

(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl.⁸
H01L 21/027 (2006.01)

(45) 공고일자 2006년02월22일
(11) 등록번호 10-0554784
(24) 등록일자 2006년02월16일

(21) 출원번호 10-2003-0098115
(22) 출원일자 2003년12월27일

(65) 공개번호 10-2004-0060824
(43) 공개일자 2004년07월06일

(30) 우선권주장 JP-P-2002-00378776 2002년12월27일 일본(JP)

(73) 특허권자 캐논 가부시끼가이샤
일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2코

(72) 발명자 테라사와치아키
일본국도쿄도오오따꾸시모마루쵸3쵸메30방2코캐논가부시끼가이샤나
이

(74) 대리인 신중훈
임옥순

심사관 : 이강민

(54) 캐터옵트릭형 투영 광학계, 노광 장치 및 디바이스의제조방법

요약

물체면 측으로부터 상기 상면 측으로, 제 1반사경, 제 2반사경, 제 3반사경, 제 4반사경, 제 5반사경, 제 6반사경, 제 7반사경, 제 8반사의 순서로 8매의 반사경을 포함하여 상면 위에 물체면 위의 패턴을 축소 투영하고 또한 상기 제 6반사경과 상기 제 7반사경 사이의 광로 상에 중간상을 형성하는 캐터옵트릭형(cataoptric)투영 광학계로서, 각 반사경에서 광축으로부터 주광선의 높이 방향 위치가 변위하고, 상기 제 1반사경으로부터 상기 제 4반사경까지의 변위 방향이 상기 제 5반사경으로부터 상기 제 8반사경까지의 변위 방향의 역방향이고, 상기 제 2반사경 내지 상기 제 5반사경이 각각 오목거울, 볼록거울, 오목거울, 오목거울이고, 상기 제 7반사경 및 상기 제 8반사경이 각각, 볼록거울, 오목거울이며, 상기 8매의 반사경 중의 상기 제 2반사경을 상기 물체면 측에 가장 가깝게 배치한 것을 특징으로 하는 캐터옵트릭형 투영 광학계를 제공한다.

대표도

도 1

명세서

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 일 실시예의 캐터옵트릭형 투영 광학계 및 그 광로를 도시한 개략 단면도.

도 2는 도 1에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계의 변형을 도시한 개략 단면도.

도 3은 도 1에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계의 변형을 도시한 개략 단면도.

도 4는 도 1에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계의 주광선의 광로를 도시한 개략 단면도.

도 5는 도 1에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계의 수차도.

도 6은 도 2에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계의 수차도.

도 7은 도 3에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계의 수차도.

도 8은 도 1에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계를 포함한 노광장치를 도시한 개략 구성도.

도 9는 디바이스(IC 및 LSI 등의 반도체 칩, LCD, CCD등)의 제조를 설명하기 위한 플로차트.

도 10은 도 9에 도시된 스텝 4의 웨이퍼 프로세스의 상세한 플로차트.

도 11은 종래 8매 거울의 캐터옵트릭형 투영 광학계의 개략 단면도.

<간단한 도면부호에 대한 설명>

100, 100A, 100B: 캐터옵트릭형 투영광학계 110: 제 1반사경

120: 제 2반사경 130: 제 3반사경

140: 제 4반사경 150: 제 5반사경

160: 제 6반사경 170: 제 7반사경

180: 제 8반사경 200: 노광장치

210: 조명장치 220: 마스크 스테이지

230: 웨이퍼 스테이지 240: 컨트롤러

MS: 마스크 ST: 개구조리개

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 출원은 2002년 12월 27일 출원된 일본국 공개특허 2002-378776호 공보에 의거한 우선권의 권리를 주장하며, 본 명세서에 자세히 설명된 바와 같이 본 출원의 우선권을 전체적으로 참조함으로써 구체화된다.

본 발명은, 일반적으로는, 노광 장치, 보다 상세하게는, 반도체 웨이퍼용의 단결정 기관, 액정 디스플레이(LCD) 용 유리 기관 등의 피처리체를 투영하여 노광하는 자외선(UV) 및 극단자외선(EUV)광을 이용하는 반사형 또는 캐터옵트릭형(cataoptric) 투영 광학계, 노광 장치 및 디바이스 제조 방법에 관한 것이다.

최근의 소형 및 박형 전자기기에 대한 요구에 따라, 이들 전자기기에 탑재될 미세한 반도체소자가 더욱 더 요구되고 있다. 예를 들면, 마스크 패턴에 대한 디자인은, 라인 앤드 스페이스(L&S;line and space)는 0.1 μ m보다 작은 치수로 상을 광범위하게 형성하는 것이 요구되어 향후는 80nm미만의 회로 패턴이 예상된다. L&S는 노광에서 선과 공간의 폭과 동일한 웨이퍼 위에 투영된 상이며, 노광 해상도의 지수로 기능을 한다.

반도체 디바이스를 제조하기 위한 대표적인 노광 장치인 투영 노광 장치는 마스크(레티클) 상에 패턴을 웨이퍼에 투영하여 노광하는 투영 광학계를 포함하고 있다. 투영 노광장치의 해상도(예를 들면, 정밀한 상을 전사하기 위한 최소치수) (R)는 광원의 파장(λ)과 투영 광학계의 개구수(NA)를 이용하여 다음 식과 같이 정의된다:

$$R = k_1 \times \frac{\lambda}{NA} \quad (1)$$

상기 파장이 더 짧아짐에 따라서, NA를 더 높게 증가시킬수록, 해상도는 더 향상된다. 최근의 경향은 해상도가 한층 더 작은 값이 요구된다; 그러나 NA를 증가시키는 것만을 이용하여 이 요구를 만족시키기는 어렵고, 단파장화의 이용으로 향상된 해상도가 예상된다. 현재는, 노광 광원은, KrF 엑시머 레이저(excimer laser)(파장 약 248nm) 및 ArF 엑시머 레이저(파장 약 193nm)로부터 F₂ 엑시머 레이저(파장 약 157nm)로 전이하고 있다. 광원으로서 EUV 광의 실용화도 진행되고 있다.

광의 단파장으로 인해 광을 투과하기 위해 이용할 수 있는 유리재료가 제한되므로, 굴절 소자, 즉, 렌즈를 이용하는 대신에, 반사 소자, 즉, 반사경을 투영 광학계를 위해 이용하는 것이 유리하다. 노광광으로서 EUV 광에 대해서 제안되고 있는 적용할 수 있는 유리재료는 없어서, 투영 광학계는 어떠한 렌즈도 포함하는 것은 불가능하다. 따라서, 캐터옵트릭형 축소 투영 광학계를 반사경만으로 형성하는 것이 제안되고 있다.

캐터옵트릭형 축소 투영 광학계의 반사경은 반사된 광을 강화하고 반사율을 증가시키도록 다층막을 형성하지만, 반사경의 매수가 더 적은 것이 광학계 전체의 반사율을 높이기 위해서 바람직하다.

또한, EUV 노광 장치에 요구되는 임계 치수(해상도)가 종래의 값보다 작아지므로, NA는, 예를 들면, 13.5nm의 파장에 대해 0.2까지, 증가되어야만 한다.

그러나, 종래의 3매 또는 4매의 반사경에서는 파면 수차를 줄이는 것이 곤란하다. 따라서, 파면 수차 보정의 자유도를 늘리기 위해서 반사경을 비구면화하고 반사경의 매수를 증가시키기 위한 요구가 발생한다.

예를 들면, 일본국 공개특허 2000-100694호 공보 및 일본국 공개특허 2000-235144호 공보에는 반사경을 대략 6매 포함하는 캐터옵트릭형 축소 투영 광학계(이하, 6매 반사경 계라고 표현하는 경우도 있음)가 개시되어 있다. 일본국 특개평 10-90602호 공보에는 6매 또는 8매의 반사경을 사용하여 NA 0.45 정도의 캐터옵트릭형 축소 투영 광학계가 개시되어 있다. 일본국 공개특허 2002-116382호 공보에는 8매의 반사경을 사용한 다른 예로서 NA 0.25 정도의 캐터옵트릭형 축소 투영 광학계가 개시되어 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

일본국 공개특허 2000-100694호 공보에 제안되어 있는 6매 반사경계는 제 1반사경의 정점 부근에서 주광선을 반사시키고, 물체 축에서 텔레센트리시티 (telecentricity), 즉 제 1반사경에 입사하는 주광선과 광축이 이루는 각도가 커지는 경향이 있다. 따라서, 주사 노광시에 물체면 위치의 광축 방향의 오프셋에 의해 상면의 배율이나 왜곡을 쉽게 변화시키고 결상 성능을 열화시킨다.

또 하나의 불리한 점은 0.16 정도까지의 NA에 대응하지만, 6매 반사경계에서는 수차 보정상의 자유도가 부족하여, 약 0.5까지의 한층 더 높은 NA에 대응하는 것이 곤란하다는 것이다. 이것은 중간 상으로부터 상면까지의 제 2 반사계에 4 매의 반사경을 포함하고 있으므로, 고 NA화에 의해 제 2반사 광학계의 광속폭이 두꺼워져서, 반사된 광 이외의 광으로 간섭하지 않고서 이들 반사경을 배치시키는 것이 어려워지게 되기 때문이다. 제 2반사 광학계의 주광선의 높이는, 특히, 제 3반사경 및 제 4반사경에서 주광선의 높이를 높게하면, 간섭 없이 이들 반사경을 배치할 수 있지만, 제 2반사경이 상기 배치를 곤란하게 한다. 물체 점을 더 높게 하여, 한층 더 높은 NA에 대응하는 것도 생각할 수 있지만, 광각화하는 것은 수차 보정에 부적합하고, 또 반사경의 거대화를 야기한다.

물체면과 반사경의 최소 거리가 20mm 내지 30mm 정도로 짧기 때문에, 물체면을 스캐닝하기 위한 스테이지 기구의 공간을 유지하는 것이 곤란하다. 따라서, 조명계가 광이 투영계의 광축을 횡단하도록 배치되는 경우에는, 조명 광이 스테이지 기구를 불리하게 간섭하는 문제가 있다.

일본국 공개특허 2000-235144호 공보에 제안되어 있는 6매 반사경 계의 캐터옵트릭형 투영 광학계에 의하면, 물체면과 반사경의 최소 거리가 80mm 내지 85mm 정도로 짧기 때문에, 물체면을 스캔하기 위한 스테이지 기구의 공간을 유지하는 것이 여전히 어렵다. 따라서, 조명계가 광이 투영계의 광축을 횡단하도록 배치되는 경우에는, 조명광과 스테이지 기구가 간섭하여 불리하게 되는 문제가 있다.

한층 더 높은 NA 예를 들면, 약 0.5 정도를 달성하려고 해도, 6매의 반사경은 수차 보정상의 자유도가 부족하여 충분한 성능을 제공할 수 없다. 또한, NA 한층 더 높은 NA의 제 5반사경 및 제 6반사경에서 광선과의 간섭을 회피하도록 제 4반사경 및 제 5반사경 간의 광축에 대한 주광선의 각도가 증대되어 제 4반사경의 유효지름이 증대하여 불리하게 되는 문제도 있다.

일본국 특개평 10-90602호 공보에 제안되어 있는 투영 광학계에 의하면, 그 성능이 명시되어 있지 않고, 파장이 100nm 내지 300nm의 자외선광에 대한 광학계이다. 따라서, 광학계를 이 EUV 광에 사용하기 위해서는, 수차를 1/10 정도로 저감해야만하므로 수차 보정상 곤란하다.

6매 반사경 계는, 일본국 공개특허 2000-235144호 공보와 관련된 문제를 가지고 있어서, 도 11에 도시된 8매 반사경 계에 대해서도 불리한 점이 있다. 이 공보는 NA 0.5인 광학계를 개시하고 있지만, 실측에서는, NA 0.4 정도이며, 반사표면(100) 및 반사표면(1200)에서는 입사각이 각각 56° 및 54° 정도를 가진다. 이것은, 반사표면(1300)이 오펜거울을 형성하고, 반사표면(1400)이 볼록거울을 형성하며, 개구 조리개(1500)가 그 사이에 형성되기 때문이다. 물체로부터의 광이 정파위의 반사표면(1300)에 광축방향으로 크게 반사된 다음에 부파위의 반사표면(1400)의 광축의 하측 부분에서 개구 조리개(1500)를 통하여 반사되므로, 볼록거울의 반사표면(1100)의 입사각이 크게 된다. 여기서, 도 11은 종래의 8매 반사경 계의 캐터옵트릭형 투영 광학계(1000)의 개략 단면도이다.

또한, 반사표면(1600)으로부터 반사표면(1700)까지의 광이 광축에 접근하도록 반사되고, 반사표면(1200)이 반사표면(1800)보다 상면 측에 가깝게 위치하고 있기 때문에 거리(X) 및 거리(Y)가 짧아진다. 따라서, 작은 공간에서 강한 파워로 반사되어 반사표면(1200)위에 입사각도를 증가시킨다. 큰 입사각으로 EUV 광의 사용하는 것은 반사경에 적층하는 다층막의 각도 특성에 대해 바람직하지 않고, 웨이퍼 면의 조도 저하, 조도의 불균일 및 해상도의 불균일을 발생시킨다. 또한, 웨이퍼 측에서 증가된 텔레센트리시티로 인해 전체적으로 한계 해상도의 성능을 가지고 있는지가 의문이다.

일본국 공개특허 2002-116382호 공보에 제안된 투영 광학계에서는 NA 0.25 정도를 가진 8매 반사경 계가 가능하다.

그러나, 구성은 일반적으로 제 4반사경을 가장 근접한 마스크 측에 배치하여, 제 4반사경의 직경이 쉽게 증가되는 불리한 점이 있다. 또한, 도 2, 도 6, 도 8 및 도 10의 광로에 광선이 교차하고 있기 때문에, 더 높은 NA로 인해 광선과 반사경간 간섭이 발생한다.

즉, EUV 광에 적절한 NA가 예를 들면, 약 0.25 또는 약 NA 0.3 ~ 0.5인 캐터옵트릭형 투영 광학계가 아직 제안되어 있지 않다.

따라서, 본 발명은 8매의 반사경을 가지고, 고 NA와 양호한 결상성능을 제공하는 캐터옵트릭형 투영 광학계, 노광 장치 및 디바이스 제조 방법을 제공 하는 것을 예시적 목적으로 한다.

발명의 구성 및 작용

물체면 위의 패턴을 상면 위에 축소 투영하는 캐터옵트릭형 투영 광학계 (cataoptric projection optical system)로서, 상기 캐터옵트릭형 투영 광학계는, 물체면 측으로부터 상기 상면 측까지의 순서로, 제 1반사경, 제 2반사경, 제 3반사경, 제 4반사경, 제 5반사경, 제 6반사경, 제 7반사경, 제 8반사경을 포함하는 8매의 반사경으로 이루어지고, 또한 상기 제 6반사경과 상기 제 7반사경 사이의 광로 상에 중간상을 형성하고, 각 반사경에서 광축으로부터 주광선의 높이 방향의 위치가 변위하고, 상기 제 1반사경로부터 상기 제 4반사경까지의 변위 방향이 상기 제 5반사경으로부터 상기 제 8반사경까지의 변

위 방향의 역방향이고, 상기 제 2반사경 내지 상기 제 5반사경이 각각 오목거울, 볼록거울, 오목거울, 오목거울이고, 상기 제 7반사경 및 상기 제 8반사경이 각각, 볼록거울, 오목거울이며, 이들 8매의 반사경 중의 상기 제 2반사경을 상기 물체면 측에 가장 가깝게 배치한 것을 특징으로 한다.

상기 제 1반사경으로부터 상기 제 6반사경까지의 유효 광의 반사면에 메리디오날(meridional) 단면상의 최대 입사각이 45°이하이 된다. 상기 물체면으로부터 상기 제 1반사경까지의 거리를 d1, 상기 제 1반사경으로부터 상기 제 2반사경까지의 거리를 d2로 하면, 상기 투영광학계는

$$0.45 < |d2/d1| < 0.8$$

를 만족시키는 것을 특징으로 한다. 상기 제 6반사경로부터 상기 제 7반사경까지의 거리를 d7, 상기 제 7의 반사경로부터 상기 제 8의 반사경까지의 거리를 d8로 하면, 상기 투영광학계는 $1.0 < |d7/d8| < 1.2$

를 만족시켜도 된다.

상기 제 5반사경으로부터 상기 제 6반사경까지의 거리를 d6, 상기 제 7반사경로부터 상기 제 8반사경까지의 거리를 d8로 하면, 상기 투영광학계는

$0.75 < |d6/d8| < 1.2$ 를 만족시켜도 된다. 상기 제 2반사경로부터 상기 제 3반사경까지의 거리를 d3, 상기 제 3반사경으로부터 상기 제 4반사경까지의 거리를 d4로 하면, 상기 투영광학계는

$0.3 < |d4/d3| < 1.0$ 를 만족시켜도 된다. 상기 제 4반사경으로부터 상기 제 5반사경까지 최대 결상점에서의 주광선과 광축사이에 이루는 각도를 α 라하고, 상기 제 5반사경에서 주광선 위치로부터 시작하는 상기 광축과의 평행선으로부터 시계 방향의 회전을 정, 반시계 방향의 회전을 부로서 각각 정의하는 경우에,

$-5.0 < \alpha < 10.0$ 을 만족시켜도 된다.

상기 제 6반사경은, 볼록거울이어도 된다. 상기 제 6반사경의 광축 위치가 물리적으로 상기 제 1반사경의 광축 위치 보다 상면측에 가깝게 배치하여도 된다. 상기 제 2반사경의 위치가 개구 조리개 위치이어도 된다. 상기 8매의 반사경은, 기본적으로 공축계를 이루도록 배치되어도 된다.

상기 8매의 반사경 중의 적어도 1매는 극 자외선 광을 반사하는 다층막을 포함하는 비구면 반사경을 포함하여도 된다. 상기 8매의 반사경은 극 자외선 광을 반사하는 다층막을 각각 포함하는 비구면 반사경을 포함하여도 된다.

상기 광은 파장 20nm 이하의 극 자외선광이어도 된다. 상기 투영 광학계의 개구 수가 0.3이상이어도 된다. 상기 캐터옵트릭형 투영광학계는 상면 측에서 텔레센트릭(telecentric)이어도 된다.

본 발명에 의한 또 하나의 측면의 노광장치는 상기 물체 면에서 마스크를 위치결정하고 상기 마스크를 유지하는 스테이지와; 상기 상면에서 피노광체의 감광층을 위치결정하고 상기 피노광체를 유지하는 스테이지와; 상기 캐터옵트릭형 투영 광학계의 원호형상의 시야를 가지는 원호형상의 EUV 광을 사용하여 상기 마스크를 조명하는 조명장치와; 상기 EUV 광에 의해 상기 마스크를 조명하면서 상기 각 스테이지를 동기 주사하는 기구를 포함하는 것을 특징으로 한다.

본 발명에 의한 또 다른 측면의 디바이스의 제조방법은 상기 노광 장치를 이용하여 물체를 노광하는 공정과; 노광된 상기 물체를 현상하는 공정을 포함하는 것을 특징으로 한다. 상술의 노광 장치의 작용과 같은 작용을 행하는 디바이스 제조 방법의 청구항은 중간 및 최종 결과물인 디바이스를 포함한다. 이러한 디바이스는 LSI 및 VLSI 등의 반도체 칩, CCD, LCD, 자기센서, 박막 자기 헤드 등을 포함한다.

본 발명의 기타 목적 및 부가적인 특징은, 이하 첨부 도면을 참조하여 바람직한 실시예의 다음 설명으로부터 용이하게 자명해진다.

<바람직한 실시예의 상세한 설명>

이하, 첨부 도면을 참조하면서, 본 발명의 제 1측면으로서 캐터옵트릭형 투영 광학계(100) 및 노광 장치(200)를 설명한다. 본 발명은 이러한 실시예에 한정하는 것이 아니고, 본 발명의 목적을 달성하는 범위에 내에서 각 구성요소를 대체할 수 있

다. 각 도면에 대해 동일한 부재에 대해서는 동일한 참조 부호를 부여하여 중복되는 설명은 생략한다. 여기서, 도 1은 본 발명에 의한 일 실시예의 캐터옵트릭형 투영 광학계(100) 및 그 광로를 도시한 개략 단면도이다. 도 2는, 도 1에 도시된 캐터옵트릭형 축소 투영 광학계(100)의 변형으로서 캐터옵트릭형 투영 광학계 (100A) 및 그 광로를 도시한 개략 단면도이다. 도 3은, 도 1에 도시된 캐터옵트릭형 축소 투영 광학계(100)의 변형으로서 캐터옵트릭형 투영 광학계 (100B) 및 그 광로를 도시한 개략 단면도이다. 이하의 설명에 대해 특별히 규정하지 않는 이상, 캐터옵트릭형 투영 광학계(100)는 캐터옵트릭형 축소투영 광학계(100A) 및 캐터옵트릭형 축소투영 광학계(100B)를 총괄하는 것으로 한다. 도 4는 도 1에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계(100)의 주광선의 광로를 도시한 개략 단면도이다.

도 1을 참조하면서, 본 발명의 캐터옵트릭형 투영 광학계(100)(이하, 간단히 투영 광학계(100)로 칭함)는 마스크 면 등의 물체면(MS)위의 패턴을 노광되는 기관 및 물체면 등의 상면(W) 위에 축소하여 투영한다. 상기 캐터옵트릭형 축소 투영 광학계는 특히, EUV 광(예를 들면, 파장 13.4nm)에 적합하고, 개구수(NA) 0.5로 종래의 캐터옵트릭형 축소 투영 광학계보다 한층 더 고 NA를 실현한다.

상기 투영 광학계(100)는 실질적으로, 축외의 링 형상의 물체면(MS)으로부터 광을 반사하는 차례로, 제 1반사경(110), 제 2반사경(120)(오목거울), 제 3반사경(130)(볼록거울), 제 4반사경 (140)(오목거울), 제 5반사경(150)(오목거울), 제 6반사경(160), 제 7반사경(170)(오목거울) 및 제 8반사경(180)(오목거울)을 포함하는 8매의 반사경을 포함한다. 제 1반사경(110) 내지 제 6반사경(160)을 포함하는 6매의 반사경에 의해 중간상(MI)을 형성하여, 중간상(MI)을 제 7반사경(170) 및 제 8반사경(180)의 2매의 반사경을 이용하여 상면(W)상에 재결상한다. 중간상(MI) 근처에는 수차를 볼 수 있지만, 제 6반사경(160)과 제 7반사경(170) 사이에 광을 막음으로서 중간상이 결상된다. 여기서, 이 투영 광학계가 투영하는 빛은, 물체면(MS)으로부터 축외에 구성되는 것이 바람직하다.

본 발명의 투영 광학계(100)는 실질적으로는 공축계, 즉 하나의 광축의 주위에 축대칭인 공축 광학계로서 배치되어 있다. 환언하면, 곡률의 중심이 광축으로부터 어긋난 경우에도 투영 광학계(100)의 모든 광학면의 곡률 중심이 실질적으로 광축과 정렬된 광학계를 공축계라고 말한다. 또한, 각 광학면, 또는 각 광학면의 연장면과 광축과의 교점을 " 각 광학면의 광축 위치" 로 칭한다.

개구 조리개(ST)는 제 2반사경(120)의 위치에 배치된다. 상기 개구조리개 (ST)는 고정된 직경 또는 가변인 직경이어도 된다. 개구 조리개(ST)의 변경가능한 직경을 변화시킴으로써 상기 광학계의 NA를 변화시킬 수 있다. 가변 조리개인 개구 조리개(ST)는 상을 안정시키기 위하여 한층 더 깊은 초점심도를 제공하는 이점이 있다.

이와 같은 구성에서, 본 발명의 투영 광학계(100)는 제 2반사경 (120)을 정파위의 오목거울로 제공하고 상기 반사경의 위치에 개구 조리개(ST)를 배치하여, 다음의 반사경 즉, 제 3반사경(130) 내지 제 8반사경(180)위에 입사각을 저감한다.

마스크(MS) 측에 가장 근접한 개구 조리개 위치에 제2의 반사경(120)을 배치하고 제 4반사경(140)의 위치를 제한함으로써 제 4반사경(140)이 직경을 증가시키는 것을 방지한다.

도 4에 도시된 바와 같이, 본 발명의 투영 광학계(100)는 정방향의 물체면 (MS)으로부터 방출된 주광선의 각 반사경에서 광축으로부터의 높이 방향의 위치(P1 내지 P8)에 대해서, 제 1반사경(110) 내지 제 4반사경(140)까지의 변위 방향은 이 순서와 마찬가지로 P1, P2, P3 및 P4 즉, 지면의 전면으로부터 후면까지의 부의 방향이고, 반면에 제 5반사경(150) 내지 제 8반사경(180)까지의 변위 방향은 이 순서와 마찬가지로 P5, P6, P7 및 P8 즉, 지면의 후면으로부터 전면까지의 정의 방향인 것을 특징으로 하고 있다.

환언하면, 광축과 대략 평행한 상태를 형성하도록 제 4반사경(140)(오목거울)과 제 5반사경(150)(오목거울)의 사이에 주광선의 각도를 감소시켜, 제 4반사경 (140)(오목거울)과 제 5반사경(150)(오목거울)은 다른 것 보다 유효직경이 과도하게 커지는 것을 방지하여 균형있고 균등한 직경을 가진다. 이것은 또, 이들 반사경에 입사각도를 균형 있도록 하는 기능을 하여 입사각의 증대를 저감한다.

일반적으로, 반사광학계에서 고 NA를 달성하기 위해서는, 반사광의 광로 확보가 곤란하여 각 반사경의 파워를 강하게 하는 경우, 입사각이 커진다. 이러한 고 NA에 대해서, 본 발명의 투영 광학계(100)에서는 초고 NA 또는 NA 약 0.5를 유지하면서 제 1반사경(110) 내지 제 6반사경(160)까지에 대해서는, 입사각을 45°미만으로 유지한다.

반사경 표면에서 다층막의 특성을 고려하면 입사각은 가능하면 작을수록 바람직하며, 한층 더 바람직하게는 30°미만인 것이 좋다. 광로를 확보하여 중간상 (MI)부근의 광축과 제 8반사경(180)이 간섭하지 않도록 제 6반사경(160) 내지 제 7반사경(170)에 대해 광선 각도를 설정하기 위해 제 7반사경(170)(볼록거울)위에서 입사각이 증가하기 쉽다. 제8의 반사경

(180)은 최종적으로 소망한 NA로 결상시켜, 광로 확보를 용이하게 하도록, 유효지름을 가능한 한 크게 형성한 큰과위를 가지는 오목거울을 형성한다. 등 배수에 가까운 배율 관계를 가지고 광선의 간섭이 발생하지 않는 범위에서 상 높이를 가능한 한 낮게 하고 있으므로, 입사각은 문제가 되지 않는다. NA는 0.4 또는 0.3의 작은 조건하에서, 광로를 용이하게 유지하고, 각각의 모든 반사면 위에 입사각을 작게 하는 것이 가능하다.

따라서, 본 발명의 투영 광학계(100)에서는, NA 0.5 정도의 극도로 높은 NA를 달성 가능하고, 보다 바람직하게는 이하의 수식 2 내지 수식 6을 만족시킨다.

본 발명의 투영 광학계(100)는 물체면(MS)으로부터 제 1반사경(110)까지의 거리가 d1, 제 1반사경(110)으로부터 제 2반사경(120)까지의 거리가 d2인 경우에, 이하의 수식 2를 만족시키는 것이 바람직하다.

$$0.45 < |d2 / d1| < 0.8 \quad (2)$$

수식 2는 물체면(MS), 제 1반사경(110)과 제 2의 반사경(120)간의 위치 관계를 규정한다. 그 값이 하한 미만인 경우에는 물체측의 텔레센트리시티가 악화되고, 이것은 제조오차 등에 기인하여 물체면(MS)이 광축 방향으로 이동하기 때문에, 바람직하지 않게 상 크기의 변화를 일으키고 왜곡을 악화시킨다. 한편, 상한을 초과하는 상기 값은 물체면(MS)과 제 2반사경(120)간의 거리가 짧아져서 일정한 공간의 구동 스테이지를 배치하기 어렵고 조명계의 광로가 제한하여 바람직하지 못하다.

본 발명의 투영 광학계(100)는 제 6반사경(160)으로부터 제 7반사경(170)까지의 거리를 d7, 제 7반사경(170)으로부터 제 8반사경(180)까지의 거리를 d8로 하면 이하의 수식 3을 만족시키는 것이 바람직하다.

$$1.0 < |d7/d8| < 1.2 \quad (3)$$

수식 3은, 제 6반사경(160), 제 7반사경(170) 및 제 8반사경(180)의 위치 관계를 규정한다. 그 값이 하한 미만인 경우, 제 6반사경(160)이 제 8반사경(180)보다 상면(W)측에 가깝게 위치하게 되므로, 제 6반사경 (160)위에 입사각이 증가한다. 또한, 제 5반사경(150)은 상면(W)측의 제한된 배치로 인해 광선을 반사하기 위해 파워가 증가하고 입사각이 증가되어 바람직하지 못하다. 한편, 그 값이 상한을 초과하는 경우, 제 6반사경(160)이 보다 물체면(MS)측에 가깝게 위치하게 되므로, 광학계의 구성에 대해서 제 4반사경(140)및 제 5반사경(150)의 유효직경이 증가되어 바람직하지 않다.

본 발명의 투영 광학계(100)는 제 5반사경(150)으로부터 제 6반사경(160)까지 거리를 d6, 제 7반사경(170)으로부터 제 8반사경(180)까지의 거리를 d8로 하는 경우에 이하의 수식 4를 만족시키는 것이 바람직하다.

$$0.75 < |d6 / d8| < 1.2 \quad (4)$$

수식 4는 제 5반사경(150)과 제 6 반사경(160)간의 거리와 제 7반사경(170)과 제 8반사경(180)간의 거리와의 관계를 규정한다. 그 값이 하한미만인 경우, 제 5반사경(150)과 제 6반사경(160)의 좁은 간격에 광선을 반사시켜야만 하고 각각의 반사경 위에서 입사각이 증가되는 것은 바람직하지 않다. 한편, 상기 값이 상한을 초과하게 되는 경우, 제 5반사경(150)과 제 6반사경(160)사이의 광로 확보가 어려워지고 그 유효직경이 커져 바람직하지 않다.

본 발명의 투영 광학계(100)는 제 2반사경(120)으로부터 제 3반사경(130)까지의 거리를 d3, 제 3반사경(130)으로부터 제 4반사경(140)까지의 거리를 d4로 했을 때, 이하의 수식 5를 만족시키는 것이 바람직하다.

$$0.3 < |d4 / d3| < 1.0 \quad (5)$$

수식 5는 제 2반사경(120), 제 3반사경(130) 및 제 4반사경(140)중의 위치 관계를 규정한다. 상기 값이 하한 미만인 경우, 제 3반사경(130)과 제 4반사경 (140)의 좁은 간격에 광선을 반사시켜야만 하고 각각의 반사경 위에 입사각이 증가되어 바람직하지 않다. 한편, 상기 값이 상한을 초과하는 경우, 제 4반사경(140)은 유효직경이 커져 바람직하지 않다. 상한을 0.9로 설정하는 경우, 유효지름을 보다 작게 할 수 있다.

본 발명의 투영 광학계(100)는 제 4반사경(140)으로부터 제 5반사경(150)까지 가장 큰 상 높이에서의 주광선과 광축이 이루는 각도를 α , 제 5반사경 (150)의 주광선 위치를 기점으로 하는 광축과의 평행선으로부터 시계방향의 회전을 정, 반시계방향의 회전을 부로 정의한 경우에 이하의 수식 6을 만족시키 것이 바람직하다.

$$-5.0 < \alpha < 10.0 \quad (6)$$

수식 6은 도 4에 도시된 각도(α)를 정의하여, 제 5반사경(150)의 주광선 위치(B)를 기점으로 한 광축과 평행한 선분 AB에 대한 각도를 규정한다. 상기 값이 하한 미만이거나 또는 상한을 초과하는 경우 제 4반사경(140) 및 제 5반사경(150)의 유효직경의 균형을 잃게 된다. 특히, 하한을 초과하는 경우, 제 4반사경(140)의 유효직경이 증가하고 제 5반사경(150) 및 제 6반사경(160)에서 광로 확보가 어렵게 되어 바람직하지 않다. 한편, 상기 값이 상한을 초과하는 경우, 제 5반사경(150)의 유효직경이 증가하고 제 6반사경(160)의 입사각이 증가되어 바람직하지 않다. 각도 α 는 이하의 수식 7을 만족시키는 것이 더욱 바람직하다.

$$0 < \alpha < 10.0 \quad (7)$$

이것은, 제 4반사경(140)과 제 5반사경(150) 사이에 광축이 수축하므로 주광선 각도가 정의 값을 유지하는 경우, 직경의 밸런스가 증가하기 때문이다.

또한, 본 발명의 투영 광학계(100)는 제 6반사경(160)의 광축 위치를 제 1반사경(110)의 광축 위치보다 상면(W)측에 가깝게 배치함으로써, 반사경의 배치나 경통구조를 단순화한다.

도 2를 참조하면서, 도 1에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계(100)의 변형으로서 캐터옵트릭형 광학계(100A)와 투영 광학계(100)의 상위한 점에 대해 주로 설명한다. 투영 광학계(100A)는 제 4반사경(140)을 제외한 7 개의 반사경을 광축 위에 배치한다. 따라서, 7 개의 반사경 각각은 광축 중심을 포함 하는 360°의 영역을 가진 형상을 가질 수 있으므로, 편심 조정 등의 제조목적상의 이점이 된다.

이러한 구성에서, 본 발명의 투영 광학계(100A)는 극도로 높은 NA에 대해서 유리한 8매 반사경 계이다. 또한, 상면(W)측에서 사출 광선은 텔레센트릭하게 유지되어, 상면(W)이 광축 방향으로 이동하는 경우에도 배율 파위에 영향을 적게 미친다.

투영 광학계(100A)는 공축계로서 배치되어 있으므로, 중심으로서 광축 주위에 링 형상의 상면에서 수차가 바람직하게 보정될 수 있다. 투영 광학계(100A)는 중간상(MI)을 결상하는 광학계이며, 보다 균형을 이룬 양호한 수차 보정을 제공한다. 반사경 타입의 투영 광학계(100A)는 투과형 마스크(다이 컷 마스크) 및 캐터옵트릭형 마스크의 양쪽 모두를 양립할 수 있다.

제 1반사경(110) 내지 제 8반사경(180)은 상술한 바와 같은 오목거울 또는 볼록거울로부터 구성된다. 제 1반사경(110) 및 제 6반사경(160)은 정과위 및 부 과위 중의 어떤 것을 가질 수도 있다 즉, 오목거울 또는 볼록거울 어느 것으로도 형성된다. 물론, 투영 광학계(100A) 전체적으로 후술 하는 바와 같이 페즈발의 합이 제로 또는 제로 부근이 되도록 그 반사경의 형상을 결정할 필요가 있다. 바람직하게는, 제 2반사경(120)이 오목거울이므로, 제 1반사경(110)은 볼록거울; 제 3반사경(130)이 볼록거울이므로, 제 4반사경(140)은 오목거울, 제 5반사경(150)이 오목거울이므로, 제 6반사경(160)은 볼록거울, 제 8반사경(180)이 오목거울이므로, 제 7 반사경(170)은 볼록거울이다. 이것은 제 1반사경(110) 내지 제 8반사경(180)까지의 페즈발의 합이 부분적으로 보정되기 때문이다.

상술한 바와 같이, 본 실시예는 오목거울 또는 볼록거울의 제 1반사경(110) 내지 제 8반사경(180)과 비구면 형상의 그 반사면을 형성하고 있지만, 상기 제 1반사경(110) 내지 제 8반사경(180)으로부터 적어도 1 매 이상의 반사경은 본 발명에 의한 비구면을 가진다. 비구면을 가지는 반사경은 수차의 보정을 바람직하게 용이하게 하므로, 가능한 한 많은 반사경을, 바람직하게는 8매, 비구면에 구성하는 것이 바람직하다. 이들 제 1반사경(110) 내지 제 8반사경(180)의 비구면의 형상은 수식 8과 같이 일반적인 비구면의 식으로 정의된다.

$$Z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2h^2}} + Ah^4 + Bh^6 + Ch^8 + Dh^{10} + Eh^{12} + Fh^{14} + Gh^{16} + Hh^{18} + Jh^{20} + \dots \quad (8)$$

Z는 광축 방향의 좌표, c는 곡률(곡률 반경 r의 역수), h는 광축으로부터의 높이, k는 원추 계수, A, B, C, D, E, F, G, H, J, ...는 각각, 4차, 6차, 8차, 10차, 12차, 14차, 16차, 18차, 20차, ...의 비구면 계수이다.

이들 8매 즉 제 1반사경(110) 내지 제 8반사경(180)은 광학계의 상면(W)을 평탄하게 하도록 페즈발의 합이 제로 근방 또는 바람직하게는 제로가 된다. 이에 의해, 반사경 각 면의 굴절력의 합이 제로 근방으로 된다. 환언하면, 각 반사경의 곡률 반경을 r_{110} 내지 r_{180} (첨자는 반사경의 참조 번호에 대응함)인 경우, 본 실시예의 제 1반사경(110) 내지 제 8반사경 (180)은 수식 9 또는 수식 10을 만족시킨다.

$$\frac{1}{r_{110}} - \frac{1}{r_{120}} + \frac{1}{r_{130}} - \frac{1}{r_{140}} + \frac{1}{r_{150}} - \frac{1}{r_{160}} + \frac{1}{r_{170}} - \frac{1}{r_{180}} = 0 \quad (9)$$

$$\frac{1}{r_{110}} - \frac{1}{r_{120}} + \frac{1}{r_{130}} - \frac{1}{r_{140}} + \frac{1}{r_{150}} - \frac{1}{r_{160}} + \frac{1}{r_{170}} - \frac{1}{r_{180}} \approx 0 \quad (10)$$

제 1반사경(110) 내지 제 8반사경(180)의 표면에는 EUV 광을 반사시키는 다층막이 도포되어 상기 광을 강하게 하는 기능을 한다. 본 실시예의 제 1반사경 (110) 내지 제 8반사경(180)에 적용 가능한 다층막은, 예를 들면, 반사면에 교대로 적층한 몰리브덴(Mo) 층과 실리콘(Si) 층을 포함한 Mo/Si 다층막, 또는 반사면에 교대로 적층한 몰리브덴(Mo) 층과 베릴륨(Be) 층을 포함한 Mo/Be 다층막 등을 포함한다. 파장 13.4 nm 부근의 파장영역에 대해서, Mo/Si 다층막을 포함하는 반사경은 67.5%의 반사율을 얻을 수 있고, 파장 11.3 nm 부근의 파장영역에 대해서 Mo/Be 다층막을 포함하는 반사경에서는 70.2%의 반사율을 얻을 수 있다. 물론, 본 발명은 다층막을 상기한 재료로 한정되지 않고, 상기와 같은 작용 및 효과를 가지는 어떤 다층막을 사용해도 된다.

지금부터 본 발명의 캐터옵트릭형 투영 광학계(100), 캐터옵트릭형 투영 광학계(100A) 및 캐터옵트릭형 투영 광학계(100B)를 이용하여 조명 실험한 결과에 대해 설명한다. 도 1 내지 도 3에서, (MS)는 물체면에 배치된 캐터옵트릭형 마스크, (W)는 상면에 배치된 웨이퍼이다. 상기 캐터옵트릭형 투영 광학계(100), 캐터옵트릭형 투영 광학계(100A) 및 캐터옵트릭형 투영 광학계(100B)는 파장 13.4 nm 부근의 EUV 광을 방출하는 도시되지 않은 조명계에 의해 마스크(MS)가 조명되어 마스크(MS)로부터의 반사된 EUV 광이 제 1반사경(110), 제 2반사경 (120)(오목거울), 제 3반사경(130)(볼록거울), 제 4반사경(140)(오목거울), 제 5반사경 (150)(오목거울), 제 6반사경(160), 제 7반사경(170)(볼록거울) 및 제 8반사경(오목거울)의 배치된 순서로 경유하여 반사한다. 다음에, 상면에 놓여진 웨이퍼(W)상에, 마스크 패턴의 축소상을 형성하고 있다. 도 1에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계(100)는 NA = 0.50, 전장 = 1330 mm, 축소율=1/5, 물체 높이=285 mm 내지 290 mm, 상높이=57 mm 내지 58 mm이고 폭이 1.0 mm인 원호형상이다. 여기서, 도 1에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계(100)의 수치(곡률 반경, 면간격, 비구면 계수, 조건식의 값 등)를 표 1에 나타낸다. 도 5는 도 1에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계(100)의 수차도를 도시한다.

[표 1]

| | | | | |
|----------|--------------|--------------|-----------------|--------------|
| 반사경 | 곡률반경 | 면 간격 | | |
| 물체면 (MS) | ∞ | 883.58485 | d1 | |
| 반사경 110 | 163266.04958 | -692.98779 | d2 | |
| 반사경 120 | 1181.80828 | 17.92655 | d3 (=634.14081) | |
| 조리개 (ST) | ∞ | 625.21426 | | |
| 반사경 130 | 358.74702 | -203.92789 | d4 | |
| 반사경 140 | 883.55856 | 581.06761 | d5 | |
| 반사경 150 | -723.01688 | -247.73207 | d6 | |
| 반사경 160 | -702.14261 | 327.72165 | d7 | |
| 반사경 170 | 539.31155 | -290.81170 | d8 | |
| 반사경 180 | 376.73249 | 330.81170 | | |
| 상면 (W) | ∞ | | | |
| 비구면 계수 | k | A | B | C |
| 반사경 110 | -3.9998 | 7.08463E-10 | -3.34178E-15 | 2.26899E-20 |
| 반사경 120 | 1.49768 | -1.45489E-10 | -3.35068E-16 | -1.40824E-21 |
| 반사경 130 | -0.94917 | 2.92201E-9 | 3.54949E-14 | 7.05051E-20 |
| 반사경 140 | -0.38700 | 2.15931E-11 | 9.38093E-16 | -1.09193E-21 |
| 반사경 150 | -0.51003 | 1.79927E-10 | 1.48258E-16 | 4.96882E-21 |
| 반사경 160 | -2.05871 | 5.70806E-9 | -5.76999E-14 | 6.93548E-19 |
| 반사경 170 | 9.90823 | -3.34740E-10 | 1.34731E-13 | -3.13461E-18 |
| 반사경 180 | 0.15422 | -1.54836E-10 | -8.21875E-16 | -4.58847E-21 |
| | D | E | F | G |
| 반사경 110 | -1.14365E-25 | -5.97060E-31 | 1.73108E-35 | -1.18400E-40 |
| 반사경 120 | 1.41354E-27 | -4.77486E-31 | 5.95018E-36 | -7.17698E-41 |
| 반사경 130 | 7.34271E-24 | -1.06893E-28 | 2.55011E-33 | -1.72612E-38 |
| 반사경 140 | 6.32962E-27 | -9.52122E-33 | 4.92155E-39 | 3.79060E-44 |
| 반사경 150 | 1.90325E-27 | -7.14255E-32 | 4.10891E-37 | -3.15996E-43 |
| 반사경 160 | 8.47769E-25 | -2.65715E-28 | 4.59473E-33 | -2.61818E-38 |
| 반사경 170 | 2.30514E-22 | -8.90541E-26 | 1.05391E-29 | -7.01036E-34 |
| 반사경 180 | -3.61962E-26 | 1.18804E-31 | -5.81519E-36 | 3.05021E-41 |
| 반사경 번호 | 최대입사각(도) | | | |
| 반사경 110 | 16.0 | | | |
| 반사경 120 | 11.3 | | | |
| 반사경 130 | 29.5 | | | |
| 반사경 140 | 29.5 | | | |

표 1을 참조하면, 모든 반사경중에서 최대인 입사각은, 제 6반사경 (160)에서 42°이고, 8매 반사경 계의 종래 예보다 10° 이상 작아진 것을 알 수 있다. 도 5를 참조하면, 무수차 상태에 대해 수차를 보정되고 있는 것을 알 수 있다.

도 1에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계(100)는 제조 오차를 포함하지 않는 수차(상 높이 위의 수 개의 점에서 계산)는, 파면 수차 = 0.008 λ rms, |최대 왜곡| = 2.4 nm이다. 이에 의해 0.50의 극히 높은 NA에 상관없이, 파장 13.4 nm에 대해서 회절 한계 광학계(diffraction limited optical system)가 된다.

도 2에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계(100A)는 NA=0.50, 전장=1156 mm, 축소율=1/5, 물체높이=285 mm 내지 290 mm, 상높이=57 mm 내지 58 mm이고 폭이 1.0 mm인 원호형상이다. 도 2에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계(100A)의 수차(곡률 반경, 면간격, 비구면 계수, 조건식의 값 등)를 표 2에 나타낸다. 도 6은 도 2에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계(100A)의 수차도를 도시한다.

[표 2]

| 반사경 | 곡률반경 | 면간격 | |
|---------|--------------|--------------|-----------------|
| 물체면(MS) | ∞ | 726.20511 | d1 |
| 반사경 110 | 5216.71979 | -561.83308 | d2 |
| 반사경 120 | 963.67601 | 34.67002 | d3 (=492.55137) |
| 조리개(ST) | ∞ | 457.88135 | |
| 반사경 130 | 376.09665 | -309.88006 | d4 |
| 반사경 140 | 997.64152 | 782.34836 | d5 |
| 반사경 150 | -1255.70705 | -382.46830 | d6 |
| 반사경 160 | -2177.92776 | 369.47983 | d7 |
| 반사경 170 | 530.05905 | -344.47983 | d8 |
| 반사경 180 | 435.65184 | 384.47983 | |
| 상면(W) | ∞ | | |
| 비구면 계수 | k | A | B |
| 반사경 110 | -3.65466 | 1.63073E-9 | -1.49576E-14 |
| 반사경 120 | 1.16489 | -1.94962E-10 | -4.64356E-16 |
| 반사경 130 | -1.04946 | 3.47277E-9 | 2.49462E-14 |
| 반사경 140 | -0.34382 | 2.19815E-10 | 1.67568E-16 |
| 반사경 150 | 2.73373 | 4.71206E-10 | 5.17335E-16 |
| 반사경 160 | 9.03849 | 5.75314E-9 | -8.39497E-14 |
| 반사경 170 | 8.71390 | -2.62883E-9 | 8.15892E-14 |
| 반사경 180 | 0.16213 | -1.35593E-10 | -6.21776E-16 |
| | D | E | F |
| 반사경 110 | -1.38647E-24 | 4.49607E-30 | 1.12939E-34 |
| 반사경 120 | -3.35534E-27 | -5.36808E-31 | 5.31982E-36 |
| 반사경 130 | 4.83280E-24 | -1.10087E-28 | 3.06869E-33 |
| 반사경 140 | 8.62662E-28 | -2.11861E-33 | 4.59815E-39 |
| 반사경 150 | -1.09786E-26 | 2.71956E-32 | 8.53382E-38 |
| 반사경 160 | 8.62164E-24 | -2.70094E-28 | 1.39208E-33 |
| 반사경 170 | 9.54626E-23 | -2.94405E-26 | 3.14556E-30 |
| 반사경 180 | -1.88161E-26 | 2.05434E-32 | -1.64918E-36 |
| 반사경 번호 | 최대입사각(도) | | |
| 반사경 110 | 18.4 | | |
| 반사경 120 | 11.4 | | |
| 반사경 130 | 26.6 | | |
| 반사경 140 | 23.1 | | |

표 2를 참조하면, 전체의 반사경 중에서 최고 입사각은, 제 7반사경 (170)에서 32.3°이며, 8매 반사경 계의 종래 예보다 20° 이상 작아진 것을 알 수 있다. 도 6을 참조하면, 무수차 상태에 대해서 수차가 보정되고 있는 것을 알 수 있다.

도 2에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계(100A)는 제조 오차를 포함하지 않는 수차(상 높이 위의 수 개의 점에서 계산)는, 파면 수차 = 0.015 λrms, |최대 왜곡| = 1.0nm이다. 이에 의해 0.50의 극히 높은 NA에 상관없이, 파장 13.4nm에 대해서 회절 한계 광학계가 된다.

도 3에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계(100B)는 NA=0.50, 전장=1315mm, 축소율=1/5, 물체높이=285mm 내지 290mm, 상높이=57mm 내지 58mm이고 폭이 1.0mm인 원호형상이다. 도 3에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계(100B)의 수차(곡률 반경, 면간격, 비구면 계수, 조건식의 값 등)를 표 3에 나타낸다. 도 7은 도 3에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계(100B)의 수차도를 도시한다.

[표 3]

| 반사경 | 곡률 반경 | 면 간격 | | |
|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 물체면 (MS) | ∞ | 800.00000 | | |
| 반사경 110 | -6596.61807 | -400.00000 | | |
| 반사경 120 | 944.36675 | 10.40623 | | |
| 조리개 (ST) | ∞ | 377.61162 | | |
| 반사경 130 | 376.68188 | -317.25435 | | |
| 반사경 140 | 905.87411 | 713.54887 | | |
| 반사경 150 | -1272.87295 | -306.29452 | | |
| 반사경 160 | -1828.76691 | 397.11186 | | |
| 반사경 170 | 478.53394 | -372.11186 | | |
| 반사경 180 | 464.15665 | 412.11186 | | |
| 상면 (M) | ∞ | | | |
| 비구면 계수 | k | A | B | C |
| 반사경 110 | 4.56738 | 1.83244E-9 | -2.01836E-14 | 2.56470E-19 |
| 반사경 120 | 1.22586 | -2.12071E-10 | -1.48973E-15 | 5.31630E-21 |
| 반사경 130 | -1.35020 | 2.68788E-9 | 3.43817E-14 | 1.36534E-19 |
| 반사경 140 | -0.48972 | 8.95669E-11 | 2.34393E-16 | 3.44970E-22 |
| 반사경 150 | 2.27002 | 4.31614E-10 | 1.35068E-15 | 4.58111E-21 |
| 반사경 160 | 8.85971 | 5.79266E-9 | -8.25896E-14 | 6.96590E-19 |
| 반사경 170 | 7.36115 | -5.82425E-9 | 1.23430E-13 | -3.94589E-18 |
| 반사경 180 | 0.16294 | -1.23739E-10 | -4.85845E-16 | -2.18713E-21 |
| | D | E | F | G |
| 반사경 110 | -3.00945E-24 | 1.84741E-29 | 9.04302E-35 | -1.71018E-39 |
| 반사경 120 | -5.41251E-26 | -9.18186E-30 | 1.91856E-34 | -3.14390E-39 |
| 반사경 130 | -5.77798E-24 | 2.39984E-28 | -2.44927E-33 | 1.61257E-38 |
| 반사경 140 | 1.07561E-28 | -2.62589E-33 | 1.25181E-38 | -1.20242E-44 |
| 반사경 150 | -1.23676E-25 | 1.30469E-30 | -5.88016E-36 | 1.04386E-41 |
| 반사경 160 | 7.30088E-24 | -2.21642E-28 | 1.80368E-33 | -4.78533E-39 |
| 반사경 170 | -2.87637E-22 | 3.97720E-26 | -2.60325E-30 | 4.32622E-35 |
| 반사경 180 | -9.32557E-27 | -6.41787E-32 | 1.46025E-37 | -3.62381E-42 |
| 반사경 번호 | 최대입사각(도) | | | |
| 반사경 110 | 18.7 | | | |
| 반사경 120 | 15.5 | | | |
| 반사경 130 | 30.0 | | | |
| 반사경 140 | 21.9 | | | |

표 3를 참조하면, 전체의 반사경 중에서 최고 입사각은, 제 7반사경 (170)에서 31.6°이며, 8매 반사경 계의 종래 예보다 20° 이상 작아진 것을 알 수 있다. 도 7을 참조하면, 무수차 상태에 대해서 수차가 보정되고 있는 것을 알 수 있다.

도 3에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계(100A)는 제조 오차를 포함하지 않는 수차(상 높이 위의 수 개의 점에서 계산)는, 파면 수차 = 0.026 λrms, |최대 왜곡| = 1.5nm이다. 이에 의해 0.50의 극히 높은 NA에 상관없이, 파장 13.4nm에 대해서 회절 한계 광학계가 된다.

이상 논의된 바와 같이, 본 발명의 캐터옵트릭형 투영 광학계(100)는 EUV 광의 파장을 이용하고 종래 보다 극히 높은 예를 들면 0.5 정도의 NA에 의해 회절 한계의 성능을 달성하여, 최대 입사각도도 10° 내지 20°이상 감소된다.

이하, 도 8을 참조하면서, 본 발명의 캐터옵트릭형 투영 광학계(100)를 적용한 노광 장치(200)에 대해 설명한다. 여기서, 도 8은 캐터옵트릭형 투영 광학계 (100)를 포함하는 노광장치(200)를 도시한 개략적인 블록도 이다. 본 발명의 노광장치(200)는 스텝-앤드-스캔 노광을 하기 위한 조명광으로서 EUV 광(예를 들면, 파장 13.4nm)을 이용하는 투영 노광 장치이다.

도 8에 도시된 바와 같이, 노광 장치(200)는 조명 장치(210)와 마스크(MS)와 마스크(MS)를 탑재한 마스크 스테이지(220)와 캐터옵트릭형 투영 광학계(100)와 물체(W)와 물체(W)를 탑재하는 웨이퍼 스테이지(230)와 컨트롤러(240)를 포함한다. 컨트롤러(240)는 조명장치(210), 마스크 스테이지(220) 및 웨이퍼 스테이지(230)에 제어 가능하게 접속되어 있다.

도 8에는 도시하지 않지만, EUV 광이 대기에 대해서 저투과율을 가지므로 EUV 광이 통과하는 광로는 적어도 진공의 대기에서 유지되어야만 한다. 도 8에서, XYZ는 3차원 공간을 정의하고, Z방향은 XY평면의 법선 방향이다.

조명장치(210)는 캐터옵트릭형 투영 광학계(100)의 원호형상의 시야에 대응 하는 원호형상의 EUV 광(예를 들면, 파장 13.4nm)을 이용하여 마스크(MS)를 조명하고, 광원과 조명 광학계를 포함한다. 조명 장치(210)의 광원 및 조명 광학계는 동일 기술분야에서 주지의 어떠한 기술도 적용 가능하고, 본 명세서에서의 상세한 설명은 생략한다. 예를 들면, 조명 광학계는, 집광광학계, 옅티컬 인테그레이터, 개구 조리개, 블레이드 등을 포함하고, 동일기술분야의 숙련된 기술자가 구상할 수 있는 어떠한 기술도 적용 가능하다.

마스크(MS)는 캐터옵트릭형 또는 투과형 마스크이며 전사 되어야 할 회로 패턴(또는 상)을 형성한다. 마스크 스테이지(220)에 의해 지지 및 구동된다. 마스크(MS)로부터 방출된 회절광은 캐터옵트릭형 투영 광학계(100)에 의해 반사된 후에 물체(W) 위에 투영된다. 상기 마스크(MS)와 물체(W)는 광학적으로 서로 공역의 관계에 배치된다. 노광 장치(200)는 스텝-앤드-스캔 방식의 노광 장치이므로, 마스크(MS) 위의 패턴을 물체(W)위에 전사하도록 마스크(MS)와 물체(W)가 축소 속도비로 주사된다.

마스크 스테이지(220)는 마스크(MS)를 지지하여 도시하지 않는 이동 기구에 접속되어 있다. 마스크 스테이지(220)는 동일분야에 주지의 어떠한 구성도 적용할 수 있다. 도시하지 않는 이동 기구는 리니어 모터 등으로 구성되고 컨트롤러(240)의 제어하에서 적어도 Y방향으로 마스크 스테이지(220)를 구동함으로써 마스크(MS)를 이동한다. 노광 장치(200)는 마스크(MS)와 물체(W)를 컨트롤러(240)에 의해 동기된 상태로 주사한다.

캐터옵트릭형 투영 광학계(100)는 마스크(MS) 면의 패턴을 상면에 축소 투영하는 캐터옵트릭형 광학계이다. 캐터옵트릭형 투영 광학계(100)는 상기의 어떠한 구조도 이용 가능하고, 여기서의 상세한 설명은 생략한다. 도 8에서는 도 1에 도시된 캐터옵트릭형 투영 광학계(100)를 사용하지만, 본 실시예는 예시적이고 본 발명은 본 실시예에 한정되지 않는다.

물체(W)는 본 실시예에서 웨이퍼이지만, LCD 기타 노광될 물체를 광범하게 포함한다. 물체(W)에는, 포토레지스트를 도포한다.

웨이퍼 스테이지(230)에 의해 물체(W)를 지지한다. 웨이퍼 스테이지(230)는 예를 들면, 리니어 모터가 XYZ 방향으로 물체(W)를 이동한다. 마스크(MS)와 물체(W)는 컨트롤러(240)에 의해 제어되어 동기 주사된다. 마스크 스테이지(220)와 웨이퍼 스테이지(230)의 위치는, 예를 들면, 레이저 간섭계 등에 의해 감시되어 양자는 일정한 속도 비율로 구동된다.

컨트롤러(240)는 도시하지 않는 CPU, 메모리를 포함하고, 노광 장치(200)의 동작을 제어한다. 컨트롤러(240)는 조명장치(210), 마스크 스테이지(220) 즉, 마스크 스테이지(220)의 도시하지 않는 이동 기구, 웨이퍼 스테이지(230) 즉, 웨이퍼 스테이지(230)의 도시하지 않는 이동 기구에 전기적으로 접속되어 있다. 상기 CPU는 MPU 등 이름에 관계없이 어떠한 프로세서도 포함하고, 각 구성요소의 동작을 제어한다. 상기 메모리는 노광 장치(200)의 동작을 위한 펌 웨어를 기억하는 ROM 및 RAM을 포함한다.

노광에서, 조명장치(210)으로부터 방출된 EUV 광은 마스크(MS)를 조명하여, 마스크(MS)위의 패턴을 물체(W) 위에 결상한다. 본 실시예에서는, 상면은 원호형상 또는 링 형상을 가지고, 마스크(MS)와 물체(W)를 축소비율에 상당하는 속도비로 스캐닝 하는 것에 의해, 마스크(MS)의 전면을 노광을 제공한다.

도 9 및 도 10을 참조하면서, 상기 노광 장치(200)를 이용한 디바이스 제조 방법의 실시예를 설명한다. 도 9는 디바이스(IC나 LSI 등의 반도체 칩, LCD, CCD등)의 제조를 설명하기 위한 플로차트이다. 여기에서는, 반도체 칩의 제조를 예로서 설명한다. 스텝 1(회로설계)에서는, 반도체 디바이스의 회로를 설계한다. 스텝 2(마스크 제작)에서는, 설계된 회로 패턴을 가지는 마스크를 형성한다. 스텝 3(웨이퍼 제조)에서는, 실리콘 등의 재료를 이용하여 웨이퍼를 제조한다. 스텝 4(웨이퍼 프로세스)는 전 공정으로 칭하며 마스크와 웨이퍼를 이용하여 포토리도그래피에 의해 웨이퍼 위에 실제의 회로를 형성한다. 스텝 5(조립)는 후속 공정으로 칭하며 스텝 4에서 형성된 웨이퍼를 이용하여 반도체 칩으로 형성하고, 조립공정(다이

싱, 본딩), 패키징 공정(칩 밀봉) 등의 공정을 포함한다. 스텝 6(검사)에서는, 스텝 5에서 제작된 반도체 디바이스의 동작확인 테스트, 내구성 테스트 등의 다양한 검사를 실시한다. 이러한 공정을 거쳐 반도체 디바이스가 완성되고, 이것이 출하(스텝 7)된다.

도 10은, 스텝 4의 웨이퍼프로세스의 상세한 플로차트이다. 스텝 11(산화)에서는, 웨이퍼의 표면을 산화시킨다. 스텝 12(CVD)에서는, 웨이퍼의 표면에 절연막을 형성한다. 스텝 13(전극 형성)에서는, 웨이퍼 위에 전극을 증착 등에 의해 형성한다. 스텝 14(이온 주입)에서는, 웨이퍼에 이온을 주입한다. 스텝 15(레지스트 처리)에서는, 웨이퍼에 감광제를 도포한다. 스텝 16(노광)에서는, 노광 장치(200)를 이용하여 마스크의 회로 패턴을 웨이퍼에 노광한다. 스텝 17(현상)에서는, 노광된 웨이퍼를 현상한다. 스텝 18(에칭)에서는, 현상된 레지스터상 이외의 부분을 에칭한다. 스텝 19(레지스트 박리)에서는 에칭 후에 사용되지 않은 레지스트를 제거한다. 이들 스텝을 반복하여 웨이퍼 위에 다중에 회로 패턴이 형성된다. 본 실시예의 디바이스 제조 방법은 종래의 방법 보다 고품위의 디바이스를 제조할 수 있다. 이와 같이, 노광 장치(200)를 사용하는 디바이스 제조 방법 및 완성품으로서의 디바이스도 본 발명의 한 측면을 구성한다.

또한, 본 발명은 이들 바람직한 실시예에 한정되지 않고, 본 발명의 범위를 일탈함이 없이 여러 가지의 변형 및 변경이 가능하다. 본 실시예의 캐터옵트릭형 투영 광학계는 회전 대칭 비구면을 가지는 공축계이지만, 본 발명은 본 실시예에 한정되지 않고, 회전 비대칭 비구면이어도 된다. 캐터옵트릭형 투영 광학계의 각 반사경이 수차 보정 또는 수차 조정을 하기 위해, 완전한 공축계로서 배치될 필요는 없다. 예를 들면, 수차 개선을 위해 약간의 편심을 준다. 본 발명은 ArF 엑시머 레이저(excimer laser) 및 F₂ 엑시머 레이저 등의 EUV 광이 아닌 파장 200nm 이하의 캐터옵트릭형 투영 광학계 뿐만 아니라 대화면을 스캔 노광하는 노광 장치 또는 스캔하지 않는 노광을 하는 노광 장치에도 적용 가능하다.

발명의 효과

본 발명의 캐터옵트릭형 투영 광학계에 의하면, 8매 반사경 계는 고 NA에 대응 가능하고, 반사면에서 최대 입사각을 저감하고 있으므로 반사면에 적응하는 다층막의 각도 특성에 대해서도 바람직하다. 그 결과, 웨이퍼 면에서 조도가 저하되고, 불균일한 조도 및 불균일한 해상도를 저감할 수 있다. 물체면과 반사경간의 최소 거리도 충분히 확보할 수 있어서, 투영 광학계의 반사경 또는 그 경통, 물체 면에 대한 스테이지 기구 및 조명 광학계 중에서의 간섭을 방지할 수 있다. 이에 의해, 본 발명의 캐터옵트릭형 투영 광학계는 고 NA의 결상 성능이 뛰어난 광학계로서 기능을 하고, 본 캐터옵트릭형 투영 광학계를 이용한 노광 장치는 우수한 노광성능을 구비한 고품위의 디바이스를 제공할 수 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

물체면 위의 패턴을 상면 위에 축소 투영하는 캐터옵트릭형 투영 광학계 (cataoptric projection optical system)로서,
 상기 캐터옵트릭형 투영 광학계는, 물체면 측으로부터 상기 상면 측까지의 순서로, 제 1반사경, 제 2반사경, 제 3반사경, 제 4반사경, 제 5반사경, 제 6반사경, 제 7반사경, 제 8반사경을 포함하는 8매의 반사경으로 이루어지고, 또한 상기 제 6반사경과 상기 제 7반사경 사이의 광로 상에 중간상을 형성하고,
 각 반사경에서 광축으로부터 주광선의 높이 방향의 위치가 변위하고, 상기 제 1반사경으로부터 상기 제 4반사경까지의 변위 방향이 상기 제 5반사경으로부터 상기 제 8반사경까지의 변위 방향의 역방향이고,
 상기 제 2반사경 내지 상기 제 5반사경이 각각 오목거울, 볼록거울, 오목거울, 오목거울이고,
 상기 제 7반사경 및 상기 제 8반사경이 각각, 볼록거울, 오목거울이며,
 이들 8매의 반사경 중의 상기 제 2반사경을 상기 물체면 측에 가장 가깝게 배치한 것을 특징으로 하는 캐터옵트릭형 투영 광학계

청구항 2.

제 1항에 있어서,

상기 제 1반사경으로부터 상기 제 6반사경까지의 유효광선 반사면에 대해서 메리디오날(meridional) 단면상의 최대 입사각이 45°이하인 것을 특징으로 하는 캐터옵트릭형 투영 광학계.

청구항 3.

제 1항에 있어서,

상기 물체면으로부터 상기 제 1반사경까지의 거리를 d1, 상기 제 1반사경으로부터 상기 제 2반사경까지의 거리를 d2로 하면, 상기 투영광학계는

$$0.45 < |d2/d1| < 0.8$$

를 만족시키는 것을 특징으로 하는 캐터옵트릭형 투영 광학계.

청구항 4.

제 1항에 있어서,

상기 제 6반사경으로부터 상기 제 7반사경까지의 거리를 d7, 상기 제 7반사경으로부터 상기 제 8의 반사경까지의 거리를 d8로 하면, 상기 투영광학계는

$$1.0 < |d7/d8| < 1.2$$

를 만족시키는 것을 특징으로 하는 캐터옵트릭형 투영 광학계.

청구항 5.

제 1항에 있어서,

상기 제 5반사경으로부터 상기 제 6반사경까지의 거리를 d6, 상기 제 7반사경으로부터 상기 제 8반사경까지의 거리를 d8로 하면, 상기 투영광학계는

$$0.75 < |d6/d8| < 1.2$$

를 만족시키는 것을 특징으로 하는 캐터옵트릭형 투영 광학계.

청구항 6.

제 1항에 있어서,

상기 제 2반사경으로부터 상기 제 3반사경까지의 거리를 d3, 상기 제 3반사경으로부터 상기 제 4반사경까지의 거리를 d4로 하면, 상기 투영광학계는

$$0.3 < |d4/d3| < 1.0$$

를 만족시키는 것을 특징으로 하는 캐터옵트릭형 투영 광학계.

청구항 7.

제 1항에 있어서,

상기 제 4반사경으로부터 상기 제 5반사경까지의 최대 결상점에서의 주광선과 광축사이에 이루는 각도를 α 라하고, 상기 제 5반사경에서의 주광선 위치로부터 시작하는 상기 광축과의 평행선으로부터 시계 방향의 회전을 정, 반시계 방향의 회전을 부로서 각각 정의하는 경우에,

$$-5.0 < \alpha < 10.0$$

을 만족시키는 것을 특징으로 하는 캐터옵트릭형 투영 광학계.

청구항 8.

제 1항에 있어서,

상기 제 6반사경은, 볼록거울인 것을 특징으로 하는 캐터옵트릭형 투영 광학계.

청구항 9.

제 1항에 있어서,

상기 제 6반사경의 광축 위치가 물리적으로 상기 제 1반사경의 광축 위치 보다 상면측에 가깝게 배치한 것을 특징으로 하는 캐터옵트릭형 투영 광학계.

청구항 10.

제 1항에 있어서,

상기 제 2반사경의 위치가 개구 조리개 위치인 것을 특징으로 하는 캐터옵트릭형 투영 광학계.

청구항 11.

제 1항에 있어서,

상기 8매의 반사경은, 기본적으로 공축계를 이루도록 배치된 것을 특징으로 하는 캐터옵트릭형 투영 광학계.

청구항 12.

제 1항에 있어서,

상기 8매의 반사경 중의 적어도 1매는 극 자외선 광을 반사하는 다층막을 포함하는 비구면 반사경을 포함하는 것을 특징으로 하는 캐터옵트릭형 투영 광학계.

청구항 13.

제 1항에 있어서,

상기 8매의 반사경은 극 자외선 광을 반사하는 다층막을 각각 포함하는 비구면 반사경을 포함하는 것을 특징으로 하는 캐터옵트릭형 투영 광학계.

청구항 14.

제 1항에 있어서,

상기 광은 파장 20 nm 이하의 극 자외선광인 것을 특징으로 하는 캐터옵트릭형 투영 광학계.

청구항 15.

제 1항에 있어서,

상기 투영 광학계의 개구 수가 0.3이상인 것을 특징으로 하는 캐터옵트릭형 투영 광학계.

청구항 16.

제 1항에 있어서,

상기 캐터옵트릭형 투영광학계는 상면 측에서 텔레센트릭(telecentric)한 것을 특징으로 하는 캐터옵트릭형 투영 광학계.

청구항 17.

상면 위에 물체면 위의 패턴을 축소 투영하는 캐터옵트릭형 투영 광학계로서, 상기 캐터옵트릭형 투영 광학계는, 물체면 측으로부터 상기 상면 측까지의 순서로, 제 1반사경, 제 2반사경, 제 3반사경, 제 4반사경, 제 5반사경, 제 6반사경, 제 7반사경, 제 8반사경을 포함하는 8매의 반사경으로 이루어지고, 또한 상기 제 6반사경과 상기 제 7반사경 사이의 광로 상에 중간상을 형성하고, 각 반사경에서 광축으로부터 주광선의 높이 방향 위치가 변위하고, 상기 제 1반사경으로부터 상기 제 4반사경까지의 변위 방향이 상기 제 5반사경으로부터 상기 제 8반사경까지의 변위 방향의 역방향이고, 상기 제 2반사경 내지 상기 제 5반사경이 각각 오목거울, 볼록거울, 오목거울, 오목거울이고, 상기 제 7반사경 및 상기 제 8반사경이 각각, 볼록거울, 오목거울이며, 상기 8매의 반사경 중의 상기 제 2반사경을 상기 물체면 측에 가장 가깝게 배치하는 캐터옵트릭형 투영 광학계와;

상기 물체 면에서 마스크를 위치결정하고 상기 마스크를 유지하는 스테이지와;

상기 상면에서 피노광체의 감광층을 위치결정하고 상기 피노광체를 유지하는 스테이지와;

상기 캐터옵트릭형 투영 광학계의 원호형상의 시야를 가지는 원호형상의 EUV 광을 사용하여 상기 마스크를 조명하는 조명장치와;

상기 EUV 광에 의해 상기 마스크를 조명하면서 상기 각 스테이지를 동기 주사하는 기구를 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 장치.

청구항 18.

노광 장치를 이용해 물체를 노광하는 공정과;

노광된 상기 물체를 현상하는 공정을 포함하는 디바이스의 제조방법으로서,

상기 노광장치는,

상면 위에 물체면 위의 패턴을 축소 투영하는 캐터옵트릭형 투영 광학계로서, 상기 캐터옵트릭형 투영 광학계는 물체면 측으로부터 상기 상면 측까지의 순서로, 제 1반사경, 제 2반사경, 제 3반사경, 제 4반사경, 제 5반사경, 제 6반사경, 제 7반사경, 제 8반사경을 포함하는 8매의 반사경으로 이루어지고, 또한 상기 제 6반사경과 상기 제 7반사경 사이의 광로 상에 중간상을 형성하고, 각 반사경에서 광축으로부터 주광선의 높이 방향 위치가 변위하고, 상기 제 1반사경으로부터 상기 제 4반사경까지의 변위 방향이 상기 제 5반사경으로부터 상기 제 8반사경까지의 변위 방향의 역방향이고, 상기 제 2반사경 내지 상기 제 5반사경이 각각 오목거울, 볼록거울, 오목거울, 오목거울이고, 상기 제 7반사경 및 상기 제 8반사경이 각각, 볼록거울, 오목거울이며, 상기 8매의 반사경 중의 상기 제 2반사경을 상기 물체면 측에 가장 가깝게 배치하는 캐터옵트릭형 투영 광학계와;

상기 물체 면에서 마스크를 위치결정하고 상기 마스크를 유지하는 스테이지와;

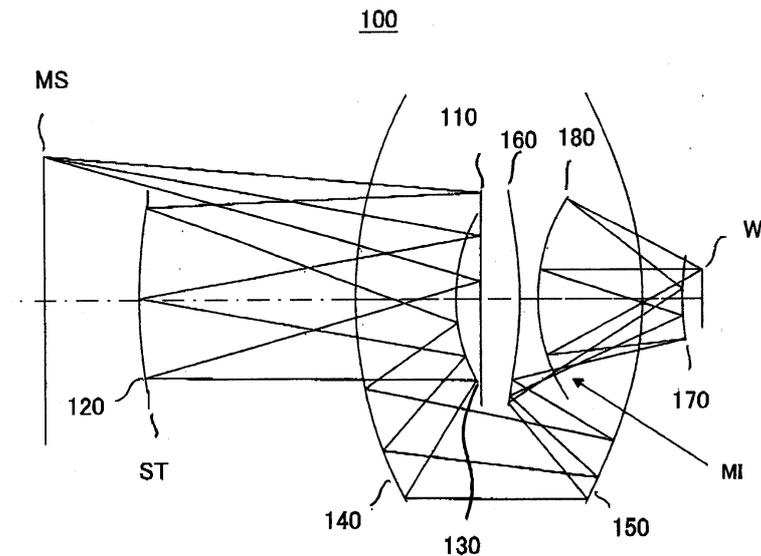
상기 상면에서 피노광체의 감광층을 위치결정하고 상기 피노광체를 유지하는 스테이지와;

상기 캐터옵트릭형 투영 광학계의 원호형상의 시야를 가지는 원호형상의 EUV 광을 사용하여 상기 마스크를 조명하는 조명장치와;

상기 EUV 광에 의해 상기 마스크를 조명하면서 상기 각 스테이지를 동기 주사하는 기구를 포함하는 것을 특징으로 하는 디바이스의 제조방법.

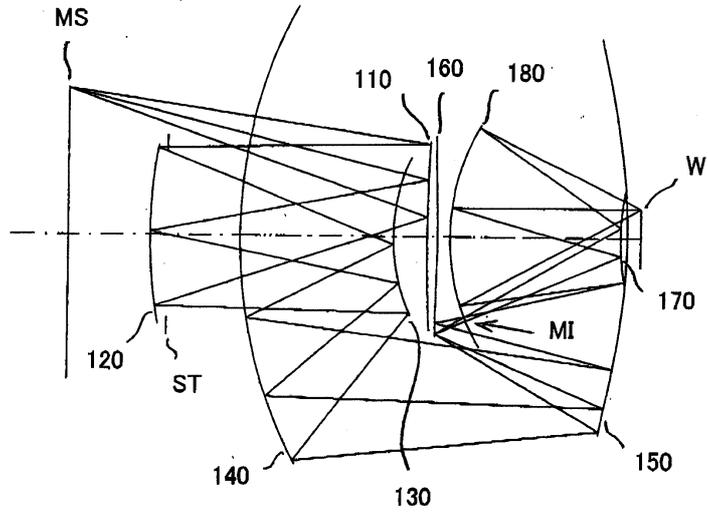
도면

도면1



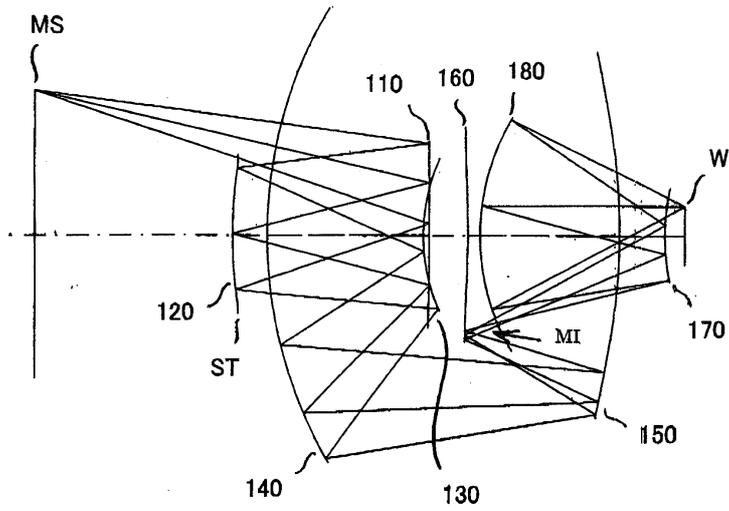
도면2

100A

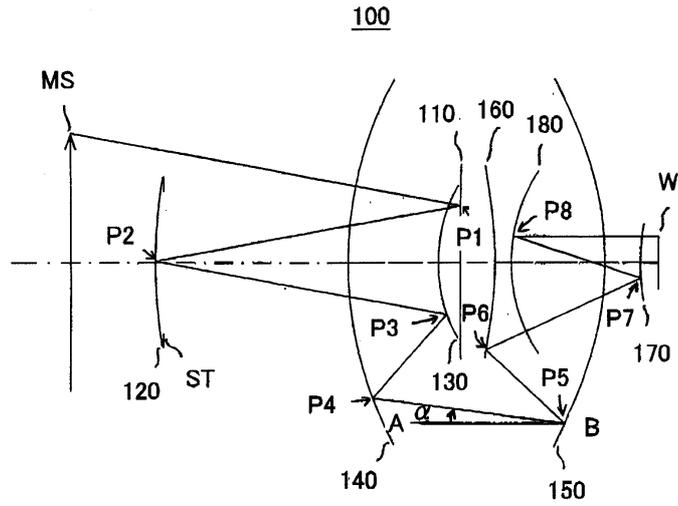


도면3

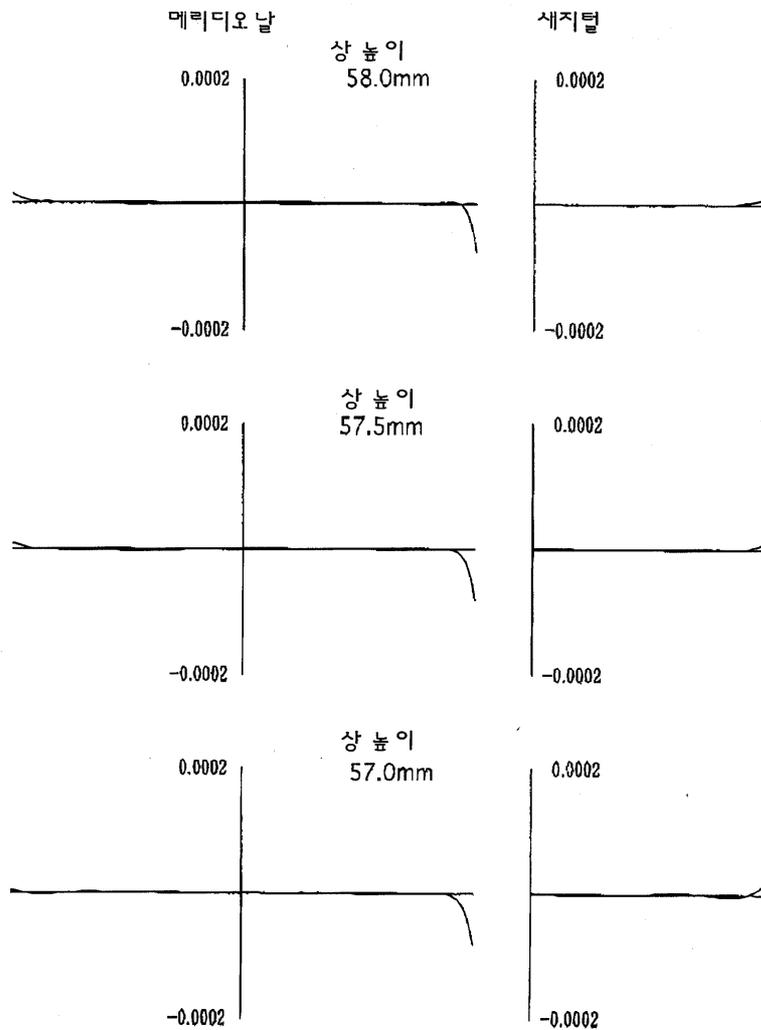
100B



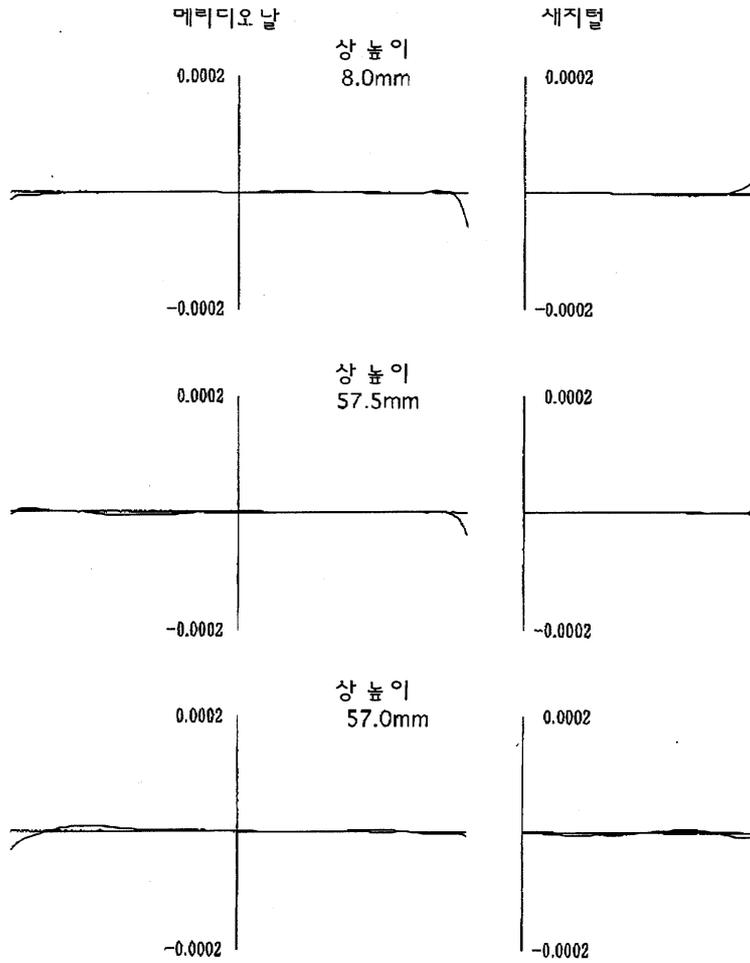
도면4



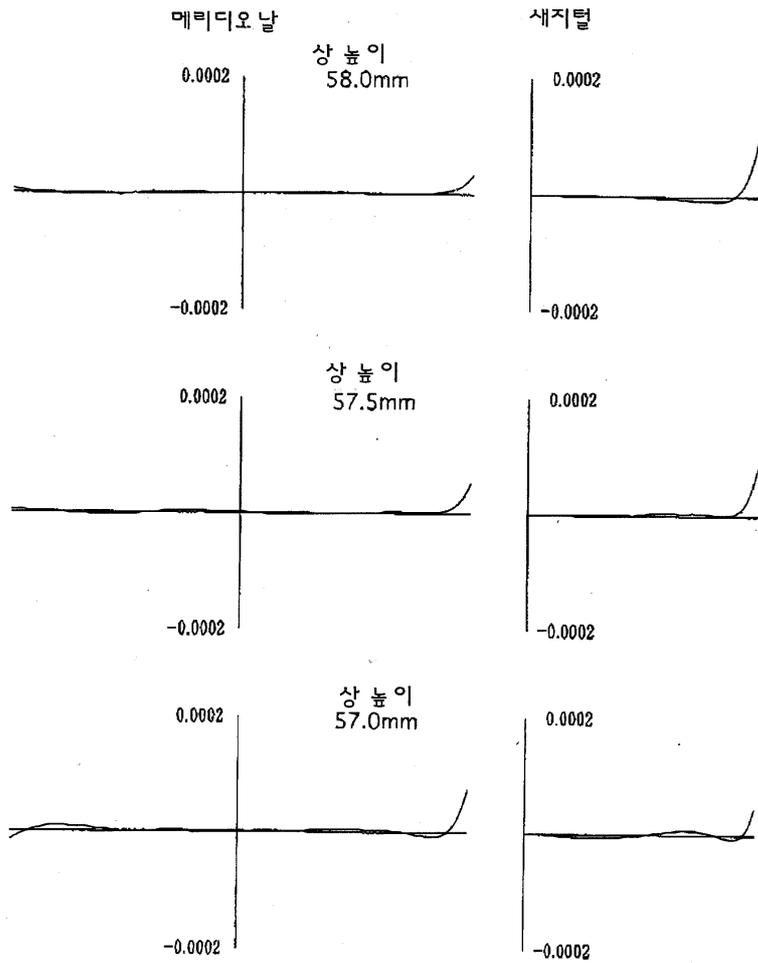
도면5



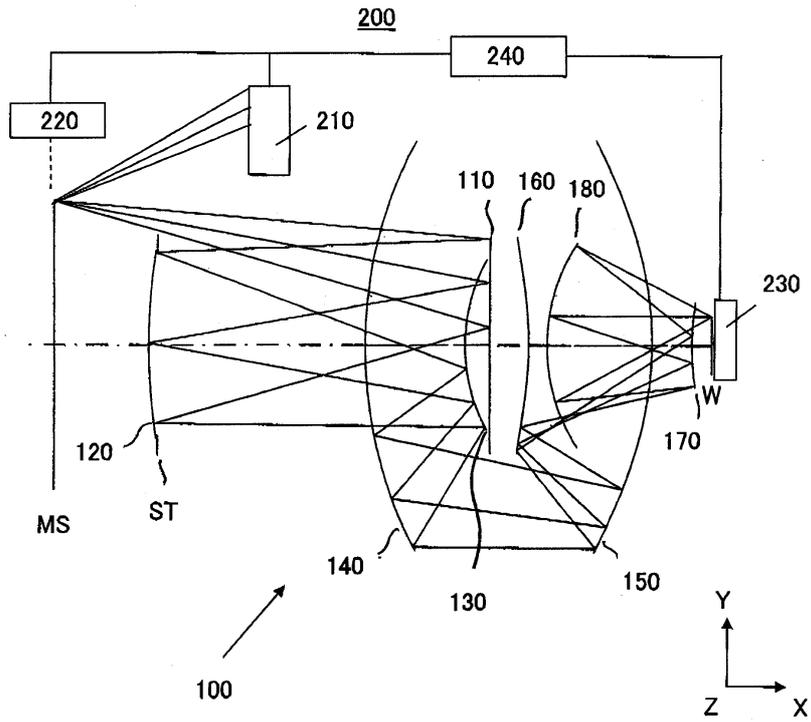
도면6



도면7



도면8



도면9

