



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년10월18일
 (11) 등록번호 10-1895083
 (24) 등록일자 2018년08월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G02B 27/18 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)
 G21K 1/06 (2006.01) H01L 21/027 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2013-7002566
 (22) 출원일자(국제) 2011년07월28일
 심사청구일자 2016년07월13일
 (85) 번역문제출일자 2013년01월30일
 (65) 공개번호 10-2013-0096231
 (43) 공개일자 2013년08월29일
 (86) 국제출원번호 PCT/EP2011/062996
 (87) 국제공개번호 WO 2012/013747
 국제공개일자 2012년02월02일
 (30) 우선권주장
 61/369,142 2010년07월30일 미국(US)
 (56) 선행기술조사문헌
 WO2009026970 A1*
 (뒷면에 계속)

(73) 특허권자
 칼 짜이스 에스엠티 게엠베하
 독일 오버코헨 73447 루돌프-에버-슈트라쎬 2
 에이에스엠엘 네덜란드 비.브이.
 네덜란드 디알 벨드호펜 5504 데 룬 6501
 (72) 발명자
 바에르, 노르만
 독일연방공화국, 73430 아알렌, 브루넨슈트라쎬 15
 로어링, 올리히
 독일연방공화국, 73525 슈바에비슈 그렌트, 코른 하우스슈트라쎬 21
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
 한양특허법인

전체 청구항 수 : 총 25 항

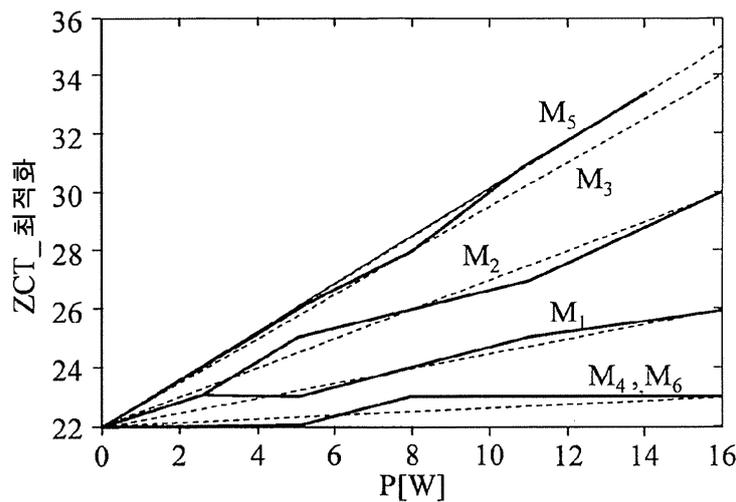
심사관 : 하정균

(54) 발명의 명칭 EUV 노광 장치

(57) 요약

투영 렌즈가 EUV 광의 노광 파위로 노광되면, 레티클 상의 오브젝트 필드를 기관 상의 이미지 필드로 투영하는 바디 및 반사면을 각각 포함하는 적어도 2개의 반사 광학 소자를 포함하고, 적어도 2개의 반사 광학 소자의 바디는 각각의 제로 크로스 온도에서 제로인 열 팽창의 온도 증속 계수를 갖는 재료를 포함하고, 제로 크로스 온도 사이의 차이의 절대 값은 6K보다 큰, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈가 제공된다.

대표도 - 도9



(72) 발명자

나트, 올리버

독일연방공화국, 73431 아알렌, 포그틀란트슈트라
췌 1

뷔티히, 게로

독일연방공화국, 73433 아알렌, 에드문드-콜러-슈
트라췌 35/1

라우퍼, 티모

독일연방공화국, 70180 스투트가르트, 팡겔스바흐
슈트라췌 26

퀘르쯔, 페데르

독일연방공화국, 73430 아알렌, 쟈펠린슈트라췌 69

림바흐, 귀도

독일연방공화국, 73434 아알렌, 네쓰라우에르 슈트
라췌 95

헴바허, 슈테판

독일연방공화국, 86399 보빙겐, 부싸드베그 7

발터, 홀거

독일연방공화국, 73453 압츠그웬트, 콜로니에 20

관, 임-분-패트릭

독일연방공화국, 73431 아알렌, 바르델란트슈트라
췌 68

하우프, 마르쿠스

독일연방공화국, 89075 울름, 하펜버그 4

스티켈, 프란츠-요세프

독일연방공화국, 73431 아알렌, 레췌슈트라췌 9

판 슈트, 얀

네덜란드, 엔엘-5632 엑스엔 아인트호벤, 시트루쇼
프 8

(56) 선행기술조사문헌

JP2001196305 A*

JP2005244012 A*

JP2005064391 A*

WO2004034447 A1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈로서,

EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 조명 시스템에 의해 조명될 때, 레티클로부터 반사되는 EUV 광의 노광 파워(exposure power)로 투영 렌즈가 노광되면, 상기 레티클 상의 오브젝트 필드를 기관 상의 이미지 필드로 투영하기 위한 반사면(MS_i) 및 바디(MB_i)를 각각 포함하는 적어도 2개의 반사 광학 소자(M_i)를 포함하고,

상기 적어도 2개의 반사 광학 소자의 바디들(MB_m , MB_n)은 각각의 제로 크로스(zero cross) 온도들(T_{0m} , T_{0n})에서 제로인 열 팽창의 온도 종속 계수를 갖는 재료를 포함하고,

상기 제로 크로스 온도들(T_{0m} , T_{0n}) 사이의 차이의 절대 값은 6K보다 크며, $abs(T_{0m} - T_{0n}) > 6K$ 로 표현되고,

상기 투영 렌즈가 50 nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는 EUV 광의 8W보다 큰 노광 파워로 노광되도록 설계되어 있는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

4개 또는 6개의 반사 광학 소자(M_i)를 포함하고,

상기 투영 렌즈는 10W보다 큰 노광 파워로 노광되도록 설계되고,

상기 제로 크로스 온도들(T_{0m} , T_{0n}) 사이의 차이의 절대 값은 8K보다 크며, $abs(T_{0m} - T_{0n}) > 8K$ 로 표현되는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 반사 광학 소자들(M_i)을 수동적으로 또는 능동적으로 지지하는 지지 구조로서, 상기 지지 구조의 적어도 일부의 온도는 기준 온도(T_{Ref})인, 지지 구조;

상기 각각의 제로 크로스 온도들(T_{0m} , T_{0n})에서 제로인 열 팽창의 온도 종속 계수를 갖는 재료를 포함하는 상기 바디들(MB_n , MB_m) 중 적어도 하나를 가열하기 위한 히터; 및

상기 적어도 하나의 가열가능한 바디(MB_n , MB_m)의 온도를 온도(T_k)로 제어하기 위한 온도 제어 시스템을 포함하는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 히터의 작동없이, 조명되는 레티클에 의해 반사되고, 조명 세팅에 따른 세기, 편광 및 각도의 공간 분포를 포함하는 EUV 광에 의한 상기 바디들(MB_n , MB_m)의 반사면들(MS_m 및 MS_n)의 노광은, 각각의 평균 및 최대 온도들(ΔT_{nav} , ΔT_{mav} 및 ΔT_{nmax} , ΔT_{mmax})과 더불어 상기 기준 온도(T_{Ref})에 대한 상기 바디들(MB_n , MB_m)의 온도 분포들 $\Delta T_n(x,y,z) = (T_n(x,y,z) - T_{Ref})$, $\Delta T_m(x,y,z) = (T_m(x,y,z) - T_{Ref})$ 을 초래하고,

적어도 하나의 상기 제로 크로스 온도(T_{0m} , T_{0n})는, 각각의 공간 온도 분포 $\Delta T_n(x,y,z)$, $\Delta T_m(x,y,z)$ 에 기초하는, 각각의 평균 또는 최대 온도 $\Delta T_{mav} + T_{ref}$ 또는 $\Delta T_{nmax} + T_{ref}$, $\Delta T_{nav} + T_{ref}$ 또는 $\Delta T_{nmax} + T_{ref}$ 와 가장 높

은 기준 온도(T_{Ref})의 최대 값보다 크고, $T_{0m} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mav} + T_{ref})$, $T_{0m} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax} + T_{ref})$ 또는 $T_{0n} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nav} + T_{Ref})$, $T_{0n} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax} + T_{ref})$ 로 표현되는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 제로 크로스 온도들(T_{0m} , T_{0n})을 포함하는 재료들은, 제조로 인해 제로 크로스 온도의 그 자신들의 실제 값에 관하여 변화하여, 각각의 제조 허용 오차(manufacturing tolerance)들(ΔT_{0m} , ΔT_{0n})을 초래함으로써, 제로 크로스 온도의 각각의 실제 값들이 간격 $T_{0m} \pm \Delta T_{0m}$ 및 $T_{0n} \pm \Delta T_{0n}$ 내에 있고,

적어도 하나의 제로 크로스 온도(T_{0m} , T_{0n})는, 각각의 제조 허용 오차들(ΔT_{0m} , ΔT_{0n})의 절대 값만큼 증가되고, 각각의 공간 온도 분포 $\Delta T_m(x,y,z)$, $\Delta T_n(x,y,z)$ 에 기초하는, 각각의 평균 또는 최대 온도 $\Delta T_{mav} + T_{Ref}$ 또는 $\Delta T_{mmax} + T_{Ref}$, $\Delta T_{nav} + T_{Ref}$ 또는 $\Delta T_{nmax} + T_{Ref}$ 와 가장 높은 기준 온도(T_{Ref})의 최대 값보다 크며, $T_{0m} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mav} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0m}|$, $T_{0m} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0m}|$ 또는 $T_{0n} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nav} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0n}|$, $T_{0n} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0n}|$ 로 표현되는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 6

청구항 4에 있어서,

상기 적어도 하나의 가열된 바디(MB_n , MB_m)의 온도(T_k)는, 상기 각각의 제로 크로스 온도(T_{0m} , T_{0n})를 중심으로 하여 $\pm 5K$ 의 간격 내에 있는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 7

청구항 3에 있어서,

상기 투영 렌즈가 EUV 광의 노광 파워로 노광되기 전에, 상기 적어도 하나의 가열된 바디(MB_n , MB_m)의 온도(T_k)는, 제1 가열 파워로 상기 히터를 가열함으로써, 그 자신의 값으로 제어되는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 투영 렌즈를 EUV 광의 노광 파워로 노광하는 동안에, 상기 히터의 가열 파워는 상기 제1 가열 파워보다 작은, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 9

청구항 7에 있어서,

상기 온도 제어 시스템은, 상기 적어도 하나의 바디(MB_n , MB_m)를 가열하는 상기 히터의 가열 파워와 상기 적어도 하나의 가열된 바디(MB_n , MB_m)에 의해 흡수되는 EUV 광의 노광 파워가 시간상 일정하도록 온도(T_k)를 제어하는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 10

청구항 3에 있어서,

상기 적어도 하나의 가열된 바디(MB_n , MB_m)는 상기 바디의 병진 운동을 위해 액츄에이터에 연결되는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 11

청구항 3에 있어서,

상기 적어도 하나의 바디(MB_n , MB_m)를 가열하기 위한 상기 히터는, IR 발광 다이오드, 펄티에 소자, 광 파이버, 도광 로드 및 IR 레이저로 이루어진 그룹으로부터 선택된 가열 소자들을 포함하는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 가열 소자들은 미리 정해진 공간 좌표에서 일차원 또는 이차원으로 배열되어 그리드 구조를 형성하는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 13

청구항 11에 있어서,

IR 방사(radiation)를 방출하거나 안내하는 가열 소자는, 상기 IR 방사를 구성하기 위한 광학 장치(optical arrangement)를 포함하며, 상기 광학 장치는, 콜리메이터, 포커싱 렌즈, 조정가능한 렌즈, 미러 및 회절 광학 소자로 이루어지는 그룹에서 선택된 장치 요소들을 포함하며, 상기 장치 요소들은 적어도 축 주위로 틸트될 수 있는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 14

청구항 11에 있어서,

상기 적어도 하나의 바디(MB_n , MB_m)는 미러 바디내의 또는 상기 미러 바디상의 변형을 포함하며, 상기 변형은 리세스, 블라인드 홀, 규정된 표면 거칠기, 회절 구조, 구형 돌기, 구형 리세스 및 표면 곡률로 이루어지는 그룹에서 선택되는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 15

청구항 1 또는 청구항 2에 기재된 투영 렌즈를 포함하는 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템.

청구항 16

EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈로서,

적어도 2개의 반사 광학 소자(M_i)로서, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 조명 시스템에 의해 조명될 때, 레티클로부터 반사되고, 50 nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는 EUV 광의 노광 파워로 투영 렌즈가 노광되면, 상기 레티클 상의 오브젝트 필드를 기관 상의 이미지 필드로 투영하기 위한 반사면(MS_i) 및 바디(MB_i)를 각각 포함하는 적어도 2개의 반사 광학 소자(M_i)를 포함하며,

상기 적어도 2개의 반사 광학 소자의 바디(MB_m , MB_n)는 각각의 제로 크로스 온도들(T_{0m} , T_{0n})에서 제로인 열 팽창의 온도 증속 계수를 갖는 재료를 포함하고,

상기 렌즈는,

상기 반사 광학 소자들(M_i)을 수동적으로 또는 능동적으로 지지하는 지지 구조로서, 상기 지지 구조의 적어도 일부의 온도는 기준 온도(T_{Ref})인, 지지 구조;

상기 제로 크로스 온도(T_{0m} , T_{0n})를 갖는 재료를 포함하는 적어도 하나의 바디(MB_n , MB_m)를 가열하기 위한 히터; 및

상기 적어도 하나의 가열된 바디(MB_n , MB_m)의 온도를 온도(T_k)로 제어하기 위한 온도 제어 시스템을 포함하고,

상기 히터로 상기 바디들(MB_n , MB_m)을 가열하지 않고, 조명되는 레티클에 의해 반사되고, 조명 세팅에 따른 세기, 편광 및 각도의 공간 분포를 포함하는 EUV 광의 노광 파워에 의한 반사면들(MS_m 및 MS_n)의 노광은, 각각의

평균 온도 및 최대 온도(ΔT_{nav} , ΔT_{mav} 및 ΔT_{nmax} , ΔT_{mmax})와 더불어 기준 온도(T_{Ref})에 대한 바디(MB_n , MB_m)의 온도 분포들 $\Delta T_n(x,y,z) = (T_n(x,y,z) - T_{Ref})$, $\Delta T_m(x,y,z) = (T_m(x,y,z) - T_{Ref})$ 을 초래하고,

적어도 하나의 제로 크로스 온도(T_{0n} , T_{0m})는, 각각의 공간 온도 분포 $\Delta T_m(x,y,z)$, $\Delta T_n(x,y,z)$ 에 기초하는, 기준 온도가 더해진 각각의 평균 또는 최대 온도 $\Delta T_{mav} + T_{ref}$ 또는 $\Delta T_{mmax} + T_{Ref}$, $\Delta T_{nav} + T_{Ref}$ 또는 $\Delta T_{nmax} + T_{Ref}$)와 가장 높은 기준 온도(T_{Ref})의 최대 값보다 크고, $T_{0m} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mav} + T_{Ref})$, $T_{0m} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax} + T_{Ref})$ 또는 $T_{0n} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nav} + T_{Ref})$, $T_{0n} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax} + T_{Ref})$ 로 표현되며,

상기 제로 크로스 온도(T_{0n} , T_{0m})는 상기 반사 광학 소자를 지지하는 지지 구조의 온도인 기준 온도 T_{Ref} 보다 높은 것을 특징으로 하는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 17

EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈로서,

적어도 2개의 반사 광학 소자(M_i)로서, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 조명 시스템에 의해 조명되는 동안, 레티클로부터 반사되고, 50 nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는 EUV 광의 노광 파워로 상기 투영 렌즈가 노광되면, 상기 레티클 상의 오브젝트 필드를 기관 상의 이미지 필드로 투영하기 위한 반사면(MS_i) 및 바디(MB_i)를 각각 포함하는 적어도 2개의 반사 광학 소자(M_i)를 포함하며,

상기 적어도 2개의 반사 광학 소자들의 바디들(MB_n , MB_m)은 적어도 2개의 제로 크로스 온도(T_{0mn}^1 , T_{0mn}^2)에서 제로인 열 팽창의 온도 종속 계수를 갖는 재료를 포함하고,

상기 렌즈는,

상기 반사 광학 소자(M_i)를 수동적으로 또는 능동적으로 지지하는 지지 구조로서, 상기 지지 구조의 적어도 일부의 온도는 기준 온도(T_{Ref})인, 지지 구조;

상기 적어도 2개의 바디(MB_n , MB_m)를 독립적으로 가열 및/또는 냉각하기 위한 적어도 2개의 템퍼링(tempering) 수단; 및

적어도 2개의 가열되거나 또는 냉각된 상기 바디(MB_n , MB_m)의 온도를 각각의 온도(T_{kn} , T_{km})로 독립적으로 제어하는 온도 제어 시스템을 포함하고,

EUV 광의 노광 파워에 의한 상기 렌즈의 노광 동안, 온도 제어된 바디(MB_n)의 온도(T_{kn})는, 제1 제로 크로스 온도들(T_{0mn}^1)을 중심으로 하여 $\pm 5K$ 의 간격내에 있고, 상기 온도 제어된 바디(MB_m)의 온도들(T_{km})은, 제2 제로 크로스 온도(T_{0mn}^2)를 중심으로 하여 $\pm 5K$ 의 간격내에 있는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 18

EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈로서,

복수의 반사 광학 소자(M_i)로서, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 조명 시스템에 의해 조명될 때, 레티클로부터 반사되고, 50nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는 EUV 광의 노광 파워로 상기 투영 렌즈가 노광되면, 레티클 상의 오브젝트 필드를 기관 상의 이미지 필드로 투영하기 위한 바디(MB_i) 및 반사면(MS_i)을 각각 포함하는 복수의 반사 광학 소자(M_i);

상기 반사 광학 소자들(M_i)을 수동적으로 또는 능동적으로 지지하는 지지 구조로서, 상기 지지 구조의 적어도 일부의 온도는 기준 온도(T_{Ref})인, 지지 구조;

히터를 가열하지 않고 상기 투영 렌즈가 노광 파워로 노광될 때, 상기 기준 온도(T_{Ref})에 대하여 공간 온도 분포 $\Delta T(x,y,z) = (T(x,y,z) - T_{Ref})$ 가 형성된 적어도 하나의 광학 소자(M_k)를 가열하기 위한 히터로서, 상기 온도

분포 $\Delta T(x,y,z)$ 는 평균 온도(ΔT_{av}) 및 최대 온도(ΔT_{max})를 갖는, 히터; 및

상기 적어도 하나의 광학 소자(M_k)의 온도를 온도(T_k)로 제어하기 위한 온도 제어 시스템으로서, 적어도 하나의 가열된 반사 광학 소자(M_k)의 바디(MB_k)는, 기준 온도(T_{Ref}) 보다 높은 온도에서의 온도(T_{Ok})에서 제로인 열 팽창의 온도 종속 계수를 갖는 재료를 포함하는, 온도 제어 시스템을 포함하며,

노광 파워로 노광되기 전에, 히터로 가열하는 것에 의해 상기 광학 소자(M_k)는 온도(T_k)를 가지며, 상기 온도는, $T_k = T_{Ok} - \Delta T_{av}$; $T_k = 2 * T_{Ok} - T_{Ref} - \Delta T_{av}$; $T_k = T_{Ref} + 3 * (T_{Ok} - T_{Ref}) / 2 - \Delta T_{av}$; $T_k = T_{Ok} - \Delta T_{max}$; $T_k = 2 * T_{Ok} - T_{Ref} - \Delta T_{max}$; $T_k = T_{Ref} + 3 * (T_{Ok} - T_{Ref}) / 2 - \Delta T_{max}$ 로 이루어지는 그룹에서 선택되는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 19

EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈로서,

EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 조명 시스템에 의해 조명될 때, 레티클로부터 반사되고, 50nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는 EUV 광의 노광 파워로 투영 렌즈가 노광되면, 상기 레티클 상의 오브젝트 필드를 기관 상의 이미지 필드로 투영하기 위한 반사면(MS_i) 및 바디(MB_i)를 각각 포함하는 복수의 반사 광학 소자(M_i)를 포함하고, 상기 렌즈는:

연결 포인트, 양각대(bipod) 구조, 연결 소자, 지지 소자 및 하우징 구조로 이루어지는 그룹으로부터 선택되는 감온 소자를 포함하고, 적어도 하나의 광학 소자(M_k)를 수동적으로 또는 능동적으로 지지하는 지지 수단을 포함하고,

상기 감온 소자는 상수 또는 미리 정해진 온도로 제어되고, 상기 렌즈는:

상기 적어도 하나의 광학 소자(M_k)를 온도(T_k)로 가열하고 및/또는 냉각하기 위한 제 1 온도링 소자,

상기 감온 소자를 미리 정해진 상기 온도로 온도링하기 위한 제 2 온도링 소자를 더 포함하며,

상기 제 2 온도링 소자는 상기 감온 소자와 상기 제 1 온도링 소자 사이에서 공간적으로 배열되고, 상기 제 1 온도링 소자는 펠티에 소자 - 상기 펠티에 소자는 상기 펠티에 소자의 표면에 컬러의 하나의 표면을 열적으로 결합함으로써 상기 컬러로 동작하는 상기 제 2 온도링 소자에 결합됨 - 를 포함하거나 또는 상기 제 1 온도링 소자는 상기 적어도 하나의 광학 소자(M_k)의 바디(MB_k)가 반투과인 방사를 방출하는 방사원을 포함하는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 20

청구항 19에 있어서, 상기 방사원은 IR 발광 다이오드, 광 파이버, 도광 로드 및 IR 레이저로 이루어진 그룹으로부터 선택되는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 21

EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈로서,

EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 조명 시스템에 의해 조명될 때, 레티클로부터 반사되고, 50nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는 EUV 광의 노광 파워로 투영 렌즈가 노광되면, 상기 레티클 상의 오브젝트 필드를 기관 상의 이미지 필드로 투영하기 위한 반사면(MS_i) 및 바디(MB_i)를 각각 포함하는 복수의 반사 광학 소자(M_i)를 포함하고, 상기 렌즈는

적어도 하나의 광학 소자(M_k)를 수동적으로 또는 능동적으로 지지하는 지지 수단,

상기 적어도 하나의 반사 광학 소자(M_k)의 주위 내의 압력(Δp)의 제어를 위한 압력 제어 시스템을 포함하고,

상기 제어는 상기 광학 소자(M_k)의 온도, 시간, 상기 광학 소자(M_k)의 온도에 직접적으로 또는 간접적으로 영향을 주는 파라미터, 조명 세팅, 레티클의 변화, 상기 광학 소자(M_k) 또는 투영 렌즈의 열적 또는 기계적으로 유도된 광 수차 데이터 및 모델로부터의 출력 파라미터로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 파라미터를 기반으로

하고,

모델 입력은 상기 반사 광학 소자(M_k)의 온도, 시간, 상기 광학 소자(M_k)의 온도에 직접적으로 또는 간접적으로 영향을 주는 파라미터, 조명 세팅, 상기 광학 소자(M_k) 또는 투영 렌즈의 열적 또는 기계적으로 유도된 광 수차 데이터 및 레티클의 변화로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 데이터를 포함하고,

상기 적어도 하나의 반사 광학 소자(M_k)의 제로 크로스 온도는 상기 반사 광학 소자를 지지하는 지지 수단의 온도인 기준 온도(T_{ref})보다 높은 것을 특징으로 하는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 22

EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈로서,

EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 조명 시스템에 의해 조명되는 동안, 레티클로부터 반사되고, 50nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는 EUV 광의 노광 파워로 투영 렌즈가 노광되면, 상기 레티클 상의 오브젝트 필드를 기관 상의 이미지 필드로 투영하기 위한 반사면(MS_i) 및 바디(MB_i)를 각각 포함하는 복수의 반사 광학 소자(M_i)를 포함하고,

적어도 하나의 반사 광학 소자(M_k)는 제로 크로스 온도(T_{0k})에서 제로인 열 팽창의 온도 종속 계수를 갖는 재료를 포함하며,

상기 광학 소자(M_k)의 바디(MB_k)는 IR 방사에 반투과성이며,

그 자신의 바디(MB_k)를 갖는 적어도 하나의 반사 광학 소자(M_k)는 상기 바디(MB_k) 상의 또는 그 전체 표면 상의 코팅(C)을 포함하며,

상기 코팅(C)은 상기 바디(MB_k) 내에서 IR 방사를 반사하는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 23

미러로서,

바디(MB_k) 및 반사면(MS_k),

제로 크로스 온도(T_{0k})에서 제로인 열 팽창의 온도 종속 계수를 갖는 재료를 포함하고,

상기 바디(MB_k)는 저항성 코팅(C2)으로 적어도 부분적으로 코팅되고, 상기 저항성 코팅(C2)은 전기 저항성 가열에 의해 상기 바디를 가열하기에 적절한 전기 저항을 가지며,

상기 미러는, 50nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는 EUV 광의 노광 파워로 투영 렌즈가 노광되는 경우에, 레티클 상의 오브젝트 필드를 기관 상의 이미지 필드로 투영하기 위한 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈에 대해 순응되고,

상기 제로 크로스 온도(T_{0k})는 상기 미러를 지지하는 지지 구조의 온도인 기준 온도(T_{ref})보다 높은 것을 특징으로 하는, 미러.

청구항 24

청구항 6에 있어서,

상기 적어도 하나의 가열된 바디(MB_n , MB_m)의 온도(T_k)는, 상기 각각의 제로 크로스 온도(T_{0n} , T_{0m})를 중심으로 하여 $\pm 2K$ 의 간격 내에 있는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 25

청구항 17에 있어서,

EUV 광의 노광 파워에 의한 상기 렌즈의 노광 동안, 온도 제어된 바디(MB_n)의 온도(T_{kn})는, 제1 제로 크로스 온

도들(T_{0mn}^1)을 중심으로 하여 $\pm 2K$ 의 간격 내에 있고, 상기 온도 제어된 바디(MB_m)의 온도들(T_{km})은, 제2 제로 크로스 온도(T_{0mn}^2)를 중심으로 하여 $\pm 2K$ 의 간격 내에 있는, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈.

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

삭제

청구항 45

삭제

청구항 46

삭제

청구항 47

삭제

청구항 48

삭제

청구항 49

삭제

청구항 50

삭제

청구항 51

삭제

청구항 52

삭제

청구항 53

삭제

청구항 54

삭제

청구항 55

삭제

청구항 56

삭제

청구항 57

삭제

청구항 58

삭제

청구항 59

삭제

청구항 60

삭제

청구항 61

삭제

청구항 62

삭제

청구항 63

삭제

청구항 64

삭제

청구항 65

삭제

청구항 66

삭제

청구항 67

삭제

청구항 68

삭제

청구항 69

삭제

청구항 70

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템에서 50 nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는 광을 반사하는 반사 광학 소자에 관한 것이다. 또한, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 EUV 투영 렌즈 및 EUV 투영 렌즈를 구성하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 광 리소그래피 기술로 반도체 회로(예를 들면, 집적된, 아날로그, 디지털, 또는 메모리 회로, 박막 자기 헤드)와 같은 미세 구조 장치의 크기를 줄이기 위해, 광 마이크로리소그래피 투영 노광 시스템의 광 해상도 한계가 더욱 개선되어야 한다. 구조물(structure)이 투영빔에 의해 마스크로부터 기관으로 투영되어, 예를 들면, 적어도 일부의 투영 빔으로 감광 도료(기관을 덮는)를 노광함으로써, 미세구조 장치를 형성하는 마이크로리소그래피 투영 노광 시스템에서, 회절로 인해서, 일차 근사에서 해상도 한계는 마이크로리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈의 개구수에 반비례한다. 이로 인해, 투영 렌즈의 개구수를 증가시키는 것에 집중되어 왔다. 또한, 광해상도 한계도 이 파장에 반비례하기 때문에 이투영 과정을 위해 사용된 파장을 감소시키는 것에 집중되어 왔으며, 이것은 다. 따라서, 투영 과정에서 사용된 광의 파장이 가시광에서 자외광으로 감소되었고, 현재는 VUV 광(Very Deep Ultra Violet light)(예를 들면, 개선된 ArF 엑시머 레이저에 의해 생성되는 193nm와 같은)으로 감소되도록 광 리소그래피 시스템이 역사적으로 개발되어져 왔다. 현재 VUV 리소그래피가 반도체 회로의 대량 생산에 널리 사용된다. 현재, 고집적 회로의 대량 생산은, 상술된 193nm 파장의 투영광을 갖는 마이크로리소그래피 투영 노광 시스템에서 대부분 행해지는 반면, 마스크상의 구조물(혹은 구조화된 오브젝트)을 기관으로 투영하는 투영 시스템의 개구수(NA)는 1.0 심지어는 1.3보다 보다 크다. 이러한 높은 개구수는 액침계(immersion system)를 사용해서만 이루어질 수 있다. 이러한 시스템의 원리는 DD 221563 A1 또는 US 2006 092533 A1에 이미 개시되어 있다.
- [0003] 미세 구조 장치의 크기를 더 감소시키기 위해서, 투영 광의 파장을 더 감소시키는 것이 필요하다. VUV 파장 범위에서 대부분 모든 광학 재료는 빛을 통과시키지 않기 때문에, 대략 157 nm 아래의 파장에 대한 광학 렌즈에 대해서는 적절한 재료가 없다. 투영 렌즈에 대해서 더 짧은 파장을 사용하여, 투영 렌즈는 미러 또는 회절 광학 소자와 같은 반사 광학 소자만을 사용할 수 있다. 수년간, 투영 과정을 위해서 50 nm 미만의 파장을 사용하는 광학 마이크로리소그래피 투영 노광 시스템을 개발하기 위해 많은 노력이 가해졌다. 10 nm와 14 nm 사이의 투영 파장으로 동작하는 시스템이 예를 들면 EP 1533832 A1 또는 US 20040179192 A1에 개시되어 있다. 이러한 짧은 파장의 투영 광에 대해서 유용한 광원에 의존하여, 투영 광의 파장은 5 nm 이하일 수 있다. 50 nm 미만 또는 심지어 더 짧은, 이러한 짧은 파장에서, 광학 마이크로리소그래피 투영 시스템의 투영 렌즈는 미러와 같은 반사 광학 소자 및/또는 반사 회절 구조와 같은 회절 구조를 포함한다. 대략 50 nm 미만의 파장에서 동작하는 투영 시스템은 EUV (Extreme Ultra Violet) 리소그래피 투영 노광 시스템으로서 알려져 있다.
- [0004] 단순화된 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템(100)이 도 1에 개략적으로 도시되어 있다. 시스템은 극자외선 또는 EUV 스펙트럼 영역, 특히 50 nm미만의 파장범위, 바람직하게 5nm와 15nm사이의 범위에서, 현저한 에너지 밀도를 갖는 EUV 광을 생성하는 EUV 광원(1)을 포함한다. 방전 생성된 또는 레이저 생성된 플라즈마 광원이, 예를 들면 크세논, 주석 또는 리튬 플라즈마를 사용하여 극자외광을 생성하는 EUV 광원으로 사용된다. 이러한 소스는 대략 4π 입체각 하에서 비극성 광을 방사한다. 다른 소스는 예를 들면 싱크로트론 방사원과 같이, 공간적으로 보다 유향의(directed), 보다 극성이 있는 극자외선 광빔을 생성한다. EUV 광원(1)에 의존하여, 특히 EUV 플라즈마 광원이 사용되면, 광원(1)의 EUV 광을 집광하는 콜렉터 미러(2)가 사용되어 EUV 방사의 에너지 밀도 또는 복사율을 증가시키고 조명빔(3)을 형성한다. 조명빔(3)은 조명 시스템(10)을 통해서, 구조화된 오브젝트(M)을 조명한다. 구조화된 오브젝트(M)는 예를 들면, 반사 및 비반사, 또는 그 위에 적어도 하나의 구조물을 형성하는 적어도 마이너(minor) 반사 영역을 포함하는 반사 마스크이다. 대안으로서 또는 부가적으로, 구조화된 오브젝트는, 미러 어레이와 같은 미러 배열을 형성하도록 적어도 일차원적으로 대략 나란히 배열된 복수의 미러를 포함하거나 또는 그들로 구성된다. 바람직하게, 미러 어레이의 미러들은, 각각의 미러에 조사된 조명빔(3)의 입사각을 조정하기 위해 적어도 하나의 축 주위에서 조정가능하다.
- [0005] 용어 "반사", "마이너 반사" 및 "비반사"는 조명빔(3)의 EUV 광의 복사율에 관련된 것으로 이해되어야 한다. EUV 광의 초단파장으로 인해서, EUV 광에 대한 입사각이 약 45° 보다 적으면, 반사면은 항상 코팅된다. 코팅은 바람직하게 소정의 층 두께를 갖는 다층의 소정의 층재료를 포함한다. 이러한 미러는 45° 미만, 또는 45° 훨씬 아래의 대략 0° 까지의 입사각에 대해서 일반적으로 사용된다. 다층 중 개별 층 들의 여러 재료 경계에서 부분적으로 반사되는, 반사된 EUV 광의 구조적인 간섭으로 인해서, 이러한 미러에 대해서 60% 초과와 반사율이 얻어질 수 있다. 이러한 다층 코팅된 반사 미러 또는 면의 또 다른 장점은, 이들이 스펙트럼 필터로서 동작하여, 예를 들면, EUV 리소그래피 투영 시스템의 조명 및/또는 투영 빔을 보다 단색으로 만드는 성질이다. EUV 리소그래피 투영 노광 시스템에서, 코팅된 미러가 때때로 통상의 입사 미러로서 또한 설계된다.
- [0006] 약 45° 보다 큰 입사각에 대해서, 특히 약 70° 이상의 매우 큰 입사각에 대해서, 반사면이 루테튬과 같은 금속

또는 금속층을 포함하거나, 또는 반사면이 예를 들면 루테튬을 포함하는 금속 또는 금속층으로 이루어지면 충분하다. 이러한 높은 입사각에서는, 상기 서술된 다층을 필요로 하지 않고 반사율은 60% 이상까지 증가될 수 있다. 일반적으로 입사각의 증가에 따라서 반사율이 증가되므로, 이러한 이유로 미러들이 그레이징(grazing) 입사 미러로 불려진다. EUV 리소그래피 투영 노광 시스템은 대체로 플라즈마 광원을 사용한다. 이 경우, 콜렉터 미러(2)는 예를 들면, WO 2002/065482 A2 또는 US 2004/0130809 A1에 서술된 것같이 그레이징 입사 미러일 수 있다.

[0007] 구조화된 오브젝트(M)는 조명빔(3)의 일부를 광로로 반사하여 투영 빔(4)을 형성한다. 반사된 뒤, 구조화된 오브젝트(M)는, 마스크상의 구조물(M)에 기초하여, 조명빔(3)을 구조화한다. 이 투영 빔(4)은 구조화된 오브젝트의 구조물의 정보를 보유하며, 투영 렌즈(20)로 조사되어, 적어도 2차의 회절 차수의 구조화된 오브젝트(M)의 구조 또는 구조들이 투영 렌즈(20)를 통과하여 기관(W) 상에 구조화된 오브젝트(M)의 구조 또는 구조들의 일종의 이미지를 형성한다. 실리콘과 같은 반도체 재료를 포함하는 기관(W), 예를 들면, 웨이퍼가, 웨이퍼 스테이지로 또한 불려지는 기관 스테이지(WS) 상에 배열된다.

[0008] 구조화된 오브젝트(M)의 구조에 대한 정보에 추가하여, 투영 빔은, 구조화된 오브젝트(M)의 오브젝트 포인트(OP)에서 각도, 편광 및 세기(또는 단위 면적당 방사 전력)에 관하여, 구조화된 오브젝트(M)가 어떻게 조명되는지 및 이들 파라미터들이 구조화된 오브젝트(M)의 조명된 표면에 대해서 어떻게 분포되는지의 조명 조건에 관한 정보를 또한 포함한다. 조명의 종류는 용어 "세팅"으로 표현된다. 이것은 구조화된 오브젝트(M)의 오브젝트 포인트(OP)가 조명되는 미리 정의된 각도 및/또는 편광 및/또는 세기 분포와, 이들 분포가 구조화된 오브젝트(M)상의 공간적 위치에 어떻게 의존하는지를 의미한다. 세팅은 또한 투영 렌즈(20)에 의해 행해진 투영 과정의 광 해상도에 영향을 미친다. 일반적으로, 구조화된 오브젝트(M) 상의 구조의 형상에 세팅이 적용되면 광해상도가 증가될 수 있다. 구조화된 오브젝트의 조명에 대해서 적용된 세팅을 사용하는 진보된 조명 기술이, 예를 들면, Wong, Alfred Kwok-Kit에 의한, 광학 리소그래피에서 해상도 개선 기술(Resolution Enhancement Techniques in Optical Lithography), ISBN 0-8194-3995-9에 기재되어 있다. 조명의 종류, 세팅은 다수의 미러(12, 13, 14, 15, 16)를 포함하는 조명 시스템(10)(도 1 참조)에 따라서 조정될 수 있다.

[0009] 도 1에서, 실시예와 같이, 투영 렌즈(20)는, 웨이퍼(W)상의 구조화된 오브젝트(M)의 구조의 이미지의 종류를 형성하기 위해 반사 광학 소자로서 4개의 미러(21, 22, 23, 24)를 개략적으로 나타낸다. 이러한 EUV 투영 렌즈(20)는 일반적으로 4 ~ 8개의 미러를 포함한다. 그러나, 오직 2개의 미러를 갖는 투영 렌즈도 사용될 수 있다. 이들 미러들은 표면 형태 (또는 그 기하학적 형태) 및 표면 조도에 관하여 가장 높은 정밀도로 만들어진다. 원하는 사양으로부터의 각각의 편차는, 기관 또는 웨이퍼(W)의 상의 화질의 열화를 가져 온다. 통상적으로, 표면 형태 (표면 형상의 요구되거나 특정된 치수)로부터 사용된 투영 파장의 1/10 미만의 편차가 요구된다. 사용된 파장에 기초하여, 미러(21, 22, 23, 24)의 표면 형태는 1 nm보다 높은 정밀도로 만들어져야 하며, 일부 미러에 대한 정밀도 요구 사항은 5 ~ 20보다 높은 값이며, 결국 1원자층보다 훨씬 작은 정밀도 범위이며, 이것은 0.1nm보다 높은 것을 의미한다. 기관상의 이미지가 대략 10nm까지 작아지는 측면 치수를 갖는 구조 또는 더 작은 측면 치수를 갖는 구조를 포함하는 방식으로 EUV 리소그래피 투영 기술로 마스크로부터 기관으로 구조물을 투영하기 위해, 투영 렌즈(20)의 광수차는 1nm보다 작고, 심지어 0.1nm 보다 작거나 RMS 값의 50 pm(picometer)보다 작아야 한다. 이것은 이상적인 파면으로부터 실제적인 파면의 편차의 RMS(root-mean-square) 값이 상기 서술된 값보다 작은 것을 의미한다. 표면 형상(표면 형태 또는 기하학적 형태)에 대한 매우 높은 정밀도가 10cm 초과 미러 치수에 대해서 유지되어야 한다. 요즘의 EUV 투영 렌즈는, 표면 형태에 관하여 높은 요구사항을 갖는 지름 30cm 이상의 미러를 포함한다. 소정의 세팅에 따라서 잘 구성된 조명 빔으로 오브젝트 포인트(OP)를 소정의 세팅에 따라서 조명함으로써 조명된 오브젝트 포인트(OP)로부터 기관(W) 상의 이미지 포인트(IP)를 형성하기 위해서, 매우 높은 기계적 정밀도가 필요하다. 또한, 조명된 오브젝트 포인트(OP)를 투영 렌즈(20)로 적어도 일부의 투영 빔(4)에 의해 기관(W) 상에 투영하기 위해서, 조명빔(3)과 구조화된 오브젝트(M)의 회절 성질에 의해 투영 빔(4)이 생성된다. 기관(W) 상에 이미지를 형성하기 위한 하나의 필요조건은, 오브젝트 포인트(OP)로부터 나오는 회절된 파면이 기관 또는 웨이퍼(W) 상의 이미지 포인트(IP)에 간섭하는 것이다. 양호한 화질을 얻기 위해, 간섭 파면은 투영 빔 광의 하나의 파장보다 훨씬 적은 상대 위상 시프트를 가져야 한다. 구조화된 오브젝트(M)가 조명빔(3)에 의해 어떻게 조명될 수 있는지의 다양한 조명 세팅으로 인해서, 구조화된 오브젝트(M) 상의 하나의 오브젝트 포인트(OP)를 통과하는 광의 광로가, 투영 빔(4)의 광 번들이 상이한 크기의 상이한 표면적에서 투영 렌즈(20)의 미러(21, 22, 23, 24)에 의해 반사되는 방식으로, 투영 렌즈(20) 내에서 변화할 수 있다. 이 변화는 조명 세팅과 투영 렌즈(20) 내의 미러(21, 22, 23, 24)의 위치에 의존한다. 모든 조명 세팅 하에서 화질이 확실하게 얻어지도록, 상기 서술된 표면 형태가 높은 기계적 정밀

도로 갖는 것이 필요하다.

[0010] 투영 렌즈(20)의 미러(21, 22, 23, 24)의 표면 형태의 높은 기계적 정밀도와 다르게, 이들 미러(21, 22, 23, 24)의 서로에 대한, 구조화된 오브젝트(M) 및 기관(W)에 대한 위치 및 배향도 동일한 범위의 정확도내에 있어야 한다. 이것은 이들 오브젝트(미러(21, 22, 23, 24), 구조화된 오브젝트(M), 및 기관(W))의 위치 및 배향이 나노미터 범위 또는 심지어 그 이하에서 조정되어야 하는 것을 의미한다. 또한, 이러한 정확한 미러면의 제조, EUV 리소그래피 투영 시스템의 투영 렌즈의 조립, 조립된 투영 렌즈의 투영 시스템으로의 조립을 허용하고, 이 시스템의 동작 동안 임의의 제 자리에서의 시스템의 감시와 제어를 허용하기 위해 계측치가 필요하다.

[0011] 상기 서술된 기계적 정확도를 얻는데 있어서, 또 다른 하나의 문제는 미러(21, 22, 23, 24)에 의한 투영 빔(4)의 흡수이다. 30% 까지의 범위에 있을 수 있는 흡수로 인해서 미러가 가열된다. 흡수된 열에 기초하여, 각 미러는 미러의 열 팽창으로 인해 변형될 수 있다. 투영 단계 동안 이러한 열적 효과를 감소시키는 하나의 방법은, 특정량의 투영 빔(4)이 흡수될 때, 상기 서술된 것같이 매우 높은 기계적 정밀도 데이터를, 특히, 미러의 표면 형태에 대해서, 유지하기 위해 온도 제어 시스템을 사용하는 것이다. 또 다른 또는 추가적인 방법은, 예를 들면, 투영 빔(4)의 부분적인 흡수로 인해서 온도가 변화할 때, 미러의 변형을 감소시키기 위해서 5 ppb/K (또는 이하)와 같이 작은 열팽창 계수(CTE)를 갖는 저열팽창 재료를 미러에 대한 지지 구조 또는 미러 재료로서 사용하는 것이다. 이 방법, 비교적 작은 CTE를 갖는 적절한 재료의 선택 및 미러 온도의 제어가 예를 들면, US 7,295,284 B2에 기재되어 있다.

[0012] 도 1에 도시된 것같은 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템(100)이 진공 조건하에서 통상적으로 동작된다. 투영 렌즈(20) 및/또는 조명 시스템(10)은 감소된 압력 또는 진공 하에서 동작한다. 일반적으로 조명 시스템과 투영 렌즈에서의 압력 조건은 다르다. 감소된 압력 또는 진공 조건은 미러의 변형 및 그 능동적 또는 수동적 위치 제어에 관한 상기 서술된 문제점의 기술 솔루션을 현저하게 감소시킨다. 특히 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템 내부의 성분들의 온도를 제어하는 온도 제어 시스템은, 열 대류 원리에 반드시 기초하지 않는 특정 기술 솔루션에 매우 자주 제한된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0013] 본 발명은 투영 렌즈 내부의 반사 광학 소자 또는 미러의 변형에 대한 온도 변화 및/또는 위치 변화의 영향을 더욱 감소시키기 위한 개선된 EUV 투영 렌즈에 관한 것이다.

과제의 해결 수단

[0014] 본 발명에 따른 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈는 미러와 이 미러를 지지 또는 서스펜드하는 지지 구조물을 포함한다. 미러의 주변에서, 지지 구조물은 기준 온도에 있다. 바람직하게, 기준 온도는 미러에 근접한 모든 지지 구조물 부분에 대해서 동일하며, EUV 광과 같이 임의의 방사를 받으면 미러는 기준 온도에 있다. 또한, 투영 렌즈는 히터와, 적어도 하나의 가열가능한 미러의 온도를 제어하는 온도 제어 시스템을 포함한다. 오브젝트 필드를 이미지 필드로 투영하기 위해 사용되는 EUV 광의 노광 파워로 투영 렌즈가 노광되면, 히터를 가열하지 않고, 미러는 기준 온도로부터 평균 온도만큼 워업(warm up)된다. 더 상세하게, 이러한 노광 동안, 미러 상에 기준 온도의 일정한 온도와 상이한 온도 분포가 형성된다. 이 온도 분포는, 예를 들면, 평균 온도 또는 최대 온도에 의해 특징이 주어진다. 또한, 본 발명의 투영 렌즈에서, 적어도 하나의 가열가능한 미러는, 온도(T_{ok})(제로 크로스 온도로 칭해짐)에서 제로인 열 팽창의 온도 종속 계수를 갖는 재료를 포함하는 바디를 포함한다. 제로 크로스 온도는 기준 온도보다 높게 선택된다. 본 발명에 따르면, 가열가능한 미러가, EUV 광의 노광 파워에 의해 생긴 온도 분포의 형성 전에, 결정된 온도의 그룹으로부터 선택된 온도로 가열 및 제어된다. 이것은 가열가능한 미러의 워업 시간(EUV 광의 노광 파워로 미러가 노광되면)이 현저하게 감소되는 장점을 갖는다. 또한, 워업 뒤의 미러의 평균 온도가 제로 크로스 온도에 또는 거기에 근접하도록 결정된 온도가 선택된다. 이것은 정적 상태 조건에서 적어도 하나의 가열가능한 미러는 제로 크로스 온도의 또는 거기에 근접한 온도를 갖는다. 바람직하게, 투영 렌즈의 하나 이상의 미러가 가열가능하다.

[0015] 본 발명의 제1 투영 렌즈로 칭해지는, 또 다른 투영 렌즈는 미러 바디를 갖는 적어도 2개의 미러를 포함하며, 각각의 바디는 각각의 제로 크로스 온도(T_{0m} , T_{0n})에서 제로인 열 팽창의 온도 종속 계수를 갖는 재료를 포함한다. 제로 크로스 온도(T_{0m} , T_{0n})사이의 차이의 절대 값은 6 K보다 크며, 렌즈가 50 nm 미만의 파장 범위

의 과장을 갖는 EUV 광의 8W 보다 많은 노광 파워로 노광되도록 설계되어 있다. 각각의 제로 크로스 온도가 폭 넓게 상이한 재료들을 선택하는 것은 미러의 열 유도된 수차가 증가하는 단점을 가지지 않고 더 높은 노광 파워에 대한 투영 렌즈를 만들 가능성을 바람직하게 제공한다. 이것은 최소의 수차와 높은 노광 파워를 갖는 EUV 투영 렌즈를 제조할 수 있는 가능성을 제공한다.

[0016] 본 발명에 따른, 제2 투영 렌즈로 칭해지는, 또 다른 투영 렌즈에서, 미러 바디 또는 기관의 재료가, 본 발명의 또한 일부인 규칙에 따라서 선택된다. 그 제로 크로스 온도가 미러가 동작시 가질 수 있는 가장 큰 온도 값 위에 있는 방식으로 적어도 하나의 재료가 선택된다. 추가의 히터를 가지고, 미러는 최소의 열 수차를 발생하는 제로 크로스 온도까지 또는 거기에 근접하게 워밍업된다. 선택된 노광 파워, 제로 크로스 온도의 임의의 제조 허용 오차, 임의의 선택된 조명 세팅 및 임의의 마스크 패턴에 관하여 렌즈가 매우 민감하지 않은 것이 제2 투영 렌즈의 장점이다.

[0017] 본 발명에 따른, 제3 투영 렌즈로 칭해지는, 또 다른 투영 렌즈에서, 적어도 2개의 미러에 대해서, 미러 바디에 대한 하나의 재료가 선택된다. 이 재료는 적어도 2개의 제로 크로스 온도(T_{0mm}^1 , T_{0mm}^2)에서 제로인 열 팽창의 온도 종속 계수를 갖는 재료를 포함한다. 투영 렌즈는, 투영 렌즈가 대량 생산시 투영 과정에서 필요한 EUV 노광 파워를 받으면, 2개의 미러중 하나가 제1 제로 크로스 온도(T_{0mm}^1)에서 또는 거기에 근접한 온도에서 동작되고, 다른 미러가 제2 제로 크로스 온도(T_{0mm}^2)에서 또는 거기에 근접하여 동작되도록 설계된다. 렌즈가 그 미러에 대해서 더 적은 상이한 기관 재료를 필요로 하는 것이 제3 투영 렌즈의 장점이다.

[0018] 또한, 본 발명은 EUV 투영 렌즈를 구성하는 방법에 관한 것이다. 특히, 이 방법은 렌즈의 열 수차가 최소화될 수 있도록 미러 바디에 대해 적절한 재료를 선택하는 것을 목표로 한다.

[0019] 본 발명의 또 다른 구성은, EUV 투영 렌즈에서 미러가 가열 또는 냉각될 수 있는 다양한 템퍼링 수단 또는 가열 수단을 제공하는 것이다. 이들 수단은, 투영 렌즈에서 그 동작 동안, 각각의 미러의 온도 제어를 개선시키는 코팅 또는 형상과 같은 특징을 갖는 미러 바디를 또한 포함한다.

[0020] 일반적으로, 본 발명의 요지가 미러에 한정되지 않기 때문에, 상기 서술된 EUV 투영 렌즈의 미러는 반사 회절 구조와 같은 임의의 반사 소자를 또한 포함한다.

[0021] 본 발명의 다른 특징 및 장점 및 또 다른 개선점들은, 동일한 도면 부호들이 동일하거나 유사한 부분을 나타내는 다음의 도면을 참조한 다음의 실시예의 상세한 설명으로부터 분명해진다. 그러나, 실시예에 의한 본 발명의 다음의 설명은 단지 예시이며, 본 발명 및 그 적용을 제한하고자 의도된 것은 아니다. 본 설명에서 나타낸 것 같이, 상이한 실시예들의 특징들은 본 발명의 추가적인 실시예를 얻기 위해 대체 및/또는 결합될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 4개의 미러를 포함하는 EUV 투영 렌즈 및 조명 시스템을 갖는 단순화된 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템을 개략적으로 도시한다.

도 2a는 온도의 함수로서 다양한 재료에 대한 선 팽창 계수(CTE)를 나타낸다. 이 재료는 계수가 제로인 제로 크로스 온도를 갖는다. (광학 및 그 기술의 비판적 고찰(Critical Reviews of Optical Science and Technology)로부터, Vol. CR43, p 183, S. F. Jacobs로부터의 기사로부터 "가변적인 불변사항 - 시간 및 온도에 따른 치수적 불안정(variable invariables - dimensional instability with time and temperature)"; ISBN 0-8194-0953-7; 1992)

도 2b는 이 계수가 제로인 다양한 제로 크로스 온도를 갖는 온도의 함수로서, 다양한 Zerodur® 재료에 대한 선 팽창 계수를 나타낸다. (광학 및 그 기술의 비판적 고찰로부터, Vol. CR43, p 183, S. F. Jacobs로부터의 기사로부터 "가변적인 불변사항 - 시간 및 온도에 따른 치수적 불안정"; ISBN 0-8194-0953-7; 1992)

도 3a는 2개의 상이한 온도에서 미러와 같은 반사 광학 소자의 측면도를 개략적으로 나타낸다.

도 3b는 미러의 x축에 따른 온도 변화로 인한 미러 면의 변형을 개략적으로 나타낸다.

도 3c는 Zerodur® 및 ULE®에 대한 ppb 단위의 온도의 함수로서 길이 L_0 를 갖는 바디의 길이의 상대 변화 L/L_0 를 개략적으로 나타낸다.

도 3d는 미러 크기와 함께 도 6의 EUV 투영 렌즈의 4번째 미러 상의 온도 분포를 나타낸다.

도 3e는 온도 최대 값을 통한 x 방향에 따른 도 3d의 미러의 온도 프로파일을 나타낸다. 기준 온도에 대한 온도 차가 주어진다.

도 3f는 온도 최대 값을 통한 y 방향에 따른 도 3d의 미러의 온도 프로파일을 나타낸다. 기준 온도에 대한 온도 차가 주어진다.

도 3g는 도 3d ~ 도 3f의 미러(M_4)에 대한 제르니케 계수의 값을 상대 단위로 나타낸다.

도 3h는 미러 크기와 함께 도 6의 EUV 투영 렌즈의 6번째 미러 상의 온도 분포를 나타낸다.

도 3i는 최대 온도를 통한 x 방향에 따른 도 3h의 미러의 온도 프로파일을 나타낸다. 기준 온도에 대한 온도 차가 주어진다.

도 3k는 x 방향에 따른 최대 값 사이에서 최소 온도를 통한 y 방향에 따른 도 3h의 미러의 온도 프로파일을 나타낸다. 기준 온도에 대한 온도 차가 주어진다.

도 3l은 도 3h ~ 도 3k의 미러(M_6)에 대한 제르니케 계수의 값을 상대 단위로 나타낸다.

도 4는 예를 들면 WO 2005/026801 A2에 기재된 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈에서 사용된 것같이 미러를 갖는 미러 실장 어셈블리를 개략적으로 나타낸다.

도 5는 미러를 가열하는 히터와 미러의 온도를 제어하는 온도 제어 시스템을 갖는 도 4의 미러 실장 어셈블리를 개략적으로 나타낸다.

도 6은 6개의 미러, 히터 및 제6 미러에 대한 온도 또는 수차 제어 시스템을 포함하는 EUV 투영 렌즈를 개략적으로 나타낸다.

도 7은 레티클(M) 다음에 16W의 파워를 갖는 EUV 투영 빔으로 이러한 렌즈가 노광되면, 도 6에 도시된 투영 렌즈의 제6 미러의 워밍에 대한 예를 나타낸다.

도 8은 제르니케-계수 Z5에 의해 표현된 도 6의 투영 렌즈의 각각의 미러에 대한 수차를 나타낸다. 투영 렌즈의 각각의 미러가 도 7에 나타난 것같이 정적 상태에 있을 때, Z5는 제로 크로스 온도의 함수로서 RMS (root mean square) 값에 의해 주어진다.

도 9는, 투영 과정 동안 도 6의 EUV 렌즈가 받는 레티클(M) 다음의 EUV 광 파워(P)의 함수로서 최적화된 제로 크로스 온도를 나타낸다.

도 10은 도 4 및 도 5에 도시된 것같이, EUV 투영 렌즈의 미러와 같은 반사 광학 소자(M_k)의 측면도를 개략적으로 나타낸다. 또한, 히터 및 쿨러가, 지지 소자에 의해 지지되는 미러 근방에 배열된다.

도 11은 히터를 가지지 않는, 도 10에 나타난 것같은, 반사 광학 소자의 측면도를 개략적으로 나타낸다. 반사 광학 소자 또는 미러(M_k , 421)의 온도는 반사 소자 또는 미러의 직접 둘러싼 영역 또는 볼륨 내에 압력의 압력 제어에 의해 제어된다.

도 12a는 5 mm 및 25 mm의 전송로에 대한 Zerodur®의 전송을 나타낸다.

도 12b는 IR 방사로 미러를 가열가능하게 만들기 위해 그 거의 전체 면 상에 코팅(C)으로 코팅되는 반사 광학 소자 또는 미러(M_k , 421)를 개략적으로 나타낸다.

도 12c는 미러를 가열가능하게 만들기 위해 그 표면에 코팅(C2)으로 적어도 부분적으로 코팅되는 반사 광학 소자 또는 미러(M_k , 421)를 개략적으로 나타낸다. 코팅(C2)은 특정 전기 저항을 갖도록 선택된다.

도 12d는 반사면(MS_k) 근방에 배열된 멀티존 와이어 그리드(1050)에 의해 적어도 부분적으로 가열되는 반사 광학 소자 또는 미러(M_k , 421)를 개략적으로 나타낸다.

도 13은 반사 소자 또는 미러(M_k , 421)와 관련된 히터 또는 템퍼링 수단(300)의 몇몇 실시예를 개략적으로 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 투영 렌즈(20)(상기 서술된 것같이 도 1 참조)내의 미러 또는 반사 광학 소자의 변형 또는 위치 변경을 감소시키기 위해 또한 0.1 nm 이상의 범위에서 표면 형태 정확성 및 위치 정확성을 얻기 위해, 임의의 열 팽창이 최소화되어야 한다. 이것은 미러의 표면 형상에 관한 실제 표면 데이터 및 그 실제 위치 데이터가 미러의 표면의 형상의 요구되거나 특정된 수치 및 요구되거나 특정된 위치에 대해서 특정 범위 내에 있어야 하는 것을 의미한다. 투영 렌즈의 이러한 광학 소자에서, 대략 10 nm의 측면 치수까지 작아진 이미지 구조 또는 더 작은 측면 치수를 갖는 구조가 생성될 수 있다. 또한, 이러한 광학 소자(미러) 또는 투영 렌즈에 대해서, 광 수차는 1 nm 보다 작거나, 심지어 0.1 nm보다 작거나 RMS의 50 pm (picometer)보다 작다. 이것은 이상적인 표면으로부터 실제 표면의 편차의 root-mean-square (RMS) 값이 상기 서술된 값보다 작다는 것을 의미한다. 열 유도된 광 수차의 감소를 가져오는 광학 소자의 열 팽창을 최소화하기 위해, 투영 렌즈의 복수의 반사 광학 소자(M_i)의 적어도 하나의 미러 또는 반사 광학 소자(k)의 바디(MB_k)는 온도(T_{0k})에서 제로인 온도 종속 CTE(coefficient of thermal expansion)를 갖는 재료로 만들어지거나 포함한다. 이 온도(T_{0k})는 제로 크로스 온도(zero cross temperature)로 칭해진다. 이들 재료의 예가 도 2a 및 2b에 도시되어 있다. EUV 리소그래피 투영 노광 시스템에 이들 재료를 적용하는 것이 예를 들면 WO 2004/015477 A1에 기술되어 있다. 리소그래피 투영 노광 시스템(100)의 동작 온도 또는 이러한 시스템의 반사 광학 소자의 동작 온도에 기초하여, 적어도 하나의 제로 크로스 온도(T_0)를 갖는 이용가능한 상이한 재료가 있다. 반사 광학 소자의 통상적인 동작 온도는 대략 0°C 에서 대략 100°C까지의 범위에 있고, 바람직하게는 대략 10°C ~ 대략 60°C의 범위에 있고, 더 바람직하게는 대략 20°C ~ 대략 40°C의 범위에 있기 때문에, 이용가능한 재료의 수가 매우 제한된다.

[0024] 도 2a에 따르면, 슈퍼인바(Superinvar)(Fe-Ni-Co의 합금) 또는 ULE®(코닝사의 등록 상표)가 적합한 재료이거나, 도 2b에 따르면, 유리 세라믹으로 만들어진 Zerodur®(Schott AG의 등록 상표) 유형으로 만들어진 재료가 선택될 수 있다. ULE®는 SiO_2 와 TiO_2 의 글래스체 혼합물(vitreous mixture)인 티타니아 실리케이트 글래스이다. 일차 근사에서 각각의 제로 크로스 온도 근방에서 ULE®와 Zerodur®의 CTE 값은 수식 $CTE(T) = a_1(T-T_0)$ 에 의해 근사될 수 있다, 도 2a 및 2b 참조. ULE®에 대해서, 상수 또는 기울기(a_1)는 포지티브(positive)이다. 이것은 재료(ULE®로 만들어진)의 온도(T)가 T_0 미만이면 온도의 증가에 따라서 재료가 수축하고, 온도(T)가 T_0 초과이면 재료가 팽창하는 것을 의미한다. Zerodur®에 대해서, 상수 또는 기울기(a_1)는 도 2b에 도시된 것같이, 실온의 범위에서 네가티브(negative)이다. 이것은 온도(T)가 T_0 미만이면 온도의 증가에 따라서 재료가 팽창하고, 온도(T)가 T_0 초과이면 재료가 수축하는 것을 의미한다. 더 높은 온도에서, $CTE(T) = a_2(T-T_0^2)$ 근사에서 포지티브 상수 또는 기울기(a_2)를 갖는 제2의 제로 크로스 온도(T_0^2)가 있다. 이것은 열 수축 및 열 팽창에 대해서 재료가 ULE®과 유사하게 동작하는 것을 의미한다. 제로 크로스 온도 근방의 특정 온도 범위에서, ULE®와 Zerodur®는 ppb/K ($10^{-9}/K$)에서 제로까지의 범위의 CTE-값을 갖는다. 이것은 대략 1 ppb/K의 CTE-값을 갖는 재료로 만들어진 예를 들면, 대략 100 mm 두께의 바디가, 온도가 1 Kelvin (1K) 만큼 변화하면, 0.1 nm 팽창 또는 수축하는 것을 의미한다. 슈퍼인바에 대해서, 1 ppb/K의 유효 CTE-값을 얻기 위해서, 제로 크로스 온도 근방의 온도 범위는 더 작아야 한다. 이것은 EUV 리소그래피의 반사 광학 소자에 대해서, 특히, EUV 리소그래피 노광 시스템(100)의 투영 렌즈(20)에서 기관 재료로서 슈퍼인바를 사용하는 것이 ULE® 및/또는 Zerodur®보다 덜 바람직하기 때문에, 일 구성인 온도 제어 시스템에 대해서 추가의 노력을 필요로 한다.

[0025] 일반적으로, 열 또는 온도 변동은 광 촬상 시스템의 수차 또는 이미지 결함에 영향을 준다. 그러나, 예를 들면, $T(x,y,z)$ 로부터 $T(x,y,z) + \Delta T$ 까지 (x, y, z는 공간 좌표를 나타낸다) 온도를 변화시키는 공간 온도 분포의 온도 오프셋 ΔT 만큼의, 온도의 전체의 변화 또는 균일한 변화는, VUV 리소그래피에서 사용되는 굴절 렌즈 소자에 대해서 오직 작은 임팩트를 가진다. 이것은, 굴절력이 렌즈 소자 전체에서 변화하고, 굴절 재료의 거의 일정한 CTE(열 팽창 계수)로 인해서 굴절 렌즈의 표면 형태의 변화는 무시할 수 있기 때문이다.

[0026] 미러와 같은 반사 광학 소자가 예를 들면 도 2a 및 도 2b에 도시된 것같이, 온도 T에 매우 종속되는 열 팽창 계수 CTE(T)를 포함하는 재료로 만들어지는 EUV 리소그래피 투영 시스템에서, 상기 서술된 것같이 균일한 온도 변화는 광학 시스템의 수차 값에 큰 영향을 미친다. 이것이 발명자의 분석에 기초하여 도 3a 및 도 3b에 보다

상세히 개략적으로 설명되어 있다.

[0027] 도 3a는 바디(MB_k)와 반사면(MS_k)을 갖는 미러(M_k)와 같은 반사 광학 소자의 측면도를 개략적으로 나타낸다. 미러(M_k)는 공간 온도 분포 T(x,y,z)를 갖는다. 미러 바디(MB_k)가 제로 크로스 온도를 갖는 재료를 포함하면, 통상적으로 온도 분포 T(x,y,z)는 제로 크로스 온도와 상이하다. 온도 분포가 일정한 값 ΔT 만큼 변화하면, 예를 들면, 제로 크로스 온도에 가까이 상승하면, 예를 들면, 기율기(a₂)(CTE(T) = a₂(T-T₀²) 근사에서)가 네가티브인 온도 영역에서 Zerodur®가 사용되면, 미러는 바디(MB_k^{*})를 갖는 미러(M_k^{*})로 팽창한다. 그러나, 제1 근사에서 팽창에도 불구하고, 면(MS_k)의 면 형태의 형상이 변화하지 않지만, 팽창된 미러(M_k^{*})의 면(MS_k^{*})의 위치가 변화한다. 예를 들면, 도시된 것같이, Δz값 만큼 z 방향으로 시프트된다. 이러한 반사면의 위치 변화는 가열된 미러(M_k^{*})의 병진 운동에 의해 쉽게 보정될 수 있다. 이 경우에, 이미지 결함 또는 광 수차는 거의 변화하지 않는다.

[0028] 도 3b는 온도 분포 T(x,y,z) = T_{Ref} (기준 온도로 칭함)를 갖는 미러(M_k)의 상태를 개략적으로 나타낸다. 또한, 실시예와 같이, 최대 온도(ΔT_{max})를 갖는, 기준 온도(T_{Ref})에 더해진 온도 프로파일 또는 온도 분포 ΔT(x)에 의해 도시된 것같이, 미러는 미러 바디(MB_k)의 x 방향을 따라서 x₁에서 x₂까지의 표면 영역에서 국부적으로 가열된다. 이 경우, 기준 온도(T_{Ref})는, 이 온도에서 미러가 기준 형상을 갖고 또한 그 반사면(MS_k)이 기준 면 형태를 갖는다는 것을 의미한다. 열 팽창으로 인한 편차는 이들 기준 형상과 면 형태에 관계한다. x 방향에서 미러 바디의 치수와 비교하여 간격 [x₁, x₂]이 작다고 더 가정된다. 미러 바디가 기준 온도(T_{Ref})로 부터 온도 프로파일 ΔT(x) 만큼 가열되고, 도 2a 및 2b에 도시된 것같이 Zerodur® 또는 ULE®과 같이 온도(T₀)에서 체로인 열 팽창의 온도 종속 계수를 갖는 재료로 만들어지고, 실시예로서, 미러 바디의 최대 온도가, 제로 크로스 온도(T₀) 아래이고 가열로 인해 기준 온도(T_{Ref}) 위인 T_{Ref} + ΔT_{max}로 주어지면, 좌표 x₁과 x₂ 사이의 미러의 반사면은 기준 온도에서의 표면과 비교하여 축소된다. 이것은 예를 들면 ULE®가 사용되는 경우이다. 도 3b에서 면 형태의 변화는, 기준 온도(T_{Ref})에서 기준 면 형태(MS_k)와 비교될 수 있는 MS_k^{*}에 의해 개략적으로 도시된다. L1과 L2는 x 방향에서 바디의 길이가 L₀(T_{Ref}) = (L2-L1)가 되는 기준 온도에서 바디의 좌표T(x,y,z) = T_{Ref}를 나타낸다. 이 변형을 도 3c를 참조하여 보다 상세히 설명한다.

[0029] 도 3c는 ppb(parts per billion, 10⁻⁹의 값의 의미) 단위의 온도의 함수로서 길이 L₀를 갖는 바디(MB_k)의 길이의 상대 변화 ΔL/L₀(도 3b와 연결해서 설명된 것같이)를 개략적으로 나타낸다. 기준 온도로서 T_{Ref} = 22°C가 선택된다. 이것은 길이(L₀)가 22°C에서의 길이를 의미한다. 제로 크로스 온도(T_{0k})는, 일 예로서, 기준 온도보다 높은 3K인 25°C로 설정되며, 곡선 301은 ULE®에 대한 상대 길이 변화를 개략적으로 나타내고, 곡선 302은 대략 25°C에서 제로 크로스 온도(T₀)를 가지고, CTE 근사 CTE(T) = a₁ * (T - T₀)에 대해 네가티브 기율기 a₁를 가지도록 선택된 Zerodur® 재료에 대한 상황을 개략적으로 나타낸다. 예를 들면, 미러 바디(MB_k)가 ULE®로 만들어지고, 미러 바디의 온도가 온도 간격 T_{Ref}와 (2T_{0k} - T_{Ref}) 내에서 선택되면, 미러 바디는 기준 온도에서 바디에 대해 축소된다. 미러 바디가 Zerodur®으로 만들어지는 경우, 곡선 302 참조, 미러 바디는 도 3c로부터 알 수 있듯이, 기준 온도에서 바디에 대해 팽창한다. 미러 면이 도 3b에 도시된 것과 유사한 온도 프로파일을 가지면, (제1 근사에서) L1과 x₁ 사이의 미러 면 영역은 열 팽창으로 인해서 변화하지 않는다. 또한, 그 이후에 x₂와 L2 사이의 영역에서, 온도는 기준 온도에 있거나 거기에 근접한다. x₁과 x₂ 사이의 영역에서, 온도는 기준 온도와 다르기 때문에, 미러 바디는 팽창 또는 수축한다. 이 영역에서 팽창 또는 수축이 발생하는지는 재료와 절대 온도 프로파일(ΔT(x) + T_{Ref})의 상대 위치 및 서로에 대한 제로 크로스 온도(T_{0k})에 의존한다. 온도 프로파일의 평균 온도 ΔT_{av}는, 적분 한계 x₁와 x₂를 갖는 ΔT_{av} = (∫ ΔT(x)dx |_{x₁}^{x₂})/(x₂-x₁)이다. 절대 온도 프로파일(ΔT(x) + T_{Ref})이 대략 제로 크로스 온도(T_{0k})와 동일하면, 간격 [x₁, x₂]의 팽창 또는 수축이 없다. 그러나, 이 간격에서, 온도 프로파일 ΔT(x)의 국부 온도 변화가 있으면, 이 간격보다 더 낮은 스케일에서 가능한 면 변형(도 3b에 비도시)이 여전히 있다. T_{av} + T_{Ref} = T_{0k}인 경우에, 면 형태 변형이 최소화되고, 간격 [x₁, x₂]의 스케일에서 무시될 수 있다. 이 경우에 수차 또는 이미지 결함이 최소화된다. 다른 경우에 평균 온도가

제로 크로스 온도가 아니고, 미러 바디(MB_k)가 간격 [x1, x2] 내에서 수축하면, 반사면의 면 형태는 도 3b에 개략적으로 도시된 것같이 변화하며, MS_k^{*}로 표시된다. 팽창의 경우에, 반사면은 MS_k^{**}으로 변화하여, 면 형태의 변화를 가져 온다. 모든 경우에, 수차와 이미지 결함이 증가한다. 도 3b에서, 실시예로서, 절대 평균 온도는 제로 크로스 온도 아래이지만 기준 온도(T_{Ref})와 2T₀ - T_{Ref}로 주어진 온도 내에 있어서, 도 3a의 미러 바디(MB_k)에 대해서, ULE®에 대한 면 변형 MS_k^{*}을 가져 오고, Zerodur®에 대한 면 변형 MS_k^{**}을 가져 온다. 미러가 대략 온도 T = (2T₀ - T_{Ref})에 균일하게 향해지면, 미러는 기준 온도(T_{Ref})에서와 동일한 치수와 면 형태를 가지며, 가열에 의해 생긴 추가적인 수차 또는 이미지 에러를 가져 오지 않는다. 상기의 수차에 대한 열 팽창의 영향의 간략한 설명에서는, 오직 x 방향에서 온도 변화가 있고, 다른 수치들은 기준 온도(T_{Ref})에 유지되고, 미러 바디가 제로 크로스 온도에서 변화가 없는, 즉, 제로 크로스 온도가 미러의 x, y 및 z-방향에서 변화하지 않는 것을 의미하는, 재료로 만들어진다는 가정에서, 특별한 온도 프로파일과 같은 다양한 단순화가 행해진다. 실제적인 설계에서, 보다 복잡한 시뮬레이션 계산 또는 유한한 소자 계산이, 반사면 및 제로 크로스 온도 또는 주어진 열 부하 하에서 동작하는 미러의 동작 온도와 같은 다른 미러 파라미터를 최적화하기 위해 필요하다.

[0030] 본 발명에 따르면, 미러 또는 반사 광학 소자의 기준 온도 T_{Ref}(x,y,z)와 상이한 절대 온도 프로파일 ΔT(x,y,z) + T_{Ref}이 대략 제로 크로스 온도(T₀)에 대해서 대칭이 되도록 미러의 동작 온도 및 제로 크로스 온도가 선택된다. 일차원, 예를 들면, x 방향에 대해서, 이것은 ΔT_{av} + T_{Ref} = (∫ ΔT(x)dx |_{x1}^{x2})/(x2-x1) + T_{Ref} = T₀를 의미한다.

[0031] 온도 프로파일(ΔT)이 일차원보다 많은 차원에서 변화하면, 예를 들면, ΔT = ΔT(x,y,z), 평균 온도를 얻기 위해 각 차원에서 적분이 행해지며, T_{av} = (∫ ∫ ∫ ΔT(x,y,z) dx dy dz |_{x1}^{x2} |_{y1}^{y2} |_{z1}^{z2})/(x2-x1)/ (y2-y1)/ (z2-z1)을 의미하며, y1, y2와 z1, z2는 y 및 z-방향에서 각각의 미러 에지이다. 또는, 각 차원에 대한 평균 온도는 개별적으로 계산된다. 이 경우, 제로 크로스 온도에 대한 최적화가 개별 평균 온도 또는 차원, 또는 수차에 가장 관련된 차원에 관련된 2개의 개별 평균 온도에 대해 행해질 수 있다.

[0032] 또한, 본 발명에 따라서, 제로 크로스 온도의 최적화가, 제로 크로스 온도를 갖는 EUV 투영 렌즈의 각 미러에 대해서 예상되는 절대 평균 온도 ΔT_{av} + T_{Ref} = T₀에 대해서 적용될 수 있다. 또는, 예상되는 절대 평균 온도는, 예를 들면 가열 수단으로 적어도 일 차원에서 미러 바디를 균일하게 가열함으로써 미러 재료의 제로 크로스 온도로 균일하게 상승된다. 후자의 방법은 보다 유연성을 제공하므로, 뒤에서 논의되며, 이 방법이 바람직하다.

[0033] 도 3d ~ 3f는 투영 렌즈(20) (도 1)에서 사용된 것으로서 EUV 미러의 보다 실제적인 온도 분포를 나타낸다. 도 3d에서, 그 치수를 갖는 미러 M_k가 위로부터 보여진다. 이 미러의 온도 분포와 각각의 수차의 시뮬레이션을 위해서, 6개의 미러(k=1 ~ 6)를 갖는 EUV 투영 렌즈가 사용되었다. 투영 빔의 방향으로 세어서 레티클 이후에 제 4 미러인 미러(24(도 6 참조) 또는 M₄)에 대한 결과가 도 3d ~ 3f에 도시되어 있다. 6개 미러를 갖는 EUV 렌즈가 아래에 도시 및 설명되어 있다. 도 3d에서, 온도 분포가 그레이 셰이딩 패턴으로 도시된다. 온도는 미러 주위로부터 기준 온도(T_{Ref})인 22°C로부터 중간 블랙 스폿에서 대략 T_{Ref} + ΔT_{max}(x) = 24°C까지 증가한다. 도 3e는 최대 온도 ΔT_{max}를 통해서 x 방향에 따른 미러의 온도 프로파일 ΔT(x)로서 기준 온도에 대한 온도 차를 나타낸다. 도 3f는 최대 온도 ΔT_{max}를 통해서 y 방향에 따른 미러의 온도 프로파일 ΔT(y)로서 기준 온도에 대한 온도 차를 나타낸다. 미러의 불균일한 온도 프로파일은 상기 설명한 것같이 미러면의 변형을 가져 온다. 이들 변형은 수차에 영향을 주어 이미지 에러 또는 결함을 발생시킨다. 미러 M₄에 대한 제르니케 계수의 값이 주어진 도 3g에 도시되어 있다. 이들 계수는 이미지 포인트(IP)를 생성하는 이미지 면에서 이상적인 구형 파면의 편차에 대한 양 또는 측정치이다(도 1 참조).

[0034] 제르니케 계수를 얻기 위해 파면은 일련의 제르니케 함수에서 팽창된다. 이상적인 구형 파는 제1 제르니케 계수만을 갖고, 모든 다른 계수는 0이다. 그래서 2보다 큰 제르니케 계수의 값은 다양한 활상 에러에 대한 측정치이며, 이들 계수가 클 수록 광학적 활상 시스템에서 광 수차가 커진다.

[0035] 도 3g에서 각각의 제르니케 계수에 대해서 2개의 값이 주어진다. 좌측 값(바)은 미러의 추가 가열이 없을 때의 값이다. 우측 바에 의해 주어진 우측 값은 미러의 추가적인 균일한 가열을 갖는 값이다. 이것을 보다 상세히

설명한다. 이 예에서 미러 M_4 는 25℃의 제로 크로스 온도를 갖는 ULE®로 만들어진 미러 바디를 갖는다. 기준 온도는 $T_{Ref} = 22℃$ 이다. 이것은 EUV광이 없이, 미러의 온도가 22℃에 있다는 것을 의미한다. 바람직하게, 이 온도에서 수차가 최소화된다. 오브젝트 포인트 OP를 이미지 포인트 IP로 투영하기 위해 EUV 광이 온으로 스위칭되면, 미러는 가열되고, 도 3g에서 각각의 좌측 바로 표시된 것같이 수차가 발생한다. EUV 광이 온으로 스위칭되기 전에 미러 M_4 가 2℃만큼 추가적으로 균일하게 가열되어 24℃가 되면, EUV 광이 온으로 스위칭된 후에 수차는 좌측 바보다 현저하게 낮은 우측 바를 생기게 한다. 이것은 적어도 하나의 렌즈 미러를 균일하게 가열함으로써 EUV 렌즈의 수차가 현저하게 감소될 수 있는 것을 의미한다.

[0036] 도 3h ~ 3l은 투영 렌즈(20) (도 1)에서 사용되는 것같이 EUV 미러의 더 실제적인 온도 분포를 나타낸다. 도 3h에서, 도 6의 EUV 투영 렌즈의 미러 M_6 는 도 3d와 유사하게 도시된다. 이 미러와 각각의 수차의 온도 분포의 시뮬레이션을 위해서, 6개의 미러를 갖는 EUV 투영 렌즈가 도 3d~3g에 대해서, 도 6에 도시된 것같이 사용된다. 결과는 투영 빔의 방향으로 세어서 레티클 뒤에서 제6 미러를 의미하는 미러 26 (도 6 참조) 또는 M_6 에 대해서 도 3h ~ 3l에 도시된다. 온도는 미러 주위로부터 기준 온도(T_{Ref})인 22℃로부터 좌우 블랙 스폿의 중간에서 대략 1.2℃ 까지 증가한다. 도 3i는 기준 온도에 대한 온도 차 $\Delta T(x) = T(x) - T_{Ref}$ 가 주어지는 최대 온도를 통해서 x 방향에 따른 온도 프로파일을 나타낸다. 도 3k는 x 방향에서 최대 값들 사이에서 최소 온도를 통한 y 방향에 따른 기준 온도에 대한 온도 차 $\Delta T(y) = T(y) - T_{Ref}$ 를 나타낸다. 미러의 불균일 온도 프로파일은 미러 면의 변형을 다시 가져 온다. 이 미러에 대한 제르니케 계수에 대한 값이 도 3l에 주어진다. 좌측 값 (바) 이득은 미러의 추가 가열을 갖지 않을 때의 값이다. 우측 값은 미러의 추가 가열이 있을 때의 값이다. 미러(M_6)는 25℃의 제로 크로스 온도를 갖는 ULE®로 만들어진 미러 바디를 갖는다. 기준 온도는 $T_{Ref} = 22℃$ 이다. 이것은 EUV광이 없이, 미러의 온도가 22℃에 있다는 것을 의미한다. 바람직하게, 이 온도에서 수차가 최소화된다. 예를 들면, 오브젝트 포인트 OP를 이미지 포인트 IP로 투영하기 위해 EUV 광이 온으로 스위칭되면, 미러는 가열되고, 도 3l에서 각각의 좌측 바로 표시된 것같이 수차가 발생한다. EUV 광이 온으로 스위칭되기 전에 미러 M_6 가 3.8℃만큼 추가적으로 균일하게 가열되어 24℃가 되면, EUV 광이 온으로 스위칭된 후에 수차는 좌측 바보다 현저하게 낮은 우측 바를 생기게 한다. 이것은 투영 렌즈중 적어도 하나의 렌즈 미러를 균일하게 가열함으로써 EUV 렌즈의 수차가 현저하게 감소될 수 있는 것을 또한 의미한다.

[0037] 도 4를 참조하여 미러 실정을 갖는 미러의 보다 상세한 설명과 기준 온도(T_{Ref})를 보다 상세히 설명한다. 도 1 또는 도 6을 참조하여 상기 서술된 것같이 투영 렌즈(20)는 미러 21, 22, 23, 24 (25, 26) 또는 일반적으로 복수의 반사 광학 소자(M_i)를 포함하고, 각각은 레티클 또는 구조화된 오브젝트(M) 상의 오브젝트 필드의 적어도 하나의 오브젝트 포인트(OP)를 50 nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는 EUV 광의 노광 파워로 투영 렌즈(20)가 노광되면 기판 또는 웨이퍼(W) 상의 이미지 필드의 이미지 포인트(IP)로 투영하기 위한 바디(MB_i)와 반사면(MS_i)을 가진다. 바람직하게, 대략 13 nm의 파장이 사용된다. EUV 리소그래피 투영 노광 시스템(100)의 조명 시스템(10)에 의한 조명 후 레티클(M)로부터 EUV 광이 반사된다. 또한, 투영 렌즈(20)는 반사 광학 소자(M_i)(예를 들면 미러 21, 22, 23, 24)를 수동적으로 또는 능동적으로 지지하는 지지 구조를 포함한다. 지지 구조 또는 지지 구조의 일부의 온도는 기준 온도(T_{Ref})에 있다. 이것은 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템(100) (도 1)에서 사용되는 복수의 반사 광학 소자(M_i)로부터 하나의 반사 광학 소자(M_k)를 나타내며, 예를 들면 WO 2005/026801 A2에 서술된 것같이, 미러(421)용 미러 마운팅 어셈블리(400)를 개략적으로 나타내는 도 4에 보다 상세히 도시되어 있다. 미러(421)는 Zerodur® 또는 ULE®로 만들어지거나, 예를 들면 재료 Zerodur® 또는 ULE® 중 하나를 포함하는 재료로 만들어지거나, 또는 적어도 하나의 제로 크로스 온도를 갖는 재료로 만들어지는 미러 바디(MB_k)를 포함한다. 미러(421)는 EUV광의 투영 빔(4) (도 1)의 반사율을 개선하기 위해 소정 층 두께를 갖는 소정의 층 재료의 선택적인 다층을 갖는 반사면(450)을 또한 포함한다. 미러 바디(MB_k)는 지지 소자(480)에 의해 지지된다. 일 예로서, 미러(421)는 3개의 마운팅 또는 연결 포인트(451, 452, 453)에 의해 지지되거나 서스펜드된다. 각각의 실장 포인트에서, 기생력 및/또는 모멘트가 지지 소자(480)로부터 미러로 거의 전달되지 않도록 미러(421)를 보유하는 운동 마운트를 얻기 위해, 미러 바디(MB_k)는 양각대 구조(461, 462, 463)을 갖는 연결 소자(471, 472, 473)와 연결된다. 일반적으로 그러나 필수적이지는 않게, 양각대 구조중 적어도 하나는 가동 장치를 포함한다. 지지 소자(480)는 투영 렌즈(20)의 하우징 구조에 고정된다. 하우징 구조는 때때로 투영 광

학 박스 즉, POB로 불려진다. 본 발명에 따라서, 다음의 소자들 중 소정의 또는 제어된 기준 온도(T_{Ref})를 갖는 지지 구조로서, 다음의 소자들이 바람직하게 선택된다: 연결 포인트(451, 452, 453), 연결 소자(471, 472, 473), 양각대 구조(461, 462, 463), 지지 소자(480) 또는 하우징 구조(481). 선택된 지지 구조는 다른 것들 중에서 EUV 리소그래피 노광 시스템에서 사용되는 온도 제어 시스템에 의존한다. 이로 인해, 도 4에서 모든 소자들은 T_{Ref} 로 지정되어 있지만, 이것은 이들 모든 소자들이 투영 시스템(100)의 동작 동안 동일한 온도를 갖는 것을 의미하지는 않는다.

[0038] 본 발명에 따르면, 기준 온도(T_{Ref})는 EUV 광이 오프로 스위칭되는 EUV 리소그래피 노광 시스템의 동작 모드에서, 또는 EUV 광의 파워가 EUV 리소그래피 노광 시스템의 대량 생산 동작 모드에서 레티클 상의 오브젝트 필드를 기판 상의 이미지 필드로 투영하기 위해 일반적으로 사용되는 노광 파워의 대략 10%보다 적은 동작 모드에서, 반사 광학 소자(421)를 지지하는 선택된 지지 소자의 온도이다. 이 기준 온도(T_{Ref})는 투영 렌즈(20)가 동작되는 클린 룸의 실온에 가깝게 일반적으로 선택되며, 이것은 기준 온도가 대략 $20^{\circ}\text{C} \sim 24^{\circ}\text{C}$ 의 범위, 바람직하게 22°C 인 것을 의미한다. 대부분의 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템에서, 추가의 온도 제어 시스템은 투영 렌즈(20)의 동작 동안에도 이 온도가 일정하도록 기준 온도(T_{Ref})를 제어한다. 일반적으로 이것은 하우징 구조(481) 및/또는 지지 소자(480) (도 4)의 온도가 도 3에서 선택된 것같이, 예를 들면 22°C 에 있는 것을 의미한다. 본 발명에 따르면, 제로 크로스 온도(T_{Ok})가 기준 온도보다 높도록 바람직하게 온도가 선택된다. 이것은 제로 크로스 온도 근방에서 미러를 동작시키기 위해 기준 온도(T_{Ref}) 아래의 온도로 냉각될 필요는 없다는 장점을 가진다. EUV 투영 렌즈에서 미러의 냉각을 회피하기 위해서, 미러의 냉각이 기술적으로 어렵거나 비싼 진공에서 렌즈에서 동작하기 때문에 투영 렌즈가 유리하다.

[0039] 또한, 본 발명에 따라서, 투영 렌즈(20)는 적어도 하나의 광학 소자(M_k)를 가열하기 위한 히터(300)를 포함하며, 또한 도 4와 동일한 도면 부호가 동일하거나 또는 유사한 부분을 나타내는 도 5에 도시된 것같이, 적어도 하나의 광학 소자(M_k)의 온도를 온도(T_k)로 제어하는 온도 제어 시스템(200)을 포함한다. 가열가능한 광학 소자(M_k)에서, 투영 렌즈가 노광 파워로 노광될 때 및 히터(300)가 가동 또는 가열되지 않으면, 기준 온도에 대한 공간적인 온도 분포 $\Delta T(x,y,z) = (T(x,y,z) - T_{Ref})$ 가 형성된다. 이 분포는 상기 정의된 것같이 평균 온도 ΔT_{av} 를 갖는다.

[0040] 적어도 하나의 가열된 광학 소자(M_k)는 도 4에 도시된 것과 동일한 방식으로 지지 구조에 연결될 수 있다. 또한, 적어도 하나의 가열된 반사 광학 소자(M_k)의 미러 바디(MB_k)는 기준 온도(T_{Ref})보다 높은 온도(T_{Ok}) (이 온도도 제로 크로스 온도로 칭해진다)에서 제로인 열 팽창의 온도 종속 계수를 갖는 재료를 포함한다. 바람직한 기준 온도 $T_{Ref} = 22^{\circ}\text{C}$ 로 인해서, 바람직한 제로 크로스 온도(T_{Ok})가 22°C 와 대략 70°C 사이에 있다. 이미 위에서 기술된 것같이, 이러한 재료들은 예를 들면 Zerodur® 또는 ULE®이다. 제로 크로스 온도(T_{Ok}) 및 기준 온도(T_{Ref})에 대한 적어도 하나의 온도 제어된 또는 가열가능한 광학 소자(M_k)의 온도(T_k)의 관계는, $T_k = T_{Ok} - \Delta T_{av}$; $T_k = 2 * T_{Ok} - T_{Ref} - \Delta T_{av}$; $T_k = T_{Ref} + 3 * (T_{Ok} - T_{Ref}) / 2 - \Delta T_{av}$; $T_k = T_{Ok} - \Delta T_{max}$; $T_k = 2 * T_{Ok} - T_{Ref} - \Delta T_{max}$; $T_k = T_{Ref} + 3 * (T_{Ok} - T_{Ref}) / 2 - \Delta T_{max}$ 로 구성되는 군에서 T_k 가 선택되도록 한다. 광학 소자(M_k)상의 온도 분포 $\Delta T(x,y,z)$ 의 형성 전에 이 온도(T_k)가 바람직하게 선택되는 반면, 투영 시스템의 동작 모드 동안 광학 소자가 EUV 광을 받을 때 가열로 인해 온도 분포가 생긴다. 이것은 반사 소자(M_k)가 제로 크로스 온도에 근접하므로 미러 또는 반사 소자(M_k)에 의해 흡수되는 투영 빔의 EUV 광이 대략 제로 크로스 온도까지 가열되는 장점을 갖는다. 본 발명의 장점은, 히터(300)를 적용하여 투영 처리 동안 바람직한 제로 크로스 온도에서 미러가 동작가능하므로 제로 크로스 온도가 매우 자유롭게 선택될 수 있다는 것이다. 선택적으로, ΔT_{av} 가 대략 1K와 같이 작으면, T_k 는 또한 제로 크로스 온도 T_0 가 될 수 있다.

[0041] 이것은 온도(T_k)가 히터(300) (도 5 참조)에 의해 이러한 온도로 온도 제어 시스템(200)에 의해 제어되는 것을 의미한다. 바람직하게, 히터는 미러(M_k)를 이러한 일정한 온도 값으로 균일하게 가열한다. 온도(T_k)는 EUV 광의 힘이 오프인 EUV 리소그래피 노광 시스템의 동작 모드에서 미러(M_k)의 동작 온도이다. EUV 광의 파워는 리소그래피 노광 시스템의 대량 생산 동작 모드에서 레티클 상의 오브젝트 필드를 기판상의 이미지 필드로 투영하

기 위해 일반적으로 사용되는 노광 파워로 스위칭되면, 반사 광학 소자 또는 미러(M_k)의 온도는 제로 크로스 온도(T₀)에 또는 거기에 근접하게 평균 온도 ΔT_{av}만큼 증가한다. 상기 서술된 것같이, 바람직하게 온도(T_k)는 EUV 광이 온으로 스위칭되기 전의 값으로 이미 제어된다. 바람직한 실시예에서, 미러(M_k)가 받는 열적 에너지가 일정하도록 히터가 제어된다. 이것은 예를 들면, 미러가 일부의 다른 에너지, 예를 들면 일부의 EUV 광을 흡수하면, 미러로의 열적 에너지의 전체 입력이 시간상 일정하도록 히터가 그 가열 파워를 감소시킨다는 것을 의미한다. 이것은 미러의 평균 온도도 시간상 일정하거나 또는 거의 일정하게 한다. T_k의 다양한 바람직한 값에 대해 보다 상세히 설명한다.

[0042] 온도(T_k)는 반사면(MS_k) 또는 미러 바디(MB_k)에서 제어될 수 있다. 온도들(T_{0k})(제로 크로스 온도)사이의 상기 주어진 관계에서, 미러(M_k)(또는 일반적으로 반사 광학 소자)의 동작 온도(T_k)와 평균 온도(ΔT_{av})뿐 아니라 지지 구조의 기준 온도(T_{Ref})는 가장 실제적인 경우에 있어서 반사 광학 소자(M_k)의 매우 작은 길이 변화 또는 면 형태 변화를 가져 오고, 수차 또는 이미지 에러가 현저하게 감소되며, 도 3g와 3i에 도시된 것같이, 대략 $T_k = T_{0k} - \Delta T_{av}$ 와 $T_k = T_{Ref} + 3*(T_{0k} - T_{Ref})/2 - \Delta T_{av}$ 가 되도록 온도(T_k)가 제어된다.

[0043] 수식 $T_k = T_{Ref} + 3*(T_{0k} - T_{Ref})/2 - \Delta T_{av}$ 는 미러 면위에서뿐 아니라 미러의 두께 또는 z 방향으로 온도 분포가 있는 것을 고려한다. 반사면의 측면 위에, 예를 들면, 미러의 주변에서 온도(T_k)가 있고, 미러의 후면에 예를 들면, 이 온도에서 지지 구조의 임의의 열적 조건으로 인한 기준 온도(T_{Ref})가 있다고 가정하면, T_k에 대한 양호한 온도가 $T_k = 2*T_{0k} - T_{Ref} - \Delta T_{av}$ 에 의해 주어진다. 그러나, 온도 제어 시스템의 정확성 또는 온도(T_k)가 제어 가능한 정확성이 수차 또는 촬상 에러에 영향을 준다. 온도 제어 및 다른 시스템 변동으로 인해서 반사 광학 소자(M_k)의 바디(MB_k)의 온도의 정확성이 ±1K 내에 있으면, 도 3c에서 도면 부호 303으로 개략적으로 도시될 수 있는 것같이, 길이의 상대 변화는 대략 10 ppb보다 일반적으로 적다. 그러나, 동작 온도는 대략 $T_{Ref} + (T_{0k} - T_{Ref})/2$ 및 $T_{Ref} + 3*(T_{0k} - T_{Ref})/2$ 사이에서 선택될 수 있는 것으로 가정한다. 도 3c로부터 알 수 있듯이, 동작 온도가 기준 온도(T_{Ref})에 너무 근접하거나 또는 일반적으로 제로 크로스 온도(T_{0k})에서 너무 멀면, 도면 부호 304와 305로 나타낸 것같이, 길이의 상대적인 변화는 10 ppb보다 훨씬 많다. 바디(MB_k)의 변형으로 인한 미러 변형의 현저한 위험이 있는 경우에, 시스템의 광학적 성능의 변형을 가져 온다. 이로 인해, 특히, 간격 [(T_{Ref} + T₀)/2 ; T_{Ref} + 3*(T_{0k} - T_{Ref})/2]내에 있으면, 동작 온도 $T_k = T_{0k} - \Delta T_{av}$ 및 $T_k = T_{Ref} + 3*(T_{0k} - T_{Ref})/2 - \Delta T_{av}$ 가 바람직하다.

[0044] 미러 바디(MB_k)에 대한 재료의 제로 크로스 온도가 투영 렌즈의 설계를 위해 사용된 임의의 설계 계산 또는 시뮬레이션에 따른 것보다 높도록 재료를 선택하는 것이 바람직하다. 이러한 계산에서, 주위 온도의 변동, 렌즈 설계에 대한 디자인 가정의 변동, EUV 광원, 레티클 반사의 변동이 고려되어, EUV 투영 렌즈가 설계될 때 미러(M_k)의 최대 또는 평균 온도의 계산을 하게 된다. 제로 크로스 온도가 계산된 값보다 몇 켈빈(Kelvin) 높게 선택되면, EUV 렌즈는, 수차가 최소화되는 제로 크로스 온도에 근접한 바람직한 온도에서 모든 조건 하에서, 동작될 수 있다. 미러의 동작 온도가 히터(300)와 컨트롤러(200)에 의해 제어된 균일한 가열에 의해 이루어질 수 있다. 히터(300)에 대해서 다양한 예가 사용될 수 있다. 이 예들은 금속 판으로 만들어지고, 미러에 근접하고, 바람직하게 미러의 후면에 근접하게 배열된 가열 소자들이다. 대안으로서 또는 부가적으로 전기 가열 소자는 미러 바디와 직접 접촉한다. 또 다른 대안으로서 또는 부가적으로 히터는 미러 또는 반사 소자가 조사되는 적외선 소스를 포함한다.

[0045] 또한, 온도 제어 시스템(200)은 하나의 또는 몇몇 위치에서 미러 온도(T_k)를 직접 측정하는 센서를 포함할 수 있다. 본 발명의 또 다른 실시예에서, 온도 제어 시스템에 의해 제어되는 적어도 하나의 광학 소자(M_k)의 온도(T_k)가 광학 소자(M_k)의 반사면(MS_k)(도 5)의 온도(T_{MSk}) 또는 광학 소자(M_k)의 바디(MB_k)의 온도(T_{MBk})일 수 있다. 또 다른 온도(T_k)는 바디(MB_k)의 온도(T_{MBk}) 및/또는 반사면(MS_k)의 온도의 함수에 주어진 온도일 수 있다. 또한, 반사면의 온도(T_{MSk})는 평균 면 온도일 수 있다. 이러한 평균화는 예를 들면, 자외선 카메라로 면 온도를 측정하거나 공간-분해 고온계(pyrometer)에 의해 행해질 수 있다. 또한 바디의 온도(T_{MBk})는 바디(MB_k)에서 복수의 공간 위치에서 측정된 복수의 온도의 평균 온도일 수 있다. 바람직하게, 미러 바디의 온도가 측정된 공간

위치 또는 공간 위치의 서브셋은 반사 면에 근접하게 배열된다. 제어기(200)에 의해, 온도 값 또는 제어 파라미터는 반사 면 및/또는 바디의 온도 또는 온도들의 측정으로부터 계산될 수 있다. 또 다른 대안으로서, 상기 서술된 것같이, 제어 시스템에 대한 온도(T_k)는 바디(MB_k) 또는 반사면(T_{MSk})의 공간 온도 분포로부터 선택된다. 광학 소자(M_k)의 온도가 하나 또는 몇몇 위치에서 측정되는지 및 온도 제어 시스템이 온도 신호에 대한 하나 이상의 입력 채널을 포함하는지에 의거하여, 하나의 서술된 온도 제어 옵션이 선택된다. 대안으로서 또는 추가로, 광 수차가 정해질 수 있고, 온도 제어 시스템(200)은 수차가 최소가 되도록 미리 온도를 제어한다. 수차의 온도 제어 또는 제어를 위해서, 온도(T_k)가 반드시 분명하게 결정될 필요는 없다. 또는 모델 기반 제어기는 미리의 온도 또는 미래에 전달되는 히터의 열을 제어한다. 모델은 렌즈가 노광되는 EUV 광의 파워, 레티클이 조사되는 조명 세팅, 레티클 상의 구조 및 렌즈의 광 수차와 같은 파라미터를 고려할 수 있다.

[0046] 또 다른 실시예에서, 조명된 레티클의 EUV 광은 조명 세팅에 따른 각도, 편향 또는 세기의 공간 분포를 포함한다. 이것은 기준 온도(T_{Ref})에 대한 공간 온도 분포 $\Delta T(x,y,z) = (T(x,y,z) - T_{Ref})$ 를 가져 온다. 이 온도 분포는 일반적으로 평균 온도(ΔT_{kav})와 최대 온도 $\Delta T_{kmax} = (T_{Ref} + \Delta T_{kmax})$ 를 가진다. 온도 분포는, 히터를 가열하지 않은 노광 파워로 노광 렌즈가 노광될 때, 가열가능한 광학 소자(M_k)의 반사면(MS_k) 상에 만들어진다.

[0047] 온도 분포의 결정 뒤, 온도(T_k)의 상기 서술된 선택에 대한 대안으로서 또는 추가적으로, 온도(T_k)가 $T_k = (T_{Ok} + T_{Ref} + \Delta T_{kmax})/2$ 로서 선택된다. ΔT_{kmax} 에 의존하여, 제로 크로스 온도가 최대 온도 $T_{kmax} = T_{Ref} + \Delta T_{kmax}$ 보다 높은 경우에, 이 선택은 가열된 광학 소자가 제로 크로스 온도에 근접하게 가열되는 평균을 갖는다. 상기 서술된 것같이, 투영 빔(4)의 EUV 광이 온으로 스위칭되기 전에, T_k 는 광학 소자(M_k)의 바디(MB_k)의 온도(T_{MBk}), 바디(MB_k)의 온도(T_{MBk})의 함수에 의해 주어진 온도, 및 반사면(MS_k)의 온도(T_{MSk}) 또는 반사면(MS_k) 또는 바디(MB_k)의 공간 온도 분포로부터 선택된 온도일 수 있다.

[0048] 본 발명에 따른 투영 렌즈의 또 다른 실시예에서, 투영 렌즈가 EUV 광의 노광 파워를 받기 전의 시간에, 광학 소자(M_k)의 온도(T_k)는 제1 가열 파워로 히터를 가열함으로써 그 값으로 제어된다. 이것은, 노광 동안, EUV 광에 의한 노광 전에 광학 소자의 동작 온도(T_k)가 이 동작 온도에 매우 근접하는 장점을 갖는다. 이것은 노광 시간의 함수로서 수차 오차의 변화가 현저하게 감소될 수 있고, 투영 시스템은, 활상 품질이 거의 변화하지 않는 정적 상태 동작 조건에서 보다 빠르게 된다. 바람직하게, 노광 동안(투영 렌즈가 EUV 광의 노광 파워를 받는 시간 동안) 히터의 가열 파워는 제1 가열 파워보다 적다. 이것은 광학 소자(M_k)의 워업을 방지한다.

[0049] 본 발명에 따른 투영 렌즈의 또 다른 실시예에서, 제2 광학 소자(M_{2k})를 온도(T_{2k})로 가열하는 제2 히터가 사용되고, 제2 광학 소자(M_{2k})의 바디(MB_{2k})는 기준 온도보다 높은 온도(T_{02k})에서 제로인 열 팽창의 온도 종속 계수를 갖는 재료를 포함한다. 제2 광학 소자에서, 투영 렌즈가, 평균 온도(ΔT_{2av})와 최대 온도(ΔT_{2max})를 갖는, 제2 히터를 가열하지 않고 노광 파워로 노광될 때, 기준 온도(T_{Ref})에 대한 제2 공간 온도 분포 $\Delta T_2(x,y,z) = (T_2(x,y,z) - T_{Ref})$ 가 형성된다. 상기 서술된 실시예와 유사하게, 도 3c와 연결하여, 제2 광학 소자(M_{2k})의 온도(T_{2k})는 제1 가열된 미러(M_k)의 동작 온도(T_k)에 대해서 상기 서술된 것과 동일한 관계에 따라서 선택된다. 이것은 제2 광학 소자(M_{2k})의 동작 온도(T_{2k})가, $T_{2k} = T_{02k} - \Delta T_{2av}$; $T_{2k} = 2 * T_{02k} - T_{Ref} - \Delta T_{2av}$; $T_{2k} = T_{Ref} + 3 * (T_{02k} - T_{Ref}) / 2 - \Delta T_{2av}$; $T_{2k} = T_{02k} - \Delta T_{2max}$; $T_{2k} = 2 * T_{02k} - T_{Ref} - \Delta T_{2max}$; $T_{2k} = T_{Ref} + 3 * (T_{02k} - T_{Ref}) / 2 - \Delta T_{2max}$ 로 이루어진 그룹으로부터 바람직하게 선택되는 것을 의미한다. 투영 빔(4)의 EUV 광의 파워가 온으로 스위칭되기 전에 광학 소자 또는 미러(M_{2k})가 이 온도(T_{2k})이거나 또는 이 온도로 가열된다. 이 실시예에서, 바디(MB_{2k})의 재료는 제1 광학 소자의 바디(MB_k)의 재료와 동일하거나 또는 상이할 수 있다. 동일한 재료의 제1 경우에, 바람직하게, 재료는 상이한 제로 크로스 온도를 가지며, CTE(T) 함수(도 2b 참조)가 각각의 제로 크로스 온도에서 경사에 대해서 상이한 대수 사인을 가지도록 제1 반사 소자(M_k)가 선택될 수 있다. 이 재료는 Zerodur® 재료에 대해서 도 2b에 나타난 것같이, 적어도 2개의 제로 크로스 온도(T_0 , T_{02})를 포함하는 것이 요구된다. 상이한 재료의 예는 하나의 광학 소자에 대해서 ULE® 및 다른 것에 대해서는 Zerodur®의 사용이다. 이 경우, 바람직하게, 각각의 제로 크로스 온도에서 경사에 대한 대수 사인이 상이하다. 이것은 예를 들면, WO 2005/040924 A1에 기재되어 있는 것같이, 수차를 감소시키기 위한 또 다른 측정물로서 바람직하게 사용될 수

있다.

[0050] 도 6은 도면 부호 21, 22, 23, 24, 25, 26로 각각 지정되는 반사 광학 소자($M_1 \sim M_6$)로서 6개의 미러를 포함하는 EUV 투영 렌즈의 추가적인 개략 배열을 나타낸다. 도 6에서 동일한 도면부호는 도 1에서 동일하거나 유사한 부분을 나타낸다. 또한, 레티클(M)로부터 웨이퍼(W)로 진행되는 투영 빔(4)의 하향 방향으로 배열되는 것같이 미러가 넘버링된다. 예를 들면, 도 1 또는 도 6에 도시된 것같이, 오브젝트 포인트(OP)를 웨이퍼(W) 상의 이미지 포인트(IP)로 투영하기 위해, 이러한 EUV 투영 렌즈(20)가 EUV 광으로 노광되면, 각각의 미러는 워밍업된다. 바람직하게, EUV 광이 온으로 스위칭되기 전에, 이들 미러는 예를 들면, 22°C의 T_{Ref} 에 있다. 레티클(M) 다음에 16W의 파워를 갖는 투영 빔(4)으로 이러한 렌즈가 노광되면, 도 7은 도 6의 투영 렌즈(20)의 6개 미러의 워밍업에 대한 예를 나타낸다. 이 파워의 발생을 위해서, 1kW 보다 많은 광원 파워가 광원(1)에 대해서 필요하다(도 1 참조). 이 도시된 도면은, 도 3h에 도시된 것같이 유사하게 최종 미러(M_6) 상에 온도 분포를 주는 쌍극자 조명 세팅으로 레티클이 조명되는 시뮬레이션 계산이다. 미러가 투영 렌즈(20)의 퓨필 면에서 또는 그 근방에 배열되기 때문에 쌍극자가 미러상에 보여질 수 있다.

[0051] 도 7에서, 각각의 6개 미러에 대해서, 각각 하부 곡선인 평균 온도(ΔT_{av})는 시간의 함수로서 표시된다. 평균 온도는 상기 정의된 것같이 계산된다. 또한, 각 미러에 대해서, 온도 분포 $\Delta T(x,y,z)$ 의 최대 온도(ΔT_{max})는, 각 미러에 대한 각각의 상부 곡선으로 표현되는 함수로서 표시된다. 이들 미러가 대략 4.5K, 4.0K 및 3.5K으로 워밍업되는, 미러(M_5, M_3, M_2)에 대한 열적 부하를 알 수 있다. M_1 은 대략 2K로 워밍업되고 M_4, M_6 는 대략 0.5 K로 워밍업된다. 또한, 대부분 일정한 정적 상태 온도에 도달하기 위해 미러는 대략 150 분 이상을 필요로 한다. 이 시간 동안, 반사면의 효과적인 위치 및 이들 면들의 면 형태가, 도 3a ~ 3c에 설명된 것같이, 변화한다. 평균 온도가 각각의 제로 크로스 온도에 대해서 시간상 변화하기 때문에, 상기 서술된 것같이 광 수차를 가져온다. 그러나, 렌즈(20)가 정적 상태 조건에 대해서 최적화될 수 있다. 이것은, i -번째 미러 ($i = 1 \sim 6$)에 대해서 $T_{0i} = (T_{av i} + T_{Ref})$ 인 것을 의미하는, 정적 상태 온도 또는 거의 정적 상태 온도가 되도록 미러에 대해 제로 크로스 온도가 선택되는 것을 의미한다. 이 경우, 도 3a ~ 3c와 관련되어 서술된 것같이, 수차가 최소화된다. 대략 22°C의 온도에서(또는 일반적으로 기준 온도에서 또는 이에 근접한) 이 면 형태에 관하여 미러가 제조되면, 도 3a와 관련되어 설명된 것같이, 이렇게 선택된 제로 크로스 온도까지 균일하게 미러가 가열되어도, 이 면 형태는 대부분 동일하게 남아 있다. 또한, 미러가 투영 빔(4)의 흡수된 파워로 인해서 공간 온도 분포 $T(x,y,z)$ 를 가지면, 이 흡수에 의해서 발생된 수차는 도 3b 및 3c에 설명된 것같이 최소화된다. 실제적으로 제로 크로스 온도의 최적화 (재료 선택에 의한)는 다음의 단점을 가진다:

- [0052] 1. 정적 상태 온도는 광원의 파워, 조명된 레티클, 및 레티클이 조명되는 사용된 조명 상태에 의존하다.
- [0053] 2. 특정 제로 크로스 온도를 갖는 미러 재료의 제조가 매우 비싸다. 또한, 제조 허용 오차를 갖는, 더 큰 세트의 재료로부터 요구된 재료를 선택함으로써, 특정된 제로 크로스 온도가 얻어질 수 있도록 제조 허용 오차가 있다. 이것은 매우 비쌀 수 있다. US 2003/0125184 A1에서, 특정된 미러 정의된 제로 크로스 온도를 갖는 Zerodur®의 제조의 어려움이 기재되어 있다. 또한, 제로 크로스 온도의 결정에 관한 어려움이 표시되어 있다.
- [0054] 3. EUV 렌즈가 미세 구조된 오브젝트의 대량 생산을 위해 사용될 수 있는 대략 처음의 2 ~ 3 시간 내에서 워밍업 상태 동안 허용가능한 수차가 있다.

[0055] 수차의 상기 단점의 영향이 도 8에 도시될 수 있다. 도 8은 제르니케-계수 Z5의 형태로 수차를 나타낸다. Z5에 대해서 그 RMS (root mean square) 값은, 도 6에 도시된 렌즈의 6 미러의 각각에 대해서 주어진다. 투영 렌즈의 각 미러가 도 7에 도시된 것같이 정적 상태에 있으면 제로 크로스 온도의 함수로 Z5가 도시되어 있다. 각 미러에 대한 바는 제로 크로스 온도가 더 높거나 또는 더 낮게 선택되면 어떻게 수차가 증가하는지를 나타낸다. 18°C (가장 좌측 바)에서 34°C (가장 우측 바)까지 제로 크로스 온도에 대해서 1K 단계에서 계산이 행해진다. 대략 25.5°C ($T_{Ref} = 22^\circ\text{C}$ 에서 $T_{av 2} = 3.5\text{K}$)의 정적 상태 온도를 갖는 M_2 에 대해서, 다양한 제로 크로스 온도에 대한 수차 값은 예를 들면, 각 제로 크로스 온도 데이터를 갖는 도시된 화살표로 표시된다. 도 8에 따라서 가장 좋은 제로 크로스 온도가, 정적 상태 온도 (25.5°C)가 제로 크로스 온도에 대응하면, 가장 낮은 수차가 얻어져야 한다는 좋은 협약에 있는, 26°C와 27°C 사이에 있어야 한다. 도 8은, 미러의 정적 상태 온도가 대략 $\pm 1\text{K}$ 내의 제로 크로스 온도에 일치하지 않으면, 수차가 증가하는 것을 명백하게 나타낸다. 정적 상태 온도 $T_{Ref} + \Delta T_{av}$ 는 EUV 광원의 파워, 사용된 조명 세팅, 사용된 레티클 및 일부 다른 구성에 의존하기 때문에, 모든 서술된 동작 조건 하에서, 미러 재료가 선택되면, 제로 크로스 온도가 고정되기 때문에, 수차가 최소가 될 수 있도록

EUV 렌즈를 구성하는 것이 불가능하게 보여진다.

- [0056] 또한, 도 8에서, 제로 크로스 온도(T_{0k})에 관한 제조 허용 오차의 영향을 알 수 있다. 예를 들면, 미러(M_2)에 대해서, 27°C의 제로 크로스 온도가 수차를 최소화하고, 제조된 재료가 $T_{02} = 29^\circ\text{C}$ 의 제로 크로스 온도를 가지면, 수차가 거의 2배가 된다. 미러 M_1 에 대해서, 최적의 제로 크로스 온도로부터 2K의 편차는, 화살표 81 및 82로 표시된 것같이, 더 높은 수차를 가져 온다.
- [0057] 도 9는, 투영 동안 EUV 렌즈(20)가 받는, 레티클(M) 다음의 EUV 광 파워(P)의 함수로서 최적화된 제로 크로스 온도를 나타낸다. 가장 큰 수차를 만드는 세팅에 대해서 계산이 행해진다. 모든 미러에 대해서 최적화된 제로 크로스 온도 T_{0i} 가 파워(P)와 양호한 근사에서 선형으로 증가하는 것을 알 수 있다. 16W까지 계산이 행해지고, 도 7 및 도 8의 계산에 관해서 모든 6개 미러에 대한 미러 재료로서 ULE®가 선택된다. 또한, 제조된 렌즈(20)는 광 수차에 관해서 최적화되면, 하나의 EUV 렌즈 내의 제로 크로스 온도의 변화가 파워에 따라서 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은, 널리 변화하는 상이한 제로 크로스 온도를 갖는, 미러의 제조를 위해 상이한 재료가 사용되어야 하는 것을 의미한다. 이로 인해 제조하는 것이 매우 비싸진다. 또한, 발명자는, EUV 렌즈가 EUV 광 파워 및 수차에 대해서 최적화되면, 더 높은 노광 파워에 대해서 투영 렌즈 내의 제로 크로스 온도가 6 K 보다 많이, 또한, 8K보다 많이 달라야 하는 것을 처음으로 발견했다. 이로 인해, 본 발명의 투영 렌즈의 상기 서술된 실시예의 또 다른 실시예에서, 가열 가능한 소자와 제2 가열가능한 소자의 제로 크로스 온도(T_{0k} , T_{02k}) 사이의 차이의 절대 값이 6 K보다 크게 선택되며, $\text{abs}(T_{0k} - T_{02k}) > 6 \text{ K}$ 로 표현된다. 이러한 투영 렌즈에서, 바람직하게, 광 수차(광학 소자에서 EUV 광의 흡수로 인한 열적 효과에 의해 생긴)가, 더 높은 EUV 광 파워에서도, 감소될 수 있다. 상기 서술된 본 발명의 투영 렌즈의 또 다른 실시예에서, 적어도 하나의 가열 가능한 광학 소자(M_k)의 제로 크로스 온도(T_{0k})는 각각의 공간 온도 분포 $\Delta T(x,y,z)$ 에 기초하는 평균 온도 또는 최대 온도 $\Delta T_{av} + T_{Ref}$ 또는 $\Delta T_{max} + T_{Ref}$ 와 가장 높은 기준 온도(T_{Ref})의 최대 값보다 크며, $T_{0k} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{av} + T_{Ref})$ 또는 $T_{0k} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{max} + T_{Ref})$ 로 표현된다. 이것은, 히터(300)에서 적어도 하나의 가열가능한 광학 소자가, 투영 과정 동안 사용된 EUV 광 파워에 무관한 제로 크로스 온도 (및 기준 온도)까지 가열될 수 있는 장점을 갖는다. 투영 렌즈(20)의 모든 동작 조건에 대해서 이러한 광 수차가 최소화될 수 있다. 상기 서술된 본 발명의 실시예의 요지는 미러의 수에 무관하다. 이것은 예를 들면, 도 1에 도시된 것같은, 4개의 미러(21, 22, 23, 24)를 갖는 투영 렌즈(20) 및 도 6에 도시된 것같은, 6개의 미러(21, 22, 23, 24, 25, 26)를 갖는 투영 렌즈(20)에 적용될 수 있다.
- [0058] 또한, 특히, 적어도 하나의 미러 또는 광학 소자(M_k)가 히터(300)에 의해 가열되는 투영 렌즈(20)에서 광 수차를 최소화하기 위해, 적어도 하나의 가열된 광학 소자(M_k)를 그 병진 운동을 위해 액츄에이터에 연결하는 것이 유리하다. 이것은 도 3a와 관련되어 서술된 것같이, 미러(M_k)의 균일한 가열을 보상하기 위해 미러(M_k)를 시프트하는 것을 허용한다. 또한, 미러 또는 광학 소자(M_k)를 가열하는 히터(300)는 도 13의 설명에서 아래에 보다 상세히 설명된 것같이, IR 발광 다이오드, 펄티에 소자, 광 파이버, 도광 로드 및 IR 레이저로 이루어진 그룹으로부터 선택된 가열 소자를 바람직하게 포함한다. 또한, 이러한 가열 소자는 소정의 공간 좌표에서 일차원 또는 이차원으로 선택적으로 배열되어 그리드 구조를 형성한다. 바람직하게, 가열 소자가 IR 방사를 발하거나 안내하는 실시예에서, 이들 실시예는 IR 방사를 구성하기 위한 광학 장치를 포함한다. 광학 장치는, 콜리메이터, 포커싱 렌즈, 조정가능한 렌즈, 미러 및 회절 광학 소자로 이루어지는 그룹에서 선택된 장치 요소를 포함하며, 장치 요소는 적어도 축 주위에서 틸트가능할 수 있다. 이러한 광학 장치의 예가 도 13에 도시되어 있다.
- [0059] 또한, 상기 서술된 투영 렌즈의 또 다른 실시예에서, 적어도 하나의 광학 소자(M_k)는 미러 바디(MB_k)의 변형 부분을 포함한다. 이 변형 부분은 리세스, 블라인드 홀, 규정된 표면 거칠기, 회절 구조, 구형 돌기, 구형 리세스 및 표면 곡률을 포함한다. 도 13과 관련하여 아래에 보다 상세히 설명된 변형 부분은, 예를 들면, 광학 소자를 국부적으로 가열하기 위해 IR 방사를 안내하기 위해 바람직하게 사용된다.
- [0060] 더 높은 노광 파워에 대해서 투영 렌즈 내의 미러의 제로 크로스 온도는 6 K 이상 만큼 달라야 한다는 상기 발견으로 인해서, 본 발명은, 50 nm 미만의 파장 범위내의 파장, 바람직하게 13 nm의 파장을 갖는 EUV 광의 8W 보다 많은 노광 파워로 노광되도록 설계되는, 이하에 제1 투영 렌즈로 칭해지는 투영 렌즈에 또한 관계한다. 도 7, 도 8 및 도 9에 있어서 13 nm에서, 도 6에 나타난 6개의 미러를 갖는 렌즈(20)에 대한 계산이 행해진다. 일반적으로, 이러한 렌즈는 미러와 같은 적어도 2개의 반사 광학 소자(M_i)를 포함한다. EUV 광의 노광 파워로

투영 렌즈가 노광되면, 각각의 미러 또는 반사 광학 소자는, 레티클 상의 오브젝트 필드를 기관 상의 이미지 필드로 투영하는 바디(MB_i) 및 반사면(MS_i)을 포함한다. 레티클이 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 조명 시스템에 의해 조명된 뒤, 광이 레티클로부터 반사된다. 또한, 적어도 2개의 반사 광학 소자의 바디(MB_m, MB_n)는 각 제로 크로스 온도(T_{0m}, T_{0n})에서 제로인 열 팽창의 온도 증속 계수를 갖는 재료를 포함하며, 이 제1 투영 렌즈에서 제로 크로스 온도(T_{0m}, T_{0n}) 사이의 차이의 절대 값이 6 K 보다 많으며, 이것은 $abs(T_{0m} - T_{0n}) > 6 K$ 로 표현된다. 이것은 예를 들면, 도 8로부터 알 수 있는 것같이, 렌즈가 8W 이상의 노광 파워를 받으면 미러(M₅) 및 미러(M₄ 또는 M₆)에 대한 경우이다.

[0061] 이러한 제1 투영 렌즈의 제2 실시예에서와 같이, 렌즈는 4개 또는 6개의 반사 광학 소자(M_i) 또는 미러(예를 들면, 도 1 및 도 6에 도시된 것같이) 및 바람직하게 투영 렌즈가 10W 초과의 노광 파워로 노광되도록 설계된다. 이 경우에, 제로 크로스 온도(T_{0m}, T_{0n}) 사이의 차이의 절대 값이 8K보다 높고, $abs(T_{0m} - T_{0n}) > 8K$ 로 표현된다. 도 6의 6개의 미러 렌즈(20)에 대해서, 도 9는 미러(M₅ 및 M₄ 또는 M₆)에 대해서 이것을 명백하게 나타낸다. 노광 파워가 10 W 보다 높아지면, 이들 미러의 제로 크로스 온도는 8 K보다 많이 다르다.

[0062] 제1 투영 렌즈의 제3 실시예(및 그 이전 실시예)는 도 4 및 도 5와 관련해서 서술된 것같이, 반사 광학 소자(M_i)를 수동적으로 또는 능동적으로 지지하는 지지 구조를 포함할 수 있다. 지지 구조의 적어도 일부의 온도는, 예를 들면 22℃로서 선택되는 기준 온도(T_{Ref})에 있다. 제1 렌즈의 실시예에 따른 렌즈는 상이한 제로 크로스 온도를 갖는 재료를 포함하는 적어도 하나의 미러 바디(MB_n, MB_m)를 가열하는 히터(300)를 포함한다. 온도 제어 시스템(200)은 적어도 하나의 가열된 미러 바디(MB_n, MB_m)의 온도를 온도(T_k)로 제어한다. 히터(300)는, 바디가 균일하게 가열될 수 있도록 만들어진다. 이것은, 바디(MB_n, MB_m)가 적어도 하나의 치수의 바디에서 균일하게 가열되는 것을 의미한다. 다양한 유형의 히터(300)를 이 상세한 설명에서 아래에 설명한다.

[0063] 제1 렌즈의 제4 실시예에서(및 그 이전 실시예에서), 여기서, 이전에 서술된 히터(300)의 구동없이, EUV 광을 갖는 바디(MB_n, MB_m)의 반사면(MS_m 및 MS_n)의 노광은, 각각의 평균 온도 및 최대 온도 ΔT_{nav} , ΔT_{mav} 및 ΔT_{nmax} 및 ΔT_{mmax} 을 갖는 기준 온도(T_{Ref})에 대한 바디(MB_n, MB_m)의 온도 분포 $\Delta T_n(x,y,z) = (T_n(x,y,z) - T_{Ref})$, $\Delta T_m(x,y,z) = (T_m(x,y,z) - T_{Ref})$ 를 가져 온다. 반사면(MS_m 및 MS_n)이 노광되는 EUV 광은 조명된 레티클에 의해 반사되고, 조명 세팅에 따른 각도, 편향 및 세기 파라미터의 공간 분포를 포함한다. 이 실시예에서, 적어도 하나의 제로 크로스 온도(T_{0m}, T_{0n})는, 각각의 공간 온도 분포 $\Delta T_m(x,y,z)$, $\Delta T_n(x,y,z)$ 에 기초하는 각각의 평균 온도 또는 최대 온도 $\Delta T_{mav} + T_{ref}$ 또는 $\Delta T_{nmax} + T_{ref}$, $\Delta T_{nav} + T_{ref}$ 또는 $\Delta T_{mmax} + T_{ref}$ 와 가장 높은 기준 온도(T_{Ref})의 최대 값보다 크게 선택되고, $T_{0m} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mav} + T_{ref})$, $T_{0m} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax} + T_{ref})$ 또는 $T_{0n} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nav} + T_{ref})$, $T_{0n} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax} + T_{ref})$ 로서 표현된다.

[0064] 일반적으로, 기준 온도는 일정하고, 지지 소자(480) 또는 하우징 구조(481)(도 4 및 5 참조)의 온도로서 선택된다. 자주, 렌즈가 EUV 광의 노광 파워를 받아도, 미러의 후면은 이 온도를 갖는다. 제로 크로스 온도의 이 선택의 이점은 히터(300)를 사용하여, 각각의 미러는 항상 가열에 의해 제로 크로스 온도로 될 수 있다는 것이다. 이것은, 도 7에서 설명한 것같이, 히터(300)의 적용없이, 미러만이 평균 온도로 가열되기 때문이다. 제로 크로스 온도가 이 온도로 조정되면, 도 3a 및 도 3b와 관련하여 설명한 것같이, 광 수차가 최소가 된다. 그러나, 제로 크로스 온도가 절대 평균 온도 $T_{Ref} + \Delta T_{mav}$ 또는 $T_{Ref} + \Delta T_{nav}$ 보다 높게 선택되면, 추가의 히터(300)로 미러를 가열함으로써, 수차를 최소화하기 위해, 선택된 제로 크로스 온도로 또는 거기에 근접하게 가열될 수 있다.

[0065] 제1 투영 렌즈의 제5 실시예 (및 그 이전 실시예)에서, 제로 크로스 온도의 제조 허용 오차가 고려된다. 이것은, 본 발명에 따라서 제로 크로스 온도(T_{0m}, T_{0n})를 갖는 재료를 포함하는 제1 투영 렌즈의 재료가, 제조 공정으로 인한 제로 크로스 온도의 실제 값에 관하여 변화하여, 제조 허용 오차(ΔT_{0m} , ΔT_{0n})를 가져 오면, 각각의 실제 값이 온도 간격 $T_{0m} \pm \Delta T_{0m}$ 및 $T_{0n} \pm \Delta T_{0n}$ 내에 있는 것을 의미한다. 이 경우에, 바람직하게 적어도 하나의 제로 크로스 온도(T_{0m}, T_{0n})가, 각각의 공간 온도 분포 $\Delta T_m(x,y,z)$, $\Delta T_n(x,y,z)$ 에 기초하는 각각의 절대 평균

온도 또는 최대 온도 $\Delta T_{\text{nav}} + T_{\text{Ref}}$ 또는 $\Delta T_{\text{mmax}} + T_{\text{Ref}}$, $\Delta T_{\text{nav}} + T_{\text{Ref}}$ 또는 $\Delta T_{\text{rmax}} + T_{\text{Ref}}$ 와 가장 높은 기준 온도 (T_{Ref})의 최대 값보다 - 추가로, 이러한 값들은 각각의 제조 허용 오차(ΔT_{0m} , ΔT_{0n})의 절대 값 만큼 증가됨- 크 게 선택되며, $T_{0m} > \max(T_{\text{Ref}}, \Delta T_{\text{nav}} + T_{\text{Ref}}) + |\Delta T_{0m}|$, $T_{0m} > \max(T_{\text{Ref}}, \Delta T_{\text{mmax}} + T_{\text{Ref}}) + |\Delta T_{0m}|$ 또는 $T_{0n} > \max(T_{\text{Ref}}, \Delta T_{\text{nav}} + T_{\text{Ref}}) + |\Delta T_{0n}|$, $T_{0n} > \max(T_{\text{Ref}}, \Delta T_{\text{rmax}} + T_{\text{Ref}}) + |\Delta T_{0n}|$ 로 표현된다. 히터(300)가, 선택된 제로 크로스 온도를 갖는 각각의 가열가능한 반사 광학 소자는 추가의 가열에 의해 제로 크로스 온도로 또는 이에 근접하게 가열될 수 있는 것을 보증하기 때문에, 이러한 제로 크로스 재료에 대한 재료 선택은 제로 크로스 온도에 관한 지정이 제한되지 않고, 이러한 수치가 최소화될 수 있는 큰 장점을 갖는다. 바람직하게 그러나 필수적이지 않게, 미러가 균일하게 가열되도록 가열이 행해진다. 재료 선택에 관한 단순화는 많은 비용 절감을 가져 온다. 제로 크로스 온도의 선택을 위해서 평균 온도(ΔT_{nav} , ΔT_{mav}) 대신에 최대 온도(ΔT_{rmax} , ΔT_{mmax})가 선택되면, 예를 들면, 더 높은 값으로 노광 파워가 변화하는 것에 관하여 선택 처리에 있어서 시스템이 보다 양호하다.

[0066] 제1 렌즈의 제6 바람직한 실시예(및 그 이전의 실시예)에서, 가열된 미러 바디들 또는 가열된 미러 바디(MB_n , MB_m)의 온도는 임의의 열 유도된 광 수차를 최소화하기 위해서, 제로 크로스 온도(T_{0m} , T_{0n})를 중심으로 하여 5K의 간격내, 바람직하게 $\pm 2K$ 의 간격내에 있는 온도(T_k)의 값으로 제어된다.

[0067] 예를 들면 도 7에 도시된 것같이, 제로 크로스 온도가 정적 상태로 최적화되면, 시스템이 워업 상태에서 사용될 수 없다는 상기 서술된 3개의 단점은, 히터(300)의 사용으로 인해서, 본 발명의 제1 EUV 렌즈의 제3 ~ 제6 실시예에 의해 해결될 수 있다. 이 단점을 해결하기 위해, 제3 ~ 제6 실시예 중 하나에 따른 제1 렌즈의 제7 실시예에서, 투영 렌즈가 EUV 광의 노광 파워로 노광되기 전에 투영 렌즈(20)가 가열된다. 반사 광학 소자(M_n , M_m)의 적어도 하나의 가열된 바디(MB_n , MB_m)의 온도(T_k)는 제1 가열 파워로 히터(300)를 가열함으로써 그 값으로 제어된다. 바람직하게, 온도(T_k)가 상기 제1 투영 렌즈의 제3 ~ 제6 실시예의 값으로부터 선택된다. 제로 크로스 온도의 값 및 EUV 렌즈가 받는 노광 광의 파워에 의존하여, 제1 렌즈의 제8 실시예에서, 히터의 가열 파워는, 투영 렌즈(20)를 EUV 광의 노광 파워로 노광하는 동안, 제7 실시예에 서술된 것같이, 제1 가열 파워보다 낮게 선택된다. 제1 렌즈의 바람직한 제9 실시예에서, 온도 제어 시스템(200)은, 반사 광학 소자(M_n , M_m)의 적어도 하나의 바디(MB_n , MB_m)를 가열하는 히터(300)의 가열 파워와 적어도 하나의 가열된 바디(MB_n , MB_m)에 의해 흡수된 EUV 광의 노광 파워가 시간상 일정하거나 또는 거의 일정하도록, 온도(T_k)를 제어한다. 바람직하게, 이것은 미러 바디의 최소의 온도 변동을 가져오며, 이러한 열 유도된 광 수차가 또한 최소화된다.

[0068] 제1 렌즈 및 그 다양한 실시예는 제로 크로스 온도에 관하여 현저하게 다른 반사 광학 소자 또는 미러에 대해서 재료를 필수적으로 사용한다. 본 발명의 제1 렌즈 및 그 다양한 실시예는 도 4 및 도 6에 서술된 것같이 미러의 형태의 4개 또는 6개의 반사 광학 소자를 갖는 EUV 투영 렌즈에 제한되지 않는다. EUV 노광 광의 EUV 파워가 증가하면, 리소그래피 투영 노광 장치의 EUV 투영 렌즈의 미러의 수가 6보다 많게 증가하는 것으로 가정된다. EUV 광 파워는 미래에 이용가능한 EUV 광원에 의존한다. 일반적으로, 미러의 수는 필요에 따라서 변화하며, 제1 투영 렌즈에 관련된 요지의 원리는, 특히 EUV 리소그래피 투영 노광 장치에서 사용되면, 각 미러 또는 각 반사 광학 소자에 적용될 수 있다.

[0069] 또한, 적어도 하나의 미러 또는 광학 소자(M_k)가 히터(300)에 의해 가열되는 본 발명의 제1 렌즈에 따른 투영 렌즈(20)에서 광 수차를 최소화하기 위해, 적어도 하나의 가열된 광학 소자(M_k)를 그 병진 운동을 위해서 액츄에이터에 연결하는 것이 바람직하다. 이것은 도 3a와 관련하여 설명된 것같이 미러(M_k)의 균일한 가열을 보상하기 위해 미러(M_k)를 시프트하는 것을 허용한다. 또한, 미러 또는 광학 소자(M_k)를 가열하는 히터(300)는 도 13의 설명에서 아래에 보다 상세히 설명된 것같이, IR 발광 다이오드, 펄티에 소자, 광 파이버, 도광 로드 및 IR 레이저로 이루어진 그룹으로부터 선택된 가열 소자를 바람직하게 포함한다. 또한, 이러한 가열 소자는 소정의 공간 좌표에서 일차원 또는 이차원으로 선택적으로 배열되어 그리드 구조를 형성한다. 바람직하게, 가열 소자가 IR 방사를 발하거나 안내하는 실시예에서, 이들 실시예는 IR 방사를 구성하기 위한 광학 장치를 포함한다. 광학 장치는, 콜리메이터, 포커싱 렌즈, 조정가능한 렌즈, 미러 및 회절 광학 소자로 이루어지는 그룹에서 선택된 장치 요소를 포함하며, 장치 요소는 적어도 축 주위에서 틸트가능할 수 있다. 이러한 광학 장치의 예가 도 13에 도시되어 있다.

[0070] 또한, 상기 서술된 제1 투영 렌즈의 또 다른 실시예에서, 적어도 하나의 광학 소자(M_k)는 미러 바디(MB_k)의 변형 부분을 포함한다. 이 변형 부분은 리세스, 블라인드 홀, 규정된 표면 거칠기, 회절 구조, 구형 돌기, 구형 리세스 및 표면 곡률을 포함한다. 도 13과 관련하여 아래에 보다 상세히 설명된 변형 부분은, 예를 들면, 광학 소자를 국부적으로 가열하기 위해 IR 방사를 안내하기 위해 바람직하게 사용된다.

[0071] 제1 렌즈에 대한 또 다른 실시예는 아래에 서술된 EUV 리소그래피 노광 시스템용 제2 투영 렌즈이다. 발명자는 히터(300)를 사용하는 것이 렌즈 설계, 특히 미러 재료에 대한 재료 선택 요구 사항에 현저한 영향을 주는 것을 발견하였다.

[0072] 본 발명에 따른 제2 투영 렌즈(20)의 제1 실시예는 도 1 및 도 6에 도시된 것같이, 21, 22, 23, 24, 25, 26으로 명시된, 미러와 같은 적어도 2개의 반사 광학 소자(M_i)를 포함한다. 이러한 각각의 소자는 50 nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는 EUV 광의 노광 파워로 투영 렌즈(20)가 노광되면, 레티클 상의 오브젝트 필드(OP)를 기관 상의 이미지 필드(IP)로 투영하기 위한 바디(MB_i)와 반사면(MS_i)을 포함한다. 바람직하게 13 nm의 파장이 사용된다. EUV 광은 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 조명 시스템에 의한 조명 뒤의 레티클로부터 반사된다. 렌즈(20)의 적어도 2개의 반사 광학 소자의 바디(MB_m, MB_n)는, 예를 들면, 도 2a 및 도 2b에 도시된 것같이, 각각의 재료 크로스 온도(T_{0m}, T_{0n})에서 재료인 열 팽창의 온도 종속 계수를 갖는 재료를 포함한다. 일 예로서, 이러한 재료는 Zerodur® 또는 ULE®이지만, 또한 슈퍼인바도 있다. 또한, 제2 렌즈는, 반사 광학 소자(M_i)를 수동적으로 또는 능동적으로 지지하는 지지 구조를 포함한다. 이러한 지지 구조를 도 4 및 도 5와 관련하여 상세하게 설명한다. 지지 구조의 적어도 일부의 온도는 도 3 및 도 6의 실시예에서와 같이, 기준 온도(T_{Ref})이고, 예를 들면, 22°C이다. 이 온도는 클린 룸(clean room)의 온도에 근접하다. 일반적으로 EUV 투영 렌즈의 미러 또는 반사 광학 소자는 기준 온도에서 그 면 및 면 형태에 관하여 특정된다. 또한, 제2 투영 렌즈는 반사 광학 소자의 적어도 하나의 바디(MB_n, MB_m)를 재료 크로스 온도로 가열하는 히터(300)를 포함한다. 또한, 제2 렌즈는 적어도 하나의 가열된 바디(MB_n, MB_m)의 온도를 온도(T_{kn}, T_{km})로 제어하는 온도 제어 시스템(200)을 포함한다. 또한, 제2 렌즈에서, 바디(MB_n, MB_m)가 히터로 가열되지 않으면, 조명된 레티클에 의해 반사된 EUV 광에 의한 반사면(MS_m, MS_n)의 노광은 각각의 평균 및 최대 온도 $\Delta T_{nav}, \Delta T_{nav}$ 및 ΔT_{nmax} 및 ΔT_{mmax} 를 갖는 기준 온도(T_{Ref})에 대한 바디(MB_n, MB_m)의 온도 분포 $\Delta T_n(x,y,z) = (T_n(x,y,z) - T_{Ref}), \Delta T_m(x,y,z) = (T_m(x,y,z) - T_{Ref})$ 를 가져 온다. EUV-광은 조명 세팅에 의해 정의된 세기, 각도, 편향 파라미터의 결정된 공간 분포를 포함한다.

[0073] 또한, 제2 렌즈에서, 적어도 하나의 재료 크로스 온도(T_{0m}, T_{0n})는, 각각의 공간 온도 분포 $\Delta T_m(x,y,z), \Delta T_n(x,y,z)$ 에 기초하는 각각의 절대 평균 온도 또는 최대 온도 $\Delta T_{mav} + T_{ref}$ 또는 $\Delta T_{mmax} + T_{ref}, \Delta T_{nav} + T_{ref}$ 또는 $\Delta T_{nav} + T_{ref}$ 와 가장 높은 기준 온도(T_{Ref})의 최대 값보다 크게 선택되고, $T_{0m} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mav} + T_{ref}), T_{0m} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax} + T_{ref})$ 또는 $T_{0n} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nav} + T_{ref}), T_{0n} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax} + T_{ref})$ 로서 표현된다. 절대 평균 온도 대신에 절대 최대 온도가 선택 처리에서 고려되면, 예를 들면, 더 높은 값으로의 노광 파워의 변화에 관하여 시스템이 보다 양호하다. 본 발명에 따른 제2 투영 렌즈는, 투영 빔에 의해 조명되면, 미러가 얻을 수 있는 평균 온도 또는 최대 온도에 기초하여 미러 또는 반사 광학 소자에 대한 재료를 선택한다. 히터의 적용으로 인해서, 투영 렌즈가 투영 빔의 낮거나 높은 EUV 광 파워로 동작하는지에 상관없이 재료 크로스 온도가 도달될 수 있다. 바람직하게, 가열가능한 미러 바디의 최대 또는 평균 온도는 투영 렌즈가 받을 수 있는 최대 파워에 대해서 결정된다. 본 발명에 따른 제2 투영 렌즈의 실시예에 있어서, 기준 온도에 대해서 도 4 및 도 5와 관련하여 설명한 것같이, 제1 투영 렌즈와 설명된 것과 동일한 것이 적용된다.

[0074] 재료 크로스 온도의 제조 허용 오차를 고려하기 위해, 제2 투영 렌즈의 제2 실시예는 재료 크로스 온도(T_{0m}, T_{0n})를 갖는 재료가 제조로 인한 재료 크로스 온도의 값에 관하여 변화하는 것을 고려한다. 항상 이것은 재료 크로스 온도의 각각의 실제 값이 간격 $T_{0m} \pm \Delta T_{0m}$ 및 $T_{0n} \pm \Delta T_{0n}$ 내에 있도록 제조 허용 오차($\Delta T_{0m}, \Delta T_{0n}$)를 가져 온다. 그렇다면, 제2 렌즈에서 적어도 하나의 재료 크로스 온도(T_{0m}, T_{0n})를, 각각의 공간 온도 분포 $\Delta T_m(x,y,z), \Delta T_n(x,y,z)$ 에 기초하고, 가장 높은 기준 온도(T_{Ref})와 기준 온도 만큼 증가되는, 결과적으로 $\Delta T_{mav} + T_{ref}$ 또는 $\Delta T_{mmax} + T_{ref}, \Delta T_{nav} + T_{ref}$ 또는 $\Delta T_{nmax} + T_{ref}$ 인 각각의 평균 온도 또는 최대 온도와 가장 높은 기준

온도 T_{ref} 의 최대 값보다 높게 선택하는 것이 바람직하다. 이 최대 값은 각각의 제조 허용 오차(ΔT_{0m} , ΔT_{0n})의 절대 값만큼 더 증가되며, $T_{0m} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{max} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0m}|$, $T_{0n} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{max} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0n}|$ 또는 $T_{0n} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nav} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0n}|$, $T_{0n} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0n}|$ 로 표현된다. 제2 렌즈의 제1 실시예에서와 유사하게, 절대 최대 온도 대신에, 절대 평균 온도가 충분할 수 있지만, 이 경우에, 제2 렌즈는, 더 높은 노광 파워로부터 생길 수 있는 온도의 상승에 대해서 덜 양호하다.

[0075] 제2 투영 렌즈의 제3 실시예에서, 제로 크로스 온도(T_{0m} , T_{0n})사이의 차이의 절대 값은 6 K보다 크며, $abs(T_{0m} - T_{0n}) > 6 K$ 로 표현된다. 바람직하게 이 경우에, 제2 투영 렌즈는 50 nm 미만의 파장을 갖는 EUV 광의 8W 보다 큰 노광 파워로 노광되도록 설계된다. 본 발명의 제1 투영 렌즈의 설명과 관련하여 이미 설명한 것같이, 동일한 장점이 또한 유효하다. 바람직하게 파장은 [12 nm, 14 nm], [12.5 nm, 13.5 nm], [5 nm, 15 nm], [15 nm, 25 nm] 및 [25 nm, 50 nm]로 구성된 그룹으로부터 선택된 파장 간격에 있다. 본 명세서에서 서술되어 있는 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 렌즈의 다른 실시예에 대해서 이러한 파장의 선택이 또한 행해진다.

[0076] 제2 투영 렌즈의 제4 실시예에서, 적어도 4개 또는 6개의 반사 광학 소자(M_i)가 사용된다. 또한, 투영 렌즈는 50 nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는 EUV 광의 10W 보다 큰 노광 파워로 노광되도록 설계된다. EUV 광의 파워가 클 수록 항상 미러의 수가 증가한다. 도 6에 도시된 것같이, 16W의 광에 대해서, 항상 6개의 미러가 사용된다. 제로 크로스 온도(T_{0m} , T_{0n}) 사이의 차이의 절대 값은 이 실시예에서 8 K보다 크며, $abs(T_{0m} - T_{0n}) > 8K$ 로 표현된다.

[0077] 본 발명에 따른 제2 렌즈의 제5 실시예에서, 적어도 하나의 가열된 미러 바디(MB_n , MB_m)의 온도(T_k)가, 임의의 열 유도된 광 수차를 최소화하기 위해서, 각각의 제로 크로스 온도(T_{0m} , T_{0n}) 중심으로 $\pm 5K$ 의 간격내, 바람직하게 $\pm 2K$ 내로 제어된다.

[0078] 제2 투영 렌즈의 제6 실시예에서, 투영 렌즈가 EUV 광의 노광 파워를 받기 전에, 적어도 하나의 가열된 바디(MB_n , MB_m)의 온도(T_k)는 제1 가열 파워로 히터(300)를 가열하여 그 값으로 제어된다. 이것은 제1 투영 렌즈의 제7 실시예와 유사하며, EUV-투영 시스템의 워업 상태를 감소시킨다. 또한, 투영 렌즈가 EUV 광의 노광 파워에 노광되었을 때, 제2 투영 렌즈의 제7 실시예에서, 제6 실시예의 가열 파워는 제1 가열 파워 미만이다. 제2 투영 렌즈의 개선된 제8 실시예에서, 온도 제어 시스템(200)은, 적어도 하나의 바디(MB_n , MB_m)를 가열하는 히터(300)의 가열 파워와 적어도 하나의 가열된 바디에 의해 흡수된 EUV 광의 노광 파워가 시간상 일정하도록, 온도(T_k)를 제어한다. 이것은 제1 투영 렌즈의 각각의 실시예와 유사하다. 이 문맥에서(및 여기 서술된 다른 렌즈 실시예에 대해서도) 시간상 일정하다는 것은 미러가 받는 열의 전체 파워 (예를 들면, 히터에 의한 가열 파워 및 EUV 광같이 흡수된 광의 합)이 [0%, 20%], [0%, 10%], [0%, 5%] 및 [0%, 2%]으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 전체 파워의 간격 내에서만 변화하는 것을 의미한다. 이것은 싱크로트론 방사원과 같이, EUV 소스가 시간상 연속적으로 EUV 광을 제공하는 경우이다. 플라즈마 EUV 광원과 같이 펄스된 EUV 소스에 대해서, 상기 서술된 전체 파워가 펄스 수에 대한 평균에 의해 결정된다. 펄스 수는 [1, 5], [1, 10], [1, 20], [1, 50] 및 [1, 100] 펄스로 이루어진 간격의 그룹으로부터 선택된 간격 내에 있도록 선택된다.

[0079] 제2 투영 렌즈의 제9 실시예에서, 각각의 제로 크로스 온도(T_{0m} , T_{0n})를 갖는 바디(MB_n , MB_m)는 동일한 재료로 만들어진다. 또한, 제2 투영 렌즈의 제10 실시예에서, 렌즈는 미러 형태의 4 또는 6 반사 광학 소자를 포함한다. 상기 이미 설명한 것같이, 제2 렌즈의 미러 수가 필요에 따라서 변화하며, 특히 EUV 리소그래피 투영 노광 장치에서 사용되면, 제1 및 제2 투영 렌즈에 관련된 요지의 원리는 각 미러 또는 각 반사 광학 소자에 적용될 수 있다.

[0080] 또한, 특히, 적어도 하나의 미러 또는 광학 소자(M_k)가 히터(300)에 의해 가열되는 본 발명의 제2 렌즈에 따른 투영 렌즈(20)에서 광 수차를 최소화하기 위해, 적어도 하나의 가열된 광학 소자(M_k)를 그 병진 운동을 위해서 액츄에이터에 연결하는 것이 바람직하다. 이것은 도 3a와 관련하여 설명된 것같이 미러(M_k)의 균일한 가열을 보상하기 위해 미러(M_k)를 시프트하는 것을 허용한다. 또한, 미러 또는 광학 소자(M_k)를 가열하는 히터(300)는 도 13의 설명에서 아래에 보다 상세히 설명된 것같이, IR 발광 다이오드, 펄티에 소자, 광 파이버, 도광 로드 및 IR 레이저로 이루어진 그룹으로부터 선택된 가열 소자를 바람직하게 포함한다. 또한, 이러한 가열 소자는 소정의 공간 좌표에서 일차원 또는 이차원으로 선택적으로 배열되어 그리드 구조를 형성한다. 바람직하게, 가열 소

자가 IR 방사를 발하거나 안내하는 실시예에서, 이들 실시예는 IR 방사를 구성하기 위한 광학 장치를 포함하며, 광학 장치는, 콜리메이터, 포커싱 렌즈, 조정가능한 렌즈, 미러 및 회절 광학 소자로 이루어지는 그룹에서 선택된 장치 요소를 포함하며, 장치 요소는 적어도 축 주위에서 틸트가능할 수 있다. 이러한 광학 장치의 예가 도 13에 도시되어 있다.

[0081] 또한, 상기 서술된 제2 투영 렌즈의 또 다른 실시예에서, 적어도 하나의 광학 소자(M_k)는 미러 바디(MB_k)의 변형 부분을 포함한다. 이 변형 부분은 리세스, 블라인드 홀, 규정된 표면 거칠기, 회절 구조, 구형 돌기, 구형 리세스 및 표면 곡률을 포함한다. 도 13과 관련하여 아래에 보다 상세히 설명된 변형 부분은, 예를 들면, 광학 소자를 국부적으로 가열하기 위해 IR 방사를 안내하기 위해 바람직하게 사용된다.

[0082] 다음에, 제3 투영 렌즈가 본 발명의 일부로서 설명되어 있다. 이 제3 투영 렌즈는, 광 수차가 최소로 감소되도록 렌즈가 설계되면, EUV 광의 증가된 파워로 인해 상이한 미러의 제로 크로스 온도가 보다 상이하게 되는 것을 나타내는 도 9로부터의 요지를 사용한다. 도 6의 렌즈에 대해서, 일 예로서, 미러(M_4 및 M_6)는 렌즈가 대략 16W의 EUV 광을 받으면, 기준 온도 위의 적어도 대략 1K를 갖는 제로 크로스 온도를 가져야 한다. 대조적으로, 미러(M_5)는 대략 34°C 이상의, 22°C의 기준 온도보다 높은 대략 12K 이상인, 제로 크로스 온도(T_{05})를 가져야 한다. 본 발명에 따른 제1 및 제2 투영 렌즈의 실시예에 따르면, 도 9에 도시된 것보다 높은 제로 크로스 온도를 갖는 것이 바람직하다. 이러한 경우에, 이들 실시예의 히터는 광 수차를 최소화하기 위해, 예를 들면, 각 제로 크로스 온도에 균일하게 미러를 가열할 수 있다. EUV 광 파워가 여전히 증가하면, 제로 크로스 온도의 차이가 증가하여, 도 9의 값으로 도 6에 설명된 렌즈에 대해서 그대로 11K 보다 높은 값이 되므로, 가장 차가운 미러와 가장 뜨거운 미러 사이의 차이가 대략 20K 이상이다. 이러한 경우에, 가장 차가운 미러와 가장 뜨거운 미러에 대해서 동일한 재료가 사용되도록, Zerodur®와 같은 유리 세라믹이 바람직하게 사용될 수 있다. 양자 중 더 차가운 미러가 제1 제로 크로스 온도 T_0^1 에서 또는 근접하여 사용 및 동작된다. 더 뜨거운 미러가, 제1 제로 크로스 온도보다 큰 제2 제로 크로스 온도 T_0^2 에서 또는 근접하여 사용 및 동작된다. 이것은, 예를 들면 미러(M_m) 및 미러(M_n)가 T_{0m}^1 및 T_{0m}^2 로 명시된, 2개의 서술된 제로 크로스 온도를 갖는 동일한 재료로 만들어진 다. US 2003/0125184 A1에 개시된 것같이, 대략 0°C ~ 대략 100°C의 온도 범위의 제로 크로스 온도를 갖는 유리 세라믹 재료는 대략 20K의 제로 크로스 온도의 차이 $T_0^2 - T_0^1$ 의 차이를 갖는다. 2개의 미러에 대해서 오직 하나의 재료를 사용하여 투영 렌즈의 비용을 감소시킨다.

[0083] 상기 장점으로 인해서, 본 발명에 따른 제3 투영 렌즈는 적어도 2개의 반사 광학 소자(M_i)를 포함하며, 각각은 레티클 상의 오브젝트 필드를 기관 상의 이미지로 투영하는 바디(MB_i) 및 반사면(MS_i)을 갖는다. 투영 렌즈가 50 nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는 EUV 광의 노광 파워로 노광된다. 상기 서술된 것같이, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 조명 시스템에 의해 조명될 때, EUV 광은 레티클로부터 반사된다. 적어도 2개의 반사 광학 소자의 바디(MB_m, MB_n)는 2개의 제로 크로스 온도 T_{0m}^1 및 T_{0m}^2 에서 제로인 열 팽창의 온도 종속 계수를 갖는 재료를 포함한다. 제3 렌즈는 반사 광학 소자(M_i)를 수동적으로 또는 능동적으로 지지하는 지지 구조를 포함하는 반면, 지지 구조의 적어도 일부의 온도는 도 4, 도 5 및 도 3과 관련하여 상기 서술된 것같이 기준 온도 T_{Ref} 이다. 또한, 제3 렌즈는 적어도 2개의 템퍼링 수단, 바람직하게, 2개의 반사 광학 소자의 적어도 2개의 바디(MB_n, MB_m)를 독립적으로 가열 또는 냉각하는 히터를 포함한다. 또한, 제3 투영 렌즈는 적어도 2개의 가열 또는 냉각된 바디(MB_n, MB_m)의 온도를 각각의 온도(T_{kn} 및 T_{km})로 독립적으로 제어하는 온도 제어 시스템을 포함한다. 기준 온도는 22°C의 범위에 있기 때문에, 옵션으로서, 2개의 제로 크로스 온도(T_{0m}^1, T_{0m}^2)의 적어도 하나는 기준 온도(T_{Ref})보다 높다. 이 선택적인 실시예는 2개의 제로 크로스 온도를 갖는 적절한 재료를 얻기 위한 재료 선택을 단순화한다. 또한, EUV 광의 노광 파워로 렌즈를 노광하는 동안, 바디(MB_n)의 온도(T_{kn})가 바람직하게 제1 제로 크로스 온도(T_{0m}^1)를 중심으로 하여 $\pm 5K$ 의 간격내, 더 바람직하게, $\pm 2K$ 내에 있다. 제3 렌즈의 또 다른 실시예에서, 반사 광학 소자의 바디의 온도(T_{kn}, T_{km})가 가능한 각각의 제로 크로스 온도(T_{0m}^1, T_{0m}^2)에 근접하게 제어된다.

- [0084] 일반적으로, 기준 온도(T_{Ref})가 각 미러에 대해서 개별적으로 설정될 수 있다는 것이 여기서 언급된다. 이것은, 미러를 보유하는 사용된 지지 구조에 의존한다. 현재의 시스템에서, 기준 온도는 모든 미러에 대해서 동일하다. 그러나, 이것은 미래에 바뀔 수 있다. 이로 인해서, 본 발명에 따라서, 기준 온도(T_{Ref})의 의미는, 관련된 미러 또는 반사 광학 소자에 대한 기준 온도인 것으로 이해된다.
- [0085] 또한, 본 발명에 따른 제3 투영 렌즈는, 가장 낮은 제로 크로스 온도(T_{0mn}^1)로 미러를 냉각하는 쿨러 및 더 높은 제로 크로스 온도(T_{0mn}^2)로 미러를 가열하는 히터를 또한 가질 수 있다. 이것은, 가장 낮은 제로 크로스 온도가 반드시 22°C 의 기준 온도 위에 있을 필요가 없는 장점을 갖는다. 쿨러를 적용함으로써, 도 6을 참조하면, 예를 들면 미러(M_4 또는 M_6)에 대해서 사용되며, T_{0mn}^1 가 대략 15°C 이고, 예를 들면, 미러(M_3 또는 M_5)에 대해서 사용되며, T_{0mn}^2 가 대략 35°C 인 재료가 사용될 수 있다. 도 9로부터 필수적으로 미러가 선택된다. 이러한 재료가 예를 들면, US 2003/0125184 A1에 개시된다. 물론, 양 제로 크로스 온도가, 각각의 미러 또는 광학 소자의 기준 온도(T_{Ref}) 위를 의미하는, 대략 22°C ~ 대략 40°C 의 온도 범위에 있는 방식으로 재료가 제조될 수 있으면, 제3 렌즈의 바람직한 실시예는, 양 미러(M_m , M_n)가 히터로 가열되는 것이다.
- [0086] 제3 렌즈의 제2 실시예에서, 히터로 가열하지 않고, 바디(MB_n , MB_m)의 온도는, 각각의 평균 온도 및 최대 온도 (ΔT_{nav} , ΔT_{mav} 및 ΔT_{nmax} , ΔT_{mmax})과 더불어 기준 온도(T_{Ref})에 대한 바디(MB_n , MB_m)의 온도 분포 $\Delta T_n(x,y,z) = (T_n(x,y,z) - T_{Ref})$, $\Delta T_m(x,y,z) = (T_m(x,y,z) - T_{Ref})$ 를 가져 온다. 이것은, 조명된 레티클에 의해 반사되고, 조명 세팅에 따라서 각도, 편향 및 세기 파라미터의 공간 분포를 포함하는 EUV 광으로 반사면(MS_m , MS_n)을 노광함으로써 생긴다. 또한, 2개의 제로 크로스 온도(T_{0mn}^1 및 T_{0mn}^2)의 적어도 하나는, 각각의 공간 온도 분포 $\Delta T_m(x,y,z)$, $\Delta T_n(x,y,z)$ 에 기초하는, 각각의 절대 평균 온도 또는 최대 온도 $\Delta T_{mav} + T_{Ref}$ 또는 $\Delta T_{nmax} + T_{Ref}$, $\Delta T_{nav} + T_{Ref}$ 또는 $\Delta T_{mmax} + T_{Ref}$ 와 가장 높은 기준 온도(T_{Ref})의 최대 값보다 높으며, $T_{0mn}^1 > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mav} + T_{Ref})$, $T_{0mn}^1 > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax} + T_{Ref})$ 또는 $T_{0mn}^2 > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nav} + T_{Ref})$, $T_{0mn}^2 > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax} + T_{Ref})$ 로 표현된다. 제로 크로스 온도를 이런 방식으로 세팅하는 것은 본 발명의 제1 및 제2 렌즈와 관련하여 이미 설명한 것같이 유사한 장점을 갖는다.
- [0087] 제3 투영 렌즈의 제3 실시예는, 제조로 인한 실제 값에 관하여 제로 크로스 온도(T_{0mn}^1 , T_{0mn}^2)가 변화하여, 제조 허용 오차(ΔT_{0mn}^1 , ΔT_{0mn}^2)를 가져오므로, 각각의 실제 값이 간격 $T_{0mn}^1 \pm \Delta T_{0mn}^1$ 및 $T_{0mn}^2 \pm \Delta T_{0mn}^2$ 내에 있는 재료를 포함한다. 이 허용 오차로 인해서, 적어도 하나의 제로 크로스 온도(T_{0mn}^1 , T_{0mn}^2)는 유리하게, 각각의 제조 허용 오차(ΔT_{0mn}^1 , ΔT_{0mn}^2)의 절대 값만큼 추가적으로 증가되고, 각각의 공간 온도 분포 $\Delta T_m(x,y,z)$, $\Delta T_n(x,y,z)$ 에 기초하는, 각각의 절대 평균 온도 또는 최대 온도 $\Delta T_{mav} + T_{Ref}$ 또는 $\Delta T_{nmax} + T_{Ref}$, $\Delta T_{nav} + T_{Ref}$ 또는 $\Delta T_{mmax} + T_{Ref}$ 와 가장 높은 기준 온도(T_{Ref})의 최대 값보다 높으며, $T_{0mn}^1 > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mav} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0mn}^1|$ 또는 $T_{0mn}^1 > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0mn}^1|$ 또는 $T_{0mn}^2 > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nav} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0mn}^2|$ 또는 $T_{0mn}^2 > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0mn}^2|$ 으로 표현된다.
- [0088] 제2 투영 투영 렌즈의 설명에서 상기 설명한 것같이, 대체물로서 제3 투영 렌즈에 대해서 제로 크로스 온도의 선택은 $T_{0n} > \max(T_{Ref}, T_{avn} + T_{ref})$ 또는 $T_{0m} > \max(T_{Ref}, T_{avm} + T_{ref})$ 에 의해 행해질 수 있으므로, T_{avn} , T_{avm} 는 예를 들면 도 7 또는 도 3과 관련하여 상기 설명된 것같이 미러(M_m , M_n)의 각각의 평균 온도이다. 그러나, 평균 온도 대신에 최대 온도가 선택 처리에서 고려되면, 예를 들면, 더 높은 값으로의 노광 파워의 변화에 관하여, 제3 렌즈가 보다 양호하다. 본 발명에 따른 렌즈의 이전 실시예와 같이, 절대 최대 온도 대신에 절대 평균 온도가 충분하지만, 이 경우에 더 높은 노광 파워로부터 생기는 미러의 온도의 상승에 대해서 제3 렌즈가 덜 양호하다.

- [0089] 본 발명의 제1 및 제2 투영 렌즈와 유사하게, 투영 렌즈가 EUV 광의 노광 파워를 받기 전에 적어도 하나의 가열된 바디(MB_n , MB_m)의 온도(T_{kn} 또는 T_{km})가, 제1 노광 파워에 의한 히터의 가열에 의해, 그 값으로 제어되도록, 제4 실시예의 제3 투영 렌즈가 제어된다. 제5 실시예에서, EUV 광의 노광 파워로 제3 투영 렌즈가 노광되는 동안, 최초의 제1 가열 파워를 갖는 히터의 가열 파워는 제1 가열 파워 미만이다. 제3 투영 렌즈의 제4 및 제5 실시예의 대안으로서, 제3 렌즈의 제6 실시예에서, 각각의 히터의 가열 파워 및 적어도 하나의 온도 제어된 바디(MB_m 또는 MB_n)에 의해 흡수된 EUV 광의 노광 파워가 시간상 일정하도록, 온도 제어 시스템은 온도(T_{km} , T_{kn})의 적어도 하나를 제어한다. 제3 렌즈의 제4 ~ 제6 실시예의 장점이 제1 및 제2 투영 렌즈와 관련하여 이미 기재되어 있다.
- [0090] 본 발명의 제3 투영 렌즈의 제7 실시예에서, 렌즈는 50 nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는 EUV 광의 8W 보다 큰 노광 파워로 노광되도록 설계된다. 특히, 도 9는, 렌즈가 노광되는 더 큰 EUV 광에 대해서, 이미 설명한 것 같이, 제3 실시예는 요즈음 가능한 재료가 사용될 수 있는 것을 나타낸다.
- [0091] 제3 투영 렌즈의 제8 실시예에서, 제로 크로스 온도(T_{0mm}^1 , T_{0mm}^2) 사이의 차이의 절대 값이 6 K보다 크게 선택되며, $abs(T_{0mm}^1 - T_{0mm}^2) > 6$ K로 표현된다. 이 경우에, 투영 렌즈는 50 nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는 EUV 광의 8W 보다 큰 노광 파워로 노광되도록 설계된다. 도 9는 이러한 렌즈의 예를 나타낸다. 또한, 제3 투영 렌즈의 제9 실시예에서, 4개 또는 6개의 반사 광학 소자는 미러이다. 대안으로서 또는 부가적으로, 상기 서술된 것 같이, 예를 들면, 투영 렌즈가 EUV 광의 노광 파워를 받기 전에, 적어도 하나의 온도 제어된 바디(MB_m 또는 MB_n)는 제1 냉각 파워를 갖는 각각의 템퍼링 수단으로 냉각함으로써 그 값으로 제어되도록, 제3 투영 렌즈의 실시예가 동작될 수 있다. 또한, 제1 냉각 파워는 투영 렌즈가 EUV 노광 광을 받을 때 템퍼링 수단에 의해 증가될 수 있다. 냉각 파워는 온도 제어된 바디로부터 템퍼링 수단으로 시간당 열 전달을 의미한다. 또한, 제3 투영 렌즈에 대한 미러의 수는 필요에 따라서 변할 수 있다. 특히 EUV 리소그래피 투영 노광 장치에서 사용되면, 제3 투영 렌즈에서 사용된 원리는 각각의 미러 또는 각각의 반사 광학 소자에 적용될 수 있다.
- [0092] 또한, 특히, 적어도 하나의 미러 또는 광학 소자(M_k)가 히터(300)에 의해 가열되는 본 발명의 제3 렌즈에 따른 투영 렌즈(20)에서 광 수차를 최소화하기 위해, 적어도 하나의 가열 및/또는 냉각된 광학 소자(M_k)를 그 병진 운동을 위해서 액츄에이터에 연결하는 것이 바람직하다. 이것은 도 3a와 관련하여 설명된 것 같이 미러(M_k)의 균일한 가열 또는 냉각을 보상하기 위해 미러(M_k)를 시프트하는 것을 허용한다. 또한, 예를 들면, 미러 또는 광학 소자(M_k)를 가열하는 히터(300)와 같은 템퍼링 수단은 도 13의 설명에서 아래에 보다 상세히 설명된 것 같이, IR 발광 다이오드, 펄티에 소자, 광 파이버, 도광 로드 및 IR 레이저로 이루어진 그룹으로부터 선택된 가열 소자를 바람직하게 포함한다. 또한, 이러한 가열 소자는 소정의 공간 좌표에서 일차원 또는 이차원으로 선택적으로 배열되어 그리드 구조를 형성한다. 바람직하게, 가열 소자가 IR 방사를 발하거나 안내하는 실시예에서, 이들 실시예는 IR 방사를 구성하기 위한 광학 장치를 포함하며, 광학 장치는, 콜리메이터, 포커싱 렌즈, 조정가능한 렌즈, 미러 및 회절 광학 소자로 이루어지는 그룹에서 선택된 장치 요소를 포함하며, 장치 요소는 적어도 축주위에서 틸트가능할 수 있다. 이러한 광학 장치의 예가 도 13에 도시되어 있다.
- [0093] 또한, 상기 서술된 제3 투영 렌즈의 또 다른 실시예에서, 적어도 하나의 광학 소자(M_k)는 미러 바디(MB_k)에 또는 그 위에 변형 부분을 포함한다. 이 변형 부분은 리세스, 블라인드 홀, 규정된 표면 거칠기, 회절 구조, 구형 돌기, 구형 리세스 및 표면 곡률을 포함한다. 도 13과 관련하여 아래에 보다 상세히 설명된 변형 부분은, 예를 들면, 광학 소자를 국부적으로 가열하기 위해 IR 방사를 안내하기 위해 바람직하게 사용된다.
- [0094] 또한, 본 발명은 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈를 구성하는 방법에 관한 것이다. 다음 방법은 본 발명의 이전 실시예에 기초한 것이다. 방법의 구성은 다음의 단계를 포함한다:
- [0095] · 제1 단계에서, EUV 투영 렌즈의 반사 광학 소자(M_1)의 수가 결정된다. 일부 요구 사항은, 투영 렌즈가 레티클 위의 주어진 크기의 오브젝트 필드를 기관 위의 주어진 크기의 이미지 필드로 투영하는 것이다. 투영을 위해 50 nm 미만의 파장 범위를 갖는 EUV 투영 광 빔이 사용된다. 투영 요구 사항으로, 예를 들면, 소정의 품질을 갖는 소정의 공간 해상도가 있다.
- [0096] · 제2 단계에서, 각 반사 광학 소자(M_1)의 면 형태 및 면 형상이, 오브젝트 필드, 이미지 필드 및 소정의 공간

해상도의 기하학적 데이터에 기초하여 결정된다.

- [0097] · 제3 단계에서, 그 형상 및 크기를 갖는 반사 광학 소자(M_i)에 대한 기판 재료가 선택되고, 그 재료는 열 팽창을 고려하여 선택된다.
- [0098] · 제4 단계에서, 적어도 하나의 기판 재료가 제로 크로스 온도(T_{0m})에서 제로인 열 팽창의 온도 종속 계수를 갖는 재료의 그룹으로부터 선택된다. 이 재료는 바람직하게 높은 열적 부하를 갖는 미러에 대해서 사용된다.
- [0099] · 제5 단계에서, 오브젝트 필드의 이미지 필드로의 투영 동안 예상되는, 각각의 반사 광학 소자(M_i)에 대한 최대 열적 부하가, EUV 광 파워, 레티클의 투과 또는 반사, 다양한 조명 세팅 및 레티클 상의 다양한 패턴 구조와 같이, EUV 투영 노광 시스템의 다양한 조건 하에서, 결정된다.
- [0100] · 제6 단계에서, 제5 단계에 기초한 각 반사 광학 소자(M_i)에 대한 공간 온도 $T(x,y,z)$ 는, 그 열적 부하를 고려하여, 그 최대 및 그 평균 온도값($T_{i \max}$ 및 $T_{i \text{av}}$)과 함께 결정된다.
- [0101] · 제7 단계에서, 제로 크로스 온도(T_{0m})를 갖는 적어도 하나의 재료가 제로 크로스 온도(T_{0m})에 기초하여 선택된다. 이 선택은, 적어도 하나의 기판 재료에 관련된 광학 소자(M_m)의 온도 $T(x,y,z)$ 의 최대 온도 또는 평균 온도($T_{m \max}$ 및 $T_{m \text{av}}$)가 제로 크로스 온도(T_{0m})보다 낮게 행해지며, $T_{m \max} < T_{0m}$ 또는 $T_{m \text{av}} < T_{0m}$ 로 표현된다.
- [0102] · 제8 단계에서, 미러 및 렌즈는 선택된 재료로 형성된다.
- [0103] 바람직한 방법에서, 구성 방법은, 제로 크로스 온도(T_{0m})를 갖는 재료를 제조하기 위해, 제로 크로스 온도(T_{0m})가, 최대 온도 또는 평균 온도(T_{\max} 및 T_{av})가 각각의 제조 허용 오차(ΔT_{0m})의 절대 값만큼 증가된 값보다 높도록($T_{0m} > T_{m \max} + |\Delta T_{0m}|$ 또는 $T_{0m} > \max(T_{\text{Ref}}, T_{m \max}) + |\Delta T_{0m}|$ 로 표현), 적어도 하나의 재료가 선택되는, 추가의 단계를 포함한다. 이 재료 선택에서, 예를 들면, US 2003/0125184 A1에 서술되어 있는 것같이, 제조 공정 파라미터로 인한 실제 값에 관하여 변화하기 때문에, 제로 크로스 온도(T_{0m})의 변동이 또한 고려된다. 제로 크로스 온도(T_{0m})의 실제 값은 간격 $T_{0m} \pm \Delta T_{0m}$ 내에 있다.
- [0104] 구성 방법은, 제로 크로스 온도 및 제2 제로 크로스 온도 사이의 차이의 절대 값이 40 K 미만($\text{abs}(T_{0m} - T_{0m}^2) < 40 \text{ K}$ 으로 표현)이 되게 제2 제로 크로스 온도(T_{0m}^2)를 포함하도록, 제로 크로스 온도 T_{0m} 를 갖는 하나의 재료가 선택되는 것을 포함할 수 있다. 이것은, 이러한 재료가 EUV 투영 렌즈의 2개의 미러에 대해서 적용가능한 반면, 2개의 미러가, 매우 상이한 제로 크로스 온도를 발생시키는 상이한 열적 부하를 가지므로, 도 9와 관련하여 서술한 것같이, 광 수차를 최소화시키는 장점을 갖는다.
- [0105] 또한, 구성 방법은, 상기 설명된 것같이, 제2 제로 크로스 온도를 갖는 재료가 적어도 하나의 추가적인 반사 광학 소자에 대한 적합한 재료로서 사용되는 것을 포함할 수 있다.
- [0106] 구성 방법은, 제로 크로스 온도를 갖는 적어도 하나의 재료가 그 제로 크로스 온도로 가열가능하도록, 히터(300) 및 온도 제어 시스템(200)이 선택되는 단계를 포함할 수 있다.
- [0107] 다음에, 히터(300)의 다양한 실시예가 설명된다. 또한, 열 유도된 광 수차가 최소가 되는 방식으로 반사 소자 또는 미러의 가열을 허용하는, 반사 광학 소자(M_k)에 대한 가열 방법 및 특별 바디가 도시되어 있다. 이들 다른 구성들은 본 발명의 일부로서 다루어진다.
- [0108] 도 10은, 예를 들면 도 4 및 도 5에 도시된 것같이, EUV 투영 렌즈의 미러(421)와 같은 반사 광학 소자(M_k)의 측면도를 개략적으로 나타낸다. 광학 소자는 미러 면(450)인 반사면(MS_k)과 회절면을 포함한다. 일반적으로, 모든 반사 광학 소자에서, 본 발명에 따라서, 반사면은 입사 방사를 위해서 회절 광학 소자를 형성하는 회절 구조를 포함할 수 있다. 입사 방사(1000)는 EUV 광 투영 빔(4)일 수 있고(도 1 참조), 또는 예를 들면 적외선 광과 같이 또 다른 파장의 광일 수 있다. 또한, 도 10에, 동일한 도면 부호가 사용되는 도 4 및 도 5와 관련하여 서술된 것과 같이, 지지 수단이 개략적으로 도시되어 있다. 이들 지지 수단은, 도 4에 도시된 것같이, 예를 들면, 연결 포인트(451), 연결 소자(471) 또는 양각대 구조(461)을 포함한다. 또한, 지지 소자(480) 및 일부의 하우징 구조(481)가 도시되어 있다. 또한, 히터 또는 일반적으로 제1 제1 템퍼링 소자(300)이 도시되어 있다.

이러한 히터 또는 제1 템퍼링 소자(300)의 일부 및 몇몇 실시예가 도 5와 함께 이미 기재되어 있다. 히터와 템퍼링 소자 사이의 차이는, 히터가 제어된 방식으로 가열만 할 수 있는 반면, 템퍼링 소자는 제어된 방식으로 가열 및 냉각할 수 있는 것이다. 이 문맥에서 가열은 열 에너지가 히터 또는 템퍼링 소자로부터 그 주위로 전달되는 것을 의미한다. 냉각은 열 에너지가 히터 또는 템퍼링 소자의 주위로부터 히터 또는 템퍼링 소자로 전달되는 것을 의미하며, 히터 또는 템퍼링 소자는 그 온도가 주위의 온도보다 낮은 방식으로 제어 가능하다. 또한, 도 10에 도시된 것같이, 실시예는 쿨러 또는 제2 템퍼링 소자(350)를 포함한다. 쿨러(350) 또는 제2 템퍼링 소자는 바람직하게 히터 또는 제1 템퍼링 소자(300) 및 지지 소자(480) 및/또는 하우스링 구조(481)(비도시) 및/또는 지지 수단(451, 461, 471)(비도시, 도 5 참조) 사이에 배열된다. 반사 광학 소자(M_k)의 온도 분포에 영향을 주기 위해 히터 또는 제1 템퍼링 소자(300)가 사용되면, 반사 소자(M_k)의 주위의 다른 소자들의 온도 또한 변화할 위험이 있다. 이러한 소자들은 예를 들면, 지지 소자(480), 하우스링 구조(481) 또는 지지 수단(451, 461, 471)일 수 있다. 그러나, 반사 광학 소자 또는 미러(M_k , 421)를 그 위치에 유지하기 위해, 이들 소자의 일부는 잘 제어된 일정한 온도에 있어야 한다. 상기 설명한 것같이, 이 위치는 나노미터 또는 심지어 서브-나노미터 범위 내에서 일정해야 한다. 이로 인해, 이들 소자는 감온 소자로서 명시된다. 예를 들면, 히터 또는 제1 템퍼링 소자(300)에 의해, 온도 또는 온도 분포에 영향을 주는, 반사 광학 소자 또는 미러(M_k , 421)의 주위의 임의의 가열 및/또는 냉각은 이 위치를 변화시킬 수 있다. 이로 인해, 히터 또는 제1 템퍼링 소자(300)에 의해 생긴 임의의 열 효과를 흡수하도록, 쿨러 또는 제2 템퍼링 소자(350)가 만들어진다. 이것은, 지지 소자(480) 및/또는 하우스링 구조(481) 및/또는 지지 수단(451, 461, 471)과 같은 감온 소자의 방향으로 배향되고, 쿨러 또는 제2 템퍼링 소자의 온도가 일정하게 유지되는, 쿨러(350) 또는 제2 템퍼링 소자의 측(351)에서, 각각의 광학 소자(M_k)의 위치가 나노미터 또는 서브-나노미터 레벨에서 일정하도록 감온 소자가 일정한 온도를 갖게 한다. 이 측정으로, 예를 들면, 히터 또는 제1 템퍼링 소자가 그 온도를 변화시켜도, 이들 감온 소자의 온도 변화가 감소될 수 있어서, 반사 광학 소자 또는 미러(M_k , 421)의 온도 또는 온도 분포에 영향을 주므로, 본 발명의 상기 서술된 투영 렌즈와 관련하여 상기 서술된 것같은 장점을 얻는다.

[0109] 도 10에 나타난 실시예의 장점으로 인해서, 본 발명은, 복수의 반사 광학 소자(M_i)를 포함하는 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 제4 투영 렌즈에 또한 관련한다. 각각의 반사 소자(M_i)는, 레티클이 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 조명 시스템에 의해 조명되는 동안 레티클로부터 반사되는 50nm 미만의 파장 범위에 있는 파장을 갖는 EUV 광의 노광 파워로 투영 렌즈가 노광되면, 레티클 상의 오브젝트 필드를 기판 상의 이미지 필드로 투영하기 위한 바디(MB_i) 및 반사면(MS_i)을 갖는다. 또한, 렌즈는, 적어도 하나의 광학 소자(M_k)를 수동적으로 또는 능동적으로 지지하기 위한, 연결 포인트(451), 양각대 구조(461), 연결 소자(471), 지지 소자(480) 및 하우스링 구조(481)로 구성된 그룹으로부터 선택된 감온 소자를 포함하는 지지 수단을 포함한다. 또한, 감온 소자는 일정한 온도 또는 미리 정의된 온도로 제어된다. 렌즈는 또한 적어도 하나의 광학 소자(M_k)를 온도(T_k)로 가열 및/또는 냉각하는 제1 템퍼링 소자(300) 및 감온 소자를 일정한 온도 또는 미리 정의된 온도로 템퍼링하는 제2 템퍼링 소자(350)를 포함한다. 또한, 제2 템퍼링 소자(350)는 감온 소자 및 제1 템퍼링 소자(300) 사이에 공간적으로 배열된다.

[0110] 제4 투영 렌즈의 추가적인 제2 실시예에 있어서, 가열된 또는 냉각된 반사 광학 소자(M_k)는 감온 소자의 일정한 또는 미리 정의된 온도와 상이한 제로 크로스 온도(T_{0k})에서 제로인 열 팽창의 온도 종속 계수를 갖는 재료를 포함한다. 바람직하게, 제4 투영 렌즈의 제3 실시예에서, 제4 투영 렌즈의 감온 소자의 온도는 기준 온도(T_{Ref})이다. 기준 온도(T_{Ref})는 본 발명의 다른 투영 렌즈 또는 여기 서술된 것과 동일한 의미를 갖는다. 바람직하게, 그러나 필수적이지는 않게, 기준 온도 $T_{Ref} = 22^\circ\text{C}$, 또는 리소그래피 투영 노광 장치가 대량 생산을 위해 동작하는 클린 룸의 온도에 있다.

[0111] 제4 투영 렌즈의 추가적인 제4 실시예는 상기 제2 및 제3 실시예의 특징을 포함하며, 추가로, 제1 템퍼링 소자(300)로 바디(MB_k)를 템퍼링하지 않고, 조명된 레티클에 의해 반사된 EUV 광으로 반사면(MS_k)을 노광하는 특징과 조명 세팅에 따른 각도, 편향 및 세기의 공간 분포를 포함하며, 평균 온도 및 최대 온도(ΔT_{kav} 및 ΔT_{kmax})와 더불어 기준 온도(T_{Ref})에 대한 바디(MB_k)의 온도 분포 $\Delta T_k(x,y,z) = (T_k(x,y,z) - T_{Ref})$ 를 가져 온다. 또한, 이 실시예에서 제로 크로스 온도(T_{0k})는 공간 온도 분포 $\Delta T_k(x,y,z)$ 에 기초하는, 결과적으로, $\Delta T_{kav} + T_{Ref}$ 또는

$\Delta T_{kmax} + T_{ref}$ 인, 기준 온도가 더해진 각각의 평균 온도 또는 최대 온도와 기준 온도(T_{Ref}) d의 최대 값보다 크며, $T_{0k} > \max(T_{ref}, \Delta T_{kav} + T_{ref})$ 또는 $T_{0k} > \max(T_{ref}, \Delta T_{kmax} + T_{ref})$ 로 표현된다.

[0112] 또한, 제4 투영 렌즈의 제5 실시예에서, 제로 크로스 온도(T_{0k})를 갖는 재료는 제조 공정으로 인한 제로 크로스 온도의 실제 값에 관하여 변화한다. 이것은 실제 값이 간격 $T_{0k} \pm \Delta T_{0k}$ 내에 있도록, 제조 허용 오차 ΔT_{0k} 를 가져 온다. 이 실시예에서, 제로 크로스 온도(T_{0k})는, (공간 온도 분포 $\Delta T_k(x,y,z)$ 에 기초하는) 기준 온도가 더해진 각각의 온도 또는 최대 온도 - 결과적으로, $\Delta T_{kav} + T_{ref}$ 또는 $\Delta T_{kmax} + T_{ref}$ -와 기준 온도(T_{Ref})의 최대 값 - 상기 최대 값은 제조 허용 오차(ΔT_{0k})의 절대 값만큼 증가됨 - 보다 크게 선택되고, $T_{0k} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{kav} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0k}|$, $T_{0k} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{kmax} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0k}|$ 로 표현된다.

[0113] 제4 투영 렌즈의 제6 실시예(및 그 실시예)에서, 반사 광학 소자(M_k)의 제로 크로스 온도(T_{0k})는 기준 온도(T_{Ref})보다 낮거나 또는 기준 온도보다 높은 적어도 6 K이다. 제로 크로스 온도가 기준 온도보다 낮은 경우에, 반사 광학 소자(M_k)는 제1 템퍼링 수단에 의해 이 제로 크로스 온도에 근접한 온도로 냉각된다. 이 특징을 갖는 제4 투영 렌즈가, 상기 서술된 것같이 가장 작은 제로 크로스 온도를 갖는 미러의 냉각을 위해서, 본 발명의 제3 투영 렌즈에서 사용될 수 있다. 제로 크로스 온도(T_{0k})가 상기 서술된 기준 온도 위의 적어도 6 K 이면, 이 특징의 제4 투영 렌즈가, 2개의 반사 소자의 제로 크로스 온도가 적어도 6 K만큼 다른 제1 투영 렌즈에 따라서 투영 렌즈에서 사용될 수 있고, 2개의 반사 소자중 하나는 기준 온도에서 또는 이에 근접한 제로 크로스 온도를 갖는다. 본 발명의 제1 투영 렌즈의 설명에서 서술한 것같이, 이러한 투영 렌즈는 8 W 보다 많은 EUV 노광 파워에 대해서 설계된다(설명과 함께 도 9 참조).

[0114] 제4 투영 렌즈의 추가적인 제7 실시예(및 그 실시예)에서, 반사 광학 소자(M_k)(적어도 하나의 공간 차원에서)는 제1 템퍼링 소자(300)에 의해 생긴 열 전달을 균일하게 받는다. 이러한 균일한 열 전달은 광학 소자(M_k)를 균일하게 가열 또는 냉각하여, 제1 템퍼링 소자(300)의 영향만이 고려되면, 적어도 일 차원에 따라서 반사 광학 소자(M_k)의 일정한 온도 분포를 가져 온다. 이들 투영 렌즈와 관련하여 설명하고, 도 3a ~ 3l 및 도 5를 참조하여 개략적으로 서술된 것같이, 예를 들면, 제로 크로스 온도에 또는 거기에 근접하게 반사 광학 소자를 균일하게 가열하도록, 변형된 제4 투영 렌즈가 제1, 제2 및 제3 투영 렌즈에서 사용될 수 있다. 바람직하게, 제4 투영 렌즈의 실시예 및 그 다양한 실시예에서, 광학 소자(M_k)는 그 병진 운동을 위해서 액츄에이터에 연결된다. 이것은, 예를 들면, 도 3a 및 도 3b와 관련하여 설명한 것같이, 광학 소자가 기준 온도(T_{Ref})와 상이한 온도로 균일하게 가열되거나 또는 냉각되는 경우에 대해서, 투영 렌즈 또는 광학 소자(M_k)의 광수차를 최소화하기 위한 것이다.

[0115] 도 10에 도시된 것같이, 제4 투영 렌즈의 바람직한 제8 실시예 및 그 실시예들에서, 제1 템퍼링 소자(300)는 그 반사면(MS_k)에 대향하는 적어도 하나의 광학 소자(M_k)의 바디(MB_k)의 측에 위치한다. 이것은, 히터(300)에 대해서 도 5에 서술된 것같이, 제1 템퍼링 소자(300)의 유사한 배열이다. 제4 투영 렌즈 및 그 실시예에서, 바람직하게, 제1 템퍼링 소자(300)는 적어도 하나의 광학 소자(M_k)의 바디(MB_k)가 반투과인 파장을 포함하는 방사를 발하는, 펠티에 소자 또는 방사원을 포함한다. 도 10에 도시된 것같이, 또한, 제4 투영 렌즈의 또 다른 실시예에서, 제2 템퍼링 소자(350)가 적어도 하나의 광학 소자(M_k)의 바디(MB_k)에 대향하는 제1 템퍼링 소자(300)의 측에 위치한다.

[0116] 도 10에 따른 일 실시예에서, 템퍼링 소자(300)는 이미 서술한 것같이 펠티에 소자일 수 있거나 또는 펠티에 소자를 포함할 수 있다. 펠티에 소자는 반사 소자 또는 미러(M_k , 421)의 방향으로 배향되는 측면(362) 주위를 가열 또는 냉각할 수 있다. 바람직하게, 반사면(MS_k , 450)에 대향하는 반사 소자(M_k , 421)의 면에 평행 또는 대략 평행하게 연장된다. 펠티에 소자가 적어도 이러한 크기를 가져서 반사면 또는 반사 소자도 일 측으로부터 덮어질 수 있으면, 반사 소자의 균일한 가열 및/또는 냉각이 행해져서, (예를 들면 도 3a와 관련하여) 여기 서술된 것같은 모든 장점을 얻는다. 펠티에 소자를 보다 효율적으로 만들기 위해, 예를 들면, 쿨러(350) 또는 제2 템퍼링 소자의 면(352) 중 하나에 그 면(361)의 하나를 연결함으로써, 쿨러(350), 또는 일반적으로 제2 템퍼링 소자에 연결하는 것이 바람직하다. 쿨러(350) 또는 일반적으로 제2 템퍼링 소자는, 제1 템퍼링 또는 펠티에 소자(300)와 접촉하는 면(352)이, 지지 소자(480), 하우징 구조(481) 또는 지지 수단(451, 461, 471)과 같은 감온

소자의 방향으로 배향되는 면(351)으로부터 분리되는 일종의 샌드위치 구조를 가질 수 있다. 또 다른 실시예에서, 제1 템퍼링 소자(300)는 몇몇 펠티에 소자를 포함할 수 있다. 바람직하게, 펠티에 소자는 적어도 일차원으로 나란히 배열되어, 어레이형 배열을 형성한다. 2차원 또는 3차원의 펠티에 소자의 배열이 또한 유리하다. 바람직하게, 이러한 배열의 각 펠티에 소자는 예를 들면, 도 5에 도시된 온도 제어 시스템과 같은 제어 시스템에 의해 제어 가능하다. 이 경우에, 반사 소자 또는 미러로 향해진 측의, 제어 가능한 온도 프로파일이 조정 가능하다. 반사 소자 또는 미러(M_k , 421)내의 온도 분포에 제어된 방식으로 영향을 미친다. 이러한 히터 또는 템퍼링 소자는, 열 유도된 광 수차 또는 활상 에러가 최소화되는 방식으로, 본 발명의 요지에 따라서, 반사 소자 또는 미러(M_k , 421)의 온도 제어를 위해 사용될 수 있다. 본 발명에 따른 제3 투영 렌즈에서 템퍼링 수단으로서, 서술된 펠티에 소자(300) 또는 펠티에 소자의 배열을 사용하는 것은, 낮은 제로 크로스 온도(T_{0mm}^1)(본 발명의 제3 투영 렌즈에 따른)를 갖는 미러가, 제로 크로스 온도가 기준 온도(T_{Ref}) 아래이면 중요한, 이 온도 또는 그 아래로 냉각될 수 있는 장점을 가진다. 또한, 높은 제로 크로스 온도(T_{0mm}^2)(또는 기준 온도(T_{Ref})보다 높은 제로 크로스 온도)를 갖는 미러는, 본 발명에 따른 투영 렌즈중 하나와 관련하여 상기 서술된 것같이 이 또는 각각의 동작 온도로 가열될 수 있다.

[0117] 제4 투영 렌즈의 실시예 및 상기 서술된 실시예에서, 투영 렌즈는 적어도 하나의 반사 광학 소자(M_k) 주위 내의 압력(Δp)의 제어를 위한 압력 제어 시스템을 포함한다. 이러한 압력 제어 시스템을 도 11과 관련하여 아래에 설명한다. 압력 제어는, 반사 광학 소자(M_k)의 온도, 시간, 광학 소자(M_k)의 온도에 직접 또는 간접적으로 영향을 미치는 파라미터, 조명 세팅, 레티클의 변화, 광학 소자(M_k) 또는 투영 렌즈의 열적으로 또는 기계적으로 유도된 광 수차 데이터 및 모델로부터의 출력 파라미터로 구성된 그룹으로 선택된 파라미터에 기초한다. 모델 입력은, 광학 소자(M_k)의 온도, 조명 세팅, 레티클의 변화, 광학 소자(M_k) 또는 투영 렌즈의 열적으로 또는 기계적으로 유도된 광 수차 데이터 및 레티클의 변화로 구성된 그룹으로 선택된 데이터를 포함한다. 또한, 압력 제어 시스템은 바람직하게 적어도 하나의 광학 소자(M_k) 근방의 가스 입구 및/또는 가스 출구를 포함한다.

[0118] 본 발명에 따른 제4 투영 렌즈는, 광학 소자(M_k)의 온도(T_k)가, 투영 렌즈가 EUV 광의 노광 파워를 받기 전에, 제1 가열 파워로 제 1 템퍼링 소자를 가열함으로써 그 값으로 제어되도록 바람직하게 동작한다. 그리고, 투영 렌즈가 EUV 광의 노광 파워를 받는 동안, 제1 템퍼링 소자의 가열 파워는 제1 가열 파워 미만이다. 또한, 제4 투영 렌즈의 바람직한 실시예 및 그 다양한 실시예에서, 제1 템퍼링 소자(300)에 의해 가열 및/또는 냉각된 적어도 하나의 광학 소자(M_k)의 온도(T_k)는 제로 크로스 온도(T_{0k})이다.

[0119] 도 11은 본 발명의 실시예를 개략적으로 도시하며, 도 10에 도시된 것과 유사하므로, 동일한 소자가 동일한 도면 부호로 명시되어 있다. 다음에, 설명은 도 10의 실시예와의 차이에 집중한다. 설명되지 않은 소자 및 그 기능은 도 10에 기재되어 있다. 도 11의 실시예에서, 히터 또는 템퍼링 수단은 없다. 반사 광학 소자 또는 미러(M_k , 421)의 온도는 반사 소자 또는 미러(M_k , 421)의 주위 내의 압력(Δp 로 명시)의 압력 제어에 의해 제어된다. 이 경우에, 압력은, 반사 소자 또는 미러(M_k , 421)의 온도의 함수, 시간의 함수 또는 온도 of 반사 소자 또는 미러(M_k , 421)의 온도에 직접 또는 간접적으로 영향을 미치는 다른 파라미터의 함수로서, 제어될 수 있다. 또한, 압력을 제어하는 제어 시스템은, 모델을 선택적으로 조정하고, 압력과 같은 출력 파라미터 또는 상기 주위의 압력에 직접 또는 간접적으로 영향을 미치는 임의의 파라미터를 출력하기 위한 함수 변수와 같은 입력 데이터를 갖는 모델을 포함할 수 있다. 상기로부터, 본 발명은 제5 투영 렌즈에 관한 것이다. 제5 투영 렌즈는 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈이다. 렌즈는 복수의 반사 광학 소자(M_i)를 포함하며, 각각은, 광이 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 조명 시스템에 의해 조명되면서 레티클로부터 반사될 때, 50 nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는 EUV 광의 노광 파워로 투영 렌즈(20)가 노광되면, 이러한 각각의 소자는 레티클 상의 오브젝트 필드를, 기관 상의 이미지 필드로 투영하기 위한 바디(MB_i)와 반사면(MS_i)을 포함한다. 또한, 렌즈는, 적어도 하나의 광학 소자(M_k)를 수동적으로 또는 능동적으로 지지하기 위한 지지 수단과, 제4 투영 렌즈의 실시예 및 상기 서술된 실시예에서, 투영 렌즈는 적어도 하나의 반사 광학 소자(M_k) 주위 내의 압력(Δp)의 제어를 위한 압력 제어 시스템(도 11과 관련하여 설명된)을 포함한다. 제어는, 반사 광학 소자(M_k)의 온도, 시간, 광학 소자(M_k)의 온도에 직접 또는 간접적으로 영향을 미치는 파라미터, 조명 세팅, 레티클의 변화, 광학

소자(M_k) 또는 투영 렌즈의 열적으로 또는 기계적으로 유도된 광 수차 데이터 및 모델로부터의 출력 파라미터로 구성된 그룹으로 선택된 파라미터에 기초한다. 모델은, 광학 소자(M_k)의 온도, 시간, 광학 소자(M_k)의 온도에 열적으로 또는 기계적으로 영향을 미치는 파라미터, 조명 세팅, 열적으로 또는 기계적으로 유도된 광학 소자(M_k) 또는 투영 렌즈의 광 수차 데이터 및 레티클의 변화로 구성된 그룹으로 선택된 입력 데이터를 사용한다.

[0120] 다음은 도 11을 참조하여 다양한 변형된 실시예를 갖는 제5 투영 렌즈를 보다 상세히 설명한다.

[0121] 제5 투영 렌즈의 제2 실시예에서, 지지 수단은, 연결 포인트(451), 양각대 구조(461), 연결 소자(471), 지지 소자(480) 및 하우스링 구조(481)로 구성된 그룹으로부터 선택된, 감온 소자(도 10과 관련하여 설명된)를 포함하며, 적어도 하나의 광학 소자(M_k)를 수동적으로 또는 능동적으로 지지하며, 감온 소자는 쿨러(350)에 의해 일정한 또는 미리 정의된 온도로 제어된다. 바람직하게 쿨러(350)는 감온 소자 및 적어도 하나의 광학 소자(M_k) 사이에 공간적으로 배열된다. 제5 투영 렌즈 및 그 다양한 실시예에서, 적어도 하나의 광학 소자(M_k)의 주위 내의 압력(Δp)은 0.1 Pa ~ 10 Pa의 범위, 보다 바람직하게 1 Pa 및 5 Pa 사이의 범위에 있다. 적어도 하나의 광학 소자(M_k) 및 쿨러(350)는 바람직하게 1 mm ~ 10 mm의 범위, 보다 바람직하게 3 mm와 5 mm 사이의 범위에 있다. 또한, 압력 제어 시스템은 적어도 하나의 반사 광학 소자(M_k) 근방의 가스 입구 및/또는 가스 출구를 포함한다. 가스 입구 및/또는 가스 출구 (도 11에 비도시)로 적어도 하나의 광학 소자(M_k)의 주위 내의 압력이 조정될 수 있다. 또한, 제5 투영 렌즈의 바람직한 실시예에서, 적어도 하나의 반사 광학 소자(M_k)와 쿨러(350) 사이의 쿨러(350)의 거리가, 이들 소자 사이의 열 전달을 제어하도록 조정된다.

[0122] 또한, 도 10과 관련되어 설명한 것같이, 제4 투영 렌즈 및 그 실시예와 유사하게, 제5 투영 렌즈에서, 적어도 하나의 반사 광학 소자(M_k)는 제로 크로스 온도(T_{0k})에서 제로인 열 팽창인 온도 종속 계수를 갖는 재료를 또한 포함한다. 일반적으로, 이 제로 크로스 온도는 감온 소자의 일정한 또는 미리 정의된 온도와 상이하며, 도 10과 관련하여 설명된, 본 발명의 제4 투영 렌즈와 관련하여 이미 설명한 것같이, 그 온도는 바람직하게 그러나 필수적이지 않게, 기준 온도(T_{Ref})이다.

[0123] 제5 투영 렌즈는 바람직하게, 적어도 하나의 반사 광학 소자(M_k)의 온도가 그 제로 크로스 온도가 되도록 압력 (Δp)(제어 시스템에 의해 제어되는)이 값을 가질 가능성을 제공한다.

[0124] 일반적으로 반사 소자 또는 미러(M_k , 421)의 주위는 대략 1 ~ 5 Pa (Pascal)의 범위, 바람직하게 대략 3.5 Pa의 압력을 갖는 가스를 포함한다. 쿨러(350)는, 도 10과 관련하여 이미 설명한 것같이, 미러의 온도 변화가 영향을 주지 않도록 감온 소자를 일반적으로 차폐한다. 이로 인해, 바람직하게, 쿨러(350)는 감온 소자 및 적어도 하나의 광학 소자(M_k) 사이에 공간적으로 배열된다.

[0125] 지지 수단 또는 미러(421)에 의해 지지되는 적어도 하나의 광학 소자와 쿨러(350) 사이의 거리는 대략 3 ~ 5 mm이다. 이 공간 내에, 상기 서술된 것같이 가스 압력이 있다. 가스로서 일반적으로 수소가 사용된다. 수소 가스의 경우에, 압력이 대략 ± 1 Pa이면, 가스의 열적 저항은 대략 $\pm 25\%$ 만큼 변화한다. 미러(421)의 직접 주위에서 압력을 제어하는 압력 제어 시스템을 사용하여, 미러는 그 절대 온도 및 그 온도 분포에 관하여 시간의 함수로서 제어될 수 있다. 일 예로서, EUV 투영 공정의 시작시, 미러(421)는 정지 상태에 있는 것같이 낮은 온도에 있다. 이 경우에, 압력은 감소되어, 미러는 그 정적 상태 온도로 더 빠르게 가열된다. 또 다른 예로서, 조명 세팅 및/또는 레티클이 변화하면, 상기 서술된 것같이, 확실하게, EUV 투영 렌즈가 받는 파워가 변화한다. 미러(421)는 더 높은 또는 더 낮은 정적 상태 온도로 가열된다. 제1 경우에, 쿨러(350) 및 미러(421) 사이의 열적 저항을 감소시키기 위해서 압력이 증가된다. 제2 경우에, 미러를 제로 크로스 온도 (도 7과 관련하여 설명되어 있는)에 근접한 가장 정적인 상태 온도로 하기 위해 가스 주위의 열적 저항을 증가시키도록 압력이 감소된다. 미러(421)의 주위에 가스 압력을 조절하는 것은 정적 상태 온도에 영향을 미친다. 이상적으로, 광 수차를 최소화하기 위해, 정적 상태 온도는 제로 크로스 온도이어야 한다. 또 다른 애플리케이션으로서, 예를 들면 제조 허용 오차로 인한, 특정 미러(M_k)의 제로 크로스 온도의 작은 변화도, 정적 상태에서, 이 미러의 평균 온도(T_{avk})가 제로 크로스 온도에 가장 잘 적합하도록 미러의 직접 주위의 압력이 조정되는 방식으로 보상되어야 한다. 이러한 압력 제어는 EUV 렌즈의 개별 미러 또는 반사 광학 소자의 직접 주위의 압력이 독립적으로 변화될 수 있는 것을 요구한다. 실제적으로, 이것은 미러 주위의 가스 입구 및 가스 출구에 의해 행해진다. 이로부터, 제5 투영 렌즈의 실시예에서, 압력 제어 시스템은 지지 수단에 의해 지지되는 적어도 하나의 반사 광학

소자(M_k) 근방의 가스 입구 및 가스 출구를 포함한다.

[0126] 또한, 제5 투영 렌즈의 실시예에서, 쿨러 면(352)의 거리, 또는 일반적으로 쿨러(350) 및 미러(421) 또는 반사 광학 소자(M_k) 사이의 열 전달을 제어하기 위해서, 이들 사이의 거리가 조정될 수 있다.

[0127] 도 12a는 5 mm 및 25 mm의 전송로에 대해 Zerodur®의 전송을 나타낸다. 이것은 Zerodur®가 700 nm 에서 대략 2 μ m까지의 범위의 파장을 갖는 광에 대해서 (여기서, 또한, 적외선 또는 IR 방사 또는 IR 광으로서 명시된다) 대략 일정한 흡수 계수를 갖는 것을 나타낸다. 이 범위의 파장을 갖는 IR 광에 대한 Zerodur®에서 감쇄 길이는 대략 50 mm ~ 대략 100 mm이다. 이것은 도 12a로부터 알 수 있다. 도 3d 및 도 3h는 또한 EUV 투영 렌즈에서 사용된 미러의 전형적인 미러 크기를 나타낸다. 지름은 일반적으로 200 mm ~ 600 mm의 범위이고, 및 두께는 100 mm까지이다. 이것은 IR 광이 Zerodur® 재료에서 50 mm ~ 대략 100 mm의 거리를 통과하면, 63%의 에너지가 이 경로를 따라서 흡수되는 것을 의미한다. 그래서, 감쇄 길이는, 미러가 Zerodur®로 만들어 지거나 또는 Zerodur®을 포함하면, 상기 IR 광에 의해 가열될 수 있도록 EUV 렌즈의 미러의 크기에 잘 맞춰진다. 이것은 IR 광이 대략 50 mm에서 100 mm 이상까지의 거리에 걸쳐서 그 에너지를 두기 때문이다. 이러한 거리는 다소 균일한 방식으로 동시에 워업될 수 있다. 이것은, 예를 들면 도 5, 도 10 또는 도 11에 도시된 것 같이, 미러(M_k)의 미러 바디(MB_k)가, 도 12a에 도시된 것 같이 자외선 범위의 파장을 포함하는 방사에 대해 반투과적이다. 이 효과를 사용하기 위해, 도 12b는, 반사 광학 소자 또는 미러(M_k , 421)가 그 전체면 또는 거의 전체면에 코팅(C)으로 코팅되어, 미러를 IR 방사로 가열가능하게 하는 본 발명의 또 다른 실시예를 개략적으로 나타낸다. 코팅(C)은 EUV 광을 반사하기 위한 다층의 형태의 코팅을 또한 포함할 수 있는 반사면(MS_k , 450)과 다르다.

[0128] 자외선 방사 IR가 반사되도록 코팅(C)이 선택된다. 코팅 재료로서, 매우 얇은 금속 층이 사용될 수 있다. IR 방사를 반사하는 다른 코팅이 또한 사용될 수 있다. 또한, 코팅 및 IR 방사의 반사가 최적화되도록 그 파장이 적응될 수 있다. 코팅(C)은 IR 방사가 미러 바디(MB_k)에 있을수 없고, 도 12b에 1002로서 나타낸 다양한 반사로 인해서, 미러가 보다 균일하게 가열된 함수를 갖는다. 이 방법으로, IR 방사는 미러 바디(MB_k) 내에 그 에너지를 거의 순간적으로 전체적으로 놓는다. 미러 바디(MB_k)로의 IR 방사를 얻기 위해, 그 적어도 하나의 표면 영역은 코팅되지 않거나 코팅은 IR 방사에 대해서 부분적으로 투과적이다. 이들 표면 영역은 1004 및 1006로 명시되어 있고, IR 윈도우로 칭해진다. IR 윈도우 또는 복수의 IR 윈도우(1004, 1006)는, 미러 바디 재료의 IR 방사의 감쇄 길이, 미러의 기하학적 형태 및 크기를 고려하여, 미러 상의 적합한 위치에 위치한다. 구성 공간에 관한 제한이 또한 고려된다. 그러나, 감쇄 길이가 비교적 크기 때문에, 즉, 미러의 크기의 범위에서, IR 윈도우의 위치가 매우 중요한 것은 아니다. 특히, 그 위치는 도 12b의 예에 도시된 것 같이, 반사 소자 또는 미러의 반사면(MS_k , 450)이 배열되는 미러 바디(MB_k)의 측일 수 있다. 이것은 미러 앞의 구성 공간이 IR 방사를 반사 소자 또는 미러에 연결하기 위해 사용될 수 있는 장점을 갖는다. 대부분 다른 히터 또는 템퍼링 수단은, EUV 투영 빔(1000)을 차단 또는 세도우(shadow)하기 때문에, 이 공간에서 사용될 수 없다. 바람직하게, 도 12b에 개략적으로 나타낸 것 같이, IR 윈도우는 반사면(MS_k , 450)을 에워싼다. 또한, 옵션 IR 윈도우는 특정 면 조도 또는 미러 바디 내에 IR 방사를 분산 또는 분배하기 위한 굴절 구조를 포함한다. 또한, 우측 IR beam에 대해서 도 12b에 도시된 것 같이, IR 방사는 EUV 투영 빔(1000)과 동일한 구성 공간을 적어도 부분적으로 공유할 수 있다. IR 방사 소스로서, 레이저, IR-다이오드, 필라멘트 또는 램프등과 같은 임의의 소스가 사용될 수 있다. IR 소스에 의거하여, IR 윈도우를 통해서 반사 소자 또는 미러(M_k , 421)에 연결될 수 있도록 IR 방사를 구성하기 위해 적합한 선택적 배열이 사용될 수 있다. 이러한 선택적인 구성은 렌즈 및 미러 또는 일반적으로 굴절, 일반적으로 굴절, 회절 및/또는 반사 광학 소자를 포함할 수 있다. 추가적으로 또는 선택적으로, 이러한 광 배열은 또한 예를 들면, IR 윈도우로부터 IR 윈도우(1004, 1006)로 IR 방사를 전송하는 석영 파이버 또는 광 파이버(일반적으로 광 가이드)를 포함할 수 있다. 이 경우에, IR 소스는 EUV 투영 렌즈의 외부 또는 EUV 리소그래피 투영 시스템 외부에 위치될 수 있다. 반사 광학 소자 또는 미러(M_k , 421)는 도 12b와 관련하여 설명한 것 같이, 히터 또는 템퍼링 소자 또는 템퍼링 수단(IR 소스 및 IR 소스를 구성하는 선택적인 광 배열을 포함하는)과 반사 소자 또는 미러(M_k)의 기계적 접촉이 없는 장점을 갖는다.

[0129] 본 발명의 또 다른 실시예에서, 도 12b의 반사 소자 또는 미러는, 예를 들면, 도 10의 실시예의 히터(300), 템퍼링 소자 또는 템퍼링 수단 및/또는 여기 서술된 것 같이 또는 도 11의 실시예에 서술된 것 같이, 쿨러(350)와 함께 사용될 수 있다. 부가적으로 또는 선택적으로, 도 11에 서술된 것 같이 압력 제어가 도 12b의 실시예와 함

게 사용될 수 있다. 모든 이들 실시예가 EUV 투영 렌즈에서, 특히 본 발명에 따라서 상기 서술된 것에서, 바람직하게 본 발명에 따라서 제1, 제2 및 제3 투영 렌즈에서, 바람직하게 사용될 수 있으며, 열 유도된 광 수차가 최소화되는 장점을 갖는다.

- [0130] 도 12a 및 도 12b의 상기 설명으로부터 본 발명에 따른 제6 투영 렌즈가 제공되며, 이는 도 12b에 도시되어 있다. EUV 리소그래피 투영 노광 시스템에 대한 제6 투영 렌즈의 제1 실시예는 복수의 반사 광학 소자(M_i)를 포함한다. EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 조명 시스템에 의해 조명되는 동안 레티클로부터 반사되는, 투영 렌즈가 50 nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는, EUV 광의 노광 파워로 노광되면, 각각의 반사 광학 소자(M_k)는 레티클 상의 오브젝트 필드를 기관 상의 이미지로 투영하는 바디(MB_i) 및 반사면(MS_i)을 갖는다. 또한, 적어도 하나의 반사 광학 소자(M_k)는 제로 크로스 온도(T_{0k})에서 제로인 열 팽창의 온도 종속 계수를 갖는 재료를 포함한다. 또한, 광학 소자(M_k)의 바디(MB_k)는 IR 방사에 대해 반투과적이며, 그 바디(MB_k)를 갖는 적어도 하나의 반사 광학 소자(M_k)는 바디(MB_k)의 전체 표면에 또는 거의 전체에 코팅(C)을 포함한다. 코팅(C)은 IR 방사를 바디(MB_k) 내에서 반사한다.
- [0131] 제6 투영 렌즈의 제2 실시예는 IR 광원을 포함하고, IR 광로를 형성하기 위한 광학 장치를 포함한다. IR 광원 또는 IR 광로는 IR 방사를 코팅(C)을 포함하는 바디(MB_k)에 결합한다. 바람직한 실시예에서, IR 광원 또는 광학적 배열은 레이저, IR-다이오드, 필라멘트, 렌즈, 미러, 굴절 소자, 회절 소자, 반사 소자, 광 가이드 및 광학 파이버로 구성된 그룹으로부터 선택된 소자를 포함한다. 또한, 바디(MB_k)는, 바람직하게, 코팅(C)으로 코팅되지 않은 표면 영역(1004, 1006)을 포함하거나, 또는 IR 방사에 대해서 반투과적이며 IR 방사를 바디(MB_k)에 연결하는 코팅을 갖는 표면 영역(1004, 1006)을 포함한다. 바람직하게, 코팅(C)은 금속을 포함한다.
- [0132] 제6 투영 렌즈의 또 다른 실시예에서, 표면 영역(1004, 1006)은 반사면(MS_k)을 포함하는 바디(MB_k)의 측면 상에 배열된다. 선택적으로 또는 추가적으로, 표면 영역(1004, 1006)은 반사면(MS_k)을 에워싼다. 또한, 표면 영역(1004, 1006)은 IR 방사를 바디에 분산시키기 위한 표면 조도를 포함할 수 있거나, 또는 표면 영역은 회절에 의해 IR 방사를 바디(MB_k) 내에 분산시키기 위한 회절 구조를 포함할 수 있다.
- [0133] 제6 투영 렌즈의 또 다른 실시예에서, 반사면(MS_k) 근방의 구성 공간은 IR 방사 및 EUV 광에 의해 조명된다. 바람직하게, IR 소스가 투영 렌즈의 외부 또는 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 외부에 배열된다.
- [0134] 또한, 상기 서술된 제1 ~ 제5 투영 렌즈에서와 같이, 또한 제6 투영 렌즈에서와 같이, 광학 소자(M_k)는 그 병진 운동을 위해 액츄에이터에 선택적으로 연결된다.
- [0135] 제1 ~ 제5 투영 렌즈와 유사하게, 제6 투영 렌즈는, 그 반사면(MS_k)에 대항하는 적어도 하나의 광학 소자(M_k)의 바디(MB_k)의 측면에 위치하는 쿨러(350)를 포함하는 소자를 포함할 수 있다. 또한, 적어도 하나의 반사 광학 소자(M_k)에 대한 쿨러(350)의 거리는 이들 소자들 사이의 열 전달의 제어를 위해 바람직하게 조정가능하다. 선택적으로 또는 추가적으로, 제6 투영 렌즈 (및 그 실시예)는 적어도 하나의 반사 광학 소자(M_k)의 주위 내의 압력(Δp)의 제어를 위한 압력 제어 시스템을 포함한다. 또한, 상기 압력 제어 시스템은 광학 소자(M_k) 근방의 가스 입구 및/또는 가스 출구를 포함할 수 있다.
- [0136] 제6 투영 렌즈의 바디(MB_k)를 IR 방사로 방사하지 않고, EUV 광 (조명된 레티클에 의해 반사되고, 조명 세팅에 따른 각도, 편향 및 세기의 공간 분포를 포함하는)으로 반사면(MS_k)을 노광하는 것은 기준 온도(T_{Ref})에 대한 온도 $T_k(x, y, z)$ 를 갖는 바디(MB_k)의 온도 분포 $\Delta T_k(x, y, z) = (T_k(x, y, z) - T_{Ref})$ 를 가져 온다. 온도 분포는 평균 온도 및 최대 온도 ΔT_{kav} 및 ΔT_{kmax} 를 포함한다. 바람직하게, 제로 크로스 온도(T_{0k})는, 기준 온도가 더해지고 공간 온도 분포 $\Delta T_k(x, y, z)$ 에 기초하는 각각의 평균 또는 최대 온도와 기준 온도(T_{Ref})의 최대 값보다 높으며, $T_{0k} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{kav} + T_{Ref})$ 또는 $T_{0k} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{kmax} + T_{Ref})$ 로 표현된다. 또한, 제로 크로스 온도(T_{0k})를 갖는 재료는 제조로 인한 제로 크로스 온도의 실제 값에 관하여 변화하여, 제로 크로스 온도(T_{0k})의 실제 값이 간격 $T_{0k} \pm \Delta T_{0k}$ 내에 있도록 제조 허용 오차(ΔT_{0k})가 생기면, 제로 크로스 온도(T_{0k})는, 기준 온도가 추가되고 공간

온도 분포 $\Delta T_k(x,y,z)$ 에 기초하는 각각의 평균 또는 최대 온도 $\Delta T_{kav} + T_{ref}$ 또는 $\Delta T_{kmax} + T_{ref}$ 와 기준 온도(T_{ref})의 최대 값- 상기 최대 값은 제조 허용 오차(ΔT_{Ok})의 절대 값만큼 증가됨 -보다 크게 선택되며, $T_{Ok} > \max(T_{ref}, \Delta T_{kav} + T_{ref}) + |\Delta T_{Ok}|$, $T_{Ok} > \max(T_{ref}, \Delta T_{kmax} + T_{ref}) + |\Delta T_{Ok}|$ 로 표현된다.

[0137] 제6 투영 렌즈의 또 다른 실시예 (및 그 다양한 실시예)에서, 투영 렌즈가 EUV 광의 노광 파워를 받기 전에 제1 IR 방사력으로 광학 소자(M_k)를 조사함으로써, 광학 소자(M_k)의 온도(T_k)가 그 값으로 제어된다. 선택적으로, 투영 렌즈가 EUV 광의 노광 파워를 받는 동안, IR 방사력은 제1 IR 방사력보다 적다.

[0138] 또한, 본 발명은 바디(MB_k) 및 반사면(MS_k)을 포함하고, 제로 크로스 온도(T_{Ok})에서 제로인 열 팽창의 온도 종속 계수를 갖는 재료를 포함하는 미러(도 12에 도시)에 관한 것이다. 또한, 광학 소자(M_k)의 바디(MB_k)는 IR 방사에 대해 반투과적이며, 바디(MB_k)의 전체 표면에 또는 거의 전부에 코팅(C)을 포함한다. 코팅(C)은 IR 방사를 바디(MB_k) 내에서 반사하며, 미러는, 투영 렌즈가 50 nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는 EUV 광의 노광 파워로 노광되면, 레티클 상의 오브젝트 필드를 기관 상의 이미지로 투영하는 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈에 대해서 적용된다. 선택적으로, 미러 바디(MB_k)는 코팅(C)으로 코팅되지 않은 표면 영역(1004, 1006)을 포함하거나, 또는 IR 방사에 대해서 반투과적이며 IR 방사를 바디(MB_k)에 연결하는 코팅을 갖는 표면 영역(1004, 1006)을 포함한다. 바람직하게, 코팅(C)은 금속을 포함한다. 미러의 또 다른 실시예에서, 표면 영역(1004, 1006)은 반사면(MS_k)이 배열되는 미러 바디(MB_k)의 측면 상에 배열된다. 선택적으로 또는 추가적으로, 표면 영역(1004, 1006)은 반사면(MS_k)을 에워싼다. 본 발명에 따른 미러의 또 다른 실시예에서, 표면 영역(1004, 1006)은 IR 방사를 바디에 분산시키기 위한 표면 조도를 포함할 수 있거나, 또는 표면 영역은 회절에 의해 IR 방사를 바디(MB_k) 내에 분산시키기 위한 회절 구조를 포함할 수 있다.

[0139] 도 12c는 반사 광학 소자 또는 미러(M_k , 421)는 그 표면에서 코팅(C2)으로 적어도 부분적으로 코팅되어 미러가 열가능하게 하는 본 발명의 또 다른 실시예를 개략적으로 나타낸다. 본 실시예에 따라서, 코팅(C2)은 EUV 광(1000)을 반사하기 위한 다층 코팅의 형태로 코팅을 또한 포함할 수 있는 반사면(MS_k , 450)과 상이하다. 코팅(C2)은 특정 전기 저항을 가지도록 선택되어, 이것이 저항성 코팅(C2)으로 불린다. 저항성 코팅(C2)에서, 전기 전류가 발생되면, 반사 소자 또는 미러(M_k)에 열 에너지로서 전달되는 에너지가 생성되어 가열시킨다. 이와 같이, 반사 소자 또는 미러(M_k , 421)의 온도가 제어될 수 있다. 이 실시예에서, 히터 또는 텀퍼링 수단(300)은 저항성 코팅(C2) 및 코팅(C2)에 접촉된 전압원(VS)을 포함한다. 본 발명의 실시예에 따르면, 저항성 코팅(C2)은 바디(M_k)의 표면을 덮는다. 바람직하게, 반사면(MS_k , 450) 및 바디(MB_k) 사이에 저항성 코팅(C2)이 없다. 선택적으로, 바디의 표면의 일부만 또는 몇몇 부분이 저항성 코팅(C2)으로 덮여 있다. 이들 부분은 바디 및/또는 반사면에서 균일한 온도 분포가 얻어질 수 있도록 선택된다. 이것은 상기 서술된 실시예에서와 같이, 반사 소자 또는 미러의 수차를 최소화시킨다. 저항성 코팅(C2)에서 전기 전류가 전기 전압에 의해 발생한다. 이로 인해, 전압원(VS)이 광학 소자(M_k , 421)의 저항성 코팅(C2)에 연결된다. 이것은 케이블(1008)에 의해 행해질 수 있다. 선택적으로 또는 추가적으로, 전압원(VS)은 수치 1010으로 나타낸 것같이 바디 위에 실장된다. 전압원이 바디(MB_k)에 실장되면, 케이블 또는 와이어(1008)가 사용되면, 그대로, 코팅(C2)에 의해 형성된 히터 또는 텀퍼링 수단(300)의 지지 구조로의 기계적 접속이 없다. 바람직하게, 케이블이나 와이어로부터 미러 또는 반사 광학 소자(M_k , 421)로의 전달된 힘이나 모멘트가 없다.

[0140] 도 12c에 따라서 설명한 것같이, 본 발명의 실시예의 또 다른 실시예에서, 도 12c의 반사 소자 또는 미러는 도 10의 실시예의 텀퍼링 수단 또는 히터(300)와 함께 및/또는 설명된 쿨러(350)와 함께 사용될 수 있다. 추가적으로 또는 선택적으로, 도 11과 관련하여 설명된 압력 제어도 도 12c의 실시예와 함께 사용될 수 있다. 또한, 예를 들면, IR 광의 반사에 대한 코팅(C)을 사용하여, 저항성 코팅(C2)으로서 도 12b 및 12c의 실시예가 결합될 수 있다. 선택적으로, IR 반사 코팅(C) (도 12b의)은, 도 12c에서 서술된 것같이 전압원(VR)에 의해 가열되는 저항성 코팅(C2)으로 커버될 수 있다. 또한, 모든 이 실시예는 EUV 투영 렌즈에서, 특히, 본 발명에 따라서 상기 서술된 것같이, 바람직하게, 열 유도된 광 수차를 감소시키기 위해 본 발명에 따른 제1, 제2 및 제3 ~ 제6 투영 렌즈에서, 사용될 수 있다.

[0141] 도 12c와 관련하여 서술된 것같이 미러 또는 반사 광학 소자를 갖는 투영 장치의 실시예와 관련하여 설명된 장

점으로 인해서, 본 발명은 제7 투영 렌즈 및 거기에 사용되는 미러에 관한 것이다.

[0142] 도 12c와 관련하여 본 발명에 따른 미러는 바디(MB_k) 및 반사면(MS_k)을 포함한다. 또한, 미러는 제로 크로스 온도(T_{0k})에서 제로인 열 팽창의 온도 증속 계수를 갖는 재료를 포함하며, 바디(MB_k)는 저항성 코팅(C2)으로 적어도 부분적으로 코팅되며, 저항성 코팅(C2)은 전기 저항성 가열에 의해 바디를 가열하기에 적합한 전기 저항을 갖는다. 또한, 미러는, 투영 렌즈가 50 nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는 EUV 광의 노광 파워로 노광되면, 레티클 상의 오브젝트 필드를 기관 상의 이미지로 투영하는 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈에 대해서 적용된다. 바람직하게, 저항성 가열은 0.01 W와 1 W 사이에 있다. 또한, 코팅(C2)은 전압원(VS)에 연결된다. 전압원은 바람직하게 미러 바디(MB_k)에 부착되거나 또는 전압원은 미러 바디(MB_k)에 와이어(1008)에 의해 전기적으로 접속된다.

[0143] 도 12c와 관련하여 서술된 것같이 미러의 또 다른 실시예에서, 미러의 코팅(C2)은 반사면(MS_k)의 영역을 제외하고 미러 바디(MB_k)를 덮는다. 또한, 바람직하게, 광학 소자(M_k)의 바디(MB_k)는 IR 방사에 대해서 반투과적이고, 저항성 코팅(C2)이, 바디(MB_k)에 또는 거의 전체 면에 코팅된 반사성 코팅(C) 위에 코팅된다. 그래서, 도 12b와 관련하여 서술된 것같은 피처를 갖는 미러가 얻어질 수 있다. 이로 인해, 바람직하게 반사성 코팅(C)은 바디(MB_k) 내에 IR 방사를 반사한다. 미러의 또 다른 바람직한 실시예에서, 미러 바디(MB_k)는 코팅(C, C2)으로 코팅되지 않은 표면 영역(1004, 1006)을 포함하거나, 또는 IR 방사에 대해서 반투과적인 코팅을 갖는 표면 영역(1004, 1006)을 포함한다. 미러의 이들 실시예는 IR 방사가 이들 표면 영역(1004, 1006)에서 미러 바디(MB_k)에 연결될 수 있다는 장점을 갖는다. 표면 영역(1004, 1006)은 반사면(MS_k)을 갖는 미러 바디(MB_k)의 측면 상에 바람직하게 배열되고, 선택적으로, 표면 영역(1004, 1006)은 반사면(MS_k)을 에워싼다.

[0144] 도 12c와 관련하여 서술된 것같은 미러의 또 다른 바람직한 실시예에서, 표면 영역(1004, 1006)은 IR 방사를 바디에 분산시키기 위한 표면 조도를 포함하거나, 또는 표면 영역은 회절에 의해 IR 방사를 바디(MB_k) 내에 분산시키기 위한 회절 구조를 포함할 수 있다. 또한, 저항성 코팅(C2)은 금속을 포함하고, 또한 바람직하게 반사성 및 저항성 코팅(C, C2)은 동일한 금속을 포함한다.

[0145] 상기 서술한 것같이, 본 발명은 도 12c와 관련하여 상기 서술된 장점을 활용하는 제7 투영 렌즈에 관한 것이다. EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 제7 투영 렌즈는, 투영 렌즈가 50 nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는 EUV 광의 노광 파워로 노광되면, 레티클 상의 오브젝트 필드를 기관 상의 이미지로 투영하는 바디(MB_i) 및 반사면(MS_i)을 포함한다. EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 조명 시스템에 의해 조명되는 동안 EUV 광이 레티클로부터 반사된다. 또한, 적어도 하나의 반사 광학 소자(M_k)는 도 12c와 관련하여 본 발명의 미러의 상기 설명된 실시예의 피처를 포함한다. 광학 소자(M_k)는 그 병진 운동을 위해 액츄에이터에 선택적으로 연결된다. 또 다른 실시예에서, 제7 투영 렌즈는, 그 반사면(MS_k)에 대항하는 적어도 하나의 광학 소자(M_k)의 바디(MB_k)의 측면에 위치하는 쿨러(350)를 포함한다. 선택적으로, 적어도 하나의 반사 광학 소자(M_k)에 대한 쿨러(350)의 거리는 이들 소자들 사이의 열 전달의 제어를 위해 조정가능하다.

[0146] 본 발명에 따른 제7 투영 렌즈의 또 다른 실시예는, 도 12c와 관련하여 본 발명의 미러의 상기 설명된 실시예의 피처를 포함하는 적어도 하나의 반사 광학 소자(M_k)의 주위 내의 압력(Δp)의 제어를 위한 압력 제어 시스템을 포함한다. 또한, 상기 압력 제어 시스템은 적어도 하나의 광학 소자(M_k) 근방의 가스 입구 및/또는 가스 출구를 포함한다.

[0147] 제7 투영 렌즈의 또 다른 실시예에서, 반사면(MS_k)이 EUV 광으로 노광되면, 바디(MB_k) 상에 있는 저항성 코팅(C2)을 가열하지 않고 투영 렌즈가 가열된다. EUV 광은 조명된 레티클에 의해 반사되고, 조명 세팅에 따른 각도, 편향 및 세기의 공간 분포를 포함하며, 기준 온도(T_{Ref})에 대한 바디(MB_k)의 온도 분포는 ΔT_k(x,y,z) = (T_k(x,y,z) - T_{Ref})가 된다. 온도 분포 ΔT_k(x,y,z) = (T_k(x,y,z) - T_{Ref})는 평균 온도 및 최대 온도(ΔT_{kav} 및 ΔT_{kmax})를 포함한다. 또한, 미러 바디(MB_k)의 제로 크로스 온도(T_{0k})는, 기준 온도가 더해지고 공간 온도 분포 ΔT_k(x,y,z)에 기초하는 각각의 평균 또는 최대 온도 ΔT_{kav} + T_{Ref} 또는 ΔT_{kmax} + T_{Ref}와 기준 온도(T_{Ref})의 최대 값보다 높게 선택되며, T_{0k} > max(T_{Ref}, ΔT_{kav} + T_{Ref}) 또는 T_{0k} > max(T_{Ref}, ΔT_{kmax} + T_{Ref})로 표현된다. 또한, 제7

투영 렌즈에서 제로 크로스 온도의 제조 허용 오차가 고려될 수 있다. 제7 투영 렌즈의 이러한 실시예에서, 제로 크로스 온도(T_{0k})를 갖는 재료는 제조로 인한 제로 크로스 온도의 실제 값에 관하여 변화하여, 실제값이 간격 $T_{0k} \pm \Delta T_{0k}$ 내에 있도록 제조 허용 오차(ΔT_{0k})가 발생한다. 이러한 경우에, 제로 크로스 온도(T_{0k})는, 기준 온도가 더해지고 공간 온도 분포 $\Delta T_k(x,y,z)$ 에 기초하는 각각의 평균 또는 최대 온도($\Delta T_{kav} + T_{ref}$ 또는 $\Delta T_{kmax} + T_{ref}$)와 기준 온도(T_{ref})의 최대 값보다 크게 선택된다. 이러한 최대 값은 제조 허용 오차(ΔT_{0k})의 절대 값만큼 추가적으로 증가되며, $T_{0k} > \max(T_{ref}, \Delta T_{kav} + T_{ref}) + |\Delta T_{0k}|$, $T_{0k} > \max(T_{ref}, \Delta T_{kmax} + T_{ref}) + |\Delta T_{0k}|$ 로 표현된다.

[0148] 제7 투영 렌즈의 바람직한 실시예 (및 그 다양한 실시예)에서, 투영 렌즈가 EUV 광의 노광 파워를 받기 전에 전압원의 제1 전력으로 저항성 코팅(C2)을 가열함으로써 광학 소자(M_k)의 온도(T_k)가 그 값으로 제어된다. 또한, 투영 렌즈가 EUV 광의 노광 파워를 받는 동안, 저항성 코팅(C2)을 가열하는 전력은 바람직하게 제1 전력 미만이다.

[0149] 도 12d는 반사 광학 소자 또는 미러(M_k , 421)가, 반사면(MS_k) 근방에 배열되어 있는 멀티존 와이어 그리드(1050)에 의해 적어도 부분적으로 가열되는, 본 발명의 또 다른 실시예를 개략적으로 나타낸다. 이러한 반사 소자 또는 미러는 다음의 필수적인 단계들을 포함하는 처리에 의해 제조될 수 있다:

[0150] 1. 바람직하게 바디 재료(MB_k)로서, 높은 제로 크로스 온도(T_{0k})를 갖는 재료가 예를 들면, 본 설명에서 설명된 실시예중 적어도 하나에서 사용되는 것으로서 선택된다. 일 예로서, 바디 재료의 적어도 하나의 제로 크로스 온도는 30°C 이상이다.

[0151] 2. 예를 들면, 전기 도금 처리에 의해 바디 재료(MB_k)의 표면 상에 얇은 저항성 코팅을 형성함으로써, 와이어 그리드(1050)가 바디 재료 상에 제조된다.

[0152] 3. 다양한 패턴 구조(1051)이, 멀티존 와이어 그리드(1050)의 구조를 형성하는 저항성 코팅으로 에칭된다. 이것은 주지의 리소그래피 기술을 적용하여 행해진다.

[0153] 4. 다중화가능한 집적 회로를 형성하기 위해 다양한 패턴 구조(1051)가 전기적으로 접속된다.

[0154] 5. 전기 회로를 형성하는 패턴 구조(1051)가 석영과 같이 낮은 CTE를 갖는 절연층(1052)에 의해 덮여지므로, 집적 회로가 완전히 덮여진다.

[0155] 6. 절연층(1052)의 표면이 반사 소자 또는 미러(M_k)에 대해서 필요한 표면 형태 정확도로 연마된다.

[0156] 7. 연마된 절연층(1052)은 다층 반사성 코팅(1054)에 의해 덮여지므로, 선택적 컴팩션 층(1053)이 절연층(1052) 및 반사면(MS_k)을 형성하는 반사성 코팅(1054) 사이에 있을 수 있다.

[0157] 반사 소자 또는 미러의 바람직한 실시예에서, 멀티존 와이어 그리드에 의해 덮여진 영역은 도 12d에 개략적으로 나타낸 것같이, 반사면(MS_k)의 영역의 대략 50%이고, 95%까지이다. 더 높은 커버리지가 바람직하다. 이것은 와이어 그리드의 와이어를 따라서 발생된 열이 바디 재료의 큰 영역에 가해지는 장점을 갖는다.

[0158] 와이어 그리드를 갖는 반사 광학 소자는 상기 다양한 실시예에 서술된 것같이 추가적인 히터(300) 없이 가열될 수 있는 장점을 갖는다. 예를 들면, EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 스타트-업 동안, EUV 투영 렌즈가 EUV 투영 빔으로 노광되기 전에, 광학 소자는 그 제로 크로스 온도까지 가열될 수 있다. 이것은 상기 제2 투영 렌즈와 관련하여 서술된 것같은 장점을 가져 온다. 와이어 그리드의 주요 장점은, 온도를 반사면(MS_k)에 매우 근접하게 제어할 수 있다는 것이다. EUV 투영 빔이 반사면 상에 불균일한 세기 분포를 가지고, 따라서 이 면을 불균일한 방식으로 가열하면, 와이어 그리드가 예를 들면 제어 시스템(200)에 의해 제어되어 큰 EUV 세기 또는 큰 EUV 흡수를 갖는 위치에서 가열 파워를 감소시키고, 낮거나 제로의 EUV 흡수를 갖는 위치에서 가열 파워를 증가시킨다. 이러한 조정으로, 미러 또는 반사 광학 소자의 반사면에 걸친 거의 일정한 온도 프로파일이 얻어질 수 있으며, 열 유도된 수차를 거의 발생시키지 않는다.

[0159] 또한, 와이어 그리드는 그리드 구조에 의해 정의된 공간 해상도로 온도를 측정하기 위해 사용될 수 있다. 온도 측정을 위해, 온도와 관련된 와이어의 전기 저항이 측정된다.

[0160] 또한, 와이어 그리드를 갖는 광학 소자가 여기 서술된 다른 가열 및 템퍼링 개념으로 사용될 수 있다. 예를 들면, 와이어 그리드를 갖는 광학 소자가 도 10에 서술된 것같이 히터 및 쿨러와 결합될 수 있다. 이 경우, 반사

면(MS_k) 근방의 매우 작은 온도 변동을 제어하기 위해 와이어 그리드가 사용될 수 있다. 또한, 도 10에 도시된 것같이 실시예의 히터(300)가 와이어 그리드 저항 값에 의해 제어 또는 부분적으로 제어될 수 있다.

[0161] 이러한 결합된 시스템의 추가적인 장점은, 피드-포워드(feed-forward) 제어가 필요하지 않기 때문에, 온도 제어 시스템이 보다 간단해진다. 이것은, 이 히터가 미리 재료의 제로 크로스 온도 주위의 작은 온도 범위를 제어하거나, 다른 히터 또는 가열 기구가 이 제로 크로스 온도에 근접하게 미러를 가열하면, 반사면의 표면 온도가 와이어 그리드 히터에 의해 매우 빠르게 조정될 수 있기 때문이다.

[0162] 도 12d와 관련하여 서술된 것같이 미러 또는 반사 광학 소자를 갖는 투영 렌즈의 실시예와 관련하여 서술된 장점으로 인해서, 본 발명은 제8 투영 렌즈 및 여기에서 사용된 서술된 와이어 그리드(1050)를 갖는 미러에 관한 것이다.

[0163] 서술된 것같이, 본 발명은 와이어 그리드를 갖는 미러에 관한 것이며, 미러는 바디(MB_k) 및 반사면(MS_k)을 포함한다. 또한, 바디(MB_k)는 제로 크로스 온도(T_{0k})에서 제로인 열 팽창의 온도 종속 계수를 갖는 재료를 포함하며, 바디(MB_k)의 표면의 적어도 일부는 바디(MB_k)의 전기적 저항성 가열을 위한 와이어 그리드(1050)를 포함한다. 또한, 미러는 투영 렌즈가 50 nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는 EUV 광의 노광 파워로 노광되면, 레티클 상의 오브젝트 필드를 기관 상의 이미지로 투영하는 EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 투영 렌즈의 사용에 바람직하게 적용된다. 또한, 미러의 와이어 그리드(1050)가 코팅 재료를 갖는 저항성 코팅에 의해 형성되고, 코팅 재료는 금속, 반도체, 탄소를 함유한 재료 및 인바(invar)로 구성된 그룹으로부터 선택된다.

[0164] 바람직하게, 미러의 와이어 그리드(1050)는 적어도 $N > 1$ 전기 회로를 갖는 패턴 구조(1051)를 포함한다. 바람직하게, 패턴 구조(1051)는 N 전기 회로를 N 전기 회로에 전력을 제공하는 전원에 연결하는 적어도 $N+1$ 전기 커넥터를 포함한다. 바람직하게, N 전기 회로는, 이들 회로가 받는 전력에 관하여 서로 독립적으로 제어될 수 있다. 또한, 와이어 그리드(1050)의 가열 파워는 0.01 W 및 5 W 사이, 바람직하게, 0.01 W 및 1 W의 사이에 있다. 와이어 그리드(1050)를 갖는 미러가 적어도 하나의 전원에 연결된다. 전원은 미러 바디(MB_k)에 부착될 수 있거나 또는 전원은 미러 바디(MB_k)를 예를 들면, 와이어 또는 와이어들로 전기적으로 연결한다. 또한, 전원은 적어도 2개의 전압 및/또는 전류원을 포함한다. 또한, 전원은 멀티플렉서 회로를 포함할 수 있다. 멀티플렉서 회로에서, 와이어 그리드의 N 전기 회로가 전원으로부터 전력을 순차적으로 받는다. 또한, 본 발명에 따라서 와이어 그리드를 갖는 미러는 절연층(1052)을 포함하며, 와이어 그리드(1050)의 패턴 구조(1051)는 절연층(1052)에 의해 덮여진다. 절연층(1052)은 낮은 CTE 재료를 포함한다. 또한, 절연층(1052)은 미러의 반사면(MS_k)에 대해서 필요한 것같이 ± 3 nm RMS의 정확도 내의 면 형태 데이터를 갖도록 연마된다. EUV 광에 대해서 미러의 반사율을 개선시키기 위해, 와이어 그리드(1050)를 갖는 미러의 반사면(MS_k)은 절연층(1052) 위에 배열되어 있거나 또는 컴팩션 층(1053) 위에 배열되어 있는 다층 스택(1054)을 포함한다. 컴팩션 층(1053)은 절연층(1052) 위에 배열된다. 바람직하게, 미러의 와이어 그리드(1050)는 반사면(MS_k)의 영역의 50%보다 많이 덮는다.

[0165] 또한, 12b 및 도 12c와 관련하여 설명한 것같이 미러가 미러의 특징들을 또한 포함하도록, 그리드(1050)를 갖는 상기 서술된 미러가 변형될 수 있다. 일 예로서, 미러의 바디(MB_k)는 반사면(MS_k)의 영역을 제외하고, 저항성 코팅(C2)으로 적어도 부분적으로 코팅된다. 저항성 코팅(C2)은 전기 저항성 가열에 의해 미러 바디(MB_k)를 가열하기에 적합한 전기 저항을 갖는다. 선택적으로 또는 추가적으로, 광학 소자(M_k)의 바디(MB_k)는 IR 방사에 대해서 반투과적이다. 그러면, 바람직하게, 미러의 바디(MB_k)는 바디(MB_k)에서 또는 거의 전체면에서 코팅된 반사성 코팅(C)을 포함하며, 반사성 코팅(C)은 바디(MB_k)의 내부의 IR 방사를 반사한다. 본 발명에 따른 그리드를 갖는 미러의 또 다른 실시예에서, 저항성 코팅(C2)이 반사성 코팅(C) 위에 있다. 이 경우에, 미러는 IR 방사(코팅(C)에 의한) 및/또는 코팅(C2)에 의한 저항성 가열에 의해 가열될 수 있으며, 반사면(MS_k)에 근접한 영역이 와이어 그리드(1051)로 가열된다. IR 방사로 미러를 가열하기 위해, 미러는 바람직하게 반사성 코팅(C) 및 저항성 코팅(C2)으로 코팅되지 않은 표면 영역(1004, 1006)을 포함하거나, 또는 IR 방사에 대해서 반투과인 코팅을 갖는 표면 영역(1004, 1006)을 갖는다. 이 표면 영역(1004, 1006)은 바람직하게 IR 방사를 바디(MB_k)에 결합하는데 사용될 수 있으며, IR 방사는 미러의 가열에 공헌한다. 바람직하게, 반사성 코팅(C) 또는 저항성 코팅(C2)을 갖는 미러는 코팅 층에 금속을 포함하며, 바람직하게, 모든 코팅이 적용되면, 금속은 반사성 및 저항성 코팅(C, C2)에 대해서 동일하다. IR 방사를 바디(MB_k)에 결합하기 위한 표면 영역(1004, 1006)이 반사면

(MS_k)을 갖는 바디(MB_k)의 측면 상에 배열되거나, 반사면(MS_k)을 에워싸는 표면 영역(1004, 1006) 위에 배열된다. 이러한 표면 영역(1004, 1006)은 바람직하게 IR 방사를 바디에 흡수되게 하기 위한 표면 조도를 포함할 수 있거나, 또는 표면 영역(1004, 1006)은 굴절에 의해 바디(MB_k)내에 IR 방사를 분배하기 위한 굴절 구조를 포함할 수 있다.

[0166] 상기 설명한 것같이, 본 발명은 또한 도 12d와 관련하여 설명한 것같은 장점 및 및 와이어 그리드(1050)를 포함하는 미러와 상기 서술된 그 다양한 실시예의 장점을 사용하는 제8 투영 렌즈에 관한 것이다.

[0167] EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 제8 투영 렌즈의 제1 실시예는 복수의 반사 광학 소자(M_i)를 포함한다. 각각의 반사 광학 소자(M_i)는 투영 렌즈가 50 nm 미만의 파장 범위의 파장을 갖는 EUV 광의 노광 파워로 노광되면, 레티클 상의 오브젝트 필드를 기관 상의 이미지로 투영하는 바디(MB_i) 및 반사면(MS_i)을 포함한다. EUV 리소그래피 투영 노광 시스템의 조명 시스템에 의해 조명되는 동안 EUV 광이 레티클로부터 반사된다. 또한, 제8 투영 렌즈는, 이 미러의 상기 서술된 실시예중 하나에 따라서 와이어 그리드(1050)를 포함하는 적어도 하나의 반사 광학 소자(M_k)를 포함한다. 와이어 그리드(1050)를 갖는 미러의 피처를 갖는 반사 광학 소자(M_k)는 가열가능하기 때문에, 광학 소자(M_k)를 그 병진 운동을 위해 액츄에이터에 연결하는 것이 바람직하다. 제8 투영 렌즈의 또 다른 실시예에서, 렌즈는 그 반사면(MS_k)에 대항하는 적어도 하나의 광학 소자(M_k)의 바디(MB_k)의 측면에 위치하는 쿨러(350) 또는 제1 템퍼링 소자(300)를 포함한다. 선택적으로, 적어도 하나의 반사 광학 소자(M_k)에 대한 쿨러(350) 또는 제1 템퍼링 소자(300)의 거리는 이들 소자들 사이의 열 전달의 제어를 위해 조정가능하다. 제8 투영 렌즈의 또 다른 실시예에서, 렌즈는 적어도 하나의 반사 광학 소자(M_k)의 주위 내의 압력(Δp)의 제어를 위한 압력 제어 시스템을 포함한다. 바람직하게, 상기 압력 제어 시스템은 적어도 하나의 광학 소자(M_k) 근방의 가스 입구 및/또는 가스 출구를 포함한다.

[0168] 또 다른 실시예에서, 제8 투영 렌즈는, 반사면(MS_k)이 EUV 광으로 노광되면, 바디(MB_k) 상의 와이어 그리드(1050)를 가열하지 않고, 반사면(MS_k)이 조명된 레티클에 의해 반사되고, 조명 세팅에 따른 각도, 편향 및 세기의 공간 분포를 포함하는 EUV 광에 의해 노광되는 재료 선택을 포함하여, 기준 온도(T_{Ref})에 대해서 온도(T_k(x,y,z))를 갖는 바디(MB_k)의 온도 분포는 ΔT_k(x,y,z) = (T_k(x,y,z) - T_{Ref})가 된다. 온도 분포 ΔT_k(x,y,z) = (T_k(x,y,z) - T_{Ref})는 평균 온도 및 최대 온도(ΔT_{kav} 및 ΔT_{kmax})를 포함한다. 또한, 바디(MB_k)의 제로 크로스 온도(T_{0k})는, 기준 온도가 더해지고 공간 온도 분포 ΔT_k(x,y,z)에 기초하는, 각각의 평균 또는 최대 온도(ΔT_{kav} + T_{ref} 또는 ΔT_{kmax} + T_{Ref})와 기준 온도(T_{Ref})의 최대 값보다 높게 선택되며, T_{0k} > max(T_{Ref}, ΔT_{kav} + T_{Ref}) 또는 T_{0k} > max(T_{Ref}, ΔT_{kmax} + T_{Ref})로 표현된다.

[0169] 일반적으로, 제로 크로스 온도(T_{0k})를 갖는 재료는 제조 문제로 인해 제로 크로스 온도의 실제 값에 관하여 변화한다. 이로 인해, 제8 투영 렌즈의 또 다른 바람직한 실시예는, 제로 크로스 온도(T_{0k})를 갖는 재료가 제조로 인한 제로 크로스 온도의 실제 값에 관하여 변화하는 것을 고려하여, 실제값이 간격 T_{0k} ± ΔT_{0k}내에 있도록 제조 허용 오차(ΔT_{0k})가 생긴다. 이 실시예에서, 제로 크로스 온도(T_{0k})는, 기준 온도가 더해지고 공간 온도 분포 ΔT_k(x,y,z)에 기초하는, 각각의 평균 또는 최대 온도(ΔT_{kav} + T_{ref} 또는 ΔT_{kmax} + T_{Ref})와 기준 온도(T_{Ref})의 최대 값- 그리고, 상기 최대 값은 제조 허용 오차(ΔT_{0k})의 절대 값만큼 증가됨 -보다 크게 선택되며, T_{0k} > max(T_{Ref}, ΔT_{kav} + T_{Ref}) + |ΔT_{0k}|, T_{0k} > max(T_{Ref}, ΔT_{kmax} + T_{Ref}) + |ΔT_{0k}|로 표현된다.

[0170] 제8 투영 렌즈의 또 다른 실시예에서, 광학 소자(M_k)의 온도(T_k)는, 투영 렌즈가 EUV 광의 노광 파워를 받기 전에, 전원의 제1 전력으로 와이어 그리드(1050)를 가열함으로써 그 값으로 제어된다. 선택적으로, 투영 렌즈가 EUV 광의 노광 파워를 받는 동안, 와이어 그리드(1050)를 가열하는 전력은 제1 전력 미만으로 선택된다. 또한, 제8 투영 렌즈는 와이어 그리드(1050)가 받는 전력을 제어하고, 와이어 그리드(1050)의 저항값 또는 패턴 구조(1051)의 적어도 하나의 전기 회로의 저항값을 결정하는 컨트롤러를 포함한다. 또한, 선택적으로, 컨트롤러는 제1 템퍼링 소자(300) 또는 쿨러(350)의 온도를 제어한다. 또한, 선택적으로, 컨트롤러는 적어도 하나의 반사 광학 소자(M_k)에 대한 제1 템퍼링 소자(350) 또는 쿨러(300)의 거리를 제어하고, 컨트롤러는 광학 소자(M_k)의

주위 내의 압력(Δp)을 제어한다. 일반적으로, 제어는, 온도, 와이어 그리드(1050)의 저항값 또는 와이어 그리드(1050)의 패턴 구조(1051)의 저항값, 시간, 광학 소자(M_k)의 온도에 직접 또는 간접적으로 영향을 미치는 파라미터, 조명 세팅, EUV 광의 노광 파워의 변화, 레티클의 변화, 광학 소자(M_k) 또는 투영 렌즈의 열적으로 또는 기계적으로 유도된 광 수차 데이터, 모델로부터의 출력 파라미터로 구성된 그룹으로부터 선택된 파라미터에 기초한다. 또한, 컨트롤러는 바람직하게 반사면(MS_k) 또는 미러(M_k)의 바디(MB_k)의 온도를 제로 크로스 온도(T_0)로 제어한다. 제8 투영 렌즈의 또 다른 실시예에서, 제로 크로스 온도(T_{0k})가 기준 온도(T_{ref}) 보다 낮게 선택되거나, 또는 기준 온도(T_{ref}) 보다 높은 적어도 6 K가 되도록 선택된다.

[0171] 도 13은 본 발명에 따른 반사 소자 또는 미러(M_k , 421)와 관련된 히터 또는 템퍼링 수단(300)의 몇몇 또 다른 실시예를 개략적으로 나타낸다. 이들 실시예에서, 반사 소자 또는 미러(M_k , 421)의 온도는 동작 온도, 특히, 열 효과에 의해 생긴 광 수차를 감소시키기 위해, 상기 요지에 따른 평균 온도 또는 제로 크로스 온도(T_{avk} , T_0)로 제어될 수 있다. 아래에 서술된 히터 또는 템퍼링 수단(300)의 다양한 실시예는, 상기 서술된 온도 또는 반사 광학 소자 또는 미러의 상기 온도 또는 수차를 제어하기 위해 단독으로 또는 조합되어 사용될 수 있다.

[0172] 미러, 예를 들면, 421 (도 4 및 도 5에 도시된 것같이) 또는 반사 소자(M_k)가 하우징 구조(481)에 연결되는 지지 소자(480)에 실장된다. 미러 또는 반사 광학 소자를 지지 또는 서스펜드하는 실장 소자 및 지지 수단이 도시되어 있지 않다. 이들은 예를 들면, 도면 부호 451, 461, 471로 도 4에 도시된 것같이 만들어질 수 있다. 또한, 도 10 및 도 11의 실시예에 서술된 것같이, 쿨러(350)가 지지 소자(480) 및/또는 하우징 구조(481) (감온 소자일 수 있는)을 보호하는 옵션으로서 사용될 수 있다. 또 다른 옵션으로서, 도 11에 서술된 것같이, 가스의 열적 저항을 조정하기 위해, 미러(421) 또는 반사 광학 소자의 주위의 압력(Δp)이 제어될 수 있다. 반사 소자 또는 미러(M_k , 421)의 바디(MB_k)가 예를 들면 Zerodur® 또는 ULE®와 같이, 적어도 하나의 제로 크로스 온도(T_0)를 포함하는 온도 종속 CTE(T)를 갖는 재료를 포함하고, 이 재료가 IR 광과 같은 특정 파장의 광에 대해 투과적이면, 도 12a 및 도 12b와 관련하여 서술된 것같이 바디는 이러한 광으로 가열될 수 있다. 이 종류의 가열은 바디(MB_k)의 표면에 열이 가해지지 않거나 바디의 내부에 놓여지는 장점을 갖는다.

[0173] IR 광에 대한 소스로서, 예를 들면 발광 다이오드(LED)(1302)가 사용될 수 있다. LED의 사용은 도 10의 펠티에 소자의 관점에서 이미 서술된 것같이 어레이형 배열을 형성하기 위해, 적어도 일차원으로 거의 나란히 쉽게 배열될 수 있는 장점을 갖는다. 또한, 다양한 조건에서 반사 소자 또는 미러(M_k , 421)에 연결될 수 있는 방식으로 LED로부터 방사되는 IR 방사를 구성하기 위해 적절한 광학적 배열이 사용될 수 있다. 일 예로서, 광학적 배열(1304)은 LED로부터의 IR 광이 집광되고 대략 평행하게 되게 한다. 이것은 바디(MB_k)의 표면의 지정된 영역이 IR 광으로 조명되는 장점을 갖는다. 선택적으로, 이 표면 영역은 동작되는 LED의 수에 의거하여 지름이 조정될 수 있다. 이러한 광학적 배열을 갖는 이러한 LED가 그리드 또는 매트릭스 형태로 바디(MB_k)를 조명하기 위한 그리드를 형성한다. 그리드 형태는 IR 에너지가 그리드-좌표의 함수로서 놓여져서 x 및 y 의 함수로서 미리 정의된 공간 온도 분포 $T(x,y)$ 를 가져 오는 장점을 갖는다. 또 다른 선택으로서, IR 소스의 광학적 배열(1306), 예를 들면, LED 앞의 렌즈는 포커스 길이를 생성하고 및/또는 포커스 길이(1307)를 변화시키도록 조정 가능하다. 포커스된 IR 광으로, 바디는 내부의 로컬 포인트에서 가열될 수 있다. 이 피쳐로, 바디 내의 공간 온도 분포는 x , y 및 z -방향으로 조정될 수 있다. 적어도 하나의 축, 바람직하게 x 및 y 축 주위에서 IR 빔을 틸팅함으로써 IR 광의 방향이 조정될 수 있으면, 몇몇 IR 빔의 IR 광이 바디(MB_k) 내의 좁은 영역에서 포커스될 수 있다. 이것은 예를 들면 특정 레티클 또는 조명 세팅으로부터 생긴 바디의 온도 분포 $T(x,y,z)$ 를 균일하게 하기 위해 바람직하게 사용될 수 있다. 바람직한 실시예에서, 포커스 길이(1309)는 반사면(MS_k)에 매우 근접한 방식으로 광학적 배열(1308)에 의해 조정된다. 또한, 흡수층(비도시)은 IR 광을 흡수하는 반사면 아래에 배열될 수 있다. 이 경우에, IR 광의 에너지가 반사면(MS_k)에 매우 근접하게 놓여진다.

[0174] 상기 서술된 광학적 배열에 대한 대안으로서, 소스 (예를 들면 IR LED 또는 IR 레이저)로부터 바디(MB_k)의 표면에 근접하게 IR 광을 전달하기 위해 광 파이버(1310)가 사용될 수 있다. 파이버를 사용하여, 하나의 IR 소스의 IR 광이 그리드 유형의 방식으로 분배될 수 있다. 또 다른 대안은 하나의 IR 소스로부터의 IR 광을 바디로 전달하기 위해 도광 로드(1314)를 사용하는 것이다.

- [0175] 또 다른 대안으로서, IR 광원(1312) (예를 들면 IR LED, IR-레이저)이 IR 광을 바디(MB_k)의 표면으로 반사하는 미러(1313)로 사용된다. 바람직하게 미러는 적어도 하나의 축, 더 바람직하게 대략 x 및 y 축과 같이 2축 주위에서 틸트될 수 있다. 이러한 실시예에서, IR 광이 바디에 걸쳐서 분포될 수 있다. 이것은 예를 들면 스캐닝 또는 레이저 공정에 의해 행해질 수 있다.
- [0176] 또한, 반사 소자 또는 미러의 바디(MB_k) 자체는 IR 광이 결합되는 리세스(1315)을 포함할 수 있다. 일반적으로 IR 광이 바디에 결합되는 표면 또는 표면 영역은, 예를 들면, 정의된 표면 조도 또는 회절 구조를 그 위에 갖는 준비된 표면 영역일 수 있거나 또는 포함할 수 있다. 또한, 리세스는 바디로의 IR 방사의 입사를 개선하기 위해 구형 표면 형태를 포함할 수 있다. 리세스 대신에, 바디 재료의 돌기 또는 돌출부가 선택될 수 있으며, 바디(M_k)내의 IR 방사의 결정된 공간 분포를 얻기 위해, 모두 표면 곡률을 포함할 수 있다.
- [0177] 도 13의 실시예에 있어서, 흡수된 IR 파워를 증가시키기 위해 미러 바디 상의 반사성 코팅이 사용될 수 있다. 이로 인해, 도 12b의 실시예의 피쳐도 적용될 수 있다. 또한, 도 13에 따른 실시예의 히터(300)가 쿨러(350)에 통합될 수 있다. 또한, 바디 재료의 정의된 두께 내에서 흡수량을 제어하기 위해 IR 방사의 파장길이가 제어될 수 있다. Zerodur®에 대해서 파장 길이는 대략 400 nm에서 대략 800 nm로 변화할 수 있다. 도 12a로부터 알 수 있듯이, 이 파장길이 범위에서 흡수는 사용된 파장 범위에 강하게 의존한다.
- [0178] 공간적으로 제어된 방식으로 반사 소자 또는 미러의 바디 내에 IR 파워를 순간적으로 인가함으로써, 도 13과 관련하여 서술된 것같이, 히터 또는 템퍼링 수단(300)은, 미러의 워업 시간 동안 그리고 렌즈의 정적인 상태에서 열 유도된 수차가 최소화되는 방식으로, 투영 렌즈 내의 반사 소자 또는 미러의 동작 온도를 제어하는데 적합하다. 이것은 IR 가열의 순간적인 가열 효과로 인해서 현저하게 감소될 수 있다.
- [0179] 또한, 일 예로서 도 12b 및 도 13과 관련하여 나타난 것같이, k-번째 반사 광학 소자 또는 미러(M_k)의 바디(MB_k)의 IR 가열로, 적어도 하나의 그 재료 크로스 온도로 이 바디를 매우 빠르게 가열할 수 있다. 또한, 이러한 가열로, 바디 내 및 그 반사면(MS_k)에 따른 공간 온도 분포가 적어도 2차원으로, 바람직하게 모두 3차의 공간 차원으로 제어될 수 있다. 이것은 온도가 바디(MB_k)의 x, y 및 z-좌표의 함수로서 제어될 수 있는 것을 의미한다. 제어에 대해서 도 6을 또한 참조한다. 도 6에서 630으로 지정된 히터에서, EUV 투영 렌즈(20)는 적어도 하나의 제로 크로스 온도(T_{0k})를 갖는 온도 종속 CTE(T)를 갖는 재료를 포함하는 바디(MB_k)를 포함하는, 미러(26)와 같이, 적어도 하나의 반사 소자 또는 미러(M_k)를 포함할 수 있다. 투영 렌즈(20)가 레티클(M)로부터 오는 최대 EUV 노광 파워로 노광되면 소자 또는 미러(M_k)의 기대되는 평균 온도($\Delta T_{avk} + T_{Ref}$) 보다 높도록 제로 크로스 온도(T_{0k})가 선택된다. 제로 크로스 온도는, EUV 노광 파워 (예를 들면 도 7 참조)으로 노광되는 동안 발생할 수 있는 모든 기대되는 온도 분포 T(x,y,z)의 각각의 최대 온도보다 높게 선택된다. 이들 평균 온도 및 최대 온도 ΔT_{avk} , ΔT_{kmax} 도 레티클 및 조명 세팅에 관한 전위 변동을 고려한다. 또한, 제조 허용 오차(ΔT_{0k})와 같이 제조에 의해 생기는, 제로 크로스 온도의 임의의 변동이, 재료 선택 전에 이러한 허용 오차가 이들 평균 온도 또는 최대 온도(ΔT_{avk} , ΔT_{kmax})에 더해지는 방식으로 고려될 수 있다. 제로 크로스 온도가 이 온도보다 높도록, $T_{0k} > \Delta T_{kmax} + T_{Ref} + |\Delta T_{0k}|$ 또는 $T_{0k} > \Delta T_{avk} + T_{Ref} + |\Delta T_{0k}|$ 로 표현되는 것같이, 금속이 선택된다. 상기 IR 히터 (또는 본 명세서에 서술된 다른 히터)의 애플리케이션으로, 소자 또는 미러(M_k)를 실제의 제로 크로스 온도로 언제나 가열할 수 있다. 제어 유닛(620)(도 6)은, 레티클(M)로부터 웨이퍼(W)로 진행되는 EUV 노광 빔(4)으로 렌즈를 노광하는 동안 투영 렌즈 (또는 소자 또는 미러(M_k))의 열 유도된 수차 또는 활상 에러(622)가 최소가 되도록, 이 소자(M_k)(미러(26)와 같이)의 온도를 바람직하게 제어한다. 부가적으로, 제어 유닛(620)은 반사 소자 또는 미러(M_k, 26)의 공간 온도 분포(621)가 균일하게 되도록, 바람직하게 이 온도가 제로 크로스 온도(T_{0k})를 얻도록, 온도를 제어한다.
- [0180] 또한, 제로 크로스 온도가, $T_{0k} > \Delta T_{kmax} + T_{Ref} + |\Delta T_{0k}|$ 또는 $T_{0k} > \Delta T_{avk} + T_{Ref} + |\Delta T_{0k}|$ 와 같이 상기 서술된 것같이 선택되면, 면 형상 또는 피쳐가 제로 크로스 온도(T_{0k})에서 특정의 정확도를 얻도록 바람직하게 바디(MB_k) 및 EUV 광에 대한 반사면(MS_k)이 제조된다. 이 경우에, 반사 소자 또는 미러(M_k)가 상기의 IR 히터(630), 또는 여기에 이미 서술된 같이 다른 히터에 의해 제로 크로스 온도로 가열된다. 바람직하게, 투영 렌즈(20)가 EUV 노광 파워를 받기 전에 이 가열이 행해진다. 투영 렌즈(20)가 EUV 광으로 노광되면, 반사 광학 소

자 또는 미러(M_k)가 흡수된 EUV 광에 의해 추가로 가열된다. 히터(630)는, 반사 소자 또는 미러(M_k)의 공간 온도 분포가 EUV 광이 온으로 스위칭되기 전과 거의 동일한 조건으로 남아 있도록 제어부(620)에 의해 제어된다. 바람직하게 이 조건은 소자 또는 미러(M_k , 26)의 일정한 온도이다. 상기 이미 언급한 것같이, 소자(M_k , 26) 자체의 온도 분포(621)를 제어하는 것이 필요하지 않으며, 선택적으로 또는 추가적으로, 수차(622)가 제어 파라미터로서 사용될 수 있으며, 수차(622)가 최소화되도록 히터(630)가 제어된다. 소자(M_k) 또는 미러(26)의 온도, 특히 공간 온도 분포, 또는 그것을 대표하는 파라미터 또는 파라미터들을 측정하기 위해, EUV 광의 흡수로 인한 온도 차가, 렌즈(20) (예를 들면 도 3 참조)의 미러(21, 22, 23, 24, 25, 26), 사용된 레티클 또는 마스크, EUV 광의 파워 및 조명 세팅에 의존하여, 대략 1 K 에서 대략 20 K까지의 범위에 있기 때문에, 적외선 카메라가 사용될 수 있다. 비교적 높은 온도 차로 인해서, IR 카메라의 민감도 요구사항이 너무 높지 않다.

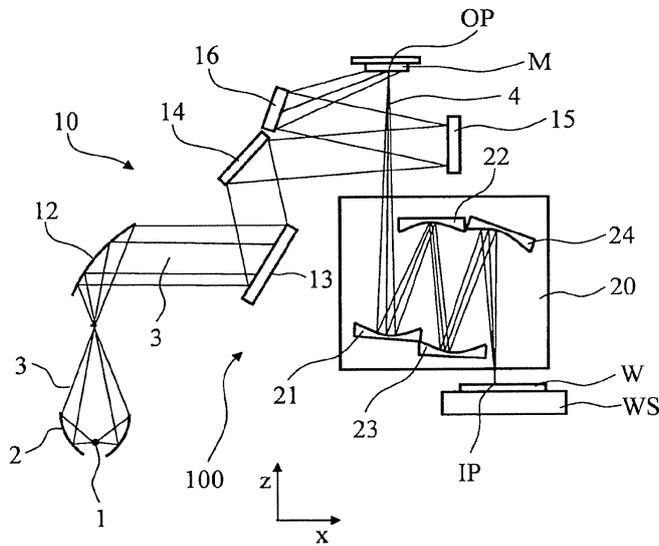
[0181] 광학 소자(M_k) 또는 미러(26), 또는 그 수차(622)의 온도 또는 온도 분포의 측정치에 대해서 선택적으로 또는 추가적으로, 제어 파라미터로서, 광학 소자(M_k) 또는 미러(26) (렌즈(20) 내의 미러(21, 22, 23, 24, 25, 26))의 변형 또는 변형에 관련된 파라미터가 히터(630), 특히 여기 서술된 히터(630, 300)를 제어하기 위해 사용될 수 있다. 변형 측정을 위해서, 일 예로서, 광학 소자 또는 미러의 변형을 결정하기 위해, 간섭계(interferometer) 및/또는 인코더 시스템이 사용될 수 있다.

[0182] 본 발명의 또 다른 실시예에서, 상기 서술된 것같이 측정치로부터 오는 온도 데이터(특히, 온도 분포 데이터) 및/또는 변형 데이터가 광학 소자 또는 미러 또는 렌즈(20)의 기대된 수차의 계산을 위해 사용된다. 렌즈(20) 및/또는 광학 소자(M_k) 또는 미러(21, 22, 23, 24, 25, 26)가, 수차가 감소되는 방식으로 적어도 하나의 히터(630, 300)에 의해 제어된다. 이러한 계산에서, 모델이 적용되며, 렌즈(20)의 수차가 모델 기반 제어에 의해 최소화된다. 렌즈(20)의 제어를 위한 모델은 주어진 미리선택된 미러 또는 광학 소자의 온도 및/또는 변형 데이터에 추가하여 측정되는 추가의 입력 파라미터를 사용할 수 있다. 이러한 입력 파라미터는, 예를 들면, 사용된 레티클 또는 마스크, EUV 광의 파워, 조명 세팅, 광학 소자 또는 미러 근방 또는 렌즈(20) 내의 가스 압력, 렌즈(20)가 EUV 광에 의해 노광되는 시간 또는 렌즈(20)의 미러(21, 22, 23, 24, 25, 또는 26)와 같은 반사 광학 소자의 위치의 임의의 변화 (예를 들면 z-위치)이다. 출력 파라미터를 사용하여 모델이 히터(630, 300)를 제어할 수 있으며, 이는 미러(21, 22, 23, 24, 25, 또는 26)와 같이 반사 광학 소자의 임의의 위치, EUV 투영 광의 파워, 레티클이 조명되는 조명 세팅, 광학 소자 또는 미러 근방의 가스 압력 또는 렌즈(20) 내의 가스 압력 또는 렌즈(20)의 미러(21, 22, 23, 24, 25 또는 26)의 반사면을 광수차를 감소시키는 제어된 방식으로 변형시키는 임의의 액추에이터를 포함한다. 출력 파라미터 또는 출력 파라미터들은 모델 전달 함수에 의해 입력 파라미터 또는 입력 파라미터들에 상관된다. 또한, 모델의 입력 파라미터는, 전달-함수에 관하여 모델이 조정되도록 모델 캘리브레이션을 위해 사용될 수 있으며, 이것은 전달-함수 자체가 입력 파라미터 및/또는 출력 파라미터의 값에 의존하는 것을 의미한다.

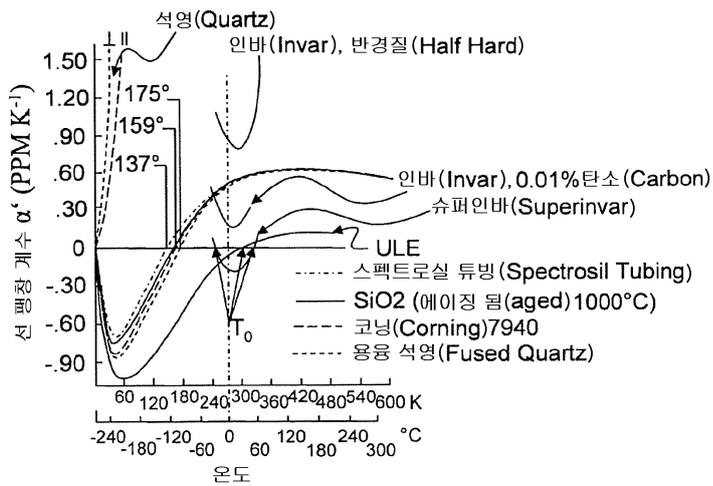
[0183] 또한, 본 발명의 실시예에서, 렌즈(20)의 미러(21, 22, 23, 24, 25, 26)와 같이, 적어도 하나의 광학 소자(M_k)의 온도 데이터가 시간상 축적된다. 이것은 광학 소자 또는 미러의 열적 부하의 측정치를 나타내는 파라미터를 가져 오며, 공간 해상도를 가질 수 있다. 이러한 열적 부하 파라미터는 렌즈(20) 또는 EUV 리소그래피 노광 시스템의 보수 제어를 위해 사용될 수 있다. 일 예로서, 미러를 형성하는, 반사성 다층 스택의 열화 또는 사용된 기관 재료의 임의의 컴팩션 효과와 같이, EUV 광으로 인한 미러의 열화가 추정될 수 있다. 또한, 조명된 마스크 또는 사용된 조명 세팅이, 미러(21, 22, 23, 24, 25, 26)의 공간적으로 해상된 열적 부하가 투영 렌즈(20)의 긴 수명을 가져 오도록 선택될 수 있으며, 보수 비용을 감소시킨다.

도면

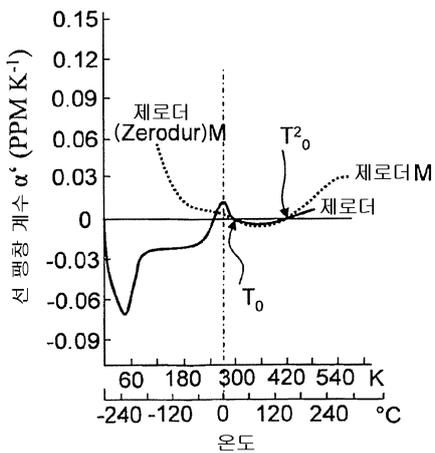
도면1



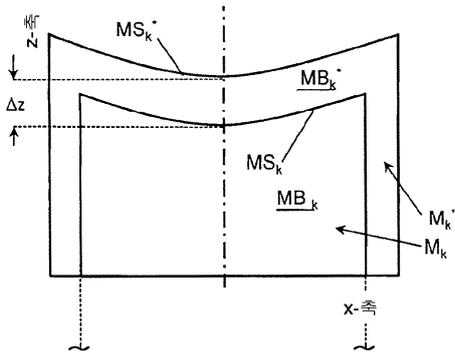
도면2a



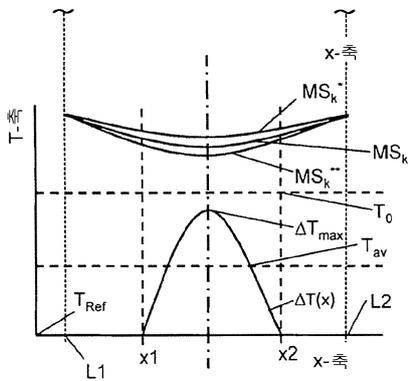
도면2b



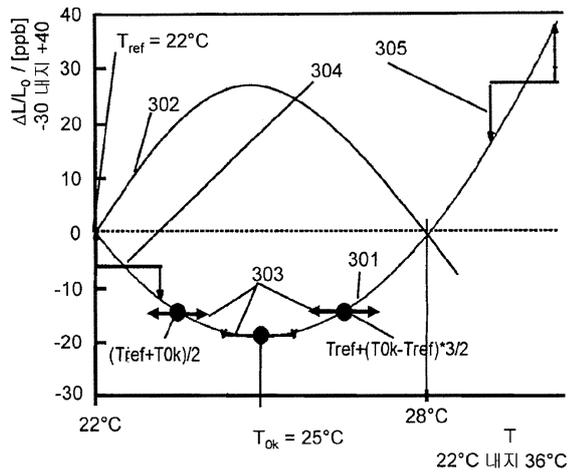
도면3a



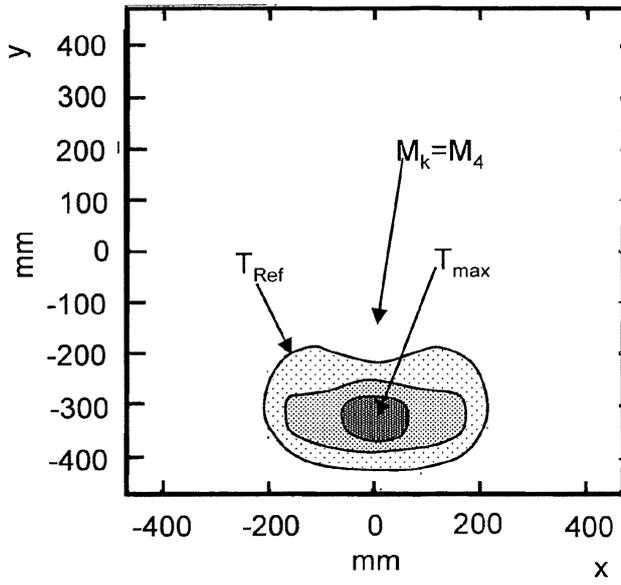
도면3b



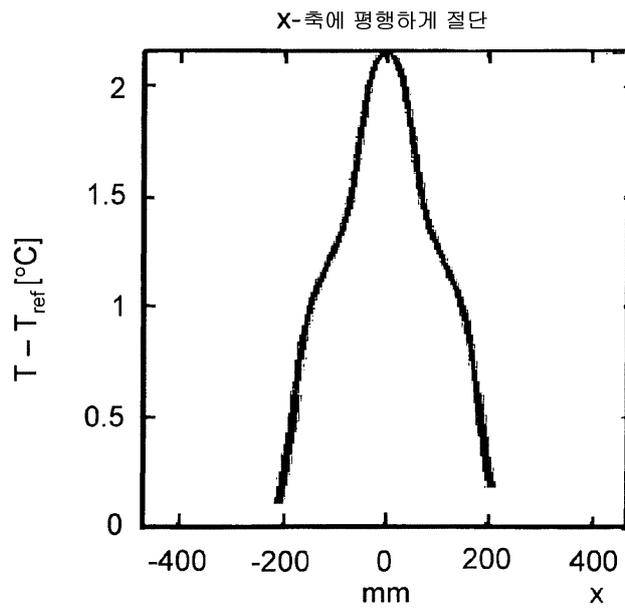
도면3c



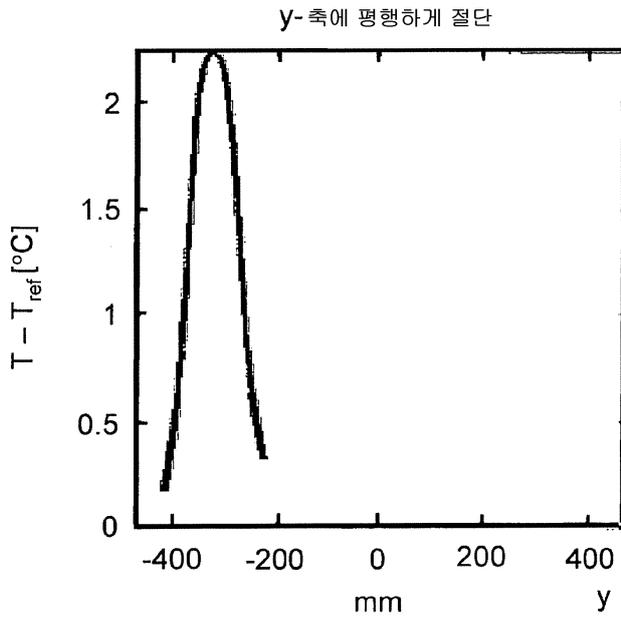
도면3d



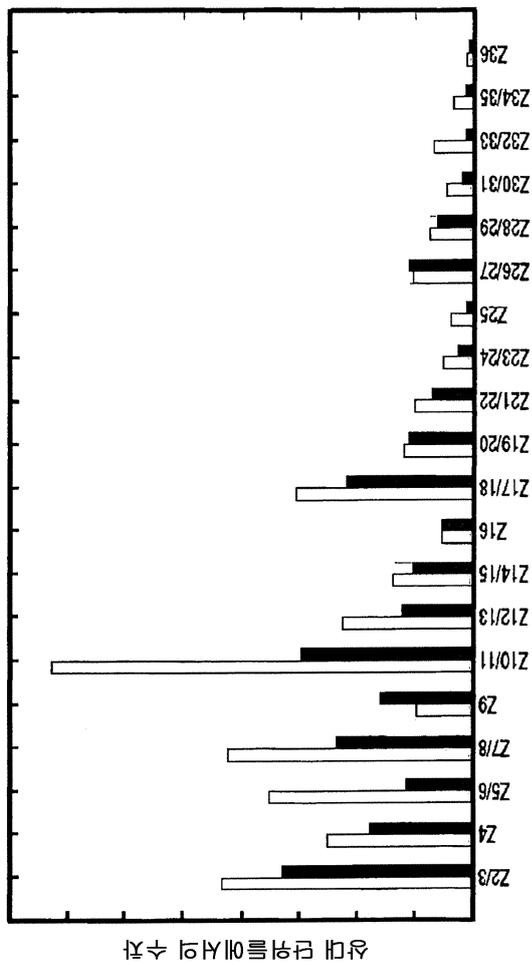
도면3e



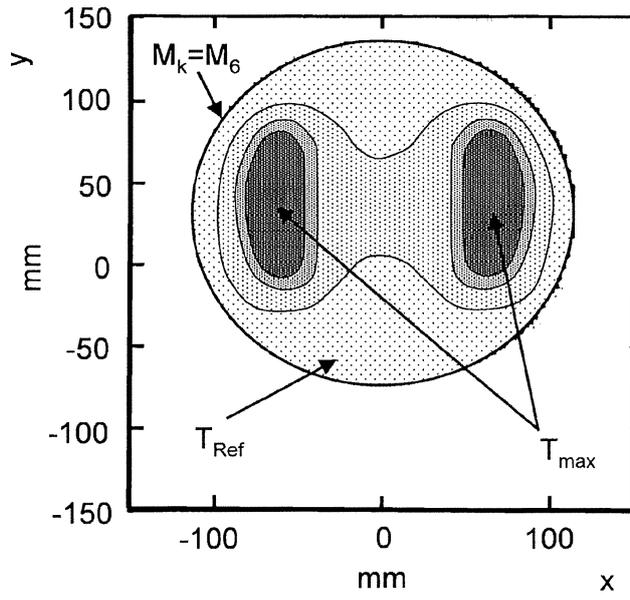
도면3f



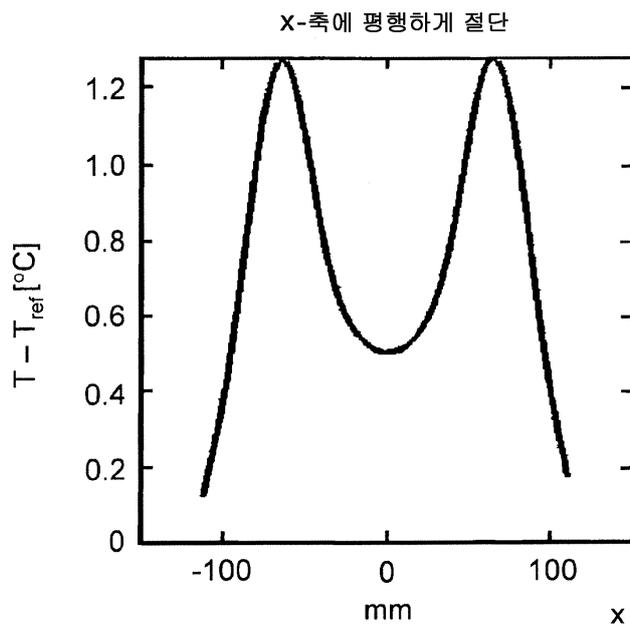
도면3g



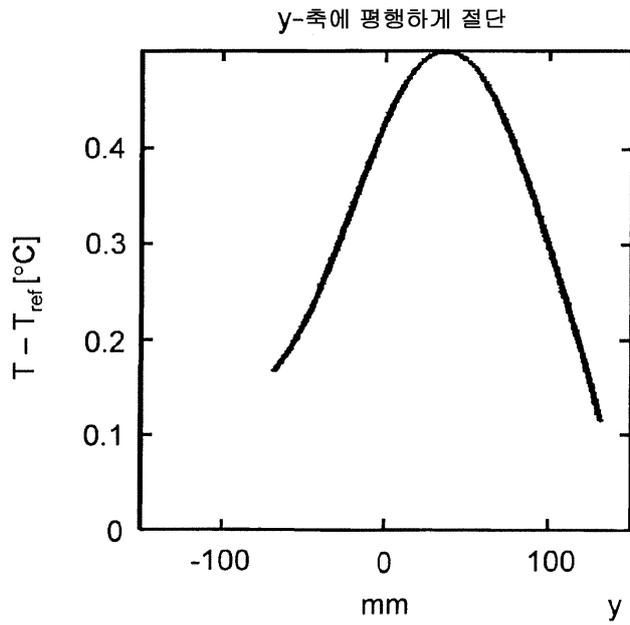
도면3h



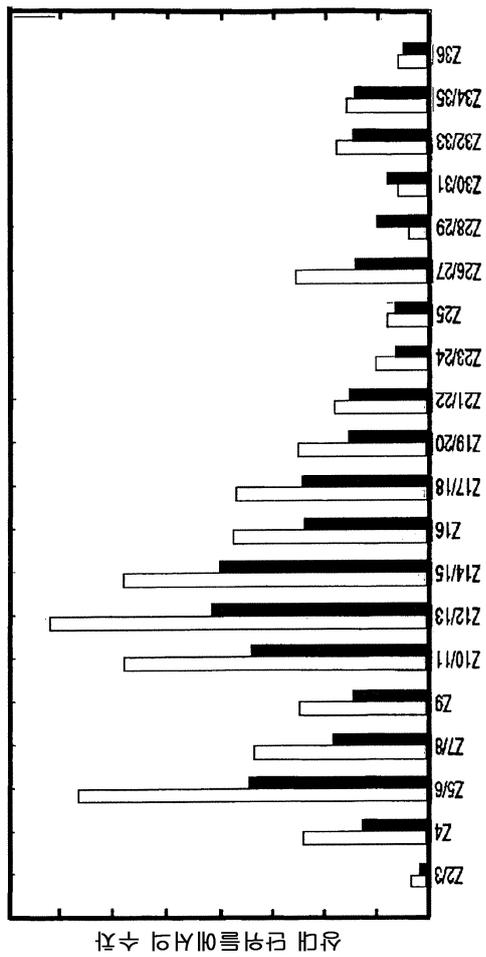
도면3i



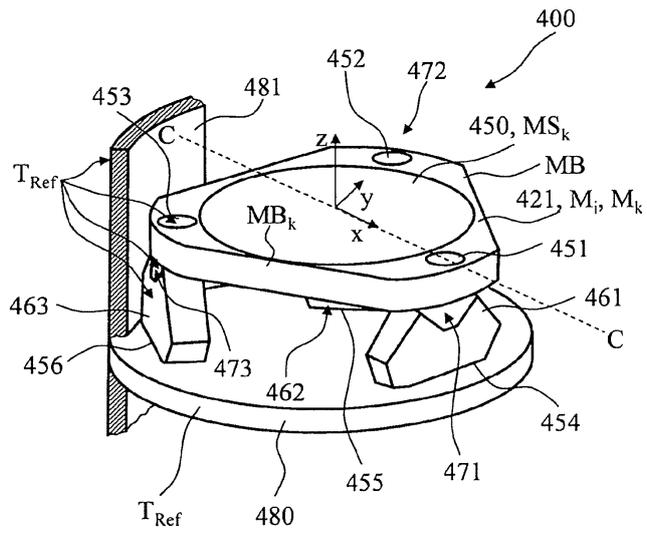
도면3k



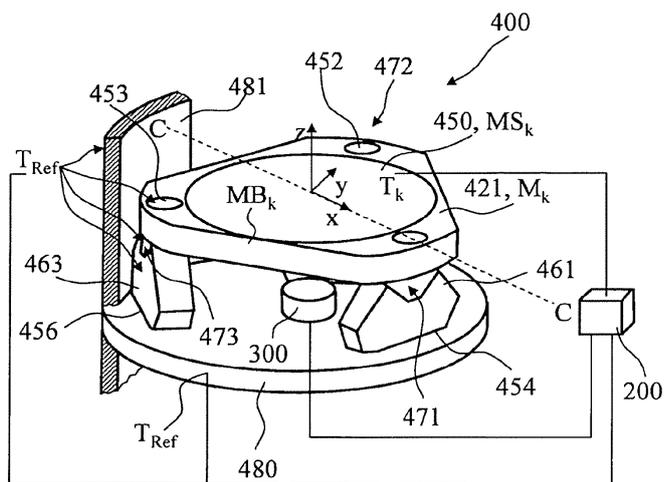
도면3l



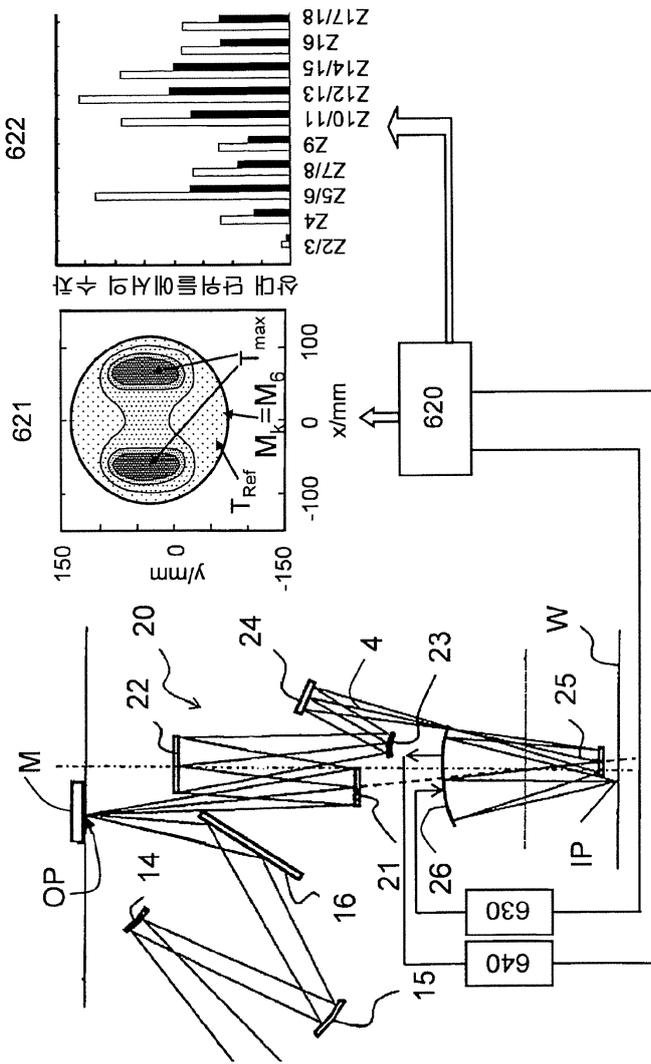
도면4



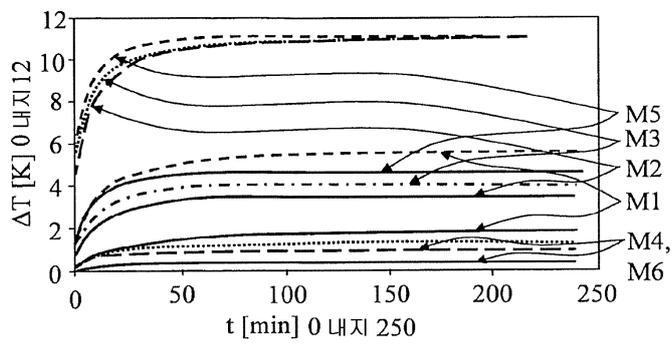
도면5



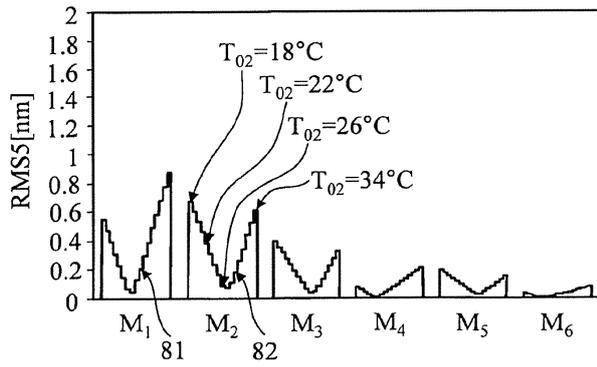
도면6



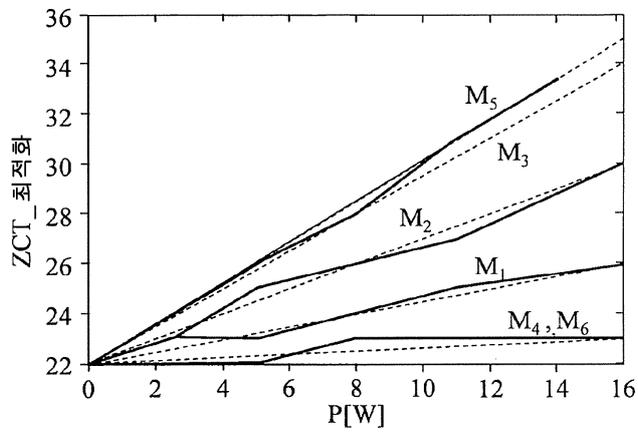
도면7



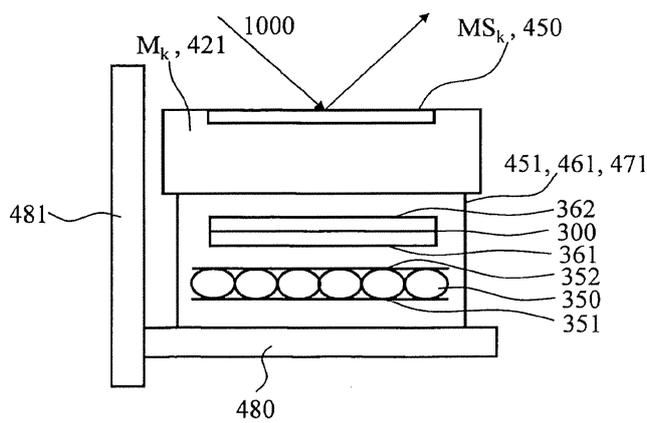
도면8



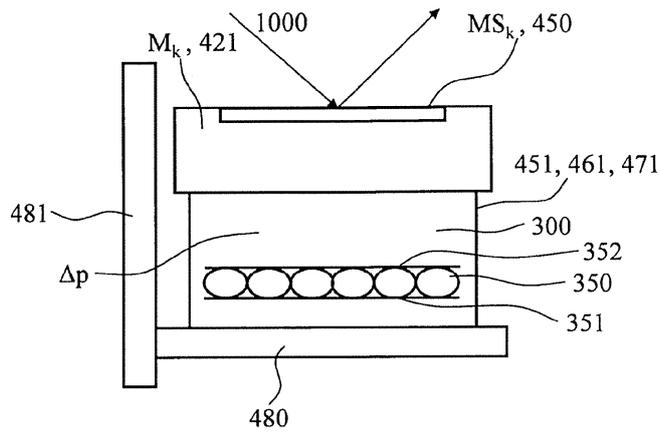
도면9



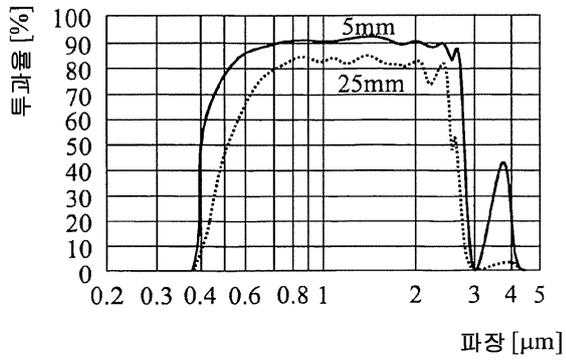
도면10



도면11



도면12a



도면12b

