



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년04월01일
(11) 등록번호 10-1248328
(24) 등록일자 2013년03월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/027 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-7023187(분할)
(22) 출원일자(국제) 2005년06월03일
심사청구일자 2011년09월30일
(85) 번역문제출일자 2011년09월30일
(65) 공개번호 10-2011-0123792
(43) 공개일자 2011년11월15일
(62) 원출원 특허 10-2007-7000237
원출원일자(국제) 2005년06월03일
심사청구일자 2010년06월01일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2005/005979
(87) 국제공개번호 WO 2005/119369
국제공개일자 2005년12월15일
(30) 우선권주장
60/576,808 2004년06월04일 미국(US)
60/633,258 2004년12월03일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP2001508340 A*
US20030099034 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
칼 짜이스 에스엠티 게엠베하
독일 오버코헨 73447 루돌프-에버-슈트라쎄 2
(72) 발명자
샤이블레 파트리크
독일 73431 아알렌 엑카르트슈트라쎄 8
파저디스 알렉산드라
독일 73431 아알렌 훔볼트슈트라쎄 13
(74) 대리인
(뒷면에 계속)
한양특허법인

전체 청구항 수 : 총 4 항

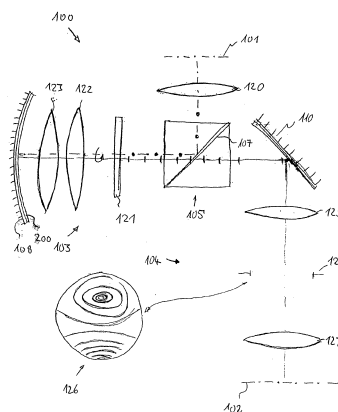
심사관 : 계원호

(54) 발명의 명칭 강도 변동이 보상된 투사 시스템 및 이를 위한 보상 요소

(57) 요약

투사 대물렌즈의 물체 평면에 배열된 패턴을 투사 대물렌즈의 이미지 평면에 결상하기 위한 투사 대물렌즈에서, 기관을 갖는 적어도 하나의 광학 소자가 구비되는데, 상기 기관의 적어도 하나의 면은 상기 광학 소자의 이용가능한 단면에 걸쳐 반사율 및/또는 투과율의 큰 공간적 변조를 갖는 간섭층 시스템으로 덮이며, 변조는 투사 대물렌즈의 잔여 소자들의 공간적 투과율 분포에 적합화되어 필름 면에서 측정된 방사의 강도 분포가 간섭층 시스템을 갖지 않은 투사 대물렌즈에 비해 실질적으로 감소된 공간 변조를 갖도록 한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

가라이스 라이너

독일 73431 아알렌 쉘링슈트라쎄 99

토틀제크 미카엘

독일 73525 슈배비쉬 그윈트 슈베르쎄 베그 11

펠트만 하이코

독일 73525 슈배비쉬 그윈트 괴테슈트라쎄 105

그로이프너 파울

독일 73430 아알렌 쉘레스라인베그 21

로스탈스키 한스-위르겐

독일 73447 오버코헨 디트리히-본회퍼-슈트라쎄 9

징거 볼프강

독일 73431 아알렌 예거란트슈트라쎄 45

특허청구의 범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

투사 대물렌즈의 물체 평면에 배열된 패턴을 투사 대물렌즈의 이미지 평면에 결상하기 위한 투사 대물렌즈로서,
물체 평면(101)과 이미지 평면(102) 사이에 복수개의 광학 소자들이 배열되고,

적어도 하나의 광학 소자가 기관을 갖되, 기관의 적어도 하나의 면은 광학 소자의 사용가능한 단면에 걸쳐 반사율 또는 투과율의 공간적 변조를 갖는 간섭층 시스템(200)으로 덮이며, 상기 변조는, 필름 면(126)에 존재하는 방사의 강도 분포가 간섭층 시스템을 갖지 않는 투사 대물렌즈와 비교하여 실질적으로 상이한 공간적 변조를 가지며,

상기 간섭층 시스템은 투과율 또는 반사율의 비대칭 공간 변조를 갖는 것을 특징으로 하는 투사 대물렌즈.

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

기관을 갖는 광학 소자의 제조방법으로서, 상기 기관의 적어도 하나의 면이 상기 광학 소자의 사용가능한 단면에 걸쳐 큰 변조 크기를 갖는 반사율 또는 투과율의 공간적 변조를 갖는 간섭층 시스템으로 덮인 광학 소자의 제조방법으로서,

개개 층들이 주위와 인접한 외곽 층을 구비하는 복수개의 개개 층들로부터 간섭층 시스템을 형성하는 단계;

층 두께의 변조를 갖는 공간적 층 두께 분포를 갖는 간섭층 시스템의 외곽 층을 형성하는 단계;를 포함하고,

외곽 층은 최소 층 두께가 상기 외곽 층의 최대 층 두께의 90% 미만인 되도록 형성되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

간섭층 시스템의 최외곽 층을 제외한 모든 개개 층들은 본질적으로 균일한 층 두께로 형성되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 외곽 층은 상기 외곽 층 용으로 제공되는 최대 층 두께로 형성되며,

상기 간섭층 시스템의 상기 외곽 층을 형성하는 단계 후, 고에너지 방사로 조사함으로써 외곽 층의 층 물질의 국지적 제거에 의해 외곽 층의 소망된 공간적 층 두께 분포를 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

명세서

기술분야

- [0001] 본 발명은 강도 변동이 보상된 투사 시스템 및 이를 위한 보상 요소에 관한 것이다.
- [0002] 본 발명은 또한 투사 대물렌즈의 물체 평면에 배열된 패턴을 투사 대물렌즈의 이미지 평면에 결상하는 투사 대물렌즈에 관한 것이고, 또한 기판을 갖는 광학 소자에 관한 것으로서, 상기 광학 소자의 적어도 하나의 기판 면은 간섭층 시스템(interference layer system)으로 덮인다. 광학 소자는 카타디옵트릭 또는 디옵트릭 투사 대물렌즈에 합체화되기 위하여 제공될 수도 있고 또는 후자에 합체화될 수 있다.
- [0003] 본 발명은 또한 투사 노광 장치에 관한 것으로, 특히 본원 우선일 전에 공개되지 않은 미국 특허출원 제 60/592208호, 제60/530978호, 제60/591775호 또는 제60/612823호에 상세하게 기재된 바와 같은 액침 리소그래피용 투사 노광 장치에 관한 것이다. 여기서 액침 매질은 액체, 바람직하게는 물이다.
- [0004] 본 발명은 또한 투사 노광 장치에 관한 것으로, 특히 예컨대 미국 공개특허공보 제2003/174301호에 개시된 것과 같은 근접장 리소그래피(near field lithography)-고체 액침 렌즈(SIL; solid immersion lens) 리소그래피와 유의어-용 투사 노광 장치에 관한 것이다.

배경기술

- [0005] 마이크로 리소그래피용 투사 노광 장치는 반도체 소자 및 다른 미세 패턴 소자 제조에 사용된다. 이는 포토마스크 또는 레티클(이하에서는 통상적으로 마스크 또는 레티클이라 함)로부터 패턴을 감광층으로 코팅된 물체 상에, 예컨대 포토리지스트로 코팅된 반도체 웨이퍼 상에 매우 고해상도로 축소된 스케일로 투사하는 역할을 한다.
- [0006] 반도체 소자를 포토리소그래피법으로 패터닝하는 공정에 있어서, 모든 구조 방향들 특히 수평 구조 및 수직 구조가 본질적으로 동일한 결상 품질로 결상되어야 한다는 것이 매우 중요하다. 리소그래피 대물렌즈들의 결상 품질은 수차의 보상 상태뿐만 아니라 필드에 있어서의 강도 프로파일 및 각 필드 지점의 필드에 있어서의 강도 프로파일에 의해 결정된다. 필드 및 필드에서의 프로파일들은 가능한 한 균일해야 한다. 이미지 평면에서의 국지적인 강도 변조는 그 중에서도 특히 피해야만 하는데, 이는 오늘날 통상적인 2성분 리지스트 물질이 매우 비선형적인 민감도 특성 곡선을 갖기 때문인데, 이 곡선은 문턱 강도 이하에서는 노광이 이루어지지 않으나 문턱 강도 이상에서는 노광이 이루어진다는 것으로 1차 근사로 모델링될 수 있다. 그 결과, 공간적인 강도 프로파일은 반도체 소자 상에 형성된 구조체들의 폭에 직접적인 영향을 준다. 필드에 있어서 그리고 상이한 구조 방향들에 있어서 선폭이 더욱 균일하면 균일할수록 완성된 반도체 소자를 사용할 때 클럭 주파수(clock frequency)가 더 높을 것이며 따라서 완성된 반도체 소자의 성능 및 가격 역시 더 높을 것이다. 따라서, 최소 배선평(CD; critical dimension)의 변동은 중요한 품질 판단 기준이다.
- [0007] 최소 배선평의 변동은 상이한 원인들, 개별적으로 또는 축적적으로 작용하는 원인들을 가질 수 있다. 특히 편광으로 작동하는 시스템들에 있어서, 입사각에 의존하는 간섭층 시스템들의 반사율 또는 투과율 특성은 필드 및 필드에 있어서 강도의 비균일성을 초래할 수 있다. 이 문제 영역은 순수 굴절(refractive)(디옵트릭) 결상 시스템들의 경우에 발생할 수 있다. 상기과 같은 원인들은 특히 카타디옵트릭 투사 대물렌즈들, 즉 굴절 소자들 및 반사 소자들, 특히 렌즈들 및 결상 거울들이 결합된 시스템에서 발생할 수 있다. 결상 거울 면들을 이용할 때,

만일 모호하게(obscuration) 하지 않거나 비네팅(vignetting)이 일어나지 않도록 하는 결상을 달성해야 한다면, 빔 스플리터를 이용하는 것이 바람직하다. 기하학적 빔 스플리팅을 갖는 시스템들 및 물리적인 빔 스플리팅 예컨대 편광 빔 스플리팅을 갖는 시스템들이 가능하다. 그러한 투사 대물렌즈들에 있어서 거울 면들을 사용하는 것은 결상 중 발생하는 최소 배선폭 변동에 기여할 것이다.

[0008] 칼슘 플루오라이드와 같은 플루오라이드 결정 및 합성 석영 글래스를 사용할 때, 이 물질들이 복굴절 물질이라는 점을 더욱 고려해야만 한다. 이 물질들은 그것을 통과하는 광의 유도된 및/또는 본질적인 복굴절 때문에 편광-변동 효과를 유발하는데, 이는 또한 최소 배선폭 변동 발생에 기여한다. 마지막으로, 투명 소자들에 있어서 예컨대 산란 센터(scattering center) 또는 찰흔(striation)과 같은 물질 결함 또한 강도 분포의 비균일성에 이르게 할 것이다.

[0009] 또한, 흡수성 광학 요소들, 특히 액침 매질, 특히 액침 액체, 고체 액침 렌즈(SIL; solid immersion lens) 또는 다른 것, 고굴절율의 굴절성 광학 물질은 필드 및 퓨필에 의존하는 투과율 분포에 이르게 하며 따라서 투과율 프로파일에서 오차가 발생하는 것에 이르게 한다.

[0010] 출원인에 의한 2004년 1월 19일자 독일 특허출원 DE 102004002634.3을 기초출원으로 한 우선권주장출원인 출원인에 의한 2004년 2월 24일자 국제특허출원 PCT/EP2004/001779은 액침 리소그래피용으로 디자인된 마이크로리소그래피 노광 장치를 개시하고 있는데, 투사 대물렌즈는 투과율 필터를 포함하며, 이 투과율 필터는, 이미지측 최종 광학 요소와 투사 대물렌즈의 이미지 평면 사이에 형성되며 이미지측 상의 최종 광학 요소로부터 액침 액체로 채워진 액침 사이공간(interspace)에 입사각을 가지고 진입하는 광이 입사각이 작을수록 더 강하게 감쇄되는 방식으로 디자인되어 투사 대물렌즈에 배열된다. 이 PCT 출원의 개시사항은 본원에 참조로서 포함된다.

[0011] 투사 노광 장치가 사용된 기간이 증가함에 따라, 상기 투과율 분포는 요소의 투과율 성질의 변화에 따라 변한다. 이는 투사 노광 장치의 정비를 필요로 한다.

[0012] 광학 시스템의 투과율 성질을 퓨필 필터링 또는 아포다이징(apodization)을 이용하여 변화시킬 수 있다는 것이 알려져 있으며, 통과하는 방사의 강도 분포 또는 방사의 위상 각도를 기초로 한 발명이 가능하다. 특허 US 5,222,112는 거울 구성요소만으로 작동하는 극 자외선용 투사 시스템을 개시하는데, 그 경우 다중으로 코팅된 거울 상의 s편광과 p편광에 대한 상이한 반사율에 기인하여 결상 성능의 열화가 발생할 수 있다. 투사 대물렌즈의 퓨필 면 영역에 배열된 볼록 거울은 회전 대칭이면서도 시스템의 결상 성능을 증진하기 위하여 거울의 가장자리로 갈수록 감소하는 반사율 분포를 갖는다. 소프트 x선을 투과시키며 대응하는 회전 대칭 투과율 함수를 갖는 투과율 필터가 대안으로서 언급되어 있다. 충분한 공간적 반사율 변조를 가진 거울의 제조 방법에 대해 수많은 가능성들이 언급되어 있다. 한 가능성은 반사성인 다층 간섭층 시스템을 디자인하는 것인데 개별적인 층들의 층 두께가 중앙으로부터 가장자리로 갈수록 연속적으로 감소하거나 증가하도록 디자인하는 것이다(점진적으로 변화된 두께 다층(graded thickness multilayer)). 논의된 다른 가능성들은 다층 코팅에서의 층 쌍들의 개수를 변화시키는 것, 다층 코팅을 형성한 후 이온을 주입하는 것 또는 다층 코팅 상에 적절한 층 두께 분포를 갖는 흡수층을 형성하는 것 등을 포함한다. 어떤 경우든지 퓨필 면 영역에 배열된 거울은 공간적 주파수 필터로서 작용한다. 반사 코팅의 형성에 관한 어떠한 상세한 정보도 주어지지 않았다.

[0013] 국제특허출원 WO 02/077692 A1은 예컨대 렌즈가 많거나 적은 굴절율 비균일성을 갖거나 흠집을 갖는다고 하더라도 매우 작은 파면(wavefront) 수차를 갖는 투사 대물렌즈를 제공하는 것을 가능하게 하기 위한 광학 시스템 제조 공방법을 개시하고 있다. 그 방법은 렌즈 제조용으로 사용된 광학 재료의 굴절율 분포가 측정되는 측정 단계와, 렌즈의 면 형상이 결정되는 면 측정 단계를 포함한다. 렌즈의 광학적 오차 또는 파면 오차는 측정 결과를 기초로 하여 결정된다. 계산된 결과를 기초로 하여 광학 코팅이 렌즈 상에 형성되는데, 상기 광학 코팅은 파면 오차를 최소화하기에 적합한 사전설정된 두께 분포를 갖는다. 코팅은 따라서 코팅된 광학 요소에서 가능한한 균일한 위상을 확실히 하기 위해 디자인된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0014] 본 발명은 최소 배선폭의 변동이 실질적으로 없거나 거의 없는 결상을 가능하게 하는 투사 시스템을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0015] 본 발명은 또한 간섭층 시스템으로 코팅되며 결상 중 전체적으로 균일한 강도 분포를 얻기 위한 보상 요소로서 투사 대물렌즈에서 사용가능한 광학 소자를 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0016] 본 발명은 또한 콘트라스트에서의 상당한 손해를 가질 필요가 없는 액침 리소그래피의 장점을 이용하는 투사 노광 시스템을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0017] 본 발명은 또한 액침 시스템의 장시간 결상 품질 안정성을 확실하게 하는 수단을 제공하는 투사 노광 시스템을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0018] 이러한 목적들 및 다른 목적들은 독립항에 따른 투사 대물렌즈들, 투사 노광 장치, 광학 요소들 및 방법에 의해 달성된다.

[0019] 바람직한 세부사항이 종속항에 상세하게 기재되어 있다. 모든 청구항의 기재는 본 상세한 설명에 참조로서 포함된다.

[0020] 본 발명의 일 특징에 따른 투사 대물렌즈의 물체 평면에 배열된 패턴을 투사 대물렌즈의 이미지 평면에 결상하기 위한 투사 대물렌즈는 물체 평면과 이미지 평면 사이에 다수의 광학 소자들을 갖는다. 적어도 하나의 광학 소자는 그 광학 소자의 사용가능한 단면에 걸쳐 반사율 및/또는 투과율의 상당한 공간적 변조를 갖는 간섭층 시스템으로 코팅된 적어도 하나의 면을 갖는 기관을 갖는데, 상기 변조는, 필름 면에 존재하는 방사의 강도 분포가 간섭층 시스템이 없는 투사 대물렌즈에 비하여 실질적으로 감소된 공간적 변조를 갖도록, 투사 대물렌즈의 다른 소자들의 공간적 투과율 분포에 적합화된다.

[0021] 사용가능한 단면에 걸쳐 반사율 및/또는 투과율의 상당한 공간적 변조를 갖는 간섭층 시스템으로 코팅된 적어도 하나의 면을 갖는 기관을 포함하는 광학 소자는, 투사 대물렌즈의 하나 이상의 원인에 의해 유발된 최종 강도 콘트라스트(net intensity contrast)에 의해 유발된 투과율 프로파일에서의 오차를 보상하기 위한 보정 요소로서 효과적이다. 최종 강도 콘트라스트는 3% 필름 효과 또는 필드 효과보다 클 것이다.

[0022] 따라서, 본 발명의 일 특징은 간섭층 시스템의 도움으로 필름 면 영역에서의 위치 의존적인 강도 변동을 보상하는 것인데, 상기 간섭층 시스템의 광학 효율은 제조 공차 때문에 초래되는 광학 특성의 피할 수 없는 변동보다 실질적으로 더 큰 정도로 유용한 영역에 걸쳐 공간적으로 변조된다. 특히, 투사 대물렌즈 내의 적어도 하나의 간섭층 시스템의 효과를 목적으로 된 방식으로 적합한 위치 또는 영역에서 "감손하는 것(impair)"이 제안된다. 이 경우, 간섭층 시스템은 선택적으로 반사 시스템(거울 층) 코팅으로서 또는 반사-감소(reflection-reducing) 시스템(반-반사(anti-reflection)) 코팅으로서 형성될 수 있다. 이러한 유형의 통상적인 간섭층 시스템을 위하여, 사용가능한 전체 면에 걸쳐 가능한 한 균일한 효율(반사율 및/또는 투과율)을 얻는 것이 필요하다. 이 경우, 균일한 효과로부터 벗어나는 것은 제조 공차의 사정에 있어서 피할 수 없으며 그러한 것은 절대 굴절율 또는 투과율에 있어서 때때로 매우 일부이거나 몇 퍼센트 되지 않는다. 이에 비하여, 본 발명에 따른 간섭층 시스템의 효과는 선택된 위치에서 상당한 양만큼 감소하는데, 예컨대 적어도 하나의 좋지 않은 반사 영역이 거울 면 상에 위치하거나 적어도 하나의 오직 약하게 반사를 감소시키는 영역만이 반-반사 코팅 상에 존재한다.

[0023] 그러한 간섭층 시스템은 광학 시스템 내에 그것을 적합한 위치에 배열함으로써 강도 변동의 보상용으로 사용될 수 있는데, 이는 공간적으로 동등하지 않은 입사 강도 분포가 간섭층 시스템의 효과에 의해 더욱 균일하게 되도록 함으로써 이루어진다. 예컨대, 입사하는 방사 다발(impinging radiation bundle)이 특히 높은 강도 영역에서 비균일한 공간적 강도 분포를 갖는다면, 예컨대 높여진 방사 강도 영역이 상당히 더 약한 반사율의 영역에 입사하여 반사된 광 다발에서 더욱 균일한 강도 분포가 되도록 하는 방식으로 거울층을 배열하는 것이 가능하다. 상응하는 효과를 반-반사층 시스템을 이용하여 달성할 수도 있는데, 이 경우 특히 높은 입사 광 강도 영역에서 반사-감소 효과가 인접 영역에 비해 감소되도록 하여 강도가 인접 영역에 비해 더 많이 반사되도록 함으로써 광학 소자를 통과하는 방사의 강도 분포가 더욱 균일해 지도록 할 수 있다.

[0024] 만일 간섭층 시스템이 반사 코팅이라면, 반사율의 변동 크기는 바람직하게는 대략 3%이상일 것이며, 특히 간섭층 시스템의 최대 반사율의 대략 5%와 대략 20% 사이일 것이다. 이와 같은 예에서와 같이, 주어진 입사각에 대해 유효 면에 걸쳐 반사율이 변하는 고 반사층(HR layer; high reflective layer) 시스템을 복수의 퍼센트, 예컨대 대략 2, 4, 6, 8 또는 10퍼센트 또는 그 이상으로 제조하는 것이 가능하다.

[0025] 만일 간섭층 시스템이 반-반사 코팅이라면, 변동 크기는 바람직하게는 사전설정된 입사각에 대한 최소 반사율의 50% 이상, 특히 100% 내지 500% 이상일 수 있다. 특히, 변동 크기가 매우 커서 면의 적어도 하나의 영역에서의 간섭층 시스템의 반사율이 덮이지 않은 기관의 반사율의 대략 50% 이상, 특히 100% 이상에 이를 수 있다. 알려진 바와 같이, 이러한 잔여 반사율(residual reflectance)은 리소그래피 대물렌즈에 사용된 많은 투명 물질들의

경우 대략 4%의 영역에 있는데, 반면 "우수한" 반-반사 코팅은 때때로 1% 또는 그 이하의 잔여 반사율을 가능하게 한다.

[0026] 더 우수하고 더 조악한 반사율 또는 투과율 효과를 갖는 영역의 공간적 분포는 소망된 보상 효과를 달성하기 위하여 임의의 적합한 방식으로 입사하는 방사의 공간적 강도 분포에 적용될 수 있다. 이 경우, 투과율 및/또는 반사율의 변조는 예컨대 광학 소자의 광축에 대해 회전 대칭일 수 있다. 간섭층 시스템의 반사율 및/또는 투과율이 광축에 대해 방위각 변조(azimuthal modulation), 특히 2-, 3-, 4- 또는 6-폴드 대칭을 가진 방사방향 대칭 변조를 갖는 것도 가능하다. 그러한 실시예들은 특정 결정 방향을 가진 결정 물질의 본질적 이방성에 기인한 강도 변조 보상을 위해 특히 유용하다. 간섭층 시스템이 그 광학 효과의 비대칭 공간 변조를 갖는 것도 가능하나, 예컨대 광축에 대한 횡방향으로 투과율 및/또는 반사율이 연속적으로 증가하거나 감소하는 프로파일을 갖거나 감소된 효과의 임의의 다른 영역들의 분포를 갖는 것도 가능하다.

[0027] 가능한 한 정확한 보상 효과를 얻기 위하여, 간섭층 시스템의 국지적인 반사율 또는 투과율 프로파일이 소망된 프로파일로부터 오직 조금 편향되도록 하는 것이 필요하다. 이는, 하나의 상부에 다른 하나가 위치하며 고굴절율과 저굴절율을 교번하여 갖는 복수개의 개별적인 층들을 간섭층 시스템이 가지며 주변에 인접한 외곽층이 층 두께의 상당한 변조를 가진 국지적 층 두께 분포를 갖는다는 것에 의해 달성된다. 이와 대비하여, 밑에 있는 층들은 제조 공차라는 의미에 있어서 균일한 층 두께를 가질 수 있다. 최외곽 층의 층 두께는, 적합하다면, 최소 층 두께가 최대 층 두께의 90%, 80%, 60%, 40% 또는 20%보다 작도록 변할 수 있다. 이 결과, 반사 코팅의 경우 및 반-반사 코팅의 경우 모두에 있어서, 국지적으로 소망된 효율을 가진 고정밀 반사율 또는 투과율 변조를 얻을 수 있다는 것을 확인하였다. 최외곽 층의 층 두께는 바람직하다면 영역들에 있어서 0에 이를 수도 있다.

[0028] 외곽 층은 고굴절율 물질을 구비할 수 있다. 그러한 디자인은 주로 반사 코팅용에 대해 통상적이다. 최외곽 층이 저굴절율 물질을 구비하는 것도 가능하다. 이는 때때로 반-반사 코팅의 경우이다. 몇몇 실시예들에서, 적어도 최외곽 층은 사분의 일 파장($\lambda/4$) 층의 크기로 나타난다. 이 경우 사분의 일 파장 층이라는 용어는 층 물질의 굴절율 n 과 기하학적 층 두께 d 의 곱이 $\lambda/4 \pm 10\%$ 의 값에 대응한다는 것을 의미하는데, 여기서 λ 는 시스템의 작동 파장(operation wavelength)이다. 간섭층 시스템의 복수개의 또는 모든 개개 층은 사분의 일 파장 층으로 형성될 수 있다.

[0029] 간섭층 시스템의 효율의 공간적 변조는 상이한 방식으로 이루어질 수 있다. 일 변형에는 완성된 간섭층 시스템을 고에너지 방사선, 특히 사전설정된 공간적 분포에 따라 이온 빔으로 조사하는 것을 수행함을 포함하는데, 그 조사에 의해 변화된 층 구조를 제조하기 위함이다. 이 경우, 이온 빔은 예컨대 처리될 면에 걸쳐 컴퓨터 계산으로 제어되는 방식으로 가이딩될 수 있으며, 강도를 처리하는 것은 면 상의 상이한 위치에서 머무르는 지속시간에 의해 세팅될 수 있다. 이 경우, 층 구조는 예컨대 큰 층 두께 변화를 갖는 최외곽 층의 소망된 층 두께 분포를 만들기 위해 변화될 수 있다. 다른 대안으로서, 층의 흡수율이 조사에 의해 증가될 수도 있는데, 이는 반-반사 코팅의 투과율을 감소시키거나 반사 코팅의 반사율을 감소시키기 위해 이용될 수 있다. 따라서, 층 물질의 국지적인 제거(removal) 및/또는 변경(alteration) 특히 최외곽 층의 국지적인 제거 및/또는 변경은 층 두께 변화를 나타내기 위해 사용될 수 있다.

[0030] 층 특성의 소망된 공간적 분포는 또한 적용될 개개 층들의 층 두께 변화가 코팅 프로세스 중 이루어진다는 사실에 의해 달성될 수 있다. 본질적으로 알려진 칸막이판 법(diaphragm method)을 이를 위하여 이용할 수 있는데, 이 경우 기관 면의 부분들은 코팅 공정 중 물질 소스와 코팅될 기관 사이의 셰이딩 칸막이판에 의해 때때로 셰이딩되는데 이는 소망된 층 두께 프로파일 및/또는 특정 층 특성을 달성하기 위함이다. 광학 코팅 특성에 영향을 주기 위한 칸막이판 법은 예컨대 출원인의 독일 특허출원 DE 102 37 430.9 및 그 출원에서 인용된 문헌에 설명되어 있다. 상이한 비-회전대칭 층 두께 프로파일을 만들기 위한 특별한 칸막이판 법은 실시예들에 더욱 상세히 설명되어 있다.

[0031] 본 발명은 또한 사용가능한 단면에 걸쳐 큰 변조 크기로 반사율 및/또는 투과율의 상당한 공간적 변조를 갖는 간섭층 시스템으로 덮인 적어도 하나의 면을 갖는 기관을 갖는 광학 소자 제조방법에 관한 것이다. 그 방법은 특히 큰 층 두께 변조를 갖는 공간적 층 두께 분포를 가진 간섭층 시스템의 최외곽 층을 형성하는 것을 포함하는데, 최소 층 두께는 최대 층 두께의 바람직하게는 80%, 60%, 40% 또는 20%이다. 하부 층은 본질적으로 균일한 층 두께를 가질 수 있다. 일 변형예에 따른 방법은 먼저 최대 층 두께의 외곽 층을 형성하고 이어 소망된 층 두께 분포의 최외곽 층을 형성하는데, 이는 예컨대 이온 빔 식각(스퍼터링)에 의해 층 물질을 국지적으로 제거함으로써 반사율 및/또는 투과율의 소망된 공간적 변조에 이르게 한다.

[0032] 본 발명에 따른 광학 소자들은 다양한 광학 시스템에서 사용될 수 있다. 응용예의 바람직한 분야는 고성능 결상

시스템, 특히 마이크로리소그래피용 투사 대물렌즈이다. 카타디옵트릭 투사 대물렌즈들에 있어서의 사용은 특히 바람직한데, 즉 오목 거울 및 할당된 빔 편향 소자를 구비하는 적어도 하나의 카타디옵트릭 대물렌즈부분을 갖는 그러한 투사 대물렌즈들에 있어서의 사용이 특히 바람직하며, 여기서 빔 편향 소자는 투사 대물렌즈의 물체 평면으로부터의 방사를 오목 미리 방향으로 향하게 하고 및/또는 오목 거울로부터의 반사된 방사를 이후 대물렌즈부분의 방향으로 편향시킨다. 카타디옵트릭 대물렌즈부분 이후 및/또는 이전에 적어도 하나의 추가 대물렌즈부분을 배열시키는 것이 때때로 바람직한데, 추가 대물렌즈부분은 바람직하게는 순수 굴절성으로(dioptrically) 구성된다. 본 발명은 또한 순수 굴절 투사 대물렌즈들에서 또는 더 큰 결상 시스템의 순수 굴절 부분 대물렌즈 부분 내에서 이용가능하다. 본 발명은 적어도 하나의 실 중간 이미지를 갖는 투사 대물렌즈들의 경우와 물체 필드가 이미지 필드에 직접 결상되는, 즉 중간 이미지를 갖지 않는 투사 대물렌즈의 경우에 이용될 수 있다.

[0033] 투과율 프로파일에서의 전술한 바와 같은 오차, 예컨대 액침 액체와 같은 흡수 물질에 의해 유발되는 오차는 광학 요소의 최종 강도 콘트라스트로서 결정될 수 있다. 이것은 푸필 효과 및 필드 효과를 갖는다.

[0034] 본 발명의 일 특징에 따른 투사 노광 장치는 보상 요소 특히 투과율에 영향을 미치는 필터를 가진 보상 요소를 구비한다. 상기 보상 요소는 액침 매질에 의해 유발된 필드 의존적이며 푸필 의존적인 투과율 분포를 보상한다. 이 경우, 매개변수, 특히 광학 요소의 투과율 성질에 실질적으로 영향을 미치는 투과율 지수 α 를 결정하는 것이 바람직하다.

[0035] 만일 보상 요소가 투사 노광 장치 특히 투사 대물렌즈에 수차의 문제를 유발한다면, 제2보상 요소를 이용하여 이것을 적어도 부분적으로 보상할 수 있다.

[0036] 상기와 같은 절차는, 투과율 분포가 액침 매질의 변경에 의해 변하는 투사 노광 장치의 정비작업에도 적합하다. 이 경우, 바람직하게는 상기 파라미터 특히 투과율 지수 α 가 새로 결정된다. 이 새로운 결정은 특히 시뮬레이션 또는 측정에 의해 수행된다.

[0037] 상기와 같은 특징 및 다른 특징은 청구의 범위의 기재로부터 현출되는 것 뿐만 아니라 상세한 설명 및 도면으로부터도 현출되는 것이다. 이 경우, 각 경우 그 자체로서 또는 본 발명의 일 실시예의 서브컴비네이션의 형태로 복수개로서 그리고 다른 분야에서, 개별적인 특징들이 실현될 수도 있고 바람직하고 그 자체로 보호받을 수 있는 실시예를 나타낼 수도 있다.

발명의 효과

[0038] 푸필 면에서 측정된 방사의 강도 분포가 종래의 투사 대물렌즈에 비해 실질적으로 감소된 공간 변조를 갖도록 함으로써, 투사 노광 장치 등의 제조 및 이용분야에서 우수한 성능을 발휘할 수 있다.

[0039] 사용가능한 단면에 걸쳐 반사율 및/또는 투과율의 상당한 공간적 변조를 갖는 간섭층 시스템으로 코팅된 적어도 하나의 면을 갖는 기관을 포함하는 광학 소자는, 투사 대물렌즈의 하나 이상의 원인에 의해 유발된 최종 강도 콘트라스트(net intensity contrast)에 의해 유발된 투과율 프로파일에서의 오차를 보상하기 위한 보정 요소로서 효과적이다. 최종 강도 콘트라스트는 3% 푸필 효과 또는 필드 효과보다 클 것이다.

[0040] 따라서, 본 발명의 일 특징은 간섭층 시스템의 도움으로 푸필 면 영역에서의 위치 의존적인 강도 변동을 보상하는 것인데, 상기 간섭층 시스템의 광학 효율은 제조 공차 때문에 초래되는 광학 특성의 피할 수 없는 변동보다 실질적으로 더 큰 정도로 유용한 영역에 걸쳐 공간적으로 변조된다. 특히, 투사 대물렌즈 내의 적어도 하나의 간섭층 시스템의 효과를 목적으로 된 방식으로 적합한 위치 또는 영역에서 "감손하는 것(impair)"이 제안된다. 이 경우, 간섭층 시스템은 선택적으로 반사 시스템(거울 층) 코팅으로서 또는 반사-감소(reflection-reducing) 시스템(반-반사(anti-reflection)) 코팅으로서 형성될 수 있다. 이러한 유형의 통상적인 간섭층 시스템을 위하여, 사용가능한 전체 면에 걸쳐 가능한 한 균일한 효율(반사율 및/또는 투과율)을 얻는 것이 필요하다. 이 경우, 균일한 효과로부터 벗어나는 것은 제조 공차의 사정에 있어서 피할 수 없으며 그러한 것은 절대 굴절율 또는 투과율에 있어서 때때로 매우 일부이거나 몇 퍼센트 되지 않는다. 이에 비하여, 본 발명에 따른 간섭층 시스템의 효과는 선택된 위치에서 상당한 양만큼 감소하는데, 예컨대 적어도 하나의 좋지 않은 반사 영역이 거울 면 상에 위치하거나 적어도 하나의 오직 약하게 반사를 감소시키는 영역만이 반-반사 코팅 상에 존재한다.

[0041] 그러한 간섭층 시스템은 광학 시스템 내에 그것을 적합한 위치에 배열함으로써 강도 변동의 보상용으로 사용될 수 있는데, 이는 공간적으로 동등하지 않은 입사 강도 분포가 간섭층 시스템의 효과에 의해 더욱 균일하게 되도록 함으로써 이루어진다. 예컨대, 입사하는 방사 다발(impinging radiation bundle)이 특히 높은 강도 영역에서 비균일한 공간적 강도 분포를 갖는다면, 예컨대 높여진 방사 강도 영역이 상당히 더 약한 반사율의 영역에 입사

하여 반사된 광 다발에서 더욱 균일한 강도 분포가 되도록 하는 방식으로 거울층을 배열하는 것이 가능하다. 상응하는 효과를 반-반사층 시스템을 이용하여 달성할 수도 있는데, 이 경우 특히 높은 입사 광 강도 영역에서 반사-감소 효과가 인접 영역에 비해 감소되도록 하여 강도가 인접 영역에 비해 더 많이 반사되도록 함으로써 광학 소자를 통과하는 방사의 강도 분포가 더욱 균일해 지도록 할 수 있다.

[0042] 본 발명은 또한 사용가능한 단면에 걸쳐 큰 변조 크기로 반사율 및/또는 투과율의 상당한 공간적 변조를 갖는 간섭층 시스템으로 덮인 적어도 하나의 면을 갖는 기판을 갖는 광학 소자 제조방법에 관한 것이다. 그 방법은 특히 큰 층 두께 변조를 갖는 공간적 층 두께 분포를 가진 간섭층 시스템의 최외곽 층을 형성하는 것을 포함하는데, 최소 층 두께는 최대 층 두께의 바람직하게는 80%, 60%, 40% 또는 20%이다. 하부 층은 본질적으로 균일한 층 두께를 가질 수 있다. 일 변형예에 따른 방법은 먼저 최대 층 두께의 외곽 층을 형성하고 이어 소망된 층 두께 분포의 최외곽 층을 형성하는데, 이는 예컨대 이온 빔 식각(스퍼터링)에 의해 층 물질을 국지적으로 제거함으로써 반사율 및/또는 투과율의 소망된 공간적 변조에 이르게 한다.

[0043] 본 발명에 따른 광학 소자들은 다양한 광학 시스템에서 사용될 수 있다. 응용예의 바람직한 분야는 고성능 결상 시스템, 특히 마이크로리소그래피용 투사 대물렌즈이다. 카타디옵트릭 투사 대물렌즈들에 있어서의 사용은 특히 바람직한데, 즉 오목 거울 및 할당된 빔 편향 소자를 구비하는 적어도 하나의 카타디옵트릭 대물렌즈부분을 갖는 그러한 투사 대물렌즈들에 있어서의 사용이 특히 바람직하며, 여기서 빔 편향 소자는 투사 대물렌즈의 물체 평면으로부터의 방사를 오목 미리 방향으로 향하게 하고 및/또는 오목 거울로부터의 반사된 방사를 이후 대물렌즈부분의 방향으로 편향시킨다. 카타디옵트릭 대물렌즈부분 이후 및/또는 이전에 적어도 하나의 추가 대물렌즈부분을 배열시키는 것이 때때로 바람직한데, 추가 대물렌즈부분은 바람직하게는 순수 굴절성으로(dioptrically) 구성된다. 본 발명은 또한 순수 굴절 투사 대물렌즈들에서 또는 더 큰 결상 시스템의 순수 굴절 부분 대물렌즈 부분 내에서 이용가능하다. 본 발명은 적어도 하나의 실 중간 이미지를 갖는 투사 대물렌즈들의 경우와 물체 필드가 이미지 필드에 직접 결상되는, 즉 중간 이미지를 갖지 않는 투사 대물렌즈의 경우에 이용될 수 있다.

[0044] 투과율 프로파일에서의 전술한 바와 같은 오차, 예컨대 액침 액체와 같은 흡수 물질에 의해 유발되는 오차는 광학 요소의 최종 강도 콘트라스트로서 결정될 수 있다. 이것은 푸필 효과 및 필드 효과를 갖는다.

도면의 간단한 설명

[0045] 도 1은 편광 빔 스플리터를 가진 카타디옵트릭 투사 대물렌즈를 개략적으로 도시하는 개략도이다.

도 2는 $\lambda/4$ 층들을 가진 유전체 거울 층 시스템의 반사율의 스펙트럼 프로파일을, 모든 개개 층들의 층 두께가 몇 퍼센트 감소된 거울 층 시스템과 비교하여 도시하는 개략적인 그래프이다.

도 3은 최외곽 층의 두께의 함수로 고 반사 거울의 반사율을 나타낸 개략적인 그래프이다.

도 4는 개별 층들의 개수의 함수로서 반-반사 층 시스템의 반사율의 스펙트럼 프로파일을 비교하여 보여주는 것으로서, 도 4a는 간섭층 시스템이 많은 개별 층들을 갖는 경우에 있어서의 광범위한 반사 최소값을 보여주며, 도 4b는 몇몇 개별 층들을 가진 층 시스템의 경우에 있어서의 V 형상의 좁은 반사 최소값을 보여준다.

도 5는 $\lambda/4$ 개별 층을 구비한 V-코팅의 반사율의 스펙트럼 프로파일과(실선) 각각의 경우 몇 퍼센트씩 감소된 층 두께를 갖는 개별 층들을 구비한 V-코팅의 반사율 스펙트럼 프로파일(점선)을 개략적으로 보여주는 그래프이다.

도 6은 명목 상의 층 두께에 대한 층 두께 변화의 함수로서 반-반사 간섭층 시스템의 반사율을 개략적으로 보여주는 그래프이다.

도 7은 렌즈 또는 거울 상에서의 개별 층 시스템의 상이한 국지적 층 두께 분포를 개략적으로 보여주는 도면이다.

도 8은 소자의 중앙으로부터 가장자리로 갈수록 연속적으로 증가하는 층 두께를 가진 회전 대칭 층 두께 분포를 생성하는 칸막이판 법을 개략적으로 나타내는 도면이다.

도 9는 광축에 대해 횡방향으로 연속적으로 변하는 층 두께를 가진 간섭층 시스템을 구비한 광학 소자의 제조를 위한 칸막이판 법을 개략적으로 나타내는 도면이다.

도 10은 본 발명에 따른 투사 노광 장치의 실시예를 개략적으로 나타내는 도면이다.

도 10a는 두 면들에 의해 경계가 확정된 액침 매질에서의 이미지 필드의 필드 지점에 속하는 조명 광 빔의 개개

광선들의 경로 길이를 나타내는 도면이다.

도 10b는 하부의 평면과 상부의 구면인 볼록면에 의해 경계가 확정된 액침 매질인 경우의 조명 광의 개개 광선들의 경로 길이를 나타내는 도면이다.

도 11a 및 도 11b는 서브픽셀에서 사용된 좌표계를 나타내는 도면이다.

도 12는 주어진 상수 반경 R의 필드 지점들(field points)에 대한 경로 길이 L의 픽셀 프로파일들을 나타내는 도면이다.

도 13a는 층 두께를 변화시키는 수단으로서 작용하는 필터를 나타내는 도면이다.

도 13b는 필드 및 픽셀의 매개변수화를 나타내는 도면이다.

도 14는 액침 매질을 가진 투사 대물렌즈를 도시하는 도면이다.

도 15는 조명 시스템과 관련된 제2투사 대물렌즈를 도시하는 도면이다.

도 16은 광학 소자, 특히 액침 매질에서의 상부 개구 광선과 하부 개구 광선 사이의 경로 길이 차 Δd 를 나타내는 그래프이다.

도 17은 광학 소자 특히 액침 매질에서 광학 요소가 구성될 수 있는 상이한 물질에 대해 경로 길이 차 Δd 에 대한 표준화된(normalized) 강도 차 ΔI 를 %로 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0046] 본 발명에 의해 해결될 수 있는 문제점을 명확하게 하기 위하여, 도 1은 편광 빔 스플리터를 가진 카타디옵트릭 투사 대물렌즈(100)의 구성을 개략적으로 나타낸다. 이것은 물체 평면(101)에 배열된 레티클 등의 패턴을 축소된 스케일 예컨대 4:1의 비율로 이미지 평면(102)에 결상하는 기능을 하는데, 정확하게 한 개의 실 중간 이미지(미도시)를 생성한다. $\lambda=157\text{nm}$ 의 작동파장(operation wavelength)용으로 디자인된 투사 대물렌즈는 물체 평면과 이미지 평면 사이에 카타디옵트릭 제1대물렌즈부분(103)과 그 뒤의 순수 디옵트릭 제2대물렌즈부분(104)을 갖는다. 카타디옵트릭 대물렌즈부분은 광축에 대해 비스듬하게 기울어진 평평한 편광 빔 스플리터 면(107)을 가진 물리적 빔 스플리터(105)와, 또한 결상 오목 거울(108)을 가진 거울 그룹을 구비한다. 축소효과를 갖는 대물렌즈부분(104)은 광축에 대해 기울어진 평평한 편향 거울(110)을 갖는데, 편향 거울은 빔 스플리터 면(107)에서의 반사와 함께 물체 평면에 배열된 마스크가 이미지 평면(102)에 배열된 감광성 기관, 예컨대 포토리지스트 층으로 코팅된 반도체 웨이퍼를 향하도록 하는 것을 가능하게 한다. 이는 마스크와 웨이퍼의 스캐너 작동을 용이하게 한다. 편향 거울이 없는 실시예들 또는 하나 이상의 편향 거울을 갖는 변형예들 또한 물론 가능하다.
- [0047] (각 대물렌즈 영역들에서 선형으로 또는 원형으로 편광된) 편광된 자외선을 이용한 작동은 이러한 유형의 투사 대물렌즈의 특징인데, 편광 상태는 빔 스플리터 층(107)의 특성에 적합하게 된다. 편광-선택 빔 스플리터 층은 본질적으로 일 편광 방향을 투과시키고 다른 편광 방향을 블로킹한다. 이 경우, 편광 성분들(광학 소자 상의 입사 평면에 각각 수직이고 평행한 전기장 벡터의 성분들)의 롤(roll)은 빔 스플리터 층이 투과에서 사용되는지 또는 반사에서 사용되는지에 따라 바뀐다.
- [0048] 예시적인 시스템은 조명 시스템으로부터의 광이, 물체 평면(101)에 배열된 마스크 및 후속의 파지티브 렌즈(120)를 통과한 후, 편광 빔 스플리터(105)에 입사하기 전 최종에서 빔 스플리터 층(107)에 대해 s-편광되도록 디자인된다. s-편광된 광은 빔 스플리터 층(107)에 의해 오목 거울(108) 및 $\lambda/4$ 판(121)을 통하는 경로를 향한 광 경로 상으로 편향되는데, $\lambda/4$ 판은 선편광된 광을 원편광된 광으로 변환하는데, 이는 다른 렌즈들(122, 123)을 통과한 후 오목 거울(108)에 입사한다. 상기 오목 거울로부터 반사된 광은 여전히 원편광된 광으로서 반대 방향으로 $\lambda/4$ 판(121)을 통과하여 선편광된 광으로 변환되기에 앞서 렌즈들(123, 122)을 통과하는데, 선편광된 광은 빔 스플리터 층(107)에 대해 이제 p-편광이다. p-편광된 광은 빔 스플리터 층(107)을 통과하여 편향 거울(110)에 입사하는데, 편향 거울은 광을 이미지 평면(102) 방향으로 편향시킨다. 그 방향의 경로 상에서 광은 복수개의 렌즈들(125, 127)을 통과하는데, 그 렌즈들 사이에 투사 대물렌즈의 이미지측 픽셀 면(126)이 위치한다.
- [0049] 렌즈들과 편광 빔 스플리터의 모든 입사면들 및 출사면들은, 대물렌즈의 투과율을 개선하기 위하여 다층 유전체 반-반사 간섭층 시스템(AR 층)으로 덮여 있다. 거울들(108, 110)의 거울 면들은 고 반사성 유전체 반사 간섭층 시스템(HR 층)으로 덮여 있다.
- [0050] 이상적으로는, 설명된 편광 구분은 완벽하며 개개 광학 소자들에 입사하거나 그것들을 통과하는 광은 각각 이상

적으로 소망된 바람직한 편광 방향을 갖는다. 그러나 투명 광학 소자들의 스트레스에 의해 유도된 빛/또는 본질적인 이방성의 결과로서 빛/또는 기하학적 효과의 결과로서, 각각 바람직하지 않은 편광 성분의 광 강도들 또한, 사용된 입사각의 방식에 의한 프로파일을 가진 간섭층 시스템의 편광-의존적인 효과의 결과로서 발생할 수 있다. 따라서, 필드 및 방향에 의존하는 상이한 크기를 갖는 바람직하지 않은 편광 성분 부분이 발생하는데, 그 부분은 빔 스플리터 층(107)에 의해 감쇄될 수 있다. 따라서 예컨대 이미지 평면(101)으로부터의 광의 p-부분은 통과될 수 있고 빛/또는 오목거울로부터의 광의 s-부분은 반사될 수 있다. 이 "거절된" 강도 부분들은 그러면 바람직한 편광 성분의 강도에서 존재하지 않는다. 그 결과, 비록 물체 평면(101)에서의 레티클의 조명이 여전히 균일하더라도, 빔 스플리터 층 이전에서 강도 차이가 필드 지점 및 시스템의 출사 pupils(126)에서의 이미지 좌표에 따라 관찰될 수 있다. 편의상 결상된 마스크 구조의 회절 패턴이 위치하는 pupils(126)에 걸친 바람직한 국제적인 강도 분포를 기준 상태로 간주하는 것이 편리하다.

[0051] 나란히 놓인 부분 그림은 빔 스플리터 층(107)의 구체적인 층의 영향 하의 축상 지점의 출사 pupils(126)에서의 공간적인 강도 분포를 개략적으로 보여준다. 이 경우, 조명 강도는 더 낮은 선 밀도를 갖는 영역보다 선들이 서로 더 밀접하여 위치한 영역에서 더 높다. 따라서 출사 pupils에서 위치-의존적인 어두워짐이 존재하는데, 이는 결상 중 최소 배선평의 바람직하지 않은 변동을 가져올 수 있다.

[0052] 문제점들은, 적절한 위치에서 투사 대물렌즈에 존재하는 적어도 하나의 간섭층 시스템(AR 층 또는 HR 층)의 반사 효과 또는 반사-감소 효과의 효과를 감소(impairment)시키는 본 발명에 따라, 시스템의 공간적 강도 변동의 부분적인 또는 완전한 보상이 기능성 층의 광학 효율의 상대적으로 큰 공간적 변동을 이용하여 달성되도록 함으로써, 줄어들게 하거나 회피되도록 할 수 있다.

[0053] 도 2 및 도 3을 참조하여, 먼저 거울 층의 반사 효과의 국지적인 "감손"을 통해 어떻게 강도 분포가 더욱 균일하게 될 수 있는지에 대해 설명한다. 오목 거울(108) 상에 피팅된 고 반사성 다층 간섭층 시스템(200)이 이 목적을 위해 예시적으로 고려된다. 이 HR 층은 특히 소망된 아포다이즈화에 매우 적합한데, 중간 이미지를 갖는 예시적인 시스템에서 출사 pupils(126)에 대해 광학적 켈레(conjugate) pupils 면이 오목 거울(108) 상에 또는 그 인근에 배열되도록 디자인되기 때문이다. 따라서 출사 pupils의 강도 분포는 거울 층(200)의 반사율의 공간적 변조에 의해 영향받을 수 있다. 아포다이즈화를 위한 이 거울 층의 선택은 또한 바람직한데, 방사의 상대적으로 매우 작은 입사각만이 오목 거울(108)에서 일어나기 때문이며, 이는 우수한 반사 효과를 가진 상대적으로 단순한 층 디자인을 허용한다.

[0054] 상기 거울 층을 위해 소위 $\lambda/4$ 디자인이 사용될 수 있는데, 이 디자인은 고굴절율을 저굴절율을 교번하여 갖는 유전체층을 이용하며, 층 두께 d 는 $n_H \cdot d_H = n_L \cdot d_L = (\lambda/4 \pm 10\%)$ 의 조건을 만족해야 한다. 여기서 첨자 H, L은 고굴절율을 갖는 유전체 물질과 저굴절율을 갖는 유전체 물질을 의미하며, n 은 물질의 굴절율이고 d 는 기하학적 층 두께이다. λ 는 시스템의 작동파장으로 예컨대 157nm이다. 유전체 HR 층 시스템용의 층 차례(layer sequence)는 기판 상에 직접 형성된 고굴절율을 갖는 층으로 시작할 수 있는데, 저굴절율을 갖는 층과 고굴절율을 갖는 층을 구비한 N 쌍들이 그 층 상에 그 후 배열된다(표시: $SLH(LH)^N$).

[0055] 고려대상이 된 층 물질들의 예는 고굴절율을 갖는 층 용으로 란탄늄 플루오라이드(LaF_3)와 저굴절율을 갖는 층 용으로 마그네슘 플루오라이드(MgF_2)를 들 수 있다. 대안으로서 고굴절율을 갖는 물질로서 가돌리늄 플루오라이드(GdF_3), 지르코늄 플루오라이드(ZrF_4), 하프늄 플루오라이드(HfF_4), 홀미움 플루오라이드(HoF_3), 에르븀 플루오라이드(ErF_3), 이테르븀 플루오라이드(YbF_3) 또는 이트륨 플루오라이드(YF_3) 또한 적절할 수 있다. 저굴절율을 갖는 대안 물질들은 주로 키올라이트(chiolite), 크리올라이트(kryolite), 알루미늄 플루오라이드(AlF_3), 소듐 플루오라이드(NaF), 리튬 플루오라이드(LiF) 또는 바륨 플루오라이드(BaF_2)이다.

[0056] 모든 개개 층들의 층 두께를 몇 퍼센트 정도 감소시켜 그 영역들에서 더 낮은 반사율을 갖도록 함으로써, 예견된 위치에서의 반사 효율의 감손을 달성하는 것이 가능하다. 설명을 명확하게 하기 위하여, 도 2는 31개의 $\lambda/4$ 층을 구비한 층 스택의 반사율 R의 스펙트럼 프로파일(실선)과 모든 개개 층들의 층 두께가 명목상의 층 두께에 비해 대략 7% 감소된 디자인의 프로파일(점선)을 보여준다. 이 전체적인 층 두께 감손이 스펙트럼 프로파일에서 더 짧은 파장으로 반대-튜닝(detuning)하는 것에 이르게 한다는 것이 명백한데, 예에서 작동 파장 157nm로부터 대략 149nm의 더 낮은 파장으로 반사 최고값(대략 95%의 절대값)이 쉬프팅했다. 따라서 157nm의 작동 파장에서 반사율이 이론적으로 $\lambda/4$ 와 $\lambda/4 \cdot 0.93$ 사이의, 대략 95% (157nm에서 $\lambda/4$ 디자인의 최대값)과 10% (157nm에서 $\lambda/4 \cdot 0.93$ 디자인의 반사율) 이하 사이의 층 두께 프로파일 변동에 의해 변할 수 있다. 이 더 낮은 반사

울은 높은 파장측 상에서 기본 최대(primary maximum) 옆의 제1최소에서 $\lambda/4$ 디자인의 값에 대응한다. 따라서 층 두께의 "반대-튜닝(detuning)"은 반사율의 국지적인 변조에서 매우 큰 변조 변동(very large modulation swing)을 가능하게 한다.

[0057] *설명된 바와 같은 방식으로, 예컨대 코팅 제조에 있어서 칸막이판 법을 이용하여 코팅된 광학 소자의 중심으로 부터 가장자리로 층 두께를 감소시키는 것이 이론적으로 가능할지라도, 대부분의 표준적인 코팅법에서의 제조 변동은 모든 개개 층의 두께가 코팅에서 코팅에 따라 대략 1% 내지 3% 정도 변하는 효과를 갖는다. 그러나 반사 또는 반사율이 기본 최대의 가장자리에서 매우 급격하게 감소하기 때문에, 제조 변동을 고려할 때는 대략 10%와 대략 30% 사이의 크기로 실제로 얻어지는 반사율에서의 큰 변화를 고려할 필요가 있다. 그 결과, 강도 변동의 보상을 허용할 충분히 정확하게 정의된 값으로 모든 개개 층의 특정한 층 두께 프로파일을 제조함으로써, 거울의 전체 이용가능한 영역에 걸쳐 간섭층 시스템의 반사율을 세팅하는 것이 어려워진다.

[0058] 바람직한 일 실시예에 있어서, 거울의 국지적인 반사율에 있어서 상당히 더 낮은 변동, 따라서 강도 변동의 더욱 정밀한 보상이 가능하다. 이는 도 3을 참조하여 더욱 상세히 설명된다. 출발점은 다시 $SiH(LH)^N$ 유형의 HR 층 시스템이다. 입사광 방향에서 최종 층(최외곽 층)은 일반적으로 고굴절율을 갖는 층이다. 만일 저굴절율의 층이 상기 층에 부가적으로 형성된다면, 이는 층 결합체(layer assembly)의 반사 효과를 감소시킨다. 통상적으로 얻을 수 있는 변조 크기는 도 2를 참조하여 설명하는데, 이는 최상 층의 층 두께의 함수로서 $\lambda/4$ 층을 구비하는 HR 층 스택의 반사율을 보여준다. 초기 층 시스템은 31개의 $\lambda/4$ 층들을 갖는데, 이 경우 고굴절율의 물질은 $n_H=1.79$ 의 굴절율을 가지며 저굴절율의 물질은 $n_L=1.45$ 의 굴절율을 갖는다. 기관에 인접한 층은 고굴절율을 갖는다. 만일 최상 층이 고굴절율 물질의 $\lambda/4$ 층이라면, $R=95.2\%$ 의 최대 반사율을 달성한다. 만일 최상부 H 층의 두께가 $\lambda/4$ 로부터 0으로 점진적으로 감소한다면, 반사율은 연속적으로 감소한다. 이는 도 2에서 31개 층과 30개 층 사이에 대응한다. 만일 저굴절율의 물질로 된 부가적인 층이 31번째 H 층 상에 형성된다면, 저굴절율 층의 층 두께가 $\lambda/4$ 에 이를 때까지 마찬가지로 연속적으로 감소한다. 이는 31개 층과 32개 층 사이 영역에 도 2에 도시되어 있다. 최상부 H층의 두께를 줄임으로써 또는 저굴절율 물질로 된 층을 추가적으로 부가함으로써, 이 예시적인 시스템에서 반사율을 대략 95.2%와 86.6% 또는 87.9% 사이에서 변화시키는 것이 가능하다. 변조 크기는 따라서 대략 10%에 한정되는데, 이는 동시에 절대값으로 달성될 수 있는 최대 반사율의 대략 10%에 대응한다. 그러나 이 변조 크기 내에서, 심지어 제조 조건 하에서 통상적인 층 두께 변동을 고려할 때에도 아무런 문제점 없이 임의의 반사율이 작은 변동 범위(통상적으로 1% 내지 3%)를 가지면서 세팅될 수 있다.

[0059] 회전대칭 및 비-회전대칭 공간 층 두께 분포 또는 반사율 등급을 만드는 다양한 가능성들을 이하에서 설명한다.

[0060] 반-반사 층(AR 층)의 경우, 우수한 절대 정확도로 광학 소자의 반사율 및/또는 투과율의 큰 공간적 변조를 만드는 다양한 방법들이 있다. 알려진 바와 같이, 유전체 간섭층 시스템의 최적 반-반사 효과는 다소 넓은 층 두께 범위, 예컨대 모든 층 두께를 $\lambda/4 \pm 10\%$ 로 세팅함으로써만 달성될 수 있다. 이 경우, 반사율 최소의 스펙트럼 폭이 명목상으로 층 쌍(layer pairs)의 개수에 따라 증가한다는 것을 더 고려해야만 한다. 명확한 설명을 위해, 도 4a는 많은 층 쌍들을 갖는 반-반사 층 시스템의 반사율 R 스펙트럼 프로파일을 개략적으로 나타내며 도 4b는 몇몇 개개 층들을 갖는 반-반사 층 시스템의 반사율 R 스펙트럼 프로파일을 개략적으로 나타내는데, 각각의 경우 $SiH(HL)^N$ 의 기본적인 구성을 갖는다. 이 경우, 고굴절율 물질과 저굴절율 물질로 형성된 많은 층 쌍들이 저굴절율을 갖는 최하 층 상에 배열될 때(통상적으로 $N>1$), 넓은 반사 최소가 달성된다(도 4a). 반대로 만일 오직 세 개의 층들이 사용된다면($N=1$), 작동 파장 λ 에서 좁은 반사 최소의 결과, 다소 더 크고 더 작은 파장을 향해 선형으로 다소 명확하게 증가하는 반사율 결과가 된다. 그러한 특성을 갖는 코팅을 여기서 V-코팅이라 한다(도 4b).

[0061] 만일 층 시스템의 모든 개개 층들이 명목상의 층 두께보다 상당히 더 두껍거나 더 얇게 만들어진다면, V-코팅에서 반사율 최소는 더 짧은 파장으로 이동하는데, 반면 작동 파장 λ 에서 반사율은 층 두께 반대-튜닝에 따라 급격하게 상승한다. 도 5는 이러한 점을 보여주는데, 실선은 3층 $\lambda/4$ 층 시스템의 경우 반사율의 스펙트럼 프로파일을 나타내고 점선은 모든 개개 층이 대략 30%-40% 더 작아진 층 두께를 갖는 층 시스템의 경우에 단파장 방향으로 쉬프트된 것을 보여준다. 명목상의 층 두께(예컨대 $\lambda/4$)에 대한 두께 변화(%로 나타내짐)의 경우 반-반사 코팅의 반사율 의존성이 예시로서 도 6에 도시되어 있다. 이 경우, 30%의 두께에서의 상대적인 변화는 잔여 반사율을 0.3%에서 대략 4.8%로 증가시키는 결과를 초래하였는데, 이는 투명한 기관의 잔여 반사 R_{sub} 의 영역에 위치한다. 만일 도 6에 도시된 것과 같은 유형의 그래프가 주어진 층 시스템에 대해 최초 기록된다면, V-코팅의

개개 층의 층 두께의 국지적인 변화에 의해, 잔여 반사율의 최대 달성가능한 변조에 있어서(변조 크기 대략 8%), 잔여 반사의 임의의 소망된 공간적 변조를 세팅하는 것이 가능하다. 이는, 각각의 경우 고려된 광학 소자의 장작 상태에서 상대적으로 높은 강도가 발생하는 영역에서만 반-반사 층의 반대-튜닝을 층 두께 변경을 통해 세팅하는 것을 포함하는데, 이에 따라 강도 분포는 광학 소자를 통과한 후 더욱 균일해질 수 있다.

[0062] 모든 층들의 두께에서의 설명된 변화에 대한 대안으로서, 반-반사 간섭층 시스템의 경우 오직 한 개별 층, 예컨대 최외곽 층의 층 두께를 적합하게 세팅함으로써 큰 변조로 잔여 반사율의 소망된 프로파일을 달성하는 것이 가능하다.

[0063] 렌즈 또는 거울 상에서의 두 개의 가능한 층 두께 분포가 예시적인 목적으로 도 7에 도시되어 있는데, 상대적인 층 두께는 회도값으로 표현되어 있다. 도 7a는 층 두께가 원형 영역의 중앙으로부터 가장자리로 갈수록 연속적으로 증가하는 회전대칭 층 두께 분포를 나타낸다. 도 7b는 층 두께가 중앙에서 더 얇은 6-폴드 회전대칭을 가진 층 두께 분포를 나타내는데, 별모양 영역은 주위의 더 밝은 영역에서보다 어둡게 나타난다.

[0064] 보여진 층 두께 분포 또는 대응하는 투과율 또는 반사율의 공간적인 분포에 이르게 하는 다른 공간적 층 두께 분포는, 바깥쪽 층의 층 두께가 매우 변화도록 이온 조사에 의해 바깥쪽 층을 국지적으로 제거함에 있어서, 균일한 층 두께, 예컨대 $\lambda/4$ 층을 가진 주어진 층 시스템의 경우로 이루어진다. 그 결과, 예컨대 도 3을 참조하여 설명한 효과를 이용하는 반면 거울 층 상에서 매우 큰 변조 크기로 반사율의 변동을 생성하는 것이 가능하다.

[0065] 반-반사 층의 경우, 모든 층들의 두께를 변화시킴으로써(도 5 및 도 6 참조) 또는 오직 선택된 층 특히 최외곽 층만의 두께를 변화시킴으로써(도 3 및 관련된 설명 부분 참조) 반사에서의 증가(또는 투과율 감소)를 달성할 수 있는 가능성이 있다. 모든 두께들을 변화시키는 것은 예컨대 렌즈의 코팅에서 대응하는 계산된 칸막이판 배열을 이용함으로써 달성될 수 있는데, 칸막이판 배열은 형성되는 층 두께를 대략 균일하게 감소시킨다. 만일 오직 한 개의 층 두께만이 변화된다면, 층 두께의 공간적 변화를 달성하기 위하여, 이는 칸막이판들 없이 또는 특정 층 두께 및 층 두께 분포에 대응하는 제1칸막이판들의 세트로 한 개 또는 그 이상의 개개 층들을 먼저 코팅하고 그 후 최종 층의 제조에 앞서 상이한 칸막이판들의 세트를 이용함으로써 달성될 수 있다.

[0066] 행성형 시스템(planetary system)을 가진 코팅 장치의 도움으로 특정 층 두께 프로파일을 달성할 수 있는 두 가지 가능성을 도 8 및 도 9를 참조하여 설명한다. 행성형 시스템은 주 캐리어(principal carrier)(행성형 캐리어)(미도시)를 갖는데, 이는 주 회전축(80, 90)을 중심으로 회전될 수 있다. 이 예의 경우, 네 개의 기관 캐리어(기관 플래닛, substrate planet)들이 행성형 캐리어 외측에 배열되어 있으며, 각각의 경우 기관을 각각 렌즈(81, 91)의 형태로 코팅되도록 운반한다. 기관 캐리어들은 주 회전축에 평행하게 연장되는 각각의 기관 캐리어 축을 중심으로 회전될 수 있어서, 기관들은 주 회전축을 중심으로 전체적인 회전을 할 수 있으며 주 행성형 캐리어와 플래닛(planet)들의 회전에 따라 그것들의 기관 캐리어 축들(82, 92)을 중심으로 본질적인 회전을 할 수 있다. 플래닛들은 증발 소스(미도시) 상부에 배열되고 기관들은 행성들의 하측에 고정되어, 코팅될 층이 물질 소스를 향하도록 한다. 플래닛들 하부의 소수의 칸막이판들(83, 93)이 물질 소스와 플래닛들 사이에 위치해 있으며, 플래닛들의 이동 중 때때로 증발 물질로부터의 물질 증기를 셰이딩하고, 각각의 셰이딩 시간을 결정하는 플래닛들의 회전 시간에 따라 칸막이판은 형성하는데, 이는 다시 증착되는 층 두께를 결정한다.

[0067] 도 8에 따른 실시예에서, 각각의 경우 칸막이판(83)은 타원형 형상이며 본질적으로 플래닛들의 회전축이 코팅면을 관통하는 지점과 물질 소스 사이를 연결하는 선을 중심으로 중심에 위치한 방식으로 배열되어, 코팅될 기관의 중심 영역이 더 긴 시간 동안 셰이딩되도록 한다. 예에서, 칸막이판 형상은 기관 축(82)에 대해 회전대칭인 층 두께 프로파일이 형성되는 것을 보장하는데, 이 경우 코팅(84)의 층 두께는 기관의 중심으로부터 가장자리 방향으로 연속적으로 예컨대 대략 포물선 형상으로 증가한다. 무엇보다도 만일 반사 코팅 형성 중 복수개의 층들이 형성되어 실질적으로 균일한 층 두께를 형성한다면, 그리고 만일 그 후 최외곽 층이 진술한 방식으로 이어 형성된다면, 기관의 중심과 가장자리에서 적절한 선택의 층 두께로 주어진 거울이 제조될 수 있으며, 그 거울의 반사율은 그 광축의 영역에서보다 가장자리에서 훨씬 더 작거나 크다(도 3 참조).

[0068] 도 9에 따른 실시예에서, 주 회전축(90)에 대해 실질적으로 방사상으로 연장된 칸막이판(93)을 사용한다. 이 경우, 행성형 캐리어의 회전 및 플래닛들 또는 기관들의 회전은, 코팅될 기관이 칸막이판(93)에 의해 부분적으로 덮일 때는 언제나 기관이 코팅될 경우 특정 영역(영역 B)은 주 회전축을 향하며 반대 영역(A)은 외측에 위치하도록, 칸막이판들의 위치에 대해 조정된다. 이와 대비하여 만일 기관들이 전체 물질 증기 내에서 칸막이판들 사이에 위치한다면, 각각의 경우 면 영역(B)은 외측으로 방사상으로 위치하며 반면 면 영역(A)은 주 회전축에

더 가깝게 위치하여 따라서 평균적으로 더 큰 증기 증착율로 코팅된다. 이러한 구성으로, 코팅 공정 중 실질적으로 더 많은 코팅 물질이 렌즈 영역(A)에 반대 렌즈 영역(B)에보다 증착되는데 이는 더 많은 증착율로 코팅될 때 항상 영역(B)가 셰이딩되며, 반면 셰이딩 칸막이판들 사이의 상태에서는 증막 스스로부터 더 먼 거리에 위치하기 때문에 반대 영역(A)보다 더 적은 증기 증착 물질로 코팅되기 때문이다. 이러한 방식으로 기관(91)의 단면에 걸쳐 영역(A)에서 더 큰 층 두께로부터 영역(B)에서 더 낮은 층 두께를 갖는 연속적인 층 프로파일을 갖는 코팅(94)을 형성하는 것이 가능하다. 이 기술은 예컨대 $\lambda/4$ 스택의 외곽 층 형성시에만 사용될 수 있다.

[0069] 이러한 기본 원리를 이용하여, 주 회전운동을 하는 캐리어 및 플레니트들 사이에 위치한 기어 메커니즘의 투과율을 적합한 적합화를 통해 다른 대칭의 코팅을 세팅하는 것 역시 가능한데, 예컨대 3-폴드, 4-폴드 또는 6-폴드 방사상 대칭의 코팅을 세팅하는 것이 가능하다(도 7b 참조).

[0070] 이러한 몇몇 예들에 기초하여, 당업자라면 알려진 아포다이즈화 기술을 적합한 방식으로 변형하여 실질적으로 임의의 회전 대칭 또는 비회전대칭 층 두께 분포를 갖는 반사 코팅 또는 반-반사 코팅을 형성하는 것이 가능하다.

[0071] 이하의 실시예들에서는 특히 액침 시스템에서 콘트라스트를 개선하는 것과 관련된 것을 설명한다. 광학적으로 효과적인 흡수성 요소들을 이용하여 필드-의존적이며 퓨필-의존적인 투과율 분포를 보상하는 것을, 특히 고체 액침 매질 또는 액체 액침 매질의 경우에 있어서 예시적으로 설명한다.

[0072] 바람직한 응용예에서, 본 발명의 이러한 특징은 액침 리소그래피용 투사 노광 장치에서 구현된다. 도 10은 투사 노광 장치(1110)를 개략적으로 나타내는데, 이는 조명 시스템(1112)과, 물체 평면(1122)과, 투사 대물렌즈(1120)와, 이미지 평면(1128)과, 보상 요소(L1)와, 외부로부터의 광을 스크린하기 위한 산란된 광 칸막이판(L2')을 구비한다. 조명 시스템(1112)은 보상 요소(1116'', L1)를 가진 제2투사 대물렌즈(1116)와 열 발산 소자(1116')를 포함한다.

[0073] 진술한 최종 강도 콘트라스트와 그것의 퓨필 및 필드 효과는 투사 노광 장치와 관련된 투사 대물렌즈의 이미지 필드에서 퓨필 및 필드 프로파일들을 두 번 계산함으로써 결정되는데, 제1계산에서는 액침 매질이 변하지 않은 채 이루어지고 제2계산에서는 액침 매질이 가상의 매질로 바뀌는데, 이는 투과율 성향은 별론으로 하고 액침 매질과 동일한 광학적 특성을 가지나 흡수율 $\alpha=0$ 이다. 이는 투사 대물렌즈의 기하학적 형상과, 물체 필드의 필드 사이즈와, 이미지측 개구수와, 액침 매질의 흡수율 α 를 따르는 퓨필 및 필드 효과의 의존성의 결과를 가져온다.

[0074] 원자외선(DUV) 및 진공자외선(VUV)파장 λ 에서, 특히 $\lambda=248, 193$ 또는 157 나노미터에서, 리소그래피에서 특히 사용되듯이, 많은 투명 액침 매질은 0이 아닌 흡수율 α 를 갖는데, 특히 $\alpha>0.03\text{cm}^{-1}$ 이 발생한다.

[0075] 근거리 필드 리소그래피에서, 고체가 액침 매질로서 사용되며 이는 굴절율을 n 을 갖는데, 특히 $n>1.6$ 또는 $n>1.8$ 또는 심지어 $n>1.9$ 이다. 이들은 동등하게 예컨대 스피넬(spinnell), 사파이어 등으로 만들어진 렌즈들 또는 최종 플레이트로 구비된다.

[0076] 이 물질들의 본질적인 흡수율은 유사하게 석영 글래스 또는 CaF_2 와 같은 상업적으로 이용가능한 물질들보다 더 높다.

[0077] 이 경우, 근거리 필드는 파장 λ 의 네 배보다 작은 동작거리(working distance) 또는 심지어 파장 λ 보다 작은 동작거리를 의미하는 것으로 이해된다. 이 경우, 동작거리는 투사 대물렌즈의 이미지 평면으로부터 투사 대물렌즈의 이미지 평면 이전의 최종 광학 요소까지의 거리이다.

[0078] 아래와 같은 흡수법칙

$$T(L)=e^{-\alpha L}$$

[0080] 에 따라, 투과된 강도는 흡수율 α 및 횡단된 거리 L 에 따라 지수적으로 감소한다. 이는 필드 위치에 따라 퓨필에 걸쳐 균일하지 않은 투과율의 결과를 가져온다.

[0081] 평평한 계면들 사이에서, 광학적 거리는 물질 내에서의 전파 각도에 따라 코사인곡선 형상으로 증가하는데, 텔레센트릭 결상의 경우 어떠한 필드 변화도 발생하지 않는다. 이 사실은 도 10a로부터 추론할 수 있다.

[0082] 만일 액침 매질 상부에 위치한 광학 요소의 하측이 곡선이라면, 관련된 것은 굴절력 특히 파지티브 굴절력을 갖는 액침 렌즈, 특히 액체 렌즈이다. 필드 의존성은 도 10b와 같이 명백하다.

- [0083] 이 문제 영역을 설명하는 다른 가능성들은 다음과 같이 설명된다.
- [0084] 리소그래피 대물렌즈에서와 같이 큰 필드 크기를 가진 고-개구(high-aperture) 시스템에서, 고체 물질로 만들어진 또는 유체 특히 액체로 만들어진 광학적 효과 렌즈들에서 큰 경로 길이 차들이 발생한다.
- [0085] 도 16의 예는 상부 개구 광선(UCR; upper coma ray = upper aperture ray)과 하부 개구 광선(LCR; lower coma ray = lower aperture ray) 사이의 최대 경로 길이 차를 나타내는데, 두 개구 광선들은 주 광선(UR - unit ray)에 대해 필드 지점 y_{\max} 에서 $\arcsin(NA/n(\text{액침}))$ 에 의해 주어진 각도를 가정한다.
- [0086] 기하학적 형태 때문에, 최종 렌즈 요소에서 특히 상당한 경로 길이 차 Δd 가 발생한다. 이 경로 길이 차는 푸필에서 표준화된 최대 강도 차에 이르게 된다:
- [0087]
$$\Delta I = (1 - 10^{-k \cdot \Delta d}) [\%]$$
- [0088] 광학 요소 형성에 사용될 수 있는 물질들 및 그들의 흡수 상수는 다음과 같다:
- [0089] $\text{CaF}_2 : K < 0.0005/\text{cm}$
- [0090] $\text{SiO}_2 : K = 0.0015/\text{cm}$
- [0091] $\text{H}_2\text{O} : K = 0.038/\text{cm}$
- [0092] $\text{BaF}_2 : K = 0.03/\text{cm}$
- [0093] 특히 물 H_2O 는 CaF_2 보다 20-폴드 높은 흡수율을 갖는다.
- [0094] 따라서 두 광선들 사이의 경로 길이 차는 출사 푸필에서 강도 차이를 야기한다. 이는 텔레센트릭 오차, 타원율 오차 및 따라서 결상 중 필드-의존 왜곡, 구조 폭 변동 및 콘트라스트 손실에 이르게 된다. 특히 소위 다이폴 세팅을 가진 미세 구조의 결상 중, 푸필에서의 반대 차수의 회절에 대한 상대적인 1차 회절의 감쇄가 이 결상 오차들에서 증명된다. 이 경우, 특히 강도 차이는 $\Delta V = 0.5 \cdot \Delta I$ 의 결상 중 콘트라스트 손실에 있어서 최대 효과를 갖는다.
- [0095] 30mm의 경로 길이 차에서, 석영에서 1%의 강도 차가 발생한다. 대략 $\Delta d < 60\text{mm}$ 로부터, 강도 차이는 2%보다 더 커지게 되고 따라서 결상에서의 콘트라스트 손실은 1%보다 더 커지게 된다. 그러나 이러한 바람직하지 않은 콘트라스트 손실은 고-개구 시스템에서도 그것에서의 경로 길이 차 때문에 발생할 것이다.
- [0096] 물 및 굴절력을 가진 광학 요소에 적합한 다양한 다른 물질들의 경우, 흡수율은 전술한 바와 같이 더욱 크다. 예컨대 물 렌즈의 경우 경로 길이 차는 $\Delta d < 2\%$ 의 강도 차에 대해 오직 3.5mm이어야만 한다.
- [0097] 도 17의 예는 이미지 평면 전의 최종 광학 효과 요소에 대한 것인데, 이는 전체 시스템에 있어서 최대 개구수 (NA; numerical aperture)가 그곳에서 발생하기 때문이다. 물론, 유사한 효과가 중간 이미지들에 인접해서도 발생할 수 있는데, 개구수(NA) 및 축상으로 멀리 떨어진 필드 지점에 대한 UCR과 LCR의 각도는 중간 이미지에서의 개구수에 의해 주어지며 이는 일반적으로 더 작다.
- [0098] 비균일 푸필 투과율이 리소그래피 결상 오차에 이르기 때문에, 보상 요소, 바람직하게는 필터 시리즈를 투사 대물렌즈 및/또는 조명 시스템에서 이용하여 그것들을 보상할 필요가 있다.
- [0099] 투과율의 푸필 프로파일 및 필드 프로파일을 정확하게 이해하는 것이 바람직하다. 예컨대, 도 10b에 도시된 것과 같이 액침 매질의 구형이면서 불록하게 굽어진 상부측의 경우에 대해 해석적으로(analytically) 특정되는데, 해석적 계산은 바람직하게는 다항식을 이용한 근사를 포함한다.
- [0100] 하부 기하학적 형상은 도 11a에 도시되어 있는데, 반경 R의 구형 계면 아래의 임의의 필드 지점 r로부터 구형 계면까지의 광학적 경로 길이를 푸필 좌표 $(p, q) = (\cos\phi \sin\theta \sin\phi \sin\theta)$ 와 필드 지점 좌표 r로 구하는 것이 필요하다.

[0101] 필드 지점 r 로부터 구형 계면 상의 지점 R 까지의 직선은 다음과 같은 방향 벡터 s 로 나타내어 지는데

$$\vec{s} = \begin{pmatrix} p \\ q \\ \sqrt{1-p^2-q^2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi \sin \vartheta \\ \sin \varphi \sin \vartheta \\ \cos \vartheta \end{pmatrix}$$

[0102]

[0103]이며, 길이 L 은 다음의 식

$$\vec{r} + \vec{s}L = \vec{R}$$

[0104]

[0105] 즉,

$$|\vec{r} + \vec{s}L|^2 = R^2$$

[0106]

[0107]을 만족시킨다.

[0108] L 에 대해 이는 2차식($r=|\vec{r}|, R=|\vec{R}|$)

$$L^2 + 2\vec{r} \cdot \vec{s}L + r^2 - R^2 = 0$$

[0109]

[0110]의 결과를 가져오며, 이 해는 다음과 같다.

$$L = \pm \sqrt{|\vec{r} \cdot \vec{s}|^2 - r^2 + R^2} - \vec{r} \cdot \vec{s}$$

[0111]

[0112] L 은 양수이어야만 하고 $R \gg sr$ 이어야만 하므로 플러스 사인이 선택된다.

[0113]도 12에, 주어진 상수 반경 R 에 대해 몇몇 필드 지점들에 대한 L 이 도시되어 있다.

[0114]전체적인 투과율은 따라서 해석적으로 다음과 같다.

$$T = e^{-\alpha \left(\sqrt{|\vec{r} \cdot \vec{s}|^2 - r^2 + R^2} - \vec{r} \cdot \vec{s} \right)}$$

[0115]

[0116]이 투과율 T 에 대응하는 흡수를 보상하기 위하여, 특히 액침 매질 또는 고체 액침 렌즈(SIL)에서 매우 흡수성인 광학적 효과 요소의 투과율 분포에 대해 반대인 필드 및 퓨필에 걸친 투과율의 광학적 효과 요소를 사용할 필요가 있다.

[0117]특히, 필드 및 퓨필에서 주어진 아포다이즈화 프로파일을 보상하는 필터들의 순서가 구해진다. 원칙적으로, 이를 위해 두 가지 유형들 및 대응하는 하이브리드 형태들이 사용될 수 있다:

[0118]공간-변형 필터들(space-variant filters)

[0119]이 필터들은 위치 의존적인 효과를 갖는데, 이는 적어도 우수한 근사 하에서 입사각에 의존하지 않는다. 따라서 이들은 퓨필에서 퓨필 상에 그리고 필드에서 필드 상에 작용한다. 중간 영역에서, 이들은 주어진 평면의 서브퓨필 상에 작용한다.

[0120]이 경우, 평면 상의 필드 지점의 서브퓨필은 물체측 기하학적 개구 A_0 로 필드 지점으로부터 나오는 광 콘(light cone)에 의해 조사되는 평면 내의 영역이다. 서브퓨필의 직경 및 형상은 대략 필드 지점의 위치에 관계없으며

따라서 고려되는 평면과 물체측 기하학적 개구 A_0 에만 의존한다(도 11b 참조). 물체측 기하학적 개구 A_0 는 투사 대물렌즈의 본질적인 결상 스케일 b 에 의해 이미지측 기하학적 개구 A 와 관련된다. 일반적으로, $A_0=A*b$ 가 성립하는데, 바람직하게는 $b=0.25$ 이다.

[0121] 투사 대물렌즈의 필드들 및 필드들이 위치할 수 있는 다양한 위치들은 실제로는 오직 개략적으로만 결정될 수 있다. 기준은 따라서 필드-근방 및 필드-근방 영역들에 만들어진다.

[0122] 만일 투사 대물렌즈의 영역이 필드-인근도 아니고 필드-인근도 아니라면, 중간 영역이라 불린다.

[0123] 더욱 상세하게, 다음과 같은 시스템이 정의될 것이다:

[0124] u 는 바람직하게는 6mm이상의 필드 높이를 가진 물체 평면의 최외곽 필드 지점이다. 0는 투사 대물렌즈의 광축과 물체 평면 사이의 교차점을 나타낸다. h_h 는 u 로부터의 주 광선 높이이고 h_a 는 0로부터 진행하는 개구 광선의 최대 높이인데, 둘 다 투사 대물렌즈의 광축에 수직인 평면 Φ 에서 측정된다. 투사 대물렌즈와 관련된 광학 요소는, 그 주 평면 Φ 에서 측정되었을 때 만일 $h_a/h_h < \tau$ 가 성립한다면 필드-인접(field-near)(필드 평면에 인접함과 동의)이라고 불리며, 만일 $h_a/h_h < 1/\tau$ 가 성립한다면 필드-인접(pupil-near)(필드 평면에 인접함과 동의)이라고 불린다. 여기서 τ 는 $0 < \tau < 1$ 에서 선택되는 매개변수이며, 바람직하게는 $\tau=0.1$ 또는 $\tau=0.2$ 또는 $\tau=0.4$ 이다. 필드-인접도 아니고 필드-인접도 아닌 광학 요소는 중간 영역과 관련된 것으로 불린다.

[0125] 각도-변형 필터들(angle-variant filters)

[0126] 이 필터들은 각도-의존적인 효과를 갖는데, 이는 우수한 근사 하에서 위치에 의존하지 않는다. 따라서 이들은 필드에서 필드 상에 그리고 필드에서 필드 상에 작용한다.

[0127] 결합 필터들(combined filters)

[0128] 이 필터들은 공간-변형 필터와 각도-변형 필터의 중첩으로부터의 결과에 의한 효과를 갖는다.

[0129] 상기 필터들은 공간 및/또는 각도에 의존하는 투과율을 가진 위치-의존 층 두께에 의해 실현되거나(도 13 참조), 중성 필터들에 의해 실현되거나, 또는 위치-의존 층 두께 및 중간 필터들의 결합에 의해 실현된다.

[0130] 이 경우, 중성 필터들은 특히 상이한 층 두께를 가진 크롬 층에 의해 실현될 수 있는데, 크롬 층은 사용된 광의 흡수에 이르게 한다. 이 흡수된 광은 열에 이르게 되며, 이는 투사 노광 장치 특히 투사 대물렌즈 내에서의 수 차에 이르게 할 것이다.

[0131] 적어도 부분적으로 반사성인 층들을 이용할 때에도 유사한 문제점이 발생한다. 외부 광 또는 유의어로 산란광이라고 불리는 반사된 광은 흡수될 수 있어야만 할 것이다.

[0132] 그러한 경우들에 있어서 이러한 보상을 수행하는 장치들은 이를 위해 필요하다. 이 장치들은 바람직하게는 저항 열을 방산하거나 부가적인 칸막이판들을 이용하여 바람직하게는 외부 광을 차폐한다.

[0133] 2차 근사에서의 수행

[0134] 여기서 해석적 계산은 예시적으로 회전 대칭인 액침 매질에 의해 수행된다. 흡수의 필드 의존성이 그 자체로 회전 대칭이 되기 때문에, 오직 회전 대칭인 필터 요소들만이 필요하게 되는 경우이다. 따라서 필드 지점 변동은 오직 x 방향으로만 일어난다(도 13b 참조).

[0135] 보상 요소의 흡수는 다음과 같은 2차 항들로 기재될 수 있다.

$$\begin{aligned} A(r) &= a_0 + a_1 r^2 \\ &= a_0 + a_1 \{ (vp + (1-v)r_m)^2 + V^2 q^2 \} \\ &= a_0 + a_1 v^2 (p^2 + q^2) + a_1 (1-v)^2 r_m^2 + 2v(1-v)a_1 p r_m \end{aligned}$$

[0136]

[0137] 따라서 효과는 순수 필드 효과, 순수 필드 효과 및 혼합 항에 존재한다. 비율은 v 의 값에 의해 조절된다. 순수 필드 효과는 $v=0$ 일 때 존재하며 순수 필드 효과는 $v=1$ 일 때 존재한다.

[0138] 만일 반경 R 이 필드 지점 위치와의 관계에서 크다면, 경로 길이 L 은 유사하게 2차까지 전개될 수 있다. 만일 필

드 값이 (일반성을 제한함 없이) 부가적으로 x방향과 다음의 결과

$$L \approx R \left[1 + \frac{|\vec{r} \cdot \vec{s}|^2 - r^2}{2R^2} \right] - \vec{r} \cdot \vec{s}$$

$$\approx R + \frac{1}{2R} (2xpzm + z^2m^2 - x^2 - z^2) - xp - zm$$

와

$$z^2m^2 = z^2(1 - p^2 - q^2)$$

$$zm \approx z \left(1 - \frac{p^2}{2} - \frac{q^2}{2} \right)$$

로 한정된다면, 이는 다음을 의미한다.

$$L = R + \frac{1}{2R} (2xpz + z^2 - z^2p^2 - z^2q^2 - x^2 - z^2) - xp - z + \frac{zp^2}{2} + \frac{zq^2}{2}$$

$$= \underbrace{R - z}_{\text{상수}} - \underbrace{\frac{z^2}{2R}}_{\text{필드 순수}} - \underbrace{\frac{x^2}{2R}}_{\text{필드 순수}} + \underbrace{\left(\frac{z}{R} - 1 \right) xp}_{\text{중간 영역}} + \underbrace{\frac{z}{2} \left(1 - \frac{z}{R} \right) (p^2 + q^2)}_{\text{퓨필 순수}}$$

경로 길이는 일련의 피가수(summand)들로 분해되기 때문에, 흡수율은 관련된 투과율들의 곱으로 나타내어질 수 있다:

$$L = \sum_j L_j \Rightarrow T = \prod_j e^{\alpha L_j}$$

*흡수 프로파일은 아래에서 보여지는 바와 같이 1) 중간 영역, 2) 필드, 3) 퓨필에서 2차 프로파일을 가진 세 개의 필터들에 의해 2차 근사로 보상될 수 있다.

중간 영역에서 다음과 같다:

$$A_1(r) = a_1 \hat{r}^2$$

여기서 규준화된(normalized) 반경 \hat{r} 에 대한 것이다. 주어진 서브퓨필 반경 v에 대해, 이는 다음을 의미한다.

$$a_1 = \frac{1}{2v(1-v)} \left(1 - \frac{z}{R} \right)$$

[0151] $v \neq 0$ 이고 $v \neq 1$ 일 때, 이 필터는 프로파일 $\left(\frac{z}{R} - 1\right)xp$ 을 보상하는데, 이는 $a_1(1-v)\hat{r}^2$ 의 필드 프

로파일과 $a_1v^2(p^2+q^2)$ 의 퓨필 프로파일을 유도한다. 이들은 필드 필터 및 퓨필 필터에 의해 보상되어야만 한다. 만일 이들이 현재 필드 및 퓨필 프로파일들을 보상하는데 사용된다면 그것은 바람직하다.

[0152] 필드 영역에서, 그러면 다음이 성립한다.

[0153]
$$A_2(r) = a_2\hat{r}^2$$

[0154] 여기서 다음과 같다.

[0155]
$$a_2 = \frac{1}{2R} - a_1(1-v)^2$$

[0156] 그리고 마지막으로 퓨필 영역에서 다음이 성립한다.

[0157]
$$A_3(r) = a_3\hat{r}^2$$

[0158] 여기서

[0159]
$$a_2 = -\frac{z}{2} \left(1 - \frac{z}{R}\right) - a_1v^2$$

[0160] 이고, 다음이 된다.

[0161]
$$a_2 = -\frac{z}{2} \left(1 - \frac{z}{R}\right) - \frac{v}{2} \left(1 - \frac{z}{R}\right) = -\frac{1}{2}(z+v) \left(1 - \frac{z}{R}\right)$$

[0162] 음의 흡수율은 순수하게 양으로 변환되어야만 하며 따라서 일정한 소자에 의해 물리적으로 가능한 흡수율이 된다.

[0163] *투사 노광 장치의 보수

[0164] 심지어 흡수성 물질 및 그것으로 형성된 광학 소자의 투과율 성질은 투사 노광 장치가 사용됨에 따라 변한다. 이러한 변화는 시뮬레이션 또는 측정에 의해 설명될 수 있는데, 바람직하게는 매개변수 β 에 의해 설명될 수 있으며, 특히 $\beta = \alpha$ 또는 $\beta = K$ 가 성립할 수 있다. 매개변수 β 는 따라서 액침 매질의 새로이 시뮬레이션된 또는 측정된 투과율이거나, 액침 매질의 새로이 측정된 흡수 상수 K 이다.

[0165] 그러면 보상 요소는 적용되어야만 하는데, 바람직하게는 그것을 정의하는 필터들은 그것들의 위치 또는 구체화의 관점에서 변경되며, 특히 필터 요소들은 교체된다.

[0166] 이 과정은 투사 노광 장치 특히 투사 대물렌즈에 도입될 2차적 성질의 오차발생이 있을 수 있게 하는데, 이는 적어도 부분적으로 보상되어야만 한다. 이 보상은 광학 요소들의 위치 조정에 의해, 광학 요소들의 형태 조정에 의해(US 5,805,273 A1 참조) 또는 광학 요소들의 표면 처리에 의해(US 6,268,903 B1 참조) 이루어질 수 있다.

[0167] 결론

[0168] 투과율 성향에 관한 유사한 문제 영역들이, 사용된 다른 광학 효과 요소들의 투과율 성향과 상당히 상이한 투과

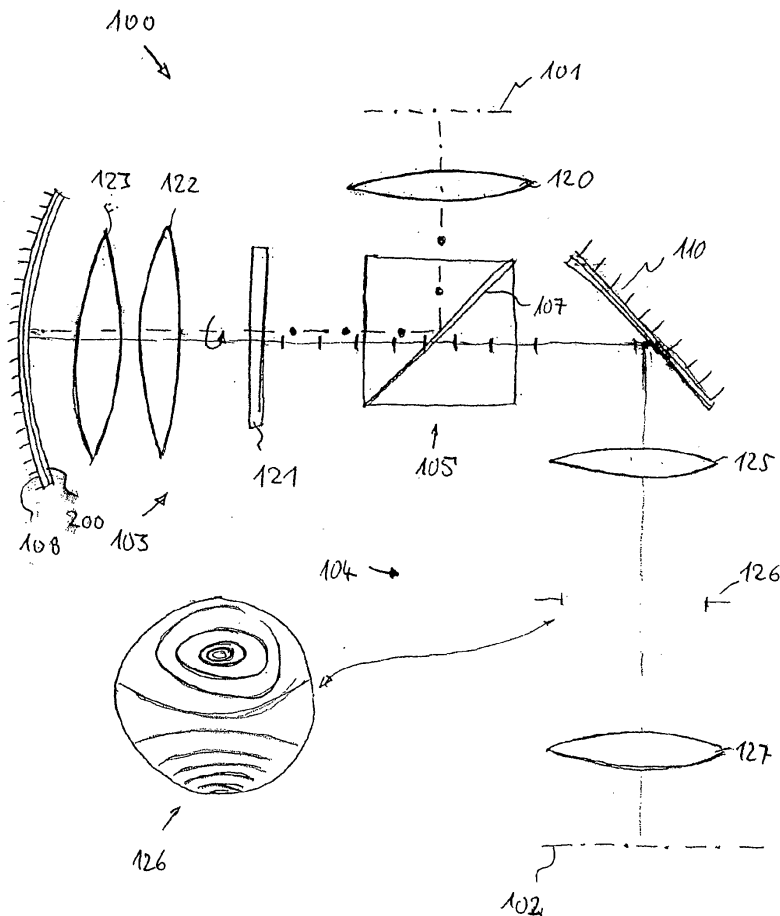
을 성향을 나타내는 광학 효과 요소를 포함하는 임의의 투사 노광 장치들에서 발생할 수 있다: 소위 더 많은 정도로 흡수하거나, 특히 1 또는 2차 크기까지 더 많은 양을 흡수하는 경우이다. 액침 매질의 통상적인 개념화는 설명을 위해 사용된 것뿐이다. 그것은 본 발명의 보호 범위를 한정하기 위하여 의도된 것이 아니다.

[0169]

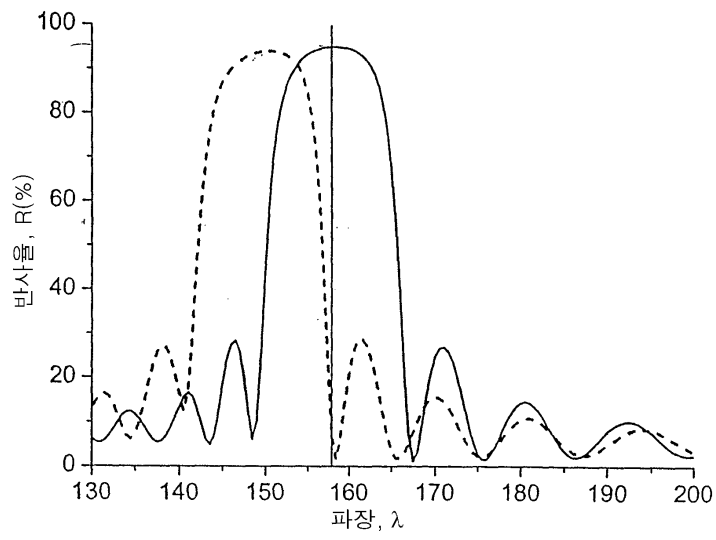
본 발명은 도 14에 도시된 것과 같은 마이크로리소그래피 투사 대물렌즈에 일체화될 수 있다. 그러한 두개-거울 인라인 카타디옵트릭 투사 대물렌즈들의 몇몇 기본적인 디자인 원칙들은 출원인에 의해 2004년 1월 14일 출원된 미국 가출원 60/536278호에 설명되어 있다. 본 발명은 또한 도 15에 예시적으로 도시된 것과 같이 중간 이미지 평면을 조명 시스템의 최종 이미지 평면에 결상하기 위해 디자인된 결상 광학 시스템들에 적용될 수도 있다. 도면에서의 숫자들은 선택된 광 면들을 나타낸다.

도면

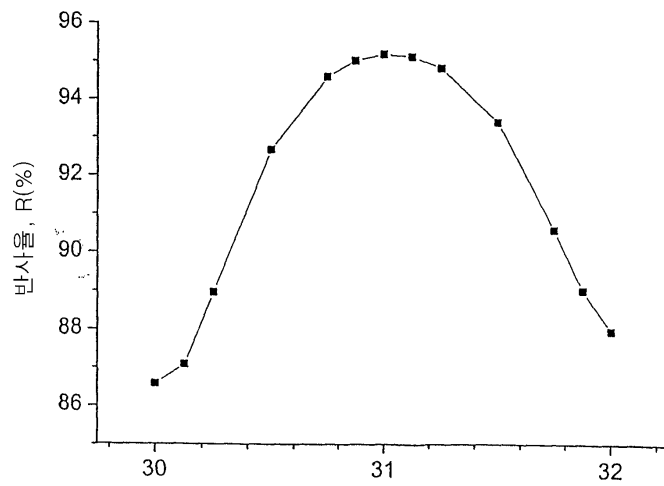
도면1



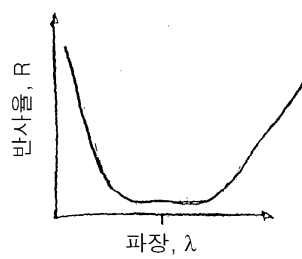
도면2



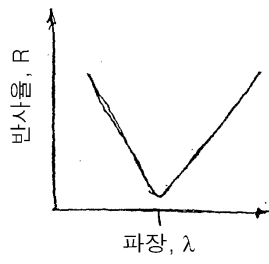
도면3



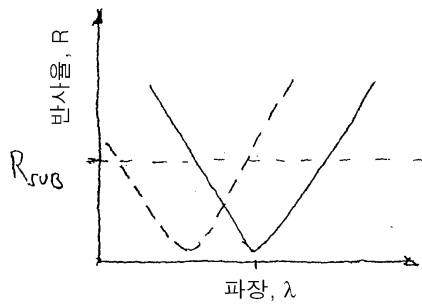
도면4a



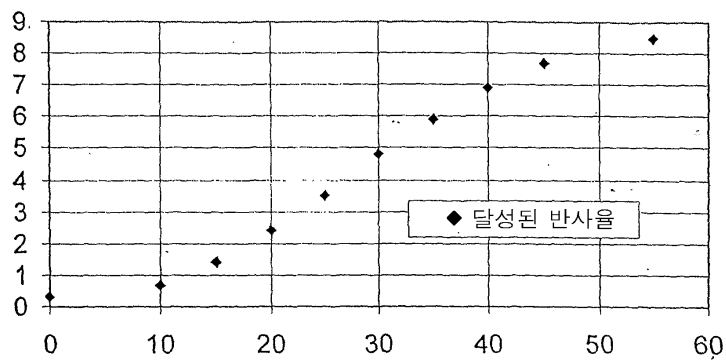
도면4b



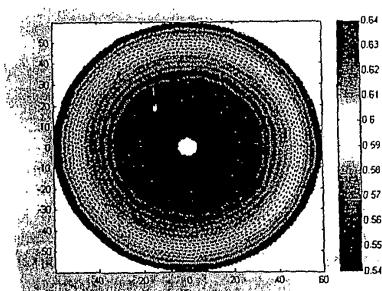
도면5



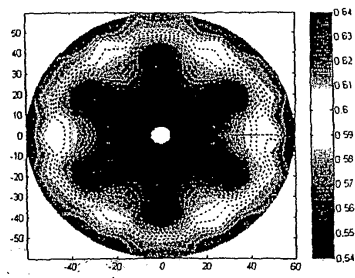
도면6



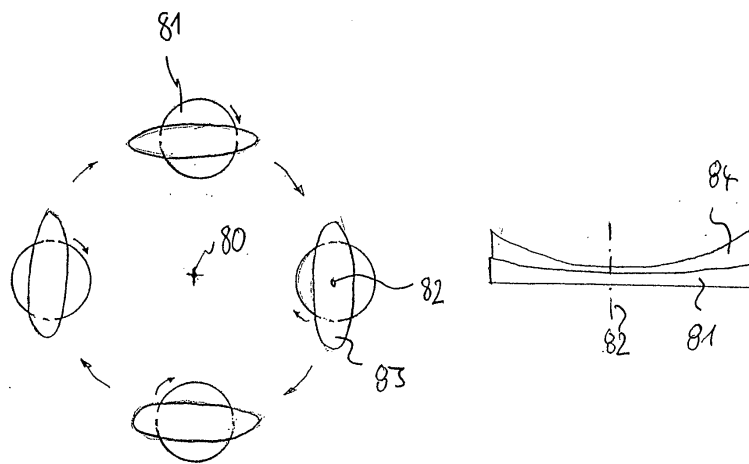
도면7a



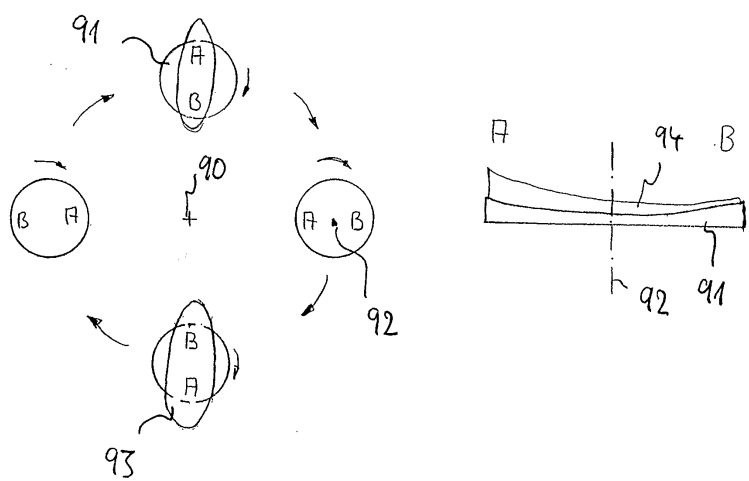
도면7b



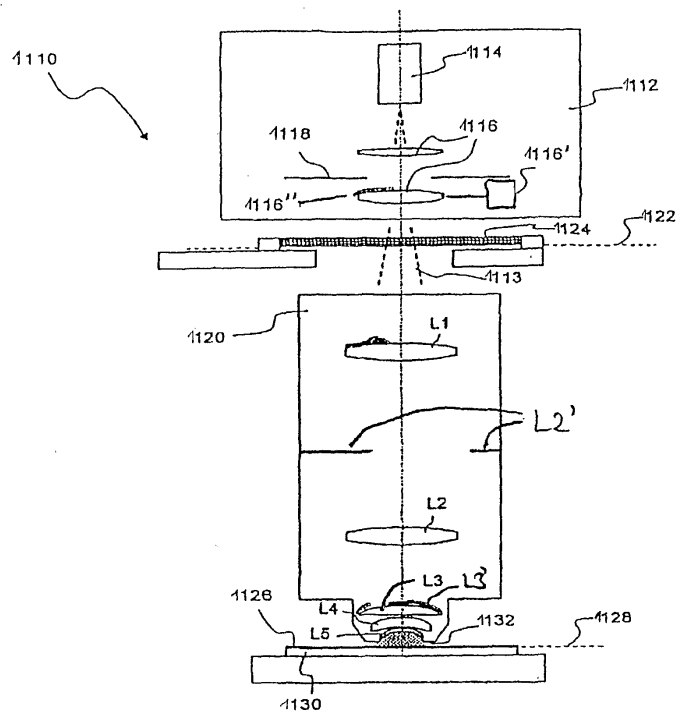
도면8



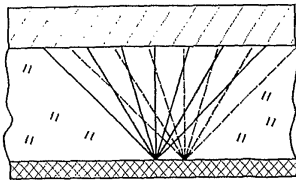
도면9



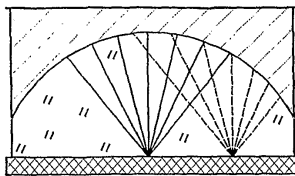
도면10



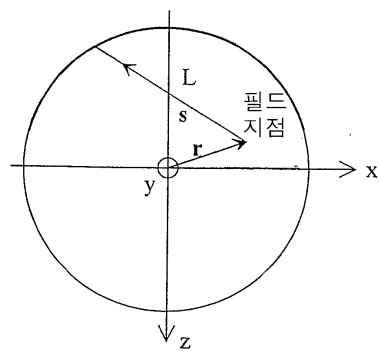
도면10a



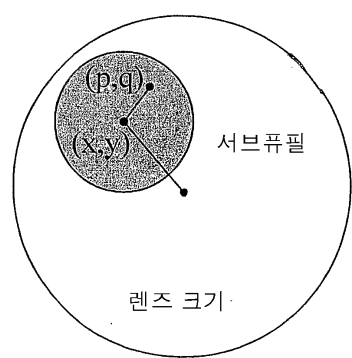
도면10b



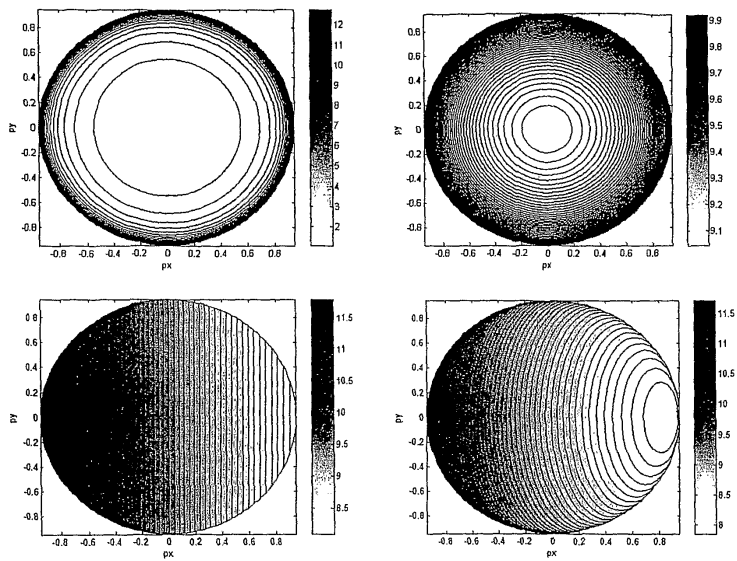
도면11a



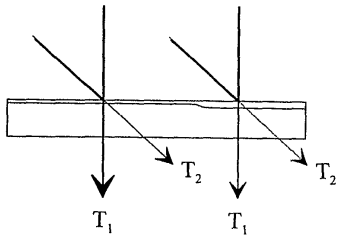
도면11b



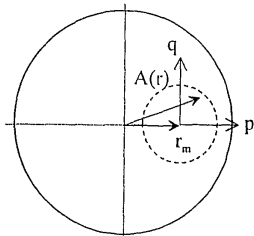
도면12



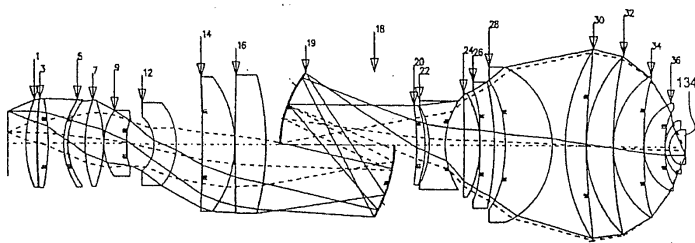
도면13a



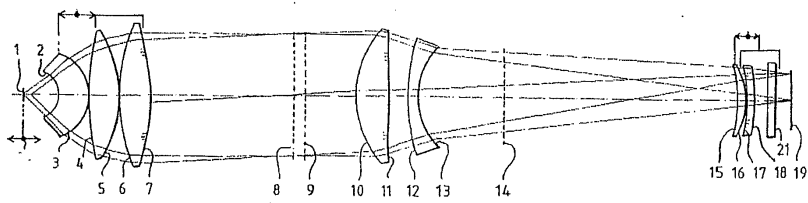
도면13b



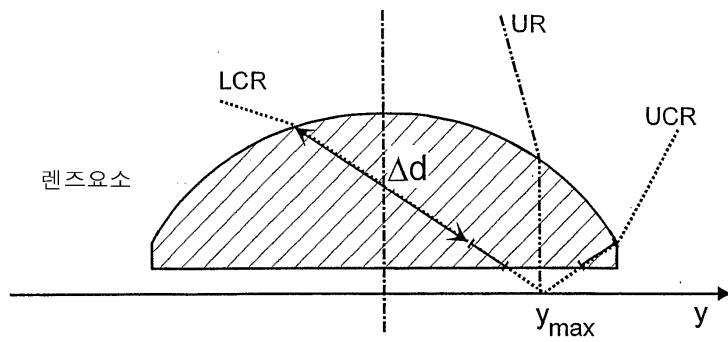
도면14



도면15



도면16



도면17

