



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2017년07월27일  
 (11) 등록번호 10-1762219  
 (24) 등록일자 2017년07월21일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 H01J 37/28 (2006.01) H01J 37/244 (2006.01)  
 H01L 21/66 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
 H01J 37/28 (2013.01)  
 H01J 37/244 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2016-7006631
- (22) 출원일자(국제) 2014년11월19일  
 심사청구일자 2016년03월14일
- (85) 번역문제출일자 2016년03월14일
- (65) 공개번호 10-2016-0046837
- (43) 공개일자 2016년04월29일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2014/080661
- (87) 국제공개번호 WO 2015/083548  
 국제공개일자 2015년06월11일
- (30) 우선권주장  
 JP-P-2013-249249 2013년12월02일 일본(JP)
- (56) 선행기술조사문헌  
 JP2013134879 A\*  
 JP2013089514 A\*  
 JP2013045500 A  
 JP04149944 A  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자  
 가부시키가이샤 히다치 하이테크놀로지즈  
 일본국 도쿄도 미나토구 니시신바시 1쵸메 24-14
- (72) 발명자  
 시시도 치에  
 일본국 도쿄도 지요다쿠 마루노우치 1-6-6 가부시  
 끼가이샤 히다치 세이사꾸쇼 내  
 야마모토 다쿠마  
 일본국 도쿄도 미나토구 니시 심바시 1-24-14 가  
 부시키가이샤 히다치 하이테크놀로지즈 내  
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인  
 문두현

전체 청구항 수 : 총 25 항

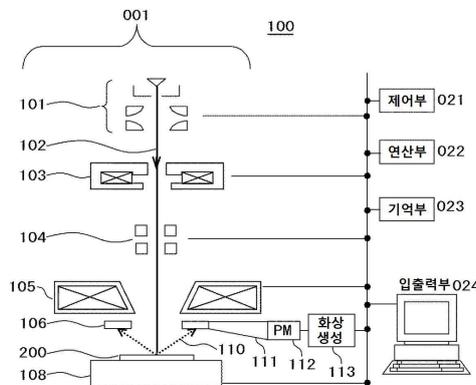
심사관 : 임은정

(54) 발명의 명칭 주사 전자 현미경 시스템 및 그것을 이용한 패턴 계측 방법 및 주사 전자 현미경

**(57) 요약**

본 발명의 주사 전자 현미경은, 가속 전압 30kV 이상의 1차 전자선(102)을 시료(200)에 조사하고, 상기 시료로부터 발생하는 저각(예를 들면 양각 5도 이상)의 후방 산란 전자(BSE)를 검출한다. 이에 따라, 상기 시료의 구멍부의 구멍 바닥에서 발생하며, 상기 구멍부의 측벽(200)을 관통한 "관통 BSE(110)"를 이용해서 상기 구멍 바닥의 (뒷면에 계속)

**대표도** - 도1a



관찰을 행할 수 있다. 또한, 구멍이 깊으면 관통 거리가 상대적으로 길어지므로, 관통 BSE의 양이 줄어들어 상이 어둡게 된다고 하는 특성을 이용해서, 구멍 깊이 vs 밝기의 검량선을 만들어, 구멍 깊이의 계측을 행한다. 이에 따라, 3D-NAND의 구멍 뚫기 공정으로 대표되는 초고(超高) 어스펙트비의 구멍의 개구/비 개구의 판정, 또는 구멍의 탑 직경/바텀 직경을 검사·계측하는 것이 가능해진다.

(52) CPC특허분류

**H01L 22/12** (2013.01)

H01J 2237/2448 (2013.01)

H01J 2237/24495 (2013.01)

H01J 2237/2806 (2013.01)

H01J 2237/281 (2013.01)

H01J 2237/2815 (2013.01)

(72) 발명자

**야마다 신야**

일본국 도쿄도 지요다쿠 마루노우치 1-6-6 가부시  
끼가이샤 히다치 세이사꾸쇼 내

**다나카 마키**

일본국 도쿄도 지요다쿠 마루노우치 1-6-6 가부시  
끼가이샤 히다치 세이사꾸쇼 내

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

기관 위에 형성된 구멍 패턴 또는 홈 패턴을 계측하는 시스템으로서,

상기 기관 위에 형성된 패턴에 대해 1차 전자선을 주사해서 조사하는 1차 전자선 조사 수단과,

당해 1차 전자선 조사 수단에 의해 1차 전자선이 조사된 기관으로부터 방출되는 후방 산란 전자 중 상기 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 측벽을 관통한 후방 산란 전자를 검출하는 후방 산란 전자 검출 수단과,

당해 후방 산란 전자 검출 수단으로 검출된 후방 산란 전자의 강도 분포에 대응하는 전자선 상(像)을 생성하는 전자선 상 생성 수단과,

당해 전자선 상 생성 수단으로 생성된 전자선 상 위의 명부(明部) 영역 내에 존재하는 암부(暗部) 영역의 상기 명부 영역과의 경계 영역을 구하고, 당해 구한 경계 영역을 상기 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 에지 위치로서 검출하는 화상 처리 수단

을 갖는 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경 시스템.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 후방 산란 전자 검출 수단은, 상기 기관에 조사하는 1차 전자선의 광로(光路)를 둘러싸도록 해서 배치되며, 상기 1차 전자를 주사해서 조사한 상기 기관으로부터 방출된 후방 산란 전자를 검출하는 후방 산란 전자 검출기를 구비하고 있는 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경 시스템.

#### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

또한, 상기 기관으로부터 방출되는 2차 전자를 검출하는 2차 전자 검출 수단과, 당해 2차 전자 검출 수단으로 검출된 2차 전자의 강도에 대응하는 전자선 상을 생성하는 2차 전자선 상 생성 수단과, 당해 2차 전자선 상 생성 수단으로 생성된 2차 전자의 전자선 상의 명부 영역의 에지 위치에 의거하여 상기 구멍 패턴의 상부 직경 또는 상기 홈 패턴의 폭을 계측하는 패턴 폭 계측 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경 시스템.

#### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

또한, 상기 기관으로부터 방출되는 후방 산란 전자 중 양각(仰角)이 5도보다 작은 방향으로 산란한 후방 산란 전자를 검출하는 제 2 후방 산란 전자 검출 수단과, 당해 제 2 후방 산란 전자 검출 수단으로 검출한 양각이 5도보다 작은 방향으로 산란한 후방 산란 전자 강도에 대응하는 전자선 상을 생성하는 제 2 전자선 상 생성 수단과, 당해 제 2 전자선 상 생성 수단으로 생성된 후방 산란 전자선 상 위의 상기 구멍 패턴 또는 상기 홈 패턴의 바닥 상당 영역의 밝기로부터, 상기 구멍 패턴 또는 상기 홈 패턴의 바닥의 재료를 추정하는 재료 추정 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경 시스템.

#### 청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 측벽을 관통한 후방 산란 전자를 검출하는 후방 산란 전자 검출 수단은, 상기 후방 산란 전자를 방위별로 검출하는 복수의 검출면을 갖는 검출기를 구비한 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경 시스템.

**청구항 6**

기관 위에 형성된 구멍 패턴 또는 홈 패턴을 계측하는 시스템으로서,

상기 기관 위에 형성된 패턴에 대해 1차 전자선을 주사해서 조사하는 1차 전자선 조사 수단과,

당해 1차 전자선 조사 수단에 의해 1차 전자선이 조사된 기관으로부터 방출되는 후방 산란 전자 중 상기 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 측벽을 관통한 후방 산란 전자를 검출하는 후방 산란 전자 검출 수단과,

당해 후방 산란 전자 검출 수단으로 검출된 후방 산란 전자의 강도 분포에 대응하는 전자선 상을 생성하는 전자선 상 생성 수단과,

당해 전자선 상 생성 수단으로 생성된 전자선 상 위의 명부 영역 내에 존재하는 암부 영역의 상기 명부 영역과의 경계를 구하고, 당해 구한 경계 영역의 내부의 암부 영역의 밝기의 정보로부터 상기 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 깊이를 추정하는 깊이 추정 수단

을 갖는 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경 시스템.

**청구항 7**

제 6 항에 있어서,

상기 후방 산란 전자 검출 수단은, 상기 기관에 조사하는 1차 전자선의 광로를 둘러싸도록 해서 배치되며, 상기 1차 전자를 주사해서 조사한 상기 기관으로부터 방출된 후방 산란 전자를 검출하는 후방 산란 전자 검출기를 구비하고 있는 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경 시스템.

**청구항 8**

제 6 항에 있어서,

상기 깊이 추정 수단은, 미리 작성한 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 깊이와 전자선 상의 밝기를 관련짓는 검량선(檢量線)을 참조해서 깊이를 산출하는 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경 시스템.

**청구항 9**

제 6 항에 있어서,

또한, 상기 기관으로부터 방출되는 2차 전자를 검출하는 2차 전자 검출 수단과, 당해 2차 전자 검출 수단으로 검출된 2차 전자의 강도에 대응하는 전자선 상을 생성하는 2차 전자선 상 생성 수단과, 당해 2차 전자선 상 생성 수단으로 생성된 2차 전자의 전자선 상의 명부 영역의 에지 위치에 의거해서 상기 구멍 패턴의 상부 직경 또는 상기 홈 패턴의 폭을 계측하는 패턴 폭 계측 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경 시스템.

**청구항 10**

제 6 항에 있어서,

또한, 상기 기관으로부터 방출되는 후방 산란 전자 중 양각이 5도보다 작은 방향으로 산란한 후방 산란 전자를 검출하는 제 2 후방 산란 전자 검출 수단과, 당해 제 2 후방 산란 전자 검출 수단으로 검출한 양각이 5도보다 작은 방향으로 산란한 후방 산란 전자 강도에 대응하는 전자선 상을 생성하는 제 2 전자선 상 생성 수단과, 당해 제 2 전자선 상 생성 수단으로 생성된 후방 산란 전자선 상 위의 상기 구멍 패턴 또는 상기 홈 패턴의 바닥 상당 영역의 밝기로부터, 상기 구멍 패턴 또는 상기 홈 패턴의 바닥의 재료를 추정하는 재료 추정 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경 시스템.

**청구항 11**

제 6 항에 있어서,

상기 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 측벽을 관통한 후방 산란 전자를 검출하는 후방 산란 전자 검출 수단은, 상기 후방 산란 전자를 방위별로 검출하는 복수의 검출면을 갖는 검출기를 구비한 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경 시스템.

**청구항 12**

기관 위에 형성된 구멍 패턴 또는 홈 패턴을 계측하는 시스템으로서,

상기 기관 위에 형성된 패턴에 대해 1차 전자선을 주사해서 조사하는 1차 전자선 조사 수단과,

당해 1차 전자선 조사 수단에 의해 1차 전자선이 조사된 기관으로부터 방출되는 후방 산란 전자 중 상기 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 측벽을 관통한 후방 산란 전자를 검출하는 후방 산란 전자 검출 수단과,

당해 후방 산란 전자 검출 수단으로 검출된 후방 산란 전자의 강도 분포에 대응하는 전자선 상을 생성하는 전자선 상 생성 수단과,

당해 전자선 상 생성 수단으로 생성된 전자선 상 위의 명부 영역 내에 존재하는 암부 영역의 상기 명부 영역과의 경계 영역을 구하고, 당해 구한 경계 영역을 상기 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 에지 위치로서 검출하는 화상 처리 수단과,

상기 전자선 상 생성 수단으로 생성된 전자선 상 위의 명부 영역 내에 존재하는 암부 영역의 상기 명부 영역과의 경계 영역을 구하고, 당해 구한 경계 영역의 내부의 암부 영역의 밝기의 정보로부터 상기 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 깊이를 추정하는 깊이 추정 수단

을 갖는 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경 시스템.

**청구항 13**

제 12 항에 있어서,

상기 후방 산란 전자 검출 수단은, 상기 기관에 조사하는 1차 전자선의 광로를 둘러싸도록 해서 배치되며, 상기 1차 전자를 주사해서 조사한 상기 기관으로부터 방출된 후방 산란 전자를 검출하는 후방 산란 전자 검출기를 구비하고 있는 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경 시스템.

**청구항 14**

제 12 항에 있어서,

상기 깊이 추정 수단은, 미리 작성한 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 깊이와 전자선 상의 밝기를 관련짓는 검량선을 참조해서 깊이를 산출하는 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경 시스템.

**청구항 15**

제 12 항에 있어서,

또한, 상기 기관으로부터 방출되는 2차 전자를 검출하는 2차 전자 검출 수단과, 당해 2차 전자 검출 수단으로 검출된 2차 전자의 강도에 대응하는 전자선 상을 생성하는 2차 전자선 상 생성 수단과, 당해 2차 전자선 상 생성 수단으로 생성된 2차 전자의 전자선 상의 명부 영역의 에지 위치에 의거해서 상기 구멍 패턴의 상부 직경 또는 상기 홈 패턴의 폭을 계측하는 패턴 폭 계측 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경 시스템.

**청구항 16**

제 12 항에 있어서,

또한, 상기 기관으로부터 방출되는 후방 산란 전자 중 양각이 5도보다 작은 방향으로 산란한 후방 산란 전자를 검출하는 제 2 후방 산란 전자 검출 수단과, 당해 제 2 후방 산란 전자 검출 수단으로 검출한 양각이 5도보다 작은 방향으로 산란한 후방 산란 전자 강도에 대응하는 전자선 상을 생성하는 제 2 전자선 상 생성 수단과, 당해 제 2 전자선 상 생성 수단으로 생성된 후방 산란 전자선 상 위의 상기 구멍 패턴 또는 상기 홈 패턴의 바닥 상당 영역의 밝기로부터, 상기 구멍 패턴 또는 상기 홈 패턴의 바닥 재료를 추정하는 재료 추정 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경 시스템.

**청구항 17**

제 12 항에 있어서,

상기 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 측벽을 관통한 후방 산란 전자를 검출하는 후방 산란 전자 검출 수단은, 상기 후방 산란 전자를 방위별로 검출하는 복수의 검출면을 갖는 검출기를 구비한 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경 시스템.

**청구항 18**

기관 위에 형성된 구멍 패턴 또는 홈 패턴을 계측하는 방법으로서,  
 전자 현미경으로 기관 위에 형성된 구멍 패턴 또는 홈 패턴에 대해 1차 전자선을 주사해서 조사하고,  
 당해 1차 전자선이 조사된 상기 기관으로부터 방출되는 후방 산란 전자 중 상기 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 측벽을 관통한 후방 산란 전자를 검출하고,  
 당해 검출한 후방 산란 전자의 강도 분포에 대응하는 전자선 상을 생성하고,  
 당해 생성된 전자선 상 위의 명부 영역 내에 존재하는 암부 영역의 상기 명부 영역과의 경계 영역을 구하고,  
 당해 구한 경계 영역을 상기 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 에지 위치로서 검출하는 것과, 상기 구한 경계 영역의 내부의 암부 영역의 밝기의 정보로부터 상기 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 깊이를 추정하는 것 중 어느 하나 또는 양쪽을 행하는  
 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경 시스템을 이용한 패턴 계측 방법.

**청구항 19**

제 18 항에 있어서,  
 상기 전자 현미경으로, 30 킬로 전자 볼트 이상의 에너지를 갖는 1차 전자선을 상기 구멍 패턴 또는 홈 패턴에 조사하는 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경 시스템을 이용한 패턴 계측 방법.

**청구항 20**

기관 위에 형성된 구멍 패턴 또는 홈 패턴을 계측하는 전자 현미경으로서,  
 상기 기관 위에 형성된 패턴에 대해 1차 전자선을 주사해서 조사하는 1차 전자선 조사 수단과,  
 당해 1차 전자선 조사 수단에 의해 1차 전자선이 조사된 기관으로부터 방출되는 후방 산란 전자 중 상기 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 측벽을 관통한 후방 산란 전자를 검출하는 후방 산란 전자 검출 수단과,  
 당해 후방 산란 전자 검출 수단으로 검출된 후방 산란 전자의 강도 분포에 대응하는 전자선 상을 생성하는 전자선 상 생성 수단  
 을 갖는 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경.

**청구항 21**

제 20 항에 있어서,  
 상기 후방 산란 전자 검출 수단은, 상기 기관에 조사하는 1차 전자선의 광로를 둘러싸도록 해서 배치되며 상기 1차 전자를 주사해서 조사한 상기 기관으로부터 방출된 후방 산란 전자를 검출하는 후방 산란 전자 검출기를 구비하고 있는 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경.

**청구항 22**

제 20 항에 있어서,  
 상기 후방 산란 전자 검출 수단은, 상기 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 측벽을 관통한 각이 5도 이상인 방향으로 산란한 후방 산란 전자를 검출하는 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경.

**청구항 23**

제 20 항에 있어서,  
 상기 기관으로부터 방출되는 2차 전자를 검출하는 2차 전자 검출 수단과, 당해 2차 전자 검출 수단으로 검출된

2차 전자의 강도에 대응하는 전자선 상을 생성하는 2차 전자선 상 생성 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경.

**청구항 24**

제 20 항에 있어서,

상기 기관으로부터 방출되는 후방 산란 전자 중 각도가 5도보다 작은 방향으로 산란한 후방 산란 전자를 검출하는 제 2 후방 산란 전자 검출 수단과, 당해 제 2 후방 산란 전자 검출 수단으로 검출한 각도가 5도보다 작은 방향으로 산란한 후방 산란 전자 강도에 대응하는 전자선 상을 생성하는 제 2 전자선 상 생성 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경.

**청구항 25**

제 20 항에 있어서,

상기 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 측벽을 관통한 후방 산란 전자를 검출하는 후방 산란 전자 검출 수단은, 상기 후방 산란 전자를 방위별로 검출하는 복수의 검출면을 갖는 검출기를 구비한 것을 특징으로 하는 주사 전자 현미경.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 반도체 웨이퍼 위에 형성된 패턴의 치수 계측을 행하는 방법에 관한 것이며, 특히 어스펙트비가 높은 구멍 패턴이나 홈 패턴의 치수 계측을 행하는 주사 전자 현미경 시스템 및 그것을 이용한 패턴 계측 방법 및 주사 전자 현미경에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 반도체 제조 공정에서의 패턴 치수 관리에는, 주사 전자 현미경(Scanning Electron Microscope : SEM)을 반도체 전용으로 특화된 측정(測長) SEM이 널리 이용되고 있다. 도 2a에 종래의 측정 SEM의 기본 구성을 나타낸다. 전자총(101)으로부터 방출된 1차 전자빔(102)은 콘덴서 렌즈(103)로 가늘게 폭이 좁혀져, 편향기(104)에 의해 시료 위를 2차원적으로 주사된다. 가속 전압으로서, 1kV 정도의 비교적 낮은 가속 전압이 사용되는 것이 일반적이다. 전자빔 조사에 의해 시료(107)로부터 발생한 2차 전자(120)를 검출기(121)로 포획함으로써 2차 전자선 상(像)이 얻어진다. 경사각 효과 또는 에지 효과에 의해, 2차 전자선 상 위에서는 패턴 에지부가 밝은 화상으로 되므로, 화상 처리 방법에 의해 에지 위치를 검출함으로써 치수가 구해진다.

[0003] 반도체 디바이스의 비용 절감은, 미세화에 의해 칩 면적을 작게 함으로써 실현되어 왔지만, 칩 면적을 작게 함으로써 얻어지는 비용 이점을 리소그래피 등의 제조 비용 증가가 상쇄하는 바와 같이 되어 왔다. NAND 플래시 메모리에 있어서는, 새로운 비용 절감책으로서, 메모리 셀 어레이를 쌓아올려 3차원화하는 기술(3D-NAND)의 개발이 가속화되고 있다.

[0004] 3D-NAND는, 전극막과 절연막을 번갈아 적층한 후, 최상층으로부터 최하층으로 관통하는 구멍을 한 번에 뚫어(도 3a 참조), 구멍 측면에 메모리막을 형성하고, 기동 형상 전극을 매립한다는 공정을 거쳐 형성된다. 이 프로세스의 성패를 쥐고 있는 것은 구멍 뚫기 공정이며, 적정한 직경의 구멍이 최하층까지 관통하는 것이 핵심이다. 구멍의 개구/비개구, 또는 구멍의 톱 직경/바텀 직경의 관리가 요구되고 있다.

[0005] 구멍의 개구/비개구, 또는 구멍의 톱 직경/바텀 직경을 관찰하는 기술로서, 예를 들면 특허문헌 1에는, 시료의 홈 또는 구멍의 측벽 또는 저면에서 반사된 전자가, 시료 내를 관통해서 시료 표면으로부터 탈출 혹은 시료 표면에서 3차 전자를 발생시키는 데 족한 충분한 에너지를 갖는 바와 같은 높은 에너지의 1차 전자를 시료에 조사해서 어스펙트비가 3 전후인 구멍 패턴을 관찰하는 주사형 전자 현미경에 대해 기재되어 있다. 특허문헌 1에서는, 1차 전자의 가속 전압으로서, 100kV 및 200kV의 예를 나타내고 있다.

[0006] 또한, 특허문헌 1에는, 반사 전자를 대물 렌즈와 시료 사이에 배치해 신틸레이터로 검출하고, 대물 렌즈의 중심의 공동(空洞) 부분을 통과한 3차 전자를 인출 전계로 끌어내서 신틸레이터로 검출하는 구성이 기재되어 있다.

[0007] 한편, 특허문헌 2에는, 주사형 전자 현미경을 사용해서 50kV 이상으로 가속된 전자선을 시료에 조사하고, 시료

로부터 발생한 2차 전자나 3차 전자를 신틸레이터로 검출해서, 구멍이나 홈 내부를 관찰하는 것이 기재되어 있다. 또한, 특허문헌 1과 마찬가지로, 반사 전자를 대물 렌즈와 시료 사이에 배치해서 신틸레이터로 검출하고, 대물 렌즈의 중심의 공동 부분을 통과한 3차 전자를 인출 단계로 끌어내서 신틸레이터로 검출하는 구성이 기재되어 있다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

- [0008] (특허문헌 0001) 일본국 특개평4-149944호 공보
- (특허문헌 0002) 일본국 특개평6-310075호 공보

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0009] 상기 구멍 뚫기 공정을 관리하기 위해서는, 구멍 직경 약 50nm, 깊이 2 $\mu$ m 이상이라는 매우 높은 어스펙트비의 구멍의 검사·계측을 행할 필요가 있다. 그러나, 도 2b에 나타내는 바와 같이, 종래의 측정 SEM에 있어서는, 구멍 내부에서 발생한 2차 전자는, 밖으로 탈출하기 전에 내벽에 충돌해서 소멸되기 때문에, 구멍 바닥으로부터의 신호는 거의 얻어지지 않고, 특히 중요한 구멍의 바텀 직경을 계측할 수 없다고 하는 문제가 있었다.
- [0010] 특허문헌 1에 기재되어 있는 방법에 따르면, 구멍의 바닥으로부터 발생한 높은 에너지의 반사 전자와, 이 높은 에너지의 반사 전자가 구멍의 측벽을 투과함으로써 발생하는 3차 전자를 흡인(吸引) 전극으로 분리해서, 각각 검출하는 구성이 기재되어 있다. 그러나, 어스펙트비가 큰 가늘고 깊은 구멍이 형성된 시료로부터 발생하는 3차 신호의 레벨은 일반적으로 낮아진다. 따라서, 특허문헌 1에 기재되어 있는 바와 같은 3차 전자를 흡인 전극으로 흡인해서 검출하는 구성에서는, 시료로부터 발생한 3차 전자 중 일부만 검출할 수 있으며, 어스펙트비가 큰 가늘고 깊은 구멍을 관찰할 경우에, 충분한 3차 전자의 검출 신호 레벨을 확보하는 것이 어렵다.
- [0011] 또한, 특허문헌 1에 기재되어 있는, 반사 전자를 대물 렌즈와 시료 사이에 배치한 신틸레이터로 검출하고, 대물 렌즈의 중심의 공동 부분을 통과한 3차 전자를 인출 단계로 끌어내서 신틸레이터로 검출하는 구성에서는, 시료로부터 발생한 3차 전자 중 대물 렌즈의 중심의 공동 부분을 통과한 일부의 3차 전자만 검출할 수 있어, 충분한 3차 전자의 검출 신호 레벨을 확보하는 것이 어렵다. 또한, 어스펙트비가 큰 깊은 구멍의 바닥으로부터 발생한 반사 전자 중 구멍의 개구부로부터 외부로 방출되는 반사 전자는, 구멍의 중심축을 따른 방향으로 진행되는 성분이 많아지기 때문에, 대물 렌즈의 중심의 공동 부분을 제외하고 그 주위에 배치한 신틸레이터에서는 검출하는 것이 어려워진다. 한편, 특허문헌 2에 기재되어 있는 주사형 전자 현미경 장치에 있어서도, 개시되어 있는 신틸레이터에서는, 시료로부터 발생한 3차 전자 중 일부만 검출할 수 있으며, 충분한 3차 전자의 검출 신호 레벨을 확보하는 것이 어렵다는 것 외에도, 어스펙트비가 큰 깊은 구멍의 바닥으로부터 발생한 반사 전자는 구멍의 중심축을 따른 방향으로 진행되는 성분이 많아지기 때문에, 대물 렌즈의 중심의 공동 부분을 제외하고 그 주위에 배치한 신틸레이터에서는 검출하는 것이 어려워진다.
- [0012] 본 발명은, 상기한 종래 기술의 문제점을 해결해서, 높은 어스펙트비의 구멍 직경 또는 홈 폭의 계측을 가능하게 함과 함께, 구멍 또는 홈의 깊이의 계측을 가능하게 하는 주사 전자 현미경 시스템 및 그것을 이용한 패턴 계측 방법 및 주사 전자 현미경을 제공하는 것이다.

**과제의 해결 수단**

- [0013] 상기한 과제를 해결하기 위해서, 본 발명에서는, 기관 위에 형성된 구멍 패턴 또는 홈 패턴을 계측하는 주사 전자 현미경 시스템을, 기관 위에 형성된 패턴에 대해 1차 전자선을 주사해서 조사하는 1차 전자선 조사 수단과, 1차 전자선 조사 수단에 의해 1차 전자선이 조사된 기관으로부터 방출되는 후방 산란 전자 중 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 측벽을 관통한 후방 산란 전자를 검출하는 후방 산란 전자 검출 수단과, 후방 산란 전자 검출 수단으로 검출된 후방 산란 전자의 강도 분포에 대응하는 전자선 상(像)을 생성하는 전자선 상 생성 수단과, 전자선 상 생성 수단으로 생성된 전자선 상 위의 명부(明部) 영역 내에 존재하는 암부(暗部) 영역의 명부 영역과의 경계 영역을 구하고, 이 구한 경계 영역을 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 에지 위치로서 검출하는 화상 처리 수단을

구비해서 구성했다.

[0014] 또한, 상기한 과제를 해결하기 위해서, 본 발명에서는, 기관 위에 형성된 구멍 패턴 또는 홈 패턴을 계측하는 주사 전자 현미경 시스템을, 기관 위에 형성된 패턴에 대해 1차 전자선을 주사해서 조사하는 1차 전자선 조사 수단과, 1차 전자선 조사 수단에 의해 1차 전자선이 조사된 기관으로부터 방출되는 후방 산란 전자 중 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 측벽을 관통한 후방 산란 전자를 검출하는 후방 산란 전자 검출 수단과, 후방 산란 전자 검출 수단으로 검출된 후방 산란 전자의 강도 분포에 대응하는 전자선 상을 생성하는 전자선 상 생성 수단과, 전자선 상 생성 수단으로 생성된 전자선 상 위의 명부 영역 내에 존재하는 암부 영역의 명부 영역과의 경계를 구하고, 이 구한 경계 영역의 내부의 암부 영역의 밝기의 정보로부터 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 깊이를 추정하는 깊이 추정 수단을 구비해서 구성했다.

[0015] 또한, 상기한 과제를 해결하기 위해서, 본 발명에서는, 기관 위에 형성된 구멍 패턴 또는 홈 패턴을 계측하는 주사 전자 현미경 시스템을, 기관 위에 형성된 패턴에 대해 1차 전자선을 주사해서 조사하는 1차 전자선 조사 수단과, 1차 전자선 조사 수단에 의해 1차 전자선이 조사된 기관으로부터 방출되는 후방 산란 전자 중 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 측벽을 관통한 후방 산란 전자를 검출하는 후방 산란 전자 검출 수단과, 후방 산란 전자 검출 수단으로 검출된 후방 산란 전자의 강도 분포에 대응하는 전자선 상을 생성하는 전자선 상 생성 수단과, 전자선 상 생성 수단으로 생성된 전자선 상 위의 명부 영역 내에 존재하는 암부 영역의 명부 영역과의 경계 영역을 구하고, 이 구한 경계 영역을 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 에지 위치로서 검출하는 화상 처리 수단과, 전자선 상 생성 수단으로 생성된 전자선 상 위의 명부 영역 내에 존재하는 암부 영역의 명부 영역과의 경계 영역을 구하고, 이 구한 경계 영역의 내부의 암부 영역의 밝기의 정보로부터 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 깊이를 추정하는 깊이 추정 수단을 구비해서 구성했다.

[0016] 또한, 상기한 과제를 해결하기 위해서, 본 발명에서는, 기관 위에 형성된 구멍 패턴 또는 홈 패턴을 계측하는 주사 전자 현미경 시스템을 이용한 패턴 계측 방법에 있어서, 전자 현미경으로 기관 위에 형성된 구멍 패턴 또는 홈 패턴에 대해 1차 전자선을 주사해서 조사하고, 1차 전자선이 조사된 기관으로부터 방출되는 후방 산란 전자 중 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 측벽을 관통한 후방 산란 전자를 검출하고, 검출한 후방 산란 전자의 강도 분포에 대응하는 전자선 상을 생성하고, 이 생성된 전자선 상 위의 명부 영역 내에 존재하는 암부 영역의 명부 영역과의 경계 영역을 구하고, 이 구한 경계 영역을 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 에지 위치로서 검출하는 것과, 구한 경계 영역의 내부의 암부 영역의 밝기의 정보로부터 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 깊이를 추정하는 것 중 어느 하나 또는 양쪽을 행하도록 했다.

[0017] 또한, 상기한 과제를 해결하기 위해서, 본 발명에서는, 기관 위에 형성된 구멍 패턴 또는 홈 패턴을 계측하는 전자 현미경을, 기관 위에 형성된 패턴에 대해 1차 전자선을 주사해서 조사하는 1차 전자선 조사 수단과, 1차 전자선 조사 수단에 의해 1차 전자선이 조사된 기관으로부터 방출되는 후방 산란 전자 중 구멍 패턴 또는 홈 패턴의 측벽을 관통한 후방 산란 전자를 검출하는 후방 산란 전자 검출 수단과, 후방 산란 전자 검출 수단으로 검출된 후방 산란 전자의 강도 분포에 대응하는 전자선 상을 생성하는 전자선 상 생성 수단을 구비해서 구성했다.

**발명의 효과**

[0018] 본 발명에 따르면, 높은 어스펙트비의 구멍 직경의 계측이 가능해짐과 함께, 구멍 깊이의 계측이 가능해진다.

**도면의 간단한 설명**

[0019] 도 1a는 본 발명의 제 1 실시예에 따른 주사 전자 현미경 시스템의 구성을 나타내는 블록도.

도 1b는 본 발명의 제 1 실시예에 따른 신틸레이터의 평면도.

도 1c는 구멍 패턴에 1차 전자빔을 조사했을 때 구멍 패턴의 바닥으로부터 후방 산란 전자(BSE)가 발생한 상태를 모식적으로 나타내는 구멍 패턴의 단면도.

도 2a는 종래의 주사 전자 현미경 시스템의 촬상 광학계의 구성을 나타내는 블록도.

도 2b는 종래의 주사 전자 현미경 시스템의 촬상 광학계이며, 구멍 패턴에 1차 전자빔을 조사했을 때 구멍 패턴의 바닥으로부터 후방 산란 전자(BSE)가 발생한 상태를 모식적으로 나타내는 구멍 패턴의 단면도.

도 3a는 본 발명의 제 1 실시예에 따른 대표적인 계측 대상인 높은 어스펙트비의 구멍이 올바르게 형성된 상태를 나타내는 구멍 패턴이 형성된 시료의 단면도.

- 도 3b는 본 발명의 제 1 실시예에 따른 대표적인 계측 대상인 높은 어스펙트비의 구멍이 얇게 형성되어 올바르게 형성되지 않은 상태를 나타내는 구멍 패턴이 형성된 시료의 단면도.
- 도 3c는 본 발명의 제 1 실시예에 따른 대표적인 계측 대상인 높은 어스펙트비의 구멍이 깊게 형성되어 올바르게 형성되지 않은 상태를 나타내는 구멍 패턴이 형성된 시료의 단면도.
- 도 4a는 톱 직경과 바텀 직경이 동일한 치수로 형성된 구멍 패턴이 형성된 시료의 단면도.
- 도 4b는 톱 직경과 바텀 직경이 상이한 치수로 형성된 구멍 패턴이 형성된 시료의 단면도.
- 도 4c는 톱 직경과 바텀 직경이 동일한 치수로 형성된 구멍 패턴이 형성된 시료와 상이한 치수로 형성된 구멍 패턴이 형성된 시료와의 각각에 1차 전자빔을 조사했을 때 검출되는 2차 전자(SE)의 검출 강도 분포의 시뮬레이션 결과를 나타내는 그래프.
- 도 4d는 톱 직경과 바텀 직경이 동일한 치수로 형성된 구멍 패턴이 형성된 시료와 상이한 치수로 형성된 구멍 패턴이 형성된 시료와의 각각에 1차 전자빔을 조사했을 때 검출되는 후방 산란 전자(BSE)의 검출 강도 분포의 시뮬레이션 결과를 나타내는 그래프.
- 도 5a는 구멍 패턴으로부터 발생한 저각(低角) BSE에 의한 BSE 화상.
- 도 5b는 구멍 패턴의 저각 BSE 화상의 A-A 단면에 있어서의 신호 파형에 Bottom line과 Slope line을 적용해서, 바텀 직경을 산출하는 상태를 나타내는 신호 파형도.
- 도 5c는 구멍 패턴의 저각 BSE 화상의 A-A 단면에 있어서의 신호 파형에 제 1 임계값과 제 2 임계값과를 적용해서, 구멍 직경1과 구멍 직경2를 산출하는 상태를 나타내는 신호 파형도.
- 도 6a는 본 발명의 제 2 실시예에 있어서, 깊이가 상이한 구멍 패턴에 1차 전자빔을 조사했을 때 검출되는 후방 산란 전자(BSE)의 강도 분포를 나타내는 그래프.
- 도 6b는 본 발명의 제 2 실시예에 있어서, 1차 전자빔의 가속 전압마다의 구멍 패턴의 깊이와 구멍 바닥으로부터 발생한 후방 산란 전자(BSE)의 관계를 그린 그래프.
- 도 7a는 구멍 패턴이 형성된 시료에 1차 전자빔을 조사했을 때, 구멍 바닥으로부터 후방 산란 전자가 발생하는 상태를 모식적으로 나타낸 구멍 패턴이 형성된 시료의 단면도.
- 도 7b는 구멍 패턴이 형성된 시료에 1차 전자빔을 조사했을 때, 구멍 바닥으로부터 발생하는 후방 산란 전자의 양각에 따른 분포를 구멍 깊이마다 구한 그래프.
- 도 8a는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 구멍 패턴의 화상의 밝기에 의해 구멍 깊이를 구하는 처리의 처리 흐름을 나타내는 플로우도.
- 도 8b는 구멍 패턴의 깊이의 웨이퍼 내의 분포를 나타내는 웨이퍼 맵.
- 도 9a는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 평균 원자 번호와 반사 전자 강도의 관계를 나타내는 그래프.
- 도 9b는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 시료의 재질이 SiGe인 경우의 구멍 패턴의 구멍 깊이와 BSE 화상에 있어서의 구멍 패턴의 밝기의 관계를 1차 전자빔의 가속 전압마다 구한 그래프.
- 도 9c는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 시료의 재질이 Si인 경우의 구멍 패턴의 구멍 깊이와 BSE 화상에 있어서의 구멍 패턴의 밝기의 관계를 1차 전자빔의 가속 전압마다 구한 그래프.
- 도 10은 본 발명의 제 2 실시예에 따른 구멍 깊이와 밝기의 관계를 나타내는 검량선의 작성 방법을 설명하는 플로우도.
- 도 11a는 본 발명의 제 3 실시예에 따른 주사 전자 현미경 시스템의 촬상 광학계의 구성을 나타내는 블록도.
- 도 11b는 구멍 패턴에 1차 전자빔을 조사했을 때 구멍 패턴의 톱 에지로부터 2차 전자가 발생한 상태를 모식적으로 나타내는 구멍 패턴의 단면도.
- 도 12a는 구멍 패턴에 1차 전자빔을 조사했을 때 얻어지는 구멍 패턴의 2차 전자 상(像) 도면.
- 도 12b는 도 12a의 2차 전자 상의 A-A 단면에 있어서의 신호 파형을 나타내는 신호 파형도.
- 도 12c는 제 3 실시예에 따른 홀 패턴의 톱 직경(d1), 구멍 깊이(h), 바텀 직경(d2)을 나타내는 홀 패턴의 사시

도.

도 13a는 본 발명의 제 3 실시예에 따른 SE 상의 모식도.

도 13b는 본 발명의 제 3 실시예에 따른 BSE 상의 모식도.

도 14a는 본 발명의 제 4 실시예에 따른 주사 전자 현미경 시스템의 촬상 광학계의 구성을 나타내는 블록도.

도 14b는 구멍 패턴에 1차 전자빔을 조사했을 때 구멍 바닥으로부터 발생한 고각(高角)의 BSE가 구멍의 개구를 통과해서 구멍 밖으로 방출되는 상태를 모식적으로 나타내는 구멍 패턴의 단면도.

도 15는 본 발명의 제 4 실시예에 따른 치수 측정 알고리즘을 나타내는 플로우도.

도 16a는 본 발명의 제 5 실시예에 따른 유저·인터페이스를 설명하는 도면이며, 측정할 패턴을 지정하는 측정 박스를 나타내는 도면.

도 16b는 본 발명의 제 5 실시예에 따른 유저·인터페이스를 설명하는 도면이며, 측벽 막 재료 및 구멍 바닥 재료를 지정하는 재료 지정 박스를 나타내는 도면.

도 16c는 본 발명의 제 5 실시예에 따른 유저·인터페이스를 설명하는 도면이며, BSE와 SE의 선택 광학 조건이나, 출력 정보 표시부의 출력 내용의 설정을 행하는 조건 설정 박스를 나타내는 도면.

도 17은 높은 어스펙트비의 홈 패턴의 단면 구조를 설명하는 사시도.

도 18a는 본 발명의 제 6 실시예에 따른 주사 전자 현미경 시스템의 촬상 광학계의 구성을 나타내는 블록도.

도 18b는 본 발명의 제 6 실시예에 따른 주사 전자 현미경 시스템의 촬상 광학계의 사용 범위 방향 분할형의 저각 BSE 검출기의 평면도.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0020] 본 발명은, 시료에 높은 가속 전압의 전자선을 조사하여, 저(低)각도(예를 들면 양각 5도 이상)의 후방 산란 전자(BSE)를 검출함으로써, 구멍 바닥으로부터 방출되며 측벽을 관통한, "관통 BSE"로 구멍 바닥 관찰을 행하도록 한 것이다. 또한, 본 명세서에 있어서는, 양각을 측정 대상인 시료의 표면의 법선 방향과 방출 전자의 방출 방향이 이루는 각도로서 정의한다.

[0021] 또한, 구멍이 깊으면 관통 거리가 상대적으로 길어지므로, 관통 BSE의 양이 줄어 상이 어렵게 된다는 특성을 이용하여, 구멍 깊이와 밝기의 관계를 나타내는 검량선을 주고, 구멍 깊이 측정을 행하도록 했다.

[0022] 이하, 실시예를 도면을 이용해서 설명한다.

[0023] [실시예 1]

[0024] 도 1a는 본 발명이 적용되는 주사 전자 현미경 시스템(100)의 기본 구성이다. 전자 현미경 시스템(100)은, 촬상 광학계(001), 제어부(021), 연산부(022), 기억부(023), 및 입출력부(024) 등으로 구성된다. 촬상 광학계(001)는, 전자총(101)으로부터 높은 가속 전압(예를 들면 30kV 이상)의 1차 전자빔(102)을 발생시키고, 이 1차 전자빔(102)을 콘덴서 렌즈(103)로 집속하고, 또한 대물 렌즈(105)에 통과시킴으로써 시료(200)의 표면에 집속한다.

[0025] 1차 전자빔(102)은, 편향기(104)에 의해 시료(200) 위를 2차원적으로 주사된다. 시료(200)로부터 방출되는 저각도 방향의 후방 산란 전자(110)를 환상(環狀)의 YAG 신틸레이터(106)(도 1b 참조)로 받아 광 신호로 변환하고, 광 파이버(111)에 의해 고(高)전자 증배관(112)에 유도하고, 화상 생성부(113)에 의해 디지털 화상을 생성한다. 이 때, 화상이 적절한 밝기가 되도록, 밝기 보정이 행해지는 것이 일반적이다. 촬상된 화상은 기억부(023)에 보존된다. 스테이지(108)를 이동함으로써, 시료의 임의의 위치에서의 화상 촬상이 가능하다.

[0026] 제어부(021)는 전자총(101) 주변에 인가하는 전압, 콘덴서 렌즈(104) 및 대물 렌즈(105)의 초점 위치 조정, 스테이지(108)의 이동, 화상 생성부(113)의 동작 타이밍 등을 제어한다. 연산부(022)에서는, 촬상 화상을 이용해서 치수 측정 처리를 행한다. 시료 정보의 입력, 촬상 조건의 입력, 치수 측정 결과의 출력 등은 입출력부(024)에 의해 행해진다.

[0027] 도 1a에 나타낸 바와 같은 구성을 사용해서, 높은 에너지(높은 가속 전압)의 1차 전자선을 시료(200)에 조사함으로써, 시료(200)로부터 높은 에너지의 후방 산란 전자(Back Scattered Electron : BSE)가 방출된다. 이 방

출된 BSE는, 도 1c에 나타낸 바와 같이, 시료(200)에 형성된 구멍(210)의 측벽을 관통해서, 원환(圓環)형의 신틸레이터(106)에 도달한다. 이에 따라, 구멍 바닥의 관찰이 가능해진다.

- [0028] 종래 기술의 경우에도, 구멍 바닥에 1차 전자가 조사되면, BSE가 방출되지만, 1차 전자가 낮은 에너지(낮은 가속 전압)이므로, BSE의 에너지도 낮고, 따라서 대부분의 BSE는 측벽 내를 진행하는 중에 에너지를 잃어, 관통할 수 없다(도 2b 참조).
- [0029] 본 발명은, 높은 가속 전압과 저각 BSE(시료(200)의 표면의 법선 방향과 이루는 각도가 비교적 큰 방향으로 발생한 BSE)를 조합함으로써, "관통 BSE"라는 종래와는 상이한 검출 원리에 의거한 구멍 바닥 관찰을 가능하게 할 것이라고 할 수 있다.
- [0030] 또한, 저각 BSE의 검출에는, YAG 신틸레이터(106) 외에, 환상의 반도체 검출기 또는 로빈슨형 검출기를 사용해도 된다. 또한, 환상 대신에, 복수 방향으로 검출기를 배치하도록 구성해도 된다.
- [0031] 본 발명의 효과를 전자선 시뮬레이션(몬테카를로 시뮬레이션)에 의해 확인한 결과를 도 4a 내지 도 4d에 나타낸다. 도 4a의 경우, 샘플(401)에 형성된 구멍(411)의 단면 형상은, 튜브 직경(td1) : 70nm, 바텀 직경(bd1) : 70nm, 구멍 깊이(hd1) : 3.2 $\mu$ m인 홀(이하, t70b70 홀이라 기재함), 또한 도 4b의 경우, 샘플(402)에 형성된 구멍(412)의 단면 형상은 튜브 직경(td2) : 70nm, 바텀 직경(bd2) : 30nm, 구멍 깊이(hd2) : 3.2 $\mu$ m인 홀(이하, t70b30 홀이라 기재함)을 나타낸다. 가속 전압은 30kV로 하고, 2차 전자 상(Secondary Electron Image : SE 상)은 에너지가 50eV 이하의 전자를 검출함으로써, 저각 BSE 상은 에너지가 5000eV 이상, 방출 전자의 양각(본 명세서에 있어서는, 양각을 시료(200)의 표면의 법선 방향과 방출 전자의 방출 방향이 이루는 각도로서 정의함)이 15-65도인 전자를 검출함으로써 얻었다.
- [0032] 도 4a 및 도 4b에 나타낸 단면 형상이 상이한 구멍(411, 412)이 형성된 샘플(401과 402)에 1차 전자빔(102)을 조사했을 때 검출되는 SE 상(像)의 신호 파형을 도 4c에, 저각 BSE 상의 신호 파형을 도 4d에 나타낸다. 이 도면의 횡축은 구멍(411 또는 412)의 중심으로부터의 거리이다. t70b70 홀에 있어서는, x = 35nm가 구멍 바닥 에지, t70b30 홀에 있어서는, x = 15nm가 바텀 에지 끝에 상당한다. 이 도면의 세로축은 검출 신호 강도(Yield)이다.
- [0033] SE 상의 경우, 도 4c와 같이, t70b70 홀(도 4a의 구멍(411))이 형성된 시료(401)로부터 검출된 SE 상의 신호 파형(421), 및 t70b30 홀(도 4b의 구멍(412))이 형성된 시료(402)로부터 검출된 저각 BSE 상의 신호 파형(422)에 있어서, 구멍 바닥부의 신호 강도가 필요보다 작고, 이 신호 파형으로부터 바텀 에지 위치를 검출하는 것은 곤란하다.
- [0034] 한편, 저각 BSE 상의 경우, 도 4d와 같이, t70b70 홀(도 4a의 구멍(411))이 형성된 시료(401)로부터 검출된 저각 BSE 상(431)의 신호 파형의 상승 위치는 x = 35nm 부근에, t70b30 홀(도 4b의 구멍(412))이 형성된 시료(402)로부터 검출된 저각 BSE 상(432)의 신호 파형의 상승 위치는 x = 15nm 부근에 있고, SE 상보다 구멍 바닥 에지 위치 검출에 적합함을 알 수 있다.
- [0035] 구멍 바닥 에지 위치의 구체적인 검출 방법을 도 5a 내지 도 5c에 나타낸다. 도 5a와 같이, 홀 패턴의 저각 BSE 상(501)은, 홀 내(502)가 어둡고, 홀 외(503)가 밝은 화상이 된다. 구멍 측벽이 가파른 경우는 에지가 샤프(sharp)한 화상으로, 구멍 측벽에 테이퍼가 있는 경우는 에지가 흐릿한 화상으로 된다. 도 5b, 도 5c의 신호 파형(510 및 520)은, 도 5a의 홀(502)을 가로지르는 A-A 슬라이스 파형이다. 도 4d가 나타내는 바와 같이, 바텀 에지 끝은, 신호 파형의 상승 위치이므로, 도 5b와 같이, 신호 파형의 바텀 영역과, 슬로프 영역에 대해, 각각 Bottom line : 511, Slope line : 512를 적용해, 이들의 교점을 바텀 에지 끝(513)으로서 검출하여, 바텀 직경(514)을 구한다. 혹은, 도 5c와 같이, 신호 파형의 max 값(521)과 min 값(522)을 적당한 비로 내분하는 임계값을 주어, 임계값과 신호 파형의 교점을 예지점으로 해도 된다. 이 때, 대소 2개의 임계값(th1 : 523과 th2 : 524)을 주어, 구멍 직경1 : 525와 구멍 직경2 : 526을 구하도록 해도 된다. 구멍 직경1 : 525와 구멍 직경2 : 526의 차이(구멍 직경1 - 구멍 직경2)를 측벽 경사각 지표값으로 해서, 이 측벽 경사각 지표값의 대소에 따라, 측벽 테이퍼의 대소를 모니터링하는 것이 가능하다.
- [0036] 이상 설명한 실시예 1은 본 발명의 기본 구성이다. 본 실시형태에 따르면, 종래 기술에서는 계측 불가능했던 높은 어스펙트비의 구멍 직경 계측이 가능해진다.
- [0037] [실시예 2]
- [0038] 본 실시예에서는, 구멍뿐만 아니라, 구멍 깊이의 계측을 행하는 방법을 제공한다.

- [0039] 본 발명은, 측벽을 관통한 BSE를 검출함으로써 구멍 바닥 관찰을 실현하고 있지만, 구멍이 깊고 어스펙트비가 커지면, 구멍의 바닥으로부터 방출된 전자가 측벽을 관통해서 표면에 도달하는 데 요하는 거리가 길어지기 때문에, 도중에 에너지를 다 사용해서 관통할 수 없게 되는 전자의 비율이 증가한다. 환언하면, 영상 화상 위에서는, 구멍이 깊을수록 구멍부가 어둡다는 관계를 이용함으로써, 구멍 깊이를 계측(추정)하는 것이 가능하다.
- [0040] 이하, 구멍 깊이의 계측을 실현하기 위한 구성 요건을 명확히 한다. 또한, 본 실시예에서 사용하는 주사 전자 현미경 시스템의 구성은, 실시예 1에서 설명한도 1a에 나타난 주사 전자 현미경 시스템(100)의 구성과 동일하다.
- [0041] 도 6a는 시료에 형성된 구멍의 구멍 깊이 2.0 $\mu$ m인 경우와 3.2 $\mu$ m인 경우에 각각 1차 전자빔을 조사했을 때 검출되는 저각 BSE 상의 신호 파형(611과 612)의 비교를 나타낸 그래프(610)이다. 모두, 시료에 형성된 홀 패턴의 틱 직경(도 4b의 td2에 상당)은 70nm, 바텀 직경(도 4b의 bd2에 상당)은 30nm이고, 가속 전압 및 그 외 조건은 도 4a 내지 도 4d에서 설명한 시뮬레이션과 공통이다. 홀 패턴의 구멍 깊이(도 4b의 hd2에 상당) 2.0 $\mu$ m인 경우의 신호 파형(611)에 있어서의 구멍 바닥에 대응하는 부분으로부터 BSE를 검출한 신호(6111)의 신호 강도보다, 구멍 깊이 3.2 $\mu$ m인 경우의 신호 파형(612)에 있어서의 구멍 바닥에 대응하는 부분으로부터 BSE를 검출한 신호(6121)의 신호 강도 쪽이 명확히 작은 것을 알 수 있다. 이것은 SE를 검출하는 종래 기술과는 크게 다른 특징이다.
- [0042] 도 6b는, 시료에 조사하는 1차 전자의 가속 전압이 15kV와 30kV와 45kV에 있어서의 시료에 형성된 홀 패턴의 구멍 깊이와 구멍 바닥부에 대응하는 부분으로부터 BSE를 검출한 신호(도 6a의 신호(6111 및 6121)에 상당)의 신호 강도(yield)(621, 622, 623)의 관계를 나타내는 그래프(620)이다. 가속 전압이 높은 쪽이 신호 강도가 큰 것은, BSE의 에너지가 높은 만큼, 측벽을 관통해 시료의 최상면까지 도달하는 전자의 수가 많기 때문이다. 깊은 구멍의 바닥을 관찰할 경우에는, 1차 전자를 높은 가속 전압으로 시료에 조사한 쪽이 유리하며, 본 발명이 대상으로 하는 바와 같은, 깊이 3 $\mu$ m 이상의 구멍(어스펙트비가 40을 넘는 구멍)인 경우, 1차 전자의 가속 전압을 30kV 이상으로 하는 것이 바람직함을 나타내고 있다. 종래 기술의 가속 전압은 1kV 정도이므로, 시료에 형성된 구멍의 측벽을 관통하는 바와 같은 에너지를 가진 관통 BSE를 검출하는 것은 불가능하다.
- [0043] 도 7a 및 도 7b는 관통 BSE의 검출에 적합한 양각(도 7a 참조)의 범위를 명확히 하기 위해 실시한 시뮬레이션 결과이다. 도 6a 및 도 6b에서 설명한 경우와 마찬가지로, 시료에 형성된 홀 패턴의 틱 직경(td3)을 70nm, 바텀 직경(bd3)을 30nm로 했다. 도 7b의 그래프(710)에, 구멍 깊이(hd3)가 0.1 $\mu$ m, 0.6 $\mu$ m, 1.2 $\mu$ m에 대한, 양각에 대한 신호 강도의 분포를 나타낸다.
- [0044] 또한, 도 4a 내지 도 4d에서 설명한 시뮬레이션에서는, 도 1b에 나타난 바와 같은 환상 신틸레이터(106)를 상정해서, 방출 전자가 검출되는 양각(703)의 범위를 15-65도로 했지만, 도 7a 및 도 7b의 시뮬레이션에 있어서는, 전체 양각을 검출하도록 하고 있다. 이 도면이 나타내는 바와 같이, 양각 5도 이하에서는, 구멍 깊이가 상이해도, 신호 강도에는 별로 차이가 없다. 이것은, 구멍 바닥으로부터 방사되어 바로 위의 구멍 개구로부터 구멍 밖으로 탈출한 전자가 많이 포함되기 때문이다( $\therefore$  구멍 깊이에 따라 신호 강도가 변화하는 것은, 측벽 내의 통과 거리의 차이에 의존하므로, 측벽을 통과하지 않은 전자의 경우는, 구멍 깊이에 따른 신호 강도의 차이는 발생하지 않음). 구멍 깊이 계측에는, 양각 5도 이상의 저각의 BSE를 검출하는 것이 바람직함을 알 수 있다.
- [0045] 본 실시예에 있어서는, BSE의 검출에 시료(200)와 대물 렌즈(105) 사이에 설치한, 환상의 신틸레이터(106)를 사용하고 있으므로(도 1 참조), 고각의 BSE는 신틸레이터(106) 중앙의 구멍(1061)을 빠져나간다. 따라서, 이 신틸레이터(106) 중앙의 구멍(1061)을 빠져나간 고각(양각(703)이 작음)의 BSE는 신틸레이터(106)로 검출되지 않으므로, 이 요건은 만족된다.
- [0046] 한편, BSE 검출 신호의 신호량을 확보하려면, 신틸레이터(106)에 의한 BSE를 검출하기 위한 양각의 커버 범위는 넓은 쪽이 유리하다. 도 7b의 그래프(710)에 나타난 양각과 BSE 신호 강도의 관계로부터, 적어도 BSE 검출 신호의 신호 강도가 큰 양각 20도 내지 60도의 범위를 커버하는 것이 바람직하다. 본 실시예에 있어서, 신틸레이터(106)의 직경, 및 신틸레이터(106)와 시료(200)의 거리를 조정함으로써, 이 요건을 만족시키는 것이 가능하다.
- [0047] 도 8a는 구멍 깊이 계측의 처리의 흐름을 나타내는 플로우도이다. 도 1a에 나타난 주사 전자 현미경 시스템(100)에 있어서의 입력부(024)로부터, 촬상 배율, 가속 전압 등의 촬상 조건을 입력한다(S801). 다음으로, 촬상 광학계(001)에서 S801에서 입력된 조건에 의거하여 시료(200)의 화상을 취득한다(S802). 촬상 광학계(001)에서 시료(200)를 촬상해서 얻어진 화상 신호는 연산부(022)에 입력된다(S803).

- [0048] 연산부(022)에서는, 화상(810)에 나타내는 바와 같이, 구멍부(811)의 평균 밝기( $B_0$ )를 산출하고(S8031), 촬상시의 빔 전류( $I_p$ ), 화상 생성시에 적용된 밝기 보정값(Brightness, Contrast)에 의거하여, 구멍부(811)의 평균 밝기를, 변환식 :  $B_1 = f(B_0, I_p, \text{brightness, constant})$ 를 이용해서  $B_1$ 로 변환한다(S8032). 다음으로, 그래프(820)에 나타내는 바와 같은 구멍 깊이와 구멍의 밝기의 관계를 나타내는 검량선(821)을 참조함으로써, 구멍의 깊이를 구한다(S8033).
- [0049] S8032에 있어서, 구멍의 밝기를  $B_0$ 으로부터  $B_1$ 로 변환하는 것은, 화상 위의 구멍의 밝기는, 빔 전류 값과 밝기 보정값에 의해서도 변화하므로, 기준 조건 하에서의 밝기로 변환하지 않으면, 검량선을 참조할 의미가 없기 때문이다. 환언하면, 검량선(821)은 기준 조건 하에서의, 도 8b의 웨이퍼 맵(830)에 나타내는 바와 같은 구멍 깊이와 구멍의 밝기의 관계일 필요가 있다.
- [0050] 도 9a 내지 도 9c를 이용해서 검량선에 대해 보충한다. 도 9a의 그래프(910)는 반사 전자 강도의 원자 번호의 존성(911)을 나타낸다. 원자 번호(화합물의 경우 평균 원자 번호)가 클수록 반사 전자 강도(yield)가 크다는 관계가 있다. 반도체 프로세스에서 사용되는 대표적인 재료를 그래프로 그렸다. 괄호 안은 평균 원자 번호이다. 예를 들면,  $SiO_2$ , Si 적층막 재료(도 3a의 201, 202)에, SiGe는 스토퍼막(도 3a의 205)에 사용된다. 반사 전자 강도에 비례해서, 관통 BSE의 강도도 변화하므로, 검량선은 재료별로 가속 전압마다의 데이터로서 가질 필요가 있다. 또한, 도 6b에 나타낸 바와 같이, 시료(200)에 조사하는 1차 전자빔(102)의 가속 전압에 의해서도 관통 BSE의 강도는 상이하다. 따라서, 도 9b의 그래프(920), 및 도 9c의 그래프(930)에 나타내는 바와 같이, 재료별, 가속 전압 별의 검량선의 데이터를 가지는 것이 필요하다.
- [0051] 검량선의 데이터 작성은, 구멍의 깊이가 단계적으로 변하는 표준 시료가 작성 가능한 경우에는, 구멍의 밝기를 실측해서 작성하면 되지만, 그러한 표준 시료의 작성이 어려운 경우도 있다. 이 경우는, 도 10에 나타내는 바와 같이, 구멍 깊이가 기지(既知)의 실측 데이터(1010) 1 ~ 2점을, 시뮬레이션의 결과(1020)에 의거해 보간(1030)함으로써 검량선(1040)을 얻도록 해도 된다. 이러한 검량선의 데이터(1041)를 복수의 가속 전압마다 구하면 된다.
- [0052] 이상 설명한 실시예 2는, 하드웨어의 기본 구성은 실시예 1과 동일하지만, 가속 전압 30kV 이상, 양각 5도 이상의 요건을 만족하고, 구멍 깊이와 구멍 밝기의 관계를 나타내는 검량선을 이용함으로써, 구멍 깊이의 계측을 가능하게 하는 것이다.
- [0053] 또한, 실시예 1과 실시예 2는 하드웨어의 구성이 동일하기 때문에, 동일한 시스템 구성에서, 실시예 1과 실시예 2를 실행하는 것이 가능하다.
- [0054] [실시예 3]
- [0055] 본 발명에 따른 제 3 실시예의 촬상 광학계(002)의 기본 구성을 도 11a에 나타낸다. 제 1 실시예(도 1a 참조)에서 설명한 촬상 광학계(001)와의 차이는, 107 시료로부터 방출되는 2차 전자(120)를 검출하는 검출기(121)가 더해진 점이다.
- [0056] 도 2b, 또는 도 4c, 도 4d에 나타낸 바와 같이, 시료에 형성된 구멍의 구멍 바닥으로부터 방출된 2차 전자(SE)가 구멍 밖으로 탈출할 수는 없지만, 도 11b에 나타내는 바와 같이, 구멍의 탑 에지(131) 부근에서 방출된 2차 전자(130)는 검출기(121)로 검출된다.
- [0057] 도 12a에 나타낸 모식도(130)와 같이, 구멍(1311)의 탑 에지(1312) 부근에서 방출된 2차 전자(도 11b의 130)는, 에지 효과에 의해, 화상 위에서는 밝은 피크가 되므로, 구멍의 톱 직경의 계측에 적합하다. 도 12b와 같이, 신호 파형(1320)의 피크(1321, 1322)를 검출하면, 홀의 톱 직경(1323)을 구하는 것이 가능하다.
- [0058] 실시예 1과 실시예 2와 실시예 3을 조합하면, 도 12c와 같이, 홀(구멍)(1330)의 톱 직경( $d_1$ ) : 1331, 구멍 깊이( $h$ ) : 1333, 바텀 직경( $d_2$ ) : 1332가 구해지므로, 서두 설명한 계측 과제였던 구멍의 톱 직경/바텀 직경의 관리에 필요한 정보가 취득 가능해진다.
- [0059] 또한, 도 11a에 나타내는 촬상 광학계(002)를 이용해서, 검출기(106)에 의한 저각 BSE 상과, 검출기(121)에 의한 SE 상의 동시 취득을 행하면, 다음과 같은 이점도 있다. 도 13a는 SE 상의 모식도(1410), 도 13b는 BSE 상의 모식도(1420)이다. 도 13a의 SE 상의 모식도(1410)에 있어서의 홀(1411)과 도 13b의 BSE 상의 모식도(1420)에 있어서의 홀(1421)과 같이, SE 상과 BSE 상의 홀 중심의 어긋남은, 구멍이 수직으로 뚫려 있지 않음을 시사하는 것이다.

- [0060] SE 상과 BSE 상의 동시 취득을 행하지 않을 경우는, 화상 촬상시의 위치 어긋남과, 구멍 패턴의 편심의 구별이 가능하지 않지만, SE 상과 BSE 상을 동시 취득할 경우에는, 이 문제가 없으므로, 동일한 구멍 패턴에 대해 SE 상과 BSE 상을 비교함으로써, 구멍 패턴의 편심도를 보다 정확하게 구할 수 있다.
- [0061] 본 실시형태에 따르면, 동시에 검출한 저각 BSE 상과 SE 상을 병용함으로써, 구멍의 틈 직경을 보다 정확하게 예측할 수 있음과 함께, 구멍의 수직도를 관리하는 데 유용한 정보를 얻는 것이 가능해진다.
- [0062] [실시예 4]
- [0063] 본 발명에 따른 제 4 실시예의 촬상 광학계(003)의 기본 구성을 도 14a에 나타낸다. 제 1 실시예(도 1 참조)에서 설명한 촬상 광학계(001)와의 차이는, 촬상 광학계(003)에는, 시료(107)로부터 방출되는 고각 BSE(150)(시료(107)의 표면과 이루는 각도가 비교적 큰 각도 방향으로 방출된 BSE(150))를 검출하는 검출기(151)와 고각 BSE 상을 생성하는 화상 생성부(152)가 더해진 점이다.
- [0064] 검출기(151)는, 도 14b에 나타내는 바와 같이, 시료(107)에 형성된 홀(구멍)(1501)의 구멍 바닥(1503)으로부터 거의 바로 위로 방출되며, 구멍(1501)의 개구부(1502)를 통과해서, 구멍 밖으로 방출되는 고각의 BSE(130)를 검출한다. 고각의 BSE(130)를 검출한 검출기(151)로부터의 출력 신호는, 고각 BSE 상을 생성하는 화상 생성부(152)에 입력되어 디지털 화상이 생성되며 연산부(022)에 입력된다. 도 7b에 있어서, 고각의 BSE 상은 구멍 깊이에 대한 감도가 없는 것을 설명했다. 환언하면, 구멍의 깊이와 관계없이, 구멍 바닥 재료의 반사 전자 강도의 정보를 갖고 있는 것이 고각 BSE 상이다.
- [0065] 도 3b 및 도 3c에 나타낸 바와 같이, 구멍(206 내지 209)이 정상적으로 형성되어 있지 않은 경우, 일반적으로 구멍 바닥의 재료는 부정(不定)이다. 신틸레이터(106)로 검출되는 저각 BSE 상의 경우, 구멍의 깊이의 변화에 의해서도, 구멍 바닥의 재료의 차이에 의해서도 신호량이 변화하기 때문에, 이들을 판별할 수 없다. 한편, 검출기(151)로 검출되는 고각 BSE 상은, 구멍의 깊이에는 감도가 없으므로, 신호 강도로부터, 구멍 바닥 재료를 추정하는 것이 가능하다.
- [0066] 도 15에 고각 BSE 상을 병용하는 경우의 연산부(022)에 있어서의 처리 흐름을 나타낸다. 우선, 고각 BSE 상을 생성하는 화상 생성부(152)로부터 입력된 고각 BSE 상으로부터 구멍 바닥의 밝기를 산출하고(S160), 이 밝기로부터 구멍 바닥의 재료를 추정한다. 이 때, 도시하지 않지만, 저각 BSE 상의 경우 밝기 변환(도 8의 S8032)에 상당하는 스텝이 필요한 것은 마찬가지이다. 구멍 바닥 재료가 확정될 수 없는 경우는, 저각 BSE 상을 이용한 홀 깊이 계측을 실시할 의미가 없으므로 처리를 종료한다. 구멍 바닥 재료가 확정될 수 있었을 경우, 저각 BSE 상을 생성하는 화상 생성부(113)로부터 입력된 저각 BSE 상을 이용해서 구멍 바닥의 밝기를 산출하고(S162), 밝기 변환(S163)을 행한 후, 해당하는 재료, 가속 전압의 검량선을 참조함으로써, 구멍 깊이를 산출한다(S164).
- [0067] 본 실시형태에 따르면, 상기와 같이, 구멍 바닥의 재료가 불확정인 경우에 있어서도, 구멍 깊이의 계측이 가능해진다.
- [0068] [실시예 5]
- [0069] 실시예 5는, 본 발명을 실행하기 위한 유저·인터페이스이다. 실시예 1 내지 실시예 4에 나타낸 계측을 자동으로 행하기 위해서는, 사전에, 다양한 조건을 지정한 레시피를 작성할 필요가 있다. 레시피에서는, 도 16a와 같이, 계측할 패턴(1711)을 지정하는 계측 박스(1710) 외에, 도 16b에 나타낸 측벽 막 재료(1721) 및 구멍 바닥 재료(1722)를 지정하는 재료 지정 박스(1720), 도 16c에 나타낸 BSE와 SE의 선택 광학 조건이나, 출력 정보 표시부(1735)의 출력 내용의 설정을 행하는 조건 설정 박스(1730)를 입출력부(024)의 화면 위에 표시한다.
- [0070] 본 실시형태에 따르면, 본 발명을 수행하는데, 유저 입력이 필요한 항목을 지정하는 것이 가능해진다.
- [0071] [실시예 6]
- [0072] 본 발명에 따른 제 6 실시예의 촬상 광학계의 기본 구성을 도 18a에 나타낸다. 실시예 1 내지 실시예 4의 구성은, 구멍 패턴 계측을 주된 대상으로 하지만, 본 실시형태는, 높은 어스펙트비의 홈 패턴(도 17의 185)을 대상으로 한다. 예를 들면, 3D-NAND 프로세스에 있어서의, 워드 라인의 슬릿 형성 공정이 이것에 상당한다. 본 실시형태에서는, 촬상 광학계(004)에 저각 BSE 검출을 위한 검출기(180)로서, 방위각 방향으로 분할한 검출기(180)를 사용한다.
- [0073] 계측 대상이 홈 패턴인 경우, 홈의 길이 방향으로 방출된 BSE는, 관통 BSE로는 되지 않기 때문에, 이것을 검출하지 않도록 해서, 홈의 단변 방향으로 방출된, 관통 BSE만을 검출하기 위한 검출기(180)가, 도 18b에 나타내는

바와 같은 4개의 검출 소자(180a ~ 180d)를 구비한 방위 방향 분할형의 검출기(180)이다. 홈의 방향에 따라, 어느 방위의 검출기의 출력을 사용할지를 선택한다.

[0074] 도 18a에 나타난 촬상 광학계(004)를 이용함으로써, 도 17에 나타난 바와 같은 시료(200)에 형성된 홈 패턴(185)의 깊이나 홈 폭의 계측뿐만 아니라, 실시예 1 및 2에서 설명한 바와 같은, 구멍 패턴의 깊이나 직경의 계측을 행하는 것도 가능하다.

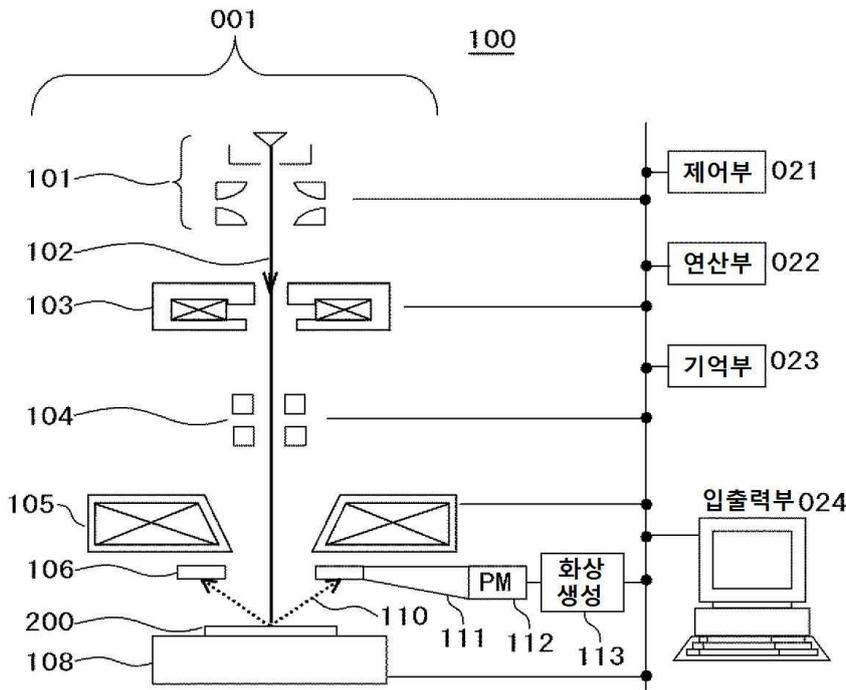
[0075] 본 실시형태에 따르면, 높은 어스펙트비의 홈 패턴의 계측에 본 발명인 것의 관통 BSE 검출을 적용하는 것이 가능해진다.

**부호의 설명**

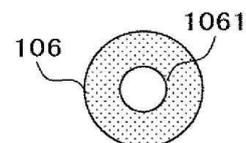
[0076] 001, 002, 003, 004...촬상 광학계 021...제어부 022...연산부 023...기억부 024...입출력부 101...전자총 102...1차 전자선 103...콘덴서 렌즈 104...편향기 105...대물 렌즈 106...저각 BSE 검출용 환상 신틸레이터 108...스테이지 110...저각 BSE 111...광 파이버 112...광전자 증배관 113...저각 BSE 상을 생성하는 화상 생성부 200...시료 201, 202...적층막 204...정상으로 형성된 구멍 패턴 205...스토퍼막 206, 207...구멍 뚫음 부족의 홈 208, 209...구멍 뚫음 과잉의 홈 120...2차 전자 121...2차 전자 검출기 122...2차 전자 상을 생성하는 화상 생성부 130...구멍 바닥으로부터 방사된 2차 전자 140...SE 상 위의 홈 패턴 141...저각 BSE 상 위의 홈 패턴 150...고각 BSE 151...고각 BSE 검출기 152...고각 BSE 상을 생성하는 화상 생성부 185...높은 어스펙트의 홈 패턴 180...방위 방향 분할형의 저각 BSE 검출기

**도면**

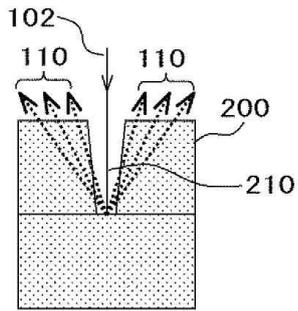
**도면1a**



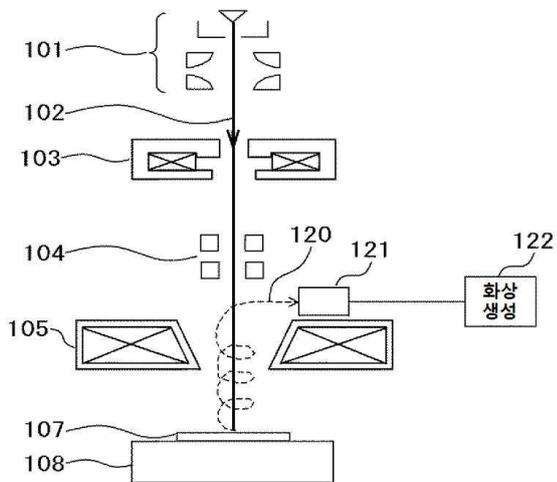
**도면1b**



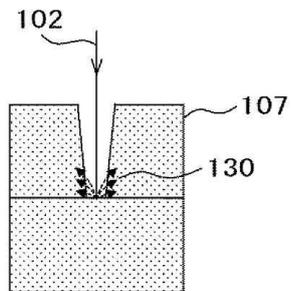
도면1c



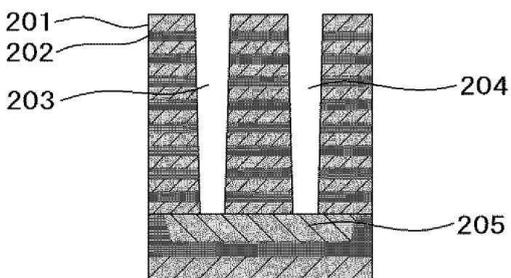
도면2a



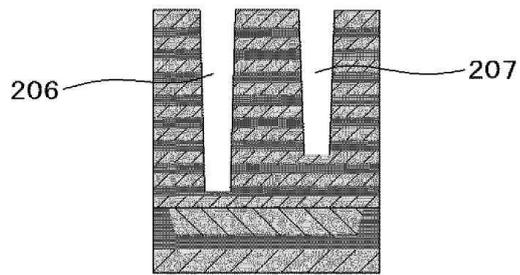
도면2b



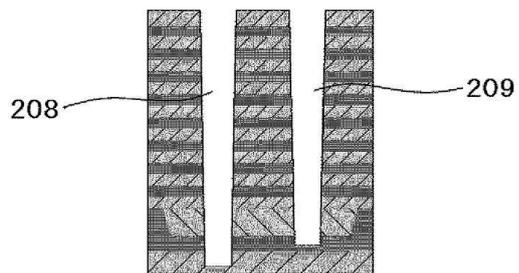
도면3a



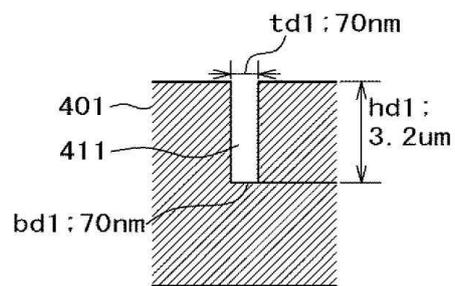
도면3b



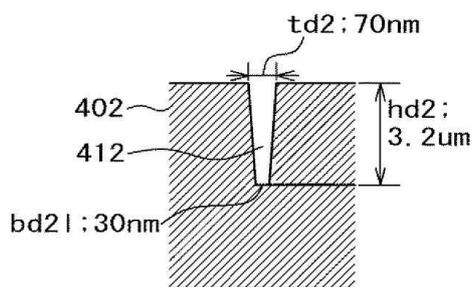
도면3c



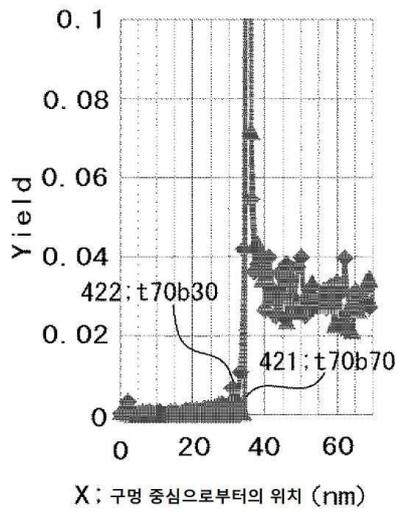
도면4a



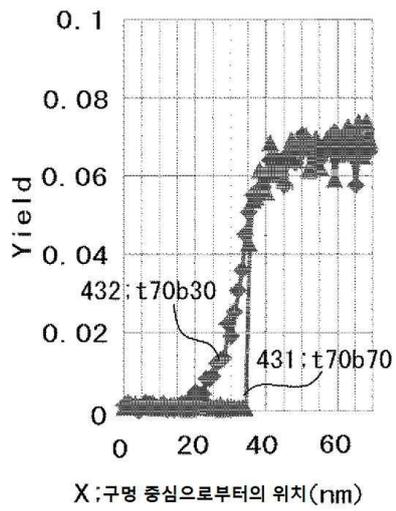
도면4b



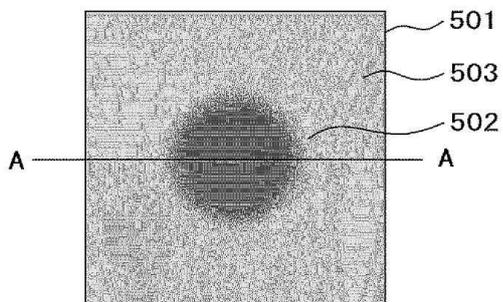
도면4c



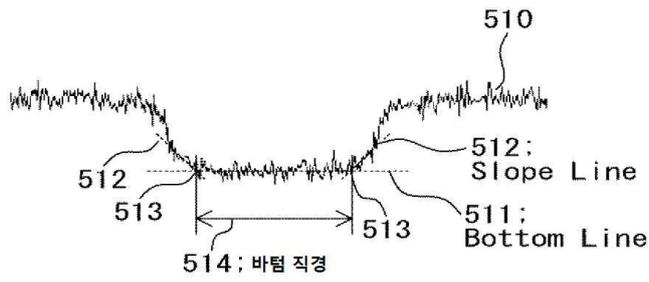
도면4d



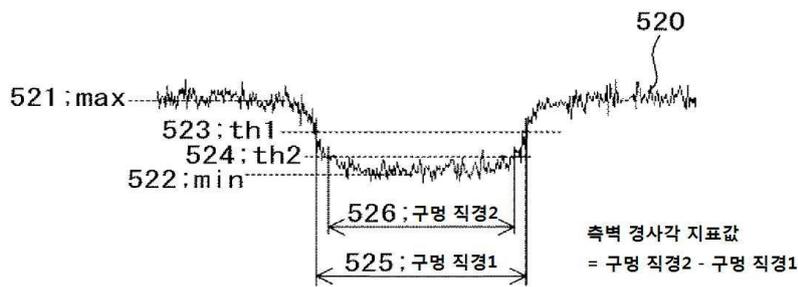
도면5a



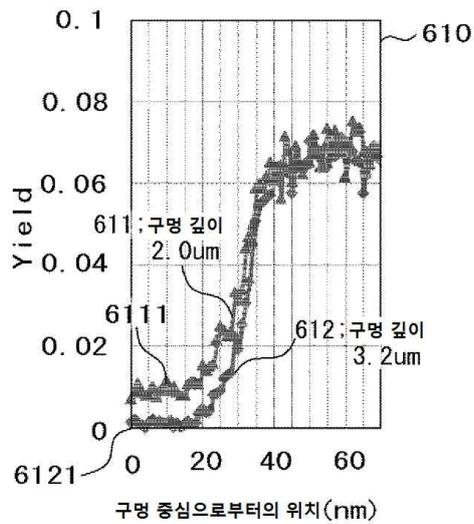
도면5b



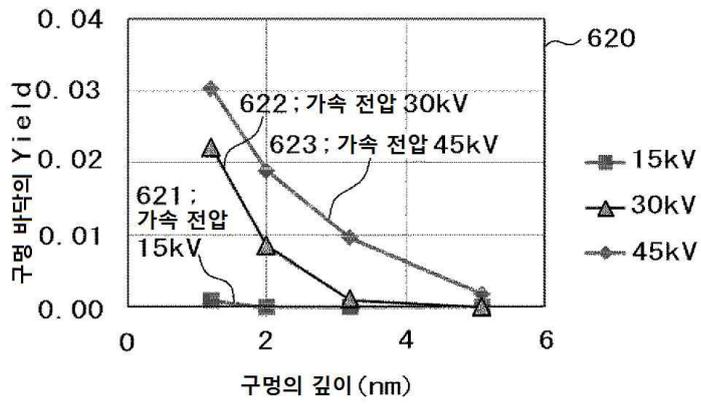
도면5c



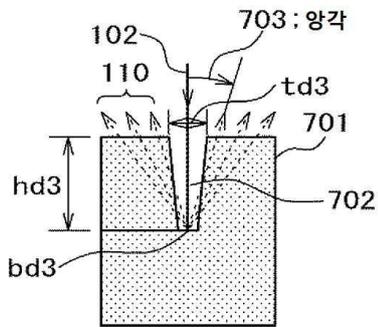
도면6a



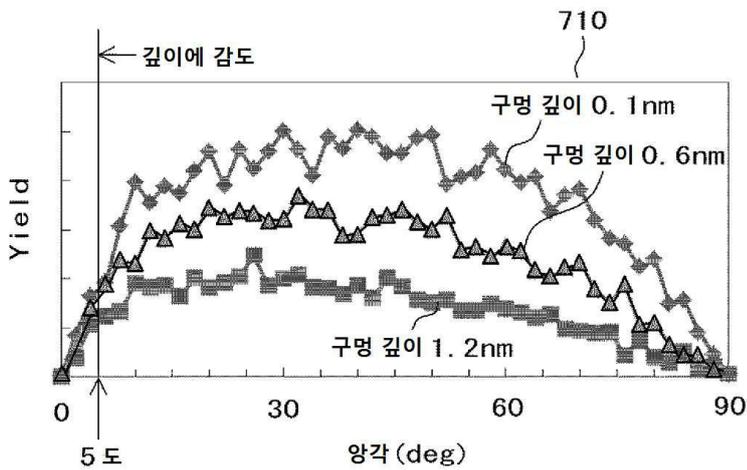
도면6b



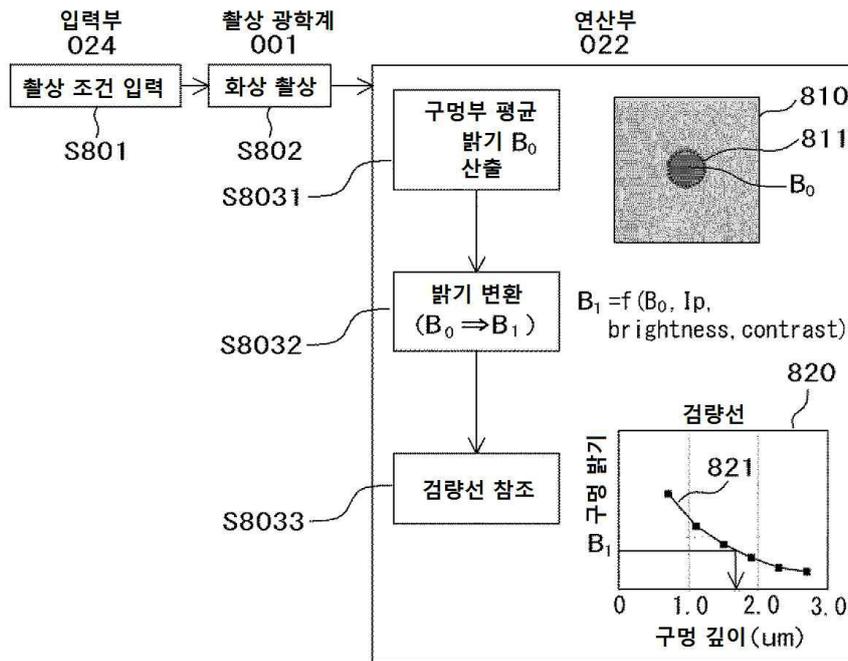
도면7a



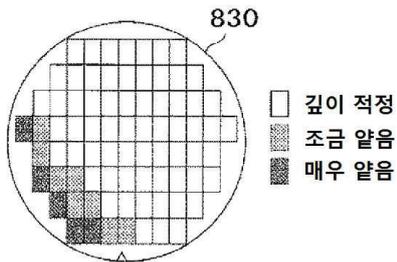
도면7b



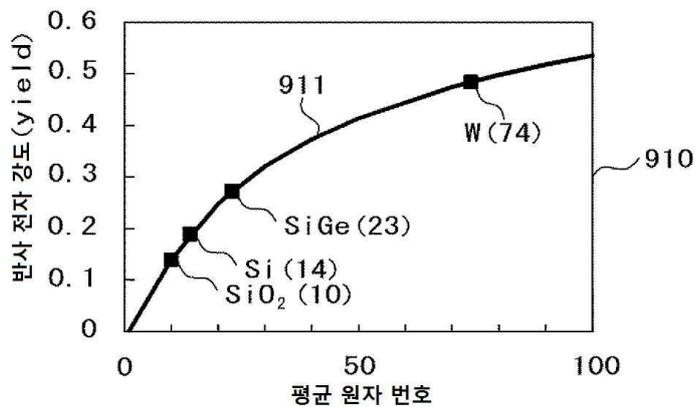
도면8a



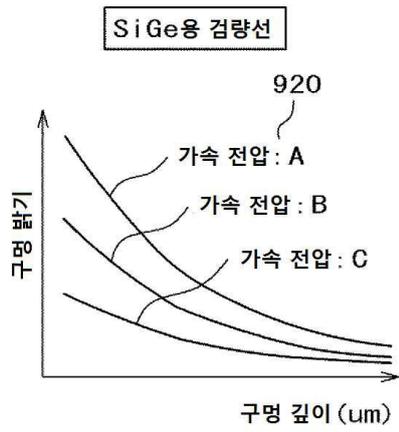
도면8b



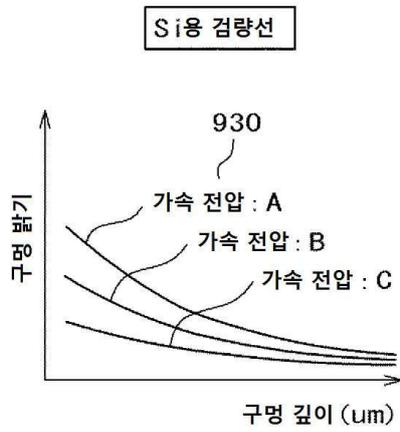
도면9a



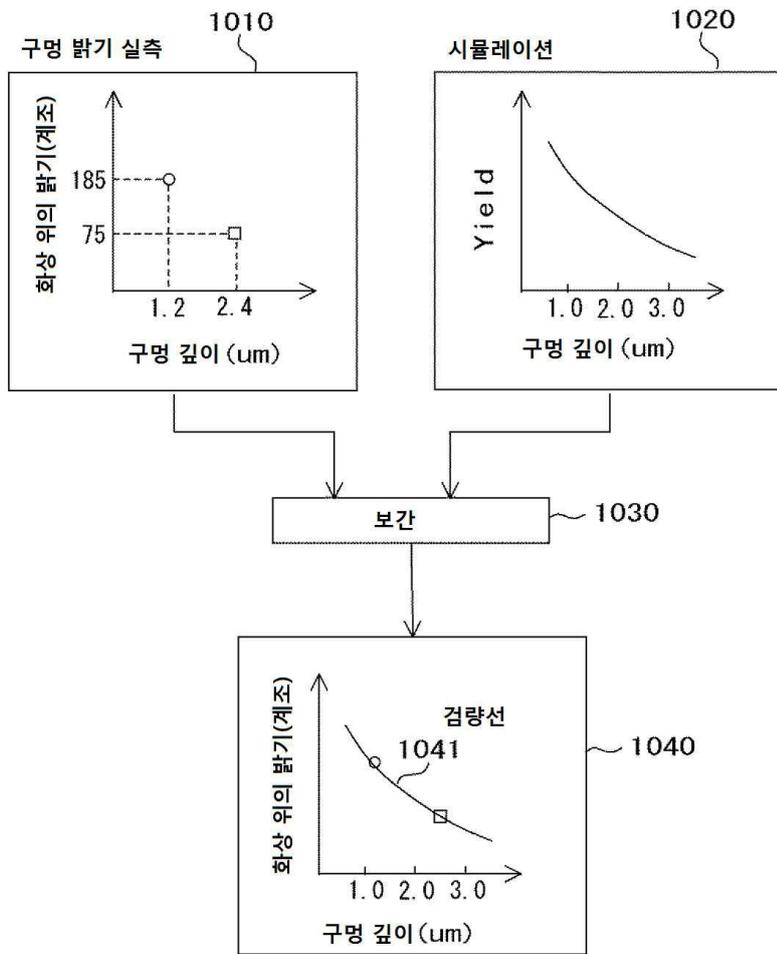
도면9b



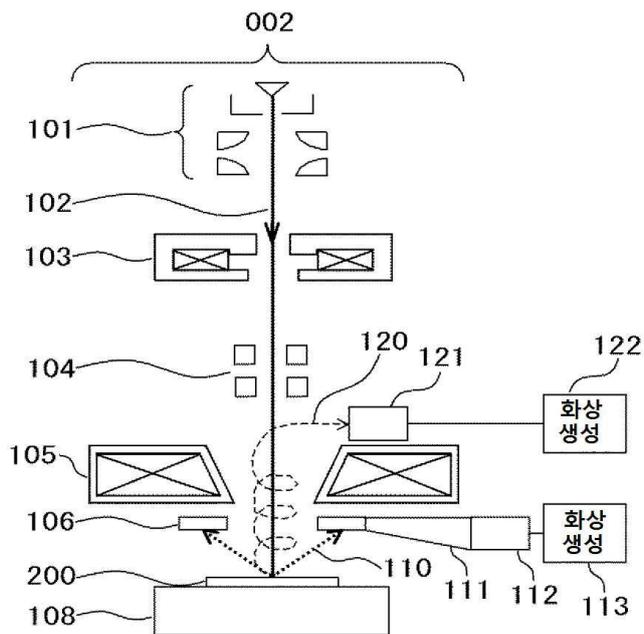
도면9c



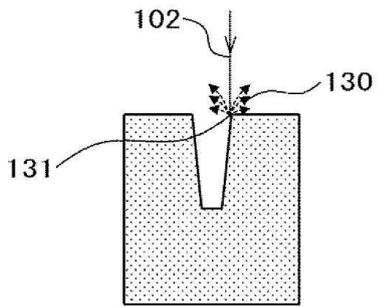
도면10



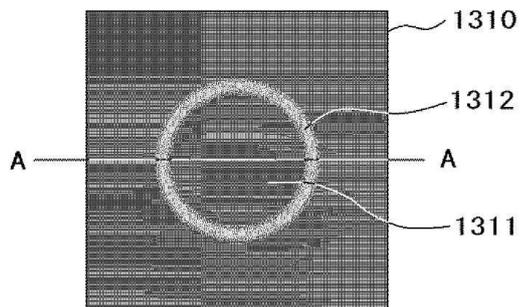
도면11a



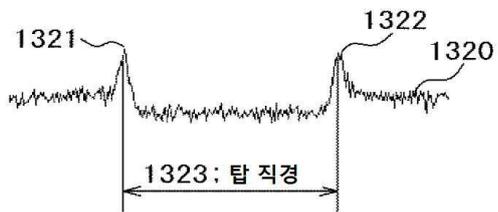
도면11b



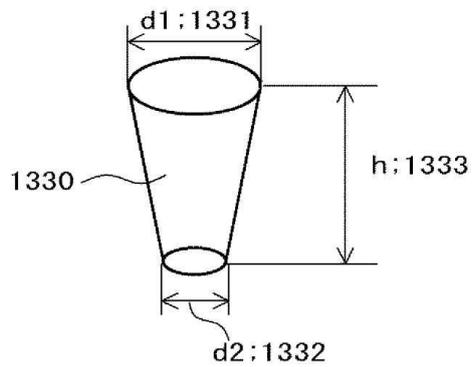
도면12a



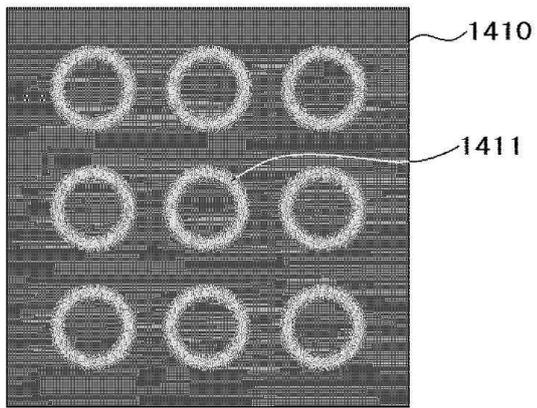
도면12b



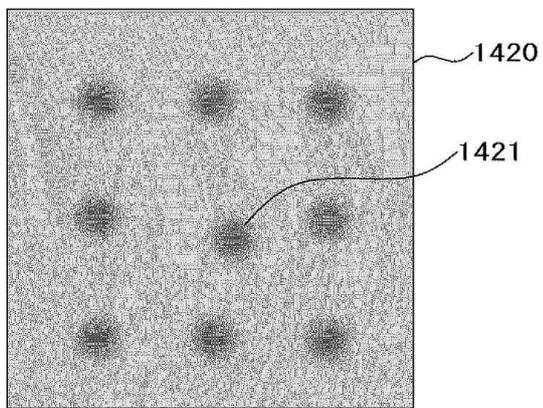
도면12c



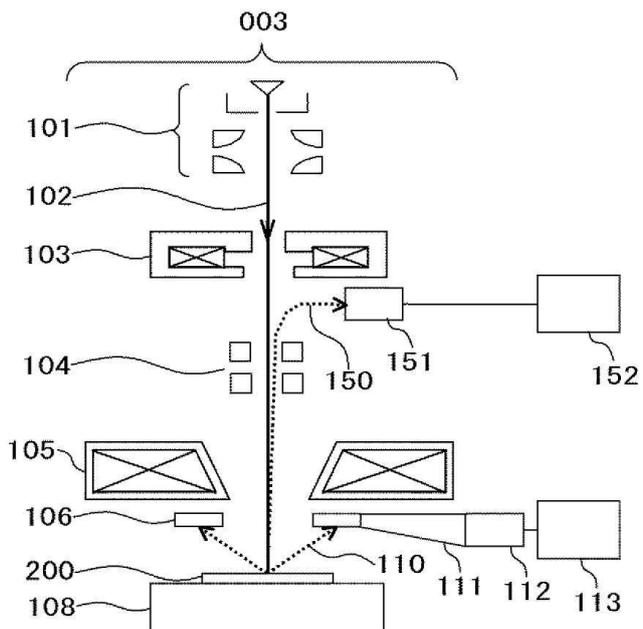
도면13a



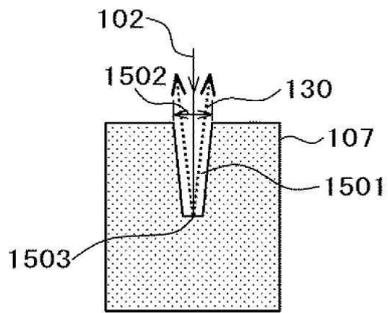
도면13b



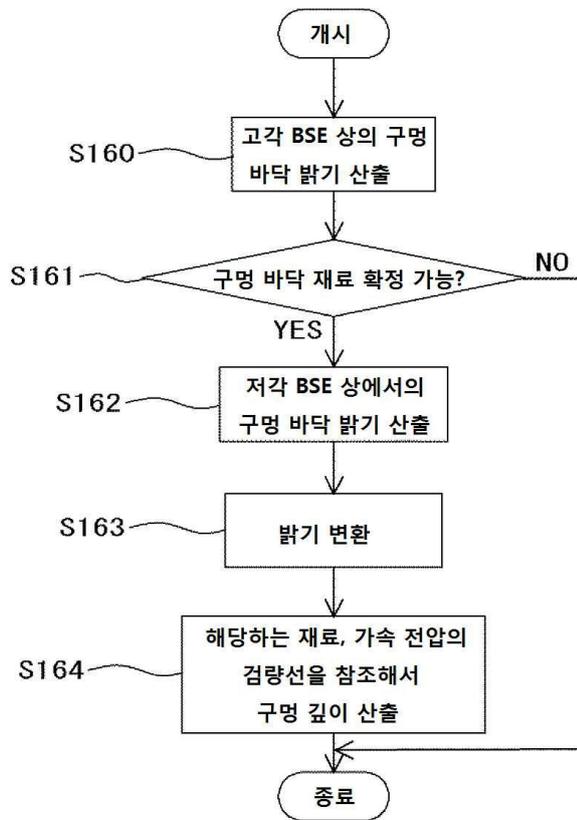
도면14a



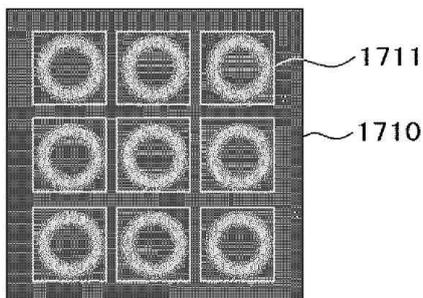
도면14b



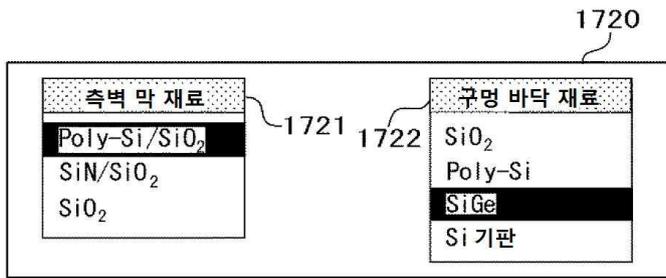
도면15



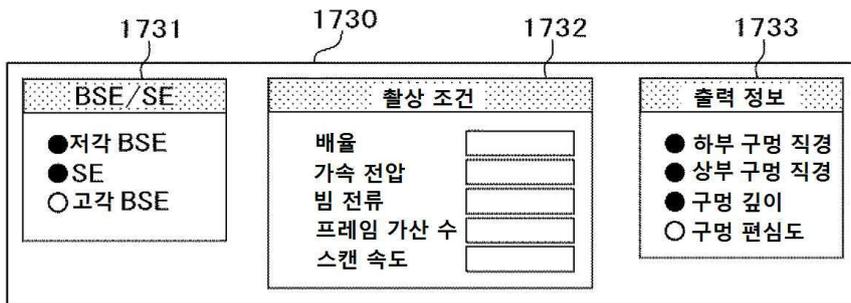
도면16a



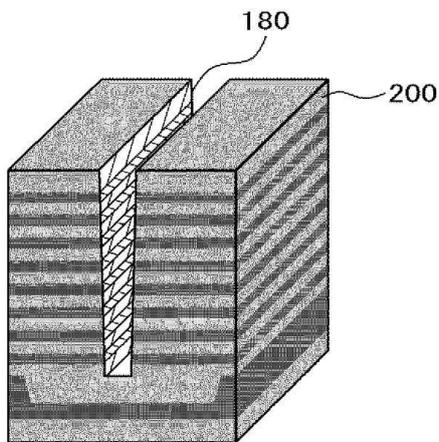
도면16b



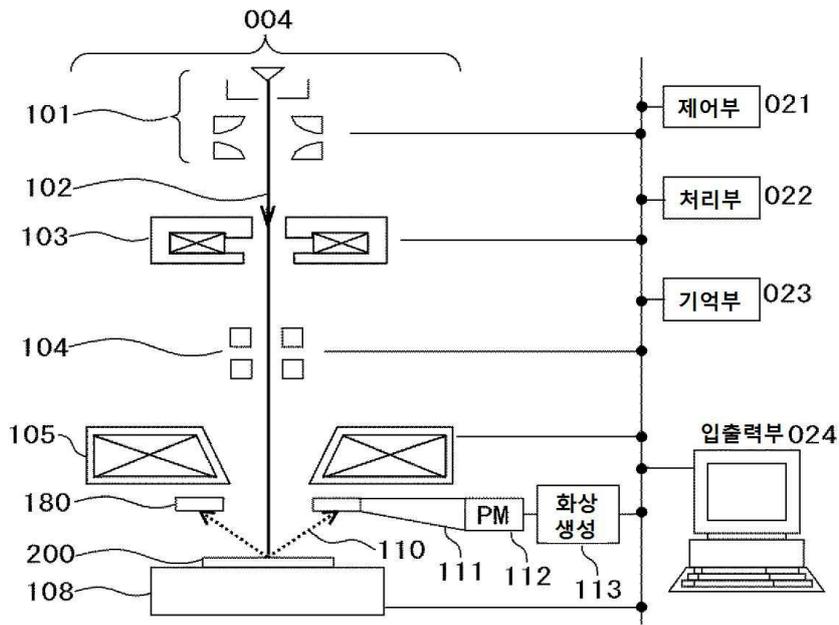
도면16c



도면17



도면18a



도면18b

