



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년02월11일

(11) 등록번호 10-1593243

(24) 등록일자 2016년02월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G03F 7/20 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-7010271

(22) 출원일자(국제) 2008년10월11일

심사청구일자 2013년08월30일

(85) 번역문제출일자 2010년05월10일

(65) 공개번호 10-2010-0100781

(43) 공개일자 2010년09월15일

(86) 국제출원번호 PCT/EP2008/008619

(87) 국제공개번호 WO 2009/052962

국제공개일자 2009년04월30일

(30) 우선권주장

10 2007 051 671.3 2007년10월26일 독일(DE)

60/982,793 2007년10월26일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

WO2006094729 A2*

KR1020070084117 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

칼 짜이스 에스엠티 게엠베하

독일 오버코헨 73447 루돌프-에버-슈트라쎈 2

(72) 발명자

만, 한스-위르겐

독일, 73447 오베르코헨, 카펜바흐슈트라쎈 49

울리히, 빌헬름

독일, 73434 아렌, 레데라케링 44

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

한양특허법인

전체 청구항 수 : 총 12 항

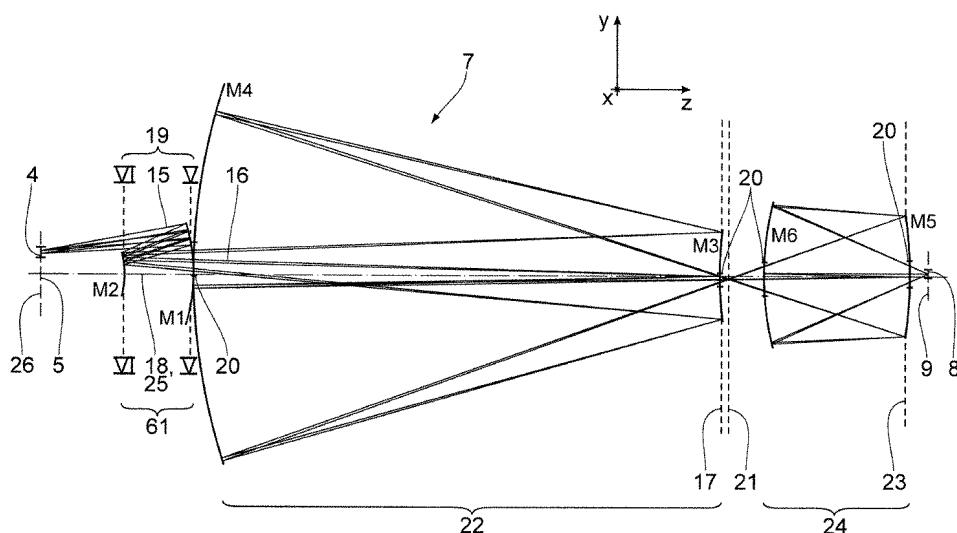
심사관 : 조승현

(54) 발명의 명칭 결상 광학 시스템 및 투영 노광 장치

(57) 요약

결상 광학 시스템(7)은 다수의 미러들(M1 내지 M6)을 갖는다. 이들은 물체면(5) 내의 물체 필드(4)를 이미지면(9) 내의 이미지 필드(8)로 결상한다. 결상 광학 시스템(7)에서는, 미러들(M1 내지 M6)의 반사면들 상의 결상광(15)의 최대 입사각과 결상 광학 시스템(7)의 이미지 측 개구수의 비가 33.8° 미만이다. 이것은 결상광이 결상 광학 시스템을 통과할 때, 특히 10nm 미만의 EUV 영역 내의 파장들에 있어서도 낮은 반사 손실이 얻어질 수 있도록 하는, 미러의 반사 코팅을 위한 양호한 상태를 제공하는 결상 광학 시스템이라는 결과를 가져온다.

대표도



(72) 발명자

뮐렌더, 스테판

독일, 73432 아렌, 헤르프스트가르텐베그 43

엔키쉬, 하르트무트

독일, 73431 아렌, 쉘링슈트라쎄 29/1

특허청구의 범위

청구항 1

10nm 미만인 파장을 갖는 결상광(3)으로 사용하는 결상 광학 시스템으로서,

20nm 보다 더 좋은 분해능(resolution capability)을 가지며,

- 물체면(5)에 있는 물체 필드(4)를 이미지면(9)에 있는 이미지 필드(8)로 결상하는 다수의 미러들(M1 내지 M6)을 갖고,
- 결상광(15)이 통과하기 위한 관통-개구(20)를 갖는 적어도 하나의 차폐된 미러(M3 내지 M6)를 구비하는 결상 광학 시스템.

청구항 2

삭제

청구항 3

청구항 1에 있어서,

- 모든 미러들(M1 내지 M6)의 반사면들 상의 결상광(3)의 최대 입사각과
- 상기 결상 광학 시스템의 이미지측 개구수의 비가 33.8° 미만인 것을 특징으로 하는 결상 광학 시스템.

청구항 4

삭제

청구항 5

청구항 1에 있어서,

6개의 미러들(M1 내지 M6)을 구비하고, 그 중 적어도 3 개의 미러들이 차폐되는 것을 특징으로 하는 결상 광학 시스템.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 미러들 중 적어도 하나의 미러(M1, M2)는 결상광이 통과하기 위한 관통-개구를 갖지 않는, 결상 광학 시스템.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

정확히 두 개의 미러들(M1, M2)은 결상광이 통과하기 위한 관통-개구를 갖지 않는, 결상 광학 시스템.

청구항 8

물체면(5)에 있는 물체 필드(4)를 이미지면(9)에 있는 이미지 필드(8)로 결상하는 다수의 미러들(M1 내지 M6)을 갖는 결상 광학 시스템으로서,

상기 미러들(M1 내지 M6)의 각각은 10nm 미만인 파장을 갖는 결상광(3)을 위한 반사 코팅(80)을 수반하고,

상기 결상 광학 시스템은 결상광(15)이 통과하기 위한 관통-개구(20)를 갖는 적어도 하나의 차폐된 미러(M3 내지 M6)를 구비하는 것을 특징으로 하는 결상 광학 시스템.

청구항 9

물체면(5)에 있는 물체 필드(4)를 이미지면(9)에 있는 이미지 필드(8)로 결상하는 다수의 미러들(M1 내지 M6)을

갖는 결상 광학 시스템으로서,

상기 미러들(M1 내지 M6)의 각각은 10nm 미만인 파장을 갖는 결상광(3)을 위한 반사 코팅(80)을 수반하고,

상기 미러들(M1 내지 M6)은 50% 보다 큰 평균 반사율을 갖는 것을 특징으로 하는 결상 광학 시스템.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 미러들(M1 내지 M6)의 각각은 상기 미러들(M1 내지 M6)이 6.9nm의 파장을 갖는 결상광(3)에 대해, 58% 보다 큰 평균 반사율을 갖는 방식으로 반사 코팅(80)을 수반하는 것을 특징으로 하는 결상 광학 시스템.

청구항 11

청구항 1, 청구항 3, 및 청구항 5 내지 청구항 10 중 어느 하나에 기재된 결상 광학 시스템을 구비하고,

광원(2)을 구비하고,

조명광(3)을 상기 결상 광학 시스템의 물체 필드(4)에 안내하기 위한 조명 광학계(6)를 구비하는 마이크로리소 그래피용 투영 노광 장치.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

조명광(3)을 만들어 내기 위한 광원(2)이 10nm 미만인 파장으로 구성되는 것을 특징으로 하는 투영 노광 장치.

청구항 13

레티클(10) 및 웨이퍼(11)를 제공하는 단계,

레티클(10) 상의 구조를, 청구항 11에 기재된 투영 노광 장치를 이용하여 웨이퍼(11)의 감광층 상에 투영하는 단계,

웨이퍼(11) 상에 미세구조(B, C)를 제조하는 단계를 포함하는 미세구조 요소의 제조 방법.

청구항 14

청구항 13에 기재된 방법에 의해 제조된 미세구조 요소.

명세서

기술분야

[0001]

본 발명은 청구항 1, 7 및 8의 전제부를 따르는 결상 광학 시스템에 관한 것이다. 또한 본 발명은 이러한 형식의 결상 광학 시스템을 구비하는 투영 노광 장치, 이러한 형식의 투영 노광 장치를 사용하는 미세구조 요소를 제조하는 방법 및 이러한 방법에 의해 생산되는 미세 구조 요소에 관한 것이다.

배경기술

[0002]

서두에서 언급된 형식의 결상 광학 시스템들은 US 6,750,948 B2, US 2006/0232867 A1, EP 0 267 766 A2, US 7,209,286 B2 및 WO 2006/069 725 A1으로부터 알려져있다.

[0003]

결상 광학 시스템을 통해 통과할 때, 미러들 상의 빛의 높은 반사 손실로 인해, 이들 문서에서 설명되는 결상 광학 시스템은, 특히 10 nm 미만의 파장을 갖는 EUV 방사광을 사용하는 때에는 용인될 수 없는 전송 특성들을 갖는다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0004] 따라서, 본 발명의 목적은, 특히 10 nm 미만인 EUV 영역에서의 파장들에서도 결상 광학 시스템을 통해 통과할 때, 결상광이 낮은 반사 손실을 갖도록 하는, 미러의 반사 코팅에 대해 양호한 상태들을 가져오도록 하는 방식의, 앞서 설명한 형식의 결상 광학 시스템을 개발하는 것이다.
- 과제의 해결 수단**
- [0005] 이 목적은 청구항 1, 청구항 4 및 청구항 7과 8에서 특정되는 특성들을 갖는 결상 광학 시스템에 의해 본 발명에 따라 성취된다.
- [0006] 본 발명에 따르면, 최대 입사각과 개구수의 매우 낮은 비를 갖는 광학 시스템이, 입사각에 대한 낮은 허용 대역폭을 대가로 높은 반사율을 갖는 다층 코팅을 결상 광학 시스템의 미러들의 모든 반사면들에 제공할 가능성을 가져온다는 사실이 알려져 있다. 본 발명에 따르는 결상 광학 시스템 내에서, 입사각은 매우 작게 변화하기 때문에, 이러한 형태의 다층 코팅은 입사각에 대해 낮은 허용 대역폭에서 사용될 수 있다. 최소 입사각과 개구수의 비는 33.0° 미만, 32.5° 미만, 32.0° 미만, 31.5° 미만 그리고 30.7° 미만도 될 수 있다.
- [0007] 청구항 2에 기재된 적어도 하나의 차폐된 미러는 주어진 이미지측 개구수에 대한 최대 입사각을 최소화하는 것에 있어서의, 결상 광학 시스템의 구조를 가능하게 한다.
- [0008] 청구항 3에 기재된 구조는 특히, 최대 입사각과 이미지측 개구수의 비를 최소화하는데 적합하다는 것이 알려졌다.
- [0009] 청구항 4에 기재된 미러들 상의 반사 코팅들은 10nm 미만인 구조적인 분해능을 허용한다. 청구항 4에 기재된 결상 광학 시스템은 또한 적어도 하나의 차폐된 미러에 대하여 앞서 이미 설명하였던 장점들을 가지고 있다. 이러한 형식의 차폐된 미러에서는, 동공 차폐, 즉 광선의 이미지 필드로의 입사각의 마스킹(masking)이 얻어질 수 있다. 청구항 5에 기재된 결상 광학 시스템에서는, 6nm의 구조적인 분해능 또는 그보다 더 작은 구조들의 분해능도 얻어질 수 있다. B₄C/CsI 다층들은 반사 코팅들로서 사용될 수 있다. 각 다층 반사 코팅은 300 B₄C/CsI 이중층들로부터 구축될 수 있다. 개별적인 이중층들의 층 두께는, 결상 광학 시스템의 광축으로부터 층의 거리의 증가에 따라 포물선 형태로 증가한다. 이러한 방식에서, 미러의 반사율은, 미러 엣지에서의 수직 입사로부터 보다 크게 벗어나는 입사각에 따라 증가한다.
- [0010] 청구항 7 또는 청구항 8에 기재된 분해능력을 갖는 결상 광학 시스템은 미세 구조들의 분해능을 허용한다. 이러한 방식에서, 가장 고집적 미세 구조화 또는 나노 구조화된 요소들이 생산될 수 있다. 청구항 8에 기재된 개구수들은 이러한 분해능력을 얻기 위하여 상당히 적당한 값이며, 사용에 있어서는, 최대 0.4의 이미지측 개구수가 바람직하다. 이것은 결상 광학 시스템의 구조를 용이하게 한다.
- [0011] 본 발명에 따르는 결상 광학 시스템은 청구된 것 외에 결합에 의해서 상기 논의된 특성들을 또한 포함할 수 있다.
- [0012] 청구항 9 및 청구항 10에 기재된 투영 노광 장치의 장점들은 본 발명을 따르는 결상 광학 시스템을 참조하여 앞서 설명된 것들과 상응한다. 투영 노광 장치의 광원은 광대역 및 예를 들어 1nm 보다 큰 대역폭, 10nm 보다 큰 대역폭 또는 100nm 보다 큰 대역폭을 가질 수 있도록 구성될 수 있다. 추가적으로, 투영 노광 장치는 상이한 파장들의 광원들에 의해 작동될 수 있도록 구성될 수 있다. 다른 파장들, 특히 마이크로리소그래피에 사용되는 그러한 파장들, 예를 들어 365nm, 248nm, 193nm, 157nm, 126nm, 109nm 및 특히 100nm 미만인 파장들을 위한 광원은, 본 발명을 따르는 결상 광학 시스템의 결합에서 사용된다. 사용되는 파장에 따라, 광학면들의 코팅의 적절한 조정이 요구된다.
- [0013] 청구항 10에 기재된 광원은 최소 반사율을 얻기 위하여, 입사각에 대한 작은 허용 대역폭만을 갖는 미러상의 반사 코팅들을 요구한다. 본 발명에 따르는 결상 광학 시스템에 의해서, 입사각에 대한 낮은 허용 대역폭에 대한 요구는 만족된다.
- [0014] 청구항 11에 기재된 제조 방법 및 그것에 의해 생산되는 청구항 12에 기재된 미세구조 요소 또는 나노구조 요소들은 상응하는 장점들을 갖는다.
- [0015] 다음에서는, 본 발명의 실시예들이 도면들을 이용하여 보다 자세하게 설명될 것이다.

도면의 간단한 설명

[0016]

도 1은 EUV 마이크로리소그래피용 투영 노광 장치의 개략도이다.

도 2는 투영 노광 장치의 결상 광학 시스템의 실시예의 자오 단면도이다.

도 3은 도 2를 따르는 결상 광학 시스템의 물체 필드의 확대도이다.

도 4는 선택된 필드점들의 결상광들을 통하는 또한 그것의 물체면의 영역 내에서 도 2를 따르는 결상 광학 시스템의 광축을 통하는 단면도이다.

도 5는 도 2에서 V-V 면을 관통하는, 도 4를 따르는 결상광들을 통하는 단면도이다.

도 6은 도 2에서 VI-VI 면을 관통하는, 도 4를 따르는 결상광들을 통하는 단면도이다.

도 7은, 도 2를 따르는 결상 광학 시스템에서의 구조 이미지의 부분적으로 일관된 공간 영상 계산을, 결상 광학 시스템의 이미지 필드내에서 결상광들의 상대 강도를 변위의 함수로서 보여주는 다이어그램의 형태로 도시한다.

도 8은 도 7과 비교하여 더 작은 구조적인 두께를 갖는 구조 이미지의 부분적으로 일관된 공간 영상 계산의 결과를 도 7과 유사하게 도시한다.

도 9는 도 1을 따르는 투영 노광 장치를 위한 결상 광학 시스템의 다른 실시예를 도 2와 유사하게 도시한다.

도 10은 도 9를 따르는 결상 광학 시스템의 선택된 필드점들의 결상광들의 관통점들을 도 4와 유사하게 도시한다.

도 11은 도 9에서 XI-XI 면을 관통하는, 도 10을 따르는 결상광들을 통하는 단면도이다.

도 12는 도 9에서 XII-XII 면을 관통하는, 도 10을 따르는 결상광들을 통하는 단면도이다.

도 13은 결상 광학 시스템의 실시예의 미러들 중 하나의 일부를 관통하는 단면도이고, 상기 단면은 미러의 반사면의 반사 코팅을 관통하여 수직으로 이루어지고,

도 14는 도 13을 따르는 형식의 반사 코팅들의 반사율을, 상이한 입사각에 대해 최적화된 두 개의 반사 코팅들을 위한 미러들의 반사면들 상의 결상광의 입사각의 함수로서 도시하는 다이어그램이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017]

마이크로리소그래피용 투영 노광 장치(1)는 조명광 또는 조명 방사(3)을 위한 광원(2)을 갖는다. 광원(2)은, 예를 들어 5nm 내지 30nm, 특히 5nm 내지 10nm 의 파장 영역 내에서 빛을 발생시키는 EUV 광원이다. 광원(2)은 특히, 6.9nm의 파장을 갖는 광원일 수 있다. 다른 EUV 파장들 또한 가능하다. 일반적으로, 어떠한 요구되는 파장들, 예를 들어 가시 파장들 또는 마이크로리소그래피에 사용될 수 있고 적합한 레이저 광원들 및/또는 LED 광원들이 유효한(예를 들어 365nm, 248nm, 193nm, 157nm, 129nm, 109nm) 다른 파장들도, 투영 노광 장치(1)에서 안내되는 광원(3)에 대해 가능하다. 조명광(3)의 광경로는 도 1에서 매우 개략적으로 도시된다. 조명 광학계(6)는 조명광(3)을 광원(2)으로부터 물체면(5)의 물체 필드(4)(도 3과 비교)에 안내한다. 물체 필드(4)는 이미지면(9)의 이미지 필드(8)(도 2와 비교)에, 투영 광학 시스템 또는 결상 광학 시스템(7)에 의해 소정의 축척(reduction scale)으로 결상된다. 도 2에서 도시되는 실시예들 중 하나 및 그 이하는 투영 광학 시스템(7)에 사용될 수 있다. 도 2에 따르는 투영 광학 시스템(7)은 8의 감소 계수를 갖는다. 다른 축척, 예를 들어 4x, 5x, 또는 8x 보다 큰 축척도 또한 가능하다. EUV 파장을 갖는 조명광(3)에서는, 8x의 결상 스케일(imaging scale)이 특히 적합하며, 이는 반사 마스크(10) 상의 물체측 입사각이 작게 유지될 수 있기 때문이다. 또한, 8x의 결상 스케일은 불필요하게 큰 마스크들의 사용을 요구하지 않는다. 도 2를 따르는 실시예들 그리고 그 이하의 투영 광학 시스템(7)에서는, 이미지면(9)은 물체면(5)에 대해 평행하게 배치된다. 이러한 방식으로, 의 물체 필드(4)와 같은 공간을 차지하는, 레티클로 언급되는 반사 마스크(10)의 일부분이 결상된다.

[0018]

투영 광학 시스템(7)에 의해 수행되는 결상은 기관 지지 부재(12)에 의해 지지되는 웨이퍼의 형태로 기관(11)의 표면 상에 이루어진다. 도 1은 레티클(10)과 투영 광학 시스템(7)의 사이에서, 상기 투영 광학 시스템으로 들어가는 조명광(3)의 광선(13)과, 투영 광학 시스템과 기관(11)의 사이에서 투영 광학 시스템(7)을 나가는 조명광 또는 결상광(3)의 광선(14)을 개략적으로 도시한다. 도 2에 부합되는 이미지 필드측 상의 투영 광학 시스템(7)의 개구수는 0.40 이다. 이것은 도 1에서는 그 크기가 보여지는 것은 아니다.

[0019]

투영 노광 장치(1) 및 투영 광학 시스템(7)의 다양한 실시예들의 설명을 돕기 위하여, 도면 상에서 표시되는 요소들의 상대적 위치들이 측정될 수 있는 것을 보여주는 xyz 시스템이 도면에서 명시된다. 도 1에서는, x 방향은

도면 평면에서 또한 도면 평면으로 수직하게 연장한다. y 방향은 오른쪽으로 연장하고, z 방향은 아래쪽으로 연장한다.

[0020] 투영 노광 장치(1)는 스캐너형 장치이다. 레티클(10) 및 기관(11) 양쪽 모두는 투영 노광 장치(1)의 작동 동안 y 방향으로 스캔된다. 레티클(10)과 기관(11)의 y 방향으로의 단계적인 이동이 기관(11)의 개개의 노광들 사이에서 일어나는, 투영 노광 장치(1)용 스텝퍼형 장치 또한 가능하다.

[0021] 도 2는 투영 광학 시스템(7)의 제 1 실시예의 광학적 구조를 보여준다. 이것은, 두 개의 물체 필드점들로부터 각각의 경우에 진행하고, 도 2에서의 y방향으로 서로 이격된 세 개의 개별적인 광선들(15)의 각각의 광경로들을 보여준다. 이들 두 개의 물체 필드점들 중 하나에 속하는 세 개의 개별적인 광선들(15)은 두 개의 물체 필드점들에 대한 세 개의 상이한 조명 방향들과 각각 연관된다. 투영 광학 시스템(7)의 동공면(17) 내의 동공의 중심을 통해 연장하는 주광선(16)은 도 2에서 도시된다. 단지 명확성을 기하기 위한 이유로, 이러한 것들은 중앙 동공 차폐로 인해 투영 광학 시스템(7)의 실제 결상광 경로들이 아니다. 물체면(5)으로부터 진행되는 이러한 주광선(16)들은 처음에 발산하여 연장한다. 이것은 다음에서, 투영 광학 시스템(7)의 입사 동공의 음의 후초점길이에 언급된다. 도 2를 따르는 투영 광학 시스템(7)의 입사 동공은 투영 광학 시스템(7)의 내부가 아닌 광경로상의 물체면(5) 앞에 놓인다. 이것은, 예를 들어 투영 광학 시스템(7)의 입사 동공 내의 조명 광학계(6)의 동공 요소를, 이러한 동공 요소와 물체면(5) 사이에 존재해야 하는 다른 결상 광학 요소들 없이, 광경로 상의 투영 광학 시스템(7) 앞에 배치하는 것을 가능하게 한다. 대안으로서, 입사 동공의 양의 후초점 길이, 또는 다른 대안으로서 물체측 텔레센트릭 광경로가 또한 가능하다. 두 번째 대안은, 예를 들어 물체면(5)의 레티클(10)로서의 반사 마스크에 대해 광 분리 요소의 사용으로 이용되거나 또는 물체면(5) 내의 레티클로서의 투과 마스크와 함께 사용된다.

[0022] 도 2를 따르는 투영 광학 시스템(7)은 물체 필드(4)로부터 시작되는 개별적인 광선들(15)의 광경로의 순서로 번호가 매겨지는 M1 내지 M6의 총 6개의 미러들을 갖는다. 도 2는 단지 미러들(M1 내지 M6)의 계산된 반사 표면들을 보여준다. 일반적으로, 미러들(M1 내지 M6)은 실제 사용되는 반사 표면들 보다 더 크다.

[0023] 도 2를 따르는 투영 광학 시스템(7)의 광학 데이터는 아래의 2 개의 표들을 이용하여 보여진다. "반경" 세로단에서는, 첫 번째 표는 미러들(M1 내지 M6) 각각의 곡률 반경을 보여준다. 세 번째 세로단(두께)은 물체면(5)으로부터 시작되는, z 방향으로의 각각의 경우에서의 그 다음 표면까지의 거리를 나타낸다.

[0024] 두 번째 표는 미러들(M1 내지 M6)의 반사 표면들의 정확한 표면 형상을 나타내며, 여기서 상수 K 및 A 내지 E는 시상 높이(sagittal height)(z)를 위한 다음의 식에서 사용된다.

$$z(h)=\frac{c h^2}{1+S Q R T\left\{1-(1+K) c^2 h^2\right\}}+A h^4+B h^6+C h^8+D h^{10}+E h^{12}$$

[0025] 여기서, h는 광축(18)으로부터 투영 광학 시스템(7)의 거리를 나타낸다. 따라서, $h^2=x^2+y^2$ 이다. 반경의 역수는 c가 사용된다.

| 표면 | 반경(1/c) | 두께 | 구동 모드 |
|------|----------|-----------|-------|
| 물체면 | 무 한 | 348.222 | |
| M1 | -379.407 | -157.578 | REFL |
| M2 | -202.767 | 1353.319 | REFL |
| 슬롯 | 무 한 | 0.000 | |
| M3 | 1127.182 | -1195.630 | REFL |
| M4 | 1374.690 | 1626.377 | REFL |
| M5 | -975.061 | -330.747 | REFL |
| M6 | 681.443 | 375,745 | REFL |
| 이미지면 | 무 한 | 0.000 | |

| 표면 | K | A | B |
|----|---------------|---------------|---------------|
| M1 | 0.000000E+00 | -6.780209E-11 | -1.455553E-15 |
| M2 | 0.000000E+00 | 2.307286E-09 | 2.337524E-14 |
| M3 | 0.000000E+00 | 1.500225E-09 | 1.781600E-14 |
| M4 | 0.000000E+00 | -1.573831E-12 | -8.140292E-19 |
| M5 | 0.000000E+00 | 6.446612E-10 | 2.597249E-15 |
| M6 | 0.000000E+00 | 3.799673E-10 | 1.680031E-15 |
| 표면 | C | D | E |
| M1 | -3.423358E-21 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| M2 | 5.367802E-18 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| M3 | -2.232896E-19 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| M4 | -5.798511E-26 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| M5 | 4.409975E-20 | 1.865473E-25 | -9.721913E-32 |
| M6 | 5.791990E-21 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |

제 1 미러 그룹(19)의 미러들(M1 및 M2)는 링 세그먼트 형상으로, 그리고 광축(18)에 대해 축에서 벗어나 사용된다. 미러들(M1 및 M2)의 사용되는 광학 반사면은 따라서, 광축(18)으로부터 거리를 두고 놓인다. 물체 필드(4) 및 이미지 필드(8)는 광축(18)으로부터 거리를 두고 배치된다. 시상 높이(z)에 관한 상기 식에 부합되게, 모든 미러들(M1 내지 M6)의 반사면들은 광축(18)에 대하여 회전 대칭이다.

미러들(M1 및 M2)의 광학적 사용 영역은 결상광의 투과를 위한 관통-개구들을 갖지 않고, 즉 차폐되지 않는다. 따라서, 제 1 미러 그룹(19)은 비차폐 미러 그룹이다. 미러들(M1 및 M2)의 반사면들은 서로 면한다.

미러들(M1, M4, M5 및 M6)는 오목 렌즈들이다. 미러들(M2 및 M3)은 볼록 렌즈들이다.

개별적인 광선들(15)은 결상 광경로 내의 미러들(M2 및 M3) 사이의 미러(M4) 내의 관통-개구(20)를 통하여 통과한다. 미러(M4)는 관통-개구(20)의 둘레에서 사용된다. 따라서, 미러(M4)는 차폐된 미러이다. 미러(M4)와 마찬가지로, 미러들(M3, M5 및 M6)도 또한 차폐되고, 마찬가지로 각각 거의 중앙에 관통-개구(20) 구비한다. 전체로서, 두 개의 비차폐된 미러들, 다시 말해 미러들(M1 및 M2) 및 네 개의 차폐된 미러들, 다시 말해 미러들(M3 내지 M6)는 따라서 투영 광학 시스템(7)내에 초기에 존재한다.

동공면(17)은 개별적인 광선들(15)의 반사 영역내의 투영 광학 시스템내의 광경로내의 미러(M3) 상에 놓인다. 미러들(M1 및 M4)은 그것의 반사면들의 방향이 서로 등을 마주하도록 배치된다.

투영 광학 시스템(7)의 중간 이미지면(21)이 결상 광경로 내의 미러들(M4 및 M5)사이에 놓인다. 개별적인 광선들(15)은, 개별적인 광선들(15)이 미러(M3)의 관통-개구(20)를 통하여 통과하는 직후, 중간 이미지면(21)을 통과한다.

미러들(M3 및 M4)은 비차폐 미러 그룹(19)의 뒤에 배치되는, 동공면(17)과 중간 이미지면(21) 사이의 투영 광학 시스템(7)의 제 1 차폐 미러 그룹(22)을 나타낸다. 미러들(M3 및 M4)의 반사면들은 서로 면한다.

개별적인 광선들(15)은 광경로 상에서, 중간 이미지면(21)과 미러(M5) 사이의 미러(M6) 내의 관통-개구(20)를 통과한다. 투영 광학 시스템(7)의 다른 동공면(23)은 개별적인 광선들(15)의 반사 영역내에서 미러(M5) 상에 존재한다.

미러들(M5 및 M6)은 중간 이미지면(20)과 이미지면(9) 사이의 투영 광학 시스템(7)의, 차폐 미러 그룹(22)의 뒤에 배치되는 다른 차폐 미러 그룹(24)을 나타낸다. 미러들(M5 및 M6)의 반사면들은 서로 면한다.

미러(M6) 상의 개별적인 광선들(15)의 반사 후에는, 개별적인 광선들(15)은 미러(M5) 내의 관통-개구(20)를 통하여 통과하고, 이미지 필드(8)에 도달한다. 다음의 표는 도 2를 따르는 자오 단면에서의 개별적인 광선들(15)에 대한 최대 및 최소 입사각을 나타낸다. 이것들은 미러들(M1 내지 M6) 상의 각각의 최대 및 최소 입사각들이

다.

| 미러 | 최대 입사각 (자오 단면)[°] | 최소 입사각 (자오 단면)[°] |
|----|----------------------|----------------------|
| M1 | 7.52 | 5.87 |
| M2 | 12.35 | 9.16 |
| M3 | 10.38 | 0.81 |
| M4 | 2.35 | 0.42 |
| M5 | 12.10 | 1.66 |
| M6 | 10.41 | 2.19 |

[0039]

[0040]

미러들(M1 내지 M6)의 반사면들로의 결상광의 최대 입사각과 투영 광학 시스템(7)의 개구수의 비는 따라서 12.35° 인 미러(M2)로의 최대 입사각에 의해 특정된다. 도 2를 따르는 투영 광학 시스템(7)에서, 최대 입사각과 개구수의 비는 따라서 30.9° 이다.

[0041]

작은 최대 입사각은, 작은 최대 입사각으로 인해 입사각에 대한 상대적으로 큰 허용 대역폭을 갖는, 예컨대 6.9nm의 영역의 낮은 EUV 파장들에도 반사면을 사용할 수 있는 가능성을 제공한다. 이것은 도 14를 이용하여 뒤에서 더 설명된다. 입사각에 대한 반사층의 이러한 허용 대역폭은, 반사 코팅이 구축되는 것에 대한 최대 입사각이 감소할수록 증가한다. 특히, 상이한 굴절률을 갖는 연속적으로 교차하는 다수의 층 물질들의 적층으로서 형성되는 반사 코팅들도 또한 가능하다. 10nm 미만의 파장을 갖는 조명광(3)이 사용되는 때에는, 이러한 형식의 코팅들은 입사각에 대해 상응하게 낮은 허용 대역폭을 갖는다. 따라서, 렌즈 시스템(7)은 종래 기술과 비교하여 상대적으로 낮은 반사 손실들을 갖고, 이러한 형식의 낮은 파장들에서도 개별적인 미러들의, 그것의 반사면들에서의 반사율이 더 작은 편차를 갖도록 사용될 수 있다.

[0042]

광축(18)은 도 2에서 파선으로 도시된다. 도 2에 따르면, 이러한 파선은 동시에 도 2를 따르는 주 분리면(25) (도 2에서의 xz면)과 자오면(도 2에서 yz 면)의 교차선을 나타낸다. 이 주 분리면(25)은 도 2에서의 도면 평면에 수직이다 광축(18)은 주 분리면(25)에 놓인다. 추가적으로, 도 2의 자오면에 놓인, 광축(18) 상의 중앙 물체 필드점의 법선(26)은 주 분리면(25)에 대해 수직이다. 이러한 법선(26)은 또한 도 2의 도면 평면에 놓이고, 물체면(5)(도 2에서 xy 평면)과 자오면, 즉 도 2에서의 도면 평면의 교차선과 일치한다.

[0043]

자오면에서 연장하는, 광학 시스템의 결상 광선들은 처음에는, 즉 투영 광학 시스템(7)의 비차폐 미러 그룹(19)에서는 주 분리면(25)을 통해 통과하지 않는다. 주 분리면(25)은 광경로 상의 미러들(M2 및 M3) 사이의 미러(M2) 상의 반사 후에, 즉 미러 그룹들(19 및 22) 사이에서의 전환에서, 개별적인 광선들(15)에 의해 처음으로 통과된다. 주 분리면(25)은 동공면(17)에서 주광선들(16)에 의해 처음으로 통과된다.

[0044]

도 3은 투영 광학 시스템(7)의 물체 필드(4)의 확대도이다. 이미지 필드(8)는 계수 8 만큼 감소되었다는 것을 제외하고는 완전하게 동일한 형상을 갖는다. 필드(4)는, YS의 거리만큼 y 방향으로 서로 평행하게 이격되는, 동일한 반경(R)의 두 개의 원호들(27,28)에 의해 범위가 정해지는 원호 형상의 필드이다. 필드(4)는 또한 각각, 원호들(27,28)의 두 개의 단부들을 연결하고, 법선(26)에 평행하게 연장하는 두 개의 경계선들(29,30)에 의해 또한 범위가 정해진다. 두 개의 경계선들(29,30)은 서로 스캐닝 슬롯 폭인 거리(XS) 만큼 거리를 두고 있다. 주 분리면(25)은 두 개의 경계선들(29,30)의 중심을 통하여 통과한다. 따라서 광축(18)은 정확하게 두 개의 경계선들(29,30)의 중심들 사이에 놓인다. 두 개의 경계선들(29,30)의 사이의 광축(18)의 배치로 인하여, 따라서 필드(4)는 최소 링 필드 반경(R)을 갖는 필드이다. 이것은 다음의 표현에 의해 주어진다.

$$R = \text{SQRT} \left[\left(\frac{XS}{2} \right)^2 + \left(\frac{YS}{2} \right)^2 \right]$$

[0045]

[0046]

도 2의 투영 광학 시스템(7)에서는, 물체 필드(4)는 XS=104mm(스캐닝 슬롯 두께) 및 YS=8mm(스캐닝 슬롯 길이)

인 값을 갖는다. 물체 필드(4)에 대해서는 이것은 52.154mm 인 링 필드 반경(R)이라는 결과를 가져온다.

[0047] 경계선들(29,30)과 도 3의 상부에서 도시되는 원호(28) 사이에서, 필드(4)는 직선으로 연장하는 경계선들(29,30)로 원호(28)가 전이되는 경계 전이들(31,32)을 갖는다. 경계 전이(31,32) 사이에, 필드 동경 벡터(33)는 다음의 다항식을 사용하여 계산되는 방위각 α 에 걸쳐 있다.

$$\alpha = 2 \arcsin(1/2XS/R)$$

[0048]

[0049] 이것은 물체 필드(4)에 대해서 171.2°의 방위각(α)이라는 결과를 가져온다. 이미지 필드(8)는 동일한 방위각을 갖는다. 이 높은 방위각은 필드(4)가 주어진 XS 연장에 대해 광축(18)에 가능한 한 가깝게 배치되어 있다는 것을 의미한다. 이것은 물체 필드(4)와 이미지 필드(8) 사이에 투영 물체(7)를 통해 결상하는 때에, 결상 에러 정정을 가능하게 한다. 이에 더하여, 큰 방위각은 보다 작은 모 지름들(parent diameters) 및 미러들(M1 내지 M6)의 낮은 비구면성들이라는 결과를 가져온다. 미러의 모 지름은 2000년 2월 14일, D.A.Tichenor et al., Lawrence Livermore National Laboratory의 논문"EUV Engineering Test Stand"에서의 도 6(견본인쇄 UCRL-JC-137668)에서 정의된다. 큰 방위각으로 인해, 미러들(M1 내지 M6)상의 입사각을 낮게 유지하는 것이 또한 가능하다.

[0050] 도 4 내지 도 6은 비 차폐 미러 그룹(19) 내의 선택된 물체 필드점들로의 광선들(34)의 경로를 도시한다. 도 4 내지 도 6과 연결지어 다음에서 논의될 모든 광선 그룹들의 광선들(34)은 각각 동일한(25) 물체 필드점들과 연관된다. 전체로 5개인 광선 그룹들(35,36,37,38,39)의 광선들(34)이 도시된다. 광선 그룹들(35 내지 39)은 도 4에서 왼쪽에서 오른쪽으로 번호매겨진다. 각 광선 그룹(35 내지 39)은, 동일한 x 값을 갖는 물체 필드점들에 속하고 y축 방향으로 서로 등거리로 이격된 다섯 개의 광선(34)을 갖는다. 도 4에서 중앙 광선 그룹(37)은 자오면에 놓인 물체 필드점들에 속한다.

[0051] 도 4는 원호 형상의 물체 필드(4)가 보여지는 방식으로 물체면(5)의 근방에서의 광선들(34)을 도시한다. 엠티에서 두 개의 광선 그룹들(35 및 39)은 경계선들(29,30) 상에 놓이는 물체 필드점들로부터 진행한다. 도 4의 관점은 x 방향에서보다 y 방향에서 원호 필드 반경(R)이 더 작게 보이도록하는 방식으로 y 방향으로 압축된다.

[0052] 중앙 광선 그룹(37)에 속하는 필드 반경 섹터(R)는 도 4의 상부에서 나타난다. 도 4에서는, 광선 그룹들(35 내지 39)은 광축(18)에 대하여 하향으로 개방된 반원형태를 형성한다.

[0053] 도 5는 도 2의 단면(V), 즉 미러(M1)의 영역에서의 광선들(34)을 도시한다. 미러(M1) 상에서 반사되는 광선 그룹들(40 내지 44)은 링 세그먼트상에 놓이고, 도 5에서, 광축(18)에 대하여 하향으로 개방되는 외부 반원을 형성한다.

[0054] 나아가, 평면(V)는 광 경로 상에서 미러들(M2 및 M3) 사이에서 연장하는 광선 그룹들(45 내지 49)에 의해 통과된다.

[0055] 광선 그룹들(45 내지 49)은 또한 광축(18)에 대하여 도 5에서 하향으로 개방되는 반원형태를 형성한다. 광선 그룹들(45 내지 49)의 반원은 따라서, 광축(18)과, 광선 그룹들(40 내지 44)에 의해 형성되는 반원 사이에 놓인다.

[0056] 한편으로는 광선 그룹들(40 내지 44)의, 다른 한편으로는 광선 그룹들(45 내지 49)의 두 개의 반원들이 각각 하향으로 개방되어 있다는 사실로 인해, 한편으로는 광선 그룹들(40 내지 44)의, 다른 한편으로는 광선 그룹들(45 내지 49)의 개별적인 광선들(34) 사이에서, 충분히 큰 최소 거리가 광선 그룹들(40 내지 49)의 컴팩트한 배치로서 얻어질 수 있다. 이 거리는 도 5에서 A로 표시된다. 미러(M4)에서 관통-개구(20)는 따라서, 다른 단계들을 취해지는 것 없이, 한편으로는 광선 그룹들(40 내지 44), 다른 한편으로는 광선 그룹들(45 내지 49)의 사이에서, 도 5에서 도시되는 바와 같이 점선 및 파선들에 의해 한계가 정해질 수 있다. 미러들(M1 내지 M6)가 일반적으로 완벽하게 예리한 엠티를 갖도록 제조될 수 없기 때문에 거리(A)가 현실적으로 필요하게 된다. 거리(A)는 또한 시스템을 조립하고 조정하기 위한 공차로서 역할을 한다. 종래,거리(A)는 수 밀리이다.

[0057] 도 6은 미러(M2)가 배치되는 영역에서, 평면(VI) 내의 물체 필드점들로의 광선들(34)의 도 5와 유사한 관점이다. 광선 그룹들(50,51,52,53,54)는 광선(34)이 미러(M2) 상에 반사하는 지점에서 광축(18)에 인접하게 놓인다. 광선 그룹들(50 내지 54)은 도 6에서 하향으로 개방되는 반원 형태로 배치된다. 이러한 반원은, 결상 광경로 상에서 물체면(5)과 미러(M1) 사이의 평면(VI)을 통해 통과하는 광선 그룹들(55 내지 59)의, 마찬가지로 하향으로 개방되는 반원으로 둘러싸인다. 따라서, 한편으로는 광선 그룹들(50 내지 54)과 다른 한편으로는 광선

그룹들(55 내지 59)과 연관되는 반원들의 반원 개구들은, 한편으로는 이러한 광선 그룹들(50 내지 54)과 다른 한편으로는 광선 그룹들(55 내지 59) 사이에서 거리 A 가 동시에 컴팩트한 배치를 갖도록 구비되는 방식으로 평면(VI)에서 동일한 방향으로 또한 개방된다. 이러한 경우는 또한 미러의 엣지들에서의 한계(60)는 도 6에서 점선 및 파선으로 도시되는 바와 같이, 한편으로는 광선 그룹들(50 내지 54), 다른 한편으로는 광선 그룹들(55 내지 59)의 비네팅(vignetting) 없이 가능하다.

[0058] 평면들(V, VI) 사이에서, 따라서 개별적인 광선들(15)은 다중 패스-스루(pass-through) 영역(61)(도 2를 참조)을 통해 통과한다. 이 다중 패스 스루 영역(61)은, 전체로서 세 번, 특히 한편으로는 물체면(5)과 미러(M1)의 사이에서 개별적인 광선들(15)에 의해, 다른 한편으로는 미러들(M1 및 M2) 사이에서 개별적인 광선들(15)에 의해 또한 미러들(M2 및 M3) 사이의 개별적인 광선들에 의해 통과된다. 다중 패스-스루 영역(61) 내에서는 투영 광학 시스템(7)의 동공면이 없다. 동공면들(17 및 23)은 다중 패스-스루 영역(61) 외부에 배치된다.

[0059] 도 7은 투영 물체(7)의 부분적으로 일관되는 공간 영상(aerial image) 계산의 결과를 보여준다. 다이어그램은, 이미지 필드(8) 내에서 상대 강도(I)가 위치(V)의 함수로서 상방 그리고 우측으로 표시되도록 도시된다. 도 7에 따르는 다이어그램은, 10nm의 이미지 측 구조 두께를 갖는 전체로 7개인 개별적인 구조들(B)과, 마찬가지로 10nm인 이미지측 구조 거리를 갖는 중간 공간들(C)을 가지는 사각형 구조의 결상의 결과를 보여준다. 물체측 구조 두께는 결상 스케일을 통한 이미지 측 구조 두께에서 기인하고 본 경우에는 8x10nm=80nm이다. 이 구조는 물체 필드(4) 내에서, 즉 레티클(10) 상에서 배치된다. 이미지 필드(8)를 통하는 스캔 동안 상이한 y값에서의 상대 강도들은 도 7의 다이어그램 내에서 거의 사인 곡선들과 같이 표시된다. 결상광의 파장은 6.9nm 이다.

[0060] 상대 강도들은 10nm 구조들(B)의 위치에서 거의 0.06과 10nm 중간 공간들(C)의 중심에서의 0.62 사이에서 변동한다.

[0061] 구조 영역들(B)와 구조 중간 공간들(C) 사이에서의 상대 강도의 상당한 변화로 인해, 10nm 구조는 취해야 할 다른 단계들 없이 이미지면(9)에서 분해될 수 있고, 기판(11) 상의 대응하는 포토레지스트(photoresist)의 노광에 의해 이미지 필드(8) 내의 대응하는 구조의 제조에 사용될 수 있다.

[0062] 도 8은 이미지 측 상의 각 경우에서 6nm가 연장되는 구조 중간 공간들(C)을 갖는 구조들(B)의 구조적인 분해능 내의, 도 2를 따르는 투영 물체(7)의 부분적으로 일관된 공간 영상 계산의 결과에 대한 도 7과 유사한 표현이다. 6.9nm의 파장은 또한 이 경우에 사용된다. 이 경우, 마찬가지로 상대 강도는 구조들(B)의 중앙에서의 약 0.2 에서부터 구조들(B) 사이의 중간 공간(C)의 중심에서의 약 0.37까지 거의 사인 곡선으로 변화한다. 따라서, 6nm 구조들은 포토레지스트 개발을 위한 충분한 강도 변화를 갖도록 또한 결상될 수 있다.

[0063] 6.9nm의 파장은 또한 이 경우에 사용될 수 있다.

[0064] 도 9는 투영 광학 시스템(7)의 다른 실시예를 도시한다. 도 1 내지 도 8을 참조하여 앞서 이미 설명된 것들에 대응되는 요소들 및 세부 사항들은 동일한 참조 번호를 가지고 다시 상세하게 설명되지는 않을 것이다.

[0065] 도 9를 따르는 투영 광학 시스템(7)의 광학 데이터는 도 2를 따르는 투영 광학 시스템(7)을 위한 표들에서의 배치에 대응되는 다음의 두 개의 표들을 이용하여 재현된다.

| 표면 | 반경(1/c) | 두께 | 구동 모드 |
|------|-----------|-----------|-------|
| 물체면 | 무 한 | 320.330 | |
| M1 | -393.803 | -170.123 | REFL |
| M2 | -208.260 | 1326.985 | REFL |
| 정지 | 무 한 | 0.000 | |
| M3 | 3524.853 | -1156.745 | REFL |
| M4 | 1373.092 | 1633.832 | REFL |
| M5 | -2070.870 | -417.088 | REFL |
| M6 | 729.502 | 462.810 | REFL |
| 이미지면 | 무 한 | 0.000 | |

[0066]

| 표면 | K | A | B |
|----|---------------|---------------|---------------|
| M1 | 0.000000E+00 | -2.256168E-10 | -1.464839E-15 |
| M2 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| M3 | 0.000000E+00 | 1.686353E-09 | 1.384199E-14 |
| M4 | 0.000000E+00 | -1.141200E-12 | -1.895182E-19 |
| M5 | 0.000000E+00 | 3.648003E-10 | 9.829850E-16 |
| M6 | 0.000000E+00 | 1.500658E-10 | 5.461440E-16 |
| 표면 | C | D | E |
| M1 | -9.891998E-20 | 4.705529E-24 | -1.095685E-28 |
| M2 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| M3 | 4.803348E-20 | 6.493470E-24 | -2.340102E-29 |
| M4 | 1.242408E-24 | -7.309532E-30 | 1.625546E-35 |
| M5 | 1.150420E-20 | -2.504098E-25 | 2.419328E-30 |
| M6 | 1.394218E-21 | 6.518915E-27 | 1.785169E-32 |

[0067]

[0068]

도 9를 따르는 실시예는 0.50의 개구수를 갖는다. 중간 이미지면(21)은 광경로 상에서 미러들(M4 및 M5) 사이에, 공간적으로는 미러(M3)의 앞에서 또한 그것에 인접하게 놓인다. 미러(M2)는 구형이다. 그 외에는 도 9를 따르는 투영 광학 시스템(7)의 구조는 도 2를 따르는 투영 광학 시스템의 그것에 대응된다.

[0069]

다음의 표는 미러들(M1 내지 M6) 상에 입사하는 개별적인 광선들(15)의 최대 입사각을 요약한다. 세 번째 세로 단은, 최소 에러를 갖는 반사면에 맞춰지는 구형 표면(최적의 구형)으로부터의 미러들(M1 내지 M6)의 반사면들의 최대 편차를 추가적으로 보여준다. 최대 편차는 180 μ m이다.

[0070]

따라서 도 9를 따르는 투영 광학 시스템(7)의 모든 미러들(M1 내지 M6)의 비구면성들은 작으며 미러(M2)는 실제로 구형이고 이것은 그것의 반사면들의 구조를 단순화한다.

| 미 러 | 최대 입사각 (자오 단면) [°] | 최소 입사각 (자오 단면) [°] | 최적 구형으로부터 표면들의 최대 편 차 [μ m] |
|-----|-----------------------|-----------------------|--|
| M1 | 6,95 | 4,61 | 5 |
| M2 | 11,96 | 7,45 | 0 |
| M3 | 9,75 | 0,47 | 160 |
| M4 | 3,82 | 0,81 | 6 |
| M5 | 15,34 | 2,27 | 104 |
| M6 | 10,41 | 2,20 | 180 |

[0071]

[0072]

도 9를 따르는 투영 광학 시스템(7)의 미러들(M1 내지 M6)의 반사면들 상의 결상광의 최대 입사각의 비는, 특히 미러(M5) 상의 입사각 15.34° 및 0.5의 개구수의 경우, 도 9의 투영 광학 시스템(7)에서는 30.68° 이 된다.

[0073]

도 9의 투영 물체(7)의 전체 구조적 길이는 2000mm 이다. 표면에서의 최대 중앙 동공 차폐는 7% 미만이다.

[0074]

도 10 내지 도 12는 물체면(5)의 영역 내에서 광선 그룹들(35 내지 39)의(도 10), 미러(M1)의 영역 내에서 평면(XI) 내의 광선 그룹들(40 내지 44 및 45 내지 49)의 (도 11), 미러(M2)의 영역 내에서 평면(XII) 내의 광선 그룹들(50 내지 54 및 55 내지 59)의 (도 12) 배치에 대한, 도 4 내지 도 6의 것에 대응하는 표현이다. 광선 그룹들의 배치는 도 2 및 도 9의 투영 물체들(7)에서, 광선들의 직경들과 광선들 서로의 거리의 측면에서 상이하나, 광선 그룹들의 반원 형태의 배치 및 서로 이격된 이러한 반원들의 각각 동등하게 하향으로의 개구들의 측면에서는 상이하지 않다.

[0075]

도 2의 투영 물체(7)에서의 경우와 또한 마찬가지로, 평면들(XI 및 XII) 사이의, 도 9를 따르는 투영 물체(7)의 다중 패스-스투 영역(61)에서는 투영 광학 시스템(7)의 동공면이 없다.

[0076]

비 차폐 미러 그룹들에서는, 개구수는 각 경우에 있어서 차폐된 미러 그룹들에서와 비교하여 약간 더 낮다.

[0077]

도 13은 본 발명에 따르는 투영 광학 시스템(7)의 앞서 개시된 실시예들의 미러들(M1 내지 M6) 중 하나의 일부

를 통과하는 개략적인 단면도이다. 앞서 개시된 실시예들의 미러들(M1 내지 M6) 전부가 원칙적으로, 층들의 서열의 측면에서 유사한 구조의 반사면들을 갖고 있기 때문에, 뒤에서 미러(M)로서 언급될, 이러한 미러들 중 어느 하나에 대해 도 13을 이용하여 이러한 층 구조를 보여주기에 충분하다. 도 13을 따르는 단면은 미러(M)의 반사면에 대해 수직으로 되어 있다. 도 2를 따르는 투영 광학 시스템(7)의 실시예에서는, 반사 코팅(80)은 미러(M)의 기관 표면(81) 상에 전체로서 300개인 이중층(82)으로 구성되고, 그 중 상부의 두개의 이중층들과 기관 표면에 직접 적용되는 이중층이 도 13에서 도시된다. 도 13에서 단절된 중간 공간에서는, 표현되는 이중층(82)들 사이에서 남아 있는 도시되지 않은 이중층들이 배치된다.

각 이중층(82)은 3.5nm의 층 두께(d_0)를 갖는다. 각 이중층(82)은 스페이서(83)로서 작용하는 2.1nm의 층 두께를 갖는 탄화 붕소(B_4C)의 층을 갖는다. 나아가 각 이중층(82)은 1.4nm의 층 두께를 갖는 요오드화 세슘(CsI)의 흡수층(84)을 갖는다. 반사 코팅(80)은 광축(18)을 따라 이러한 층 두께들을 갖는다. 반사 코팅(80)의 층 두께는 다음에서 잘 설명되는 것과 같이, 미러(M)의 반사 표면에 따라 변화한다.

반사 코팅(80)의 층 두께 분포($d(r)$)를 특징으로 하는 계수들 뿐만 아니라 층 데이터, 특히 층들(83,84)의 파장-의존적 굴절률들(n) 및 흡광 계수(k)도 다음의 두 개의 표들에서 요약된다.

| 미러 [nm] | 6.8 | 6.9 | 7.0 | 7.1 | 7.2 |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| B4C (n) | 0.99710128 | 0.99591714 | 0.99503712 | 0.99431133 | 0.99368046 |
| B4C (k) | 0.00055386 | 0.00058077 | 0.00060834 | 0.00063680 | 0.00066696 |
| Csl (n) | 0.98456682 | 0.98382320 | 0.98305499 | 0.98224658 | 0.98139078 |
| Csl (k) | 0.00149566 | 0.00155002 | 0.00161212 | 0.00168633 | 0.00178452 |

| 층 두께 분포 | | |
|---------|--------|-----------|
| 계수 | C0 | C2 |
| M1 | 0.9991 | 0.000E+00 |
| M2 | 1.0100 | 0.000E+00 |
| M3 | 0.9937 | 1.450E-06 |
| M4 | 0.9940 | 0.000E+00 |
| M5 | 0.9940 | 1.098E-06 |
| M6 | 0.9940 | 6.300E-07 |

반사 코팅(80)의 층 두께 분포는 따라서, 이 식에 의해 설명된다.

$$d(r) = d_0 \cdot (C0 + C2 \cdot r^2)$$

$d(r)$ 은 반사 코팅(80)의 이중층(82)의, 즉 적층의 국소적인 층 두께를 광축(18)으로부터 미러(M)의 반사 표면상의 각기 고려된 국소점의 방사 거리의 함수로서 나타낸다. 따라서 반사 코팅(80)의 층 두께는 $C2 \neq 0$ 에서 포물선 분포를 갖고, 층 두께는 $C2 > 0$ 에서 광축으로부터의 거리가 증가함에 따라 증가한다.

각 이중층(82) 내에서 흡수층(84)에 대한 스페이서 층(83)의 층 두께의 비는 광축(18)으로부터의 거리와 상관없이 일정하게 유지된다. 이 비는:

$$\gamma = d(\text{absorber layer}) / d(\text{bilayer}) = 0.4$$

이고, 이러한 경우 d 는 각 층의 층 두께를 나타낸다.

상기 테이블에 따르는 반사 코팅에서는, 미러들(M1 내지 M6)는 조명광(3)의 6.9nm의 파장에 대해 58%의 평균 미러 반사율을 갖는다. 투영 광학 시스템(7)의 결과적인 전체 반사율은 따라서, 3.92%가 된다. 따라서, 도 2를 따

르는 투영 광학 시스템(7)의 전체 미러들(M1 내지 M6) 상에서의 반사 후에, 물체 필드(4)로부터 진행하는 조명 광(3)의 강도의 3.92%가 이미지 필드(8)에 도달한다.

[0089]

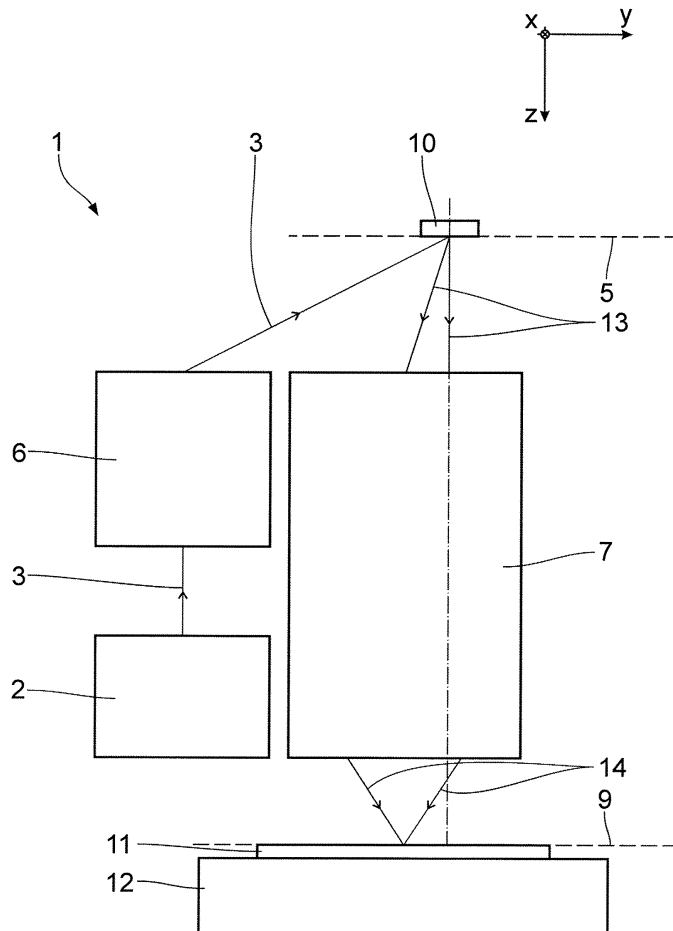
도 9를 따르는 투영 광학 시스템(7)의 미러들(M1 내지 M6)은 도 2를 따르는 실시예에서 앞서 설명된 것과 같이, 대응하는 다층 반사 코팅을 가질 수 있다. 그러면, 포물형 층 두께 분포를 설명하기 위한 계수들(C0 및 C2)은 미러들(M1 내지 M6) 상의 입사각의 분포에 따라 조정된다.

[0090]

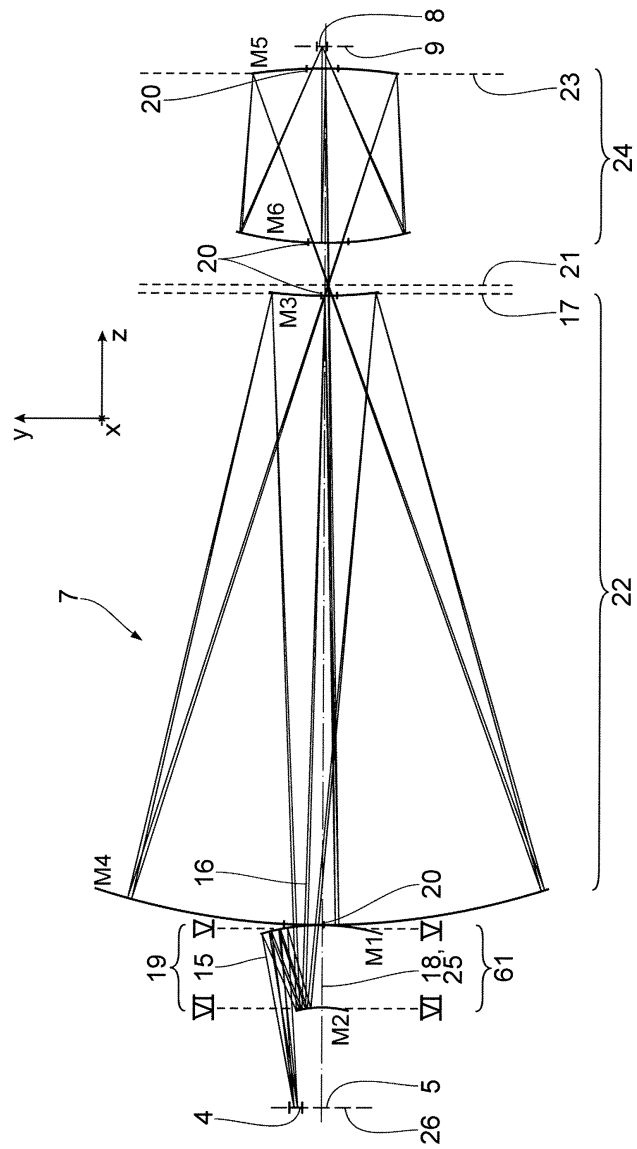
도 14는 상이한 입사각, 특히 0° (실선) 및 10° (파선)에서 최적화되는 두 개의 반사 코팅들(80)에 대한 입사각에 의존하는 반사 코팅(80)의 반사율을 보여준다. 입사각에 대한 허용 대역폭이, 0° 의 입사각에서 최적화된 반사면(80)이 10° 의 입사각에서 최적화된 반사 코팅에서보다 상당히 크다는 것이 명백하게 나타난다. 입사각에 대한 이 허용 대역폭은 반사면(80)이 최적화되는 입사각에 대해 단조 감소한다. 미러들(M1 내지 M6) 중 하나의 최대 입사각이 작을수록, 반사 코팅(80)이 최적화 될 수 있는 입사각이 작아지고, 그러면 이러한 미러(M1 내지 M6)에 사용될 수 있는 반사 코팅(80)의 입사각에 대한 허용 대역폭은 더 커진다.

도면

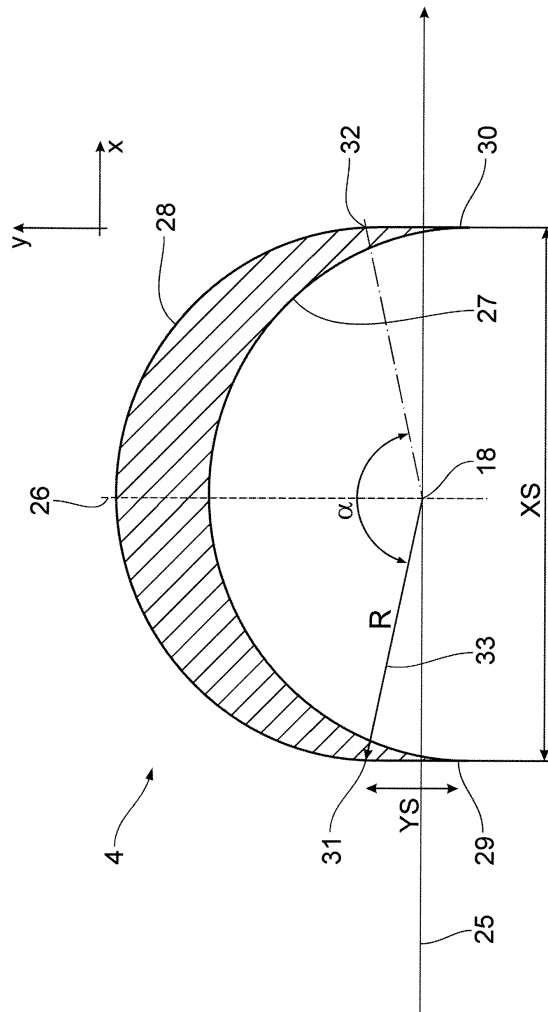
도면1



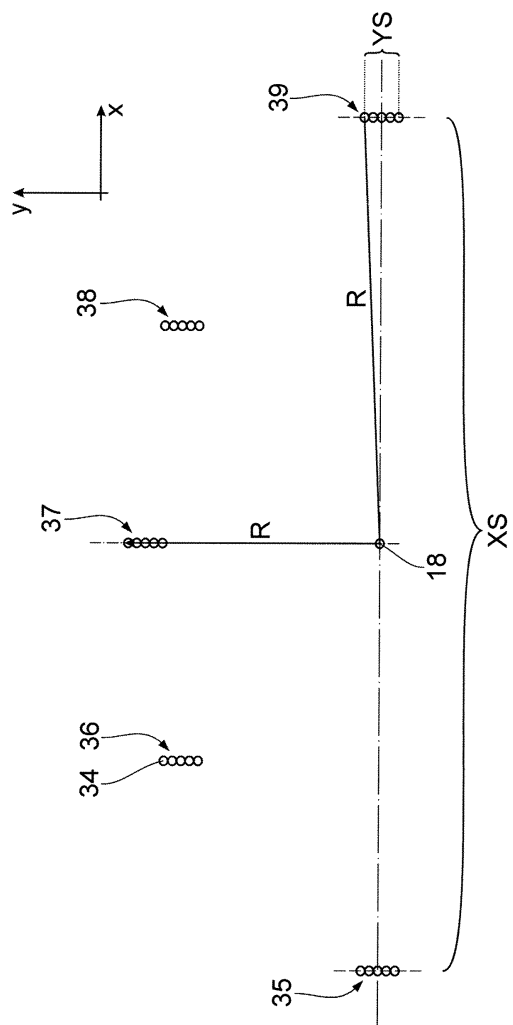
도면2



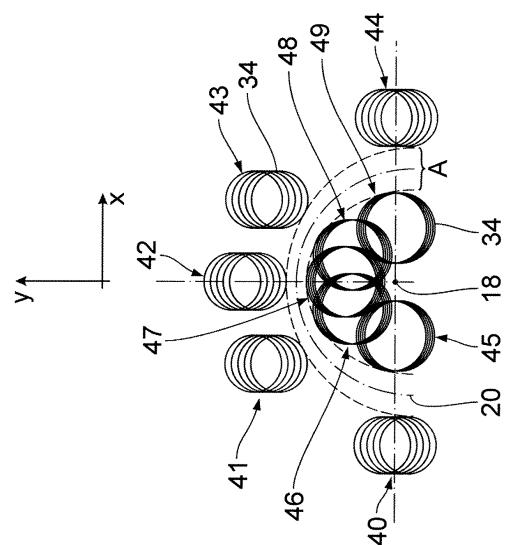
도면3



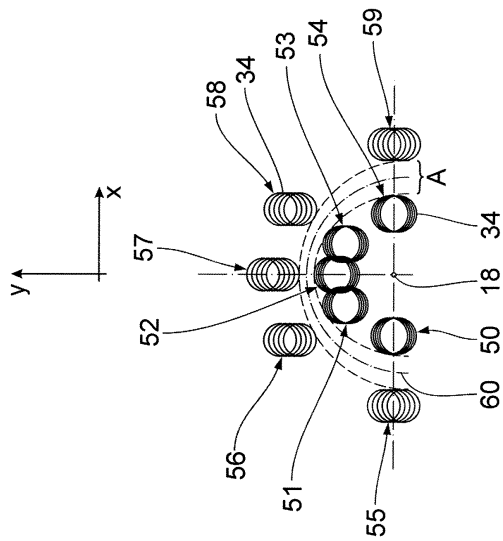
도면4



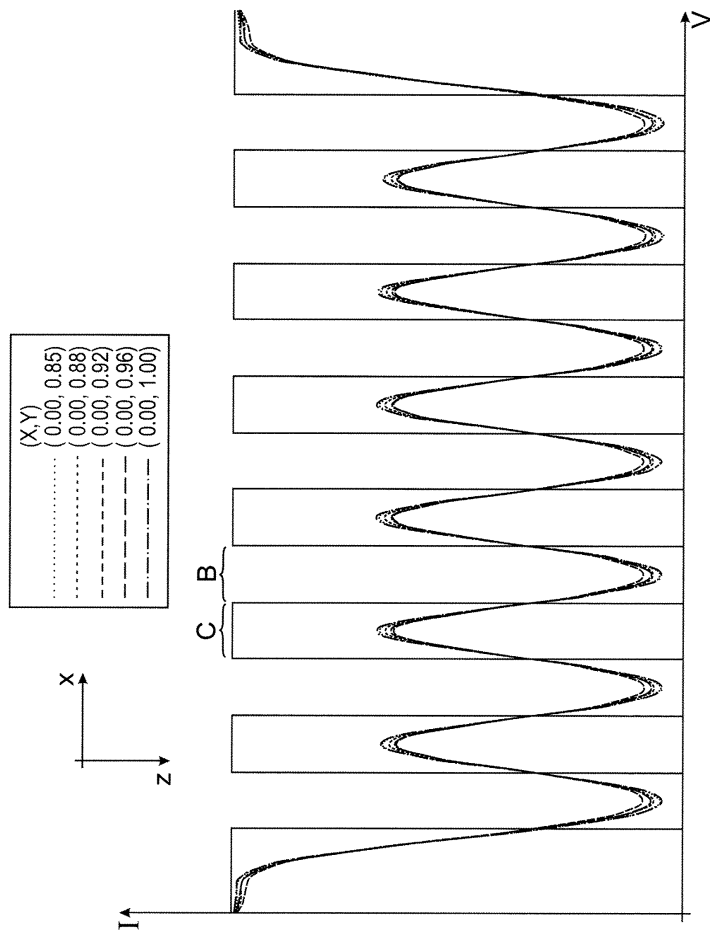
도면5



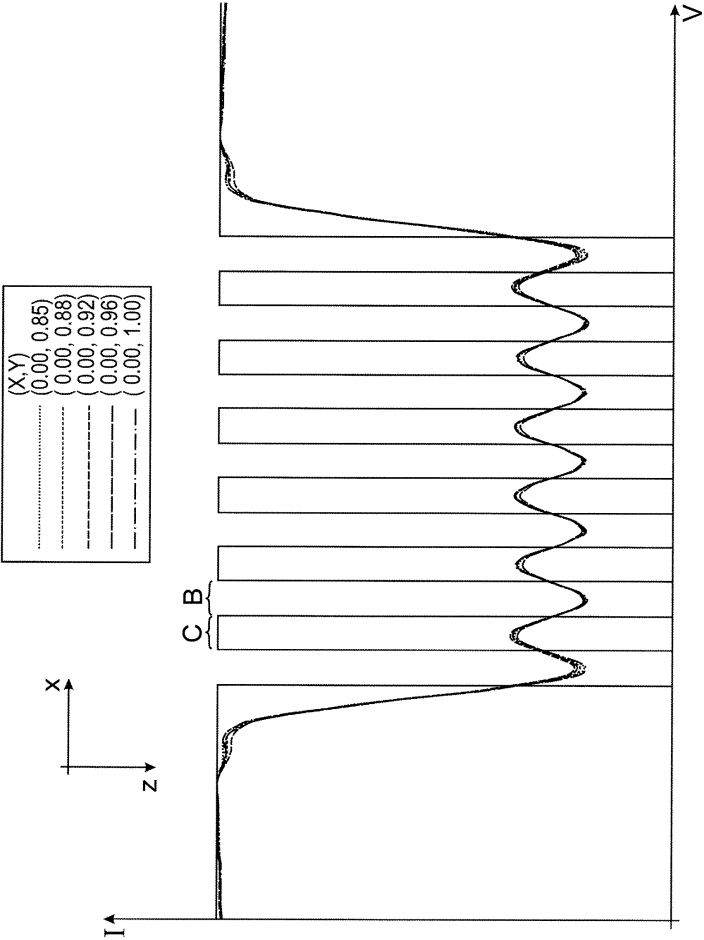
도면6



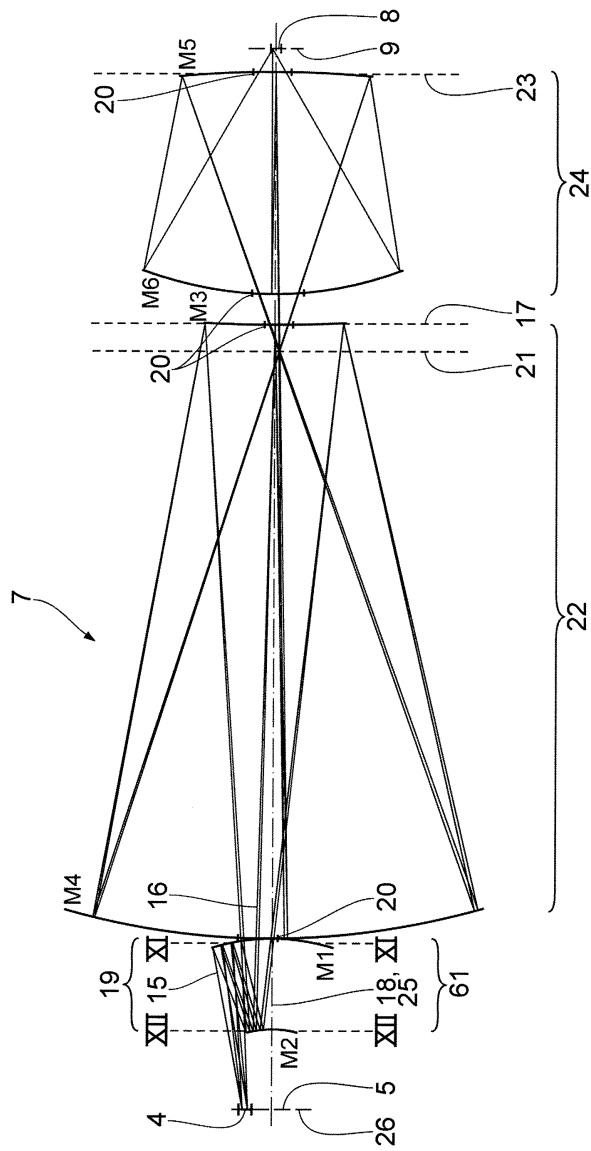
도면7



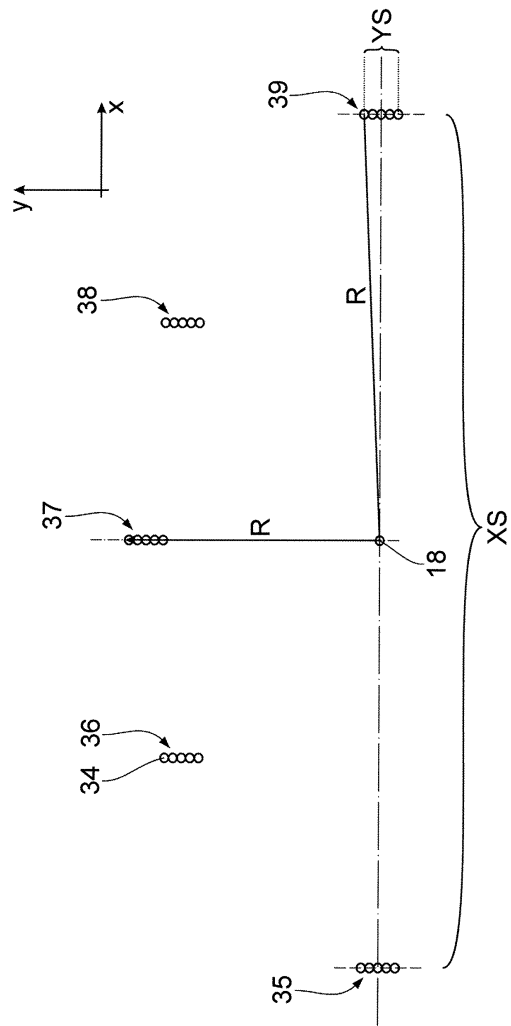
도면8



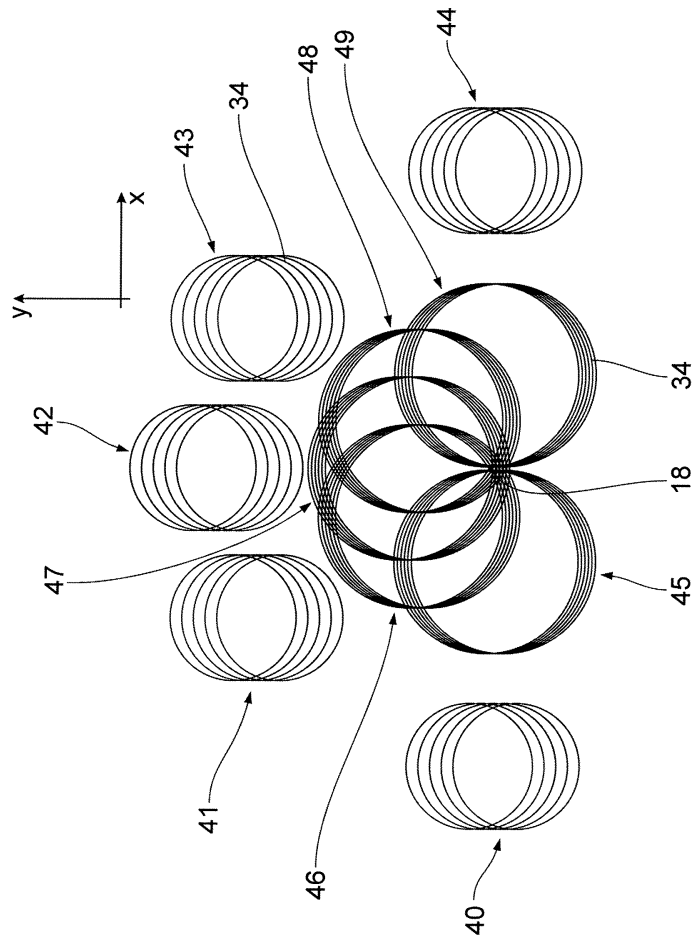
도면9



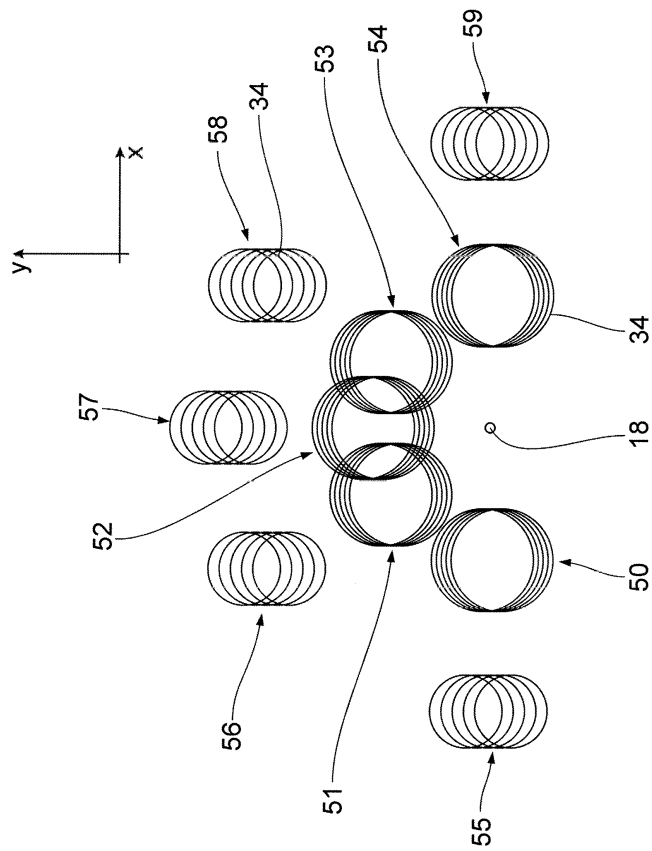
도면10



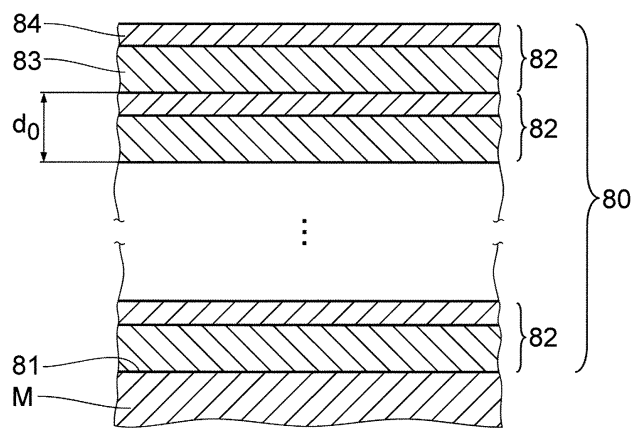
도면11



도면12



도면13



도면14

