



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년11월10일
(11) 등록번호 10-2325235
(24) 등록일자 2021년11월05일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/153 (2006.01) H01J 37/147 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01J 37/153 (2013.01)
H01J 37/1472 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2019-7019547
- (22) 출원일자(국제) 2017년12월06일
심사청구일자 2020년11월30일
- (85) 번역문제출일자 2019년07월05일
- (65) 공개번호 10-2019-0085157
- (43) 공개일자 2019년07월17일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2017/064958
- (87) 국제공개번호 WO 2018/106833
국제공개일자 2018년06월14일
- (30) 우선권주장
15/371,557 2016년12월07일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
JP2002367552 A*
US20160329189 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
케이엘에이 코포레이션
미합중국, 캘리포니아 95035, 밀피타스, 원 테크
놀로지 드라이브
- (72) 발명자
지양 신훈
미국 캘리포니아주 94306 팔로 알토 사우스 코트
2651
시어스 크리스토퍼
미국 캘리포니아주 95133 산 호세 웨이브 플레이
스 1958
- (74) 대리인
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 44 항

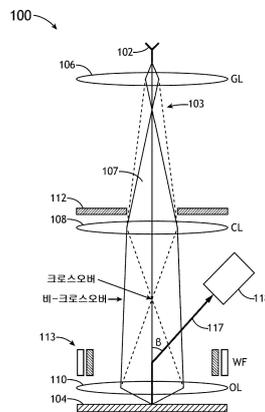
심사관 : 이민형

(54) 발명의 명칭 전자 빔 시스템에서의 수차 정정을 위한 방법 및 시스템

(57) 요약

전자 현미경검사(electron microscopy)를 수행하기 위한 전자-광학 시스템이 개시된다. 본 시스템은, 1차 전자 빔을 생성하도록 구성된 전자 빔 소스를 포함한다. 본 시스템은, 광축을 따라서 배치된 소스 렌즈, 집광 렌즈, 및 대물 렌즈를 포함한다. 본 시스템은, 광축을 따라서 배치된 제1 빈 필터(Wien filter) 및 광축을 따라서 배치된 제2 빈 필터를 포함한다. 제1 빈 필터 및 제2 빈 필터는 소스 렌즈와 대물 렌즈 사이에 배치된다. 제1 빈 필터는, 1차 빔 내의 색 수차를 정정하도록 구성된다. 본 시스템은, 샘플의 표면으로부터 방출되는 전자를 검출하도록 구성된 검출기 어셈블리도 포함한다.

대표도 - 도1a



(52) CPC특허분류
H01J 2237/1534 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

전자-광학 시스템에 있어서,

1차 전자 빔을 생성하도록 구성된 전자 빔 소스;

샘플을 고정시키도록 구성된 샘플 스테이지;

상기 1차 전자 빔의 적어도 일부를 상기 샘플의 일부 상에 지향시키도록 구성된 전자-광학 요소 세트 - 상기 전자-광학 요소 세트는,

광축을 따라서 배치된 소스 렌즈;

상기 광축을 따라서 배치된 집광 렌즈;

상기 광축을 따라서 배치된 대물 렌즈;

상기 광축을 따라서 배치된 제1 편향기 어셈블리; 및

상기 광축을 따라서 배치된 제2 편향기 어셈블리를 포함하고, 상기 제1 편향기 어셈블리 및 상기 제2 편향기 어셈블리는 상기 소스 렌즈와 상기 대물 렌즈 사이에 배치되고, 상기 제1 편향기 어셈블리는, 상기 1차 전자 빔 내의 색 수차를 정정하도록 구성되고, 상기 제1 편향기 어셈블리와 상기 제2 편향기 어셈블리 중 적어도 하나는 빈 필터(Wien filter)를 포함하며, 상기 제1 편향기 어셈블리의 극성 및 상기 제2 편향기 어셈블리의 극성 사이의 관계는 상기 1차 전자 빔의 프로파일에 의해 결정됨 - ; 및

상기 샘플의 표면으로부터 방출되는 전자를 검출하도록 구성된 검출기 어셈블리를 포함하는, 전자-광학 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제1 편향기 어셈블리 및 상기 제2 편향기 어셈블리는 상기 집광 렌즈와 상기 대물 렌즈 사이에 배치되는, 전자-광학 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 제1 편향기 어셈블리는 상기 소스 렌즈와 상기 집광 렌즈 사이에 배치되고, 상기 제2 편향기 어셈블리는 상기 집광 렌즈와 상기 대물 렌즈 사이에 배치되는, 전자-광학 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 제1 편향기 어셈블리는, 상기 전자-광학 요소 세트의 하나 이상의 부분에 의해 야기되는 상기 1차 전자 빔 내의 색 수차를 정정하도록 구성되는, 전자-광학 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 제2 편향기 어셈블리는, 상기 샘플로부터 방출되는 전자를 상기 검출기 어셈블리에 지향시키도록 구성되는, 전자-광학 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 제2 편향기 어셈블리는, 상기 샘플로부터 방출되는 2차 전자를 상기 검출기 어셈블리에 지향시키도록 구성되는, 전자-광학 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 1차 전자 빔은 텔레센트릭(telecentric) 전자 빔을 포함하는, 전자-광학 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 제1 편향기 어셈블리의 세기는 상기 제2 편향기 어셈블리의 세기와 같은, 전자-광학 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 제1 편향기 어셈블리의 극성은 상기 제2 편향기 어셈블리의 극성에 대해 반전된, 전자-광학 시스템.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 1차 전자 빔은 발산(divergent) 전자 빔을 포함하는, 전자-광학 시스템.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 제1 편향기 어셈블리의 세기는 상기 제2 편향기 어셈블리의 세기보다 더 큰, 전자-광학 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 제1 편향기 어셈블리의 극성은 상기 제2 편향기 어셈블리의 극성에 대해 반전된, 전자-광학 시스템.

청구항 13

제1항에 있어서, 상기 1차 전자 빔은 수렴(convergent) 전자 빔을 포함하는, 전자-광학 시스템.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 제1 편향기 어셈블리의 세기는 상기 제2 편향기 어셈블리의 세기보다 더 작은, 전자-광학 시스템.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 제1 편향기 어셈블리의 극성은 상기 제2 편향기 어셈블리의 극성에 대해 반전된, 전자-광학 시스템.

청구항 16

제1항에 있어서, 상기 1차 전자 빔은 크로스오버(cross-over) 전자 빔을 포함하는, 전자-광학 시스템.

청구항 17

제16항에 있어서, 상기 제1 편향기 어셈블리의 극성은 상기 제2 편향기 어셈블리의 극성과 동일한, 전자-광학 시스템.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 제1 편향기 어셈블리의 세기는 상기 제2 편향기 어셈블리의 세기와 같은, 전자-광학 시스템.

청구항 19

제17항에 있어서, 상기 제1 편향기 어셈블리의 세기는 상기 제2 편향기 어셈블리의 세기보다 더 큰, 전자-광학 시스템.

청구항 20

제17항에 있어서, 상기 제1 편향기 어셈블리의 세기는 상기 제2 편향기 어셈블리의 세기보다 더 작은, 전자-광학 시스템.

청구항 21

제1항에 있어서, 상기 전자 빔 소스는 하나 이상의 전자 건(electron gun)을 포함하는, 전자-광학 시스템.

청구항 22

제1항에 있어서, 상기 검출기 어셈블리는 하나 이상의 2차 전자 검출기를 포함하는, 전자-광학 시스템.

청구항 23

전자-광학 시스템에 있어서,

1차 전자 빔을 생성하도록 구성된 전자 빔 소스;

광축을 따라서 배치된 소스 렌즈;

상기 광축을 따라서 배치된 집광 렌즈;

상기 광축을 따라서 배치된 대물 렌즈;

상기 광축을 따라서 배치된 제1 빈 필터;

상기 광축을 따라서 배치된 제2 빈 필터 - 상기 제1 빈 필터 및 상기 제2 빈 필터는 상기 소스 렌즈와 상기 대물 렌즈 사이에 배치되고, 상기 제1 빈 필터는, 상기 1차 전자 빔 내의 색 수차를 정정하도록 구성되며, 상기 제1 빈 필터의 극성 및 상기 제2 빈 필터의 극성 사이의 관계는 상기 1차 전자 빔의 프로파일에 의해 결정됨 - ; 및

샘플의 표면으로부터 방출되는 전자를 검출하도록 구성된 검출기 어셈블리

를 포함하는, 전자-광학 시스템.

청구항 24

제23항에 있어서, 상기 제1 빈 필터 및 상기 제2 빈 필터는 상기 집광 렌즈와 상기 대물 렌즈 사이에 배치되는, 전자-광학 시스템.

청구항 25

제23항에 있어서, 상기 제1 빈 필터는 상기 소스 렌즈와 상기 집광 렌즈 사이에 배치되고, 상기 제2 빈 필터는 상기 집광 렌즈와 상기 대물 렌즈 사이에 배치되는, 전자-광학 시스템.

청구항 26

제23항에 있어서, 상기 제1 빈 필터는, 상기 소스 렌즈, 상기 집광 렌즈, 상기 대물 렌즈, 상기 제1 빈 필터, 및 상기 제2 빈 필터 중 하나 이상에 의해 야기되는 상기 1차 전자 빔 내의 색 수차를 정정하도록 구성되는, 전자-광학 시스템.

청구항 27

제23항에 있어서, 상기 제2 빈 필터는, 상기 샘플로부터 방출되는 2차 전자를 검출기 어셈블리에 지향시키도록 구성되는, 전자-광학 시스템.

청구항 28

제23항에 있어서, 상기 1차 전자 빔은 텔레센트릭 전자 빔을 포함하는, 전자-광학 시스템.

청구항 29

제28항에 있어서, 상기 제1 빈 필터의 세기는 상기 제2 빈 필터의 세기와 같은, 전자-광학 시스템.

청구항 30

제29항에 있어서, 상기 제1 빈 필터의 극성은 상기 제2 빈 필터의 극성에 대해 반전된, 전자-광학 시스템.

청구항 31

제23항에 있어서, 상기 1차 전자 빔은 발산 전자 빔을 포함하는, 전자-광학 시스템.

청구항 32

제31항에 있어서, 상기 제1 빈 필터의 세기는 상기 제2 빈 필터의 세기보다 더 큰, 전자-광학 시스템.

청구항 33

제32항에 있어서, 상기 제1 빈 필터의 극성은 상기 제2 빈 필터의 극성에 대해 반전된, 전자-광학 시스템

청구항 34

제23항에 있어서, 상기 1차 전자 빔은 수렴 전자 빔을 포함하는, 전자-광학 시스템

청구항 35

제34항에 있어서, 상기 제1 빈 필터의 세기는 상기 제2 빈 필터의 세기보다 더 작은, 전자-광학 시스템

청구항 36

제35항에 있어서, 상기 제1 빈 필터의 극성은 상기 제2 빈 필터의 극성에 대해 반전된, 전자-광학 시스템.

청구항 37

제23항에 있어서, 상기 1차 전자 빔은 크로스오버 전자 빔을 포함하는, 전자-광학 시스템.

청구항 38

제37항에 있어서, 상기 제1 빈 필터의 극성은 상기 제2 빈 필터의 극성과 동일한, 전자-광학 시스템.

청구항 39

제38항에 있어서, 상기 제1 빈 필터의 세기는 상기 제2 빈 필터의 세기와 같은, 전자-광학 시스템.

청구항 40

제38항에 있어서, 상기 제1 빈 필터의 세기는 상기 제2 빈 필터의 세기보다 더 큰, 전자-광학 시스템.

청구항 41

제38항에 있어서, 상기 제1 빈 필터의 세기는 상기 제2 빈 필터의 세기보다 더 작은, 전자-광학 시스템.

청구항 42

제23항에 있어서, 상기 전자 빔 소스는 하나 이상의 전자 건을 포함하는, 전자-광학 시스템.

청구항 43

제23항에 있어서, 상기 검출기 어셈블리는 하나 이상의 2차 전자 검출기를 포함하는, 전자-광학 시스템.

청구항 44

제23항에 있어서, 상기 전자-광학 시스템은 스캐닝 전자 현미경검사(SEM, scanning electron microscopy) 시스템인, 전자-광학 시스템.

청구항 45

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 일반적으로 스캐닝 전자 현미경검사에 관한 것이며, 특히 스캐닝 전자 현미경검사 시스템에서의 수차 정정에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 로직 디바이스 및 메모리 디바이스와 같은 반도체 디바이스의 제조는, 다수의 반도체 제조 공정을 사용해 반도체 웨이퍼와 같은 기판을 처리하여 반도체 디바이스의 다양한 피처(feature) 및 다수의 레벨(level)을 형성하는 것을 일반적으로 포함한다. 반도체 디바이스 크기가 점점 더 작아짐에 따라서, 강화된 검사 및 검토 디바이스와 절차를 개발하는 것은 중요해지고 있다.

[0003] 하나의 그러한 검사 기술은, 스캐닝 전자 현미경검사(SEM, scanning electron microscopy)와 같은, 전자 빔 기반 검사 시스템을 포함한다. 한 모드에서, SEM 시스템은, 샘플 전체에 걸쳐 1차 빔이 스캐닝될 때 샘플의 표면으로부터 방출되는 2차 전자의 수집 및 분석을 통해 샘플의 표면을 이미징할 수 있다. 일반적인 SEM 시스템은, 2차 전자를 2차 전자 검출기에 편향시키기 위한 목적으로 SEM의 전자-광학 컬럼 내에 위치지정되고 샘플 위에 위치한 빈 필터(Wien filter)를 포함한다.

[0004] 1차 빔으로부터 2차 전자를 분리하기 위한 빈 필터의 이용은 1차 빔 내에 색 수차를 야기할 수 있다. 따라서, 1차 빔 내의 색 수차에 대한 정정을 제공하고 위에서 식별된 이전의 접근법의 단점을 해결하는 시스템 및 방법을 제공하는 것이 이로운 것이다.

발명의 내용

[0005] 본 개시의 하나 이상의 실시예에 따라서, 스캐닝 전자 현미경검사(SEM) 장치가 개시된다. 한 실시예에서, 본 장치는, 1차 전자 빔을 생성하도록 구성된 전자 빔 소스를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 본 장치는, 샘플을 고정시키도록 구성된 샘플 스테이지를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 본 장치는, 1차 전자 빔의 적어도 일부를 샘플의 일부 상에 지향시키도록 구성된 전자-광학 요소 세트를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 전자-광학 요소 세트는, 광축을 따라서 배치된 소스 렌즈, 광축을 따라서 배치된 집광 렌즈, 및 광축을 따라서 배치된 대물 렌즈를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 전자-광학 요소 세트는, 광축을 따라서 배치된 제1 편향기 어셈블리, 및 광축을 따라서 배치된 제2 편향기 어셈블리를 포함하고, 제1 편향기 어셈블리 및 제2 편향기 어셈블리는 소스 렌즈와 대물 렌즈 사이에 배치되고, 제1 편향기 어셈블리는, 1차 빔 내의 색 수차를 정정하도록 구성된다. 또 다른 실시예에서, 본 장치는, 샘플의 표면으로부터 방출되는 전자를 검출하도록 구성된 검출기 어셈블리를 포함한다.

[0006] 한 실시예에서, 제1 편향기 어셈블리 및 제2 편향기 어셈블리는 빈 필터이다.

[0007] 또 다른 실시예에서, 제1 편향기 어셈블리 및 제2 편향기 어셈블리는 집광 렌즈와 대물 렌즈 사이에 배치된다.

[0008] 또 다른 실시예에서, 제1 편향기 어셈블리는 소스 렌즈와 집광 렌즈 사이에 배치되고, 제2 편향기 어셈블리는 집광 렌즈와 대물 렌즈 사이에 배치된다.

[0009] 전술한 일반적인 설명 및 다음의 상세한 설명 둘 다는 오직 예시 및 설명을 위한 것이며, 청구되는 바와 같은 본 발명을 필연적으로 제한하는 것은 아니라는 것이 이해되어야 한다. 본 명세서에서 통합되어 있고 본 명세서의 일부를 구성하는 첨부 도면은, 본 발명의 실시예를 도시하며, 일반적인 설명과 함께, 본 발명의 원리를 설명하는 역할을 한다.

도면의 간단한 설명

[0010] 다음의 첨부 도면을 참조함으로써 당업자에 의해 본 개시의 여러 장점이 더 잘 이해될 수 있다.

도 1a는, 본 개시의 하나 이상의 실시예에 따른, 스캐닝 전자 현미경검사 시스템을 도시한다.

도 1b 내지 도 1c는, 본 개시의 하나 이상의 실시예에 따른, 다수의 자기 편향기를 사용하는 전자-광학 시스템에서의 1차 빔으로부터의 2차 전자의 분리를 도시한다.

도 1d는, 본 개시의 하나 이상의 실시예에 따른, 전자 방출기의 경우의 전자 소스의 에너지 분산을 도시한다.

도 1e는, 본 개시의 하나 이상의 실시예에 따른, 전자 광학 컬럼 내의 빈 필터로부터 초래되는 전자 에너지 분

산을 도시한다.

도 1f는, 본 개시의 하나 이상의 실시예에 따른, 빈 필터에 의한 에너지 분산에 의해 야기된 스캐닝 전자 현미경검사 시스템 내의 색 수차 블러(chromatic aberration blur)를 도시한다.

도 1g 및 도 1h는, 본 개시의 하나 이상의 실시예에 따른, 빈 필터에 의해 야기된 전자 빔 내의 색 수차의 시물레이션을 도시한다.

도 2a는, 본 개시의 하나 이상의 실시예에 따른, SEM 이미징을 수행하기 위해 배열된 전자-광학 시스템을 도시한다.

도 2b는, 본 개시의 하나 이상의 실시예에 따른, 발산(divergent) 빔 프로파일의 경우의 전자-광학 시스템의 동작을 도시한다.

도 2c는, 본 개시의 하나 이상의 실시예에 따른, 텔레센트릭(telecentric) 빔 프로파일의 경우의 전자-광학 시스템의 동작을 도시한다.

도 2d는, 본 개시의 하나 이상의 실시예에 따른, 수렴(convergent) 빔 프로파일의 경우의 전자-광학 시스템의 동작을 도시한다.

도 2e는, 본 개시의 하나 이상의 실시예에 따른, 크로스오버(cross-over) 빔 프로파일의 경우의 전자-광학 시스템의 동작을 도시한다.

도 2f는, 본 개시의 하나 이상의 대안적 실시예에 따른, SEM 이미징을 수행하기 위해 배열된 전자-광학 시스템을 도시한다.

도 3은, 본 개시의 하나 이상의 실시예에 따른, 하나 이상의 빈 필터에 의해 야기된 색 수차의 정정 이후의 전자 분산의 시물레이션을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 이제, 개시되는 주제가 상세히 언급되며, 이는 첨부 도면에 도시되어 있다. 도 1a 내지 도 3을 개괄적으로 참조하면, 본 개시에 따라서 스캐닝 전자 현미경검사(SEM) 이미징을 수행하기 위한 시스템 및 방법이 설명되어 있다.
- [0012] 본 개시의 실시예는, 전자-광학 시스템의 전자 빔 내의 색 수차를 정정하는 데 적합한 이중 편향기 어셈블리를 갖는 전자-광학 시스템에 관한 것이다. 이와 관련하여, 전자-광학 시스템의 전자-광학 컬럼 내에 배치된 제1 및 제2 빈 필터는 동시에 1차 전자 빔 내의 색 수차(즉, 전자 에너지 분산 수차)를 상쇄/정정하고 2차 전자 검출기에 의한 수집을 위해 2차 전자 빔/구름을 1차 전자 빔으로부터 분리할 수 있다.
- [0013] 도 1a는, 반도체 웨이퍼와 같은, 샘플(104)의 스캐닝 전자 현미경검사/검사/검토를 위해 사용되는 전자-광학 시스템(100)의 단순화된 개략도를 도시한다. 그러한 시스템은 전자 방출 소스(102)(예컨대, 방출 팁) 및 전자-빔 광학 컬럼을 포함할 수 있다. 전자 방출 소스(102)는, 소스 밝기(B) 및 소스 에너지 분산(ΔE)에 의해 특징지어질 수 있다. 소스에서 방출되는 전자는, 전자 빔 광학 컬럼 내의 렌즈에 의해 샘플(104)에서 이미지 형성될 수 있다. 완전한 전자 빔 광학 컬럼은 적어도 2개의 렌즈, 즉, 건 렌즈(GL, gun lens)(106) 및 대물 렌즈(OL, objective lens)(110)를 포함할 수 있다. 시스템은 하나 이상의 집광 렌즈(CL, condenser lens)(108)도 포함할 수 있다. 다양한 용도를 위해 빔 전류를 선택하기 위하여 개구(112)가 구현되는 경우, 도 1a에 도시된 바와 같이, 하나 이상의 집광 렌즈가 이용된다. 이러한 경우, 개구(112)는 건 렌즈(106)와 집광 렌즈(108) 사이에 위치될 수 있다. 건 렌즈 세기는, 개구를 통해 다양한 빔 전류를 선택하기 위해 변화될 수 있으며, 집광 렌즈 세기는, 샘플(104)에서의 최적의 개구수(NA, numerical aperture) 선택하기 위해 변화될 수 있다. 다양한 용도를 위해 빔 전류를 선택하기 위하여 다수의 개구가 이용되는 경우, 건 렌즈(106) 및 대물 렌즈(110)만 샘플에서 고품질 이미지를 형성하도록 요구되며, 그 이유는 다수의 개구 크기가 이미 최적의 NA를 선택하도록 설계되어 있을 수 있기 때문이다. 또한, 1차 전자 빔(103)은, 건 렌즈(106)와 집광 렌즈(108) 사이의 빔 프로파일이 크로스오버 모드 또는 비-크로스오버 모드 중 어느 하나에 있도록 구성될 수 있다.
- [0014] SEM, 검토, 및/또는 검사의 목적을 위한 샘플(104)의 이미지를 형성하기 위해서는 일반적으로 1차 전자 빔(103)으로부터 2차 전자 빔(117)을 분리해야 한다. 그렇게 하기 위하여 EXB 빈 필터(WF) 또는 자기 편향기(MD, magnetic deflector)가 일반적으로 응용된다.

[0015] 전자 사이의 쿨롱 상호작용의 영향을 제한하기 위해 전체적인 컬럼 길이가 감소될 수 있도록, 도 1a에 도시된 WF는 대물 렌즈(110)에 가깝게 배치될 수 있다. 빈 필터에 의해 β 의 각도로 편향되는 2차 전자(117)를 수집하기 위해 측면 검출기(118)가 배치될 수 있다. SEM, 검토투, 및/또는 검사를 위한 이미지는, 수집된 2차 전자 신호를 통해 형성될 수 있다.

[0016] 도 1b 및 도 1c는 각각, 1차 빔(103)으로부터 2차 전자(117)를 분리하기 위한 2개 및 3개의 자기 편향기(MD1, MD2, 및 MD3)의 사용을 나타낸다. 도 1b의 경우에 도시된 바와 같이, 광축은 상부 스트림으로부터 하부 스트림 광학 컬럼으로 시프트될 수 있다. 도 1c에 도시된 바와 같이, 전자-광학 컬럼은 직선으로 유지될 수 있다. 자기장 내에서 로렌츠 힘의 방향은 전자의 움직임의 방향에 의존한다고 공지되어 있고, 따라서 도 1b 내지 도 1c의 자기 편향기 중 하나에 의해 2차 전자가 1차 전자로부터 분리되며, 그 이유는 이들의 움직임의 방향이 반대이기 때문이다. 각도 α_1 , α_2 , 및 α_3 은, 자기 편향기(MD1, MD2, 및 MD3)와 연관된 편향 각도를 각각 나타낸다는 점에 유의해야 한다. 자기 편향기를 사용해 2차 전자 빔으로부터 1차 빔을 분리하는 것은, 예를 들어, 1999년 4월 15일에 출원되고 Pavel Adamec에게 허여된 미국 특허 제6,452,175호에 설명되어 있으며, 이 미국 특허는 그 전체가 본 명세서에 참조로서 통합된다.

[0017] (정정 없이) 1차 빔으로부터 2차 전자 빔을 분리하기 위한 목적의 빈 필터의 존재는, SEM 시스템 내에서 다수의 문제를 야기할 수 있다는 점에 유의해야 한다.

[0018] 첫 번째로, 빈 필터는 전자 분산을 야기할 수 있다. 전자 소스(102)(예컨대, 열-장 방출 소스(Thermal-Field Emission source))는 밝기 및 에너지 분산에 의해 특징지어질 수 있다. 도 1d에 도시된 바와 같은, 소스 에너지 분산(ΔE)은, 색 수차의 발생 및 분해능 저하의 근본 원인이다. 색 수차는 렌즈 색 수차, 빈 필터 색 수차, 및 편향 색 수차(즉, 전달 색 수차)로 나뉠 수 있다. 렌즈 및 빈 필터 색 수차는 축방향 분해능에 영향을 미치며, 전달 색 수차는 시계(FOV, field of view) 전체에 걸친 이미지 균일성을 저하시킨다.

[0019] 전자 에너지 분산은 1차적으로 빈 필터 내에서의 전기장과 자기장의 상이한 편향으로 인해 발생된다. 도 1d에 도시된 바와 같이, 빈 필터는 오직 중심 에너지(즉, 빔 에너지(BE, beam energy))만 균형을 이룰 수 있다. $V_{BE} - \Delta E/2$ 에서부터 $V_{BE} + \Delta E/2$ 까지의 에너지 변화를 갖는 전자의 경우, 도 1e에 도시된 바와 같이, 빈 필터는 에너지 분산 각도 γ 를 발생시킨다. 분산 각도는 다음에 의해 주어진다.

[0020]
$$\gamma \propto \frac{E}{V_{BE}^2} * \Delta E$$
 (수학식 1)

[0021] 여기서 E는 빈 필터 전기장 세기이며, 중심 빔 에너지 V_{BE} 를 갖는 전자에 대한 자속 세기 B에 의해 균형을 이룬다. 자속 밀도 B는 다음에 의해 주어진다.

[0022]
$$B \propto E * \sqrt{\frac{m}{eV_{BE}}}$$
 (수학식 2)

[0023] 여기서 m은 전자의 질량이고 e는 전자의 전하이다. 빈 필터 에너지 분산 각도 γ 는, 균형을 이루는 방향으로만 발생하며, 즉, 도 1d에 도시된 전기장 E의 방향으로만 발생한다. 수직 방향에서, 즉, 자속 B의 방향에서, 빈 필터 에너지 분산 각도는 0이다.

[0024] 두 번째로, 빈 필터는 전자-광학 시스템의 1차 빔 내에 색 수차를 야기할 수 있다. 도 1f에 도시된 바와 같이, 빈 필터에서의 에너지 분산 각도 γ 는 샘플에서의 색 수차 블러(d_{WC})와 증가될 수 있다. 도 1f에 도시된 바와 같이, 대물 렌즈(110) 이미징 관계는 객체 거리 P 및 이미지 거리 Q에 의해 주어지는 것으로 가정된다. 빈 필터는 대물 렌즈(110)로부터 P'의 거리만큼 떨어져서 배치될 수 있다. 거리 P'은 거리 P와는 상이하므로, 에너지 분산된 전자는 대물 렌즈에 의해 디포커싱된다. 디포커싱 블러(도 1f에서의 d_{WC})는, 따라서, 빈 필터 에너지 분산에 의해 유도된 색 블러(chromatic blur)이다.

[0025] 빈 필터 유도 색 수차 블러(Wien-filter-induced chromatic aberration blur)는 다음과 같이 표현될 수 있다.

[0026]
$$d_{WC} \propto \sqrt{\frac{V_{BE}}{V_{LE}}} * C_c \gamma$$
 (수학식 3)

[0027] 여기서 V_{LE} 는 샘플에서의 전자 도달 에너지 전압이고, C_c 는 색 수차 계수이며 다음에 의해 주어진다.

[0028]
$$C_c = P'Q \left(\frac{1}{P'} - \frac{1}{P} \right)$$
 (수학식 4)

[0029] 수학식 4에 따라서, $P \rightarrow P'$ 일 때 $C_c \rightarrow 0$ 이거나 $P \rightarrow \infty$ 일 때 $C_c \rightarrow Q$ 인 점에 유의해야 한다. 1차 전자 빔은 빈 필터에 의해 균형을 이루며, 2차 전자 빔은 측면 편향기(118)를 향해 β 의 각도로 편향된다. 이에 따라서 빈 필터 세기(EXB)가 올바르게 설정된다. 샘플에서의 빈 필터 색 블러는 대안적으로 다음과 같이 표현될 수 있다.

[0030]
$$d_{WC} \propto \frac{\Delta E}{E_{eff}} * C_c \beta$$
 (수학식 5)

[0031] 여기서 E_{eff} 는 유효 빔 에너지이며 다음에 의해 주어진다.

[0032]
$$E_{eff} = \sqrt{V_{BE} V_{LE}} \left(\frac{V_{BE}}{V_{BE} - V_{LE}} + \sqrt{\frac{V_{BE}}{V_{BE} - V_{LE}}} \right)$$
 (수학식 6)

[0033] 수학식 5 및 수학식 6은, 빈 필터 유도 색 수차는 소스 에너지 분산(ΔE), 빈 필터 위치(P'), 빔 에너지(V_{BE}), 도달 에너지(V_{LE}), 및 검출기 위치 각도(β)의 함수라는 것을 나타낸다.

[0034] 도 1g 및 도 1h는, 본 개시의 하나 이상의 실시예에 따른, 빈 필터에 의해 야기된 전자 빔 내의 색 수차를 나타내는 시뮬레이션을 도시한다. 도 1g 및 도 1h에 도시된 시뮬레이션은, 도 1a에 도시된 바와 같은, 전자-광학 시스템에서의 빈 필터 유도 색 수차의 몬테 카를로(Monte Carlo) 시뮬레이션을 포함한다는 점에 유의해야 한다. 도 1g는, 도 1a에서 빈 필터(WF)가 오프(OFF)일 때 샘플(104)에서의 X 및 Y 방향을 따른 1차 전자 빔(103)의 이미지 형성된 전자 분포를 도시한다. 도 1h는, 2차 전자 빔(117)을 β 의 각도로 검출기(118)에 편향시키기에 충분할 정도로 빈 필터가 턴온(turn ON)되었을 때 샘플(104)에서의 X 및 Y 방향을 따른 전자 분포를 도시한다. 도 1h의 시뮬레이션에서, 빈 필터 균형은 X 방향으로 나타난다. 시뮬레이션의 결과로부터 나타난 바와 같이, X 방향에서 심한 전자 분산이 관찰된다. 빈 필터(113)로부터의 장의 영향을 받지 않는 Y 방향에서, 전자는 분산되지 않은 채로 남는다.

[0035] 다수의 자기 편향기의 사용은, 1차 전자 빔 내에서의 과도하게 큰 편향을 야기할 수 있다는 것에도 유의해야 한다. 도 1b 및 도 1c에서의 자기 편향기로부터의 편향 각도는 다음과 같이 표현될 수 있다.

[0036]
$$\alpha \propto \frac{B}{V_{BE}^{1/2}}$$
 (수학식 7)

[0037] 여기서 B는 자기 편향기의 자속 밀도이고, V_{BE} 는 빔 에너지 전압이다. 자기 편향기의 에너지 분산 각도는 따라서 다음과 같이 주어진다.

[0038]
$$\Delta \alpha = -\frac{\Delta E}{2V_{BE}} * \alpha$$
 (수학식 8)

[0039] 도 1b 및 도 1c에서의 다중 자기 편향기 시스템의 전체적인 에너지 분산 각도($\Delta \alpha_{tot}$)의 합이 0이 되도록 하기 위해서는, 자기 편향기의 전체적인 순수 편향이 0이 되어야 하며, 이는 다음과 같이 표현된다.

[0040]
$$\Delta \alpha_{tot} = \sum_{i=1}^n \Delta \alpha_i = -\frac{\Delta E}{2V_{BE}} \sum_{i=1}^n \alpha_i = 0 \text{ if -only- if } \sum_{i=1}^n \alpha_i = 0$$
 (수학식 9)

[0041] 여기서 n은 도 1b 및 도 1c의 시스템 내의 자기 편향기의 수(예컨대, 도 1b에서 n=2이고 도 1c에서 n=3)이다.

[0042] 자기 편향기의 사용은 여러 단점으로부터 문제를 겪는다. 예컨대, 자기 편향기의 사용은 전자-광학 시스템의 1차 전자 빔의 과도한 편향을 요구할 수 있다. 예를 들어, 실용적인 설계의 수가 제한되어, 측면 검출기(118)는, 2차 전자(117)가 큰 각도 β 만큼 편향되어야 하도록 배치될 수 있고, 이는, 1차 전자 빔이 과도하게 큰 각도 α (예컨대, 도 1b에서의 α_2 또는 도 1c에서의 α_3)만큼 편향되도록 요구된다는 것을 의미한다. 편향 각도 α_n (예

컨대, 최종 편향 각도)이 크도록 요구된다면, 나머지 편향 각도 $\alpha_i(i=1, 2, \dots, n-1)$ 또한 커야 한다. 과도하게 큰 편향 각도는, 큰 축의 수차(off-axis aberration)(예컨대, 코마(coma), 비점수차(astigmatism), 및 상면만곡(field curvature)) 및 왜곡을 야기하여, 이들 축의 효과에 대한 추가적인 정정을 요구한다.

- [0043] 자기 편향기의 사용은 큰 세기의 자기 편향기를 요구할 수 있다. 빈 필터 시스템에서, 도 1a에서의 2차 전자 편향 각도 β 는 정전기 편향과 자기 편향의 합이다. 그러므로, 두 편향기 세기 모두는, 도 1b 내지 도 1c에서의 자기로만 이루어진 편향 세기에 비해 훨씬 더 낮을 수 있다. 자기 편향기 내의 큰 세기는 심한 열 문제 및 불안정 문제를 야기할 수 있다.
- [0044] 또한, 상부 스트림 광학 컬럼으로부터 하부 스트림 광학 컬럼으로의 물리적인 시프트가 존재하는 경우(예컨대, 도 1b), 2차 전자 빔(117)의 과도하게 큰 편향이 요구될 뿐만 아니라, 광학적 정렬 문제를 회피할 수 없다는 점에도 유의해야 한다.
- [0045] 도 2a는, 본 개시의 하나 이상의 실시예에 따른, SEM 이미징, 검토, 및/또는 검사를 수행하기 위해 배열된 시스템(200)을 도시한다. 전자-광학 시스템은, 2016년 5월 6일에 출원된 미국 특허 공보 제2016/0329189호에 설명되어 있으며, 이 미국 특허 공보는 그 전체가 본 명세서에 참조로서 통합된다.
- [0046] 한 실시예에서, 시스템(200)은, 하나 이상의 전자 빔(203)을 생성하기 위한 전자 빔 소스(202)를 포함한다. 전자 빔 소스(202)는, 당업계에 공지된 임의의 전자 소스를 포함할 수 있다. 예컨대, 전자 빔 소스(202)는 하나 이상의 전자 건(electron gun)(예컨대, 방출기(emitter)/방출 팁(emission tip))을 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 예를 들어, 전자 빔 소스(202)는 단일 전자 빔(203)을 생성하기 위한 단일 전자 건을 포함할 수 있다. 또 다른 예에서, 전자 빔 소스(202)는 다수의 전자 빔(203)을 생성하기 위한 다수의 전자 건을 포함할 수 있다. 또 다른 예에서, 전자 빔 소스(202)는 단일 전자 건, 및 단일 전자 빔을 다수의 전자 빔(203)으로 분리하기 위한 다수의 개구를 포함하는 개구 플레이트를 포함할 수 있다. 다중 빔 전자-광학 시스템은, 2016년 9월 16일에 출원된 미국 특허 출원 제15/267,223호에 설명되어 있으며, 이 미국 특허 출원은 그 전체가 본 명세서에 참조로서 통합된다.
- [0047] 또 다른 실시예에서, 시스템(200)은 샘플 스테이지(216)를 포함한다. 샘플 스테이지(216)는 샘플(214)을 고정시킨다. 샘플(214)은, 기관과 같이, 전자 빔 현미경검사를 이용한 검사/검토에 적합한 임의의 샘플을 포함할 수 있지만, 이에 제한되지는 않는다. 기관은 실리콘 웨이퍼를 포함할 수 있지만, 이에 제한되지는 않는다. 또 다른 실시예에서, 샘플 스테이지(216)는 작동가능한 스테이지이다. 예컨대, 샘플 스테이지(216)는, 선택적으로 하나 이상의 선형 방향(예컨대, x 방향, y 방향, 및/또는 z 방향)을 따라서 샘플(214)을 병진이동시키는 데 적합한 하나 이상의 병진이동 스테이지를 포함할 수 있지만, 이에 제한되지는 않는다. 또 다른 예로서, 샘플 스테이지(216)는, 선택적으로 회전 방향을 따라서 샘플(214)을 회전시키는 데 적합한 하나 이상의 회전 스테이지를 포함할 수 있지만, 이에 제한되지는 않는다. 또 다른 예로서, 샘플 스테이지(216)는, 선택적으로 선형 방향을 따라서 샘플을 병진이동시키고 그리고/또는 회전 방향을 따라서 샘플(214)을 회전시키는 데 적합한 회전 스테이지 및 병진이동 스테이지를 포함할 수 있지만, 이에 제한되지는 않는다. 본 명세서에서, 시스템(200)은, 당업계에 공지된 스캐닝 모드에서 동작할 수 있다는 점에 유의해야 한다. 예컨대, 샘플(214)의 표면 전체에 걸쳐 1차 전자 빔(203)을 스캐닝할 때, 시스템(200)은 스와칭(swathing) 모드에서 동작할 수 있다. 이와 관련하여, 스캐닝 방향은 공칭적으로 샘플 움직임의 방향에 수직인 상태로 샘플이 이동하는 동안, 시스템(200)은 샘플(214) 전체에 걸쳐 1차 전자 빔(203)을 스캐닝할 수 있다. 또 다른 예로서, 샘플(214)의 표면 전체에 걸쳐 1차 전자 빔(203)을 스캐닝할 때, 시스템(200)은 스텝 앤드 스캔(step-and-scan) 모드에서 동작할 수 있다. 이와 관련하여, 시스템(200)은 샘플(214) 전체에 걸쳐 1차 전자 빔(203)을 스캐닝할 수 있으며, 빔(203)이 스캐닝될 때 샘플은 공칭적으로 정지되어 있다.
- [0048] 또 다른 실시예에서, 시스템(200)은 검출기 어셈블리(218)를 포함한다. 예컨대, 검출기 어셈블리(218)는 2차 전자 검출기일 수 있다. 검출기 어셈블리(218)는, 당업계에 공지된 임의의 유형의 전자 검출기를 포함할 수 있다는 점에 유의해야 한다. 한 실시예에서, 검출기 어셈블리(218)는, 에버하트-톤리(Everhart-Thornley) 검출기와 같이, 샘플(214)로부터의 2차 전자를 수집하기 위한 신타레이터(scintillator) 기반 검출기를 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 또 다른 실시예에서, 검출기 어셈블리(218)는, 샘플(214)로부터의 2차 전자를 수집하기 위한 마이크로 채널 플레이트(MCP, micro-channel plate)를 포함할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 검출기 어셈블리(218)는, 샘플(214)로부터의 2차 전자를 수집하기 위한, 다이오드 또는 다이오드 어레이와 같은, PIN 또는 p-n 접합 검출기를 포함할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 검출기 어셈블리(218)는, 샘플(214)로부터의 2차 전자를 수집하기 위한 하나 이상의 애벌런치 포토 다이오드(APD, avalanche photo diode)를 포함할 수

있다.

- [0049] 또 다른 실시예에서, 시스템(200)은 전자-광학 요소 세트(205)를 포함할 수 있다. 전자-광학 요소 세트(205)는, 도 2a에 도시된 바와 같은 광축(207)(예컨대, z축)에 의해 규정되는 전자-광학 컬럼을 형성할 수 있다. 간략화를 위해, 도 2a에는 단일 전자-광학 컬럼이 도시되어 있다. 본 명세서에서 이러한 구성은 본 개시의 범위에 대한 제한으로서 해석되어서는 안 된다는 점에 유의해야 한다. 예컨대, 시스템(200)은 다수의 전자-광학 컬럼을 포함할 수 있다.
- [0050] 전자-광학 요소 세트(205)는 1차 전자 빔(203)의 적어도 일부를 샘플(214)의 선택된 부분 상에 지향시킬 수 있다. 전자-광학 요소 세트는, 1차 전자 빔(203)을 샘플(214)의 선택된 부분 상에 포커싱 및/또는 지향시키는 데 적합한, 당업계에 공지된 임의의 전자-광학 요소를 포함할 수 있다.
- [0051] 전자-광학 요소 세트(205)는 하나 이상의 전자-광학 렌즈를 포함할 수 있다. 한 실시예에서, 전자-광학 요소 세트(205)는, 광축(207)을 따라서 배치된 소스 렌즈(206), 또는 건 렌즈(GL)를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 전자-광학 요소 세트(205)는, 광축(207)을 따라서 배치된 집광 렌즈(CL)(208)를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 전자-광학 요소 세트(205)는, 광축(207)을 따라서 배치된 대물 렌즈(OL)(210)를 포함한다.
- [0052] 또 다른 실시예에서, 시스템(200)은 개구(212)를 포함한다. 개구는, 다양한 용도를 위해 시스템(200)의 빔 전류를 선택하기 위해 사용될 수 있다. 이 실시예에서, 개구(212)는 건 렌즈(206)와 집광 렌즈(208) 사이에 위치될 수 있다. 개구(212)를 통해 다양한 빔 전류를 선택하기 위해 건 렌즈(206)의 세기가 변화될 수 있으며, 적절한 품질 및 분해능을 갖는 이미지를 형성하기 위하여 샘플에서의 최적의 개구수(NA)를 선택하기 위해 집광 렌즈(208)의 세기가 변화될 수 있다. 시스템(200)의 빔 전류를 선택하기 위해 다수의 개구가 사용되는 경우, 건 렌즈(206) 및 대물 렌즈(210)만 샘플(214)에서 이미지를 형성하도록 요구되며, 그 이유는, 다수의 개구 크기는 이미 최적의 NA를 선택하도록 설계되어 있을 수 있기 때문이다.
- [0053] 시스템(200)은 제1 편향기 어셈블리(213) 및 제2 편향기 어셈블리(215)를 포함할 수 있다. 예컨대, 제1 편향기 어셈블리(213) 및 제2 편향기 어셈블리(215)는 각각 빈 필터일 수 있다. 본 개시의 목적을 위해, 제1 편향기 어셈블리(213)는 제1 빈 필터(213)(WF1)로서 지칭될 것이며 제2 편향기 어셈블리(215)는 제2 빈 필터(215)(WF2)로서 지칭될 것이다.
- [0054] 한 실시예에서, 제1 빈 필터(213)는, 1차 빔(203) 내의 색 수차를 정정하도록 구성된다. 예컨대, 제1 빈 필터(213)는, 제1 빈 필터(213) 및/또는 제2 빈 필터(215)에 의해 야기되는 1차 빔(203) 내의 색 수차를 정정할 수 있다. 이러한 정정을 위한 조건은 아래에서 더 상세하게 논의된다.
- [0055] 또 다른 실시예에서, 제2 빈 필터(215)는, (1차 빔(203)에 응답하여) 샘플(214)에 의해 방출되는 2차 전자(SE, secondary electron)를 검출기 어셈블리(218)에 지향시키도록 구성된다. 이와 관련하여, 시스템(200)은 1차 전자 빔(203) 내의 색 수차를 정정할 수 있으며, 동시에, 검출기 어셈블리(218)에 의한 수집을 위해 1차 전자의 빔(203)으로부터 2차 전자(217)를 분리할 수 있다.
- [0056] 제1 빈 필터(213) 및 제2 빈 필터(215)는 광축(207)을 따라서 임의의 위치에 배치될 수 있으며 시스템(200)의 빈 필터 색 수차의 전체적인 상쇄를 달성할 수 있다는 점에 유의해야 한다. 예컨대, 제1 빈 필터(213) 및 제2 빈 필터(215) 둘 다는 건 렌즈(206)와 대물 렌즈(210) 사이에 배치될 수 있다.
- [0057] 도 2a에 도시된 바와 같이, 한 실시예에서, 제1 빈 필터(213) 및 제2 빈 필터(215) 둘 다는 집광 렌즈(208)와 대물 렌즈(210) 사이에 배치된다. 이 실시예에서, 수집을 위해 2차 전자(217)를 편향기 어셈블리(218)를 향해 편향시키도록, 제2 빈 필터(215)는 대물 렌즈(210)에 인접하게 배치될 수 있다. 제1 빈 필터(213)는 집광 렌즈(208) 아래에 배치될 수 있으며, 제1 빈 필터(213) 및 제2 빈 필터(215)에 의해 야기되는 1차 빔(203) 내의 전체적인 색 수차를 정정하기 위해 사용된다.
- [0058] 도 2a에 도시된 바와 같이, 1차 빔(203)은 크로스오버 빔 프로파일(점선) 또는 비-크로스오버 빔 프로파일(실선)을 취할 수 있다. 이와 관련하여, 1차 빔(203)은 텔레센트릭 또는 비-텔레센트릭(예컨대, 발산 또는 수렴) 빔일 수 있다.
- [0059] 도 2b 내지 도 2e는, 본 개시의 하나 이상의 실시예에 따른, 다양한 빔 구성에서의 시스템(200)의 동작을 도시한다.
- [0060] 제2 빈 필터(215)는 각도 β 로 2차 전자(217)를 검출기 어셈블리(218)에 편향시키는 것으로 가정된다는 점에 유의해야 한다(그러나 도 2b 내지 도 2e에는 도시되어 있지 않음). 제1 빈 필터(213)는, 샘플(214)에서 제1 빈 필

터(213) 및/또는 제2 빈 필터(215)로부터의 전체적인 빈 필터 유도 색 수차를 정정하는 역할을 한다. 색 수차를 상쇄하기 위한 조건은 다음과 같이 주어진다.

[0061] $C_{c1}\gamma_1 + C_{c2}\gamma_2 = 0$ (수학식 10a)

[0062] 또는

[0063] $\gamma_1 = -\frac{C_{c2}}{C_{c1}}\gamma_2$ (수학식 10b)

[0064] 여기서,

[0065] $C_{c1} = P_1 Q \left(\frac{1}{P_1} - \frac{1}{P} \right)$ (수학식 11)

[0066] $C_{c2} = P_2 Q \left(\frac{1}{P_2} - \frac{1}{P} \right)$ (수학식 12)

[0067] 수학식 10a 및 수학식 10b에서의 색 수차의 상쇄 조건은 도 2b 내지 도 2e에 도시되어 있으며, 여기서 제1 빈 필터(213) 내에서의 분산 각도 γ_1 로 미리 분산된 전자 빔(203)은, 제2 빈 필터(215) 내에서의 분산 각도 γ_2 를 보상하기 위해 이동되어, 이 전자 빔이, 대물 렌즈(210)의 객체로부터 방출될 전자 빔과 등가이도록 한다.

[0068] 제1 빈 필터(213)(E1/B1) 및 제2 빈 필터(215)(E2/B2)의 세기는, 분산 각도 γ_1 및 γ_2 를 사용해 (본 명세서에서 전술한) 수학식 1 및 수학식 2에 의해 제공될 수 있다는 점에 유의해야 한다. E2/B2는 2차 전자 편향 각도 β 를 충족시킴으로써 먼저 제공될 수 있으며, 이후 제2 편향 각도(γ_2) 및 제1 편향 각도(γ_1)가 정의될 수 있다.

[0069] 수학식 10a 및 수학식 10b에 언급된 상쇄 절차는 보편적이며, 도 2a에 도시된 바와 같이, 집광 렌즈(208)와 대물 렌즈(210) 사이에서 i) 크로스오버 프로파일, 또는 ii) 발산, 텔레센트릭, 또는 수렴 빔과 같은, 비-크로스오버 프로파일 중 어느 하나를 갖는 전자 빔으로 확장될 수 있다는 점에 유의해야 한다.

[0070] 도 2b는, 본 개시의 하나 이상의 실시예에 따른, 발산 빔 프로파일의 경우의 시스템(200)의 동작을 도시한다. 이 실시예에서, 발산 빔(203)이 대물 렌즈(210)를 조명한다. 여기서, $P > P'_1 > P'_2$ 이면, 수학식 10a, 수학식 10b, 수학식 11, 및 수학식 12에서 $C_{c2} > C_{c1} > 0$ 이다. 이러한 경우, 제1 빈 필터(213) 및/또는 제2 빈 필터(215)에 의해 발생된 색 블러를 완전히 정정하기 위해서는, 제1 빈 필터(213)의 세기가 제2 빈 필터(215)의 세기보다 더 커야 하고, 제1 빈 필터(213)의 극성이 제2 빈 필터(215)의 극성에 대해 반전되어야 한다.

[0071] 도 2c는, 본 개시의 하나 이상의 실시예에 따른, 텔레센트릭 빔 프로파일의 경우의 시스템(200)의 동작을 도시한다. 이 실시예에서, 텔레센트릭 빔(203)이 대물 렌즈(210)를 조명한다. 여기서, $P \rightarrow \infty$ 라면, 수학식 10a, 수학식 10b, 수학식 11, 및 수학식 12에서 $C_{c2} = C_{c1} = Q > 0$ 이다. 이러한 경우, 제1 빈 필터(213) 및/또는 제2 빈 필터(215)에 의해 발생된 색 블러를 완전히 정정하기 위해, 제1 빈 필터(213)의 극성이 제2 빈 필터(215)의 극성에 대해 반전된 상태로 제1 빈 필터(213)의 세기가 제2 빈 필터(215)의 세기와 같을 수 있다.

[0072] 도 2d는, 본 개시의 하나 이상의 실시예에 따른, 수렴 빔 프로파일의 경우의 시스템(200)의 동작을 도시한다. 이 실시예에서, 수렴 빔(203)이 대물 렌즈(210)를 조명한다. 여기서, $P'_1 > P'_2$ 이고 $P < 0$ 이라면, 수학식 10a, 수학식 10b, 수학식 11, 및 수학식 12에서 $C_{c1} > C_{c2} > 0$ 이다. 이러한 경우, 제1 빈 필터(213) 및/또는 제2 빈 필터(215)에 의해 발생된 색 블러를 완전히 정정하기 위해서는, 제1 빈 필터(213)의 세기가 제2 빈 필터(215)의 세기보다 더 작아야 하고 제1 빈 필터(213)의 극성이 제2 빈 필터(215)의 극성에 대해 반전되어 있어야 한다.

[0073] 도 2e는, 본 개시의 하나 이상의 실시예에 따른, 크로스오버 빔 프로파일의 경우의 시스템(200)의 동작을 도시한다. 이 실시예에서, 크로스오버 빔(203)이 대물 렌즈(210)를 조명한다. 여기서, $P'_1 > P > P'_2$ 라면, 수학식 10a, 수학식 10b, 수학식 11, 및 수학식 12에서 $C_{c1} < 0$ 이고 $C_{c2} > 0$ 이다. 이러한 경우, 제1 빈 필터(213) 및/또는 제2 빈 필터(215)에 의해 발생된 색 블러를 완전히 정정하기 위해, (빈 필터(213, 215)의 위치에 대한 빔(203)의 크로

스오버 위치에 기초하여) 제1 빈 필터(213)의 세기는 제2 빈 필터(215)의 세기보다 더 크거나 더 작을 수 있다. 한 실시예에서, ($C_{c1} < 0$ 이고 $C_{c2} > 0$ 이라는 사실과 함께) 수학적 식 10b에 따라서 제2 빈 필터(215)의 극성과 동일하도록 제1 빈 필터(213)의 극성이 설정될 수 있다.

[0074] 본 개시의 대부분은, 제1 빈 필터(213) 및 제2 빈 필터(215) 둘 다 집광 렌즈(208)와 대물 렌즈(210) 사이에 위치한 시스템(200)의 구현에 초점을 두었지만, 그러한 구성은 본 개시의 범위에 대한 제한이 아니라는 점에 유의해야 한다. 오히려, 본 명세서에서, 전자-광학 시스템(200) 내의 이미지 형성 구성에 따라서 (전술한 수학적 식으로부터의) 올바른 계수 C_{c1} 이 적용된다고 가정하면, 제1 빈 필터(213)는 일반적으로 광축(207)을 따라서 임의의 위치에 배치될 수 있다는 점에 유의해야 한다. 도 2f는, 본 개시의 하나 이상의 대안적 실시예에 따른, SEM 이미징을 수행하기 위해 배열된 시스템(200)을 도시한다. 이 실시예에서, 제1 빈 필터(213)는 건 렌즈(206)와 집광 렌즈(208) 사이에 배치된다.

[0075] 도 3은, 본 개시의 하나 이상의 실시예에 따른, 하나 이상의 빈 필터에 의해 야기된 색 수차의 정정 이후의 전자 분포의 시뮬레이션의 그래프(300)를 도시한다. 그래프(300)의 전자 분포는, 도 2b에 도시된 전자-광학적 구성과 일치하는 전자-광학적 구성에 기초하여 시뮬레이트되었다는 점에 유의해야 한다. 또한, 수학적 식 10a 및 수학적 식 10b의 전자-광학적 상쇄 조건이 설정되었다. 그래프(300)에 도시된 바와 같이, 상쇄 조건의 설정은 빈 필터 색 수차의 완전한 정정을 초래한다. 이는, 그래프(300)와 동일한 척도 상에 플로팅된 도 1g 및 도 1h의 그래프(140 및 145)에 도 3의 그래프(300)를 비교함으로써 강조된다. (도 3의 그래프(300)에 도시된) 색 보정 이후의 전자 분포에 의해 생성되는 스폿 크기는, 빈 필터에 의해 야기되는 색 수차가 없는 경우의 전자 분포에 대응하는 도 1g의 그래프(140)에서의 스폿 크기와 유사하다는 점에 유의해야 한다. 이러한 의미에서, 도 1h의 그래프(145)에 나타나는, x 축(빈 필터 균형 방향)을 따른 전자 분산은, 제1 빈 필터(213)를 통한 상쇄 조건의 구현에 의해 도 3에서 완전히 제거된다.

[0076] 본 명세서에 설명된 모든 방법은, 방법 실시예의 하나 이상의 단계의 결과를 저장 매체에 저장하는 단계를 포함할 수 있다. 결과는, 본 명세서에 설명된 결과 중 임의의 결과를 포함할 수 있으며, 당업계에 공지된 임의의 방식으로 저장될 수 있다. 저장 매체는, 본 명세서에 설명된 임의의 저장 매체 또는 당업계에 공지된 임의의 다른 적합한 저장 매체를 포함할 수 있다. 결과가 저장된 후, 결과는 저장 매체 내에서 액세스될 수 있고 본 명세서에 설명된 방법 또는 시스템 실시예 중 임의의 실시예에 의해 사용될 수 있으며, 사용자에게 디스플레이하기 위한 형식을 가질 수 있고, 또 다른 소프트웨어 모듈, 방법, 또는 시스템 등에 의해 사용될 수 있다. 또한, 결과는 "영구적으로", "반영구적으로", "일시적으로", 또는 얼마의 기간 동안 저장될 수 있다. 예컨대, 저장 매체는 RAM(random access memory)일 수 있으며, 결과는 필연적으로 저장 매체 내에 무한정 지속되지 않을 수 있다.

[0077] 당업자는, 시스템의 양상의 하드웨어 구현과 소프트웨어 구현 사이에 구별이 거의 남지 않은 수준까지 기술의 수준이 발전해 왔다는 것을 인지할 것이며; 하드웨어 또는 소프트웨어의 사용은 일반적으로 비용과 효율 사이의 절충을 나타내는 설계 선택사항이다(그러나, 특정 맥락에서 하드웨어와 소프트웨어 사이의 선택은 중요해질 수 있다는 점에서, 항상 그러한 것은 아님). 당업자는, 본 명세서에 설명된 프로세스 및/또는 시스템 및/또는 다른 기술이 달성될 수 있는 다양한 수단(예컨대, 하드웨어, 소프트웨어, 및/또는 펌웨어)이 존재한다는 것과, 프로세스 및/또는 시스템 및/또는 다른 기술이 배치되는 맥락에 따라서, 선호되는 수단이 달라지리라는 것을 이해할 것이다. 예컨대, 속도 및 정확도가 가장 중요하다고 구현자가 결정한다면, 구현자는 주로 하드웨어 및/또는 펌웨어 수단을 선택할 수 있고; 대안적으로, 유연성이 가장 중요하다면, 구현자는 주로 소프트웨어 구현을 선택할 수 있으며; 또는, 다시 대안적으로, 구현자는 하드웨어, 소프트웨어, 및/또는 펌웨어의 어떠한 조합을 선택할 수도 있다. 따라서, 본 명세서에 설명된 프로세스 및/또는 디바이스 및/또는 다른 기술이 달성될 수 있는 여러 가능성 있는 수단이 존재하며, 이용될 임의의 수단은, 해당 수단이 배치될 맥락 및 구현자의 특정 관심사항(예컨대, 속도, 유연성, 또는 예측가능성)에 의존하는 선택사항이라는 점에서, 이들 중 어느 것도 다른 것보다 내재적으로 더 우수하지 않으며, 이들 중 어느 것이라도 달라질 수 있다. 당업자는, 구현의 광학적 양상은 일반적으로 광학적 지향의 하드웨어, 소프트웨어, 또는 펌웨어를 이용하리라는 것을 인지할 것이다.

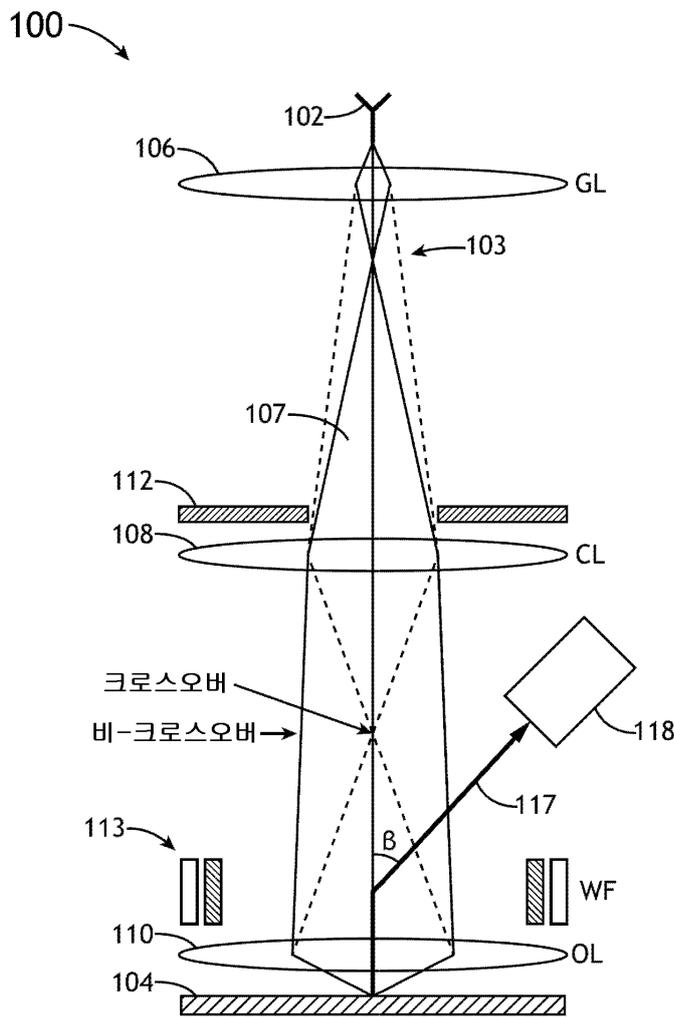
[0078] 당업자는, 본 명세서에 진술된 방식으로 디바이스 및/또는 프로세스를 설명하고, 이후 그러한 설명된 디바이스 및/또는 프로세스를 데이터 프로세싱 시스템에 통합하기 위해 엔지니어링 관례를 사용하는 것이 당업계 내에서 일반적이라는 것을 인지할 것이다. 즉, 본 명세서에 설명된 디바이스 및/또는 프로세스의 적어도 일부는, 합리적인 양의 실험을 통해, 데이터 프로세싱 시스템에 통합될 수 있다. 당업자는, 일반적인 데이터 프로세싱 시스템은, 시스템 유닛 하우징, 비디오 디스플레이 디바이스, 휘발성 및 비휘발성 메모리와 같은 메모리, 마이크로프로세서 및 디지털 신호 프로세서와 같은 프로세서, 운영 체제, 드라이버, 그래픽 사용자 인터페이스, 및 애플

리케이션 프로그램과 같은 컴퓨터 엔티티, 터치 패드 또는 스크린과 같은 하나 이상의 상호작용 디바이스, 및/또는 피드백 루프 및 제어 모터(예컨대, 위치 및/또는 속도를 감지하기 위한 피드백; 컴포넌트 및/또는 수량을 이동 및/또는 조정하기 위한 제어 모터)를 포함하는 제어 시스템 중 하나 이상을 일반적으로 포함한다는 것을 인지할 것이다. 일반적인 데이터 프로세싱 시스템은, 데이터 컴퓨팅/통신 및/또는 네트워크 컴퓨팅/통신 시스템에서 일반적으로 발견되는 것과 같은, 임의의 적합한 상용 컴포넌트를 이용하여 구현될 수 있다.

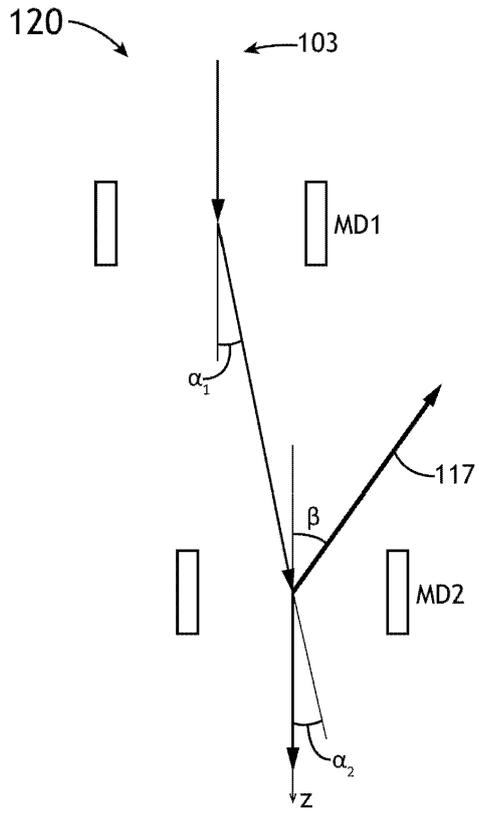
[0079] 전술한 설명에 의해 본 개시 및 그 수반되는 장점 중 다수가 이해되리라 사료되며, 개시된 주제로부터 벗어나지 않으면서 또는 그 중요한 장점 모두를 희생시키지 않으면서 컴포넌트의 형태, 구성, 및 배열에 다양한 변경이 이루어질 수 있다는 것이 명백할 것이다. 설명된 형태는 단지 설명을 위한 것이며, 다음 청구범위는 그러한 변화를 망라하고 포함하도록 의도된다.

도면

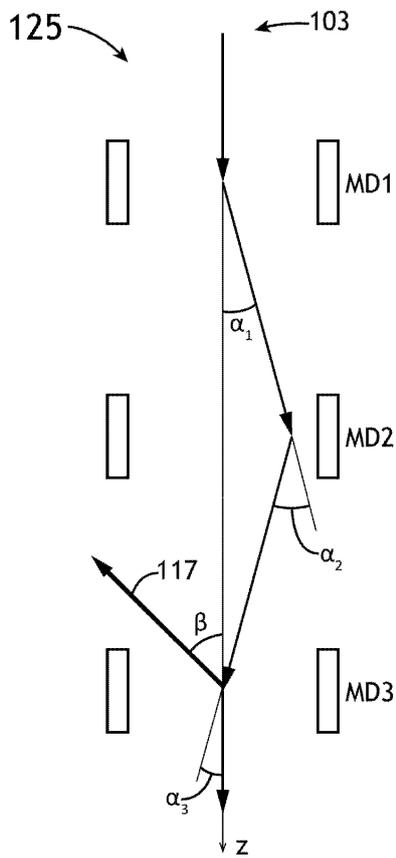
도면 1a



도면1b

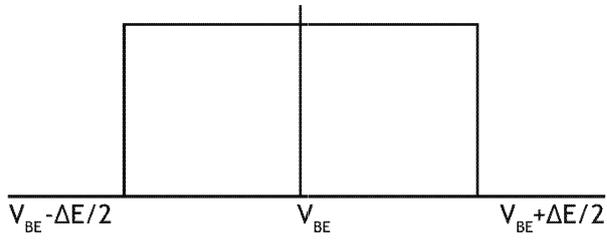


도면1c



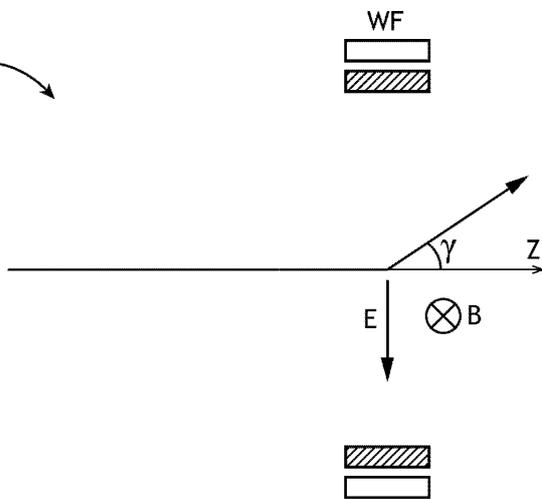
도면1d

130

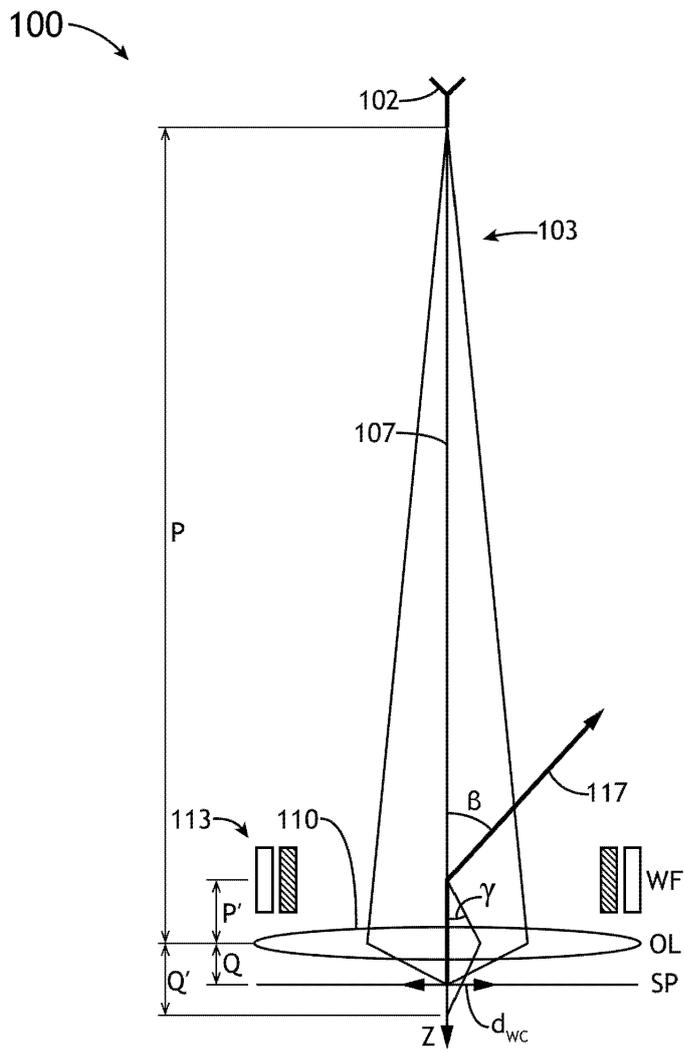


도면1e

135

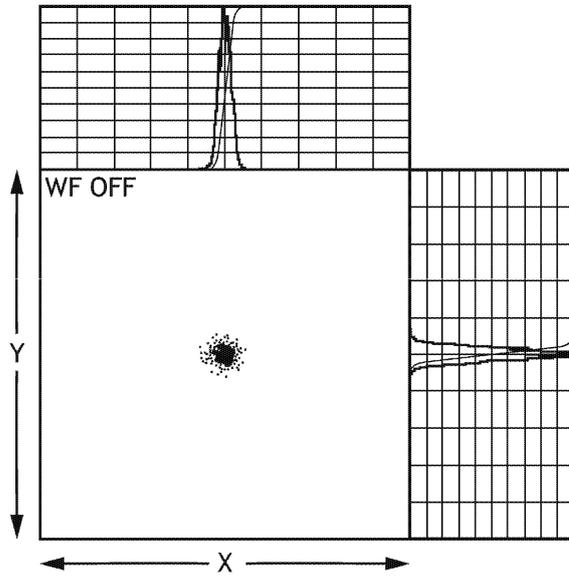


도면1f



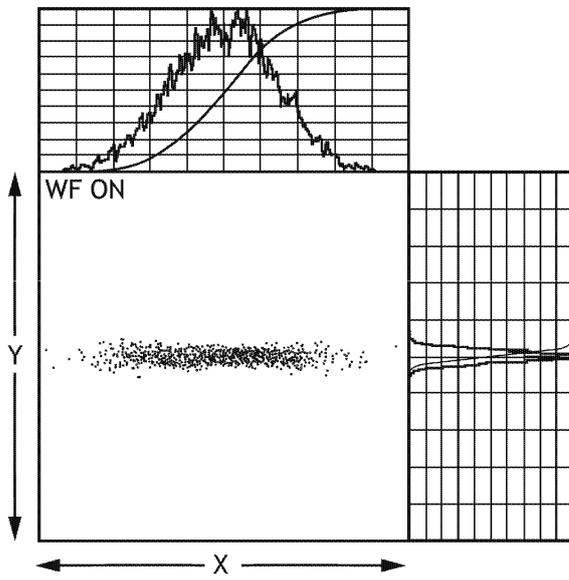
도면1g

140



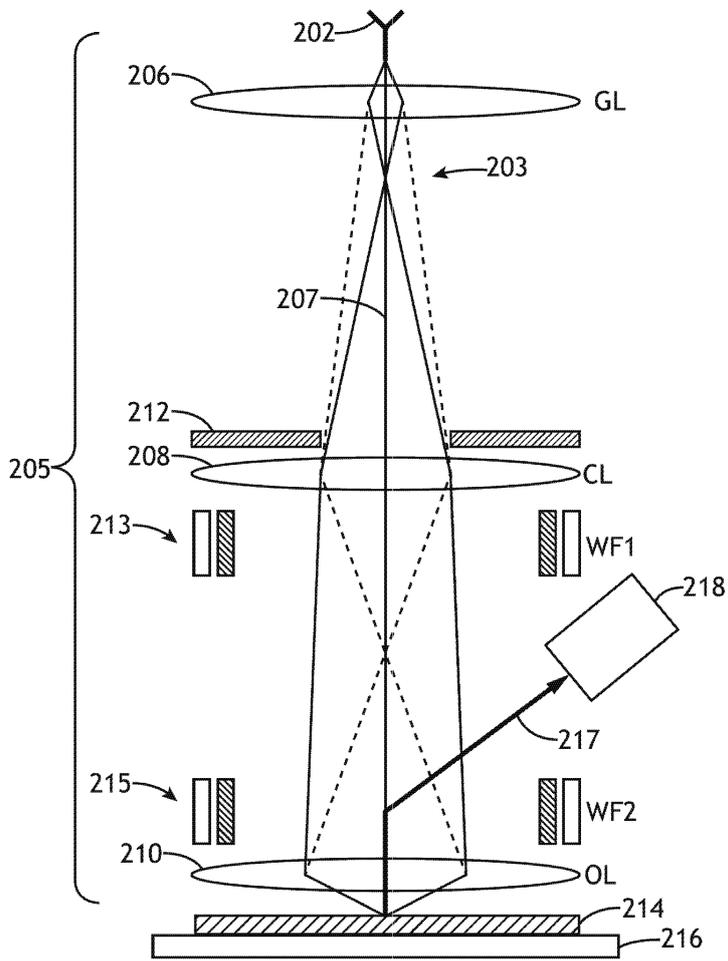
도면1h

145



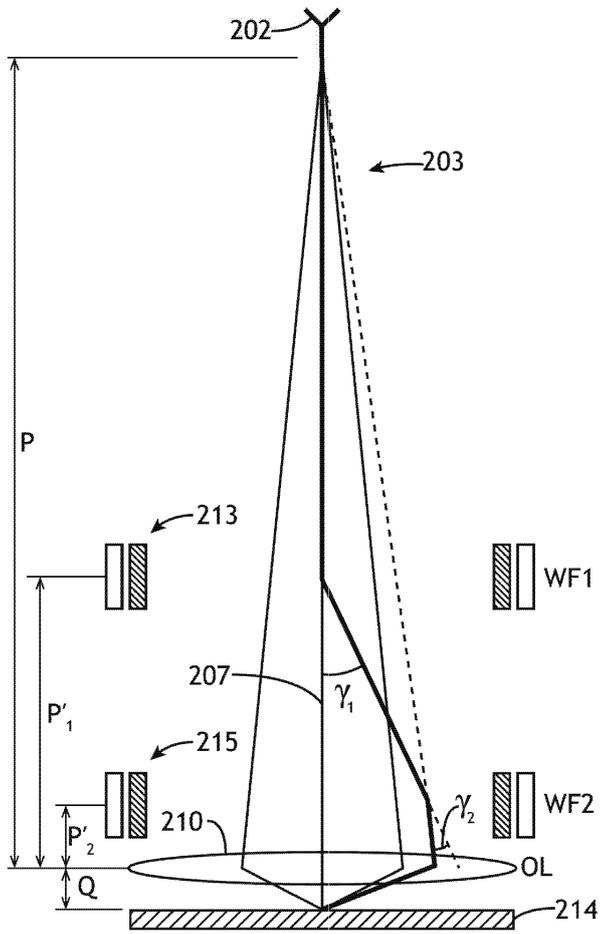
도면2a

200



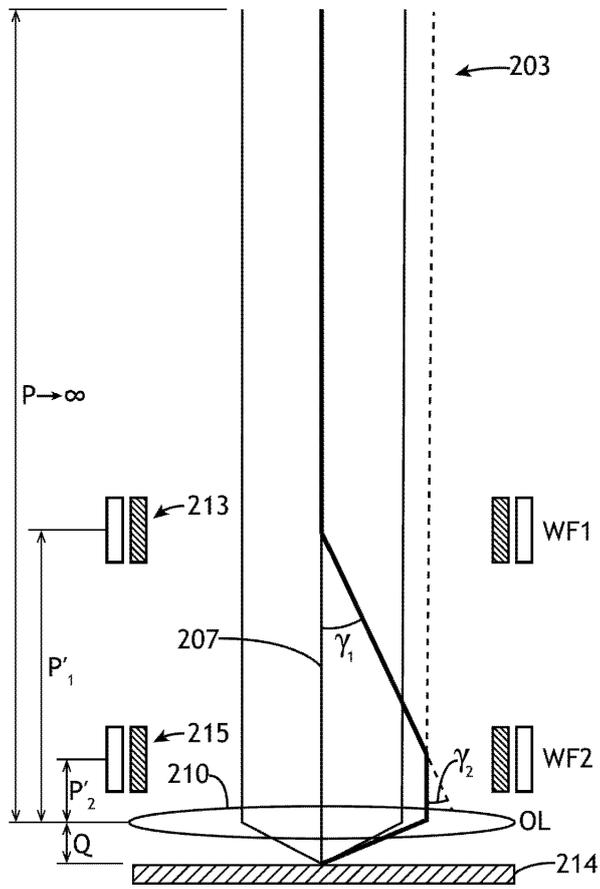
도면2b

200



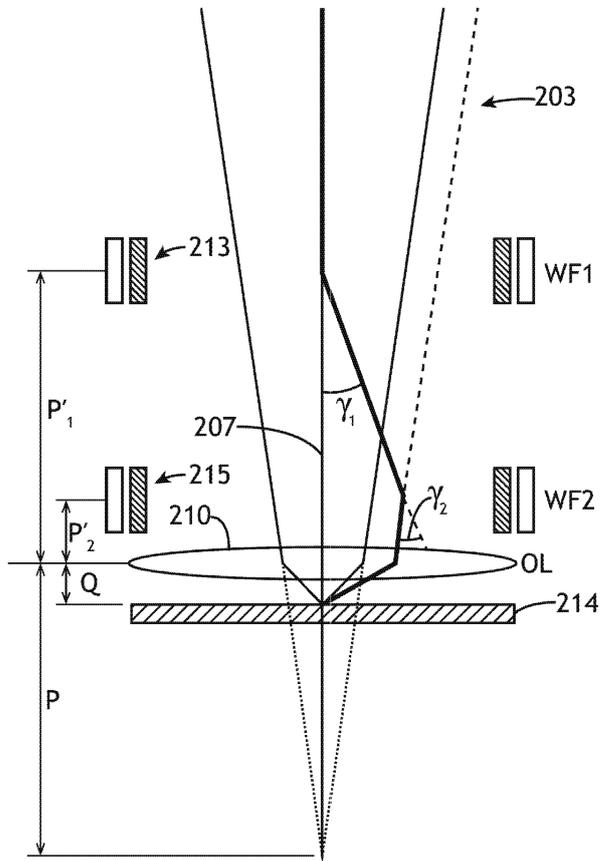
도면2c

200



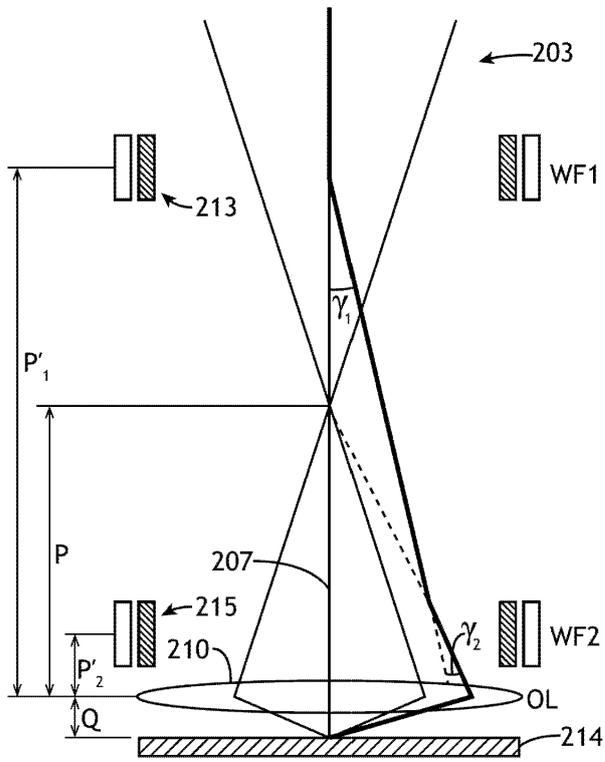
도면2d

200



도면2e

200



도면2f

200

