



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년08월21일

(11) 등록번호 10-1544224

(24) 등록일자 2015년08월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G03F 7/20 (2006.01) H01L 21/027 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-7024610

(22) 출원일자(국제) 2008년05월21일

심사청구일자 2013년05월13일

(85) 번역문제출일자 2009년11월25일

(65) 공개번호 10-2010-0023823

(43) 공개일자 2010년03월04일

(86) 국제출원번호 PCT/EP2008/004084

(87) 국제공개번호 WO 2008/145296

국제공개일자 2008년12월04일

(30) 우선권주장

10 2007 024 685.6 2007년05월25일 독일(DE)

60/940,117 2007년05월25일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

JP2002353094 A

JP2006120899 A

(73) 특허권자

칼 짜이스 에스엠티 게엠베하

독일 오버코헨 73447 루돌프-에버-슈트라스 2

(72) 발명자

크라에흐메르, 다니엘

독일, 73457 에쾨겐, 비르넨weg 2

카메노브, 블라디미르

독일, 73457 에쾨겐, 스타우펜슈트라스 3

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

한양특허법인

전체 청구항 수 : 총 9 항

심사관 : 김준규

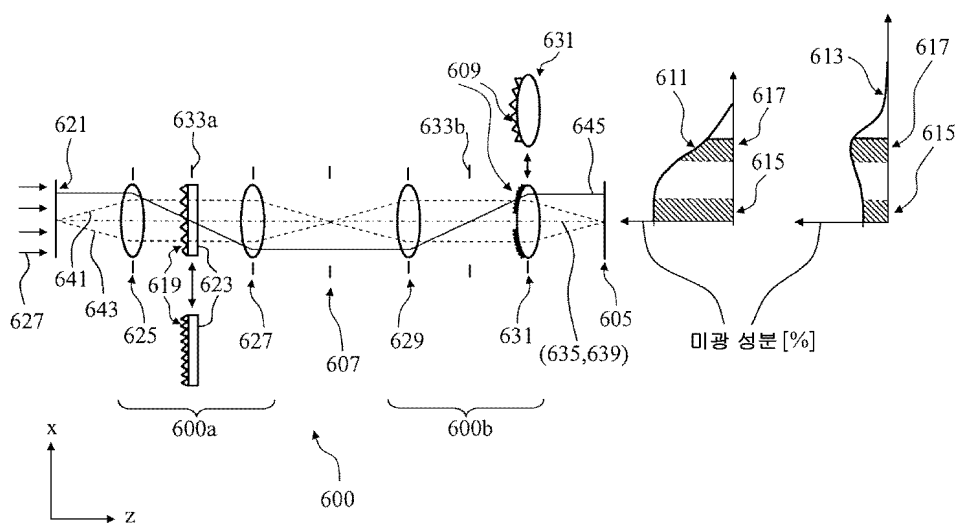
(54) 발명의 명칭 마이크로리소그래피에 대한 투영 대물 렌즈, 상기 투영 대물 렌즈를 가진 마이크로리소그래피 투영 노출 장치, 구성 요소에 대한 마이크로리소그래피 제조 방법, 및 상기 방법으로 제조된 구성 요소

## (57) 요약

마이크로리소그래피용 현재 설계의 투영 대물 렌즈는 노출 필드에 걸쳐 변하는 미광 성분을 가지고 있다. 노출 필드에 걸친 미광 성분의 변동은 부가적 미광 성분을 도입함으로써 감소될 수 있고, 및/또는 다른 투영 대물 렌즈의 변동에 적응될 수 있다. 이것은 이점으로 필드-인접 표면의 표면 거칠기를 사전 적응시키거나 변경하고, 및

(뒷면에 계속)

## 대표도



/또는 동공 평면에서 특히 타겟된 광선 산란 특성을 가진 광학적 요소를 설치함으로써 달성된다. 이것에서, 본 발명은 필드에 걸친 미광 성분의 변동 및 상이한 투영 대물 렌즈의 미광 성분의 상이한 각각의 변동이 미광 성분 자체보다 반도체 구성 요소의 제조자에 더 큰 문제를 제공하는 관찰을 이용한다. 특히, 큰 산란 다결정 재료가 이용되는 액침 리소그래피용 투영 대물 렌즈에서, 본 발명은 필드에 걸친 이들 투영 대물 렌즈의 미광 성분의 증가된 변동을 보상하여, 전체 필드에 걸쳐 일정한 미광 성분에 도달하는 방식을 제공한다. 더욱이, 특히 종래의 투영 대물 렌즈보다 더 높은 미광 성분을 나타내는 EUV 리소그래피용 투영 대물 렌즈의 경우에, 노출 필드에 걸친 미광 성분 및/또는 상기 미광 성분의 변동에 관하여 상이한 투영 대물 렌즈를 서로에 적응시킬 수 있다.

(72) 발명자

**토트제, 미하엘**

독일, 73525 슈바에비쉬 그루엔드, 슈워저 웨그 11

**고에흐네르메이어, 아크셀**

독일, 73457 에쾨겐-라우테르부르크, 휴엘레벤웨그 14

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

삭제

### 청구항 2

삭제

### 청구항 3

삭제

### 청구항 4

삭제

### 청구항 5

삭제

### 청구항 6

삭제

### 청구항 7

삭제

### 청구항 8

삭제

### 청구항 9

마스크 평면의 이미지를 필드 평면으로 투영하는 역할을 하고, 다수의 광학적 요소를 가진 마이크로리소그래피의 필드용 투영 대물 렌즈로서,

확산 광학적 요소 및 회절성 광학적 요소 중 적어도 하나로 부가적 미광 성분을 도입하고,

상기 부가적 미광 성분은 노출 필드 내의 노출 광선에 비하여 0.2% 넘게 상기 필드에 걸쳐 변하고,

상기 부가적 미광 성분은 미리 정해진 프로파일에 따르며, 상기 노출 필드에 걸친 일정치 않은 프로파일을 가지고,

상기 미리 정해진 프로파일은 다른 투영 대물 렌즈의 측정 데이터에 기초로 하여 결정되며,

상기 부가적 미광 성분은 상기 투영 대물 렌즈의 노출 필드에 걸친 미광 성분 및 상기 미광 성분의 변동 중 적어도 하나를, 다른 투영 대물 렌즈의 노출 필드에 걸친 미광 성분 및 상기 미광 성분의 변동 중 적어도 하나에 적응시키는데 이용되고,

상기 필드 평면 내의 노출 필드는 상기 투영 대물 렌즈의 미광 성분을 수신하고, 상기 미광 성분은 노출 광선에 비하여 0.2% 미만만큼 상기 노출 필드에 걸쳐 변하도록 스캔 방향에 걸쳐 평균화된, 것을 특징으로 하는 마이크로리소그래피의 필드용 투영 대물 렌즈.

### 청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 노출 필드는, 상기 스캔 방향에 걸쳐 평균화되고, 상기 노출 광선에 관하여 2% 미만의 상기 투영 대물 렌즈의 최대 미광 성분을 수신하며,

상기 노출 필드의 외부의 필드 평면은, 상기 스캔 방향에 걸쳐 평준화되고, 상기 노출 광선에 관하여 2% 미만의 상기 투영 대물 렌즈의 최대 미광 성분을 수신하는 것을 특징으로 하는 마이크로리소그래피의 필드용 투영 대물 렌즈.

#### 청구항 11

청구항 9에 있어서,

하나 이상의 광학적 요소가 상기 투영 대물 렌즈의 부가적 미광 성분을 생성하고,

여기서 상기 광학적 요소는, 산광기 디스크; 0.5 nm RMS보다 큰 표면 거칠기를 가진 광학적 요소; 다결정 재료의 광학적 요소; 회절성 광학적 요소; 회절 격자; 컴퓨터 생성 홀로그램; 와이어 그리드로 이루어지는 그룹에서의 광학적 요소인 것을 특징으로 하는 마이크로리소그래피의 필드용 투영 대물 렌즈.

#### 청구항 12

삭제

#### 청구항 13

청구항 11에 있어서,

상기 광학적 요소는 2 nm RMS보다 큰 표면 거칠기를 가진 광학적 요소인 것인, 마이크로리소그래피의 필드용 투영 대물 렌즈.

#### 청구항 14

마스크 평면의 이미지를 필드 평면으로 투영하는 역할을 하고, 다수의 광학적 요소를 가진 마이크로리소그래피의 필드용 투영 대물 렌즈의 미광 성분을 적응시키는 방법으로서,

확산 광학적 요소 및 회절성 광학적 요소 중 적어도 하나로 부가적 미광 성분을 도입하고,

상기 부가적 미광 성분은 노출 필드 내의 노출 광선에 비하여 0.2% 넘게 상기 필드에 걸쳐 변하고,

상기 부가적 미광 성분은 미리 정해진 프로파일에 따르는, 상기 노출 필드에 걸친 일정치 않은 프로파일을 가지고,

상기 미리 정해진 프로파일은 다른 투영 대물 렌즈의 측정 데이터에 기초로 하여 결정되며,

상기 부가적 미광 성분은 상기 투영 대물 렌즈의 노출 필드에 걸친 미광 성분 및 상기 미광 성분의 변동 중 적어도 하나를, 다른 투영 대물 렌즈의 노출 필드에 걸친 미광 성분 및 상기 미광 성분의 변동 중 적어도 하나에 적응시키는데 이용되는 것인, 마이크로리소그래피의 필드용 투영 대물 렌즈의 미광 성분을 적응시키는 방법.

#### 청구항 15

삭제

#### 청구항 16

삭제

#### 청구항 17

청구항 14에 있어서,

상기 부가적 미광 성분은, 상기 하나 이상의 광학적 요소의 산란 효과의 교환(exchange) 및 변경(alteration) 중 적어도 하나에 의해 일정치 않은 프로파일 내에서 변경되는 것인, 마이크로리소그래피의 필드용 투영 대물 렌즈의 미광 성분을 적응시키는 방법.

#### 청구항 18

청구항 14에 있어서,

상기 광학적 요소는, 산광기 디스크; 0.5 nm RMS보다 큰 표면 거칠기를 가진 광학적 요소; 다결정 재료의 광학적 요소; 회절성 광학적 요소; 회절 격자; 컴퓨터 생성 홀로그램; 와이어 그리드로 이루어지는 그룹에서의 광학적 요소인 것인, 마이크로리소그래피의 필드용 투영 대물 렌즈의 미광 성분을 적응시키는 방법.

#### 청구항 19

청구항 14에 있어서,

상기 광학적 요소는 2 nm RMS보다 큰 표면 거칠기를 가진 광학적 요소인 것인, 마이크로리소그래피의 필드용 투영 대물 렌즈의 미광 성분을 적응시키는 방법.

#### 청구항 20

청구항 14에 있어서,

상기 투영 대물 렌즈의 상기 부가적 미광 성분은, 상기 투영 대물 렌즈가 다른 투영 대물 렌즈와 동일한 마스크 구조의 이미지 생성에 적용하는 임계 치수에 관하여 상기 임계 치수의 20% 미만의 편차를 가진 마스크 구조의 이미지를 생성하는 방식으로 도입되는 것인, 마이크로리소그래피의 필드용 투영 대물 렌즈의 미광 성분을 적응시키는 방법.

#### 청구항 21

삭제

#### 청구항 22

삭제

#### 청구항 23

삭제

#### 청구항 24

삭제

#### 청구항 25

삭제

#### 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

## 명세서

### 기술분야

[0001]

본 발명은 마이크로리소그래피(microlithography)에서의 적용에 대한 투영 대물 렌즈(projection objective)에 관한 것이다. 게다가, 본 발명은 또한 본 발명에 따른 투영 대물 렌즈를 가진 마이크로리소그래피 투영 노출 장치에 관한 것이다. 본 발명의 범주는 제조된 구성 요소(component)에 대한 마이크로리소그래피 제조 방법을 더 포함한다. 최종으로, 본 발명은 상기 제조 방법 하에 제조된 구성 요소에 관한 것이다.

### 배경기술

- [0002] 반도체 소자 및 다른 미세 구조의 구성 요소의 마이크로리소그래피 제조를 위한 투영 노출 장치의 성능은 본질적으로 투영 대물 렌즈의 이미징 특성(imaging properties)에 의해 결정된다. 마스크의 이미지를 노출 필드(exposure field)로 투영하는 투영 노출 장치의 투영 대물 렌즈의 설계에 대한 예들은, WO 2004/019128 A2, US 2005/0190435 A1, WO 2006/133801 A1 및 US 2007/0024960에서 찾을 수 있다. 이들 참조물은 주로, 이 기술이 불리워지는 바와 같이, 액침 리소그래피(immersion lithography)에 대한 투영 대물 렌즈의 설계에 관한 것이며, 여기서, 침액(immersion liquid)은 최종 광학 소자와, 노출 필드의 필드 평면 내에 위치되는 웨이퍼의 사이에 제공된다. 청구범위를 포함하여, WO 2004/019128 A2, US 2005/0190435 A1, WO 2006/133801 A1 및 US 2007/0024960의 주제는 전적으로 본 출원의 내용에서 인용에 의해 일체화된다. 더욱이, 또한, 소위 EUV(extreme ultraviolet) 리소그래피에서의 적용을 위한 투영 노출 장치의 투영 대물 렌즈에 대한 설계가 있으며, 이는 100 nm 미만의 동작 파장으로 동작하여, 렌즈를 광학 구성 요소로서 이용할 수 없다(US 2004/0051857 A1 참조).
- [0003] 보통 이해되는 바와 같이, 용어 "이미징 특성"은, 점 대 점(point-to-point) 이미징 특성 이외에, 이미지의 콘트라스트(contrast)가 투영 대물 렌즈에 의해 영향을 받기 때문에, 예컨대 투영 대물 렌즈에 의해 제공되는 미광(stray light) (이하, 미광 성분으로 지칭됨)의 양과 같은 다른 종류의 이미징 특성을 포함한다.
- [0004] 대물 렌즈의 미광 성분은 상이한 원인들을 가지고 있는데, 이는 "Heinz Haferkorn, „Optik; Physikalisch-technische Grundlagen und Anwendungen" (Optics, Physical and Technical Theory and Applications), Fourth Revised and Expanded Edition; Verlag Wiley-VCH, Weinheim; pages 690-694에 기재되어 있다. 한편으로는, 투명한 광학 재료 내의 불균등성(inhomogeneities)에서 광선의 산란에 의해 유발되는 미광의 종류가 있고, 다른 한편으로는, 광학 소자의 표면의 불균등성에서 광선의 산란에 의해 유발되는 미광의 종류가 있다. 이들 2개의 미광의 1차적 원인 외에, 또한, 예컨대 이중 반사, 마운팅 장치(mounting devices)의 부품, 구경 조리개(aperture stops)의 경계 및 벽에서 발생하는 산란, 또는 바람직하지 않은 먼지 입자에 의해 유발된 산란과 같은 2차적 원인이 존재한다. 미광의 상술한 2차적 원인은 또한 용어 "폴스 라이트(false light)"로 전문화된 문헌(specialized literature)에서 다루어진다. 미광의 2차적 원인은, 설계의 세밀한 배치, 마운트(mounts) 및 구경 조리개 뿐만 아니라, 청결 증가, 마운트의 흑화(blackening), 및 효과적인 소위 비반사 코팅(anti-reflex coatings)의 개발을 통해 상당히 감소될 수 있다. 고전적인 유리 용해 시에, 여기서, 이 용어는 마이크로리소그래피에서 이용되는 투영 대물 렌즈에 대한 석영 유리도 포함하는 것을 의미하며, 투명한 광학 재료 내부의 불균등성은 작은 밀봉된 입자, 굴절율의 작은 변동, 기포(bubbles) 및 줄무늬(striations)일 수 있다. 특히, 액침 리소그래피에 이용되는 투영 대물 렌즈에 대한 새로운 종류의 광학 재료는 결정 사이에 상이한 사이즈의 중공스페이스(hollow spaces)를 가진 상이한 사이즈의 다수의 개별 결정(individual crystals)으로 구성되는 다결정 재료이며, 이는 이하에 또한 기포로도 지칭될 것이다(WO 2006/061225 A1 참조). 청구범위를 포함하여, WO 2006/061225 A1의 주제는 전적으로 본 출원의 내용에서 인용에 의해 일체화된다. 다결정 재료에서, 기포의 형태의 불균등성이 미광에 대한 원인일 뿐만 아니라, 작은 개별 결정의 형태의 기초 재료가 미광을 유발시키기도 한다. 이것에 의해 새로운 재료와 고전적 재료가 구별되는데, 그 이유는 후자의 기초 재료 단독으로는, 굴절율의 작은 변동을 일으킬 뿐 미광을 유발시키지 않기 때문이다. 이것 및, 상당히 많은 기포가 고전적 재료에서보다 새로운 재료에 제공된다는 사실은, 새로운 종류의 재료로 만들어지는 광학 소자가 통상의 재료로 만들어지는 유사한 소자에 의해 생성되는 것보다 훨씬 많은 미광을 생성시키는 이유가 된다. 게다가, 많은 새로운 재료들은 복굴절하는 결정으로 이루어져, 이 재료를 횡단하는 광선은 상이한 결정학적 방위(crystallographic orientations)로 인해 굴절율의 많은 변화를 보이며, 이에 의해, 미광은, 상술한 바와 같이, 그들 자신의 굴절율 변동으로 인해 다시 생성된다. 그 결과, 그들 자신의 많은 굴절율 변동은 새로운 종류의 재료 그 자체가 복굴절 재료의 많은 작은 결정으로 이루어진다는 사실에도 불구하고 복굴절 효과를 거의 갖지 않는 효과를 갖는다.
- [0005] 투명한 광학 재료 내부의 불균등성에서 파장  $\lambda$ 의 광선의 탄성 산란은 산란 중심의 직경 D에 기초하여 3개의 상이한 케이스에 따라 취급될 수 있다:
- [0006] - D가  $\lambda$ 에 비해 작은 케이스는 레일리 산란(Rayleigh scattering)으로 지칭되고;
- [0007] - D가 거의  $\lambda$ 의 크기인 경우에는 미 산란(Mie scattering)이라 하며, 및
- [0008] - D가  $\lambda$ 보다 상당히 큰 경우에는 기하학적인 산란(geometric scattering)이라 불리워진다.
- [0009] 이들 3개의 케이스의 각각에서, 광선의 탄성 산란을 묘사하기 위해 상이한 모델들이 이용된다. 고전적 재료에서, 미 산란 및 기하학적인 산란은 눈에 띄게 나타난다. 새로운 종류의 재료에서, 상술한 종류의 산란의

어느 것도 무시될 수 없는데, 그 이유는 결정 간의 상당수의 기포가 매우 작을 수 있고, 상당수의 개별 결정이 산란의 소스로서 매우 클 수 있기 때문이다.

[0010] 표면의 불규칙(irregularities)을 발생시키는 파장  $\lambda$ 의 광선의 탄성 산란은, 불규칙이 이상적 표면에서 벗어나는 높이 변동의 2차 평균값(quadratic mean value)과 그 높이가 동일하고, 그 그리드 주기가 불규칙의 평균 국부 파동 파장(mean local undulation wavelength)에 대응하는 격자의 가정하에 격자에서 회절 이론을 통해 묘사된다. 이상적 표면에서의 불규칙의 높이 변동의 2차 평균값은 또한 표면 거칠기의 RMS 값(root mean square value)으로 지칭된다.

[0011] 투영 대물 렌즈의 측정 가능한 품질을 특징으로 할 시에, 투영 대물 렌즈의 측정된 미광 성분의 원인이 되는 것에 관한 분석은 선형적으로 불가능하다. 그러나, 미광을 특징으로 할 수 있는 측정 가능한 특성은 음영 범위(shadow range)로의 여러 횡방향 침투(lateral penetrations)에 기초로 한다(WO 2005/015313 및 여기에 인용된 참조물을 참조). 통상의 측정 방법의 범주 내에서, 이 특성은 여러 횡방향 직경의 어두운 영역을 가진 적절한 테스트 마스크를 이용함으로써 검사된다. 투영 대물 렌즈에 의해 생성되는 이와 같은 마스크의 이미지에서, 그것은 미광의 일부가 개별 어두운 영역의 각각의 이미지의 음영 범위의 중심에서 투영 대물 렌즈의 필드에서 얼마나 크게 발견되는지가 조사된다. 투영 대물 렌즈의 필드 평면에서 측정된 바와 같이 개별 어두운 영역의 이미지에 대한 이미지축 상의 직경은 전형적으로 10  $\mu\text{m}$ , 30  $\mu\text{m}$ , 60  $\mu\text{m}$ , 200  $\mu\text{m}$ , 400  $\mu\text{m}$ , 1 mm, 및 2 mm이다. 이와 같은 측정은 투영 대물 렌즈의 노출 필드에 걸쳐 미광 성분의 분포(distribution)를 획득하기 위해 여러 필드 포인트에서 실행된다.

[0012] 400  $\mu\text{m}$  이상의 직경의 음영 범위의 중심에 도달할 수 있는 미광은 200  $\mu\text{m}$  이상의 범위를 가지고, 장거리(long-range) 미광이라 칭하지만, 200  $\mu\text{m}$  미만의 음영 범위의 중심에 도달하는 미광은 단거리 또는 중간 거리 미광으로서 지칭된다. 그러나, 이런 기간(terms) 간의 변이(transition)는, 음영 범위의 직경에 대한 500  $\mu\text{m}$ 의 상당량이 장거리 또는 단거리/중간 거리 미광의 기간 간의 경계선으로서 동등하게 잘 역할을 할 수 있도록 유동적이다.

[0013] 또한, 센서에 의한 미광의 측정에 대한 대안으로서, 미광은 또한 포토레지스트에 대한 노출 방법, 소위 Kirk 테스트를 통해 측정될 수 있음에 주목되어야 한다. 이 테스트의 제 1 단계에서는, 포토레지스트의 완전한 노출에 요구되는 선량, 소위 클리어링 선량(clearing dose)  $D_c$ 을 결정하고, 제 2 단계에서는 여러 사이즈의 정방형(square-shaped) 구조의 과다 노출에 요구되는 선량  $D_s$ 을 결정함으로써, 포토레지스트의 이들의 이미지는 완전히 사라지도록 한다.  $D_c$ 와  $D_s$  간의 비율은 이제 조사되는 정방형 구조의 상대 미광 성분에 대한 측정치를 나타낸다.

[0014] 투영 대물 렌즈의 미광 성분은, 이 용어가 여기에 이용되는 바와 같이, 투영 대물 렌즈의 유용한 광선에 관한 투영 대물 렌즈의 전체 미광 성분을 의미하며, 이 미광 성분은 원치 않는 유해한 광선의 투영 시에 내내 제공된다.

[0015] 여러 설계의 투영 대물 렌즈는 보통 상이한 각각의 미광 성분 및, 이미지 또는 노출 필드에 걸친 이들의 각각의 미광 성분의 상이한 변동을 갖는다. 미광 성분, 또는 각각의 미광 성분의 변동의 이런 차는 투영 대물 렌즈의 콘트라스트 특성의 차가 되게 한다. 이 문맥에서, 상술한 새로운 종류의 광학 재료를 가진 투영 대물 렌즈는 모든 예측에 따라 현재 투영 대물 렌즈보다 높은 미광 성분 및 이 미광 성분의 더 높은 변동을 가질 것임에 주목되어야 한다. 또한, EUV 마이크로리소그래피에 대한 투영 대물 렌즈는, 미러 표면의 표면 거칠기가 대기 중에 약 1.5의 굴절율을 가진 렌즈의 대응하는 표면 거칠기로 생성된 것보다 약 16 배 더 많은 미광을 생성시킨다는 사실로 인해, 현재 투영 대물 렌즈에 관해 증가된 미광 성분을 가질 것이다. 이것은 EUV 리소그래피에 이용되는 소위 다층 코팅으로부터의 가능 기여(contributions)를 고려하지 않는다.

### 발명의 상세한 설명

[0016] 그래서, 본 발명의 목적은 투영 대물 렌즈의 콘트라스트 특성을 규정된 방식으로 적응시키기 위한 것이다.

[0017] 본 발명의 한 양태에 따르면, 노출 필드에 걸친 미광 성분의 변동은 미광 성분 자체보다 반도체 부품의 제조자에 대해 더 큰 문제를 유발시킨다는 관찰이 이용된다.

[0018] 본 발명의 다른 양태에 따르면, 각각의 미광 성분 간의 차, 또는 상이한 투영 대물 렌즈의 노출 필드에 걸친 각각의 미광 성분의 변동 간의 차는 큰 미광 성분보다 반도체 부품의 제조자에 대해 더 큰 문제를 유발시키거나,

투영 대물 렌즈 중 하나의 노출 필드에 걸친 미광 성분의 큰 변동이 단독으로 투영 대물 렌즈 간의 제조 공정의 이송 시에 유발하는 관찰이 이용된다.

[0019]

본 발명에 따르면, 이런 과제(task)는 투영 대물 렌즈에 의해 해결되는데, 여기서, 노출 필드에 걸친 일정치 않은 프로파일을 가진 부가적 미광 성분이 도입되거나, 투영 대물 렌즈 내에서, 노출 필드에 걸친 일정치 않은 프로파일을 가진 부가적 미광 성분을 필드 평면 내의 노출 필드 내에 도입하기 위한 수단이 제공된다. 이 문맥에서 노출 필드에 걸친 일정치 않은 프로파일을 가질 시의 부가적 미광 성분의 특성은 부가적 미광 성분의 프로파일을 의미하는 것으로 이해되며, 여기서, 노출 필드 내의 2 이상의 임의 필드 포인트에 대해, 유용한 광선 부분에 관해 부가적 미광 성분에서  $\geq 0.02\%$ 의 차가 존재한다. 따라서, 투영 대물 렌즈는 마이크로리소그래피에 사용하기 위해 이용 가능하게 제조되고, 마스크 평면의 이미지를 필드 평면으로 투영하는 역할을 하며, 상기 필드 평면 내의 노출 필드를 가지며, 투영 대물 렌즈의 기존의 미광 성분 이외에, 노출 필드에 걸친 일정치 않은 프로파일을 가진 부가적 미광 성분이 도입되고, 및/또는 투영 대물 렌즈는, 투영 대물 렌즈의 기존의 미광 성분 이외에, 노출 필드에 걸친 일정치 않은 프로파일을 가진 부가적 미광 성분이 노출 필드 내로 도입되는 수단을 포함하는 사실을 특징으로 한다. 이런 측정을 취함으로써, 노출 필드에 걸친 미광 성분의 변동이 감소될 수 있다.

[0020]

본 발명에 따르면, 노출 필드의 경계 영역 내의 미광 성분이 노출 필드의 중심 영역에 비해 증가될 경우에 임의의 광학 보디가, 후자가 상기 광학 보디의 부분에서만 발생할지라도, 미광 성분의 프로파일을 노출 필드에 걸쳐 균등하게 함을 이해할 수 있는 것으로 더 인식되었다. 이것은 광학 보디가, 예컨대 하나의 투영 대물 렌즈 또는 다수의 투영 대물 렌즈로서, 균등한 재료로 이루어지고, 균등한 마무리면을 갖는 필수 조건을 수반한다. 특히, 필드 바로 앞에서 최종 렌즈의 굴절력이 크게 양(strongly positive)인 액침 리소그래피에 사용하기 위한 액침 대물 렌즈에서, 이런 크게 커브된 렌즈(strongly curved lens)만이 상기 재료를 통해 광선에 의해 이동되는 경로 길이가 중심 영역을 통과하는 광선에 비해 경계 영역을 횡단하는 광선에 대해 몇몇 퍼센트만큼 상이하여, 중심 영역의 비율이 증가하고, 노출 필드의 경계 영역의 비율 낮은 미광 성분의 부가적 변동을 초래하는 효과를 갖는다. 이런 효과는 강한 확산 재료(strongly diffusive material)가 사용될 경우에 더 증가된다.

[0021]

이것에서, 필드에 근접한 하나 이상의 광학 요소(또한 여기서 필드 인접(field-proximate) 요소로서 지칭됨)의 하나 이상의 표면의 마무리 처리는 노출 필드에 걸친 일정치 않은 프로파일을 가진 부가적 미광 성분을 투영 대물 렌즈 내에 도입하기에 간단하고 비용 효율이 높은 방식을 나타낸다. 마무리 처리는 또한 수개의 필드 인접 표면에 적용될 수 있어, 전체 부가적 미광 성분이 개별 표면에 의해 제공되는 미광의 합으로서 나타나게 된다. 수개의 표면에 걸친 부가적 표면 거칠기의 이런 제공은, 이 개별 표면에 대해, 이 표면 또는 그의 부분 상에서 최종 연마 단계를 생략함으로써 간단히 실현될 수 있는 거칠기 값을 생성할 경우에 유익할 수 있다. 이 문맥에서, 필드에 인접하다는 것(또는 필드-인접)은 노출 필드에 인접하지 않고 중간 이미지에 인접한 표면이 또한 마무리 처리를 위해 선택될 수 있다는 것을 의미한다. 이것은 특히 이들 표면이 이들의 기하학적인 배열(geometry)에 관해서 작용하기 쉽거나, 이미지 에러에 관해서 이들의 광학적 감도에 기초하여, 이들 표면이 노출 필드 바로 전에 최종 광학적 요소보다 설치하거나 삭제하기가 더 쉬울 경우에 유익하다. 특히, 평면 평행판(planar-parallel plate)은 이런 관점 하에 광학적 요소로서 인기가 있는데, 그 이유는 평면 평행판에 허용될 수 있는 기계적 위치 공차가 렌즈 또는 미러에 허용될 수 있는 기계적 위치 공차보다 훨씬 더 크기 때문이다. 평면 평행판은 또한, 쉽게 교환 가능한 요소로서 설계될 수 있는 부가적 이점을 가져, 이 요소가 나중에 시스템이 동작 상태에 있을 시에 고객 사양(customer specification)에 따라 교환되거나 개정되며, 또는 변경될 수 있는 가능성을 제공한다.

[0022]

필드에 가까운 표면 (또한, 여기서 필드-인접 표면으로서 지칭됨)의 광학적으로 사용된 영역의 중심에 관하여 광학적으로 사용된 영역의 가장자리에서 표면 거칠기를 증가시키는 것은, 노출 필드에 걸친 프로파일을 가지고, 노출 필드의 중심 영역 내에서도보다 경계 영역에서 더 강한 부가적 미광 성분을 노출 필드에 생성시키는 가장 간단한 방식이다. 본 발명에 따르면, 이에 의해, 이상적 방식으로 투영 대물 렌즈의 다른 기존의 미광 성분을 보완하는 부가적 미광 성분이 생성된다.

[0023]

필드-인접 표면의 광학적으로 사용된 영역의 가장자리에서의 표면 거칠기 및 광학적으로 사용된 영역의 중심에서의 표면 거칠기에 대한 각각의 RMS 값 간에 0.5 nm 이상의 차를 유발시키는 표면 거칠기 조정은, 예컨대, 193 nm의 동작 파장에서 노출 필드 내의 유용한 광선에 비례하는 약 0.02%의 부가적 미광 성분으로 대응한다. 0.5 nm의 차는 노출 필드에서 미광 성분을 보정하는 의미를 지닌 값에 대한 거의 하한치를 나타낸다. 경계에서 중심까지의 표면 거칠기의 상기 차에 대해 2 nm보다 큰 RMS 값은, 본 발명에 따라 노출 필드에 걸친 일정치 않은 프로파일을 가진 부가적 미광 성분을 도입함으로써 예컨대 193의 파장에서 유용한 광선에 대해 0.2%의 노출 필드에

결친 미광 성분의 변동으로 마이크로리소그래피에 현재 이용되는 투영 대물 렌즈를 보정하는 과제를 충족시킨다.

[0024] 특히, 필드의 바로 앞의 최종 렌즈의 굴절력이 크게 양인 액침 리소그래피에 이용하기 위한 액침 대물 렌즈에서, 경계 영역에서 중심 영역까지 노출 필드에 걸친 미광 성분의 더욱 큰 변동은 상술한 바와 같이 일어나며, 여기서, 그것은 경계에서 중심까지 RMS 표면 거칠기의 차에 대한 더욱 큰 값을 이용함으로써 상기 변동을 보상한다는 의미를 지닌다. 게다가, RMS 표면 거칠기의 차에 대한 증가된 값은 큰 확산 재료가 이런 종류의 배치의 최종 렌즈에 이용될 경우에 요구된다.

[0025] 횡방향 거리가 독립 변수인 일반적 다항 함수(polynomial function)의 근으로 표현되는 함수에 따라 중심에서의 횡방향 거리의 함수로서 표면 거칠기의 프로파일은 연마 머신, 특히 연마 로봇을 프로그램하는 것을 더욱 쉽게 하는 이점을 제공하는데, 그 이유는 상기 머신에 고유 또는 익숙한 함수의 시스템이 이용되기 때문이다. 표면의 경계에서의 RMS 거칠기 값의 증가가 가장 간단하고 가장 빠른 가능한 방식으로 달성되게 하는 가장 간단하고 가장 빠른 이런 카테고리의 함수는 중심에서 횡방향 거리의 1차 또는 2차 함수이다.

[0026] 1 mm 내지 10  $\mu$ m의 표면 거칠기의 국부 파동의 파장의 범위는 필드 바깥(out-of-field) 미광의 양을 작게 유지하는 이점을 갖는다. 필드 바깥 미광은 노출 필드 밖에서 광선으로의 원하지 않은 노출을 유발시킬 수 있는 영역에 들어가는 미광이다. 청구항 11에서 설명되는 바와 같이 1 mm 내지 10  $\mu$ m의 파동 파장의 국부 범위는 상기 미광에 영향을 미칠 뿐만 아니라, 필드 포인트의 이미지 형성 파면(image-forming wave front)에도 영향을 미침으로써, 임의의 필드 포인트의 파면을 동시에 보정하도록 이런 국부 파장 범위로 가능한 이점을 갖는다. 상술한 바와 같이, 표면 거칠기 또는 불규칙의 국부 파장 범위는, 이 적용의 영역 내에서, 광학적 요소의 표면을 따른 불규칙의 횡방향 그리드 주기의 범위를 의미하는 것으로 이해된다.

[0027] 광선 전파의 방향으로의 투영 대물 렌즈의 최종 광학적 요소와 필드 평면 간의 필드 구경 조리개는 부가적으로 도입된 미광이 노출 필드의 외부 영역으로 나가지 못하게 하고, 이들 영역의 원치 않는 노출이 되지 않게 하는 과제를 갖는다.

[0028] 필드 구경 조리개와, 필드 구경 조리개의 평면 내의 광학적으로 사용된 영역 간에 1 mm 미만, 특히 0.2 mm 미만의 횡방향 치수의 허용도(lateral dimensional allowance)는, 제조 공정에서 요구되는 고 정확도로 인해 고 비용에 이르는 너무 엄격한(overly tight) 허용도와, 노출 필드의 외부에 너무 많은 원치 않는 미광에 이르는 너무 광범위한 허용도 간의 유리한 절충안(advantageous compromise)을 나타낸다.

[0029] 최종 렌즈의 상부측, 즉 최종 광학적 요소의 대상 물체에 직면한 표면은 이점으로 표면 거칠기에 의해 미광을 도입하는데 알맞게 되는데, 그 이유는 이 표면이 한편으로 상기 상부측에 걸친 표면 거칠기의 프로파일에 의해, 노출 필드 내의 미광 성분의 프로파일이 생성될 수 있을 정도로 노출 필드에 인접하여 위치되고, 다른 한편으로, 상기 상부측 상의 개별 필드 포인트의 서브 구경(sub-apertures)이 상기 상부측의 마무리 시의 작은 불규칙이 각각의 필드 포인트의 이미지에 영향을 미치지 않을 만큼 충분히 넓기 때문이다. 특히, 액침 리소그래피에 이용되는 투영 대물 렌즈에서, 최종 광학적 요소의 상부측의 마무리는 특히, 렌즈 및 침액의 굴절율의 작은 차로 인해, 하부측의 마무리 또는 개정이 투영 대물 렌즈의 이미징 특성 또는 스캐닝 과정 중에 침액의 역할에 부정적 영향을 미치는 표면 거칠기에 대한 큰 값에 이르기 때문에 중요하다.

[0030] 액침 리소그래피에 이용되는 투영 대물 렌즈에서, 최종 광학적 요소와 웨이퍼 간의 설계 공간은 너무 좁아 기계적 구경 조리개를 이용할 수 없다. 그래서, 최종 광학적 요소의 하부측을 마스크 오프(mask off)하는 개념은, 부가적으로 도입된 미광이 노출 필드의 외부 영역으로 나가지 못하게 하고, 이들 영역의 원치 않는 노출이 되지 않게 하는 필드 구경 조리개를 실현할 액침 시스템에서의 유일한 가능 방식이다. 표면 코팅에 의해 실현되는 이런 종류의 마스크는 비용 효율이 높다.

[0031] 상기 마스크와, 필드 구경 조리개의 평면 내의 광학적으로 사용된 영역 간에 0.5 mm 미만, 특히 0.1 mm 미만의 치수의 허용도는, 특히 코팅 도구에 요구되는 높은 제조 정확도로 인해 고 비용에 이르는 너무 엄격한 치수 허용도와, 노출 필드의 외부에 너무 많은 원치 않는 미광에 이르는 너무 광범위한 허용도 간의 유리한 절충안을 나타낸다.

[0032] 부가적 미광을 도입하는 발명의 개념은 특히, 투영 대물 렌즈 내의 다결정 재료가 현재 이용되는 투영 대물 렌즈의 경우보다 필드에 걸친 미광 성분의 큰 변동을 유발시킬 시에, 다결정 재료의 광학적 요소를 가진 투영 대물 렌즈에서 유리하다.

[0033] 불화물, 그룹 II의 산화물, 그룹 III의 산화물, 희토류 산화물, 가닛 또는 스피넬로 제조되는 광학적 요소를 가

진 투영 대물 렌즈 내에 부가적 미광을 도입하는 발명의 개념은 결정체 및 결정체 간의 기포가 노출 필드 내의 미광 성분의 프로파일에 기여하는 부가적 프로파일 부분을 보상하게 한다.

[0034] 복굴절성인 많은 결정체로 이루어지는 다결정 재료의 광학적 요소를 가진 투영 대물 렌즈 내에 부가적 미광을 도입하는 발명의 개념은 결정체의 상이한 방향의 결과로서 발생하는 많은 굴절을 변동이 노출 필드 내의 미광 성분의 프로파일에 기여하는 부가적 프로파일 부분을 보상하게 한다.

[0035] 각각의 개별 결정체보다 적은 복굴절을 나타내는 다결정 재료의 하나 이상의 광학적 요소를 가진 투영 대물 렌즈 내에 부가적 미광을 도입하는 발명의 개념은 특히 액침 리소그래피에 이용되는 투영 대물 렌즈에 중요한데, 그 이유는, 이들 투영 대물 렌즈에서, 거의 복굴절이 없는 재료가 특히 노출 필드 전의 최종 광학적 요소에 우선으로 이용되기 때문이다.

[0036] 다결정 재료의 하나 이상의 광학적 요소를 가진 투영 대물 렌즈 내에 부가적 미광을 도입하는 발명의 개념은 특히 광학적 요소 자체가 노출 필드에 걸친 0.1% 를 넘는 프로파일 변동을 가진 미광 성분을 이미 가지고 있을 경우에 사리에 맞는 접근법을 나타내는데, 그 이유는, 이 경우에, 개별적인 광학적 요소 자체가 현재 이용되는 투영 대물 렌즈에서 보여지는 노출 필드에 걸친 미광 성분의 변동의 거의 절반과 동일한 노출 필드에 걸친 미광 성분의 변동을 나타내기 때문이다.

[0037] 특히, 마스크 평면에서 필드 평면까지 광선의 방향에 관하여 필드 평면 앞에 위치된 다결정 재료의 최종 광학적 요소는 노출 필드에 걸친 투영 대물 렌즈의 미광 성분의 큰 변동에 이르게 하여, 본 발명에 따라 보상될 필요가 있는데, 그 이유는 이와 같은 필드-인접 광학적 요소의 다운스트림에, 이 요소에 의해 생성된 미광이 노출 필드에 도달하지 못하게 하기 위해 노출 필드를 가진 필드 평면 바로 앞에 구경 조리개를 위치시킬 가능성이 더 존재하지 않기 때문이다.

[0038] 액침 리소그래피에 이용되는 장래 투영 대물 렌즈의 해상도를 증가시키기 위해, 아마도 개구수(numerical aperture) NA, 즉 개구각(aperture angle)을 더 증가시킬 필요가 있을 것이다. 그러나, 이를 달성하기 위해, 1.7보다 큰 굴절율을 가진 재료가 동작 파장이 예컨대 193 nm인 경우에 최종 광학적 요소에 요구된다. 이것에 관해서는, 리더(reader)는 WO 2006/133,801 A1에서 최종 렌즈 요소의 굴절율에 대한 논의를 언급한다. 또한, 예컨대, 157 nm 또는 248 nm과 같은 다른 동작 파장으로, 고 개구를 가진 투영 대물 렌즈 내의 최종 렌즈 요소에 대한 각각의 동작 파장에서 고 굴절율을 가진 재료를 이용하는 것이 사리에 맞다. 이와 같은 추가적 시스템의 이미징 성능에 부과되는 필요 조건, 및 또한 노출 필드에 걸친 미광 성분의 변동에 부과된 필요 조건은 아마 현재 시스템에 대해서보다 높을 것이다. 동작 파장에서 1.7보다 큰 굴절율을 가진 재료의 최종 광학적 요소를 가진 이런 종류의 투영 대물 렌즈 내에 부가적 미광을 도입할 본 발명에 따른 개념은, 본 발명이 또한 노출 필드에 걸친 미광 성분의 변동에 관한 증가된 장래 필요 조건을 충족하는 능력을 제공할 시에 이런 예견된 개발을 고려한다.

[0039] 특히, 필드 바로 앞의 최종 렌즈의 굴절력이 크게 양인 액침 리소그래피에 사용하기 위한 액침 대물 렌즈에서, 이런 크게 커브된 렌즈만이 상기 재료를 통해 광선에 의해 이동되는 경로 길이가 중심 영역을 통과하는 광선에 비해 경계 영역을 횡단하는 광선에 대해 몇몇 퍼센트만큼 상이하여, 미광 성분의 부가적 변동을 초래하는 효과를 갖는다. 이런 효과는 강한 확산 재료가 최종 렌즈에 이용되는 경우에 더 증가된다. 따라서, 이와 같은 투영 대물 렌즈에 부가적 미광을 도입하는 본 발명에 따른 개념은 양의 굴절력의 최종 렌즈를 가진 투영 대물 렌즈에서 노출 필드에 걸친 미광 성분의 변동을 감소시키는데 도움을 준다.

[0040] 최종 광학적 요소로서 평면 평행판을 이용하는 것은 평면 평행판이 렌즈 또는 미러에 비해 큰 기계적 위치 공차를 가져, 광학적 영향을 받지 않는 이점을 갖는다. 그래서, 이런 종류의 광학적 요소는, 그것이 투영 대물 렌즈에서 삭제될 수 있고, 투영 대물 렌즈에 재설치될 수 있거나, 큰 문제 없이 다른 평면 평행판과 교환될 수 있을 시에, 표면 거칠기를 증가시킬 개정 동작에 관해 유리하다. 고객의 위치에서의 재마무리 동작(refinishing operation)은 이에 의해 가능하게 행해짐으로써, 고객의 희망에 따라 미광 프로파일의 조정은 실행 가능하게 된다. 이런 고객의 요구는 예컨대 마스크의 특정 조명과 연결될 수 있다.

[0041] 미러 표면의 표면 거칠기는 약 1.5의 굴절율을 가진 공중의 렌즈의 동등한 표면 거칠기보다 대략 16배 큰 효과를 갖는다. 이러한 경우에 있어서는, 발명에 따르면, 노출 필드에 걸친 미광 성분의 큰 변동이 보정될 필요가 있을 경우에, 이를 위해 미러 표면을 이용하는 것이 유리하다.

[0042] 부가적 미광 성분이 하나 이상의 확산(광산란) 및/또는 회절성 광학적 요소에 의해 생성되는 부가적 미광 성분을 가진 대응하는 투영 대물 렌즈는 미광 성분의 타겟 및 유연한 적응(targeted and flexible adaptation) 및

미광 성분의 프로파일의 가능성을 제공하는데, 그 이유는 광학적 요소가 미광의 생성이 영향을 받을 수 있는 자유도(degrees of freedom)를 이용 가능하게 하기 때문이다.

- [0043] 부가적 미광 성분이 동공(pupil)에서 하나 이상의 확산 및/또는 회절성 광학적 요소에 의해 및/또는 하나 이상의 필드-인접 확산 및/또는 회절성 광학적 요소에 의해 생성되는 부가적 미광 성분을 가진 대응하는 투영 대물 렌즈는 필드-인접 및 동공-인접 요소 간에 미광을 생성하는데 이용되는 자유도를 분할하는 최적의 방식을 나타낸다.
- [0044] 부가적 미광 성분을 생성하기 위해 확산 및/또는 회절성 광학적 요소를 가진 대응하는 투영 대물 렌즈에서, 미광 성분, 또는 미광 성분의 프로파일이 간단한 타겟 방식으로 생성될 수 있는 기술적으로 바람직한 미광 생성 요소는, 다음의: 산광기 디스크(diffusor disk); 0.5 nm RMS보다 큰, 바람직하게는 1.0 nm RMS보다 큰, 및 더욱 바람직하게는 2 nm RMS보다 큰 표면 거칠기를 가진 광학적 요소; 다결정 재료의 광학적 요소; 회절성 광학적 요소 (DOE); 회절 격자 (블레이즈 격자(Blaze grid), 이진 격자(binary grid), 서브-람다 격자(sub-lambda grid)); 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH); 와이어 그리드를 포함하는 그룹에서의 확산 및/또는 회절성 광학적 요소이다.
- [0045] 노출 필드에 걸친 일정치 않은 프로파일을 가지는 부가적 미광 성분을 가진 대응하는 투영 대물 렌즈로서, 상기 일정치 않은 프로파일을 가지는 부가적 미광 성분이 노출 필드에 걸친 소정의 미리 정해진 프로파일에 따르는 대응하는 투영 대물 렌즈는 투영 대물 렌즈의 미광 성분의 프로파일을 타겟 방식으로 미광 성분의 바람직한 프로파일에 적응시킬 가능성을 제공한다. 결과로서, 바람직한 미광 성분, 특히 미광 성분의 바람직한 프로파일에 관한 반도체 제조자의 요구는 예컨대 특정 타입의 투영 대물 렌즈에 대해 고려될 수 있다.
- [0046] 노출 필드에 걸친 일정치 않은 프로파일을 가지는 부가적 미광 성분을 가진 대응하는 투영 대물 렌즈로서, 상기 일정치 않은 프로파일을 가지는 부가적 미광 성분이 노출 필드에 걸친 소정의 미리 정해진 프로파일에 따르고, 상기 미리 정해진 프로파일이 다른 투영 대물 렌즈의 측정 데이터로부터 결정되는 대응하는 투영 대물 렌즈는 투영 대물 렌즈의 미광 성분 또는 미광 성분의 프로파일을 다른 투영 대물 렌즈의 것에 적응시킬 가능성을 제공함으로써, 제조 프로세스가 한 투영 대물 렌즈에서 다른 투영 대물 렌즈로 더욱 쉽게 전사(transfer)될 수 있다. 특히, 개발 원형(prototype) 및 대물 렌즈의 생산 유닛 간에 생산 프로세스를 전사할 시에, 프로세스를 쉽게 전사시킬 능력이 반도체 제조자를 위해 결정하는데, 그 이유는 개발에서 생산으로의 전사에 요구되는 시간이 반도체 구성 요소의 이른 시장 진입을 위한 결정 요소 중 하나이기 때문이다.
- [0047] 부가적 미광 성분이 투영 대물 렌즈의 노출 필드에 걸친 미광 성분 및/또는 미광 성분의 변동을 다른 투영 대물 렌즈의 노출 필드에 걸친 미광 성분 및/또는 미광 성분의 변동에 적응시키는 부가적 미광 성분을 가진 대응하는 투영 대물 렌즈는 상술한 바와 같은 가능성을 제공한다.
- [0048] 부가적 미광 성분이 투영 대물 렌즈의 노출 필드에 걸친 미광 성분 및/또는 미광 성분의 변동을 다른 투영 대물 렌즈의 노출 필드에 걸친 미광 성분 및/또는 미광 성분의 변동에 적응시키고, 상기 적응 후에, 투영 대물 렌즈의 노출 필드 내의 미광 성분의 최대치가, 다른 투영 대물 렌즈의 노출 필드 내의 미광 성분의 최대치로부터, 2개의 미광 성분의 각각의 최대치 중 큰 수치에 관하여, 50% 미만만큼, 바람직하게는 25% 미만만큼 편차가 생기는 부가적 미광 성분을 가진 대응하는 투영 대물 렌즈는 미광에 관해서는 제조 프로세스를 적응시키지 않고 투영 대물 렌즈 간에 제조 프로세스를 전사시킬 가능성을 제공한다.
- [0049] 본 발명의 추가적 목적은 투영 대물 렌즈의 콘트라스트 특성을 다른 투영 대물 렌즈의 콘트라스트 특성에 적응시키기 위한 것이다.
- [0050] 이런 과제를 처리할 시에, 본 발명은, 상술한 바와 같이, 특히 EUV 리소그래피에 대한 여러 투영 대물 렌즈 간의 제조 프로세스의 전사성(transferability)에 대한 결정 요소가 투영 대물 렌즈 중 하나의 미광 성분의 절대 등급(absolute magnitude)이 아니라, 서로 간의 각각의 투영 대물 렌즈의 유용한 광선에 관하여 미광 성분의 상대 비교성인 관찰을 이용한다.
- [0051] 또한, 이런 과제를 처리할 시에, 본 발명의 부분은, 투영 대물 렌즈의 미광 성분 또는 미광 성분의 변동에 대한 더욱 낮은 사양을 충족시키는 것을 지향하여 렌즈 및 미러의 재료, 코팅 및 표면 마무리에 관해서는 계속 증가하는 개발 노력을 통해 투영 대물 렌즈를 서로에 적응시키기 보다는, 여러 투영 대물 렌즈의 미광 성분 또는 미광 성분의 변동을 서로에 적응시키는 것이 더욱 유리한 접근법임을 인식하는 것이었다.
- [0052] 이런 과제는, 마이크로리소그래피에 사용하기 위한 본 발명에 따른 투영 대물 렌즈에 의해 해결되는데, 상기 투영 대물 렌즈는 마스크 평면을 필드 평면으로 투영하는 역할을 하고, 상기 필드 평면 내의 노출 필드를 가지며,

상기 투영 대물 렌즈가 부가적 미광 성분을 생성시키는 역할을 하는 하나 이상의 확산 및/또는 회절성 광학적 요소를 가지며, 상기 부가적 미광 성분이 유용한 광선에 관하여 0.2% 넘게, 바람직하게는 0.4% 넘게 되는 것을 특징으로 한다.

[0053] 이런 과제는, 마이크로리소그래피에 사용하기 위한 본 발명에 따른 투영 대물 렌즈에 의해 해결되는데, 상기 투영 대물 렌즈는 마스크 평면을 필드 평면으로 투영하는 역할을 하고, 상기 필드 평면 내의 노출 필드를 가지며, 부가적 미광 성분이 투영 대물 렌즈의 노출 필드에 걸친 미광 성분 및/또는 미광 성분의 변동을 다른 투영 대물 렌즈의 노출 필드에 걸친 미광 성분 및/또는 미광 성분의 변동에 적응시키는 것을 특징으로 한다.

[0054] 이런 과제를 처리할 시에, 노출 필드 내의 미광 성분의 최대치가, 다른 투영 대물 렌즈의 노출 필드 내의 미광 성분의 최대치로부터, 2개의 미광 성분의 각각의 최대치 중 큰 수치에 관하여, 50% 미만만큼, 바람직하게는 25% 미만만큼 편차가 생기는 투영 대물 렌즈는 미광에 관해서는 제조 프로세스를 적응시키지 않고 투영 대물 렌즈 간에 제조 프로세스를 직접 전사시킬 가능성을 제공한다.

[0055] 부가적 미광 성분을 생성하기 위해 확산 및/또는 회절성 광학적 요소를 가진 대응하는 투영 대물 렌즈에서, 미광 성분, 또는 미광 성분의 프로파일이 간단한 타겟 방식으로 생성될 수 있는 기술적으로 바람직한 미광 생성 요소는, 다음의: 산광기 디스크; 0.5 nm RMS보다 큰, 바람직하게는 1.0 nm RMS보다 큰, 및 더욱 바람직하게는 2 nm RMS보다 큰 표면 거칠기를 가진 광학적 요소; 다결정 재료의 광학적 요소; 회절성 광학적 요소 (DOE); 회절 격자 (Blaze grid, binary grid, sub-lambda grid); 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH); 와이어 그리드를 포함하는 그룹에서의 확산 및/또는 회절성 광학적 요소이다.

[0056] 부가적 미광 성분이 노출 필드에 걸친 일정치 않은 프로파일을 가지는 부가적 미광 성분을 가진 대응하는 투영 대물 렌즈는 노출 필드에 걸친 미광 성분의 변동을 감소시킬 가능성을 제공한다.

[0057] 노출 필드에 걸친 부가적 미광 성분을 가진 대응하는 투영 대물 렌즈로서, 필드 평면 내의 노출 필드가 중심 영역 및 경계 영역을 가지며, 일정치 않은 프로파일을 가진 부가적 미광 성분이 동공에서 확산 및/또는 회절성 광학적 요소를 통해 필드의 중심 영역 내에서 조정되는 대응하는 투영 대물 렌즈는 투영 대물 렌즈의 미광 성분을 신속하고 효율적으로 증가시킬 간단한 비용 효율적인 가능성을 나타낸다.

[0058] 노출 필드에 걸친 부가적 미광 성분을 가진 대응하는 투영 대물 렌즈로서, 필드 평면 내의 노출 필드가 중심 영역 및 경계 영역을 가지며, 일정치 않은 프로파일을 가진 부가적 미광 성분이 하나 이상의 필드-인접 확산 및/또는 회절성 광학적 요소를 통해 필드의 경계 영역 내에서 조정되는 대응하는 투영 대물 렌즈는 노출 필드의 경계 영역 내의 미광 성분을 신속하고 효율적으로 보정시킬 간단한 비용 효율적인 가능성을 나타낸다.

[0059] 부가적 미광 성분을 생성시키는 역할을 하는 하나 이상의 확산 및/또는 회절성 광학적 요소를 가진 대응하는 투영 대물 렌즈로서, 상기 확산 및/또는 회절성 광학적 요소의 산란 효과를 교환 및/또는 변경하기 위한 수단이 제공되는 대응하는 투영 대물 렌즈는, 마스크 상의 변화된 조명각 분포(distributions) 및/또는 변화된 마스크 구조의 경우에, 미광 성분, 또는 미광 성분의 프로파일에 관한 반도체 제조자의 변화된 요구에 신속하게 반응할 가능성을 제공한다.

[0060] 부가적 미광 성분을 생성시키는 역할을 하는 하나 이상의 확산 및/또는 회절성 광학적 요소를 가진 대응하는 투영 대물 렌즈로서, 노출 필드 내의 유용한 광선에 관하여 0.1% 를 넘는, 특히 0.2% 를 넘는 필드에 걸친 변동을 가지는 대응하는 투영 대물 렌즈는 필드에 걸친 미광 성분의 작은 변동조차 보상할 가능성을 제공한다.

[0061] 본 발명의 추가적 목적은 전체 노출 필드 내에서 거의 동등한 콘트라스트 특성을 가진 투영 대물 렌즈를 제공하기 위한 것이다.

[0062] 이런 과제는, 마이크로리소그래피에 사용하기 위한 투영 대물 렌즈에 의해 해결되는데, 상기 투영 대물 렌즈는 마스크 평면을 필드 평면으로 투영하는 역할을 하고, 다수의 광학적 요소를 가지며, 상기 필드 평면 내의 노출 필드에서, 스캔 방향에 걸쳐 평균화되는(averaged) 투영 대물 렌즈의 미광 성분이 유용한 광선에 관하여 0.2% 미만의 변동을 가지는 것을 특징으로 한다.

[0063] 이런 과제를 해결할 시에, 노출 필드가 유용한 광선에 관하여 2% 미만의, 스캔 방향에 걸쳐 평균화되는, 미광 성분의 최대치를 가지는 것을 특징으로 하는 대응하는 투영 대물 렌즈는, 동시에 고 콘트라스트의 이점을 제공한다.

[0064] 또한, 노출 필드가 유용한 광선에 관하여 2% 미만의, 스캔 방향에 걸쳐 평균화되는, 미광 성분의 최대치를 가지는 것을 특징으로 하는 대응하는 투영 대물 렌즈는 노출 필드 외부의 미광 성분이 의도되지 않은 노출을 유발시

킬 만큼 충분히 크지 않은 이점을 갖는다.

- [0065] 확산 및/또는 회절성 광학적 요소가 투영 대물 렌즈의 부가적 미광 성분을 생성하고, 상기 부가적 미광 성분이 노출 필드 내의 유용한 광선에 관하여 0.1% 를 넘는, 특히 0.2% 를 넘는 필드에 걸친 변동을 가지는 것을 특징으로 하는 대응하는 투영 대물 렌즈는 필드에 걸친 미광 성분의 작은 변동조차 보상할 가능성을 제공한다.
- [0066] 부가적 미광 성분이 확산 및/또는 회절성 광학적 요소에 의해 생성되는 대응하는 투영 대물 렌즈에서, 미광 성분, 또는 미광 성분의 프로파일이 간단한 타겟 방식으로 생성될 수 있는 기술적으로 바람직한 미광 생성 요소는, 다음의: 산광기 디스크; 0.5 nm RMS보다 큰, 바람직하게는 1.0 nm RMS보다 큰, 및 더욱 바람직하게는 2 nm RMS보다 큰 표면 거칠기를 가진 광학적 요소; 다결정 재료의 광학적 요소; 회절성 광학적 요소 (DOE); 회절 격자 (Blaze grid, binary grid, sub-lambda grid); 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH); 와이어 그리드를 포함하는 그룹에서의 확산 및/또는 회절성 광학적 요소이다.
- [0067] 본 발명의 추가적 목적은 투영 대물 렌즈의 콘트라스트 특성을 적응시키는 방법을 제안하기 위한 것이다.
- [0068] 본 발명에 따르면, 이런 과제는, 부가적 미광 성분을 도입하는 하나 이상의 확산 및/또는 회절성 광학적 요소를 가진 마이크로리소그래피 적용에 투영 대물 렌즈의 부가적 미광 성분을 적응시키는 방법에 의해 해결되는데, 상기 부가적 미광 성분은 노출 필드 내의 유용한 광선에 관하여 0.1% 를 넘는, 특히 0.2% 를 넘는 변동을 가진다.
- [0069] 노출 필드에 걸친 일정치 않은 프로파일을 가지는 부가적 미광 성분이 도입되고, 소정의 미리 정해진 프로파일에 따르는 대응하는 방법은 투영 대물 렌즈의 미광 성분의 프로파일을 타겟 방식으로 미광 성분의 바람직한 프로파일에 적응시킬 가능성을 제공한다. 결과로서, 바람직한 미광 성분, 특히 미광 성분의 바람직한 프로파일에 관한 반도체 제조자의 요구는 예컨대 특정 타입의 투영 대물 렌즈로 고려될 수 있다.
- [0070] 미리 정해진 프로파일이 다른 투영 대물 렌즈의 측정 데이터로부터 결정되는 대응하는 방법은 투영 대물 렌즈의 미광 성분, 또는 미광 성분의 프로파일을 다른 투영 대물 렌즈의 것에 적응시킬 가능성을 제공함으로써, 제조 프로세스가 한 투영 대물 렌즈에서 다른 투영 대물 렌즈로 더욱 쉽게 전사될 수 있다. 특히, 개발 원형 및 대물 렌즈의 생산 유닛 간에 생산 프로세스를 전사할 시에, 프로세스를 쉽게 전사시킬 능력이 반도체 제조자를 위해 결정하는데, 그 이유는 개발에서 생산으로의 전사에 요구되는 시간이 반도체 구성 요소의 이른 시장 진입을 위한 결정 요소 중 하나이기 때문이다.
- [0071] 부가적 미광 성분이 투영 대물 렌즈의 노출 필드에 걸친 미광 성분 및/또는 미광 성분의 변동을 다른 투영 대물 렌즈의 노출 필드에 걸친 미광 성분 및/또는 미광 성분의 변동에 적응시키는데 이용되는 대응하는 방법은 상술한 바와 같은 가능성을 제공한다.
- [0072] 부가적 미광 성분이 확산 및/또는 회절성 광학적 요소의 산란 효과의 교환 및/또는 변경을 통해 일정치 않은 프로파일에에서 변화되는 대응하는 방법은, 마스크 상의 변화된 조명각 분포 및/또는 변화된 마스크 구조의 경우에, 미광 성분, 또는 미광 성분의 프로파일에 관한 반도체 제조자의 변화된 요구에 신속하게 반응할 가능성을 제공한다.
- [0073] 투영 대물 렌즈가 다른 투영 대물 렌즈와 동일한 마스크 구조의 생성 이미지에 적용하는 임계 치수(critical dimension)(CD)에 관하여 임계 치수의 20% 미만의 편차를 가진 마스크 구조의 이미지를 생성하는 식으로 투영 대물 렌즈의 부가적 미광 성분이 도입되는 대응하는 방법은 투영 대물 렌즈의 미광 성분 때문에 마스크 구조를 적응시키지 않고 투영 대물 렌즈 간에 반도체 소자의 제조 프로세스의 전사를 위한 조건을 충족한다. 마스크 구조의 적응은 보통 생성될 새로운 마스크를 필요로 하여, 한편으로, 값비싸고, 다른 한편으로 적용된 마스크 구조가 미광 적용에 영향을 미치지 않는 리스크(risk)를 지닌다.
- [0074] 본 발명의 추가적 목적은 투영 대물 렌즈를 가진 투영 노출 장치를 제공하고, 상기 장치로 실행될 수 있는 마이크로리소그래피 생산 프로세스 뿐만 아니라, 상기 프로세스를 통해 생산될 수 있는 구성 요소를 제공하기 위한 것이다.
- [0075] 본 발명에 따르면, 이런 과제는 여기에 설명된 바와 같은 투영 노출 장치 및 제조 방법 뿐만 아니라, 투영 대물 렌즈를 이용하는 방법 하에 제조된 구성 요소, 또는 본 발명에 따른 방법에 의해 해결된다.

## 실시예

- [0099] 도1은 X- 및 Y- 축을 따라 유용한 광선의 분포를 포함하여, 스캐너로서 사용되는 마이크로리소그래피 적용 (microlithography applications)을 위한 투영 대물 렌즈의 필드 평면 내의 노출 필드(15)를 보여준다. 도1에

서, 노출 필드(15)가 위치되는 필드 평면은 평면도로서 보여지며, 이것은 종이의 평면이 필드 평면과 일치하는 것을 의미한다. 더욱이 도1에서, 좌표 시스템(coordinate system)은 소위 스캐너에 대해 스캔 방향이 Y- 방향으로 향해져야 하는 규칙에 따라 필드 평면 내에서 한정된다. 소위 스캐너에서, 미세구조 부품의 마스크 구조(mask structure)는, 전체 마스크 구조의 이미지가 투영 대물 렌즈의 최대 이미지 필드(1)에 비해 너무 크기 때문에, 소위 웨이퍼 상으로 투영 대물 렌즈에 의해 하나의 노출 단계에서 완전히 전사되지 않는다. 대신에, 마스크 구조는 스캐닝 과정에서 투영 대물 렌즈의 물체 또는 마스크 평면을 통해 점진적으로 이동되며, 한편 웨이퍼는 이미지 또는 필드 평면을 통해 동조 이동(synchronized movement)으로 동시에 이동된다. 굴절 요소들만 가지는 종래의 순환적으로 대칭하는 투영 시스템에서, 필드 평면에서의 최대 이미지 필드(1)는 그의 센터가 투영 시스템의 광학축(3)에 의해 한정되는 원형으로 이루어진다. 조명 시스템(illumination system)내에 위치한 필드 구경 조리개(field aperture stops), 소위 REMA(레티클-마스킹(reticle-masking)) 블레이드에 의해, 최대 이미지 필드(1)는 그의 센터가 대물 렌즈의 광학축(3)에 의해 한정되는 원래의 직사각형 노출 필드(15)로 트림(trim)된다. REMA 블레이드는 노출 필드(15) 위에서 그들 자신을 각각 전개 및 철회시키기 위해, 스캐닝 과정의 시작과 끝에서 부가적인 기능을 가진다. 노출 필드(15)의 센터는 도1에서 음영으로 도시된 중앙 영역(5)에 의해 형성된다. 도1에서 마찬가지로 음영으로 도시된 노출 필드의 경계 영역(또한 여기서는 가장자리 영역으로 언급됨)(7, 9)은 스캔 방향에 수직한 방향에서의 노출 필드의 좌측 및 우측 가장자리를 형성하는 직사각형 노출 필드의 이들 경계 영역(7, 9)이다. 스캔 방향에서, 노출 필드(15)의 전방 모서리(11) 및 후방 모서리(13)는 그 사이에 노출 필드(15)가 위치되는 라인이며, 그 사이에서 대물 렌즈에 의해 투영된 광선이 제로보다 더 큰 세기를 가진다. 스캔 방향 및 스캔 방향에 수직한 유용한 광선의 각각의 세기 분포 프로파일은 도1에서 두 개의 다이어그램으로 도시된 바와 같이 서로 상이하다. 스캔 방향에서, 유용한 광선의 세기 분포 프로파일은 이것이 전방 모서리(11) 및 후방 모서리(13)에서 제로의 값을 취하고 중앙 영역(5) 내에서 그의 최대값을 가지도록 조정된다. 이들 두 지점들 사이의 정확한 세기 분포는 스캔 과정에서 미세 구조 부품의 모든 부분적인 영역이 광선의 거의 같은 부분을 받아들이도록 선택된다. 이것은 스캔 방향에서 소위 톱 햇 프로파일(top hat profile), 즉 직사각형 분포 프로파일에 의해서는 성취할 수 없는데, 그 이유는 펄스 레이저(pulsed laser)가 일반적으로 광원으로서 사용되고, 미세구조 부품의 하나의 부분적인 영역이 다른 부분적인 영역보다 하나 이상의 레이저 펄스로부터 광선을 받아들이고, 부분적인 영역마다 또는 노출 필드마다 5 내지 7개의 레이저 펄스가 전형적인 이러한 경우에 이것이 허용될 수 없기 때문이다. 전방 모서리(11) 및 후방 모서리(13)에서 제로의 값으로부터 중앙 영역(5)을 향해 연속적으로 증가하는 스캔 방향에서의 세기 분포에 의해, 미세구조 부품들 상의 그러한 세기 효과는 억제된다.

[0100] 이와는 대조적으로, 스캔 방향에 수직한 세기 분포는 노출 필드(15) 위의 소위 톱 햇 분포(top hat distribution) 또는 직사각형 분포이며, 중앙 영역(5), 경계 영역(7, 9) 및 모든 필드 지점들에 대한 같은 세기 값이 스캔 방향에 수직한 라인을 따라 그 사이에 놓여진다. 이러한 경우에 있어서는, 이러한 세기 분포의 형상은 또한 이것이 스캔 방향 위에서 평균화될 경우 변하지 않는다. 스캔 방향 위에서 평균화되고 유용한 광선에 관한 백분율로 표현된 이러한 세기 분포는 도1의 하부 부분에서 다이어그램으로 도시되어 있다. 이러한 평균화된 세기 분포는 경계 영역(7)에 관한 한은 중앙 영역(5)에 대한 유용한 광선에 비례하여 100%의 같은 값을 가진다.

[0101] 위에서 정의된 미광 성분(stray light component)은 여기서는 스캔 방향 위에서 평균화되고 유용한 광선에 비례하여 상대적인 양으로서, 즉, 다른 말로 하면 도1에서 예시된 바와 같은 스캔 방향에서의 세기 분포의 100% 값에 비례하여 상대적인 양으로서 표현되는 미광 성분으로서 이해된다.

[0102] 스캐너의 노출 필드(15)는 전형적으로 스캔 방향에 수직한 20 내지 30 mm 및 스캔 방향으로 5 내지 10 mm의 길이이다. 이들 치수 외에도, 노출 필드(15)의 중앙 영역(5)은 4 mm의 직경을 초과해서는 안되며, 노출 필드(15)의 경계 영역(7, 9)은, 이들 영역들이 노출 필드(15)의 대부분 위에서 퍼지지 않고 단지 노출 필드(15)의 중앙 및 경계에서 즉시 작은 표면 부분들을 점유해야 하기 때문에, 스캔 방향에 수직한 2 mm의 폭을 초과하지 않아야 한다.

[0103] 도2는 스캐너로서 사용되는 마이크로리소그래피 적용을 위한 투영 대물 렌즈의 필드 평면내의 노출 필드(45)를 도시하며, 노출 필드(45)로서 소위 직사각형 형상의 편심축 필드(off-axis field)(45)를 가진다. 도1의 요소들과 유사한 도2의 요소들은 숫자 30이 더해진 같은 참조 부호를 가진다. 투영 대물 렌즈의 노출 필드(45)와 같은 그러한 직사각형 편심축 필드(45)는 적어도 하나의 반사굴절("catadioptric")에 의한 부분적인 대물 렌즈를 가지는 투영 대물 렌즈에서 전형적이다. "반사굴절"("catadioptric") 특성은 여기서 예를 들면 렌즈와 같은 그러한 굴절 요소들 외에, 예를 들면 미러(mirrors)와 같은 그러한 굴절 요소들이 또한 이미지의 형성에 기여하고

따라서 굴절력을 전달하는 요소들로서 사용된다는 것을 의미한다. 이 시스템들의 접힌 광선 경로(folded ray path)로 인하여, 노출 필드(45)는 이 시스템들의 광학 축(33) 및 최대 이미지 필드(31)에 관하여 옹색된다. 본 명세서에서 광학 축(33) 및 최대 이미지 필드(31)를 언급할 때, 이것은 전체의 최대 이미지 필드(31)는 물론 광학 축(33)이 이들 반사굴절에 의한 투영 대물 렌즈의 투영 이미지(projected image)로 커버될 수 있다는 것을 의미하지 않는다. 완성된 대물 렌즈에서 사용된 광선 전달 패턴이 광학 축(31)에 관하여 회전 대칭으로 접혀지지 않고 광학 요소의 일부의 물리적인 형상이 광학 축(31)에 대해 더 이상 회전대칭을 이루지 않는다고 할지라도, 이것은 단지 이들 반사굴절에 의한 투영 대물 렌즈의 대부분이 여전히 그들의 설계에 관하여 회전 대칭의 관점에서 기술될 수 있다는 것을 나타낸다. 노출 필드(45)로서의 직사각형 편심축 필드(45)를 갖는 반사굴절에 의한 투영 대물 렌즈의 설계의 실례들은 본 출원 명세서의 도14, 도16 및 도17에서는 물론, US 2005/0190435 A1, WO 2004/019128 A2 및 WO 2006/133801 A1에서 도시되어 있다. 스캔 방향 및 그것에 수직한 세기 분포에 관하여 도1의 문맥에서 상술된 것은 또한 직사각형 편심축 필드(45)에 직접 적용될 수 있고, 그러므로 더 이상의 설명이 필요하지 않다. 반사굴절에 의한 투영 대물 렌즈의 직사각형 편심축 필드(45)는 순전히 굴절에 의한 투영 대물 렌즈의 노출 필드(15)와 대략 같은 크기를 가진다. 반사굴절에 의한 투영 대물 렌즈는 액침 대물 렌즈(immersion objective)의 1 보다 더 큰 조리개수 값(numerical aperture values (NA))에서도, 반사굴절에 의한 투영 대물 렌즈가 렌즈- 및 미러 직경을 순전히 굴절 설계와 비교하여 비교적 작게 유지시키기 때문에 액침 리소그래피(immersion lithography)를 위해 주로 사용된다.

[0104]

도3은 스캐너로서 사용되고 노출 필드(65)로서 소위 링 필드(ring field)(65)를 가지는 마이크로리소그래피 적용(microlithography applications)용 투영 대물 렌즈의 필드 평면 내의 노출 필드(65)를 도시한다. 도1의 요소들과 유사한 도3의 요소들은 50이 더해진 같은 참조 부호를 가진다. 그러한 링 필드(65)는 직사각형 필드를 안내하는 접힌 광선 경로(folded light ray path)를 허용하지 않는 설계의 반사굴절에 의한 대물 렌즈에 대해 전형적이다. 스캔 방향 및 그것에 수직한 세기 분포에 관하여 도1의 문맥에서 상술된 것은 또한 링 필드(65)에 직접 적용할 수 있고 그러므로 더 이상의 설명이 필요하지 않다. 스캔 방향에서의 세기 분포는 X-방향에서의 상이한 높이에 의해 그 결과적인 분포가 스캔 방향에서의 모든 세기 분포에 대해 같지 않은 한에 있어서는 도1에 도시된 세기 분포와 상이할 수 있다. 그러나, 이것은 중요하지 않고, 스캔 방향을 따른 세기 분포의 형상에 관계없이, 스캔 방향 위에서 평균화될 때 도1의 하부 부분에서 예시된 형태의 톱-햇 프로파일(top-hat profile) 또는 직사각형 프로파일과 일치하는 스캔 방향에 수직한 세기 분포를 항상 얻도록 모든 스캐너 시스템들이 항상 설계될 때, 이것이 직사각형 필드(15, 45)를 갖는 시스템에서 일어날 경우, 이것은 또한 중요하지 않을 것이다. 반사굴절에 의한 투영 대물 렌즈의 링 필드(65)는 순전히 굴절에 의한 투영 대물 렌즈의 노출 필드(15)의 스캔 방향에 수직한 크기와 대략 같은 스캔 방향에 수직한 크기를 가진다.

[0105]

도4는 스텝퍼(stepper)로서 사용되고 노출 필드(85)로서 정사각형 형상의 필드(85)를 가지는 마이크로리소그래피 적용을 위한 투영 대물 렌즈의 필드 평면에서의 노출 필드(85)를 도시한다. 도1의 요소들과 유사한 도4의 요소들은 70이 더해진 같은 참조 부호를 가진다. 스캐너와 대조적으로, 스텝퍼는 투영 대물 렌즈의 물체- 또는 마스크 평면에 위치되는, 제조될 반도체 요소에 대한 마스크 구조가 그의 완전한 형태로, 즉 스캐닝 과정 없이 필드 평면 내의 노출 필드(85) 속으로 투영되는 그러한 방식으로 작용한다. 그러나, 이것은 투영 대물 렌즈가 스캐너의 경우에서보다 더 큰 노출 필드(85)를 제공할 것을 요한다. 스텝퍼들의 경우에 큰 노출 필드(85)의 대안으로서, 반도체 요소는 소위 스티칭 기술(stitching technique)을 사용하여 각각의 부분들 내의 스텝퍼에서 연속적으로 노출될 수 있다. 이 경우, 스캐너의 경우에서보다 더 작은 노출 필드(85)를 사용하는 것이 또한 가능하다. 스텝퍼에서의 노출 필드(85)는 조명 시스템 내의 REMA 블레이드에 의해 Y-방향은 물론 X-방향에서 임의로 더 크고 더 작게 만들어질 수 있다.

[0106]

스텝퍼에서의 노출 필드(85) 위의 세기 분포는 완전히 동일하며, 따라서 그 결과적인 분포는 Y-방향에서는 물론 X-방향에서 톱-햇-프로파일 또는 직사각형 프로파일을 가진다. 스텝퍼들이 본 특허출원의 범주 내의 스캐너들과 비교될 수 있도록 하기 위해 경계 영역들(77, 79)이 Y-방향에 수직한 스텝퍼 필드의 경계에서 우측과 좌측에 위치되었다. 더욱이, 여기서 기술된 스캐너들과 유사하게, X-방향에서의 세기 분포는 Y-방향 위에서 평균화되며, 이것은 도1의 하부 부분에 도시된 종류의 톱-햇 분포를 초래하고, 이것은 경계 영역(7, 77) 각각에 대해서 처럼, 중앙 영역(5, 75) 각각에 대해 유용한 광선의 100%의 같은 세기 값을 갖는다. 스캐너들과의 공통점을 유지하기 위해, 스텝퍼의 미광 성분(stray light component)은 마찬가지로 Y-방향을 따라 평균화되는 바와 같이 정의된다.

[0107]

도5는 투영 대물 렌즈(103)의 도식적인 예시를 나타내며, 또한 필드 평면(105)에서의 결과로서 일어나는 자연 미광 분포(natural stray light distribution)를 설명하는 역할을 하는 같은 종류의 글래스 실린더(111)로서

투영 대물 렌즈의 대응 모델을 나타낸다. 도5의 상부 부분에서, 투영 대물 렌즈(103)의 도식적인 표현이 광학 축(113)을 따라 네 개의 렌즈(109)로 표시되어 있다. 이러한 투영 대물 렌즈(103)는 마스크 평면 내에 위치되어 있는 마스크(101)의 이미지를 필드 평면(105)으로 투영하는 기능을 가진다. 투영될 마스크는 도면에서 도시되지 않은 조명 시스템으로부터 광선(107)에 의해 이 목적을 위해 균등하게 조명을 받는다. 조명 시스템은 이것에 의해 마스크 위에서 세기 분포를 변경시키지 않고 마스크(101)위로 균등하게 향하는 입사광선(107)의 각도 분포를 변경할 수 있다. 이것은 부분적으로 간섭성 이미지의 이론의 관점에서 기술될 수 있고 마스크(101) 위의 소정의 구조물이 가장 작은 가능한 이미지 사이즈로 투영될 수 있는 목적을 가지는, 반도체 제조업자에게 유용한 소위 상이한 세팅(settings)을 가지는 것을 가능하게 한다.

[0108]

도5의 하부 부분은, 투영 대물 렌즈(103)에 대한 대응 모델로서, 마스크(101) 위로 균등하게 향하는 광선(107)에 의해 균등하게 조명되는 균질의 글래스 실린더(111)를 나타낸다. 그의 횡단면 영역 위에 균등하게 조명되는 이러한 종류의 글래스 실린더(111)는 횡단면 영역의 동일한 크기의 표면 요소들 내에서 동일한 양의 미광을 발생시킬 것이다. 마스크(101)로부터 필드 평면(105)으로의 광학 축(113)을 따른 글래스 실린더(111)가 일련의 많은 그러한 균질하게 조명된 횡단면 영역들로서 간주되고 여기서 조명의 전체적인 세기가 흡수 및 분산으로 인해 마스크(101)로부터 필드 평면(105)으로 광학 축(113)을 따라 감소한다면, 이것은 도5의 하부 우측에서 다이어그램과 일치하는 스캔 방향 Y 위에서 평균화된, 필드 평면(105)에서의 미광 성분을 얻는다. 각 횡단면 영역의 동일한 크기의 표면 요소들의 각각이 동일한 양의 미광을 발생시킨다는 사실로 인해, 미광의 비율은 (도5의 하부 우측에서 다이어그램으로 예시된 바와 같이) 노출 필드의 경계 영역(117)에서보다 필드 평면(105)의 노출 필드의 중앙 영역(115)에서 더 높는데, 그 이유는 중앙 영역(115)은 경계 영역(117)이 받아들이는 것 외에도 각각의 횡단면 영역의 상호 더욱 인접한 표면 요소들의 미광을 받아들이기 때문이다. 원통형 글래스 본체의 균등한 조명의 결과로서 생기는 도5의 하부 우측 부분에서 예시된 바와 같은 노출 필드 위의 미광 성분의 이러한 프로파일은 미광 성분의 내추럴 프로파일(natural profile)로서 이후에 언급될 것이다.

[0109]

도6은 필드 및 동공(pupil)의 개념을 예시하기 위해 기하학적인 광학 기기의 원리에 따른 투영 대물 렌즈의 이미지 형성 광선 패턴을 도시한다. 도6의 투영 대물 렌즈(123)는 두 개의 렌즈들(129)의 기하학적으로 단순화된 표현으로 이루어지는 소위 4f 시스템으로서 도시되며, 그 사이에 동공 평면(pupil plane)(133)과, 렌즈들(129)이 위치되는 두 개의 필드-인접 평면들(field-proximate planes)(135, 137)이 배치된다. 투영 대물 렌즈는 광학 축(131)을 따라 필드 평면(125)으로 광선(127)에 의해 균등하게 조명되는 마스크(121)의 이미지를 투영한다. 이미지-투영 광선 패턴을 설명하기 위해, 마스크(121)의 축 지점(axis point)에 대해 세 개의 특정 광선 경로, 즉, 광학 축(131)을 따른 주광선(principal ray)(139), 상부 구경 광선(aperture ray) 또는 코마 광선(coma ray)(141), 및 하부 구경 광선 또는 코마 광선(143)이 도시된다. 이들 구경 광선 또는 코마 광선들은 최대의 가능한 각도로 축 지점을 떠나는 광선들이며, 여기서 이들은 여전히 투영 대물 렌즈에 의해 이미지로 투영될 수 있다. 또한, 투영 대물 렌즈에 의해 최외측 필드 지점이 투영되는 주광선(149)의 광선 경로가 도시된다. 동공(pupil)은 그의 중앙에서 모든 필드 지점들의 주광선들(139, 149)이 서로 교차하고 그의 크기가 구경 광선들(141, 143)에 의해 결정되는 영역으로서 한정된다. 따라서, 동공은 도6에서 도시된 바와 같이 반드시 동공 평면(133)에 항상 위치될 필요는 없지만, 도6의 것과 같은 표현은 필드 및 동공의 광학 개념의 설명을 용이하게 한다. 그러므로, 도6에 따른 동공 평면(133)은 필드 지점의 주광선(139, 149)이 서로 만나는 광선 전달 방향 또는 Z-방향에 관한 위치이다. 주광선(139)이 광학 축과 일치하기 때문에, 도6의 동공은 또한 필드 지점들의 모든 주광선들(139, 149)이 광학 축과 교차하는 위치이다. 따라서, 필드 지점의 주광선(139, 149)은 동공에서 광학 축으로부터의 높이 또는 거리를 가지지 않는다. 구경 광선(141, 143)은, 다른 한편으로는, 동공의 경계를 한정하며 따라서 동공에서의 모든 가능한 광선의, 광학 축으로부터의 최대 높이 또는 최대 거리를 가진다. 광선의, 광학 축으로부터의 높이 또는 거리는 따라서 대물 렌즈의 광학 요소가 동공(동공-인접) 또는 필드(필드-인접)의 부근에 있는 것으로 언급될 수 있는지에 관해 적당한 기준을 제시한다. 광학 요소의 표면에서, 축 지점 또는 중앙 필드 지점의 구경 광선(141, 143)의 높이 또는 거리가 같은 표면상의 최외측의 투영가능한 필드 지점의 주광선의 높이의 6배보다 많다면, 이때 광학 요소는 여기서 동공 (또는 동공-인접) 부근에 있는 것으로 언급되고, 다른 말로 하면, 이것은 여기서 필드 (또는 필드-인접) 부근에 있는 것으로 언급되며, 여기서 소위 RCR 설계(refractive-catadioptric-refractive designs)(굴절-반사굴절-굴절 설계)에서, 슈만 그룹(Schupmann group)(도16에 도시됨)의 요소들에서 광선의 거리에 대한 기준은 그들의 광학 축이다. 이러한 기준을 기초로, 도6에서의 두 개의 렌즈(129)는 각각 필드-인접 평면들(135, 137)에서 위치되는 것이 명백하다. 더욱이, 필드 및 동공은 공간적인 푸리에 변환(spatial Fourier transform)을 통해 서로 관련되며, 여기서 필드에서의 이미지-형성 광선(139, 141, 143, 149)의 광학 축(131)으로부터의 높이 또는 거리는 동공에서의 광학 축과 이미지-형성 광선(139, 141, 143, 149) 사이의 각도에 대응한다. 동시에, 역관계(inverse relationship)가 또한 취해지는데,

즉, 필드에서의 광학 축과 이미지-형성 광선(139, 141, 143, 149) 사이의 각도는 필드에서의 이미지-형성 광선(139, 141, 143, 149)의, 광학 축(131)으로부터의 높이 또는 거리에 대응한다. 다른 말로 하면, 투영될 수 있는 최외측 필드 지점의 주광선(149)의 광선 경로는 마스크(121)의 이미지 평면에서, 광학 축(131)으로부터 그의 최대 높이 또는 가장 큰 거리를 가지며, 광학 축(131)에 관해 제로의 각도를 가진다. 같은 광선 경로(149)는 동공 평면(133)의 중앙에서 최대 교차 각도로 광학 축(131)을 가로지르며, 즉, 광학 축(131)으로부터의 광선의 높이는 이 지점에서 최소가 되고, 한편 광학 축(131)에 관한 각도는 최대가 된다. 역으로, 구경 광선은 필드 평면(125)과 마스크(121)의 이미지 평면에서 광학 축(131)에 대해 그들의 가장 작은 높이 및 가장 큰 각도를 가지며, 한편 광학 축(131)에 대해 그들의 가장 큰 높이 및 가장 작은 각도는 동공 평면(133)에서 일어난다. 필드 및 동공 사이의 이러한 특수한 관계를 기초로, 필드의 모든 필드 지점 위에서 균일한 효과를 가지는 동공에서의 광선 분포에 대해 조정을 행하는 것이 가능하다. 가장 단순한 가능성은 예를 들면 구경 조리개(aperture stop)로 동공을 조이는 것이며, 따라서 모든 필드 지점들은 필드에서의 각도가 조여진 동공에 의해 허용된 최대의 가능한 구경 각도(aperture angle) 보다 더 큰 광선을 필요로 한다.

[0110] 조명 시스템에 의해, 마스크(121) 위로 균등하게 향하는 광선(127)은 소위 조명 세팅(illumination settings)을 조건으로서 지정하는 고객의 요구를 충족시키기 위해 광학 축에 관해 그들의 각도 분포에 관하여 개조되며, 따라서 상이한 세기를 갖는 상이한 영역은 투영 대물 렌즈의 동공에서 형성되고, 이것에 의해 투영 대물 렌즈의 동공 부근의 렌즈들은 조명 세팅에 따라 상이하게 조명된다. 예를 들면, 적절한 마스크 구조와 결합하여 환형상의 세팅은 결과적으로 동공 부근의 렌즈들이 렌즈의 광학적으로 사용가능한 부분의 경계 영역에서만 광선을 받아들이게 된다. 마스크 구조와 결합하여 조명 세팅의 작동 원리의 설명을 위해, 리더(reader)는 스스로 빛을 받아들이는 대상물체의 부분적인 간섭성 이미지의 이론에 관하여 적절한 문헌을 참조한다.

[0111] 동공, 특히 동공 부근의 렌즈들과 미광(stray light) 사이의 관계에서, 레일리 산란(Rayleigh scattering), 미산란(Mie scattering) 및 기하학적인 산란(geometric scattering)의 세 원인들로 인해, 글래스 재료(glass material)의 불균등성에서 일어나는 파장  $\lambda$ 의 광선의 탄성 산란(elastic scattering)은 항상 유용한 광선의 방향 주위에서 대칭하는 각도분포를 형성한다. 이것은 주광선이 동공에서 굴절율이 크게 각도가 형성되는 필드의 경계에서 필드 지점들에 대해, 그리고 (동공의 중앙 영역만, 즉 주광선에 의해 교차된 영역만 사용되는 세팅인) 작은 시그마 값(sigma value)을 갖는 종래의 세팅에 대해, 동공-인접 렌즈들에서의 미광의 결과적인 각도 분포가 대물 렌즈의 하우징 쪽으로 그리고 광학 축으로부터 멀어지게 외측으로 향해지는 것을 의미하며, 따라서 동공으로부터 필드로의 도중에, 미광은 대물 렌즈의 하우징에 의해 그리고 렌즈 마운트(lens mounts)에 의해 흡수된다. 이것의 결과는 미광의 흡수로 인해, 노출 필드의 나머지 부분에서보다 노출 필드의 경계 영역(147)에서 더 낮은 값을 가지는 필드 위의 미광 성분 프로파일이다. 다른 한편으로는 동공의 경계 영역 및 따라서 구경 광선에 의해 횡단된 영역을 사용하는 환형상의 세팅에 대해, 경계 영역의 필드 지점들과 중앙 영역의 필드 지점들 사이의 구경 광선의 경사 각도에서 일반적으로 대수롭지 않은 차이만 있지만, 동공의 경계 영역이 대물 렌즈의 하우징에 근접하기 때문에, 큰 각도하에서 동공에서 산란되는 미광의 일부분은 가장 강하게 흡수된다. 동공에서의 큰 각도가 푸리에 변환(Fourier transform)에 따라 필드에서의 큰 높이로 전환하므로, 큰 각도하에서 동공 내에서 산란되는 미광은 대물 렌즈의 하우징에서 흡수에 노출되고, 그러므로 노출 필드의 중앙 영역(145)과 비교해 볼 때 경계 영역(147)에서 필요로 한다. 따라서, 특히 환형상의 조명 세팅 (즉, 광선(127)이 좁게 한정된 각도 범위 내의 경사 각도에서 회전 대칭으로 마스크(121) 위로 향하는 세팅)은 종래의 세팅에서 얻어진 프로파일과 질적으로 상이한 미광 성분의 프로파일로 리드(lead)하지 않는다.

[0112] 액침 리소그래피(immersion lithography)용의 투영 대물 렌즈에서, 그의 강한 포지티브 굴절력을 갖는 최근의 렌즈는 광학 소재에서의 광선 경로 길이가 상이한 필드 지점들에 대해 상이한 결과를 가진다. 그러한 렌즈에 대한 노출 필드의 중앙 필드 지점의 모든 이미지-형성 광선과 비교해 볼 때 노출 필드의 경계 영역에서의 필드 지점의 모든 이미지-형성 광선의 상대적인 광선 경로 길이의 차이는 불과 몇 퍼센트밖에 되지않는다. 따라서, 글래스 소재에서의 불균등성으로 인한 미광 성분이 유용한 광선에 의해 글래스 소재에서 이동하는 경로 길이에 직접 의존하므로, 이것은 특히 강하게 산란하는 소재에서 중앙 영역(145)에서보다 노출 필드의 경계 영역(147)에서 더 낮은 값을 갖는 필드 위에서 결과적인 미광 성분 프로파일을 유도한다.

[0113] 도5 및 도6의 문맥에서, 3개의 상이한 효과들이 모두 기술되었는데, 이들은 모두 스캔 방향 위에서 평균화된 미광 성분을 유도하고, 여기서 노출 필드 위의 프로파일은 도6의 우측 부분에서 예시된 바와같이, 노출 필드의 경계 영역(147)에서보다 중앙 영역(145)에서 더 강한 미광 성분을 가진다. 이들 세 효과들은 모두 글래스 소재에서의 불균등성으로 인한 광선의 탄성 산란에 기인하여 1차 미광을 초래하며, 이들은 각각 균등하게 조명된 글래스 본체의 자연 미광 프로파일, 동공 부근의 렌즈의 미광 프로파일, 및 강한 포지티브 필드 렌즈에서의 광선 경

로 길이의 차이로 인한 미광 프로파일이다.

- [0114] 미광의 중요한 원인, 즉, 글래스 소재에서의 불균등성으로 인한 광선의 탄성 산란에 기인한, 바로 위에서 언급한 효과들에 부가하여, 상술한 바와 같이, 미광의 제2의 중요한 원인을 나타내는 표면의 불규칙으로 인한 광선의 산란에 기인하는 중첩 미광(superimposed stray light)이 존재한다. 렌즈는 항상 표면의 모든 부분들 상에서 균일한 끝마무리 품질로 연마되며, 따라서, 필드의 경계 영역으로부터 필드 지점의 이미지-형성 광선 경로가 광학 축에 관해 그리고 굴절 표면에 관해 중앙 영역으로부터 필드 지점의 이미지-형성 광선 경로보다 전체적으로 훨씬 강하게 경사지는 것으로 추론되는 상기 트레인(train)은, 미광의 각도 분포가 표면 산란의 경우에 또한 유용한 광선의 방향에 회전 대칭한다는 사실과 결합하여, 마찬가지로 표면의 불규칙으로 인한 산란이 필드의 경계 영역에서보다 필드의 중앙 영역에서 더 강한 스캔 방향 위에서 결국 미광 성분으로 되어, 필드 위에서 프로파일에 의해 특징 지워진다.
- [0115] 임의의 회절성 대상물체에 의해 야기되고 그러므로 종래의 범주화에 따라 제1 및 제2의 원인들로 나누어질 수 없는 미광의 경우에, 필드의 중앙 및 경계 영역들에서 미광 성분에 관해 어떠한 포괄적인 설명도 이루어질 수 없다.
- [0116] 도7은 여기서 관찰된 측정 규칙에 따라서 노출 필드 위의 X-방향을 따라 프로파일 그래프로써 현재의 설계의 마이크로리소그래피 투영 대물 렌즈에 대해, 스캔 방향 위에서 평균화된 전형적인 미광 성분(151)을 도시한다. 명백한 바와 같이, 미광 성분(151)은 이것이 경계 영역(157)에서 유용한 광선에 관해 0.6%의 값을 갖는 것보다 유용한 광선에 관해 0.8%의 값을 갖는 필드의 중앙 영역(155)에서 더 높다.
- [0117] 도8은 액침 리소그래피용 투영 노출 장치(201)의 광학 부분을 도식적으로 도시한다. 투영 노출 장치(201)는 193 nm 의 파장을 갖는 광원으로서 엑시머 레이저 장치(excimer laser)(203)를 가진다. 하나의 대안으로서, 이것은 또한 248 nm 또는 157 nm 과 같은 그러한 다른 파장을 사용하는 것이 가능하다. 광원의 광선 경로 하류에 배열된 조명 시스템(205)은 광선 경로의 다음에 오는 투영 대물 렌즈(211)의 대상 물체 평면(207)인 동시에 그의 이미지 평면(207)에서 날카롭게 경계가 정해진 균등한 조명 필드를 산출한다. 이러한 배열에서 일반적으로, 조명 시스템(205)의 출력 측에서의 광선의 기하학적인 배열은 투영 시스템(205)의 입력 측에서의 광선의 기하학적인 배열에 적응된다. 상술한 바와 같이, 조명 시스템(205)은 대상물체 평면(207)상에 떨어지는 광선(207)의 각도 분포를 구성하고 입사 광선의 편광 상태를 제어하기 위한 수단을 포함한다. 소위 레티클 스테이지(reticle stage)는 조명 시스템의 대상물체 평면에서 마스크(213)를 지지하며, 스캐닝 과정에 따라서 스캔 방향(215)을 따라 마스크를 이동시킨다. 동시에 마스크 평면(207)을 나타내는 대상물체 평면(207)에 뒤이어, 투영 대물 렌즈(207)가 광선 경로를 따라 다음에 배치되어, 마스크(213)의 감소된 이미지를 웨이퍼(219)상으로 투영한다. 웨이퍼(219)는 빛에 민감한 소위 포토레지스트(photoresist)(221)를 지니며, 투영 대물 렌즈(211)의, 이미지 평면(223) 또는 필드 평면(223)에 포토레지스트(221)를 갖는 웨이퍼(219)의 평평한 표면이 위치되도록 배치된다. 웨이퍼(219)는 소위 웨이퍼 스테이지(217)에 의해 지지되며 마스크(213)의 이동과 동조되는 비율로 전진된다. 웨이퍼 스테이지(217)는 또한 광학 축(225)을 따라 또는 그것에 수직하게 웨이퍼(219)를 이동시킬 수 있는 조정장치를 가진다. 마찬가지로 광학 축(225)에 수직한 축을 중심으로 웨이퍼(219)를 기울일 수 있는 기울기 조정장치가 웨이퍼 스테이지(217)에 내장된다. 웨이퍼 스테이지(217)는 특히 액침 리소그래피를 위해 설계되며, 침액(immersion liquid)(231)을 함유하기 위한 림(rim)(229)은 물론 기관(219)용의 얇은 리세스(shallow recess)를 갖는 홀더 부재(227)를 포함한다.
- [0118] 액침 리소그래피 적용을 위한 투영 대물 렌즈(211)는 1.0보다 더 큰, 양호하게는 1.2보다 더 큰 이미지-축 조리개수(numerical aperture) NA를 가지며, 1.5보다 더 큰 것이 오히려 훨씬 더 바람직하다. 투영 대물 렌즈(211)는 마스크 평면으로부터 필드 평면으로 전달하는 광선의 방향에서 보여지는 바와 같이 하부측면(235)이 광선 경로에서의 투영 대물 렌즈(211)의 맨끝의 광학 표면인 평면-볼록 렌즈(233)를 필드 평면(223) 앞의 맨끝의 광학 요소로서 가진다. 이러한 하부 측면(235)은 침액(231)에 완전히 담겨진다.
- [0119] 반구형의 평면-볼록 렌즈(233)는 양호하게는 다결정질 소재(polycrystalline material)로 이루어지며 그의 현미경 구조가 도9에서 도시되어 있다. 투영 대물 렌즈의 더 이상의 렌즈(237)가 또한 다결정질 소재로 이루어지는 것을 생각할 수 있다.
- [0120] 도9는 다결정질 소재의 현미경 구조를 도식적으로 도시하며, 스케일이 정확한 것은 아니다. 여기서 도시된 소재(300)는 다결정질 마그네슘 스피넬( $MgAl_2O_4$ )이며, 각각의 크리스탈 바운더리(303)에 의해 경계가 정해진 다수의 상이한 방향성의 크리스탈(302)을 가진다. 이 실례에서 평균 크리스탈 크기는 대략 25  $\mu m$  이다. 크리스탈들(302) 사이에는 공동 스페이스(hollow spaces) 또는 버블이 산재되며, 이 실례에서 그의 평균 크기는 약 1  $\mu m$

이다. 다른 다결정질 소재들이 마찬가지로 광학 소재로서 사용하기 위해 생각할 수 있고, 예를 들면 다른 다결정질 스피넬들, 다결정질 YAG [이트륨 알루미늄 가닛 ( $Y_3Al_5O_{12}$ )], 다결정질 LuAG [루테튬 알루미늄 가닛 ( $Lu_3Al_5O_{12}$ )], 다결정질 산화 마그네슘 ( $MgO$ ), 다결정질 산화 베릴륨 ( $BeO$ ), 다결정질 산화 알루미늄 ( $Al_2O_3$ ), 다결정질 산화 이트륨 ( $Y_2O_3$ ), 또는 예를 들면  $BaLiF_3$  또는  $LaF_3$  와 같은 그러한 높은 굴절률을 갖는 다결정질 불화물의 사용을 생각할 수 있다.

[0121]

도10은 WO 2006/061225에서 기술된 대응하는 미광 모델에 따른 평균 크리스탈 치수 D의 함수로서 40 mm 두께를 갖는 스피넬의 균등한 다결정질 소재의 유용한 광선에 관해 미광 성분을 퍼센트로 도시한다. 이 미광 모델은, 광선 경로를 따라 크리스탈의 상이한 방향성에 기인하여 굴절을 변동을 초래하는 미광  $I_{ret}$  을 고려하는 것 외에도, 크리스탈 바운더리(303)에서 일어나는 전반사(total reflection)를 초래하는 미광 성분  $I_{scat}$  을 또한 포함한다. 이것은 결국 도10에서  $I_{sum}$ 으로 도시된 미광에 대한 전체 미광 성분이 되며, 화살표 P로 표시된 크리스탈 크기에 대해 그의 최대값을 가진다. 더욱이, 40 mm 두께의 스피넬의 다결정질 소재의 모델-의존형 미광 성분은 도 11에 도시되어 있고, WO 2006/061255에서 대응 미광 모델에 따른 평균 버블 직경의 함수로서 유용한 광선에 관해 퍼센트로 표현된다.

[0122]

WO 2006/061255 또는 도10 및 도11에서의 미광 모델을 기초로, 다결정질 소재에서의 평균 크리스탈 크기 및 평균 버블 직경에 대한 특정 파라미터 범위만, 투영 대물 렌즈의 미광 성분이 그렇지 않다면 너무 크기 때문에, 마이크로리소그래피 적용을 위한 투영 대물 렌즈에서 이러한 종류의 소재를 사용하기에 적합하다. 그러나, 도10 및 도11은, 비록 미광에 관하여 최적인 파라미터 범위가 다결정질 스피넬 소재의 제품에서 부착된다고 할지라도, 40 mm의 두께를 갖는 스피넬의 광학 요소가 유용한 광선에 관하여 약 0.4%의 미광 성분을 여전히 산출한다는 결과를 보여준다. 또한, 광선의 균등한 흐름을 가지는 본체의 상술한 자연 미광 분포를 고려함으로써, 결과적으로 필드 평면 직전의 다결정질 소재의 마지막, 필드-인접 렌즈에 대해, 스캔 방향 위에서 평균화된, 미광 성분의 프로파일은 유용한 광선에 관해 0.4%의 전체 필드 평면 위에서 변위(variation)를 가진다. 스캔 방향 위에서 평균화된 그러한 필드-인접 렌즈의 미광 성분에 대한 필드 평면에서의 노출 필드 위의 정확한 변위량은, 필드 평면으로부터 렌즈의 거리는 물론, 노출 필드와 렌즈의 정확한 기하학적인 형상에 의존하며, 이것은 상기 변위를 전적으로 상술한 값의 절반만으로 되게 하는 것을 가능하게 한다. 따라서, 대물 렌즈의 마지막 렌즈로서 사용된, 스피넬의 강한 포지티브 단일 렌즈는 노출 필드 위에서 현재의 설계의 전체 투영 대물 렌즈의 변위의 대략 절반인 미광의 변위를 가진다.

[0123]

도12는 필드의 위의 결과적인 미광 성분(411, 413)은 물론, 마지막 렌즈(400)의 다결정질 소재에서의 불균등성(407)에서의 산란에 관해 그리고 마지막 렌즈의 표면 거칠기(403)를 적용시키는 것에 관해 중요한 개념을 예시하기 위한 스케치를 나타낸다. 도12에서, 투영 대물 렌즈의 마지막 렌즈(400)는 마지막 렌즈(400)의 바로 뒤의 광학 축(401)에 수직하게 연장하는 필드 평면(405) 앞쪽에 위치된다. 글래스 소재의 불균등성은 미광의 각도 분포를 나타내는 스캐터 로브(scatter lobes)(407)로서 렌즈(400)에서 부호로 표시된다. 스캔 방향 위에서 평균화되고 유용한 광선에 관한 퍼센트로서 표현된, 글래스 소재(볼륨 스캐터(volume scatter))의 불균등성에 기인한 렌즈(400)의 미광 성분(411)은 X-방향을 따라 필드 위의 프로파일 그래프로서 도12의 중간 부분에 도시된다. 다결정질 소재로 이루어지고 마스크 평면으로부터 필드 평면으로 광선 방향에서 필드 평면 앞쪽의 마지막 위치에 배열된 렌즈의 볼륨 스캐터에 기인하여 미광 성분(411)에 관한 현재의 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo simulations)은 결과적으로 스캔 방향 위에서 평균화되고 유용한 광선의 비율로서 표현된 미광 성분이 노출 필드의 중앙 영역(415)에서 약 0.4%이고 노출 필드의 경계 영역(417)에서 약 0.2%가 되고, 따라서 상술한 WO 2006/061225의 미광 값을 확인해준다. 스피넬로 이루어진 마지막 렌즈의 볼륨 스캐터에 기인한 미광 성분(411)을 보상하기 위해, 상부 측면(402)의 표면 거칠기, 즉, 필드 평면(405)으로부터 멀리 향하는 마지막 렌즈의 측면은 추가적인 미광 성분(413)의 결과를 산출하는 경계 영역(403)에서 증가된다. 상부 측면(402)의 표면 거칠기의 변화는, 결국 거의 일정한 전체적인 미광 성분이 되도록, 노출 필드 위의 프로파일이 볼륨 스캐터에 기인한 미광 성분(411)을 보완하는 추가적인 미광 성분(413)을 초래하도록 선택된다. 유용한 광선의 비율로서 표현되고 스캔 방향 위에서 평균화된, 표면 거칠기에 기인한 추가적인 미광 성분(413)은 X-방향을 따라 필드 위에서 프로파일 그래프로서 도12의 우측 부분에서 도시된다. 마지막 렌즈의 상부 측면(402)상의 표면 거칠기를 변화시킴으로써, 매우 작은 양의 추가적인 미광(413)만 노출 필드의 경계 영역(417)과 대조적으로, 노출 필드(415)의 중앙 영역에 도입되고, 여기서 추가된 양의 미광은 약 0.5%이고, 이것은 마지막 렌즈의 볼륨 스캐터로부터 나오는 미광(411)을 보상한다. 상부 측면(402)의 표면 거칠기는 재가공 작업에서 반드시 산출될 필요는 없고; 이것은 또한 렌즈의 생산 공정 중 미리 적용될 수 있다.

- [0124] 도13은 스캔 방향 y 위에서 평균화되고 필드를 따라 X-방향에서 프로파일 그래프(501)로서 나타낸, 본 발명에 따라 보정된, 마이크로리소그래피 적용을 위한 투영 대물 렌즈의, 유용한 광선에 관한 비율로서 표현된, 미광 성분을 도시한다. 도13의 미세한 점선은, 마지막 렌즈 요소가 다결정질 소재로 이루어지지 않는 투영 대물 렌즈의, 스캔 방향 위에서 평균화된, 미광 성분을, 중앙 영역(505) 및 경계 영역(507)과 함께 노출 필드 위에서 X-방향을 따라 프로파일 그래프(503)의 형태로 나타낸다. 필드 위에서의 변화는 이러한 미광 성분에 대해 0.2%보다 더 작고, 그러므로 미광 성분은 이러한 적용의 경계 내에서 일정한 미광 성분으로 이루어진다. 0.2%의 높이를 갖는 수평 그리드 라인(grid lines) 및 밴드(bands)(509)는 미광 성분이 이러한 적용 내에서 일정한 것으로 간주되는 범위를 나타내기 위한 그래픽 백그라운드(graphic background)의 역할을 한다. 마지막 렌즈가 다결정질 소재로 이루어지는 유사한 투영 대물 렌즈의 미광 성분은 도13에서 참조부호(502)를 갖는 점선으로 표시된다. 미광 성분(502)은 일정한 미광 성분(509)에 대해 허용할 수 있는 것보다 필드 위에서 더 강한 변화를 보여준다. 도13에서 굵은 실선(501)은 다결정질 소재의 마지막 렌즈에서, 본 발명에 따라 보정된 투영 대물 렌즈의 미광 성분을 나타낸다. 본 발명에 따라 보정된 투영 대물 렌즈의 이러한 미광 성분(501)은 그 사이에서의 모든 필드 지점들에서는 물론 중앙 영역(505)과 경계 영역(507)에서 유용한 광선에 관해 약 1.3%에 이르는 미광 성분을 가진다. 따라서, 이것은 유용한 광선에 관해 0.2%보다 훨씬 아래의 노출 필드 위에서의 변화와 함께, 스캔 방향 위에서 평균화된, 매우 일정한 미광 성분을 나타낸다.
- [0125] 본 발명은 다결정질 소재의 마지막 렌즈를 갖는 투영 대물 렌즈의 보정에 대해서뿐만 아니라 현재의 투영 대물 렌즈의 개선에 대해 훨씬 적합하며, 따라서 이들은 노출 필드 위에서 0.2% 이하의 변화를 갖는 일정한 미광 성분을 가질 것이다.
- [0126] 도14는 1보다 더 큰 이미지-측 조리개수를 갖는 액침 리소그래피(immersion lithography)용 투영 대물 렌즈의 소위 2-미터 설계(2100)를 도시한다. 상기 설계(2100)는 US 2005/0190435 A1의 도38로부터 차용되었고, 같은 참조 부호를 유지한다. 증가된 표면 거칠기의 영역(2003)에 대한 참조 부호만 US 2005/0190435 A1의 도38과 비교하여 새로 추가된다. 설계(2100)는, 광선 경로의 접어 포개진 구성이 그렇지않다면 시각화될 수 없기 때문에, 도14a에서 X-Y 단면도로, 따라서 광학 Z-축의 방향 및 스캔 방향 y 에 의해 한정된 평면으로 도시된다. 같은 형태의 표현이 또한 이후에 기술된 반사굴절에 의한 설계의 전체에서 사용된다. 마스크 평면(2101)은 연장된 중간 이미지 평면(2103) 상으로 제1 굴절 대물 렌즈 그룹(2110)에 의해 투영된다. 제1 굴절 그룹은 동공(pupil) 또는 조리개 평면 A를 가진다. 미러(2121, 2122)를 가지는 미러 그룹(2120)은 연장된 중간 이미지 평면(2103)을 더 이상 연장된 중간 이미지 평면(2104)으로 투영한다. 제2 굴절 대물 렌즈 그룹(2130)은 연장된 중간 이미지 평면(2104)을 필드 평면(2102)으로 투영한다. 마스크 평면(2101)으로부터 필드 평면(2102)까지의 광선의 방향에서 필드 평면(2102) 앞쪽에 있는 마지막 렌즈는 참조 부호(2150)를 가진다. 본 발명에 따라 표면 거칠기를 증가시킴으로써 노출 필드 위의 미광 성분의 변화를 보정하기에 적합한 노출 필드(2102) 부근 또는 중간 필드 평면(2103, 2104) 부근의 필드-인접 광학 요소의 표면 영역은 굵은 톱니 라인(2003)으로 표시된다. 더욱 명확하게 하기 위해, 제2 굴절 그룹(2130)의 하부 부분은 도14b에서 확대된 도면으로 도시된다. 더욱이, 마스크 평면(2101)으로부터 필드 평면(2102)까지의 광선의 방향으로 필드 평면(2102) 앞쪽에 있는 마지막 광학 요소(2150)의 표면의 영역(2005)은 도14b에서 음영 바(shaded bars)로 표시되어 있고, 여기서 구경 조리개(aperture stop)는 미광, 특히 필드 범위 밖의 미광(out-of-field stray light)을 감소시키기 위해 적절히 배열될 수 있다. 이 구경 조리개는 마지막 광학 요소(2150)와 필드 평면(2102) 사이의 기계적인 필드 구경 조리개에 의해 실현될 수 있다. 그러나, 도14b에서 음영 바에 의해 표시되는 마지막 광학 요소의 표면 부분(2005)을 마스크(masking) 함으로써 구경 조리개를 실현하는 것이 더욱 유리하며, 그 이유는 이것이 어떠한 공간적인 간섭도 일으키지 않고 침액(immersion liquid)의 유체 역학(flow dynamics)에 대해 어떠한 악영향도 갖지 않기 때문이다. 이러한 마스크는 도14b에서 음영으로 표시된 영역(2005) 위에 흡수 또는 반사 코팅을 배치함으로써 비용-효과적으로 성취될 수 있다.
- [0127] 그러나, 도14a 및 도14b에서의 설계의 표현에서, 이 설계는 Y-Z 단면도로, 따라서 스캔 방향으로 도시된 것이 주목되어야 하며, 그 이유는 이 설계의 구조적인 개념이 X-Z 단면, 즉, 스캔 방향에 대해 수직하게 표현될 수가 없기 때문이다. 도14a 및 도14b에서의 굵은 톱니 라인은 본 발명에 따른 표면 거칠기의 적용을 위해 고려될 수 있는 필드-인접 표면들만 도시하며, 반면에 노출 필드의 외측 필드 지점의 광선에 의해 만나거나 또는 횡단되는 필드-인접 표면의 이들 영역(2003)이 더 높은 표면 거칠기를 가지는 본 발명에 따른 원리를 단순히 예시한다. 스캔 방향 위에서 평균화된 미광 성분이 노출 필드 위에서 스캐닝 방향에 수직하게 변하는 양을 감소시키기에 적합한 증가된 표면 거칠기를 갖는 필드-인접 표면의 영역(2003)은 이 설계의 X-Z 단면에서 더욱 양호하게 예시될 수 있다. X-Z 단면도로 도시된 바와 같이, 증가된 표면 거칠기를 갖는 영역(2003)은 이들이 광학적으로 사용

된 영역의 중앙의 (x-방향에 관해) 우측 및 좌측으로 경계에서 동일하게 위치되는 그러한 방식으로 광학 요소 위에 배열되며, 따라서 이들은 중앙 영역의 (x-방향에 관해) 우측 및 좌측으로 경계 영역에서, 스캐닝 방향 위에서 평균화된, 미광 성분 위에서 동일한 효과를 가진다.

[0128] 도15는 1.2의 이미지-측 조리개수를 갖는 액침 리소그래피(immersion lithography)용 투영 대물 렌즈의 소위 4-미러 설계 PL1를 도시한다. 이 설계 PL1는 US 2007/0024960 A1의 도9로부터 차용되었고, 같은 참조 부호를 유지한다. 필드 평면 W1에 대한 참조 부호만 US 2007/0024960 A1의 도9와 비교하여 새로 추가된다. 마스크 평면 R1은 렌즈 L1 내지 L4를 갖는 단순히 굴절하는 서브그룹 G11으로 이루어지는 제1 반사굴절 대상물체 그룹 G1 및 렌즈(5)와 미러 M1 및 M2로 이루어지는 반사굴절 서브그룹에 의해 중간 이미지 평면 Q 위로 투영된다. 중간 이미지 평면 Q는 두 개의 미러 M3 및 M4로 이루어지는 제2 반사굴절 대상물체 그룹 G2, 렌즈 L6 및 L7을 갖는 굴절 서브그룹 G21, 렌즈 L8 내지 L12를 갖는 반사 서브그룹 G22, 및 렌즈 L13 내지 L18을 갖는 반사 서브그룹 G23에 의해 렌즈(18)의 바로 뒤쪽의 필드 평면 W1으로 투영된다. 동공 평면(pupil plane) 또는 구경 평면(aperture plane) AS1은 서브그룹 G22와 G23 사이에 위치된다. 미러 표면 M2 및 M3를 연장하는 점선은, 비록 그러한 설계의 광학 요소들의 실제의 물리적인 형상 또는 실제의 광선 경로의 기하학적인 형상이 이러한 회전 대칭을 보여주지 않는다고 할지라도, 반사굴절 설계가 회전 대칭 설계의 전문 용어를 통해 일반적으로 기술될 수 있는 상기 설명을 예시한다. 이러한 사고 과정(thought process)을 알아보기 위해, 도15에 도시된 설계 PL1는 광학축 AX1을 중심으로 회전되어야 한다. 이러한 회전 후에, 모든 광학 요소들은 광학축 AX1에 관해 회전 대칭을 가지며, 광학축 AX1은 이제 또한 설계 PL1 내의 모든 광학 요소들의 광학축이다.

[0129] 마스크 평면 R1으로부터 필드 평면 W1까지의 광선 경로의 방향에서, 본 발명에 따라 표면 거칠기를 증가시킴으로써 노출 평면 위의 미광 성분의 변화를 보정하기에 적합한, 필드 평면 W1 부근의, 또는 중간 이미지 평면 Q 부근의 필드-인접 표면 영역은 이러한 설계 PL1에서 미러 표면들 M1 내지 M4의 전체 및 렌즈 L5, L6 및 L18의 표면들이다.

[0130] 도 16은 1.25의 이미지측 개구수를 가진 액침 리소그래피용 투영 대물 렌즈의 소위 RCR 설계 (refractive-catadioptric-refractive design)를 도시한 것이다. 이 설계는 WO 2004/019128 A2의 도 19에서 도입되었으며, 여기서, 참조 심벌은, 그룹 및 렌즈의 각 참조 심벌이 제로(0)를 부가하여 전개된 것을 제외하고, 최대 범위까지 유지되었지만, 필드 평면에 대한 참조 심벌 W1, 제 1 방향 변경 미러에 대한 참조 심벌 M10, 및 제 2 방향 변경 미러에 대한 참조 심벌 M20은 WO 2004/019128 A2의 도 19와 비교해 볼 때 새로이 부가되었다. 렌즈 LI10 내지 LI100를 가진 제 1 굴절 대물 렌즈 그룹 G10은 마스크 평면 R1을 제 1 방향 변경 미러 M10 후에 제 1 확장된 중간 이미지 영역으로 투영시킨다. 렌즈 L210, L220 및 구형 미러 CM로 이루어진 반사 굴절 그룹 G20은 길이 방향 색수차(chromatic aberration)의 보정을 위한 소위 슈만 아크로마트(Schupmann achromat)를 형성하고, 제 1 확장된 중간 이미지 영역을 제 2 방향 변경 미러 M20 전에 제 2 확장된 중간 이미지 영역으로 투영시킨다. 제 2 중간 이미지 평면은 렌즈 L310 내지 L3150를 가진 제 2 굴절 대물 렌즈 그룹 G30에 의해 렌즈 L3150 바로 아래의 필드 평면 W1로 투영된다. 제 2 굴절 대물 렌즈 그룹은 AS로서 식별된 동공 평면 또는 구경 평면을 갖는다. 이미 상술된 바와 같이, 슈만 아크로마트 또는 그룹 G20의 광학 축은, 제 1 방향 변경 미러 M10 후 및 제 2 방향 변경 미러 M20 전의 모든 요소에 관하여 여기에 이용되는 바와 같이 필드 및 동공의 개념의 정의를 위한 참조 축을 나타내는데, 그 이유는, 여기에 제공된 모든 다른 설계와는 대조적으로, 광학 축에 관한 설계의 순환적 대칭은 이들 방향 변경 미러에 의해 깨어진다. 마스크 평면 R1에서 필드 평면 W1으로의 광선 경로의 방향에서 필드 평면 W1 근처, 또는 중간 이미지 평면 Q 근처의 필드-인접 표면은, 본 발명에 따라, 표면 거칠기를 증가시킴으로써 노출 필드에 걸친 미광 성분의 변동을 보정하는데 적절하고, 이 RCR 설계에서는 방향 변경 미러 표면 M10 및 M20일 뿐만 아니라 렌즈 L100, L310 및 L3150의 표면이다.

[0131] 도 17은 1.75의 이미지측 개구수를 가진 액침 리소그래피용 투영 대물 렌즈의 다른 2-미러 설계(800)를 도시한 것이다. 이 설계(800)는 US 2006/133801 A1의 도 8에서 도입되었으며, 여기서, 참조 심벌은 최대 범위까지 유지되었다. 대물 렌즈 그룹 G100 내지 G900의 참조 심벌만이 더블 제로(double zeros)를 부가함으로써 US 2006/133801 A1의 도 8과 비교하여 전개되었다. 제 1 굴절 대물 렌즈 그룹 ROP1은 마스크 평면 OP를 확장된 중간 이미지 평면 IMI1으로 투영시킨다. 제 1 굴절 그룹은 AS로서 식별된 동공 평면 또는 구경 평면을 갖는다. 확장된 중간 이미지 평면 IMI1은 미러 CM1 및 CM2를 가진 미러 그룹 COP2에 의해 다른 확장된 중간 이미지 평면 IMI2로 투영된다. 제 2 굴절 대물 렌즈 그룹 ROP3은 확장된 중간 이미지 평면 IMI2을 필드 평면 IP로 투영시킨다. 마스크 평면 OP에서 필드 평면 IP로의 광선의 방향에서 필드 평면 IP 전의 최종 렌즈는 참조 심벌 LOE를 지니고, 부분 렌즈 간에 침액을 가진 2개의 부분 렌즈 LOE1 및 LOE2로 이루어진다 (도 18의 설명 참조).

[0132] 마스크 평면 OP에서 필드 평면 IP로의 광선 경로의 방향에서 필드 평면 IP 근처, 또는 확장된 중간 이미지 평면

IMI1 및 IMI2 근처의 필드-인접 표면은, 본 발명에 따라, 표면 거칠기를 증가시킴으로써 노출 필드에 걸친 미광 성분의 변동을 보정하는데 적절하고, 이 설계(800)에서는 미러 표면 CM1 및 CM2일 뿐만 아니라, 마스크 평면 OP에서 이미지 평면 IP로의 광선 경로의 방향에서 렌즈 B800, LOE 및 CM1 전의 렌즈의 표면이다.

[0133]

도 18은 마스크 평면 OP에서 이미지 평면 IP로의 광선 경로의 방향에서 필드 평면 IP 전의 최종 렌즈 요소 LOE를 도 17의 설계(800)의 상세 사항으로서 도시한 것이다. 이 렌즈 요소는 부분 렌즈 LOE1에 대한 석영 유리 및 부분 렌즈 LOE2에 대한 사파이어로 이루어지며, 여기서, 후자의 결정학 축은 광학 축 AX와 평행한 방향 CA로 지향된다. 2개의 부분 렌즈 LOE1 및 LOE2 간에는 침액이 존재한다. 고 굴절율을 가진 다른 결정 재료는 또한, 예컨대, 스피넬 ( $MgAl_2O_4$ ), YAG [이트륨 알루미늄 가닛 ( $Y_3Al_5O_{12}$ )], 마그네슘 산화물 ( $MgO$ ), 베릴륨 산화물 ( $BeO$ ), 알루미늄 산화물 ( $Al_2O_3$ ), 이트륨 산화물 ( $Y_2O_3$ ) 또는 란타넘 불화물 ( $LaF_3$ )과 같이 부분 렌즈 LOE2에 대해 WO 2005/133801 A1에서 기술된다. 액침 리소그래피의 문맥에서, 고 이미지측 개구수가 설계 시 필요 조건으로서 지정될 시에, 이미지측 개구수의 값이 노출 필드 전의 최종 광학적 요소의 굴절율을 초과하지 않아야 하는 WO 2006/133801 A1의 요지를 주목하는 것이 중요하다. 이러한 경우에 있어서는, 설계(800)의 경우에서와 같이, 최종 렌즈 요소에 대해 1.7보다 큰 개구수를 가진 설계가 적용 가능한 동작 파장에서의 1.7보다 큰 굴절율을 가지는 것이 중요하다. 도 18에서 제 2 부분 렌즈 LOE2의 재료로서 이용되는 사파이어는 193 nm의 동작 파장에서 1.92의 굴절율을 가져, WO 2006/133801 A1의 요지에 따라, 설계(800)의 1.75의 이미지측 개구수로부터의 충분한 수치 거리(numerical distance)를 갖는다. 그러나, 또한, 노출 필드 전의 최종 렌즈가 1.7 주변의 고 개구수 값을 동시에 실현하도록 예컨대 193 nm의 동작 파장에서 1.7보다 큰 굴절율을 가진 다결정 재료로 이루어지는 설계에 설계(800)를 적응시키는 주요 과제를 수반하지 않는다.

[0134]

도 19는 소위 EUV (극자외선) 리소그래피에서의 적용을 위한 투영 대물 렌즈의 6-미러 설계를 도시한 것이다. 이 설계는 US 2004/0051857 A1의 도 1에서 도입되었으며, 상당한 범위까지, 숫자 5만이 부가된 동일한 참조 심벌을 유지한다. 제 1 반사 대물 렌즈 그룹 G15는 미러 M15 및 M25에 의해 마스크 평면 OB5을 중간 이미지 IMI5로 투영시킨다. 상기 대물 렌즈 그룹은 동공 평면 또는 구경평면 APE5을 포함한다. 제 2 반사 대물 렌즈 그룹 G25는 미러 M35, M45, M55, 및 M65에 의해 중간 이미지 IMI5를 필드 평면 IM5로 투영시킨다. EUV 리소그래피용 투영 대물 렌즈는 보통, 현재에는 100 nm 미만의 파장에 대해 충분히 투명한 재료가 존재하지 않음에 따라 다수의 미러로 이루어진다. 이러한 경우에 있어서는, 유리 재료의 불균등성으로부터 생성하는 미광 성분의 부분에 대해 노출 필드에 걸친 프로파일을 균등하게 하는 과제는 그 자체를 이들 투명 대물 렌즈 내에 제공하지 않는다. 그러나, 동일한 표면 마무리한 미러는 공기 중에 약 1.5의 굴절율을 가진 렌즈만큼 큰 약 16 배의 광선을 산란시킨다. 결과적으로, EUV 투영 대물 렌즈는 광학적 요소의 표면 특성으로 인한 미광에 관하여 통상의 굴절 시스템보다 훨씬 중요하다. 부가적 요소로서, 광학적 요소 자체의 연마 뿐만 아니라, 상당한 반사 코팅은 미광의 소스로서 EUV 대물 렌즈에서 큰 역할을 한다. 이러한 경우에 있어서는, 또한, EUV 리소그래피에 이용되는 투영 대물 렌즈에서, 본 발명에 따라 노출 필드에 걸친 프로파일에서 스캔 방향에 걸쳐 평균화되는 미광 성분을 감소시키거나, 이 특히 출원에 따라 스캔 방향에 걸쳐 평균화되는 미광 성분이 노출 필드에 걸쳐 일정한 프로파일을 확실히 갖도록 측정을 하는 것이 실제로 이득이다. 마스크 평면 OB5에서 필드 평면 IM5로의 광선 경로의 방향에서 중간 이미지 평면 IMI5 근처의 필드-인접 표면은, 본 발명에 따라, 표면 거칠기를 증가시킴으로써 노출 필드에 걸친 미광 성분의 변동을 보정하는데 적절하고, 이런 설계에서는 미러 표면 M25, M35 및 M45이다. 투영 대물 렌즈의 미러 상에서 광학적으로 이용되는 영역이 많은 경우에 투영 대물 렌즈의 광학 축 OA5로부터 상당한 거리에 위치될 시에, 광학 축은, EUV 리소그래피용 투영 대물 렌즈에서 동공-근접(close-to-pupil) 및 필드-인접 요소를 구별하기 위해 상술된 정의 하에 더 이상 거리에 대한 참조 축으로서 역할을 할 수 없다. 오히려, 표면의 광학적으로 사용된 영역의 기하학적 중심점에서의 법선 벡터(normal vector)는 거리에 대한 새로운 참조 축의 역할을 하도록 선택되며, 이에 따라 EUV 리소그래피용 투영 대물 렌즈에서의 동공-인접 및 필드-인접 요소가 구별된다. 광학적 요소의 표면 상의 노출 필드의 중심 필드점의 구경광선이 광학적 요소의 동일한 표면 상의 노출 필드의 경계 지점의 주요 광선이 상기 법선 벡터에서 갖는 거리의 6배인 규정된 법선 벡터에서의 거리를 가질 경우, 광학적 요소는 동공-인접 요소로서 지칭되거나, 필드-인접 요소로서 지칭될 것이다.

[0135]

가능한 일례로서, 도 20은 마스크 평면에서 필드 평면으로의 광선의 방향에서 필드 평면 전의 최종 렌즈의 상부측의 광학적으로 사용된 영역에 걸친 RMS 값으로서 표면 거칠기의 증가의 분포를 도시하며, 이는 노출 필드에 걸친 프로파일에 관하여 스캔 방향에서 평균화되는 부가적 미광 성분에 상관하고, 노출 필드의 중심 영역 내의 작은 미광 성분 및 노출 필드의 경계 영역 내의 고 미광 성분을 가짐으로써, 결과로서, 스캔 방향에 걸쳐서 평균화되는 미광 성분이 투영 대물 렌즈의 노출 필드에 걸친 작은 변동을 가질 것이며, 특히, 스캔 방향에 걸쳐서 평균화되고, 이 특히 출원에서 일정한 투영 대물 렌즈의 미광 성분이 획득된다. 이 도면의 X-축 상의 스케일

(scale)은, 최종 렌즈의 상부측 상의 양의 X-방향에서 광학적으로 사용된 영역의 경계의 높이가 1의 값을 갖고, 광학적으로 사용된 영역의 중심의 높이가 제로의 값을 갖도록 정규화된다. 이 도면에서, 광학적으로 사용된 영역의 중심에서의 RMS 값에 비해 광학적으로 사용된 영역의 좌측 및 우측 경계에서 2 nm를 약간 넘는 RMS 값의 증가를 위한 최대량은 스캔 방향에 걸쳐서 평균화되고, 노출 필드에 걸쳐 약 0.2%가 되는 투영 대물 렌즈의 미광 성분의 변동을 보정하기 위해 예컨대 193 nm의 동작 파장에서 충분하다. 이것은, 최종 렌즈의 전형적 기하학적 관계의 가정에 기초하여, 최종 렌즈 및 노출 필드 간의 거리, 노출 필드의 종횡비 뿐만 아니라, 도 14, 15, 16 및 17의 설계에 따른 최종 렌즈 요소의 굴절율이다. 여러 파라미터에 따라, 또한, 스캔 방향에 걸쳐서 평균화되는 미광 성분이 노출 필드에 걸쳐 변화하는 양에 대해 약 0.1% 내지 약 0.4%의 여러 값이 획득될 수 있다. 스캔 방향에 걸쳐서 평균화되는 미광 성분이 노출 필드에 걸쳐 변화하는 양이 0.2% 넘게 보정될 수 있을 경우, 표면 거칠기에 대해 필요한 값은 이에 따라 도 20의 도면을 정규화함으로써 획득된다. 도 20의 도면에서 표면 거칠기 값의 프로파일은 일반적인 다항식의 근의 형식의 함수로 기재될 수 있으며, 여기서, 중심에서의 횡방향 거리는 독립 변수를 나타낸다. 이런 설명은 그것으로부터 획득된 계수가 이점으로 예컨대 연마 로봇과 같은 연마 머신의 프로그래밍에 알맞게 되는 이점을 갖는다. 연마 헤드가 도 20에 의해 예시된 도면에서 표면 거칠기의 프로파일을 나타내는 곡선의 곡률에 한계치를 부과하는 유한 치수를 가짐에 따라, 연마 머신으로 실현될 수 있는 프로파일은 임의의 선택을 받기 어렵다. 연마 헤드의 유한 치수가 항상 제로와 상이한 표면 거칠기 값이 높이 0으로 되는 결과를 가짐에 따라, 예컨대, 연마 머신이 도 20의 도면 곡선에서 높이 0에서 중단할(realize the break) 수 없다. 이것은, 예컨대, 도 12에 도시된 바와 같이 중심 영역(415) 내의 부가적 미광 성분(413)의 잔류 값(residual value)의 결과치를 갖는다.

[0136] 도 21은 스캔 방향에 걸쳐서 평균화되는 부가적 미광 성분을 가진 마이크로리소그래피의 필드에서 적용을 위한 투영 대물 렌즈를 제공할 수 있는 여러 방법을 개략적 도시하며, 노출 필드에 걸친 프로파일은 스캔 방향에서 평균화되는 투영 대물 렌즈의 미광 성분이 노출 필드에 걸쳐 감소된 변동을 가지거나, 특히, 스캔 방향에서 평균화되고, 이 특허 출원에서 일정한 투영 대물 렌즈의 미광 성분이 획득되도록 한다. 제 1 단계 A에서, 투영 대물 렌즈의 미광 성분은 구성 요소의 데이터 또는 각각의 블랭크(blanks)의 데이터로부터 시뮬레이트되거나 결정된다. 선택적 제 1 단계 B로서, 투영 대물 렌즈 자체나, 동일한 설계의 투영 대물 렌즈에 관해 측정하여, 투영 대물 렌즈의 노출 필드에 걸친 미광 성분의 변동을 결정할 수 있다. 제 2 단계에서, 필드-인접 광학적 요소의 표면의 표면 거칠기, 또는 다수의 필드-인접 광학적 요소의 수개의 표면의 표면 거칠기 특성은, 투영 대물 렌즈 내에 설치하기 전에, 제조 중에 미리 적절히 적용되거나, 후속하여 적절한 양만큼 변경됨으로써, 스캔 방향에서 평균화되는 미광 성분이 노출 필드에 걸쳐 감소된 변동을 가지거나, 특히, 스캔 방향에서 평균화되고, 이 특허 출원에서 노출 필드에 걸쳐 일정한 투영 대물 렌즈의 미광 성분이 획득된다. 제 2 단계에서 취해진 측정의 성공은 투영 대물 렌즈의 자격 시험(qualifying examination)의 부분으로서 취해지는 측정에 의해 제 3 단계에서 검증된다.

[0137] 제 3 단계의 결과에 따라, 투영 대물 렌즈는 충분히 양호한 보정을 갖는 것으로 액셉트되거나, 프로세스는 제 2 단계로 루프백하는데, 여기서, 필드-인접 요소의 표면, 또는 필드-인접 요소의 표면의 표면 거칠기는 그의 이전의 값에서 변화된다. 이들 프로세스 단계 2 및 3은 보정이 충분한 것으로 발견될 때까지 반복된다.

[0138] 상술한 방법에 대한 대안으로서, 하나의 개별 렌즈가 미광 성분의 주요 부분에 기여하는 투명 대물 렌즈가 상기 방법의 제 1 단계에서 개별 렌즈의 기여만을 결정하여, 제 2 단계에서, 표면 거칠기의 사전 적응(advance adaptation) 또는 후속 변경에 의해 상기 기여를 보상함으로써, 투명 대물 렌즈의 자격 테스트가 제 3 단계에서 실행될 수 있는 것이 타당할 수 있다. 이런 선택적 절차 하에, 제 1 프로세스 단계 B에서 렌즈 자체 상에서 측정이 실행될 수 있거나, 렌즈의 기여가 동일한 설계의 렌즈 상에서 제 1 프로세스 단계 B에서 취해진 측정으로부터 결정된다. 대안으로서, 개별 렌즈는 제 1 프로세스 단계 A의 부분으로서 시뮬레이트될 수 있거나, 이 렌즈로부터의 기여는 렌즈의 블랭크로부터 획득되는 데이터로부터 결정될 수 있다.

[0139] 도 22는 이 특허 출원에 따라 투영 대물 렌즈를 가진 투영 노출 장치를 이용하여 웨이퍼 상의 미세 구조를 생성하는 프로세스 단계를 개략적으로 도시한 것이다. 제 1 단계에서, 금속 박막은 웨이퍼 상에 증착된다(vapor-deposited). 그 다음, 제 2 단계에서, 금속 박막을 가진 웨이퍼에는 감광성 코팅, 소위 포토레지스트가 씌워진다. 제 3 단계에서, 본 특허 출원에 따른 투명 대물 렌즈를 가진 투명 노출 장치는 스캐닝 프로세스에서 마스크 평면 내의 마스크의 구조를, 포토레지스트의 사진 노출에 의해 웨이퍼 상의 반도체 요소의 현재 취급되는 표면으로 전사시킨다. 이 단계는 웨이퍼 상의 모든 반도체 요소의 모든 표면이 노출되었을 때까지 반복된다. 후속하여, 노출된 포토레지스트를 가진 웨이퍼는 현상되어, 포토레지스트가 충분히 노출한 웨이퍼 상의 이들 위치에서 웨이퍼로부터 제거된다. 이것은 포토레지스트가 이전의 프로세스 단계에서 제거된 위치에서 금속 박막을 제거할

수 있게 한다. 이 프로세스 단계는 에칭이라 한다. 다음 단계에서, 웨이퍼는 도 22의 프로세스의 개시점으로 복귀하는 다른 처리를 위한 준비가 되어 있거나, 다른 장치에서 다른 프로세스의 개시점으로 지향된다.

[0140] 도 23은 일례의 투영 대물 렌즈(600)를 통해 예시된 본 발명의 다른 실시예의 개략도이다. 투영 대물 렌즈(600)는 동공 평면(633a) 내의 확산 광학적 요소(623) 및 필드-인접 확산 광학적 요소(631)를 갖는다. 투영 대물 렌즈(600)는, 광학 축(635)을 따라 광선(627)에 의해 균등하게 조명되는 마스크(621)의 이미지를 이미지 평면 또는 필드 평면(605)으로 투영한다. 투영 대물 렌즈는 예컨대 2개의 부분 대물 렌즈(600a 및 600b) 사이에 있는 중간 이미지 평면 또는 중간 필드 평면(607)을 가진 2개의 부분 대물 렌즈(600a 및 600b)로 이루어진다. 부분 대물 렌즈(600a 및 600b)는 렌즈(625, 627, 629 및 631)에 의해 개략적으로 나타내고, 제각기 동공 평면(633a 및 633b)을 갖는다. 여러 산란 함수(619)를 가진 교환 가능한 확산 광학적 요소(623)는 제 1 동공 평면(633a)에 설정될 수 있다. 또한, 여러 산란 함수(609)를 가진 교환 가능한 필드-인접 광학적 요소, 또는 렌즈(631)를 이용할 수 있다.

[0141] 광선(639 및 645)은 투영될 수 있는 중심 필드 지점 및 최외부 필드 지점에 대한 주요 광선이다. 광선(641 및 643)은 제각기 상부 및 하부 구경광선 또는 중심 필드 지점에 대한 코마 광선이다. 이들 광선은 이 예의 투영 대물 렌즈(600)에서 필드 평면 및 동공 평면을 구별하는 역할을 한다. 동공은 모든 필드 지점의 모든 주요 광선(639, 645)이 서로 교차하고, 치수가 구경광선(641, 643)에 의해 결정되는 중심 내의 장소(place)로서 정의된다. 반대로, 필드 평면은 중심 필드 지점의 구경광선(641, 643) 및 주요 광선(639)이 서로 교차하 중심에서의 장소로서 정의된다.

[0142] 이들의 산란 함수(619)에 따라, 동공 평면(633a) 내의 확산 광학적 요소(623)는, 도 23에서 확대도로 도시된 바와 같이, 이미지 평면 또는 필드 평면(605)에서 미광 성분(611)의 프로파일을 가진 미광 성분을 생성시킨다. 소위 스캐너의 경우, 규칙이 이 적용 내에서 적용하는데, 여기서, 미광 성분(611)의 프로파일은, 도시된 좌표 시스템에 따라, 도면의 평면에 수직으로 지향되는 스캔 방향 Y에 걸쳐 평균화된다. 미광 성분(611)의 프로파일은 필드의 경계 영역(617)보다 중심 필드 지점 주변에서 더 높은 미광 성분을 갖는다.

[0143] 필드-인접 확산 광학적 요소(631)는, 이들의 산란 함수(609)에 따라, 도 23에서 미광 성분(611)에 대한 그래프의 우측으로의 확대도로 도시된 바와 같이 이미지 평면 또는 필드 평면(605)에서 미광 성분 프로파일(613)을 가진 미광 성분을 생성시킨다. 이 예에서 확산 광학적 요소(631)는 광학적 요소(631)의 직경에 걸쳐 균등한 산란 함수(609)를 갖지 않지만, 상당한 범위까지 광학적 요소(631)의 경계 지대(zones) 내에서만 미광을 생성시키는 산란 함수(609)를 특징으로 한다. 이것은 예컨대 증가된 표면 거칠기를 가진 광학적 요소(631)로 달성될 수 있다 (도 12의 설명을 참조). 미광 성분(613)의 프로파일은 중심 영역(615)에서보다 경계 영역(617)에서 더 높은 미광의 비율을 나타냄으로써, 동공(633a) 내의 확산 광학적 요소(623)의 산란 함수(619) 및 필드-인접 확산 광학적 요소(631)의 산란 함수(609)의 적절한 선택으로, 본 발명의 이런 실시예는 평균화된 미광 성분의 어떤 바람직한 프로파일이 발명의 부가적 미광 성분에 대한 프로파일(611) 및 프로파일(613)의 중첩(superposition)에 의해 생성되도록 한다.

[0144] 이런 솔루션은 증가된 표면 거칠기를 가진 광학적 요소에 대한 대안으로서 또는 상쇄된 정적 버전(static versions)과 협력하여 실현될 수 있다. 이들 가능성 간에는, 표면 거칠기를 증가시킴으로써 미광 성분 프로파일의 정적 적응 및, 교환 가능한 산란 요소에 의한 동적 적응의 조합은, 조명각 분포 (세팅)의 가장 넓은 다이버시티(broadest diversity) 및 마스크 구조의 가장 넓은 다이버시티에 대한 미광 성분의 바람직한 프로파일을 실현할 가장 큰 가능 유연성(flexibility)을 제공한다. 따라서, 확산 요소(623 및 631)를 교환하는 개념은, 입사 광선(627)의 관련된 상이한 조명각 분포와 관련하여 하나의 마스크 또는 여러 마스크(621)의 상이한 마스크 구조에 대해 매우 다양한 이미징 필요 조건에 신속히 반응하는 것이 가능하게 한다.

[0145] 여러 투영 대물 렌즈의 프로파일을 서로에 적응시킬 이런 종류의 미광 조정 장치를 더 생각할 수 있음으로써, 생산 프로세스가 하나의 투영 대물 렌즈에서 다른 투영 대물 렌즈로 더욱 쉽게 전사될 수 있다. 이런 종류의 적응을 실행할 시에, 또한, 적응될 수 있는 투영 대물 렌즈의 마스크 또는 마스크들 상에서 동일한 또는 상이한 조명각 분포 및/또는 동일한 또는 상이한 마스크 구조를 고려할 수 있다. 또한, 이런 개념을 적용할 시에, 도 23의 실시예는 중간 필드 평면(607)을 가진 개략적으로 도시된 투영 대물 렌즈(600)로 제한되지 않고, 그것이 적어도 하나의 동공 평면 및 하나의 필드 평면을 갖는한, 상술한 투영 대물 렌즈 중 어떤 투영 대물 렌즈로 전사될 수 있다.

[0146] 각각 상이한 산란 함수(619 및 609)를 가진 상이한 확산 광학적 요소(623 및 631)로서 역할을 하기 위해서는 특히, 통상의 산광기 디스크, 증가된 표면 거칠기를 가진 광학적 요소(상기 참조), 큰 확산 재료의 광학적 요소

(예컨대 다결정 재료, 상기 참조), 회절성 광학적 요소 (DOEs), 회절 격자 (Blaze grid, binary grid, sub-lambda grid), 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH), 및 또한 소위 렌즈-가열(lens-heating)을 보상하는데 이용되는 종류의 와이어 그리드를 이용할 수 있다. 이 경우에는 또한, 특히 필드-인접 광학적 요소(631)에서의 산란 함수(619 및 609)는, 예컨대 바람직한 필드 프로파일을 생성하기 위해 광학적 요소(623 및 631)의 부분 영역에 걸쳐서만 확장하는 것으로 제한될 수 있다. 제각기 상이한 산란 함수(619 및 609)를 가진 확산 광학적 요소(623 또는 631)를 생성하는 모든 상술한 가능성으로, 통상의 산광기 디스크 및, 증가된 표면 거칠기를 가진 광학적 요소를 제외하고, 상술된 모든 가능 요소는 보통 투영 대물 렌즈에서 다른 함수를 실행하고, 두번째로만 미광 조정 장치의 역할을 한다. 예컨대, 주로 광학 설계에 관계된 이유로 투영 대물 렌즈 내의 큰 확산 재료의 광학적 요소를 이용한다. DOE는 예컨대 파면(wave front) 보정을 위해 이용될 수 있다. 특히 sub-lambda grid의 형태의 회절 격자는 투영 대물 렌즈(600)의 편광 특성의 보정을 위한 역할을 할 수 있다. CGH는 상이한 과제를 충족시킬 수 있고, 상술한 와이어 그리드는 주로 유용한 광선에 의해 유발된 렌즈-가열의 보정을 위해 이용될 수 있거나, EUV 리소그래피용 투영 대물 렌즈에서 상이한 과제를 실행할 수 있다.

[0147] 결과적으로, 개별적으로 또는 조합하여 이용되는 상술한 요소는 보통 우선 이들의 1차 함수에 대해 설계되고, 두번째로만 이들의 산란 특성에 따라 선택된다. 특히 확산 효과를 위해 동공 내로 설정되는 부가적 광학적 요소와 함께 필요하다면, 이들 요소의 최적화의 결과가 소정의 타입의 투영 대물 렌즈에 대한 이상적 미광 조정 장치를 생성하는 방식으로 이런 자유도가 미광 최적화에 명백히 필요로 될 경우, 상술한 요소는 개별적으로 또는 조합하여 최적화될 수 있다. 미광 성분 또는, 특히, 이런 방식의 투영 대물 렌즈의 미광 조정 장치를 최적화할 시에, 이미지가 투영될 수 있는 마스크(621) 상에 떨어지는 광선(627)의 바람직한 조명각 분포 뿐만 아니라, 마스크(621)의 바람직한 마스크 구조 이미지를 고려할 필요가 있는데, 그 이유는 이들 요소가 광선에 의해 횡단되는 동공의 영역을 결정하기 때문이다. 이런 종류의 최적화는 또한, 예컨대, 조명각 분포 및/또는 마스크 구조의 변화가 있을 시에 요소(623 및 631)를 교환함으로써 상이한 조명각 분포 및 상이한 마스크 구조에 대한 미광 성분의 최적 프로파일을 실현하기 위해, 교환될 수 있는 확산 광학적 요소(623 및 631)의 설계를 위해 이용될 수 있다.

[0148] 투영 대물 렌즈의 동공 내에서 확산 광학적 요소로서 이용되는 주기성  $p$  및 커버리지 비율(coverage ratio)  $W$ 을 가진 회절 이진 구조의 다음의 간단한 경우에서, 미광  $R_s$ 의 범위 및 그의 상대 농도  $I_s$ 는 이미지 평면에서 회절 순서  $n$ 로 도시된다. 이런 종류의 회절 이진 구조는, 렌즈 (프레넬 렌즈(Fresnel lens), 회절 광학적 요소 등) 상의 이진 위상 그리드(binary phase grid) 이외에, 유용한 광선으로 렌즈 가열의 보정을 위한 렌즈 상의 와이어 그리드 또는 EUV 리소그래피용 대응하는 와이어 그리드일 수 있으며, 여기서, 이들 경우의 커버리지 비율  $W$ 은 와이어의 두께와, 2개의 이웃한 와이어의 거리 또는 주기성  $p$  간의 비율로서 정의된다. 회절 크롬 마스크에서, 예컨대 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH)에 대해, 커버리지 비율  $W$ 은 크롬 트레이스 폭과, 2개의 이웃한 크롬 트레이스의 거리 또는 주기성  $p$  간의 비율로서 정의된다. 미광의 범위  $R$  및, 이미지 평면에서 회절 순서  $n$ 에 대한 상대 농도  $I$ 는, 이들 경우에, 식:  $R_s = n \times \lambda / NA \times R_{NA} / p$ ; 및  $I_s = [\sin(n \pi) / n \pi - W \times (1 - T) \times \sin(n \pi W) / n \pi W]^2$ 으로 기술되며, 여기서, 심벌은 다음을 나타낸다:

[0149]  $\lambda$ 은 광선의 파장이고;

[0150]  $NA$ 는 투영 대물 렌즈의 개구수이며;

[0151]  $R_{NA}$ 는 동공 직경이며;

[0152]  $p$ 는 회절 구조의 주기성이며;

[0153]  $W$ 는 개별 회절 구조 요소의 폭과  $p$  간의 비율이며;

[0154]  $T$ 는 회절 구조의 투과율 (예컨대, 와이어 또는 크롬 트레이스)이다.

[0155] 더욱이, 이미지 평면 내의 고스트 이미지(ghost images)를 회피하기 위해서는, 다음의 식:  $P_{min} = n * \lambda / NA * R_{NA} / CD$ 를 통해 이미지에서 렌더(render)될 최소 구조 치수 (임계 치수, CD)에서 평가될 수 있는 동공 내의 광학적 요소의 회절 구조의 최소 주기성  $P_{mirw}$  또는 최대 밀도가 존재하는 것에 주목되어야 하며,

[0156] 여기서, 심벌은 다음을 나타낸다:

[0157]  $\lambda$ 은 광선의 파장이고;

[0158] NA는 투영 대물 렌즈의 개구수이며;

[0159]  $R_{NA}$ 는 동공 직경이며;

[0160] CD는 임계 치수이다.

### 산업상 이용 가능성

[0161] 본 발명이 특정 실시예의 제공을 통해 기술되었지만, 당업자는, 예컨대, 개별 실시예의 특징을 조합 및/또는 교환함으로써 변동 및 선택적 실시예에 대한 수많은 가능성을 인식할 것이다. 따라서, 당업자에 의해서는, 이와 같은 변동 및 선택적 실시예가 본 발명에 포함되는 것으로 간주되고, 본 발명의 범주가 부착된 특허청구범위 및 이들 등가에 의해서만 제한되는 것임을 이해하게 될 것이다.

### 도면의 간단한 설명

[0076] 도 1은 2개의 직교하는 축 (X-축 및 Y-축)에 관하여 유용한 광선의 분포를 포함하는, 스캐너로서 이용되는 마이크로리소그래피 적용을 위한 투영 대물 렌즈의 필드 평면 내의 노출 필드의 개략도이다.

[0077] 도 2는 스캐너로서 이용되고, 소위 직사각형 형상을 가진 마이크로리소그래피 적용을 위한 투영 대물 렌즈의 필드 평면 내의 노출 필드의 개략도이다.

[0078] 도 3은 스캐너로서 이용되고, 소위 링 필드(ring field)를 가진 마이크로리소그래피 적용을 위한 투영 대물 렌즈의 필드 평면 내의 노출 필드의 개략도이다.

[0079] 도 4는 스텝퍼(stepper)로서 이용되고, 정사각형 필드를 가진 마이크로리소그래피 적용을 위한 투영 대물 렌즈의 필드 평면 내의 노출 필드의 개략도이다.

[0080] 도 5는 투영 대물 렌즈 및, 생성된 자연 미광 분포를 설명하는 역할을 하는 균등한 글래스 실린더의 형태의 투영 대물 렌즈의 대응 모델의 개략적 간략화된 단면도이다.

[0081] 도 6은 필드 및 동공의 개념을 예시하기 위해 기하학적인 광학 기기에 따른 투영 대물 렌즈의 이미지 형성 광선 패턴의 개략도이다.

[0082] 도 7은 X-방향의 필드를 따라 스캔 방향 Y에 걸쳐 평균화되는 마이크로리소그래피 적용을 위한 투영 대물 렌즈의 유용한 광선에 관하여 퍼센트의 미광 성분의 프로파일의 그래프를 도시한 것이다.

[0083] 도 8은 액침 리소그래피용 투영 노출 장치의 광학적 구성 요소를 개략적으로 도시한 것이다.

[0084] 도 9는 미세 구조(microscopic structures)를 가진 다결정 재료의 평면도를 도시한 것이다.

[0085] 도 10은 평균 결정 크기(average crystal size)의 함수로서, 유용한 광선에 관하여 퍼센트로 표현되는 다결정 재료의 모델-의존(model-dependent) 미광 성분의 그래프를 도시한 것이다.

[0086] 도 11은 평균 기포 크기(average bubble size)의 함수로서, 유용한 광선에 관하여 퍼센트로 표현되는 다결정 재료의 모델-의존 미광 성분의 그래프를 도시한 것이다.

[0087] 도 12는 렌즈의 주요 개념을 예시할 스케치(sketch) 및, 각각 최종 렌즈의 다결정 재료의 불균등성(inhomogeneities)에서의 산란 및, 최종 렌즈의 표면 거칠기 뿐만 아니라 필드에 걸친 미광의 생성된 분포를 적응시키는 개념을 설명할 그래프를 도시한 것이다.

[0088] 도 13은 유용한 광선에 관하여 퍼센트로 표현되고, X-방향의 필드를 따라 스캔 방향 Y에 걸쳐 평균화되는 마이크로리소그래피 적용을 위한 투영 대물 렌즈의 미광 성분의 보정된 프로파일의 그래프를 도시한 것이다.

[0089] 도 14는 1보다 큰 개구수를 가진 액침 리소그래피용 투영 대물 렌즈의 소위 2-미러 설계의 광학적 구성 요소의 Y-Z 평면의 단면도를 도시한 것이다.

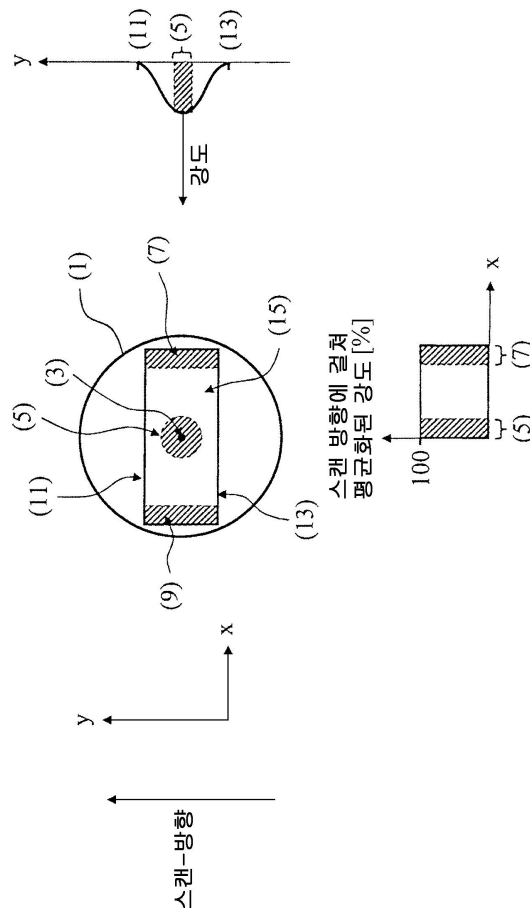
[0090] 도 15는 1.2의 개구수를 가진 액침 리소그래피용 투영 대물 렌즈의 소위 4-미러 설계의 광학적 구성 요소의 Y-Z 평면의 단면도를 도시한 것이다.

[0091] 도 16은 1.25의 개구수를 가진 액침 리소그래피용 투영 대물 렌즈의 소위 RCR 설계의 광학적 구성 요소의 Y-Z 평면의 단면도를 도시한 것이다.

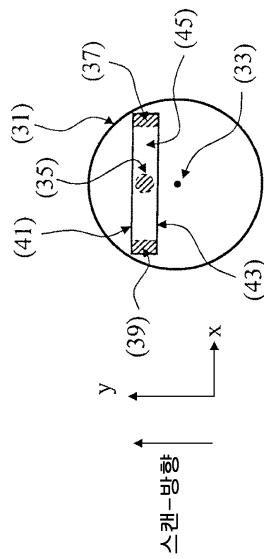
- [0092] 도 17은 1.75의 개구수를 가진 액침 리소그래피용 투영 대물 렌즈의 다른 2-미러 설계의 광학적 구성 요소의 Y-Z 평면의 단면도를 도시한 것이다.
- [0093] 도 18은 도 17의 2-미러 설계의 필드 평면 앞의 최종 렌즈 요소를 개략적으로 도시한 것이다.
- [0094] 도 19는 EUV 리소그래피용 투영 대물 렌즈의 소위 6-미러 설계의 광학적 구성 요소의 단면도를 도시한 것이다.
- [0095] 도 20은 필드-인접 광학적 요소의 표면의 광학적으로 사용된 영역에 걸친 표면 거칠기의 가능 분포의 그래프를 도시한 것이다.
- [0096] 도 21은 본 발명에 따라 보정된 미광 성분을 투영 대물 렌즈 내에 생성시키는 수개의 가능 프로세스 단계의 흐름도를 도시한 것이다.
- [0097] 도 22는 본 특허 출원에 따라 투영 대물 렌즈를 가진 투영 노출 장치에 의해 미세 구조의 반도체 요소를 생성하는 방법의 흐름도를 도시한 것이다.
- [0098] 도 23은 일례의 투영 대물 렌즈를 통해 예시된 본 발명의 다른 실시예의 개략도이다.

## 도면

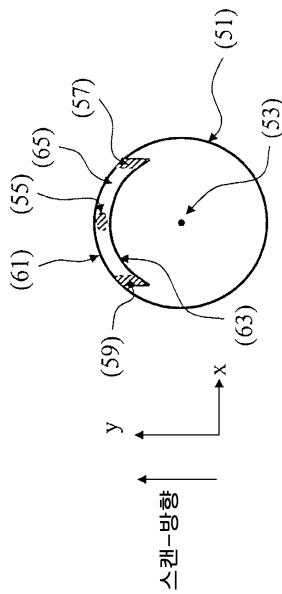
도면1



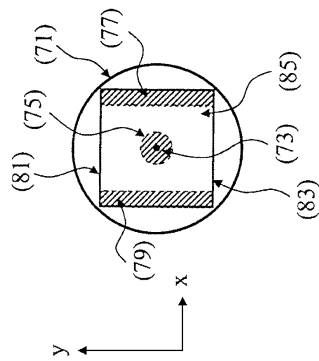
도면2



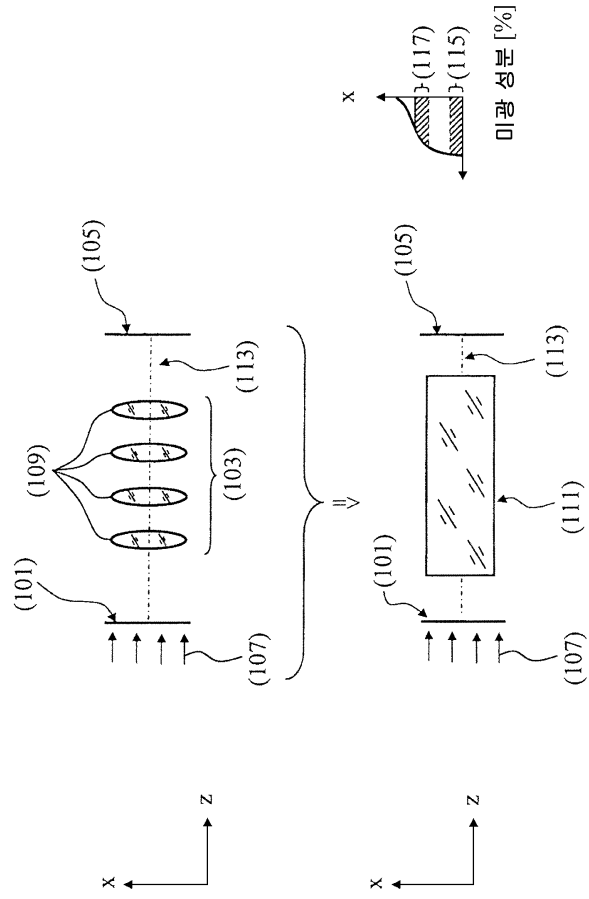
도면3



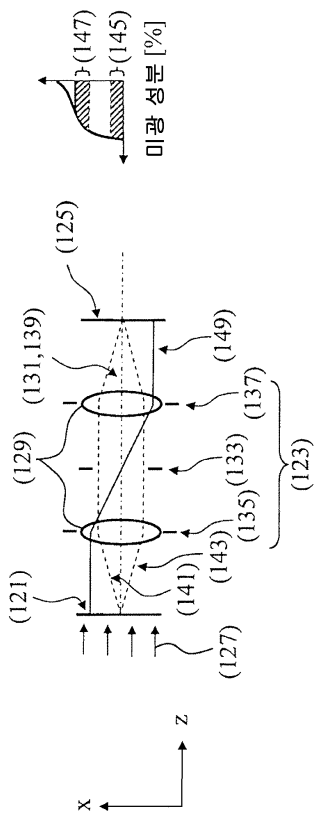
도면4



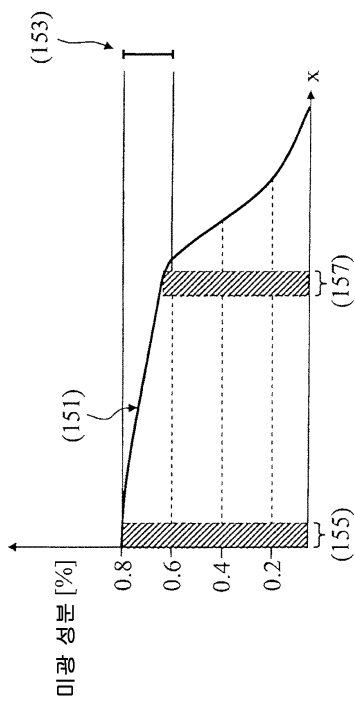
도면5



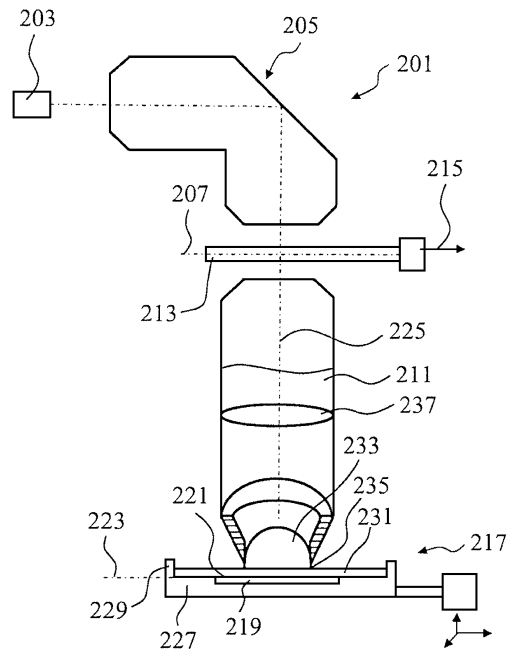
도면6



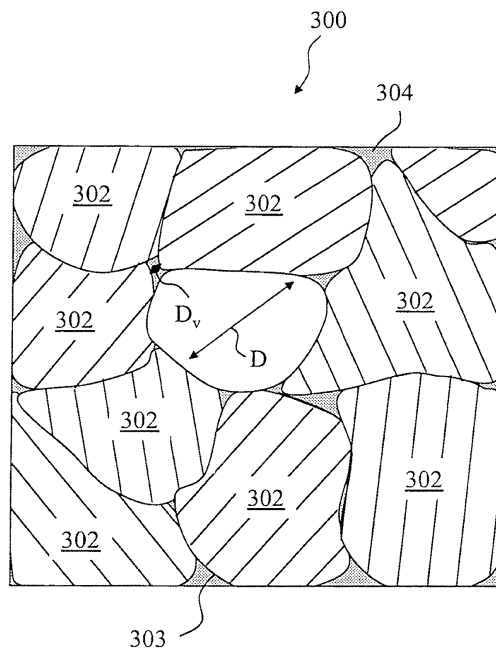
도면7



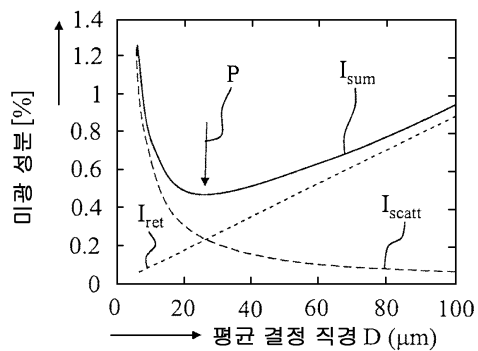
도면8



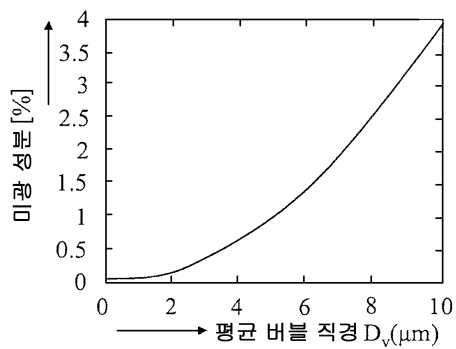
도면9



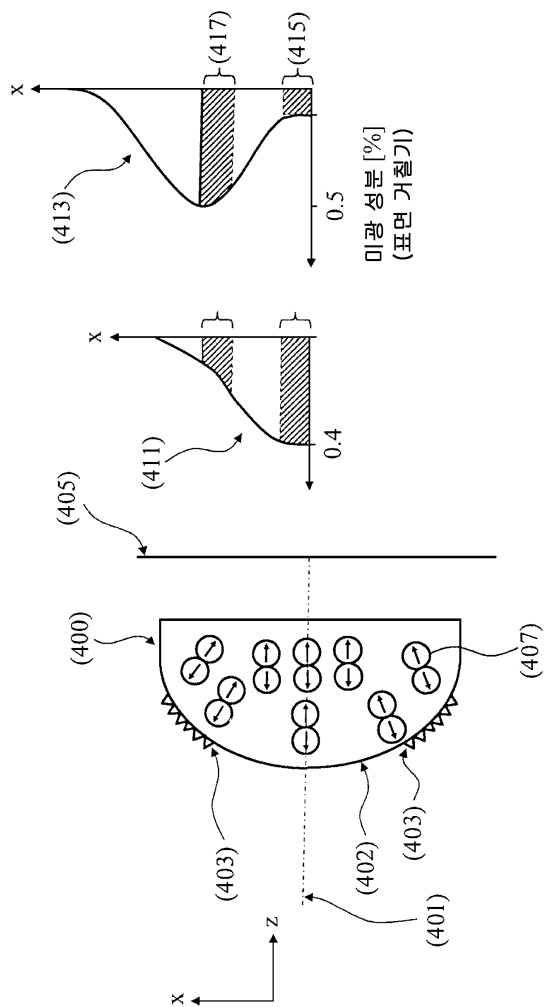
도면10



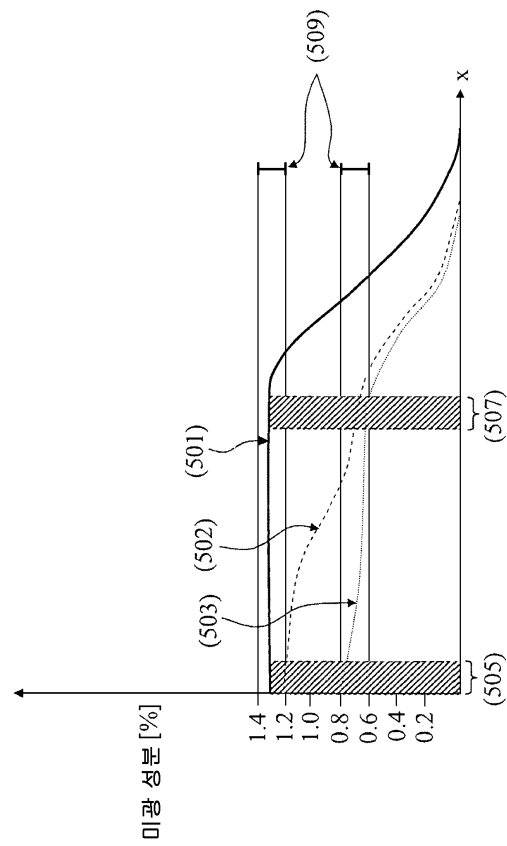
도면11



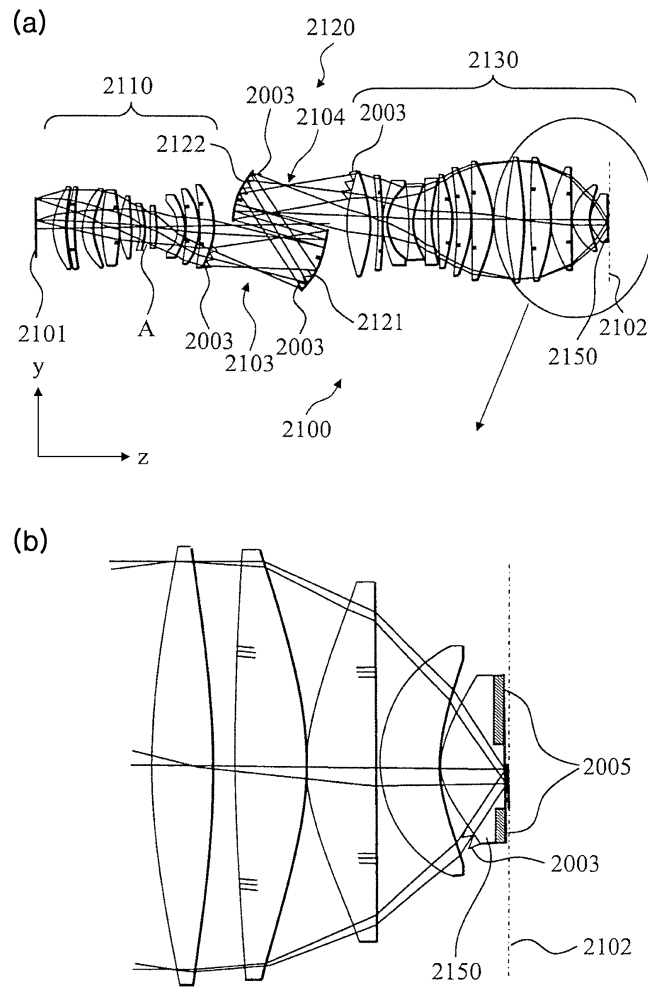
도면12



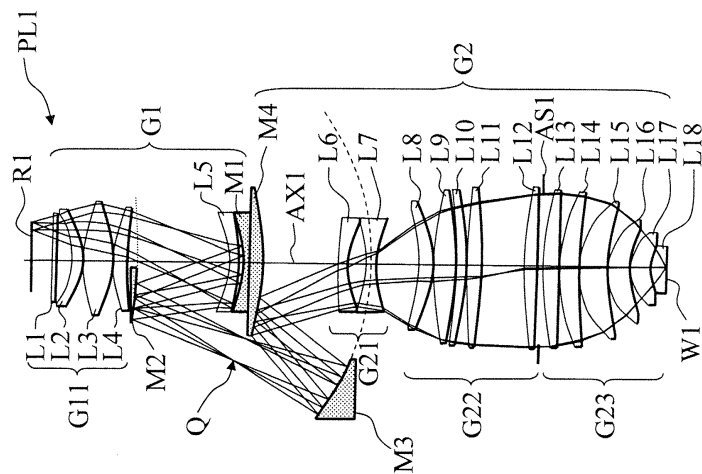
도면13



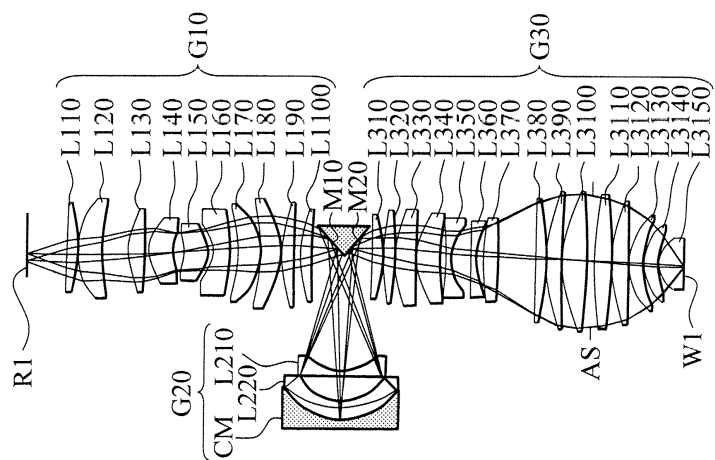
도면14



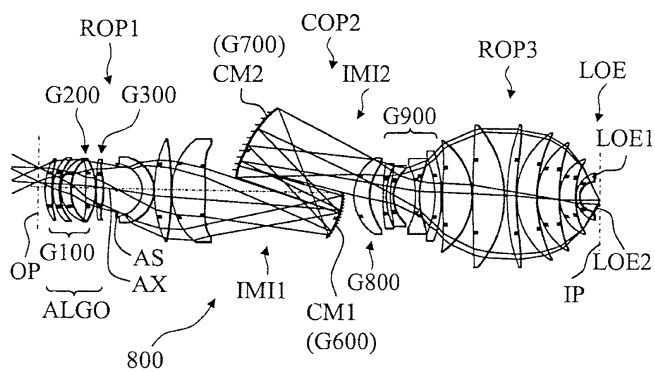
도면15



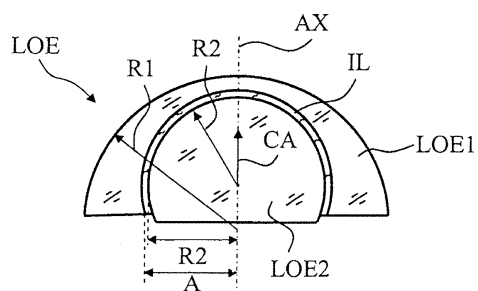
도면16



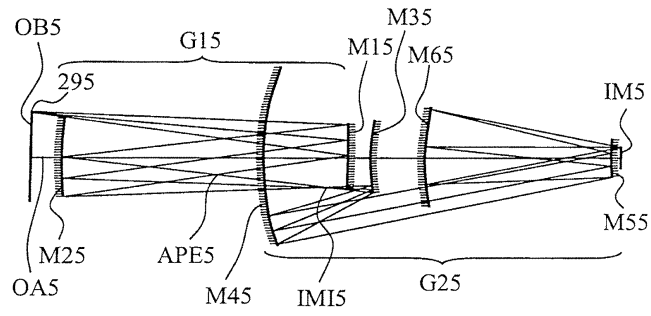
도면17



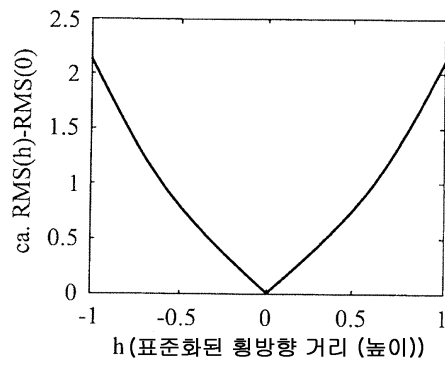
도면18



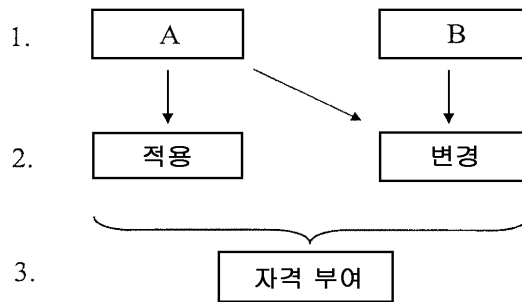
도면19



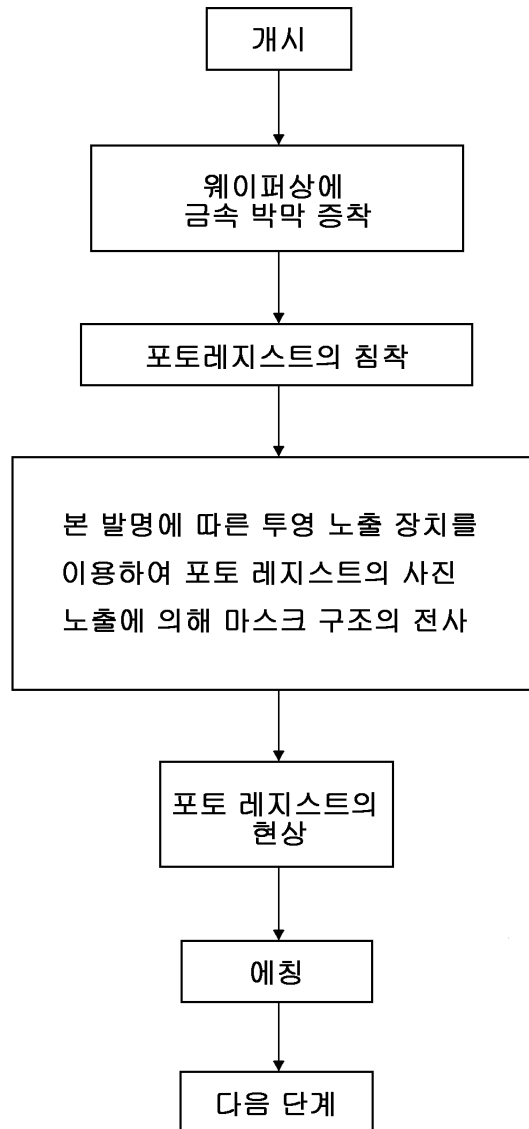
도면20



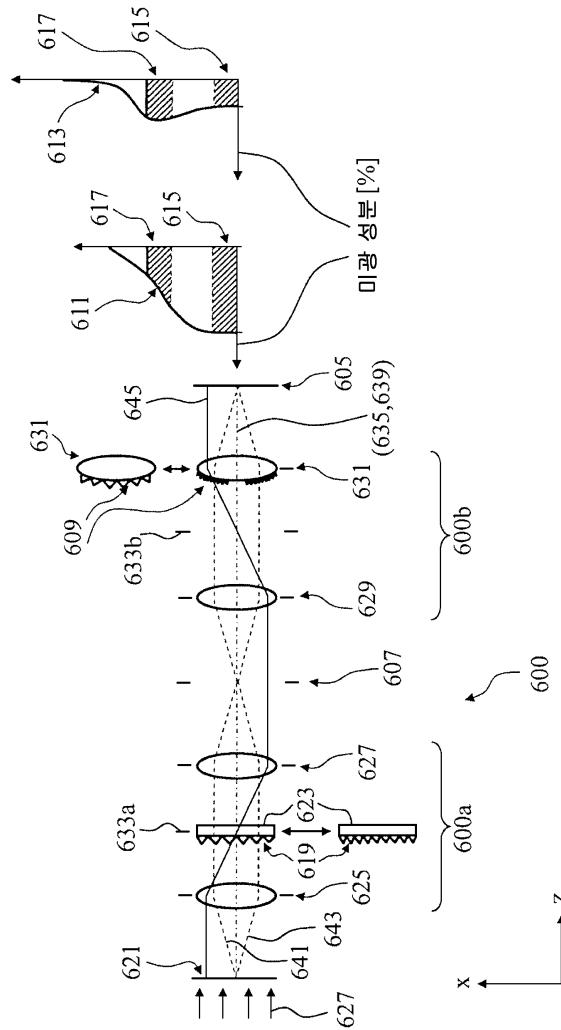
도면21



도면22



도면23



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 제17항

【변경전】

상기 하나 이상의 광학적 요소의

【변경후】

상기 다수의 광학적 요소의