이온 소스 (714)는 갈륨의 금속 이온 빔을 제공하는 것이 보통이다. 보통은 상기 소스는 강화된 에치, 재질 증착, 이온 밀링에 의해 상기 기관 (722) 수정하기 위해, 또는 상기 기관 (722)을 이미징하기 위한 목적으로, 기관 (722)에서 10분의 1 마이크로 이하의 폭을 가진 빔으로 집속될 수 있다. 플라즈마 이온 소스와 같은 다른 이온 소스들이 또한 사용될 수 있다.

[0035] 프로브 어셈블리는 프로브 모션 메커니즘 (780) 및 프로브 팁들 (781)을 포함한다. 프로브 팁들은 원하는 위치로 개별적으로 이동될 수 있으며 그리고 기관 (722)에 접촉하기 위해서 낮추어질 수 있다. 세 개의 프로브 팁들이 도시되지만, 프로브 팁들의 개수는 바뀔 수 있다. 임의 개수의 프로브들을 제어하기 위해서 다중의 프로브 모션 메커니즘이 사용될 수 있다 이 프로브 팁들은 정밀한 위치에서 상기 기관 (722)에 전압이나 전류를 인가할 수 있으며 그리고/또는 전압 또는 전류를 감지할 수 있다. 몇몇의 실시예들에서, 상기 프로브들은 공정 중 제품 (work piece) 주위의 링 상에 설치된다.

[0036] 2차 이온 또는 전자 방사를 탐지하기 위해서 사용되는 Everhart-Thornley 탐지기 또는 다중-채널 플레이트와 같은 하전 입자 탐지기 (740)는, 비디오 모니터 (744)로 구동 신호들을 공급하고 제어기 (719)로부터 편향 신호들을 수신하는 비디오 회로 (742)에 연결된다. 하단 챔버 (726) 내의 하전 입자 탐지기 (740)의 위치는 상이한 실시예들에서 달라질 수 있다. 예를 들면, 하전 입자 탐지기 (740)는 이온 빔과 동축일 수 있으며 그리고 이온 빔이 지나갈 수 있도록 하는 홀을 포함할 수 있다. 다른 실시예들에서, 2차 입자들은 최종 렌즈를 통해서 수집될 수 있으며 그 후 수집을 위해서 축에서 벗어날 수 있다.

[0037] 광학 현미경 (751)은 샘플 (722) 및 프로브 (781) 관찰을 가능하게 한다. 예를 들면, 본원의 출원인에게 양수된 Rasmussen의 미국 특허 번호 6,373,070 "Method apparatus for a coaxial optical microscope with focused ion beam"에서 설명된 것과 같이, 상기 광학 현미경은 하전 입자 빔들 중 하나와 동축 (co-axial)일 수 있다.

[0038] 가스 전달 시스템 (746)은 가스 상태의 증기를 도입하여 기관 (722)으로 향하게 하기 위해서 하단 챔버 (726)로 확장한다. 본 발명의 양수인에게 양수된 Casella 등의 미국 특허 번호 5,851,413 "Gas Delivery Systems for Particle Beam Processing"은 적합한 가수 전달 시스템 (746)을 기술한다. 다른 가스 전달 시스템은 본 발명의 양수인에게 또한 양수된 Rasmussen의 미국 특허 번호 5,435,850 "Gas Injection System"에서 기술된다. 예를 들면, 금속 유기 화합물은 빔 충돌 포인트 상에 전달되어 이온 빔 또는 전자 빔의 충돌 상에 금속을 증착시킨다. 텅스텐을 증착시키기 위해서 백금이나 텅스텐 헥사카르보닐 (tungsten hexacarbonyl)을 증착시키기 위한  $(\text{CH}_3)_3\text{Pt}(\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3)$ 와 같은 전구 (precursor) 가스는 전달되어 상기 전자 빔에 의해서 분해되어서, 단계 108에서 보호 레이어를 제공한다.

[0039] 시스템 제어기 (719)는 이중 빔 시스템 (710)의 다양한 부분들의 동작을 제어한다. 시스템 제어기 (719)를 통해서, 사용자는 이온 빔 (718)이나 전자 빔 (743)으로 하여금, 통상적인 사용자 인터페이스 (도시되지 않음)로 입력된 명령들을 통해서 원하는 방식으로 스캔되도록 할 수 있다. 대안으로, 시스템 제어기 (719)는 프로그램된 명령어들에 따라서 이중 빔 시스템 (710)을 제어할 수 있다. 바람직한 제어기는 도 6의 단계들을 자동적으로 수행하기 위한 명령어들을 저장하는 메모리와 통신하거나 또는 그 메모리를 포함한다. 시스템 제어기 (719)는 프로브 모션 어셈블리 (780)를 제어하기 위해서 사용될 수 있다. 몇몇의 실시예들에서, 이중 빔 시스템 (710)은 관심 영역들을 자동적으로 확인하기 위해서 Cognex Corporation, Natick, Massachusetts로부터 상업적으로 입수 가능한 소프트웨어와 같은 이미지 인식 소프트웨어를 통합하며, 그리고 그 후 상기 시스템은 본 발명에 따른 이미징을 위해 수동으로 또는 자동적으로 획단면들을 노출시킬 수 있다. 예를 들면, 상기 시스템은 다중의 디바이스들을 포함하는 반도체 웨이퍼들 상에 유사한 특징 (feature)들을 자동적으로 위치시킬 수 있을 것이며, 그리고 상이한 (또는 동일한) 디바이스들 상에 관심 특징들의 이미지들을 노출시키고 형성할 수 있을 것이다.

[0040] 본 발명은 넓은 적용성을 가지며 그리고 위에서의 예들에서 설명되고 도시된 것처럼 많은 이점들을 제공할 수 있다. 상기 실시예들은 특정 응용에 따라 크게 변할 것이며, 그리고 모든 실시예가 모든 이점들을 제공하지는 않을 것이며 그리고 본 발명에 의해서 달성될 수 있는 모든 목적들을 충족시키지는 않을 것이다. 본 발명을 수행하기에 적합한 입자 빔 시스템들은, 예를 들면, 본 발명의 양수인인 FEI Company로부터 상업적으로 입수 가능

하다.

[0041] 여기에서의 설명들은 웨이퍼 또는 다른 공정 중 제품에 상대적으로 수평 및 수직이라는 용어들을 사용한다. "수평"은 공정 중 제품 표면에 그리고 그 공정 중 제품 상에 증착된 전도성 평면들에 평행하다는 것을 의미하기 위해서 사용되며, 그리고 "수직"은 상기 공정 중 제품에 직교하는 것을 의미하기 위해서 사용되는 것이 일반적이라는 것이 이해될 것이다.

[0042] 본 발명은 넓은 적용성을 가지며 그리고 위에서의 예들에서 설명되고 도시된 것처럼 많은 이점들을 제공할 수 있다. 상기 실시예들은 특정 응용에 따라 크게 변할 것이며, 그리고 모든 실시예가 모든 이점을 제공하지는 않을 것이며 그리고 본 발명에 의해서 달성될 수 있는 모든 목적들을 충족시키지는 않을 것이다. 본 발명을 수행하기에 적합한 입자 빔 시스템들은, 예를 들면, 본 발명의 양수인인 FEI Company로부터 상업적으로 입수 가능하다.

[0043] 본 명세서는 방법 그리고 그 방법의 동작들을 수행하는 장치 둘 모두를 개시한다. 그런 장치는 요구되는 목적들을 위해서 특별하게 구축될 수 있을 것이며, 또는 범용 목적의 컴퓨터 또는 컴퓨터 내에 저장된 컴퓨터 프로그램에 의해서 선택적으로 활성화되거나 재구성된 다른 디바이스를 포함할 수 있을 것이다. 다양한 범용의 하전 입자 빔 시스템들은 여기에서의 교시들에 따른 프로그램들과 함께 사용될 수 있다. 대안으로, 요구되는 방법 단계들을 수행하기 위한 더욱 특화된 장치를 구축하는 것이 적절할 수 있을 것이다.

[0044] 추가로, 여기에서 설명된 방법의 개별 단계들이 컴퓨터 코드에 의해서 실행될 수 있을 것이라는 것이 본 발명이 속한 기술 분야에서의 통상의 지식을 가진 자에게는 자명할 것이라는 점에서 본 명세서는 컴퓨터 프로그램을 또한 함축적으로 개시한다. 상기 컴퓨터 프로그램은 어떤 특별한 프로그래밍 언어 그리고 그 프로그래밍 언어의 구현으로 제한되려는 의도된 것이 아니다. 다양한 프로그래밍 언어들 및 그 언어들의 코딩은 여기에 포함된 개시의 교시들을 구현하기 위해서 사용될 수 있을 것이라는 것이 인정될 것이다. 더욱이, 상기 컴퓨터 프로그램은 어떤 특별한 제어 흐름으로 제한되려고 의도된 것이 아니다. 많은 다른 변형의 컴퓨터 프로그램들이 존재하며, 그 프로그램들은 본 발명의 사상이나 범위로부터 벗어나지 않으면서도 상이한 제어 흐름들을 이용할 수 있다.

[0045] 그런 컴퓨터 프로그램은 임의의 컴퓨터 관독가능 매체 상에 저장될 수 있다. 그 컴퓨터 관독가능 매체는 자기 또는 광학 디스크, 메모리 칩, 또는 범용 컴퓨터와 인터페이스하기 위해 적합한 다른 저장 디바이스들을 포함할 수 있다. 상기 컴퓨터 관독가능 매체는 인터넷 시스템에서 예시된 것과 같은 하드-와이어 (hard-wired) 매체, 또는 GSM 모바일 전화 시스템에서 예시된 것과 같은 무선 매체를 또한 포함할 수 있다. 상기 컴퓨터 프로그램은 하전 입자 빔을 위한 그런 제어기나 범용 컴퓨터 상에 유효하게 로드되어 실행될 때에 상기 바람직한 방법의 단계들을 구현하는 장치로 귀결된다.

[0046] 본 발명은 하드웨어 모듈들로서 또한 구현될 수 있을 것이다. 더욱 상세하게는, 하드웨어적인 의미에서, 모듈은 다른 컴포넌트들이나 모듈들과 함께 사용하기 위해서 설계된 기능적인 하드웨어 유닛이다. 예를 들면, 모듈은 별개의 전자 컴포넌트들을 이용하여 구현될 수 있으며, 또는 그것은 ASIC (Application Specific Integrated Circuit)과 같은 전체 전자 회로의 일부를 형성할 수 있다. 많은 다른 가능성들이 존재한다. 본 발명이 속한 기술 분야에서의 통상의 지식을 가진 자들은 상기 시스템이 하드웨어 모듈과 소프트웨어 모듈의 조합으로 또한 구현될 수 있다는 것을 인정할 것이다.

[0047] 비록 이전의 설명 중의 많은 것이 반도체 웨이퍼들에 관한 것이지만, 본 발명은 어떤 적합한 기판이나 표면에도 적용될 수 있다. 또한, "자동적인". "자동화된"의 용어들이나 유사한 용어들이 여기에서 사용될 때마다, 그런 용어들은 그 자동적인 또는 자동화된 프로세스나 단계의 수동의 개시를 포함하는 것으로 이해될 것이다. 다음의 설명에서 그리고 청구항에서, "구비한다" 그리고 "포함한다"의 용어들은 개방된 방식으로 사용되며, 그래서 "포함하지만, 그것들로 제한되는 것은 아니다"라는 것을 의미하는 것으로 해석되어야만 한다.

[0048] 어떤 용어가 본원에서 특별하게 정의되지 않는 한, 그 용어 사용의 의도는 그 용어의 꾸밈없는 그리고 보통의 의미를 제시하기 위해 그 용어가 주어졌다는 것이다. 동반하는 도면들은 본 발명을 이해하는데 있어 도움을 주도록 의도된 것이며, 그리고, 다르게 지시되지 않는다면, 크기에 맞춰서 그려진 것이 아니다.

[0049] "집적 회로"의 용어는 전자 컴포넌트들의 세트 그리고 마이크로칩의 표면 상에 패턴 형성된 상기 전자 컴포넌트들의 상호접속들 (집합적으로, 내부적인 전기 회로 요소들)을 언급하는 것이다. "반도체 칩"의 용어는 집적 회로 (IC)를 일반적으로 언급하는 것이며, 이 IC는 반도체 웨이퍼에 통합될 수 있으며, 웨이퍼로부터 분리될 수 있으며, 또는 회로 보드 상에서의 사용을 위해서 패키징될 수 있다. "FIB" 또는 "집속 이온 빔 (focused ion beam)"의 용어는 여기에서는 어떤 시준된 (collimated) 이온 빔을 언급하는 것이며, 이는 이온 흡탁에 의해서

집속된 빔 그리고 모습이 정해진 이온 빔들을 포함한다.

[0050] 상기의 실시예는 3D NAND 유형 구조들을 기술하지만, 본 발명은 그런 구조들로 제한되지 않으며 그리고, 예를 들면, DRAM들을 위해, 그리고 트렌치들이나 다른 구조들 및 원형의 홀들이라는 특징을 위해 유용하다.

[0051] 어떤 용어가 본원에서 특별하게 정의되지 않는 한은, 그 용어 사용의 의도는 그 용어의 꾸밈없는 그리고 보통의 의미를 제시하기 위해 그 용어가 주어졌다는 것이다. 동반하는 도면들은 본 발명을 이해하는데 있어 도움을 주도록 의도된 것이며, 그리고, 다르게 지시되지 않는다면, 크기에 맞춰서 그려진 것이 아니다.

[0052] 본 발명의 몇몇의 실시예들은 전도성 재질들의 다중 레이어들을 가진 3차원 집적 회로 구조 내 관심 영역을 분석하는 방법을 제공하며, 이 방법은, 집속 이온 빔을 전도성 재질의 상기 레이어들에 비-법선 각도로 상기 3차원 집적 회로 구조로 향하게 하여, 다중의 수평 전도성 레이어들을 노출시키는 단계; 노출된 수평 도체 중 어느 것이 관심 컴포넌트의 수직 위치에 대응하는가를 판별하는 단계; 상기 노출된 수평 도체에 위로부터 접촉시키기 위해서 하나 이상의 전기 프로브들을 이동시키는 단계; 상기 전기 프로브에 전압을 인가하는 단계; 및 상기 관심 영역을 분석하기 위해서 상기 인가된 전압의 영향을 관찰하는 단계를 포함한다.

[0053] 몇몇의 실시예들에서, 집속 이온 빔을 상기 3차원 집적 회로 구조로 향하게 하는 것은 상기 관심 영역으로의 전기적인 액세스를 제공하기 위해서 다중의 수평 전도성 레이어들을 노출시키면서 상기 관심 영역을 그대로 두고 떠나기 위해서 상기 집속 이온 빔의 방향을 정하는 것을 포함한다.

[0054] 몇몇의 실시예들에서, 상기 노출된 도체에 접촉시키기 위해서 하나 이상의 전기 프로브들을 이동시키는 단계는, 상기 노출된 수평 도체 위에 상기 프로브가 위치하도록 하나 이상의 상기 전기 프로브들을 이동시키고 그리고 상기 노출된 수평 도체에 접촉시키기 위해서 수직 성분을 가지는 방향으로 상기 프로브를 이동시키는 것을 포함한다.

[0055] 몇몇의 실시예들에서, 상기 3차원 구조는 데이터 저장 회로를 포함한다.

[0056] 몇몇의 실시예들에서, 상기 3차원 구조는 로직 회로 및/또는 NAND, SRAM, DRAM, 또는 메모리 셀을 포함한다.

[0057] 몇몇의 실시예들은 3차원 집적 회로 구조 내 관심 영역을 분석하는 방법을 제공하며, 이 방법은, 집속 이온 빔을 상기 3차원 집적 회로 구조로 향하게 하여, 표면을 밀링해서 다중의 수평 전도성 레이어들을 노출시키는 단계; 노출된 수평 전도성 레이어 중 어느 것이 관심 영역의 수직 위치에 대응하는가를 판별하는 단계; 판별된 수평 전도성 레이어 내에 있으며 그리고 관심 영역에 대응하는 도체에 접촉하기 위해서 전기 프로브를 낚추는 단계; 상기 전기 프로브에 전압을 인가하는 단계; 및 상기 관심 영역을 분석하기 위해서 상기 인가된 전압의 영향을 관찰하는 단계를 포함한다.

[0058] 몇몇의 실시예들에서, 집속 이온 빔을 상기 3차원 집적 회로 구조로 향하게 하여, 표면을 밀링해서 다중의 수평 전도성 레이어들을 노출시키는 단계는, 집속 이온 빔을 공정 중 제품 (work piece) 표면에 수직으로 향하게 하는 것을 포함하며 그리고 상기 공정 중 제품을 기울여서, 상기 밀링된 표면에 대한 법선이 수직 성분을 가지고도록 하는 것을 더 포함한다.

[0059] 몇몇의 실시예들에서, 상기 공정 중 제품을 기울이는 것은 상기 공정 중 제품을 약 30도부터 약 45도 사이의 각도로 기울이는 것을 포함한다.

[0060] 몇몇의 실시예들에서, 집속 이온 빔을 상기 3차원 집적 회로 구조로 향하게 하여 표면을 밀링해서 다중의 수평 전도성 레이어들을 노출시키는 단계는, 집속 이온 빔을 상기 수평의 전도성 레이어들에 비-법선인 각도로 향하게 하는 것을 포함한다.

[0061] 몇몇의 실시예들에서, 집속 이온 빔을 상기 수평의 전도성 레이어들에 비-법선인 각도로 향하게 하는 것은 집속 이온 빔을 상기 수평의 전도성 레이어들에게 약 30도부터 약 45도 사이의 각도로 향하게 하는 것을 포함한다.

[0062] 몇몇의 실시예들에서, 상기 관심 영역을 분석하기 위해서 상기 인가된 전압의 영향을 관찰하는 단계는 전압 대비 이미징을 사용하고, 전기 신호를 감지하고, 또는 원자간력 현미경 프로브를 사용하는 것을 포함한다.

[0063] 몇몇의 실시예들에서, 전기 신호를 감지하는 것은 전기 프로브 또는 프로브들을 이용하여 전압이나 전류를 감지하는 것을 포함한다.

[0064] 몇몇의 실시예들은 3차원 집적 회로 구조 내 관심 영역을 분석하는 시스템을 제공하며, 이 시스템은: 이온들의 집속된 빔을 제공하기 위한 이온 광학 컬럼 (column); 전자들의 집속된 빔을 제공하기 위한 전자 광학 컬럼; 샘

플로부터 방사된 2차 입자들을 탐지하기 위한 입자 탐지기; 상기 접촉하고 상기 관심 영역에 전기적인 접촉을 제공하기 위해서 3차원에서 움직일 수 있는 전기 프로브; 컴퓨터 메모리에 통신하는 제어기를 포함하며, 상기 컴퓨터 메모리는: 접속 이온 빔을 상기 3차원 접촉 회로 구조로 향하게 하여, 표면을 밀링해서 다중의 수평 전도성 레이어들을 노출시키며; 노출된 수평 전도성 레이어 중 어느 것이 관심 영역의 수직 위치에 대응하는가를 판별하고; 판별된 수평 전도성 레이어 내에 있으며 그리고 관심 영역에 대응하는 도체에 접촉하기 위해서 전기 프로브를 낮추고; 상기 전기 프로브에 전압을 인가하고; 그리고 상기 관심 영역을 분석하기 위해서 상기 인가된 전압의 영향을 관찰하기 위한, 명령어들을 저장한다.

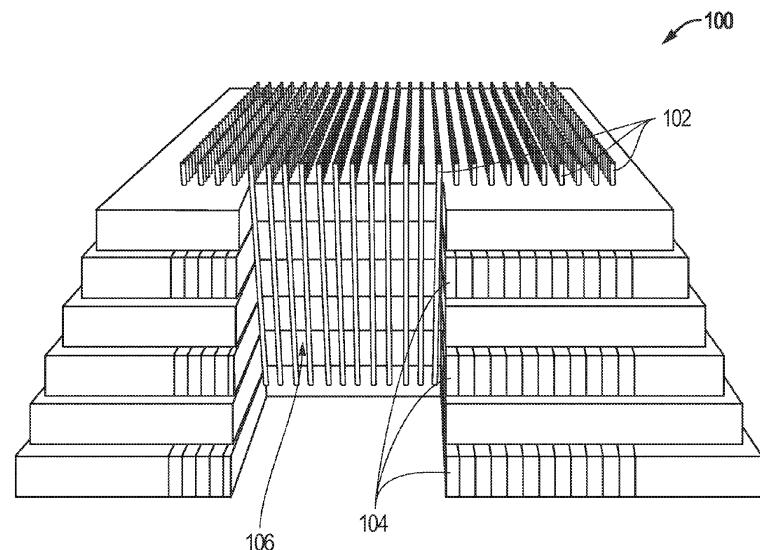
[0065] 몇몇의 실시예들에서, 접속 이온 빔을 상기 3차원 접촉 회로 구조로 향하게 하는 상기 컴퓨터 명령어들은, 접속 이온 빔을 상기 수평의 전도성 레이어들에 비-법선인 각도로 향하게 하기 위한 컴퓨터 명령어들을 포함한다.

[0066] 몇몇의 실시예들에서, 접속 이온 빔을 상기 3차원 접촉 회로 구조로 향하게 하는 상기 컴퓨터 명령어들은 접속 이온 빔을 공정 중 제품 표면에 수직으로 향하게 하는 것을 포함하며, 그리고 상기 공정 중 제품을 기울여서, 상기 밀링된 표면에 대한 법선이 수직 성분을 가지도록 하기 위한 컴퓨터 명령어들을 더 포함한다.

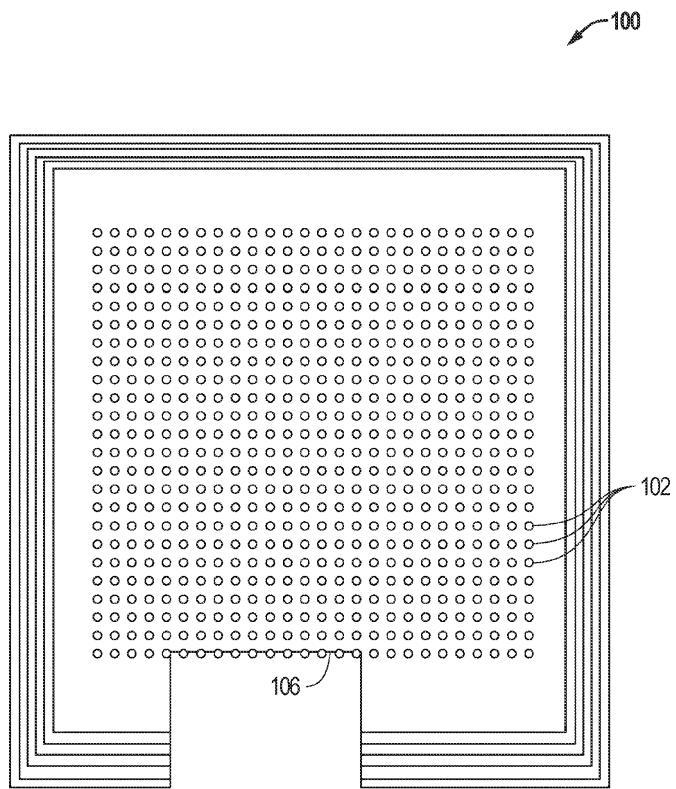
[0067] 비록 본 발명 및 본 발명의 유리함들이 상세하게 설명되었지만, 다양한 변화들, 치환들 및 대안들이 첨부된 청구항들에 의해서 정의된 본 발명의 범위 및 사상으로부터 벗어나지 않으면서도 여기에서 만들어질 수 있다는 것이 이해되어야만 한다. 더욱이, 본 발명 출원의 범위는 본원에서 설명된 프로세스, 머신, 제조, 내용, 수단, 방법들 및 단계들의 합성의 특정 실시예들로 제한되도록 의도된 것이 아니다. 본 발명이 속한 기술 분야에서의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 개시로부터 쉽게 인정할 것처럼, 여기에서 설명된 대응하는 실시예들과 실질적으로 동일한 결과를 달성하거나 또는 실질적으로 동일한 기능을 수행하는, 현존하거나 또는 나중에 개발될 프로세스, 머신, 제조, 내용, 수단, 방법들 및 단계들의 합성은 본 발명에 따라서 활용될 수 있을 것이다. 따라서, 동반된 청구항들은 그 청구항들의 범위 내에 그런 프로세스들, 기계들, 제조, 내용, 수단, 방법들 및 단계들의 합성들을 포함하는 것으로 의도된 것이다.

## 도면

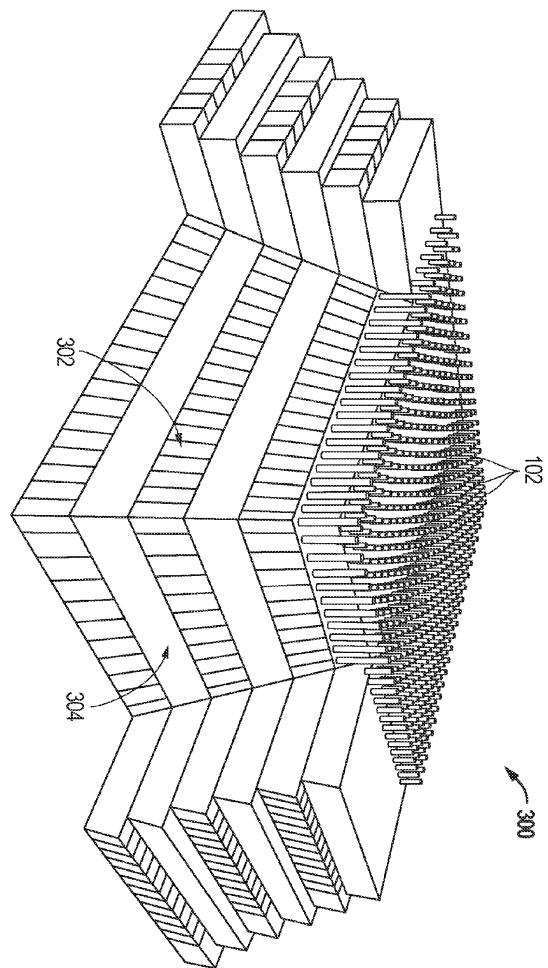
### 도면1



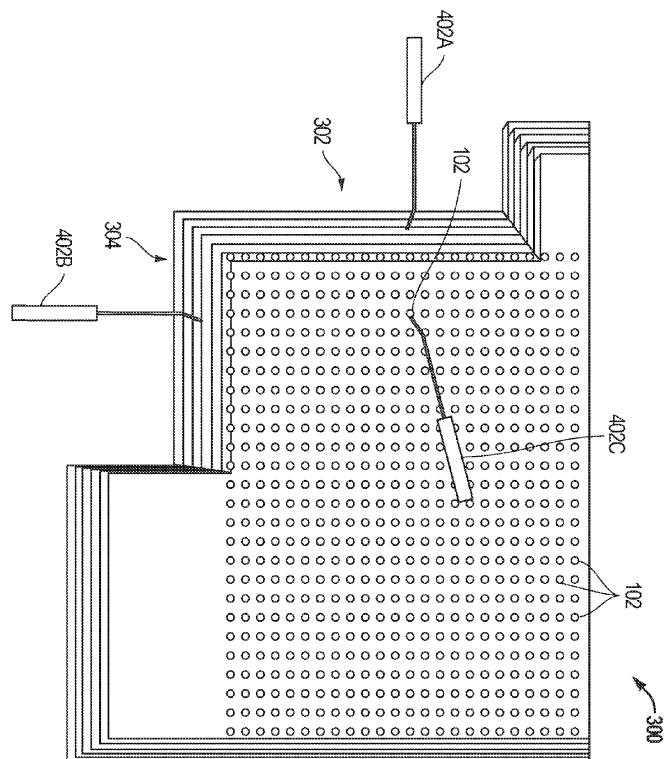
도면2



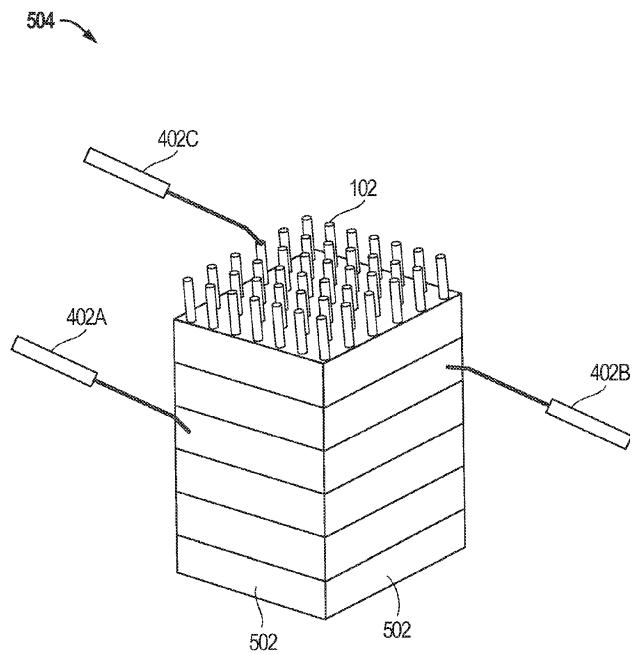
도면3

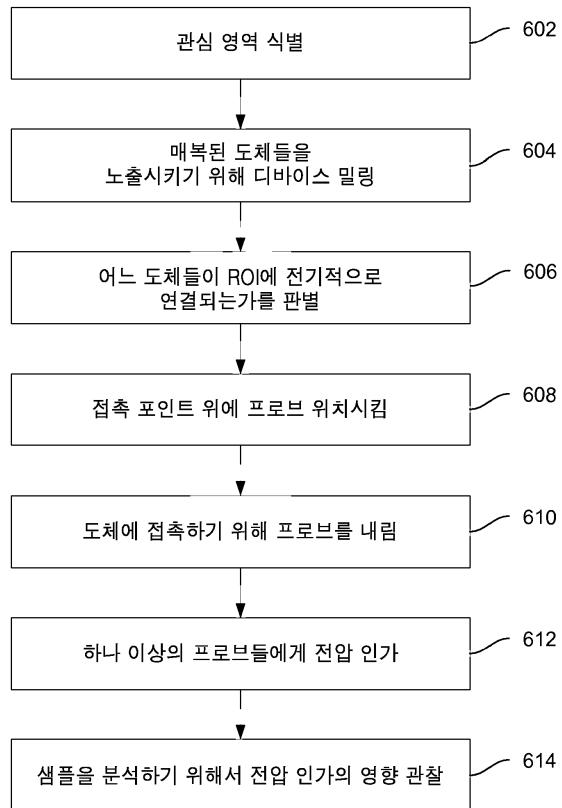


도면4



도면5



**도면6**

도면7

