



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

(45) 공고일자 2014년03월05일  
 (11) 등록번호 10-1370203  
 (24) 등록일자 2014년02월26일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 H01L 21/027 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2008-7011241
- (22) 출원일자(국제) 2006년11월09일  
 심사청구일자 2011년08월01일
- (85) 번역문제출일자 2008년05월09일
- (65) 공개번호 10-2008-0066791
- (43) 공개일자 2008년07월16일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2006/010725
- (87) 국제공개번호 WO 2007/054291  
 국제공개일자 2007년05월18일
- (30) 우선권주장  
 60/735,932 2005년11월10일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌  
 JP2000056099 A\*  
 JP2003224053 A\*  
 JP2005310453 A\*  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자  
 칼 짜이스 에스엠테 게엠베하  
 독일 73447 오버코헨 루돌프-에버-슈트라쎬 2
- (72) 발명자  
 솔츠, 악셀  
 독일 73430 아알런 호파케르슈트라쎬 43  
 바이쓰, 마르쿠스  
 독일 73430 아알런 임 조넨빈켈 9  
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인  
 안국찬, 양영준

전체 청구항 수 : 총 23 항

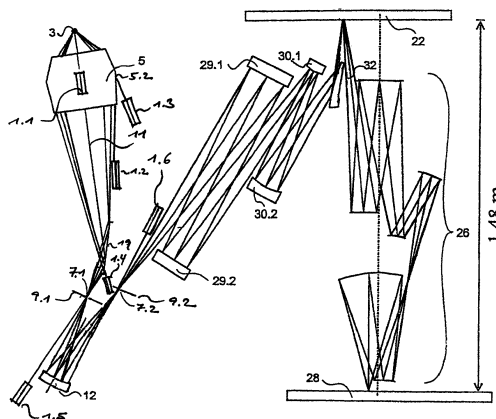
심사관 : 김교홍

(54) 발명의 명칭 **광원의 요동을 측정하기 위한 시스템을 구비한 EUV 조명시스템**

**(57) 요약**

본 발명은 적어도 하나의 EUV(extreme ultraviolet) 광원(3); 유효하게 활용되는 과장의 범위에 대하여, 상기 EUV 광원(3) 또는 상기 EUV 광원(3)의 매개 영상 중 하나의 광 강도 요동 및/또는 위치 변화를 측정하며, 상기 구경조리개 및 센서 장치(1)는 구경조리개(2.1) 및 EUV 위치 센서(2.3)를 포함하며, 상기 구경조리개 및 센서 장치(1)는 구경조리개(2.1)가 상기 EUV 광원(3) 또는 이의 매개 영상(7)으로부터 기인하는 방사광(radiation) 중에서 소정의 입체각(solid angle) 범위에 해당하는 방사광만을 상기 EUV 위치 센서(2.3)에 도달하도록 배치된다.

**대표도** - 도2



(72) 발명자

**마울, 만프레드**

독일 73434 아알런 엘히백 29

**보셀만, 필립**

독일 73525 슈벨비쉬 그윈트 슈발벤베크 4

---

**특허청구의 범위**

**청구항 1**

적어도 하나의 EUV(extreme ultraviolet) 광원(3)과;

상기 EUV 광원(3) 또는 상기 EUV 광원(3)의 매개 영상 중 하나의 광 강도 요동 및 위치 변화 중 하나 또는 양자 모두를 측정하며, 구경조리개(2.1) 및 EUV 위치 센서(2.3)를 포함하는, 구경조리개 및 센서 장치(1)를 구비하고,

상기 구경조리개 및 센서 장치(1)는, 상기 구경조리개(2.1)가 상기 EUV 광원(3) 또는 이의 매개 영상(7) 중 하나로부터 기인하는 소정의 입체각(solid angle) 범위의 방사광(radiation)을 상기 EUV 위치 센서(2.3)에 도달하도록 배치되고,

상기 구경조리개(2.1)는 상기 EUV 광원(3) 또는 매개 영상(7)과 EUV 위치 센서(2.3) 사이에 위치되고,

최소 수치 구경 이하의 입체각 범위에서 상기 EUV 광원(3)으로부터의 빛을 집광하지않는 집광기를 포함하고, 상기 EUV 광원(3)을 관찰하는 적어도 하나의 구경조리개 및 센서 장치(1)는 최소 수치 구경 이하의 사용되지 않는 입체각 범위에 위치하고, 상기 EUV 광원(3)을 관찰하는 구경조리개 및 센서 장치(1)는 광축(11)과 나란하게 배치되는 것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 2**

제1항에 있어서, 상기 구경조리개 및 센서 장치(1)는 핀홀(pinhole) 카메라의 원리에 따라 설계된 것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 3**

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 구경조리개 및 센서 장치(1)는 적어도 두 개가 포함되는 것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 4**

삭제

**청구항 5**

삭제

**청구항 6**

삭제

**청구항 7**

삭제

**청구항 8**

제1항 또는 제2항에 있어서, 적어도 하나의 구경조리개 및 센서 장치(1)는 상기 EUV 광원(3)으로부터의 광을 집광기 셀의 개구(5.2)를 통해 받아들이는 것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 9**

제8항에 있어서, 상기 집광기 셀의 개구(5.2)는 상기 구경조리개 및 센서 장치의 구경조리개 개구(2.1)로 기능하는 것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 10**

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 EUV 조명 시스템은 집광기(5)를 포함하고, 적어도 하나의 구경조리개 및 센서 장치(1)는 EUV 광원(3)을 관측하며, 영상 광의 광선 다발은 집광기(5)의 미러 표면에서 적어도 한번 반사되는

것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 11**

삭제

**청구항 12**

삭제

**청구항 13**

제3항에 있어서, 적어도 두 개의 구경조리개 및 센서 장치(1.1, 1.2)는 서로 다른 방향을 향하는 EUV 광원(3)의 매개 영상(7)을 관측하는 것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 14**

제3항에 있어서, 적어도 하나의 구경조리개 및 센서 장치(1.1)는 EUV 광원(3)을 관측하고, 적어도 하나의 다른 구경조리개 및 센서 장치(1.2)는 상기 EUV 광원(3)의 매개 영상(7)을 관측하는 것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 15**

제3항에 있어서, 상기 EUV 조명 시스템은 상기 EUV 광원(3)의 제1 매개 영상(7.1) 및 제2 매개 영상(7.2)을 생성하고, 적어도 하나의 구경조리개 및 센서 장치(1.1)는 상기 제1 매개 영상(7.1)을 관측하며, 적어도 하나의 다른 구경조리개 및 센서 장치(1.2)는 상기 제2 매개 영상(7.2)을 관측하는 것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 16**

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 구경조리개 및 센서 장치(1)는 EUV 과장 범위를 벗어나는 원하지 않는 과장을 필터링하는 스펙트럴 필터 부재(spectral filter element)(2.2)를 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 17**

제16항에 있어서, 상기 스펙트럴 필터 부재(2.2)는 호일 필터(foil filter)인 것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 18**

제17항에 있어서, 상기 호일 필터는 지르코늄을 함유하는 것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 19**

제16항에 있어서, 상기 스펙트럴 필터 부재(2.2)는 스펙트럴 그리드 필터(spectral grid filter) 및 다층 미러 중 하나 또는 양자 모두를 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 20**

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 구경조리개 및 센서 장치(1)는 대전된 입자들을 편향시키는 장치를 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 21**

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 구경조리개 및 센서 장치(1)는 단일 센서 필드 또는 일렬이나 매트릭스 형태로 배열된 복수의 센서 필드들을 구비하는 EUV 위치 센서(2.3)를 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 22**

제21항에 있어서, 상기 EUV 위치 센서(2.3)의 센서 필드는 EUV-감지 다이오드 또는 형광 스크린과 카메라의 조합, 또는 다채널 플레이트를 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 23**

제21항에 있어서, 상기 EUV 위치 센서(2.3)는 방출되는 광전자들 또는 광전류에 기반하여 입사하는 EUV 방사광의 중력 중심(gravity center)을 측정하는 센서 필드를 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 24**

제1항에 있어서, 상기 구경조리개 및 센서 장치(1)는 구경조리개 개구(2.1) 및 EUV 위치 센서(2.2) 사이의 광선 다발을 편향시키는 반사 광학부재를 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 25**

제1항 또는 제2항에 있어서, 서로 다른 관측 방향에서 동일한 광원(3) 또는 상기 광원(3)의 동일한 매개 영상을 관측하는 적어도 두 개의 구경조리개 및 센서 장치(1)는 통합 유닛(assembly unit)으로 구성되고, 각각의 구경조리개 및 센서 장치에는 구경조리개(2.1) 및 EUV 위치 센서(2.3)가 구비되는 것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 26**

제25항에 있어서, 상기 통합 유닛에 포함된 개별적인 구경조리개 및 센서 장치(1)의 EUV 위치 센서들은 서로 접경하고 있는 것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 27**

삭제

**청구항 28**

삭제

**청구항 29**

삭제

**청구항 30**

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 EUV 광원(3)은 플라즈마 광원인 것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 31**

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 EUV 조명 시스템은 집광기(5)와, 집광 부재 및 상기 집광 부재에 연계하여 구비된 광반사 부재 중 하나 또는 양자 모두의 이동 및 변형 중 하나 또는 양자 모두를 캡처(capture)하는 측정 시스템을 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 조명 시스템.

**청구항 32**

삭제

**청구항 33**

삭제

**청구항 34**

제1항 또는 제2항에 따른 조명 시스템, 마스크, 투영 대물렌즈(projection objective)(26), 및 감광 대상을 구비하는 마이크로리소그래피를 위한 투영 노광 장치.

**청구항 35**

삭제

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은, 예를 들어, EUV(extreme ultraviolet, 극자외선) 리소그래피(lithography)에 사용되는 193nm 이하의 파장을 갖는 조명 시스템의 광 경로를 추적하여 EUV 광원의 위치 및 집광 시스템(optical collector system)의 초점의 위치를 측정하고 교정하는 측정 수단을 갖는 EUV 조명 시스템에 관한 것이다. 또한, 본 발명은 이러한 목적을 제공하기 위한 방법과 관련된 것이다. 상기 조명 시스템에 사용되는 바람직한 측정 수단은 구경조리개 및 센서 장치(aperture stop and sensor arrangement)이다.

**배경기술**

[0002] 전자 소자의 형성 폭(structure widths)을, 특히, 마이크론 단위 이하로 감소시키기 위해서는 마이크로리소그래피(microlithography) 공정에 사용되는 광의 파장을 줄이는 것이 필요하다. 예를 들어, 193nm보다 짧은 파장이 구현되면, EUV 리소그래피라고 불리는 소프트 엑스-레이를 이용하는 리소그래피가 가능해진다.

[0003] 11 내지 14 nm의 파장  $\lambda$ , 구체적으로, 13.5nm의 파장의 광은 예를 들어 싱크로트론(synchrotron) 광원에 의해 생성될 수 있다. 그러나, 싱크로트론 광원을 사용할 경우에는 높은 수준의 복잡한 기술을 요하는 장치가 수반되어야 하는 단점이 있다. 이에 반해, EUV 광원은 예를 들어 레이저 빔을 금속 플레이트에 포커싱(focusing)하여 플라즈마를 생성하는 레이저-플라즈마 광원이다. 또한, 플라즈마 광원 자체가 진극에 근접하여 형성되는 플라즈마 방전 광원이 EUV 광원으로 사용될 수 있다. 싱크로트론 광원과 비교할 때, EUV 플라즈마 광원은 현저하게 낮은 투자 비용이 든다는 점이 두드러진다. 반면에, EUV 플라즈마 광원의 단점은 잠재적인 불안정성으로 인해 소스 파워(source power)가 요동친다는 점이다. 게다가, 열의 영향으로 인해 플라즈마 광원의 원점(source point)이 이동하는 문제가 있다.

[0004] 상기 플라즈마로부터 방출되는 것은 EUV 범위에 속하는 유용한 광자(photons)에 한정되지 않고 상기 금속 플레이트 또는 진극 물질의 입자 뿐만 아니라 긴 파장을 갖는 광도 포함할 수 있기 때문에, 상기 광학 시스템에 채용되는 부품들, 구체적으로, 집광 유닛(collector unit) 및 제1 다층 미러(multilayered mirror) 등이 오염될 위험이 매우 크다. 게다가, 상기 집광 시스템은 열팽창 및 작동 중에 발생하는 온도 구배의 영향 때문에 변형이 일어나서, 초점 거리가 변경될 수 있다. 플라즈마 광원의 원점 이동 이외에, 전술한 요인들이 조명 시스템의 필드 평면(field plane)에서 불균일한 필드 조명을 야기할 수 있다. 게다가, 결과적으로 흡수되는 광의 광력(light power)의 강한 요동(fluctuation) 뿐 아니라 원중심성 오류(telecentricity error)의 요동에 의한 이른바 조사 오류(dose error)가 발생할 수 있다.

[0005] 그러나, 전술한 문제들에 대한 해결책은 제시하지 못한 플라즈마 광원을 갖는 EUV 조명 시스템들이 다음과 같은 간행물에 기재되어 있다.

[0006] 극자외선(EUV) 방사를 사용하는 리소그래피 장치를 위한 EUV 조명 시스템은 미국특허 제5,339,346호에 개시되어 있다. 레티클(reticle) 평면 내에 균일하게 조명하고 동공(pupil)을 채우기 위하여, 상기 미국특허 제5,339,346호에는 집광 렌즈 및 서로 대칭적으로 배열된 쌍으로 구성된 적어도 네 개의 미러 면들을 갖는 집광기가 제시되어 있다.

[0007] 미국특허 제5,737,137호에는 집광기 미러를 구비하는 플라즈마 광원을 갖는 조명 시스템이 기재되어 있는데, 마스크 또는 레티클에 대한 균일한 조명은 구형의 미러들에 의하여 수행된다. 이러한 조명 시스템은 임계 조명(critical illumination)을 갖는 대표적인 조명 시스템이다.

[0008] 미국특허 제5,361,292호에 개시된 조명 시스템은 플라즈마 광원을 갖추고 있다. 원심으로부터 벗어나도록 배치된 5개의 비구면(aspherical) 거울들을 갖는 집광기가, 마치 점광원에 의해 구현되는 영상처럼, 고리 모양의 조명 영역을 생성한다. 상기 고리-모양 조명 영역은 광 경로를 따라 특별히 구비된 스침각-입사(grazing-incidence) 미러들에 의해 입사 동공(entry pupil)으로 조사된다.

[0009] 유사하게, 싱크로트론 방사가 EUV 광원에 사용되는 경우, 상기 집광 부재 및 다음의 광 반사 부품들에 미치는 위에서 언급한 열적 효과 때문에 필드 조명이 여전히 시간 및 공간적으로 변동되기 쉽다. 그러나, 이러한 영향은 특히 플라즈마 광원에서 문제된다. 따라서, 이런 타입의 EUV 조명 시스템의 경우 EUV 광원으로부터 생성되고 광 반사 시스템에 의해 집광되는 방사(radiation)를 감시하고, 기준점으로부터 벗어난 경우 광원의 위치를 제대

로 교정하는 것이 필요하다. 광원 그 자체를 조정하는 대신, 예를 들어 광학 부재를 이용하여 광원에 의한 영상의 위치를 조정할 수도 있다.

[0010] 2차원 EUV 광다이오드의 배열 또는 특정 위치의 광전류나 광 전자를 감지하는 센서와 같이 공간적 해상도를 갖는 EUV 센서가 상기 위치를 모니터링하는 데 사용되는 경우, 센서의 물리적 크기 때문에 발생하는 다음과 같은 단점이 알려져 있다. 그 중에 하나로, 감지에 사용되는 센서가 광경로를 차단하여, 유용한 조명 강도가 이에 대응하여 감소되는 문제가 있다. 이러한 문제는 상기 감지 시스템이 불연속적으로 작동되거나 조명 시스템의 일반적인 작동 중에는 상기 감지 시스템을 제거하는 방법으로 극복될 수 있다. 하지만, 이는 고가의 비용이 든다. 게다가, 조정하기 어려운 문제도 있다. 또한, 위와 같은 접근 방법으로는 EUV 광원의 위치를 서보-제어(servo-control)를 통해 연속적으로 조정하거나 집광기를 조정하는 것이 불가능하다.

[0011] 광 경로에 전형적인 2차원 센서를 사용하는 것과 관련된 또 다른 문제로, 광원의 원점의 위치가 오로지 간접적으로만 결정되기 때문에 광 다발(light bundle)의 부분적 영역의 강도 프로파일의 측정이 부정확한 점을 들 수 있다.

[0012] 미국공개특허 제2003/0146391호에는, 플라즈마 광원의 방사광의 광력을 모니터링 하는 검출기(detector)에 있어서, 상기 검출기를 조명 광의 경로로부터 이격되도록 배치하는 것이 제안된 바 있다. 이러한 배치에서는, 차후 상태를 시뮬레이트(simulate) 하기 위해 상기 검출기의 광 경로의 에텐듀(etendue)(광 수집력)를 조명 광의 경로에 매치(match)시킨다. 그러나, 미국공개특허 제2003/0146391에서 제안된 개념은, 이격된 광 경로에서 방사광력의 측정 자체로는 위에서 언급한 오류들, 즉, 주사 오류(dose error), 원중심성 오류(telecentricity error) 뿐 아니라, 이른바 불균일 조명 필드(inhomogeneously illuminated field)를 방지하기에는 충분하지 못한 단점을 갖는다.

[0013] 일본공개특허 제63-072116호는 X-레이 광에 근접 노광을 위한 흡수성 마스크로부터 기인하는 이차 전자를 검출하는 개념을 개시하고 있다. 그러나, 이는 공간적인 측정, 주사 오류 여부에 대한 결정 또는 광학 부재의 오염 여부에 대한 결정에 대한 가능성을 제시하고 있지는 않다.

[0014] 싱크로트론 방사를 위한 미러의 오염 정도를 감시하는 방법은 일본공개특허 제05-288696호에 개시되어 있다. 이러한 방법에 의하면, 광-회발성 전류의 적분이 미러 표면에 대해 결정되므로, 방사 강도의 공간적 분포에 대한 유용한 정보는 얻을 수 없다.

**발명의 상세한 설명**

[0015] 본 발명의 목적은 상기 선행 기술의 단점들을 극복하기 위한 것이다. 특히, 본 발명의 목적은 측정 수단을 갖는 EUV 조명 시스템에 있어서, 상기 측정 수단이 EUV 광원, 특히, EUV 플라즈마 광원의 광원력(source power) 뿐 아니라 광원의 위치를 충분한 정확도를 가지고 측정할 수 있게 하고, 이러한 측정은 효과적으로 사용될 수 있는 파장과 관련지어 수행되도록 하는 것이다. 상기 측정 수단에 의해 야기되는 조명 강도의 감소는 가능한 최소가 되도록 할 것이다. 상기 측정 수단은 하부적으로 배열된 집광 시스템의 초점 위치의 변화를 검출하는 것이 필요하다. 본 발명의 다른 목적은 EUV 광원을 모니터링하는 방법을 제안하여, 필드 평면 상의 필드의 균일한 조명을 달성하기 위한 적절한 방법으로 집광기를 조정할 뿐 아니라 EUV 광원의 위치도 적절히 조정할 수 있도록 할 것이다. 게다가, 상기 측정 수단 및 교정 방법은 EUV 조명 시스템에 사용될 수 있도록 획득되는 유효하게 활용되는 범위, 즉, 유효하게 활용되는 파장을 갖는 방사광의 절대적 유동량을 측정할 수 있게 해 줄 것이다. 본 문헌에 사용되는 "유효하게 활용되는 파장(effectively utilized wavelength)"이라는 용어는, 예를 들어, 투영 노광 장치를 이용하여 구조화된 마스크를 통해 감광성 코팅막에 투영되는 영상을 생성하는 데 사용되는 파장을 의미한다. 예를 들어, EUV 리소그래피에서 유효하게 활용되는 파장 또는 유효하게 활용되는 파장 범위는 13.5nm 근방이지만, 상기 값에 제한되지는 않는다. 다른 유효하게 활용되는 파장도 마찬가지로 가능하다.

[0016] 상기 유효하게 활용되는 파장에서의 조정과는 달리, 미국특허 제6,727,980호는, 예를 들어 가시 광선과 같이, 투영 공정에 사용되는 파장과는 다른 파장에서 수행되는 EUV 광원의 조정에 대한 예시들을 기술하고 있다.

[0017] 본 발명의 발명자는 전술한 본 발명의 목적을 달성하기 위해 EUV 광원 또는 이로부터 생성되는 매개 영상을 직접 관측할 필요가 있다는 것을 알게 되었다. 그러나, 광 원점에 직접 근접한 센서는 그 위치의 특성 상 구현될 수 없다. 게다가, 이는 오히려 인해 조명 강도의 심각한 감소를 야기할 수 있다. 이러한 접근보다는, 구경조리개(aperture stop) 및 핀홀(pinhole) 카메라의 원리에 따른 센서 장치를 통해 훨씬 더 쉬운 방법으로 위치의 변화를 검출할 수 있음을 알게 되었다. 이와 달리 혹은 부가적으로, EUV 광원 자체를 관측하는 대신 EUV 광원의 하나 이상의 매개 영상을 관측할 수 있다. EUV 광원의 영상이 이동하여 기준 위치를 벗어나는 경우, EUV 광원

자체의 위치 변경과 관련된 직접적인 결론이 도출된다. 또한, EUV 광원의 광원력도 영상의 조명 강도로부터 결정될 수 있다. 본 발명에 따른 장치 및 방법에 의하면, (넓은 대역 스펙트럼 파장의 광을 방출하는) EUV 광원의 광원력 및/또는 광원 위치가 투영 노광 장치에 사용되는 상기 유효하게 활용되는 파장 또는 유효하게 활용되는 파장 범위에서 검출될 수 있다.

[0018] 종래 기술, 예를 들어 미국특허 제6,727,980호에 따른 종래의 해법에는, 조정에 적용되는 상기 유효하게 활용되는 파장이 명확히 기재되어 있지 않다. 오히려, 사용되는 광은 상기 유효하게 활용되는 파장과는 다른 파장을 갖는 EUV 광원로부터 출사되는 가시 광선이었다.

[0019] 본 문헌에서 "구경조리개 및 센서 장치(aperture stop and sensor arrangement)"라는 용어는 적어도 하나의 구경조리개 및 적어도 하나의 EUV 위치 센서를 포함하는 측정 배치(measuring arrangement)를 의미하는 것으로 사용될 것이다. 상기 구경조리개는 관측할 대상물, 이 경우에는 EUV 광원 또는 이와 매개된 영상 중 하나와 상기 위치 센서 사이에 배치되는데, 본 응용분야(application)에 사용되는 EUV 위치 센서는 EUV-방사에 민감하다. 상기 구경조리개의 효과 때문에, 대상 점(object point)으로부터 기인하여 상기 위치 센서에 도달되는 방사광은 일반적으로 작은 입체각을 갖는 것에 제한된다. 따라서, 포커싱이 이루어지지 않는다. 대신에, 구경조리개의 지름은 필연적으로 한정되어 있기 때문에, 각 대상 점으로부터 기인하는 광은 이의 영상으로서 중심 투시(central perspective) 또는 중심 투영(central projection)의 법칙을 따르는 착란원(circle of confusion)을 갖는다. 투영된 대상물, 상기 구경조리개의 개구(opening) 및 대상물의 거리와 카메라의 설계치 사이의 비율이 충분히 작을 경우에는, 상기 투영은 상기 착란원의 크기에 제한될 것이고, 핀홀 카메라의 원리에 따라 상기 목적물의 영상은 어느 정도의 비선명성(unsharpness)을 가진 상태로 생성된다. 본 발명에 따르면, 구경조리개 및 센서 장치를 이용하여 EUV 광원 또는 이에 매개된 영상을 관측하기 위해, 예를 들어 EUV 위치 센서를 이용하므로, 실제 감각(actual sense)으로 감지되는 영상은 없다. 이러한 이유로, 상기 구경조리개 및 센서 장치의 근본적인 파라미터들, 예컨대, 대상 거리, 구경조리개 지름, 설계 길이 및 센서 해상도등의 파라미터들은 EUV 광원의 원점 이동에 요구되는 공간 해상도(spatial resolution) 및 대상물의 치수에 따라 선택될 수 있는데, 다시 말해, 상기 선택은 전술한 조건에서 벗어날 수 있다.

[0020] 본 발명의 개념의 확장으로서, 서로 다른 시야각에서의 광을 관측하는 두 개 이상의 구경조리개 및 센서 장치가 사용된다. 이는 기준 위치에 대한 세로 방향으로의 이탈 뿐 아니라 가로 방향의 이탈의 관측도 가능하게 한다. 최소 수치 구경 아래의 EUV 광원의 광은 수집하지 않는 집광기가 사용되는 경우, 적어도 하나, 바람직하게는 적어도 두 개의 구경조리개 및 센서 장치가 상기 비사용 공간에 배치될 수 있다. 공간적인 축소를 야기하지 않는 한, 사용되지 않는 일부 광선이 광원의 영상을 생성하도록 하나 또는 수 개의 구경조리개 및 센서 장치가 배치될 수 있다.

[0021] 상기 집광기 부재 또는 집광기의 반사 광학 시스템의 부품을 관통하는 통과 개구의 설계에 있어서, 일반적으로 상기 반사 광학 면이 차지하는 후면 영역에 구경조리개 및 센서 장치를 배치시킬 수 있다.

[0022] 상기 개념은 구경조리개 및 센서 장치를 이용한 매개 영상의 관측에도 유사하게 적용될 수 있다. 이와 관련하여, 본 발명자는 EUV 광원의 위치 변화 및 상기 집광기 부재의 위치 변화의 영향은 매개 변수의 이동으로 나타난다는 것을 발견했다. 이러한 조합에 의해 EUV 조명 시스템에서 비롯되는 광의 실제 양을 알 수 있기 때문에, 상기 매개 영상의 관측에 기반한 EUV 광원의 원점 또는 연계되는 집광부재나 그 부품의 효과적인 교정이 가능하다.

[0023] 구경조리개 및 센서 장치를 통해 EUV 광원 외에 적어도 하나의 매개 변수를 관측하는 것이 특히 바람직하다. 이는 EUV 광원의 이동과 초점 거리의 변화를 구별해 준다. 또한, 이는 광원 강도의 요동(fluctuation)과 상기 EUV 광원에 연계되는 광학 부재들의 오염 또는 품질저하를 구별할 수 있게 해준다.

[0024] 상기 구경조리개 및 센서 장치에 덧붙여, 방사광의 영향으로 인해 발생하는 광전자 전류를 적어도 하나의 미러에 대하여 공간적인 해상도를 가지고 측정할 수도 있다. 이러한 목적에 사용되는 센서 부재는 동일한 접지 전위를 공유하는 개별적인 전극들로 이루어진 양극 고리(anode ring)를 포함한다. 전극들의 광전자 전류를 비교하여 상기 미러 면에 도달하는 방사광의 중력 중심(gravity center)에 대한 결론을 도출할 수 있다. 게다가, 상기 전극들에서의 광전자 전류의 합은 전체 방사 강도(radiation intensity)를 나타낸다. 전술한 센서 부재는 광선 패턴의 조정에 사용될 수도 있고, 마찬가지로 원점의 위치 뿐 아니라 광 경로에 설치되는 광학 부재들의 초점 거리를 측정하는 데 사용될 수도 있다. 상기 센서 부재 외에 위의 방법들을 조합하여 사용하는 것이 바람직하며, 전술한 구경조리개 및 센서 장치를 더 사용할 수도 있다.

**실시예**

- [0039] 도 1은 광을 수집하는 집광기(optical collector)(5.1)에 비해 치수가 작은 EUV 광원(3)을 도식적으로 나타낸 것이다. 이런 종류의 광원(3)은 예를 들어 금속 플레이트에 레이저 빔을 조사하여 형성된 플라즈마에 의해 구현될 수 있다. 이와 달리, 이런 종류의 EUV 광 방출 플라즈마는 방전(discharge)에 의해 진극 근처에 형성될 수도 있다. 도 1에 도시된 좌표 시스템에 따라, 도면의 평면은 x-축 및 y-축을 포함한다. EUV 광원(3)은 기준점의 외부인 위치(3.1)에 나타내었다. 도 1에 윤곽으로 나타낸 바와 같이, 상기 위치는 특별히 유효하게 활용되는 과정에서 제1 구경조리개 및 센서 장치(1.1)를 이용하여 관측된다. 상기 구경조리개 및 센서 장치(1.1)는 집광기 셀(5.1)의 외곽 라인에 의해 매우 간략하게 표현된 집광기의 중심에 위치한다. 이러한 타입의 집광기(collector)와 관련하여, 독자는 본 출원인에 의해 독일 특허청(German Patent Office)에 출원된 DE 101 38 284 A1을 참조할 수 있으며, 그 내용은 그대로 본 출원의 참조 문헌에 포함될 것이다. 상기 구경조리개 및 센서 장치는 z-축 방향으로 연장되는 상기 집광기의 광축(11)과 나란하게 배열된다. 이러한 배치에서, 제1 구경조리개 및 센서 장치(1.1)는 위치 검출기(2.3)에 투영되는 EUV 광원(3)의 영상을 생성한다.
- [0040] 상기 EUV 광원의 잠재적인 이동, 즉, 상기 기준 위치로부터 x-방향으로의 편향 또는 도면의 평면에 수직인 y-방향으로의 편향을 야기하는 이동은 구경조리개 및 센서 장치(1.1)의 위치 검출기(2.3)에 투영되는 이미지의 기준 위치로부터 편향으로 발현되는데, 여기서, 상기 편향 정도는 중심 투시(central perspective) 또는 중심 투영(central projection)의 법칙에 따라 도 1에 나타낸  $Z_1$  및  $Z_2$ 의 길이 비에 해당된다. 위치 검출기에 투영되는 영상의 편향 정도를 측정하여 광원의 기준 위치 및 상기 구경조리개 및 센서 장치의 구경조리개 중심점에 의해 정의되는 축에 수직인 방향에 대한 상기 광원 위치의 편향 정도를 결정한다. 본 실시예에서 상기 축은 z-축이므로, 집광기의 중심을 따라 배열된 센서 유닛은 x 및 y에 대한 광원의 위치를 결정해 준다.
- [0041] 집광기 셀(5.1)의 초점 거리뿐 아니라 EUV 광원의 기준 위치로부터 세로 방향으로의 편향은 상기 EUV 광원의 매개 영상(7)을 관측하는 제2 구경조리개 및 센서 장치(1.2)에 의해 측정된다. 광축에 대한 임의의 각  $\beta$ 에서의 구경조리개 및 센서 장치의 좌표를 통해, 상기 매개 영상(7)의 기준 위치로부터의 수평 및 수직 방향으로의 편향 정도를 측정할 수 있다.
- [0042] 일 실시예에 따른 EUV 투영 시스템의 구조에서 구경조리개 및 센서 장치가 설치되는 다른 위치들이 도 2에 도시되어 있다. 일반적으로 플라즈마 광원인 EUV 광원(3)으로부터 발생된 광은 집광기(5)에 의해 수집되는데, 상기 집광기는 예를 들어 네스티드 집광기(nested collector)로 구성된다. 제1 구경조리개 및 센서 장치(1.1)는 상기 집광기의 가장 작은 구경 아래의 사용되지 않는 공간에 배치된다. 상기 구경조리개 및 센서 장치는 집광기 내부에 위치할 수도 있고, 집광기와 함께 집합 유닛(assembly unit)으로 설계될 수도 있다. 바람직하게는, 제1 구경조리개 및 센서 장치(1.1)가 집광기의 광축과 나란히 향하도록 한다.
- [0043] 만약, 예를 들어, 집광기가 비대칭적인 모양을 가져서 집광기(5)에 광축이 정의되지 않은 경우에는, 상기 집광기를 개별적인 세그먼트(segment)로 세분화하고, 각 세그먼트에 대해 각각의 광축을 정의할 수 있다. EUV 광원(3)을 직접 관측하는 제1 구경조리개 및 센서 장치(1.1)는 상기 축들을 따라 배치될 수 있다. 게다가, EUV 광원(3) 근처의 구경조리개 및 센서 장치(1.1)는 요구되는 중심 업페(central obscuration)로도 기능할 수 있도록 구성될 수 있다.
- [0044] 그 외에, 위에서 언급한 측정 및 교정 방법 뿐 아니라 본 발명에 따른 측정 수단은 동일한 EUV 조명 시스템을 향하는 광을 발생하는 다수의 EUV 광원을 모니터링하고 교정하는 데 사용될 수 있다.
- [0045] 도 2는 집광기 광학부재에서 적어도 한번 반사된 광선 방향에 위치하는 다른 구경조리개 및 센서 장치들(1.2, 1.3)을 더 보여준다. 도시된 배치에서, 구경조리개 및 센서 장치(1.2)는 반사 부재 다음에 배치되고, 구경조리개 및 센서 장치(1.3)는 집광기 셀의 개구(5.2)를 통해 EUV 광원(3)을 관측한다. 따라서, 상기 구경조리개 및 센서 장치(1.3)는 집광기의 후면부를 차지한다. 스펙트럴 그리드 필터(spectral grid filter)(19)와 같은 부가적인 광학 부품 주변에 구경조리개 및 센서 장치(1.4)를 더 배치시킬 수도 있다. 또한, 제1 매개 영상(7.1)을 관측하는 구경조리개 및 센서 장치(1.5)를 더 구비할 수도 있다. 유사하게, 예컨대 제2 매개 영상(7.2)과 같은 매개 영상이 또 다른 구경조리개 및 센서 장치(1.6)에 의해 관측될 수도 있다.
- [0046] 도면에 도시된 EUV 투영 시스템의 일 실시예는 고리-모양의 필드를 갖는 필드 평면(field plane)(22)을 형성하고 조명하기 위한 광학 시스템을 부품으로 더 포함할 수 있다. 필드의 균일한 조명을 위한 혼합 유닛으로 기능하는 상기 광학 시스템은 두 개의 면 미러들(facet mirrors)(29.1, 29.2), 두 개의 투영 미러들(imaging mirrors)(30.1, 30.2) 및 필드-형성 스킴-입사 미러(field-forming grazing-incidence mirror)(32)를

포함한다.

- [0047] 필드 면 미러(field facet mirror)라고 불리는 제1 면 미러(29.1)는 동공 면 미러(pupil facet mirror)라고 불리는 제2 면 미러(29.2)의 평면 내 또는 근처에서 이차 광원의 집합을 생성한다. 이어지는 투영 부재들은 상기 조명 시스템의 출사 동공(exit pupil)에 동공 면 미러(29.2)의 영상을 형성하는데, 상기 출사 동공은 투영 대물 렌즈(projection objective)(26)의 입사 동공(entry pupil)에 위치한다. 상기 제1 및 제2 면 미러들(29.1, 29.2)의 개별적인 면들은 제1 면 미러(29.1)의 필드 면의 영상이 상기 조명 시스템의 필드 평면(22)에서 중첩되도록 일정 각도만큼 기울어지므로, 상기 필드 평면(22)에 위치하는 구조-전달 마스크(structure-carrying mask)의 매우 균일한 조명을 가능하게 해준다. 고리 필드의 세그먼트는 필드-형성 스킴-입사 미러(32)에 의해 모양이 결정된다.
- [0048] 이중 면 조명 시스템은 예를 들어 미국 등록특허 제6,198,793B호에 개시되어 있으며, 투영 및 필드-형성 부품들은 미국 특허청에 출원된 출원 번호 US 10/060,909에 해당하는 WO 01/09681에 개시되어 있다. 이들 문헌들에 개시된 내용들은 모두 참조 문헌으로서 여기에 병합될 수 있을 것이다.
- [0049] 레티클(reticle)이라고도 불리는, 필드 평면(22)에 배치된 상기 구조-전달 마스크의 영상은 투영 대물렌즈(26)에 의해 필드 평면(22)의 영상 평면(28)에 투영된다. 투영 대물렌즈(26)는 예를 들어 본 출원인에 의해 미국 특허청에 2000년 12월 13일에 출원된 일련 번호 제60/255214호의 미국 특허출원 또는 독일 특허 출원 제10037870호에 개시된 육-미러 투영 대물렌즈이며, 이러한 개시된 내용들은 전부 참조 문헌으로서 본 출원에 병합될 수 있다. 노광될 대상물, 에컨대 웨이퍼와 같은 대상물은 영상 평면(28)에 배치된다.
- [0050] 도 3은 일 실시예에 따라 세 개의 집광기 셀(5.1)을 구비한 네스티드 집광기(nested collector)에 의해 구획된 축 섹션(axial section)을 나타낸다. 쌍곡면(hyperboloid-) 및/또는 타원면(ellipsoid-) 모양의 미러들을 포함하는 집광기의 다른 실시예들은 월터 시스템(Wolter systems)이라고 이름으로 문헌에 게재되어 있다. 월터 시스템과 관련한 논문으로, Wolter, Annalen der Physik 10, 94-114, 1952를 참조할 수 있으며, 이에 개시된 내용은 전부 참조 문헌으로 여기에 병합될 수 있다. 이러한 종류의 집광기에서, 실질적으로 점-모양의 광원으로부터 발생된 광은 임의의 최소 수치 구경(minimal numerical aperture)에 의해서만 집광된다. 이에 따라, 구경조리개 및 센서 장치(1)를 포함하는 본 발명에 따른 측정 시스템을 상기 최소 수치 구경보다 작은 입체각(solid-angle)내의 사용되지 않는 공간에 광 손실 없이 배치하는 것이 가능하다.
- [0051] 구경조리개 및 센서 장치의 투영 원리가 도 4에 도시되어 있다. 상기 구경조리개 및 센서 장치 자체는 참조 번호 1로 지시된다. 만약 구경조리개의 개구가 충분히 작아서 이상적인 관점에서 점 모양으로 취급될 수 있는 경우라면, 광원(3)과 같은 대상물의 영상(4)은 영상 광선 다발(imaging ray bundle)의 축에 실질적으로 수직하게 연장된 평면에 형성된다. 확대의 척도(scale)는 구경조리개(2.1) 및 영상 평면 사이의 거리로 정의되는 설계 길이  $Z_2$ 에 관한 구경조리개 및 센서 장치에서 대상물까지의 거리  $Z_1$ 의 비를 조정하여 설정될 수 있다.
- [0052] 도 4는 기준 위치에서 벗어난 두 위치(3.1, 3.2)에 있는 EUV 광원을 더 도시하고 있다. 상기 두 위치(3.1, 3.2)는 동일한 광선 상에 놓여있기 때문에, 이들은 중심점이 서로 일치하는 영상을 생성한다. 이는 구경조리개 및 센서 장치가 상기 구경조리개 및 센서 장치의 좌표 시스템에 대하여 EUV 광원의 가로 방향으로의 편향 정도를 측정하는 데 적합함을 보여준다. 광원이 유한한 치수를 가질 때, 수직 방향의 변위(displacement)는 상기 구경조리개 및 센서 장치에서 영상의 크기 변화로 귀결될 것이다. 일 실시예에서, 이러한 정도의 변화를 감지할 수 있을 정도로 충분히 정확한 공간 해상도를 가진 EUV 위치 센서가 사용된다. 그러나, 적어도 두 개 이상의 구경조리개 및 센서 장치들이 EUV 광원을 관측하거나, 유사하게, 서로 다른 관측 방향으로부터의 매개 영상을 관측하는 것이 바람직한 실시예이다.
- [0053] 유한한 치수를 갖는 실제 구경조리개의 개구에서는, 구경조리개 영역에 대응하는 검출기 표면에 투영되는 소스 영상이 흐릿하다. 하지만, 실질적으로 대칭적인 소스 이미지의 중력 중심의 위치는 대칭적인 구경조리개의 기능을 유지한 채 상기 흐릿함(blurring)에 영향을 받지 않기 때문에, 상기 흐릿함도 대칭적이므로 측정 정확도의 감소를 야기하지 않거나 무시할 수 있을 정도의 작은 감소만을 야기한다.
- [0054] 상기 구경조리개의 개구와 관련하여, 전달되는 파워의 양과 검출기의 크기 간에 절충치를 찾아야 한다. 한편으로, 구경조리개의 개구의 크기는 센서를 과도하게 노출시키지 않도록 충분히 작게 설정되어 센서가 포화상태로 작동되게 해야 한다. 다른 한편으로는, EUV 광원의 위치를 결정하기 위한 구경조리개의 개구의 크기는 EUV 위치 센서에 충분한 광 강도를 제공할 수 있도록 충분히 커야 한다. 이는 특히 EUV 광원 위치의 편향을 신속하게 결정하는 데 필요하다.

- [0055] 만약 대상물까지의 거리를 전형적인 값인 150 mm로 가정하고 EUV 위치 센서에서 구현하기 쉬운 해상도를 0.1 mm라고 가정하면, 설계 길이  $Z_2$ 는 90 mm 이상으로 설정하는 것이 유리하다.
- [0056] EUV 광원의 광원 위치를 측정하는 데 사용되는 구경조리개 및 센서 장치는 위치 검출기(2.3)를 포함한다. 상기 위치 검출기는 EUV 광원의 영상이 기준 영상 위치로부터 벗어난 정도를 측정하는 역할을 수행한다. 간략화된 케이스에서는, 광 다이오드에 기반한 개별 센서 부품이 상기 목적을 위해 사용된다. 그러나, 근본적으로, 이는 단지 하나의 이진 비트의 정보, 즉, EUV 광원이 기준 위치로부터 벗어난 정도가 충분히 작아서 이미지가 센서 필드 내에 여전히 있는지 여부에 대한 정보만을 제공한다. 그 이상의 정보는 일렬로 배열되거나 바람직하게는 매트릭스 형태, 보다 바람직하게는 사분면 검출기(quadrant detector) 형태로 배열된 다수의 광다이오드로 이루어진 센서로부터 전달된다. 상기 광원 위치의 편향은 개별적인 센서 필드의 신호의 상대적인 크기로부터 결정될 수 있다. 이러한 타입의 사분면 검출기(44)의 예는 참고적으로 표시된 x/y-좌표 시스템을 갖는 도 9에 도시되어 있다. 개별적인 센서 필드들(A, B, C, D)의 각각의 강도 신호(intensity signal)로부터, 센서 평면에서의 가로 편향은 다음으로부터 구해진다.
- [0057]  $\Delta X' = [(B+D) - (A+C)] / (A+B+C+D)$  및
- [0058]  $\Delta Y' = [(A+B) - (C+D)] / (A+B+C+D)$
- [0059] 상기 모든 센서 필드에서 취한 합산값으로부터, 교정(calibration) 후에, 광원으로부터 방사된 파워의 전체 값을 결정할 수 있으며, 이는 광원의 파워의 요동이 일어날 수 있는 플라즈마 광원에서는 특히 중요하다.
- [0060] 본 발명에 따른 구경조리개 및 센서 장치가 EUV 광원의 위치 변화 또는 이미지의 매개 영상의 위치 변화를 결정하는 데 사용되는 경우에, 전형적인 핀홀(pinhole) 카메라와는 달리, 실제 영상을 촬영될 필요가 없기 때문에, 형광 스크린 및 카메라 간의 센서 조합이 필요 없으며, 제한된 개수의 센서 부품들을 구비한 EUV 위치 센서만 필요하다. 특히, 사분면 검출기가 바람직하다. 그러나, 영상 센서는 채택 가능한 센서를 대표하는 것에 불과하다. 상기 EUV 위치 센서(2.3)는 입사하는 EUV 방사의 중력 중심이 방출되는 광-전자 또는 광전류로부터 결정되는 방법을 이용하도록 구성될 수도 있다.
- [0061] 설치 공간과 사용될 수 있는 구경조리개 및 센서 장치가 제한되기 때문에, 구경조리개 및 센서 장치를 관측되는 광원에 충분히 근접하도록 위치시키는 것이 필요하다. 따라서,  $Z_1$  대  $Z_2$ 의 비가 충분히 작아야 된다. 그러나, 광원에 가까워질수록, 플라즈마 생성으로부터 기인하는 파편(debris)에 의해 오염될 위험이 있다. 이러한 이유로, 올바른 측정을 위해 구경조리개 및 센서 장치의 앞 또는 뒤에 입자 필터(2.4)를 배치시키는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는, EUV 광원으로부터의 방사광을 실질적으로 유효하게 활용되는 범위의 파장에 적합한 것으로 제한시키는 스펙트럴 필터 부재(2.2)가 구경조리개의 개구(2.1)의 앞 또는 뒤의 광 방사 경로에 배치된다. 이는 특히 적외선, 가시광선 및 EUV 범위의 광선을 차단한다. 이러한 기능을 수행하기 위해, 예컨대 지르코늄을 함유하는 호일 필터(foil filter)가 사용될 수 있다. 호일 필터는 입자 필터로서 동시에 기능할 것이다. 다른 실시예에서는, 도 10에 도시된 바와 같이, 대전된 입자들을 편향시키기 위해, 예컨대 하나 이상의 자극 쌍(48)을 상기 구경조리개 개구 뒤에 배치시켜서, 전자기력을 이용할 수 있다. 부가적 또는 다른 방법으로, 다층(multi-layered) 미러들 또는 스펙트럴 그리드 필터(spectral grid filter)를 상기 구경조리개 및 센서 장치에 부가적인 부품으로 통합시킬 수 있다.
- [0062] 도 10은 EUV 광원(3)의 위치를 결정하기 위한 구경조리개 및 센서 장치를 매우 간략한 방식으로 도시하고 있다. 구경조리개 개구(2.1)를 둘러싸는 영역은 입사광에 기인하는 강한 열 유입(40)에 노출된다. 구경조리개 및 센서 장치의 바람직한 구성에서는, 예컨대 펠티어(Peltier) 부재 또는 액체 냉각기와 같은 냉각 장치(50)가 후면에 구비된 유틀리가 상기 열을 방출시키는 데 사용된다. 센서 부품 뒤에 상기 냉각 장치가 배치되기 때문에, 조명 시스템에는 추가적인 압력 효과가 발생하지 않는다. 이와 더불어, 전치증폭기(preamplifier)(52)가 EUV 위치 센서(44)에 가능한 근접하게 배치되어 냉각 기능을 제공할 수 있다. 나머지 신호-평가 전자기기들(54)은 상기 구경조리개 및 센서 장치 외부에 배치될 수 있다.
- [0063] 도 5는 구경조리개 및 센서 장치들의 상응하는 배치를 나타내는데, 여기서 제1 구경조리개 및 센서 장치(1.1)는 네스티드 집광기의 광축에 나란하게 배치되고, 제2 구경조리개 및 센서 장치(1.2)는 광축에 대한 각( $\beta$ ) 이내에서 EUV 광원의 기준 위치를 관측하고 그 외에는 도면의 x/y 평면에 배치된다. 이러한 배열에 따르면, 상기 구경조리개 및 센서 장치(1.2)는 국소 좌표 시스템 g-h-k를 정의한다. 도 5는 g-축 및 k-축을 도시하고 있으며, h-축은 도면 평면의 외부를 가리킨다. 만약 EUV 광원이 상기 x-y-z 좌표 시스템에서 기준 위치로부터 가로 방향으로  $\Delta x$ , 세로 방향으로  $\Delta z$ 의 크기만큼 벗어난 위치(3.1)로 이동된 경우에, 이에 따른 상기 구경조리개 및 센서

장치에서의 영상에 대한 변위 인자들( $\Delta g$ ,  $\Delta h$ ,  $\Delta k$ )은 다음과 같은 좌표 변환을 통해 구해지다.

[0064] 
$$\Delta g = \Delta x \cos(\beta) + \Delta z \sin(\beta)$$

[0065] 
$$\Delta h = \Delta y$$

[0066] 
$$\Delta k = \Delta x \sin(\beta) + \Delta z \cos(\beta)$$

[0067] 이와 다른 예에서는, 두 구경조리개 및 센서 장치 모두 상기 광축에 대한 각도로 배치될 수 있으며, EUV 광원의 위치를 모니터링하기 위한 부가적인 구경조리개 및 센서 장치가 더 포함될 수도 있다.

[0068] 축 위치(axial position)의 측정 부정확도( $\Delta z_a$ )를 평가하기 위해서, 다음과 같이 광축에 나란하게 향하고 있는 구경조리개 및 센서 장치(1)와 상기 광축에 각도  $\beta$ 만큼 기울어지게 향하고 있는 제2 구경조리개 및 센서 장치를 고려할 수 있다. 도 8에 도시된 바와 같이, 구경조리개 및 센서 장치들에 대해 파선으로 그려진 가로 방향 측정 부정확도  $\Delta x_{a1}$  및  $\Delta x_{a2}$ 는 서로 교차한다. 이는 상기 축 위치의 측정 부정확도( $\Delta z_a$ )가 다음과 같이 계산될 수 있음을 나타낸다.

[0069] 
$$\Delta z_a = \frac{\Delta x_{a1}}{\tan \beta} + \frac{\Delta x_{a2}}{\sin \beta}$$

[0070] 각도  $\beta$ 를  $10^\circ$ 로 가정하고 상기 두 구경조리개 및 센서 장치들에 대한 동일한 가로 방향 측정 부정확도를  $\Delta x_{a1} = \Delta x_{a2} = 0.58 \text{ mm}$ 로 가정하는 경우, 이들 수치로부터 상기 축 위치의 측정 부정확도  $\Delta z_a$ 는  $6.63 \text{ mm}$ 라는 결과를 얻을 수 있다. 예상했던 바와 같이, 작은 각도  $\beta$ 에서 상기 축 방향의 위치 측정 부정확도는 가로 방향 부정확도에 비해 훨씬 나쁘다. 위에서 언급한 값들은 단지 예로 든 것에 불과하며 이에 제한되는 것으로 이해해서는 안 될 것이다.

[0071] 도 6은 집광 부재의 배면 또는 집광 부재 다음에 배치되는 구경조리개 및 센서 장치들의 다른 배치 관계를 나타낸다. "집광 부재의 배면에 배치 (placement to the rear of the collector optics)"라는 용어는 구경조리개 및 센서 장치(1.1)가 상기 집광 미러 시스템의 개구를 통해 EUV 광원을 관측할 수 있도록 배치된 것을 의미한다. 바람직한 실시예에서, 이러한 통로 개구는 구경조리개 개구로 설계된다. 이 경우 상기 구경조리개 및 센서 장치는 이러한 구경조리개 개구에 직접 안착되거나 상기 구경조리개 개구와 집합 유닛을 형성하도록 설계된다. 이러한 설계 구성에 따르면, 구경조리개 및 센서 장치가 집광기 셀(5.1)에 결합되기 때문에, 산란되는 광의 손실이 최소화되고 개별적인 구경조리개 및 센서 장치의 조정이 불필요하게 되는 장점이 있다.

[0072] 그러나, 상기 집광기 셀(5.1) 역시 열의 영향에 의해 위치 및 길이가 변하기 쉽다는 사실에 주의해야 한다. 본 발명의 일 실시예에서, 초점 거리의 변동을 야기하는 집광기 셀(5.1)의 위치 변화는 예컨대 간섭계(interferometer)와 같은 부가적인 측정 시스템에 의해 결정될 수 있다. 다른 실시예에서는, 위와 같은 기능을 반사기 셀(5.1)에서 적어도 한 번 반사되는 광선에 나란하게 배치시킨 구경조리개 및 센서 장치(1.2)에 의해 유사하게 수행될 수 있다. 이러한 구경조리개 및 센서 장치(1.2)의 영상의 기준 위치로부터의 편향 정도는 집광기 셀(5.1)의 기하학적 배열의 변화 뿐만 아니라 EUV 광원의 이동과 관련된 정보를 포함한다. 이와 같이, EUV 광원을 직접 관측하는 구경조리개 및 센서 장치와 집광기 셀(5.1)에서 적어도 한 번의 반사가 일어나는 형태의 구경조리개 및 센서 장치를 함께 사용하면, 서로 다른 정보를 각각 구별할 수 있다.

[0073] 이와 다르거나 부가적으로, EUV 광원의 매개 영상(7)을 관측하는 구경조리개 및 센서 장치를 더 포함할 수 있다. 도 7에 도시된 바와 같이, 사용되지 않는 일부 광선 다발은 이러한 목적으로 사용될 수 있으며, 이에 따라 상기 구경조리개 및 센서 장치는 상기 매개 영상의 공간적 이동이 캡처(capture)될 수 있도록 배치된다. EUV 광원의 원점(source point)의 기준 위치로부터의 변위  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  및  $\Delta z$ 를 이용하여 광선 각(ray angle)  $\alpha$ 를 갖는 가장자리 광선(marginal ray)에 대한 매개 영상(7)에 있어서 다음과 같은 매개 초점(intermediate focus)(7)에서의 변위 인자들의 켈레 값(conjugate value)  $\Delta x'$ ,  $\Delta y'$  및  $\Delta z'$ 을 얻을 수 있다.

[0074] 
$$\sin(\alpha') = \sin(\alpha) / \beta$$

[0075] 
$$\Delta x' = \Delta x * \beta$$

[0076] 
$$\Delta y' = \Delta y * \beta$$

- [0077] 
$$\Delta z' = \Delta z * \beta^2$$
- [0078] 이러한 매개 영상의 편향은 상기 매개 영상의 기준 점에 대한 방위에 따라서 대응하는 구경조리개 및 센서 장치의 좌표 시스템에서의 편향으로 다시 변환된다.
- [0079] 다른 실시예에서는, 매개 영상 중 하나를 관측하는 적어도 하나의 구경조리개 및 센서 장치 및 EUV 광원을 직접 관측하는 적어도 하나의 구경조리개 및 센서 장치로 이루어진 구경조리개 및 센서 장치를 사용하는 방법 뿐 아니라 하나 이상의 매개 영상들에 대한 구경조리개 및 센서 장치들을 배치하는 방법도 사용될 수 있다.
- [0080] 발명자는 광원으로부터 발생하는 광을 측정하기 위해서는, 조명 시스템의 하나 이상의 광 반사 부재의 미러 표면이 센서 부재로 사용될 수 있음을 알아내었다. 이러한 개념에 따르면, 상기 미러 표면 위에 전극을 배치하여 국부적인 조명 강도에 의존하는 전자들, 즉, 광전자들이 발생하는 부위로부터 역으로 센싱 정보를 도출할 수 있다. 미러 표면에 도달하는 조명의 프로파일(profile)로부터 광선의 위치를 결정할 수 있고, 이에 따라 측정 사용되는 부품들이 광 경로쪽으로 돌출되어 엄폐를 야기하는 문제를 발생시키지 않고 조정을 수행할 있다. 또한, 광 전자들의 전체 유동량을 측정하면 방사광의 세기에 관한 결과를 도출할 수 있다.
- [0081] 도 12는 미러 표면(38)에서 기원하는 광전자들의 측정을 위한 전극들(36)의 가능한 배치를 나타낸다. 여기서는, 양극 고리(anode ring)(34)는 네 개의 독립적인 고리 세그먼트로 구분되는 테두리를 가지며, 각각의 전극들은 분리되어 있고 전기적으로 절연되어 있으며 동일한 전위(electrical potential)를 갖는다. 상기 전극들(36)에 임의의 전압을 설정할 수 있으나, 이는 광전류를 측정함에 있어 절대적으로 필요한 것은 아니다. 왜냐하면, 광 전 효과로 인해 방사되는 미러 표면(38)과 양극 고리(34) 사이 자체에 전위차가 발생되기 때문이다. 상기 전극에서의 개별적인 광전류의 측정에 기반하여, 광전자의 기점(origination)에 대한 중력 중심(gravity center)이 측정된 전류들(I<sub>1</sub> 내지 I<sub>4</sub>)의 비(ratio)로부터 결정된다. 상기 측정 전류(I<sub>1</sub> 내지 I<sub>4</sub>)의 합은 상기 미러에 도달되는 방사광의 세기의 측정치를 의미한다.
- [0082] 양극 고리(34)의 전극들(36)의 세부적인 설계는 전문적인 선택의 문제이다. 그러나, 상기 전극들에 의한 광 경로의 차폐를 피할 수 있게 설계되는 것이 바람직하다. 또한, 양극 고리(34)에서 미러 표면(38)까지의 거리는 바람직하게는 수 센티미터의 거리 이내에서 다양하게 할 수 있다. 상기 양극 고리(34)를 미러 상부의 직사각 영역을 커버하는 네 개의 전극들(36)로 세분하는 대신, 양극 고리(34)를 세 개의 전극들(36)로 이루어진 삼각형 모양으로 구성할 수도 있다. 또한, 간략화된 경우에는, 양극 고리(34) 대신에 두 개의 전극(36)만 사용하여 한 방향에 대한 미러의 강도 프로파일을 결정할 수도 있다. 다른 실시예에서, 양극 고리(34)는 네 개 이상의 전극들(36)로 만들어져 원 모양에 가깝게 할 수도 있다. 게다가, 이는 미러의 조명되는 표면의 외곽에 적합한 모양으로 형성될 수도 있다. 또 다른 실시예에서는, 광전류를 수신하기 위해 하나의 양극 고리(34) 대신에 다수의 양극 고리들이 사용될 수 있다. 상기 양극 고리들은 예컨대 동심원 형태로 배열되거나, 미러 표면(38)으로부터 각각 다른 거리를 가질 수 있다. 이 경우에, 보다 좋은 공간 해상도로 광전자의 근원지를 결정할 수 있다.
- [0083] 전술한 설명에서의 센서 부재는 상기 미러에 도달하는 조명의 프로파일을 검토하여 EUV 광원의 원점에 대한 결과를 이끌어 내는 데 사용될 수 있다. 이를 수행하기 위해, 단일의 센서 부재를 사용할 수도 있고, 다수의 미러가 센서 부재들과 함께 설치되는 경우에는 센서 부재들로 이루어진 시스템을 사용할 수도 있다.
- [0084] 센서 부재의 다른 실시예에서, 상기 광전류는 광 경로 상에 배열된 면 미러(29.1)의 개별적인 면들에서 측정된다. 도 13에 따르면, 상기 광전류의 측정을 위해 선택된 면들(39.2)은 서로 전기적으로 절연되어 있으며, 각각의 면에는 암페어 미터(53)가 설치된다. 개별적인 각각의 광전류를 서로 비교해서, 면 미러(29.1)에 도달하는 조명의 강도의 공간적인 분포에 관하여 상대적인 진술을 할 수 있게 된다. 이러한 개념에 의해, 측정에 대해 충분히 정확한 공간 해상도를 달성하기 위해, 되도록 많은 면들을 구비한 광전류 측정 장치를 설치하는 것이 바람직하다. 그러나, 현실적인 이유로 광전류의 측정을 위한 전기적 연결과는 무관한 면 요소들(39.1)이 있을 수도 있다. 특히, 전기적 연결을 갖는 면 요소들이 면 미러 상에 구조화된 규칙을 갖고 배열되는 경우가 이에 해당될 수 있다. 광전류 측정의 교정(calibration)이 알려진 방사광의 강도에서 수행되는 경우에는, 조사(irradiation)의 강도의 절대적인 크기를 공간적으로 분할한 프로파일을 측정할 수 있는데, 이는 특히 최적화 조정, EUV 광원의 모니터링 뿐 아니라 상기 면 미러 또는 전치하는 미러의 오염 정도를 모니터링하는 데에도 사용될 수 있다.
- [0085] 본 발명의 다른 바람직한 실시예에서는, 하나 이상의 센서 부재가 광원 또는 이의 매개 영상의 관측을 위해 하나 이상의 구경조리개 및 센서 장치와 조합하여 사용된다.

[0086] 도 11은 통합 유닛(assembly unit)으로 설계된 두 개의 구경조리개 및 센서 장치들(1.1, 1.2)을 도시한다. 이러한 콤팩트(compact)한 치수를 갖는 통합 유닛은 짧은 대상 거리와 작은 입체각 공간(solid angle space)만을 차지하기 때문에, 바람직하게는 상기 통합 유닛이 집광기의 최소 구경 이내에 배치될 수 있다. 참조 부호들은 영상 광선 다발(imaging ray bundle)이 상기 구경조리개 및 센서 장치들(1.1, 1.2)로 진행할 때 통과하는 두 개의 핀홀들(pinholes)을 가리킨다. 도 8은 상기 광선 다발의 각각의 중심 광선들을 나타낸다. 상기 구경조리개 및 센서 장치들 각각은 상기 영상 광선 다발들을 반사시켜 광이 공간 절약의 방식으로 EUV 위치 센서들(2.3)을 향하게 하는 적어도 하나의 반사 광학 부재(17)를 포함하는데, 두 개의 구경조리개 및 센서 장치들(1.1, 1.2)이 구비된 경우 상기 위치 센서들은 거의 서로 접한다.

[0087] EUV 조명 시스템에서 하나 이상의 구경조리개 및 센서 장치들이 EUV 조명 시스템에서 EUV 광원(3)의 매개 영상(7), 또는 EUV 광원(3)의 원점 및 광원력(source power)을 측정하는 본 발명에 따른 측정 방법은 EUV 광원(3)의 원점, 집광 부재들이나 그의 부품들 또는 상기 시스템에서 하류에 포함된 다른 광학 부품들의 위치를 제어, 조정(adjusting) 또는 조절(regulating)하는 목적으로 사용된다. 부가적인 또는 다른 실시예에서, 센서 부재는 적어도 하나의 미러에서의 광전자 생성을 위치에 대한 함수로 검출하는 데 사용된다. 이는 특히 서보 기구에 의해 조절되는(servoregulated) 위치 제어를 통해서, EUV 조명 시스템의 작동 중에 상기 EUV 조명 시스템의 매개 영상이 기준 위치 주변의 소정의 영역 내에 존재하도록 해준다. 다른 실시예에 따르면, EUV 광원(3)의 광원력은 작동 중에 조절될 수 있다.

[0088] 본 발명의 범위는 마이크로리소그래피 응용 분야에 사용되는 투영 노광 장치의 개시를 더 포함하며, 여기서 상기 조명 시스템은 적어도 하나의 구경조리개 및 센서 장치를 구비하는 본 발명에 따른 측정 시스템을 포함한다. 또한, 이러한 타입의 투영 노광 장치를 이용하는, 마이크로-전자 소자들, 특히 반도체 칩들을 측정하는 방법도 개시된다.

[0089] 주요 부호의 목록

- [0090] 1, 1.1, 1.2, 1.3            구경조리개 및 센서 장치
- [0091]                    2.1    구경조리개 개구
- [0092]                    2.2    스펙트럴 필터 부재
- [0093]                    2.3    위치 검출기
- [0094]                    2.4    입자 필터
- [0095]                    3      EUV 광원
- [0096]                    3.1, 3.2    기준 위치로부터 벗어난 EUV 광원의 위치
- [0097]                    4      EUV 광원의 영상
- [0098]                    5      집광기
- [0099]                    5.1    집광기 셀
- [0100]                    5.2    집광기 셀의 개구
- [0101]                    6      최소 수치 구경
- [0102]                    7      매개 영상
- [0103]                    7.1, 7.2    제1 및 제2 매개 영상
- [0104]                    9.1, 9.2    구경조리개
- [0105]                    11     광축
- [0106]                    12     다층 미러
- [0107]                    13     기준 광선
- [0108]                    15     영상 광선
- [0109]                    17     반사 광학 부재

[0110]	19	스펙트럴 그리드 필터
[0111]	22	필드 평면
[0112]	26	투영 대물렌즈
[0113]	28	영상 평면
[0114]	29.1, 29.2	면 미러
[0115]	30.1, 30.2	투영 미러
[0116]	32	필드-형성 스침-입사 미러
[0117]	34	양극 고리
[0118]	36	양극 고리의 전극들
[0119]	38	미러 표면
[0120]	39.1, 39.2	면 미러의 미러 면
[0121]	40	열 유입
[0122]	42	열 방출
[0123]	44	사분면 검출기
[0124]	48	자극 쌍
[0125]	50	냉각 장치
[0126]	52	전치증폭기
[0127]	53	암페어 미터
[0128]	54	신호-평가 전자기기들
[0129]	A, B, C, D	사분면 센서의 센서 필드들
[0130]	$Z_1$	대상 거리
[0131]	$Z_2$	구경조리개 및 센서 장치의 설계 길이
[0132]	$\beta$	광축에 대한 각도
[0133]	$\Delta x_a, \Delta x_{a1}, \Delta x_{a2}$	가로 위치의 측정 부정확도
[0134]	$\Delta x_q$	광원 치수
[0135]	$\Delta x_1$	구경조리개의 개구 너비
[0136]	$\Delta x_d$	EUV 위치 센서의 해상도
[0137]	$\Delta z_a$	축 위치의 측정 부정확도

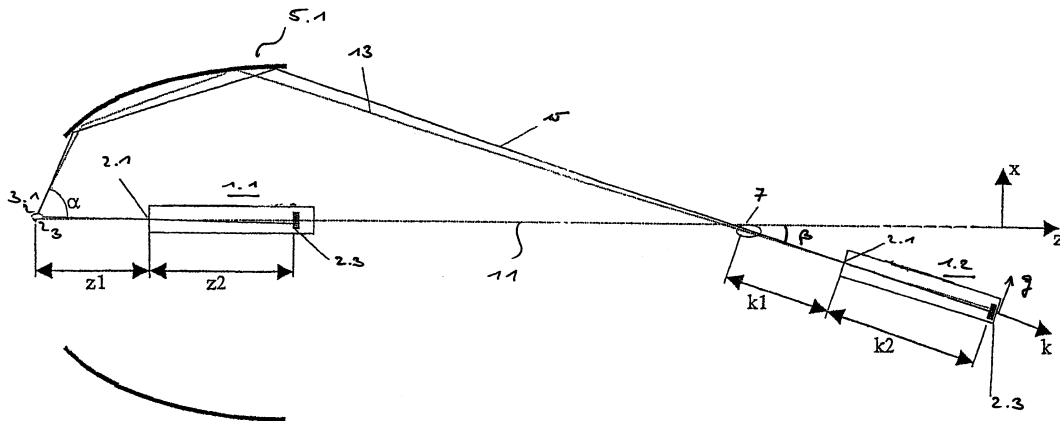
**도면의 간단한 설명**

- [0025] 이하 본 발명은 도면에 도시된 실시예들을 참조하여 설명될 것이다.
- [0026] 도 1은 EUV 광원 및 이의 매개 영상의 관측에 의해 상기 EUV 광원의 기준 위치로부터의 가로 및 세로 방향에 대한 이탈 정도 및 집광 부재의 초점 거리의 변화를 감지하는 두 개의 구경조리개 및 센서 장치를 나타낸다.
- [0027] 도 2는 EUV 광원 및 이의 매개 영상을 모니터링하는 구경조리개 및 센서 장치를 구비한 EUV 투영 노광 장치 (projection exposure apparatus)를 나타낸다.
- [0028] 도 3은 네스티드 집광기(nested collector)에서 광축을 따라 배치된 구경조리개 및 센서 장치를 도시한다.

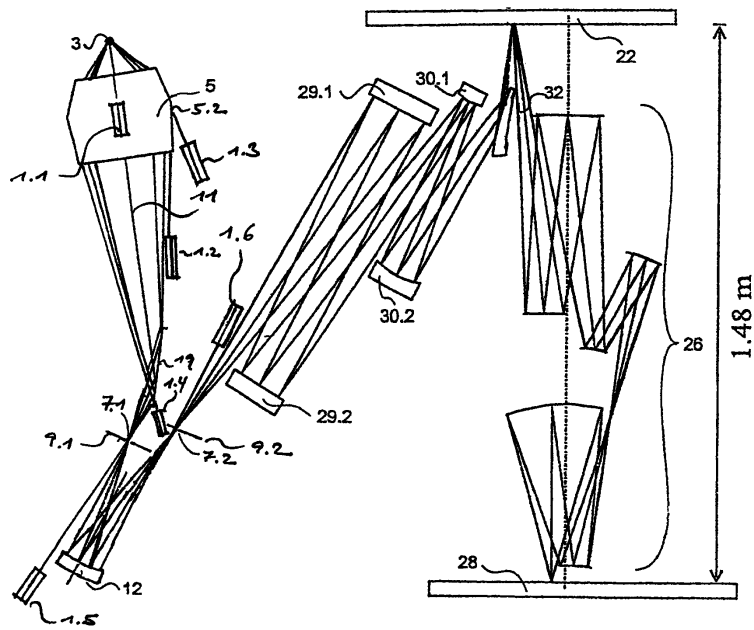
- [0029] 도 4은 구경조리개 및 센서 장치의 설계 구조 및 서로 다른 원점 위치의 영상 투영을 도시한다.
- [0030] 도 5는 네스티드 집광기의 비사용 중심 공간에 구비된 두 개의 구경조리개 및 센서 장치에 의해 EUV 광원을 관찰하는 것을 도시한다.
- [0031] 도 6은 컬렉터 셀에 이어 컬렉터 셀의 후면부에 배치된 구경조리개 및 센서 장치를 도시하다.
- [0032] 도 7은 두 개의 구경조리개 및 센서 장치를 이용하여 EUV 광원의 매개 영상을 모니터링하는 것을 도시하다.
- [0033] 도 8은 두 개의 구경조리개 및 센서 장치가 교차하는 경우에 위치 결정의 측방향 측정 부정확도가 어떻게 평가되는지를 나타낸다.
- [0034] 도 9는 사분면 검출기(quadrant detector)로 기능하는 EUV 위치 센서를 나타낸다.
- [0035] 도 10은 구경조리개 및 센서 장치의 설계 구조를 도시한다.
- [0036] 도 11은 두 개의 구경조리개 및 센서 장치의 통합 유닛 및 이 것이 집광기의 최소 구경 이하의 비사용 공간에 배치된 것을 나타낸다.
- [0037] 도 12는 반사 광학 부재에서 공간 해상도를 갖는 광진류를 측정하는 센서 부재를 나타낸다.
- [0038] 도 13은 도 12에 따른 센서 부재의 다른 실시예를 나타낸다.

**도면**

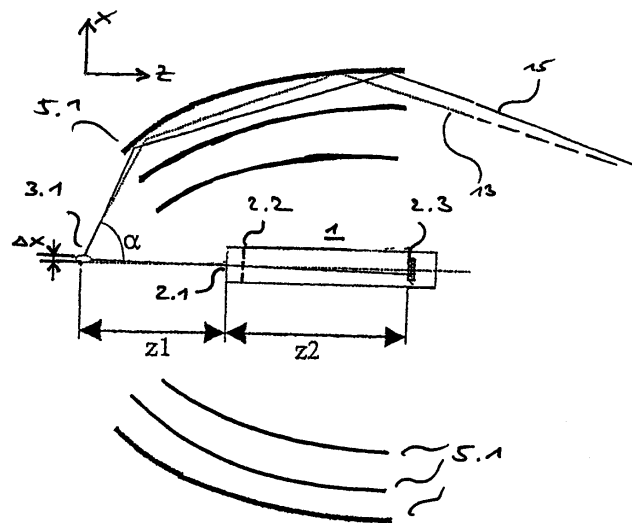
**도면1**



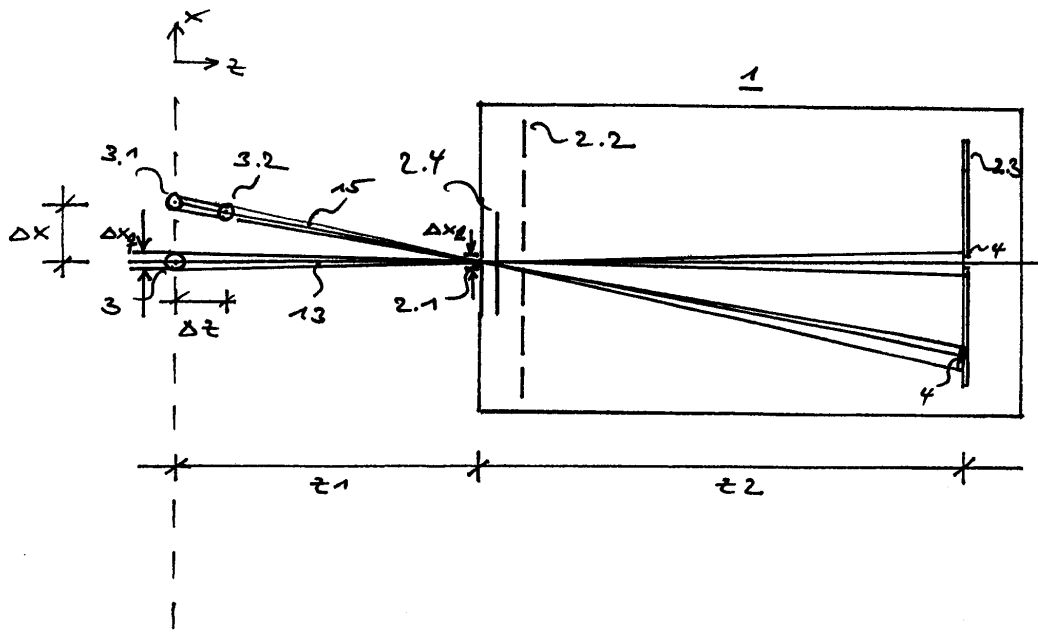
도면2



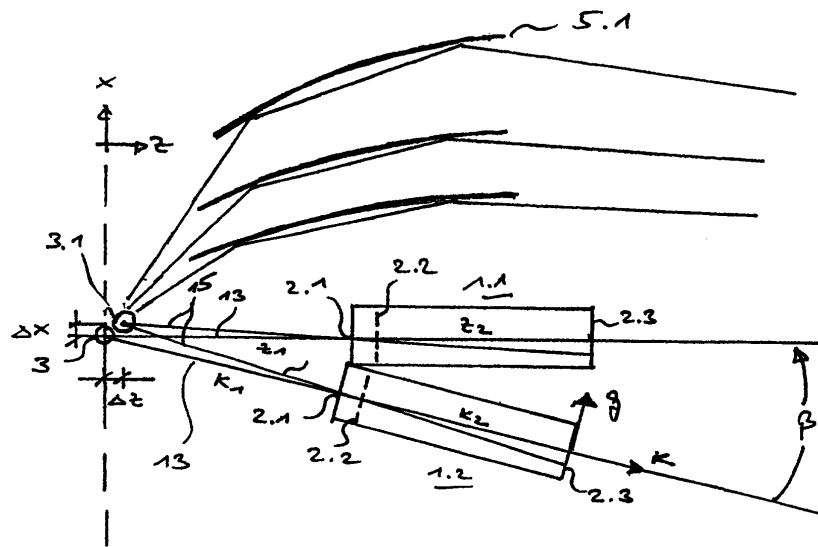
도면3



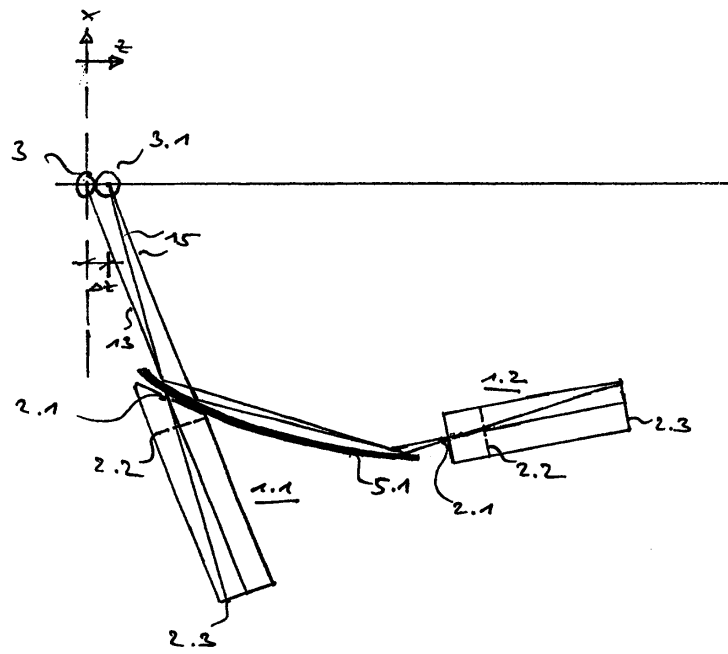
도면4



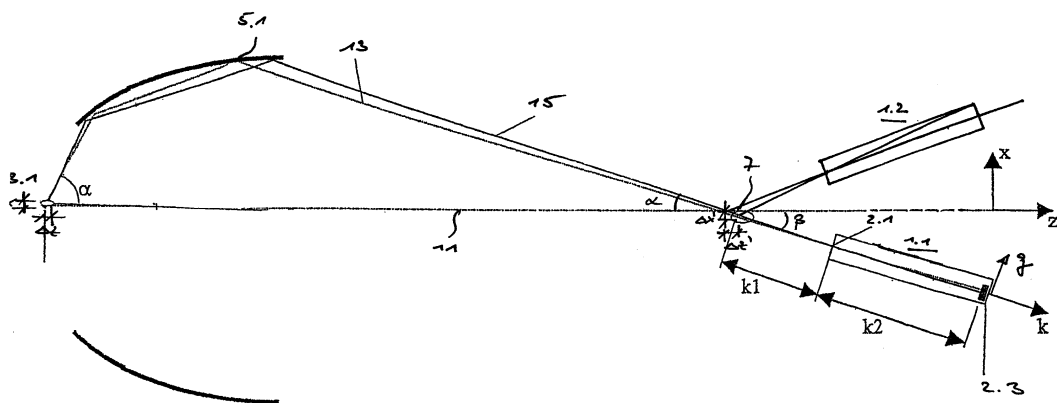
도면5



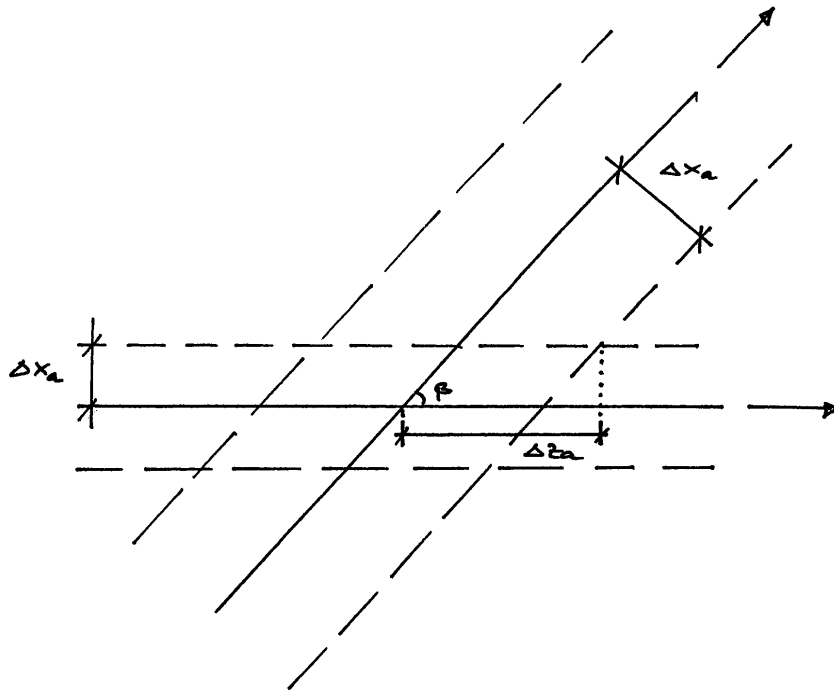
도면6



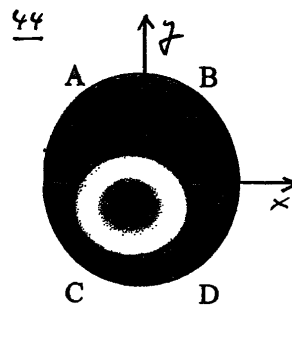
도면7



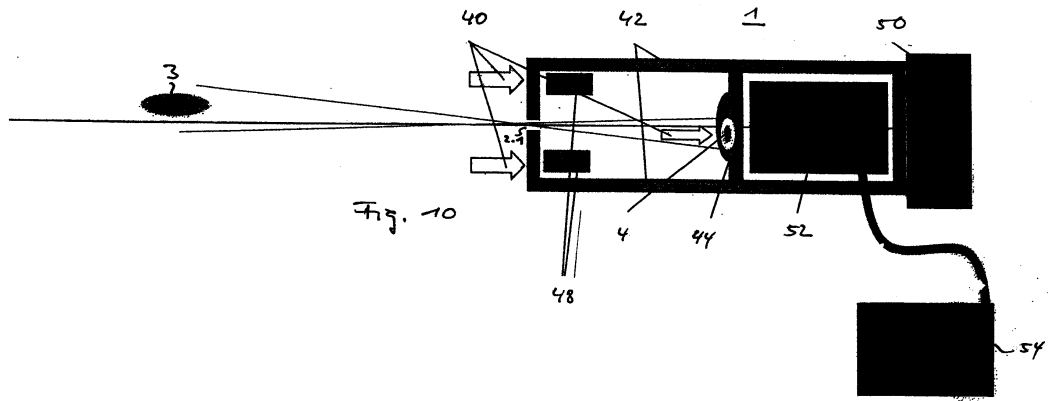
도면8



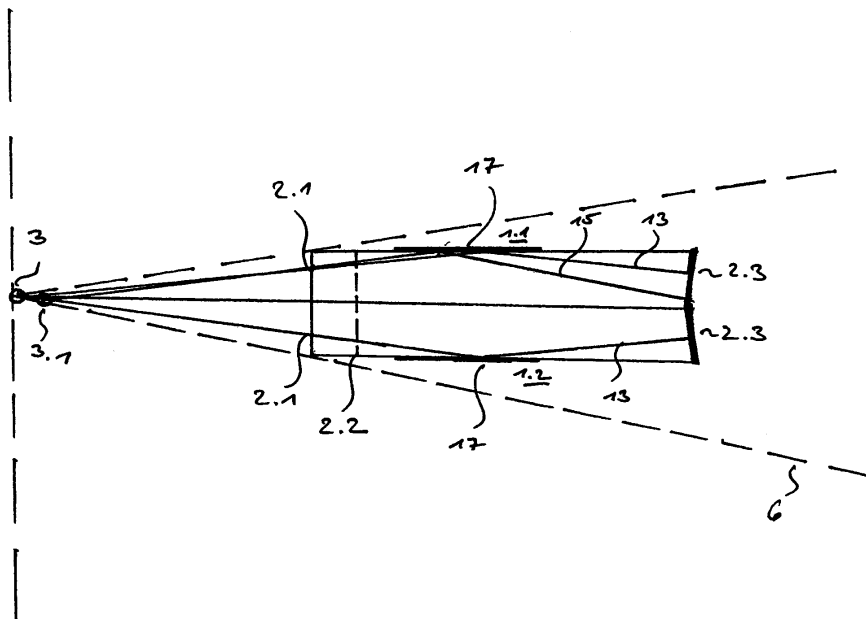
도면9



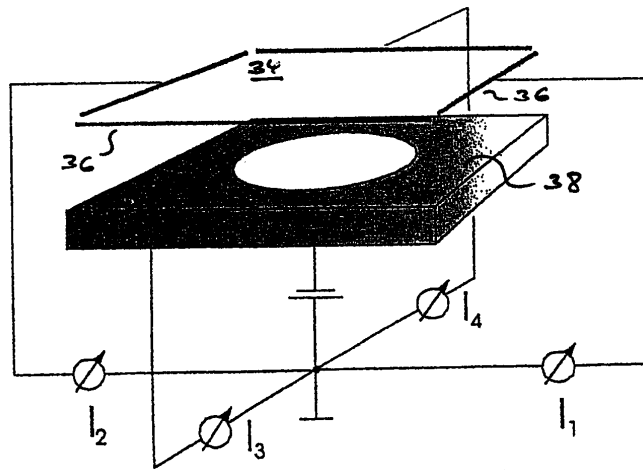
도면10



도면11



도면12



도면13

