



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0135335  
(43) 공개일자 2013년12월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01J 37/12 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-7026268

(22) 출원일자(국제) 2012년03월14일

심사청구일자 2013년10월24일

(85) 번역문제출일자 2013년10월04일

(86) 국제출원번호 PCT/JP2012/001773

(87) 국제공개번호 WO 2012/124319

국제공개일자 2012년09월20일

(30) 우선권주장

JP-P-2011-056813 2011년03월15일 일본(JP)

(71) 출원인

캐논 가부시끼가이샤

일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고

(72) 발명자

가토 다카히사

일본 1468501 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고 캐논 가부시끼가이샤 내

세토모토 유타카

일본 1468501 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고 캐논 가부시끼가이샤 내

(74) 대리인

박충범, 장수길

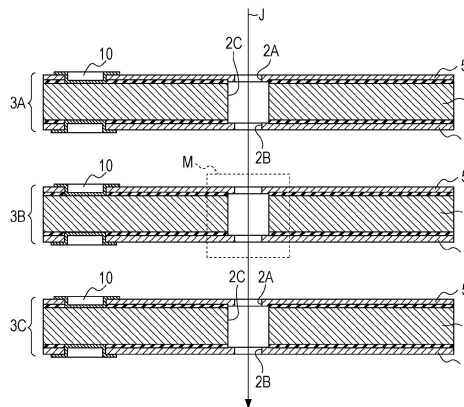
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 하전 입자 빔 렌즈 및 이를 사용한 노광 장치

(57) 요약

정전 하전 입자 빔 렌즈는 광축 방향으로 연장되는 법선을 갖는 제1 표면 및 제1 표면의 반대편의 제2 표면을 갖는 평판을 포함하는 전극을 포함하며, 그 전극은 제1 표면으로부터 제2 표면으로 연장되는 관통-홀을 갖는다. 개구 단면이 법선에 수직인 면을 따라 취해진 관통-홀의 단면으로서 정의되고, 대표 직경이 개구 단면의 회귀 분석을 수행함으로써 획득되는 원의 직경으로서 정의되는 경우, 제1 표면 측의 제1 영역에 있는 개구 단면의 대표 직경 및 제2 표면 측의 제2 영역에 있는 개구 단면의 대표 직경은 각각 제1 표면과 제2 표면 사이에 배치된 전극의 영역인 제3 영역의 개구 단면의 대표 직경보다 더 작다.

대표도 - 도1a



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

정전 하전 입자 빔 렌즈로서,

광축 방향으로 연장되는 법선을 갖는 제1 표면 및 상기 제1 표면의 반대 측의 제2 표면을 갖는 평판을 포함하는 전극 - 상기 전극은 상기 제1 표면으로부터 상기 제2 표면으로 연장되는 관통-홀을 가짐 - 을 포함하며,

상기 법선에 수직인 평면을 따라 절취된 상기 관통-홀의 단면으로서 개구 단면이 정의되고, 상기 개구 단면의 회귀 분석을 수행함으로써 획득되는 원의 직경으로서 대표 직경이 정의되는 경우, 상기 제1 표면 측에 있는 제1 영역의 개구 단면의 대표 직경과 상기 제2 표면 측에 있는 제2 영역의 개구 단면의 대표 직경은 각각 상기 제1 표면과 상기 제2 표면 사이에 배치된 전극의 영역인 제3 영역의 개구 단면의 대표 직경보다 작은 정전 하전 입자 빔 렌즈.

### 청구항 2

제1항에 있어서, 내접원 및 외접원이, 각각 작은 반경 및 큰 반경을 갖는, 반경 차이가 가장 작은 2개의 동심 원들로서 정의되는 경우 - 상기 개구 단면이 상기 반경들 사이에 배치됨 -, 상기 제1 영역의 개구 단면의 내접원과 외접원의 반경 차이 및 상기 제2 영역의 개구 단면의 내접원과 외접원의 반경 차이가 각각 상기 제3 영역의 개구 단면의 내접원과 외접원의 반경 차이보다 작은 정전 하전 입자 빔 렌즈.

### 청구항 3

제2항에 있어서, 상기 제1 영역 및 상기 제2 영역 각각에 대한 대표 직경이 상기 제3 영역의 대표 직경의 40%보다 큰 정전 하전 입자 빔 렌즈.

### 청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 하나에 있어서, 상기 제1 영역 및 상기 제2 영역의 각각의 두께가 상기 제3 영역의 두께보다 작은 정전 하전 입자 빔 렌즈.

### 청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 하나에 있어서, 상기 제1 영역의 두께는 상기 제1 영역의 대표 직경의 1/8보다 크고, 상기 제2 영역의 두께가 상기 제2 영역의 대표 직경의 1/8보다 큰 정전 하전 입자 빔 렌즈.

### 청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 하나에 있어서, 상기 제1 영역과 상기 제2 영역 중 적어도 하나는 상기 제3 영역에 적층되거나 집합되는 정전 하전 입자 빔 렌즈.

### 청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 하나에 있어서, 상기 전극은 도전성 막에 의해 덮힌 정전 하전 입자 빔 렌즈.

### 청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 하나에 있어서, 상기 전극은 복수의 개구를 가지며, 복수의 하전 입자 빔의 전자 광학 특성을 제어하는 어레이인 정전 하전 입자 빔 렌즈.

### 청구항 9

제1항에 따른 정전 하전 입자 빔 렌즈를 포함하고, 하전 입자 빔을 사용하는 노광 장치.

### 청구항 10

제9항에 있어서, 복수의 하전 입자 빔들을 사용하는 노광 장치.

## 명세서

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 전자 빔과 같은 하전 입자 빔을 사용하는 장치들에 사용되는 전자 광학계 기술 분야에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 노광 장치에 사용되는 전자 광학계에 관한 것이다. 본 발명에서, “광”이라는 용어는 가시광 뿐 아니라 전자 빔 등과 같은 전자기 복사를 지칭한다.

### 배경 기술

[0002] 반도체 디바이스의 생산에서, 전자 빔 노광 기술은 0.1마이크로미터 이하의 폭을 갖는 미세 패턴의 노광을 가능하게 하는 유망한 리소그래피 기술이다. 전자 빔 노광 장치에서, 전자 빔의 광학 특성을 제어하는데 전자 광학 소자가 사용된다. 전자 렌즈들은 전자기 타입과 정전 타입으로 분류된다. 정전 전자 렌즈의 구조는 전자기 전자 렌즈의 구조보다 간단한데, 그 이유는 정전 전자 렌즈는 코일 코어를 갖지 않기 때문이다. 그러므로, 정전 타입은 소형화에 유리하다. 전자 빔 노광 기술에 관해, 마스크를 사용하는 대신에 복수의 전자 빔을 동시에 사용함으로써 패턴을 형성하는 멀티 빔 시스템들이 제안되었다. 멀티 빔 시스템은 전자 렌즈들이 1차원 또는 2차원으로 배열되어 있는 전자 렌즈 어레이를 포함한다. 전자 빔 리소그래피 기술에서, 미세 가공의 한계는 전자 빔의 회절(diffraction) 한계에 의해 결정되지 않고, 전자 광학 소자의 광학 수차들에 의해 결정된다. 그러므로, 수차가 작은 전자 광학 소자를 실현하는 것이 중요하다.

[0003] 예를 들어, 일본 특허 공개공보 제2007-123599호는 2차원적으로 배열되고, 동일한 전압이 모든 렌즈에 인가되는 경우 상이한 굴절력을 갖는 적어도 2개의 그룹으로 분할되는 복수의 하전 입자 빔 렌즈를 포함하는 하전 입자 빔 렌즈 어레이를 개시한다.

### 선행기술문헌

#### 특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 일본 특허 공개 제2007-123599호

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0005] 정전 하전 입자 빔 렌즈는 전자기 렌즈보다 간단한 구조를 갖는다. 그러나, 정전 하전 입자 빔 렌즈의 광학 수차는 렌즈의 개구의 가공 오차에 매우 민감하다. 특히, 개구가 원형인 경우, 렌즈의 비점 수차는 개구의 진원도(circularity)(완벽한 원으로부터의 원형 형상의 편차)와 같은 개구의 형상의 대칭성에 민감하다. 비대칭 개구의 영향 하에서 수렴되는 전자 빔은 비점수차 또는 다른 고위수차(high order aberration)를 갖는다.

[0006] 특히, 이러한 문제는 상이한 비점수차를 갖는 복수의 전자 빔이 사용되는 경우에 중요한데, 그 이유는 이러한 비점 수차들이 일반적인 비점 수차 보정기를 사용함으로써 보정될 수 없기 때문이다.

[0007] 더구나, 전극의 강도(rigidity)가 낮으면, 전극은 전자 광학 특성을 제어하는 전압으로 인해 생성되는 정전 인력에 의해 변형될 수 있다. 전극이 변형되면, 렌즈의 초점 거리에 오차가 생긴다.

[0008] 특히, 이는 복수의 전자 빔을 제어하는 전자 렌즈 어레이의 경우에 중요한 문제인데, 그 이유는 어레이처럼 배열될 수 있도록 개구가 큰 면적을 가져서 전극의 강도가 감소되기 때문이다.

#### 과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 일 양태에 따르면, 정전 하전 입자 빔 렌즈는 광축 방향으로 연장되는 법선을 갖는 제1 표면 및 제1 표면의 반대편의 제2 표면을 갖는 평판을 포함하는 전극을 포함하며, 그 전극은 제1 표면으로부터 제2 표면으로 연장되는 관통-홀을 갖는다. 개구 단면이 법선에 수직인 면을 따라 취해진 관통-홀의 단면으로서 정의되고, 대표 직경이 개구 단면의 회귀 분석을 수행함으로써 획득되는 원의 직경으로서 정의되는 경우, 제1 표면 측의 제1 영역에 있는 개구 단면의 대표 직경 및 제2 표면 측의 제2 영역에 있는 개구 단면의 대표 직경은 각각 제1 표면

과 제2 표면 사이에 배치된 전극의 영역인 제3 영역의 개구 단면의 대표 직경보다 더 작다.

### 발명의 효과

[0010]

본 발명에 따른 하전 입자 빔 렌즈를 이용하는 경우, 전극의 비점수차는 가공 정밀도를 개선하지 않고 감소될 수 있다. 또한, 제1 영역 및 제2 영역의 두께가 작을 수 있다. 그러므로, 개구들이 렌즈 수차에 대한 기여율 (contribution)이 높은 제1 영역 및 제2 영역에 쉽게 형성될 수 있고, 진원도가 좋은 개구가 저비용으로 형성될 수 있다. 또한, 제3 영역은 두께가 더 클 수 있는데, 이로써 전극 전체의 강도가 증가될 수 있다. 수차에 대한 제3 영역의 기여율이 낮기 때문에, 가공 정밀도를 개선시키지 않고 기여율의 증가가 억제될 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0011]

- 도 1a는 본 발명의 제1 실시예에 따른 하전 입자 빔 렌즈의 단면도이다.
- 도 1b는 본 발명의 제1 실시예에 따른 하전 입자 빔 렌즈의 상면도이다.
- 도 2a는 도 1a의 파선 M에 의해 둘러싸인 부위의 확대 단면도이다.
- 도 2b는 직경 D1 및 직경 D2가 동일한 경우의 개구의 단면도이다.
- 도 3a는 도 2a의 파선 Y에 의해 둘러싸인 부위의 확대 단면도이다.
- 도 3b는 수학적 식 1의 계수  $K_f$ 의 변화를 나타내는 그래프이다.
- 도 3c는 계수  $K_f$ 의 미분 계수의 변화를 나타내는 그래프이다.
- 도 4는 본 발명에 따른 제1 영역 및 제2 영역의 두께 및 수차에 대한 기여율을 나타내는 그래프이다.
- 도 5는 제1 실시예에 따른 실제 설계를 나타낸 표이다.
- 도 6은 하전 입자 빔 렌즈가 전자 빔을 수렴하는 메커니즘을 나타낸 개념도이다.
- 도 7은 하전 입자 빔 렌즈의 개구 근처의 전위 분포를 나타낸 도면이다.
- 도 8은 기존의 기술에 따른 하전 입자 빔 렌즈의 개념도이다.
- 도 9는 기존의 기술에 따른 개구의 개념도이다.
- 도 10은 제1 실시예에 따른 제3 영역의 설계예를 나타낸 그래프이다.
- 도 11a는 개구 단면의 진원도의 정의를 나타낸 개념도이다.
- 도 11b는 개구 단면의 진원도의 정의를 나타낸 개념도이다.
- 도 11c는 개구 단면의 진원도의 정의를 나타낸 개념도이다.
- 도 11d는 개구 단면의 진원도의 정의를 나타낸 개념도이다.
- 도 11e는 개구 단면의 진원도의 정의를 나타낸 개념도이다.
- 도 11f는 개구 단면의 진원도의 정의를 나타낸 개념도이다.
- 도 12는 본 발명의 제2 실시예에 따른 하전 입자 빔 렌즈 어레이의 단면도이다.
- 도 13a는 개구 단면의 대표 직경 및 대표 반경의 정의를 나타낸 개념도이다.
- 도 13b는 개구 단면의 대표 직경 및 대표 반경의 정의를 나타낸 개념도이다.
- 도 13c는 개구 단면의 대표 직경 및 대표 반경의 정의를 나타낸 개념도이다.
- 도 14는 두께 방향에 따른 대표 직경의 정의를 나타낸 개념도이다.
- 도 15는 본 발명의 제1 실시예에 따른 개구의 단면이다.
- 도 16은 본 발명의 제1 실시예에 따른 제3 영역의 수차의 기여율을 나타낸 그래프이다.
- 도 17a는 제3 영역의 진원도의 분포를 예시한 그래프이다.

도 17b는 제3 영역의 수차의 기여율을 나타낸 그래프이다.

도 18은 제3 영역의 직경 및 수차 분포를 나타낸 그래프이다.

도 19는 본 발명의 제3 실시예에 따른 하전 입자 빔을 사용하여 리소그래피 시스템을 나타낸 개념도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0012] 본 발명에서, “제1 표면” 및 “제2 표면”은 각각 본 발명에 따른 하전 입자 빔 렌즈의 전극의 표면 중 하나의 표면(전면) 및 나머지 표면(후면)을 지칭한다. “제1 영역”, “제2 영역, 및 “제3 영역”이라는 용어는 두께 방향으로 소정의 두께를 갖는 전극의 3개의 분할 영역을 지칭한다.
- [0013] 본 발명에서, “X번째 표면으로부터 Y번째 표면으로 연장되는 관통-홀”이라는 구문(여기서, X 및 Y는 1 내지 6까지의 정수임)은 X번째 표면 및 Y번째 표면이 서로 연결되는 관통-홀을 지칭한다. 관통-홀이 어느 방향으로 형성되는지는 중요하지 않다. 즉, 관통-홀은 X번째 표면으로부터, Y번째 표면으로부터, 또는 이들 표면 모두로부터 형성될 수 있다.
- [0014] 본 발명에 따른 하전 입자 빔 렌즈에서, 개구는 제1 영역, 제2 영역, 및 제3 영역으로 분할되는데, 이로써 제3 영역의 대표 직경은 제1 영역 및 제2 영역의 직경보다 크다. 이에 따라, 제2 영역 및 제3 영역의 개구 단면의 기여율은 감소될 수 있다. 그러므로, 가공 정밀도를 증가시키지 않고 전극의 수차가 감소될 수 있다. 더구나, 제1 영역 및 제2 영역의 두께는 감소될 수 있다. 그러므로, 렌즈의 수차에 대한 기여율이 높은 제1 영역 및 제2 영역의 개구들은 용이하게 형성될 수 있으며, 이로써 진원도가 우수한 개구가 저비용으로 형성될 수 있다. 또한, 제3 영역의 두께를 증가시킴으로써 전극 전체의 강도가 증가될 수 있다. 두께가 큰 제3 영역은 수차에 대한 기여율이 낮기 때문에, 수차의 증가가 억제될 수 있다. 즉, 수차의 증가가 제3 영역의 가공 정밀도를 증가시키지 않고 억제될 수 있다.
- [0015] 본 발명에 따른 하전 입자 빔 렌즈에서, (후술될 본 발명에 따른 진원도에 대응하는) 제1 영역 및 제2 영역의 개구들의 형상 오차(shape error)는 제3 영역의 개수의 형상 오차보다 작을 수 있다. 이러한 구조를 이용하면, 렌즈 전체의 수차에 대한 기여율이 높은 제1 영역 및 제2 영역에서의 개구 단면은 높은 정밀도로 형성되며, 제3 영역의 개수를 형성할 때의 오차 허용범위는 증가될 수 있다. 또한, 제3 영역의 두께를 증가시킴으로써 렌즈 전체의 두께 및 강도가 증가될 수 있다.
- [0016] 본 발명에 따른 하전 입자 빔 렌즈에서, 직경 D1 및 D2의 비  $D1/D2$ 는 0.4 이상 1.0 이하일 수 있다. 이러한 구조를 이용하면, 제1 영역 및 제2 영역의 개수의 모든 변형 및 가공 오차로 인한 변형의 변동이 감소될 수 있다. 그러므로, 변형으로 인한 제1 영역 및 제2 영역의 개구들의 진원도의 변동 및 유효 직경 D1의 변동이 감소될 수 있다.
- [0017] 본 발명에 따른 하전 입자 빔 렌즈에서, 제1 영역 및 제2 영역의 두께는 제3 영역의 두께보다 작을 수 있다. 이러한 구조를 이용하면, 제1 영역 및 제2 영역의 개구들의 가공 정밀도가 제3 영역보다 더 높아질 수 있다. 두꺼운(깊은) 관통-홀이 오차 허용범위가 더 큰 제3 영역에 형성될 수 있기 때문에, 기판에 관통-홀을 형성하는 난이도 및 비용이 감소될 수 있다.
- [0018] 본 발명에 따른 하전 입자 빔 렌즈는 제1 영역 및 제2 영역의 개구들의 수차의 합산이 전극 전체의 수차의 80%를 결정하도록 구성될 수 있다. 이 경우, 제3 영역의 개구의 진원도가 제1 및 제2 영역의 진원도의 2배 이상이 된다. 제3 영역의 개수의 진원도를 제1 영역 및 제2 영역의 진원도의 2배 이상이 되도록 함으로써, 실제 가공이 제3 영역의 두께가 제1 영역 및 제2 영역의 두께보다 두꺼운 경우에도 용이하게 수행될 수 있다.
- [0019] 본 발명에 따른 하전 입자 빔 렌즈를 이용하면, 더 높은 정밀도가 요구되는 제1 영역 및 제2 영역의 개구들을 형성하는 단계가 제3 영역의 개구를 형성하는 단계와 별도로 수행될 수 있다. 이 경우, 반도체 제조 기술들을 사용함으로써, 에칭 조건의 제어성 및 수율을 개선하면서 미세하고 높은 정밀도의 개구들이 형성될 수 있다. 특히, 포토리소그래피 또는 드라이 에칭과 같은 미세 가공 기술을 사용하고 평탄성이 높은 실리콘 웨이퍼를 통한 웨이퍼 접합에 의해 미세한 개구를 갖는 전극이 높은 정밀도로 형성될 수 있다. 이에 따라, 직경이 대략 수십 마이크로 미터이고, 진원도가 대략 수 나노미터인 개구를 갖는 정전 하전 입자 빔 렌즈가 형성될 수 있다. 필요에 따라, 전극은 복수의 웨이퍼가 접합된 층상 구조를 가질 수 있다. 예를 들어, 개구를 형성하는 정밀도가 웨이퍼의 두께가 증가함에 따라 일반적으로 감소하기 때문에, 단일 웨이퍼의 두께는 요구되는 정밀도에 따라 결정될 수 있다(높은 정밀도가 요구되면 두께가 감소됨). 이 경우, 전극 전체의 두께가 불충분해지면, 복수의 웨이퍼가 적층될 수 있다. 웨이퍼들을 적층하는 것 대신에, 예를 들어, 스퍼터링법, CVD법, 기체상 또는 액체

상 에피택셜 성장법, 또는 도금법을 사용하여 필요한 층들을 증착함으로써 형성될 수 있다.

- [0020] 본 발명에 따른 하전 입자 빔 렌즈를 이용하면, 필요에 따라 도전성 막으로 전극 전체를 덮음으로써 의도하지 않은 대전으로 인한 하전 입자 빔의 요동(fluctuation)이 방지될 수 있으며, 이로써 전극 전위가 일정하게 유지된다.
- [0021] 본 발명에 따른 하전 입자 빔 렌즈는 복수의 개수를 갖는 전극을 포함하는 하전 입자 빔 렌즈 어레이로서 형성될 수 있다. 렌즈의 수차에 대한 기여율이 높은 제1 영역 및 제2 영역의 개구 단면이 고정밀도로 제조될 수 있기 때문에, 렌즈 어레이의 개별 렌즈들의 개구 단면의 진원도 변동이 감소될 수 있다. 렌즈 어레이의 경우, 진원도가 불규칙 오차(random error)를 갖기 때문에 개별 렌즈 각각의 진원도를 보정하는 것은 어렵다. 그러나, 개구 단면의 진원도의 변동이 본 발명을 사용함으로써 감소될 수 있기 때문에, 대형 렌즈 어레이의 경우에도 개별 보정에 대한 필요성이 제거되거나 상당히 감소될 수 있다. 더구나, 집합 구조를 갖는 전극이 사용되는 경우, 개구 단면의 변동이 충분히 감소될 수 있다. 집합의 정렬 정밀도가 낮으면, 제1 영역 및 제2 영역의 개구 사이의 위치 변화가 일어난다. 그러나, 이러한 위치 변화는 렌즈 어레이 전체에서의 대칭적 위치 변화이기 때문에 용이하게 보정될 수 있다. 그러므로, 이러한 구조는 대형 렌즈 어레이에 알맞다.
- [0022] 본 발명에 따른 노광 장치는 작은 수차를 갖는 본 발명에 따른 하전 입자 빔 렌즈를 포함하는데, 이로써 노광 장치는 고정밀도로 미세 패턴을 형성할 수 있다.
- [0023] 본 발명에 따른 본 발명에 따른 노광 장치는 작은 수차를 갖는 본 발명에 따른 하전 입자 빔 렌즈를 사용함으로써 복수의 하전 입자 빔을 사용할 수 있으며, 이로써 노광 장치는 단시간 내에 고정밀도로 미세 패턴을 형성할 수 있다.
- [0024] 실시예
- [0025] 이하, 본 발명의 실시예들이 상세히 설명될 것이다. 그러나, 본 발명은 이들 실시예로 한정되지 않는다.
- [0026] [제1 실시예]
- [0027] 본 발명의 제1 실시예가 설명될 것이다.
- [0028] 도 1a는 도 1b의 선 IA-IA를 따라 절취된 본 발명에 따른 하전 입자 빔 렌즈의 단면도이다. 도 1b는 하전 입자 빔 렌즈의 상면도이다.
- [0029] 도 1a에 예시된 바와 같이, 본 발명에 따른 하전 입자 빔 렌즈는 3개의 전극(3A, 3B, 및 3C)을 포함한다. 3개의 전극 각각은 법선으로서 광축(J)을 갖고, 제1 표면 및 제1 표면의 반대편의 제2 표면을 포함하는 평판이다. 전극들은 서로 전기적으로 절연된다. 제1 표면은 통상적으로 전면이며, 제2 표면은 통상적으로 후면이다. 여기서, “전” 및 “후”라는 용어는 편의상 상대적 관계를 표시하기 위해서만 사용된다. 전극들(3A, 3B, 및 3C) 각각은 전극 패드(10)를 포함하며, 이를 통해 전극의 전위가 제어된다. 빔원(미도시)으로부터 방출되는 하전 입자가 하전 입자 빔은 화살표로 표시된 방향으로 광축(J)을 따라 통과한다. 광축(J) 방향의 전극 길이는 두께라고 지칭될 것이다.
- [0030] 3개의 전극 각각은 소정의 두께를 갖는 3개의 영역을 포함하는데, 이들 영역은 제1 영역(5), 제2 영역(6), 제1 영역과 제2 영역 사이에 배치된 제3 영역(7)이다. 여기서, 전극의 두께가 광축(J) 방향의 전극 길이라고 가정된다. 도 1a에 예시된 바와 같이, 제1 영역(5)은 광축(J) 방향에 대해 빔원 측의 전극의 전체 표면을 포함하며, 소정의 두께를 갖는다. 마찬가지로, 제2 영역은 광축(J) 방향에 대해 빔원 측의 반대측에 있는 전극의 전체 표면을 포함하며, 소정의 두께를 갖는다. 제1 영역과 제2 영역 사이에 배치된 제3 영역은 전극의 나머지 영역으로서 소정의 두께를 갖는다.
- [0031] 제1 영역(5), 제2 영역(6), 및 제3 영역(7)은 개구(2A), 개구(2B), 및 개구(2C)를 각각 포함한다. 도 1a에 예시된 바와 같이, 개구(2A, 2B, 및 2C)는 두께 방향으로 전극을 관통하여 연장되는 관통-홀들이다. 하전 입자 빔이 개구들(및 관통-홀)을 통과할 수 있다. 도 1b에 예시된 바와 같이, 개구(2A)는 원형이다. 마찬가지로, 개구 단면이 법선으로서 광축(J)을 갖는 평면을 따라 절취된 개구의 단면으로서 정의되는 경우, 개구(2B 및 2C)의 개구 단면은 개구(2A)의 원형과 동심인 원형이다. 개구(2C)의 개구 단면의 직경은 개구(2A 및 2B)의 개구 단면의 직경보다 더 크다. 그러므로, 도 1a에 예시된 바와 같이, 전극(3A, 3B, 및 3C) 각각에 형성된 관통-홀은 그 직경이 출입 시에 더 작아지도록 프로파일을 갖는다. 여기에서, 광축은 전자 빔이 통과하는 방향으로 연장된다.



- [0032] 예를 들어, 전극(3A 및 3C)의 전위가 접지 전위로 유지되는 동안 전극(3B)에 음의 정전압을 인가함으로써 소위 단독(einzel) 정전 렌즈가 형성된다. 본 발명에서, “단독 정전 렌즈”라는 용어는 복수의(통상 3개의) 전극이 소정의 간격으로 배열되고, 최외각 전극들의 전위가 접지 전위로 유지되고, 양전위 또는 음전위가 다른 전극에 인가되는 정전 렌즈를 지칭한다. 3개의 전극이 사용되는 경우, 하전 입자 빔의 입사 측으로부터의 제1 전극 및 제3 전극이 접지 전위로 유지되고, 양전위 및 음전위가 제2 전극에 인가된다. 빔이 전극(3A, 3B, 및 3C)의 개구들을 순차적으로 통과하는 동안 하전 입자 빔이 렌즈 효과를 받는다. 동시에, 전극(3A와 3B) 사이 또는 전극(3B와 3C) 사이에 정전 인력이 생성된다.
- [0033] 우선, 도 11a 내지 도 11f를 참조하면, 본 발명에 따른 하전 입자 빔 렌즈를 설명하는데 필요한 개구 단면의 대칭성의 정의가 설명된다. 정전 하전 입자 빔 렌즈의 렌즈 효과를 생성하는 정전기장이 개구 단면에 의해 형성된다. 특히, 비점 수차 및 고위 수차가 광축(J) 주위의 회전 비대칭성으로 인해 생성되기 때문에, 완벽한 원으로부터의 편차가 중요한 지표이다.
- [0034] 도 11a는 이상적으로 원형(완벽한 원)인 개구 단면(4)을 나타낸다. 여기에서, 개구 단면이 법선으로서 광축(J)을 갖는 평면 및 개구의 교차 부분인 폐곡선이다. 두께 방향을 따라 임의의 위치에 개구 단면이 정의될 수 있다. 도 11b는 타원형인 개구 단면(4)을 나타낸다. 다음의 지표는 본 발명에 따른 전하 빔 렌즈 빔의 비점 수차 및 고위 수차들에 영향을 미치는 형상 오차의 측정치로서 정의된다. 도 11b에 예시된 타원형의 개구 단면(4)은 동심 원들과 접촉하기 위해 2개의 동심 원 사이에 배치된다. 내측원은 내접원(11)이라고 지칭될 것이고, 외측원은 외접원(12)이라고 지칭될 것이다. 상이한 중심 주변에 그려질 수 있는 이러한 동심 원들의 여러 조합 중에, 반지름의 차이가 가장 작은 내접원과 외접원 쌍이 선택된다. 진원도는 이러한 방식으로 선택되는 내접원과 외접원의 반경 차이의 절반으로서 정의된다. 도 11a에 예시된 완벽한 원형인 개구 단면(4)의 경우, 그 이유는 외접원 및 내접원이 서로 일치하기 때문에 진원도가 0이다.
- [0035] 도 11c에 예시된 바와 같이, 진원도는 타원형 이외의 임의의 형상에 대해 유사한 방식으로 정의된다.
- [0036] 설계 측면에서 이상적인 형상은 원형이 아니라 도 11d에 예시된 바와 같이 다각형 형상일 수 있다(다음의 설명에서 예시로서 8각형이 사용됨). 이 경우, 진원도, 대표 반경(이하 설명됨), 및 대표 직경(이하 설명됨)은 다음의 방법으로 정의된다. 즉, 개구의 크기 및 이상적인 8각형으로부터의 대칭성의 편차는 진원도, 대표 반경, 및 대표 직경에 의해 비교될 수 있다. 도 11d는 이상적인 8각형의 외접원(12) 및 내접원(11)을 나타낸다. 8각형의 경우, 진원도는 이상적인 상태에서도 0 이상이다. 도 11e는 형상 오차를 갖고 정8각형으로부터 이탈된 8각형의 외접원(12) 및 내접원(11)을 나타낸다. 그러므로, 도 11e의 경우의 진원도는 정8각형의 경우인 도 11d의 진원도보다 크다.
- [0037] 진원도는 단면 형상을 실제 측정함으로써 정의될 수 있다. 선택 형상은 둘레를 가능한 한 충분히 많은 개수의 분할 영역으로 나누고, 영상 처리를 통해 외접원(12) 및 내접원(11)을 획득함으로써 계산될 수 있다.
- [0038] 대표 직경 및 대표 반경은 다음과 같이 정의된다. 도 13a 내지 도 13c는 도 11c의 개구 단면(4)의 대표 직경을 정의하는 단계들을 나타낸다. 도 13a의 개구 단면(4)의 윤곽선은 도 13b에 예시된 충분히 작은 간격으로 서로 이격된 이산 측정 지점 세트(13)로서 측정된다. 그 간격은 개구 단면(4)의 요철의 대표 주기의 절반보다 작을 수 있다. 이러한 방법으로 측정된 측정 지점(13)을 사용함으로써, 대표 원(14)이 도 13c에 예시된 바와 같이 유일하게 결정된다. 원의 방정식에 기하학적으로 맞도록 측정 지점들(13)을 사용함으로써 회귀 분석이 수행된다. 회귀 분석은 최우법(maximum likelihood method)을 사용함으로써 수행될 수 있다. 측정 지점(13)이 충분히 작은 간격으로 측정되면, 최소자승법이 사용될 수 있다. 대표 직경 및 대표 반경이 이러한 방식으로 결정되는 대표 원(14)의 직경 및 반경으로서 정의된다. 대표 원의 대표 직경 및 대표 반경이 광축에 또는 광축 부근의 전위 분포를 판단하는 대표 형상으로서 중요한데, 그 이유는 하전 입자 빔이 개구의 중심으로 통과하기 때문이다.
- [0039] 도 11f는 대부분이 원형이고 나머지가 돌출 형상인 개구 단면(4)을 예시한다. 이 경우에도, 대표 직경 및 대표 반경은 전술한 방법을 사용함으로써 광축의 근처의 전기장에 기여하는 대표 형상인 대표 원을 결정함으로써 판단될 수 있다. 이러한 원이 획득되는 경우, 외접원(12) 및 내접원(11)이 기하학적 맞춤을 수행함으로써 획득되었던 원과 동심인 원들을 그려서 정의된다.
- [0040] 전술된 정의에 기반하여 진원도, 대표 반경, 및 대표 직경이 임의의 개구 단면에 대해 정의된다. 이하, 개구 단면의 이상적인 형상으로서 원이 사용된다. 그러나, 이상적인 형상은 8각형 또는 임의의 다른 곡선일 수 있다. 또한, 이러한 경우, 진원도, 대표 반경, 및 대표 직경은 본 발명에서 정의 및 사용될 수 있다.

- [0041] 다음으로, 수차에 대한 개구 단면의 진원도의 효과가 설명될 것이다.
- [0042] 우선, 도 6을 참조하면, 정전 하전 입자 빔 렌즈가 하전 입자 빔을 수렴하는 메커니즘이 설명될 것이다. 도 6에서, R축은 렌즈의 반경 방향으로 연장되고, J축은 광축 방향으로 연장되고, "O"는 원점을 지칭한다. 도 6은 J-축에 평행한 평면을 따라 절취된 단독 렌즈의 단면도이다. 단독 렌즈는 3개의 전극(3A, 3B, 및 3C)을 포함한다. 전극들(3A 및 3C)의 전위는 접지 전위로 유지되고, 음전위가 전극(3B)에 인가된다. 하전 입자 빔이 음 전하를 갖는다. 3개의 전극(3A, 3B, 및 3C)은 각각이 법선으로서 광축(J)을 갖는 평판이다.
- [0043] 이 상태에서 전속선(electric flux line)들이 실선 화살표 H에 의해 예시된다. X 방향으로의 3개의 전극(3A, 3B, 및 3C)의 중간면들 및 3개의 전극 사이의 공간들의 중간면들이 파선으로 예시되어 있다. J축을 따른 파선들 사이의 간격들은 구간 I, 구간 II, 구간 III, 및 구간 IV라고 지칭될 것이다. 단독 렌즈의 주요 렌즈 효과의 설명의 편의를 위해, 구간 I의 원점 O 측에서의 간격 및 원점 O의 반대측의 구간 IV의 일측의 구간에 전위가 제공되지 않는다.
- [0044]  $R > 0$ 인 영역에서 구간 I, 구간 II, 구간 III, 및 구간 IV의 전기장 방향은 화살표(f1, f2, f3, 및 f4)에 의해 각각 표시된다. 구간 I, 구간 II, 구간 III, 및 구간 IV의 전기장 방향은 각각 음, 양, 양, 및 음이다. 그러므로, 영상 높이 r0를 통과하는 하전 입자 빔의 경로는 화살표 E로 표시되는 바와 같다. 즉, 하전 입자 빔은 구간 I에서 발산되고, 구간 II에서 수렴되고, 구간 III에서 수렴되고, 구간 IV에서 발산된다. 이는 X축 방향으로 배열된 오목 렌즈, 볼록 렌즈, 볼록 렌즈, 및 오목 렌즈와 광학적으로 등가이다.
- [0045] 하전 입자 빔은 다음의 2가지 이유로 수렴된다. 첫번째 이유는 더 강한 힘이 더 큰 영상 높이에서 하전 입자 빔에 인가되기 때문에 구간 II 및 구간 III에서의 수렴의 효과는 구간 I 및 구간 IV에서의 발산의 효과보다 더 크다. 두번째 이유는 하전 입자 빔이 구간 I에서보다 더 오랜 시간 동안 구간 II에서 이동하며, 구간 IV에서보다 더 오랜 시간 동안 구간 III에서 이동한다는 점이다. 모멘텀의 변화가 임펄스와 동일하기 때문에, 전자 빔이 이동하는데 오랜 시간이 걸리는 간격으로 전자 빔에서 더 큰 효과가 생긴다.
- [0046] 수렴 효과는 전술한 이유 때문에 생성된다. 하전 입자 빔은 양전위가 전극(3B)에 인가되는 경우 유사한 방식으로 수렴된다. 양 전하를 갖는 하전 입자 빔이 더 수렴된다. 수렴 효과는 전극(3B)의 양/음 전위 및 하전 입자 빔의 양/음 전하의 임의의 조합에 대해 생긴다. 구간 I 내지 구간 IV에서 전기장을 형성하는 개구(2)의 형상 오차로 인해 수렴 필드의 대칭성이 파괴되면, 정전 렌즈는 비점 수차와 같은 고위 수차를 갖는다. 그러므로, 개구의 형상이 정확하게 형성되는 것이 필요한데, 그 이유는 정전 하전 입자 빔의 수차가 전극에 형성된 개구의 형상 오차에 의해 민감하게 영향을 받기 때문이다.
- [0047] 개구가 형성될 전극이 두꺼울수록, 개구의 형상 오차를 감소시키는 것은 더 어렵다. 전극의 두께가 큰 경우, 전극의 내부를 관통하여 전면 및 후면에 있는 개구의 형상 오차를 제어하는 것은 어렵다. 그 결과, 요구되는 정밀도가 높아지면, 가공 비용이 증가하거나 제조가 어려워질 수 있다. 가공 난이도를 감소시키기 위해, 더 얇은 전극이 사용될 수 있다. 그러나, 단순히 전극의 두께가 감소되면, 전극에 인가된 전압에 의해 생성되는 정전 인력으로 인해 전극이 변형될 수 있다. 정전 렌즈의 수차를 감소시키기 위해, 렌즈의 초점 거리를 감소시킴으로써 구면 수차를 감소시키는 것 또한 필요하다. 그러나, 이 경우, 전극 사이에 강한 자기장이 생성되며, 이로써 정전 인력으로 인한 전극의 변형이 증대한 문제점을 일으킨다. 전극의 변형이 일어나면, 전극 사이의 거리 오차가 발생하며, 개구가 광축(J)에 대해 기울어질 수 있으며, 이로써 하전 입자 빔의 렌즈 효과에 영향을 미치는 개구 형상의 대칭성이 후술되는 바와 같이 파괴될 수 있다. 그 결과, 구면 수차가 감소됨에도 불구하고, 고위 수차들이 증가하거나, 하나의 전극에 복수의 개구를 갖는 렌즈 어레이의 경우 개별 렌즈의 초점 거리의 변동이 일어날 수 있다.
- [0048] 그러므로, 개구가 큰 두께로 연장되는 부위의 개구 단면의 진원도의 기여율이 감소될 수 있으며, 관통-홀을 형성하는 난이도를 증가시키지 않고 렌즈의 수차가 감소될 수 있다.
- [0049] 본 발명에 따른 하전 입자 빔 렌즈에서, 하전 입자 렌즈가 통과하는 개구는 제1 영역의 개구(2A), 제2 영역의 개구(2B), 및 제3 영역의 개구(2C)로 분할되며, 개구(2C)의 대표 직경은 개구(2A) 및 개구(2B)의 대표 직경보다 크다. 개구의 이러한 분할을 이용하면, 수차에 대한 개구(2C)의 기여를 감소시키고, 이 부위의 개구 단면이 좋지 않으면 렌즈의 수차에 대한 이러한 부위의 영향이 감소될 수 있다.
- [0050] 다음으로, 도 2a, 도 2b, 및 도 4를 참조하면, 전체 비점 수차에 대한 제3 영역의 개구(2C)의 진원도의 영향이 본 발명에 따른 대표 직경 사이의 관계를 사용함으로써 감소될 수 있다는 사실이 설명될 것이다.



- [0051] 도 2a는 도 1a의 파선 M에 의해 둘러싸인 본 발명에 따른 전극(3B)의 부위의 확대 단면도이다. 도 2a에 예시된 바와 같이, 제1 영역(5)의 개구(2A), 제2 영역의 개구(2B), 및 제3 영역의 개구(2C)는 각각 대표 지름 D1, D1 및 D2를 갖는다. 여기에서, 자유 표면 측의 제1 영역(5)의 표면은 전극(3B)의 제1 표면이고, 자유 표면 측의 제2 영역(6)의 표면은 제2 표면이다. 즉, 전극(3B)은 제1 표면 및 제1 표면의 반대편인 제2 표면을 갖는다. 전술한 바와 같이,  $D1 < D2$ 이다. 두께는 각각  $t$ ,  $t$ , 및  $t'$ 이다. 전극(3B)은 제1 계면(13) 및 제2 계면(14)을 통해 접합된 구조를 갖는다. 제1 영역(5)은 법선으로서 광축(J)을 갖는 전극(2B)의 최외각 표면에 대응하는 제1 표면(8)을 포함한다. 제2 영역은 제1 표면(8)의 반대 측에서 법선으로서 광축(J)을 갖는 전극(2B)의 최외각 표면에 대응하는 제2 표면(9)을 포함한다. 도 2b는 대표 직경 D1 및 D2가 동일한 경우로서 종래 기술의 경우를 예시한다. 도면에 예시된 바와 같이, 도 2b는 대표 직경 D1 및 D2 사이의 관계를 제외하고 도 2a와 동일한 구조를 예시한다.
- [0052] 도 4는 도 2a 및 도 2b의 경우에서 렌즈의 비점 수차에서의 개구들(2A 및 2B)의 수차의 합산의 비율(기여율)을 예시한다. 수평축은 개구들(2A 및 2B)의 직경 D1과 두께  $t$ 의 비를 표현한다. 속이 찬(solid) 원들은 직경 D1 및 D2가 동일한 경우를 표현한다.
- [0053] 직경 D1 및 D2가 동일한 경우, 개구들(2A 및 2B)이 두께  $t$ 는 직경 D1의 1/8이고, 개구들(2A 및 2B)의 수차들의 합이 전체 수차의 80%를 차지할 수 있다. 개구들(2A 및 2B) 사이에 작은 차이가 존재하기 때문에, 개구들(2A, 2B, 및 2C)의 기여율은 각각 44%, 36%, 및 20%이다.
- [0054] 도 4의 속이 빈(open) 원들은 직경 D1이 직경 D2의 0.8배인 본 발명의 경우를 표현한다. 직경 D1이 직경 D2의 0.8배인 경우, 직경 D1 및 D2가 동일한 경우에 비해, 두께  $t$ 가 작은 경우에도 개구들(2A 및 2B)의 기여율이 높다. 두께  $t$ 가 직경 D1의 1/8인 경우, 기여율은 약 94%이다. 두께  $t$ 가 직경 D1의 1/5인 경우, 기여율은 96%이다. 이에 따라, 특히,  $D1 < D2$ 인 영역에서, 개구(2A 및 2B)의 기여율은 더 증가될 수 있다.
- [0055] 기여율 사이의 관계는 개구(2C)의 두께  $t'$ 가 변하는 경우에도 변하지 않는다. 그러므로, 개구(2C)의 두께를 증가시킴으로써, 기여율 사이의 관계를 유지하면서 전극 전체의 두께는 증가될 수 있다. 이 경우, 수차에 대한 개구들(2A 및 2B)의 기여율이 높기 때문에, 렌즈의 전체의 수차에 대한 영향은 개구(2C)가 큰 제조 오차를 갖는 경우에도 감소될 수 있다.
- [0056] 이후, 개구들(2A 및 2B)과 같이 수차에 대한 기여율이 표면 근처 위치의 개구 단면에 의해 상당한 영향을 받는 메커니즘, 및 개구가 형성되는 평판의 두께와 개구 단면의 진원도 사이의 관계가 순서대로 설명될 것이다.
- [0057] 도 7을 참조하면, 수차에 대한 개구의 형상의 기여율은 위치가 개구들(2A 및 2B)에서의 위치들과 같은 제1 영역 및 제2 영역의 표면 근처의 위치로부터 관통-홀에서 더 깊게 이동함에 따라 감소한다. 도 7은 도 6의 파선 Z에 의해 둘러싸인 부위의 확대 단면도이다. 곡선 K, L, 및 M은 전극(3B)의 개구(2)의 표면 근처의 공간의 등전위선(equipotential line)들을 표현한다. 곡선 H는 개구(2)의 최외각 표면에 대응하는 전속선들을 표현한다. 도 7에 예시된 바와 같이, 곡선 K, L, 및 M은 전속선 H의 외부 영역의 전극(3B)의 표면(즉, 개구(2)가 형성되지 않은 측면)에 실질적으로 평행하다. 그러므로, 이 영역에서의 전속선들은 전극의 법선에 실질적으로 평행하다. 그러므로, 렌즈 효과를 생성하는 R 방향으로의 전기장에 대한 이 영역에서의 전극의 형상의 영향(도 6의  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ , 및  $f_4$  참조)은 무시할 수 있을 정도로 작다.
- [0058] 한편, 등전위선 K, L, 및 M은 전속선 H의 내부 영역(즉, 개구(2)가 형성된 측면)에서 개구(2)의 내부를 향해 구부러진다. 그러므로, 전속선 H 및 전속선 H 내부의 전속선들은 R 방향으로 전기장을 형성하는데, 이는 도 6을 참조하여 설명되는 바와 같이 렌즈 효과를 생성한다. 3차원적으로, 하전 입자 빔이 도 6에 예시된 전기장에 의해 R 방향으로 영향을 받으며, 법선으로서 광축(J)을 갖는 평면에서 광축(J)의 중심 주변의 모든 원주 방향으로 렌즈 효과를 생성한다. 광축(J) 주변의 원주 방향의 전속선 H 및 전속선 H 내부의 전속선의 대칭성(즉, 원형의 진원도)은 법선으로서 광축(J)을 갖는 평면을 따라 절취된 개구(2)의 단면의 형상의 대칭성에 의해 영향을 받는다. 등전위선 K, L, 및 M 사이의 거리는 개구(2)의 광축(J)을 향해 증가한다. 전속선 밀도는 전속선 H로부터의 내부 방향, 및 두께 방향의 더 깊은 방향으로 감소한다. 그러므로, 전극의 최외각 표면에서의 개구(2)의 단면 형상은 하전 입자 빔의 수렴에 가장 크게 영향을 미치고, 이 영향은 두께 방향으로의 깊이가 증가할수록 감소한다.
- [0059] 여기에서, 도 6의 구간 II에서의 전기장 방향  $f_2$ 가 상세히 설명되었다. 동일한 이유로 인해, 구간 I, III, 및 IV에서의 전기장 방향  $f_1$ ,  $f_3$ , 및  $f_4$  각각에 관해, 전극의 최외각 표면의 개구(2)의 단면 형상은 하전 입자 빔의 수렴에 가장 크게 영향을 미친다. 그러므로, 그 영향은 최외각 표면으로부터의 거리가 증가함에 따라 감소

한다.

- [0060] 개구의 깊이가 증가하는 경우라도, 표면 근처의 개구 단면의 기여율은 변하지 않는다. 즉, 수차에 대한 개구(2A 및 2B)의 기여율을 변경시키지 않고 개구(2C)의 두께가 증가될 수 있다. 개구(2C)의 개구 단면의 진원도가 본 발명의 대표 직경 사이의 관계  $D1 < D2$ 으로 인해 수차에 대해 작은 기여율만을 갖기 때문에, 수차의 증가를 억제하면서 전체 전극의 두께 및 강도가 증가될 수 있다.
- [0061] 도 8 및 도 9를 참조하면, 평판에서의 관통-홀을 형성하는 프로세스와 진원도 사이의 관계가 설명될 것이다. 도 8은 전극들(3A, 3B, 및 3C)로서 단결정 실리콘의 평판을 포함하는 하전 입자 빔 렌즈의 단면도이다. 도 1a의 경우에서와 같이, 각각의 전극은 하전 입자 빔이 통과하는 개구(2)를 갖는다. 도 9는 도 8의 파선 U에 의해 둘러싸인 부위의 확대 단면도이다.
- [0062] 도 9는 개구가 화살표 N 방향으로 기판을 통해 연장되도록 단결정 실리콘의 딥 드라이 에칭(deep dry etching)을 수행함으로써 형성되는 단면 형상을 예시한다. 딥 드라이 에칭 프로세스에서, 에칭 가스 및 보호 가스를 교대로 공급하면서 에칭이 수행된다. 그러므로, 도 9에 예시된 바와 같이, 스칼롭(scallop)이라고 지칭되는 소형 요철이 측면에 형성된다. 에칭 프로세스로서, 에칭 가스와 보호 가스의 공급 및 배출 및 화학 반응으로 인한 열과 같은 요철에 영향을 미치는 오차 요인들이 증가한다. 그러므로, 요철의 깊이 및 피치(pitch)가 위치에 따라 변하며, 이로써 진원도가 더 악화될 수 있다. 더구나, 개구가 기판을 관통하여 연장되기 직전에 개구가 형성되고 있는 방향으로의 계면의 존재로 인해 에칭 가스의 경로가 휘어지며, 이로써 “파선 S로 둘러싸인 영역에 의해 도시된 바와 같이 개구가 넓어지는 “노칭(notching)”이라고 지칭되는 현상이 일어난다고 알려져 있다. 이 효과로 인해, 이러한 개구의 진원도가 화살표 N 방향으로 더 악화된다. 그러므로, 파선 S에 의해 둘러싸인 영역의 진원도가 가장 악화되어 있다. 개구에서의 에칭 깊이가 깊어질수록, 에칭 개시면(화살표 N의 뒷부분 근처의 표면)에서의 에칭 마스크의 에지 부위(미도시)에서 사이드 에칭(side etching)이 더 자주 일어나며, 이로써 에칭 마스크의 개구 형상이 변형된다. 그러므로, 진원도가 악화된다. 전술한 바와 같이, 평판에서의 개구를 형성할 때, 평판의 두께가 커질수록 진원도가 악화된다.
- [0063] 본 발명을 이용하면, 개구(2C)의 두께가 증가되는 경우에도, 수차에 대한 이 부위에서의 개구 단면의 기여율이 낮다. 그러므로, 높은 진원도를 갖는 개구를 형성하는 정밀도가 두께 증가로 인해 개선될 수 없는 경우에도 렌즈의 수차의 증가가 억제될 수 있다.
- [0064] 다음으로, 두께 방향으로의 제1 영역 내지 제3 영역의 개구 단면의 진원도가 설명될 것이다. 도 14는 도 2a의 제3 영역(7)에서 도 9에 도시된 바와 같은 실리콘의 딥 드라이 에칭을 수행함으로써 형성되는 관통-홀을 예시한다. 도 14는 제3 영역(7)만을 예시한다. 도 14에서의 화살표 T1 내지 화살표 T5에 의해 표시되는 바와 같이, 개구 단면들은 깊이 방향을 따라 임의의 위치에서 정의될 수 있다. 전술한 대표 직경 및 진원도는 이들 개구 단면 각각에 대해 정의될 수 있다. 여기에서, 제3 영역(7)의 대표 직경 및 진원도는 개구의 깊이 방향으로 임의의 위치에서 이러한 방식으로 정의될 수 있다. 최외각 표면(자유 표면이라고도 지칭됨) 이외의 영역의 일부의 대표 직경 및 진원도는 개구를 도금 등을 이용하여 일시적으로 매립하고, 연마한 후, 개구를 관찰함으로써 측정될 수 있다. 대안으로서, 이러한 직접적인 측정을 수행하는 대신, 최외각 표면의 측정이 대표 값으로서 사용될 수 있다. 최외각 표면 이외에 제1 영역 내지 제3 영역의 부분들은 수차에 더 적게 기여하는 부분들이다. 그러므로, 최외각 표면들에 비해, 동일한 자릿수에서의 이들 부분의 대표 직경 및 진원도의 변화가 수차에 더 적게 영향을 미친다. 그러므로, 두께 방향으로의 개구의 여러 섹션에서의 대표 직경 및 진원도의 측정값들이 상이한 자릿수를 갖는 이상점(outlier)들을 포함하는 값들의 분포를 갖지 않으면, 최외측 표면들(즉, 도 14에서 위치 T1 및 T5)에서의 대표 직경 및 진원도의 평균이 대표 값으로서 사용될 수 있다.
- [0065] 다음으로, 도 3을 참조하면, 더 알맞은 직경 범위  $D1 < D2$ 가 설명될 것이다. 도 3a는 도 2a의 파선 Y에 의해 둘러싸인 영역의 확대 단면도이다. 도 1a에 예시된 전극들(3A 및 3C)은 접지 전위로 유지되고, 음전위가 전극(3B)에 인가된다. 그러므로, 제1 영역(5)의 상부 표면에 정전 인력이 생성된다. 이하, 이러한 정전 인력은 근사치로서 분포 하중(distributed load)  $w$ 로 간주될 것이다.
- [0066]  $D1 < D2$ 인 경우, 도 3a에 예시된 바와 같이 제1 영역(5)은 제3 영역을 향해 고리 형상으로 돌출된 돌출부를 갖는다. 돌출부는 정전 인력을 받으면 분포 하중  $w$  방향으로 변형된다. (단면도인 도 3a의 선분 PQ에 의해 표현된) 돌출부의 끝면(end face)의 분포 하중 방향 변형  $y$ 가 다음의 수학적 식으로 표현될 수 있다.

## 수학식 1

$$y = K_f \cdot \frac{w \cdot D_2^4}{16D} \quad (1)$$

[0067]

## 수학식 2

$$D = \frac{E \cdot t^3}{12(1-\nu^2)} \quad (2)$$

[0068]

[0069] (E는 영률(Young's modulus)이고,  $\nu$ 는 푸아송 비(Poisson's ratio)임)

[0070] 수학식 1의 계수  $K_f$ 는 직경 D1과 직경 D2의 비의 함수이고, 고리 형상의 돌출부의 강도에서 직경 D1 및 D2의 형상 인자의 계수이다. 계수  $K_f$ 는 위치 변화 y의 비례 계수이다. 그러므로, 계수  $K_f$ 가 클수록, 강도가 낮아진다.

[0071] 도 3b는 직경 D1 및 D2의 비의 함수로서 계수  $K_f$ 를 나타낸다. D1/D2가 1에 접근함에 따라(즉, 돌출부가 더 작아짐에 따라), 강도가 증가한다. 도 3c는 D1/D2에 관해 계수  $K_f$ 의 도함수를 나타낸다. 계수  $K_f$ 의 미분 계수는 D1/D2 = 0.4 근처의 최소값을 갖는다.

[0072] 미분 계수  $K_f$ 의 최소 지점 근처에서는 D1/D2의 변화에 대한 계수 변화의 비가 최대이다. 즉, 가공 오차로 인한 D1/D2가 변하면, 강도가 크게 변한다. 그러므로, 돌출부의 위치 변화 y가 크게 변한다. 이와 같이 가공 오차로 인해 위치 변화가 달라지면, 개구(2A)의 진원도가 달라질 수 있으며, 또한 유효 직경 D1이 변형에 따라 달라질 수 있다. 복수의 개수를 갖는 전극을 포함하는 렌즈 어레이의 경우, 개구들의 변형 사이의 차이는 더 커질 수 있다.

[0073] 그러므로, D1/D2는 0.4보다 크고, 1.0보다 작을 수 있다. 이 범위에서, 계수  $K_f$  및 계수  $K_f$ 의 미분 계수의 절대값은 그 범위에서 작으며, 이로써 돌출부의 변형 및 개구의 가공 오차로 인한 변형의 변동 모두가 감소될 수 있다.

[0074] D1/D2가 0.8 이상이고 1.0 미만이면, 변형 및 그 변형의 변동은 더 감소될 수 있다. 특히, D1/D2가 0.8 이상이고 1.0 미만인 범위에서, D1/D2 = 0.8는 수차를 최소로 만들 수 있는 값이다.

[0075] 다음으로, 본 실시예의 물질 및 치수들의 특정 예들이 설명될 것이다. 전극들(3A, 3B, 및 3C) 각각의 제1 영역, 제2 영역, 및 제3 영역은 단결정 실리콘으로부터 만들어진다. 제1 영역, 제2 영역, 및 제3 영역의 두께는 각각 6마이크로미터, 6마이크로미터, 및 90마이크로미터이다. 개구들(2A 및 2B)의 직경 D1은 30마이크로미터이고, 개구(2C)의 직경(D2)은 36마이크로미터이다. 전극 패드(10)는 실리콘에 대한 접착력이 우수하고, 도전성이 높고, 내산화성이 높은 금속막으로 만들어진다. 예를 들어, 티타늄, 백금, 및 금으로 만들어진 다층막이 사용될 수 있다. 계면(13 및 14)에 실리콘 산화막이 형성된다. 전극들(3A, 3B, 및 3C)의 제1 표면(8)과 제2 표면(9) 및 개구들(2A, 2B, 및 2C)의 내벽면(inner wall)이 금속막에 의해 덮힐 수 있다. 이 경우, 산화에 대한 내성이 있는 백금과 같은 금속 또는 도전성을 갖는 몰리브덴 산화물이 사용될 수 있다. 전극(3A, 3B, 및 3C)은 서로 400마이크로미터의 거리만큼 서로 이격되고, 광축 J 및 법선을 갖는 평면에 평행하도록 배치된다. 전극들은 서로 전기적으로 절연된다. 전지 전위가 전극(3A 및 3C)에 인가되고, -3.7KV의 전위가 전극(3B)에 인가되며, 이로써 전극들이 단독 렌즈 역할을 한다. 도 5는 전자 빔이 하전 입자 빔으로서 사용되고 가속 전압이 5keV인 경우 본 실시예에 따른 전극(3B)의 비점 수차를 도시한 표이다. 개구들(2A 및 2B)의 진원도는 9nm이고, 개구(2C)의 진원도는 90nm이다. 표에 예시된 바와 같이, 비점수차의 내역은 2.14nm, 2.94nm, 및 1.74nm이다. 개구(2C)의 진원도가 개구(2A 및 2B)의 10배임에도 불구하고, 전체 전극(3B)의 비점 수차는 4.0nm이다(비점 수차의 값은 모두 가우시안 분포의 1/e 반경으로서 표현됨). 이는 개구들(2A, 2B, 및 2C)의 직격이 모두 30마이크로미터인 경우의 비점 수차에 대응하고, 100마이크로미터의 전체 두께에 걸친 단면 형상의 진원도는 9nm이다.

[0076] (9nm의 진원도에 대응하는) 높은 진원도가 요구되는 개구의 부위들은 6마이크로미터의 두께의 박판으로 형성될

수 있다. 그러므로, 가공의 난이도가 감소될 수 있으며, 9nm 정도의 진원도의 오차를 갖는 원형 개구가 개구를 따라 형성될 수 있다. 개구(2C)의 영역에 90마이크로미터의 두께를 갖는 관통-홀을 형성하는 것이 필요함에도 불구하고, 이 부위의 진원도가 10배 악화될 수 있기 때문에 가공의 난이도가 증가되지 않는다.

[0077] 도 10을 참조하면, 제3 영역(7)의 개구(2C)의 지름이 증가함에 따라 비점 수차가 감소한다는 사실이 설명될 것이다. 도 10은 개구(2C)의 직경과 비점 수차의 변화 사이의 관계를 예시한다. 비점 수차는 개구(2C)의 개구 단면의 진원도가 10nm인 경우에 대응한다. 도 10은 개구들(2A 및 2B)이 이상적인 원형인 경우 개구(2C)로 인한 비점 수차의 값들을 예시한다. 도 10으로부터 알 수 있듯이, D2가 증가함에 따라 비점 수차가 감소한다. 그러므로,  $D1 < D2$ 를 유지하는 동안 D2의 값을 증가시키으로써, 개구(2C)의 진원도에 대한 비점 수차의 민감도가 감소될 수 있다. 이에 따라, 개구(2C)에서의 개구 단면의 진원도가 악화된 경우에도, 관계  $D1 < D2$ 를 유지하면서 D2를 설정함으로써, 수차가 작은 하전 입자 빔 렌즈가 제조될 수 있다.

[0078] 다음으로, 두께 방향으로의 제3 영역(7)의 진원도의 분포와 수차 기여율 사이의 관계가 설명될 것이다. 전술된 설계예에서 전극(2B)의 개구를 예시하는 도 15에 예시된 바와 같이, 제3 영역(7)은 각각이 두께 방향으로 10마이크로미터의 길이를 갖는 영역 S1 내지 영역 S9로 분할된다. 이들 영역이 상이한 진원도를 갖는 경우, 진원도에 대한 비점 수차의 민감도가 분석된다. 도 16에서, 수평축은 깊이 방향(각 영역의 중심에서의 깊이가 대표 위치로서 사용됨)의 영역 S1 내지 영역 S9의 위치를 나타내며, 수직축은 제3 영역(7) 전체의 수차에 대한 영역의 수차의 비율(기여율)을 나타낸다. 즉, 도 16은 이들 영역의 진원도가 동일한 경우 비점 수차에 대한 영역 S1 내지 영역 S9의 영향을 도시한다. 도 16으로부터 알 수 있는 바와 같이, 수차의 약 84%가 최외각 표면으로부터 20마이크로미터 내에 배치된 영역 S1, S2, S8, 및 S9에 의해 결정된다. 두께 방향으로 중간에 위치하는 영역들 S4, S5, 및 S6 각각의 기여율은 2% 이하인데 이것이 한계이다.

[0079] 다음으로, 진원도가 실제로 분포를 갖는 경우 수차의 크기 사이의 관계가 설명될 것이다. 도 17a는 영역 S1 내지 영역 S9의 진원도의 분포를 예시한다. 속이 빈 삼각형들은 영역 S1 내지 영역 S9가 동일한 진원도를 갖는 경우의 분포를 나타내고, 속이 빈 원들은 영역 S1 내지 영역 S9가 가장 작은 진원도를 갖고 진원도가 영역 S5를 향해 증가하는 경우의 분포를 나타내고, 속이 찬 원들은 진원도가 영역 S1으로부터 영역 S9으로 증가하는 경우의 분포를 나타낸다.

[0080] 실리콘이 도 9에 예시된 하나의 방향으로부터 딥 드라이 에칭된 경우에, 진원도는 속이 찬 원으로 표현된 분포를 가질 것이다. 실리콘이 전면 및 후면으로부터 딥 드라이 에칭되는 경우, 진원도는 속이 빈 원들로 표현된 분포를 가질 것이다. 이들 2개의 경우는 이들 분포가 실제 가공에 통상적으로 일어나기 때문에 중요하다. 도 17b는 비점 수차의 기여율을 예시한다. 도 17b의 지점들의 타입은 도 17a의 지점들의 타입에 대응한다. 속이 찬 원들의 경우, 최외각 표면 근처의 영역 S1 및 S2이 기여율은 낮고, 최외각 표면 반대편 근처의 영역 S8 및 S9의 기여율은 높다. 그 결과, 수차의 약 84%가 최외각 표면으로부터 20마이크로미터 내의 영역 S1, S2, S8, 및 S9에 의해 결정된다. 속이 빈 원들의 경우, 중간 영역 S4, S5, 및 S6의 기여율이 더 높다. 그러나, 이들 영역의 기여율이 여전히 낮기 때문에 총 수차에 대한 영향은 작다. 그 결과, 수차의 약 76%가 최외각 표면으로부터 20마이크로미터 내에 배치된 영역 S1, S2, S8, 및 S9에 의해 결정된다.

[0081] 전술한 바와 같이, 진원도 분포의 경우 각각에서, 제3 영역(7)의 총 두께가 100마이크로미터라고 하더라도, 수차의 대부분이 최외각 표면으로부터 20마이크로미터 내의 영역들에 의해 결정된다. 특히, 최외각 표면들의 기여율이 높다. 진원도가 두께 내에서 몇 백씩 달라지는 도 17a의 속이 빈 원들의 경우에, 최외각 표면들의 영향이 가장 크다. 두께 방향의 영역의 개구의 프로파일에서 형상 또는 표면 조건의 변화가 과도하지 않으면, 전면 및 후면 최외각 표면에서의 진원도만이 측정될 수 있으며, 진원도의 평균값이 영역의 평균 진원도로서 사용될 수 있다. 이러한 측정에 기반하여 결정된 대표 진원도가 충분히 우수한 근사치로 수차를 검사하는데 사용될 수 있다. 그러므로, 두께 방향의 진원도의 분포를 측정하는 것이 어려운 경우, 측정 방법이 이러한 방식으로 간략화될 수 있으며, 이로써 본 발명에 따른 개구 단면의 형상이 검사될 수 있다.

[0082] 도 18은 제3 영역(7)의 직경이 34마이크로미터 및 38마이크로미터인 경우에 대해 진원도 분포가 도 17a의 속이 찬 원으로 표현된다고 가정하고 획득된 실제 비점 수차의 값들을 도시한다. 전술한 바와 같이, 직경이 클수록, 수차는 작아진다. 특히, 최외각 표면으로부터 20마이크로미터 내의 영역의 비점 수차의 차이가 크다. 이로 인해, 직경 변화에 관해, 최외각 표면들의 영향이 가장 크다. 그러므로, 진원도와 마찬가지로, 두께 방향으로의 영역 내의 개구의 프로파일에서 형상 또는 표면 조건의 변화가 과도하지 않으면, 전면 및 후면 최외각 표면에서의 대표 직경들의 평균은 영역의 평균 대표 직경으로서 사용될 수 있다.

[0083] 다음으로, 본 실시예를 제조하는 방법이 설명될 것이다. 제1 영역, 제2 영역, 및 제3 영역은 제1 계면(13) 및



제2 계면(14)을 통해 서로 접합된다. 각각이 제1 영역 및 제2 영역이 될 두께가 6마이크로미터인 디바이스 층, 임베디드 산화막 층, 및 핸들 층(handle layer)을 갖는 실리콘-온-인슐레이터(SOI) 기판들이 준비된다. 우선, 고정밀도 포토리소그래피 및 실리콘의 드라이 에칭을 수행함으로써 개구들(2A 및 2B)이 디바이스 층에 형성된다. 그 후, 기판 전체가 열적 산화된다. 포토리소그래피 및 실리콘의 딥 드라이 에칭을 수행함으로써, 제3 영역과 동일한 88마이크로미터의 두께를 갖는 실리콘 기판에 개구(2C)가 형성된다. 그 후, 개구(2A 및 2B)가 형성된 SOI 기판의 디바이스 층들은 열적 산화막을 통해 개구(2C)가 형성된 실리콘 기판의 전면 및 후면에 직접 접합된다. 그 후, 2장의 SOI 웨이퍼의 핸들 층 및 임베디드 산화막 층, 개구(2A 및 2B)의 접합 계면 이외의 열적 산화막을 차례로 제거함으로써, 각각이 제1 영역, 제2 영역, 및 제3 영역을 갖는 전극들(3A, 3B, 및 3C)이 형성될 수 있다. 본 실시예는 계면(13 및 14)을 통해 접합되는 접합 구조뿐 아니라, 다른 위치에 계면을 갖거나 계면을 갖지 않는 구조에서도 동일한 효과를 갖는다. 그러나, 특히, 계면(13 및 14)을 통해 영역들이 접합된 경우에 형상의 정밀도가 요구되는 개구들(2A 및 2B)을 형성하는 단계 및 개구(2C)를 형성하는 단계가 별도로 수행될 수 있다. 그러므로, 에칭 조건들의 제어가 정밀하게 수행될 수 있고, 수율이 개선될 수 있다. 특히, 거의 완벽한 진원도가 요구되는 개구들(2A 및 2B)의 두께가 감소될 수 있으며, 이로써 그 개구들이 고정밀도로 형성될 수 있다. 더구나, 개구(2C)가 비교적 낮은 정밀도를 갖는 프로세스를 이용하여 형성될 수 있어서, 제조 비용 및 단계의 개수가 줄어들며 수율이 개선된다. 또한, 단결정 실리콘을 사용함으로써 포토리소그래피 또는 드라이 에칭과 같은 고정밀도 개구를 형성하는 프로세스 및 평탄도가 높은 표면을 통한 웨이퍼 접합에 의해 본 발명에 따른 전극이 높은 정밀도로 형성될 수 있다. 이에 따라, 이 설계예에서와 같이, 대략 수십 마이크로미터의 직경을 갖는 개구가 대략 수 나노미터의 진원도로 형성될 수 있다.

[0084] 접합이 수행되어 개구들(2A 및 2B) 및 개구(2C)가 계면(13 및 14)에서 서로 접촉하는 경우,  $D1 < D2$ 를 충족시키는 직경이 서로 상이하기 때문에 개구들의 에지는 동일한 위치에 위치하지 않는다. 그러므로, 접합 전에 개구들(2A 및 2C)을 열적 산화하는 경우, 열적 산화막의 두께가 분포를 갖기 때문에 돌출부가 에지 부위에 형성됨에도 불구하고, 접합 프로세스는 이들 돌출부에 의해 방해받지 않는다.

[0085] 제2 실시예

[0086] 도 12를 참조하여, 본 발명의 제2 실시예가 설명될 것이다. 도 11은 하전 입자 빔 렌즈의 단면도이다. 제1 실시예와 동일한 기능을 갖는 부위는 동일한 도면부호로 표시될 것이며, 제1 실시예와 동일한 효과의 설명은 생략될 것이다. 본 실시예 및 제1 실시예에서, 전극(3A, 3B, 및 3C) 각각은 복수의 개구(2A), 복수의 개구(2B), 복수의 개구(2C)를 갖는다. 본 실시예에서, 도 11에 예시된 바와 같이, 하전 입자 빔 렌즈는 5개의 개구가 전극 각각에 형성된 렌즈 어레이이다.

[0087] 개구(2C)의 직경은 개구(2A)의 직경보다 더 크다. 개구(2C)의 직경이 인접 개구 사이의 피치(pitch)보다 작기 때문에, 인접 개구(2C)들은 제3 영역에서 서로 연결되지 않는다. 그러므로, 전극 전체의 강도를 감소시키지 않고 렌즈 어레이가 형성될 수 있다.

[0088] 더구나, 개구 단면이 고정밀도로 형성될 수 있기 때문에, 렌즈 어레이의 개별 렌즈들의 개구 단면의 진원도 변동이 줄어들 수 있다. 렌즈 어레이의 개별 렌즈의 진원도는 불규칙 오차를 갖기 때문에, 개별적으로 진원도를 보정하는 것은 매우 어렵다. 그러므로, 개구 단면의 진원도의 변동을 감소시킴으로써, 대형 렌즈 어레이가 형성될 수 있다.

[0089] 특히, 전극이 제1 실시예와 동일한 방법으로 제조될 수 있는 접합 구조를 갖는 경우, 개구 단면들의 변동이 충분히 감소될 수 있다. 접합의 정렬 정밀도가 낮으면, 개구(2A 및 2B) 사이의 위치 변화가 일어난다. 그러나, 이러한 위치 변화는 렌즈 어레이 전체에서의 위치 변화가 균일하기 때문에 용이하게 보정될 수 있다. 그러므로, 이러한 구조는 대형 렌즈 어레이에 알맞다.

[0090] 제3 실시예

[0091] 도 19는 본 발명에 따른 하전 입자 빔 렌즈를 사용한 멀티 하전 입자 빔 노광 장치를 예시한다. 본 실시예는 개별적으로 투영계(projection system)를 갖는 소위 멀티-컬럼 타입이다.

[0092] 전자원(108)으로부터 애노드 전극(110)을 통해 방출된 방사 전자빔이 크로스오버 조정 광학계(111)로 인해 조사 광학계 크로스오버(112)를 형성한다.

[0093] 전자원(108)으로서 LaB6 또는 BaO/W(디스펜서 캐소드) 등 이른바 열이온 전자원(thermionic electron source)이 사용된다.



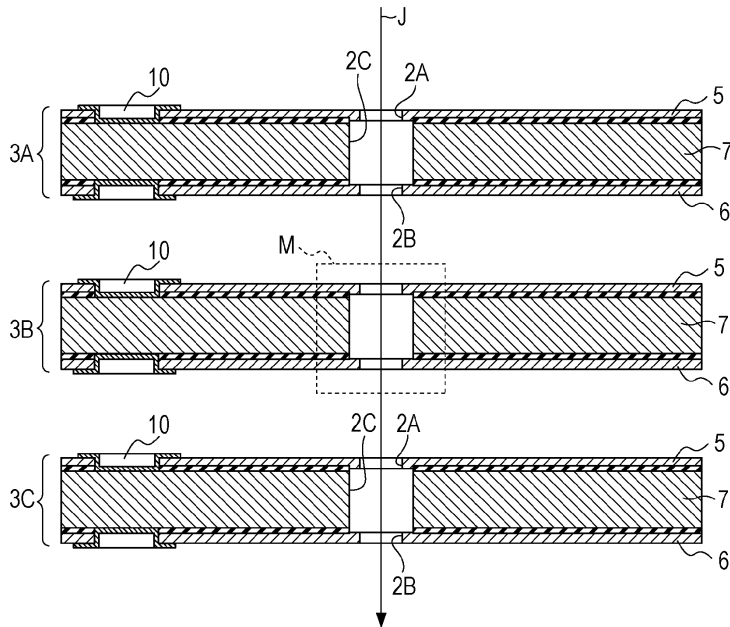
- [0094] 크로스오버 조정 광학계(111)는 2단 정전 렌즈를 포함한다. 제1 단 및 제2 단의 정전 렌즈 각각은 음의 전압이 중간 전극에 인가되고 상위 전극 및 하위 전극은 접지되어 있는 3개의 전극을 포함하는 이른바 단독 정전 렌즈이다.
- [0095] 조사 광학계 크로스오버(112)로부터 광각으로 확산되는 전자 빔은 콜리메이터(collimator) 렌즈(115)에 의해 평행하게 되어, 애퍼처 어레이(117)에 평행해진 빔이 조사된다. 애퍼처 어레이(117)는 전자 빔을 멀티 전자 빔(118)으로 분할한다. 집속 렌즈 어레이(119)가 멀티 전자 빔(118)을 블랭커 어레이(blanker array)(122)로 개별적으로 집속한다.
- [0096] 집속 렌즈 어레이(119)는 음의 전압이 중간 전극에 인가되고 상위 전극 및 하위 전극은 접지되어 있는 다수의 개구를 갖는 3개의 전극을 포함하는 단독 정전 렌즈 어레이이다.
- [0097] 애퍼처 어레이(117)는 애퍼처 어레이(117)가 NA(집속의 반각(half-angle of focus))를 정의하는 역할을 하도록 집속 렌즈 어레이(119)의 동공면(pupil plane)의 위치(집속 렌즈 어레이(119)의 전방 포커스의 위치)에 배치된다.
- [0098] 독립적인 편향 전극을 갖는 디바이스인 블랭커 어레이(122)는 리소그래픽 패턴 생성 회로(102), 비트맵 변환 회로(103), 및 귀선 소거(blanking) 지령 회로(106)에 의해 생성되는 귀선 소거 신호에 기반한 리소그래픽 패턴에 따라 개별적인 빔들의 온/오프 제어를 수행한다.
- [0099] 빔-온 상태에서는 블랭커 어레이(122)의 편향 전극에 전압이 인가되지 않는다. 빔-오프 상태에서는 블랭커 어레이(122)의 편향 전극에 전압이 인가되어 멀티 전자 빔들이 편향된다. 블랭커 어레이(122)에 의해 편향된 멀티 전자 빔(125)이 블랭커 어레이(122) 뒤에 배치된 스톱 애퍼처 어레이(123)에 의해 차단되어 그 빔이 중단된다.
- [0100] 본 실시예에서, 블랭커 어레이는 각각 블랭커 어레이(122) 및 스톱 애퍼처 어레이(123)과 동일한 구조를 갖는 제2 블랭커 어레이(127) 및 제2 스톱 애퍼처 어레이(128)가 제2 단에 배치되는 2단 구조를 갖는다.
- [0101] 블랭커 어레이(122)를 통과한 멀티 전자 빔은 제2 집속 렌즈 어레이(126)에 의해 제2 블랭커 어레이(127)에 집속된다. 그 후, 멀티 전자 빔들은 제3 집속 렌즈 및 제4 집속 렌즈에 의해 웨이퍼(133)에 집속된다. 집속 렌즈 어레이(119)와 마찬가지로, 제2 집속 렌즈 어레이(126), 제3 집속 렌즈 어레이(130), 및 제4 집속 렌즈 어레이(132) 각각이 단독 정전 렌즈 어레이이다.
- [0102] 특히, 제4 집속 렌즈 어레이(132)는 축소율이 100인 대물 렌즈이다. 이에 따라, (FWHM에서 스팟 직경이 2마이크로미터인) 블랭커 어레이(122)의 중간 촬상 면의 전자 빔(121)은 웨이퍼(133)의 표면에서 1/100로 축소되어 FWHM에서 약 20nm의 스팟 직경을 갖는 멀티 전자 빔의 영상을 형성한다. 제4 집속 렌즈 어레이(132)는 본 발명의 제2 실시예에 따른 하전 입자 빔 렌즈 어레이이다.
- [0103] 웨이퍼에 대한 멀티 전자 빔의 스캔이 편향기(131)를 사용함으로써 수행될 수 있다. 편향기(131)는 4단 대향 전극을 포함하는데, 이로써 x 및 y 방향의 2-스테이지 편향이 수행될 수 있다(간단히, 2단 편향기들이 하나의 유닛으로 예시됨). 편향기(131)는 편향 신호 생성 회로(104)에 의해 생성된 신호에 따라 구동된다.
- [0104] 패턴이 형성되면서, 웨이퍼(133)는 스테이지(134)에 의해 X 방향으로 연속적으로 이동된다. 웨이퍼에 대한 전자 빔(135)이 레이저 길이 측정 기계에 의해 획득된 실시간 측정 결과에 기반하여 편향기(131)에 의해 Y 방향으로 편향된다. 리소그래픽 패턴에 따라 블랭커 어레이(122) 및 제2 블랭커 어레이(127)에 의해 빔의 온/오프 제어가 개별적으로 수행된다. 이로 인해, 원하는 패턴이 고속으로 웨이퍼(133)에 형성될 수 있다.
- [0105] 본 발명에 따른 하전 입자 빔 렌즈를 이용함으로써, 수차가 작은 집속이 실현된다. 그 때문에, 미세한 패턴을 형성할 수 있는 멀티 하전 입자 빔 노광 장치가 실현될 수 있다. 또한, 큰 면적에서 멀티 빔이 통과하는 개구가 형성되는 경우조차 전극은 큰 두께를 가질 수 있으며, 이로써 멀티 빔의 개수가 증가될 수 있다. 그래서, 고속으로 패턴을 형성하는 하전 입자 빔 노광 장치가 실현될 수 있다.
- [0106] 본 발명에 따른 하전 입자 빔 렌즈 어레이는 집속 렌즈 어레이(119), 제2 집속 렌즈 어레이(126), 및 제3 집속 렌즈 어레이(130) 중 어느 하나로서 사용될 수 있다.
- [0107] 본 발명에 따른 하전 입자 빔 렌즈는 도 19에 예시된 복수의 빔을 사용하는 것 대신에 단일 빔을 사용하는 하전 입자 빔 리소그래피 장치로서 사용될 수 있다. 이 경우에도, 작은 수차만 갖는 렌즈를 사용함으로써, 미세한 패턴을 형성하는 하전 입자 빔 노광 장치가 실현될 수 있다.

[0108] 본 발명은 예시적인 실시예들을 참조하여 설명되었지만, 개시된 실시예들로 제한되지 않는다는 점이 이해되어야 한다. 다음의 청구항의 범위는 이러한 모든 변형에 및 균등 구조 및 기능을 포괄하도록 최광의로 해석되어야 한다.

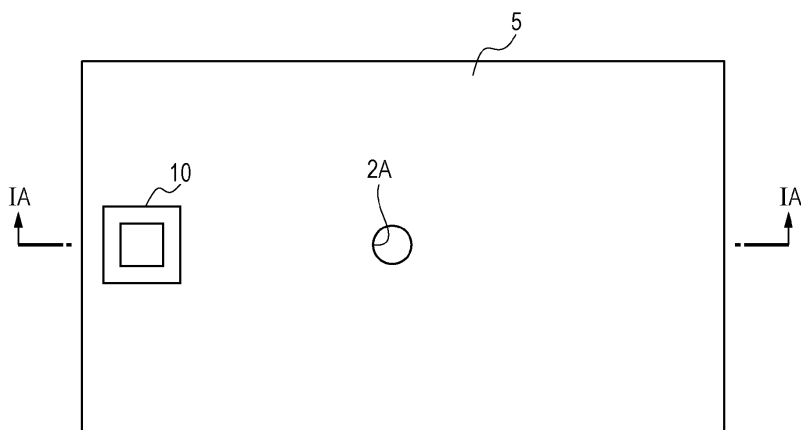
[0109] 본 출원은 2011년 3월 15일에 출원된 일본 특허출원 제2011-056813호에 대한 우선권을 주장하며, 그 내용은 전체적으로 참조로서 원용된다.

## 도면

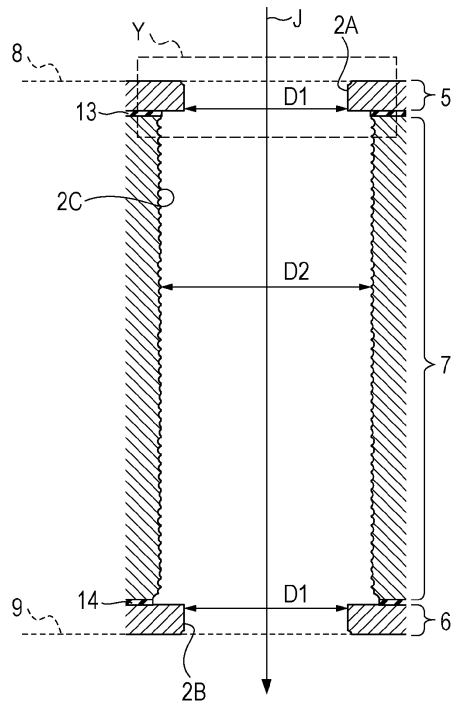
### 도면1a



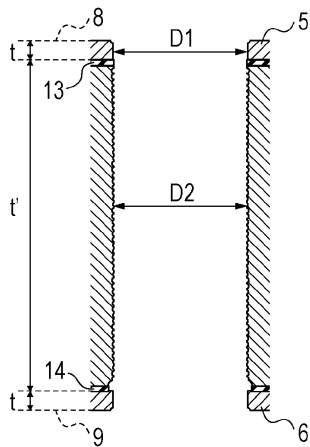
### 도면1b



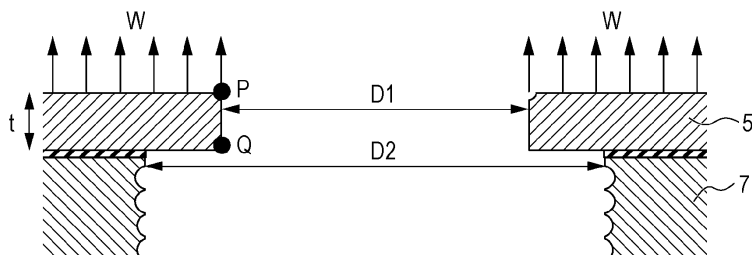
도면2a



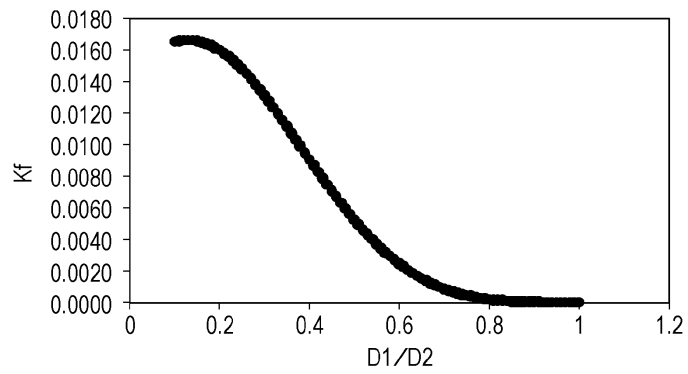
도면2b



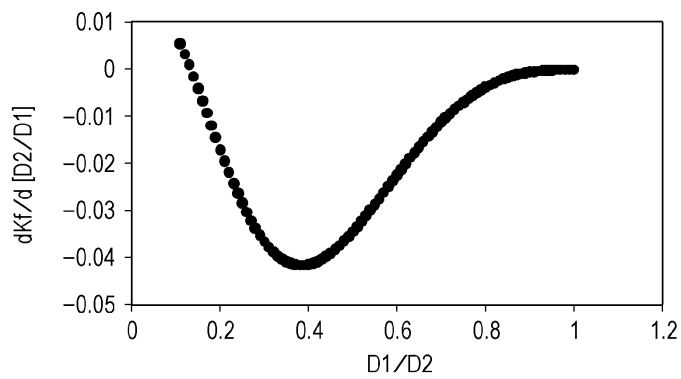
도면3a



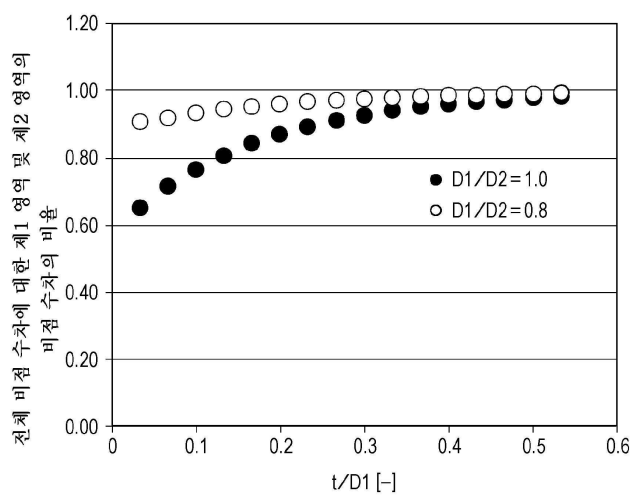
도면3b



도면3c



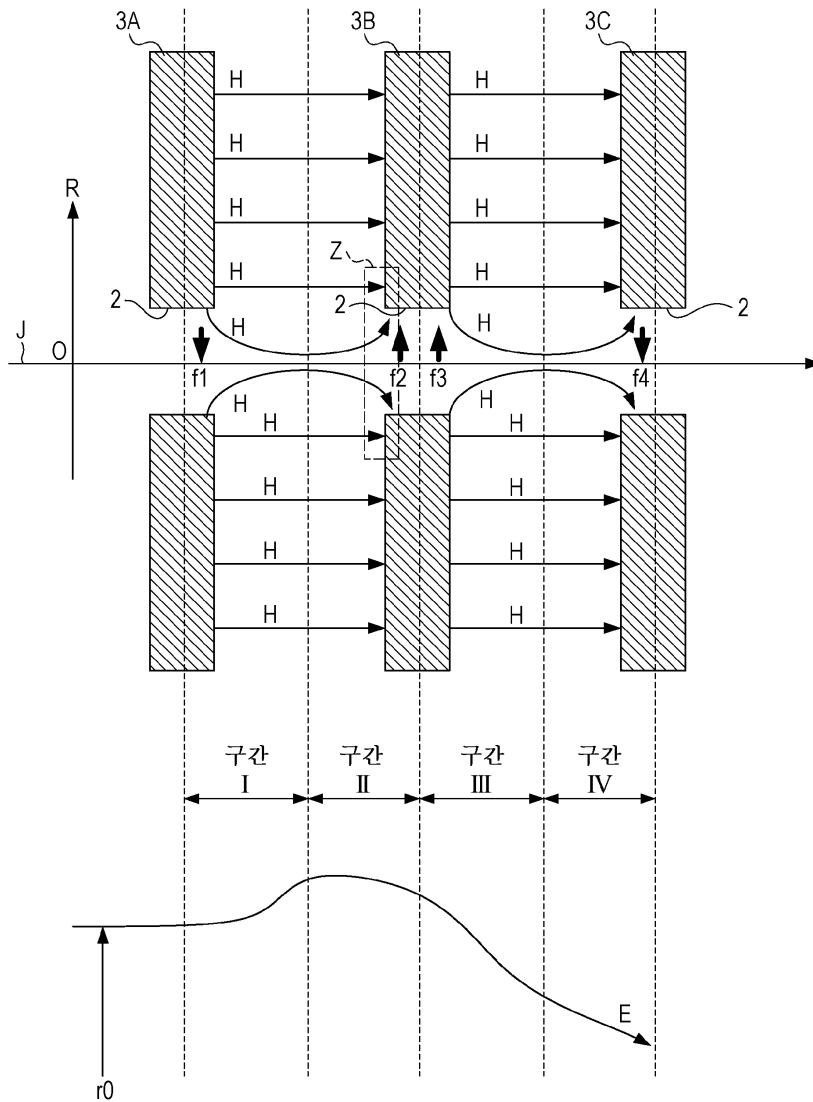
도면4



도면5

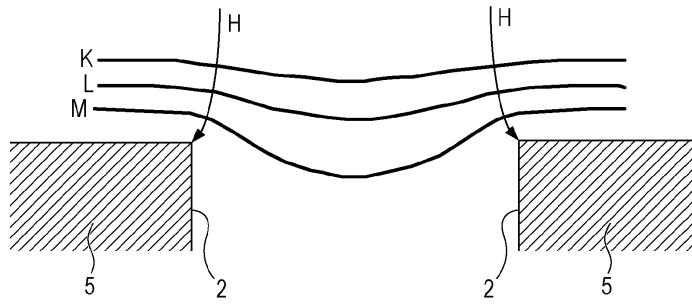
항목		제1 영역	제3 영역	제2 영역	단위
전원도	오차	9	90	9	nm
비점 수차	내역	2.14	2.94	1.74	nm
	전체	4.0			nm

도면6

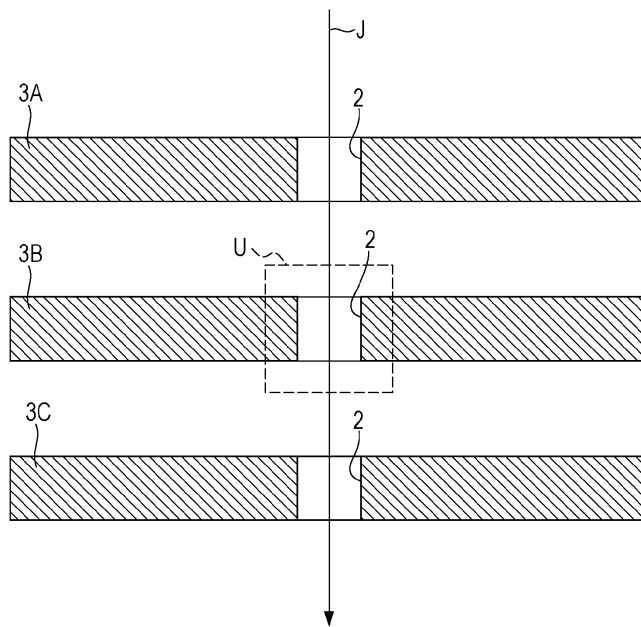




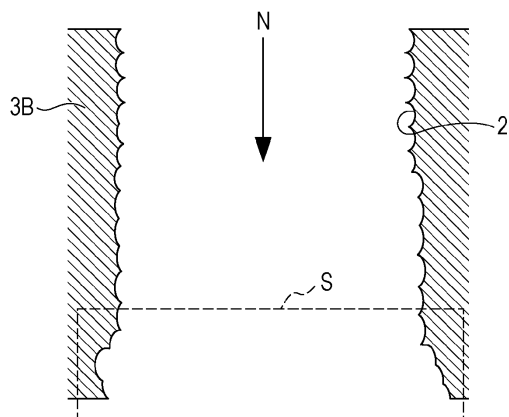
도면7



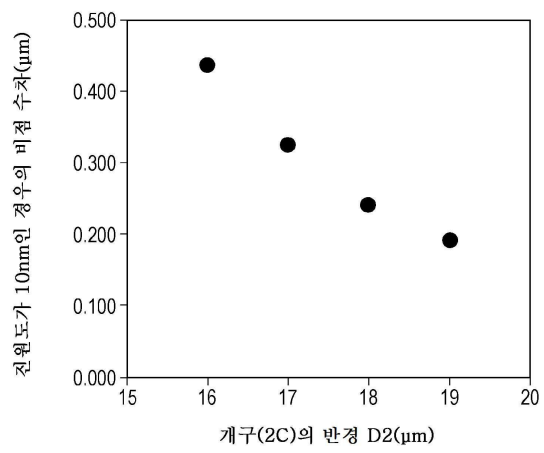
도면8



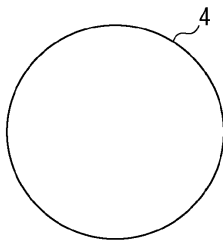
도면9



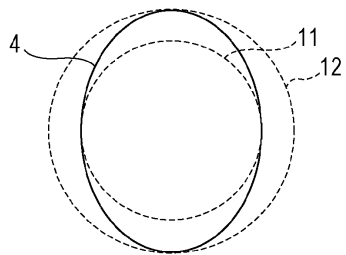
도면10



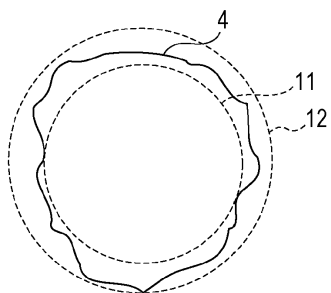
도면11a



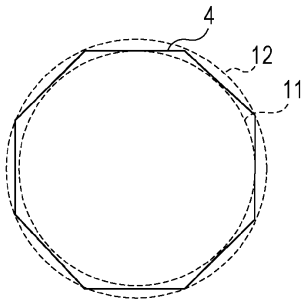
도면11b



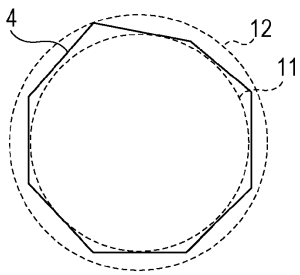
도면11c



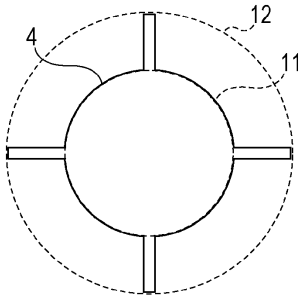
도면11d



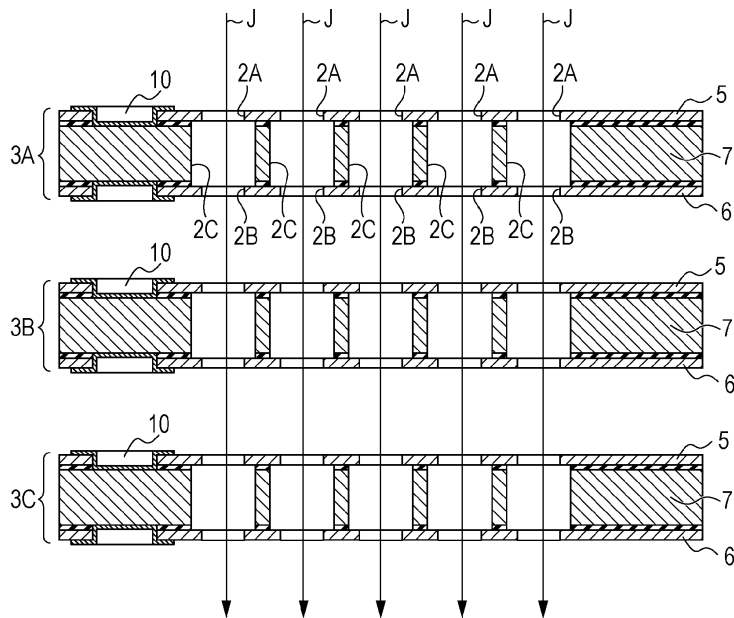
도면11e



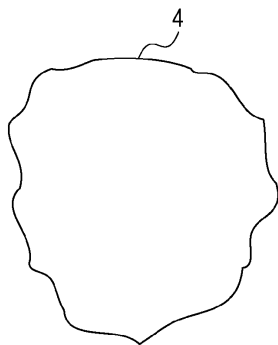
도면11f



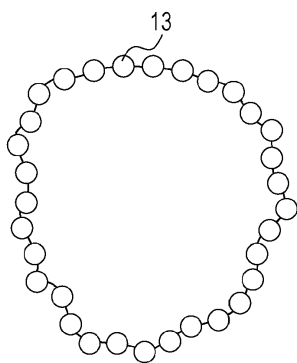
도면12



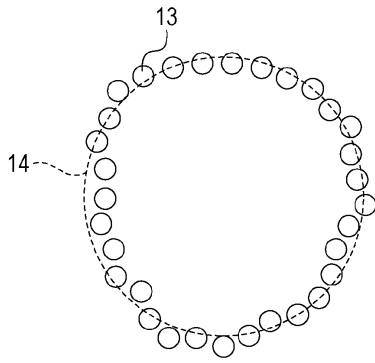
도면13a



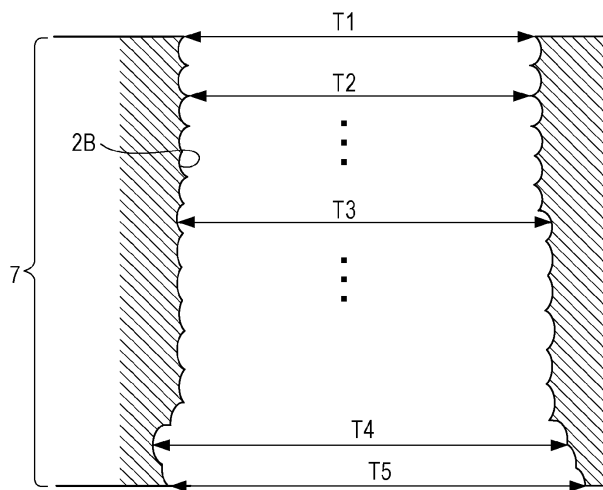
도면13b



도면13c

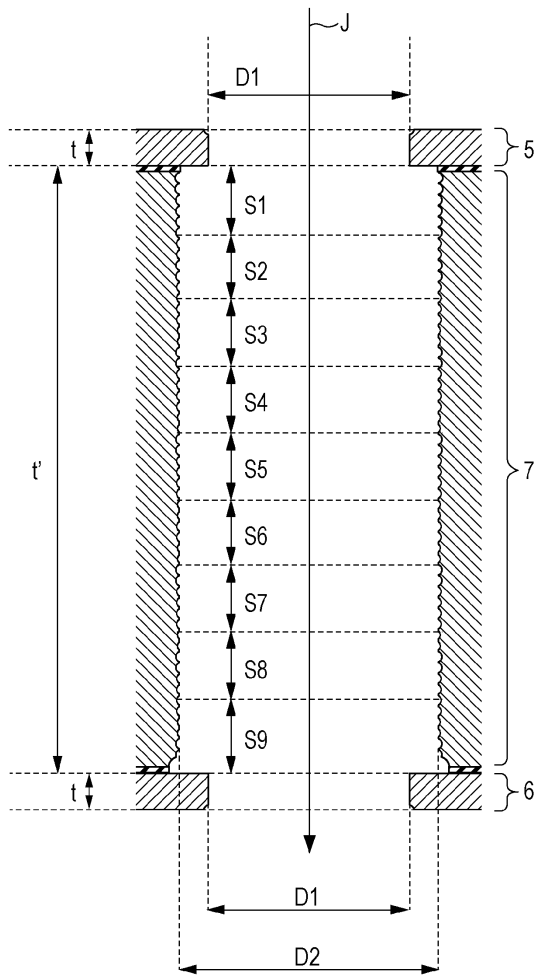


도면14

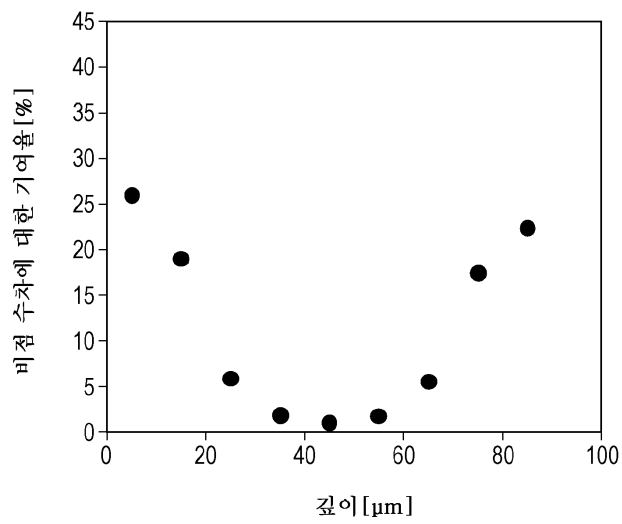




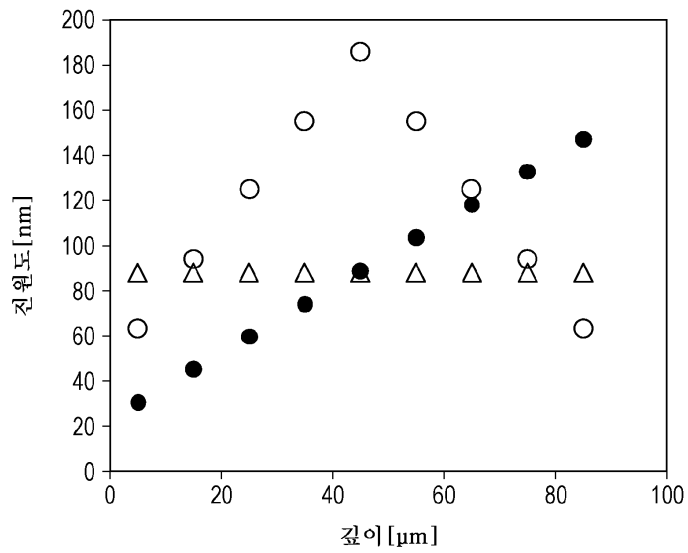
도면15



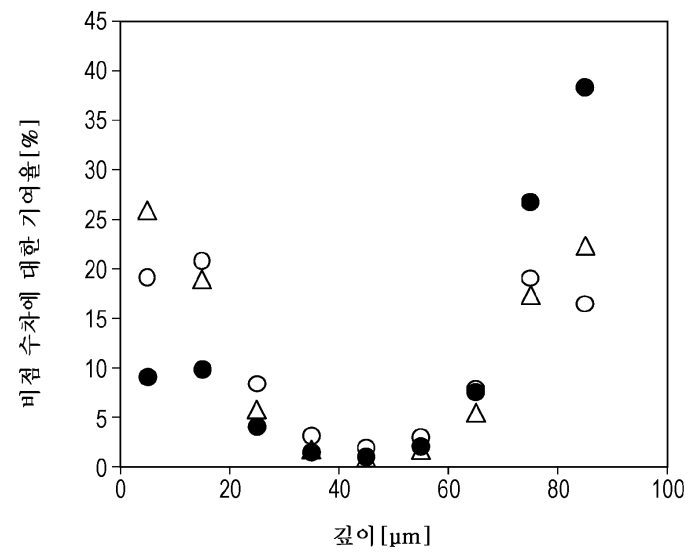
도면16



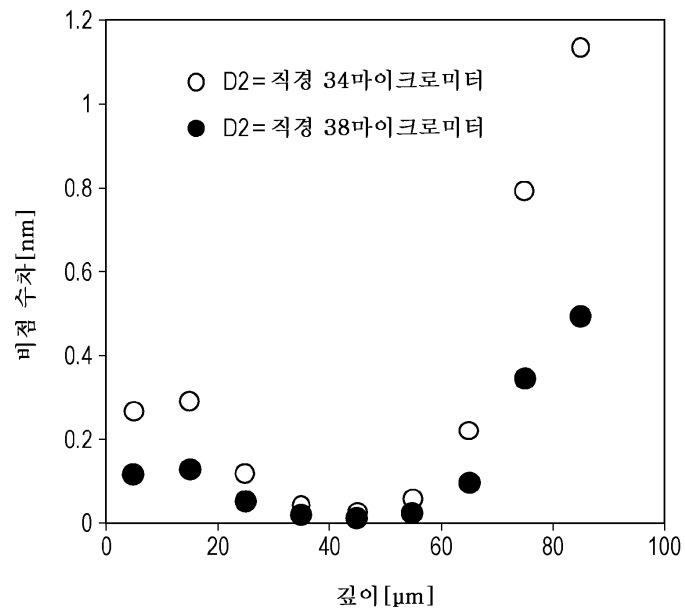
도면17a



도면17b



도면18



도면19

