



등록특허 10-2175814



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년11월09일
(11) 등록번호 10-2175814
(24) 등록일자 2020년11월02일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03F 7/20 (2006.01) *G02B 1/10* (2015.01)
G02B 5/08 (2006.01) *G21K 1/06* (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G03F 7/70316 (2013.01)
G02B 1/14 (2020.05)
- (21) 출원번호 10-2015-7028007
- (22) 출원일자(국제) 2014년01월13일
심사청구일자 2019년01월11일
- (85) 번역문제출일자 2015년10월07일
- (65) 공개번호 10-2015-0130410
- (43) 공개일자 2015년11월23일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2014/050471
- (87) 국제공개번호 WO 2014/139694
국제공개일자 2014년09월18일

(30) 우선권주장
10 2013 102 670.2 2013년03월15일 독일(DE)
61/792,638 2013년03월15일 미국(US)

(56) 선행기술조사문현

JP2006173490 A*

(뒷면에 계속)

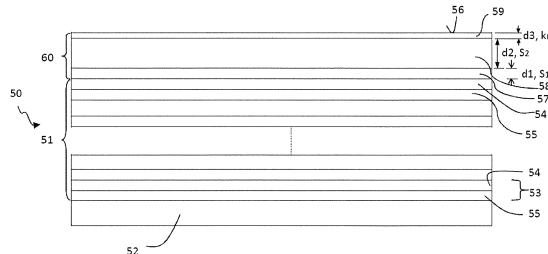
전체 청구항 수 : 총 15 항

심사관 : 정성용

(54) 발명의 명칭 EUV 리소그래피용 광학 요소 및 광학 시스템과, 이런 광학 요소를 처리하는 방법

(57) 요약

본 발명은 광학 요소(50)에 관한 것으로, 광학 요소는 기판(52), 기판(52)에 적용된 EUV 방사선 반사 다층 시스템(51) 및 다층 시스템(51)에 적용되면서 적어도 제1 및 제2 층(57, 58)을 갖는 보호층 시스템(60)을 포함하고, 제1 층(57)은 제2 층(58)보다 다층 시스템(51)에 더 근접하게 배열된다. 제1 층(57)은 수소를 위한 확산 배리어로서 기능하고, 제2 층(58)보다 낮은 수소에 대한 용해도를 가지며, 제2 층은 수소를 흡수하도록 기능한다. 본 발명은 또한 적어도 하나의 이런 광학 요소(50)를 포함하는 EUV 리소그래피를 위한 광학 시스템, 다층 시스템(51)의 적어도 하나의 층(53, 54) 및/또는 보호층 시스템(60)의 적어도 하나의 층(57, 58, 59)에 통합된 수소를 제거하기 위해 광학 요소(50)를 처리하기 위한 방법에도 관련한다.

대 표 도 - 도2

(52) CPC특허분류

G02B 5/0816 (2013.01)
G03F 7/70916 (2013.01)
G03F 7/70925 (2013.01)
G03F 7/70958 (2013.01)
G03F 7/70983 (2013.01)
G21K 1/062 (2013.01)

(72) 발명자

휘예브렉트세 예звон

네덜란드 엔엘-4818 테에스 브레다 골프슈트라트 9

스톰 아르놀두스 얀

네덜란드 엔엘-2625 까스 델프트 코에트란 12

그라베르 티나

독일 73447 오버코헨 소넨베르크슈트라쎄 4

아멘트 이데네

독일 73432 알렌 도이치오르덴스슈트라쎄 31

스미츠 드라이즈

벨기에 비-3500 하셀트 벨기에 하르벰덴슈트라트
48-1

테 슬라이트 에드워

네덜란드 엔엘-5644 에스 아인트호벤 조네루스슈트
라트 27

쿠즈네초브 알렉세이

네덜란드 엔엘-4101 제트베 쿨렘부르그 엘. 질레비
스호프 4

(56) 선행기술조사문헌

JP58115739 A*
US20030008180 A1*
US20040002009 A1*
US20060127780 A1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

광학 요소(50)이며,

기판(52),

기판(52)에 적용된 EUV 방사선 반사 다층 시스템(51), 및

다층 시스템(51)에 적용되고 적어도 제1 및 제2 층(57, 58)을 갖는 보호층 시스템(60)을 포함하고,

제1 층(57)은 제2 층(58)보다 다층 시스템(51)에 더 근접하게 배열되고, 제1 층(57)은 제2 층(58)보다 낮은 수소에 대한 용해도를 가지며,

보호층 시스템(60)은, 350K의 온도에서 $10^{-27} \text{ cm}^4/(\text{atom s})$ 보다 크거나 $10^{-19} \text{ cm}^4/(\text{atom s})$ 보다 큰 수소에 대한 재조합율(k_r)을 가지는 재료로 형성되는 최상단의 제3 층(59)을 갖는 광학 요소.

청구항 2

제1항에 있어서, 제1 층(57)의 수소를 위한 용해도(s_1)에 대하여 $\ln(s_1) < 3$ 이 유지되고, 제2 층(58)의 수소에 대한 용해도(s_2)에 대하여, $\ln(s_2) > 5$ 가 유지되는 광학 요소.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 제1 층(57)은 Mo, Ru, Ir, Ni, Fe, Co, Cu를 포함하는 그룹으로부터 선택된 재료로부터 형성되는 광학 요소.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서, 제1 층(57)은 0.3 nm과 10 nm 사이 또는 0.3 nm과 2 nm 사이의 두께(d_1)를 가지는 광학 요소.

청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서, 제2 층(58)은 다결정 재료와 개방 공극 재료 중 적어도 하나의 재료로 형성되는 광학 요소.

청구항 6

제1항 또는 제2항에 있어서, 제2 층(58)은 Zr, Ti, Th, V, Pd를 포함하는 그룹으로부터 선택된 재료로 형성되는 광학 요소.

청구항 7

제1항 또는 제2항에 있어서, 제2 층(58)은 5 nm과 25 nm 사이의 두께(d_2)를 가지는 광학 요소.

청구항 8

제1항 또는 제2항에 있어서, 제2 층(58)은 10 nm과 15 nm 사이의 두께(d_2)를 가지는 광학 요소.

청구항 9

제1항 또는 제2항에 따른 광학 요소에 있어서, 제1 층(57)은 비정질 또는 단결정 재료로 형성되는 광학 요소.

청구항 10

제1항 또는 제2항에 있어서, 최상단 층(59)의 재료는 Mo, Ru, Cu, Ni, Fe, Pd, V, Nb 및 그 산화물을 포함하는

그룹으로부터 선택되는 광학 요소.

청구항 11

제1항 또는 제2항에 있어서, 제1 층(57), 제2 층(58), 제3 층(59) 중 적어도 하나는 금속 또는 금속 산화물로 형성되는 광학 요소.

청구항 12

제1항 또는 제2항에 있어서, 집광기 거울(7)로서 설계되는 광학 요소.

청구항 13

EUV 리소그래피를 위한 광학 시스템(1)이며,

제1항 또는 제2항에 따른 적어도 하나의 광학 요소(7, 9, 10, 11, 13, 14, 50)를 포함하는 광학 시스템.

청구항 14

기판(52), 기판(52)에 적용된 EUV 방사선 반사 다층 시스템(51), 및 다층 시스템(51)에 적용된 보호층 시스템(60)을 포함하는 광학 요소(50)로서, 보호층 시스템(60)이 350K의 온도에서 $10^{-27} \text{ cm}^4/(\text{atom s})$ 보다 크거나 $10^{-19} \text{ cm}^4/(\text{atom s})$ 보다 큰 수소에 대한 재조합율(k_r)을 가지는 재료로 형성되는 최상단의 제3 층(59)을 갖는 광학 요소(50)를 처리하는 방법이며,

보호층 시스템(60)의 적어도 하나의 층(57, 58, 59) 또는 다층 시스템(51)의 적어도 하나의 층(54, 55)으로부터 통합된 수소를 추출하기 위해 광학 요소(50)를 처리하는 단계를 포함하고,

통합된 수소를 추출하는 단계는 50°C를 초과하는 온도로 광학 요소(50)를 가열하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 15

제14항에 있어서, 통합된 수소를 추출하는 단계는 100°C를 초과하는 온도로 광학 요소(50)를 가열하는 단계를 포함하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원 상호 참조

본 출원은 그 전체 내용이 본 출원의 내용의 일부로서 고려되면서 참조로 본 출원의 내용에 통합되어 있는 2013년 3월 15일자로 출원된 독일 특허 출원 제10 2013 102 670.2호에 대한 우선권을 주장한다.

[0003] 발명의 분야

본 발명은 기판, 기판에 적용되는 EUV 방사선 반사 다층 시스템 및 다층 시스템에 적용되면서 적어도 제1 및 제2 층을 구비하고 제1 층은 제2 층보다 다층 시스템에 더 근접하게 배열되는 보호층 시스템을 포함하는 광학 요소에 관한 것이다. 제1 층은 특히 다층 시스템에 인접하게 배열될 수 있다. 본 발명은 또한 적어도 하나의 이런 광학 요소를 포함하는 EUV 리소그래피를 위한 광학 시스템 및 EUV 리소그래피를 위한 광학 요소를 처리하기 위한 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0005] EUV 리소그래피 장치에서, 예로서, 반사 다층 시스템에 기초한 포토마스크나 거울 같은 극 자외선(EUV) 파장 범위(약 5 nm과 약 20 nm 사이의 파장)를 위한 반사 광학 요소가 반도체 부품을 제조하기 위해 사용된다. EUV 리소그래피 장치가 일반적으로 복수의 반사 광학 요소를 구비하기 때문에, 반사 광학 요소는 충분히 높은 전체 반사율을 보증하기 위해 가능한 최고의 반사율을 가져야 한다. 반사 광학 요소의 반사율 및 수명은 반사 광학 요소의 광학적으로 사용되는 표면의 오염에 의해 감소될 수 있으며, 이러한 오염은 동작 분위기 내의 잔류 가스와 함께 짧은 파장의 조사에 기인하여 발생한다. 복수의 반사 광학 요소가 일반적으로 EUV 리소그래피 장치에서

서로 앞뒤로 배열되기 때문에, 심지어 각 개별 반사 광학 요소의 비교적 작은 오염도 비교적 큰 정도로 전체 반사율에 영향을 미친다.

[0006] 오염은 예로서 습기 잔류물에 기인하여 발생할 수 있다. 이 경우, 물 분자는 EUV 방사선에 의해 분해되고 결과적인 자유 산소 라디칼이 반사 광학 요소의 광학적 활성 표면을 산화시킨다. 다른 오염원은 폴리머이며, 이 폴리머는 예로서 EUV 리소그래피 장치에 사용되는 전공 펌프로부터 또는 패턴화되는 반도체 기판에 사용되는 포토레지스트의 잔류물로부터 발생할 수 있고, 동작 방사선의 영향하에서 반사 광학 요소 상에 탄소 오염물을 초래한다. 산화성 오염물은 일반적으로 비가역적이지만, 특히, 탄소 오염물은 특히 반응성 수소를 사용한 처리에 의해, 반응성 수소가 탄소 함유 잔류물과 반응하여 휘발성 화합물을 형성함으로써 제거될 수 있다. 반응성 수소는 수소 라디칼 또는 그 밖에는 이온화된 수소 원자나 분자일 수 있다.

[0007] EUV 리소그래피 장치에서 제공되는 광원이 주석 플라즈마에 기초하여 EUV 방사선을 생성하는 경우, 주석, 그리고, 적절하게는 아연이나 인듐 화합물(또는 일반적으로 금속(하이드리드) 화합물)이 광원의 부근에서 발생하고, 예로서, 집광기 거울의 광학적으로 사용되는 표면에 부착될 수 있다. 이들 물질은 일반적으로 EUV 방사선에 대하여 높은 흡수율을 가지기 때문에, 광학적으로 사용되는 표면 상의 이들 물질의 퇴적은 높은 반사율 손실을 초래하고, 이 때문에, 이들 물질은 예로서, 반응성 (원자) 수소의 도움으로 또는 수소 플라즈마의 도움으로 적절한 세정 방법에 의해 제거되어야 한다. 수소는 또한 주석 이온에 의한 에칭 제거나 스퍼터링에 대해 광원의 영역에 배열된 광학 표면을 보호하기 위해 사용될 수도 있다. 이 경우, 수소 플라즈마가 통상적으로 유사하게 EUV 방사선의 존재 및 이온 및 전자와의 수소의 상호작용에 기인하여 발생된다. 광원 부근의 광학요소 또는 그 반사성 다층 시스템은 따라서 역시 이들이 영구적으로 수소 플라즈마에 노출되는 경우 열화에 관하여 안정적이어야만 한다.

[0008] 열화에 대해 반사성 다층 시스템을 보호하기 위해, 다층 시스템에 보호층 시스템을 적용하는 것이 알려져 있다. 열화는 예를 들어, 탄소 층의 성장, 산화, 금속 퇴적 등 같은 오염 효과 뿐만 아니라 또한 개별 층의 박리, 층의 에칭 제거나 스퍼터링 등도 의미하는 것으로 이해된다. 특히, 세정을 위해 사용되는 또는 잔류 분위기에 존재하는 수소와의 EUV 방사선의 상호작용에 의해 발생할 수 있는 반응성 수소의 영향하에, 특히 다층 시스템의 표면에 근접한 개별 층의 분리가 발생할 수 있다는 것이 관찰되었다.

[0009] US 2011/0228237 A1은 반응성 다층 시스템을 보호하는 목적으로 적어도 두 개의 층을 포함하는 보호층 시스템을 제공하는 것을 개시하며, 이 적어도 두 개의 층 중 하나의 층은 SiO₂, Y₂O₃ 및 ZrO₂의 그룹으로부터 선택된 재료를 포함하고, 다른 층은 실리콘 산화물(다른 화학양론적 비율을 가짐), Y 및 ZrO를 포함하는 그룹으로부터 선택된 재료를 포함한다.

[0010] DE 10 2011 076 011 A1은 실리콘 카바이드나 루테늄으로 구성된 최상단 층을 갖는 보호층 시스템을 포함하는 EUV 방사선을 반사하기 위한 광학 요소를 개시하며, 여기서, 보호층 시스템은 5 nm과 25 nm 사이의 두께를 갖는다. 첫 번째로, 탄소 또는 루테늄, 그리고, 두 번째로, 카바이드 또는 보라이드 또는 실리콘 카바이드, 실리콘 니트라이드, 보론 카바이드나 탄소의 그룹으로부터의 재료로 이루어진 적어도 두 개의 교번적으로 배열된 층이 최상단 층 아래에 제공될 수 있다. 보호층 시스템의 도움으로, 아래에 배열된 다층 시스템은 특히, 수백 일렉트론볼트의 운동학적 에너지를 갖는 반응성 수소에 대해 보호되도록 의도되며, 이러한 운동학적 에너지는 이렇지 않은 경우 다층 코팅 내로 침투하여 그곳에서 특히 실리콘 층의 최상단 층의 분리를 초래할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명의 목적은 EUV 리소그래피를 위한 광학 요소 및 반응성 수소의 존재 하에 사용될 수 있는 상기 광학 요소를 포함하는 광학 시스템을 제공하는 것이다. 또한, 본 발명의 목적은 반응성 수소의 존재 하에 광학 요소의 영구적 동작을 가능하게 하는 광학 요소를 처리하는 방법을 구체화하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0012] 이 목적은 EUV 방사선 반사 다층 시스템과, 다층 시스템에 적용되고 적어도 제1 및 제2 층을 갖는 보호층 시스템을 포함하는 광학 요소에 의해 달성되며, 다층 시스템에 더 근접하게 배치된 제1 층은 다층 시스템으로부터 더 멀리 배치된 제2 층보다 더 낮은 수소 용해도를 갖는다.

[0013] 충분한 두께를 갖는 보호층 시스템에 의해, 다층 시스템의 층은 효과적으로 보호될 수 있으며, 층 분리가 방지

된다. 이는 특히 순수 실리콘 층에 관련하며, 순수 실리콘 층은 통상적으로 특히 큰 정도로 반응성 수소의 침투에 의해 손상되며, 그 이유는 반응성 (원자/이온) 수소의 재조합 및/또는 실란 화합물의 발생이 그곳에서 이루어져서 발포 및 그와 연계된 층 분리를 초래하기 때문이다.

[0014] 본 발명자는 반응성 수소에 노출되는 광학 요소의 장기 안정성을 보증하기 위해, 다층 시스템이 충분한 두께를 갖는 보호층 시스템의 도움으로 반응성 수소에 대해 보호되는 것 만으로는 불충분하며, 그 이유는 반응성 수소에 영구적으로 노출되는 보호층 시스템의 재료 또는 층도 발포 또는 층 분리를 겪게될 수 있기 때문이라는 것을 인지하였다. 더 정확하게 말하면, 수소 영향이 충분히 높으면 임의의 재료가 발포 또는 층 분리를 나타낸다. 발포의 발생 빈도는 사용되는 재료에 의존하며, 발포는 통상적으로 수소에 대한 높은 용해도를 갖는 재료의 경우보다 수소에 대한 낮은 용해도를 갖는 재료의 경우에 더 빈번하게 발생한다.

[0015] 따라서, 수소에 대해 서로 다른 용해도를 갖는 제1 층 및 제2 층을 구비하는 보호층 시스템을 사용할 것이 제안된다. 다층 시스템으로부터 더 멀리, 따라서, 환경과 계면을 형성하는 광학 표면에 더 근접하게 배열되는 제2 층은 증가된 정도로 반응성 수소에 노출되고, 따라서, 수소에 대해 비교적 높은 용해도를 가지며, 따라서, 예로서, 하이드리드 형성의 결과로서의 발포를 향한 낮은 경향을 갖는다. 대조적으로, 다층 시스템에 더 근접하게 위치되고 특히 그 최상단 층에 인접할 수 있는 제1 층은 수소에 대한 비교적 낮은 용해도를 가지고 따라서, 더 높은 발포 경향을 갖는다. 다른 한편, 수소에 대한 낮은 용해도를 갖는 재료는 수소에 대한 더 높은 용해도를 갖는 재료보다 더 양호한 수소 배리어이며, 그 결과, 다층 시스템 내로의 수소 확산이 감소된다.

[0016] 수소에 대한 높은 용해도를 갖는 제2 층의 사용은 광학 표면(진공파의 계면)으로부터 확산하거나 그 높은 운동학적 에너지에 기인하여 보호층 시스템의 재료 내에 주입되는 수소 원자를 흡수하는 것을 가능하게 한다. 더 높은 발포 경향을 갖는 제1 층은 제2 층에 의한 수소의 흡수에 의해 보호된다. 제1 층은 하위 다층 시스템 내로의 수소의 추가적 확산을 현저히 감소시키거나 방지하기 위한 수소 배리어로서 기능한다. 이 방식으로 EUV 리소그래피 장치의 광원의 다수의 예로서 20 내지 70 기가페스 이후에도 반응성 수소의 존재하에 여전히 안정적인 보호층 시스템을 제공하는 것이 가능하다.

[0017] 일 실시예에서, 제1 층의 용해도(s_1)에 대하여, 이하가 유지된다: $\ln(s_1) < 3$, 바람직하게는 $\ln(s_1) < 1$ 및/또는 제2 층의 용해도(s_2)에 대하여 이하가 유지된다: $\ln(s_2) > 5$, 바람직하게는 $\ln(s_2) > 7$. 용해도(s)(또는 s_1, s_2)는 대기압하에서 수소에 대해 규정되며 수소 흡수 재료 100g까지 취해지는 (분자) 수소의 체적(cm^3)을 나타낸다. 이러한 정의에 관한 세부사항에 대해서는 그 전체 내용이 본 출원의 내용에 참조로 통합되어 있는 논문 "A Theoretical Formula for the Solubility of Hydrogen in Metals"(R.H. Fowler 등, Proc. R. Soc. Lond. A 160, 페이지 37 이하(1937))을 참조한다. 예로서 인용된 문헌의 도 1로부터 명백한 바와 같이 용해도(s)는 온도 의존성이라는 것을 주목하여야 한다. 여기에 표시된 값은 $10000/16 = 625 \text{ K}$ (도 1 참조)이 참인 온도(캘빈 단위), 즉, 약 350°C 이하의 온도에 관련한다.

[0018] 일 실시예에서, 제1 층은 비정질 또는 단결정 재료로부터 형성된다. 제1 층이 확산 배리어로서의 그 기능을 효과적으로 충족할 수 있기 위해서, 상기 층이 바람직하게는 어떠한 공극도 갖지 않으며 어떠한 내부적 입자 경계도 갖지 않는 (콤팩트) 비정질 또는 단결정 재료를 형성하는 것이 유리한 것으로 검증되었다. 예로서, 단결정 재료의 경우에 발생하는 것 같은 공극의 존재 및 입자 경계의 존재 양자 모두는 제1 층의 장기 내구성을 훼손시킬 수 있으며, 그 이유는 공극 내에서 및/또는 입자 경계에서 증가된 정도로 발포가 발생하기 때문이다.

[0019] 다른 실시예에서, 제1 층은 Mo, Ru, Ir, Ni, Fe, Co, Cu를 포함하는 그룹으로부터 선택된 재료로 형성된다. 이들 재료에 대하여, 이들은 (분자) 수소에 대해 낮은 용해도를 가지며, 그래서, 이들 재료는 반사 다층 시스템에 대한 산소의 확산을 효과적으로 방지할 수 있는 것으로 알려졌다. 물론, 다른 재료도 제1 층을 위해 사용될 수 있으며, 특히, 분자 수소에 대한 매우 더 낮은 용해도 또는 수소에 대한 (매우) 더 낮은 확산 계수를 갖는 층이 사용될 수 있다.

[0020] 다른 실시예에서, 제1 층은 0.3 nm과 10 nm 사이, 바람직하게는 0.3 nm과 2 nm 사이의 두께를 갖는다. 언급된 간격 내에 있는 제1 층의 두께는 통상적으로 한 편으로는 다층 시스템 내로의 수소의 확산이 효과적으로 방지될 수 있게 하고, 다른 한편으로는 광학 요소의 반사율이 너무 많이 감소되지 않을 수 있게 한다.

[0021] 다른 실시예에서, 제2 층은 단결정 및/또는 개방공극 재료로 형성되지만, 그러나, 적절하다면 제2 층은 폐쇄 공극을 갖는 재료로부터 형성될 수도 있다. 단결정 재료는 수소가 부착될 수 있는 입자 경계를 가짐으로써 수소에 대한 용해도가 예를 들어, 비정질 또는 단결정 구조에 비해 증가될 수 있다. 단결정 및/또는 개방공극 구조를 갖는 재료의 제공은 수소 원자가 부착될 수 있는 재료 내의 결함 또는 결함 네트워크를 생성하는 한가지 가

능성을 구성한다.

[0022] 물론, 제2 층의 재료의 구조는 적절하다면 또한 본 명세서에 예시된 것 이외의 다른 방식으로 수소 원자의 부착을 증가시키고 따라서 수소에 대한 용해도를 증가시키도록 변경될 수 있다. 결합의 존재 없이도 이미 높은 수소에 대한 용해도를 갖는 재료의 경우에, 발포는 통상적으로 다결정 및/또는 다공성 구조의 경우에도 감소되며, 그 이유는 이를 재료의 경우에, 발포는 통상적으로 하이드리드의 형성과 연계되고, 발포는 일반적으로 공극 또는 결합 중심을 형성하지 않기 때문이다.

[0023] 스폰지형, 개방공극 구조가 특히 선호되며, 여기서, 공극의 수 및/또는 크기는 적절하다면 다층 시스템을 향하는 제2 층의 측부로부터 광학 표면(환경과의 계면)을 향하는 제2 층의 측부를 향해 진행하면서 증가될 수 있고, 즉, (개방) 공극에 관하여 구배를 가질 수 있다. 개방 공극은 흡수된 수소가 상방으로(즉, 환경(진공)과의 계면을 향해 수송되고 보호층 시스템으로부터 탈출할 수 있게 하는 채널을 형성할 수 있고, 그 결과, 수소 흡수층이 수소 포화를 겪게 되는 것을 방지할 수 있다. 이에 관하여, 예로서 논문 "High Reflective Mirrors for In-vessel Applications in ITER"(A.G. Razdobarin 등, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A623 (2010), 809-811)은 층의 전체 두께를 가로질러 바늘형 공극을 갖는 ZrO₂의 층은 무거운 수소(중수소)에 대하여 낮은 투과성을 갖는다는 사실을 개시하였다.

[0024] 다른 실시예에서, 제2 층은 Zr, Ti, Th, V, Pd를 포함하는 그룹으로부터 선택된 재료로 형성된다. 이들 재료에 대하여, 이들은 (분자) 수소에 대해 높은 용해도를 가지며, 그래서, 이들 재료는 수소의 흡수 또는 통합을 촉진한다는 것이 알려져 있다. 물론, 제2 층을 위해 다른 재료, 특히, 분자 수소에 대해 매우 더 높은 용해도를 갖는 것들이 사용될 수도 있다.

[0025] 다른 실시예에서, 제2 층은 5 nm과 25 nm 사이의 두께를 갖는다. 제2 층이 개방 공극 구조를 갖는 경우에 대하여, EUV 방사선의 흡수는 완전히 폐쇄된(무공극) 층에 비해 낮고, 그래서, 제2 층은 또한 과도하게 큰 정도로 광학 요소의 반사율이 손상되지 않으면서 대략 25 nm까지 비교적 큰 두께를 가질 수 있다.

[0026] 다른 실시예에서, 제2 층은 10 nm과 15 nm 사이의 두께를 가진다. 대부분의 재료에 대하여, 집광기 거울의 부근에서 발생할 수 있는 것 같이 대략 100 eV의 범위의 높은 운동학적 에너지를 갖는 수소 이온의 침투 깊이는 약 5 nm 내지 15 nm 이하이고, 정확한 값은 이온 에너지와 층의 재료에 의존한다. 컴퓨터 시뮬레이션에서 발견되는 바와 같이, 상술한 범위의 두께를 갖는 제2 층은 주입된 수소 이온의 대부분을 점유 또는 흡수할 수 있다. 주입된 수소 이온은 주입 위치로부터 추가로 보호층 시스템 내로 확산할 수 있으며, 확산은 농도 편차, 전기장 구배, 압력 구배 등 같은 인자에 의존한다. 그러나, 수소 이온의 확산은 확산 배리어로서 기능하는 제1 층에서 중지되고, 그래서, 상기 이온은 다층 시스템 내로 침투할 수 없다.

[0027] 본 발명의 다른 양태는 특히 추가로 상술한 바와 같이 설계될 수 있는 서두에 언급한 유형의 광학 요소에 관한 것이다. 광학 요소에서, 보호층 시스템은 350 K의 온도에서 $10^{-27} \text{ cm}^4/(\text{atom s})$ 보다 큼, 특히, $10^{-19} \text{ cm}^4/(\text{atom s})$ 보다 큼 수소의 재조합율을 갖는 재료로부터 형성된 제3, 최상단 층을 갖는다.

[0028] 추가로 상술한 바와 같이 수소 이온의 주입 이외에, 또한, 구체적으로는 광학 요소가 동작하는 잔류 가스 환경과의 계면을 형성하는 광학 표면에서의 수소 원자 또는 수소 분자의 흡수에 의해, 그를 통해 수소가 보호층 시스템 내로, 그리고, 가능하게는 하위 다층 시스템 내로 침투할 수 있는 제2 경로가 존재한다. 광학 표면에서 흡수된 수소 분자는 분해되어 보호층 시스템의 최상단 층 내로, 그리고, 예로서, 격자 내에서의 확산의 결과로서 또는 입자 경계에서의 확산의 결과로서 하위 층 내로 확산할 수 있는 수소 원자를 형성한다. 이런 확산 프로세스 동안, 수소 원자는 결합 부위(예를 들어, 불완전부, 전위부, 불포화 결합 등)에서 중지 또는 포획될 수 있다.

[0029] 상술한 루트에 의해 보호층 시스템 내로의 수소의 확산이 가장 큰 가능한 정도로 방지되게 하기 위해, 본 발명자는 수소에 대한 높은 재조합율을 갖는 재료로 보호층 시스템의 제3 최상단 층을 생성하는 것을 제안한다. 재조합율은 얼마나 표면에서 흡수된 수소 원자가 재조합되어 수소 분자를 형성하고 표면으로부터 제거되기 쉬운지를 나타낸다. 따라서, 높은 재조합율은 광학 표면을 통한 수소의 내부확산을 억제하고 수소의 외부확산을 촉진하는 데 유리하다. 복수의 천이 금속의 재조합율은 예로서, "A Model for Atomic Hydrogen-metal Interactions"(M.A. Pick, K. Sonnenberg, Journal of Nuclear Materials 131 (1985), pp. 208-220)으로부터 알려져 있고, 온도에 의존한다. 재조합율에 관하여 상술된 값은 350 K의 온도에 관련된다. 표면에 부착된 오염물은 재조합율에 크게 영향을 미칠 수 있다. 물론, 상술한 값은 오염이 없는 표면에 대하여 나타내어진 것이다.

- [0030] 일 실시예에서, 최상단 층의 재료는 Mo, Ru, Cu, Ni, Fe, Pd, V, Nb 및 그 산화물을 포함하는 그룹으로부터 선택된다. 수소에 대해 높은 재조합율을 갖는 재료는 통상적으로 수소를 흡수하거나 흡열성으로 수소를 흡수하는 재료이며, 이는 예로서, 상술한 재료에 대한 경우이다. 물론, 상술한 재료의 목록은 완전한 것은 아니며, 다른 재료, 특히, 매우 더 높은 수소에 대한 재조합율을 갖는 재료가 최상단 층을 위해 사용될 수 있다.
- [0031] 최상단 층을 위한 재료의 선택은 또한 최상단 층의 표면에 부착된 잔류 가스 환경에서 오염에 대한 재료의 친화도의 크기에 의존한다. 예로서, 광학 요소가 EUV 광 소스에 근접하게 사용되고 주석 또는 일반적으로 금속 하이브리드 화합물 형태의 오염물에 노출되는 경우, 대응 오염물이 단지 작은 정도로만 부착되는 최상단 층을 위한 재료를, 가스 페이즈로 존재하는 오염물의 존재하에서도 수소에 대한 재조합율이 감소하지 않거나 단지 미소하게만 감소하도록 선택하는 것이 가능하다. 이는 특히 산화물, 특히, 금속 산화물, 특히, 천이 금속 산화물에 대하여 그러하다. 최상단 층을 위한 재료로서 적절한 산화물을 선택할 때, 수소에 대한 충분히 높은 재조합율(상술한 바 참조)을 갖는 것을 보증하기 위해 고려가 이루어져야 한다.
- [0032] 일 실시예에서, 제1 층, 제2 층 및/또는 제3 층은 특히 천이 금속 또는 천이 금속 산화물로부터의 금속 또는 금속 산화물로부터 형성된다. 낮은 내부 응력을 갖는 금속의 사용은 수소가 인장 응력이 발생하는 격자 부위에 부착될 수 있고, 이것이 분자 수소의 형성 및 이에 따른 수소 발포의 형성을 위한 재조합을 촉진하기 때문에 유리하다. 개별 층 사이의 계면, 특히, 제1 층과 제2 층 사이의 계면은 또한 분자 수소의 형성, 그리고, 이에 따른 계면에서의 발포의 형성을 위한 재조합을 초래하는, 수소가 축적될 수 있는 불완전부, 불포화 결합 등을 피하기 위해 매우 작은 수의 계면 결합과 높은 품질을 가져야 한다. 계면에서의 이러한 결합은 적절하다면 예를 들어, 그 격자 구조 또는 그 격자 간격에 관하여 더 많은 구조적 일반성을 가지는, 제1 층 및 제2 층을 위한 두 개의 금속성 재료의 사용으로 가능한 가장 큰 정도로 회피될 수 있다. 그러나, 물론, 개별 층을 위한 적절한 층 재료는 금속뿐만 아니라, 적절하다면 계면에서의 및/또는 재료에서의 결합의 형성이 마찬가지로 낮은 다른 재료도 포함할 수 있으며, 그래서, 이들은 높은 구조적 안전성을 가질 수 있다. 물론, 적절하다면, 보호층 시스템의 개별 또는 모든 층을 생성하기 위해 둘 이상의 재료의 혼합물을 사용하는 것도 가능하다.
- [0033] 일 실시예에서, 광학 요소는 집광기 거울로서 설계된다. EUV 리소그래피에서, 집광기 거울은 방사선 소스에 의해 다양한 방향으로 방출된 방사선을 집광하기 위해, 그리고, 이를 집광된 형태로 다음 거울로 반사시키기 위해 방사선 소스, 특히, 플라즈마 방사선 소스의 하류 광선 방향으로의 제1 거울로서 종종 사용된다. 방사선 소스의 부근에서의 높은 방사선 강도에 기인하여, 잔류 가스 분위기 내에 존재하는 분자 수소가 높은 운동학적 에너지를 갖는 반응성(원자 또는 이온) 수소로 변환되어 정확하게 집광기 거울이 특히 보호층 시스템의 층에서 또는 침투하는 반응성 수소에 기인하여 그 다층 시스템의 상부 층에서 분리 현상을 나타낼 위험에 있도록 할 수 있다.
- [0034] 본 발명의 다른 양태는 상술한 바와 같이 적어도 하나의 광학 요소를 포함하는 EUV 리소그래피를 위한 광학 시스템에 관련한 것이다. 광학 시스템은 웨이퍼를 노광하기 위한 EUV 리소그래피 장치 또는 EUV 방사선을 사용하는 소정의 다른 광학 시스템, 예로서, EUV 리소그래피에 사용되는 마스크를 측정하기 위한 시스템 등일 수 있다.
- [0035] 본 발명의 다른 양태는 기판, 기판에 적용된 EUV 방사선 반사 다층 시스템 및 다층 시스템에 적용된 보호층 시스템을 포함하는 광학 요소를 처리하기 위한 방법에 관한 것이며, 이 방법은 다층 시스템의 적어도 하나의 층 및/또는 보호층 시스템의 적어도 하나의 층으로부터 통합된 수소를 추출하기 위해 광학 요소를 처리하는 단계를 포함한다.
- [0036] 광학 요소, 정확하게는 그 보호층 시스템은 추가로 상술된 방식으로 설계될 수 있다. 그러나, 이는 이 방법을 수행하기 위해 절대적으로 필요한 것은 아니다. 광학 요소가 과도하게 긴 시간 동안 (활성화된/반응성) 수소를 포함하는 잔류 가스 분위기에 배치되는 경우, 시간적 특정 지점으로부터 시작하여 개별 층의 수소 농도는 광학 요소, 더 정확하게는 그 보호층 시스템 또는 그 다층 시스템의 구조적 안전성에 대해 파국적 결과를 가질 정도로 매우 높아진다. 따라서, 때때로 또는 특정 간격으로, 광학 요소는 그로부터 환경으로 수소가 방출될 수 있는 광학 표면으로 수송되는 상기 수소에 의해 상기 층으로부터 적어도 부분적으로 통합된 수소를 제거하는 처리를 받아야 한다. 광학 요소의 처리를 위한 다수의 가능성성이 존재한다.
- [0037] 일 변형예에서, 통합된 수소를 제거하는 단계는 50°C를 초과한 온도, 바람직하게는 100°C를 초과한 온도로 광학 요소를 가열하는 단계를 포함한다. 이런 열적 처리는 수소의 활성화 또는 광학 표면을 통한 또는 높은 수소 용해도를 갖는 층 내로의 수소의 수송을 촉진할 수 있다. 물론, 또한, 각각의 층으로부터 수소를 제거하는 원하는 효과를 생성하는 광학 요소의 다른 처리 가능성도 존재한다. 예로서, 통합된 수소는 적절하다면 또한 보호

총 시스템의 층으로부터, 그리고, 적절하다면, 다층 시스템의 층으로부터, 광학 표면의 방향으로의 확산을 촉진하는 전기장에 의해 제거될 수 있으며, 이 경우에, 통합된 수소는 통상적으로 이온 또는 이온화된 수소의 형태로 존재하여야 한다.

[0038] 본 발명의 다른 특징 및 장점은 본 발명의 필수적 세부사항을 도시하는 도면의 그림을 참조로 하는 본 발명의 예시적 실시예에 대한 이하의 설명으로부터, 그리고 청구범위로부터 명백하다. 개별 특징은 각각 개별적으로 그 자체에 의해 또는 본 발명의 변형의 임의의 조합에서 복수로서 각각 실현될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0039] 예시적 실시예가 개략도에 예시되어 있으며, 이하의 설명에서 설명된다.

도 1은 EUV 리소그래피 장치의 개략적 예시도를 도시한다.

도 2는 3개 층을 갖는 보호층을 광학 요소가 포함하는, 도 1로부터의 EUV 리소그래피 장치를 위한 광학 요소의 개략적 예시도를 도시한다.

도 3a 및 도 3b는 각각 Ce₂O₃로 구성된, 그리고, MoSi₂로 구성된 층 내로의 수소 이온의 침투 깊이의 예시도를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0040] 도면에 대한 이하의 설명에서, 동일한 참조 부호가 동일 또는 기능적으로 동일한 구성요소를 위해 사용된다.

[0041] 도 1은 투영 노광 장치(1)의 형태의 EUV 리소그래피를 위한 광학 시스템을 개략적으로 도시한다. 투영 노광 장치(1)는 비임 생성 시스템(2), 조명 시스템(3) 및 투영 시스템(4)을 포함하며, 이들은 별개의 진공 하우징 내에 수용되고, 비임 성형 시스템(2)의 EUV 광원(5)으로부터 진행하는 비임 경로(6) 내에 연속적으로 배열된다. 예로서, 플라즈마 소스 또는 싱크로트론은 EUV 소스(5)로서 기능할 수 있다. 약 5 nm과 약 20 nm 사이의 파장 범위에서 광원(5)으로부터 발생하는 방사선은 먼저 집광기 거울(7)에서 집광되고, 본 예에서는 약 13.5 nm인 원하는 동작 파장(λ_B)은 모노크로메이터(미도시)에 의해 필터링 제거된다.

[0042] 비임 생성 시스템(2)의 공간적 분포 및 파장에 관하여 처리되는 방사선은 조명 시스템(3) 내로 도입되며, 이는 본 예에서 제1 및 제2 각각의 광학 요소(9, 10)를 갖는다. 두 개의 반사 광학 요소(9, 10)는 방사선을 추가 반사 광학 요소로서의 포토마스크(11) 상으로 안내하고, 이 포토마스크는 투영 시스템(4)에 의해 감소된 스케일로 웨이퍼(12) 상으로 이미징되는 구조를 갖는다. 이 목적을 위해, 제3 및 제4 반사 광학 요소(13, 14)가 투영 시스템(4) 내에 제공된다. 조명 시스템(3) 및 투영 시스템(4) 양자 모두는 각 경우에 단 하나 또는 다르게는 3, 4, 5 또는 그 이상의 반사 광학 요소를 가질 수 있다.

[0043] 도 1로부터의 투영 노광 장치(1)의 하나 이상의 광학 요소(7, 9, 10, 11, 13, 14) 상에 실현될 수 있는 것 같은 광학 요소(50)의 구조는 도 2를 참조로 이하에서 예로서 예시되어 있다. 광학 요소(50)는 예를 들어, Zerodur®, ULE® 또는 Clearceram®로 구성되는 낮은 열 팽창 계수를 갖는 기판 재료로 구성되는 기판(52)을 갖는다. 도 2에 예시된 반사 광학 요소(50)의 경우에, 다층 시스템(51)은 기판(52)에 적용된다. 다층 시스템(51)은 동작 파장(λ_B)에서 굴절 지수의 더 높은 실수부를 갖는 재료의 층(스페이서(55)라고도 지칭됨) 동작 파장(λ_B)에서 굴절 지수의 더 낮은 실수부를 갖는 재료의 층(흡수기(54)라고도 지칭됨)의 교변적으로 인가된 층을 가지며, 여기서, 흡수기-스페이서 쌍은 스택(53)을 형성한다. 다층 시스템(51)의 이러한 구성은 특정 방식으로 그 격자 평면이 브래그 반사가 일어나는 흡수기 층에 대응하는 결정을 모사한다.

[0044] 개별 층(54, 55) 및 반복적 스택(53)의 두께는 어떠한 스펙트럼 또는 각도 의존성 반사 프로파일이 달성되도록 의도되는지에 따라 전체 다층 시스템(51)에 걸쳐 일정하거나 다르게는 변할 수 있다. 또한, 반사 프로파일은 각각의 동작 파장(λ_B)에서 최대 가능 반사율을 증가시키기 위해 추가의 다소 흡수성인 재료에 의해 보완되는 흡수기(54)와 스페이서(55)로 구성되는 기본 구조에 의해 타겟화된 방식으로 영향을 받을 수 있다. 이 목적을 위해, 흡수기 및/또는 스페이서 재료는 일부 스택(53)에서 서로 교환될 수 있거나, 스택들은 하나보다 많은 흡수기 및/또는 스페이서 재료로부터 구성될 수 있다. 흡수기 및 스페이서 재료는 반사율을 최적화하기 위해 모든 스택(53) 전체에 걸쳐 일정하거나 다르게는 변하는 두께를 가질 수 있다. 또한, 예로서, 스페이서와 흡수기 층(55, 54) 사이의 확산 배리어로서 추가적 층을 제공하는 것도 가능하다.

- [0045] 광학 요소(50)가 13.5 nm의 동작 파장(λ_B)에 대해 최적화되는 본 예에서, 즉, 13.5 nm의 파장의 실질적 수직 입사 방사선에 대해 최대 반사율을 갖는 광학 요소(50)의 경우에, 다층 시스템(51)의 스택(53)은 교번적 실리콘 및 몰리브데늄 층을 갖는다. 이 경우에, 실리콘 층은 13.5 nm에서 굴절 지수의 더 높은 실수부를 갖는 층(55)에 대응하고, 몰리브데늄 층은 13.5 nm에서 굴절 지수의 더 낮은 실수부를 갖는 층(54)에 대응한다. 예를 들어, 몰리브데늄과 베릴륨, 류테늄과 베릴륨 또는 란타늄과 B₄C 같은 다른 재료 조합이 동작 파장(λ_B)의 정확한 값에 따라 마찬가지로 가능하다.
- [0046] 도 2로부터의 반사 광학 요소(50)는 진공 환경과 계면을 형성하는 광학 표면(56)을 갖는다. 투영 노광 장치(1)에서, 광학 요소(50)는 통상적으로는 작은 부분의 산소와, 일부의 반응성 수소와, 적절하다면 일부의 주소가 존재하는 잔류 가스 분위기에서 진공 조건 하에서 동작된다. 특히, 광원(5)이 주석 플라즈마에 기초하여 EUV 방사선을 생성하는 경우 주석 화합물(또는 일반적으로는 금속 하이드리드 화합물)이 생성될 수 있으며, 예로서, 광학 요소(50)가 집광기 거울(7)인 경우 광학 요소(50)는 광원(5)에 근접하게 배열된다.
- [0047] 이들에 대해, 가능하게는 다른 오염 물질에 대해 광학 요소(50)를 보호하기 위해, 도 2에 도시된 예에서, 보호 층 시스템(60)이 다층 시스템(51)에 적용되고, 상기 보호층 시스템은 본 예에서 제1 층(57), 제2 층(58) 및 제3 층(59)으로 구성된다. 보호층 시스템(60)의 제1 층(57)(두께(d1)를 가짐)은 다층 시스템(51)의 최상단 층(54)에 바로 인접한 방식으로 배열된다. 제2 층(58)(두께(d2)를 가짐)은 제1 층(57)에 직접적으로 적용된다. 광학 표면(56)에 관한 보호층 시스템(60) 종결부는 제2 층(58)에 직접적으로 적용되는 제3, 최상단층(59)(두께(d3)를 가짐)에 의해 형성된다.
- [0048] 보호층 시스템(60)은 또한 세 개보다 많은 층, 예로서, 4개, 5개 또는 그 이상의 층을 가질 수 있다는 것을 주목하여야 한다. 또한, 적절하다면, 보호층 시스템(60)의 층들 사이에 예로서, 확산 배리어의 기능을 수행함으로써 두 개의 인접한 층(57, 58, 59)의 혼합을 상쇄하는 추가적(얇은) 층이 배열될 수 있다는 것을 주목하여야 한다. 또한, 보호층 시스템(60)은 적절하다면 단지 제1 및 제2 층(57, 58)만을 포함할 수 있다.
- [0049] 보호층 시스템(60)의 세 개의 층(57, 58, 59)은 다양한 기능을 갖는다: 제1 최저위 층(57)은 제2 및/또는 제3 층(58, 59)으로부터 하위 다층 시스템(51) 내로의 수소의 확산을 방지 또는 현저히 감소시키기 위해 확산 배리어로서 기능한다. 이를 달성하기 위해, 제1 층(57)은 수소를 위한 낮은 확산 계수를 갖는다. 이런 낮은 확산 계수는 통상적으로 (분자) 수소를 위한 낮은 용해도(s₁)를 갖는 재료의 경우에 존재하며, 여기서, 이하는 통상적으로 제1 층(57)의 재료를 위해 충족된다: $\ln(s_1) < 3$ 또는 $\ln(s_1) < 1$ 특히, $\ln(s_1) < 0$.
- [0050] 용해도(s₁)는 대기압 하의 수소에 대해 규정되며, 수소 흡수 재료의 100g에 의해 취해지는 (분자) 수소(cm³)의 체적을 나타낸다. 수소의 용해도에 관한 상술한 조건은 예로서, Mo, Ru, Ir, Ni, Fe, Co, Cu를 포함하는 그룹으로부터 선택된 재료에 대해 충족된다. 제1 층(57)의 두께(d1)는 통상적으로 약 0.3 nm과 10 nm 사이, 바람직하게는 0.3 nm과 2 nm 사이이다.
- [0051] 제1 층(57)은 발포, 그리고, 적절하다면, 다층 시스템(51)의 층(55 및/또는 54)의 층 분리를 초래할 수 있는 수소에 대해 하위 다층 시스템(51), 특히, 실리콘 층(55)을 보호한다. 수소를 위한 제1 층(57)의 비교적 낮은 용해도(s₁)는 적절한 경우 실제로 제1 층(57) 자체에서 증가된 정도로 발포가 시작되고 층 분리를 초래하는 효과를 가질 수 있다. 층 분리를 초래할 수 있는 발포는 수소에 대한 낮은 용해도를 갖는 재료의 경우에 대체로 공극 또는 불완전부에서 형성된다. 따라서, 제1 층(57)이 특히 제1 층이 비정질 재료로 또는 단결정 재료로 구성되는 경우 보증될 수 있는 공극 또는 불완전부가 가능한 없는 것이 바람직하다. 제1 층(57)은 또한, 가능한 완전하게 하위 다층 시스템(51) 내로의 수소의 확산을 방지하기 위해 가능한 소형이어야 한다.
- [0052] 광학 표면(56)을 통한 보호층 시스템(60) 내로의 수소의 확산 이외에, 수소는 또한 수소 이온 또는 수소 라디칼의 형태로 보호층 시스템(60) 내로 주입될 수 있다. 이는 특히, 광원(5)에 근접한 경우에 그러하며, 그 이유는 이온화된 수소 원자 또는 수소 라디칼이 그곳에 존재하고 이는 대략 100 eV 이상이 일 수 있는 높은 운동학적 에너지를 가질 수 있기 때문이다.
- [0053] 보호층 시스템(60) 내로의 반응성 수소의 침투 깊이는 재료 의존적이며, 통상적으로는 다양한 재료 내로의 침투 깊이에 대한 컴퓨터 시뮬레이션에 기초하여 발견되는 바와 같이 약 10 nm 내지 약 15 nm의 크기 정도이다. 예로서, Ce₂O₃를 위한 이런 시뮬레이션의 결과가 도 3a에 예시되어 있다. 비록, 또한, MoSi₂에 대한 예로서 도 3b의 다른 시뮬레이션의 결과로 도시된 바와 같이, 반응성 수소의 침투 깊이가 실제로 10 nm(100 Å에 대응)을 초

과하지 않는 재료가 존재하지만, 반응성 수소의 침투 깊이에 사용되는 재료의 영향은 특히 금속 재료 또는 그 산화물(즉, 금속 산화물)이 층(57, 58, 59)을 위한 재료로서 사용되는 경우 전체적으로 매우 낮다.

[0054] 수소 이온의 제1 층(57) 내로의 주입을 크게 방지하기 위해서, 제2 층(58)이 약 5 nm과 25 nm 사이, 특히, 약 10 nm과 약 15 nm 사이의 두께를 가지는 경우가 바람직한 것으로 검증되었으며, 정확한 값은 대응 층 재료 내로의 수소의 침투 깊이에 의존하고, 이 경우, EUV 방사선의 반사율의 손실이 또한 고려되어야 하며, 상기 손실은 두께와 함께 증가한다.

[0055] 제2 층(58) 내로의 수소의 주입의 결과로서 발포가 가장 큰 가능한 정도로 방지되기 위해서, 제2 층(58)은 제1 층(57)보다 수소에 대해 높은 용해도(s_2)를 가지며, 여기서, 제2 층(58)의 수소를 위한 용해도(s_2)를 위해 이하가 참으로 유지되는 것이 바람직하다: $\ln(s_2) > 5$, 특히, $\ln(s_2) > 7$. 이 조건은 예로서, Zr, Ti, Th, V, Pd를 포함하는 그룹으로부터 선택되는 재료에 대해 충족된다. 수소에 대해 높은 용해도를 갖는 재료의 경우에, 발포는 통상적으로 (금속) 하이드리드의 형성의 결과로서 발생하며, 여기서, 발포를 향한 경향은 통상적으로 수소의 더 낮은 용해도를 갖는 재료에 비해 수소에 대한 더 높은 용해도를 갖는 경우 현저히 감소된다.

[0056] 층(58)의 구조에 관하여, 제2 층은 다결정 및/또는 개방 공극 재료로 형성되는 것이 바람직한 것으로 판명되었다. 다결정 재료는 입자 경계를 가지며, 이 입자 경계에 수소가 부착될 수 있고, 그래서, 제2 층을 구성하는 재료의 수소에 대한 용해도가 예를 들어, 비정질 또는 단결정 구조에 비해 증가될 수 있다. 또한, 수소는 개방 공극 재료(또는 적절하다면, 폐쇄 공극을 갖는 재료)의 공극에 통합될 수도 있다. 스폰지의 방식으로 개방 공극 재료의 사용, 특히, 개방 공극이 제2 층(58)의 두께 방향을 따라 연장하는 채널을 형성하는 재료의 사용은 이 경우에, 제2 층(58)의 재료 내로 주입된 수소가 특히 간단한 방식으로 확산에 의해 상방으로, 즉, 광학 표면(56)으로 수송되고, 그곳으로부터 보호층(60)으로부터 탈출할 수 있게되기 때문에 유리한 것으로 검증되었다. 이는 특히 수소 흡수 제2 층(58)이 수소 포화를 겪게되는 것을 방지할 수 있게 한다.

[0057] 보호층 시스템(60)으로부터 수소의 탈출을 촉진하기 위해, 제3, 최상단 층(59)이 350K의 온도에서 10^{-27} $\text{cm}^4/(\text{atom s})$ 보다 큰, 특히, 10^{-19} $\text{cm}^4/(\text{atoms s})$ 보다 큰 수소에 대한 재조합율(k_r)을 갖는 재료로 형성된다. 재조합율(k_r)은 표면에서 흡수된 수소 원자/이온/라디칼이 얼마나 쉽게 수소 분자를 형성하도록 재조합되고 표면으로부터 제거될 수 있는지를 나타낸다. 따라서, 광학 표면(56)을 통한 수소의 내부확산을 억제하고, 광학 표면(56)을 통한 수소의 외부확산을 촉진하기 위해 높은 재조합율이 바람직하다.

[0058] 특히, 높은 재조합율(k_r)은 잔류 가스 환경과 계면을 형성하는 광학 표면(56)에서 수소 분자 또는 수소 원자의 흡수의 결과로서 수소 원자가 보호층 시스템의 최상단 층(59) 내로, 그리고, 하위 층(57, 58) 내로 확산할 수 있는 상황을 방지할 수 있다.

[0059] 수소를 위한 높은 재조합율을 갖는 재료는 통상적으로 수소를 흡수하거나 흡열식으로 수소를 흡수하는 재료이며, 이는 Mo, Ru, Cu, Ni, Fe, Pd, V, Nb를 포함하는 그룹으로부터 선택된 또는 이들 재료의 산화물로부터 선택된 재료에 대해 그러하다.

[0060] 광학 표면(56)이 형성되는 최상단 층(59)을 위한 적절한 재료의 선택은 또한 광학 요소(50)의 잔류 가스 환경에 존재하는 오염 물질이 각각의 재료의 광학 표면(56)에 부착될 가능성성이 얼마나 높은지에 의존하며, 그 이유는 수소를 위한 재조합율(k_r)이 광학 표면(56)의 오염 정도에 의존하고, 오염 정도가 증가함에 따라 감소하기 때문이다. 따라서, 예로서, 광학 요소(50)가 EUV 광원(5) 부근에서 사용되고 주석 또는 일반적으로 금속 하이드리드 화합물의 형태의 오염물에 노출되는 경우에 대하여, 광학 표면(56)에서의 오염의 결과로서 수소를 위한 재조합율(k_r)이 감소하지 않거나 단지 미소하게 감소하도록 대응 오염물이 단지 작은 정도로만 부착되는 최상단 층(59)을 위한 재료를 선택하는 것이 가능하다. 예로서, 층 재료로서의 Ru에 대하여, 이는 광학 표면(56)에 부착되는 주석을 향한 비교적 높은 경향을 가지며, 그래서, 이 재료는 -대응 세정이 실행되지 않는 한- EUV 광원이 주석 플라즈마에 의해 EUV 방사선을 생성하는 경우 EUV 광원(5)에 근접한 광학 요소(50)를 위해서는 사용되지 않아야 한다는 것이 알려져 있다.

[0061] 적절하다면, 광학 요소(50)는 또한 여기서 설명된 특성을 갖는 최상단 층(59)을 가지면서 추가로 상술된 제1 층(57) 및 제2 층(58)의 특성을 갖지 않는 층이 없거나, 하나 또는 복수를 가지는 보호층(60)을 가질 수 있다. 특히, 제1 층(57)과 제2 층(58) 사이에서 층(57, 58, 59) 사이의 계면은 수소가 그곳에 부착되어 계면에서 발포를 시작하는 것을 방지하기 위해 가능한 최소 수의 결함을 가져야 한다. 결함의 수의 감소는 예를

들어, 청정실 조건 하에서 적용되는 코팅에 의해 코팅 또는 층(57, 58, 59)의 적용 동안 미립자 부하를 감소시킴으로써 달성될 수 있다. 적절하다면, 각각의 층(57, 58, 59)의 적용의 종결 이후 또는 코팅 동안, 평활화 방법이 또한 수행되어 결함의 수를 감소시킬 수 있다. 코팅 동안 충형성 입자의 운동학적 에너지의 제어도 결함 수의 감소에 기여한다. 또한, 사용되는 층(57, 58, 59)은 가능한 최소의 내부 응력을 가져야 한다. 물론, 통상적으로, 특히, 기상 증착에 의해 종래의 코팅 프로세스에 의해 적용될 수 있는 재료만이 층(57, 58, 59)을 위해 사용된다.

[0062] 도 2와 연계하여 추가로 상술된 방식으로 구현되고 예로서, EUV 광원(5)의 부근에 수소 플라즈마를 포함하거나 활성화된 수소를 포함하는 잔류 분위기에서 과도하게 긴 시간 기간에 걸쳐 배열되는 보호층 시스템(60)을 갖는 광학 요소(50)의 경우에도, 시간적으로 특정한 지점에서, 보호층 시스템의 개별 층(57, 58, 59), 그리고 적절하다면, 다층 시스템(51)의 층(54, 55)의 수소 농도가 너무 높아져서 층 제거 또는 박리가 발생하며, 이것이 광학 요소(50)의 반사율의 극적 감소를 초래할 수 있는 상황이 발생할 수 있다.

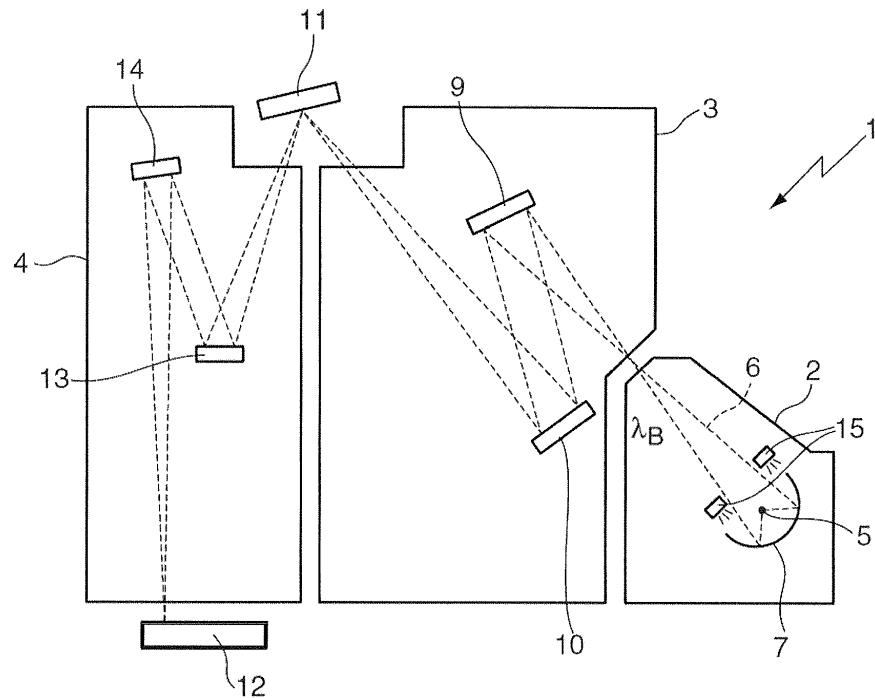
[0063] 따라서, 때때로, 또는 특정 간격으로, 광학 요소(50)의 처리는 보호층 시스템(60)의 층(57, 58, 59)로부터, 그리고, 적절하다면, 다층 시스템(51)의 층(54, 55)으로부터 적어도 부분적으로 통합된 수소를 제거하는 것이 권장될 수 있다. 도 1은 예로서, 집광기 거울(7)을 처리하기 위한 처리 장치를 도시하며, 이 장치는 온도 조정 장치(15)로서 기능하며, 본 예에서는 집광기 거울(7), 더 정확하게는 그 광학 표면(56)(도 2 참조)에 열적 방사선을 인가하기 위한 IR 에미터로서 설계되며, 그래서, 열적 방사선은 50°C보다 높은, 바람직하게는 100°C보다 높은 온도로 이를 가열하고, 따라서, 보호층 시스템(60)의 층(57, 58, 59)으로부터 광학 표면(56)으로의 수소의 수송을 발생시키기 위해 직접적으로 보호층 시스템 상에 또는 다층 시스템 상에 작용할 수 있으며, 상기 광학 표면(56)으로부터 통합된 수소가 환경으로 방출될 수 있다.

[0064] 물론, 광학 요소(50)의 열적 처리에 추가로 또는 대안으로, 또한, 보호층 시스템(60)으로부터 또는 다층 시스템(51)으로부터 예로서 수소가 이온화된 형태로 존재하는 경우 광학 표면(56)의 방향으로 수소의 확산을 촉진하는 전기장의 사용에 의해 상기 수소를 제거하기 위해서 수소가 광학 표면(56)으로 수송될 수 있게 하는 광학 요소(50)의 처리를 위한 다른 가능성도 존재한다. 열적 처리 또는 다르게 구성된 광학 요소(50)의 처리 동안, 특히, 제2 층(58)에 통합되거나 흡수된 산소가 적어도 부분적으로 방면되는 것이 가능하며, 그 결과로, 수소 흡수 제2 층(58)이 수소 포화를 겪게되는 것을 방지할 수 있다.

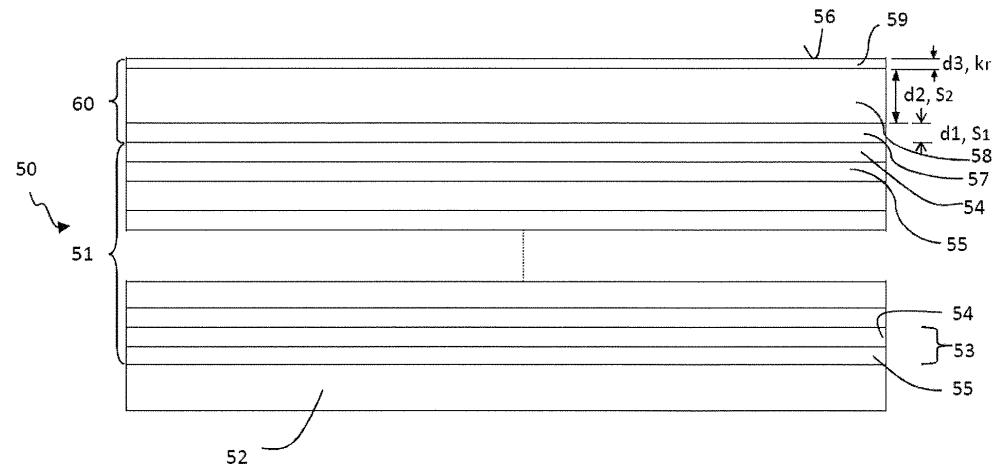
[0065] 요약하면, 반응성 수소의 존재 하에서의 광학 요소(50)의 영구적 동작이 상술한 방식으로 가능해지며, 그 이유는, 다층 시스템(51)에 추가로, 보호층 시스템(60)의 경우에, 역시, 통합 또는 주입된 수소에 기인한 발포는 - 적어도- 지연된 형태로만, 즉, 매우 긴 시간 규모에 걸쳐서만 발생하며, 이러한 매우 긴 시간 규모는 광학 요소(50)가 설치 및 동작되는 EUV 리소그래피를 위한 광학 시스템의 또는 EUV 리소그래피 장치(1)의 사용 수명에 대응하기 때문이다. 특히, 다공성 구조를 갖는 제2 층(58)의 경우에 3개 층(57, 58, 59)의 특성을 적절히 선택하면, 광학 요소(50)의 반사율은 보호층 시스템(60)에 의해 단지 비교적 작은 정도로만 감소된다.

도면

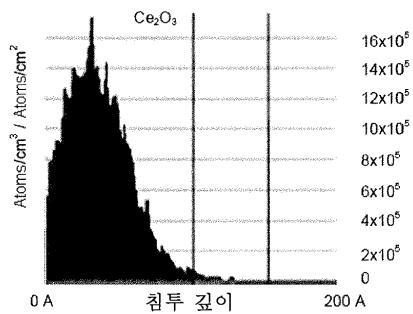
도면1



도면2



도면3a



도면3b

