



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년07월07일

(11) 등록번호 10-2127230

(24) 등록일자 2020년06월22일

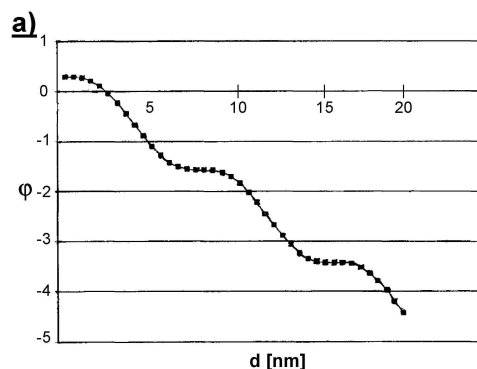
- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03F 7/20 (2006.01) **G02B 17/06** (2006.01)
G02B 27/10 (2006.01) **G02B 5/08** (2006.01)
G03F 1/22 (2012.01) **G21K 1/06** (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G03F 7/70308 (2013.01)
G02B 17/0663 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-7017603
(22) 출원일자(국제) 2013년12월05일
심사청구일자 2018년12월03일
(85) 번역문제출일자 2015년07월01일
(65) 공개번호 10-2015-0092240
(43) 공개일자 2015년08월12일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2013/075620
(87) 국제공개번호 WO 2014/086905
국제공개일자 2014년06월12일
(30) 우선권주장
10 2012 222 466.1 2012년12월06일 독일(DE)
61/734,183 2012년12월06일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP2010537413 A
(뒷면에 계속)
- (73) 특허권자
칼 짜이스 에스엠테 게엠베하
독일 73447 오버코헨 루돌프-에버-슈트라쎄 2
- (72) 발명자
바브라 노르베르트
독일 97440 베르네크 암 링 20
비트너 보리스
독일 91154 로트 라인골트슈트라쎄 6
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
노대웅, 양영준
- 전체 청구항 수 : 총 21 항
- 심사관 : 정성용

(54) 발명의 명칭 EUV 리소그래피용 반사 광학 소자 및 반사 광학 소자의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 EUV 리소그래피용 광학 시스템의 반사 광학 소자 뿐만 아니라 EUV 리소그래피용 광학 시스템의 반사 광학 소자를 제조하는 방법에 관한 것이며, 상기 반사 광학 소자(20)는 EUV 범위 내의 작동 파장을 갖는 입사 전자기파를 반사하기 위한 다층 시스템으로서, 반사된 파는 위상(ϕ)을 갖는 다층 시스템(23, 83)과, 캡핑층 재료로부터 제조된 캡핑층(25, 85)을 포함하고, 방법의 이하의 단계들: 상기 캡핑층 재료에 대해, 이에 따라 반사된 파의 위상이 캡핑층의 두께에 따라 변화하는 의존성을 결정하는 단계, 반사된 파의 위상이 캡핑층(25, 85)의 두께에 따라 실질적으로 선형으로 변화하는 상기 의존성의 선형성 영역을 결정하는 단계, 및 두께 프로파일의 최대 두께 및 최소 두께의 모두가 상기 선형성 영역에 있도록 상기 캡핑층(25, 85) 내에 두께 프로파일을 생성하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도4a



(52) CPC특허분류

G02B 27/1033 (2013.01)
G02B 5/0816 (2013.01)
G03F 1/22 (2013.01)
G03F 7/70316 (2013.01)
G03F 7/70916 (2013.01)
G03F 7/70958 (2013.01)
G21K 1/062 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

EP1291680 A2
KR1020010066881 A
US20100195075 A1
JP2008277398 A

(72) 발명자

폰 호텐베르크 마르틴

독일 73447 오베르크호헨 소텐베르크슈트라쎄

엔키쉬 하르트무트

독일 73431 아알렌 피히테슈트라쎄 63

필렌더 슈테판

독일 73432 아알렌 헤르브슈트가르텐백 43

콘라디 올라프

독일 73463 베스트하우젠 바이덴슈트라쎄 31

명세서

청구범위

청구항 1

EUV 리소그래피용 광학 시스템의 반사 광학 소자를 제조하는 방법이며, 상기 반사 광학 소자(20)는 EUV 범위 내의 작동 파장을 갖는 입사 전자기파를 반사하기 위한 다층 시스템으로서, 반사된 파는 위상(ϕ)을 갖는 다층 시스템(23, 83)과, 캡핑층 재료로부터 제조된 캡핑층(25, 85)을 포함하고,

상기 방법은

- 상기 캡핑층 재료에 대해, 이에 따라 상기 반사된 파의 위상이 상기 캡핑층의 두께에 따라 변화하는 의존성을 결정하는 단계,
- 상기 반사된 파의 위상이 상기 캡핑층(25, 85)의 두께에 따라 실질적으로 선형으로 변화하는 상기 의존성의 선형성 영역을 결정하는 단계, 및
- 두께 프로파일의 최대 두께 및 최소 두께의 모두가 상기 선형성 영역에 있도록 상기 캡핑층(25, 85) 내에 두께 프로파일을 생성하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 캡핑층(25, 85) 내에 두께 프로파일을 생성하는 상기 단계 c)는 상기 광학 시스템 내의 파면 수차가 상기 반사 광학 소자(20)에 의해 적어도 부분적으로 보상되도록 수행되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 캡핑층(25, 85) 내에 두께 프로파일을 생성하는 상기 단계 c)는 상기 캡핑층 두께(d)의 변화에 대한 위상(ϕ)의 변화율이 25% 초과, 또는 35% 초과, 또는 40% 초과하도록 수행되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서, 이에 따라 상기 반사된 파의 위상이 상기 캡핑층의 두께에 따라 변화하는 상기 의존성은 두께 d1에 도달할 때까지 위상(ϕ)이 초기에 상기 의존성에서 실질적으로 일정하게 유지되고, 두께 d1과 다른 두께 d2 사이에서 감소하고($d1 < d2$), d2보다 큰 두께에서 실질적으로 일정하게 유지되도록 이루어지고, 상기 캡핑층(25, 85) 내에 두께 프로파일을 생성하는 상기 단계 c)는 상기 캡핑층(25, 85)의 최종 두께(d)가 조건 $d1 < d < d2$ 에 부합하도록 수행되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 방법은 이하의 단계:

- 상기 캡핑층 재료에 대해, 이에 따라 상기 반사 광학 소자(20)의 반사율이 상기 캡핑층(25, 85)의 두께에 따라 변화하는 의존성을 결정하는 단계, 및
- 상기 반사 광학 소자(20)의 반사율이 실질적으로 일정한 상기 의존성 내의 평탄역 영역을 결정하는 단계를 더 포함하고,
- 상기 캡핑층 내에 두께 프로파일을 생성하는 상기 단계 c)는 상기 두께 프로파일 내의 최대 두께 및 최소 두께의 모두가 상기 평탄역 영역에 있도록 수행되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 캡핑층(25, 85) 내에 두께 프로파일을 생성하는 상기 단계 c)는 상기 두께 프로파일 내의 최대 두께 및 최소 두께의 모두가 1 nm 내지 4 nm의 영역에 있도록 수행되는 것을 특징으로 하는

방법.

청구항 7

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 캡핑층(25, 85) 재료는 루테튬, 로듐 또는 실리콘 니트라이드를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 다층 시스템(23, 83)은 실리콘 및 몰리브덴으로 제조된 교번적으로 배열된 서브층을 갖는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

EUV 리소그래피용 광학 시스템의 반사 광학 소자를 제조하는 방법이며, 상기 반사 광학 소자(20)는 EUV 범위 내의 작동 파장을 갖는 입사 전자기파를 반사하기 위한 다층 시스템(23, 83)과, 캡핑층 재료로부터 제조된 캡핑층(25, 85)을 포함하고,

상기 방법은

- i. 상기 캡핑층 재료에 대해, 이에 따라 상기 반사 광학 소자(20)의 반사율이 상기 캡핑층(25, 85)의 두께에 따라 변화하는 의존성을 결정하는 단계,
- ii. 상기 반사 광학 소자(20)의 반사율이 실질적으로 일정한 상기 의존성 내의 평탄역 영역을 결정하는 단계, 및
- iii. 두께 프로파일의 최대 두께 및 최소 두께의 모두가 상기 평탄역 영역에 있도록 상기 캡핑층(25, 85) 내에 두께 프로파일을 생성하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 캡핑층(25, 85) 내에 두께 프로파일을 생성하는 상기 단계 iii는 상기 두께 프로파일 내의 최대 두께 및 최소 두께의 모두가 1 nm 내지 4 nm의 영역에 있도록 수행되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11

제9항 또는 제10항에 있어서, 상기 캡핑층(25, 85) 재료는 루테튬, 로듐 또는 실리콘 니트라이드를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 12

제9항 또는 제10항에 있어서, 상기 다층 시스템(23, 83)은 실리콘 및 몰리브덴으로 제조된 교번적으로 배열된 서브층을 갖는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 13

EUV 리소그래피용 반사 광학 소자에 있어서,

제1항, 제2항, 제9항 및 제10항 중 어느 한 항에 따른 방법을 사용하여 제조되는 것을 특징으로 하는 반사 광학 소자.

청구항 14

EUV 리소그래피용 반사 광학 소자이며,

- EUV 범위 내의 작동 파장을 갖는 입사 전자기파를 반사하기 위한 다층 시스템(23, 83)으로서, 반사된 파는 위상(ϕ)을 갖는 다층 시스템(23, 83), 및
- 캡핑층 재료로부터 제조된 캡핑층(25, 85)을 포함하고,
- 상기 캡핑층(25, 85)은 상기 캡핑층 두께의 변화에 대한 위상(ϕ)의 변화율이 25% 초과하도록 하는 캡핑층 두께의 변화를 갖는 반사 광학 소자.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 캐핑층(25, 85)은 상기 캐핑층 두께의 변화에 대한 위상(ϕ)의 변화율이 35% 초과 또는 40% 초과이도록 하는 캐핑층 두께의 변화를 갖는 것을 특징으로 하는 반사 광학 소자.

청구항 16

EUV 리소그래피용 광학 시스템이며, 제13항에 따른 반사 광학 소자를 포함하는 광학 시스템.

청구항 17

EUV 리소그래피용 광학 시스템이며, 제14항 또는 제15항에 따른 반사 광학 소자를 포함하는 광학 시스템.

청구항 18

제16항에 있어서, 광학 시스템이 투영 시스템을 구성하는 것을 특징으로 하는 광학 시스템.

청구항 19

제17항에 있어서, 광학 시스템이 투영 시스템을 구성하는 것을 특징으로 하는 광학 시스템.

청구항 20

제16항에 있어서, 상기 반사 광학 소자(20)는 광학 시스템의 평면에 배열되고,

$$P(M) = \frac{D(SA)}{D(SA) + D(CR)}$$

로서 정의되는 파라미터 $P(M)$ 은 0.2 미만 또는 0.1 미만이고, 여기서 $D(SA)$ 는 서브구경 직경을 나타내고, $D(CR)$ 은 해당 평면에서 광학면(M) 상의 광학적으로 사용된 필드의 모든 필드점에 걸쳐 정의된 최대 주광선 간격을 나타내는 것을 특징으로 하는 광학 시스템.

청구항 21

제17항에 있어서, 상기 반사 광학 소자(20)는 광학 시스템의 평면에 배열되고,

$$P(M) = \frac{D(SA)}{D(SA) + D(CR)}$$

로서 정의되는 파라미터 $P(M)$ 은 0.2 미만 또는 0.1 미만이고, 여기서 $D(SA)$ 는 서브구경 직경을 나타내고, $D(CR)$ 은 해당 평면에서 광학면(M) 상의 광학적으로 사용된 필드의 모든 필드점에 걸쳐 정의된 최대 주광선 간격을 나타내는 것을 특징으로 하는 광학 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원의 상호 참조

[0002] 본 출원은 2012년 12월 6일에 모두 출원된 독일 특허 출원 DE 10 2012 222 466.1호 및 US 61/734,183호의 우선권을 주장한다. 이들 출원들의 내용은 본 명세서에 참조로서 합체되어 있다.

[0003] 발명의 분야

[0004] 본 발명은 EUV 리소그래피용 광학 시스템의 반사 광학 소자, 뿐만 아니라 EUV 리소그래피용 광학 시스템의 반사 광학 소자 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0005] 마이크로리소그래피(microlithography)는 예를 들어, 집적 회로 또는 LCD와 같은 마이크로구조 부품을 제조하기 위해 사용된다. 마이크로리소그래피 프로세스는 조명 기기(illumination device) 및 투영 렌즈(projection

lens)를 포함하는 소위 투영 노광 장치(projection exposure apparatus)에서 수행된다. 이 경우에, 조명 기기에 의해 조명되는 마스크(= 레티클)의 화상은, 기관의 감광성 코팅에 마스크 구조를 전사하기 위해, 감광층(포토리소그래피)으로 코팅되고 투영 렌즈의 상면(image plane)에 배열된 기관(예를 들어, 실리콘 웨이퍼) 상에, 투영 렌즈에 의해 투영된다.

[0006] 리소그래피 방법에 의해 반도체 부품을 제조하는 태양 내에서 더욱 더 미세한 구조체를 제조하는 것을 가능하게 하기 위해, 더욱 더 짧은 파장을 갖는 광에 의한 가공(work)이 착수되고 있다. 가공이 예를 들어, 특히 대략 5 nm 내지 20 nm의 파장을 갖는 극자외선(EUV) 파장 범위에서 착수되면, 렌즈형 소자에 의해 투과시에 가공하는 것이 더 이상 가능하지 않고, 오히려 조명 렌즈 또는 투영 렌즈 또는 각각의 작동 파장에 정합하는 반사 코팅을 갖고 반사 광학 소자로 제조된 다른 마스크가 다층 시스템에 기초하여 설계된다. 자외선 파장 범위에서, 다층 시스템에 기초하여 반사 광학 소자를 사용하여 가공하는 것이 또한 가능하다.

[0007] 다층 시스템은 대안적으로 작동 파장에서 굴절률의 더 높은 실수부(real part)를 갖는 재료(또한 스페이서라 칭함)와 작동 파장에서 굴절률의 더 낮은 실수부를 갖는 재료(또한 흡수재라 칭함)의 교대로 인가된 서브층(sub-layer)이고, 흡수재/스페이서 쌍은 특정 주기 두께(period thickness)를 갖는 스택을 형성하고, 주기 두께는 스택을 형성하는 개별 서브층의 두께의 합에 동일하다. 흡수재/스페이서 쌍을 갖는 스택의 반복적인 배열의 결과로서, 결정이 특정 방식으로 시뮬레이팅되고, 그 격자 평면은 브래그 반사(Bragg reflection)가 발생하는 흡수재 서브층에 대응한다. 더 복잡한 다층 시스템의 경우에, 스택은 흡수재 서브층 및 스페이서 서브층에 추가하여 하나 이상의 부가의 서브층을 가질 수 있다. 예로서, 이들 부가의 서브층은 흡수재와 스페이서 재료 사이의 화학적 혼합을 회피하고, 또는 열적 영향에 대해 특히 안정한 스택을 생성하기 위해(예를 들어, 적외선 파장 범위에서 광에 의해 미러를 가열할 때) 이용될 수 있다.

[0008] 노광될 물체 상에 더 소형의 구조체를 이미징하는 것을 가능하게 하기 위해, 투영 노광 장치의 광학 시스템은 가능한 한 작은 파면 수차(wavefront aberration)를 보장해야 한다. 동시에, 특히 근시야 미러(near-field mirrors)의 경우에, EUV 영역에서 파장에 대해 비교적 큰 미러를 사용할 필요가 있다. 특히 대형 미러를 코팅할 때, 단지 열악하게만 보상될 수 있어 원하지 않는 파면 수차를 유발할 수 있는 층 두께 편차가 존재할 수도 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명의 목적은 파면 수차가 또한 가능한 한 적은 후처리에 의해, 효율적으로 보정될 수 있는 EUV 리소그래피용 광학 시스템의 반사 광학 소자, 뿐만 아니라 EUV 리소그래피용 광학 시스템의 반사 광학 소자의 제조 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 이 목적은 독립 청구항들의 특징들에 의해 성취된다.

[0011] EUV 리소그래피용 광학 시스템의 반사 광학 소자를 제조하는 방법이며, 상기 반사 광학 소자는 EUV 범위 내의 작동 파장을 갖는 입사 전자기파를 반사하기 위한 다층 시스템으로서, 반사된 파는 위상(ϕ)을 갖는 다층 시스템과, 캡핑층 재료(capping layer material)로부터 제조된 캡핑층을 포함하고, 방법의 이하의 단계들:

[0012] - 상기 캡핑층 재료에 대해, 이에 따라 반사된 파의 위상이 캡핑층의 두께에 따라 변화하는 의존성을 결정하는 단계,

[0013] - 반사된 파의 위상이 캡핑층의 두께에 따라 실질적으로 선형으로 변화하는 상기 의존성의 선형성 영역을 결정하는 단계, 및

[0014] - 두께 프로파일의 최대 두께 및 최소 두께의 모두가 상기 선형성 영역에 있도록 상기 캡핑층 내에 두께 프로파일을 생성하는 단계를 포함한다.

[0015] 극자외선 파장 범위의 작동 파장에 대한 다층 시스템을 갖는 반사 광학 소자의 경우에, 반사된 전자기파의 위상(ϕ)은 진공층에서 다층 시스템에 부착되는 캡핑층의 두께(d)에 의해 영향을 받을 수 있다는 것이 발견되었다. 특히, - 이에 따라 반사된 파의 위상이 캡핑층의 두께에 따라 변화하는 특정 의존성에서 - 제1 근사치(approximation)에 대한 반사된 파의 위상(ϕ)은 몇몇 두께 영역에서 증가하는 캡핑층 두께에 따라 선형으로 변

화하고, 반면에 제1 근사치에 대한 반사된 파의 위상은 다른 캡핑층 두께 영역에서 실질적으로 일정하게 유지된다는 것이 발견되었다. 반사 광학 소자를 설계하고 제조할 때, 캡핑층의 두께(두께 프로파일이 상기 캡핑층 내에 생성되면 변화함)는 위상(ϕ)이 특히 강력하게 변화하는 두께 영역에 위치되는 이러한 방식으로 선택된다는 것이 이제 제안되었다.

[0016] 본 발명의 실시예에서, 의존성 "반사된 파의 위상 대 캡핑층의 두께" (" ϕ 대 d-곡선")에서의 "선형성 영역(linearity-region)"은 1 nm 초과, 특히 2 nm 초과, 더 구체적으로 4 nm 초과와 캡핑층 두께(d)의 값의 간격을 가로질러 연장한다. 더욱이, 본 발명의 실시예에서, 의존성 "반사된 파의 위상 대 캡핑층의 두께" (" ϕ 대 d-곡선")에서의 "선형성 영역(linearity-region)"은 0.5 nm 초과, 특히 1 nm 초과와 위상의 값의 간격을 가로질러 연장한다. 더욱이, 본 발명의 실시예에서, 캡핑층 내에 생성되는 두께 프로파일 내의 최대 두께와 최소 두께 사이의 차이는 예를 들어 적어도 0.2 nm, 특히 적어도 0.5 nm, 더 구체적으로 적어도 1 nm, 더 구체적으로 적어도 1.5 nm일 수 있다.

[0017] 본 명세서의 의미에서, "선형성 영역"에서 반사된 파의 위상이 캡핑층의 두께에 따라 "실질적으로 선형적으로" 변화한다는 표현은, 이 선형성 영역이 바람직하게는 또한 상기 의존성이 $\pm 15\%$ 이하만큼, 구체적으로 $\pm 10\%$ 이하만큼, 더 구체적으로 $\pm 5\%$ 이하만큼(정확하게 선형 의존성/근사치에 따른 각각의 값을 칭함) 정확한 선형 의존성으로부터 벗어나는 의존성 "반사된 파의 위상 대 캡핑층의 두께" (" ϕ 대 d-곡선")의 영역을 포함하도록 이루어진다는 것이 이해되어야 한다.

[0018] 개별 반사 광학 소자의 경우에, 특히 비교적 큰 횡방향 범위를 가지면, 캡핑층 두께의 제안된 선택은 미리 최소량의 캡핑층의 국부적 제거가 거기에 발생된 파면 수차를 보정할 수 있는 것을 가능하게 한다. 본 발명의 태양에 따르면, 이러한 광학 소자의 대량 생산 중에, 이는 증가하는 제조 공차에도 불구하고, 모든 반사 광학 소자가 작동 파장에서 반사된 전자기파의 실질적으로 동일한 최종 위상(ϕ)을 갖도록, 보정의 착수를 가능하게 할 수 있다.

[0019] 더욱이, 캡핑층의 두께는 잔여 광학 시스템에 존재하는 파면 수차를 적어도 부분적으로 보상하고, 또는 - 달리 말하면 - 특정 반사 광학 소자의 표면에 두께 편차 또는 파면 보정을 각각 도입함으로써, 전체 광학 시스템의 파면 보정을 성취하기 위해 요구되는 바와 같이 특정하게 수정될 수 있다.

[0020] 본 발명은 특히, 잔여 광학 시스템 내에 존재하는 파면 수차를 적어도 부분적으로 보상하는 목적을 위해 그 캡핑층의 타겟화된 두께 수정 또는 편차를 갖는 반사 광학 소자 내에, 상기 파면 수차 보상을 위해 제공되는 두께 프로파일의 최대 두께 및 최소 두께의 모두가 " ϕ 대 d"-곡선의 "선형성 경계들" 사이에, 즉 소자에서 반사되는 파의 위상이 캡핑층의 두께에 따라 실질적으로 선형으로 변화하는 영역에 있는 이러한 방식으로 캡핑층을 제공하는 개념을 포함한다.

[0021] 본 발명은 또한, 비코팅된 미러 기판이 EUV-파장에 대한 상당한 반사율을 나타내지 않기 때문에, 렌즈를 사용하는 통상의 파면 보정 접근법, 즉 먼저 비코팅된 렌즈 요소에 기초하여 파면 수차를 결정하고 이어서 비코팅된 렌즈 요소의 탈착, 형상 보정 및 이들 요소 상의 층 퇴적이 여기서 가능하지 않다는 사실을 고려한다. 다른 한편으로, 제조 프로세스에서 시간 소비적인 고반사(HR)층은, 이들의 층 두께의 횡방향 편차에 기인하여, EUV 투영 대상의 파면 수차에 상당히 기여한다. 따라서, 광학 시스템 또는 투영 대상(완전 코팅층을 이미 포함함) 각각을 먼저 특징화하고, 이어서 광학 시스템의 미러의 선택된 미러 현존하는 층에 대응 보정을 제공하는 것이 바람직하다(이 개념은 여기서 그리고 이하에서 또한 "ICA-프로세스"라 칭함, ICA = "integrated correction asphere").

[0022] 캡핑층은 하나의 재료로 제조된 단일의 서브층 또는 서브층 시스템으로 이루어질 수 있다. 캡핑층은 특히 바람직하게는 루테튬으로 제조된 서브층이다. 다른 적합한 캡핑층 재료는 예를 들어, 로듐 또는 실리콘 니트라이드를 포함한다. 캡핑층으로서 루테튬, 로듐 또는 실리콘 니트라이드의 사용은 그 사이에서 강력하게 감소하는 위상(ϕ)을 갖는 두께 영역이 형성되는, 위상 평탄역(plateau)이 형성되는, 캡핑층의 충분히 광대한 두께 영역들을 유도한다. 그 아래에 놓이는 다층 시스템에 대해, 이들 재료는 EUV 리소그래피 작업 중에 잔류 가스 분위기 내의 수소에 의한 산화에 대해 또는 탄소 함유 오염에 대해 효율적인 보호인 것으로 또한 발견되었다.

[0023] 실시예에 따르면, 상기 캡핑층 내에 두께 프로파일을 생성하는 상기 단계는 상기 광학 시스템 내의 파면 수차가 상기 반사 광학 소자에 의해 적어도 부분적으로 보상되도록 수행된다.

[0024] 실시예에 따르면, 상기 캡핑층 내에 두께 프로파일을 생성하는 상기 단계는 캡핑층 두께(d)의 편차에 대한 위상(ϕ)의 편차가 25% 초과, 특히 35% 초과, 더 구체적으로 40% 초과이도록 수행된다. 이는 심지어 비교적 큰 파

면 수차의 경우에도, 보정이 소량의 캐핑층을 제거함으로써 미리 수행될 수 있는 것을 가능하게 한다.

- [0025] 실시예에 따르면, 이에 따라 반사된 파의 위상이 캐핑층의 두께에 따라 변화하는 상기 의존성은 두께(d_1)가 도달할 때까지 위상(ϕ)이 초기에 상기 의존성에서 실질적으로 일정하게 유지되고, 두께(d_1)와 다른 두께(d_2) 사이에서 감소하고($d_1 < d_2$), d_2 보다 큰 두께에서 실질적으로 일정하게 유지되도록 이루어지고, 상기 캐핑층 내에 두께 프로파일을 생성하는 상기 단계는 캐핑층의 최종 두께(d)가 조건 $d_1 < d < d_2$ 에 부합하도록 수행된다.
- [0026] 실시예에 따르면, 상기 방법은 이하의 단계:
- [0027] - 상기 캐핑층 재료에 대해, 이에 따라 반사 광학 소자의 반사율이 캐핑층의 두께에 따라 변화하는 의존성을 결정하는 단계, 및
- [0028] - 반사 광학 소자의 반사율이 실질적으로 일정한 상기 의존성 내의 평탄역 영역을 결정하는 단계를 더 포함하고,
- [0029] - 상기 캐핑층 내에 두께 프로파일을 생성하는 상기 단계는 두께 프로파일 내의 최대 두께 및 최소 두께의 모두가 상기 평탄역 영역에 있도록 수행된다.
- [0030] 본 발명은 또한 EUV 리소그래피용 광학 시스템의 반사 광학 소자를 제조하는 방법에 관한 것이며, 상기 반사 광학 소자는 EUV 범위 내의 작동 파장을 갖는 입사 전자기파를 반사하기 위한 다층 시스템과, 캐핑층 재료로부터 제조된 캐핑층을 포함하고, 이 방법의 이하의 단계들:
- [0031] - 상기 캐핑층 재료에 대해, 이에 따라 반사 광학 소자의 반사율이 캐핑층의 두께에 따라 변화하는 의존성을 결정하는 단계,
- [0032] - 반사 광학 소자의 반사율이 실질적으로 일정한 상기 의존성 내의 평탄역 영역을 결정하는 단계, 및
- [0033] - 두께 프로파일의 최대 두께 및 최소 두께의 모두가 상기 평탄역 영역에 있도록 상기 캐핑층 내에 두께 프로파일을 생성하는 단계를 포함한다.
- [0034] EUV 고반사(HR)층의 반사율은 예를 들어, 루테튬(Ru)으로부터 제조된 캐핑층의 두께에 결정적으로 의존하는 사실에 기인하여, ICA-보정에 기인하는 두께 편차는 수 퍼센트일 수 있는 각각의 미러의 반사율 편차를 야기할 것이다. 이들 고려사항에 기초하여, 본 발명은 또한 반사율이 ICA-보정 프로세스에서 얻어질 수도 있는 두께값의 전체 영역에 걸쳐 실질적으로 일정하게 유지되도록 캐핑층의 층 두께를 구성하는 개념을 포함한다. 여기서, 미러를 가로지르는 반사율의 절대값의 감소가 고의적으로 수용될 수도 있다.
- [0035] 실시예에 따르면, 상기 캐핑층 내에 두께 프로파일을 생성하는 상기 단계는 두께 프로파일 내의 최대 두께 및 최소 두께의 모두가 1 nm 내지 4 nm의 영역에 있도록 수행된다.
- [0036] 실시예에 따르면, 캐핑층 재료는 루테튬, 로듐 또는 실리콘 니트라이드를 포함한다.
- [0037] 실시예에 따르면, 다층 시스템은 실리콘 및 몰리브덴으로 제조된 교번적으로 배열된 서브층을 갖는다.
- [0038] 본 발명은 또한 EUV 리소그래피용 반사 광학 소자에 있어서, 전술된 바와 같은 방법을 사용하여 제조되는 것을 특징으로 하는 반사 광학 소자에 관한 것이다.
- [0039] 본 발명은 또한 EUV 리소그래피용 반사 광학 소자이며,
- [0040] - EUV 범위 내의 작동 파장을 갖는 입사 전자기파를 반사하기 위한 다층 시스템, 및
- [0041] - 캐핑층 재료로부터 제조된 캐핑층을 포함하고,
- [0042] - 상기 캐핑층은 캐핑층 두께의 상기 편차에 대한 위상(ϕ)의 편차가 25% 초과하도록 하는 캐핑층 두께의 편차를 갖는 반사 광학 소자에 관한 것이다.
- [0043] 실시예에 따르면, 상기 캐핑층은 상기 캐핑층 두께의 편차에 대한 위상(ϕ)의 편차가 35% 초과, 더 구체적으로 40% 초과하도록 하는 캐핑층 두께의 편차를 갖는다.
- [0044] 본 발명은 또한 전술된 바와 같은 반사 광학 소자를 포함하는 EUV 리소그래피용 광학 시스템에 관한 것이다.
- [0045] 실시예에 따르면, 광학 시스템은 투영 시스템으로서 구체화된다. 그에 의해 마스크 또는 레티클 상의 구조가 노출될 물체 상에, 예를 들어 웨이퍼 상에 이미징되는 양호한 이미징 품질이 특히 EUV 리소그래피 장치의 투영 시스템에서 중요하다. 전술된 바와 같이 적어도 하나의 광학 소자를 사용하는 결과로서, 높은 이미징 품질이

보장될 수 있다.

[0046] 실시예에 따르면, 반사 광학 소자는 광학 시스템의 평면에 배열되고,

$$P(M) = \frac{D(SA)}{D(SA) + D(CR)}$$

[0047]

[0048]로서 정의되는 파라미터 P(M)은 0.2 미만, 특히 0.1 미만이고, 여기서 D(SA)는 서브구경 직경을 나타내고, D(CR)은 해당 평면에서 광학면(M) 상의 광학적으로 사용된 필드의 모든 필드점에 걸쳐 정의된 최대 주광선 간격을 나타낸다. 파라미터 P(M)은 또한 이하에 더 설명된다. 상기 기준에 따르면, 반사 광학 소자는 광학 시스템의 필드 평면에 근접하여 배열된다. 반사 광학 소자가 광학 시스템에, 특히 투영 시스템에 근시야 배열을 가지면 유리한 것으로 발견되었다. 근시야 광학 소자의 경우에, 그 위에 반사된 파면의 편차는 특히 강한 효과를 갖는다.

[0049]캐핑층 두께(d)는 특히 바람직하게는 대략 1 nm 내지 10 nm의 범위, 더 구체적으로 1 nm 내지 4 nm의 범위에 있다. 이 범위에서, 강력하게 감소하는 위상(ϕ)을 갖는 영역은 캐핑층 두께에 따라, 2개의 위상 평탄역 사이에 형성될 수 있다. 동시에, 캐핑층 두께는 바람직하게는 캐핑층 내의 흡수에 기인하여 반사 광학 소자의 반사율의 과도하게 큰 저하를 수용하지 않아야 하도록 충분히 작다.

[0050]특정 실시예에서, 이에 따라 반사된 파의 위상이 캐핑층의 두께에 따라 변화하는 상기 의존성은, 두께(d1)가 도달할 때까지 위상(ϕ)이 초기에 상기 의존성에서 실질적으로 일정하게 유지되고, 두께(d1)와 다른 두께(d2) 사이에서 감소하고(d1<d2), d2보다 큰 두께에서 실질적으로 일정하게 유지되도록 이루어지고, 상기 캐핑층의 두께(d)(두께 프로파일이 캐핑층 내에 생성되면 변화함)는 (d1+d2)/2 내지 d2의 범위에 있는 이러한 방식으로 선택된다. 두께(d)는 특히 (d1+3*d2)/4 내지 d2에 있을 수 있다. 이 결과로서, 예를 들어 이온빔의 보조에 의해, 캐핑층의 비교적 큰 부분이 이후에 용삭되어야 하는 심지어 비교적 큰 파면 수차가 보정될 수 있게 하는 것이 가능해진다.

[0051]다층 시스템은 유리하게는 실리콘 및 몰리브덴으로 제조된 교번적으로 배열된 서브층을 갖는다. 실리콘 및 몰리브덴에 기초하는 다층 시스템은 12.5 nm 내지 15 nm의 범위의 작동 파장에 대해 특히 적합하다.

[0052]특정 실시예에서, 캐핑층에 인접하는 다층 시스템의 서브층의 두께는, 가능한 한 큰 캐핑층 두께(d)의 값의 영역에 걸쳐, 특히 1 nm 초과, 구체적으로 2 nm 초과, 더 구체적으로 4 nm 초과, 캐핑층 두께(d)의 값의 간격에 걸쳐, 반사율이 10% 미만, 구체적으로 5% 미만, 더 구체적으로 바람직하게는 1% 미만만큼 변화하는 이러한 방식으로 선택된다. 특히, 관련 영역에서 성취될 수 있는 최대 반사율에 비교하여 반사율의 상대 편차가 고려된다. 서브층 두께의 이 선택은 캐핑층을 제거함으로써 파면 수차의 보정을 수행할 때 너무 큰 반사율의 편차를 수용해야 하는 위험을 감소시킨다. 선택적으로, 다층 시스템의 하나 초과, 서브층이 그 두께의 견지에서 변경되는 것이 또한 가능하고, 또는 이 편차는 캐핑층에 인접한 서브층 아래에 놓인 서브층에 또는 캐핑층에 인접한 상기 서브층 대신에 더욱 더 깊게 놓인 서브층에 적용될 수 있다. 이는 마찬가지로 상기에 언급된 반사 광학 소자에 적용된다.

[0053]본 발명의 다른 구성은 상세한 설명으로부터 그리고 종속 청구항으로부터 얻어질 수 있다. 본 발명은 첨부 도면에 도시된 예시적인 실시예에 기초하여 이하에 더 상세히 설명된다.

도면의 간단한 설명

[0054]도 1은 EUV 리소그래피 기기의 개략도를 도시한다.

도 2는 도 1에서와 같은 리소그래피 기기의 투영 시스템의 일 실시예의 개략도를 도시한다.

도 3a 내지 도 3c는 반사 광학 소자의 디자인을 개략적으로 도시한다.

도 4a 내지 도 4b는 반사 광학 소자에 대한 캐핑층 두께(d)에 따라 작동 파장에서 반사된 전자기파의 위상(ϕ)의 의존성을 도시한다.

도 5는 캐핑층 두께(d)에 따른 반사된 파의 진폭의 의존성을 도시한다.

도 6a 내지 도 6b는 적용된 다층 시스템을 갖는 반사 광학 소자에 대한 캐핑층 두께(d)에 대한 반사율의 의존성을 도시한다.

도 7의 a) 내지 도 7의 c)는 반사 광학 소자의 다층 시스템에 의해 생성된 정재파 필드(standing wave field)의 고려시에 캡핑층 내에 두께 프로파일을 생성하는 개념을 설명하기 위한 개략도를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0055] 도 1은 UV 또는 EUV 방사선에 의한 리소그래픽 투영 노광 장치(1)를 예시적이고 매우 개략적인 방식으로 도시한다. 투영 노광 장치(1)는 광원(2)을 갖는다. 조명광(3)이 광원으로부터 나오고, 조명광(3)은 여기에 도시되지 않은 광학 소자로 조명 시스템(4)을 사용하여 대물면(object plane)(5) 내의 대물 필드(object field)(5a)로 안내된다. 대물면(5) 내에는 상 필드로서, 상면(8) 내에 배열된 물체(9) 상에 이미징되어야 하는 구조를 갖는 레티클(6)이 배열되어 있다. 여기에 도시된 예에서, 노광될 물체(9)는 물체 홀더(10)의 보조에 의해 상면(8)에 유지되는 웨이퍼이다. 대물면(5) 내의 대물 필드는 투영 시스템(7)을 사용하여 상면(8) 내에 웨이퍼(9) 상에 이미징된다. 이를 위해, 대물면(5)으로부터 나오는 빔(3a)은 투영 시스템(7)에 진입하고, 투영 시스템(7)으로부터 나오는 빔(3b)으로서, 원하는 선형 배율을 갖고 상면 내의 웨이퍼(9) 상에 충돌한다. 투영 노광 장치(1)는 스캐너형 장치이다. 레티클(6) 및 물체(9)의 모두는 투영 노광 장치(1)의 작동 중에 y-방향으로 스캐닝된다.

[0056] 조명 시스템(4)의, 특히 투영 시스템(7) 및 또한 레티클(6)의 하나 또는 그 이상의 미러의 모두는 자외선 내지 극자외선 파장 범위의 작동 파장에 대해 반사 광학 소자일 수 있다. 여기서, 이 반사 광학 소자는, 작동 파장에서 입사 전자기파가 반사될 수 있고, 반사된 파는 위상(ϕ)을 갖는 극자외선 파장 범위에서 작동 파장에 대한 다층 시스템과, 위상(ϕ)이 캡핑층 두께 편차에 대한 위상 편차가 25% 초과, 바람직하게는 40% 초과인 두께(d)에 따라 변화하는, 두께(d)를 갖는 캡핑층을 포함하는 EUV 리소그래피용 반사 광학 소자일 수 있다. 대안적으로, 이 반사 광학 소자는 또한, 작동 파장에서 입사 전자기파가 반사될 수 있고, 반사된 파는 위상(ϕ)을 갖는 극자외선 파장 범위에서 작동 파장에 대한 다층 시스템과, 두께(d1)가 도달할 때까지 위상(ϕ)이 실질적으로 일정하게 유지되고, 두께(d1)와 다른 두께(d2)($d1 < d2$) 사이에서 감소하고, d2보다 큰 두께에서 실질적으로 일정하게 유지되는 이러한 방식으로 위상(ϕ)이 두께(d)에 따라 변화하는, 두께(d)를 갖는 캡핑층을 포함하고, $d1 < d < d2$ 가 되는 이러한 방식으로 선택되는 EUV 리소그래피용 반사 광학 소자일 수 있다.

[0057] 도 2는 6개의 미러(M1 내지 M6)를 갖는 도 1로부터의 투영 시스템(7)의 실시예를 예시적이고 개략적인 방식으로 도시한다. 투영 시스템에 따라, 미러는 또한 6개 초과 또는 미만일 수도 있다. 도 2에는 전체 빔의 에지에서 중앙 서브빔(11b) 및 2개의 서브빔(11a, 11c)의 빔 경로가 도시되어 있고, 이 빔들은 대물면(5) 내의 대물 필드로부터 나오고 6개의 미러(M1 내지 M6)에 의해 상면(8) 내의 상 필드에서 이미징된다.

[0058] 미러(M1 내지 M4)는 중간 상면(8')에 대물면(5)을 이미징한다. 서브빔(11a 내지 11c)은 중간 평면(8')의 하나의 점에서 교차한다.

[0059] 미러(M6)와 같은 광학 소자의 동공(pupil) 또는 필드 접근성(nearness) 각각은 파라미터 P(M)에 의해 정량적으로 설명될 수 있고(예를 들어, US 2008/0165415 A1호에 설명된 바와 같이), 여기서 파라미터 P(M)은 이하와 같이 정의되고,

$$P(M) = \frac{D(SA)}{D(SA) + D(CR)} \quad (1)$$

[0061] 여기서, D(SA)는 서브구경(subaperture) 직경을 나타내고, D(CR)은 해당 평면 내의 광학면(M) 상의 최대 주광선(principal ray) 간격(모든 필드점으로부터 또는 광학적으로 사용된 필드의 모든 필드점 위에 규정됨)을 나타낸다. 따라서, $P(M) = 0$ 은 필드 미러(0)의 서브구경 직경을 가짐에 적용되고, $P(M) = 1$ 이 동공 미러(0)의 주광선 간격을 가짐에 적용된다. 각각의 광학 소자가 동공면에 정확하게 배열되면, D(CR)은 정의에 의해 0이다. 파라미터 P의 값은 이어서 1이다. 이에 따라, 광학 소자는 P가 1에 가까운 값을 가지면, 동공면의 부근에 배열된다. 각각의 광학 소자가 필드면에 배열되는 경우에, 대물면(5)의 필드점으로부터 나오는 빔이 상기 위치에서 점으로 붕괴하기 때문에, D(SA)는 0이다. 파라미터 P의 값은 이어서 마찬가지로 0이다. 이에 따라, 광학 소자는 P가 0에 가까운 값을 가지면 필드면의 부근에 배열된다. 이 용어 동공 근접도 또는 동공 거리의 개념은 또한 EP 1 930 771 A1호에서 이 EP 특허의 도 4와 함께 더 상세히 설명되어 있다.

[0062] 도 2의 동공 평면에는 암흑화 정지부(obscuration stop)(도시 생략)가 중심에 배열되어 있다. 이를 사용하여, 미러(M5, M6) 내의 중앙 관통 구멍에 할당된 서브빔이 암흑화된다. 미러(M5)와 함께 상면(8)의 중간 상면(8')에 중간 상 필드를 이미징하는 미러(M6)는 다른 동공면의 부근에 배열된다. 도 2에 도시된 투영 시스템의 실시

에는 중앙 동공 암흑화를 갖는 시스템이다.

- [0063] 각각의 미러(M1 내지 M6)는 본 명세서에 설명된 반사 광학 소자들 중 하나일 수 있다. 도 2에 예시된 예에서, 각각의 미러, 특히 여기에 도시된 예에서, 최대 입사각 대역폭을 갖는 미러(M5)에서 입사각 대역폭의 분포에, 단지 하나 또는 하나 초과와 주기 두께를 갖는 다층 시스템의 부분의 배열을 적응시킴으로써 반사율의 증가를 성취하는 것이 가능하다.
- [0064] 도 3a 내지 도 3c는 반사 광학 소자(20)의 디자인을 개략적으로 도시한다. 기관(22)에는 실질적으로 반사면(21)(도 3a 참조)을 형성하는 다층 시스템(23)이 부착된다. 도 3b는 다층 시스템(23)의 오버아칭(overarching) 구조를 개략적으로 도시한다. 본 예에서, 다층 시스템(23)은 상이한 복소 굴절률을 갖는 상이한 재료로 기관(22)의 연속적인 코팅에 의해 제조되었다. 더욱이, 예를 들어 오염과 같은 외부 영향에 대한 보호를 위해, 다수의 상이한 재료 서브층으로 제조될 수 있는 캡핑층(25)이 부가적으로 다층 시스템(23)에 도포되었다. 캡핑층(25)의 두께는 바람직하게는 이 두께에 대한 편차의 경우에, 반사 광학 소자(20)에서 반사된 파의 위상(ϕ)이 가능한 한 높은, 특히 캡핑층(25)의 두께의 편차에 대해 25% 초과, 바람직하게는 40% 초과인 방식으로 선택될 수 있다.
- [0065] 다층 시스템(23)은, 그 구조가 바람직한 실시예에 대해 도 3c에 개략적으로 도시되어 있고 그 두께를 또한 주기 두께라 칭하는 다수의 반복 스택(24)으로 실질적으로 이루어진다. 특히 스택(24)의 다수의 반복에 의해, 작동 파장에서 충분히 높은 반사를 유도하는 스택(24)의 실질적인 서브층은 굴절률의 더 높은 실수부를 갖는 재료로 제조된 소위 스페이서 서브층(26) 및 굴절률의 더 낮은 실수부를 갖는 재료로 제조된 소위 흡수재 서브층(27)이다. 이 결과로서, 각각의 스페이서 서브층(26)에 의해 규정된 서로로부터의 거리를 갖고 입사 자외선, 또는 특히 극자외선 방사선의 반사가 발생하는 결정 내에 격자 평면에 대응하는 흡수재 서브층(27)을 갖고, 결정이 특정 방식으로 시뮬레이션된다. 서브층의 두께는, 특정 작동 파장에서, 각각의 흡수재 서브층(27)에서 반사된 방사선이 이에 의해 반사 광학 소자의 높은 반사율을 성취하기 위해 구조적으로 간섭하는 이러한 방식으로 선택된다. 이와 같이 함으로써, 반사율은 브래그 조건을 따르고, 따라서 단지 파장 뿐만 아니라 입사각에 의존한다.
- [0066] EUV 리소그래피에서, 가공은 바람직하게는 예를 들어 12 nm 내지 15 nm의 파장에서 행해진다. 이 파장 범위에서, 흡수재 재료로서 몰리브덴 및 스페이서 재료로서 실리콘에 기초하여 다층 시스템을 사용하여 특히 높은 반사율을 얻는 것이 가능하다. 예로서, 13.5 nm의 파장에서, 최대 75%의 영역 내의 반사율이 이론적으로 가능하다. 이와 같이 함으로써, 예를 들어 대략 7 nm의 두께 및 대략 0.4의 스택 두께에 대한 흡수재 서브층 두께의 비를 갖는 50개 내지 60개의 스택이 사용될 수 있다. 그러나, 실제 몰리브덴/실리콘 다층 시스템의 경우에, 몰리브덴 실리콘사이드의 혼합층이 서브층 경계에 형성되고, 이는 최대 성취 가능한 반사율의 상당한 감소를 유도한다. 광학 특성의 열화에 대항하기 위해, 도 3c에 도시된 예에 따르면, 다층 시스템의 열역학적 및 열적 안정성을 증가시키기 위해, 스페이서(26)로부터 흡수재(27)로의 계면 및 흡수재(27)로부터 스페이서(26)로의 계면의 모두에서 중간 서브층(28)을 제공하는 것이 선택적으로 제안되어 있다.
- [0067] 개별 서브층(26, 27, 28)의 그리고 또한 반복 스택(24)의 두께, 즉 주기 두께는 전체 다층 시스템에 걸쳐 일정할 수 있고 또는 어느 반사 프로파일도 성취되도록 의도되는지에 따라 다양할 수 있다는 사실을 참조한다. 특히, 다층 시스템은 최대 반사율 및/또는 반사된 대역폭이 다른 파장에서보다 큰 특정 파장에 대해 최적화될 수 있다. 이 파장에서의 방사선의 경우에, 대응 반사 광학 소자(20)가 예를 들어 EUV 리소그래피에 사용되는데, 이는 반사 광학 소자(20)가 최적화되었던 이 파장이 또한 작동 파장이라 칭해지는 이유이다. 교번적인 재료 및 층 두께의 적절한 선택의 결과로서, 다층 시스템은 또한 x-선 범위로 또는 UV 범위로 다른 파장에 대해 설계될 수 있다.
- [0068] 도 4a 및 도 4b는 캡핑층 두께(d) 상의 반사된 전자기파의 위상(ϕ)의 의존성을 도시한다. 본 예에서, 반사 광학 소자는, 13.5 nm의 작동 파장에 대해 설계된, 흡수재로서 몰리브덴 및 스페이서로서 실리콘으로 제조된 교번적으로 배열된 서브층에 기초하는 표준 다층 시스템이다. 반사 광학 소자는 두께(d)를 갖는 루테튬으로 제조된 캡핑층을 갖는다. 이 반사 광학 소자에 대해, 입사 전자기파에 비교하여 13.5 nm의 파장을 갖는, 광학 소자에서 반사된 전자기파의 위상(ϕ)의 거동이 0.5 nm 내지 21 nm의 루테튬의 다양한 캡핑층 두께에 대해 검사되었다. 이 위상차는 나노미터(nm)의 단위로 지정된다. 이와 같이 함으로써, 반사된 파는 다층 시스템의 상이한 서브층에서 반사된 부분파의 중첩이라는 사실과, 흡수가 다층 시스템 내에서 그리고 또한 캡핑층 내에서 모두에서 발생하는 사실이 고려되었다.
- [0069] 도 4a는 0.5 nm 내지 21 nm의 전체 두께 범위를 도시한다. 도 4b는 약간 확대된 방식으로, 0.5 nm 내지 12 nm의 범위의 두께를 도시한다. 평탄역이 0.5 내지 2.0 nm, 6.5 내지 9.5 nm 및 15.0 내지 17.5 nm의 두께 범위

에서 형성되고, 여기서 위상(ϕ)은 변화하는 캡핑층 두께(d)에 매우 작은 정도로만 의존하고 실질적으로 일정한 것으로 고려될 수 있다. 나머지 두께 범위에서, 제1 근사치에 대한 위상(ϕ)은 증가하는 캡핑층 두께(d)에 따라 선형으로 변화한다. 특히, 평탄역들 사이의 영역에서, 위상(ϕ)의 편차는 캡핑층 두께의 변화의 25% 초과이다. 따라서, 2.0 nm 내지 6.5 nm의 범위의 두께의 위상차는 대략 0.1 nm 내지 대략 1.5 nm, 즉 35% 초과만큼 변화한다. 10 nm 내지 14.5 nm의 두께 범위에서, 위상차는 대략 1.4 nm만큼, 즉 32% 초과만큼 변화한다. 캡핑층 재료의 그리고 단일 서브층 캡핑층으로서, 뿐만 아니라 다층 캡핑층으로서의 디자인의 상이한 선택의 경우에, 40% 초과를 비를 성취하는 것이 또한 가능하다.

[0070] 이제, 원하는 바와 같이 파면 수차를 보정하기 위해 또는 EUV 리소그래피용 반사 광학 소자의 경우에 가능한 한 적게 캡핑층을 제거함으로써 잔여 광학 시스템에 존재하는 파면 수차를 적어도 부분적으로 보상하기 위해(즉, 전체 광학 시스템의 파면 보정을 성취하기 위해), 캡핑층 두께(d)는 2개의 평탄역형 두께 영역 사이에 위치되는 이러한 방식으로 그 제조 중에 선택되어야 한다. 캡핑층 두께는 바람직하게는 필요한 경우에, 비교적 큰 파면 수차를 보정하는 것을 가능하게 하기 위해 d1 내지 d2의 각각의 두께값 범위의 상부 에지에 더 근접하는 이러한 방식으로 바람직하게 선택된다. 여기서, 제1 근사치에 대해, 오염층이 도 4a 및 도 4b에 도시된 캡핑층 두께(d)와 위상(ϕ) 사이의 관계의 근사 프로파일을 실질적으로 변화하지 않는다는 가정이 이루어진다. 바람직한 실시예에서, 캡핑층의 두께(d)는 $(d1+d2)/2$ 내지 d2의 범위에 있는 이러한 방식으로 선택되고, 두께(d)는 $(d1+3*d2)/4$ 내지 d2에 있는 이러한 방식으로 특히 바람직하게 선택된다.

[0071] 도 5는 도 4a, 도 4b로부터의 반사 광학 소자를 위한 캡핑층의 두께에 따른 반사된 파의 진폭(A)을 도시하고, 이 경우에도, 이는 개별 부분파의 중첩이라는 사실과 다층 시스템 내의 그리고 캡핑층 내의 모두에서 흡수가 발생한다는 사실이 고려되었다. 2 nm 내지 6 nm의 두께 범위에서, 진폭(A)은 0.8 초과와 값으로부터 0.7 약간 초과와 값으로 저하한다. 반사 광학 소자의 반사율은 진폭(A)의 제곱으로부터 계산된다.

[0072] 각각의 경우에 EUV 리소그래피 장치 내의 반사 광학 소자가 가능한 한 높은 반사율을 가져야 한다는 사실을 고려하여, 2 nm 내지 6 nm의 두께 범위는 10 nm 내지 15 nm의 두께에 비교하여 캡핑층에 대해 바람직하다. 이는 반사율의 상당한 저하가 2 nm 내지 6 nm의 범위에 비교하여 더 높은 캡핑층 두께 범위에서 예측될 것이기 때문이다.

[0073] 도 6a, 도 6b는 2개의 상이한 반사 광학 소자에 대한 0 nm 내지 15 nm(도 6a) 및 0 내지 4 nm(도 6b)의 범위의 캡핑층 두께에 걸친 반사율의 의존성을 도시한다. 도 6a, 도 6b의 점선 곡선은 도 4a, 도 4b 및 도 5로부터의 반사 광학 소자에 대응한다. 이에 대조적으로, 다층 시스템의 최상부 실리콘 서브층은 도 6a, 도 6b의 실선 곡선에 대응하는 반사 광학 소자에서 절반만큼 얇도록 선택되었다. 이 결과로서, 반사율 평탄역의 위치는 더 높은 캡핑층 두께로 시프트한다. 그 결과, 이 범위에서 성취 가능한 최대 반사율에 대한 1 nm 내지 3 nm의 범위의 반사율의 편차는 도 6a, 도 6b의 실선 곡선에 따라 반사 광학 소자에 대해, 1.6% 미만, 즉 10%보다 상당히 작다. 따라서, 다층 시스템의 서브층의 두께를 적응시킴으로써, 캡핑층을 제거함으로써 파면 수차 및 충분한 그리고 비교적 일정한 반사율을 보정하기 위한 양호한 옵션을 동시에 갖는 영역이 나타나고, 이 효과는 그 두께(들)가 통상의 다층 시스템에 비교하여 상이하도록 선택되는 서브층(들)이 캡핑층에 더 근접하게 놓일수록, 더욱 더 현저해진다. 여기에 설명된 변형예에서, 다층 시스템의 최상부 서브층이 상이한 두께를 갖고 선택되면, 2개의 서브층을 포함하는 캡핑층에 속하는 것으로서 이 서브층을 고려하는 것이 또한 가능하다. 이는 대략 3.1 nm 내지 5.1 nm의 캡핑층 두께 범위에 대응할 것이다. 다층 시스템의 최상부의 단지 하나의 서브층이 상이한 두께 등을 갖도록 선택되면 유사한 설명이 또한 적용된다. 바람직한 실시예에서, 캡핑층의 두께(d)는 $(d1+d2)/2$ 내지 d2 사이의 범위에 있는 이러한 방식으로 선택되고, 두께(d)는 $(d1+3*d2)/4$ 내지 d2 사이에 있는 이러한 방식으로 특히 바람직하게 선택된다. 위상차 프로파일의 평탄역 및 가파른 영역의 위치 및 범위는 또한 캡핑층 내의 재료 또는 재료들의 선택에 의해 타겟화된 방식으로 영향을 받을 수 있다.

[0074] 도 7의 a) 내지 도 7의 c)는 정재파 필드의 고려시에 캡핑층의 두께 프로파일을 생성하는 개념을 설명하기 위한 개략도를 도시한다.

[0075] 도 7의 a)는 확산-배리어층(78) 상에 퇴적된 표준 캡핑층(75)[예를 들어, 루테튬(Ru)으로 제조될 수 있고 예를 들어 1.5 nm 내지 2 nm의 두께를 가질 수도 있음] 뿐만 아니라 기관(72) 상의 Mo-층 및 Si-층의 다층 시스템(73)을 도시한다. 도 7의 a)에 또한 도시된 바와 같이, 층 스택은 다층 시스템(73)에 의해 생성된 정재파 필드가 단지 캡핑층(75)으로의 (진공) 인터페이스에서 최대값(도 7의 a) 내지 도 7의 c)에 "A"로 나타냄)을 갖는 이러한 방식으로 최적화된다. 도 7의 a)에 또한 도시된 바와 같이, 다층 시스템(73) 내의 최종 실리콘층(74)의 두께[캡핑층(75)으로의 방향에서]는 최대 반사율이 성취되는 이러한 방식으로 구성된다.

[0076]

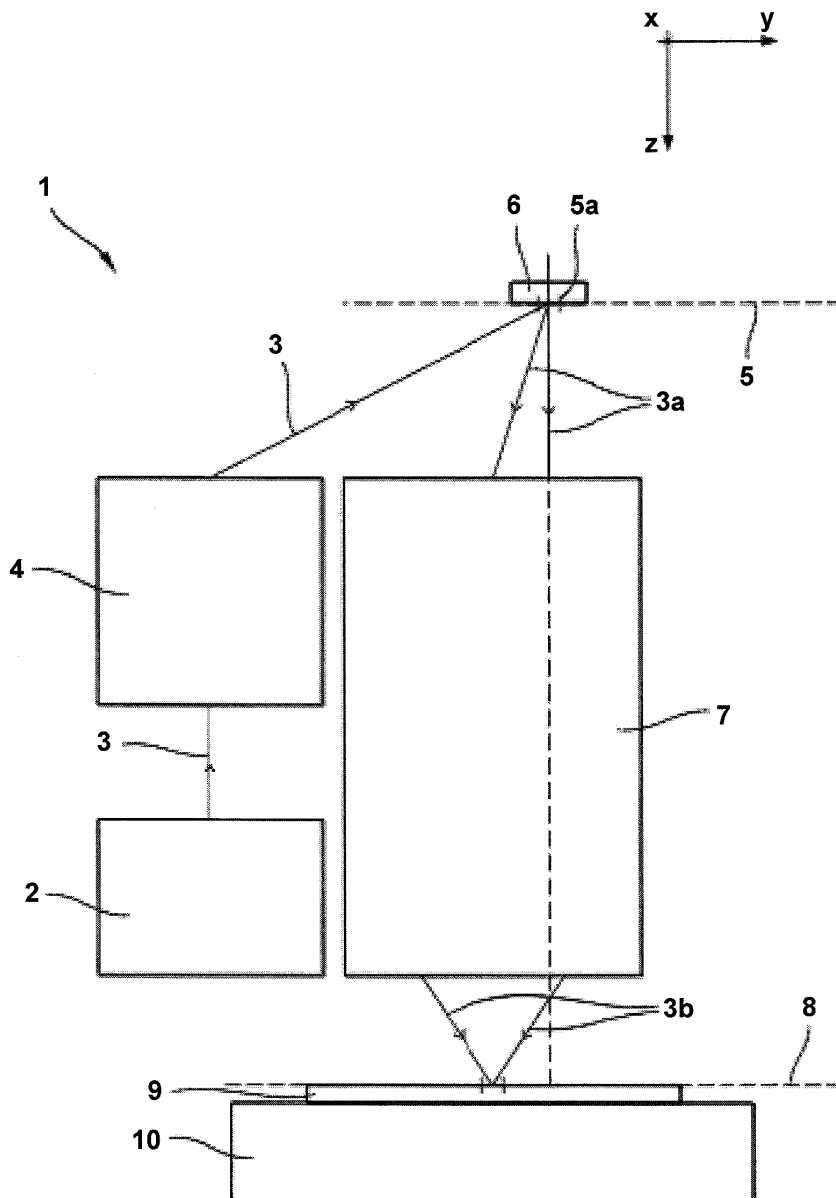
도 7의 b) 및 도 7의 c)는 광학 시스템의 원하는 파면 보정을 얻기 위해 캡핑층의 두께 프로파일의 생성(IBF-프로세스를 사용하여, IBF= "ion beam figuring")을 도시하는 역할을 하고, 여기서 도 7의 a)에 비교하여 유사한 구성 요소들은 "10"만큼 더 큰 도면 부호를 갖고 지시되어 있다. 도 7의 b)에 따르면, 캡핑층(85)은 도 7의 c)에 도시된 바와 같은 두께 프로파일의 생성 후에, 캡핑층(85)의 최소 요구 두께를 여전히 제공하기 위해 초기에 향상된다. 더욱이, 반사율 대 캡핑층 두께에 의존하여 전술된 평탄역 영역을 얻기 위해, 다층 시스템(83) 내의 최종 실리콘층(84)의 그리고 캡핑층(85)의 두께는, 평균적으로 캡핑층(85)으로의 (진공) 인터페이스가 도 7의 a)의 "표준형 캡"에 대한 것일 수 있는 동일한 위치에 있도록, 즉 다층 시스템(83)에 의해 생성된 정재파 필드가 단지 이 진공 인터페이스에서 최대값("A"로서 나타냄)을 갖도록 선택된다.

[0077]

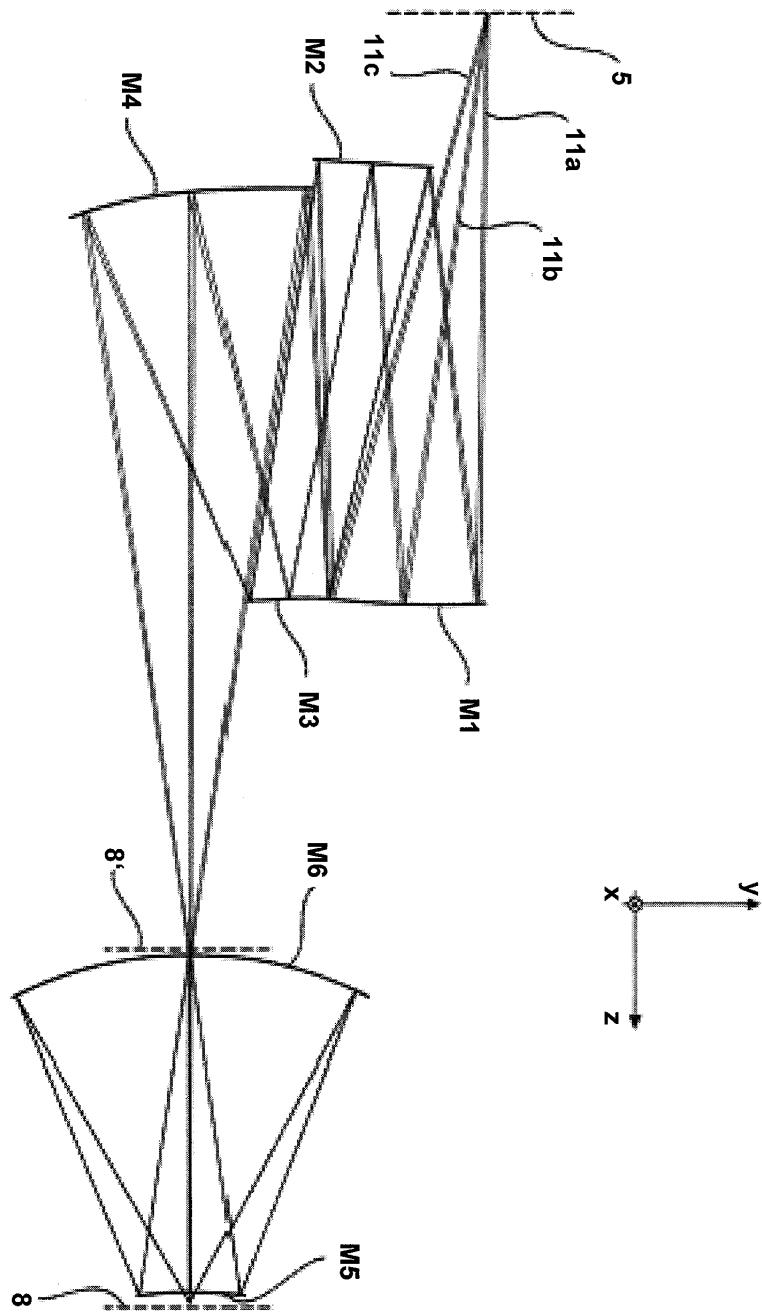
본 발명이 특정 실시예에 기초하여 설명되었지만, 수많은 변형 및 대안 실시예가 예를 들어 개별 실시예의 특징들의 조합 및/또는 교환에 의해 당 기술 분야의 숙련자에게 명백하다. 이에 따라, 이러한 변형 및 대안 실시예는 본 발명에 의해 부수적으로 포함되고, 본 발명의 범주는 첨부된 특허 청구범위 및 이들의 등가물의 의미 내에서만 한정된다는 것이 통상의 기술자에 대해 물론이다.

도면

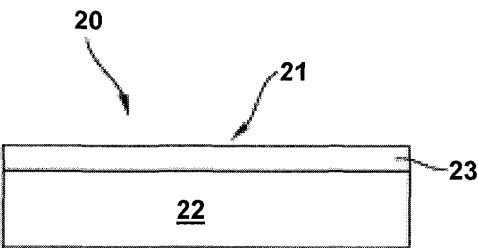
도면1



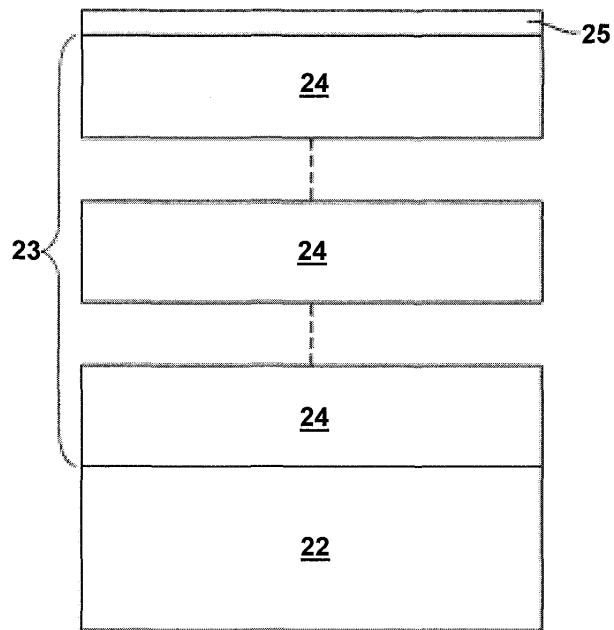
도면2



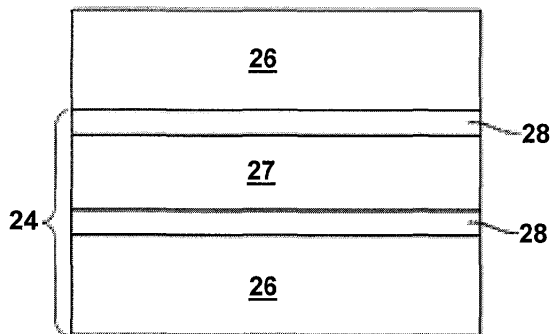
도면3a



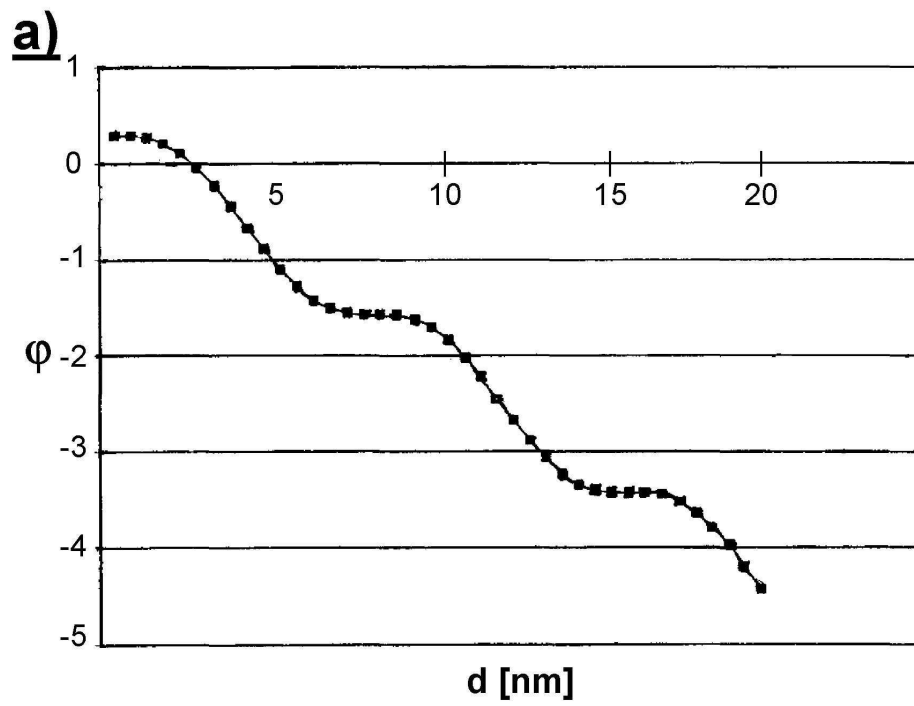
도면3b



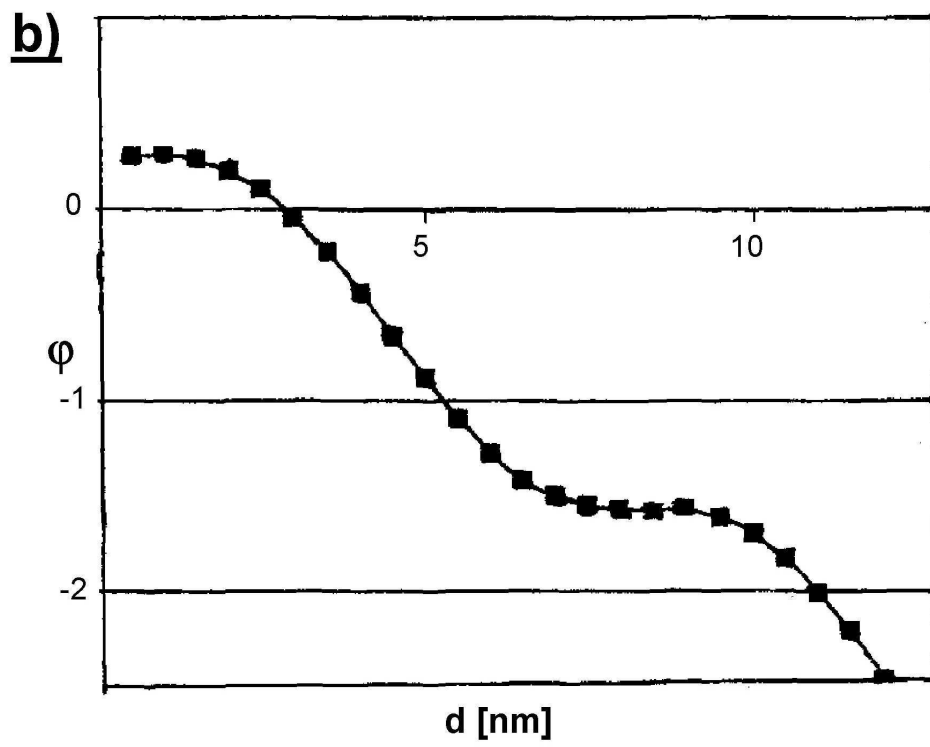
도면3c



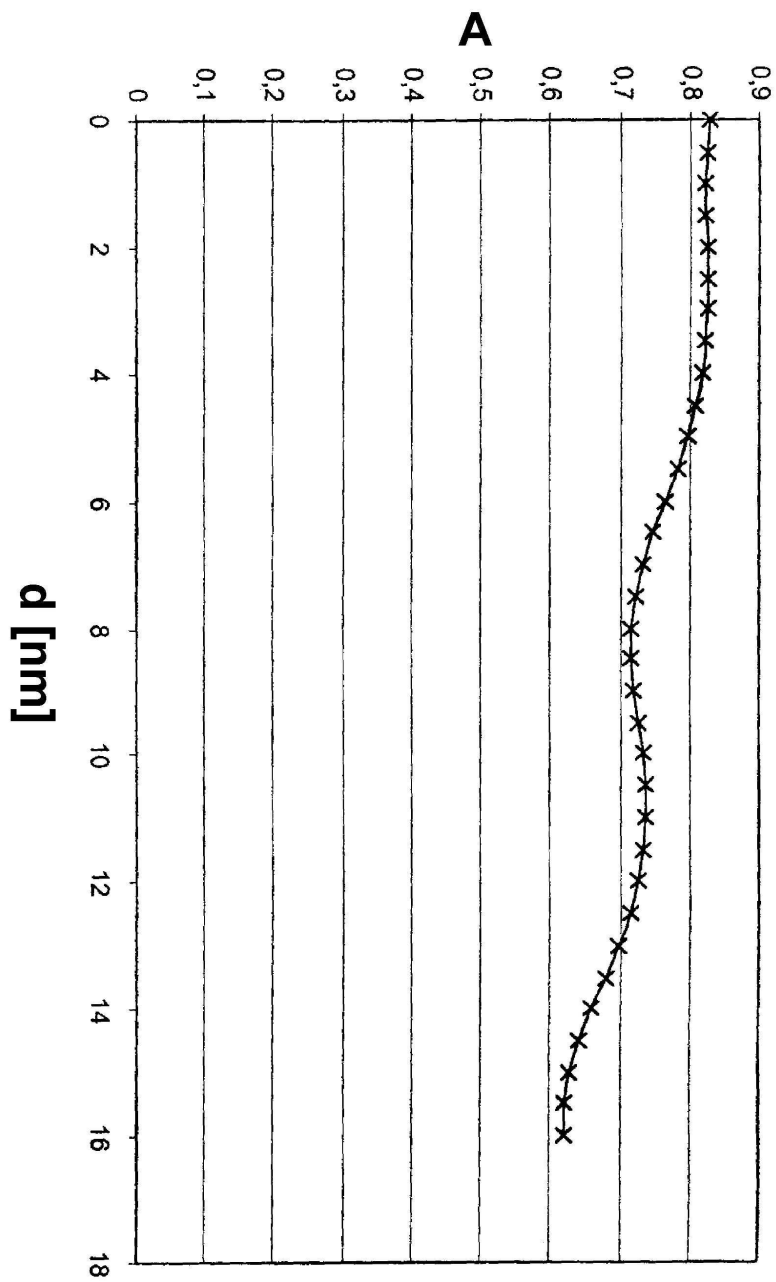
도면4a



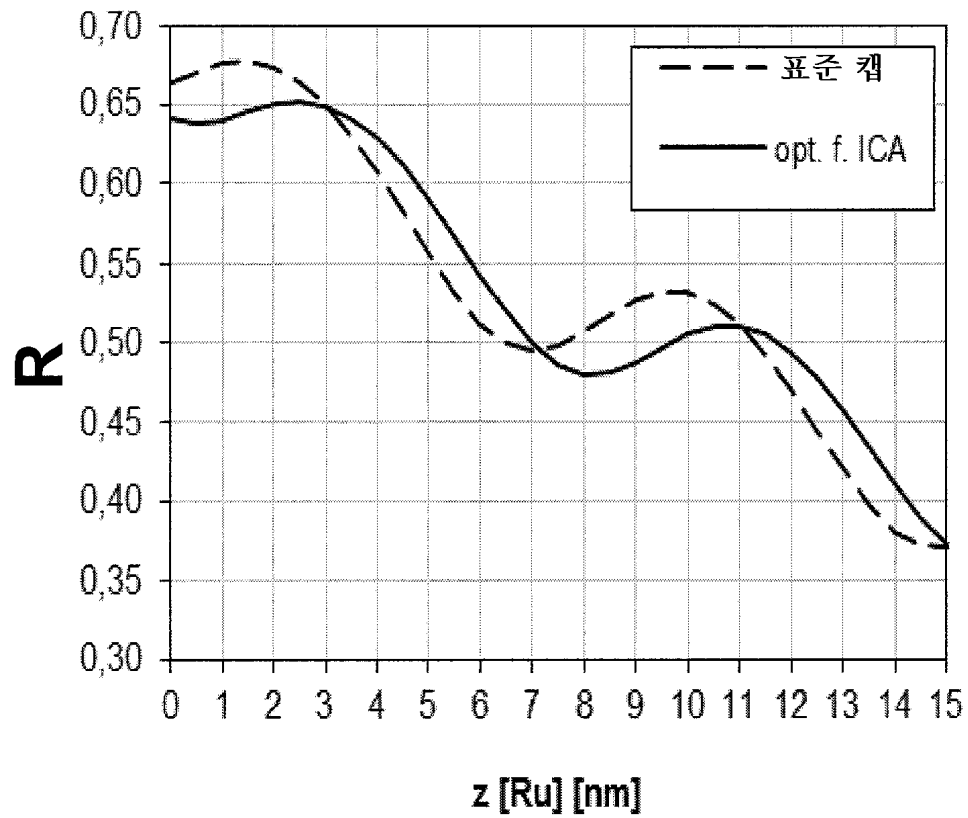
도면4b



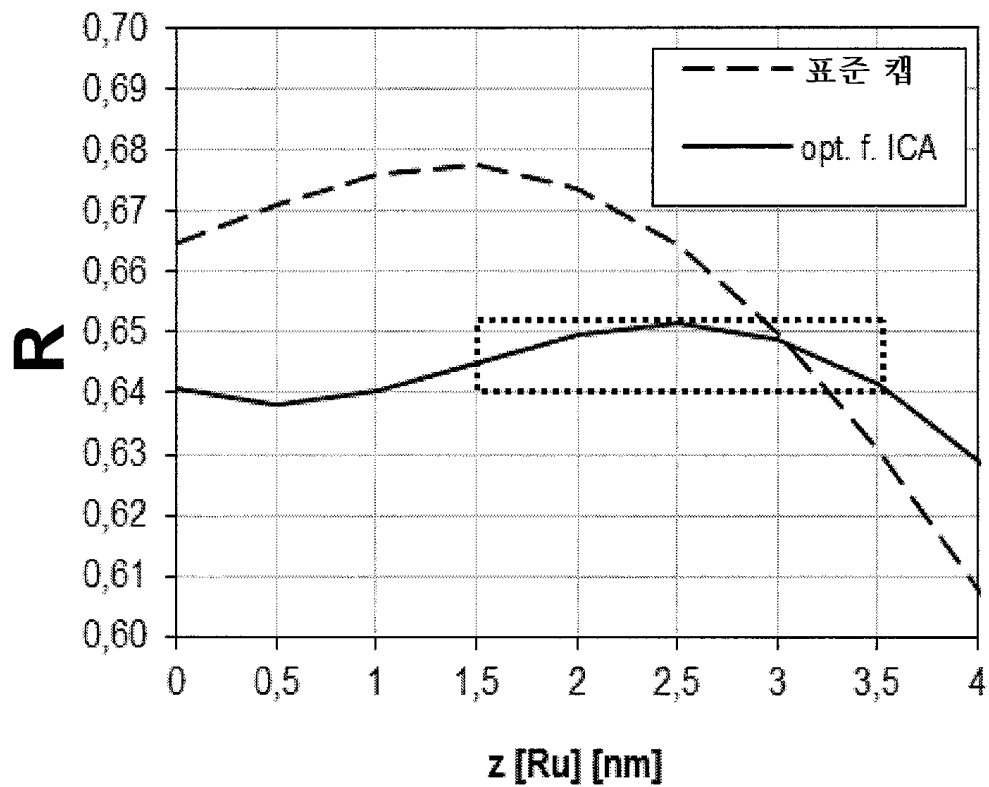
도면5



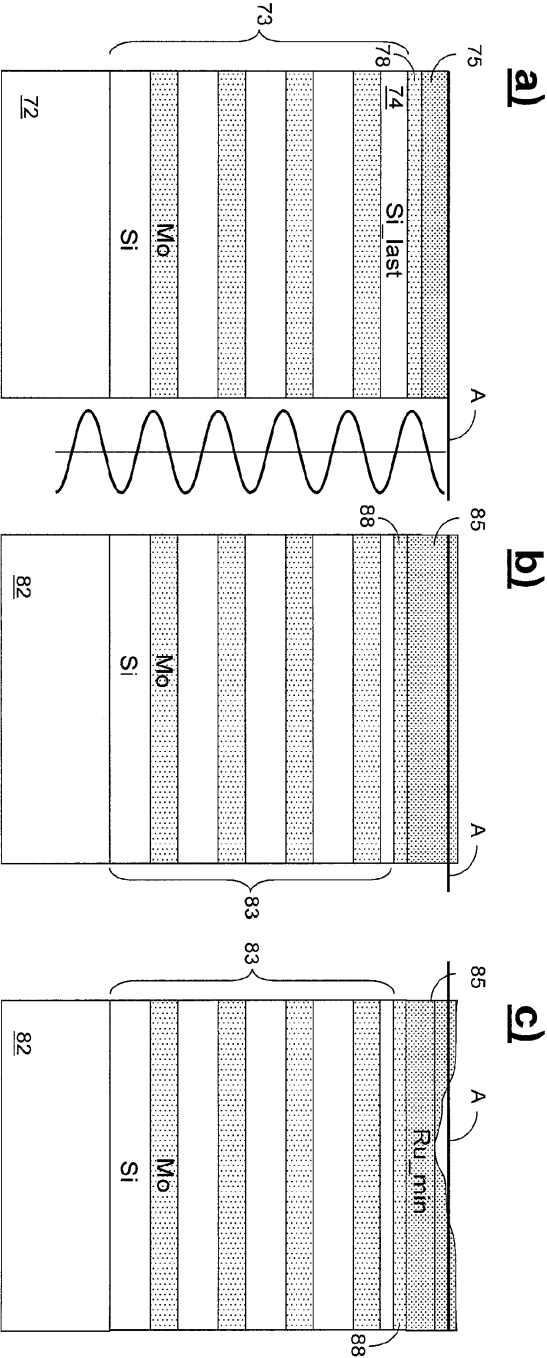
도면6a



도면6b



도면7



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 제4항 3째줄

【변경전】

두께(d1)와 다른 두께(d2) 사이에서

【변경후】

두께 d1과 다른 두께 d2 사이에서

【직권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 제4항 2째줄

【변경전】

상기 의존성은 두께(d1)가 도달할 때까지

【변경후】

상기 의존성은 두께 d1에 도달할 때까지