



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0114976  
(43) 공개일자 2017년10월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G03F 7/20 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G03F 7/2022 (2013.01)  
G03F 7/70258 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2017-0043741  
(22) 출원일자 2017년04월04일  
심사청구일자 없음  
(30) 우선권주장  
10 2016 205 617.4 2016년04월05일 독일(DE)

(71) 출원인  
칼 짜이스 에스엠티 게엠베하  
독일 오버코헨 73447 루돌프-에버-슈트라세 2  
(72) 발명자  
안드레, 슈테판  
독일, 73529 슈비비슈 그윈트, 인 데어 포르슈타  
트 41  
콜데, 다니엘  
독일, 73447 오버코헨, 유노베그 12  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
한양특허법인

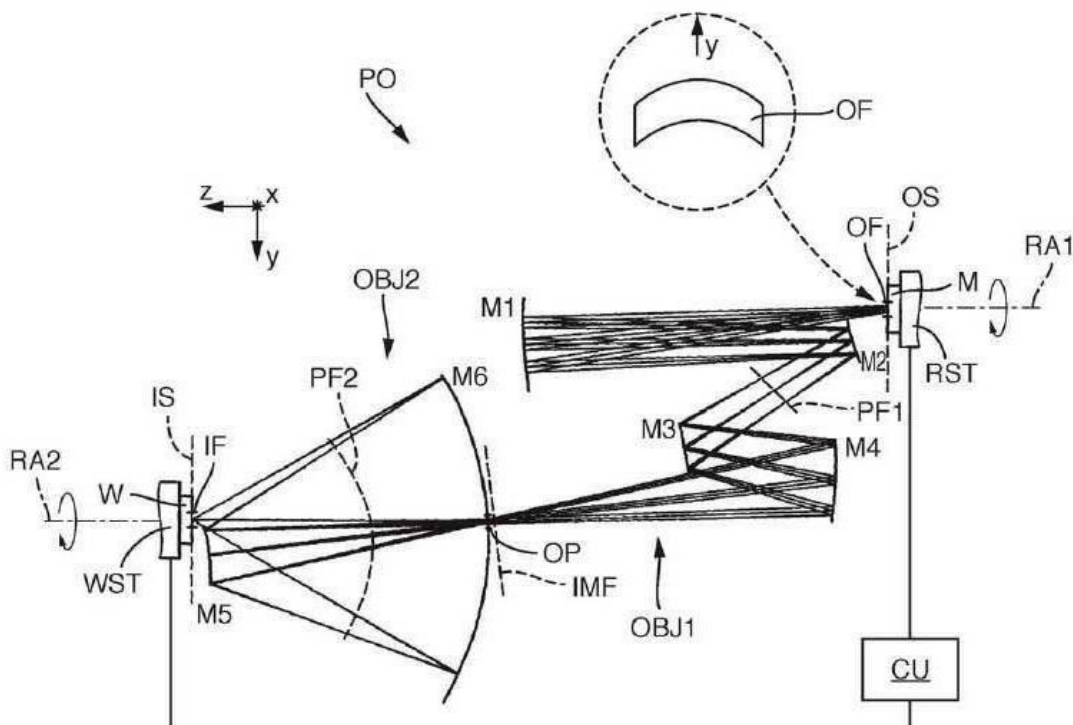
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 투영 노광 방법 및 투영 노광 장치

(57) 요약

투영 노광 장치의 마스크의 패턴의 적어도 하나의 이미지로 감방사선 기관을 노광하기 위한 투영 노광 방법에서, 아나모픽 투영 렌즈가 사용된다. 마스크는, 패턴이 투영 렌즈의 오브젝트 평면의 영역에 배열되는 방식으로 마스크 홀딩 유닛에 의해 홀딩되며, 기관은, 기관의 감방사선 표면이 오브젝트 평면과 광학적으로 결재인 투영 렌즈 (뒷면에 계속)

대표도



의 이미지 평면의 영역에 배열되는 방식으로 기관 홀딩 유닛에 의해 홀딩된다. 마스크 및 기관이 개별 스캐닝 방향으로 동기식으로 이동되는 스캔 동작 동안, 마스크의 조명 영역에 놓인 패턴의 일부는 투영 렌즈에 의해 기관에서 이미지 필드상으로 투영된다. 마스크는 제 1 회전축을 기준으로 회전되고, 상기 제 1 회전 축은 오브젝트 평면에 수직으로 배향된다. 그와 조화된 방식으로, 기관은 제 2 회전 축에 대하여 회전되고, 상기 제 2 회전 축은 이미지 평면에 수직으로 배향된다. 기관 및 마스크의 회전은, 마스크의 회전에 의해 유발된 적어도 하나의 제 1 이미지 수차에 있어서, 이미지 필드에 대한 프로파일의 설정되며 마스크의 회전에 의해 유발된 적어도 하나의 제 2 이미지 수차에 있어서 이미지 필드에 대한 프로파일이 이미지 필드에 대한 제 1 이미지 수차의 프로파일보다 더 큰 정도로 기관의 회전에 의해 보상되는 방식으로 서로 조화된다. 결과적으로, 마스크 홀딩 유닛 및 기관 홀딩 유닛의 표적화된 조작에 의해서만 적절할 경우 특정 필드 의존적 이미지 수차가 교정될 수 있다.

(52) CPC특허분류

*G03F 7/70275* (2013.01)

*G03F 7/70825* (2013.01)

(72) 발명자

**그루너, 토랄프**

독일, 73433 아알렌, 오팔스트라체 22

**루오프, 요하네스**

독일, 73431 아알렌, 드로스테-휠쇼프-베그 35

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

에너모픽(anamorphic) 투영 렌즈를 갖는 투영 노광 장치에서 마스크의 패턴의 적어도 하나의 이미지로 감방사선(radiation-sensitive) 기판을 노광하기 위한 투영 노광 방법으로서:

상기 패턴이 상기 투영 렌즈의 오브젝트 평면의 영역에 배열되도록 상기 투영 노광 장치의 조명 시스템과 상기 투영 렌즈 사이에 상기 마스크를 제공하는 단계;

상기 기판의 감방사선 표면이, 상기 오브젝트 평면과 광학적으로 켈레인 상기 투영 렌즈의 이미지 평면의 영역에 배열되도록 상기 기판을 홀드하는 단계;

상기 조명 시스템에 의해 제공되는 조명 방사선으로 상기 마스크의 조명 영역을 조명하는 단계;

상기 투영 렌즈에 의해 상기 기판에서의 이미지 필드 상에 상기 조명 영역에 놓인 상기 패턴의 일부를 투영하는 단계;

스캔 동작 동안 각각의 스캐닝 방향으로 상기 마스크와 상기 기판을 동기적으로 움직이는 단계;

상기 오브젝트 평면에 수직으로 배향되는 제 1 회전축에 대하여, 제 1 회전각만큼 상기 마스크를 회전시키는 단계;

상기 이미지 평면에 수직으로 배향되는 제 2 회전축에 대하여, 제 2 회전각만큼 조정된 방식으로 상기 기판을 회전시키는 단계를 포함하고,

상기 마스크의 회전에 의해 유발되는 적어도 하나의 제 1 이미지 수차에 대해, 상기 이미지 필드에 걸쳐 프로파일이 설정되고, 상기 마스크의 회전에 의해 유발되는 적어도 하나의 제 2 이미지 수차에 대해, 상기 이미지 필드에 걸친 프로파일이 상기 이미지 필드에 걸친 제 1 이미지 수차의 프로파일보다 더 큰 범위로 상기 기판의 회전에 의해 보상되도록, 상기 마스크와 상기 기판의 회전이 서로 조정되는, 투영 노광 방법.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서, 일 방향으로 진행되는 스캔 동작의 시작과 종료 사이의 시간 간격에서, 상기 기판의 회전 및 상기 마스크의 회전이 미리 규정가능한 움직임 프로파일에 따른 제 1 회전각과 제 2 회전각의 변동과 더불어 동기적으로 행해지는 방식으로, 상기 마스크 및 상기 기판은 스캔 동작 동안 할당된 회전축들에 대하여 동기적으로 회전하는, 투영 노광 방법.

#### 청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 투영 렌즈는 제 1 방향으로의 제 1 이미징 스케일 및 제 1 방향에 수직인 제 2 방향으로의, 상기 제 1 이미징 스케일로부터 벗어나는 제 2 이미징 스케일을 가지며, 상기 제 1 회전각과 상기 제 2 회전각은 서로, 상기 제 1 이미징 스케일과 상기 제 2 이미징 스케일의 비율에 또는 이러한 비율의 역(reciprocal)에 상응하는 비율인, 투영 노광 방법.

#### 청구항 4

마스크(M)의 패턴의 적어도 하나의 이미지로 감방사선 기판(W)을 노광하기 위한 투영 노광 장치(WSC)로서,

주 방사선원(RS)의 주 방사선을 수광하고 상기 마스크(M) 상으로 보내지는 조명 방사선을 생성하기 위한 조명 시스템(ILL);

에너모픽 투영 렌즈(PO)로서, 상기 에너모픽 투영 렌즈의 이미지 평면(IS)의 영역에 상기 패턴의 이미지를 생성하기 위한 상기 에너모픽 투영 렌즈(PO);

상기 패턴이 상기 투영 렌즈의 오브젝트 평면(OS)의 영역에 배열되며 상기 투영 렌즈의 기준 축(AX)에 수직인 스캐닝 방향으로 움직일 수 있도록 상기 조명 시스템과 상기 투영 렌즈 사이에서 마스크를 홀드하기 위한 마스

크 홀드 유닛(RST);

상기 기관의 감방사선 표면이 상기 투영 렌즈의 이미지 평면(IS) - 상기 이미지 평면(IS)은 상기 오브젝트 평면에 광학적으로 켈레임 - 의 영역에 배열되며 상기 투영 렌즈의 기준축에 수직으로 상기 마스크와 동기적으로 움직일 수 있도록, 상기 기관을 홀드하기 위한 기관 홀드 유닛(WST)을 포함하고,

상기 마스크 홀드 유닛(RST)은, 상기 오브젝트 평면(OS)에 관하여 직교로 나아가는 제 1 회전축(RA1)에 대한 상기 마스크의 제어된 회전을 위한 제 1 회전 유닛(ROT1)을 갖고,;

상기 기관 홀드 유닛(WST)은, 상기 이미지 평면(IS)에 관하여 직교로 나아가는 제 2 회전축(RA2)에 대한 상기 기관의 제어된 회전을 위한 제 2 회전 유닛(ROT2)을 가지며;

상기 마스크의 회전에 의해 유발되는 적어도 하나의 제 1 이미지 수차에 대해, 이미지 필드에 걸쳐 프로파일이 설정되고, 상기 마스크의 회전에 의해 유발되는 적어도 하나의 제 2 이미지 수차에 대해, 상기 이미지 필드에 걸친 프로파일이 상기 이미지 필드에 걸친 제 1 이미지 수차의 프로파일보다 더 큰 범위로 상기 기관의 회전에 의해 보상되도록, 상기 투영 노광 장치의 제어 유닛(CU)이 상기 마스크 홀드 유닛과 상기 기관 홀드 유닛을 서로 조정되는 방식으로 회전시키도록 구성되는, 투영 노광 장치.

### 청구항 5

청구항 4에 있어서, 일 방향으로 진행되는 스캔 동작의 시작과 종료 사이의 시간 간격에서, 상기 기관의 회전과 상기 마스크의 회전을 미리 규정가능한 움직임 프로파일에 따라 제어가능하도록, 상기 제 1 회전 유닛(ROT1) 및 상기 제 2 회전 유닛(ROT2)은 동적으로(dynamically) 설계되는 것을 특징으로 하는, 투영 노광 장치.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 애너모픽 투영 렌즈를 갖는 투영 노광 장치의 마스크의 패턴의 적어도 하나의 이미지로 감방사성 기관을 노광하기 위한 투영 노광 방법에 관한 것이다. 또한, 본 발명은 투영 노광 방법을 수행하도록 구성되는 투영 노광 장치에 관한 것이다. 일 선호되는 응용 분야는, 극자외선 범위(EUV)로부터 동작 파장( $\lambda$ )을 갖는 전자기 방사선에 의한 마이크로리소그래피 투영 노광이다.

#### 배경 기술

[0002] 마이크로리소그래피 투영 노광 방법은 최근 반도체 부품 및 기타 미세 구조화된 부품, 예컨대 마이크로리소그래피용 마스크를 제조하기 위해 주로 사용된다. 이러한 경우에, 이미징될 구조의 패턴, 예컨대 반도체 부품의 층의 라인 패턴을 갖는 마스크(레티클)가 사용된다. 패턴은 투영 렌즈의 오브젝트 평면의 영역의 투영 렌즈와 조명 시스템 사이의 투영 노광 장치에 위치되며 조명 시스템에 의해 제공된 조명 방사선으로 조명된다. 패턴에 의해 변경된 방사선은 투영 렌즈를 통해 투영 방사선으로서 통과하고, 이것은 패턴을 노광될 기관상으로 이미징하며 감방사선 층으로 코팅되고 기관의 표면은 투영 렌즈의 이미지 평면에 놓이며 상기 이미지 평면은 오브젝트 평면에 관하여 광학적으로 켈레다(optically conjugate).

[0003] 더욱 미세한 구조를 생산할 수 있도록, 최근 수년간, 광학 시스템이 발달되어 왔고, 이는, 적절한 개구수를 갖고 동작하며, 극자외선 범위(EUV)로부터 사용되는 전자기 방사선의 단파장에 의해, 특히, 5nm에서 30nm의 범위의 동작 파장으로 실질적으로 고해상도 성능(high resolution capability)을 얻는다. 대략 13.5nm의 동작 파장을 갖는 EUV 리소그래피의 경우, 예컨대, NA=0.3의 주어진 이미지 측 개구수는 이론적으로 0.03 $\mu$ m의 크기의 해상도가 대략 0.15 $\mu$ m의 크기의 통상적인 초점 깊이를 갖고 성취될 수 있다.

[0004] 극자외선 범위로부터의 방사선은 굴절 광학 소자에 의해 효율적으로 집속되거나 가이드될 수 없는데, 이는, 단 파장이 더 긴 파장에서 투명한 알려진 광학 재료들에 의해 흡수되기 때문이다. 그러므로, 미리 시스템은 통상적으로 EUV 리소그래피를 위해 사용된다.

[0005] EUV 마이크로리소그래피의 분야에서, 마찬가지로, 더욱 미세한 구조를 생성할 수 있도록, 더 높은 이미지 측 개구수(NA)를 갖는 투영 시스템을 개발함으로써 사용되는 시스템의 해상도 능력을 증가시키고자 하는 추가 노력이 이어졌다. 주어진 이미징 스케일에 있어서, 오브젝트 측 개구수(NA<sub>0</sub>)가 마찬가지로 증가한다.

[0006] 더 높은 개구수의 EUV 시스템에 있어서, 그 반사 능력이 더 큰 각도의 방사선 입사각에서 상당히 감소하기 때문

에, 협대역 마스크는 한계가 있다. 따라서, 리소그래피 광학 시스템에 대한, 1:4 ( $| \beta | = 0.25$ )의 통상의 감소하는 이미징 스케일 대신 더 큰 감소를 사용하는 것이 제안되어 왔다. 예시로서, 1:4 ( $| \beta | = 0.25$ ) 대신에 1:8 ( $| \beta | = 0.125$ )의 이미징 스케일은 오브젝트 측 개구수( $NA_0$ ) 및 따라서 또한 마스크에서의 조명 방사선의 입사각을 절반으로 줄인다. 그러나 (동일한 마스크 사이즈에 대한) 이러한 이미징 스케일은 노광된 필드의 사이즈 및 따라서 스루풋을 감소시킨다.

[0007] 또한, 오브젝트 측 개구수가 증가될 때, 오브젝트 측 주광선 각도가 증가해야 하고, 이것은 마스크의 흡수체 구조에 의한 셰이딩 효과(shading effect) 및 층 전달에 관련된 문제를 야기할 수 있음이 이미 인지되어왔다. 특히, 셰이딩 효과는 레티클 코팅으로 인해 발생할 수 있다(예컨대, WO 2011/120821 A1 참조).

[0008] WO 2012/034995 A2는 상기 언급된 이유로, 그 중에서도 애너모픽 투영 렌즈로서 EUV 투영 렌즈를 설계하는 것을 제안한다. 애너모픽 투영 렌즈는 제 1 방향의 제 1 이미징 스케일이 제 1 방향에 수직인 제 2 방향의 제 2 이미징 스케일로부터 벗어나는 것을 특징으로 한다. 편차는 제작 공차(manufacturing tolerance)에 유발될 수 있는 상당히 외측인 편차에 속한다.

[0009] 애너모픽 투영 렌즈는, 예컨대, 증가되어야 하는 상기 제 1 방향에서 이미징될 레티클의 크기 및 감소될 투영 노광 장치의 스루풋 없이 제 1 방향의 큰 오브젝트 측 개구수를 갖는 오브젝트 평면의 완전한 조명을 가능하게 한다. 더욱이, 양쪽 방향에서 균일한 이미징 스케일을 갖는 시스템에 비해, 조명 광의 비스듬한 입사에 의해 유발되는 이미징 품질의 손실의 감소가 또한 얻어질 수 있다.

[0010] 1:8 이미징 스케일 ( $| \beta | = 0.125$ )이 예컨대, 필드 크기가 작은 스캐닝 방향으로 설정되고, 통상적인 1:4 이미징 스케일 ( $| \beta | = 0.25$ )이 스캐닝 방향에 수직으로 (횡방향 스캔) 역할을 할 경우, 이것은 마스크에서 특별히 큰 각도를 도입하지 않되 양쪽 방향으로  $| \beta | = 0.25$ 를 갖는 종래의 비-애너모픽 투영 렌즈는 오직 절반이 되고  $1/4$ 이 되지 않는 것을 보장한다. 더욱이, 옵션은 더 큰 레티클을 갖고 다시 풀 필드(full field)를 성취하는 것을 유발한다.

[0011] 투영 노광 장치는 일반적으로 제어 유닛의 제어 신호를 기초로 규정된 방식으로 시스템의 이미징 특성을 변경하는 것을 가능하게 하는 복수의 매니플레이터(manipulator)를 갖는 조작 시스템을 포함한다. 이 경우에, "매니플레이터"라는 용어는, 그 중에서도, 투영 빔 경로의 상기 소자들 또는 그룹들의 광학 효과를 변경하기 위하여 상응하는 제어 신호를 기초로 광학 소자의 개별적인 광학 소자들 또는 그룹들에 활발하게 영향을 주도록 설계되는 광기계(optomechanical) 디바이스를 의미한다.

[0012] 종종, 매니플레이터는 또한 마스크 및/또는 기관을 예컨대 변위시키고, 기울이고 및/또는 변형하도록 제공된다. 일반적으로, 매니플레이터는, 계획적으로 감지되는 이미징 수차가 표적화된 방식으로 감소될 수 있도록 설정된다.

[0013] DE 10 2004 014 766 A1(US 7,372,539 B2을 참조)는, EUV 투영 노광 장치의 투영 렌즈의 아나모피즘(anamorphism)을 교정하고자 하는 목적으로, 투영 렌즈의 축에 수직이고 스캐닝 방향에 수직이며 각각의 경우에 레티클 또는 웨이퍼 상에서 생성되는 광 필드의 중심을 통해 나아가는 축에 대해 작은 각도만큼 레티클을 기울이는 것을 제안한다.

[0014] EP 1 039 510 A1은 이미징 스케일의 수차 및 생성된 이미지의 위치를 교정하도록 광학 축의 방향으로 레티클을 조절하고 기울이는 것을 제안한다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0015] 본 발명이 다루는 문제는, 필드 의존적 이미지 수차가 애너모픽 투영 렌즈에서 교정될 수 있는 가능성을 제공하는 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0016] 상기 문제를 해결하기 위하여, 본 발명은 청구항 1의 특징을 갖는 투영 노광 방법을 제공한다. 또한, 투영 노광 방법을 수행하고 청구항 4의 특징을 갖는데 적절한 투영 노광 장치가 제공된다. 유익한 개발이 종속항들에 명시된다. 모든 청구항의 용어는 설명의 내용에서 참조로서 통합된다.

[0017] 본 발명에서, 마스크는, 오브젝트 평면에 수직으로 배향된 제 1 회전축에 대하여 제 1 회전각만큼 회전되거나

제 1 회전축에 대하여 터닝된다(turned). 기관의 회전은 마스크의 이러한 회전과 조정되고, 여기서 기관은 이미지 평면에 수직으로 배향되는 제 2 회전축에 대하여 조정된 방식으로 제 2 회전각만큼 회전된다. 마스크의 회전에 의해 유발되는 적어도 하나의 제 1 이미지 수차에 대해, 이미지 필드에 걸쳐 프로파일이 설정되고, 마스크의 회전에 의해 유발되는 적어도 하나의 제 2 이미지 수차에 대해, 이미지 필드에 걸친 프로파일은 상기 이미지 필드에 걸친 제 1 이미지 수차의 프로파일보다 더 큰 범위로 상기 기관의 회전에 의해 보상되도록, 상기 마스크와 상기 기관의 회전이 서로 조정된다.

- [0018] 이러한 절차에서, 제 1 이미지 수차의 원하는 프로파일이 남아있을 수 있되, 반면에, 기생하는(parasitic) 것으로 간주되는 제 2 이미지 수차는 마스크 및 기관의 조정된 회전에 의해 상당히 또는 완전히 보상될 수 있다. 제 1 이미지 수차에 대하여 표적화된 방식으로 설정된 프로파일 세트의 형태인 원하는 조작 효과가 전체적으로 발생할 수 있다. 생성된 이미지 수차는 이미지 필드에 걸쳐서 일정하고(또는 스캐닝 경로에 따라 일정함) 또는 방법 구현에 따른 필드 위치에 따라 변화한다(또는 스캐닝 경로에 따라 변화함).
- [0019] 필드 의존적 이미지 수차의 교정의 새로운 자유도는 레티클 스테이지 및/또는 기관 스테이지의 조정된 회전에 의해 생성될 수 있고, 추가 매니플레이터는 존재하거나 활성화될 필요가 없다.
- [0020] 본 방법은 투영 노광 장치에 의해 수행될 수 있고, 여기서, 마스크 홀드 유닛은 오브젝트 평면에 관하여 직교로 나아가는 제 1 회전축에 대한 마스크의 제어된 회전을 위한 제 1 회전 유닛을 갖고, 기관 홀드 유닛은 이미지 평면에 직교로 나아가는 제 2 회전축에 대한 기관의 제어된 회전을 위한 제 2 회전 유닛을 갖는다. 방법은, 회전 유닛의 상응하는 조정된 구동에 의해 실현될 수 있다. 이러한 목적으로, 마스크의 회전에 의해 유도되는 적어도 하나의 제 1 이미지 수차에 대해, 이미지 필드에 걸쳐 프로파일이 설정되며, 마스크의 회전에 의해 유도되는 적어도 하나의 제 2 이미지 수차에 대해, 이미지 필드에 걸친 프로파일은 이미지 필드에 걸친 제 2 이미지 수차의 프로파일보다 더 큰 범위로 기관의 회전에 의해 보상되도록, 투영 노광 장치의 제어 유닛은 예컨대 제어 프로그램의 적절한 모듈에 의해, 서로 조정된 방식으로 기관 홀드 유닛과 마스크 홀드 유닛을 회전시키도록 구성될 수 있다.
- [0021] 일부 방법의 변형에서, 마스크 및 기관은 스캐닝 동작 동안 할당된 회전축들에 대해 동기식으로(synchronously) 또는 동시에(simultaneously) 회전된다. 스캐닝 동안의 동적 회전은 스캐닝 동안 (또는 환언하면, 스캐닝 경로를 따라) 변하는 수차를 교정하는 것을 가능하게 한다. 그의 예시는 엔드 커스터머(end customer)의 일부 상에 웨이퍼의 후속 처리에서 발생할 수 있는 소위 처리 교정 또는 가열 효과로 인한 웨이퍼의 또는 마스크의 변형이다. 이러한 상기 언급된 예시들의 공통점은, 이 예시들이 스캐닝 동안 언제든지 상이한 이미지 수차를 야기할 수 있으며 매니플레이터(여기서, 조정된 마스크 및 기관 회전)가 그러므로 동적으로 적응되어야 한다는 것이다.
- [0022] 대안적으로, 마스크 및 기관은 스캔 동작의 시작 전에 회전되고, 따라서 원하는 회전 위치로 이동되며 스캔 동안 더는 돌리지거나 회전되지 않는 것이 규정될 수 있다. 따라서, 그 크기가 스캐닝 동안(또는 스캐닝 경로를 따라) 실질적으로 변하지 않고 또는 그 크기가 필드 좌표에 관련이 없는 수차(정적 또는 스캐닝 경로 독립 또는 필드 독립 수차)를 교정하는 것이 가능하다. 이러한 경우에, 회전이 그 회전각에 관련 없이 서로 조정되어야 하더라도, 동기식 회전이 도입될 예정이더라도 동시 회전이 완전히 필수적인 것은 아니다. 상응하는 회전은 또한 2 개의 연속적인 스캔 동작 사이에 수행될 수 있다.
- [0023] 일부 실시예에서, 스캐닝 공정의 시작 전(그러나 또한 2개의 스캐닝 공정 사이의) 정적 회전 및 또한 미리 규정된 움직임 프로파일을 따르는 스캐닝 동안의 동적 회전이 가능하다.
- [0024] 본 발명은 그 중에서도 이하의 고려를 기초로 한다. 스캐너 동작을 위해 설계된 현대식 투영 노광 장치(리소그래피 스캐너)의 동작 동안, 마스크 홀드 유닛(레티클 스테이지) 및 기관 홀드 유닛(기관 스테이지)은 서로 동기화된 방식으로 상당히 정확하게 움직여질 수 있다. 이것은 원칙적으로 마스크 홀드 유닛과 기관 홀드 유닛을 우수한 매니플레이터로 만드는 정확한 움직임 능력 및 동적 제어 능력을 예상한다. 예시로서, 수차는 상당히 동기화된 프로파일로부터 표적화된 편차에 의해 교정될 수 있다. 예컨대, 움직임 속도의 비가 설계 스케일로부터 벗어날 경우, 예컨대 마스크 생산 동안 발생할 수 있거나 소자 가열의 결과로서 발생할 수 있는 스케일 오류는 적어도 부분적으로 보상될 수 있다. 이러한 교정은 즉, 리소그래피 조건에 있어서 상당히 짧은 1/10초로 스캐닝 공정에 걸쳐서 변경가능한 방식으로 가능하다.
- [0025] 본 발명은, 오직, 기관 홀드 유닛과 마스크 홀드 유닛의 표적화된 조작에 의해서 적절할 경우, 필드 의존적 이미지 수차를 교정할 새로운 가능성을 제공한다.
- [0026] 다수의 현대식 투영 노광 장치의 마스크 홀드 유닛과 기관 홀드 유닛이 빠른 타임 스케일로 (다른 이유로) 매우

정확하게 조작가능 하므로, 이러한 장치에서, 이미지 수차가 또한 기재된 효과에 의해 필수적인 것으로서 스캔 동작 동안 상당히 빠르게 교정되는 것이 가능하다.

[0027] 마스크 및/또는 기관에 수직인 회전축( $z$ -축)에 대하여 마스크 홀드 유닛 및/또는 기관 홀드 유닛의 조정된, 적절할 경우 동시 회전은, 애너모픽 투영 렌즈의 경우에, 비 애너모픽 시스템에서 일어나지 않는 특정 필드 프로파일에 대한 새로운, 빠른 자유도를 제공한다. 후자의 경우에(즉, 비 애너모픽 렌즈 또는 이소모픽(isomorphic) 렌즈의 경우에),  $z$ -축에 대한 마스크의 회전의 광학적 효과는 반대 방향에서의 동일한 절대값에 의한 기관의 회전과 동일하다. 결과적으로, 마스크와 기관의  $z$ -회전은 교정의 단일 자유도만을 제공한다. 이러한 경우에, 마스크 및/또는 기관의  $z$ -방향에 의해 교정되도록 의도된 원하는 이미지 수차는 일반적으로 교정 전위를 제한하는 방해하는 교란 부작용에 의해 일반적으로 중첩된다.

[0028] 이러한 상황은 애너모픽 렌즈의 경우와 상이하다: 마스크 및 기관은  $z$ -축에 대한 회전시 질적으로 동일한 이미지 수차를 생성하지만, ( $x$ -방향 및  $y$ -방향)이미지 평면의 이미지 포인트의 생성된 변위는 애너모픽 렌즈에 내재하는 상이한 이미지 수차로 인한 절대값에 있어서 상이하다. 이것은 원하는 효과의 동시 보상 없이, 예컨대 마스크의  $z$ -회전에 의한 원하는 이미지 수차 프로파일의 설정 및 기관의  $z$ -회전에 의한 원치않는 부작용의 교정 또는 보상을 가능하게 한다.

[0029] 다수의 경우에, 특정 비가 생성되도록 서로 마스크와 기관에 대한 회전각(각각, 제 1 회전각과 제 2 회전각)을 조정하는 것이 편리할 수 있다. 제 1 방향의 제 1 이미징 스케일 및 제 1 방향에 수직인 제 2 방향의, 제 1 이미징 스케일로부터 벗어난 제 2 이미징 스케일을 갖는 애너모픽 투영 렌즈에서, 예컨대, 제 1 및 제 2 회전각이 서로 제 1 및 제 2 이미징 스케일의 비 또는 이러한 비의 역에 상응하는 비일 경우 유리할 수 있다. 결과적으로, 생성된 이미지 수차 프로파일의 특정 형태를 설정하는 것이 가능하고, 상기 형태는 단순한 분석적 기능에 의해, 예컨대 스캐닝 방향의 이미지 편차의 순수한 선형 필드 프로파일로 기재할 수 있다.

[0030] 마스크는, 원치 않는 비점수차(astigmatism aberration)가 생성되는 것을 방지하도록,  $x$ - $y$  평면으로만, 즉, 오브젝트 평면에 평행하게 그리고 그에 수직인 움직임 구성요소 없이 이동되어야 한다. 이로써, 기생 비점수차(parasitic astigmatism)를 교정하기 위한 추가(고속) 매니플레이터를 필요로 하지 않는다.

**도면의 간단한 설명**

[0031] 본 발명의 추가 장점 및 측면은 도면을 기초로 이하에서 기재되는 본 발명의 선호되는 예시적인 실시예의 후속 기재 및 청구범위로부터 알려진다.

도 1은 EUV 마이크로리소그래피용 투영 노광 장치의 단면을 개략적으로 도시한다.

도 2는 일 예시적인 실시예에 따른 애너모픽 투영 렌즈의 빔 경로를 도시하기 위한 도 1에 따른 투영 노광 장치로부터의 발체를 개략적으로 도시한다.

도 3은 그로부터 수직인 평면으로 도 2에 상응하는 도면을 도시한다.

도 4는 도 4a 및 도 4b에서, 직사각형 필드를 갖는 이소모픽 투영 노광 장치의 형태로 기준 시스템(본 발명과 관련 없음)을 기초로 한 특정 효과를 설명하기 위한 이미지 수차 다이어그램을 도시하고, 도 4a는  $z$ -축(제 1 회전축)에 대한  $1\mu\text{rad}$  만큼의 마스크의 회전의 경우의 이미지 수차( $Z2$  및  $Z3$ )의 필드 변형을 도시하며, 도 4b는 제 2 회전축( $z$ -축)에 대한  $1\mu\text{rad}$  만큼의 기관의 회전의 경우에 대한 상응하는 다이어그램을 도시한다.

도 5는 정확하게 곡면 링형 필드(arcuately curved ring field)를 갖는 이소모픽 렌즈(본 발명과 관련 없음)의 경우에 마스크 및 기관의 상응하는 회전을 도 5a 및 도 5b로 도시한다.

도 6은 링형 필드를 갖는 애너모픽 투영 렌즈의 예시적인 실시예의 경우에 대하여 도 5a 및 도 5b에서의 다이어그램과 상응하는 이미지 수차 다이어그램을 도 6a 및 도 6b로 도시하며, 여기서, 도 6a는  $z$ -축에 대하여  $1\mu\text{rad}$  만큼의 마스크의 회전의 경우의  $Z2$  및  $Z3$ 의 결과적인 필드 변형을 도시하며, 도 6b는  $1\mu\text{rad}$  만큼의 기관의 회전의 경우의  $Z2$  및  $Z3$ 의 필드 변형의 상응하는 이미지 수차 다이어그램을 도시한다.

도 7은  $z$ -축에 대하여 각각의 경우에  $1\mu\text{rad}$  만큼의 마스크 및 기관의 회전의 경우에 대한  $Z2$  및  $Z3$ 의 필드 변형의 이미지 수차 다이어그램을 도시한다.

도 8은 링형 필드를 갖는 애너모픽 투영 렌즈의 예시적인 실시예에서, 각각의 경우에 관련된 회전축( $z$ -축)에 대하여  $2\mu\text{rad}$  만큼의 기관의 회전 및  $1\mu\text{rad}$  만큼의 마스크의 회전의 경우에 대한 이미지 수차를 도시한다.

도 9는 링형 필드를 갖는 애너모픽 투영 렌즈의 예시적인 실시예에서, 각각의 경우에 관련된 회전축(z-축)에 대하여 1 $\mu$ rad 만큼의 기관의 회전 및 2 $\mu$ rad 만큼의 마스크의 회전의 경우에 대한 이미지 수차 다이어그램을 도시한다.

도 10은 직사각형 필드를 갖는 애너모픽 투영 렌즈의 예시적인 실시예에서, 각각의 경우에 관련된 회전축(z-축)에 대하여 2 $\mu$ rad 만큼의 기관의 회전 및 1 $\mu$ rad 만큼의 마스크의 회전의 경우에 대한 이미지 수차 다이어그램을 도시한다.

도 11은 직사각형 필드를 갖는 애너모픽 투영 렌즈의 예시적인 실시예에서, 각각의 경우에 관련된 회전축(z-축)에 대하여 1 $\mu$ rad만큼의 기관의 회전 및 2 $\mu$ rad 만큼의 마스크의 회전의 경우에 대한 이미지 수차 다이어그램을 도시한다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0032] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 EUV 마이크로리소그래피 투영 노광 장치(WSC)의 광학 구성요소를 예시로서 도시한다. EUV 마이크로리소그래피 투영 노광 장치는, 반사 마스크(M)의 패턴의 적어도 하나의 이미지로 투영 렌즈(PO)의 이미지 평면(IS)의 영역에 배열되는 감방사선(radiation-sensitive) 기관(W)을 노광하는 역할을 하며, 상기 패턴은 투영 렌즈의 오브젝트 평면(OS)의 영역에 배열된다. 또한 마스크(M)는 대안적으로 레티클(M)로 지칭된다. 예시의 경우에, 기관은 감광성 레지스트 층(light-sensitive resist layer)으로 코팅된 반도체 재료로 구성되는 웨이퍼이다.
- [0033] 기재의 이해를 돕기 위해, 카테시안 xyz-좌표계가 표시되고, 이것은 도면에 도시된 구성요소의 각각의 위치 관계를 드러낸다. 투영 노광 장치(WSC)는 스캐너 타입이다. x-축은 도 1에서 도면내로 도면의 평면에 수직으로 나아간다. y-축은 우측으로 나아간다. z-축은 아래로 나아간다. 오브젝트 평면(OS) 및 이미지 평면(IS)은 모두 x-y 평면에 평행하게 나아간다. 투영 노광 장치의 동작 동안, 마스크(M) 및 기관은 y 방향(스캐닝 방향)으로의 스캔 동작 동안 동기식으로 또는 동시에(synchronously or simultaneously) 움직여서 스캐닝된다.
- [0034] 장치는 주 방사선원(RS)으로부터의 방사선으로 동작된다. 조명 시스템(ILL)은 주 방사선원으로부터 방사선을 수광하고 패턴 내로 보내지는 조명 방사선을 형성하는 역할을 한다. 투영 렌즈(PO)는 감광성 기관상으로 패턴을 이미징하는 역할을 한다.
- [0035] 주 방사선원(RS)은, 그 중에서도, 레이저 플라즈마 원 또는 기체 방전원 또는 싱크로트론 기반 방사선원이 될 수 있다. 이러한 방사선원은 EUV 범위의 특히 5nm와 15nm 사이의 파장을 갖는 방사선(RAD)을 생성한다. 조명 시스템 및 투영 렌즈는 이들이 이러한 파장 범위에서 동작하도록 EUV 방사선을 반사하는 구성요소로 구성된다.
- [0036] 방사선원(RS)으로부터 나오는 방사선(RAD)은 콜렉터(COL)에 의해 집속되며 조명 시스템(ILL)내로 가이드된다. 조명 시스템은 혼합 유닛(MIX), 텔레스코프 광학 유닛(TO) 및 필드 형성 미러(FFM)를 포함한다. 조명 시스템은 방사선을 형성하여 투영 렌즈(PO)의 오브젝트 평면(OS)에 또는 그의 인근에 위치한 조명 필드를 조명한다. 이러한 경우에, 조명 필드의 형상 및 사이즈는 오브젝트 평면(OS)의 유효하게 사용되는 오브젝트 필드(OF)의 형상 및 사이즈를 결정한다.
- [0037] 장치의 동작 동안, 반사 레티클(M)이 오브젝트 평면(OS)의 영역에 배열된다.
- [0038] 혼합 유닛(MIX)은 실질적으로 2개의 패킷 미러(FAC1, FAC2)로 구성된다. 제 1 패킷 미러(FAC1)는 오브젝트 평면(OS)에 관하여 광학적으로 켈레인 조명 시스템의 평면에 배열된다. 따라서, 필드 패킷 미러로도 지칭된다. 제 2 패킷 미러(FAC2)는 투영 렌즈의 동공 평면에 관하여 광학적으로 켈레인 조명 시스템의 동공 평면에 배열된다. 그러므로, 동공 패킷 미러로도 지칭된다.
- [0039] 그레이징 입사로 동작되는 필드 형성 미러(FFM) 및 텔레스코프 광학 유닛(TO)을 포함하며 빔 경로의 다운스트림에 배치된 이미징 광학 어셈블리 및 동공 패킷 미러(FAC2)에 의해, 제 1 패킷 미러(FAC1)의 개별적인 미러링 패킷(individual mirror)은 오브젝트 필드내로 이미징된다.
- [0040] 필드 패킷 미러(FAC1)에서의 공간적 (로컬) 조명 강도 분포는 오브젝트 필드의 로컬 조명 강도 분포를 결정한다. 동공 패킷 미러(FAC2)에서의 공간적 (로컬) 조명 강도 분포는 오브젝트 필드(OF)의 조명각 강도 분포를 결정한다.
- [0041] 유효 오브젝트 필드(OF)는 도 2 및 도 3의 예시적인 실시예에서 직사각형 필드가 되되, 기타 변형에서는 또한 곡면 필드가 될 수 있다(링형(ring) 필드(RF), 도 2의 상세를 참조).

- [0042] 마스크(M)(레티클)를 홀드하고 조작하기 위한 마스크 홀드 유닛(RST)은, 마스크 상에 배열된 패턴이 투영 렌즈(PO)의 오브젝트 평면(OS)에 놓이도록 배열되며, 상기 오브젝트 평면은 여기서 레티클 평면으로도 지칭된다. 마스크는 스캔 드라이브에 의해 투영 렌즈(z-방향)의 기준축(AX)에 수직인 스캐닝 방향(y-방향)의 스캐너 동작에 있어서 이러한 평면에서 움직일 수 있다. 여기서, 마스크 홀드 유닛(RST)은 레티클 스테이지로도 지칭된다.
- [0043] 마스크 홀드 유닛(RST)은 제 1 회전축(RA1)에 대한 마스크의 제어된 회전을 위한 제 1 회전 유닛(ROT1)을 갖고, 상기 제 1 회전축은 x-방향에 그리고 스캐닝 방향에 수직으로 그리고 z-방향에 평행하게 나아가간다. 제 1 회전축(RA1)은 오브젝트 평면의 유효 오브젝트 필드(OF)에 외접하는(circumscribe) 직사각형의 중심을 통해 나아가간다. 또한, 마스크 홀드 유닛(RST)은, x-방향에 평행하게 나아가는 틸팅 축(tilting axis) 및/또는 y-방향에 평행하게 나아가는 틸팅축에 대해, 오브젝트 평면에 평행한 위치로부터 필수적으로 마스크를 기울이기 위한 틸팅 유닛을 포함할 수 있다. 이러한 유닛은 그 중에서도, 특히, 마스크의 틸팅 및/또는 회전이 미리 규정가능한 움직임 프로파일에 따른 하나의 방향으로 진행되는 스캔 동작의 시작과 종료 사이의 시간 간격에서 행해질 수 있는 방식으로, 스캐닝 동안 동적으로 사용가능하다. 유닛은 또한 스캔 동작 전 및/또는 후에 구동될 수 있다.
- [0044] 노광될 기관(W)은 스캐닝 방향(y-방향)에서 기준축(AX)에 수직으로 마스크(M)와 동기식으로 기관을 움직이게 하도록 스캐너 드라이브를 포함하는 기관 홀드 유닛(WST)에 의해 홀드된다. 투영 렌즈(PO)의 설계에 따라, 마스크와 기관의 이러한 움직임은 서로 평행하게 또는 역평행하게(anti parallel) 수행될 수 있다. 여기서 기관 홀드 유닛(WST)은 또한 기관 스테이지(또는 웨이퍼 스테이지)로도 지칭된다.
- [0045] 기관 홀드 유닛(WST)은 x-방향 및 스캐닝 방향에 수직으로 그리고 z-방향에 평행하게 나아가는 제 2 회전축(RA2)에 대한 기관의 제어된 회전을 위한 제 2 회전 유닛(ROT2)을 갖는다. 제 2 회전축(RA2)은 이미지 평면의 유효 이미지 필드(IF)에 외접하는 직사각형의 중심을 통해 나아가간다. 기관 홀드 유닛(WST)은 또한 x-방향에 평행하게 나아가는 틸팅축에 대해 및/또는 y-방향에 평행하게 나아가는 틸팅축에 대하여, 이미지 평면에 평행한 위치로부터 필수적으로 기관 또는 웨이퍼를 기울이도록 틸팅 유닛을 포함할 수 있다. 이러한 유닛은, 그 중에서도, 특히, 기관의 변위가 미리 규정가능한 움직임 프로파일에 따른 하나의 방향으로 진행되는 스캔 동작의 시작과 종료 사이의 시간 간격에서 수행될 수 있는 방식으로, 스캐닝 동안 동적으로 사용가능하다. 유닛은 또한 스캔 동작 전 및/또는 후에 구동될 수 있다.
- [0046] 기관 홀드 유닛(WST) 및 또한 마스크 홀드 유닛(RST)은 스캔 제어 유닛에 의해 제어된 스캐너 유닛의 일부이며, 이것은 본 실시예의 경우 투영 노광 장치의 중앙 제어 유닛(CU)내에 통합된다.
- [0047] 조명 시스템(ILL)은 출사 동공을 갖고, 이것의 형상은 투영 렌즈(PO)의 입사 동공의 형상에 적용되며 특히 입사 동공의 형상에 정확하게 상응한다. 조명 시스템(ILL)의 출사 동공은 타원형으로 구현된다. 이것은, 특히 타원형으로 구현된 동공 패킷 미러(FAC2)에 의해 성취될 수 있다. 그에 대한 대안으로서, 동공 패킷은 또한 이것이 타원형으로 구현된 엘렐로프(elliptically embodied envelope)를 갖도록 동공 패킷 미러(FAC2)상에 배열될 수 있다.
- [0048] 타원형 동공 패킷 미러(FAC2)의 반축은 2개의 상이한 반축 길이를 가질 수 있으며, 여기서, 더 큰 (제 2) 반축 길이는 예컨대 제 1 반축 길이의 크기(magnitude)의 적어도 1.5배, 바람직하게 심지어 적어도 두 배이다. 조명 시스템(ILL)의 출사 동공의 반축은 마찬가지로 바람직하게 동일한 반축 길이 비를 갖는 상이한 반축 길이를 상응하게 가질 수 있다.
- [0049] 논-애너모픽(non-anamorphic) 이미징 스케일을 갖는 종래의 회전 대칭 시스템에 있어서, 조명 빔의 주 광선들은 필드 일정한 최적 조명(field-constant optimum illumination)을 보장하기 위하여 투영 렌즈의 입사 동공 평면에서 만나야 한다. VUV 시스템(진공 자외선 범위로부터의 동작 파장으로 동작하는 시스템)에 있어서, 상기 입사 동공은 통상적으로 무한대이며, 따라서 이러한 시스템은 텔레센트릭(telecentric)이며, 즉, 주 광선은 수직으로 레티클 상에 충돌한다. EUV 시스템의 경우에, 반사 레티클은 조명 빔 경로와 투영 빔 경로를 분리하도록 비스듬하게 조명되어야 한다. 그러므로, 입사 동공은 레티클로부터 한정된 거리에 위치되어야 한다. 1m 내지 3m의 범위의 거리는 여기서 유리한 것으로 간주된다. 이것은, 레티클에서의 주 광선 각의 변형에 있어서, 제 1 근사로, x-방향을 선형 텔레센트리시티 프로파일에 상응하여 레티클의 z-이동시 (스캐닝 방향에 수직인) x-방향을 선형 이미지 편차를 생성하는 선형 프로파일을 생성한다.
- [0050] 투영 렌즈(PO)는 이미지 평면(IS)내로 투영 렌즈의 오브젝트 평면(OS)에 배열된 패턴의 감소 이미지의 역할을 하고, 이것은 오브젝트 평면에 관하여 광학적으로 켈레이며 본 예시에서 오브젝트 평면에 평행하게 나아가되 또한 기타 변형에서 상이하게 배향될 수 있다. 이러한 이미징은 동작 파장( $\lambda$ ) 주변의 극자외선 범위(EUV) - 본

예시에서, 13.5nm - 로부터 전자기 방사선에 의해 행해진다. 오브젝트 필드(OF)는 이러한 경우에 오브젝트 필드에 관하여 컬레인 이미지 필드(IF)내로 이미징된다.

- [0051] 애너모픽 투영 렌즈가 포함된다. 애너모픽 투영 렌즈는 더는 회전 대칭이 아니며 그보다는 자유형 표면 설계(freeform surface design)로서 설계된다. 그러므로, 여기서, 단일 입사 동공 위치가 존재하는 것이 더는 완전히 필수가 아니며, 그보다는 x- 및 y-방향이 서로로부터 디커플링되며 상이한 평면에 놓일 수 있다. 이로써 이것은 비점수차(astigmatic) 입사 동공으로도 지칭된다. 따라서, 조명 시스템은 마찬가지로 투영 렌즈의 비점수차 입사 동공에 적용되는 비점수차, 즉, non-호모센트릭 이미징(non-homocentric imaging)을 갖출 수 있다.
- [0052] 도 2 및 도 3은 애너모픽 투영 렌즈(PO)의 제 1 실시예의 광학 설계를 상이한 도면으로 도시한다. 도면은 오브젝트 필드(OF)의 2개의 대향하는 마진을 개별적으로 한정하는 2개의 오브젝트 필드 지점으로부터 그리고 중심 오브젝트 필드 지점으로부터 진행되는 방사선의 개별 광선들의 빔 경로를 도시한다.
- [0053] 도 2 및 도 3에 따른 투영 렌즈(PO)는 오브젝트 필드(OF)로부터 진행되는 빔 경로의 방향에서 총 6개의 미러 - 연속하여 번호가 매겨지는 M1(제 1 미러) 내지 M6(제 6 미러) - 를 갖는다. 도 2 및 도 3은 투영 렌즈(PO)의 설계 동안 계산되는 미러(M1 내지 M6)의 반사 표면을 도시한다. 도면으로부터 명백하게, 부분적으로, 도시된 표면의 세그먼트만이 실제로 방사선을 반사하는데 사용된다. 따라서 미러(M1 내지 M6)의 실제 실시예는 도면에서 도시된 것 보다 작을 수 있으며, 특히 도면에서 도시된 계산된 반사 표면의 일부만을 포함할 수 있다.
- [0054] 평면이거나 곡면이 될 수 있는 제 1 동공 표면(PF1)은 제 2 미러(M2)와 제 3 미러(M3) 사이에 위치된다. 더욱이, 중간 이미지 표면(IMF)은 제 4 미러(M4)와 제 5 미러(M5) 사이에 위치된다. 중간 이미지 표면(IMF)은 평면이거나 곡면일 수 있다. 미러(M1 내지 M4)는 제 1 (이미징) 부분 렌즈(OBJ1)를 따라서 형성한다. 미러(M5 및 M6)는 제 2 이미징 부분 렌즈(OBJ2)를 형성한다.
- [0055] 제 6 미러(M6)는 방사선의 통과를 위한 스루 개구(OP)를 갖는다. 추가 동공 표면(PF2)은 미러(M5)와 미러(M6) 사이에 위치된다. 동공 표면(PF2)은 평면이거나 곡면이 될 수 있다.
- [0056] 투영 렌즈는 모든 미러에 공통적인 "종래의" 광학축을 갖지 않는다. 기준 축(AX)(도 1 참조)은 오브젝트 평면에 그리고 그에 평행한 이미지 평면에 수직으로 나아간다. 광학 시스템은 도 3에 도시되는 y-z 평면에 관하여 미러 대칭을 갖는다.
- [0057] 제 1 부분 렌즈(OBJ1)는 애너모픽 렌즈이며, 즉, 이것은 애너모픽 방식으로(anamorphically) 이미징한다. 제 2 부분 렌즈(OBJ2)는 마찬가지로 애너모픽 렌즈이며, 즉, 이것은 애너모픽 방식으로 이미징한다. 그러나, 마찬가지로 제 2 부분 렌즈(OBJ2)는 non-애너모픽으로(non-anamorphic) 구현되는 것이 가능하다.
- [0058] 자유형 표면을 갖는 애너모픽 시스템이 포함된다. 자유형 표면을 갖는 미러의 경우에, 미러 표면은 x-방향 및 y-방향에서 상이한 곡률의 반경을 가지며, 즉, 비점수차가 있다(astigmatic). 전체적인 효과는, 여기서, 시스템 또는 서브시스템이 애너모픽식으로 이미징되게 한다. 투영 렌즈(PO)는 예컨대 2개, 3개, 4개, 5개 또는 6개의 복수의 비점수차 이미징 미러를 포함할 수 있다.
- [0059] 따라서, 투영 렌즈(PO)는 제 1 방향에서의 제 1 이미징 스케일( $\beta_1$ ) 및 제 2 방향에서의, 그로부터 상이한, 제 2 이미징 스케일( $\beta_2$ )을 갖는다. 제 2 이미징 스케일은 예컨대 제 1 이미징 스케일의 크기의 적어도 1.5배, 특히 그의 적어도 2배일 수 있다. 인수는 예컨대 1.4 내지 2일 수 있다.
- [0060] 투영 렌즈(PO)는, 스캐닝 방향(y-방향)의 이미징 스케일의 절대값이 그에 수직인 이미징 스케일의 절대값보다 작도록 구현된다. 따라서, 시스템은 크로스 스캔(cross-scan) 방향(x-방향)에서보다 스캐닝 방향에서 더욱 크게 감소하는 효과를 갖는다. 스캐닝 방향의 이미징 스케일의 절대값은, 예컨대 그에 수직인 것의 크기의 기껏 3/4, 특히 기껏 2/3, 특히 1/2일 수 있다.
- [0061] 예시로서, 이미징 스케일은 x-방향에서 1/4이며 y-방향에서 1/8일 수 있다.
- [0062] 투영 렌즈(PO)는 방향 의존적 오브젝트 측 개구수( $NA_0$ )를 갖고, 즉, 입사 동공은 원형 형상으로부터 벗어난다. 이러한 경우에, 특정 방향의, 즉, 큰 이미징 스케일의 방향의 오브젝트 측 개구수( $NA_0$ )는 그에 수직인 방향으로의 개구수의 크기보다 예컨대 1.5배이다.
- [0063] 미러(M1 내지 M6)는 EUV 방사선을 반사하는 것으로 구현된다. 이들은 입사 EUV 조명광에 대한 그 반사를 최적화하기 위하여 특히 다중 반사층을 갖는다(다중 미러). 반사가 더욱 원활하게 최적화될 수록, 미러 표면 상의 개

별 광선의 입사의 각은 법선 입사에 더 가까워진다.

[0064] 미러(M1 내지 M5)는 패쇄된 방식으로, 즉, 스루 개구 없이 구현되는 반사 표면을 갖는다. 미러(M1, M4 및 M6)는 오목한 반사 표면을 갖는다. 미러(M2, M3 및 M5)는 볼록한 반사 표면을 갖는다.

[0065] 투영 렌즈(P0)의 미러(M1 내지 M6) 또는 그 반사 표면들은 회전 대칭 함수로 기재 불가한 자유형 표면으로서 구현된다. 이러한 자유형 표면은 회전 대칭 기준 표면으로부터 생성될 수 있다. 마이크로리소그래피용 투영 노광 장치의 투영 렌즈의 미러의 반사 표면에 대한 자유형 표면은 예컨대 US 2007-0058269 A1로부터 알려져 있다. 자유형 표면은 이하의 식에 의해 수학적으로 기재될 수 있다:

$$Z(x, y) = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{j=2}^K \frac{C_j}{N_{radius}^{m+n}} x^m y^n$$

[0066] 여기서 이하는 참이다:

$$j = \frac{(m+n)^2 + m + 3n}{2} + 1$$

[0067] Z는 x, y 지점에서의 자유형 표면의 사지탈 높이(sagittal height)이며, 여기서  $x^2 + y^2 = r^2$ 이다. 파라미터(c)는 상응하는 비구면의 정점 곡률에 상응하는 상수이다. k는 상응하는 비구면의 원뿔 상수에 상응한다.  $C_j$ 는 단항( $x^m, y^n$ )의 계수이다. c, k 및  $C_j$ 의 값은 통상적으로 투영 렌즈(P0)내에서 미러의 원하는 광학 특성을 기초로 결정된다.  $N_{radius}^{m+n}$ 는 계수( $C_j$ )에 대한 정규화 인수(normalization factor)이다. 단항의 차수(m + n)는 임의로 변경될 수 있다. 고차 단항은 더 나은 이미지 수차 교정에 의한 투영 렌즈의 설계를 야기할 수 있되 계산하기에 더 복잡하다. m+n은 3에서 20 이상의 값을 취할 수 있다.

[0070] 본 기재의 끝에 표시되는 표들은 태블러(tabular) 형태로 투영 렌즈(P0)의 광학 설계 데이터를 요약하며, 이러한 데이터는 광학 설계 프로그램 코드(V<sup>®</sup>)에 의해 얻어진다. 표 1은, 광학 구성요소의 광학 표면에 관하여 그리고 어퍼처 스태프에 관하여, 각각의 경우에, 이미지 평면(IS)으로부터, 즉 광 방향에 반대로 진행하는 빔 경로의 인접하는 요소들 사이의 z-거리에 상응하는 거리 값(두께) 및 정점 곡률의 역(반경)을 특정한다.

[0071] 표 2는 미러(M1 내지 M6)에 있어서 상기 특정된 자유형 표면 식에서 단항( $x^m$ )의 계수( $C_j$ )를 특정한다. 표 3은, 미러 기준 설계로부터 진행하는, 분산되고(Y-분산) 회전되는(X-회전) 개별 미러를 따라 mm 단위로 절대값을 명시한다. 이것은 자유형 표면 설계 방법의 경우의 틸팅 및 평행 이동에 상응한다. 이러한 경우에, 이동은 y-방향으로 행해지며 틸팅은 x-축에 대하여 행해진다. 이러한 경우에, 회전각은 도(degree) 단위로 명시된다.

[0072] 제 2 미러(M2)는 X-방향과 Y-방향에서 상이한 크기로 곡선을 이룬다. 이것은 표 1의 2차 계수(X2 및 Y2)가 매우 상이한 차수(order of magnitude)(대략 20의 인수의 차)를 갖는다는 사실로부터 명백하다. 이것은 제 1 부분 렌즈(OBJ1)( 및 또한 전체 투영 렌즈)가 애너모픽 방식으로 이미징한다는 사실에 기여한다.

[0073] 투영 렌즈의 이러한 기본 설계는 WO 2012/034995 A2의 도 2 및 도 3의 투영 렌즈에 상응한다. 상기 출원에 기재된 기타 투영 렌즈는 마찬가지로 본 발명의 맥락에서 사용될 수 있다. 상기 문헌 WO 2012/034995 A2의 공개 내용은 그 전체가 본 기재의 내용에 통합된다.

[0074] 예시적인 실시예의 투영 노광 장치는 투영 렌즈의 이미징 특성 및 그리고 절절할 경우 제어 유닛(CU)의 제어 신호를 기초로 규정된 방식으로 기타 구성요소의 이미징 영향 특성을 변경하는 것을 가능하게 하는 다수의 매니플레이터(manipulator)를 갖는 조작 시스템을 포함한다. 이러한 경우에, "매니플레이터"라는 용어는 제어의 상응하는 제어 신호를 기초로 표적화된 방식으로 그 광학 효과를 변경하도록 설계된 장치를 표시한다. 일반적으로, 매니플레이터는, 측정 감지된(metrologically detected) 이미지 수차가 표적화된 방식으로 감소될 수 있도록 설정된다.

[0075] 투영 노광 장치의 동작 동안, 예컨대 마스크 홀드 유닛(RST)(레티클 스테이지) 및 기관 홀드 유닛(WST)(기관 스테이지)는 서로 동기화된 방식으로 매우 정확하게 움직여야 한다. 이런 목적으로, 마스크 홀드 유닛(RST)과 기

관 홀드 유닛(WST)을 우수한 조작기로 만드는 동적 제어 능력 및 정확한 움직임 능력이 존재한다. 수차는 정확히 동기화된 프로파일로부터 표적화된 편차에 의해 교정될 수 있다. 예시로서, 레티클과 기관의 움직임 속도(개별적인 스캐닝 방향의 움직임의 속도)의 비가 설계 스케일로부터 벗어날 경우, 예컨대 마스크 제조 동안 발생할 수 있거나 소자 가열의 결과로서 발생할 수 있는 스케일 에러가 보상될 수 있다. 이러한 교정은, 리소그래피 조건에 있어서 상당히 짧은 1/10초의 타임 스케일로 스캐닝 공정에 걸쳐서 변경가능한 방식으로 가능하다.

[0076] 특히, 조명 빔 경로와 투영 렌즈를 구분하고자 하는 목적으로 EUV 레티클 상의 광의 비스듬한 입사와 링형 필드(ring field)의 조합으로, 기관 스테이지 및/또는 레티클 스테이지의 틸트(tilt)는 Z<sub>2</sub>, Z<sub>3</sub> 및 Z<sub>4</sub>의 2차 필드 프로파일을 설정할 수 있다.

[0077] 축약형(Z<sub>2</sub>, Z<sub>3</sub> 등)은 이미징에 관련된 특정 수차를 기재하는 제르니케 계수를 통상적으로 의미한다. 이러한 경우에, Z<sub>2</sub>는 (스캐닝 방향에 수직인) x-방향의 이미지 편차를 의미하고, Z<sub>3</sub>는 y-방향(스캐닝 방향)의 이미지 편차를 나타내며, Z<sub>4</sub>는 디포커스를 나타낸다. 이러한 맥락에서, "이미지 편차"라는 용어는, 이미지 포인트(image point)의 실제 위치가 얼마나 멀리 그리고 어느 방향으로, 이상적인 이미징의 경우의 이미지 포인트의 관련된 세트포인트 위치로부터 멀리 또는 거리를 두고 위치되었는지를 표시한다. 이미지 편차는 대안적으로 "이미지 포인트 이동"으로도 지칭될 수 있다.

[0078] 예시적인 실시예의 특별한 특징 및 장점은 개략적인 이미지 수차 다이어그램을 기초로 기준 예시와 비교하여 이하에서 기재된다. 이미지 수차 다이어그램은 시뮬레이션에 의해 결정된 상이한 교정 시나리오의 결과를 그래픽으로 나타낸다. 이러한 경우에, 각각의 이미지 수차 다이어그램은 화살표에 의해 다수의 필드 포인트에 대한 이미지 필드의 영역(투영 렌즈의 이미지 평면)의 왜곡형(distortion-like) 이미지 수차를 그래픽으로 나타낸다. 각 화살표의 베이스 포인트는, 이미지 포인트가 이상적인 이미징의 경우(이미지 수차를 갖지 않음) 놓이는 위치, 즉 이미지 포인트의 세트포인트 위치에 놓인다. 각각의 화살표의 끝은 이미지 수차에 시달리는 이미징의 경우 실제 이미지 포인트가 놓이는 위치, 즉, 이미지 포인트의 실제 위치에 놓인다. 화살표의 길이는 이미지 포인트의 세트포인트 위치와 실제 위치 사이의 차이의 크기를 표시하고, 화살표의 방향은 상기 차이의 방향에 상응한다. 화살표는 따라서 이미지 편차 또는 이미지 포인트 이동을 나타낸다.

[0079] 이미지 수차 다이어그램에서, y-방향은 투영 노광 장치의 스캐닝 방향에 상응하고; 그에 수직인 x-방향은 크로스 스캔 방향에 상응한다. 복수의 필드 포인트에 대한 이미지 수차 다이어그램을 기초로, (x-방향의) 필드에 걸친 개별 이미지 수차의 변형이 또한 즉시 식별가능하다. 필드에 걸친 이러한 변형은 여기서 "필드 프로파일"로 지칭된다. 필드 프로파일의 수량화(quantification)의 경우에, 필드 프로파일은 프로파일의 상수부(constant portion), 선형부(linear portion) 및 2차부(quadratic portion)로 분해될 수 있다. 이러한 응용의 표기에서, 예시로서, 축약형 Z<sub>2,0</sub>은 상수부를 나타내고, Z<sub>2,1</sub>는 선형부를 나타내며 Z<sub>2</sub>는 스캐닝 방향(x-방향으로의 왜곡)에서 평균이 되는 Z<sub>2</sub> 수차의 프로파일의 2차부를 나타낸다. x-방향의 프로파일은 따라서 예컨대  $Z_2(x) = Z_{2,0} + Z_{2,1} * P_1(x) + Z_{2,2} * P_2(x) + \dots$ 로 기재될 수 있으며, P<sub>n</sub>(x)는 n-차 르장드르 다항식(Legendre polynomial)이다.

[0080] 특정 효과를 설명하기 위하여, 도 4a 및 도 4b를 참조하여, 먼저, 이소모픽 투영 렌즈, 즉, x-방향 및 y-방향에서 동일한 이미징 스케일을 갖는 종래의 설계의 투영 렌즈의 형태인 기준 시스템(REF)(본 발명과 관련 없음)에서의 조건이 기재된다. 투영 렌즈(이소모픽 렌즈)는 직사각형 필드에 대하여 설계된다. 도 4a는 z-축(제 1 회전축)에 대하여 1μrad 만큼의 마스크(레티클)의 회전의 경우의 Z<sub>2</sub> 및 Z<sub>3</sub>의 필드 변형을 도시된다. 도 4b는 제 2 회전축(z-축)에 대해 1μrad 만큼의 기관의 회전의 경우에 대한 상응하는 다이어그램을 도시한다. z-축에 대한 마스크의 회전의 광학 효과는 반대 방향에서의 동일한 절대값만큼의 기관의 회전과 동일한 것이 명백하다. 발생된 주된 효과는 Z<sub>3</sub>의 즉, y-방향(스캐닝 방향)의 이미지 편차의 Z<sub>3</sub>의 필드 의존도이며, 이는 제 1 근사로, 필드 중심으로부터의 거리를 갖고 선형으로 증가한다(Z<sub>3</sub>→ Z<sub>3,1</sub>). 결과적으로, 마스크의 z-회전 및 기관의 z-회전은 각각의 경우에 교정의 단일 자유도만을 제공할 것이다. 마스크 및/또는 기관의 회전의 교정 전위(correction potential)는 상응하게 제한되는데, 이는, 특히 교란하는 이미지 수차는, 보상불가능한 교란 부작용(disturbing side effect)이 또한 유지됨과 동시에 마스크 및/또는 기관의 z-회전에 의해 보상될 수 있기 때문이다. 예시로서, 필드-일정한 Z<sub>2</sub> 페이딩(field-constant Z<sub>2</sub> fading)은 유지될 수 있다(즉, Z<sub>2</sub>는 y-방향을 따라 이미지 필드에 걸쳐서 변화한다). 그러나, 상기 "페이딩"은 x-방향을 따라 일정하다. 이것은 도 4a 및 도 4b로부터 명백하다.

[0081] 도 5a 및 도 5b는 정확하게 곡면인 링형 필드를 갖는 이소모픽(isomorphic) 렌즈의 경우에 마스크 및 기관의 상응하는 회전의 결과를 도시한다. 이 경우에, 도 5a는 z-축에 대하여 1μrad 만큼의 마스크의 회전의 결과로서

발생하는 Z2 및 Z3의 필드 변형을 한번 더 도시한다. 도 5b는 z-축에 대한 1 $\mu$ rad 만큼의 기관의 회전의 경우의 상응하는 조건을 도시한다. 필드 의존적 Z3의 주된 효과에 더하여, Z2의 2차 프로파일(스캔 평균(scan-averaged), Z2\_2)은 또한 링형 필드 기하학적 형상으로 인하여 생성되는 것이 명백하다.

- [0082] 이소모픽 렌즈의 경우, 마스크의 회전의 효과는 실질적으로 기관의 상응하는 회전에 의해 완전히 보상될 수 있다.
- [0083] 애너모픽 투영 렌즈의 경우의 조건은 원칙적으로 상이하다. 여기서, 마찬가지로, 그 각각의 회전축에 대한 기관의 회전 및 마스크의 회전은 정량적으로 동일한 이미지 수차를 생성하는 것이 사실이다. 그러나, x-방향 및 y-방향의 이미지 포인트의 결과적인 이동(화살표로 표시됨)은 x-방향 및 y-방향의 상이한 이미징 스케일로 인한 절대값에 있어서 상이하다. 이것은, 예컨대 마스크의 z-회전에 의한 원하는 이미지 수차 프로파일의 설정 및 기관의 z-회전에 의한 여기서 마찬가지로 생성된 원치 않는 역효과의 교정을 가능하게 하고, 결과적으로 기타 이미지 수차의 실제로 원하는 효과는 보상되지 않고 또는 상당히 적은 정도로만 보상되어서, 상기 언급된 이미지 수차(표적 이미지 수차)의 유효 교정은 적절한 회전각에 의해 마스크 및 기관의 결합된 회전에 의해 성취될 수 있다.
- [0084] 설명의 목적으로, 도 6a 및 도 6b는 도 5a 및 도 5b의 다이어그램에 상응하는 이미지 수차 다이어그램을 도시하되, 여기서는, 링형 필드를 갖는 애너모픽 투영 렌즈의 예시적인 실시예의 경우에 대한 것이다. 이러한 경우에, 도 6a는 z-축에 대한 1 $\mu$ rad 만큼의 마스크의 회전의 경우의 결과적인 필드 변형(Z2 및 Z3)을 도시하고; 도 6b는 z-축에 대한 1 $\mu$ rad 만큼의 기관의 회전의 경우에 Z2 및 Z3의 필드 변형의 상응하는 이미지 수차 다이어그램을 도시한다. 결과적인 이미지 수차 및 그 필드 프로파일은 크기 및 방향에 있어서 상이한 것이 명백하다. 이것은 도 7로부터 수량적으로 명백해지며, 도 7은 각각의 경우에 z-축에 대하여 1 $\mu$ rad 만큼의 기관 및 마스크의 회전의 경우에 Z2 및 Z3의 필드 변형의 이미지 수차 다이어그램을 도시한다. 애너모픽 렌즈의 경우에, Z2 (Z2\_2)의 2차부 그리고 Z3 (Z3\_1)의 선형부의 보상이 명백하게 수행되지 않는다. 이러한 이미지 수차 부분은 적절한 회전각에 의한 마스크 및 기관의 동시 회전에 의해 생성되거나 보상될 수 있다.
- [0085] 추가 도시에 있어서, 도 10 및 도 11은 직사각형 필드를 갖는 애너모픽 투영 렌즈의 경우의 이미지 수차의 생성 또는 보상의 상이한 가능성을 도시한다. 도 10은 여기서, 관련된 회전축(z-축)에 대하여 각각의 경우에 2 $\mu$ rad 만큼의 기관의 그리고 1 $\mu$ rad 만큼의 마스크의 회전의 경우에 있어서 결과적인 이미지 수차 다이어그램을 도시한다. 결과적인 이미지 수차로서, 남아있는 것은 Z2 페이딩을 갖지 않고 필드 (Z3\_1)에 걸친 y-방향으로의 이미지 편차의 선형 변형이다.
- [0086] 도 11은 관련된 회전축(z-축)에 대하여 각각의 경우에 1 $\mu$ rad만큼의 기관의 회전 및 2 $\mu$ rad만큼의 마스크의 회전의 경우에 대한 이미지 수차 다이어그램을 도시한다. 이러한 경우에, x-방향 (Z2)의 이미지 편차는 x-좌표와 관련 없으며 스캔 평균 방식으로, 즉, 스캐닝 이미지의 경우에 사라진다(vanish).
- [0087] 직사각형 노광 필드를 갖는 이러한 예시적인 실시예에서, z-축에 대한 기관 또는 마스크의 회전은 따라서 선형 Z3 프로파일 및 필드 일정 Z2 페이딩을 생성한다. 이러한 경우에, 용어 "Z2 페이딩"은 x-방향의 일정한 조건을 갖는 y-방향에서의 선형 Z2 프로파일을 표시한다. 마스크 및 기관은 z-축에 대한 적절한 회전 각도만큼 동시에 회전될 경우, 이로써 이들의 2개의 이미지 수차의 자의적인 조합이 설정될 수 있다.
- [0088] 특히, 마스크 및 기관의 z-회전은 y-방향의 선형 Z2 프로파일을 갖는 일정한 Z2 페이딩에 대하여 및/또는 선형 Z3 프로파일에 대한 빠른(fast), 이상적인(ideal) 매니퓰레이터가 될 수 있다. 이러한 맥락에서, "빠른"이라는 표현은, 그의 이미지 수차 또는 보상이 마스크 및/또는 기관의 회전의 상응하는 제어에 의해 스캔 동작 동안 설정될 수 있는 것을 의미한다. 이러한 맥락에서, "이상적"이라는 표현은, 잔여 수차 또는 부작용이 원하는 이미지 수차외에 생성되지 않는 것을 의미한다. 선형 Z3 프로파일은 예컨대 마스크 또는 기관의 가열 및/또는 마운팅 효과의 결과로서 발생할 수 있다. Z2 페이딩은 그 중에서도, 텔레센트리시티 오류가 동시에 존재할 경우 포커스 드릴링(focus drilling) 동안의 교란 부작용으로서 일어날 수 있다. 포커스 드릴링은 기관의 틸팅 또는 경사에 의해 초점의 깊이에서의 유효한 증가를 성취하는 것을 가능하게 하는 알려진 방법이다.
- [0089] 링형 필드를 갖는 애너모픽 투영 렌즈의 경우의 예시적인 교정 가능성은 도 8 및 도 9를 참조하여 기재될 것이다. 도 8은 각각의 경우에 상응하는 회전축(z-축)에 대한 1 $\mu$ rad 만큼의 마스크의 회전 및 2 $\mu$ rad만큼의 기관의 회전의 경우에 대한 이미지 수차 다이어그램을 도시한다. 결과적인 이미지 수차로서, 남아있는 것은 Z3 (Z3\_1)의 선형 필드 프로파일이고, Z2의 2차 필드 프로파일이 생성되지 않는다.
- [0090] 도 9는 각각의 경우에 상응하는 회전축(z-축)에 대하여 1 $\mu$ rad 만큼의 기관의 회전 및 2 $\mu$ rad 만큼의 마스크의

회전의 경우에 대한 이미지 수차 다이어그램을 도시한다. 이러한 경우에, 생성되는 것은 Z2 (Z2\_2) 및 Z2 페이딩의 필드 프로파일의 2차부가 되되 Z3의 선형부는 생성되지 않는다. 따라서, Z2\_2 또한 Z3\_1의 선택적인 보상이 가능하다.

[0091] 링형 필드를 갖는 이러한 예시적인 실시예에서, 마스크 및/또는 기관의 z-회전의 경우의 상기 언급된 이미지 수차에 더하여, 2차 Z2 프로파일(Z2\_2)이 생성되고, 이것은 항상 Z2 페이딩과 동시에 발생한다. 따라서, 이러한 효과는 마스크에 의한 2차 Z2 프로파일에 대한 매니플레이터로서 사용되며 기관은 각각의 경우에 회전되어서 선형 Z3 프로파일은 정확하게 보상된다(도 11 참조). 잔여 수차로서, 따라서 일정한 Z2 페이딩이 유지되며, 이것은 2차 Z2에 대한 교정 전위를 제한한다. 2차 Z2는 예컨대 마스크 기록 오류의 결과로서 또는 텔레센트리시티 오류와 관련된 기관 불균일도의 결과로서 발생하며 동작 동안 동적으로 교정될 수 있어야 한다. 또한, 직사각형 필드의 경우에, 선형 Z3 프로파일은 정확히 그리고 잔여 수차 없이 교정될 수 있다(도 8을 참조).

[0092] 시뮬레이션은 y-방향에서 1/8의 이미징 스케일 및 x-방향에서 1/4의 이미징 스케일을 갖는 투영 렌즈의 예시적인 실시예에 대하여 계산되었다. 그로부터의 편차가 가능하고; 이는 일반적으로 질적으로 유사한 조건이 되 생성된 이미지 수차의 양적으로 상이한 값을 야기한다.

[0093] 본 발명의 예시적인 실시예의 일부 측면은 EUV 마이크로리소그래피를 위한 투영 노광 장치를 기초로 설명된다. 본 발명의 응용은 이러한 파장 범위에 한정되지 않는다. 예시로서, 심자외선(DUV) 범위 또는 진공 자외선(VUV) 범위로부터의 방사선을 사용하는 마이크로리소그래피용 투영 렌즈 및 투영 노광 장치는 또한 상응하게 구성되며 동작될 수 있다.

[표 1]

표면	반경	거리 값	동작 모드
이미지 평면	무한대	852.884	
M6	-889.919	-802.884	REFL
M5	-219.761	1800.787	REFL
M4	-999.946	-434.619	REFL
M3	-1033.356	483.832	REFL
M2	2464.083	-947.116	REFL
M1	1323.688	1047.116	REFL
오브젝트 평면	무한대	0.000	

[0095]

[표 2]

계수	M6	M5	M4
K	3.303831E-03	2.041437E-02	-1.056546E-01
Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X2	1.106645E+00	4.620513E+00	1.065419E+00
Y2	1.316656E+00	4.632819E+00	2.089523E+00
X2Y	-6.987016E-02	6.244905E-02	2.322141E-01
Y3	-1.544816E-01	-2.303227E-01	-2.158981E-01
X4	3.297744E-02	9.371547E-02	7.579352E-02
X2Y2	6.476911E-02	1.671737E-01	8.744751E-02
Y4	5.431530E-02	7.743085E-02	2.360575E-01
X4Y	-7.040479E-04	4.607809E-03	3.61681E-03
X2Y3	-6.159827E-03	-1.034287E-02	9.782459E-03
Y5	-4.061987E-03	-3.840440E-03	-1.297054E-01
X6	1.398226E-03	3.085471E-03	6.847894E-03
X4Y2	2.977799E-03	8.906352E-03	6.372742E-03

[0097]

[0098]

X2Y4	4.433992E-03	8.678073E-03	-2.569810E-02
Y6	1.255594E-03	1.683572E-03	9.106731E-02
X6Y	2.969767E-04	1.881484E-04	1.342374E-03
X4Y3	-2.820109E-04	-1.123168E-03	-5.896992E-03
X2Y5	-3.654895E-04	-5.949903E-04	1.660704E-03
Y7	8.966891E-05	-3.952323E-04	-3.764049E-02
Nradius	2.899772E+02	6.300046E+01	2.064580E+02

[0099]

[0100]

계수	M3	M2	M1
K	5.744686E-01	-3.325393E+02	-1.583030E-02
Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X2	3.551408E-01	3.277030E-01	-2.811984E-02
Y2	2.123536E+00	1.609563E+00	-4.135835E-01
X2Y	2.013521E-01	-6.948142E-01	-3.866470E-02
Y3	-1.210907E-02	3.694447E-01	-1.853273E-02
X4	5.478320E-02	1.369729E-01	1.349339E-03
X2Y2	7.482002E-02	1.984843E-01	3.032808E-03
Y4	8.327949E-02	-1.227576E-01	-2.824781E-03
X4Y	-2.048831E-03	-4.568931E-02	-4.300195E-04
X2Y3	-4.029059E-03	-1.713508E-02	-6.501645E-04
Y5	-1.415756E-02	6.185385E-03	3.144628E-03
X6	1.998416E-04	-1.834856E-02	6.906841E-05
X4Y2	-1.979383E-03	-3.309794E-02	5.274081E-05
X2Y4	-5.943296E-03	-5.169942E-02	-1.330272E-03
Y6	1.246118E-03	-1.603819E-01	-1.363317E-02
X6Y	1.584327E-04	7.876367E-03	-2.377257E-05
X4Y3	-3.187207E-04	-1.244804E-02	-2.251271E-04
X2Y5	-5.566691E-04	-5.746055E-02	-9.996573E-04
Y7	-1.399787E-03	-3.870909E-02	4.001012E-03
Nradius	8.132829E+01	7.472082E+01	1.311311E+02

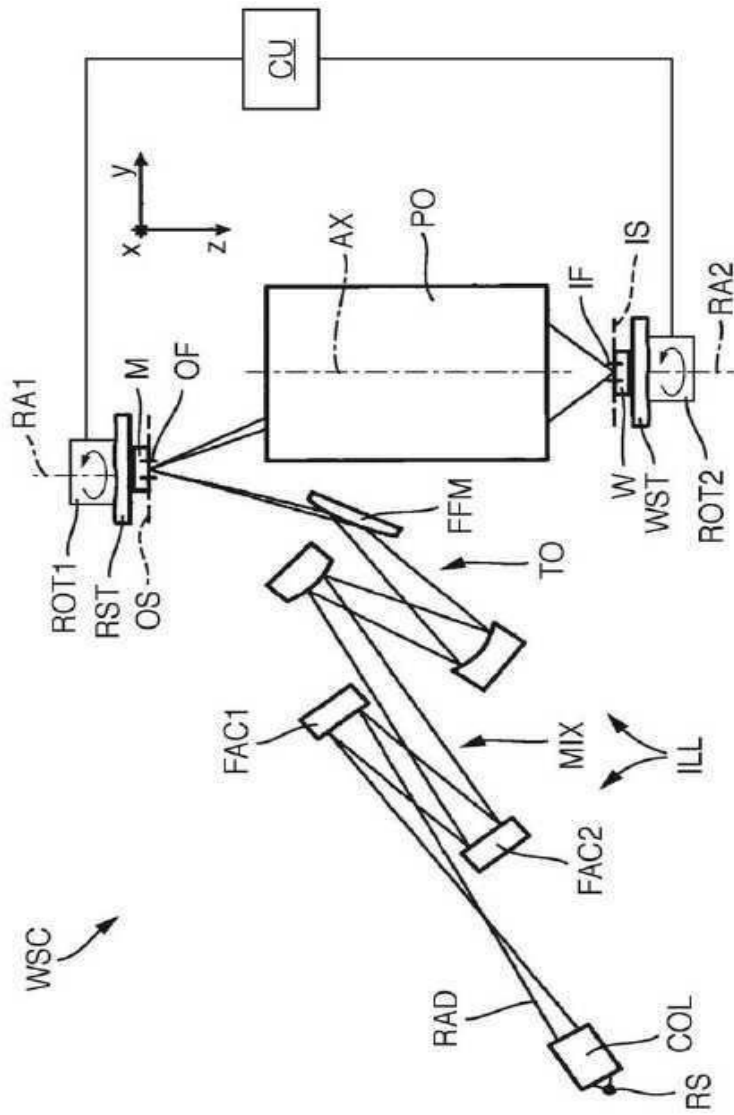
[표 3]

[0101]

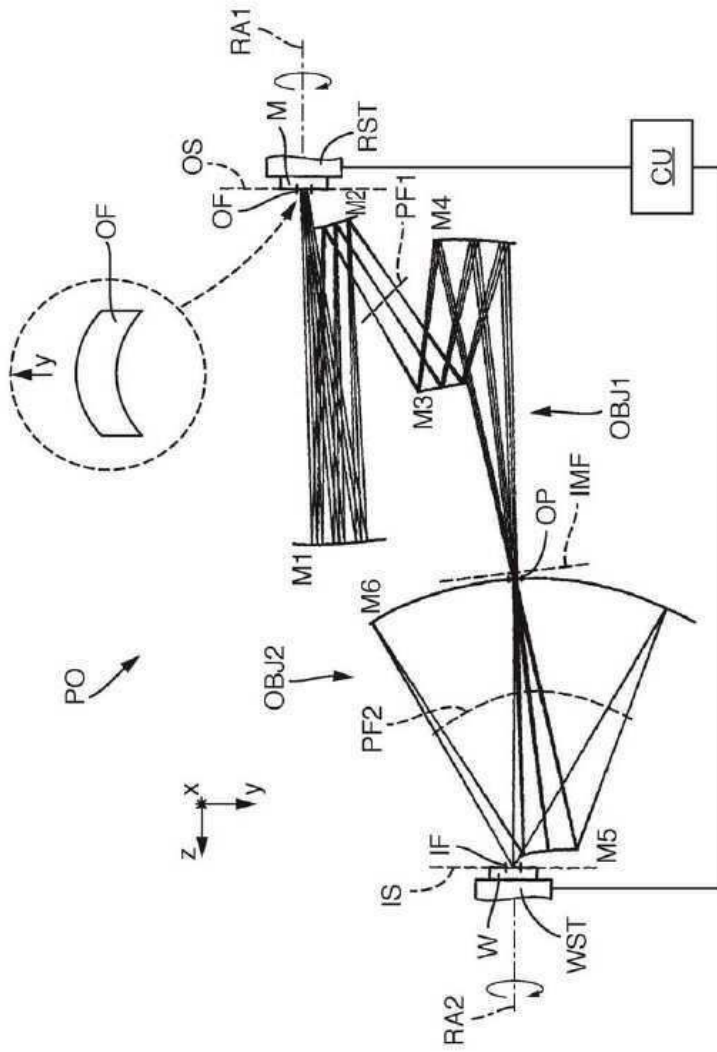
계수	M6	M5	M4	M3	M2	M1	이미지 평면
Y-분산	-51,252	-99,408	123,654	215,631	528,818	512,855	0.000
X-회전	0.323	7.067	-2.444	10.483	16.940	3.488	0.000

도면

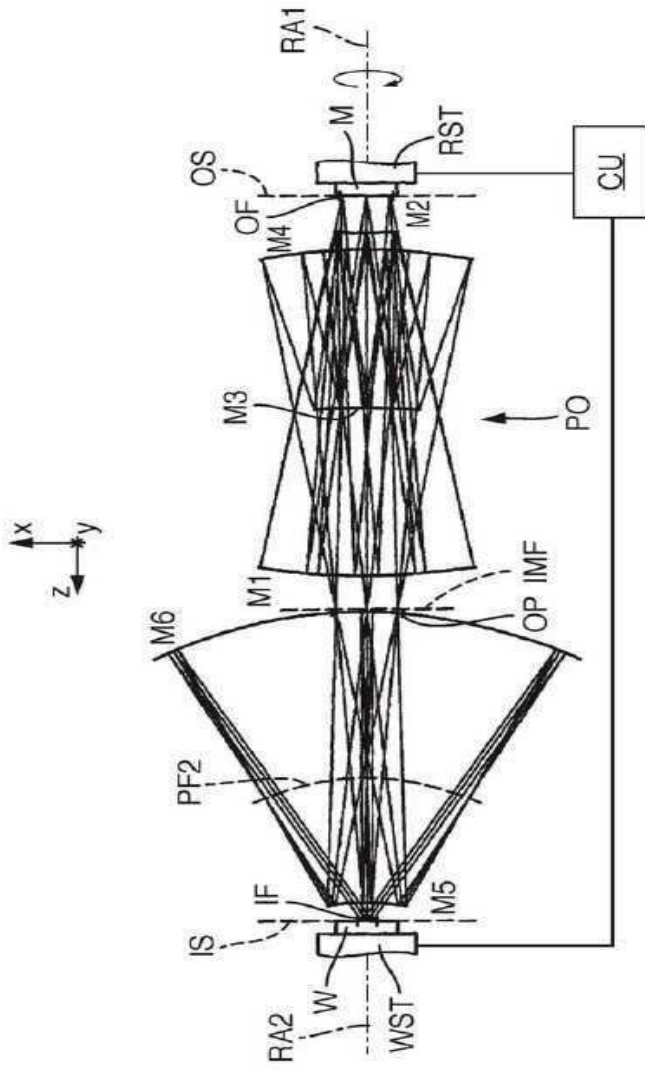
도면1



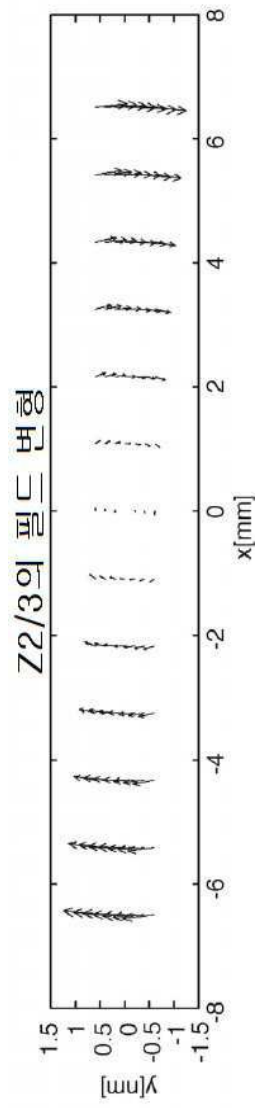
도면2



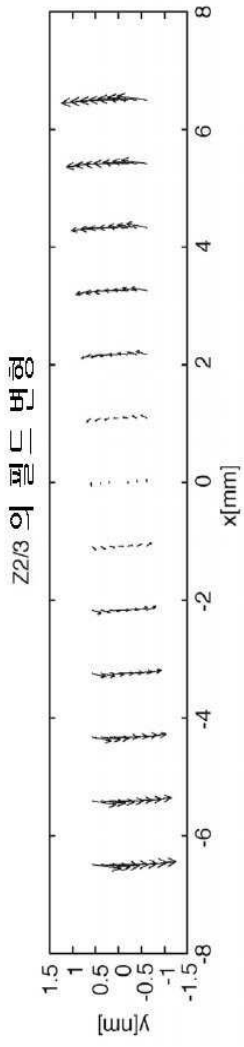
도면3



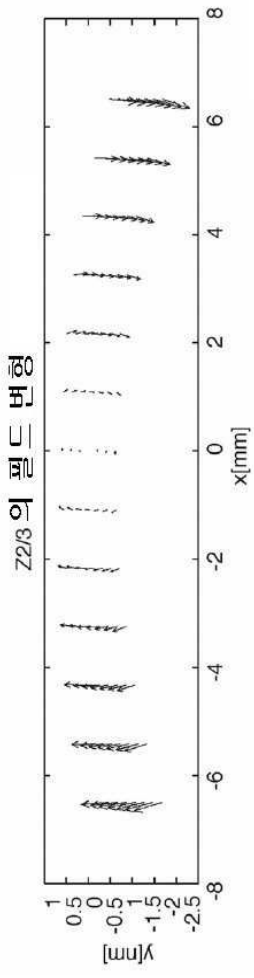
도면4a



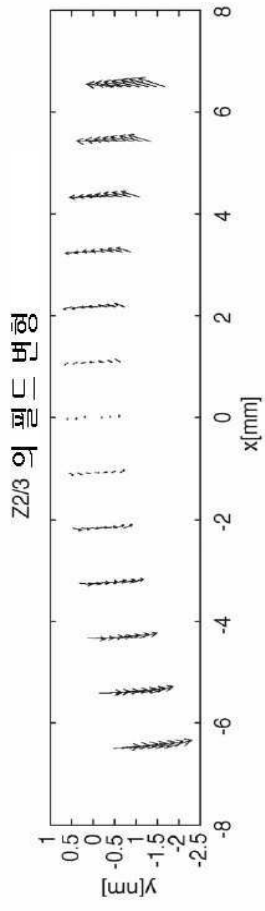
도면4b



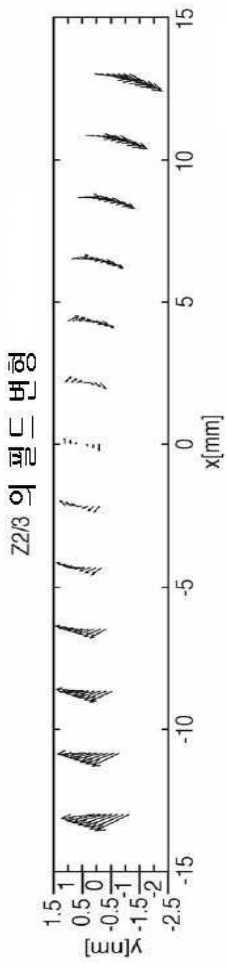
도면5a



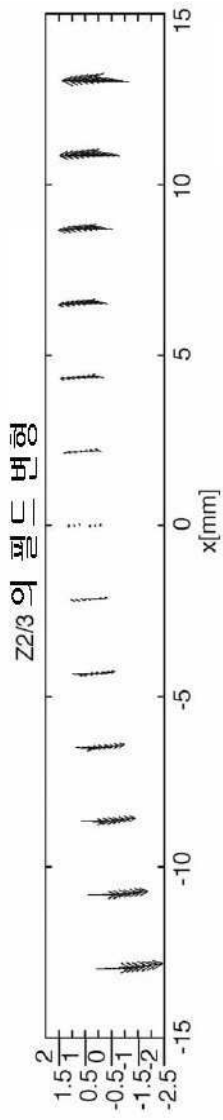
도면5b



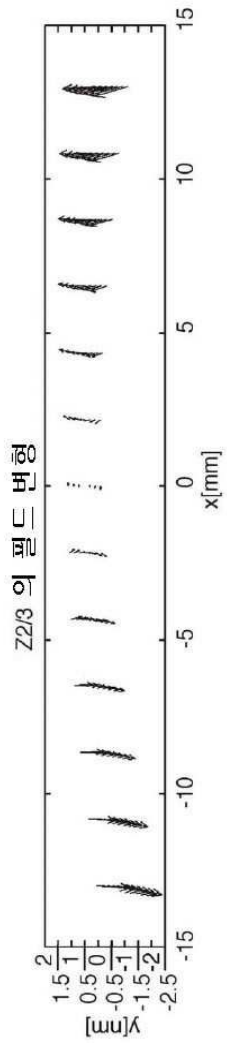
도면6a



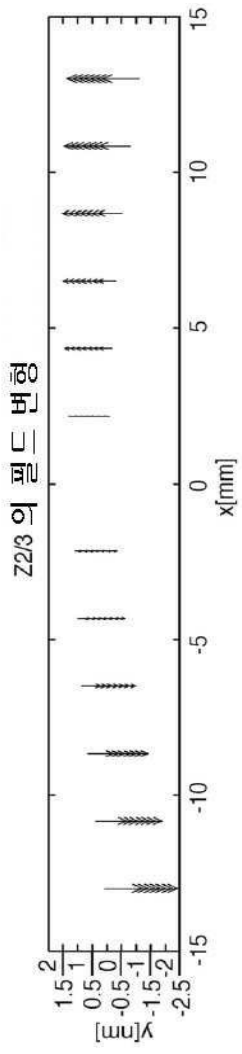
도면6b



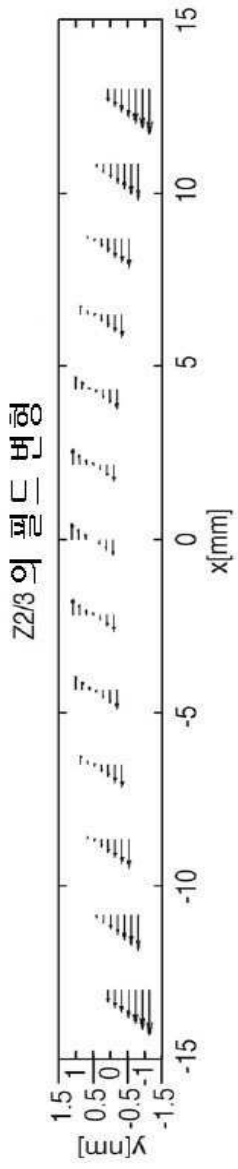
도면7



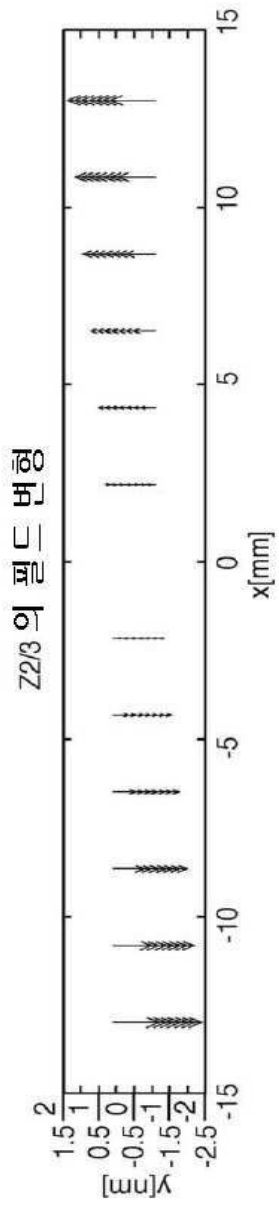
도면8



도면9



도면10



도면11

