

(30) 우선권주장

JP-P-2003-350647 2003년10월09일 일본(JP)

JP-P-2003-364596 2003년10월24일 일본(JP)

특허청구의 범위

청구항 1

상기 명세서 및 도면에 따른
투영 광학계.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 반사 굴절형의 투영 광학계, 노광 장치 및 노광 방법에 관한 것이고, 특히 반도체 소자나 액정 표시 소자 등을 포토리소그래피(photolithography) 공정에서 제조할 때에 사용되는 노광 장치에 적합한 고해상의 반사 굴절형의 투영 광학계에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 반도체 소자 등을 제조하기 위한 포토리소그래피 공정에 있어서, 마스크[또는 레티클(reticle)]의 패턴 상을, 투영 광학계를 거쳐서 포토레지스트(photoresist) 등이 도포된 웨이퍼(또는 유리 플레이트 등)상으로 노광하는 투영 노광 장치가 사용되고 있다. 그리고, 반도체 소자 등의 집적도가 향상함에 따라서, 투영 노광 장치의 투영 광학계에 요구되는 해상력(해상도)이 점점 높아지고 있다.

[0003] 그 결과, 투영 광학계의 해상력에 대한 요구를 만족하기 위해서, 조명광(노광광)의 파장(λ)을 짧게 하는 동시에 투영 광학계의 상측(像側) 개구수(NA)를 크게 할 필요가 있다. 구체적으로는, 투영 광학계의 해상도는 $k \cdot \lambda / NA$ (k 는 프로세스 계수)로 나타낸다. 또한, 상측 개구수(NA)는 투영 광학계와 상면(像面) 사이의 매질(통상은 공기 등의 기체)의 굴절률을 n 이라고 하고, 상면으로의 최대 입사각을 θ 라고 하면, $n \cdot \sin \theta$ 로 나타낸다.

[0004] 이 경우, 최대 입사각(θ)을 크게 함으로써 개구수의 증대를 도모하려고 하면, 상면으로의 입사각 및 투영 광학계로부터의 사출각이 커지고, 광학면에서의 반사 손실이 증대하여, 큰 실효적인 상측 개구수를 확보할 수 없다. 여기에서, 투영 광학계와 상면 사이의 광로중에 굴절률이 높은 액체와 같은 매질을 충전함으로써 개구수(NA)의 증대를 도모하는 기술이 알려져 있다.

[0005] 그러나, 이 기술을 통상의 굴절형 투영 광학계에 적용하면, 색수차를 양호하게 보정하는 것이나 페츠발(Petzval) 조건을 만족하여 상면 만곡을 양호하게 보정하는 것이 어렵고, 광학계의 대형화도 피할 수 없다는 문제가 있다. 또한, 광학면에서의 반사 손실을 양호하게 억제하여 큰 실효적인 상측 개구수를 확보하기 곤란하다는 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 색수차나 상면 만곡 등의 여러 가지 수차가 양호하게 보정되어서 우수한 결상 성능을 갖고, 광학면에서의 반사 손실을 양호하게 억제하여 큰 실효적인 상측 개구수를 확보할 수 있는 비교적 소형의 투영 광학계를 제공하는 것을 제 1 목적으로 한다.

[0007] 또한, 반사 광학 부재만으로 구성되는 투영 광학계 및 굴절 광학 부재와 반사 광학 부재를 조합하여 구성되는 투영 광학계는 개구수를 크게 한 경우에, 반사 광학 부재에 입사하는 광속과 반사 광학 부재에 의해 반사되는 광속의 광로 분리가 곤란해져서, 반사 광학 부재의 대형화, 즉 투영 광학계의 대형화를 피할 수 없다.

[0008] 제조의 간이화 및 광학 부재의 상호 조정의 간이화를 도모하기 위해서는, 반사 굴절 투영 광학계를 단일 광축으로 구성하는 것이 바람직하지만, 이 경우에 있어서도 개구수를 크게 한 경우에는, 반사 광학 부재에 입사하는 광속과 반사 광학 부재에 의해 반사되는 광속의 광로 분리가 곤란해져서, 투영 광학계가 대형화된다.

[0009] 본 발명은 반사 굴절형의 투영 광학계를 구성하는 광학 부재를 대형화하지 않고, 큰 개구수를 얻는 것을 제 2 목적으로 한다.

[0010] 또한, 본 발명은 우수한 결상 성능을 갖고 또한 큰 실효적인 상측 개구수 나아가서는 높은 해상도를 갖는 투영 광학계를 거쳐서, 미세한 패턴을 고정밀도로 전사 노광할 수 있는 노광 장치 및 노광 방법을 제공하는 것을 제 3 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0011] 상기의 제 1 목적을 달성하기 위해서, 본 발명의 제 1 태양에 따른 투영 광학계는, 제 1 면의 축소 상을 제 2 면상에 형성하는 반사 굴절형의 투영 광학계로서, 상기 투영 광학계는 적어도 2매의 반사경과, 제 1 면측의 면이 정의 굴절력을 갖는 경계 렌즈를 포함하고, 상기 투영 광학계의 광로중의 분위기의 굴절률을 1이라고 할 때, 상기 경계 렌즈와 상기 제 2 면 사이의 광로는 1.1보다도 큰 굴절률을 갖는 매질로 충전되고, 상기 투영 광학계를 구성하는 모든 투과 부재 및 굴절력을 갖는 모든 반사 부재는 단일의 광축을 따라 배치되고, 상기 투영광학계는 상기 광축을 포함하지 않는 소정 형상의 유효 결상 영역을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0012] 또한, 상기의 제 2 목적을 달성하기 위해서, 본 발명의 제 2 태양에 따른 투영 광학계는, 제 1 면의 상을 제 2 면상에 형성하는 반사 굴절형의 투영 광학계로서, 2개의 미러를 포함하고, 상기 제 1 면의 중간 상을 형성하는 제 1 결상 광학계와, 상기 중간 상을 상기 제 2 면에 형성하는 제 2 결상 광학계를 포함하며, 상기 제 2 결상 광학계는 상기 중간 상측으로부터 광선이 통과하는 순서로, 오목면 형상의 제 1 필드 미러(field mirror)와, 제 2 필드 미러와, 적어도 2개의 부 렌즈를 포함하고, 부의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈 그룹과, 정의 굴절력을 갖는 제 2 렌즈 그룹과, 개구 조리개와, 정의 굴절력을 갖는 제 3 렌즈 그룹을 구비하는 것을 특징으로 한다.

[0013] 또한, 상기의 제 2 목적을 달성하기 위해서, 본 발명의 제 3 태양에 따른 투영 광학계는, 제 1 면의 상을 제 2 면상에 형성하는 반사 굴절형의 투영 광학계로서, 상기 제 1 면과 상기 제 2 면 사이의 광로중에 배치되고 정의 굴절력을 갖는 제 1 그룹과, 상기 제 1 그룹과 상기 제 2 면 사이의 광로중에 배치되고 적어도 4개의 미러를 포함하는 제 2 그룹과, 상기 제 2 그룹과 상기 제 2 면 사이의 광로중에 배치되고, 적어도 2개의 부 렌즈를 포함하고, 부의 굴절력을 갖는 제 3 그룹과, 상기 제 3 그룹과 상기 제 2 면 사이의 광로중에 배치되고, 적어도 3개의 정 렌즈를 포함하고, 정의 굴절력을 갖는 제 4 그룹을 구비하며, 상기 제 2 그룹중에 1개의 중간 상이 형성되고, 상기 제 4 그룹중에 개구 조리개가 구비되어 있는 것을 특징으로 한다.

[0014] 또한, 상기의 제 2 목적을 달성하기 위해서, 본 발명의 제 4 태양에 따른 투영 광학계는, 제 1 면의 상을 제 2 면상에 형성하는 반사 굴절형의 투영 광학계로서, 적어도 6개의 미러를 포함하고, 상기 제 1 면의 제 1 중간 상 및 제 2 중간 상을 형성하는 제 1 결상 광학계와, 상기 제 2 중간 상을 상기 제 2 면으로 릴레이하는 제 2 결상 광학계를 구비하는 것을 특징으로 한다.

[0015] 또한, 상기의 제 3 목적을 달성하기 위해서, 본 발명의 제 5 태양에 따른 노광 장치는, 마스크에 형성된 패턴을 감광성 기관상으로 노광하는 노광 장치로서, 상기 제 1 면상에 설정된 상기 마스크를 조명하기 위한 조명계와, 상기 마스크에 형성된 상기 패턴의 상을 상기 제 2 면에 설정된 감광성 기관상에 형성하기 위한 상기의 어느 태양중 하나에 따른 투영 광학계를 구비하는 것을 특징으로 한다.

[0016] 또한, 상기의 제 3 목적을 달성하기 위해서, 본 발명의 제 6 태양에 따른 노광 방법은, 마스크에 형성된 패턴을 감광성 기관상으로 노광하는 노광 방법으로서, 소정의 패턴이 형성된 마스크를 조명하는 조명 공정과, 특허청구 범위 제 1 항 내지 제 44 항중 어느 한 항에 기재된 투영 광학계를 이용하여, 상기 제 1 면에 배치된 상기 마스크의 패턴을 상기 제 2 면에 배치된 감광성 기관으로 노광하는 노광 공정을 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0017] 본 발명의 투영 광학계를 사용하는 노광 장치 및 노광 방법에서는, 우수한 결상 성능을 갖고 또한 큰 실효적인 상측 개구수 나아가서는 높은 해상도를 갖는 투영 광학계를 거쳐서 미세한 패턴을 고정밀도로 전사 노광할 수 있다. 또한, 본 발명의 투영 광학계를 탑재한 노광 장치를 이용하여, 고해상의 투영 광학계를 통과한 고밀도의 투영 노광에 의해, 양호한 마이크로 디바이스를 제조할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0018] 도 1은 본 발명의 실시형태에 따른 노광 장치의 구성을 개략적으로 도시한 도면,
- 도 2는 본 실시형태에 있어서 웨이퍼상에 형성되는 원호 형상의 실효 노광 영역과 광축과 위치 관계를 도시한 도면,
- 도 3은 본 실시형태의 제 1 실시예에 있어서의 경계 렌즈와 웨이퍼 사이의 구성을 개략적으로 도시한 도면,
- 도 4는 본 실시형태의 제 2 실시예에 있어서의 경계 렌즈와 웨이퍼 사이의 구성을 개략적으로 도시한 도면,
- 도 5는 본 실시형태의 제 1 실시예에 따른 투영 광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면,
- 도 6은 제 1 실시예에 있어서의 횡수차를 도시한 도면,
- 도 7은 본 실시형태의 제 2 실시예에 따른 투영 광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면,
- 도 8은 제 2 실시예에 있어서의 횡수차를 도시한 도면,
- 도 9는 제 3 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면,
- 도 10은 제 4 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면,
- 도 11은 제 3 및 제 4 실시예에 따른 웨이퍼상의 노광 영역을 도시한 도면,
- 도 12는 제 3 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계의 메리디오날(meridional) 방향 및 사지탈(sagittal) 방향에 있어서의 횡수차를 도시하는 횡수차도(橫收差圖),
- 도 13은 제 4 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계의 메리디오날 방향 및 사지탈 방향에 있어서의 횡수차를 도시하는 횡수차도,
- 도 14는 제 5 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면,
- 도 15는 제 6 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면,
- 도 16은 제 7 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면,
- 도 17은 제 5 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계의 메리디오날 방향 및 사지탈 방향에 있어서의 횡수차를 도시하는 횡수차도,
- 도 18은 제 6 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계의 메리디오날 방향 및 사지탈 방향에 있어서의 횡수차를 도시하는 횡수차도,
- 도 19는 제 7 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계의 메리디오날 방향 및 사지탈 방향에 있어서의 횡수차를 도시하는 횡수차도,
- 도 20은 마이크로 디바이스로서의 반도체 디바이스를 얻을 때의 수법의 흐름도,
- 도 21은 마이크로 디바이스로서의 액정 표시 소자를 얻을 때의 수법의 흐름도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 본 발명의 제 1 태양에 따른 투영 광학계에서는, 경계 렌즈와 상면(제 2 면) 사이의 광로중에 1.1보다도 큰 굴절률을 갖는 매질을 개재시킴으로써, 상측 개구수(NA)의 증대를 도모하고 있다. 덧붙여서 말하면, M. Switkes 씨 및 M. Rothschild씨가 「SPIE2002 Microlithography」에 있어서 「Massachusetts Institute of Technology」에 발표한 「Resolution Enhancement of 157-nm Lithography by Liquid Immersion」에는, 파장(λ)이 200nm 이하의 광에 대하여 소망의 투과율을 갖는 매질로서, 퍼플로리나이트(Perfluoropolyethers : 미국 3M사의 상품명)나 탈(脫) 이온수(Deionized Water) 등이 후보로서 거론되고 있다.

[0020] 또한, 본 발명의 제 1 태양에 따른 투영 광학계에서는, 경계 렌즈의 물체측(제 1 면측)의 광학면에 정의 굴절력을 부여함으로써, 이 광학면에서의 반사 손실을 저감시키고, 나아가서는 큰 실효적인 상측 개구수를 확보할 수 있다. 이와 같이, 상측에 액체 등의 고굴절률 물질을 매질로서 갖는 광학계에서는, 실효적인 상측 개구수를

1.0 이상으로 높이는 것이 가능하고, 나아가서는 해상도를 높일 수 있다. 그러나, 투영 배율이 일정한 경우, 상측 개구수의 증대에 따라 물체측 개구수도 커지기 때문에, 투영 광학계를 굴절 부재만으로 구성하면, 페즈발 조건을 만족하는 것이 어렵고, 광학계의 대형화도 피할 수 없다.

[0021] 여기에서, 본 발명의 제 1 태양에 따른 투영 광학계에서는, 적어도 2매의 반사경을 포함하고, 모든 투과 부재 및 굴절력[파워(power)]을 갖는 모든 반사 부재가 단일 광축을 따라 배치되고, 광축을 포함하지 않는 소정 형상의 유효 결상 영역을 갖는 타입의 반사 굴절형 광학계를 채용하고 있다. 이 타입의 투영 광학계에서는, 예를 들면 오목면 반사경의 작용에 의해 색수차를 양호하게 보정하는 동시에, 페즈발 조건을 용이하게 만족해서 상면 만곡을 양호하게 보정할 수 있고, 더군다나 광학계의 소형화가 가능하다.

[0022] 또한, 이 타입의 투영 광학계에서는, 모든 투과 부재(렌즈 등) 및 파워를 갖는 모든 반사 부재(오목면 반사경 등)가 단일 광축을 따라 배치되어 있으므로, 광학 부재가 복수의 광축을 따라 각각 배치되는 복수 축 구성에 비해서 제조상의 난이도가 매우 낮아져 바람직하다. 단지, 광학 부재가 단일 광축을 따라 배치되는 단일 축 구성의 경우, 색수차를 양호하게 보정하는 것이 곤란한 경향이 있지만, 예를 들면 ArF 레이저광과 같이, 스펙트럼 폭을 협대화(狹帶化; 좁은 띠 형상)한 레이저광을 사용함으로써, 이 색수차 보정의 과제를 극복할 수 있다.

[0023] 이렇게 해서, 본 발명의 제 1 태양에서는, 색수차나 상면 만곡 등의 여러 가지 수차가 양호하게 보정되어 우수한 결상 성능을 갖고, 광학면에서의 반사 손실을 양호하게 억제하여 큰 실효적인 상측 개구수를 확보할 수 있는 비교적 소형의 투영 광학계를 실현할 수 있다. 따라서, 본 발명의 제 1 태양에 따른 투영 광학계를 사용하는 노광 장치 및 노광 방법에서는, 우수한 결상 성능을 갖고 또한 큰 실효적인 상측 개구수 나아가서는 높은 해상도를 갖는 투영 광학계를 거쳐서 미세한 패턴을 고정밀도로 전사 노광할 수 있다.

[0024] 또, 본 발명의 제 1 태양에서는, 투영 광학계가 짝수개의 반사경을 갖도록 구성하는 것, 즉 짝수회의 반사를 거쳐서 제 1 면의 상이 제 2 면상에 형성되도록 구성하는 것이 바람직하다. 이러한 구성에 의해, 예를 들면 노광 장치나 노광 방법에 적용할 경우, 웨이퍼상에는 마스크 패턴의 이면 상이 아니라 표면 상(정립상 또는 도립상)이 형성되게 되므로, 굴절형 투영 광학계를 탑재하는 노광 장치와 마찬가지로 통상의 마스크(레티클)를 사용할 수 있다.

[0025] 또한, 본 발명의 제 1 태양에 있어서, 2개의 미러를 포함하고, 상기 제 1 면의 중간 상을 형성하는 제 1 결상 광학계와, 상기 중간 상을 상기 제 2 면에 형성하는 제 2 결상 광학계를 포함하도록 구성하는 것이 바람직하고, 상기 제 2 결상 광학계는, 상기 중간 상측에서 광선이 통과하는 순서로, 오목면 형상의 제 1 필드 미러와, 제 2 필드 미러와, 적어도 2개의 부 렌즈를 포함하고, 부의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈 그룹과, 정의 굴절력을 갖는 제 2 렌즈 그룹과, 개구 조리개와, 정의 굴절력을 갖는 제 3 렌즈 그룹을 구비하는 것이 바람직하다.

[0026] 이러한 구성에 의하면, 제 1 결상 광학계에 있어서 제 1 면의 중간 상을 형성하기 때문에, 반사 굴절 투영 광학계의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 제 1 면측을 향하는 광속과 제 2 면측을 향하는 광속의 광로 분리를 용이하고 또한 확실하게 실행할 수 있다. 또한, 제 2 결상 광학계에 부의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈 그룹을 구비하고 있기 때문에, 반사 굴절 투영 광학계의 전장을 짧게 할 수 있고, 또한 페즈발 조건을 만족하기 위한 조정을 용이하게 실행할 수 있다. 더욱이, 제 1 렌즈 그룹은 제 1 필드 미러에 의해 넓혀진 광속의 화각(畫角)의 차이에 의한 편차를 완화하고, 수차의 발생을 억제한다. 따라서, 해상도를 높게 하기 위해서 반사 굴절 투영 광학계의 물체측 및 상측의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 노광 영역내 전역에서 양호한 결상 성능을 얻을 수 있다.

[0027] 그리고, 상기의 구성에 있어서, 상기 제 1 결상 광학계가 정의 굴절력을 갖는 제 4 렌즈 그룹과, 부 렌즈와, 오목면 미러와, 광로 분리 미러를 구비하고, 상기 제 1 결상 광학계중을 진행하는 광이 상기 제 4 렌즈 그룹 및 상기 부 렌즈를 투과한 후, 상기 오목면 미러에 의해 반사되어서, 다시 상기 부 렌즈를 투과하여 상기 광로 분리 미러로 인도되고, 상기 광로 분리 미러에 의해 반사된 광이 상기 제 1 필드 미러 및 상기 제 2 필드 미러에 의해 반사된 후에 상기 제 2 결상 광학계중의 상기 제 1 렌즈 그룹에 직접적으로 입사하도록 구성되는 것이 바람직하다.

[0028] 이러한 구성에 의하면, 제 1 결상 광학계가 정의 굴절력을 갖는 제 4 렌즈 그룹을 구비하고 있기 때문에, 제 1 면측을 텔레센트릭(telecentric)으로 할 수 있다. 또한, 제 1 결상 광학계가 부 렌즈와 오목면 미러를 구비하고 있기 때문에, 이 부 렌즈와 오목면 미러를 조정함으로써, 페즈발 조건을 만족하기 위한 조정을 용이하게 실행할 수 있다.

[0029] 또한, 본 발명의 제 1 태양에 있어서, 적어도 6개의 미러를 포함하고, 상기 제 1 면의 제 1 중간 상 및 제 2 중

간 상을 형성하는 제 1 결상 광학계와, 상기 제 2 중간 상을 상기 제 2 면상으로 릴레이하는 제 2 결상 광학계를 구비하는 것이 바람직하다.

- [0030] 이러한 구성에 의하면, 적어도 6개의 미러가 포함되어 있기 때문에, 해상도를 높게 하기 위해서 반사 굴절 투영 광학계의 물체측 및 상측의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 반사 굴절 투영 광학계의 전장을 길게 하는 일 없이, 제 1 중간 상 및 제 2 중간 상을 형성할 수 있고, 또한 노광 영역내 전역에서 양호한 결상 성능을 얻을 수 있다.
- [0031] 상기의 구성에 있어서, 상기 제 1 결상 광학계에 포함되는 상기 적어도 6개의 미러중, 상기 제 1 면으로부터 사출되는 광이 제 2번째로 입사하는 미러와, 상기 제 1 면으로부터 사출되는 광이 제 4번째로 입사하는 미러 사이에, 상기 제 1 중간 상이 형성되는 것이 바람직하다.
- [0032] 이러한 구성에 의하면, 제 1 면으로부터 사출되는 광이 제 2번째로 입사하는 미러와, 제 1 면으로부터 사출되는 광이 제 4번째로 입사하는 미러 사이에, 제 1 중간 상이 형성된다. 따라서, 해상도를 높게 하기 위해서 반사 굴절 투영 광학계의 물체측 및 상측의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 제 1 면측을 향하는 광속과 제 2 면측을 향하는 광속의 광로 분리를 용이하고 또한 확실하게 실행할 수 있고, 또한 노광 영역내 전역에서 양호한 결상 성능을 얻을 수 있다.
- [0033] 그런데, 본 발명의 제 1 태양에 따른 반사 굴절형 투영 광학계를 단일 광축으로 구성하기 위해서는, 수정체 위치 근방에 중간 상을 형성할 필요가 있기 때문에, 투영 광학계는 재결상 광학계인 것이 바람직하다. 또한, 제 1 결상의 수정체 위치 근방에 중간 상을 형성하여 광로 분리를 실행하면서 광학 부재끼리의 기계적 간섭을 피하기 위해서는, 물체측 개구수가 커졌을 경우에도 제 1 결상의 수정체 직경을 가능한 한 작게 할 필요가 있으므로, 개구수의 작은 제 1 결상 광학계가 반사 굴절 광학계인 것이 바람직하다.
- [0034] 따라서, 본 발명의 제 1 태양에서는, 적어도 2개의 반사경을 포함하고 제 1 면의 중간 상을 형성하기 위한 제 1 결상 광학계와, 이 중간 상으로부터의 광속에 근거하여 최종 상을 제 2 면상에 형성하기 위한 제 2 결상 광학계에 의해 투영 광학계를 구성하는 것이 바람직하다. 이 경우, 구체적으로는 정 굴절력의 제 1 렌즈 그룹과, 이 제 1 렌즈 그룹과 중간 상 사이의 광로중에 배치된 제 1 반사경과, 이 제 1 반사경과 중간 상 사이의 광로중에 배치된 제 2 반사경을 이용하여, 제 1 결상 광학계를 구성할 수 있다.
- [0035] 또한, 제 1 반사경은 제 1 결상 광학계의 수정체면의 근방에 배치된 오목면 반사경이며, 이 오목면 반사경이 형성하는 왕복 광로중에는 적어도 1개의 부 렌즈가 배치되어 있는 것이 바람직하다. 이와 같이, 제 1 결상 광학계에 있어서 오목면 반사경이 형성하는 왕복 광로중에 부 렌즈를 배치함으로써, 페츠발 조건을 용이하게 만족하여 상면 만곡을 양호하게 보정하는 것이 가능해지는 동시에, 색수차도 양호하게 보정하는 것이 가능해진다.
- [0036] 또한, 왕복 광로중의 부 렌즈는 수정체 위치 근방에 배치되는 것이 바람직하지만, 제 1 결상의 수정체 직경을 가능한 한 작게 할 필요가 있으므로 부 렌즈의 유효 직경도 작아지기 때문에, 상기 부 렌즈에서는 플루언스(flucence)=(단위면적·단위 펄스당의 에너지량)가 높아지기 쉽다. 따라서, 석영을 이용하여 상기 부 렌즈를 형성하면, 레이저광의 조사를 받아서 체적 수축에 의한 국소적 굴절률 변화, 즉 콤팩션(compaction)이 일어나기 쉽고, 나아가서는 투영 광학계의 결상 성능이 저하한다.
- [0037] 마찬가지로, 상면에 근접하여 배치되는 경계 렌즈도 유효 직경이 작고, 플루언스가 높아지기 쉽다. 따라서, 석영을 이용하여 경계 렌즈를 형성하면, 콤팩션이 일어나기 쉽고 결상 성능이 저하한다. 본 발명의 제 1 태양에서는, 제 1 결상 광학계에 있어서 오목면 반사경이 형성하는 왕복 광로중에 배치된 부 렌즈, 및 제 2 결상 광학계에 있어서 상면에 근접하여 배치된 경계 렌즈를 형식으로 형성함으로써, 콤팩션에 기인하는 결상 성능의 저하를 회피할 수 있다.
- [0038] 또한, 본 발명의 제 1 태양에서는, 하기의 수학적 1을 만족하는 것이 바람직하다. 또, 수학적 1에 있어서, F1은 제 1 렌즈 그룹의 초점 거리이며, Y₀은 제 2 면상에 있어서의 최대 상 높이이다.
- [0039] [수학적 1]
- [0040] $5 < F1/Y_0 < 15$
- [0041] 수학적 1의 상한값을 상회하면, 제 1 결상의 수정체 직경이 지나치게 커져서, 상술한 바와 같이 광학 부재끼리의 기계적 간섭을 피하는 것이 곤란해지므로 바람직하지 못하다. 한편, 수학적 1의 하한값을 하회하면, 반사경으로의 입사광의 각도의 물체 높이에 의한 차이[화각차(畫角差)]가 크게 발생하고, 코마(coma) 수차나 상면 만

곡 등의 수차의 보정이 곤란해지므로 바람직하지 못하다. 또, 본 발명의 효과를 보다 양호하게 발휘하기 위해서는, 수학적 1의 상한값을 13으로 설정하고, 그 하한값을 7로 설정하는 것이 보다 바람직하다.

[0042] 또한, 본 발명의 제 1 태양에서는, 제 1 렌즈 그룹이 적어도 2개의 정 렌즈를 갖는 것이 바람직하다. 이러한 구성에 의해, 제 1 렌즈 그룹의 정 굴절력을 크게 설정하여 수학적 1을 용이하게 만족할 수 있고, 나아가서는 코마 수차, 왜곡(歪曲) 수차, 비점(非点) 수차 등을 양호하게 보정할 수 있다.

[0043] 또한, 반사율이 높고 또한 내구성에 우수한 반사경을 제조하는 것은 어렵고, 수많은 반사면을 설치하는 것은 광량 손실로 이어진다. 이 때문에, 본 발명의 제 1 태양에서는, 예를 들면 노광 장치나 노광 방법에 투영 광학계를 적용하는 경우, 처리량(throughput) 향상의 관점에서, 제 2 결상 광학계는 복수의 투과 부재만으로 구성된 굴절 광학계인 것이 바람직하다.

[0044] 또한, 형식은 고유 복굴절성을 갖는 결정 재료이며, 형식으로 형성된 투과 부재에서는 특히 200nm 이하의 파장의 광에 대한 복굴절의 영향이 크다. 이 때문에, 형식 투과 부재를 포함하는 광학계에서는, 결정 축 방향의 다른 형식 투과 부재를 조합하여 복굴절에 의한 결상 성능의 저하를 억제할 필요가 있지만, 이러한 대책을 강구하여도, 복굴절에 의한 성능 저하를 완전히 억제할 수는 없다.

[0045] 더욱이, 형식에서는 내부의 굴절률 분포가 고주파 성분을 갖는 것이 알려져 있고, 이 고주파 성분을 포함하는 굴절률의 편차가 플레어(flare)의 발생을 초래하여 투영 광학계의 결상 성능을 저하시키기 쉽기 때문에, 형식의 사용을 가능한 한 줄이는 것이 바람직하다. 여기에서, 본 발명에서는, 형식의 사용을 가능한 한 줄이기 위해서, 굴절 광학계인 제 2 결상 광학계를 구성하는 투과 부재중, 70% 이상의 투과 부재가 석영으로 형성되어 있는 것이 바람직하다.

[0046] 또한, 본 발명의 제 1 태양에서는, 유효 결상 영역이 원호형상을 갖고, 하기의 수학적 2를 만족하는 것이 바람직하다. 또, 수학적 2에 있어서, R은 유효 결상 영역을 규정하는 원호의 곡률 반경의 크기이며, Y₀은 상술한 바와 같이 제 2 면상에 있어서의 최대 상 높이이다.

[0047] [수학적 2]

[0048] $1.05 < R/Y_0 < 12$

[0049] 본 발명의 제 1 태양에서는, 광축을 포함하지 않는 원호형상의 유효 결상 영역을 가짐으로써, 광학계의 대형화를 피하면서 광로 분리를 용이하게 실행할 수 있다. 그러나, 예를 들면 노광 장치나 노광 방법에 적용하는 경우, 마스크상에 있어서 원호형상의 조명 영역을 균일하게 조명하는 것은 어렵다. 따라서, 원호형상의 영역을 포함하는 장방형 형상의 영역에 대응하는 장방형 형상의 조명 광축을, 원호형상의 개구부(광 투과부)를 갖는 시야 조리개에 의해 제한하는 방법을 채용하게 된다. 이 경우, 시야 조리개에 있어서의 광량 손실을 억제하기 위해서는, 유효 결상 영역을 규정하는 원호의 곡률 반경의 크기(R)를 가능한 한 크게 할 필요가 있다.

[0050] 즉, 수학적 2의 하한값을 하회하면, 곡률 반경의 크기(R)가 지나치게 작아져서, 시야 조리개에 있어서의 광축 손실이 커지고, 이 조명 효율의 저하에 의해 처리량이 저하하므로 바람직하지 못하다. 한편, 수학적 2의 상한값을 상회하면, 곡률 반경의 크기(R)가 지나치게 커져서, 스캔 노광시의 오버런(overrun) 길이의 단축화 때문에 소요 폭의 유효 결상 영역을 확보하려고 하면 필요한 수차 보정 영역이 커지기 때문에, 광학계가 대형화하므로 바람직하지 못하다. 또, 본 발명의 효과를 보다 양호하게 발휘하기 위해서는, 수학적 2의 상한값을 8로 설정하고, 그 하한값을 1.07로 설정하는 것이 보다 바람직하다.

[0051] 또한, 상기 타입의 반사 굴절형의 투영 광학계에서는, 상면(제 2 면) 사이의 광로를 액체와 같은 매질로 충전하지 않는 경우에 있어서도, 수학적 2를 만족함으로써, 조명 효율의 저하에 의한 처리량의 저하나 필요한 수차 보정 영역의 증대에 의한 광학계의 대형화를 회피할 수 있다. 또한, 본 발명의 투영 광학계를 노광 장치나 노광 방법에 적용하는 경우, 경계 렌즈와 상면 사이에 충전되는 매질(액체 등)의 투과율이나, 레이저광의 협대화의 정도 등을 고려하면, 예를 들면 ArF 레이저광(파장 193.306nm)을 노광광으로서 사용하는 것이 바람직하다.

[0052] 본 발명의 제 2 태양에 따른 투영 광학계는, 제 1 면의 상을 제 2 면상에 형성하는 반사 굴절 투영 광학계로서, 2개의 미러를 포함하고, 상기 제 1 면의 중간 상을 형성하는 제 1 결상 광학계와, 상기 중간 상을 상기 제 2 면에 형성하는 제 2 결상 광학계를 포함하며, 상기 제 2 결상 광학계는 상기 중간 상측으로부터 광선이 통과하는 순서로, 오목면 형상의 제 1 필드 미러와, 제 2 필드 미러와, 적어도 2개의 부 렌즈를 포함하고, 부의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈 그룹과, 정의 굴절력을 갖는 제 2 렌즈 그룹과, 개구 조리개와, 정의 굴절력을 갖는 제 3 렌즈

그룹을 구비하고 있다.

- [0053] 이러한 구성에 의하면, 제 1 결상 광학계에 있어서 제 1 면의 중간 상을 형성하기 때문에, 반사 굴절 투영 광학계의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 제 1 면측을 향하는 광속과 제 2 면측을 향하는 광속의 광로 분리를 용이하고 또한 확실하게 실행할 수 있다. 또한, 제 2 결상 광학계에 부의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈 그룹을 구비하고 있기 때문에, 반사 굴절 투영 광학계의 전장을 짧게 할 수 있고, 또한 페즈발 조건을 만족하기 위한 조정을 용이하게 실행할 수 있다. 더욱이, 제 1 렌즈 그룹은 제 1 필드 미러에 의해 넓혀진 광속의 화각의 차이에 의한 편차를 완화하고, 수차의 발생을 억제한다. 따라서, 해상도를 높게 하기 위해서 반사 굴절 투영 광학계의 물체측 및 상측의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 노광 영역내 전역에서 양호한 결상 성능을 얻을 수 있다.
- [0054] 또한, 본 발명의 제 2 태양에 따른 투영 광학계에 있어서, 상기 제 1 결상 광학계가 정의 굴절력을 갖는 제 4 렌즈 그룹과, 부 렌즈와, 오목면 미러와, 광로 분리 미러를 구비하고, 상기 제 1 결상 광학계중을 진행하는 광이 상기 제 4 렌즈 그룹 및 상기 부 렌즈를 투과한 후, 상기 오목면 미러에 의해 반사되어서, 다시 상기 부 렌즈를 투과하여 상기 광로 분리 미러로 인도되고, 상기 광로 분리 미러에 의해 반사된 광이 상기 제 1 필드 미러 및 상기 제 2 필드 미러에 의해 반사된 후에 상기 제 2 결상 광학계중의 상기 제 1 렌즈 그룹에 직접적으로 입사하도록 구성되는 것이 바람직하다.
- [0055] 이러한 구성에 의하면, 제 1 결상 광학계가 정의 굴절력을 갖는 제 4 렌즈 그룹을 구비하고 있기 때문에, 제 1 면측을 텔레센트릭으로 할 수 있다. 또한, 제 1 결상 광학계가 부 렌즈와 오목면 미러를 구비하고 있기 때문에, 이 부 렌즈와 오목면 미러를 조정함으로써, 페즈발 조건을 만족하기 위한 조정을 용이하게 실행할 수 있다.
- [0056] 또한, 본 발명의 제 2 태양에 따른 투영 광학계에 있어서, 상기 제 1 필드 미러가 상기 제 1 필드 미러에 입사한 광을 상기 반사 굴절 투영 광학계의 광축을 향하는 방향으로 절곡하여 사출시키는 것이 바람직하다.
- [0057] 또한, 본 발명의 제 2 태양에 따른 투영 광학계에 있어서, 상기 제 2 필드 미러가 볼록면 형상을 갖는 것이 바람직하다.
- [0058] 이들 구성에 의하면, 제 1 필드 미러에 입사한 광선이 반사 굴절 광학계의 광축을 향하는 방향으로 절곡되어 사출되기 때문에, 반사 굴절 투영 광학계의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 제 2 필드 미러를 소형화할 수 있다. 따라서, 해상도를 높게 하기 위해서 물체측 및 상측의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 제 1 면측을 향하는 광속과 제 2 면측을 향하는 광속의 광로 분리를 용이하게 실행할 수 있다.
- [0059] 본 발명의 제 2 태양에 따른 투영 광학계에 있어서, 상기 제 1 결상 광학계에 포함되는 상기 2개의 미러가 상기 제 1 면으로부터의 광이 입사하는 순서로, 오목면 형상의 미러와, 볼록면 형상의 미러이며, 상기 제 2 결상 광학계에 포함되는 상기 제 2 필드 미러는 볼록면 형상의 미러인 것이 바람직하다.
- [0060] 이러한 구성에 의하면, 제 1 결상 광학계에 포함되는 2개의 미러가 오목면 형상 및 볼록면 형상이며, 제 2 필드 미러가 볼록면 형상을 갖고 있기 때문에, 제 1 결상 광학계로부터 사출된 광속을 제 2 결상 광학계에 용이하고 또한 확실하게 인도할 수 있다.
- [0061] 또한, 본 발명의 제 2 태양에 따른 투영 광학계에 있어서, 상기 개구 조리개가 상기 제 1 필드 미러와 상기 제 2 면 사이에 배치되고, 상기 제 1 필드 미러와 상기 제 2 면의 광축상 거리를 Ma , 상기 제 1 면과 상기 제 2 면의 거리를 L 이라고 할 때,
- [0062] [수학식 3]
- [0063] $0.17 < Ma/L < 0.6$
- [0064] 의 조건을 만족하는 것이 바람직하다.
- [0065] 이 구성에 의하면, Ma/L 이 0.17보다 크므로, 제 1 필드 미러와, 제 1 렌즈 그룹 및 제 2 렌즈 그룹과의 기계적 간섭을 회피할 수 있다. 또한, Ma/L 이 0.6보다 작으므로, 반사 굴절 투영 광학계의 전장의 신장화 및 대형화를 회피할 수 있다.
- [0066] 또한, 본 발명의 제 2 태양에 따른 투영 광학계에서는, 상기 제 2 결상 광학계에 포함되는 상기 제 1 렌즈 그룹이 적어도 1개의 비구면 렌즈를 갖는 것이 바람직하다.

- [0067] 이러한 구성에 의하면, 제 1 렌즈 그룹을 구성하는 광학 소자의 적어도 1매가 비구면 형상의 렌즈를 갖기 때문에, 물체측 및 상측의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 노광 영역내 전역에서 양호한 결상 성능을 얻을 수 있다.
- [0068] 또한, 본 발명의 제 3 태양에 따른 투영 광학계는, 제 1 면의 상을 제 2 면상에 형성하는 반사 굴절 투영 광학계에 있어서, 상기 제 1 면과 상기 제 2 면 사이의 광로중에 배치되고 정의 굴절력을 갖는 제 1 그룹과, 상기 제 1 그룹과 상기 제 2 면 사이의 광로중에 배치되고 적어도 4개의 미러를 포함하는 제 2 그룹과, 상기 제 2 그룹과 상기 제 2 면 사이의 광로중에 배치되고, 적어도 2개의 부 렌즈를 포함하며, 부의 굴절력을 갖는 제 3 그룹과, 상기 제 3 그룹과 상기 제 2 면 사이의 광로중에 배치되고, 적어도 3개의 정 렌즈를 포함하고, 정의 굴절력을 갖는 제 4 그룹을 구비하고, 상기 제 2 그룹중에 1개의 중간 상이 형성되고, 상기 제 4 그룹중에 개구 조리개가 구비되어 있다.
- [0069] 이러한 본 발명의 제 3 태양에 따른 투영 광학계에 의하면, 제 2 그룹에 있어서 제 1 면의 중간 상을 형성하기 때문에, 반사 굴절 투영 광학계의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 제 1 면측을 향하는 광속과 제 2 면측을 향하는 광속의 광로 분리를 용이하고 또한 확실하게 실행할 수 있다. 또한, 부의 굴절력을 갖는 제 3 그룹을 구비하고 있기 때문에, 반사 굴절 투영 광학계의 전장을 짧게 할 수 있고, 또한 페즈발 조건을 만족하기 위한 조정을 용이하게 실행할 수 있다. 따라서, 해상도를 높게 하기 위해서 반사 굴절 투영 광학계의 물체측 및 상측의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 노광 영역내 전역에서 양호한 결상 성능을 얻을 수 있다.
- [0070] 본 발명의 제 3 태양에 따른 투영 광학계에 있어서, 상기 제 2 그룹이 상기 제 1 면으로부터의 광이 입사하는 순서로, 오목면 형상의 제 1 반사 미러와, 볼록면 형상의 제 2 반사 미러와, 오목면 형상의 제 3 반사 미러와, 볼록면 형상의 제 4 반사 미러를 구비하는 것이 바람직하다.
- [0071] 이러한 구성에 의하면, 제 1 면으로부터 광이 입사하는 순서로, 오목면 미러와, 볼록면 미러와, 오목면 미러와, 볼록면 미러를 구비하고 있기 때문에, 제 1 결상 광학계로부터 사출된 광속을 제 2 결상 광학계에 용이하고 또한 확실하게 인도할 수 있다.
- [0072] 본 발명의 제 3 태양에 따른 투영 광학계에 있어서, 상기 제 2 그룹이 적어도 1개의 부 렌즈를 포함하고, 상기 제 2 그룹의 광로중에서 가장 상기 제 3 그룹측에 위치하는 광학 소자는 상기 제 4 반사 미러 또는 광이 2번 통과하는 왕복 렌즈인 것이 바람직하다.
- [0073] 이러한 구성에 의하면, 제 2 그룹의 광로중에서 가장 제 3 그룹측에 위치하는 광학 소자가 제 4 반사 미러 또는 광이 2번 통과하는 왕복 렌즈이기 때문에, 부의 굴절력을 갖는 제 3 그룹에 포함되는 렌즈와, 제 4 반사 미러 또는 왕복 렌즈를 조정함으로써, 페즈발 조건을 만족시키기 위한 조정을 용이하게 실행할 수 있다.
- [0074] 또한, 본 발명의 제 3 태양에 따른 투영 광학계에 있어서, 상기 제 3 반사 미러가 상기 제 3 반사 미러에 입사한 광을 상기 반사 굴절 투영 광학계의 광축을 향하는 방향으로 절곡하여 사출시키는 것이 바람직하다.
- [0075] 이러한 구성에 의하면, 제 3 반사 미러에 입사한 광선이 반사 굴절 투영 광학계의 광축을 향하는 방향으로 절곡되어 사출되기 때문에, 제 4 반사 미러를 소형화할 수 있다. 따라서, 해상도를 높게 하기 위해서 물체측 및 상측의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 제 1 면측을 향하는 광속과 제 2 면측을 향하는 광속의 광로 분리를 용이하고 또한 확실하게 실행할 수 있다.
- [0076] 또한, 본 발명의 제 3 태양에 따른 투영 광학계에 있어서, 상기 개구 조리개가 상기 제 3 반사 미러와 상기 제 2 면 사이에 배치되고, 상기 제 3 반사 미러와 상기 제 2 면의 광축상 거리를 Ma , 상기 제 1 면과 상기 제 2 면의 거리를 L 이라고 할 때,
- [0077] [수학식 3]
- [0078] $0.17 < Ma/L < 0.6$
- [0079] 의 조건을 만족하는 것을 특징으로 한다.
- [0080] 이러한 구성에 의하면, Ma/L 이 0.17보다 크므로, 제 3 반사 미러와, 제 2 그룹 및 제 3 그룹의 기계적 간섭을 회피할 수 있다. 또한, Ma/L 이 0.6보다 작으므로, 반사 굴절 투영 광학계의 전장의 신장화 및 대형화를 회피할 수 있다.
- [0081] 또한, 본 발명의 제 3 태양에 따른 투영 광학계에 있어서, 상기 제 3 그룹이 적어도 1개의 비구면 렌즈를 구비하는 것을 특징으로 한다. 이러한 구성에 의하면, 제 3 그룹을 구성하는 광학 소자의 적어도 1매가 비구면 렌

스를 갖기 때문에, 물체측 및 상측의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 노광 영역내 전역에서 양호한 결상 성능을 얻을 수 있다.

- [0082] 본 발명의 제 4 태양에 따른 투영 광학계는, 제 1 면의 상을 제 2 면상에 형성하는 반사 굴절 투영 광학계에 있어서, 적어도 6개의 미러를 포함하고, 상기 제 1 면의 제 1 중간 상 및 제 2 중간 상을 형성하는 제 1 결상 광학계와, 상기 제 2 중간 상을 상기 제 2 면상으로 텔레이하는 제 2 결상 광학계를 구비하고 있다.
- [0083] 본 발명의 제 4 태양에 따른 투영 광학계에 의하면, 적어도 6개의 미러가 포함되어 있기 때문에, 해상도를 높게 하기 위해서 반사 굴절 투영 광학계의 물체측 및 상측의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 반사 굴절 투영 광학계의 전장을 길게 하는 일없이, 제 1 중간 상 및 제 2 중간 상을 형성할 수 있고, 또한 노광 영역내 전역에서 양호한 결상 성능을 얻을 수 있다.
- [0084] 본 발명의 제 4 태양에 따른 투영 광학계에 있어서, 상기 제 1 결상 광학계에 포함되는 상기 적어도 6개의 미러 중, 상기 제 1 면으로부터 사출되는 광이 제 2번째로 입사하는 미러와, 상기 제 1 면으로부터 사출되는 광이 제 4번째로 입사하는 미러 사이에, 상기 제 1 중간 상이 형성되는 것이 바람직하다.
- [0085] 이러한 구성에 의하면, 제 1 면으로부터 사출되는 광이 제 2번째로 입사하는 미러와, 제 1 면으로부터 사출되는 광이 제 4번째로 입사하는 미러 사이에, 제 1 중간 상이 형성된다. 따라서, 해상도를 높게 하기 위해서 반사 굴절 투영 광학계의 물체측 및 상측의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 제 1 면측을 향하는 광속과 제 2 면측을 향하는 광속의 광로 분리를 용이하고 또한 확실하게 실행할 수 있고, 또한 노광 영역내 전역에서 양호한 결상 성능을 얻을 수 있다.
- [0086] 또한, 본 발명의 제 4 태양에 따른 투영 광학계에 있어서, 상기 제 1 결상 광학계가 투과형 광학 소자로 구성되는 정의 굴절력을 갖는 필드 렌즈 그룹을 구비하고, 상기 적어도 6개의 미러는 상기 필드 렌즈 그룹을 통과한 광을 연속해서 반사하도록 배치되는 것이 바람직하다.
- [0087] 이러한 구성에 의하면, 제 1 결상 광학계가 투과형 광학 소자로 구성되는 정의 굴절력을 갖는 필드 렌즈 그룹을 구비하고 있기 때문에, 이 필드 렌즈 그룹에 의해 왜곡(distortion) 등의 보정을 실행할 수 있고, 또 제 1 면측을 텔레센트릭으로 할 수 있다. 또한, 적어도 6개의 미러 사이의 광로중에 렌즈가 배치되지 않기 때문에, 각 미러를 유지하기 위한 영역을 확보할 수 있고, 또한 각 미러의 유지를 용이하게 실행할 수 있다. 또한, 광이 각 미러에 의해 연속해서 반사되기 때문에, 각 미러를 조정함으로써, 용이하게 페즈발 조건을 만족시킬 수 있다.
- [0088] 또한, 본 발명의 제 4 태양에 따른 투영 광학계에 있어서, 상기 제 1 결상 광학계가 투과형 광학 소자로 구성되는 정의 굴절력을 갖는 필드 렌즈 그룹을 구비하는 것이 바람직하고, 상기 적어도 6개의 미러중, 상기 제 1 면으로부터 사출되는 광이 제 1번째로 입사하는 미러와, 상기 제 1 면으로부터 사출되는 광이 제 6번째로 입사하는 미러 사이에, 적어도 1개의 부 렌즈를 구비하는 것이 바람직하다.
- [0089] 이러한 구성에 의하면, 제 1 결상 광학계가 투과형 광학 소자로 구성되는 정의 굴절력을 갖는 필드 렌즈 그룹을 구비하고 있기 때문에, 제 1 면측을 텔레센트릭으로 할 수 있다. 또한, 제 1 면으로부터 사출되는 광이 제 1번째로 입사하는 미러와, 제 6번째로 입사하는 미러 사이에, 적어도 1개의 부 렌즈를 구비하고 있기 때문에, 이 부 렌즈를 조정함으로써, 색수차의 보정을 용이하게 실행할 수 있고, 또한 페즈발 조건을 만족하도록 용이하게 조정할 수 있다.
- [0090] 또한, 본 발명의 제 4 태양에 따른 투영 광학계에 있어서, 상기 제 2 결상 광학계를 구성하는 광학 소자가 모두 투과형 광학 소자이며, 상기 제 2 면상에 상기 제 1 면의 축소 상을 형성하는 것이 바람직하다.
- [0091] 이러한 구성에 의하면, 제 2 결상 광학계를 구성하는 광학 소자가 모두 투과형 광학 소자이므로 광로 분리의 부하를 수반하지 않는다. 따라서, 반사 굴절 투영 광학계의 상측의 개구수를 크게 할 수 있고, 고축소 배율의 축소 상을 제 2 면상에 형성할 수 있다. 또한, 코마 수차나 구면 수차의 보정을 용이하게 실행할 수 있다.
- [0092] 또한, 본 발명의 제 4 태양에 따른 투영 광학계에 있어서, 상기 제 2 결상 광학계가 제 1 결상 광학계로부터 사출되는 광이 통과하는 순서로, 정의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈 그룹과, 부의 굴절력을 갖는 제 2 렌즈 그룹과, 정의 굴절력을 갖는 제 3 렌즈 그룹과, 개구 조리개와, 정의 굴절력을 갖는 제 4 렌즈 그룹을 구비하는 것이 바람직하다.
- [0093] 이러한 구성에 의하면, 제 2 결상 광학계를 구성하는 정의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈 그룹과, 부의 굴절력을 갖는 제 2 렌즈 그룹과, 정의 굴절력을 갖는 제 3 렌즈 그룹과, 개구 조리개와, 정의 굴절력을 갖는 제 4 렌즈 그룹

룹이 페즈발 조건을 만족하기 위해서 유리하게 기능한다. 또한, 반사 굴절 투영 광학계의 전장의 대형화를 회피할 수 있다.

- [0094] 또한, 본 발명의 제 4 태양에 따른 투영 광학계에 있어서, 상기 적어도 6개의 미러중 상기 제 1 면으로부터 사출되는 광이 상기 반사 굴절 투영 광학계의 광축으로부터 가장 멀리 떨어진 위치에 배치되는 미러가 오목면 형상의 미러인 것이 바람직하고, 상기 개구 조리개는 상기 오목면 형상의 미러와 상기 제 2 면 사이에 배치되는 것이 바람직하다. 여기에서, 상기 오목면 형상의 미러와 상기 제 2 면의 광축상 거리를 Mb, 상기 제 1 면과 상기 제 2 면과의 거리를 L이라고 할 때,
- [0095] [수학식 4]
- [0096] $0.2 < Mb/L < 0.7$
- [0097] 의 조건을 만족하는 것이 바람직하다.
- [0098] 이러한 구성에 의하면, Mb/L이 0.2보다 크므로, 반사 굴절 투영 광학계의 광축으로부터 가장 멀리 떨어진 위치에 배치되는 오목면 형상의 미러와, 제 1 렌즈 그룹, 제 2 렌즈 그룹 및 제 3 렌즈 그룹의 기계적 간섭을 회피할 수 있다. 또한, Mb/L이 0.7보다 작으므로, 반사 굴절 투영 광학계의 전장의 신장화 및 대형화를 회피할 수 있다.
- [0099] 또한, 본 발명의 제 4 태양에 따른 투영 광학계는 상기 제 2 렌즈 그룹 및 상기 제 4 렌즈 그룹이 적어도 1개의 비구면 렌즈를 갖는 것이 바람직하다.
- [0100] 이러한 구성에 의하면, 제 2 렌즈 그룹 및 제 4 렌즈 그룹을 구성하는 광학 소자의 적어도 1개가 비구면 형상의 렌즈를 갖기 때문에, 수차 보정을 용이하게 실행할 수 있고, 또한 반사 굴절 투영 광학계의 전장의 대형화를 회피할 수 있다. 따라서, 물체측 및 상측의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 노광 영역내 전역에서 양호한 결상 성능을 얻을 수 있다.
- [0101] 또한, 본 발명의 제 4 태양에 따른 투영 광학계는, 상기 반사 굴절 투영 광학계가 상기 제 1 면의 중간 상인 상기 제 1 중간 상과, 상기 제 1 중간 상의 상인 상기 제 2 중간 상을 상기 제 1 면과 상기 제 2 면 사이의 광로중에 형성하는 3회 결상 광학계인 것이 바람직하다.
- [0102] 이러한 구성에 의하면, 3회 결상 광학계이므로, 제 1 중간 상은 제 1 면의 도립상, 제 2 중간 상은 제 1 면의 정립상, 제 2 면에 형성되는 상은 도립상이 된다. 따라서, 반사 굴절 투영 광학계를 노광 장치에 탑재하고, 제 1 면과 제 2 면을 주사하여 노광을 실행하는 경우에, 제 1 면의 주사 방향과 제 2 면의 주사 방향을 역방향으로 할 수 있고, 노광 장치 전체의 중심의 변화가 작아지도록 용이하게 조정할 수 있다. 또한, 노광 장치 전체의 중심이 변화됨으로써 발생하는 반사 굴절 투영 광학계의 진동을 경감할 수 있고, 노광 영역내 전역에서 양호한 결상 성능을 얻을 수 있다.
- [0103] 또한, 본 발명의 제 2 태양 내지 제 4 태양에 따른 투영 광학계는, 상기 반사 굴절 투영 광학계에 포함되는 렌즈중 가장 상기 제 2 면측에 위치하는 렌즈의 상기 제 1 면측의 렌즈면은 정의 굴절력을 갖고, 상기 가장 상기 제 2 면측에 위치하는 렌즈와 상기 제 2 면 사이의 광로중에, 상기 반사 굴절 투영 광학계중의 분위기의 굴절률을 1이라고 할 때, 1.1보다도 큰 굴절률을 갖는 매질을 개재시키는 것을 특징으로 한다.
- [0104] 이러한 구성에 의하면, 반사 굴절 투영 광학계의 가장 제 2 면측에 위치하는 렌즈와 제 2 면 사이의 광로중에 1.1보다도 큰 굴절률을 갖는 매질을 개재시키고 있으므로, 매질중에서의 노광광의 파장이 매질의 굴절률을 n이라고 했을 때 공기중의 1/n배가 되기 때문에, 해상도를 향상시킬 수 있다.
- [0105] 또한, 본 발명의 제 2 태양 내지 제 4 태양에 따른 투영 광학계는, 상기 반사 굴절 투영 광학계에 포함되고 소정의 굴절력을 갖는 모든 광학 소자의 광축이 실질적으로 단일 직선상에 배치되고, 상기 반사 굴절 투영 광학계에 의해 상기 제 2 면상에 형성되는 상의 영역은 상기 광축을 포함하지 않는 축외 영역인 것이 바람직하다.
- [0106] 이러한 구성에 의하면, 반사 굴절 투영 광학계에 포함되는 모든 광학 소자의 광축이 실질적으로 단일 직선상에 배치되어 있기 때문에, 반사 굴절 투영 광학계를 제조할 때에 제조 난이도를 경감할 수 있고, 각 광학 부재의 상대적인 조정을 용이하게 실행할 수 있다.
- [0107] 또한, 본 발명의 제 5 태양에 따른 노광 장치는, 마스크에 형성된 패턴을 감광성 기관상으로 노광하는 노광 장치로서, 상기 제 1 면에 설정된 상기 마스크를 조명하기 위한 조명계와, 상기 마스크에 형성된 상기 패턴의 상을 상기 제 2 면에 설정된 감광성 기관상에 형성하기 위한, 본 발명의 제 1 태양 내지 제 4 태양중 어느 하나에

따른 투영 광학계를 구비하고 있다.

- [0108] 이러한 구성에 의하면, 콤팩트하고 또한 개구수가 큰 반사 굴절 투영 광학계를 구비하고 있기 때문에, 미세한 패턴을 감광성 기관상으로 양호하게 노광할 수 있다.
- [0109] 또한, 본 발명의 제 5 태양에 따른 노광 장치에 있어서, 상기 조명계는 상기 제 2 면에 대하여 S 편광이 되는 조명광을 공급하는 것이 바람직하다. 이러한 구성에 의하면, 감광성 기관상에 형성되는 상의 콘트라스트(contrast)를 향상시켜서 넓은 초점 심도(DOF)를 확보할 수 있다. 특히, 본 발명의 제 1 태양 내지 제 4 태양에 따른 투영 광학계에서는, 광축을 편향시키는 기능을 갖는 광로 편향 미러(절곡 미러)를 이용하지 않고 광로 분리를 실행하는 것이 가능하다. 여기에서, 광로편향 미러로 반사되는 P 편광과 S 편광 사이에서는 위상차가 크게 발생할 우려가 높고, 광로 편향 미러를 이용할 경우에는, 이 반사 위상차에 기인하여, 상기 제 2 면에 대하여 S 편광이 되는 조명광을 공급하는 것이 곤란해진다. 즉, 조명 광학 장치의 광축에 대하여 원주방향이 되는 편광을 생성하여도, 제 2 면상에서는 S 편광으로는 되지 않는 문제가 생긴다. 그에 대하고, 본 발명의 제 1 태양 내지 제 4 태양에 따른 투영 광학계에서는 이러한 문제는 발생하기 어렵다.
- [0110] 또한, 본 발명의 제 5 태양에 따른 노광 장치에 있어서, 상기 투영 광학계에 대하여 상기 마스크 및 상기 감광성 기관을 소정 방향을 따라서 상대 이동시켜서 상기 마스크의 패턴을 상기 감광성 기관상으로 투영 노광하는 것이 바람직하다.
- [0111] 또한, 본 발명의 제 6 태양에 따른 노광 방법은, 마스크에 형성된 패턴을 감광성 기관상으로 노광하는 노광 방법으로서, 소정의 패턴이 형성된 마스크를 조명하는 조명 공정과, 본 발명의 제 1 태양 내지 제 4 태양의 어느 하나에 따른 투영 광학계를 이용하여, 상기 제 1 면에 배치된 상기 마스크의 패턴을 상기 제 2 면에 배치된 감광성 기관으로 노광하는 노광 공정을 포함하고 있다.
- [0112] 이러한 구성에 의하면, 콤팩트하고 또한 개구수가 큰 반사 굴절 투영 광학계를 포함하는 노광 장치에 의해 노광을 실행하기 때문에, 미세한 패턴을 양호하게 노광할 수 있다.
- [0113] 이하, 본 발명의 실시형태에 대해서 도면을 참조하면서 설명한다.
- [0114] 도 1은 본 발명의 노광 장치의 일 실시형태를 도시하는 개략 구성도이다.
- [0115] 도 1에 있어서, 노광 장치(EX)는, 레티클(R)(마스크)을 지지하는 레티클 스테이지(RST)와, 기관으로서의 웨이퍼(W)를 지지하는 웨이퍼 스테이지(WST)와, 레티클 스테이지(RST)에 지지되어 있는 레티클(R)을 노광광(EL)에 의해 조명하는 조명 광학계(IL)와, 노광광(EL)에 의해 조명된 레티클(R)의 패턴의 상을 웨이퍼 스테이지(WST)에 지지되어 있는 웨이퍼(W)로 투영 노광하는 투영 광학계(PL)와, 웨이퍼(W)상에 액체(50)를 공급하는 액체 공급 장치(1)와, 웨이퍼(W)의 외측으로 유출한 액체(50)를 회수하는 회수 장치(20)와, 노광 장치(EX) 전체의 동작을 통괄 제어하는 제어 장치(CONT)를 구비하고 있다.
- [0116] 여기에서, 본 실시형태에서는, 노광 장치(EX)로서 레티클(R)과 웨이퍼(W)를 주사 방향을 따라서 동기 이동하면서 레티클(R)에 형성된 패턴을 웨이퍼(W)로 노광하는 주사형 노광 장치[소위 스캐닝 스테퍼(scanning stepper)]를 사용하는 경우를 예로서 설명한다. 이하의 설명에 있어서, 투영 광학계(PL)의 광축(AX)과 일치하는 방향을 Z축 방향, Z축 방향에 수직한 평면내에서 레티클(R)과 웨이퍼(W)의 동기 이동 방향(주사 방향)을 X축 방향, Z축 방향 및 Y축 방향에 수직한 방향(비주사 방향)을 Y축 방향으로 한다. 또한, X축, Y축, 및 Z축 주위 방향을 각각 θX , θY , 및 θZ 방향으로 한다. 또, 여기에서 말하는 「웨이퍼」는 반도체 웨이퍼상에 레지스트를 도포한 것을 포함하고, 「레티클」은 웨이퍼상에 확대·축소·등배로 투영되는 디바이스 패턴을 형성한 마스크를 포함한다.
- [0117] 조명 광학계(IL)는 자외 영역의 조명광을 공급하기 위한 광원(100)으로부터의 노광광에 근거하여, 레티클 스테이지(RST)에 지지되어 있는 레티클(R)을 노광광(EL)에 의해 조명하는 것이다. 조명 광학계(IL)는 광원(100)로부터 사출된 광속의 조도를 균일화하는 광학 인티그레이터(optical integrator), 광학 인티그레이터로부터의 노광광(EL)을 집광하는 콘덴서 렌즈(condenser lens), 릴레이 렌즈계, 노광광(EL)에 의한 레티클(R)상의 조명 영역을 슬릿 형상으로 설정하는 가변 시야 조리개 등을 갖고 있다. 여기에서, 조명 광학계(IL)는 광원(100)으로부터의 직선 편광광을, 실질적으로 광량 손실 없이, 레티클(R)[웨이퍼(W)]에 대하여 S 편광이 되는 편광광으로 변환하기 위한 S 편광 변환 소자(110)를 구비하고 있다. 이러한 S 편광 변환 소자로서는 예를 들면 일본 특허 제 3246615 호에 개시되어 있다.
- [0118] 레티클(R)상의 소정의 조명 영역은 조명 광학계(IL)에 의해 균일한 조도 분포의 노광광(EL)에 의해 조명된다.

조명 광학계(IL)로부터 사출되는 노광광(EL)으로서는, 예를 들면 수은 램프로부터 사출되는 자외 영역의 휘선(g선, h선, i선) 및 KrF 엑시머 레이저광(파장 248nm) 등의 원자외광(遠紫外光)(DUV 광)이나, ArF 엑시머 레이저광(파장 193nm) 및 F2 레이저광(파장 157nm) 등의 진공 자외광(VUV 광) 등을 사용할 수 있다. 본 실시형태에서는 ArF 엑시머 레이저광을 사용하고 있다.

[0119] 레티클 스테이지(RST)는 레티클(R)을 지지하는 것이며, 투영 광학계(PL)의 광축(AX)에 수직한 평면내, 즉 XY 평면내에서 2차원 이동 가능하고 θZ 방향으로 미소 회전 가능하다. 레티클 스테이지(RST)는 리니어 모터 등의 레티클 스테이지 구동 장치(RSTD)에 의해 구동된다. 레티클 스테이지 구동 장치(RSTD)는 제어 장치(CONT)에 의해 제어된다. 레티클 스테이지(RST)상의 레티클(R)의 2차원 방향의 위치, 및 회전각은 레이저 간섭계에 의해 실시간으로 계측되고, 계측 결과는 제어 장치(CONT)로 출력할 수 있다. 제어 장치(CONT)는 레이저 간섭계의 계측 결과에 근거하여 레티클 스테이지 구동 장치(RSTD)를 구동함으로써 레티클 스테이지(RST)에 지지되어 있는 레티클(R)의 위치 결정을 실행한다.

[0120] 투영 광학계(PL)는 레티클(R)의 패턴을 소정의 투영 배율(β)로 웨이퍼(W)로 투영 노광하는 것이며, 복수의 광학 소자(렌즈)로 구성되어 있고, 이들 광학 소자는 금속 부재로서의 경통(PK)에 의해 지지되어 있다. 본 실시형태에 있어서, 투영 광학계(PL)는 투영 배율(β)이 예를 들어 1/4 또는 1/5의 축소계이다. 또, 투영 광학계(PL)는 등배계 및 확대계중 어느 것이어도 좋다. 또한, 본 실시형태의 투영 광학계(PL)의 선단측[웨이퍼(W)측]에는, 광학 소자(렌즈)(60)가 경통(PK)으로부터 노출되어 있다. 이 광학 소자(60)는 경통(PK)에 대하여 착탈(교환) 가능하게 설치되어 있다.

[0121] 웨이퍼 스테이지(WST)는 웨이퍼(W)를 지지하는 것이며, 웨이퍼(W)를 웨이퍼 홀더를 거쳐서 유지하는 Z 스테이지(51)와, Z 스테이지(51)를 지지하는 XY 스테이지(52)와, XY 스테이지(52)를 지지하는 베이스(53)를 구비하고 있다. 웨이퍼 스테이지(WST)는 리니어 모터 등의 웨이퍼 스테이지 구동 장치(WSTD)에 의해 구동된다. 웨이퍼 스테이지 구동 장치(WSTD)는 제어 장치(CONT)에 의해 제어된다. Z 스테이지(51)를 구동함으로써, Z 스테이지(51)에 유지되어 있는 웨이퍼(W)의 Z축 방향에 있어서의 위치(초점 위치), 및 θX , θY 방향에 있어서의 위치가 제어된다. 또한, XY 스테이지(52)를 구동함으로써, 웨이퍼(W)의 XY 방향에 있어서의 위치[투영 광학계(PL)의 상면과 실질적으로 평행한 방향의 위치]가 제어된다. 즉, Z 스테이지(51)는 웨이퍼(W)의 초점 위치 및 경사각을 제어하여 웨이퍼(W)의 표면을 자동 초점 방식 및 자동 레벨링 방식으로 투영 광학계(PL)의 상면에 맞춰 넣고, XY 스테이지(52)는 웨이퍼(W)의 X축 방향 및 Y축 방향에 있어서의 위치 결정을 실행한다. 또, Z 스테이지와 XY 스테이지를 일체적으로 설치하여도 된다는 것은 말할 필요도 없다.

[0122] 웨이퍼 스테이지(WST)[Z 스테이지(51)]상에는 이동 거울(54)이 설치되어 있다. 또한, 이동 거울(54)에 대항하는 위치에는 레이저 간섭계(55)가 설치되어 있다. 웨이퍼 스테이지(WST)상의 웨이퍼(W)의 2차원 방향의 위치 및 회전각은 레이저 간섭계(55)에 의해 실시간으로 계측되고, 계측 결과는 제어 장치(CONT)로 출력할 수 있다. 제어 장치(CONT)는 레이저 간섭계(55)의 계측 결과에 근거하여 웨이퍼 스테이지 구동 장치(WSTD)를 구동함으로써 웨이퍼 스테이지(WST)에 지지되어 있는 웨이퍼(W)의 위치 결정을 실행한다.

[0123] 본 실시형태에서는, 노광 파장을 실질적으로 짧게 하여 해상도를 향상하는 동시에, 초점 심도를 실질적으로 넓게 하기 위해서, 액침법을 적용한다. 그 때문에, 적어도 레티클(R)의 패턴의 상을 웨이퍼(W)상으로 전사하고 있는 중에는, 웨이퍼(W)의 표면과 투영 광학계(PL)의 웨이퍼(W)측의 광학 소자(렌즈)(60)의 선단면(하면)(7) 사이에 소정의 액체(50)가 충전된다. 상술한 바와 같이, 투영 광학계(PL)의 선단측에는 렌즈(60)가 노출되어 있고, 액체(50)는 렌즈(60)에만 접촉하도록 구성되어 있다. 이로써, 금속으로 이루어지는 경통(PK)의 부식 등이 방지되고 있다. 또한, 렌즈(60)의 선단면(7)은 투영 광학계(PL)의 경통(PK) 및 웨이퍼(W)보다 충분히 작고, 또한 상술한 바와 같이 액체(50)는 렌즈(60)에만 접촉하도록 구성되어 있기 때문에, 액체(50)는 투영 광학계(PL)의 상면측에 국소적으로 충전되어 있는 구성으로 되어 있다. 즉, 투영 광학계(PL)와 웨이퍼(W) 사이의 액침 부분은 웨이퍼(W)보다 충분히 작다. 본 실시형태에 있어서, 액체(50)에는 순수한 물을 사용할 수 있다. 순수한 물은 ArF 엑시머 레이저광뿐만 아니라, 노광광(EL)을 예를 들면 수은 램프로부터 사출되는 자외 영역의 휘선(g선, h선, i선) 및 KrF 엑시머 레이저광(파장(248)nm) 등의 원자외광(DUV 광)으로 한 경우, 이 노광광(EL)을 투과 가능하다.

[0124] 노광 장치(EX)는 투영 광학계(PL)의 선단면[렌즈(60)의 선단면(7)]과 웨이퍼(W) 사이의 공간(56)에 소정의 액체(50)를 공급하는 액체 공급 장치(1)와, 공간(56)의 액체(50), 즉 웨이퍼(W)상의 액체(50)를 회수하는 제 2 회수 장치로서의 액체 회수 장치(2)를 구비하고 있다. 액체 공급 장치(1)는 투영 광학계(PL)의 상면측을 국소적으로 액체(50)로 충전하기 위한 것이고, 액체(50)를 수용하는 탱크, 가압 펌프, 및 공간(56)에 공급하는 액체(50)의

온도를 조정하는 온도 조정 장치 등을 구비하고 있다. 액체 공급 장치(1)에는 공급관(3)의 일단부가 접속되고, 공급관(3)의 타단부에는 공급 노즐(4)이 접속되어 있다. 액체 공급 장치(1)는 공급관(3) 및 공급 노즐(4)을 통해 공간(56)에 액체(50)를 공급한다.

[0125] 액체 회수 장치(2)는 흡인 펌프, 회수한 액체(50)를 수용하는 탱크 등을 구비하고 있다. 액체 회수 장치(2)에는 회수관(6)의 일단부가 접속되고, 회수관(6)의 타단부에는 회수 노즐(5)이 접속되어 있다. 액체 회수 장치(2)는 회수 노즐(5) 및 회수관(6)을 통해 공간(56)의 액체(50)를 회수한다. 공간(56)에 액체(50)를 충전할 때, 제어 장치(CONT)는 액체 공급 장치(1)를 구동하여, 공급관(3) 및 공급 노즐(4)을 통해 공간(56)에 대하여 단위 시간당 소정량의 액체(50)를 공급하는 동시에, 액체 회수 장치(2)를 구동하여, 회수 노즐(5) 및 회수관(6)을 통해 단위 시간당 소정량의 액체(50)를 공간(56)으로부터 회수한다. 이로써 투영 광학계(PL)의 선단면(7)과 웨이퍼(W) 사이의 공간(56)에 액체(50)가 배치되어, 액침 부분이 형성된다. 여기에서, 제어 장치(CONT)는 액체 공급 장치(1)를 제어함으로써 공간(56)에 대한 단위 시간당 액체 공급량을 임의로 설정 가능한 동시에, 액체 회수 장치(2)를 제어함으로써 웨이퍼(W)상으로부터의 단위 시간당 액체 회수량을 임의로 설정 가능하다.

[0126] 도 2는 본 실시형태에 있어서 웨이퍼상에 형성되는 원호형상의 실효 노광 영역과 광축의 위치 관계를 도시한 도면이다. 본 실시형태에서는, 도 2에 도시하는 바와 같이, 수차가 양호하게 보정된 영역, 즉 수차 보정 영역(AR)이 광축(Ax)을 중심으로 한 외경(반경)(R_o)의 원과, 내경(반경)(R_i)의 원과, 거리(H)만큼 이격된 X 방향에 평행한 2개의 선분에 의해 원호형상으로 규정되어 있다. 그리고, 실효 노광 영역(유효 결상 영역)(ER)은 원호형상의 수차 보정 영역(AR)에 거의 내접하도록, 곡률 반경의 크기가 R이고 X 방향으로 이격된 2개의 원호와, 거리(H)만큼 이격된 X 방향에 평행한 길이(D)의 2개의 선분에 의해 원호형상으로 설정되어 있다.

[0127] 이렇게 해서, 투영 광학계(PL)가 갖는 모든 유효 결상 영역(ER)은 광축(Ax)으로부터 벗어난 영역에 존재하고 있다. 그리고, 원호형상의 실효 노광 영역(ER)의 Y 방향을 따른 치수는 H이며, X 방향을 따른 치수는 D이다. 따라서, 도시를 생략했지만, 레티클(R)상에는 원호형상의 실효 노광 영역(ER)에 광학적으로 대응한 크기 및 형상을 갖는 원호형상의 조명 영역(즉 실효 조명 영역)이 광축(Ax)을 포함하는 일없이 형성되어 있게 된다.

[0128] 또한, 본 실시형태의 노광 장치에서는, 투영 광학계(PL)를 구성하는 광학 부재중 가장 레티클측에 배치된 광학 부재[제 1 및 제 2 실시예에서는 렌즈(L11), 제 3 및 제 5 실시예에서는 렌즈(L1), 제 4 및 제 6 실시예에서는 렌즈(L21), 제 7 실시예에서는 렌즈(L51)]와 경계 렌즈(Lb)[제 1 및 제 2 실시예에서는 렌즈(L217), 제 3 실시예에서는 렌즈(L18), 제 4 실시예에서는 렌즈(L36), 제 5 실시예에서는 렌즈(L20), 제 6 실시예에서는 렌즈(L41), 제 7 실시예에서는 렌즈(L70)] 사이에서 투영 광학계(PL)의 내부가 기밀 상태를 유지하도록 구성되고, 투영 광학계(PL)의 내부의 기체는 헬륨 가스나 질소 등의 불활성 가스로 치환되어 있거나, 또는 거의 진공 상태로 유지되어 있다. 더욱이, 조명 광학계(IL)와 투영 광학계(PL) 사이의 좁은 광로에는, 레티클(R) 및 레티클 스테이지(RS) 등이 배치되어 있지만, 레티클(R) 및 레티클 스테이지(RS) 등을 밀봉 포위하는 케이싱(도시하지 않음)의 내부에 질소나 헬륨 가스 등의 불활성 가스가 충전되어 있거나, 또는 거의 진공 상태로 유지되어 있다.

[0129] 도 3은 본 실시형태의 제 1 실시예에 있어서의 경계 렌즈와 웨이퍼 사이의 구성을 개략적으로 도시한 도면이다. 도 3을 참조하면, 제 1 실시예에서는, 경계 렌즈(Lb)는 레티클측(제 1 면측)을 향해서 볼록면을 갖는다. 바꾸어 말하면, 경계 렌즈(Lb)의 레티클측의 면(Sb)은 정의 굴절력을 갖는다. 그리고, 경계 렌즈(Lb)와 웨이퍼(W) 사이의 광로는 1.1보다도 큰 굴절률을 갖는 매질(Lm)로 충전되어 있다. 제 1 실시예에서는 매질(Lm)로서 탈(脫) 이온수를 사용하고 있다.

[0130] 도 4는 본 실시형태의 제 2 실시예에 있어서의 경계 렌즈와 웨이퍼 사이의 구성을 개략적으로 도시한 도면이다. 도 4를 참조하면, 제 2 실시예에 있어서도 제 1 실시예와 마찬가지로, 경계 렌즈(Lb)는 레티클측을 향해서 볼록면을 갖고, 그 레티클측의 면(Sb)은 정의 굴절력을 갖는다. 그러나, 제 2 실시예에서는, 제 1 실시예와는 달리, 경계 렌즈(Lb)와 웨이퍼(W) 사이의 광로중에 평행 평면판(Lp)이 삽입 탈거 가능하게 배치되고, 경계 렌즈(Lb)와 평행 평면판(Lp) 사이의 광로 및 평행 평면판(Lp)과 웨이퍼(W) 사이의 광로는 1.1보다도 큰 굴절률을 갖는 매질(Lm)로 충전되어 있다. 제 2 실시예에 있어서도 제 1 실시예와 마찬가지로, 매질(Lm)로서 탈 이온수를 이용하고 있다.

[0131] 또, 본 실시형태에서는, 투영 광학계(PL)에 대하여 웨이퍼(W)를 상대 이동시키면서 주사 노광을 실행하는 스텝-앤드-스캔(step and scan) 방식으로 노광함에 있어서, 주사 노광의 개시로부터 종료까지 투영 광학계(PL)의 경계 렌즈(Lb)와 웨이퍼(W) 사이의 광로중에 액체 매질(Lm)을 계속해서 충전하는 구성으로 되어 있다. 또, 예를 들면 일본 특허 공개 제 1998-303114 호 공보에 개시된 기술과 같이, 액체[매질(Lm)]를 수용할 수 있도록 웨이퍼 홀더 테이블(WT)을 용기 형상으로 구성하고, 그 내측 바닥부의 중앙에 있어서(액체중에 있어서) 웨이퍼(W)를

진공 흡착에 의해 위치 결정 유지하는 구성이어도 좋다. 이 때, 투영 광학계(PL)의 경통 선단 부가 액체중에 도달하고, 나아가서는 경계 렌즈(Lb)의 웨이퍼측의 광학면이 액체중에 도달하도록 구성한다.

[0132] 이렇게, 광원(100)으로부터 기관(P)까지의 광로의 전체에 걸쳐서, 노광광이 거의 흡수되는 일이 없는 분위기가 형성되어 있다. 또한, 상술한 바와 같이, 레티클(R)상의 조명 영역 및 웨이퍼(W)상의 노광 영역[즉 실효 노광 영역(ER)]은 X 방향으로 연장되는 원호형상이다. 따라서, 레티클 스테이지 제어 장치(RSTD)나 기관 스테이지 구동 장치, 레이저 간섭계 등을 이용하여 레티클(R) 및 기관(W)의 위치 제어를 실행하면서, X 방향을 따라서 레티클 스테이지(RST)와 기관 스테이지(WS)를, 또한 레티클(R)과 기관(웨이퍼)(W)을 동기적으로 이동(주사)시킴으로써, 기관(W)상에는 실효 노광 영역(ER)의 Y 방향 치수(H)와 동일한 폭을 갖고 또한 기관(W)의 주사량(이동량)에 대응하는 길이를 갖는 노광 영역에 대하여 레티클 패턴이 주사 노광된다.

[0133] 각 실시예에 있어서, 비구면은, 광축에 수직한 방향의 높이를 y라고 하고, 비구면의 정점에 있어서의 접선 평면으로부터 높이 y에 있어서의 비구면상의 위치까지의 광축을 따른 거리(sag량)를 z라고 하고, 정점 곡률 반경을 r이라고 하고, 원추 계수를 κ라고 하며, n차 비구면 계수를 C_n이라고 했을 때, 하기의 수학적식으로 표현된다. 각 실시예에 있어서, 비구면 형상으로 형성된 렌즈면에는 면 번호의 우측에 * 표시를 붙이고 있다.

[0134] [수학적식 5]

$$Z = (y^2/r)/[1+\{1-(1+\kappa) \cdot y^2/r^2\}^{1/2}] + c_4 \cdot y^4 + c_6 \cdot y^6 + c_8 \cdot y^8 + c_{10} \cdot y^{10} + c_{12} \cdot y^{12}$$

$$+ c_{14} \cdot y^{14} + c_{16} \cdot y^{16} + c_{18} \cdot y^{18} + c_{20} \cdot y^{20}$$

[0137] 또, 제 1 및 제 2 실시예에서는, 비구면 계수 C₁₆ 내지 C₂₀의 값이 0이기 때문에, 그 기재를 생략하고 있다.

[0138] 또한, 각 실시예에 있어서, 투영 광학계(PL)는, 물체면(제 1 면)에 배치된 레티클(R)의 패턴의 중간 상을 형성하기 위한 제 1 결상 광학계(G1)와, 중간 상으로부터의 광에 근거하여 상면(제 2 면)에 배치된 웨이퍼(W)상에 레티클 패턴의 축소 상을 형성하기 위한 제 2 결상 광학계(G2)에 의해 구성되어 있다. 여기에서, 제 1 결상 광학계(G1)는 제 1 오목면 반사경(CM1)과 제 2 오목면 반사경(CM2)을 포함하는 반사 굴절 광학계이며, 제 2 결상 광학계(G2)는 굴절 광학계이다.

[0139] [제 1 실시예]

[0140] 도 5는 본 실시형태의 제 1 실시예에 따른 투영 광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면이다. 도 5를 참조하면, 제 1 실시예에 따른 투영 광학계(PL)에 있어서, 제 1 결상 광학계(G1)는, 광의 진행 방향을 따라서 레티클측으로부터 순차적으로, 웨이퍼측으로 비구면 형상의 볼록면을 향한 양쪽 볼록 렌즈(L11)와, 양쪽 볼록 렌즈(L12)와, 레티클측으로 비구면 형상의 오목면을 향한 부 메니스커스 렌즈(L13)와, 제 1 오목면 반사경(CM1)을 구비하고 있다. 또한, 제 1 결상 광학계(G1)에서는, 제 1 오목면 반사경(CM1)에 의해 반사되고 또한 부 메니스커스 렌즈(L13)를 통과한 광을 제 2 결상 광학계(G2)를 향해서 반사하기 위한 제 2 오목면 반사경(CM2)의 반사면이 양쪽 볼록 렌즈(L12)와 부 메니스커스 렌즈(L13) 사이에 있어서 광축(AX)을 포함하지 않는 영역에 배치되어 있다. 따라서, 양쪽 볼록 렌즈(L11) 및 양쪽 볼록 렌즈(L12)가 정의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈 그룹을 구성하고 있다. 또한, 제 1 오목면 반사경(CM1)이 제 1 결상 광학계(G1)의 수정체면의 근방에 배치된 오목면 반사경을 구성하고 있다.

[0141] 한편, 제 2 결상 광학계(G2)는, 광의 진행 방향을 따라서 레티클측으로부터 순차적으로, 레티클측으로 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L21)와, 양쪽 볼록 렌즈(L22)와, 웨이퍼측으로 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L23)와, 레티클측으로 비구면 형상의 볼록면을 향한 부 메니스커스 렌즈(L24)와, 레티클측으로 볼록면을 향한 부 메니스커스 렌즈(L25)와, 레티클측으로 비구면 형상의 오목면을 향한 양쪽 오목 렌즈(L26)와, 레티클측으로 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L27)와, 레티클측으로 비구면 형상의 볼록면을 향한 부 메니스커스 렌즈(L28)와, 양쪽 볼록 렌즈(L29)와, 양쪽 볼록 렌즈(L210)와, 레티클측으로 볼록면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L211)와, 개구 조리개(AS)와, 레티클측으로 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L212)와, 양쪽 볼록 렌즈(L213)와, 웨이퍼측으로 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L214)와, 레티클측으로 볼록면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L215)와, 웨이퍼측으로 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L216)와, 웨이퍼측으로 평면을 향한 평볼록 렌즈(L217)[경계 렌즈(Lb)]에 의해 구성되어 있다.

[0142] 제 1 실시예에서는, 투영 광학계(PL)를 구성하는 모든 투과 부재(렌즈) 및 파워를 갖는 모든 반사 부재[제 1 오목면 반사경(CM1), 제 2 오목면 반사경(CM2)]는 단일의 광축(AX)을 따라 배치되어 있다. 즉, 제 2 결상 광학계

(G2)를 구성하는 투과 부재중, 100%의 투과 부재가 석영으로 형성되어 있다. 그리고, 경계 렌즈(Lb)로서의 펄 블록 렌즈(L217)와 웨이퍼(W) 사이의 광로에는, 탈 이온수로 이루어지는 매질(Lm)이 충전되어 있다. 제 1 실시예에서는, 레티클(R)로부터의 광이 렌즈(L11 내지 L13)를 거쳐서 제 1 오목면 반사경(CM1)에 입사한다. 제 1 오목면 반사경(CM1)에 의해 반사된 광은 렌즈(L13) 및 제 2 오목면 반사경(CM2)을 거쳐서 제 1 오목면 반사경(CM1)의 근방에 레티클(R)의 중간 상을 형성한다. 제 2 오목면 반사경(CM2)에 의해 반사된 광은 렌즈(L21 내지 L217)(Lb)를 거쳐서 웨이퍼(W)상에 레티클(R)의 축소 상을 형성한다.

[0143] 제 1 실시예에서는, 투영 광학계(PL)를 구성하는 모든 투과 부재(렌즈)가 석영(SiO₂)으로 형성되어 있다. 노광 광인 ArF 엑시머 레이저광의 발진 중심 파장은 193.306nm이며, 193.306nm 부근에 있어서 석영의 굴절률은 +1pm의 파장 변화당 -1.591×10^{-6} 의 비율로 변화되고, -1pm의 파장 변화당 $+1.591 \times 10^{-6}$ 의 비율로 변화된다. 바꾸어 말하면, 193.306nm 부근에 있어서, 석영의 굴절률의 분산(dn/dλ)은 $-1.591 \times 10^{-6}/\text{pm}$ 이다. 또한, 193.306nm 부근에 있어서 탈 이온수의 굴절률은 +1pm의 파장 변화당 -2.6×10^{-6} 의 비율로 변화되고, -1pm의 파장 변화당 $+2.6 \times 10^{-6}$ 의 비율로 변화된다. 바꾸어 말하면, 193.306nm 부근에 있어서, 탈 이온수의 굴절률의 분산(dn/dλ)은 $-2.6 \times 10^{-6}/\text{pm}$ 이다.

[0144] 이렇게 해서, 제 1 실시예에 있어서, 중심 파장 193.306nm에 대한 석영의 굴절률은 1.5603261이며, 193.306nm +0.1pm=193.3061nm에 대한 석영의 굴절률은 1.560325941이며, 193.306nm-0.1pm=193.3059nm에 대한 석영의 굴절률은 1.560326259이다. 또한, 중심 파장 193.306nm에 대한 탈 이온수의 굴절률은 1.47이며, 193.306nm +0.1pm=193.3061nm에 대한 탈 이온수의 굴절률은 1.46999974이며, 193.306nm-0.1pm=193.3059nm에 대한 탈 이온수의 굴절률은 1.47000026이다.

[0145] 하기의 표 1에는 제 1 실시예에 따른 투영 광학계(PL)의 제원의 값을 나타낸다. 표 1에 있어서, λ는 노광광의 중심 파장을 나타내고, β는 투영 배율(전계의 결상 배율)을 나타내고, NA는 상측(웨이퍼측) 개구수를, R_o 및 R_i는 수차 보정 영역(AR)의 외부 반경 및 내부 반경을 나타내고, H 및 D는 실효 노광 영역(ER)의 Y 방향 치수 및 X 방향 치수를 나타내고, R은 원호형상의 실효 노광 영역(ER)(유효 결상 영역)을 규정하는 원호의 곡률 반경의 크기를 나타내고, Y₀은 최대 상 높이를 나타내고 있다. 또한, 면 번호는 물체면(제 1 면)인 레티클면으로부터 상면(제 2 면)인 웨이퍼면으로의 광선의 진행 방향을 따른 레티클측으로부터의 면의 순서를 나타내고, r은 각 면의 곡률 반경(비구면의 경우에는 정점 곡률 반경 : mm)을 나타내고, d는 각 면의 축상 간격, 즉 면 간격(mm)을 나타내고, n은 중심 파장에 대한 굴절률을 나타내고 있다.

[0146] 또, 면 간격(d)은 반사될 때마다 그 부호를 변경하는 것으로 한다. 따라서, 면 간격(d)의 부호는 제 1 오목면 반사경(CM1)으로부터 제 2 오목면 반사경(CM2)까지의 광로중에서는 "부(負)"로 하고, 그 밖의 광로중에서는 "정(正)"으로 하고 있다. 그리고, 광의 입사 방향에 관계없이, 레티클측을 향해서 블록면의 곡률 반경을 정으로 하고, 오목면(오목 렌즈)의 곡률 반경을 부로 하고 있다. 또, 표 1에 있어서의 표기는 하기의 표 2에 있어서도 동일하다.

[0147] [표 1]

(주요 제원)

$$\lambda = 193.306 \text{ nm}$$

$$\beta = +1/4$$

$$NA = 1.04$$

$$R_o = 17.0 \text{ mm}$$

$$R_i = 11.5 \text{ mm}$$

$$H = 26.0 \text{ mm}$$

$$D = 4.0 \text{ mm}$$

$$R = 20.86 \text{ mm}$$

$$Y_0 = 17.0 \text{ mm}$$

(광학 부재 제원)

면 번호	r	d	n	광학 부재
	(레티클면)	70.25543		
1	444.28100	45.45677	1.5603261	(L 1 1)
2*	-192.24078	1.00000		
3	471.20391	35.53423	1.5603261	(L 1 2)
4	-254.24538	122.19951		
5*	-159.65514	13.00000	1.5603261	(L 1 3)
6	-562.86259	9.00564		
7	-206.23868	-9.00564		(CM 1)
8	-562.86259	-13.00000	1.5603261	(L 1 3)
9*	-159.65514	-107.19951		

[0148]

10	3162.83419	144.20515		(C M 2)
11	-389.01215	43.15699	1.5603261	(L 2 1)
12	-198.92113	1.00000		
13	3915.27567	42.01089	1.5603261	(L 2 2)
14	-432.52137	1.00000		
15	203.16777	62.58039	1.5603261	(L 2 3)
16*	515.92133	18.52516		
17*	356.67027	20.00000	1.5603261	(L 2 4)
18	269.51733	285.26014		
19	665.61079	35.16606	1.5603261	(L 2 5)
20	240.55938	32.43496		
21*	-307.83344	15.00000	1.5603261	(L 2 6)
22	258.17867	58.24284		
23	-1143.34122	51.43638	1.5603261	(L 2 7)
24	-236.25969	6.67292		
25*	1067.55487	15.00000	1.5603261	(L 2 8)
26	504.02619	18.88857		
27	4056.97655	54.00381	1.5603261	(L 2 9)
28	-283.04360	1.00000		
29	772.31002	28.96307	1.5603261	(L 2 1 0)
30	-8599.87899	1.00000		
31	667.92225	52.94747	1.5603261	(L 2 1 1)
32	36408.68946	2.30202		
33	∞	42.27703		(A S)
34	-2053.34123	30.00000	1.5603261	(L 2 1 2)
35	-514.67146	1.00000		

[0149]

36	1530.45141	39.99974	1.5603261	(L 2 1 3)
37	-540.23726	1.00000		
38	370.56341	36.15464	1.5603261	(L 2 1 4)
39*	12719.40982	1.00000		
40	118.92655	41.83608	1.5603261	(L 2 1 5)
41	190.40194	1.00000		
42	151.52892	52.42553	1.5603261	(L 2 1 6)
43*	108.67474	1.12668		
44	91.54078	35.50067	1.5603261	(L 2 1 7 :
L b)				
45	∞	6.00000	1.47	(L m)

(웨이퍼면)

(비구면 데이터)

2면

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -8.63025 \times 10^{-9} \quad C_6 = 2.90424 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 5.43348 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 1.65523 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = 8.78237 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 6.53360 \times 10^{-30}$$

5면 및 9면(동일면)

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = 7.66590 \times 10^{-9} \quad C_6 = 6.09920 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = -6.53660 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 2.44925 \times 10$$

-20

$$C_{12} = -3.14967 \times 10^{-24} \quad C_{14} = 2.21672 \times 10$$

-28

[0150]

16면

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -3.79715 \times 10^{-8} \quad C_6 = 2.19518 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -9.40364 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 3.33573 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -7.42012 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 1.05652 \times 10^{-30}$$

17면

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -6.69596 \times 10^{-8} \quad C_6 = 1.67561 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -6.18763 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 2.65428 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -4.09555 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 3.25841 \times 10^{-31}$$

21면

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -8.68772 \times 10^{-8} \quad C_6 = -1.30306 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -2.65902 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -6.56830 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = 3.66980 \times 10^{-25} \quad C_{14} = -5.05595 \times 10^{-29}$$

25면

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -1.54049 \times 10^{-8} \quad C_6 = 7.71505 \times 10^{-14}$$

$$C_8 = 1.75760 \times 10^{-18} \quad C_{10} = 1.71383 \times 10^{-23}$$

$$C_{12} = 5.04584 \times 10^{-29} \quad C_{14} = 2.08622 \times 10^{-32}$$

[0151]

39면

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -3.91974 \times 10^{-11} \quad C_6 = 5.90682 \times 10^{-14}$$

$$C_8 = 2.85949 \times 10^{-18} \quad C_{10} = -1.01828 \times 10^{-22}$$

$$C_{12} = 2.26543 \times 10^{-27} \quad C_{14} = -1.90645 \times 10^{-32}$$

43면

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = 8.33324 \times 10^{-8} \quad C_6 = 1.42277 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -1.13452 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 1.18459 \times 10^{-18}$$

$$C_{12} = -2.83937 \times 10^{-22} \quad C_{14} = 5.01735 \times 10^{-26}$$

(조건식 대응값)

$$F1 = 164.15 \text{ mm}$$

$$Y_0 = 17.0 \text{ mm}$$

$$R = 20.86 \text{ mm}$$

$$(1) F1/Y_0 = 9.66$$

$$(2) R/Y_0 = 1.227$$

[0152]

[0153]

도 6은 제 1 실시예에 있어서의 횡수차를 도시한 도면이다. 수차도에 있어서, Y는 상 높이를 나타내고, 실선은 중심 파장 193.3060nm를 나타내고, 파선은 193.306nm+0.1pm=193.3061nm를 나타내고, 일점쇄선은 193.306nm-0.1pm=193.3059nm를 나타내고 있다. 또, 도 6에 있어서의 표기는 하기의 도 8에 있어서도 동일하다. 도 6의 수차도로부터 명확한 바와 같이, 제 1 실시예에서는, 매우 큰 상측 개구수(NA=1.04) 및 비교적 큰 실효 노광 영역(ER)을 확보하고 있음에도 불구하고, 파장 폭이 193.306nm±0.1pm의 노광광에 대하여 색수차가 양호하게 보정되고 있는 것을 알 수 있다.

[0154]

[제 2 실시예]

[0155]

도 7은 본 실시형태의 제 2 실시예에 따른 투영 광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면이다. 도 7을 참조하면, 제 2 실시예에 따른 투영 광학계(PL)에 있어서, 제 1 결상 광학계(G1)는, 광의 진행 방향을 따라서 레티클측으로부터 순차적으로, 웨이퍼측으로 비구면 형상의 볼록면을 향한 양쪽 볼록 렌즈(L11)와, 양쪽 볼록 렌즈(L12)와, 레티클측으로 비구면 형상의 오목면을 향한 부 메니스커스 렌즈(L13)와, 제 1 오목면 반사경(CM1)을 구비하고 있다. 또한, 제 1 결상 광학계(G1)에서는, 제 1 오목면 반사경(CM1)에 의해 반사되고 또한 부 메니스커스 렌즈(L13)를 통과한 광을 제 2 결상 광학계(G2)를 향해서 반사하기 위한 제 2 오목면 반사경(CM2)의 반사면이 양쪽 볼록 렌즈(L12)와 부 메니스커스 렌즈(L13) 사이에 있어서 광축(AX)을 포함하지 않는 영역에 배치되어 있다. 따라서, 양쪽 볼록 렌즈(L11) 및 양쪽 볼록 렌즈(L12)가 정의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈 그룹을 구성하고 있다. 또한, 제 1 오목면 반사경(CM1)이 제 1 결상 광학계(G1)의 수정체면의 근방에 배치된 오목면 반사경을 구성하고 있다.

[0156]

한편, 제 2 결상 광학계(G2)는, 광의 진행 방향을 따라서 레티클측으로부터 순차적으로, 레티클측으로 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L21)와, 양쪽 볼록 렌즈(L22)와, 웨이퍼측으로 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L23)와, 레티클측으로 비구면 형상의 볼록면을 향한 부 메니스커스 렌즈(L24)와, 레티클측으로 볼록면을 향한 부 메니스커스 렌즈(L25)와, 레티클측으로 비구면 형상의 오목면을 향한 양쪽 오목 렌즈(L26)와, 레티클측으로 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L27)와, 레티클측으로 비구면 형상의 볼록면을 향한 부 메니스커스 렌즈(L28)와, 양쪽 볼록 렌즈(L29)와, 양볼록 렌즈(L210)와, 레티클측으로 볼록면을 향한 정 메니스커스

렌즈(L211)와, 개구 조리개(AS)와, 레티클측으로 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L212)와, 양쪽 볼록 렌즈(L213)와, 웨이퍼측으로 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L214)와, 레티클에 볼록면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L215)와, 웨이퍼측으로 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L216)와, 웨이퍼측으로 평면을 향한 평볼록 렌즈(L217)[경계 렌즈(Lb)]에 의해 구성되어 있다.

[0157] 제 2 실시예에서는, 경계 렌즈(Lb)로서의 평볼록 렌즈(L217)와 웨이퍼(W) 사이의 광로중에 평행 평면판(Lp)이 배치되어 있다. 그리고, 경계 렌즈(Lb)와 평행 평면판(Lp) 사이의 광로 및 평행 평면판(Lp)과 웨이퍼(W) 사이의 광로에는, 탈 이온수로 이루어지는 매질(Lm)이 충전되어 있다. 또한, 제 2 실시예에서는, 투영 광학계(PL)를 구성하는 투과 부재(렌즈)가 석영 또는 형석(CaF₂)으로 형성되어 있다. 구체적으로는, 렌즈(L13), 렌즈(L216) 및 렌즈(L217)(Lb)가 형석으로 형성되고, 그 밖의 렌즈 및 평행 평면판(Lp)이 석영으로 형성되어 있다. 즉, 제 2 결상 광학계(G2)를 구성하는 투과 부재중 약 88%의 투과 부재가 석영으로 형성되어 있다.

[0158] 더욱이, 제 2 실시예에서는, 투영 광학계(PL)를 구성하는 모든 투과 부재(렌즈, 평행 평면판) 및 파워를 갖는 모든 반사 부재[제 1 오목면 반사경(CM1), 제 2 오목면 반사경(CM2)]는 단일의 광축(AX)을 따라 배치되어 있다. 이렇게 해서, 제 2 실시예에서는, 레티클(R)로부터의 광이 렌즈(L11 내지 L13)를 거쳐서 제 1 오목면 반사경(CM1)에 입사한다. 제 1 오목면 반사경(CM1)에 의해 반사된 광은 렌즈(L13) 및 제 2 오목면 반사경(CM2)을 거쳐서 제 1 오목면 반사경(CM1)의 근방에 레티클(R)의 중간 상을 형성한다. 제 2 오목면 반사경(CM2)에 의해 반사된 광은 렌즈(L21 내지 L217)(Lb) 및 평행 평면판(Lp)을 거쳐서 웨이퍼(W)상에 레티클(R)의 축소 상을 형성한다.

[0159] 제 2 실시예에서는, 노광광인 ArF 엑시머 레이저광의 발진 중심 파장은 193.306nm이며, 193.306nm 부근에 있어서 석영의 굴절률은 +1pm의 파장 변화당 -1.591×10^{-6} 의 비율로 변화되고, -1pm의 파장 변화당 $+1.591 \times 10^{-6}$ 의 비율로 변화된다. 바꾸어 말하면, 193.306nm 부근에 있어서, 석영의 굴절률의 분산(dn/dλ)은 $-1.591 \times 10^{-6}/\text{pm}$ 이다. 또한, 193.306nm 부근에 있어서 형석의 굴절률은 +1pm의 파장 변화당 -0.980×10^{-6} 의 비율로 변화되고, -1pm의 파장 변화당 $+0.980 \times 10^{-6}$ 의 비율로 변화된다. 바꾸어 말하면, 193.306nm 부근에 있어서, 형석의 굴절률의 분산(dn/dλ)은 $-0.980 \times 10^{-6}/\text{pm}$ 이다.

[0160] 더욱이, 193.306nm 부근에 있어서 탈 이온수의 굴절률은 +1pm의 파장 변화당 -2.6×10^{-6} 의 비율로 변화되고, -1pm의 파장 변화당 $+2.6 \times 10^{-6}$ 의 비율로 변화된다. 바꾸어 말하면, 193.306nm 부근에 있어서, 탈 이온수의 굴절률의 분산(dn/dλ)은 $-2.6 \times 10^{-6}/\text{pm}$ 이다. 이렇게 해서, 제 2 실시예에 있어서, 중심 파장 193.306nm에 대한 석영의 굴절률은 1.5603261이며, 193.306nm+0.1pm=193.3061nm에 대한 석영의 굴절률은 1.560325941이며, 193.306nm-0.1pm=193.3059nm에 대한 석영의 굴절률은 1.560326259이다.

[0161] 또한, 중심 파장 193.306nm에 대한 형석의 굴절률은 1.5014548이며, 193.306nm+0.1pm=193.3061nm에 대한 형석의 굴절률은 1.501454702이며, 193.306nm-0.1pm=193.3059nm에 대한 형석의 굴절률은 1.501454898이다. 더욱이, 중심 파장 193.306nm에 대한 탈 이온수의 굴절률은 1.47이며, 193.306nm+0.1pm=193.3061nm에 대한 탈 이온수의 굴절률은 1.46999974이며, 193.306nm-0.1pm=193.3059nm에 대한 탈 이온수의 굴절률은 1.47000026이다. 하기의 표 2에는 제 2 실시예에 따른 투영 광학계(PL)의 제원의 값을 나타낸다.

[0162] [표 2]

(주요 제원)

$$\lambda = 193.306 \text{ nm}$$

$$\beta = +1/4$$

$$NA = 1.04$$

$$R_o = 17.0 \text{ mm}$$

$$R_i = 11.5 \text{ mm}$$

$$H = 26.0 \text{ mm}$$

$$D = 4.0 \text{ mm}$$

$$R = 20.86 \text{ mm}$$

$$Y_o = 17.0 \text{ mm}$$

[0163]

(광학 부재 제원)

면 번호	r	d	n	광학 부재
	(레티클면)	72.14497		
1	295.66131	46.03088	1.5603261	(L 1 1)
2*	-228.07826	1.02581		
3	847.63618	40.34103	1.5603261	(L 1 2)
4	-207.90948	124.65407		
5*	-154.57886	13.00000	1.5014548	(L 1 3)
6	-667.19164	9.58580		
7	-209.52775	-9.58580		(CM 1)
8	-667.19164	-13.00000	1.5014548	(L 1 3)
9*	-154.57886	-109.65407		
10	2517.52751	147.23986		(CM 2)
11	-357.71318	41.75496	1.5603261	(L 2 1)
12	-196.81705	1.00000		
13	8379.53651	40.00000	1.5603261	(L 2 2)
14	-454.81020	8.23083		
15	206.30063	58.07852	1.5603261	(L 2 3)
16*	367.14898	24.95516		
17*	258.66863	20.00000	1.5603261	(L 2 4)
18	272.27694	274.16477		
19	671.42370	49.62123	1.5603261	(L 2 5)
20	225.79907	35.51978		
21*	-283.63484	15.10751	1.5603261	(L 2 6)
22	261.37852	56.71822		
23	-1947.68869	54.63076	1.5603261	(L 2 7)

[0164]

24	-227.05849	5.77639		
25*	788.97953	15.54026	1.5603261	(L 2 8)
26	460.12935	18.83954		
27	1925.75038	56.54051	1.5603261	(L 2 9)
28	-295.06884	1.00000		
29	861.21046	52.50515	1.5603261	(L 2 1 0)
30	-34592.86759	1.00000		
31	614.86639	37.34179	1.5603261	(L 2 1 1)
32	39181.66426	1.00000		
33	∞	46.27520		(A S)
34	-11881.91854	30.00000	1.5603261	(L 2 1 2)
35	-631.95129	1.00000		
36	1465.88641	39.89113	1.5603261	(L 2 1 3)
37	-542.10144	1.00000		
38	336.45791	34.80369	1.5603261	(L 2 1 4)
39*	2692.15238	1.00000		
40	112.42843	43.53915	1.5603261	(L 2 1 5)
41	189.75478	1.00000		
42	149.91358	42.41577	1.5014548	(L 2 1 6)
43*	107.28888	1.06533		
44	90.28791	31.06087	1.5014548	(L 2 1 7 :
	L b)			
45	∞	1.00000	1.47	(L m)
46	∞	3.00000	1.5603261	(L p)
47	∞	5.00000	1.47	(L m)

(웨이퍼면)

[0165]

(비구면 데이터)

2면

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = 9.57585 \times 10^{-9} \quad C_6 = 7.09690 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 1.30845 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -5.52152 \times 10^{-22}$$

$$C_{12} = 4.46914 \times 10^{-25} \quad C_{14} = -2.07483 \times 10^{-29}$$

5면 및 9면(동일면)

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = 1.16631 \times 10^{-8} \quad C_6 = 6.70616 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = -1.87976 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 1.71587 \times 10^{-20}$$

$$C_{12} = -2.34827 \times 10^{-24} \quad C_{14} = 1.90285 \times 10^{-28}$$

16면

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -4.06017 \times 10^{-8} \quad C_6 = 2.22513 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -9.05000 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 3.29839 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -7.46596 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 1.06948 \times 10^{-30}$$

17면

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -6.69592 \times 10^{-8} \quad C_6 = 1.42455 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -5.65516 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 2.48078 \times 10^{-21}$$

[0166]

$$C_{12} = -2.91653 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 1.53981 \times 10^{-31}$$

21면

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -7.97186 \times 10^{-8} \quad C_6 = -1.32969 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -1.98377 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -4.95016 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = 2.53886 \times 10^{-25} \quad C_{14} = -4.16817 \times 10^{-29}$$

25면

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -1.55844 \times 10^{-8} \quad C_6 = 7.27672 \times 10^{-14}$$

$$C_8 = 1.90600 \times 10^{-18} \quad C_{10} = 1.21465 \times 10^{-23}$$

$$C_{12} = -7.56829 \times 10^{-29} \quad C_{14} = 1.86889 \times 10^{-32}$$

39면

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -6.91993 \times 10^{-11} \quad C_6 = 7.80595 \times 10^{-14}$$

$$C_8 = 3.31216 \times 10^{-18} \quad C_{10} = -1.39159 \times 10^{-22}$$

$$C_{12} = 3.69991 \times 10^{-27} \quad C_{14} = -4.01347 \times 10^{-32}$$

[0167]

43면

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = 8.30019 \times 10^{-8} \quad C_6 = 1.24781 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -9.26768 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 1.08933 \times 10^{-18}$$

$$C_{12} = -3.01514 \times 10^{-22} \quad C_{14} = 5.41882 \times 10^{-26}$$

(조건식 대응값)

$$F_1 = 178.98 \text{ mm}$$

$$Y_0 = 17.0 \text{ mm}$$

$$R = 20.86 \text{ mm}$$

$$(1) F_1 / Y_0 = 10.53$$

$$(2) R / Y_0 = 1.227$$

[0168]

[0169]

도 8은 제 2 실시예에 있어서의 횡수차를 도시한 도면이다. 도 8의 수차도로부터 명확한 바와 같이, 제 2 실시예에 있어서도 제 1 실시예와 마찬가지로, 매우 큰 상측 개구수(NA=1.04) 및 비교적 큰 실효 노광 영역(ER)을 확보하고 있음에도 불구하고, 파장 폭이 $193.306\text{nm} \pm 0.1\text{pm}$ 의 노광광에 대하여 색수차가 양호하게 보정되어 있는 것을 알 수 있다.

[0170]

이렇게 해서, 각 실시예에서는, 파장이 193.306nm 의 ArF 엑시머 레이저광에 대하여, 1.04의 높은 상측 개구수를

확보하는 동시에, 26.0mm×4.0mm의 원호형상의 실효 노광 영역(정지 노광 영역)을 확보할 수 있고, 예를 들면 26mm×33mm의 장방형 형상의 노광 영역내에 회로 패턴을 고해상도로 주사 노광할 수 있다.

- [0171] 다음에, 본 발명의 제 3 실시형태에 대해서 설명한다. 도 9는 본 발명의 제 3 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면이다. 제 3 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1)는, 물체측[즉 레티클(R1)측]으로부터 순차적으로, 제 1 면에 위치하는 레티클(R1)의 중간 상을 형성하는 제 1 결상 광학계(G1)와, 레티클(R1)의 중간 상을 제 2 면에 위치하는 웨이퍼(도시하지 않음)상에 형성하는 제 2 결상 광학계(G2)로 구성되어 있다.
- [0172] 제 1 결상 광학계(G1)는 정의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(제 4 렌즈 그룹 또는 제 1 그룹)(G11), 후술하는 렌즈(L5) 및 2매의 반사 미러(M1, M2)에 의해 구성되어 있다. 렌즈 그룹(G11)은 레티클(R1)측을 텔레센트릭으로 하도록 기능한다. 또한, 제 2 결상 광학계(G2)는, 후술하는 2매의 반사 미러(M3, M4), 부의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(제 1 렌즈 그룹 또는 제 3 그룹)(G21), 정의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(제 2 렌즈 그룹)(G22), 개구 조리개(AS1), 정의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(제 3 렌즈 그룹)(G23)에 의해 구성되어 있다. 렌즈 그룹(G21)은 배율 조정을 실행하는 동시에, 반사 미러(M3)에 의해 넓혀진 광속의 화각의 차이에 의한 편차를 완화함으로써, 수차의 발생을 억제한다. 또한, 렌즈 그룹(G22)은 발산하는 광속을 수렴시킨다. 또한, 렌즈 그룹(G23)은 웨이퍼측이 큰 개구수를 갖도록 광속의 집광을 실행한다.
- [0173] 여기에서, 렌즈 그룹(G11)은, 물체측[레티클(R1)측]으로부터의 광선이 통과하는 순서로, 평행 평면판(L1), 물체측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 부 메니스커스 렌즈(L2), 양쪽 볼록 렌즈(L3), 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L4)에 의해 구성되어 있다.
- [0174] 정 메니스커스 렌즈(L4)를 통과한 광속은, 물체측으로 오목면을 향한 부 메니스커스 렌즈(부 렌즈)(L5)를 통과하여, 물체측으로 오목면을 향한 오목면 반사 미러(오목면 미러 또는 제 1 반사 미러)(M1)에 의해 반사되고, 다시 부 메니스커스 렌즈(L5)를 통과하여, 웨이퍼측으로 볼록면을 향한 볼록면 반사 미러(광로 분리 미러 또는 제 2 반사 미러)(M2)에 의해 반사된다. 부 메니스커스 렌즈(L5)는 페즈발 조건을 만족하도록 기능한다.
- [0175] 볼록면 반사 미러(M2)에 의해 반사된 광속은, 레티클(R1)측을 향하는 광속과 웨이퍼측을 향하는 광속의 광로 분리를 확실하게 실행하기 때문에, 도 9에 도시하는 위치(a)에 레티클(R1)의 중간 상을 형성한다. 여기에서, 위치(a)는 오목면 반사 미러(M1)가 배치되어 있는 광축(AX1)을 법선으로 하는 평면상에 또는 그 근방에 위치한다.
- [0176] 다음에, 볼록면 반사 미러(M2)에 의해 반사된 광속은, 물체측으로 오목면을 향한 오목면 반사 미러(제 1 필드 미러 또는 제 3 반사 미러)(M3)에 입사하고, 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 광축(AX1)을 향하는 방향으로 절곡되어서, 오목면 반사 미러(M3)에 의해 사출된다. 오목면 반사 미러(M3)에 의해 사출된 광속은 급속하게 수렴되고, 웨이퍼측으로 볼록면을 향한 볼록면 반사 미러(제 2 필드 미러 또는 제 4 반사 미러)(M4)에 의해 반사되어, 렌즈 그룹(G21)을 구성하는 부 메니스커스 렌즈(L6)에 직접적으로 입사한다. 볼록면 반사 미러(M4)는, 오목면 반사 미러(M3)에 의해 넓혀진 화각에 의한 광속의 편차를 완화함으로써, 수차의 발생을 억제한다. 또, 부 메니스커스 렌즈(L5), 오목면 반사 미러(M1), 볼록면 반사 미러(M2), 오목면 반사 미러(M3), 볼록면 반사 미러(M4)는 제 2 그룹을 구성한다.
- [0177] 렌즈 그룹(G21)은, 광선이 통과하는 순서로, 물체측으로 비구면 형상으로 형성된 볼록면을 향한 부 메니스커스 렌즈(L6), 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 양쪽 오목 렌즈(L7)에 의해 구성되어 있다. 부 메니스커스 렌즈(L6) 및 양쪽 오목 렌즈(L7)가 비구면 형상의 렌즈면을 가짐으로써, 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 상측에서의 큰 개구수를 가지면서, 노광 영역내 전역에서 양호한 결상 성능을 얻을 수 있다.
- [0178] 또한, 렌즈 그룹(G22)은, 광선이 통과하는 순서로, 물체측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L8), 양쪽 볼록 렌즈(L9), 물체측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L10), 양쪽 볼록 렌즈(L11), 양쪽 볼록 렌즈(L12)에 의해 구성되어 있다. 또한, 렌즈 그룹(G23)은, 광선이 통과하는 순서로, 물체측으로 볼록면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L13), 물체측으로 볼록면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L14), 물체측으로 볼록면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L15), 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L16), 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L17), 물체측으로 볼록면을 향한, 정의 굴절력을 갖는 평볼록 렌즈(L18)에 의해 구성되어 있다. 또, 렌즈 그룹(G22), 개구 조리개(AS1), 렌즈 그룹(G23)은 제 4 그룹을 구성한다.
- [0179] 또한, 반사 굴절 투영 광학계(PL1)는, 반사 미러(M3)와 개구 조리개(AS1)의 광축(AX1)상에 있어서의 거리를 Ma, 레티클(R1)과 웨이퍼의 거리를 L로 했을 때, $0.17 < Ma/L < 0.6$ 의 조건을 만족하도록 구성되어 있다. Ma/L이

하한을 만족함으로써, 오목면 반사 미러(M3)와, 렌즈 그룹(G21) 및 렌즈 그룹(G22)의 기계적 간섭을 회피할 수 있다. 또한, Ma/L이 상한을 만족함으로써, 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 전장의 신장화 및 대형화를 회피할 수 있다. 기계적 간섭을 확실하게 피하고, 투영 광학계의 전장의 신장화 및 대형화를 확실하게 피하기 위해서는, $0.5 < Ma/L < 0.2$ 의 조건을 만족하도록 구성되어 있는 것이 보다 바람직하다.

[0180] 또한, 이 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1)는, 노광 장치에 사용될 때에, 렌즈(L18)와 웨이퍼 사이의 광로중에, 반사 굴절 투영 광학계(PL1)중의 분위기의 굴절률을 1로 했을 때, 굴절률이 약 1.4인 순수한 물을 개재시킨다. 따라서, 순수한 물중에서의 노광광의 파장이 약 0.71(1/1.4)배로 되기 때문에, 해상도를 향상시킬 수 있다.

[0181] 또한, 반사 굴절 투영 광학계(PL1)에 포함되고 소정의 굴절력을 갖는 모든 광학 소자의 광축(AX1)이 실질적으로 단일 직선상에 배치되어 있고, 반사 굴절 투영 광학계(PL1)에 의해 웨이퍼상에 형성되는 상의 영역은 광축(AX1)을 포함하지 않는 축외 영역이다. 따라서, 반사 굴절 투영 광학계(PL1)를 제조할 때에 제조 난이도를 경감할 수 있고, 각 광학 부재의 상대적인 조정을 용이하게 실행할 수 있다.

[0182] 이 제 3 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1)에 의하면, 제 1 결상 광학계(G1)에 있어서 레티클(R1)의 중간 상을 형성하기 때문에, 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 레티클(R1)측을 향하는 광속과 웨이퍼측을 향하는 광속의 광로 분리를 용이하고 또한 확실하게 실행할 수 있다. 또한, 제 2 결상 광학계(G2)에 부의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(G21)을 구비하고 있기 때문에, 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 전장을 짧게 할 수 있고, 또한 페즈발 조건을 만족하기 위한 조정을 용이하게 실행할 수 있다. 더욱이, 렌즈 그룹(G21)은 오목면 반사 미러(M3)에 의해 넓혀진 광속의 화각의 차이에 의한 편차를 완화하고, 수차의 발생을 억제한다. 따라서, 해상도를 높게 하기 위해서 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 레티클(R1)측 및 웨이퍼측의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 노광 영역내 전역에서 양호한 결상 성능을 얻을 수 있다.

[0183] 다음에, 도면을 참조하여, 본 발명의 제 4 실시형태에 대해서 설명한다. 도 10은 본 발명의 제 4 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면이다. 제 4 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL2)는, 물체측[즉 레티클(R2)측]으로부터 순차적으로, 제 1 면에 위치하는 레티클(R2)의 중간 상을 형성하는 제 1 결상 광학계(G3)와, 레티클(R2)의 중간 상을 제 2 면에 위치하는 웨이퍼(도시하지 않음)상에 형성하는 제 2 결상 광학계(G4)과로부터 구성되어 있다.

[0184] 제 1 결상 광학계(G3)는, 정의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(제 4 렌즈 그룹 또는 제 1 그룹)(G31), 후술하는 렌즈(L24) 및 2매의 반사 미러(M21, M22)에 의해 구성되어 있다. 렌즈 그룹(G31)은 레티클(R2)측을 텔레센트릭으로 하도록 기능한다. 또한, 제 2 결상 광학계(G4)는, 후술하는 2매의 반사 미러(M23, M24), 부의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(제 1 렌즈 그룹 또는 제 3 그룹)(G41), 정의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(제 2 렌즈 그룹)(G42), 개구 조리개(AS2), 정의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(제 3 렌즈 그룹)(G43)에 의해 구성되어 있다. 렌즈 그룹(G41)은 배율 조정을 실행하는 동시에, 반사 미러(M23)에 의해 넓혀진 광속의 화각의 차이에 의한 편차를 완화함으로써, 수차의 발생을 억제한다. 또한, 렌즈 그룹(G42)은 발산하는 광속을 수렴시킨다. 또한, 렌즈 그룹(G43)은 웨이퍼측이 큰 개구수를 갖도록 광속의 집광을 실행한다.

[0185] 여기에서, 렌즈 그룹(G31)은, 물체측[레티클(R2)측]으로부터의 광선이 통과하는 순서로, 평행 평면판(L21), 물체측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L22), 양쪽 볼록 렌즈(L23)에 의해 구성되어 있다. 양쪽 볼록 렌즈(L23)를 통과한 광속은, 물체측으로 오목면을 향한 부 메니스커스 렌즈(부 렌즈)(L24)를 통과하여, 물체측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 오목면 반사 미러(오목면 반사 미러 또는 제 1 반사 미러)(M21)에 의해 반사되고, 다시 부 메니스커스 렌즈(L24)를 통과하여, 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 볼록면을 향한 볼록면 반사 미러(광로 분리 미러 또는 제 2 반사 미러)(M22)에 의해 반사된다. 여기에서, 부 메니스커스 렌즈(L24)는 페즈발 조건을 만족하도록 기능한다.

[0186] 볼록면 반사 미러(M22)에 의해 반사된 광속은, 레티클(R2)측을 향하는 광속과 웨이퍼측을 향하는 광속의 광로 분리를 확실하게 실행하기 때문에, 도 10에 도시하는 위치(b)에 레티클(R2)의 중간 상을 형성한다. 여기에서, 위치(b)는 오목면 반사 미러(M21)가 배치되어 있는 광축(AX2)을 법선으로 하는 평면상에 또는 그 근방에 위치한다.

[0187] 다음에, 볼록면 반사 미러(M22)에 의해 반사된 광속은, 물체측으로 오목면을 향한 오목면 반사 미러(제 1 필드 미러 또는 제 3 반사 미러)(M23)에 입사하고, 반사 굴절 투영 광학계(PL2)의 광축(AX2)을 향하는 방향으로 절곡되어서, 오목면 반사 미러(M23)에 의해 반사된다. 오목면 반사 미러(M23)에 의해 반사된 광속은 급속하게 수렴

되고, 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 볼록면을 향한 볼록면 반사 미러(제 2 필드 미러 또는 제 4 반사 미러)(M24)에 의해 반사되어, 렌즈 그룹(G41)을 구성하는 양쪽 오목 렌즈(L25)에 직접적으로 입사한다. 볼록면 반사 미러(M24)는 오목면 반사 미러(M23)에 의해 넓혀진 화각에 의한 광속의 편차를 완화함으로써, 수차의 발생을 억제한다. 또, 부 메니스커스 렌즈(L24), 오목면 반사 미러(M21), 볼록면 반사 미러(M22), 오목면 반사 미러(M23), 볼록면 반사 미러(M24)는 제 2 그룹을 구성한다.

[0188] 렌즈 그룹(G41)은, 광선이 통과하는 순서로, 물체측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 양쪽 오목 렌즈(L25), 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 양쪽 오목 렌즈(L26)에 의해 구성되어 있다. 양쪽 오목 렌즈(L25) 및 양쪽 오목 렌즈(L26)가 비구면 형상의 렌즈면을 가짐으로써, 반사 굴절 투영 광학계(PL2)의 상측에서의 큰 개구수를 가지면서, 노광 영역내 전역에서 양호한 결상 성능을 얻을 수 있다.

[0189] 또한, 렌즈 그룹(G42)은, 광선이 통과하는 순서로, 물체측으로 비구면 형상으로 형성된 볼록면을 향한 양쪽 볼록 렌즈(L27), 물체측으로 볼록면을 향한 부 메니스커스 렌즈(L28), 물체측으로 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L29), 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 볼록면을 향한 부 메니스커스 렌즈(L30)에 의해 구성되어 있다. 또한, 렌즈 그룹(G43)은, 광선이 통과하는 순서로, 물체측으로 볼록면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L31), 물체측으로 볼록면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L32), 물체측으로 볼록면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L33), 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L34), 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L35), 물체측으로 볼록면을 향한 평볼록 렌즈(L36)에 의해 구성되어 있다. 또, 렌즈 그룹(G42), 개구 조리개(AS2), 렌즈 그룹(G43)은 제 4 그룹을 구성한다.

[0190] 또한, 반사 굴절 투영 광학계(PL2)는 반사 미러(M23)와 개구 조리개(AS2)의 광축(AX2)상에 있어서의 거리를 M2a, 레티클(R2)과 웨이퍼의 거리를 L2라고 했을 때, $0.17 < M2a/L2 < 0.6$ 의 조건을 만족하도록 구성되어 있다. M2a/L2가 하한을 만족함으로써, 오목면 반사 미러(M23)와, 렌즈 그룹(G41) 및 렌즈 그룹(G42)의 기계적 간섭을 회피할 수 있다. 또한, M2a/L2가 상한을 만족함으로써, 반사 굴절 투영 광학계(PL2)의 전장의 신장화 및 대형화를 회피할 수 있다. 기계적 간섭을 확실하게 피하고, 투영 광학계의 전장의 신장화 및 대형화를 확실하게 피하기 위해서는, $0.5 < M2a/L2 < 0.2$ 의 조건을 만족하도록 구성되어 있는 것이 보다 바람직하다.

[0191] 또한, 이 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL2)는, 노광 장치에 사용될 때에, 렌즈(L36)와 웨이퍼 사이의 광로중에, 반사 굴절 투영 광학계(PL2)중의 분위기의 굴절률을 1로 했을 때, 굴절률이 약 1.4인 순수한 물을 개재시킨다. 따라서, 순수한 물중에서의 노광광의 파장이 약 0.71(1/1.4)배가 되기 때문에, 해상도를 향상시킬 수 있다.

[0192] 또한, 반사 굴절 투영 광학계(PL2)에 포함되고 소정의 굴절력을 갖는 모든 광학 소자의 광축(AX2)이 실질적으로 단일 직선상에 배치되어 있고, 반사 굴절 투영 광학계(PL2)에 의해 웨이퍼상에 형성되는 상의 영역은 광축(AX2)을 포함하지 않는 축외 영역이다. 따라서, 반사 굴절 투영 광학계(PL2)를 제조할 때에 제조 난이도를 경감할 수 있고, 각 광학 부재의 상대적인 조정을 용이하게 실행할 수 있다.

[0193] 이 제 4 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL2)에 의하면, 제 1 결상 광학계(G3)에 있어서 레티클(R2)의 중간 상을 형성하기 때문에, 반사 굴절 투영 광학계(PL2)의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 레티클(R2)측을 향하는 광속과 웨이퍼측을 향하는 광속의 광로 분리를 용이하고 또한 확실하게 실행할 수 있다. 또한, 제 2 결상 광학계(G4)에 부의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(G41)을 구비하고 있기 때문에, 반사 굴절 투영 광학계(PL2)의 전장을 짧게 할 수 있고, 또한 페즈발 조건을 만족하기 위한 조정을 용이하게 실행할 수 있다. 더욱, 렌즈 그룹(G41)은 오목면 반사 미러(M23)에 의해 넓혀진 광속의 화각의 차이에 의한 편차를 완화하고, 수차의 발생을 억제한다. 따라서, 해상도를 높게 하기 위해서 반사 굴절 투영 광학계(PL2)의 레티클(R2)측 및 웨이퍼측의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 노광 영역내 전역에서 양호한 결상 성능을 얻을 수 있다.

[0194] 또, 상기의 제 3 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1)에 있어서는, 볼록면 반사 미러(M4)에 의해 반사된 광이 렌즈 그룹(G21)에 입사하도록 구성되어 있지만, 볼록면 반사 미러(M4)와 렌즈 그룹(G21) 사이에 왕복 렌즈를 배치시켜도 좋다. 이 경우에 있어서는, 오목면 반사 미러(M3)에 의해 반사된 광은 왕복 렌즈를 통과하여, 볼록면 반사 미러(M4)에 의해 반사되고, 다시 왕복 렌즈를 통과하여, 렌즈 그룹(G21)에 입사한다. 또한, 동일하게 제 4 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL2)에 있어서는, 볼록면 반사 미러(M24)에 의해 반사된 광이 렌즈 그룹(G41)에 입사하도록 구성되어 있지만, 볼록면 반사 미러(M24)와 렌즈 그룹(G41) 사이에 왕복 렌즈를 배치시켜도 좋다.

[0195] 또한, 상기의 각 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1, PL2)에 있어서는, 가장 웨이퍼측에 위치하는 렌

즈와 웨이퍼 사이에 순수한 물을 개재시켰지만, 반사 굴절 투영 광학계(PL1, PL2)중의 분위기의 굴절률을 1로 했을 때, 1.1보다 큰 굴절률을 갖는 다른 매질을 개재시켜도 좋다.

[0196] 제 3 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 제원의 값을 나타낸다. 이 제원에 있어서는, 도 11에 도시하는 바와 같이, A는 반사 굴절 투영 광학계(PL1)를 구성하는 광학 소자에 의해 노광광이 차광되어 있는 부분의 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 광축(AX1)을 중심으로 하는 반경을 나타내고, B는 최대 상 높이의 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 광축(AX1)을 중심으로 하는 반경을 나타내고, H는 실효 노광 영역의 X 방향을 따른 길이를 나타내고, C는 실효 노광 영역의 Y 방향을 따른 길이를 나타내고 있다. 또한, 이 제원에 있어서는, NA는 개구수, d는 면 간격, n은 굴절률, λ은 중심 파장을 각각 나타내고 있다. 더욱이, 이 제원에 있어서는, M은 반사 미러(M3)와 도시되지 않은 웨이퍼의 광축(AX1)상 거리를 나타내고, L은 레티클(R1)과 웨이퍼의 거리를 나타내고 있다.

[0197] 또한, 제 3 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 광학 부재 제원을 표 3에 나타낸다. 표 3의 광학 부재 제원에 있어서는, 제 1 칼럼(column)의 면 번호는 물체측으로부터의 광선 진행 방향을 따른 면의 순서를 나타내고, 제 2 칼럼은 각 면의 곡률 반경(mm)을 나타내고, 제 3 칼럼은 각 면의 축상 간격, 즉 면 간격(mm)을 나타내고, 제 4 칼럼은 광학 부재의 초재(硝材; 광학 유리제)를 나타내고 있다.

[0198] 또한, 제 3 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1)에 사용되고 있는 비구면 형상의 렌즈면을 가지는 렌즈 및 반사 미러의 비구면 계수를 표 4에 나타낸다. 표 4의 비구면 계수에 있어서는, 제 1 칼럼의 비구면 번호는 표 1의 광학 부재 제원에 있어서는 면 번호와 대응하고 있다. 제 2 칼럼은 각 비구면의 곡률(1/mm)을 나타내고, 제 3 칼럼은 원추 계수(κ)와 12차의 비구면 계수를 나타내고, 제 4 칼럼은 4차와 14차의 비구면 계수를 나타내고, 제 5 칼럼은 6차와 16차의 비구면 계수를 나타내고, 제 6 칼럼은 8차와 18차의 비구면 계수를 나타내고, 제 7 칼럼은 10차와 20차의 비구면 계수를 나타내고 있다.

[0199] 또, 제 3 및 제 4 실시예에 있어서, 비구면은 상기 수학식 5로 표시된다.

[0200] [제 3 실시예]

[0201] (제원)

[0202] 상측(NA) : 1.20

[0203] 노광 영역 : A=14mm, B=18mm, H=26.0mm, C=4mm

[0204] 결상 배율 : 1/4배

[0205] 중심 파장 : 193.306nm

[0206] 석영 굴절률 : 1.5603261

[0207] 형석 굴절률 : 1.5014548

[0208] 액체 1 굴절률 : 1.43664

[0209] 석영 분산(dn/dλ) : -1.591E-6/pm

[0210] 형석 분산(dn/dλ) : -0.980E-6/pm

[0211] 액체 1 분산(dn/dλ) : -2.6E-6/pm

[0212] 조건식의 대응값 : Ma=374.65mm, L=1400mm

[0213] [표 3]

(광학 부재 제원)

	곡률 반경 (mm)	면 간격 (mm)	매질
제 1 면	∞	50.0000	
1:	∞	8.0000	석영 유리
2:	∞	33.0000	
3:	ASP1	25.0422	석영 유리
4:	-163.96521	1.0000	
5:	355.31617	60.7391	석영 유리
6:	-261.84115	1.0000	
7:	277.33354	29.0109	석영 유리
8:	ASP2	224.5285	
9:	-176.61872	20.0000	석영 유리
10:	-515.60710	10.4614	
11:	ASP3	-10.4614	반사 미러
12:	-515.60710	-20.0000	석영 유리
13:	-176.61872	-204.5285	
14:	ASP4	518.3706	반사 미러
15:	-517.39842	-241.3807	반사 미러
16:	-652.07494	171.3807	반사 미러
17:	ASP5	20.0000	석영 유리
18:	171.59382	41.4743	
19:	-245.94525	20.0000	석영 유리
20:	ASP6	95.1415	
21:	ASP7	28.3218	석영 유리
22:	-273.72261	1.0000	
23:	578.31684	49.6079	석영 유리
24:	-908.96420	1.0000	
25:	ASP8	23.1140	석영 유리
26:	-713.30127	1.0000	
27:	1494.96847	33.6453	석영 유리
28:	-1392.26668	100.2723	
29:	1382.10341	24.7691	석영 유리
30:	-2944133.03600	5.3079	
31:	∞	6.0869	개구 조리개
32:	596.90080	37.1298	석영 유리
33:	524859.29548	1.0000	
34:	367.83725	41.0495	석영 유리
35:	1341.09674	1.0000	
36:	180.61255	61.4605	석영 유리
37:	464.28786	1.0000	
38:	125.76761	49.2685	석영 유리
39:	ASP9	1.0000	
40:	89.27467	40.3615	석영 유리
41:	ASP10	1.1254	
42:	79.35451	37.7011	석영 유리
43:	∞	1.0000	순수한 물
제 2 면	∞		

[0214]

[0215]

[표 4]

(비구면 계수)

비구면 번호	곡률	k	c4	c6	c8	c10
		c12	c14	c16	c18	c20
ASP1	-0.00714775	0.00000E+00	3.70121E-08	4.46586E-13	1.04583E-17	6.67573E-21
		-5.81072E-25	5.12689E-29	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP2	0.00091632	0.00000E+00	2.33442E-08	-7.41117E-13	5.06507E-17	-4.32871E-21
		1.56850E-25	-1.33250E-30	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP3	-0.00346903	0.00000E+00	-1.67447E-09	-6.49516E-14	-5.93050E-19	-8.10217E-23
		3.21508E-27	-6.92598E-32	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP4	-0.00076630	0.00000E+00	3.06927E-10	4.69465E-14	-6.39759E-19	2.45900E-23
		-8.28832E-28	1.58122E-32	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP5	0.00125662	0.00000E+00	1.03544E-08	-1.28243E-12	-3.97225E-17	-8.03173E-21
		3.90718E-25	1.64002E-30	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP6	0.00507634	0.00000E+00	1.00543E-08	-3.32807E-12	-1.38706E-17	2.64276E-21
		1.41138E-25	-6.70516E-30	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP7	-0.00253727	0.00000E+00	-3.94919E-10	9.50312E-14	-1.02163E-18	-1.22660E-22
		3.11154E-27	-4.99394E-31	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP8	-0.00025681	0.00000E+00	-9.13443E-09	-8.61174E-14	4.52406E-19	-2.29061E-23
		5.86934E-28	-7.10478E-33	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP9	0.00458263	0.00000E+00	2.66745E-08	-3.15468E-13	7.16318E-17	1.41053E-21
		-2.22512E-25	1.68093E-29	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP10	0.01117107	0.00000E+00	2.45701E-07	4.19793E-11	4.83529E-15	2.02242E-18
		-1.59072E-22	1.41579E-25	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

[0216]

- [0217] 도 12는 본 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 메리디오날(meridional) 방향 및 사지탈(sagittal) 방향에 있어서의 횡수차를 도시하는 횡수차도이다. 도 12에 있어서, Y는 상 높이를 나타내고, 파선은 파장 193.3063nm, 실선은 파장 193.3060nm, 일점쇄선은 파장 193.3057nm에 있어서의 횡수차를 각각 나타내고 있다. 도 12의 횡수차도에 도시하는 바와 같이, 본 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1)는 큰 개구수를 갖고, 또한 대형의 광학 소자를 구비하지 않고 있음에도 불구하고 노광 영역의 모두에 있어서, 수차가 양호한 밸런스로 보정되고 있다.
- [0218] 제 4 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL2)의 제원의 값을 나타낸다. 또한, 제 4 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL2)의 광학 부재 제원을 표 5에 나타낸다. 또한, 제 4 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL2)에 사용되고 있는 비구면 형상의 렌즈면을 가지는 렌즈 및 반사 미러의 비구면 계수를 표 6에 나타낸다. 이러한 제원, 광학 부재 제원 및 비구면 계수에 있어서는, 제 3 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 제원의 설명에서 사용한 것과 동일한 부호를 이용하여 설명을 실행한다.
- [0219] [제 4 실시예]
- [0220] (제원)
- [0221] 상측(NA) : 1.20
- [0222] 노광 영역 : A=13.5mm, B=17.5mm, H=26.0mm, C=4mm
- [0223] 결상 배율 : 1/5배
- [0224] 중심 파장 : 193.306nm
- [0225] 석영 굴절률 : 1.5603261
- [0226] 형석 굴절률 : 1.5014548
- [0227] 액체 1 굴절률 : 1.43664
- [0228] 석영 분산(dn/dλ) : -1.591E-6/pm
- [0229] 형석 분산(dn/dλ) : -0.980E-6/pm
- [0230] 액체 1 분산(dn/dλ) : -2.6E-6/pm
- [0231] 조건식의 대응값 : Ma=424.85mm, L=1400mm

[0232] [표 5]

(광학 부재 제원)

	곡률 반경(mm)	면 간격(mm)	매질
제 1 면	∞	74.5841	
1:	∞	8.0000	석영 유리
2:	∞	33.0000	
3:	ASP1	22.9375	석영 유리
4:	-238.83712	1.0000	
5:	226.68450	59.5357	석영 유리
6:	-908.69406	202.7480	
7:	-165.20501	20.0000	석영 유리
8:	-669.93146	45.4417	
9:	ASP2	-45.4417	반사 미러
10:	-669.93146	-20.0000	석영 유리
11:	-165.20501	-182.7480	
12:	ASP3	476.5531	반사 미러
13:	-410.99944	-182.7518	반사 미러
14:	ASP4	164.9642	반사 미러
15:	ASP5	28.4827	석영 유리
16:	239.45495	38.2383	
17:	-497.63245	20.0000	석영 유리
18:	ASP6	89.6638	
19:	ASP7	48.7904	석영 유리
20:	-290.43245	1.0000	
21:	1036.93127	60.0000	석영 유리
22:	1015.63994	19.7285	
23:	-2533.07822	63.4343	석영 유리
24:	-278.02969	31.4485	
25:	-1388.36824	40.8485	석영 유리
26:	ASP8	1.0000	
27:	∞	1.0000	개구 조리개
28:	479.05778	35.6437	석영 유리
29:	1637.29836	1.0000	
30:	329.32813	44.1312	석영 유리
31:	1053.37530	1.0000	
32:	200.35146	57.3982	석영 유리
33:	515.50441	1.0000	
34:	118.38756	60.5521	석영 유리
35:	ASP9	1.0000	
36:	81.03425	37.8815	형석
37:	ASP10	1.0000	
38:	81.71932	35.7388	형석
39:	∞	1.0000	순수한 물
제 2 면	∞		

[0233]

[0234] [표 6]

(비구면 계수)

비구면 번호	곡률	k c12	c4 c14	c6 c16	c8 c18	c10 c20
ASP1	-0.00388454	0.00000E+00 -3.79672E-26	2.22245E-08 6.22409E-31	1.47956E-13 0.00000E+00	-1.47977E-17 0.00000E+00	1.83827E-21 0.00000E+00
ASP2	-0.00372368	0.00000E+00 4.14849E-26	-1.37639E-09 -2.22906E-30	-9.27463E-14 0.00000E+00	-2.38568E-18 0.00000E+00	-4.78730E-22 0.00000E+00
ASP3	-0.00090790	0.00000E+00 -2.64998E-26	-4.17158E-09 6.12220E-31	1.53090E-13 0.00000E+00	-4.47592E-18 0.00000E+00	4.68099E-22 0.00000E+00
ASP4	-0.00254948	0.00000E+00 1.81493E-27	1.56073E-09 -1.48191E-32	1.95837E-14 0.00000E+00	1.84638E-18 0.00000E+00	-8.80727E-23 0.00000E+00
ASP5	-0.00102929	0.00000E+00 -5.96465E-25	-3.82817E-11 1.20191E-29	1.56504E-13 0.00000E+00	-2.89929E-16 0.00000E+00	1.68400E-20 0.00000E+00
ASP6	0.00541154	0.00000E+00 6.34523E-25	3.81649E-08 -3.45549E-29	-1.10034E-12 0.00000E+00	-3.69090E-16 0.00000E+00	1.33858E-20 0.00000E+00
ASP7	0.00102903	0.00000E+00 -5.49818E-27	-3.14004E-08 -4.97090E-32	2.87908E-13 0.00000E+00	-1.32597E-17 0.00000E+00	2.02316E-22 0.00000E+00
ASP8	-0.00012579	0.00000E+00 -9.40202E-29	-5.21260E-09 5.04787E-34	-2.97678E-14 0.00000E+00	-4.97667E-19 0.00000E+00	1.15081E-23 0.00000E+00
ASP9	0.00403277	0.00000E+00 -4.24581E-26	4.99776E-08 4.81058E-30	-8.99272E-13 0.00000E+00	6.60787E-17 0.00000E+00	4.38434E-22 0.00000E+00
ASP10	0.01060914	0.00000E+00 1.53552E-22	2.60785E-07 4.32477E-26	4.78050E-11 0.00000E+00	5.21548E-15 0.00000E+00	1.28891E-18 0.00000E+00

[0235]

- [0236] 도 13은 본 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL2)의 메리디오날 방향 및 사지탈 방향에 있어서의 횡수차를 도시하는 횡수차도이다. 도 13에 있어서, Y는 상 높이를 나타내고, 파선은 파장 193.3063nm, 실선은 파장 193.3060nm, 일점쇄선은 파장 193.3057nm에 있어서의 횡수차를 각각 나타내고 있다. 도 13의 횡수차도에 도시하는 바와 같이, 본 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL2)는 큰 개구수를 갖고, 또한 대형의 광학 소자를 구비하지 않고 있음에도 불구하고 노광 영역의 모두에 있어서, 수차가 양호한 밸런스로 보정되고 있다.
- [0237] 이하, 도면을 참조하여, 본 발명의 제 5 실시형태에 대해서 설명한다. 도 14는 본 발명의 제 5 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면이다. 제 5 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL 1)는, 물체측[즉 레티클(R1)측]으로부터 순차적으로, 제 1 면에 위치하는 레티클(R1)의 제 1 중간 상 및 제 2 중간 상을 형성하는 제 1 결상 광학계(G1)와, 레티클(R1)의 제 2 중간 상을 제 2 면에 위치하는 웨이퍼(도시하지 않음)상으로 텔레이하는 제 2 결상 광학계(G2)로 구성되어 있다.
- [0238] 제 1 결상 광학계(G1)는 정의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(필드 렌즈 그룹)(G11), 후술하는 6매의 반사 미러(M1 내지 M6)에 의해 구성되어 있다. 렌즈 그룹(G11)은 왜곡 등을 보정하는 동시에, 레티클(R1)측을 텔레센트릭으로 하도록 기능한다. 또한, 렌즈 그룹(G11)의 기능에 의해, 레티클(R1)이 광축(AX1) 방향으로 소마의 위치로부터 어긋나서 배치된 경우에 있어서도, 레티클(R1)의 상의 크기가 변화되지 않기 때문에, 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 성능을 높게 유지할 수 있다.
- [0239] 또한, 제 2 결상 광학계(G2)는, 모두 투과형 광학 소자로 구성되어 있고, 정의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(제 1 렌즈 그룹)(G21), 부의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(제 2 렌즈 그룹)(G22), 정의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(제 3 렌즈 그룹)(G23), 개구 조리개(AS1), 정의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(제 4 렌즈 그룹)(G24)에 의해 구성되어 있다. 제 2 결상 광학계(G2)는 모두 투과형 광학 소자에 의해 구성되어 있으므로 광로 분리의 부하를 수반하지 않기 때문에, 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 상측의 개구수를 크게 할 수 있고, 고축소 배율의 축소 상을 제 2 면에 위치하는 웨이퍼상에 형성할 수 있다. 렌즈 그룹(G21 내지 G24)은 페즈발 조건을 만족하도록 유리하게 기능한다. 또한, 렌즈 그룹(G21 내지 G24)의 구성에 의해, 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 전장의 대형화를 회피할 수 있다. 또한, 렌즈 그룹(G21 내지 G23)에 의해, 코마 수차 등의 여러 가지 수차의 보정을 실행할 수 있다.
- [0240] 여기에서, 렌즈 그룹(G11)은, 물체측[레티클(R1)측]으로부터의 광선이 통과하는 순서로, 평행 평면판(L1), 물체측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L2), 양쪽 볼록 렌즈(L3), 양쪽 볼록 렌즈(L4)에 의해 구성되어 있다. 양쪽 볼록 렌즈(L4)를 통과한 광속은, 물체측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 오목면 반사 미러(M1), 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 볼록면을 향한 볼록면 반사 미러(M2), 물체측으로 오목면을 향한 오목면 반사 미러(M3)에 의해 반사되어, 제 1 중간 상을 형성한다. 반사 미러(M3)에 의해 반사된 광속은, 웨이퍼측으로 볼록면을 향한 볼록면 반사 미러(M4), 물체측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 오목면 반사 미러(M5), 웨이퍼측으로 오목면을 향한 오목면 반사 미러(M6)에 의해 반사된다.
- [0241] 여기에서, 광속이 렌즈를 거치지 않고 반사 미러(M1 내지 M6)에 의해 연속해서 반사되기 때문에, 각 반사 미러(M1 내지 M6)를 조정함으로써 페즈발 조건을 용이하게 만족시킬 수 있다. 또한, 각 반사 미러(M1 내지 M6)를 유지하기 위한 영역을 확보할 수 있고, 각 반사 미러(M1 내지 M6)의 유지를 용이하게 실행할 수 있다. 또한, 각 반사 미러(M1 내지 M6)의 곡률 반경을 변경함으로써, 상면 만곡의 보정을 용이하게 실행할 수 있다. 또한, 반사 미러(M6)에 의해 반사된 광속은 제 2 중간 상을 형성한다.
- [0242] 이러한 경우에 있어서, 광축(AX1)으로부터 가장 벗어난 위치에 오목면 반사 미러(M3)가 배치되어 있고, 이 오목면 반사 미러(M3)에 의해 광속을 집광시킬 수 있기 때문에, 각 반사 미러(M1 내지 M6) 사이에 렌즈를 개재시키는 일없이, 광속을 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 광축(AX1)으로부터 크게 분리할 수 있어, 광속의 간섭을 회피할 수 있다. 또한, 광속이 4개의 반사 미러(M3 내지 M6)에 의해 연속해서 반사됨으로써, 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 전장의 대형화를 회피할 수 있다.
- [0243] 렌즈 그룹(G21)은, 광선이 통과하는 순서로, 물체측으로 볼록면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L5), 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L6), 물체측으로 볼록면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L7), 물체측으로 볼록면을 향한 부 메니스커스 렌즈(L8), 물체측으로 비구면 형상으로 형성된 볼록면을 향한 부 메니스커스 렌즈(L9)에 의해 구성되어 있다. 또한, 렌즈 그룹(G22)은 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 양쪽 오목 렌즈(L10)로 구성되어 있다. 또한, 렌즈 그룹(G23)은, 광선이 통과하는 순서로, 물체측으로 비구면 형상으로 형성된 평면을 향한 평볼록 렌즈(L11), 물체측으로 볼록면을 향한 부 메니스커스 렌즈

(L12), 양쪽 볼록 렌즈(L13), 물체측으로 볼록면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L14), 양쪽 볼록 렌즈(L15)에 의해 구성되어 있다.

[0244] 또한, 렌즈 그룹(G24)은, 양쪽 볼록 렌즈(L16), 물체측으로 볼록면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L17), 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L18), 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L19), 물체측으로 볼록면을 향한 평볼록 렌즈(L20)에 의해 구성되어 있다.

[0245] 또한, 반사 굴절 투영 광학계(PL1)는 반사 미러(M3)와 개구 조리개(AS1)의 광축(AX1)상에 있어서의 거리를 Mb, 레티클(R1)과 웨이퍼의 거리를 L로 했을 때, $0.2 < Mb/L < 0.7$ 의 조건을 만족하도록 구성되어 있다. Mb/L가 하한을 초과한 경우에는, 각 여러 가지 수차, 특히 코마 수차를 보정하기 위해서 빠질 수 없는 렌즈 그룹(G21 내지 G23)을 구성하는 각 렌즈(L5 내지 L15)를 정확한 위치에 배치하여 유지하는 것이 곤란해진다. 즉, Mb/L가 하한을 만족함으로써, 오목면 반사 미러(M3)와, 렌즈 그룹(G21 내지 G23)의 기계적 간섭을 회피할 수 있다. 또한, Mb/L가 상한을 만족함으로써, 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 전장의 신장화 및 대형화를 회피할 수 있다. 각 렌즈(L5 내지 L15)를 보다 정확하게 배치하여 유지하고, 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 전장의 대형화를 확실하게 피하기 위해서는, $0.25 < Mb/L < 0.6$ 의 조건을 만족하도록 구성되어 있는 것이 보다 바람직하다.

[0246] 또, 이러한 제 5 실시형태에 있어서는, 반사 미러(M3)와 반사 미러(M4) 사이에 제 1 중간 상이 형성되어 있지만, 반사 미러(M2)와 반사 미러(M4) 사이의 어느 광로중에 제 1 중간 상이 형성되면 좋다.

[0247] 다음에, 도면을 참조하여, 본 발명의 제 6 실시형태에 대해서 설명한다. 도 15는 본 발명의 제 6 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면이다. 제 6 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL2)는, 물체측[즉 레티클(R2)측]으로부터 순차적으로, 제 1 면에 위치하는 레티클(R2)의 제 1 중간 상 및 제 2 중간 상을 형성하는 제 1 결상 광학계(G3)와, 레티클(R2)의 제 2 중간 상을 제 2 면에 위치하는 웨이퍼(도시하지 않음)상으로 텔레이하는 제 2 결상 광학계(G4)로 구성되어 있다.

[0248] 제 1 결상 광학계(G3)는 정의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(필드 렌즈 그룹)(G31), 후술하는 렌즈(L25) 및 6매의 반사 미러(M11 내지 M16)에 의해 구성되어 있다. 렌즈 그룹(G31)은 왜곡 등을 보정하는 동시에, 레티클(R2)측을 텔레센트릭으로 하도록 기능한다. 또한, 렌즈 그룹(G31)의 기능에 의해, 레티클(R2)이 광축 방향으로 소망의 위치로부터 어긋나서 배치된 경우에 있어서도, 레티클(R2)의 상의 크기가 변화되지 않기 때문에, 반사 굴절 투영 광학계(PL2)의 성능을 높게 유지할 수 있다.

[0249] 또한, 제 2 결상 광학계(G4)는, 모두 투과형 광학 소자로 구성되어 있고, 정의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(제 1 렌즈 그룹)(G41), 부의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(제 2 렌즈 그룹)(G42), 정의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(제 3 렌즈 그룹)(G43), 개구 조리개(AS2), 정의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(제 4 렌즈 그룹)(G44)에 의해 구성되어 있다. 제 2 결상 광학계(G4)는 모두 투과형 광학 소자에 의해 구성되어 있으므로 광로 분리의 부하를 수반하지 않기 때문에, 반사 굴절 투영 광학계(PL2)의 상측의 개구수를 크게 할 수 있고, 고축소 배율의 축소 상을 제 2 면에 위치하는 웨이퍼상에 형성할 수 있다. 렌즈 그룹(G41 내지 G44)은 페즈발 조건을 만족하도록 유리하게 기능한다. 또한, 렌즈 그룹(G41 내지 G44)의 구성에 의해, 반사 굴절 투영 광학계(PL2)의 전장의 대형화를 회피할 수 있다. 또한, 렌즈 그룹(G41 내지 G43)에 의해, 코마 수차 등의 여러 가지 수차의 보정을 실행할 수 있다.

[0250] 여기에서, 렌즈 그룹(G31)은, 물체측[레티클(R2)측]으로부터의 광선이 통과하는 순서로, 평행 평면판(L21), 물체측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L22), 양쪽 볼록 렌즈(L23), 양쪽 볼록 렌즈(L24)에 의해 구성되어 있다. 양쪽 볼록 렌즈(L24)를 통과한 광속은, 물체측으로 오목면을 향한 부 메니스커스 렌즈(부 렌즈)(L25)를 통과하여, 물체측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 오목면 반사 미러(M11)에 의해 반사되고, 다시 부 메니스커스 렌즈(L25)를 통과한다. 부 메니스커스 렌즈(L25)를 통과한 광속은 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 볼록면을 향한 볼록면 반사 미러(M12)에 의해 반사되어서, 제 1 중간 상을 형성한다. 반사 미러(M12)에 의해 반사된 광속은, 물체측으로 오목면을 향한 오목면 반사 미러(M13), 웨이퍼측으로 볼록면을 향한 볼록면 반사 미러(M14), 물체측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 오목면 반사 미러(M15), 웨이퍼측으로 오목면을 향한 오목면 반사 미러(M16)에 의해 반사된다. 여기에서, 부 메니스커스 렌즈(L25)를 조정함으로써, 색수차의 보정을 용이하게 실행할 수 있고, 또한 페즈발 조건을 용이하게 만족시킬 수 있다. 또한, 각 반사 미러(M11 내지 M16)의 곡률 반경을 변경함으로써, 상면 만곡의 보정을 용이하게 실행할 수 있다. 또한, 반사 미러(M16)에 의해 반사된 광속은 제 2 중간 상을 형성한다.

[0251] 이 경우에 있어서, 광축(AX2)으로부터 가장 벗어난 위치에 오목면 반사 미러(M13)가 배치되어 있고, 이 오목면 반사 미러(M13)에 의해 광속을 집광시킬 수 있기 때문에, 4개의 반사 미러(M13 내지 M16) 사이에 렌즈를 개재시

키는 일없이, 광속을 반사 굴절 투영 광학계(PL2)의 광축(AX2)으로부터 크게 분리할 수 있어, 광속의 간섭을 회피할 수 있다. 또한, 광속이 4개의 반사 미러(M13 내지 M16)에 의해 연속해서 반사시킴으로써, 반사 굴절 투영 광학계(PL2)의 전장의 대형화를 회피할 수 있다.

[0252] 렌즈 그룹(G41)은, 광선이 통과하는 순서로, 물체측으로 볼록면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L26), 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L27), 물체측으로 볼록면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L28), 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L29), 물체측으로 볼록면을 향한 부 메니스커스 렌즈(L30)에 의해 구성되어 있다.

[0253] 또한, 렌즈 그룹(G42)은 웨이퍼측을 비구면 형상으로 형성된 양쪽 오목 렌즈(L31)에 의해 구성되어 있다. 또한, 렌즈 그룹(G43)은, 광선이 통과하는 순서로, 물체측을 비구면 형상으로 형성된 양쪽 볼록 렌즈(L32), 물체측으로 볼록면을 향한 부 메니스커스 렌즈(L33), 양쪽 볼록 렌즈(L34), 양쪽 볼록 렌즈(L35), 양쪽 볼록 렌즈(L36)에 의해 구성되어 있다. 또한, 렌즈 그룹(G44)은, 양쪽 볼록 렌즈(L37), 물체측으로 볼록면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L38), 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L39), 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L40), 물체측으로 볼록면을 향한 평볼록 렌즈(L41)에 의해 구성되어 있다.

[0254] 또한, 반사 굴절 투영 광학계(PL2)는 반사 미러(M13)와 개구 조리개(AS2)의 광축(AX2)상에 있어서의 거리를 M2b, 레티클(R2)과 웨이퍼와의 거리를 L2로 했을 때, $0.2 < M2b/L2 < 0.7$ 의 조건을 만족하도록 구성되어 있다. M2b/L2가 하한을 초과한 경우에는, 각 여러 가지 수차, 특히 코마 수차를 보정하기 위해서 빠질 수 없는 렌즈 그룹(G41 내지 G43)을 구성하는 각 렌즈(L26 내지 L36)를 정확한 위치에 배치하여 유지하는 것이 곤란해진다. 즉, M2b/L2가 하한을 만족함으로써, 오목면 반사 미러(M13)와, 렌즈 그룹(G41 내지 G43)의 기계적 간섭을 회피할 수 있다. 또한, M2b/L2가 상한을 만족함으로써, 반사 굴절 투영 광학계(PL2)의 전장의 신장화 및 대형화를 회피할 수 있다. 각 렌즈(L26 내지 L36)를 보다 정확한 위치에 배치하여 유지하고, 반사 굴절 투영 광학계(PL2)의 전장의 대형화를 확실하게 피하기 위해서는, $0.25 < M2b/L2 < 0.6$ 의 조건을 만족하도록 구성되어 있는 것이 보다 바람직하다.

[0255] 또, 이러한 제 6 실시형태에 있어서는, 반사 미러(M12)와 반사 미러(M13) 사이에 제 1 중간 상이 형성되어 있지만, 반사 미러(M12)와 반사 미러(M14) 사이의 어느 광로중에 제 1 중간 상이 형성되면 좋다.

[0256] 다음에, 도면을 참조하여, 본 발명의 제 7 실시형태에 대해서 설명한다. 도 16은 본 발명의 제 7 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면이다. 제 7 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL3)는, 물체측[즉 레티클(R3)측]으로부터 순차적으로, 제 1 면에 위치하는 레티클(R3)의 제 1 중간 상 및 제 2 중간 상을 형성하는 제 1 결상 광학계(G5)와, 레티클(R3)의 제 2 중간 상을 제 2 면에 위치하는 웨이퍼(도시하지 않음)상으로 릴레이하는 제 2 결상 광학계(G6)로 구성되어 있다.

[0257] 제 1 결상 광학계(G5)는 정의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(필드 렌즈 그룹)(G51), 후술하는 6매의 반사 미러(M21 내지 M26)에 의해 구성되어 있다. 렌즈 그룹(G51)은 왜곡 등을 보정하는 동시에, 레티클(R2)측을 텔레센트릭으로 하도록 기능한다. 또한, 렌즈 그룹(G51)의 기능에 의해, 레티클(R3)이 광축(AX3) 방향으로 소망의 위치로부터 어긋나서 배치된 경우에 있어서도, 레티클(R3)의 상의 크기가 변화되지 않기 때문에, 반사 굴절 투영 광학계(PL3)의 성능을 높게 유지할 수 있다.

[0258] 또한, 제 2 결상 광학계(G6)는, 모두 투과형 광학 소자로 구성되어 있고, 정의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(제 1 렌즈 그룹)(G61), 부의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(제 2 렌즈 그룹)(G62), 정의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(제 3 렌즈 그룹)(G63), 개구 조리개(AS3), 정의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹(제 4 렌즈 그룹)(G64)에 의해 구성되어 있다. 제 2 결상 광학계(G6)는 모두 투과형 광학 소자로 구성되어 있으므로 광로 분리의 부하를 수반하지 않기 때문에, 반사 굴절 투영 광학계(PL3)의 상측의 개구수를 크게 할 수 있어, 고축소 배율의 축소 상을 제 2 면에 위치하는 웨이퍼상에 형성할 수 있다. 렌즈 그룹(G61 내지 G64)은 페즈발 조건을 만족하도록 유리하게 기능한다. 또한, 렌즈 그룹(G61 내지 G64)의 구성에 의해, 반사 굴절 투영 광학계(PL3)의 전장의 대형화를 회피할 수 있다. 또한, 렌즈 그룹(G61 내지 G63)에 의해, 코마 수차 등의 여러 가지 수차의 보정을 실행할 수 있다.

[0259] 여기에서, 렌즈 그룹(G51)은, 물체측[레티클(R3)측]으로부터의 광선이 통과하는 순서로, 평행 평면판(L51), 물체측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L52), 양쪽 볼록 렌즈(L53), 양쪽 볼록 렌즈(L54)에 의해 구성되어 있다. 양쪽 볼록 렌즈(L54)를 통과한 광속은, 물체측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 오목면 반사 미러(M21), 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 볼록면을 향한 볼록면 반사 미러

(M22), 물체측으로 오목면을 향한 오목면 반사 미러(M23)에 의해 반사되어, 제 1 중간 상을 형성한다. 반사 미러(M23)에 의해 반사된 광속은, 웨이퍼측으로 볼록면을 향한 볼록면 반사 미러(M24), 물체측으로 비구면 형상으로 형성된 볼록면을 향한 볼록면 반사 미러(M25), 웨이퍼측으로 오목면을 향한 오목면 반사 미러(M26)에 의해 반사된다.

[0260] 여기에서, 광속이 렌즈를 거치지 않고 반사 미러(M21 내지 M26)에 의해 연속해서 반사되기 때문에, 각 반사 미러(M21 내지 M26)를 조정함으로써 페즈발 조건을 용이하게 만족시킬 수 있다. 또한, 각 반사 미러(M21 내지 M26)를 유지하기 위한 영역을 확보할 수 있고, 각 반사 미러(M21 내지 M26)의 곡률 반경을 변경함으로써, 상면 만족의 보정을 용이하게 실행할 수 있다. 또한, 반사 미러(M26)에 의해 반사된 광속은 제 2 중간 상을 형성한다.

[0261] 이러한 경우에 있어서, 광축(AX3)으로부터 가장 벗어난 위치에 오목면 반사 미러(M23)가 배치되어 있고, 이 오목면 반사 미러(M23)에 의해 광속을 집광시킬 수 있기 때문에, 각 반사 미러(M21 내지 M26) 사이에 렌즈를 개재시키는 일없이, 광속을 반사 굴절 투영 광학계(PL3)의 광축(AX3)으로부터 크게 분리할 수 있어, 광속의 간섭을 회피할 수 있다. 또한, 광속이 4개의 반사 미러(M23 내지 M26)에 의해 연속해서 반사됨으로써, 반사 굴절 투영 광학계(PL3)의 전장의 대형화를 회피할 수 있다.

[0262] 렌즈 그룹(G61)은, 광선이 통과하는 순서로, 양쪽 볼록 렌즈(L55), 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L56), 물체측으로 볼록면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L57), 물체측으로 볼록면을 향한 부 메니스커스 렌즈(L58), 물체측으로 비구면 형상으로 형성된 볼록면을 향한 부 메니스커스 렌즈(L59)로 구성되어 있다. 또한, 렌즈 그룹(G62)은 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 양쪽 오목 렌즈(L60)에 의해 구성되어 있다. 또한, 렌즈 그룹(G63)은, 광선이 통과하는 순서로, 물체측으로 비구면 형상으로 형성된 볼록면을 향한 양쪽 볼록 렌즈(L61), 물체측으로 볼록면을 향한 부 메니스커스 렌즈(L62), 양쪽 볼록 렌즈(L63), 양쪽 볼록 렌즈(L64), 물체측으로 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L65)에 의해 구성되어 있다.

[0263] 또한, 렌즈 그룹(G64)은, 광선이 통과하는 순서로, 양쪽 볼록 렌즈(L66), 물체측으로 볼록면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L67), 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L68), 웨이퍼측으로 비구면 형상으로 형성된 오목면을 향한 정 메니스커스 렌즈(L69), 물체측으로 볼록면을 향한 평볼록 렌즈(L70)에 의해 구성되어 있다.

[0264] 또한, 반사 굴절 투영 광학계(PL3)는 반사 미러(M23)와 개구 조리개(AS3)의 광축(AX3)상에 있어서의 거리를 M3, 레티클(R3)과 웨이퍼의 거리를 L3으로 했을 때, $0.2 < M3/L3 < 0.7$ 의 조건을 만족하도록 구성되어 있다. M3/L3이 하한을 초과한 경우에는, 각 여러 가지 수차, 특히 코마 수차를 보정하기 위해서 빠질 수 없는 렌즈 그룹(G61 내지 G63)을 구성하는 각 렌즈(L55 내지 L65)를 정확한 위치에 배치하여 유지하는 것이 곤란해진다. 즉, M3/L3이 하한을 만족함으로써, 오목면 반사 미러(M23)와, 렌즈 그룹(G61 내지 G63)의 기계적 간섭을 회피할 수 있다. 또한, M3/L3이 상한을 만족함으로써, 반사 굴절 투영 광학계(PL3)의 전장의 신장화 및 대형화를 회피할 수 있다. 각 렌즈(L55 내지 L70)를 보다 정확한 위치에 배치하여 유지하고, 반사 굴절 투영 광학계(PL3)의 전장의 대형화를 확실하게 피하기 위해서는, $0.25 < M3/L3 < 0.6$ 의 조건을 만족하도록 구성되어 있는 것이 보다 바람직하다.

[0265] 또, 이러한 제 7 실시형태에 있어서는, 반사 미러(M23)와 반사 미러(M24) 사이에 제 1 중간 상이 형성되어 있지만, 반사 미러(M22)와 반사 미러(M24) 사이의 어느 광로중에 제 1 중간 상이 형성되면 좋다.

[0266] 또한, 제 5 내지 제 7 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1 내지 PL3)는, 노광 장치에 사용될 때에, 평볼록 렌즈(L20, L41, L70)와 웨이퍼 사이의 광로중에, 반사 굴절 투영 광학계(PL1 내지 PL3)중의 분위기의 굴절률을 1로 했을 때, 굴절률이 약 1.4인 순수한 물(탈 이온수)을 개재시킨다. 따라서, 순수한 물중에서의 노광광의 파장이 약 0.71(1/1.4)배가 되기 때문에, 해상도를 향상시킬 수 있다.

[0267] 또한, 반사 굴절 투영 광학계(PL1 내지 PL3)에 포함되고 소정의 굴절력을 갖는 모든 광학 소자의 광축(AX1 내지 AX3)이 실질적으로 단일 직선상에 배치되어 있고, 또한 반사 굴절 투영 광학계(PL1 내지 PL3)에 의해 웨이퍼상에 형성되는 상의 영역은 광축(AX1 내지 AX3)을 포함하지 않는 축외 영역이다. 따라서, 반사 굴절 투영 광학계(PL1 내지 PL3)를 제조할 때에 제조 난이도를 경감할 수 있고, 각 광학 소자의 상대적인 조정을 용이하게 실행할 수 있다.

[0268] 이러한 제 5 내지 제 7 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1 내지 PL3)에 의하면, 6개의 반사 미러(M1 내지 M6, M11 내지 M16, M21 내지 M26)가 포함되어 있기 때문에, 해상도를 높게 하기 위해서 반사 굴절 투영 광

학계(PL1 내지 PL3)의 레티클(R1 내지 R3)측 및 웨이퍼측의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 반사 굴절 투영 광학계(PL1 내지 PL3)의 전장을 길게 하는 일없이, 레티클(R1 내지 R3)측을 향하는 광속과 웨이퍼측을 향하는 광속의 광로 분리를 용이하고 또한 확실하게 실행할 수 있다.

[0269] 또한, 제 5 내지 제 7 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1 내지 PL3)에 의하면, 제 1 중간 상 및 제 2 중간 상을 형성하는 3회 결상 광학계이므로, 제 1 중간 상은 레티클(R1 내지 R3)의 도립상이 되고, 제 2 중간 상은 레티클(R1 내지 R3)의 정립상이 되고, 웨이퍼상에 형성되는 상은 도립상이 된다. 따라서, 이 반사 굴절 투영 광학계(PL1 내지 PL3)를 노광 장치에 탑재하고, 레티클(R1 내지 R3)과 웨이퍼를 주사하여 노광을 실행할 경우에, 레티클(R1 내지 R3)의 주사 방향과 웨이퍼의 주사 방향을 역방향으로 할 수 있고, 노광 장치 전체의 중심의 변화가 작아지도록 용이하게 조정할 수 있다. 또한, 노광 장치 전체의 중심이 변화됨으로써 발생하는 반사 굴절 투영 광학계(PL1 내지 PL3)의 진동을 경감할 수 있고, 노광 영역내 전역에서 양호한 결상 성능을 얻을 수 있다.

[0270] 또한, 상기의 각 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1 내지 PL3)에 있어서는, 가장 웨이퍼측에 위치하는 렌즈와 웨이퍼 사이에 순수한 물(탈 이온수)을 개재시켰지만, 반사 굴절 투영 광학계(PL1 내지 PL3)중의 분위기의 굴절률을 1로 했을 때, 1.1보다 큰 굴절률을 갖는 다른 매질을 개재시켜도 좋다.

[0271] 다음에, 도 14에 도시한 제 5 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 제원의 값을 나타낸다. 이 제원에 있어서는, 상술한 도 11에 도시한 바와 같이, A는 반사 굴절 투영 광학계(PL1)를 구성하는 광학 소자에 의해 노광광이 차광되어 있는 부분의 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 광축(AX1)을 중심으로 하는 반경을 나타내고, B는 최대 상 높이의 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 광축(AX1)을 중심으로 하는 반경을 나타내고, H는 실효 노광 영역의 X 방향에 따른 길이를 나타내고, C는 실효 노광 영역의 Y 방향에 따른 길이를 나타내고 있다. 또한, 이 제원에 있어서는, NA는 개구수, d는 면 간격, n은 굴절률, λ은 중심 파장을 각각 나타내고 있다. 더욱이, 이 제원에 있어서는, M은 오목면 반사 미러(M3)와 도시하지 않은 웨이퍼의 광축(AX1)상 거리를 나타내고, L은 레티클(R1)과 웨이퍼의 거리를 나타내고 있다.

[0272] 또한, 제 5 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 광학 부재 제원을 표 7에 나타낸다. 표 7의 광학 부재 제원에 있어서는, 제 1 칼럼의 면 번호는 물체측으로부터의 광선 진행 방향을 따른 면의 순서를 나타내고, 제 2 칼럼은 각 면의 곡률 반경(mm)을 나타내고, 제 3 칼럼은 각 면의 축상 간격, 즉 면 간격(mm)을 나타내고, 제 4 칼럼은 광학 부재의 초점을 나타내고 있다.

[0273] 또한, 제 5 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1)에 사용되고 있는 비구면 형상의 렌즈면을 가지는 렌즈 및 반사 미러의 비구면 계수를 표 8에 나타낸다. 표 8의 비구면 계수에 있어서는, 제 1 칼럼의 비구면 번호는 표 1의 광학 부재 제원에 있어서의 면 번호와 대응하고 있다. 제 2 칼럼은 각 비구면의 곡률(1/mm)을 나타내고, 제 3 칼럼은 원추 계수(κ)와 12차의 비구면 계수를 나타내고, 제 4 칼럼은 4차와 14차의 비구면 계수를 나타내고, 제 5 칼럼은 6차와 16차의 비구면 계수를 나타내고, 제 6 칼럼은 8차와 18차의 비구면 계수를 나타내고, 제 7 칼럼은 10차와 20차의 비구면 계수를 나타내고 있다.

[0274] 또, 제 5 내지 제 7 실시예에 있어서도, 비구면은 전술한 수학적 식 5로 표시된다.

[0275] [제 5 실시예]

[0276] (제원)

[0277] 상측(NA) : 1.20

[0278] 노광 영역 : A=14mm, B=18mm, H=26.0mm, C=4mm

[0279] 결상 배율 : 1/4배

[0280] 중심 파장 : 193.306nm

[0281] 석영 굴절률 : 1.5603261

[0282] 형석 굴절률 : 1.5014548

[0283] 액체 1 굴절률 : 1.43664

[0284] 석영 분산(dn/dλ) : $-1.591 \times 10^{-6} / \text{pm}$

- [0285] 형석 분산(dn/dλ) : $-0.980 \times 10^{-6} / \text{pm}$
- [0286] 순수한 물(탈 이온수) 분산(dn/dλ) : $-2.6 \times 10^{-6} / \text{pm}$
- [0287] 조건식의 대응값 : Mb=524.49mm, L=1400mm

[0288] [표 7]

(광학 부재 제원)

	곡률 반경(mm)	면 간격(mm)	초재명
제 1 면	∞	45.0000	
1:	∞	8.0000	석영 유리
2:	∞	9.4878	
3:	ASP1	25.3802	석영 유리
4:	-244.04741	1.9583	
5:	2654.01531	49.2092	석영 유리
6:	-159.85154	1.1545	
7:	294.54453	34.3095	석영 유리
8:	-572.08259	156.2051	
9:	ASP2	-136.2051	반사 미러
10:	ASP3	412.6346	반사 미러
11:	-418.20026	-205.0204	반사 미러
12:	-604.04130	160.2153	반사 미러
13:	ASP4	-211.6245	반사 미러
14:	320.60531	226.6245	반사 미러
15:	224.13260	25.2194	석영 유리
16:	346.75878	1.0000	
17:	215.47954	34.3600	석영 유리
18:	ASP5	1.0000	
19:	266.87857	19.9995	석영 유리
20:	329.19442	1.0000	
21:	196.43240	20.0000	석영 유리
22:	115.87410	6.4756	
23:	ASP6	39.3045	석영 유리
24:	99.87482	55.9109	
25:	-412.64757	24.7282	석영 유리
26:	ASP7	94.8545	
27:	ASP8	57.3966	석영 유리
28:	-227.16104	1.0000	
29:	504.83819	20.0000	석영 유리
30:	407.86902	12.3535	
31:	595.98854	43.0398	석영 유리
32:	-2001.40538	1.0000	
33:	711.19871	32.6046	석영 유리
34:	8598.79354	32.0466	
35:	36209.93141	30.0000	석영 유리
36:	-1731.78793	1.0000	
37:	∞	12.6069	개구 조리개
38:	503.84491	53.3626	석영 유리
39:	-1088.61181	1.0000	
40:	192.53858	61.7603	석영 유리
41:	521.19424	1.0000	
42:	122.79200	59.8433	석영 유리
43:	ASP9	1.0000	
44:	79.97315	39.6326	형석
45:	ASP10	1.0000	
46:	84.68828	36.1715	형석
47:	∞	1.0000	순수한 물
제 2 면	∞	0.0000	

[0289]

[0290] [표 8]

(비구면 계수)

비구면 번호	곡률	k	c4	c6	c8	c10
		c12	c14	c16	c18	c20
ASP1	-0.00059023	0.00000E+00 2.07022E-23	-2.87641E-08 -7.79530E-28	-1.70437E-11 0.00000E+00	2.46285E-15 0.00000E+00	-2.74317E-19 0.00000E+00
ASP2	-0.00205780	0.00000E+00 3.88749E-26	2.50612E-09 -1.13016E-30	2.95240E-14 0.00000E+00	4.37607E-18 0.00000E+00	-5.55238E-22 0.00000E+00
ASP3	-0.00058562	0.00000E+00 -1.45573E-27	-6.92554E-09 2.27951E-32	1.39659E-13 0.00000E+00	-1.09871E-18 0.00000E+00	3.37519E-23 0.00000E+00
ASP4	-0.00123249	0.00000E+00 -5.95219E-24	1.93713E-09 3.41899E-28	1.07185E-12 0.00000E+00	-3.34552E-16 0.00000E+00	3.54315E-20 0.00000E+00
ASP5	0.00020189	0.00000E+00 -3.23126E-24	1.37544E-07 6.76814E-29	-1.06394E-11 0.00000E+00	7.70843E-17 0.00000E+00	4.90298E-20 0.00000E+00
ASP6	0.00588235	0.00000E+00 -9.45408E-24	2.41559E-07 3.57981E-28	-1.03766E-11 0.00000E+00	-6.75114E-17 0.00000E+00	1.11214E-19 0.00000E+00
ASP7	0.00664255	0.00000E+00 -2.81549E-24	2.62150E-08 6.89450E-30	-9.25480E-12 0.00000E+00	-1.77845E-16 0.00000E+00	5.60675E-20 0.00000E+00
ASP8	0.00000000	0.00000E+00 -5.07100E-27	-1.26430E-08 1.49848E-31	1.64939E-13 0.00000E+00	-6.24373E-18 0.00000E+00	2.07578E-22 0.00000E+00
ASP9	0.00345726	0.00000E+00 1.49819E-25	5.92282E-08 1.10889E-30	-1.56640E-12 0.00000E+00	1.38582E-16 0.00000E+00	-4.07966E-21 0.00000E+00
ASP10	0.01038095	0.00000E+00 3.23667E-22	2.42802E-07 -9.21777E-26	4.29662E-11 0.00000E+00	1.62230E-15 0.00000E+00	6.50272E-19 0.00000E+00

[0291]

[0292] 도 17은 본 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 메리디오날 방향 및 사지탈 방향에 있어서의 횡수차를 도시하는 횡수차도이다. 도 17에 있어서, Y는 상 높이를 나타내고, 파선은 파장 193.3063nm, 실선은 파장 193.3060nm, 일점쇄선은 파장 193.3057nm에 있어서의 횡수차를 각각 나타내고 있다. 도 17의 횡수차도에 도시하는 바와 같이, 본 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1)는 큰 개구수를 갖고, 또한 대형의 광학 소자를 구비하지 않고 있음에도 불구하고 노광 영역의 모두에 있어서, 수차가 양호한 밸런스로 보정되고 있다.

[0293] 다음에, 도 15에 도시한 제 6 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL2)의 제원을 나타낸다. 또한, 제 6 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL2)의 광학 부재 제원을 표 9에 나타낸다. 또한, 제 6 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL2)에 사용되고 있는 비구면 형상의 렌즈면을 가지는 렌즈 및 반사 미러의 비구면 계수를 표 10에 나타낸다. 이러한 제원, 광학 부재 제원 및 비구면 계수에 있어서는, 제 5 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 설명에서 사용한 것과 동일한 부호를 이용하여 설명을 실행한다.

[0294] [제 6 실시예]

[0295] (제원)

[0296] 상측(NA) : 1.20

[0297] 노광 영역 : A=13mm, B=17mm, H=26.0mm, C=4mm

[0298] 결상 배율 : 1/4배

[0299] 중심 파장 : 193.306nm

[0300] 석영 굴절률 : 1.5603261

[0301] 형석 굴절률 : 1.5014548

[0302] 액체 1 굴절률 : 1.43664

[0303] 석영 분산(dn/dλ) : $-1.591 \times 10^{-6} / \text{pm}$

[0304] 형석 분산(dn/dλ) : $-0.980 \times 10^{-6} / \text{pm}$

[0305] 순수한 물(탈 이온수) 분산(dn/dλ) : $-2.6 \times 10^{-6} / \text{pm}$

[0306] 조건식의 대응값 : Mb=482.14mm, L=1400mm

[0307]

[표 9]

(광학 부재 제원)

면	곡률 반경 (mm)	면 간격 (mm)	초재명
제 1 면	∞	50.9535	
1:	∞	8.0000	석영 유리
2:	∞	12.7478	
3:	ASP1	32.5506	석영 유리
4:	-184.43053	1.0000	
5:	532.87681	45.9762	석영 유리
6:	-271.53626	1.3173	
7:	374.46315	38.0103	석영 유리
8:	-361.42951	147.1771	
9:	-389.08052	20.0000	석영 유리
10:	-594.49774	5.5356	
11:	ASP2	-5.5356	반사 미러
12:	-594.49774	-20.0000	석영 유리
13:	-389.08052	-127.0301	
14:	ASP3	430.8932	반사 미러
15:	-450.43913	-215.6393	반사 미러
16:	-704.67689	163.6952	반사 미러
17:	ASP4	-206.3833	반사 미러
18:	317.07489	228.3275	반사 미러
19:	248.60032	30.8186	석영 유리
20:	964.03405	1.0000	
21:	170.07823	20.0000	석영 유리
22:	ASP5	1.0778	
23:	174.13726	29.8902	석영 유리
24:	294.93424	1.0798	
25:	160.77849	33.1276	석영 유리
26:	ASP6	9.4275	
27:	1185.57325	20.0000	석영 유리
28:	103.90360	46.9708	
29:	-676.67026	24.5184	석영 유리
30:	ASP7	83.5410	
31:	ASP8	47.4275	석영 유리
32:	-317.19307	1.0000	
33:	688.27957	20.0000	석영 유리
34:	513.64357	11.2866	
35:	883.25368	40.1774	석영 유리
36:	-959.41738	1.0000	
37:	1222.93397	34.5841	석영 유리
38:	-1403.11949	16.9031	
39:	2169.40706	37.3055	석영 유리
40:	-889.78387	1.0000	
41:	∞	9.8461	개구 조리개
42:	458.32781	52.3568	석영 유리
43:	-1741.66958	1.0000	
44:	215.86566	59.3939	석영 유리
45:	659.70674	1.0000	
46:	134.64784	58.8510	석영 유리
47:	ASP9	1.0004	
48:	96.99608	49.9011	석영 유리
49:	ASP10	1.0194	
50:	80.22245	40.8996	석영 유리
51:	∞	1.0000	순수한 물
제 2 면	∞		

[0308]

[0309] [표 10]

(비구면 계수)

비구면 번호	곡률	k	c4	c6	c8	c10
		c12	c14	c16	c18	c20
ASP1	-0.00057910	0.00000E+00	-9.03366E-08	3.28394E-12	-4.06402E-16	2.52900E-20
		-9.19294E-25	2.02082E-30	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP2	-0.00243076	0.00000E+00	3.35976E-09	2.88288E-14	8.73468E-18	-7.00411E-22
		4.21327E-26	-9.88714E-31	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP3	-0.00032257	0.00000E+00	-6.53400E-09	1.15038E-13	-9.61655E-19	8.51651E-23
		-3.17817E-27	4.60017E-32	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP4	-0.00058501	0.00000E+00	2.54270E-09	6.81523E-13	-1.08474E-16	6.27615E-21
		-7.45415E-25	6.45741E-29	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP5	0.00574270	0.00000E+00	2.69000E-08	-1.93073E-12	-2.23058E-16	2.03519E-20
		-2.27002E-24	8.48621E-29	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP6	0.00281530	0.00000E+00	-7.99356E-08	1.14147E-11	-4.87397E-16	6.76022E-20
		-3.55808E-24	1.84260E-28	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP7	0.00667798	0.00000E+00	-1.01256E-08	-5.60515E-12	-6.85243E-17	2.18957E-20
		-1.24639E-24	-1.61382E-29	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP8	0.00000970	0.00000E+00	-1.68383E-08	1.90215E-13	-8.11478E-18	3.37339E-22
		-1.15048E-26	5.21646E-31	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP9	0.00313892	0.00000E+00	4.21089E-08	-8.07510E-13	5.31944E-17	-4.15094E-22
		-5.28946E-27	1.60653E-30	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP10	0.00959788	0.00000E+00	2.16924E-07	3.52791E-11	1.11831E-15	1.12987E-18
		-4.81835E-23	1.62262E-26	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

[0310]

[0311]

도 18은 본 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL2)의 메리디오날 방향 및 사지탈 방향에 있어서의 횡수차를 도시하는 횡수차도이다. 도 18에 있어서, Y는 상 높이를 나타내고, 파선은 파장 193.3063nm, 실선은 파장 193.3060nm, 일점쇄선은 파장 193.3057nm를 각각 나타내고 있다. 도 18의 횡수차도에 도시하는 바와 같이, 본 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL2)는 큰 개구수를 갖고, 또한 대형의 광학 소자를 구비하지 않고 있음에도 불구하고 노광 영역의 모두에 있어서, 수차가 양호한 밸런스로 보정되고 있다.

[0312]

다음에, 도 16에 도시한 제 7 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL3)의 제원의 값을 나타낸다. 또한, 제 7 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL3)의 광학 부재 제원을 표 11에 나타낸다. 또한, 제 7 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL3)에 사용되고 있는 비구면 형상의 렌즈면을 가지는 렌즈 및 반사 미러의 비구면 계수를 표 12에 나타낸다. 이러한 제원, 광학 부재 제원 및 비구면 계수에 있어서는, 제 5 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL1)의 설명에서 사용한 것과 동일한 부호를 이용하여 설명을 실행한다.

[0313]

[제 7 실시예]

[0314]

(제원)

[0315]

상측(NA) : 1.20

[0316]

노광 영역 : A=13mm, B=17mm, H=26.0mm, C=4mm

[0317]

결상 배율 : 1/5배

[0318]

중심 파장 : 193.306nm

[0319]

석영 굴절률 : 1.5603261

[0320]

형석 굴절률 : 1.5014548

[0321]

액체 1 굴절률 : 1.43664

[0322]

석영 분산(dn/dλ) : $-1.591 \times 10^{-6} / \text{pm}$

[0323]

형석 분산(dn/dλ) : $-0.980 \times 10^{-6} / \text{pm}$

[0324]

순수한 물(탈 이온수) 분산(dn/dλ) : $-2.6 \times 10^{-6} / \text{pm}$

[0325]

조건식 : Mb=508.86mm, L=1400mm

[0326] [표 11]

(광학 부재 제원)

제 1 면	곡률 반경 (mm)	면 간격 (mm)	초재명
1:	∞	63.0159	
2:	∞	8.0000	석영 유리
3:	∞	11.6805	
4:	ASP1	30.7011	석영 유리
5:	-244.82575	1.0000	
6:	520.72375	50.6283	석영 유리
7:	-283.00136	1.0000	
8:	455.76731	37.0794	석영 유리
9:	-509.23840	143.7025	
10:	ASP2	-123.7025	반사 미러
11:	ASP3	394.2980	반사 미러
12:	-398.57468	-201.7192	반사 미러
13:	-485.11237	157.8027	반사 미러
14:	ASP4	-206.6789	반사 미러
15:	329.37813	221.6789	반사 미러
16:	411.95851	28.1592	석영 유리
17:	-3890.38387	1.1778	
18:	141.65647	33.4870	석영 유리
19:	ASP5	1.0000	
20:	216.09570	28.6534	석영 유리
21:	461.77835	1.0000	
22:	202.12479	20.2182	석영 유리
23:	117.79321	2.6054	
24:	ASP6	20.0000	석영 유리
25:	98.31887	51.9992	
26:	-251.39135	35.2622	석영 유리
27:	ASP7	89.1855	
28:	ASP8	42.0591	석영 유리
29:	-303.33648	2.1164	
30:	606.18864	28.5148	석영 유리
31:	488.85229	11.9006	
32:	811.09260	45.2273	석영 유리
33:	-813.38538	1.0000	
34:	1012.41934	42.1336	석영 유리
35:	-973.64830	21.5611	
36:	-32382.97410	29.5159	석영 유리
37:	-1075.05682	1.0000	
38:	∞	6.3302	개구 조리개
39:	371.59007	56.0505	석영 유리
40:	-4689.87645	9.3746	
41:	204.82419	53.7618	석영 유리
42:	494.59116	1.0000	
43:	125.95227	57.4813	석영 유리
44:	ASP9	1.0101	
45:	92.58526	43.4772	석영 유리
46:	ASP10	1.0360	
47:	85.28679	42.2466	석영 유리
제 2 면	∞	1.0000	순수한 물

[0327]

[0328] [표 12]

(비구면 계수)

비구면 번호	곡률	k	c4	c6	c8	c10
		c12	c14	c16	c18	c20
ASP1	-0.0004476	0.00000E+00 4.25382E-26	-6.28600E-08 -8.36739E-30	2.01003E-12 0.00000E+00	-1.86171E-16 0.00000E+00	4.72866E-21 0.00000E+00
ASP2	-0.0019308	0.00000E+00 -9.28498E-26	5.30847E-09 2.73795E-30	2.32487E-13 0.00000E+00	-9.98057E-18 0.00000E+00	1.35214E-21 0.00000E+00
ASP3	0.0000635	0.00000E+00 1.55922E-27	-1.46917E-08 -1.05341E-32	2.39879E-13 0.00000E+00	1.88016E-18 0.00000E+00	-1.08670E-22 0.00000E+00
ASP4	-0.0009742	0.00000E+00 -2.44697E-24	2.25661E-09 2.57932E-28	8.15504E-13 0.00000E+00	-1.75777E-16 0.00000E+00	1.64720E-20 0.00000E+00
ASP5	0.0045455	0.00000E+00 -2.71916E-25	7.76937E-08 -2.25230E-30	-8.42991E-12 0.00000E+00	3.25677E-16 0.00000E+00	8.77802E-23 0.00000E+00
ASP6	0.0078125	0.00000E+00 1.70711E-23	1.83201E-07 -1.55669E-27	-2.17156E-11 0.00000E+00	1.87637E-15 0.00000E+00	-2.53394E-19 0.00000E+00
ASP7	0.0063619	0.00000E+00 -2.26908E-24	3.50299E-09 3.14291E-29	-5.60629E-12 0.00000E+00	-2.85922E-18 0.00000E+00	2.57458E-20 0.00000E+00
ASP8	0.0001516	0.00000E+00 -9.28797E-27	-1.73728E-08 3.18623E-31	2.07225E-13 0.00000E+00	-7.88040E-18 0.00000E+00	2.99860E-22 0.00000E+00
ASP9	0.0037449	0.00000E+00 -6.11068E-26	4.54024E-08 4.37709E-30	-8.98172E-13 0.00000E+00	6.42893E-17 0.00000E+00	5.94025E-22 0.00000E+00
ASP10	0.0093466	0.00000E+00 7.23960E-23	2.17665E-07 -1.19099E-26	2.75156E-11 0.00000E+00	1.89892E-15 0.00000E+00	3.45960E-19 0.00000E+00

[0329]

- [0330] 도 19는 본 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL3)의 메리디오날 방향 및 사지탈 방향에 있어서의 횡수차를 도시하는 횡수차도이다. 도 19에 있어서, Y는 상 높이를 나타내고, 파선은 파장 193.3063nm, 실선은 파장 193.3060nm, 일점쇄선은 파장 193.3057nm를 각각 나타내고 있다. 도 19의 횡수차도에 도시하는 바와 같이, 본 실시예에 따른 반사 굴절 투영 광학계(PL3)는 큰 개구수를 갖고, 또한 대형의 광학 소자를 구비하지 않고 있음에도 불구하고 노광 영역의 모두에 있어서, 수차가 양호한 밸런스로 보정되고 있다.
- [0331] 상기의 각 실시예에 따른 투영 광학계는, 어느 것도 도 1에 도시한 투영 노광 장치에 적용하는 것이 가능하다. 도 1에 도시한 투영 노광 장치에 의하면, 투영 광학계(PL)와 웨이퍼(W) 사이에 노광광에 대하여 굴절률이 약 1.4의 순수한 물을 개재시키고 있기 때문에, 웨이퍼(W)측의 실효적 개구수를 1.0 이상으로 높일 수 있고, 해상도를 높게 할 수 있다. 또한, 도 1에 도시한 투영 노광 장치에 의하면, 상기의 각 실시형태에 따른 반사 굴절 투영 광학계에 의해 구성되는 투영 광학계(PL)를 구비하고 있기 때문에, 레티클측 및 웨이퍼측의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 투영 광학계(PL)내에 있어서 레티클측을 향하는 광속과 웨이퍼측을 향하는 광속의 광로 분리를 용이하고 또한 확실하게 실행할 수 있다. 따라서, 노광 영역내 전역에서 양호한 결상 성능을 얻을 수 있고, 미세한 패턴을 양호하게 노광할 수 있다.
- [0332] 또, 도 1에 도시한 투영 노광 장치에 있어서는, 노광광으로서 ArF 엑시머 레이저광을 이용하고 있기 때문에, 액침 노광용의 액체로서 순수한 물이 공급된다. 순수한 물은, 반도체 제조 공장 등에서 용이하게 대량으로 입수할 수 있는 동시에, 기관(웨이퍼)(W)상의 포토레지스트나 광학 소자(렌즈) 등에 대한 악영향이 없다는 이점이 있다. 또한, 순수한 물은 환경에 대한 악영향이 없는 동시에, 불순물의 함유량이 극히 낮기 때문에, 웨이퍼(W)의 표면 및 투영 광학계(PL)의 선단면에 설치되어 있는 광학 소자의 표면을 세정하는 작용도 기대할 수 있다.
- [0333] 파장이 193nm 정도의 노광광에 대한 순수한 물(물)의 굴절률(n)은 거의 1.44로 알려져 있다. 노광광의 광원으로서 ArF 엑시머 레이저광(파장 193nm)을 사용한 경우, 기관상에서는 1/n, 즉 약 134nm로 단파장화(短波長化)되어서 높은 해상도를 얻을 수 있다. 더욱, 초점 심도는 공기중에 비해서 약 n배, 즉 약 1.44배로 확대된다.
- [0334] 또한, 액체로서는, 노광광에 대하여 굴절률이 1.1보다 큰 다른 매질을 사용하는 것도 가능하다. 이 경우에 있어서, 액체로서는, 노광광에 대한 투과성이 만족될 수 있는 한 굴절률이 높고, 투영 광학계(PL)나 웨이퍼(W) 표면에 도포되어 있는 포토레지스트에 대하여 안정한 것을 사용하면 좋다.
- [0335] 또한, 노광광으로서 F2 레이저광을 사용하는 경우에는, 액체로서는 F2 레이저광을 투과 가능한, 예를 들어 불소계 오일이나 과불화폴리에테르(PFPE) 등의 불소계의 액체를 사용하면 좋다.
- [0336] 또한, 본 발명은, 일본 특허 공개 제 1998-163099 호 공보, 일본 특허 공개 제 1998-214783 호 공보, 일본 특허 공표 제 2000-505958 호 공보 등에 개시되어 있는 바와 같이, 웨이퍼 등의 피처리 기관을 별도로 탑재하여 XY 방향으로 독립적으로 이동 가능한 2개의 스테이지를 구비한 트윈 스테이지형의 노광 장치에도 적용할 수 있다.
- [0337] 또, 상술한 바와 같이 액침법을 이용한 경우에는, 투영 광학계(PL)의 개구수(NA)가 0.9 내지 1.3으로 되는 일도 있다. 이렇게 투영 광학계(PL)의 개구수(NA)가 커질 경우에는, 종래부터 노광광으로서 사용되고 있는 랜덤 편광광에서는 편광 효과에 의해 결상 성능이 악화하는 것도 있으므로, 편광 조명을 사용하는 것이 바람직하다. 그 경우, 레티클(마스크)(R)의 라인-앤드-스페이스(line and space) 패턴의 라인 패턴의 길이 방향에 맞춘 직선 편광 조명을 실행하고, 레티클(마스크)(R)의 패턴으로부터는, S 편광 성분(라인 패턴의 길이 방향을 따른 편광 방향 성분)의 회절광이 많이 사출되도록 하면 좋다. 투영 광학계(PL)와 웨이퍼(W) 표면에 도포된 레지스트 사이가 액체로 충전되어 있는 경우, 투영 광학계(PL)와 웨이퍼(W) 표면에 도포된 레지스트 사이가 공기(기체)로 충전되어 있는 경우에 비하여, 콘트라스트의 향상에 기여하는 S 편광 성분의 회절광의 레지스트 표면에서의 투과율이 높아지기 때문에, 투영 광학계(PL)의 개구수(NA)가 1.0을 초과하는 경우에도 높은 결상 성능을 얻을 수 있다. 또한, 위상 시프트 마스크나 일본 특허 공개 제 1994-188169 호에 개시되어 있는 라인 패턴의 길이 방향에 맞춘 경사 입사 조명법[특히 다이폴(dipole) 조명법] 등을 적당히 조합하면 보다 효과적이다.
- [0338] 상기의 실시형태의 노광 장치에서는, 조명 장치에 의해 레티클(마스크)을 조명하고(조명 공정), 투영 광학계를 이용하여 마스크에 형성된 전사용의 패턴을 감광성 기관에 노광함으로써(노광 공정), 마이크로 디바이스(반도체 소자, 촬상 소자, 액정 표시 소자, 박막 자기 헤드 등)를 제조할 수 있다. 이하, 본 실시형태의 노광 장치를 이용하여 감광성 기관으로서의 웨이퍼 등에 소정의 회로 패턴을 형성함으로써, 마이크로 디바이스로서의 반도체 디바이스를 얻을 때의 방법의 일례에 대해서 도 20의 흐름도를 참조하여 설명한다.

- [0339] 우선, 도 20의 단계(301)에 있어서, 1로트(lot)의 웨이퍼상에 금속막이 증착된다. 다음 단계(302)에 있어서, 그 1로트의 웨이퍼상의 금속막상에 포토레지스트가 도포된다. 그 후, 단계(303)에 있어서, 본 실시형태의 노광 장치를 이용하여, 마스크상의 패턴의 상이 그 투영 광학계를 거쳐서 그 1로트의 웨이퍼상의 각 쇼트(shot) 영역에 순차적으로 노광 전사된다. 그 후, 단계(304)에 있어서, 그 1로트의 웨이퍼상의 포토레지스트의 현상이 실행된 후, 단계(305)에 있어서, 그 1로트의 웨이퍼상에서 레지스트 패턴을 마스크로서 에칭을 실행함으로써, 마스크상의 패턴에 대응하는 회로 패턴이 각 웨이퍼상의 각 쇼트 영역에 형성된다.
- [0340] 그 후, 상의 층(layer)의 회로 패턴의 형성 등을 더 실행함으로써, 반도체 소자 등의 디바이스가 제조된다. 상기의 반도체 디바이스 제조 방법에 의하면, 극히 미세한 회로 패턴을 갖는 반도체 디바이스를 양호한 처리량으로 얻을 수 있다. 또, 단계(301) 내지 단계(305)에서는, 웨이퍼상에 금속을 증착하고, 그 금속막상에 레지스트를 도포하고, 그리고 노광, 현상, 에칭의 각 공정을 실행하고 있지만, 이들 공정에 앞서, 웨이퍼상에 실리콘의 산화막을 형성한 후, 그 실리콘의 산화막상에 레지스트를 도포하고, 그리고 노광, 현상, 에칭 등의 각 공정을 실행하여도 좋다는 것은 말할 필요도 없다.
- [0341] 또한, 본 실시형태의 노광 장치에서는, 플레이트(유리 기판)상에 소정의 패턴(회로 패턴, 전극 패턴 등)을 형성함으로써, 마이크로 디바이스로서의 액정 표시 소자를 얻을 수도 있다. 이하, 도 21의 흐름도를 참조하여, 이때의 방법의 일례에 대하여 설명한다. 도 21에 있어서, 패턴 형성 공정(401)에서는, 본 실시형태의 노광 장치를 이용하여 마스크의 패턴을 감광성 기판(레지스트가 도포된 유리 기판 등)에 전사 노광하는, 소위 광 리소그래피 공정이 실행된다. 이 광 리소그래피 공정에 의해, 감광성 기판상에는 다수의 전극 등을 포함하는 소정 패턴이 형성된다. 그 후, 노광된 기판은 현상 공정, 에칭 공정, 레지스트 박리 공정 등의 각 공정을 거침으로써, 기판상에 소정의 패턴이 형성되고, 다음의 컬러 필터(color filter) 형성 공정(402)으로 이행한다.
- [0342] 다음에, 컬러 필터 형성 공정(402)에서는, R(Red), G(Green), B(Blue)에 대응한 3개의 도트(dot)의 세트가 매트릭스 형상으로 다수 배열되거나, 또는 R, G, B의 3개의 스트라이프(stripe)의 필터의 세트를 복수 수평 주사선 방향으로 배열된 컬러 필터를 형성한다. 그리고, 컬러 필터 형성 공정(402) 이후에, 셀 조립 공정(403)이 실행된다. 셀 조립 공정(403)에서는, 패턴 형성 공정(401)에서 얻어진 소정 패턴을 갖는 기판, 및 컬러 필터 형성 공정(402)에서 얻어진 컬러 필터 등을 이용하여 액정 패널(액정 셀)을 조립한다. 셀 조립 공정(403)에서는, 예컨대 패턴 형성 공정(401)에서 얻어진 소정 패턴을 갖는 기판과 컬러 필터 형성 공정(402)에서 얻어진 컬러 필터 사이에 액정을 주입하고, 액정 패널(액정 셀)을 제조한다.
- [0343] 그 후, 모듈(module) 조립 공정(404)에서, 조립된 액정 패널(액정 셀)의 표시 동작을 실행시키는 전기 회로, 백라이트 등의 각 부품을 장착하여 액정 표시 소자로서 완성시킨다. 상기의 액정 표시 소자의 제조 방법에 의하면, 극히 미세한 회로 패턴을 갖는 액정 표시 소자를 양호한 처리량으로 얻을 수 있다.
- [0344] 이상 설명한 바와 같이, 본 발명의 제 1 태양에 따른 투영 광학계에서는, 적어도 2매의 반사경과 제 1 면측의 면이 정의 굴절력을 갖는 경계 렌즈를 포함하며, 모든 투과 부재 및 반사 부재가 단일 광축을 따라 배치되고, 광축을 포함하지 않는 유효 결상 영역을 갖는 구성에 있어서, 경계 렌즈와 제 2 면 사이의 광로가 1.1보다도 큰 굴절률을 갖는 매질로 충전되어 있다. 그 결과, 본 발명에서는, 색수차나 상면 만곡 등의 여러 가지 수차가 양호하게 보정되어서 우수한 결상 성능을 갖고, 광학면에서의 반사 손실을 양호하게 억제하여 큰 실효적인 상측 개구수를 확보할 수 있는 비교적 소형의 투영 광학계를 실현할 수 있다.
- [0345] 또한, 본 발명의 제 2 태양에 따른 투영 광학계에 의하면, 제 1 결상 광학계에 있어서 제 1 면의 중간 상을 형성하기 때문에, 투영 광학계의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 제 1 면측을 향하는 광속과 제 2 면측을 향하는 광속의 광로 분리를 용이하고 또한 확실하게 실행할 수 있다. 또한, 제 2 결상 광학계에 부의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈 그룹을 구비하고 있기 때문에, 반사 굴절 투영 광학계의 전장을 짧게 할 수 있고, 또한 페즈발 조건을 만족하기 위한 조정을 용이하게 실행할 수 있다. 더욱이, 제 1 렌즈 그룹은 제 1 필드 미러에 의해 넓혀진 광속의 화각의 차이에 의한 편차를 완화하고, 수차의 발생을 억제한다. 따라서, 해상도를 높게 하기 위해서 반사 굴절 투영 광학계의 물체측 및 상측의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 노광 영역내 전역에서 양호한 결상 성능을 얻을 수 있다.
- [0346] 또한, 본 발명의 제 3 태양에 따른 투영 광학계에 의하면, 적어도 6개의 미러가 포함되어 있기 때문에, 해상도를 높게 하기 위해서 반사 굴절 투영 광학계의 물체측 및 상측의 개구수를 크게 한 경우에 있어서도, 반사 굴절 투영 광학계의 전장을 길게 하는 일없이, 제 1 중간 상 및 제 2 중간 상을 형성할 수 있다. 따라서, 제 1 면측

을 향하는 광속과 제 2 면측을 향하는 광속의 광로 분리를 용이하고 또한 확실하게 실행할 수 있다. 또한, 적어도 6개의 미러 및 부의 굴절력을 갖는 제 2 렌즈 그룹을 구비하고 있기 때문에, 각 미러 또는 제 2 렌즈 그룹을 구성하는 렌즈 등을 조정함으로써, 페즈발 조건을 용이하게 만족시킬 수 있고, 또한 수차의 보정을 용이하게 실행할 수 있다.

[0347] 또한, 본 발명의 제 3 태양에 따른 투영 광학계에 의하면, 3회 결상 광학계이므로, 제 1 중간 상은 제 1 면의 도립상이 되고, 제 2 중간 상은 제 1 면의 정립상이 되고, 제 2 면에 형성되는 상은 도립상이 된다. 따라서, 본 발명의 반사 굴절 투영 광학계를 노광 장치에 탑재하고, 제 1 면과 제 2 면을 주사하여 노광을 실행할 경우에, 제 1 면의 주사 방향과 제 2 면의 주사 방향을 역방향으로 할 수 있고, 노광 장치 전체의 중심의 변화가 작아지도록 용이하게 조정할 수 있다. 또한, 노광 장치 전체의 중심의 변화를 경감함으로써, 반사 굴절 투영 광학계의 진동을 경감할 수 있고, 노광 영역내 전역에서 양호한 결상 성능을 얻을 수 있다.

[0348] 따라서, 본 발명의 투영 광학계를 사용하는 노광 장치 및 노광 방법에서는, 우수한 결상 성능을 갖고 또한 큰 실효적인 상측 개구수 나아가서는 높은 해상도를 갖는 투영 광학계를 거쳐서 미세한 패턴을 고정밀도로 전사 노광할 수 있다. 또한, 본 발명의 투영 광학계를 탑재한 노광 장치를 이용하여, 고해상의 투영 광학계를 통과한 고밀도의 투영 노광에 의해, 양호한 마이크로 디바이스를 제조할 수 있다.

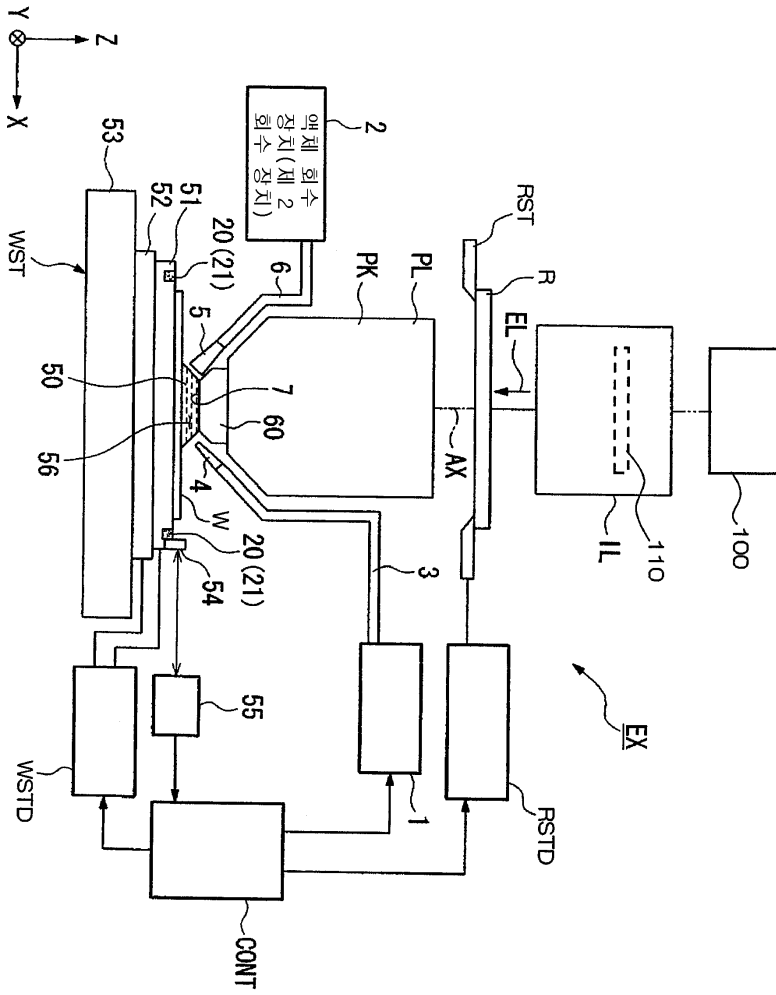
부호의 설명

- [0349] EX: 노광 장치
 R: 레티클
 WST: 웨이퍼 스테이지
 RST, RS: 레티클 스테이지
 EL: 노광광
 CONT: 제어 장치
 AR: 수차 보정 영역
 ER: 유효 결상 영역
 AX: 광축
 Lb: 경계 렌즈
 G1: 제 1 결상 광학계
 G2: 제 2 결상 광학계
 CM1: 제 1 오목면 반사경
 CM2: 제 2 오목면 반사경
 1: 액체 공급 장치
 2: 액체 회수 장치
 3: 공급관
 4: 공급 노즐
 5: 회수 노즐
 6: 회수관
 7: 선단면
 20: 회수 장치
 50: 액체

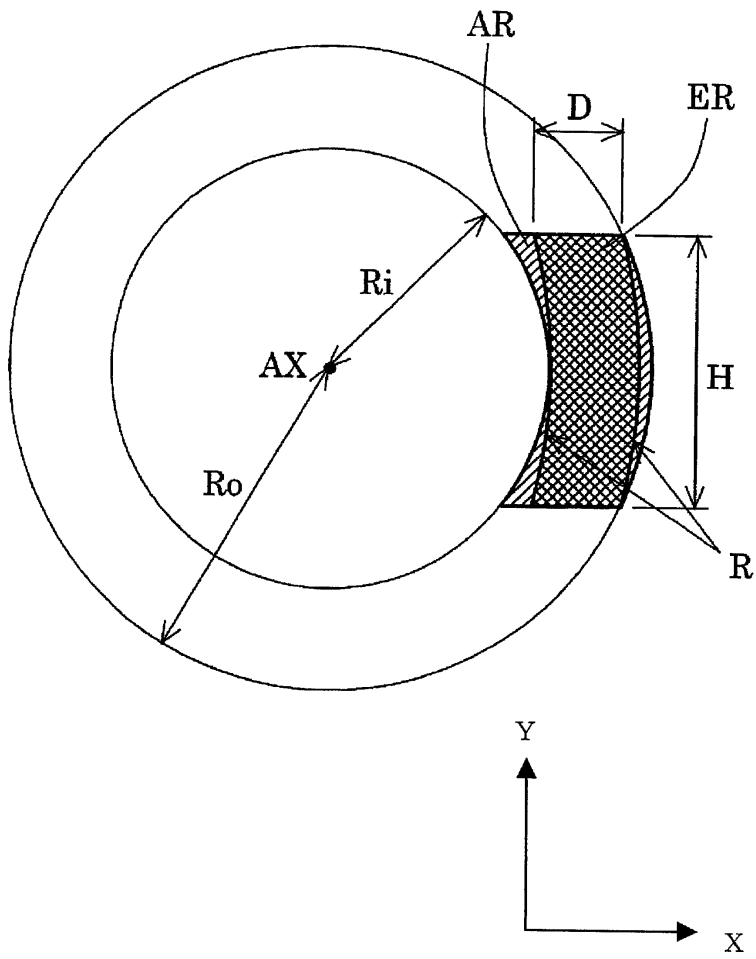
- 51: Z 스테이지
- 52: XY 스테이지
- 56: 공간
- 60: 렌즈
- 100: 광원

도면

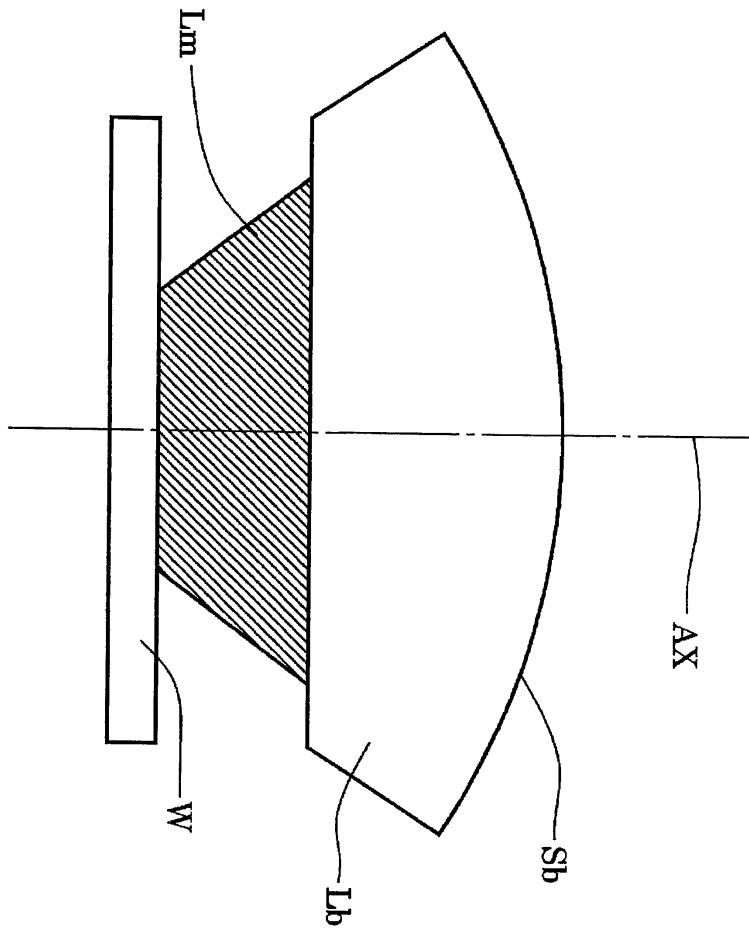
도면1



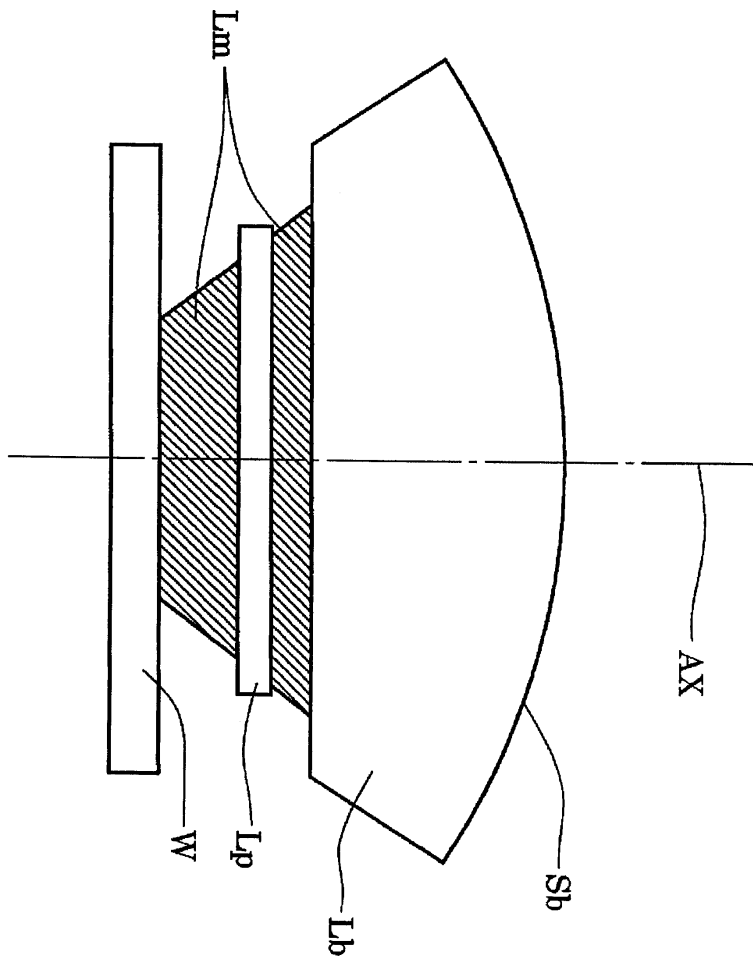
도면2



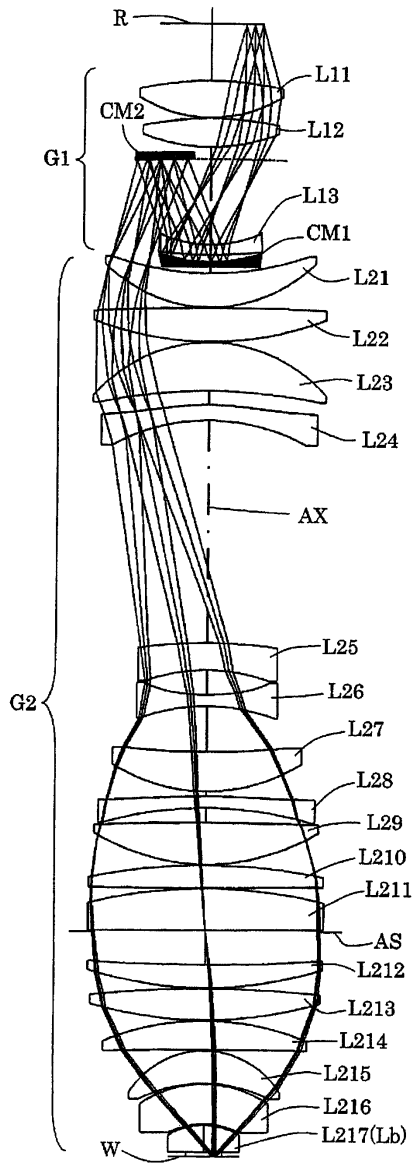
도면3



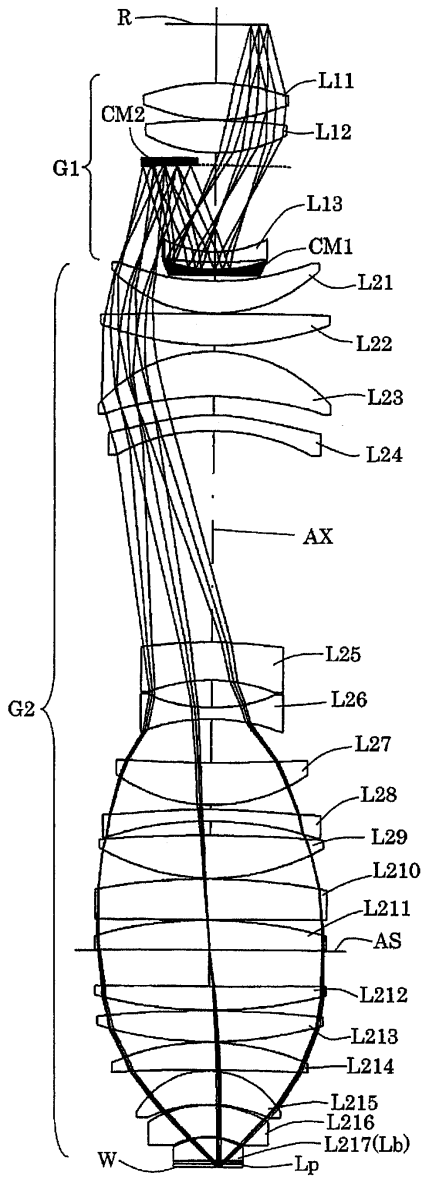
도면4



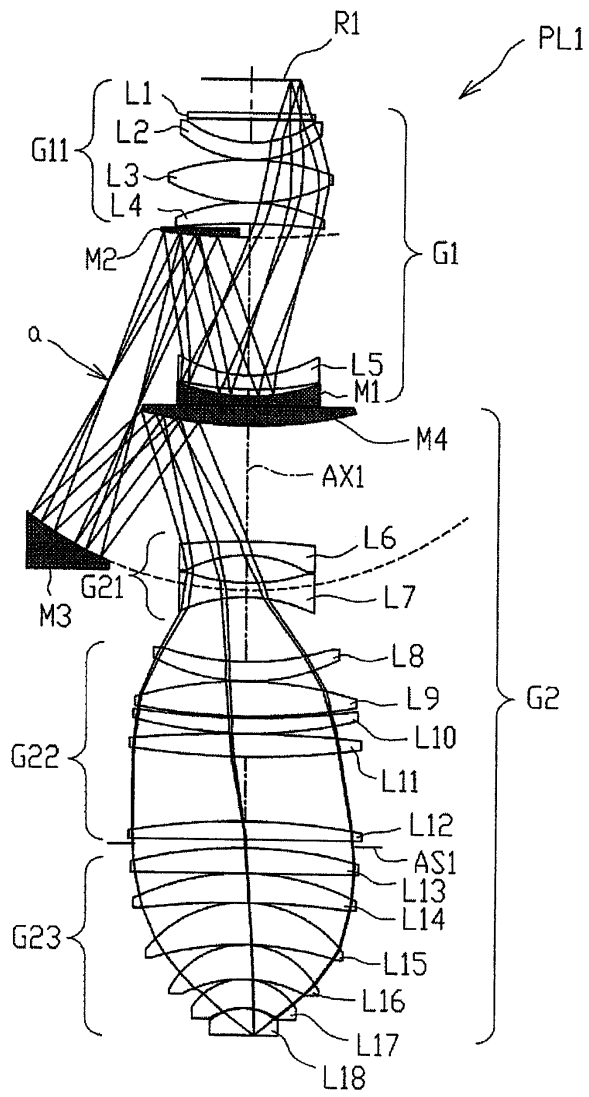
도면5



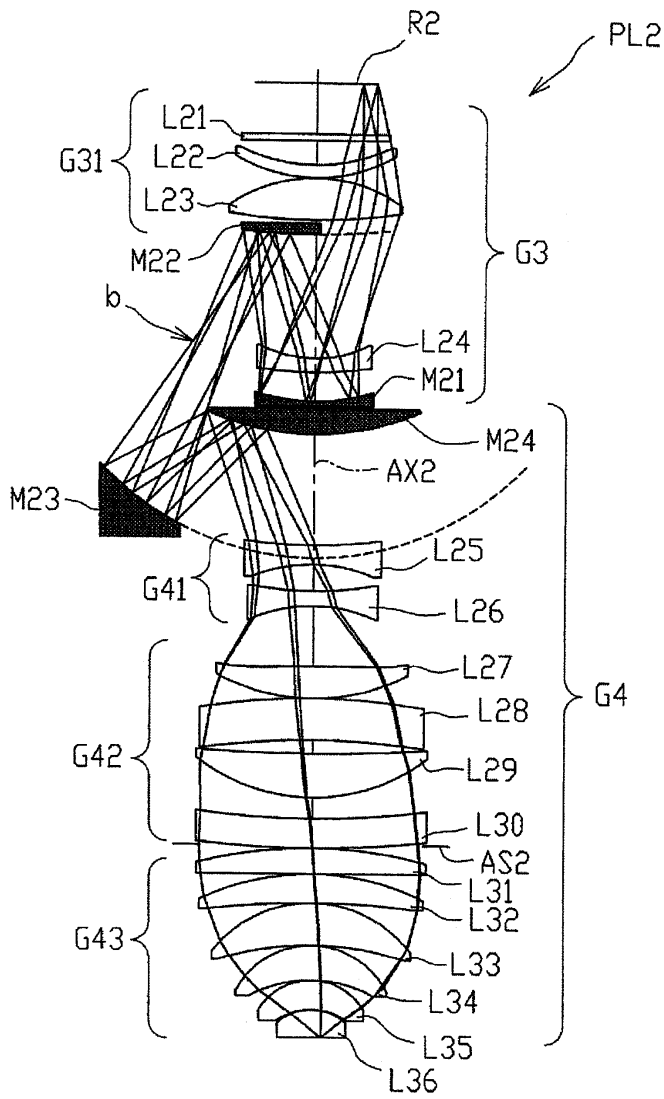
도면7



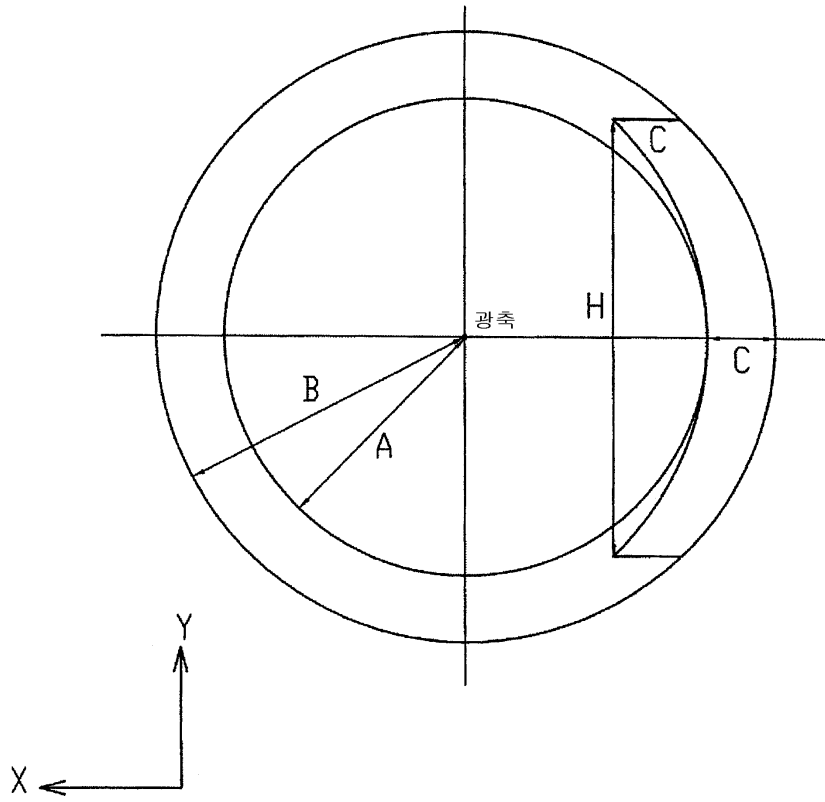
도면9



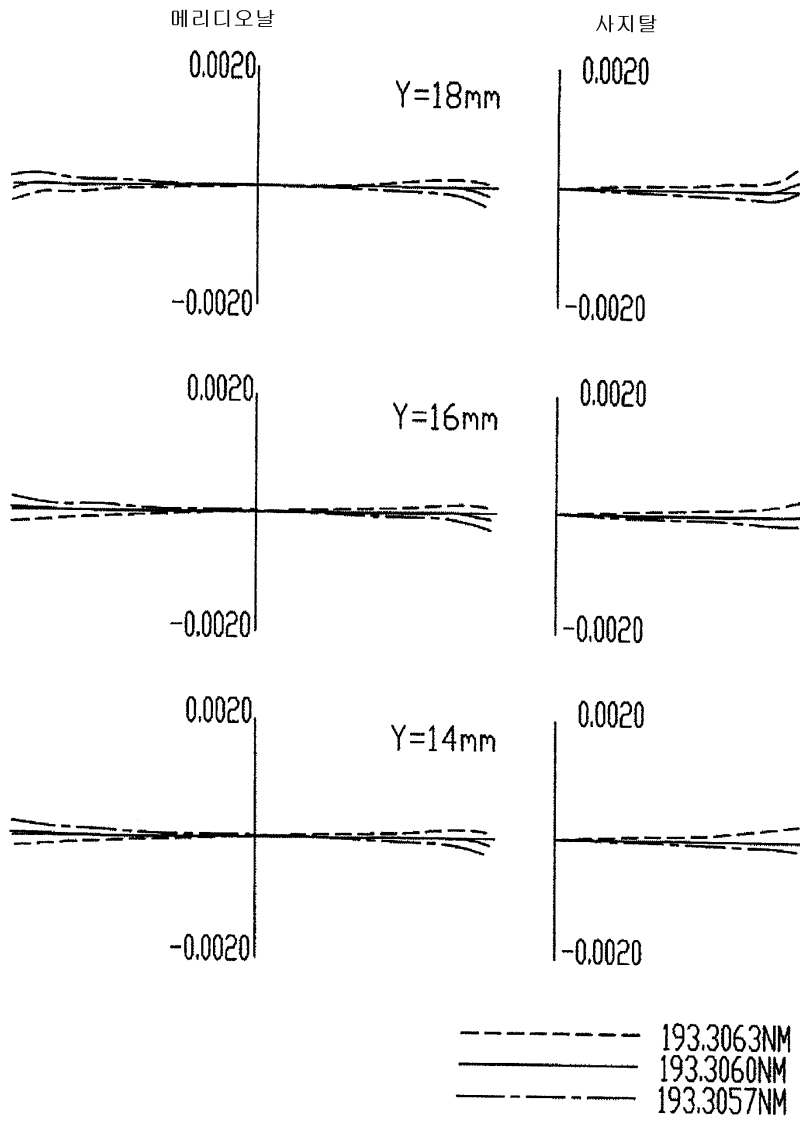
도면10



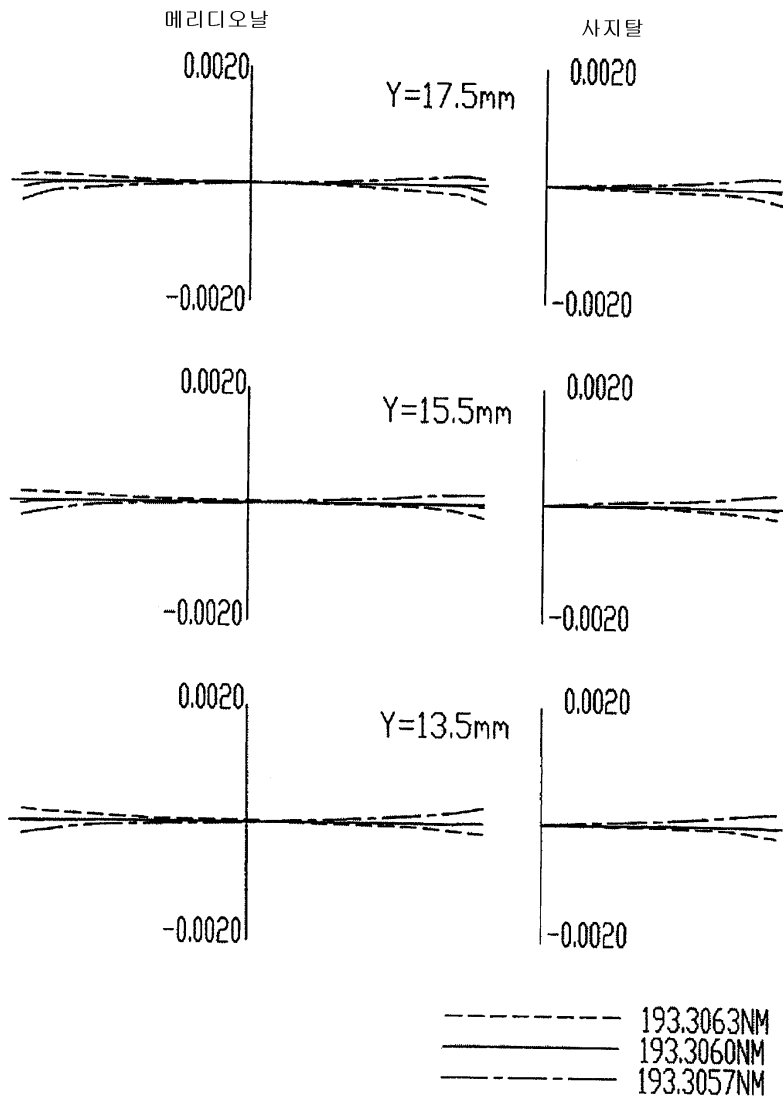
도면11



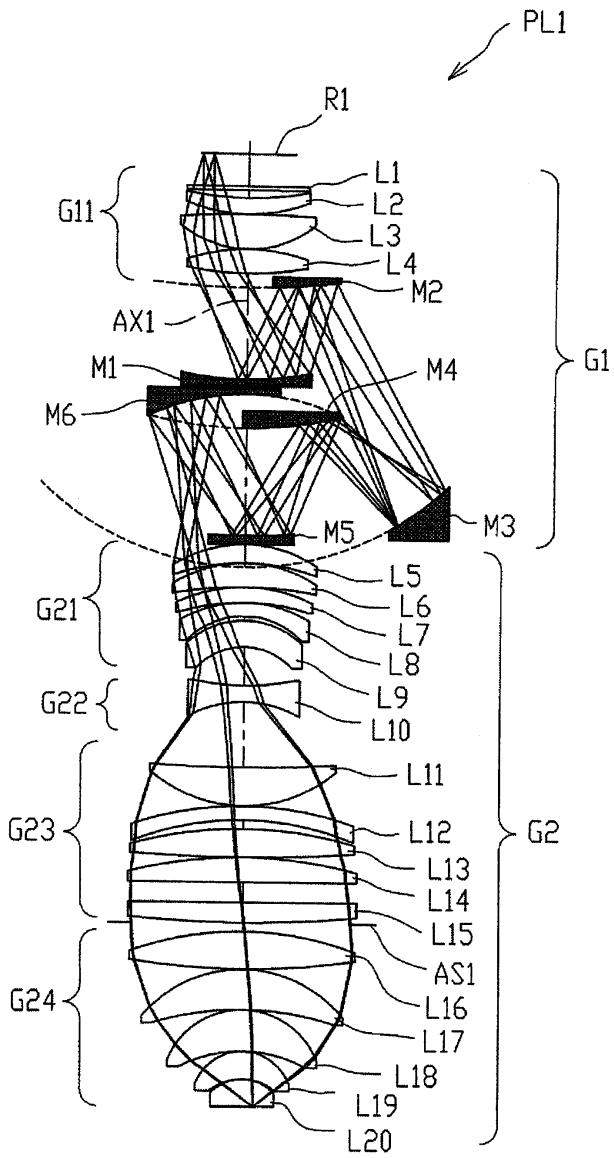
도면12



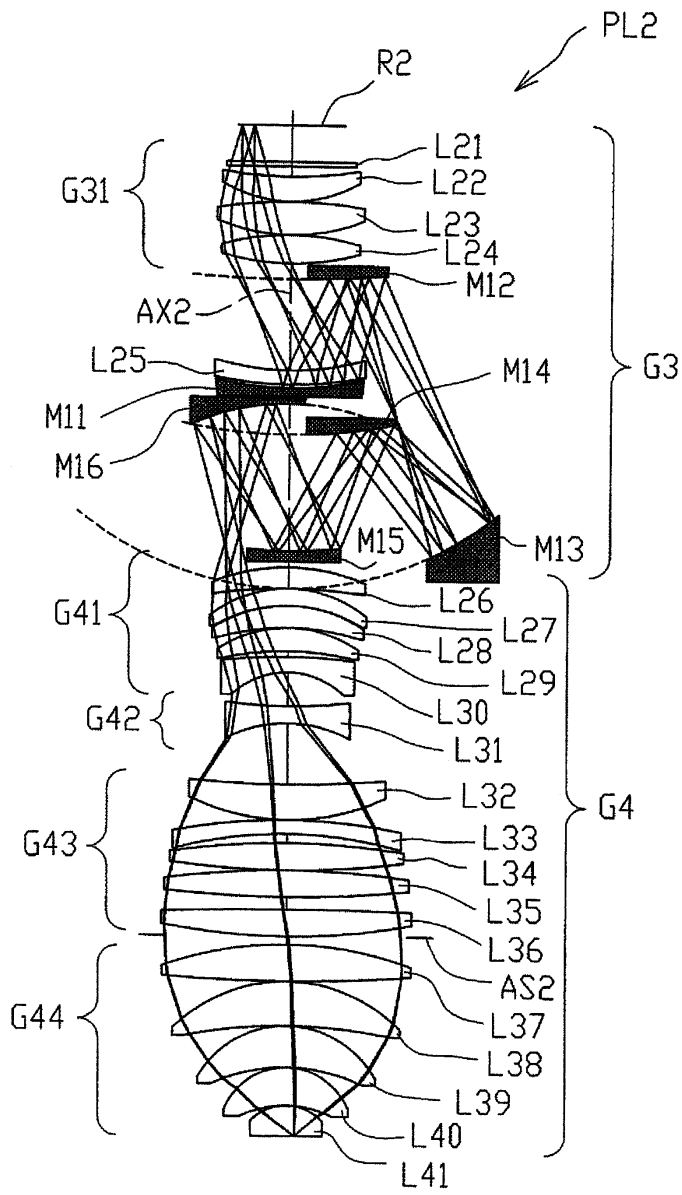
도면13



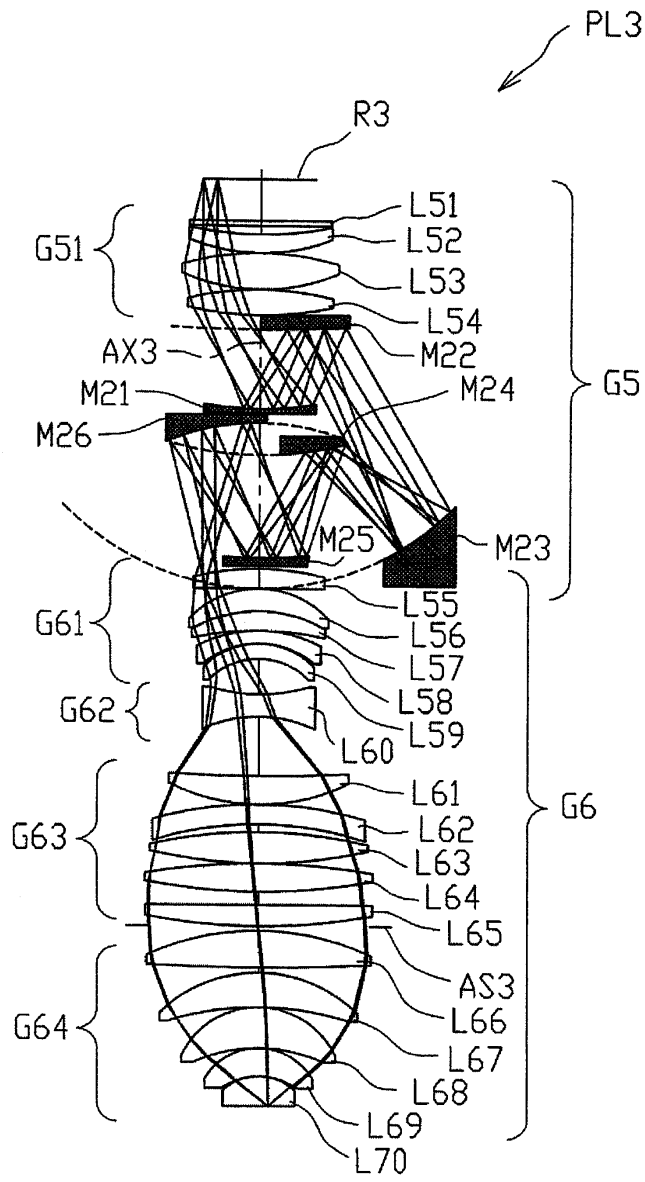
도면14



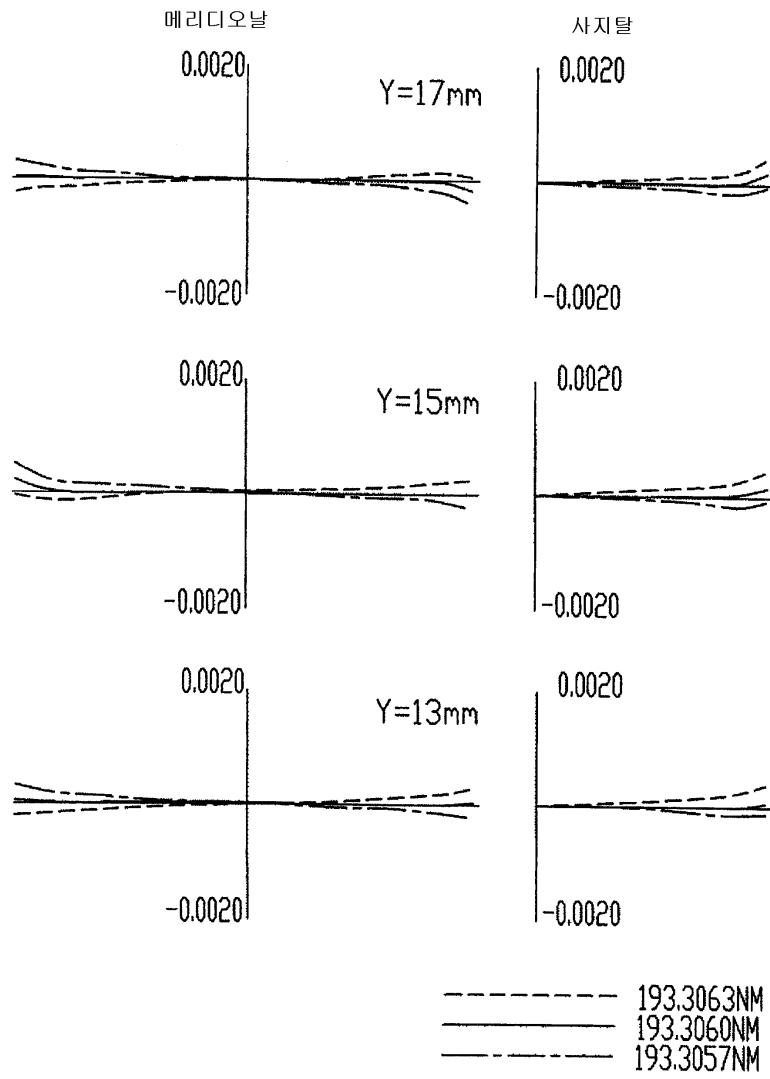
도면15



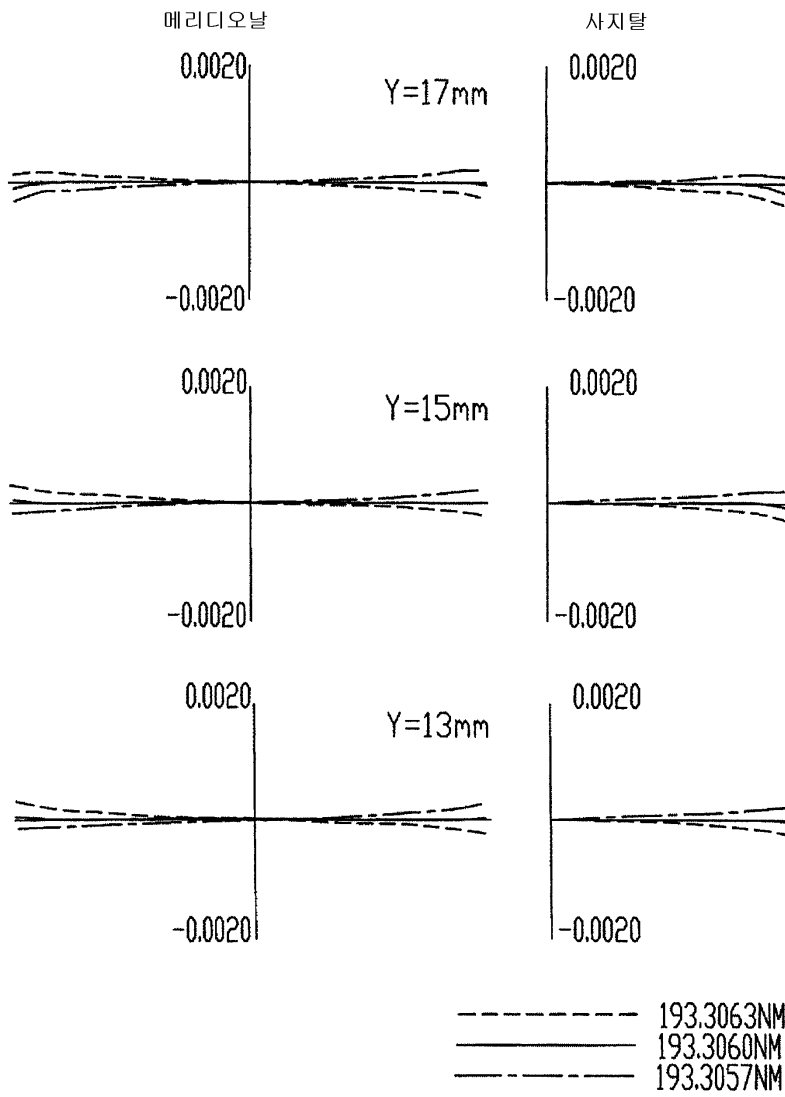
도면16



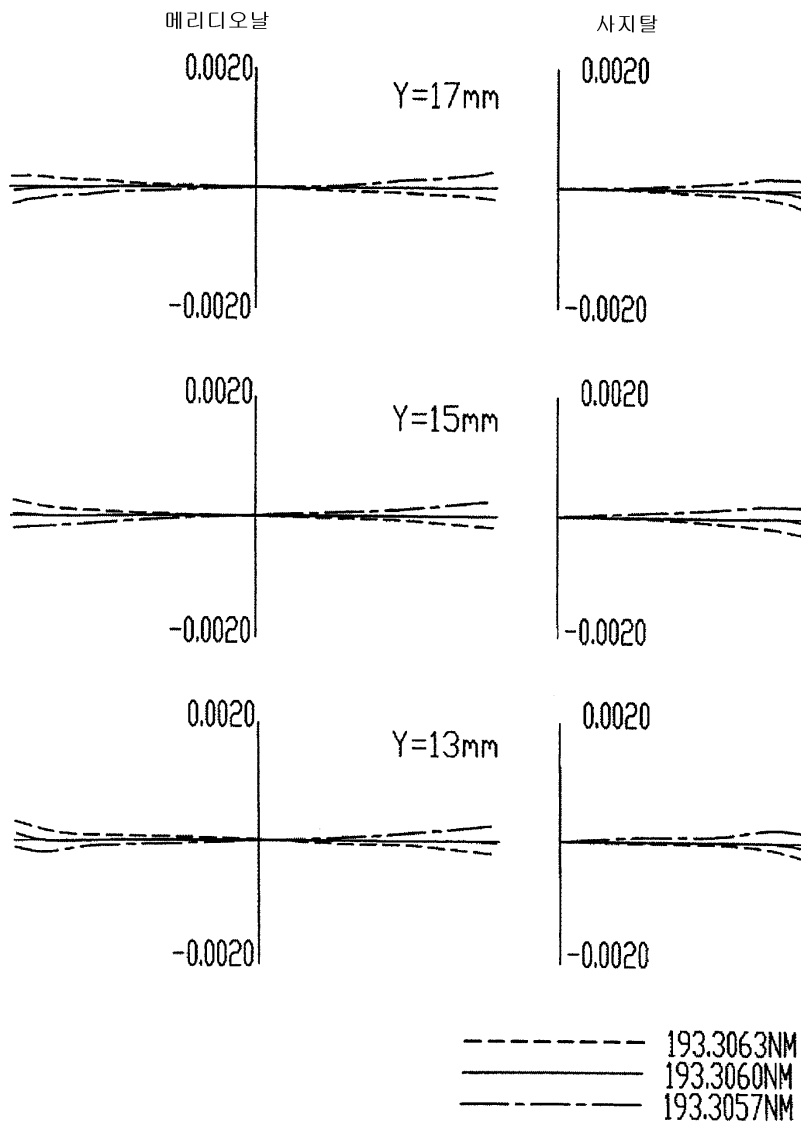
도면17



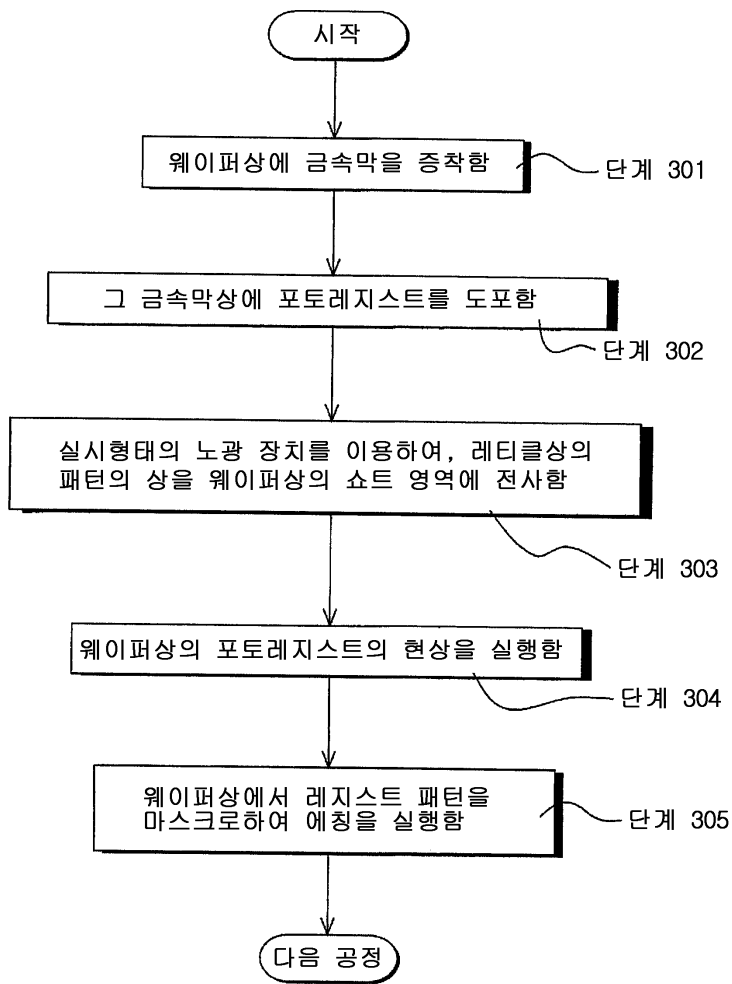
도면18



도면19



도면20



도면21

