



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2009년01월07일
(11) 등록번호 10-0877022
(24) 등록일자 2008년12월24일

- (51) Int. Cl.
G02B 13/00 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2007-7024992(분할)
(22) 출원일자 2007년10월29일
심사청구일자 2007년10월29일
번역문제출일자 2007년10월29일
- (65) 공개번호 10-2007-0108286
(43) 공개일자 2007년11월08일
(62) 원출원 특허 10-2003-7004858
원출원일자 2003년04월04일
심사청구일자 2006년10월09일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2001/008852
국제출원일자 2001년10월09일
(87) 국제공개번호 WO 2002/31570
국제공개일자 2002년04월18일
- (30) 우선권주장
JP-P-2000-00309475 2000년10월10일 일본(JP)
JP-P-2001-00032119 2001년02월08일 일본(JP)
- (56) 선행기술조사문헌
JP10284368 A
- 전체 청구항 수 : 총 4 항

- (73) 특허권자
가부시키가이샤 니콘
일본 도쿄도 지요다구 마루노우찌 3초메 2방 3고
- (72) 발명자
오자와 도시히코
일본국 도쿄도 지요다구 마루노우찌 3초메 2방 3고
가부시키가이샤 니콘 지테크자이산부 내
- (74) 대리인
강일우, 홍기천

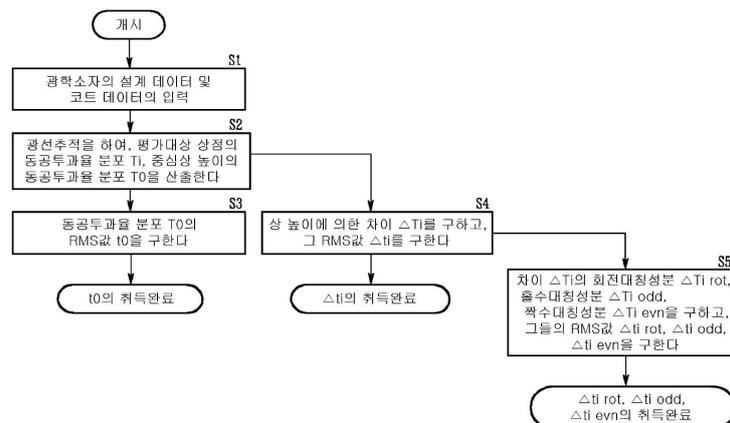
심사관 : 경천수

(54) 결상성능의 평가방법

(57) 요약

본 발명은, 박막에 의한 영향을 정확히 반영시킨 결상(結像)성능의 평가를 실현하는 것이다. 그 때문에, 본 발명에서는, 결상광학계의 결상성능을 평가하는 데에 있어서, 그 결상광학계의 평가대상 상점에 입사하는 결상광속의 동공투과율 분포(사출동공면상에서의 광투과율의 분포)를 취득하고, 상기 취득한 동공투과율 분포로부터, 그 동공투과율 분포의 회전대칭성분, 홀수대칭성분, 짝수대칭성분 중 적어도 1성분을, 평가지표로서 추출한다.

대표도



(81) 지정국

국내특허 : 일본, 대한민국, 미국

EP 유럽특허 : 오스트리아, 벨기에, 스위스, 독일,
덴마크, 스페인, 프랑스, 영국, 그리스, 아일랜드,
이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투
갈, 스웨덴, 핀란드, 사이프러스, 터키

특허청구의 범위

청구항 1

리타데이션을 가지는 광학부재를 갖는 결상광학계의 결상성능을 평가하는 결상성능의 평가방법에 있어서,

상기 결상광학계의 입사동공면내에 제 1 편광방향의 결상광속을 입사시켰을 때의 상기 결상광학계의 사출동공측에서 사출되는 광속의 제 1 편광방향의 성분인 제 1-1성분을 취득하고,

상기 결상광학계의 입사동공면내에 상기 제 1 편광방향과 직교하는 제 2 편광방향의 결상광속을 입사시켰을 때의 상기 결상광학계의 사출동공측에서 사출되는 광속의 제 2 편광방향의 성분인 제 2-2성분을 취득하고,

상기 결상광학계의 입사동공면내에 상기 제 1 편광방향의 결상광속을 입사시켰을 때의 상기 결상광학계의 사출동공측에서 사출되는 광속의 상기 제 2 편광방향의 성분인 제 1-2성분을 취득하고,

상기 결상광학계의 입사동공면내에 상기 제 2 편광방향의 결상광속을 입사시켰을 때의 상기 결상광학계의 사출동공측에서 사출되는 광속의 상기 제 1 편광방향의 성분인 제 2-1성분을 취득하고,

상기 광속의 상기 제 1-2성분의 진폭분포 또는 강도분포와, 상기 광속의 상기 제 2-1성분의 진폭분포 또는 강도분포를, 평가지표로서 취득하는 것을 특징으로 하는 결상성능의 평가방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 취득한 평가지표에, 제르니케 함수를 적용하는 것을 특징으로 하는 결상성능의 평가방법.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서, 상기 결상광학계는, 박막이 표면에 형성된 광학부재를 갖고, 상기 제 1-1성분 및 상기 제 2-2성분의 취득에 있어서 상기 박막에 의한 오차를 제거하는 것을 특징으로 하는 결상성능의 평가방법.

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

리타데이션을 가지는 광학부재를 갖는 결상광학계의 결상성능을 평가하는 결상성능의 평가 프로그램을 기록한 컴퓨터 읽기 가능한 기록매체로서,

상기 결상광학계의 입사동공면내에 제 1 편광방향의 결상광속을 입사시켰을 때의 상기 결상광학계의 사출동공측에서 사출되는 광속의 제 1 편광방향의 성분인 제 1-1성분을 취득하는 제 1 단계와,

상기 결상광학계의 입사동공면내에 상기 제 1 편광방향과 직교하는 제 2 편광방향의 결상광속을 입사시켰을 때의 상기 결상광학계의 사출동공측에서 사출되는 광속의 제 2 편광방향의 성분인 제 2-2성분을 취득하는 제 2 단계와,

상기 결상광학계의 입사동공면내에 상기 제 1 편광방향의 결상광속을 입사시켰을 때의 상기 결상광학계의 사출동공측에서 사출되는 광속의 상기 제 2 편광방향의 성분인 제 1-2성분을 취득하는 제 3 단계와,

상기 결상광학계의 입사동공면내에 상기 제 2 편광방향의 결상광속을 입사시켰을 때의 상기 결상광학계의 사출동공측에서 사출되는 광속의 상기 제 1 편광방향의 성분인 제 2-1성분을 취득하는 제 4 단계와,

상기 광속의 상기 제 1-2성분의 진폭분포 또는 강도분포와, 상기 광속의 상기 제 2-1성분의 진폭분포 또는 강도분포를, 평가지표로서 취득하는 제 5 단계를 컴퓨터로 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터 읽기 가능한 기록매체.

명세서

발명의 상세한 설명

기술분야

- <1> 본 발명은, 포토리소그래피에 적용되는 투영광학계나 관찰광학계 등의 결상(結像)광학계의 결상성능의 평가방법, 그 평가에 근거하는 박막의 설계방법, 그 평가에 근거하는 결상광학계의 설계방법, 결상광학계, 결상광학계의 제조방법, 설계프로그램, 컴퓨터 독해가 가능한 기억매체, 투영노광장치, 및 투영노광방법에 관한 것이다.
- <2> 또한 본 발명은 투영광학계, 해당 투영광학계의 제조방법 및 해당 투영광학계를 구비한 노광장치에 관한 것으로, 특히 반도체소자나 액정표시소자 등의 마이크로 디바이스를 포토리소그래피 공정으로 제조할 때에 사용되는 노광장치에 바람직한 투영광학계에 관한 것이다.

배경기술

- <3> 반도체 집적회로나 액정 디스플레이 등의 전자 디바이스(마이크로 디바이스)의 미세패턴의 형성 시에, 형성할 패턴을 4~5배 정도로 비례 확대하여 묘사하여 그린 포토그래피(레티클이라고도 부른다)의 패턴을 투영노광장치를 사용하여 웨이퍼 등의 감광성기관(피노광기관)상에 축소 노광전사하는 포토리소그래피 방법이 사용되고 있다.
- <4> 포토리소그래피에 적용되는 투영광학계 등의 결상광학계의 설계에 있어서는, 그것을 구성하는 렌즈나 거울 등의 광학소자의 면 형상, 면 간격, 유효지름, 반사율 등의 굴절율, 공차 등의 조합수가 방대하기 때문에, 요구스펙을 만족시키는 것과 같은 설계해를 일의적으로 얻을 수 없다.
- <5> 따라서, 완성데이터를 얻기까지의 동안에, 기초데이터에 근거하는 광선추적 등의 수치계산에 의해 그 결상광학계의 결상성능을 평가하면서, 그 결상성능이 목표범위에 다르도록 그 기초데이터를 수정하여 가는 순서가 반복된다(이하, 결상광학계를 구성하는 광학소자의 면 형상, 면 간격, 유효지름, 반사율이나 굴절율, 공차 등을 설계하는 것을, '광학설계'라고 한다.).
- <6> 이와 관련하여, 이 광학설계에 필요한 연산은, 광학소자의 수가 증가하면 지수함수적으로 복잡화되기 때문에,

컴퓨터에 의해 자동화되어 있다.

- <7> 그런데, 일반적으로, 결상광학계를 구성하는 각 광학소자의 표면에는, 반사방지, 투과광의 제한, 반사증가 등을 위해, 각각 특유의 박막(코트)이 형성된다. 이 박막이 결상광학계의 결상성능에 주는 영향은, 박막의 구조(층수, 각 층의 두께, 각 층의 재료, 각 층의 흡수계수 등)에 따라 다르고, 또한, 어떤 광학소자의 면에 어떤 종류의 박막을 할당하는가에 따라서도 다르다.
- <8> 특히 포토리소그래피에 사용되는 투영광학계는, 요구스펙이 엄격하고 또한 그것을 구성하는 광학소자의 수가 다르기 때문에, 박막의 영향은 무시할 수 없다. 또한, 반사형의 투영광학계나 반사굴절형의 투영광학계는, 소정의 기능을 부여하기 위한 반사면을 갖고 있고, 그와 같은 반사면에 형성되는 박막에 있어서는 다층화하지 않을 수 없다. 따라서, 박막에 의해 결상성능에 주어지는 영향이 현저하다.
- <9> 이 때문에, 투영광학계를 설계할 때에는, 상기한 광학설계에 덧붙여, '코트설계'와 '코트할당'을 하고 있다.
- <10> 코트설계에 있어서는, 반사율 특성(투과율 특성)에 대한 요구를 만족시키는 것과 같은 박막의 층수, 각 층의 두께, 각 층의 재료 등의 설계해인 코트데이터가 각종 구해진다.
- <11> 코트할당에서는, 각종 코트데이터와, 미리 취득된 광학소자의 설계 데이터(완성데이터나 기초데이터)에 근거하는 광선추적 등의 수치계산에 의해, 투영광학계의 결상성능을 평가하면서, 양호한 결상성능을 얻을 수 있도록, 어떤 종류의 코트데이터를 어떤 면에 할당할 것인지 결정된다.
- <12> 종래의 코트할당에 있어서는, 이 평가에서는, 투영광학계를 통해 중심상(中心像)높이에 입사하는 결상광속 중, 사출동공(Exit Pupil)면의 중심을 통과하는 광선의 동공투과율 T_0 와, 사출동공면의 끝단부를 통과하는 수십 개의 광선 각각의 투과율 $T_1, T_2, T_3 \dots$ 가 구해진다. 그리고, 구한 각 동공투과율 T_i 간 편차의 정도, 예를 들면 최대치 T_{max} 와 최소치 T_{min} 과의 차 $\Delta (= T_{max} - T_{min})$ 가, 평가지표가 된다. 그 평가지표 Δ 는, 그 값이 작을수록, 양호한 결상성능을 나타내고 있다고 간주된다.
- <13> 또한, 포토리소그래피에 있어서는, 반도체 집적회로의 미세화에 대응하기 위해서, 그 노광파장이 단파장 측으로 시프트를 계속하고 있다.
- <14> 현재, 노광파장은 KrF 엑시머레이저의 248nm가 주류로 되어 있지만, 보다 단파장의 ArF 엑시머레이저의 193nm도 실용화 단계에 들어가고 있다.
- <15> 나아가, 파장 157nm의 F_2 레이저나 파장 146nm의 Kr_2 레이저, 파장 126nm의 Ar_2 레이저 등의, 소위 진공자외역이라고 불리는 파장대의 빛을 공급하는 광원을 사용하는 투영노광장치의 제안도 행하여지고 있다.
- <16> 또한, 투영광학계의 대개구수(大開口數)(NA)화에 의해서도 고해상도화가 가능하기 때문에, 노광파장의 단파장화를 위한 개발뿐만 아니라, 보다 큰 개구수를 갖는 투영광학계의 개발도 이루어지고 있다.
- <17> 이와 같이 파장이 짧은 자외역의 노광광에 대해서는, 투과율이나 균일성이 양호한 광학재료(렌즈재료)는 한정된다.
- <18> ArF 엑시머레이저를 광원으로 하는 투영광학계에서는, 렌즈재료로서 합성 석영유리도 사용 가능하지만, 1종류의 렌즈재료에서는 색수차의 보정을 충분히 할 수 없기 때문에, 일부의 렌즈에 불화칼슘결정(형석(螢石))이 사용된다.
- <19> 한편, F_2 레이저를 광원으로 하는 투영광학계에서는, 사용 가능한 렌즈재료는 실질적으로 불화칼슘결정(형석)에 한정된다.
- <20> 그런데, 현재의 포토리소그래피에 요구되는 해상도는 급속히 높아지고 있기 때문에, 투영광학계 PL에 대한 요구스펙은 더욱 엄격하게 되어, 상기 박막이 결상성능에 주는 영향에 관해서도 보다 양호하게 억제할 필요가 생겨왔다.
- <21> 그리고, 박막의 영향을 억제하기 위해서는, 상기한 평가지표 Δ 에 의한 평가의 결과에 따라서 코트할당을 하는 것 이외에, 코트설계나 광학설계를 하거나, 포토리소그래피에 사용하는 조명광학계의 설계를 하거나 하는 것도 생각된다.
- <22> 그렇지만, 어쨌든 그 평가에 박막의 영향이 보다 정확히 반영되도록 되지 않으면, 그 영향을 보다 양호하게 억제할 수는 없다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <23> 본 발명은, 이러한 사정에 비추어 이루어진 것으로, 박막에 의한 영향을 정확히 반영시킨 결상성능의 평가방법을 제공하는 것을 제 1의 목적으로 한다.
- <24> 또한, 본 발명은, 박막에 의한 영향을 양호하게 제거할 수 있는 박막의 설계방법, 및 결상광학계의 설계방법을 제공하는 것을 제 2의 목적으로 한다.
- <25> 또한, 본 발명은, 박막에 의한 영향을 양호하게 제거하여 뛰어난 결상성능을 확보하는 것을 제 3의 목적으로 한다.
- <26> 또한, 최근, 이와 같이 과장이 짧은 자외선에 대해서는, 입방정계인 불화칼슘결정(형석)에 있어서도, 고유복굴절이 존재하는 것이 보고되고 있다. 전자 디바이스의 제조에 사용되는 투영광학계와 같은 초고정밀도의 광학계에 있어서는, 렌즈재료의 복굴절에 따라 생기는 수차는 치명적이고, 복굴절의 영향을 실질적으로 회피한 렌즈 구성 및 렌즈설계의 채용이 불가결하다.
- <27> 본 발명은, 예를 들면 형석과 같은 고유복굴절을 나타내는 결정재료를 사용하더라도, 복굴절의 영향을 정확히 반영시킨 결상성능의 평가방법을 제공하는 것을 제 4의 목적으로 한다.
- <28> 또한, 본 발명은, 복굴절의 영향을 양호하게 제거할 수 있는 결상광학계의 설계방법을 제공하는 것을 제 5의 목적으로 한다.
- <29> 또한, 본 발명은, 복굴절의 영향을 양호하게 제거하여 뛰어난 결상성능을 확보하는 것을 제 6의 목적으로 한다.

과제 해결수단

- <30> 상기 목적을 달성하기 위해서, 본 발명에 이러한 결상성능의 평가방법은, 결상광학계의 결상성능을 평가하는데 있어서, 상기 결상광학계의 평가대상 상점(像点)에 입사하는 결상광속의 동공투과율 분포(본 명세서에서는, 문언 '동공투과율 분포'를 '사출동공면상에서의 광투과율의 분포'의 의미로 사용한다.)를 취득하여, 상기 취득한 동공투과율 분포로부터, 그 동공투과율 분포의 회전대칭성분, 홀수대칭성분, 짝수대칭성분의 적어도 무언가 1성분을, 평가지표로서 추출하는 것을 특징으로 한다.
- <31> 여기서, 렌즈나 거울 등의 광학부재의 표면에 형성된 박막이, 그들의 면에 입사하는 광선에 주는 영향 중 하나로, 광 강도의 감소가 있다. 또한, 이러한 박막이 광선에 주는 광 강도의 감소량은, 그 광선의 입사각도에 따라서 다르다.
- <32> 그 점, 상기 평가지표는, 어느 것이나, 서로 다른 사출각도로 사출하고, 또한 사출동공면상의 서로 다른 위치를 통과하는 각 광선의 투과율(동공투과율 분포)이 기초로 되어 있기 때문에, 박막에 의한 영향을 정확히 반영한다.
- <33> 또한, 이들의 평가지표는, 각각 사출동공면에서의 회전대칭성분, 홀수대칭성분, 짝수대칭성분을 나타내기 때문에, 결상성능 중 특히, 상 높이에 의한 콘트라스트의 불균일성, 초점위치에 의한 패턴상의 형상의 비대칭성, 및 패턴의 방향에 의한 콘트라스트의 불균일성을, 개별로 평가할 수도 있다.
- <34> 또한, 이 결상성능의 평가방법에 있어서는, 동공투과율 분포의 취득을, 상기 결상광학계의 중심상(中心像) 높이에 입사하는 결상광속에 대해서도 행하고, 상기 평가대상 상점에 대해서 취득한 동공투과율 분포를, 상기 중심상 높이에 대해서 취득한 동공투과율 분포로부터의 편차로 나타내는 것에 의해, 상기 평가지표를, 중심상 높이를 기준으로 한 것으로 설정하는 것이 바람직하다.
- <35> 이와 같이, 상 높이에 의한 차이를 나타내는 평가지표의 도입에 의하면, 결상성능을, 상 높이에 의한 차이의 면에서 평가할 수가 있다.
- <36> 또한, 이 결상성능의 평가방법에 있어서는, 상기 평가를, 서로 다른 상 높이의 복수의 평가대상 상점에 대해서 각각 하는 것이 바람직하다.
- <37> 이와 같이, 서로 다른 상 높이의 복수의 평가대상 상점(예를 들면, 가장 높은 주변상 높이, 중간상 높이의 2

점)을 설정하면, 결상성능을 상 높이마다 평가할 수가 있다.

- <38> 또한, 이 결상성능의 평가방법에 있어서는, 상기 평가지표의 추출에, 제르니케 함수를 적용하는 것이 바람직하다.
- <39> 제르니케 함수에 의한 전개는, 도카이대학 출판회 출판, 막스·보른, 에밀·윌프가 지은 '광학의 원리 II'에도 기재되어 있는 바와 같이, 일반적으로 광학계의 파면수차를 각 수차성분으로 분해할 때에 적용되어, 광학계에 고유한 각종의 특성이 지극히 상세히 고려된 것이다. 따라서, 상기의 각 평가지표가 각각 정확히 추출된다. 또한, 제르니케 함수에 의한 전개를 위한 연산(함수 피팅 등)은, 종래 일반적으로 행하여지고 있기 때문에, 그 실시가 비교적 간단하다고 하는 이점도 있다.
- <40> 또한, 본 발명에 이러한 결상성능의 평가방법은, 결상광학계의 결상성능을 평가하는 데에 있어서, 상기 결상광학계의 평가대상 상점에 입사하는 결상광속의 사출동공면에서의 제 1 편광방향의 위상도약(phase jump) 분포와, 상기 제 1 편광방향에 직교하는 제 2 편광방향의 위상도약(phase jump) 분포를 취득하여, 상기 취득한 제 1 편광방향의 위상도약(phase jump) 분포와 상기 제 2 편광방향의 위상도약(phase jump) 분포와의 합으로 이루어지는 평균 위상도약(phase jump) 분포를, 평가지표로서 취득하는 것을 특징으로 한다.
- <41> 여기서, 렌즈나 거울 등의 광학부재의 표면에 형성된 박막이, 그들의 면에 입사하는 광선에 주는 영향 중 하나로, 위상도약(phase jump)가 있다. 또한, 이러한 박막이, 광선에 주는 위상도약(phase jump)의 크기는, 그 광선의 입사각도에 따라서 다르다.
- <42> 그 점 상기 평가지표는, 서로 다른 사출각도로 사출하고, 또한 사출동공면상의 서로 다른 위치를 통과하는 각 광선의 위상도약(phase jump)(위상도약 분포)가 기초로 되어 있기 때문에, 박막에 의한 영향을 정확히 반영한다.
- <43> 더구나, 이 평가지표는, 결상광학계의 파면수차에 해당하는 서로 직교하는 2방향의 위상도약(phase jump) 분포의 평균이기 때문에, 결상성능을, 파면수차의 면에서 평가하는 것이 가능하게 한다.
- <44> 또한, 이 결상성능의 평가방법에 있어서는, 평균 위상도약(phase jump) 분포의 취득을, 상기 결상광학계의 중심상 높이에 입사하는 결상광속에 대해서도 행하여, 상기 평가대상 상점에 관해서 취득한 평균 위상도약(phase jump) 분포를, 상기 중심상 높이에 대해서 취득한 평균 위상도약(phase jump) 분포로부터의 편차로 나타내는 것에 의해, 상기 평가지표를, 중심상 높이를 기준으로 한 것으로 설정하는 것이 바람직하다.
- <45> 이와 같이, 상 높이에 의한 차이를 나타내는 평가지표의 도입에 의하면, 결상성능을, 상 높이에 의한 차이의 면에서 평가하는 것이 가능하게 된다.
- <46> 또한, 이 결상성능의 평가방법에 있어서는, 상기 평가를, 서로 다른 상 높이의 복수의 평가대상 상점에 관해서 각각 하는 것이 바람직하다.
- <47> 이와 같이, 서로 다른 상 높이의 복수의 평가대상 상점(예를 들면, 가장 높은 주변상 높이, 중간상 높이의 2 점)을 설정하면, 결상성능을 상 높이마다 평가하는 것이 가능하게 된다.
- <48> 또한, 이 결상성능의 평가방법에 있어서, 상기 취득한 평가지표에 제르니케 함수를 적용하는 것에 의해 상기 결상광학계의 파면수차를 평가하는 것이 바람직하다.
- <49> 제르니케 함수에 의한 전개는, 상기한 바와 같이 일반적으로 광학계의 파면수차를 각 수차성분에 분해할 때에 적용되어, 광학계에 고유한 각종의 특성이 지극히 상세하게 고려되어 있는 것이므로, 상기의 각 평가지표는, 각 수차성분에 정확히 평가된다. 또한, 제르니케 함수에 의한 전개를 위한 연산(함수 피팅 등)은, 종래 일반적으로 행하여지고 있기 때문에, 그 실시가 비교적 간단하다고 하는 이점도 있다.
- <50> 본 발명에 이러한 결상성능의 평가방법은, 결상광학계의 결상성능을 평가하는 데에 있어서, 상기 결상광학계의 평가대상 상점에 입사하는 결상광속의 사출동공면에서의 제 1 편광방향의 위상도약(phase jump) 분포와, 상기 제 1 편광방향에 직교하는 제 2 편광방향의 위상도약(phase jump) 분포를 취득하여, 상기 취득한 제 1 편광방향의 위상도약(phase jump) 분포와 상기 제 2 편광방향의 위상도약(phase jump) 분포와의 차로 이루어지는 리타데이션 (retardation) 분포를, 평가지표로서 취득하는 것을 특징으로 한다.
- <51> 여기서, 렌즈나 거울 등의 광학부재의 표면에 형성된 박막이, 그들의 면에 입사하는 광선에 주는 영향의 하나로, 위상도약(phase jump)가 있다. 또한, 이러한 박막이 광선에 주는 위상도약(phase jump)의 크기는, 그 광선의 입사각도에 따라서 다르다.

- <52> 그 점 상기 평가지표는, 서로 다른 사출각도로 사출하고, 또한 사출동공면상의 서로 다른 위치를 통과하는 각 광선의 위상도약(phase jump)(위상도약 분포)가 바탕이 되어 있기 때문에, 박막에 의한 영향을 정확히 반영한다.
- <53> 더구나, 이 평가지표는, 지연 분포를 나타내기 때문에, 결상성능을, 상의 콘트라스트의 면에서 평가하는 것을 가능하게 한다.
- <54> 또한, 이 결상성능의 평가방법에 있어서는, 리타레이션 분포의 취득을, 상기 결상광학계의 중심상 높이에 입사하는 결상광속에 대해서도 행하여, 상기 평가대상 상점에 대해서 취득한 리타레이션 분포를, 상기 중심상 높이에 관해서 취득한 리타레이션 분포로부터의 편차로 나타내는 것에 의해, 상기 평가지표를, 중심상 높이를 기준으로 한 것으로 설정하는 것이 바람직하다.
- <55> 이와 같이, 상 높이에 의한 차이를 나타내는 평가지표의 도입에 의하면, 결상성능을, 상 높이에 의한 차이의 면에서 평가할 수가 있다.
- <56> 또한, 이 결상성능의 평가방법에 있어서는, 상기 평가를, 서로 다른 상 높이의 복수의 평가대상 상점에 관해서 각각 하는 것이 바람직하다.
- <57> 이와 같이, 서로 다른 상 높이의 복수의 평가대상 상점(예를 들면, 가장 높은 주변상 높이, 중간상 높이의 2점)을 설정하면, 결상성능을 상 높이마다 평가할 수가 있다.
- <58> 또한, 이 결상성능의 평가방법에 있어서는, 상기 평가대상 상점은, 상기 결상광학계의 중심상 높이이고, 상기 리타레이션 분포의 RMS값과, 그 리타레이션 분포의 사출동공면 내 평균치를, 평가지표로서 취득하는 것이 바람직하다.
- <59> 여기서, 점상강도(点像强度) 분포의 최대치는, 이들의 평가지표에 의해서 나타난다. 따라서, 이들의 평가지표에 의하면, 결상성능을, 점상강도 분포의 성질의 면에서 평가하는 것이 가능하게 된다.
- <60> 또한, 이 결상성능의 평가방법에 있어서는, 상기 결상광학계는, 박막이 표면에 형성된 광학부재를 갖는 것이 바람직하다.
- <61> 또한, 본 발명에 있어서 박막의 설계방법은, 박막이 표면에 형성된 광학부재를 갖는 결상광학계의 결상성능을, 상기한 결상성능의 평가방법에 의해 평가하고, 상기 평가에 따라서, 상기 결상광학계에 형성해야 할 박막을 설계하는 것을 특징으로 한다.
- <62> 이와 같이, 박막의 설계시 결상성능의 평가에, 이 결상성능의 평가방법이 적용되면, 박막의 영향이 양호하게 제거되는 것과 같은 박막을 설계하는 것이 가능하게 된다.
- <63> 또한, 본 발명에 있어서 결상광학계의 설계방법은, 박막이 표면에 형성된 광학부재를 갖는 결상광학계의 결상성능을, 그 박막이 이상적인 박막이라고 한 조건 하에서 평가하고, 상기 결상광학계의 결상성능을, 상기 결상성능의 평가방법에 의해 평가하여, 상기 2개의 평가에 따라서, 상기 결상광학계를 설계하는 것을 특징으로 한다.
- <64> 이와 같이, 결상광학계의 설계시 결상성능의 평가에, 상기 결상성능의 평가방법이 적용되면, 박막에 의한 영향이 양호하게 제거되는 것과 같은 결상광학계를 설계하는 것이 가능하게 된다.
- <65> 또한, 본 발명에 있어서 결상광학계는, 상기 박막의 설계방법에 의해 설계된 박막을 갖는 것을 특징으로 한다.
- <66> 또한, 본 발명에 있어서 결상광학계는, 상기 결상광학계의 설계방법에 의해 설계된 것을 특징으로 한다.
- <67> 이들의 결상광학계는, 상기한 바와 같이 박막의 영향이 양호하게 제거되어, 양호한 결상성능을 갖는다.
- <68> 또한, 상기한 결상성능의 평가방법은, 상기 결상광학계가 리타레이션을 가지는 광학부재를 갖는 것이 바람직하다.
- <69> 또한, 본 발명에 있어서 결상광학계의 설계방법은, 리타레이션을 가지는 광학부재를 갖는 결상광학계의 결상성능을, 상기 결상성능의 평가방법에 의해 평가하고, 상기 평가에 따라서, 상기 결상광학계를 설계하는 것을 특징으로 한다.
- <70> 또한, 본 발명에 있어서 결상광학계는, 상기 결상광학계의 설계방법에 의해 설계된 것을 특징으로 한다.
- <71> 또한, 본 발명에 있어서 결상광학계는, 박막이 표면에 형성된 광학부재를 갖는 결상광학계에 있어서, 상기 결상

광학계의 중심상 높이에 입사하는 결상광속의 동공투과율 분포의 RMS값을 t_0 로 할 때, $t_0 \leq 0.04$ 를 만족하는 것을 특징으로 한다. 여기서, 투과율이란, 전체투과의 경우를 1로 하는 비율이다.

- <72> 이 때, 결상광학계를 사용한 포토리소그래피에 의한 전사패턴의 폭이나 형상은, 충분한 정밀도로 제어할 수 있다. 또, 상기식의 역치를 0.02로 설정하면, 보다 양호한 정밀도로 제어할 수 있다.
- <73> 또한, 이 결상광학계는, 상기 결상광학계의 소정의 상 높이에 입사하는 결상광속의 동공투과율 분포와 상기 결상광학계의 중심상 높이에 입사하는 결상광속의 동공투과율 분포와의 차분의 RMS값을 Δt 로 할 때, $\Delta t \leq 0.032$ 를 만족하는 것이 바람직하다. 여기서, 투과율이란, 전체투과의 경우를 1로 하는 비율이다.
- <74> 이 때, 결상광학계를 사용한 포토리소그래피에 의한 전사패턴의 폭이나 형상은, 상 위치에 관계없이 유지된다. 또한, 상기 식의 역치를 0.016으로 설정하면, 그 차는 양호하게 유지된다.
- <75> 또한, 이 결상광학계는, 상기 결상광학계의 소정의 상 높이에 입사하는 결상광속의 동공투과율 분포와 상기 결상광학계의 중심상 높이에 입사하는 결상광속의 동공투과율 분포와의 차분으로부터 추출된 회전대칭성분의 RMS값을 Δt_{rot} 로 할 때, $\Delta t_{rot} \leq 0.02$ 를 만족하는 것이 바람직하다. 여기서, 투과율이란, 전체투과의 경우를 1로 하는 비율이다.
- <76> 이 때, 결상광학계를 사용한 포토리소그래피에 의한 전사패턴의 상 높이에 의한 폭의 차는 억제된다. 또, 상기 식의 역치를 0.01로 설정하면, 그 차는 보다 양호하게 억제된다.
- <77> 또한, 이 결상광학계는, 상기 결상광학계의 소정의 상 높이에 입사하는 결상광속의 동공투과율 분포와 상기 결상광학계의 중심상 높이에 입사하는 결상광속의 동공투과율 분포와의 차분으로부터 추출된 홀수대칭성분의 RMS값을 Δt_{odd} 로 할 때, $\Delta t_{odd} \leq 0.024$ 를 만족하는 것이 바람직하다. 여기서, 투과율이란, 전체투과의 경우를 1로 하는 비율이다.
- <78> 이 때, 결상광학계를 사용한 포토리소그래피에 의한 전사패턴의 디포커스에 의한 형상변화는 억제된다. 또, 상기 식의 역치를 0.012로 설정하면, 그 형상변화는 보다 양호하게 억제된다.
- <79> 또한, 이 결상광학계는, 상기 결상광학계의 소정의 상 높이에 입사하는 결상광속의 동공투과율 분포와 상기 결상광학계의 중심상 높이에 입사하는 결상광속의 동공투과율 분포와의 차분으로부터 추출된 짝수대칭성분의 RMS값을 Δt_{evn} 으로 할 때, $\Delta t_{evn} \leq 0.032$ 를 만족하는 것이 바람직하다. 여기서, 투과율이란, 전체투과의 경우를 1로 하는 비율이다.
- <80> 이 때, 결상광학계를 사용한 포토리소그래피에 의한 전사패턴의 배치방향에 의한 폭의 변화는 억제된다. 또, 상기 식의 역치를 0.016으로 설정하면, 그 폭의 변화는 보다 양호하게 억제된다.
- <81> 또한, 본 발명에 있어서 결상광학계는, 박막이 표면에 형성된 광학부재를 갖는 결상광학계에 있어서, 상기 결상광학계의 중심상 높이에 입사하는 결상광속의 사출동공면에서의 제 1 편광방향의 위상도약(phase jump) 분포와, 상기 제 1 편광방향에 직교하는 제 2 편광방향의 위상도약(phase jump) 분포와의 차로 이루어지는 리타레이션 분포의 RMS값을 δw_0 으로 하고, 그 리타레이션 분포의 사출동공면 내 평균치를 $A[\delta W_0]$ 로 할 때, $1 - (4\pi^2 \cdot \delta w_0^2 + 2\pi^2 \cdot A[\delta W_0]^2)/2 \geq 0.98$ 을 만족하는 것을 특징으로 한다.
- <82> 이 때, 결상광학계를 사용한 포토리소그래피에 의한 점상강도 분포의 열화는 억제된다.
- <83> 또한, 본 발명에 있어서 결상성능의 평가방법은, 리타레이션을 가지는 광학부재를 갖는 결상광학계의 결상성능을 평가하는 평가방법에 있어서, 상기 결상광학계의 입사동공면 내에 제 1 편광방향의 결상광속을 입사시켰을 때의 상기 결상광학계의 사출동공측에서 사출되는 광속의 제 1 편광방향의 성분인 제 1-1성분을 취득하고, 상기 결상광학계의 입사동공면 내에 상기 제 1 편광방향과 직교하는 제 2 편광방향의 결상광속을 입사시켰을 때의 상기 결상광학계의 사출동공측에서 사출되는 광속의 제 2 편광방향의 성분인 제 2-2성분을 취득하고, 상기 결상광학계의 입사동공면 내에 상기 제 1 편광방향의 결상광속을 입사시켰을 때의 상기 결상광학계의 사출동공측에서 사출되는 광속의 상기 제 2 편광방향의 성분인 제 1-2성분을 취득하고, 상기 결상광학계의 입사동공면 내에 상기 제 2 편광방향의 결상광속을 입사시켰을 때의 상기 결상광학계의 사출동공측에서 사출되는 광속의 상기 제 1 편광방향의 성분인 제 2-1성분을 취득하고, 상기 광속의 상기 제 1-2성분의 진폭분포 또는 강도분포와, 상기 광속의 상기 제 2-1성분의 진폭분포 또는 강도분포를, 평가지표로서 취득하는 것을 특징으로 한다.
- <84> 또한, 이 결상성능의 평가방법에 있어서는, 상기 광속의 상기 제 1-1성분과 상기 광속의 상기 제 2-2성분에 관

해서 상기 평가방법으로 평가하는 것이 바람직하다.

- <85> 또한, 이 결상성능의 평가방법에 있어서는, 상기 평가지표의 추출에, 제르니케 함수를 적용하는 것이 바람직하다.
- <86> 또한, 이 결상성능의 평가방법에 있어서는, 상기 결상광학계는, 박막이 표면에 형성된 광학부재를 갖고, 상기 제 1-1성분 및 상기 제 2-2성분의 취득에 있어서 상기 박막에 의한 오차를 제거하는 것이 바람직하다.
- <87> 또한, 본 발명에 있어서 결상광학계의 설계방법은, 리타데이션을 가지는 광학부재를 갖는 결상광학계의 결상성능을, 상기 결상성능의 평가방법에 의해 평가하고, 상기 평가에 따라서, 상기 결상광학계를 설계하는 것을 특징으로 한다.
- <88> 또한, 이 결상광학계의 설계방법에 있어서는, 상기 평가지표에 따라서, 상기 결상광학계의 파라미터를 최적화하는 것이 바람직하다.
- <89> 또한, 이 결상광학계의 설계방법에 있어서는, 상기 광속의 상기 제 1-2성분 및 상기 제 2-1성분의 강도를, 상기 광속의 상기 제 1-1성분 및 상기 제 2-2성분의 강도의 1/100 이하로 하도록, 상기 결상광학계를 설계하는 것이 바람직하다.
- <90> 또한, 본 발명에 있어서 결상광학계는, 상기 결상광학계의 설계방법에 의해 설계된 것을 특징으로 한다.
- <91> 또한, 본 발명에 있어서 결상광학계의 제조방법은, 리타데이션을 가지는 광학부재를 갖는 결상광학계의 결상성능을, 상기 결상성능의 평가방법에 의해 평가하는 공정을 갖는 것을 특징으로 한다.
- <92> 또한, 본 발명에 있어서 결상광학계는, 상기 결상광학계의 제조방법에 의해 제조되는 것을 특징으로 한다.
- <93> 또한, 본 발명에 있어서 결상광학계는, 리타데이션을 가지는 광학부재를 갖는 결상광학계에 있어서, 상기 결상광학계의 입사동공면 내에 제 1 편광방향의 결상광속을 입사시켰을 때의 상기 결상광학계의 사출동공측에서 사출되는 광속의 제 1 편광방향의 성분을 제 1-1성분으로 하고, 상기 결상광학계의 입사동공면 내에 상기 제 1 편광방향과 직교하는 제 2 편광방향의 결상광속을 입사시켰을 때의 상기 결상광학계의 사출동공측에서 사출되는 광속의 제 2 편광방향의 성분을 제 2-2성분으로 하고, 상기 결상광학계의 입사동공면 내에 상기 제 1 편광방향의 결상광속을 입사시켰을 때의 상기 결상광학계의 사출동공측에서 사출되는 광속의 상기 제 2 편광방향의 성분을 제 1-2성분으로 하고, 상기 결상광학계의 입사동공면 내에 상기 제 2 편광방향의 결상광속을 입사시켰을 때의 상기 결상광학계의 사출동공측에서 사출되는 광속의 상기 제 1 편광방향의 성분을 제 2-1성분으로 할 때, 상기 광속의 상기 제 1-2성분 및 상기 제 2-1성분의 강도가 상기 광속의 상기 제 1-1성분 및 상기 제 2-2성분의 강도의 1/100 이하인 것을 특징으로 한다.
- <94> 또한, 본 발명에 있어서 설계프로그램은, 박막이 표면에 형성된 광학부재를 갖는 결상광학계의 결상성능을, 상기 결상성능의 평가방법에 의해 평가하는 순서와, 상기 평가에 따라서, 상기 결상광학계에 형성해야 할 박막을 설계하는 순서를 기억하는 것을 특징으로 한다.
- <95> 또한, 본 발명에 있어서 설계프로그램은, 박막이 표면에 형성된 광학부재를 갖는 결상광학계의 결상성능을, 그 박막이 이상적인 박막이라는 조건 하에서 평가하는 순서와, 그 결상광학계의 결상성능을, 상기 결상성능의 평가방법에 의해 평가하는 순서와, 상기 2개의 평가에 따라서, 상기 결상광학계를 설계하는 순서를 기억하는 것을 특징으로 한다.
- <96> 또한, 본 발명에 있어서 설계프로그램은, 결상광학계의 결상성능을, 상기 결상성능의 평가방법에 의해 평가하는 순서와, 상기 평가에 따라서, 상기 결상광학계를 설계하는 순서를 기억하는 것을 특징으로 한다.
- <97> 또한, 본 발명에 있어서 설계프로그램은, 상기 결상광학계의 설계방법을 기억하는 것을 특징으로 한다.
- <98> 또한, 본 발명에 있어서 컴퓨터 독해가 가능한 기억매체는, 상기 설계프로그램을 기억하는 것을 특징으로 한다.
- <99> 또한, 본 발명에 있어서 투영노광장치는, 소정의 파장의 빛에 따라서 제 1 면에 배치되는 투영원판의 상을 제 2 면에 배치되는 워크피스로 투영노광하는 투영노광장치에 있어서, 상기 소정파장의 빛을 공급하는 광원과; 해당 광원과 상기 제 1 면과의 사이의 광로(光路) 안에 배치되고, 상기 광원으로부터의 상기 광을 상기 투영원판으로 이끄는 조명광학계와; 상기 제 1 면과 상기 제 2 면과의 사이의 광로 안에 배치되고, 상기 투영원판의 상을 상기 제 2 면상에 형성하기 위한 투영광학계를 구비하고, 상기 투영광학계로서, 상기 결상광학계를 구비한 것을

특징으로 한다.

<100> 또한, 본 발명에 있어서 투영노광방법은, 소정의 파장의 빛에 따라서 제 1 면에 배치되는 투영원판의 상을 제 2 면에 배치되는 워크피스로 투영노광하는 투영노광방법에 있어서, 상기 소정의 파장의 빛을 공급하는 공정과; 상기 소정의 파장의 빛을 사용하여 상기 투영원판을 조명하는 공정과; 상기 조명된 상기 투영원판으로부터의 빛에 따라서, 투영광학계에 의해 상기 제 2 면상에 상기 투영원판의 상을 형성하는 공정을 구비하고, 상기 투영광학계로서, 상기 결상광학계를 사용하는 것을 특징으로 한다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<101> 우선, 도 1, 도 2, 도 3, 도 4를 참조하여 본 발명의 제 1 실시형태에 관해서 설명한다.

<102> 본 실시형태는, 결상광학계의 결상성능을, 크게 나눠 두 가지의 평가지표(투과율에 근거하는 평가지표, 및 위상 도약(phase jump)에 근거하는 평가지표)에 의해 평가하는 것이다.

<103> 또한, 본 실시형태는, 노광장치에 적용되는 투영광학계를 평가대상으로 할 때에 바람직하기 때문에, 이하 그 전제로 설명한다. 또한, 투영광학계는 렌즈나 반사면 등의 광학소자의 수가 많기 때문에, 그 평가에 관한 각종 연산은, 복잡화하는 경향이 있다. 따라서, 이하에 설명하는 각 평가지표의 취득순서는, 어느 것이나 컴퓨터에 의해서 실행되는 것으로 한다.

<104> 또한, 본 명세서에서 중에서는, '평균' 및 'RMS'를, 이하와 같이 정의한다.

<105> 연속함수로 나타내는 어떤 물리량 F(x, y)의 영역 P 내에서의 평균 F_{ave}는, 하기 식과 같다.

$$F_{ave} = \int_P F(x,y) dx dy / \int_P dx dy$$

<106>

<107> 또한, 어떤 물리량 F(x, y)의 영역 P 내에서의 RMS는, 하기 식과 같다.

$$RMS = \left[\int_P (F(x,y) - F_{ave})^2 dx dy / \int_P dx dy \right]^{1/2}$$

<108>

<109> 또한, 이상의 연속함수에 대응하는 적분형 이산데이터 F_i(i = 1, 2, ..., N)에 대해서는, 평균 F_{ave}, 및 RMS는, 하기 식과 같이 각각 정의된다.

$$RMS = \left[\sum_{i=1}^N (F_i - F_{ave})^2 / N \right]^{1/2}$$

<110>

$$F_{ave} = \sum_{i=1}^N F_i / N$$

<111>

<112> <투과율에 근거하는 평가지표>

<113> 도 1은, 투과율에 근거하는 각 평가지표를 취득하는 순서를 나타내는 플로차트이다. 도 2는, 이 순서(및 후술하는 도 3에 나타내는 순서)를 설명하는 도면이다.

<114> (스텝 S1)

<115> 우선, 컴퓨터에, 투영광학계 PL의 광학소자의 설계데이터와, 코트데이터가 입력된다.

<116> 여기서, 광학소자의 설계데이터는, 투영광학계 PL을 구성하는 렌즈나 반사면 등의 광학소자의 면 형상, 유효지름(바깥지름), 면 간격, 반사율이나 굴절율, 공차 등이다.

<117> 또한, 코트데이터는, 그들의 렌즈나 반사면의 각 면에 형성되는 박막의 구조, 즉 박막의 층수, 각 층의 두께, 각 층의 재료(필요하면 각 층의 흡수계수) 등이다.

<118> 이와 관련하여, 이들의 데이터는, 투영광학계 PL의 물체측(레티클면 R측)으로부터 넣은 각 광선에 대해서 광선

추적을 하여 그들 각 광선의 물체측(웨이퍼면 W측)에 있어서의 강도와 상측에서의 강도와의 사이의 차이를 구하기 위해서, 필요한 정보이다.

- <119> (스텝 S2)
- <120> 다음에, 컴퓨터는, 광선추적을 하여, 도 2에 나타내는 것과 같은 임의의 상 높이(예를 들면 가장 높은 주변상 높이)의 평가대상 상점 X_i 에 입사하는 결상광속의 동공투과율 분포 $T_i(\rho, \theta)$ 와, 중심상 높이 X_0 에 입사하는 결상광속의 동공투과율 분포 $T_0(\rho, \theta)$ 를 산출한다.
- <121> 본 실시형태에 있어서, 이들의 동공투과율 분포를 산출할 때에 구해야되는 투과율은, 투영광학계 PL의 사출동공면 PS의 끝단부에 대해서뿐만 아니라, 사출동공면 PS의 전역에 대해서이다.
- <122> 따라서, 도 2에 나타내는 바와 같이, 평가대상 상점 X_i 에 입사하는 결상광속의 광선추적은, X_i 의 공역점(共役点) R_i 에서 사출하는 광속 L_{fi} 중, 서로 다른 사출각도로 사출하여 사출동공면 PS의 서로 다른 위치를 통과하는 것과 같은 각 광선에 대해서, 각각 행하여진다(또, 광선추적해야 할 광선의 최대사출각도는, 투영광학계 PL의 상측 개구수에 따른 것으로 된다.).
- <123> 그리고, 이러한 광선추적에 의해, 각 광선의 투영광학계 PL의 물체측(웨이퍼면 W측)에 있어서의 강도와 상측에서의 강도와의 차이가 취득된다. 그리고, 그 차이로부터, 각 광선의 동공투과율이 구해진다.
- <124> 여기서, 그 동공투과율의 사출동공면 PS상에서의 분포를 사출동공면 PS상의 극좌표(ρ, θ)로 나타낸 것을, 평가대상 상점 X_i 에 입사하는 결상광속의 동공투과율 분포 $T_i(\rho, \theta)$ 로 둔다. 또한, ρ 는 사출동공면 PS의 반지름을 1로 규격화한 규격화 동공반지름, θ 는 사출동공면 PS의 중심을 원점으로 한 극좌표의 움직이는 지름각이다.
- <125> 또한, 중심상 높이 X_0 에 입사하는 결상광속의 광선추적도, 마찬가지로, X_0 의 공역점 R_0 로부터 사출하는 광속 L_{f0} 중, 서로 다른 사출각도로 사출하여 사출동공면 PS의 서로 다른 위치를 통과하는 각 광선에 관해서 각각 행하여진다. 그리고, 각 광선의 동공투과율이 요구되어, 그 동공투과율의 사출동공면 PS상에서의 분포를 사출동공면 PS상의 극좌표(ρ, θ)로 나타낸 것을, 중심상 높이 X_0 에 입사하는 결상광속의 동공투과율 분포 $T_0(\rho, \theta)$ 로 둔다.
- <126> (스텝 S3)
- <127> 다음에, 컴퓨터는, 동공투과율 분포 $T_0(\rho, \theta)$ 를, 함수피팅을 하여 다음 식 (1)과 같이 제르니케의 원통함수계에 전개(제르니케 전개)한다. 여기서, 그 함수 중, 정수항을 제외한 전체성분의 RMS값(제곱평균평방근) t_0 이, 투과율에 근거하는 평가지표로서 구해진다(t_0 의 취득완료).
- <128> $T_0(\rho, \theta) = \sum B_n Z_n(\rho, \theta) \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad (1)$
- <129> 여기서, B_n 은 전개계수이다. 또한, 제르니케의 각 원통함수 $Z_n(\rho, \theta)$ 는, 각 $n(n= 1\sim 36)$ 에 대하여 다음과 같이 나타낸다.
- <130> $n : Z_n(\rho, \theta)$
- <131> 1 : 1,
- <132> 2 : $\rho \cos \theta$,
- <133> 3 : $\rho \sin \theta$,
- <134> 4 : $2\rho^2 - 1$,
- <135> 5 : $\rho^2 \cos 2\theta$,
- <136> 6 : $\rho^2 \sin 2\theta$,
- <137> 7 : $(3\rho^2 - 2)\rho \cos \theta$,
- <138> 8 : $(3\rho^2 - 2)\rho \sin \theta$,

- <139> $9 : 6\rho^4 - 6\rho^2 + 1,$
- <140> $10 : \rho^3 \cos 3\theta,$
- <141> $11 : \rho^3 \sin 3\theta,$
- <142> $12 : (4\rho^2 - 3)\rho^2 \cos 2\theta,$
- <143> $13 : (4\rho^2 - 3)\rho^2 \sin 2\theta,$
- <144> $14 : (10\rho^4 - 12\rho^2 + 3)\rho \cos \theta,$
- <145> $15 : (10\rho^4 - 12\rho^2 + 3)\rho \sin \theta,$
- <146> $16 : 20\rho^6 - 30\rho^4 + 12\rho^2 - 1,$
- <147> $17 : \rho^4 \cos 4\theta,$
- <148> $18 : \rho^4 \sin 4\theta,$
- <149> $19 : (5\rho^2 - 4)\rho^3 \cos 3\theta,$
- <150> $20 : (5\rho^2 - 4)\rho^3 \sin 3\theta,$
- <151> $21 : (15\rho^4 - 20\rho^2 + 6)\rho^2 \cos 2\theta,$
- <152> $22 : (15\rho^4 - 20\rho^2 + 6)\rho^2 \sin 2\theta,$
- <153> $23 : (35\rho^6 - 60\rho^4 + 30\rho^2 - 4)\rho \cos \theta,$
- <154> $24 : (35\rho^6 - 60\rho^4 + 30\rho^2 - 4)\rho \sin \theta,$
- <155> $25 : 70\rho^8 - 140\rho^6 + 90\rho^4 - 20\rho^2 + 1,$
- <156> $26 : \rho^5 \cos 5\theta,$
- <157> $27 : \rho^5 \sin 5\theta,$
- <158> $28 : (6\rho^2 - 5)\rho^4 \cos 4\theta,$
- <159> $29 : (6\rho^2 - 5)\rho^4 \sin 4\theta,$
- <160> $30 : (21\rho^4 - 30\rho^2 + 10)\rho^3 \cos 3\theta,$
- <161> $31 : (21\rho^4 - 30\rho^2 + 10)\rho^3 \sin 3\theta,$
- <162> $32 : (56\rho^6 - 104\rho^4 + 60\rho^2 - 10)\rho^2 \cos 2\theta,$
- <163> $33 : (56\rho^6 - 104\rho^4 + 60\rho^2 - 10)\rho^2 \sin 2\theta,$
- <164> $34 : (126\rho^8 - 280\rho^6 + 210\rho^4 - 60\rho^2 + 5)\rho \cos \theta,$
- <165> $35 : (126\rho^8 - 280\rho^6 + 210\rho^4 - 60\rho^2 + 5)\rho \sin \theta,$
- <166> $36 : 252\rho^{10} - 630\rho^8 + 560\rho^6 - 210\rho^4 + 30\rho^2 - 1,$

- <167> 즉, t_0 은, $(\sum B_n Z_n(\rho, \theta) - B_1)$ 의 RMS값이다.
- <168> 또, 제르니케 전개와 전개차수는, 36에 한정하지 않고, 16 등의 다른 값이더라도 좋고, 또한, 36 이상의 값이라도 좋다.
- <169> (스텝 S4)
- <170> 또한, 컴퓨터는, 스텝 S2에 있어서 구한 $T_i(\rho, \theta)$, $T_0(\rho, \theta)$ 를 참조하여, 중심상 높이 X_0 을 기준으로 한 평가대상 상점 X_i 의 동공투과율 분포 $\Delta T_i(\rho, \theta)$ (이하, '상 높이에 의한 차이'라고 칭한다.)를 구한다. 이것은, 다음 식(2)에 의해 구해진다.
- <171>
$$\Delta T_i(\rho, \theta) = T_i(\rho, \theta) - T_0(\rho, \theta) \quad \cdot \cdot \cdot (2)$$
- <172> 즉, 상 높이에 의한 차이 $\Delta T_i(\rho, \theta)$ 는, $T_i(\rho, \theta)$ 와 $T_0(\rho, \theta)$ 와의 좌표를 일치시켜서 얻은 차분의 분포이다.
- <173> 또한, 컴퓨터는, 상 높이에 의한 차이 $\Delta T_i(\rho, \theta)$ 를, 다음 식(3)과 같이 제르니케 전개하여, 그 정수항을 제외한 전체성분의 RMS값 Δt_i 를, 투과율에 근거하는 평가지표로서 구한다(Δt_i 의 취득완료).
- <174>
$$\Delta T_i(\rho, \theta) = \sum C_n Z_n(\rho, \theta) \quad \cdot \cdot \cdot (3)$$
- <175> 여기서, C_n 은 전개계수이다.
- <176> 즉, Δt_i 는, $(\sum C_n Z_n(\rho, \theta) - C_1)$ 의 RMS값이다.
- <177> 또, 제르니케 전개와 전개차수는, 36에 한정되지 않고, 16 등의 다른 값이더라도 좋고, 또한, 36 이상의 값이더라도 좋다.
- <178> (스텝 S5)
- <179> 또한, 컴퓨터는, 스텝 S4로 구한 차이 $\Delta T_i(\rho, \theta)$ 를, 또한 회전대칭성분 $\Delta T_{i_{rot}}(\rho, \theta)$, 홀수대칭성분 $\Delta T_{i_{odd}}(\rho, \theta)$, 짝수대칭성분 $\Delta T_{i_{evn}}(\rho, \theta)$ 의 3가지로 그룹화하고, 이 그룹화된 각 항의 RMS값 $\Delta t_{i_{rot}}$, $\Delta t_{i_{odd}}$, $\Delta t_{i_{evn}}$ 을, 투과율에 근거하는 평가지표로서 구한다($\Delta t_{i_{rot}}$, $\Delta t_{i_{odd}}$, $\Delta t_{i_{evn}}$ 의 취득완료).
- <180> 또한, 회전대칭성분 $\Delta T_{i_{rot}}(\rho, \theta)$, 홀수대칭성분 $\Delta T_{i_{odd}}(\rho, \theta)$, 짝수대칭성분 $\Delta T_{i_{evn}}(\rho, \theta)$ 은 각각, 이하의 (a) (b) (c)이다.
- <181> (a) θ 를 포함하지 않은 항, 즉 원점(사출동공면 PS의 중심)의 주위에 회전시키더라도 변화하지 않는 항.
- <182> (b) θ 의 홀수배의 삼각함수를 포함하는 항, 즉 원점의 주위에 360° 의 홀수분의 1만큼 회전시켜도 변화하지 않는 항.
- <183> (c) θ 의 짝수배의 삼각함수를 포함하는 항, 즉 원점의 주위에 360° 의 짝수분의 1만큼 회전시켜도 변화하지 않는 항.
- <184> 따라서, 예를 들면 상기 제르니케 전개와 전개차수가 36인 경우,
- <185> $\Delta t_{i_{rot}}$ 는,
- <186> $(C_4 (2\rho^2 - 1)$
- <187> $+ C_9 (6\rho^4 - 6\rho^2 + 1)$
- <188> $+ C_{16} (20\rho^6 - 30\rho^4 + 12\rho^2 - 1)$
- <189> $+ C_{25} (70\rho^8 - 140\rho^6 + 90\rho^4 - 20\rho^2 + 1)$
- <190> $+ C_{36} (252\rho^{10} - 630\rho^8 + 560\rho^6 - 210\rho^4 + 30\rho^2 - 1))$ 의 RMS값이다.

- <191> $\Delta t i_{\text{odd}}^{\text{은}}$,
- <192> $(C_2 (\rho \cos \theta)$
- <193> $+ C_3 (\rho \sin \theta)$
- <194> $+ C_7 ((3 \rho^2 - 2) \rho \cos \theta)$
- <195> $+ C_8 ((3 \rho^2 - 2) \rho \sin \theta)$
- <196> $+ C_{10} (\rho^3 \cos 3\theta)$
- <197> $+ C_{11} (\rho^3 \sin 3\theta)$
- <198> $+ C_{14} ((10 \rho^4 - 12 \rho^2 + 3) \rho \cos \theta)$
- <199> $+ C_{15} ((10 \rho^4 - 12 \rho^2 + 3) \rho \sin \theta)$
- <200> $+ C_{19} ((5 \rho^2 - 4) \rho^3 \cos 3\theta)$
- <201> $+ C_{20} ((5 \rho^2 - 4) \rho^3 \sin 3\theta)$
- <202> $+ C_{23} ((35 \rho^6 - 60 \rho^4 + 30 \rho^2 - 4) \rho \cos \theta)$
- <203> $+ C_{24} ((35 \rho^6 - 60 \rho^4 + 30 \rho^2 - 4) \rho \sin \theta)$
- <204> $+ C_{26} (\rho^5 \cos 5\theta)$
- <205> $+ C_{27} (\rho^5 \sin 5\theta)$
- <206> $+ C_{30} ((21 \rho^4 - 30 \rho^2 + 10) \rho^3 \cos 3\theta)$
- <207> $+ C_{31} ((21 \rho^4 - 30 \rho^2 + 10) \rho^3 \sin 3\theta)$
- <208> $+ C_{34} ((126 \rho^8 - 280 \rho^6 + 210 \rho^4 - 60 \rho^2 + 5) \rho \cos \theta)$
- <209> $+ C_{35} ((126 \rho^8 - 280 \rho^6 + 210 \rho^4 - 60 \rho^2 + 5) \rho \sin \theta))$ 의 RMS값이다.
- <210> $\Delta t i_{\text{evn}}^{\text{은}}$,
- <211> $(C_5 (\rho^2 \cos 2\theta)$
- <212> $+ C_6 (\rho^2 \sin 2\theta)$
- <213> $+ C_{12} ((4 \rho^2 - 3) \rho^2 \cos 2\theta)$
- <214> $+ C_{13} ((4 \rho^2 - 3) \rho^2 \sin 2\theta)$
- <215> $+ C_{17} (\rho^4 \cos 4\theta)$

- <216> $+ C_{18} (\rho^4 \sin 4\theta)$
- <217> $+ C_{21} ((15\rho^4 - 20\rho^2 + 6)\rho^2 \cos 2\theta)$
- <218> $+ C_{22} ((15\rho^4 - 20\rho^2 + 6)\rho^2 \sin 2\theta)$
- <219> $+ C_{28} ((6\rho^2 - 5)\rho^4 \cos 4\theta)$
- <220> $+ C_{29} ((6\rho^2 - 5)\rho^4 \sin 4\theta)$
- <221> $+ C_{32} ((56\rho^6 - 104\rho^4 + 60\rho^2 - 10)\rho^2 \cos 2\theta)$
- <222> $+ C_{33} ((56\rho^6 - 104\rho^4 + 60\rho^2 - 10)\rho^2 \sin 2\theta)$ 의 RMS값이다.
- <223> 또, 제르니케 전개에 전개차수는, 36에 한정되지 않고, 16 등의 다른 값이라도 좋고, 또 36 이상의 값이라도 좋다.
- <224> <위상도약(phase jump)에 근거하는 평가지표>
- <225> 도 3은, 위상도약(phase jump)에 근거하는 각 평가지표를 취득하는 순서를 나타내는 플로차트이다.
- <226> (스텝 S31)
- <227> 우선, 컴퓨터에, 투영광학계 PL의 광학소자의 설계데이터와, 코트데이터가 입력된다.
- <228> 또한, 이들의 데이터는, 투영광학계 PL의 물체측(레티클면 R측)으로부터 입력된 각 광선에 대해서 광선추적을 하여 그들 각 광선의 물체면(웨이퍼면 W)에 있어서의 복소진폭을 구하기 위해서, 필요한 정보이다.
- <229> (스텝 S32)
- <230> 다음에, 컴퓨터는, 광선추적을 하여, 도 2에 나타내는 것 같은 임의의 평가대상 상점 Xi(예를 들면 가장 높은 주변상 높이)에 입사하는 결상광속의 세로방향 위상도약(phase jump) 분포 $WHi(\rho, \theta)$ 및 가로방향 위상도약(phase jump) 분포 $WVi(\rho, \theta)$ 와, 중심상 높이 X0에 입사하는 결상광속의 세로방향 위상도약(phase jump) 분포 $WH0(\rho, \theta)$ 및 가로방향 위상도약(phase jump) 분포 $WV0(\rho, \theta)$ 를 산출한다(스텝 S32).
- <231> 또, 여기서 말하는 '세로방향' 및 '가로방향'은, 사출동공면 PS상에서 서로 직교하는 2개의 편광방향으로서, 광선의 진행방향과의 관계는 상관없다.
- <232> 본 실시형태에 있어서, 이들의 위상도약(phase jump) 분포를 산출할 때에 구해야 하는 복소진폭은, 투영광학계 PL의 사출동공면 PS의 끝단부에 대해서뿐만 아니라, 사출동공면 PS의 전역에 대해서이다.
- <233> 따라서, 도 2에 나타내는 바와 같이, 평가대상 상점 Xi에 입사하는 결상광속의 광선추적은, Xi상의 공역점 Ri에서 사출하는 광속 Lfi 중, 서로 다른 사출각도로 사출하여 사출동공면 PS의 서로 다른 위치를 통과하는 것과 같은 각 광선에 관해서, 각각 행하여진다(또, 광선추적해야 할 광선의 최대사출각도는, 투영광학계 PL의 상측 개구수에 따른 것으로 된다.).
- <234> 그리고, 이러한 광선추적에 의해 광속 Lfi의 투영광학계 PL의 사출동공면 PS에서의 세로편광방향의 복소진폭 분포, 및 가로편광방향의 복소진폭 분포가 취득된다. 그들 분포로부터, 각각 세로방향 위상도약(phase jump) 분포, 및 가로방향 위상도약(phase jump) 분포가 구해진다.
- <235> 또, 그들 분포를 사출동공면 PS상의 극좌표(ρ, θ)로 나타낸 것을, 각각 평가대상 상점 Xi에 입사하는 결상광속의 세로방향 위상도약(phase jump) 분포 $WHi(\rho, \theta)$, 및 가로방향 위상도약(phase jump) 분포 $WVi(\rho, \theta)$ 로 둔다. 단지, ρ 는 사출동공면 PS의 반지름을 1로 규격화한 규격화 동공반지름, θ 는 사출동공면 PS의 중심을 원점으로 한 극좌표의 움직이는 지름각이다.
- <236> 또한, 중심상 높이 X0에 입사하는 결상광속의 광선추적도, 마찬가지로, X0의 공역점 R0으로부터 사출하는 광속 Lf0 중, 서로 다른 사출각도로 사출하여 사출동공면 PS의 서로 다른 위치를 통과하는 각 광선에 대해서 각각 행

하여진다. 그리고, 광속 L_{fi} 의 세로편광방향의 복소진폭 분포, 및 가로방향의 복소진폭 분포가 구해진다.

<237> 또한, 그들 분포를 사출동공면 PS상의 극좌표(ρ , θ)로 나타낸 것을, 각각 중심상 높이 X_0 에 입사하는 결상광속의 세로방향 위상도약(phase jump) 분포 $WHO(\rho, \theta)$ 및 가로방향 위상도약(phase jump) 분포 $WVO(\rho, \theta)$ 로 둔다.

<238> (스텝 S33)

<239> 다음에, 컴퓨터는, 평가대상 상점 X_i 의 평균 위상도약(phase jump) 분포 $W_{Ai}(\rho, \theta)$ 와, 중심상 높이 X_0 의 평균 위상도약(phase jump) 분포 $W_{A0}(\rho, \theta)$ 를, 다음 식(4)에 의해 구한다.

<240>
$$W_{Ai}(\rho, \theta) = (W_{Vi}(\rho, \theta) + W_{Hi}(\rho, \theta)) / 2 \quad \dots (4)$$

<241> 즉, 평균 위상도약(phase jump) 분포 $W_{Ai}(\rho, \theta)$ 는, $W_{Vi}(\rho, \theta)$ 와 $W_{V0}(\rho, \theta)$ 와의 좌표를 일치시켜 얻은 중간치의 분포이다.

<242> 그리고, 평균 위상도약(phase jump) 분포 $W_{Ai}(\rho, \theta)$, $W_{A0}(\rho, \theta)$ 각각의 RMS값 w_{ai} , w_{a0} 가, 위상도약(phase jump)에 근거하는 평가지표로서 구해진다(w_{ai} , w_{a0} 의 취득완료).

<243> (스텝 S34)

<244> 또한, 컴퓨터는, 스텝 S32에 있어서 구한 $W_{Vi}(\rho, \theta)$, $W_{Hi}(\rho, \theta)$, $W_{V0}(\rho, \theta)$, $W_{H0}(\rho, \theta)$ 를 참조하고, 평가대상 상점 X_i 의 리타레이션 분포 $\delta W_i(\rho, \theta)$ 와, 중심상 높이 X_0 의 리타레이션 분포 $\delta W_0(\rho, \theta)$ 를 구한다. 이것은, 다음 식(5)에 의해 구해진다.

<245>
$$\delta W_i(\rho, \theta) = W_{Vi}(\rho, \theta) - W_{Hi}(\rho, \theta) \quad \dots (5)$$

<246> 즉, 리타레이션 분포 $\delta W_i(\rho, \theta)$ 는, $W_{Vi}(\rho, \theta)$ 와 $W_{V0}(\rho, \theta)$ 와의 좌표를 일치시켜서 얻은 차분의 분포이다.

<247> 또한, 구한 리타레이션 분포 $\delta W_i(\rho, \theta)$, $\delta W_0(\rho, \theta)$ 각각의 RMS 값 δw_i , δw_0 이, 위상도약(phase jump)에 근거하는 평가지표로서 구해진다(Δw_i , Δw_0 의 취득완료).

<248> (스텝 S35)

<249> 또한, 컴퓨터는, 스텝 S33에 있어서 구한 $W_{Ai}(\rho, \theta)$, $W_{A0}(\rho, \theta)$ 을 참조하여, 중심상 높이 X_0 를 기준으로 한 평가대상 상점 X_i 의 평균 위상도약(phase jump) 분포 $\Delta W_{Ai}(\rho, \theta)$ (이하, '상 높이에 의한 차이'라고 칭한다.)를 구한다. 이것은, 다음 식(6)에 의해 구해진다.

<250>
$$\Delta W_{Ai}(\rho, \theta) = W_{Ai}(\rho, \theta) - W_{A0}(\rho, \theta) \quad \dots (6)$$

<251> 즉, 상 높이에 의한 차이 $\Delta W_{Ai}(\rho, \theta)$ 는, $W_{Ai}(\rho, \theta)$ 와 $W_{A0}(\rho, \theta)$ 와의 좌표를 일치시켜 얻은 차분의 분포이다.

<252> 그리고, 구한 차이 $\Delta W_{Ai}(\rho, \theta)$ 의 RMS값 Δw_{ai} 가, 위상도약(phase jump)에 근거하는 평가지표로서 구해진다(Δw_{ai} 의 취득완료).

<253> (스텝 S36)

<254> 컴퓨터는, 스텝 S34에 있어서 구한 리타레이션 분포 δW_0 를 참조하여, 그 RMS값 δw_0 , 및 그 사출동공면 내 평균치 $A[\delta W_0]$ 를 구하고, 다음 식(7)에 의해, PSF치를, 위상도약(phase jump)에 근거하는 평가지표로서 구한다(PSF의 취득완료).

<255>
$$PSF = 1 - (4\pi^2 \cdot \delta w_0^2 + 2\pi^2 \cdot A[\delta W_0]^2) / 2 \quad \dots (7)$$

<256> 또, 본 실시형태에서는, 이상 취득한 w_{ai} , w_{a0} , Δw_{ai} 의 각각에 대하여, 다음의 (a), (b), (c)와 같은 평가지표가 취득되더라도 좋다.

<257> (a) $W_{Ai}(\rho, \theta)$ 를 제르니케 전개할 수 있는 각 항의 RMS값, 또는/ 및 그 제르니케 전개하여 얻어진 복수의 항을 그룹화하여 얻어지는 각 항의 RMS값.

<258> (b) $W_{A0}(\rho, \theta)$ 를 제르니케 전개할 수 있는 각 항의 RMS값, 또는/ 및 그 제르니케 전개하여 얻어진 복수의 항을 그룹화하여 얻어지는 각 항의 RMS값.

- <259> (c) $\Delta W_{Ai}(\rho, \theta)$ 를 제르니케 전개할 수 있는 각 항의 RMS값, 또는/ 및 제르니케 전개하여 얻어진 복수의 항을 그룹화하여 얻어지는 각 항의 RMS값.
- <260> <각 평가지표에 대해서>
- <261> 다음에, 이상의 순서에 의해 취득한 각 평가지표 $t_0, \Delta t_i, \Delta t_{i_{rot}}, \Delta t_{i_{odd}}, \Delta t_{i_{evn}}, w_{ai}, w_{a0}, \Delta w_{ai}, \delta w_i, \delta w_0$, PSF의 각각이 나타내고 있는 양에 대해서 설명한다.
- <262> ' t_0 '은, 중심상 높이 X_0 의 동공투과율 분포 $T_0(\rho, \theta)$ 의 RMS값이기 때문에, 투영광학계 PL의 콘트라스트의 열화 정도를 나타내고 있다. 이와 관련하여, 이 값이 지나치게 커지면, 포토리소그래피에서는 전사패턴의 폭이나 형상을 원하는 값으로 제어할 수 없게 될 우려가 있기 때문에 바람직하지 않다.
- <263> ' Δt_i '는, 중심상 높이 X_0 을 기준으로 한 평가대상 상점 X_i 의 동공투과율 분포의 RMS값이기 때문에, 상의 위치에 의한 콘트라스트의 불균일성(강도얼룩짐)을 나타내고 있다. 이와 관련하여, 이 값이 지나치게 커지면, 포토리소그래피에서는 전사패턴의 폭이나 형상이 상 위치에 따라 다르기 때문에 바람직하지 않다.
- <264> 계속해서, $\Delta t_{i_{rot}}, \Delta t_{i_{odd}}, \Delta t_{i_{evn}}$ 을 설명하는 데에 있어서, 간단하기 때문에, 도 4에 나타내는 것과 같은 1점 조명에 의한 3광속간섭에 대해 생각한다.
- <265> 도 4에 있어서, 소정패턴의 0차 회절광(강도 A), 1차 회절광(강도 B_+), -1차 회절광(강도 B_-)은, 각각 투영광학계 PL을 투과한 후, 강도 A' , 강도 B_+' , 강도 B_-' 로 변화한다. 이 때, 좌표 x , 초점위치 z 에서의 상강도 I 를 나타내는 결상식은, 파수(波數)를 k , 1차 회절광 및 -1차 회절광의 상면으로의 입사방향여현(余弦)을 s, t 로 두면, 다음 식(8)으로 나타낸다.
- <266>
$$I = A'^2 + B_+'^2 + B_-'^2$$
- <267>
$$+ 2A'B_+' \cos(k(sx + tz))$$
- <268>
$$+ 2A'B_-' \cos(k(sx - tz))$$
- <269>
$$+ 2B_+'B_-' \cos(2ksx) \quad \dots (8)$$
- <270> 그런데, ' $\Delta t_{i_{rot}}$ '는, 동공투과율 분포의 회전대칭성분 $\Delta T_{i_{rot}}(\rho, \theta)$ 의 RMS값이다. 따라서, $\Delta t_{i_{rot}}$ 가 존재할 때에는, 3광속간섭에 있어서는, 같은 패턴의 같은 초점위치(z)에 있어서의 상이더라도, 상 높이(좌표 x)에 의해서 A' 에 대하여 B_+' 와 B_-' 가 함께 같은 정도만큼 많거나 또는 적어진다. 이 때의 상의 강도 I (식(8))를 참조하면, 동일패턴의 동일초점위치(z)에 있어서의 상이더라도, 상 높이(좌표 x)에 의해서 콘트라스트가 다른 것을 알 수 있다. 즉, $\Delta t_{i_{rot}}$ 는, 상 높이에 의한 콘트라스트의 불균일성을 나타내고 있다. 이와 관련하여, 이 값이 지나치게 커지면, 포토리소그래피에서는, 전체화면에서 조도가 같음에도 불구하고, 상 높이에 의해서 전사패턴의 폭에 차가 생겨 버린다.
- <271> ' $\Delta t_{i_{odd}}$ '는 동공투과율 분포의 홀수대칭성분 $\Delta T_{i_{odd}}(\rho, \theta)$ 의 RMS 값이다. 따라서, $\Delta t_{i_{odd}}$ 가 존재할 때에는, 3광속간섭에 있어서는, 동일패턴이더라도 초점위치 z 가 합한 초점위치에서 떨어짐에 따라서, B_+, B_- 의 밸런스가 변화한다. 이 때의 상의 강도 I (식(8))를 참조하면, 동일패턴이더라도, 초점위치 z 가 합한 초점위치에서 떨어지는 것(디포커스 한다)에 따라서, 상의 형상이 변화한다는 것을 알 수 있다. 즉, $\Delta t_{i_{odd}}$ 는, 초점위치에 의한 패턴상의 형상의 비대칭성을 나타내고 있다. 이와 관련하여, 이 값이 지나치게 커지면, 포토리소그래피에서는, 근소한 양의 디포커스에 의해 전사패턴의 형상이 변화하여 버린다.
- <272> ' $\Delta t_{i_{evn}}$ '은, 동공투과율 분포의 짝수대칭성분 $\Delta T_{i_{evn}}(\rho, \theta)$ 의 RMS값이다. 따라서, $\Delta t_{i_{evn}}$ 가 존재할 때에는, 3광속간섭에 있어서는, 동일패턴이더라도 패턴의 방향에 의해서, B_+, B_- 의 밸런스가 다르다. 이 때의 상의 강도 I (식(8))를 참조하면, 동일패턴의 동일상 높이(좌표 x)에 있어서의 상이더라도, 패턴의 방향(s, t)에 의해서 콘트라스트가 다른 것을 알 수 있다. 즉, $\Delta t_{i_{evn}}$ 은 패턴의 방향에 의한 콘트라스트의 불균일성을 나타내고 있다. 이와 관련하여, 이 값이 지나치게 커지면, 포토리소그래피에서는, 전사패턴의 폭이 그 패턴의 배치방향에 의해서 달라져 버리는 우려가 있다.

- <273> 한편, 평가지표 wai , wa_0 , Δwai , δw_i , δw_0 , PSF에 대해서는, 어느 것이나 위상도약(phase jump)에 근거하는 것이기 때문에, 투영광학계 PL의 파면수차에 관계한다.
- <274> 특히, 'wai', 'wa0'은, 각각 평균 위상도약(phase jump) 분포 $W_{Ai}(\rho, \theta)$ 의 RMS값, 평균 위상도약(phase jump) 분포 $W_{A0}(\rho, \theta)$ 의 RMS값이기 때문에, 투영광학계 PL의 파면수차에 해당한다. 이와 관련하여, wai가 나타내고 있는 파면수차는, 평가대상 상점 X_i 에 관한 것이고, wa0이 나타내고 있는 파면수차는 중심상 높이 X_0 에 관한 것이다.
- <275> 'Δwai'는, 평가대상 상점 X_i 에 대한 평균 위상도약(phase jump) 분포 $W_{Ai}(\rho, \theta)$ 를, 중심상 높이 X_0 을 기준으로 하여 나타낸 것의 RMS값이다. 따라서, Δwai는, 투영광학계 PL의 파면수차 중, 상 높이에 따르는 차이(디스토션, 만곡 등)에 해당한다.
- <276> 'δwi', 'δw0'은, 각각, 리타레이션 분포 $\delta W_i(\rho, \theta)$ 의 RMS값, 리타레이션 분포 $\delta W_0(\rho, \theta)$ 의 RMS값이다.
- <277> 여기서 일반적으로, 리타레이션이 크면 패턴상의 콘트라스트가 저하한다.
- <278> 따라서, 이들의 평가지표는, 상의 콘트라스트의 결점을 나타내고 있다. 이와 관련하여, δwi가 나타내고 있는 콘트라스트는, 평가대상 상점 X_i 에 관한 것이고, δw0이 나타내고 있는 콘트라스트는, 중심상 높이 X_0 에 관한 것이다.
- <279> 'PSF'는, 리타레이션에 의해서 생기는 점상강도 분포의 최대치의 개략치에 해당하고, 중심상 높이 X_0 에 있어서의 점상강도 분포의 성질을 나타내는 값이다. 이 값이 작을수록, 점상강도 분포가 열화하고 있는 것을 나타낸다.
- <280> 이 이유는, 박막의 상높이 중심에 있어서의 리타레이션으로의 영향은, 광학계가 회전대칭형인 경우에, 진상축(進相軸)이 사출동공면 내에 방사상으로 분포하는, 부분적으로 1축성 결정과 같은 성질이 나타나는 것에 있다.
- <281> <효과, 기타>
- <282> 이상 설명한 바와 같이, 본 실시형태의 평가에서는, 평가지표(t_0 , Δt_i , $\Delta t_{i,rot}$, $\Delta t_{i,odd}$, $\Delta t_{i,even}$, wai , wa_0 , Δwai , δw_i , δw_0 , PSF)가 도입되고 있다.
- <283> 여기서, 렌즈나 거울 등의 광학소자의 표면에 형성된 박막이, 그들의 면에 입사하는 광선에 주는 영향으로서는, 광 강도의 감소와 위상도약(phase jump)가 생각된다. 또한, 이러한 박막이, 입사하는 광선에 주는 광 강도의 감소량과 위상도약(phase jump)의 크기란, 그 광선의 입사각도에 따라서 다르다.
- <284> 그 점 이들의 평가지표는, 서로 다른 사출각도로 사출하고, 또한 사출동공면 PS상의 서로 다른 위치를 통과하는 각 광선의 상태에 근거하는 것이기 때문에, 박막에 의한 영향을 정확히 반영시킨다.
- <285> 특히, 본 실시형태에서는, 투과율 분포에 근거하는 평가지표(t_0 , Δt_i , $\Delta t_{i,rot}$, $\Delta t_{i,odd}$, $\Delta t_{i,even}$)가 도입되어 있기 때문에, 투영광학계 PL의 결상성능을, 콘트라스트의 면에서 평가하는 것이 가능하게 된다.
- <286> 또한, 본 실시형태에서는, 그 상 높이에 의한 차이 Δt_i 의 회전대칭성분, 홀수대칭성분, 짝수대칭성분을 나타내는 각 평가지표($\Delta t_{i,rot}$, $\Delta t_{i,odd}$, $\Delta t_{i,even}$)도 도입되어 있기 때문에, 결상성능 중 특히, 상 높이에 의한 콘트라스트의 불균일성, 초점위치에 의한 패턴상의 형상의 비대칭성, 및 패턴의 방향에 의한 콘트라스트의 불균일성을, 개별로 평가하는 것이 가능하게 된다.
- <287> 또한, 본 실시형태에서는, 상 높이에 의한 차이를 나타내는 평가지표(Δt_i , Δwai)가 도입되어 있기 때문에, 결상성능을, 상 높이에 의한 차이의 면에서 평가하는 것이 가능하게 된다.
- <288> 또한, 본 실시형태에서는, 평가지표($\Delta t_{i,rot}$, $\Delta t_{i,odd}$, $\Delta t_{i,even}$)를 얻을 때에 제르니케 전개가 적용되고 있다. 제르니케 전개는, 일반적으로 광학계의 파면수차를 각 수차성분에 분해할 때에 적용된다. 또한, 제르니케 전개는, 광학계에 고유한 각종의 특성이 지극히 상세히 고려된 것이다. 따라서, 본 실시형태는, 이들의 각 평가지표를 각각 정확히 얻는 것을 가능하게 한다. 또한, 제르니케 전개를 위한 연산(함수 피팅 등)은, 종래부터 일반적으로 행하여지고 있기 때문에, 그 실시가 비교적 간단하다고 하는 이점도 있다.
- <289> 또한, 본 실시형태에서는, 평균 위상도약(phase jump) 분포를 나타내는 평가지표(wai , wa_0 , Δwai)가 도입되어

있기 때문에, 투영광학계 PL의 결상성능을 파면수차의 면에서 평가하는 것이 가능하게 된다.

- <290> 또한, 본 실시형태에서는, 리타레이션 분포를 나타내는 평가지표 ($\delta w_i, \delta w_0$)가 도입되어 있기 때문에, 결상성능을, 상의 콘트라스트의 면에서 평가하는 것이 가능하게 된다.
- <291> 또한, 본 실시형태에서는, 중심상 높이 X_0 에 있어서의 점상강도 분포의 성질을 나타내는 평가지표(PSF)가 도입되어 있기 때문에, 결상성능을, 점상강도 분포의 성질의 면에서 평가할 수가 있다.
- <292> 또한, 상기 투과율에 근거하는 평가지표($t_0, \Delta t_i, \dots$)가 투영광학계 PL의 콘트라스트의 불균일성에 관한 것인데 비하여, 위상도약(phase jump)에 근거하는 평가지표 (w_i, w_{i0}, \dots)는, 주로 결상광학계의 파면수차에 관한 것이다.
- <293> 따라서, 본 실시형태는, 투영광학계 PL의 결상성능을 서로 독립한 2측면으로부터 평가할 수가 있다. 이 점에 비추어 보더라도, 본 실시형태의 평가에 박막의 영향이 종래보다 정확히 반영되어 있는 것은 명백하다.
- <294> 또, 컴퓨터에 의한 각 연산에 대해서는, 원리적으로는 손 계산에 의해서 실현하는 것도 가능하다.
- <295> 또한, 컴퓨터로 하는 경우에는, 도 1, 도 3 중 어느 하나나 한쪽 또는 양쪽에 나타내는 순서가 기억된 기억매체를 준비하여 그것을 컴퓨터로 독해시켜도 좋다.
- <296> 또한, 그 순서를 실행하기 위한 프로그램은, 기억매체를 통해서뿐만 아니라, 인터넷을 통해서도 컴퓨터로 독해시킬 수 있다.
- <297> 또, 도 1에 나타낸 순서에서는, 동공투과율 분포를 구하기 위해서 광선추적을 하고 있지만, 평가해야 할 투영광학계 PL이 실제하고 있는 것이면, 다음과 같이 하더라도 좋다.
- <298> 즉, 투영광학계 PL의 물체측(레티클면 R측)으로부터 실제로 빛을 입사시켜서, 사출동공면 PS의 공역위치에 생기는 광 강도 분포를 실측한다.
- <299> 또, 본 실시형태에 있어서는, 상기 각 평가지표의 일부분만을 도입하는 것으로서도 좋다.
- <300> 또한, 본 실시형태에 있어서는, 상기의 각 평가지표를, 서로 다른 상 높이의 복수의 평가대상 상점 X_i (예를 들면, 가장 높은 주변상 높이 X_1 , 중간상 높이 X_2 의 2점)에 대해서 각각 얻는 것으로 하면(가장 높은 주변상 높이 X_1 , 중간상 높이 X_2 의 2점으로 한 경우, 평가지표는, $t_0, \Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_{1rot}, \Delta t_{2rot}, \Delta t_{1odd}, \Delta t_{2odd}, \Delta t_{1evn}, \Delta t_{2evn}, w_1, w_2, w_0, \Delta w_1, \Delta w_2, \delta w_1, \delta w_2, \delta w_0$ 가 된다.), 결상성능을 상 높이마다 평가할 수가 있다.
- <301> [제 2 실시형태]
- <302> 다음에, 도 5를 참조하여 본 발명의 제 2 실시형태에 관해서 설명한다.
- <303> 본 실시형태는, 상기 제 1 실시형태를, 노광장치에 사용되는 투영광학계의 제조(특히, 후술하는 스텝 S202에 나타내는 코트할당)에 적용한 것이다.
- <304> 이하, 제조해야 할 투영광학계가 굴절형의 투영광학계이고, 그것을 구성하는 광학소자가 여러 장의 렌즈라고 하는 전제로 설명한다. 단, 반사면을 포함하는 반사형 또는 반사굴절형의 투영광학계를 제조하는 경우에도, 본 발명은 같이 적용될 수 있다(또, 그 경우에는, 렌즈 데이터에, 반사면의 데이터가 가해진다.).
- <305> 도 5는, 본 실시형태의 순서를 나타내는 플로차트이다.
- <306> (스텝 S100)
- <307> 스텝 S100에서는, 노광장치가 요구스펙크이 되도록 투영광학계의 광학설계가 행하여져, 기초 렌즈 데이터가 생성된다. 또, 요구스펙크로서는, 예를 들면, 사용과장, 과장폭, 전체길이(물상간 거리), 최대렌즈지름, 물체측 작동거리, 상측 작동거리, 및 광학성능(투영배율, 상측 개구수, 이미지필드 지름, 텔레센트릭 (telecentric)성, 및 수차 등)을 들 수 있다. 또한, 기초 렌즈 데이터는, 복수의 렌즈 각각의 면의 곡률(곡률반지름), 렌즈면 간격, 렌즈 유효지름(렌즈 바깥지름), 굴절률, 비구면(非球面)계수, 및 공차 등을 포함하고 있다.
- <308> (스텝 S201)
- <309> 스텝 S201에서는, 투영광학계 PL을 구성하는 각 렌즈의 면상에 설치되는 반사방지 코트(투영광학계가 반사면을 포함하는 경우에는, 그 반사면상에 설치되는 반사증가 코트)의 코트설계가 행하여진다. 이 코트설계에서는, 스

탭 S100에 있어서 생성된 기초 렌즈 데이터에 따라서 산출된다, 각 렌즈면에 입사하는 광선의 입사각도의 범위, 사용과장, 및 과장폭이 고려된다. 그리고, 코트설계는, 이들의 범위내에서, 원하는 반사율 특성(투과율 특성기도 하다.)을 달성하는 것과 같은 코트 데이터가 각종 요구되는 것이다. 각 코트 데이터는, 층수, 각 층의 두께, 각 층의 재료, 필요하면 각 층의 흡수계수를 갖고 있다.

<310> (스텝 S202)

<311> 스텝 S202에서는, 코트할당이 행하여진다. 코트할당에서는, 스텝 S201로 구한 각종 코트 데이터와, 스텝 S100에서 생성한 기초 렌즈 데이터가 참조된다. 그리고, 코트할당에서는, 수치계산상에서, 각종 코트 데이터에 의해 규정되는 각 구조의 박막이, 그 기초 렌즈 데이터에 의해 규정되는 투영광학계의 각 렌즈면에 할당된다. 그리고, 그 상태에 있어서의 투영광학계의 결상성능이 평가되면서, 그 할당방법이 변화되어, 최적의 할당하는 방법인 코트할당 데이터가 구해진다.

<312> 여기서, 본 실시형태에 있어서의 이 평가에는, 상기 제 1 실시형태가 적용되고, 예를 들면, 평가지표 t_0 , Δt_1 , $\Delta t_{i_{rot}}$, $\Delta t_{i_{odd}}$, $\Delta t_{i_{evn}}$, PSF가 구해진다.

<313> 또한, 본 실시형태에서는, 이들의 평가지표에 대하여, 하기의 조건식(A)~ (F)를 만족시키는 것과 같은 코트할당 데이터가 구해진다.

<314> $t_0 \leq 0.04$. . . (A)

<315> $\Delta t \leq 0.032$. . . (B)

<316> $\Delta t_{rot} \leq 0.02$. . . (C)

<317> $\Delta t_{odd} \leq 0.024$. . . (D)

<318> $\Delta t_{evn} \leq 0.032$. . . (E)

<319> $PSF \geq 0.98$. . . (F)

<320> 여기서, 투과율은, 전체투과의 경우를 1로 하는 비율로서 구해진다.

<321> 또, 조건식(A)의 성립에 의해, 투영광학계에 의한 전사패턴의 폭이나 형상을 원하는 값으로 충분한 정밀도로 제어할 수 있다. 또한, 조건식(B)의 성립에 의해, 전사패턴의 폭이나 형상이 상위치에 상관없이 유지된다. 또한, 조건식(C)의 성립에 의해, 상 높이에 의한 전사패턴의 폭의 차는 억제된다. 또한, 조건식(D)의 성립에 의해, 디포커스에 의한 전사패턴의 형상변화가 억제된다. 또한, 조건식(E)의 성립에 의해, 패턴의 배치방향에 의한 전사패턴의 폭의 변화가 억제된다. 또한, 조건식(F)의 성립에 의해, 점상강도 분포의 열화가 억제되는 것과 같은 코트할당의 설계해를 얻는 것이 가능하게 된다.

<322> 여기서, 보다 바람직한 조건으로서, 하기의 조건식(A')~(E')에 의해 나타나는 조건을 들 수 있다.

<323> $t_0 \leq 0.02$. . . (A')

<324> $\Delta t \leq 0.016$. . . (B')

<325> $\Delta t_{rot} \leq 0.010$. . . (C')

<326> $\Delta t_{odd} \leq 0.012$. . . (D')

<327> $\Delta t_{evn} \leq 0.016$. . . (E')

<328> 여기서, 투과율은, 전체투과의 경우를 1로 하는 비율로서 구해진다.

<329> (스텝 S110)

<330> 스텝 S110에서는, 스텝 S100에서 생성된 기초 렌즈 데이터 중, 각 렌즈의 굴절률, 두께, 바깥지름에 따라서, 렌즈재료의 제조, 즉 소정의 지름, 두께 및 바깥지름이 되는 유리블록이 제조된다.

<331> (스텝 S111)

<332> 스텝 S111에서는, 스텝 S110에서 제조된 유리블록에 관해서, 굴절률 분포, 투과율 분포 등의 검사가 행하여진

다. 여기서, 이들의 검사결과는, 각각 굴절을 분포 데이터, 투과율 분포 데이터로서 보존된다.

- <333> 스텝 S111에 있어서 유리블록이 소요의 스펙 내인 경우에는, 스텝121으로 이행하고, 그렇지 않은 경우에는, 유리블록은 반쯤된다.
- <334> (스텝 S121)
- <335> 스텝 S121에서는, 유리블록이 절단된 후, 감삭기에 의해 원하는 구면 또는 평면으로 연삭가공된다. 이 때, 렌즈 가장자리 가공도 행하여진다. 다음에, 모래걸림기에 의해 랩핑(모래걸림)이 행하여진다.
- <336> (스텝 S122)
- <337> 스텝 S122에서는, 렌즈면의 연마가 행하여진다. 이 연마는, 렌즈면의 곡율이 스텝 S100에서 생성한 기초 렌즈 데이터 중의 곡율과 일치하도록 행하여진다.
- <338> (스텝 S123)
- <339> 스텝 S123에서는, 연마된 렌즈면에 반사방지 코트가 실시된다. 이 때, 어떤 면에 어떤 박막을 설치하는지의 결정은, 스텝 S202에 있어서 구한 코트할당 데이터에 따른다. 또한, 박막의 층수, 각 층의 두께, 및 각 층의 재료의 결정은, 스텝 S201에 있어서 구해진 코트 데이터에 따른다.
- <340> (스텝 S124)
- <341> 스텝 S124에서는, 연마된 렌즈면이 간섭계에 의해 측정되고, 렌즈면 형상 데이터가 취득된다. 또한, 이 때, 렌즈면 간격의 측정도 행하여져, 렌즈면 간격 데이터가 취득된다. 여기서, 렌즈면 형상 데이터는, 렌즈소자의 투과파면수차(透過波面收差)에 의해 얻어지는 것이 아니라, 렌즈소자의 표면의 반사광에 의해서 형성되는 간섭무늬에 근거하는 파면수차에 의해 얻어진다.
- <342> (스텝 S125)
- <343> 스텝 S125에서는, 스텝 S124에서 측정된 렌즈면형상데이터 및 렌즈면간격데이터에 의해 나타나는 렌즈소자의 형상오차가, 소정의 값 이하로 억제되는지 아닌지 판정된다. 여기서, 소정의 값을 넘는 경우에는, 스텝 S122로 이행하고, 다시 렌즈면의 연마가 행하여진다. 한편, 소정의 값 이하로 억제되고 있는 경우에는, 스텝 S131로 이행한다.
- <344> (스텝 S131)
- <345> 스텝 S131에서는, 비추얼 조립 데이터가 생성된다. 이것은, 스텝 S111로 얻어진 각 렌즈의 굴절을 분포 데이터 및 투과율 분포 데이터, 스텝 S201, 및 S202로 얻어진 코트 데이터 및 코트할당 데이터, 스텝 S124로 얻어진 렌즈면 형상 데이터 및 렌즈면 간격 데이터, 스텝 S100으로 생성된 기초 렌즈 데이터중의 렌즈의 공기간격 데이터(렌즈 소자사이의 간격 데이터), 및 요구스펙 중의 사용과장, 과장폭, 물체측 작동거리, 상측 작동거리, 투영배율, 상측 개구수, 이미지필드 지름 등에 따라서 행하여진다. 또, 비추얼 조립 데이터의 형식은, 기본적으로는 기초 렌즈 데이터와 유사하고 있다.
- <346> (스텝 S132)
- <347> 스텝 S132에서는, 스텝 S131로 얻어진 비추얼 조립 데이터에 따라서 결상 시뮬레이션이 행하여져, 파면수차 W가 취득된다. 그리고, 비추얼 조립이 이루어진 투영광학계의 사출동공면상에 좌표계가 정해져, 상기 파면수차 W가 그 좌표계에 나타난다. 또한, 그 파면수차 W는, 직교함수계에 전개된다. 본 실시형태에서는, 이 좌표계로서 극좌표가 사용되고, 직교함수계로서 제르니케의 원통함수계가 사용된다.
- <348> 즉, 사출동공면 상에 극좌표(ρ , θ)가 정해지고, 파면수차 W는 $W(\rho, \theta)$ 로 나타난다. 여기서, ρ 는 사출동공면의 반지름을 1로 규격화한 규격화 동공반지름, θ 은 사출동공면의 중심을 원점으로 한 극좌표의 움직이는 지름각이다. 다음에, 파면수차 $W(\rho, \theta)$ 는, 다음 식(9)와 같이 제르니케 전개된다.
- <349>
$$W(\rho, \theta) = \sum E_n Z_n(\rho, \theta) \quad \dots (9)$$
- <350> 여기서, E_n 은, 전개계수이다.
- <351> 이 스텝 S132로 출력(취득)되는 것은, 비추얼 조립된 투영광학계의 파면수차 W의 RMS값, 제르니케 전개하여 얻어지는 각 항의 RMS값, 또는/및 그 제르니케 전개하여 얻어진 복수의 항을 그룹화하여 얻어지는 각 항의 RMS값

인 것이 바람직하다.

<352> 또, 그룹화할 때, 예를 들면 제르니케 전개하여 얻어진 복수의 항을, 이하의 (a), (b), (c)와 같이 분류할 수가 있다.

<353> (a) θ 를 포함하지 않은 항, 즉 원점(사출동공면의 중심)의 주위에 회전시키더라도 변화하지 않는 회전대칭성분 $W_{rot}(\rho, \theta)$,

<354> (b) θ 의 홀수배의 삼각함수를 포함하는 항, 즉 원점의 주위에 360° 의 홀수분의 1만큼 회전시키더라도 변화하지 않는 홀수대칭성분 $W_{odd}(\rho, \theta)$,

<355> (c) θ 의 짝수배의 삼각함수를 포함하는 항, 즉 원점의 주위에 360° 의 짝수분의 1만큼 회전시키더라도 변화하지 않는 짝수대칭성분 $W_{evn}(\rho, \theta)$.

<356> 이와 관련하여, 이상과 같은 회전대칭성분 $W_{rot}(\rho, \theta)$, 홀수대칭성분 $W_{odd}(\rho, \theta)$, 짝수대칭성분 $W_{evn}(\rho, \theta)$ 은, 각각 식(10), (11), (12)로 나타낸다.

<357> $W_{rot}(\rho, \theta)$

<358>
$$= E_1 + E_4(2\rho^2 - 1) + E_9(6\rho^4 - 6\rho^2 + 1)$$

<359>
$$+ E_{16}(20\rho^6 - 30\rho^4 + 12\rho^2 - 1)$$

<360>
$$+ E_{25}(70\rho^8 - 140\rho^6 + 90\rho^4 - 20\rho^2 + 1)$$

<361>
$$+ \dots \dots \dots (10)$$

<362> $W_{odd}(\rho, \theta)$

<363>
$$= E_2(\rho \cos \theta) + E_3(\rho \sin \theta) + E_7((3\rho^2 - 2)\rho \cos \theta)$$

<364>
$$+ E_8((3\rho^2 - 2)\rho \sin \theta) + E_{10}(\rho^3 \cos 3\theta)$$

<365>
$$+ E_{11}(\rho^3 \sin 3\theta) + \dots \dots \dots (11)$$

<366> $W_{evn}(\rho, \theta)$

<367>
$$= E_5(\rho^2 \cos 2\theta) + E_6(\rho^2 \sin 2\theta)$$

<368>
$$+ E_{12}((4\rho^2 - 3)\rho^2 \cos 2\theta)$$

<369>
$$+ E_{13}((4\rho^2 - 3)\rho^2 \sin 2\theta) + E_{17}(\rho^4 \cos 4\theta)$$

<370>
$$+ E_{18}(\rho^4 \sin 4\theta) + \dots \dots \dots (12)$$

<371> 또, 제르니케 전개의 전개차수는, 36에 한정되지 않고, 16 등의 다른 값이라도 좋고, 또한, 36 이상이더라도 좋다.

<372> (스텝 S133)

<373> 스텝 S133에서는, 스텝 S132에서 산출된 파면수차 W, 또는 파면수차 W를 제르니케 전개하여 얻어지는 항의 각 RMS값이, 소정의 규격치에 수납되어 있느냐 아니냐가 판정된다.

<374> 또, 소정의 규격치는, 제르니케 전개하여 얻어지는 각 항의 RMS값, 또는/및 그 제르니케 전개하여 얻어진 복수의 항을 그룹화하여 얻어지는 각 항의 RMS값을, 판정하는 데 알맞은 것으로, 미리 설정되어 있는 것으로 한다.

- <375> 스텝 S133에 있어서, 소정의 규격치에 수납되어 있지 않다는 판정이 얻어진 경우에는, 스텝 S134로 이행하고, 소정의 규격치에 수납되고 있다는 판정이 얻어진 경우에는, 스텝 S140으로 이행하여 렌즈소자가 완성된다.
- <376> (스텝 S134)
- <377> 스텝 S134에서는, 스텝 S131에서 얻어진 버츄얼 조립 데이터를 초기데이터로 하여, 파면수차(혹은, 제르니케 전개하여 얻어지는 각 항의 RMS값, 또는/및 그 제르니케 전개하여 얻어진 복수의 항을 그룹화하여 얻어지는 각 항의 RMS값)가 소정의 규격치가 되도록, 렌즈면 형상 및 렌즈면 간격을 변수로 하여 최적화가 행하여진다. 그리고 최적화된 렌즈면 형상 및 렌즈면 간격이, 버츄얼 조립 데이터로 투입된다.
- <378> 그 후, 스텝 S122로 이행하여, 렌즈의 면 형상이 최적화된 렌즈면 형상이 되도록 렌즈연마(수정연마)가 행하여지고, 스텝 S123~S125가 실행된 후, 다시 스텝 S131~스텝 S133이 실행된다.
- <379> (스텝 S300)
- <380> 스텝 S300에서는, 스텝 S100에 있어서 생성된 기초 렌즈 데이터에 따라서, 복수의 렌즈소자를 홀드하기 위한 렌즈실, 및 렌즈실을 유지하는 유리통의 설계가 행하여진다.
- <381> (스텝 S301)
- <382> 스텝 S301에서는, 렌즈실의 설계 데이터에 따라서 금속물질 블랭크가 준비된다.
- <383> (스텝 S302)
- <384> 스텝 S302에서는, 스텝 S301에서 얻어진 금속물질 블랭크가 가공되고, 렌즈실이 제조되어, 스텝 S303으로 이행하여 렌즈실이 완성된다.
- <385> (스텝 S311)
- <386> 스텝 S311에서는, 유리통의 설계 데이터에 따라서 금속물질 블랭크가 준비된다.
- <387> (스텝 S312)
- <388> 스텝 S312에서는, 스텝 S311에서 얻어진 금속물질 블랭크가 가공되고, 유리통이 제조되고, 스텝 S313으로 이행하여 유리통이 완성된다.
- <389> 또, 본 실시형태에서는, 유리통 중에 복수의 렌즈실이 설치된 유리통구조의 경우를 설명하였지만, 유리통 없이 복수의 렌즈실만을 조립하는 경우에는, 스텝 S311~S313은 생략된다.
- <390> (스텝 S401)
- <391> 스텝 S401에서는, 스텝 S140에서 형성된 렌즈소자가, 스텝 S303에서 얻어진 렌즈실에 조립된다. 이 때, 렌즈소자의 광축이 렌즈실에 대하여 원하는 관계가 되도록 구슬누름이 행하여진다.
- <392> (스텝 S402)
- <393> 스텝 S402에서는, 스텝 S401에서 얻어진 렌즈실이 유리통에 조립되어, 스텝 S411로 이행한다.
- <394> (스텝 S411)
- <395> 스텝 S411에서는, 이상과 같이 하여 조립된 투영광학계의 공간상(空間像)이 계측된다.
- <396> (스텝 S412)
- <397> 스텝 S412에서는, 스텝 S411의 계측결과가 판정되고, 그 계측결과가 파면수차 측정장치(후술의 스텝 S421에서의)의 측정범위 내에 수납될 때에는, 스텝 S421로 이행한다. 그렇지 않은 경우에는, 스텝 S413으로 이행한다.
- <398> (스텝 S413)
- <399> 스텝 S413에서는, 투영광학계를 구성하는 각 렌즈소자의 광축방향의 간격, 광축에 대한 경사, 광축직교면 내의 위치가 조정되고, 그것에 의하여, 투영광학계의 수차가 보정된다.
- <400> 또, 상술의 스텝 S411~S413에서는, 공간상 계측을 하여 투영광학계가 대략적으로 조정되었지만, 그 대신에, 태워 붙인 레지스트상을 계측하고, 그 계측결과에 따라서 투영광학계를 대략적으로 조정하는 것으로 하더라도 좋

다.

<401> (스텝 S421)

<402> 스텝 S421에서는, 조립된 투영광학계의 파면수차가, 예를 들면 일본국 특개평 10-38757호 공보나 일본국 특개평 10-38758호 공보에 개시되는 파면수차 측정장치에 의해 측정된다.

<403> (스텝 S422)

<404> 스텝 S422에서는, 스텝 S421에서 측정된 파면수차가 상술의 스텝 S132와 같이 제르니케 전개되고, 그것에 의하여 얻어지는 각 항의 RMS값이 산출된다. 여기서, 각 항의 RMS를 산출하는 대신에, 또는 그에 덧붙여, 스텝 S132와 같이, 제르니케 전개하여 얻어진 복수의 항을 그룹화하여 얻어지는 각 항의 RMS값이 산출되더라도 좋다. 또, 본 스텝 S422에 있어서도, 제르니케 전개의 차수는, 16, 36 등이어도 좋고, 또한 36 이상이어도 좋다.

<405> (스텝 S423)

<406> 스텝 S423에서는, 스텝 S422에서 산출된 각 RMS값이 소정의 규격치 이하인지 아닌지 판단된다.

<407> 이 때, 제르니케 전개된 복수의 항 중 고차성분(n=10 이상의 항)의 RMS값이 소정의 규격치 이하이고, 저차성분(n=1~9)의 RMS값이 소정의 규격치를 넘는 경우에는, 스텝 S421로 내려간다. 그리고, 투영광학계를 구성하는 각 렌즈소자의 광축방향의 간격, 광축에 대한 경사, 광축직교면 내의 위치를 조정하는 것에 의해, 파면수차가 양호하게 보정된다.

<408> 또한, 제르니케 전개된 복수의 항 중 고차성분(n=10 이상의 항)의 RMS값이 소정의 규격치를 넘는 경우에는, 투영광학계를 구성하는 각 렌즈소자의 광축방향의 간격, 광축에 대한 기울기, 광축직교면 내의 위치를 조정하는 것만으로는, 파면수차를 보정할 수 없기 때문에, 스텝 S122로 이행한다.

<409> 그리고, 제르니케 전개되어 얻어지는 복수의 항 중 모든 RMS값이 소정의 규격치 이하인 경우에는, 스텝 S440으로 이행하여, 투영광학계가 완성된다.

<410> (스텝 S431)

<411> 스텝 S431에서는, 스텝 S422에서 산출된 저차성분(n=1~9)의 RMS값에 따라서, 각 렌즈소자의 광축방향의 간격, 광축에 대한 기울기, 광축직교면 내의 위치가 조정되어, 스텝 S421로 이행한다.

<412> 이상의 본 실시형태에 의하면, 스텝 S202에 있어서의 코트할당이, 제1 실시형태에 의한 평가에 따라서 행하여지기 때문에, 박막의 영향이 양호하게 제거된다. 또한, 본 실시형태에서는, 각 평가지표가, 조건 식 (A)~(D)를 만족하기 때문에, 투영광학계에 의한 전사패턴의 폭이나 형상을 원하는 값으로 충분한 정밀도로 제어할 수 있고, 전사패턴의 폭이나 형상이 상위치에 상관없이 유지되고, 상 높이에 의한 전사패턴의 폭의 차는 억제되고, 디포커스에 의한 전사패턴의 형상변화가 억제되고, 패턴의 배치방향에 의한 전사패턴의 폭의 변화가 억제되고, 점상강도 분포의 열화가 억제된다. 또, 조건식 (A')~(B')를 만족하는 경우에는, 결상성능이 더욱 높아진다.

<413> [제 3 실시형태]

<414> 다음에, 도 6을 참조하여 본 발명의 제 3 실시형태에 관해서 설명한다.

<415> 제 3 실시형태에서는, 상기 제 1 실시형태를, 결상광학계의 렌즈설계(렌즈수정)에 적용한 예(예 1~예 4)를 나타낸다.

<416> 도 6은, 제 3 실시형태의 예 1~예 4의 렌즈설계(렌즈수정)에 있어서의, 수정타겟, 평가지표, 최적화 파라미터를 나타내는 표이다.

<417> <예 1>

<418> 수정타겟으로서 설계 데이터, 또는 설계자가 소망하는 파면수차 $W^{(t)}$ 가 선택된다. 그리고, 제 1 실시형태를 적용하여 렌즈 데이터에 코트 데이터를 가한 후에서의 편광추적에 의해 파면수차 WA(제 1 실시형태의 평균 위상도약(phase jump) 분포 WAi에 해당한다.)가 계산된다. 또한, 본 실시형태에서는, 그 계산이 행하여지면서, 그 파면수차 WA를 수정타겟 $W^{(t)}$ 에 가까이 하도록 최적화가 행하여진다.

<419> 최적화의 파라미터로서는, 렌즈 파라미터, 즉 렌즈의 곡률(곡률반지름), 렌즈면 간격(렌즈 간격, 중심두께), 굴절률(재료), 비구면 계수(회전대칭, 비회전대칭 모두), 및 박막의 설계해(코트 데이터)의 종류, 박막의 층수,

각 층의 두께, 각 층의 재료(굴절율), 박막의 막의 얼룩(회전대칭, 비회전대칭 모두)이 선택되는 것으로 한다.

<예 2>

미리, 제 1 실시형태를 적용하여 렌즈 데이터에 코트 데이터를 가한 후에서의 편광추적에 의해 파면수차 WA(제 1 실시형태의 평균 위상도약(phase jump) 분포 WAi에 해당한다.)가 구해진다.

한편, 미리, 렌즈 데이터만에서의 광선추적에 의해, 코트 데이터를 포함하지 않는 렌즈 데이터 단독으로 발생하는 파면수차 WAL이 구해진다.

그리고, 파면수차 WA에서 파면수차 WAL을 빼는 것에 의해, 박막 단독으로 발생하는 파면수차 WAC를 구해준다.

또, 최적화시에 이 파면수차 WAC에 대해서는 정수라고 간주하기 때문에, 이하 'WACconst'라고 표기한다.

다음에, 수정타겟으로서 설계 데이터, 또는 설계자가 소망하는 파면수차 $W^{(t)}$ 가 선택된다.

그리고, 렌즈 데이터 단독으로 발생하는 파면수차 WAL이 계산된다. 여기서, 그 계산된 파면수차 WAL과 먼저 구해진 파면수차 WACconst와의 합이, 유사하게 코트 데이터 및 렌즈 데이터의 쌍방에 의해 발생하는 전체의 파면수차로 간주된다. 그리고, 그 계산이 행하여지면서, 그 합을 수정타겟 $W^{(t)}$ 에 가까이 하도록, 최적화가 행하여진다.

최적화의 파라미터로서는, 최적화의 광선추적을 스칼라적으로 하는 경우에는, 렌즈 파라미터가 선택된다.

최적화의 광선추적을 편광추적으로 하는 경우에는, 각 면마다 도입되는 코트 파라미터에 대한 파면수차의 변화량을 나타내는 데이터를 준비한 뒤에, 최적화 파라미터로서 코트 파라미터를 선택하면 좋다.

<예 3>

미리, 제 1 실시형태를 적용하여 렌즈 데이터에 코트 데이터를 가한 후에서의 편광추적에 의해, 파면수차 WA(제 1 실시형태의 평균 위상도약(phase jump) 분포 WAi에 해당한다.)가 구해진다.

한편, 미리, 렌즈 데이터만에서의 광선추적에 의해, 코트 데이터를 포함하지 않는 렌즈 데이터 단독으로 발생하는 파면수차 WAL이 구해진다.

또, 최적화시에 이들의 파면수차 WA, WAL에 대해서는 어느 쪽이나 정수라고 간주하기 때문에, 각각 'WACconst', 'WALconst'라고 표기한다.

다음에, 수정타겟으로서 설계 데이터, 또는 설계자가 원하는 파면수차 $W^{(t)}$ 가 선택된다. 그리고, 렌즈 데이터 단독으로 발생하는 파면수차 WAL이 계산된다. 여기서, 그 계산된 파면수차 WAL에, 먼저 구해진 파면수차 WACconst와 WALconst와의 차를 가산한 것이, 유사적으로, 코트 데이터 및 렌즈 데이터의 쌍방에 의해 발생하는 전체의 파면수차라고 간주된다. 그리고, 그 계산이 행하여지면서, 그 가산한 것을 수정타겟 $W^{(t)}$ 에 가까이 하도록, 최적화가 행하여진다.

최적화의 파라미터로서는, 최적화의 광선추적을 스칼라적으로 하는 경우에는, 렌즈 파라미터가 선택된다.

최적화의 광선추적을 편광추적으로 하는 경우에는, 각 면마다 도입되는 코트에 대한 파면수차의 변화량을 나타내는 데이터를 준비한 후에, 최적화 파라미터로서 코트 파라미터를 선택하면 좋다.

<예 4>

미리, 제 1 실시형태를 적용하여 렌즈 데이터에 코트 데이터를 가한 후에서의 편광추적에 의해, 파면수차 WA(제 1 실시형태의 평균 위상도약(phase jump) 분포 WAi에 해당한다.)가 구해진다. 또, 최적화시에 이 파면수차 WA에 대해서는 정수라고 간주하기 때문에 'WAconst'라고 표기한다.

다음에, 그 파면수차 WAconst를 수정타겟으로서, 렌즈 데이터 단독으로 발생하는 파면수차 WAL이 계산되면서, 계산한 파면수차 WAL을 수정타겟 WAconst에 가까이 하기 위해 최적화가 행하여진다.

단, 이 예에서는, 얻어진 수정량의 부호를 반전시킨 것을, 실제로 렌즈 데이터를 최적화할 때의 수정량으로 설정한다.

최적화의 파라미터로서는, 최적화의 광선추적을 스칼라적으로 하는 경우에는, 렌즈 파라미터가 선택된다.

- <441> 최적화의 광선추적을 편광추적으로 하는 경우에는, 각 면마다 도입되는 코트 파라미터에 대한 파면수차의 변화량을 나타내는 데이터를 준비한 후에, 최적화 파라미터로서 코트 파라미터를 선택하면 좋다.
- <442> 이상 설명한 본 실시형태의 각 예는, 어느 것이나 제 1 실시형태를 이용함으로써, 렌즈설계(렌즈수정)가 행하여진다. 즉, 렌즈설계(렌즈수정)는, 박막이 주는 영향을 정확히 반영한 평가에 따라서 행하여진다.
- <443> 따라서, 박막의 영향이 양호하게 제거되고, 또한 그 결과, 양호한 결상성능의 결상광학계를 얻는 것이 가능하게 된다.
- <444> 또한, 각 예에서는, 최적화에 있어서, 광선추적(또는 편광추적)이 행하여졌지만, '각 최적화 파라미터에 대한, 수정타겟에 가까이 하기 위한 평가량의 변화율'이 기지인(미리 구해진)경우에는, 그 최적화 파라미터의 변동량이 미소량이면, 다음 관계가 근사적으로 성립한다.
- <445> 평가량' = 평가량 + 변화율 × 최적화 파라미터 변동량
- <446> 따라서, 광선추적(또는 편광추적)을 하는 일 없이, 광학계의 최적화를 하는 것이 가능하게 된다.
- <447> 이 경우, 광선추적(또는 편광추적)에 소비하는 계산시간이 단축되기 때문에, 최적화 계산의 효율이 대단히 좋아진다(평가량'은, 최적화 파라미터 변동 후의 평가량이다.).
- <448> 또, 본 실시형태의 각 예는, 어느 것이나 결상광학계의 결상성능을 나타내는 평가지표로서 파면수차를 도입하고 있지만, 파면수차 대신에, 혹은 또한 그에 덧붙여, 복소진폭 투과율(제 1 실시형태에 있어서의 동공투과율 분포 Ti에 해당한다)을 도입하더라도 좋다. 말할 것도 없이, 파면수차와 복소진폭 투과율의 쌍방을 도입한 경우 쪽이, 더욱 양호한 결상성능을 얻을 수 있다.
- <449> [제 4 실시형태]
- <450> 이하, 도 7을 참조하여 본 발명의 제 4 실시형태에 관해서 설명한다.
- <451> 본 실시형태는, 결상광학계(예를 들면, 투영광학계 PL) 중의 각 광학부재가 리타데이션을 갖고 있는 경우에, 해당 결상광학계의 결상성능을 위상도약(phase jump)에 근거하는 평가지표에 의해 평가하는 것이다.
- <452> 여기서, 광학부재가 리타데이션을 가지는 것은, 해당 광학부재를 통과하는 광속에서의 소정의 제 1 방향으로 진동하는 편광성분과, 해당 제 1 방향과 직교하는 제 2 방향으로 진동하는 편광성분이 위상차(위상도약(phase jump)의 차)를 갖는 것에 대응한다.
- <453> 이러한 광학부재의 리타데이션의 발생원인으로서, 광학부재가 결정재료인 경우, 결정재료가 1축성이나 2축성 결정재료일 때에는 결정재료로서 발생하는 상광(常光)·이상광(異常光)분리에 의한 위상차의 발생(포함하는 광선분리)이다. 또한, 결정재료가 예를 들면 불화칼슘 등의 등축정계일 때에는, 결정재료의 공간분산 등을 들 수 있다.
- <454> 또한, 결정재료, 비결정재료를 막론하고, 리타데이션의 발생원인에는, 광학부재의 내부응력 변형이나 외부응력 변형에 기인하는 것, 조사(照射)에 의한 열응력 변형에 기인하는 것, 상술의 실시형태와 같은 박막에 기인하는 것 등을 들 수 있다.
- <455> 또, 결정재료에 공간분산이 존재하는 경우, 결정재료 중을 전파하는 빛의 결정축에 대한 전파방향에 의해서, 그 위상이 전체로서 지연/진행하는 현상이 생겨, 그 결과, 결정축에 대한 방향에 따른 복굴절 분포를 갖게 된다.
- <456> 이 결정재료의 공간분산에 관해서는, 예를 들면 Springer-Verlag 출판, Agranovich, Vladimir Moiseevich저의 "Crysral optics with spatial dispersion, and excitons"(1984년 간행)에 상세하다.
- <457> 도 7은, 제 4 실시형태에 있어서, 결상광학계의 위상도약(phase jump)에 근거하는 평가지표를 취득하는 순서를 나타내는 플로차트이다. 또, 본 실시형태에 있어서의 순서에 대해서도, 컴퓨터에 의해서 실행된다.
- <458> (스텝 S41)
- <459> 스텝 S41에서는, 컴퓨터로 투영광학계의 설계 파라미터가 입력된다.
- <460> 본 실시형태에 있어서, 설계 파라미터로서는, 투영광학계를 구성하는 광학부재(렌즈, 반사면 등)의 면 형상, 면 간격, 편심량(偏芯量), 광축에 대한 기울기, 광축을 중심으로 한 방위각, 굴절율, 복굴절을 분포(및/또는 리타데이션 분포), 반사율, 투과율, 투과율 분포, 유효지름, 공차 등이나, 이들의 광학부재의 표면에 형성되는 박막

의 구조, 즉 박막의 층수, 각 층의 두께, 각 층의 재료(필요하면 각 층의 흡수계수) 등을 사용할 수 있다.

<461> (스텝 S42)

<462> 다음에, 컴퓨터는, 투영광학계의 입사동공면에서 소정의 제 1 방향으로 진동하는 제 1 편광성분이 되는 광선에 관해서 광선추적을 하여, 해당 투영광학계의 사출동공면 상에서 제 1 편광성분(제 1-1성분)으로 되는 광선과, 해당 사출동공면 상에서, 제 1 편광성분과 직교하는 제 2 편광성분(제 1-2성분)으로 되는 광선과의 산출을 한다.

<463> 또, 본 실시형태에 있어서, 제 1 및 제 2 편광성분으로서는, 예를 들면 투영광학계의 입사동공(사출동공)면 내에서 소정의 X방향으로 진동하는 X편광성분과, 상기 면 내에서 X방향과 직교하는 Y방향으로 진동하는 Y편광성분을 사용할 수 있다.

<464> 또한, 제 1 및 제 2 편광성분으로서는, 상기 입사동공(사출동공)면 내에서 광축을 포함하는 방향(방사방향 R)으로 진동하는 R편광성분과, 해당 R편광성분과 직교하는 진동방향을 가지는 θ 편광성분(탄젠셜방향 θ 로 진동방향을 갖는 편광성분)을 사용하더라도 좋다. 또한, 제 1 및 제 2 편광성분으로서는, 상기 입사동공(사출동공)면 내에서의 우원편광 및 좌원편광을 사용하더라도 좋다. 또, 상기 XY편광성분, R θ 편광성분 및 좌우원편광 중, 적어도 2조(요컨대 4개 이상의 편광성분)를 사용하더라도 좋다.

<465> (스텝 S43)

<466> 스텝 S43에서는, 컴퓨터는, 투영광학계의 입사동공면에서 소정의 제 2 방향으로 진동하는 제 2 편광성분이 되는 광선에 관해서 광선추적을 하여, 해당 투영광학계의 사출동공면 상에서 제 2 편광성분(제 2-2성분)으로 되는 광선과, 해당 사출동공면 상에서, 제 1 편광성분(제 2-1성분)으로 되는 광선과의 산출을 한다.

<467> 또, 본 실시형태에서는, 편의상 스텝 S42 후에 스텝 S43이 실행되는 것으로서 설명하였지만, 이들 스텝 S42 및 스텝 S43의 순서는 반대라도 상관없다.

<468> (스텝 S44)

<469> 스텝 S44에서는, 제 1-1성분 및 제 2-2성분의 편광에 관해서, 제 1 실시형태의 스텝 S32와 같이, 임의의 평가대상 상점 X_i 에 입사하는 결상광속의 제 1 방향 위상도약(phase jump) 분포 및 제 2 방향 위상도약(phase jump) 분포와, 중심상 높이 X_0 에 입사하는 결상광속의 제 1 방향 위상도약(phase jump) 분포 및 제 2 방향 위상도약(phase jump) 분포가 산출된다.

<470> (스텝 S45)

<471> 스텝 S45에서는, 컴퓨터는, 제 1-1성분 및 제 2-2성분의 편광에 관해서, 제 1 실시형태의 스텝 S33과 같이, 평가대상 상점 X_i 와 중심상 높이 X_0 와의 평균 위상 분포를 산출한다.

<472> (스텝 S46)

<473> 스텝 S46에서는, 컴퓨터는, 제 1-1성분 및 제 2-2성분의 편광에 관해서, 제 1 실시형태의 스텝 S34와 같이, 중심상 높이 X_0 의 리타레이션 분포를 구하고, 그 RMS값도 구한다.

<474> (스텝 S47)

<475> 스텝 S47에서는, 컴퓨터는, 제 1-1성분 및 제 2-2성분의 편광에 관해서, 제 1 실시형태의 스텝 S35와 같이, 중심상 높이 X_0 을 기준으로 한 평가대상 상점 X_i 의 평균 위상도약(phase jump) 분포(상 높이에 의한 차이)를 구하고, 그 RMS값도 구한다.

<476> (스텝 S48)

<477> 스텝 S48에서는, 컴퓨터는, 제 1-1성분 및 제 2-2성분의 편광에 관해서, 제 1 실시형태의 스텝 S36과 같이, PSF 값을 구한다.

<478> (스텝 S49)

<479> 스텝 S49에서는, 컴퓨터는, 평가대상 상점 X_i 에 입사하는 결상광속의 제 1-2성분 및 제 2-1성분에 관해서, 사출동공면 PS상에서의 강도분포(또는 진폭분포)를 산출한다.

<480> 여기서, 제 1-2성분 및 제 2-1성분의 사출동공 PS상에서의 강도분포를 사출동공면 PS의 극좌표(ρ , θ)로 나타

낸 것을, 평가대상 상점 X_i 에 입사하는 결상광속의 편광변환 분포 $P_{1-2i}(\rho, \theta)$ 및 $P_{2-1i}(\rho, \theta)$ 로 둔다.

- <481> 마찬가지로, 중심상 높이 X_0 에 입사하는 결상광속의 제 1-2성분 및 제 2-1성분에 관해서, 사출동공면 PS상에서의 강도분포(또는 진폭분포)를 산출한다.
- <482> 여기서, 제 1-2성분 및 제 2-1성분의 사출동공 PS상에서의 강도분포를 사출동공면 PS의 극좌표(ρ, θ)로 나타낸 것을, 중심상 높이 X_0 에 입사하는 결상광속의 편광변환 분포 $P_{1-20}(\rho, \theta)$ 및 $P_{2-10}(\rho, \theta)$ 으로 둔다.
- <483> 컴퓨터는, 이들의 편광변환 분포 $P_{1-2i}(\rho, \theta)$, $P_{2-1i}(\rho, \theta)$, $P_{1-20}(\rho, \theta)$ 및 $P_{2-10}(\rho, \theta)$ 을 평가지표로서 구한다.
- <484> 또, 제 1-1성분 및 제 2-2성분의 사출동공면 PS상에서의 강도분포(또는 진폭분포)를 산출하여, 이 제 1-1성분 및 제 2-2성분의 강도의 최대치에 대한, 편광변환 분포 $P_{1-2i}(\rho, \theta)$, $P_{2-1i}(\rho, \theta)$, $P_{1-20}(\rho, \theta)$ 및 $P_{2-10}(\rho, \theta)$ 의 최대치를, 평가지표로 하더라도 좋다.
- <485> 또한, 이들의 편광변환 분포 $P_{1-2i}(\rho, \theta)$, $P_{2-1i}(\rho, \theta)$, $P_{1-20}(\rho, \theta)$ 및 $P_{2-10}(\rho, \theta)$ 을 제르니케 전개할 수 있는 각 항의 RMS값, 또는/및 그 제르니케 전개하여 얻어진 복수의 항을 그룹화하여 얻어지는 각 항의 RMS값을, 평가지표로 하더라도 좋다.
- <486> <각 평가지표에 대해서>
- <487> 본 실시형태에 있어서, 상술의 제 1 실시형태와 다른 평가지표는, 스텝 S49로 요구되는 평가지표 $P_{1-2i}(\rho, \theta)$, $P_{2-1i}(\rho, \theta)$, $P_{1-20}(\rho, \theta)$ 및 $P_{2-10}(\rho, \theta)$ 이기 때문에, 이하에 있어서는, 이 평가지표에 관해서만 설명한다.
- <488> ' $P_{1-2i}(\rho, \theta)$, $P_{2-1i}(\rho, \theta)$ '는, 임의의 평가대상 상점 X_i 에 달하는 결상광속 중, 입사하는 편광에 대하여 직교하는 편광방향으로 변환된 성분의 강도분포를 나타낸다.
- <489> 또한, ' $P_{1-20}(\rho, \theta)$, $P_{2-10}(\rho, \theta)$ '는, 중심상 높이 X_0 에 달하는 결상광속 중, 입사하는 편광에 대하여 직교하는 편광방향으로 변환된 성분의 강도분포를 나타낸다.
- <490> 이러한 편광변환이 생기면, 포토리소그래피에서는, 패턴의 전사시에, 패턴전사 정밀도의 선평 의존성이나 피치 의존성이 생길 우려가 있기 때문에 바람직하지 않다.
- <491> 여기서, 결상광속의 제 1-2성분 및 제 2-1성분의 강도가, 결상광속의 제 1-1성분 및 제 2-2성분의 강도의 1/100 이하인 것이 바람직하다.
- <492> 이 경우에는, 패턴전사 정밀도의 선평 의존성이나 피치 의존성을 방지하는 것이 가능하게 되어, 패턴을 고정밀도로 전사할 수 있다.
- <493> [제 5 실시형태]
- <494> 이하, 도 8을 참조하여 본 발명의 제 5 실시형태에 대해서 설명한다.
- <495> 본 실시형태는, 상기 제 4 실시형태를 결상광학계(예를 들면, 투영광학계 PL)의 렌즈설계에 적용한 예이다.
- <496> 도 8은, 본 실시형태에 있어서 설계순서를 개략적으로 나타내는 플로차트이다.
- <497> 도 8에 나타내는 바와 같이, 본 실시형태는, 설계 파라미터의 초기값을 입력하는 스텝 S511, 설계 파라미터에 따라서, 복수의 편광성분의 바탕에서의 투영광학계의 광학성능을 평가하는 스텝 S512, 해당 스텝 S512로 산출된 광학성능이 소정규격내인지 아닌지를 판단하는 스텝 S513, 및 해당 스텝 S513에서 소정규격내가 아닌 경우에 설계 파라미터를 변경하는 스텝 S514를 구비하고 있다.
- <498> 또, 본 실시형태의 스텝 S511은, 상술의 제 4 실시형태에 있어서의 스텝 S41과 같고, 스텝 S512는, 제 4 실시형태에 있어서의 스텝 S42~스텝 S49와 같다. 여기서는 그 설명을 생략한다.
- <499> (스텝 S513)
- <500> 스텝 S513에서는, 컴퓨터는, 스텝 S512에서 산출된 결상성능(예를 들면 평균위상 분포, 리타레이션 분포, 이들의 RMS값, PSF값, 편광변환 분포)에 따라서, 산출된 결상성능이 소정의 규격내인지 아닌지를 판단한다.

여기서, 규격내인 경우에는, 설계 데이터를 출력하여 설계가 완료된다. 또한, 산출된 광학성능이 소정의 규격내가 아닌 경우에는, 스텝 S514로 이행한다.

- <501> (스텝 S514)
- <502> 스텝 S514에서는, 컴퓨터는, 투영광학계의 설계 파라미터의 적어도 일부를 변경하여 스텝 S512로 이행한다. 본 실시형태에서는, 산출되는 광학성능이 소정의 규격내가 될 때까지, 이 루프를 반복한다.
- <503> 또, 설계 파라미터의 변경을 할 때에, 다음과 같이 하더라도 좋다.
- <504> 즉, 최초는, 투영광학계를 구성하는 광학부재(렌즈, 반사면 등)의 면 형상, 면 간격, 편심량, 광축에 대한 기울기, 굴절율, 유효지름, 공차 등과 같은 비결정재료로 이루어지는 광학계가 갖는 파라미터만을 변경하여, 투영광학계의 결상성능 중의 스칼라성분의 수차를 보정한다. 그 후, 광학부재 표면상의 박막의 구조나, 광학부재의 복굴절을 분포, 광학부재가 결정재료인 경우에는 그 결정축방향 등의 파라미터를 변경하여, 스칼라성분 및 편광성분의 수차를 보정한다.
- <505> 이와 같이 본 실시형태에 의하면, 결상광학계를 구성하는 광학부재가 리타데이션을 갖고 있는 경우더라도, 그 스칼라성분 및 편광성분의 쌍방의 결상성능을 최적화하는 것이 가능하다.
- <506> [제 6 실시형태]
- <507> 이하, 도 9를 참조하여 본 발명의 제 6 실시형태에 관해서 설명한다.
- <508> 본 실시형태는, 상기 제 5 실시형태를, 결상광학계, 특히 마이크로 디바이스를 포토리소그래피 공정으로 제조할 때에 사용되는 노광장치에 바람직한 투영광학계의 제조방법에 적용한 예이다.
- <509> 도 9는, 본 실시형태에 있어서 투영광학계의 제조방법의 개략을 나타내는 플로차트이다.
- <510> 도 9에 나타내는 바와 같이, 본 실시형태의 투영광학계의 제조방법은, 설계공정 S51, 결정재료 준비공정 S52, 결정축 측정공정 S53, 제 1 굴절부재 형성공정 S54, 비결정재료 준비공정 S56, 복굴절량 측정공정 S57, 제 2 굴절부재 형성공정 S58, 및 조상공정 S55를 갖는다.
- <511> 설계공정 S51은, 상술의 제 5 실시형태의 설계순서인 스텝 S511~S514를 갖는다.
- <512> 구체적으로는, 광선추적 소프트웨어(컴퓨터에 의한)를 사용하여 투영광학계의 설계를 할 때에, 복수의 편광성분의 광선을 사용하여 투영광학계의 광선추적을 하여, 각각의 편광성분의 바탕에서의 수차, 바람직하게는 편광성분마다의 파면수차를 산출한다. 그리고, 복수의 편광성분마다의 수차 및 복수의 편광성분수차의 합성인 스칼라성분인 스칼라수차에 관해서 투영광학계의 평가를 하면서, 투영광학계를 구성하는 복수의 광학부재(굴절부재, 반사부재, 회절부재 등등)의 파라미터를 최적화하여, 이들의 파라미터로 이루어지는 설계 데이터를 얻는다.
- <513> 이 파라미터로서는, 광학부재의 면 형상, 광학부재의 면 간격, 광학부재의 굴절율 등의 종래의 파라미터에 더하여, 광학부재가 결정재료인 경우에는 그 결정축방향이나 공간분산, 복굴절 분포 등이 사용되고, 광학부재가 비결정재료인 경우에는 그 복굴절 분포가 사용된다.
- <514> 또, 본 실시형태에서는, 비결정재료로 이루어지는 광학부재의 복굴절 분포가 파라미터로서 사용되지만, 결정재료로 이루어지는 광학부재의 결정축방향이나 방위각 등의 파라미터만을 사용하여 결상성능의 최적화를 피할 수 있는 경우나, 결상광학계를 구성하는 광학부재가 결정재료만인 경우에는, 파라미터로서 해당 비결정재료로 이루어지는 광학부재의 복굴절 분포를 사용하지 않는다. 이 경우, 도 9에 있어서의 비결정재료 준비공정 S56, 복굴절량 측정공정 S57, 및 제 2 굴절부재 형성공정 S58은 사용되지 않는다.
- <515> 결정재료 준비공정 S52에서는, 투영광학계에 사용되는 파장에 대하여 광투과성을 갖는 등축정계(결정축의 단위 길이가 서로 같고, 각각의 결정축의 교점에 있어서의 각 결정축이 이루는 각도가 모두 90° 인 정계)의 결정재료가 준비된다.
- <516> 결정축 측정공정 S53에서는, 결정재료 준비공정 S52에서 준비된 결정재료의 결정축의 측정이 행하여진다.
- <517> 이 때 적용할 수 있는 방법은, 예를 들면 라우에(Laue)측정을 하여 결정축의 방위를 직접적으로 측정하는 방법이나, 결정재료의 복굴절을 측정하여, 기지의 결정축 방향과 복굴절량과의 관계에 따라서, 측정된 복굴절로부터 결정축 방향을 정하는 방법 등이다.
- <518> 제 1 굴절부재 형성공정 S54에서는, 결정 준비공정에서 준비된 결정재료의 가공(연마)이 행하여진다. 이 가공

은, 굴절부재에, 설계공정 S51에서 얻어진 파라미터(설계 데이터)가 부여되도록 행하여진다.

- <519> 또, 본 실시형태에서는, 결정축 측정공정 S53과 제 1 굴절부재 형성공정 S54와의 순서는 어느 쪽이 먼저라도 좋다.
- <520> 예를 들면, 제 1 굴절부재 형성공정 S54를 먼저 실시하는 경우에는, 굴절부재의 형상에 가공된 결정재료의 결정축을 측정하면 좋고, 결정축 측정공정 S53을 먼저 실시하는 경우에는, 굴절부재 형성 후에 측정된 결정축을 알 수 있도록, 굴절부재, 혹은 해당 굴절부재를 유지하는 유지부재에 결정축 방향의 정보를 갖게 하면 좋다.
- <521> 다음에, 비결정재료 준비공정 S56에 대해서 설명한다. 본 실시형태에서는, 비결정재료로서 석영 또는 불소가 도포된 석영(이하, 개질석영이라 칭한다)을 사용한다. 이러한 석영 또는 개질석영에는, 광학결정과는 달리, 이상적인 상태에서는, 복굴절성이 발생하지 않는다.
- <522> 그렇지만, 석영 또는 개질석영에서는, 불순물이 혼입한 경우나 고온에서 형성된 석영을 냉각할 때에, 온도분포가 생기면, 내부응력에 의한 복굴절성이 나타난다.
- <523> 그래서, 본 실시형태에서는, 인고트에 혼입시키는 불순물의 양이나 종류, 또는 열이력을 조정하는 것에 의해, 석영 또는 개질석영에 원하는 복굴절 분포를 발생시킨다.
- <524> 여기서, 본 실시형태에서는, 석영으로 이루어지는 굴절부재의 복굴절 분포가 설계공정 S51에 의해 산출된 복굴절 분포가 되도록, 석영의 합성시의 합성조건과, 어닐시의 열이력조건이 조정된다.
- <525> 이 때, 합성조건인 파라미터로서는, 버너구조, 가스유량, 배기유량, 타겟의 요동패턴 등을 들 수 있다. 또, 이러한 합성조건이나 어닐조건은, 시행착오적으로 결정하더라도 좋고, 경험칙적으로 결정하더라도 좋다.
- <526> 다음에, 복굴절량 측정공정 S57에 대해서 설명한다. 이 복굴절량 측정공정 S57에서는, 비결정재료 준비공정 S56에 의해 얻어진 석영 또는 개질석영으로 이루어지는 비결정재료의 복굴절 분포가 측정된다. 또, 이 복굴절량 측정공정 S57에 있어서, 비결정재료의 굴절을 분포도 측정되는 것이 바람직하다.
- <527> 제 2 굴절부재 형성공정 S58에서는, 투영광학계를 구성하기 위한 각 렌즈가 제조된다. 그들의 재료에는, 복굴절량 측정공정 S57에 있어서 복굴절 분포나 굴절을 분포 등이 측정된 비결정재료(전형적으로는 디스크재)로부터 필요에 따라서 연삭(研削)된 재료가 사용된다.
- <528> 즉, 주지의 연마공정에 따라서, 설계 데이터 중의 면 형상, 면 간격을 목표로 하여 각 렌즈의 표면이 연마가공된다. 이것에 의해서, 소정형상의 렌즈면을 갖는 굴절부재가 제조된다.
- <529> 이 제 2 굴절부재 형성공정 S58에 있어서도, 제 1 굴절부재 형성공정 S54와 같이, 측정된 면 형상이 소정의 범위내가 될 때까지, 각 렌즈의 면 형상의 오차를 간섭계로 측정하면서의 연마가 반복된다. 이것에 의해서, 각 렌즈의 면 형상은, 목표면 형상(베스트피트 구면 형상)에 가까이 할 수 있다.
- <530> 조상(組上)공정 S55에서는, 가공된 굴절부재가, 설계공정 S51에서 얻어진 설계 데이터에 따라서, 투영광학계의 유리통내에 조립된다. 이 때, 등축정계의 결정재료로 이루어지는 굴절부재의 결정축을, 설계공정 S51에서 얻어진 설계 데이터 중의 결정축방위로 하도록, 위치결정이 이루어진다.
- <531> 또, 이 조상공정 S55에서는, 실제로 조립된 투영광학계의 편광마다의 결상성능을 측정하고, 상술의 제 4 실시형태에 나타난 평가지표를 사용하여 결상성능을 평가하더라도 좋다.
- <532> 이상과 같이, 제 6 실시형태에 관한 투영광학계의 제조방법에 의하면, 예를 들면, 형석이나 불화바륨 등의 등축정계의 결정재료에 기인하는 복굴절의 영향이, 복수의 편광성분에 관해서 평가된다. 그리고, 그 평가가 행하여지면서, 이 등축정계의 결정재료로 이루어지는 굴절부재의 결정축의 조립각도가, 복굴절의 영향(편광수차)을 극소하게 하도록 정해진다. 또한, 결정축방향의 최적화만으로는 보정할 수 없는 복굴절의 영향(편광수차)에 있어서는, 비결정 굴절부재에 의해 보상하는 것이 가능하다. 따라서, 양호한 광학성능을 확보할 수 있다.
- <533> [제 7 실시형태]
- <534> 이하, 도 10을 참조하여 본 발명의 제 7 실시형태에 관해서 설명한다.
- <535> 본 실시형태는, 제 6 실시형태에 따라서 제조된 투영광학계를 구비한 노광장치의 실시형태이다.
- <536> 도 10은, 제 7 실시형태에 관한 노광장치를 개략적으로 도시한 도면이다.
- <537> 도 10에 있어서, 예를 들면 파장 193nm의 펄스광을 공급하는 ArF 엑시머레이저로 이루어지는 광원(40)으로부터

의 펄스광은, X방향을 따라서 진행하고, 광로 굴절프리즘(41)에 의해서 편향되고, DOE터릿(turret)(42)에 설치된 회절광학소자(DOE : Diffractive Optical Element)에 입사한다. 이 DOE터릿(42)에는, 서로 다른 종류의 복수의 회절광학소자가 설치되어 있다.

- <538> 이들의 회절광학소자는, 입사하는 광속이, 해당 회절광학소자의 파 필드(Far field) 영역에서 소정의 단면형상, 예를 들면 원형단면, 고리띠형 단면, 다중극단면(기준광축에 대하여 편심(偏心)한 복수의 극)을 갖는 광속이 되도록, 그 광속을 변환하는 것이다.
- <539> 이 회절광학소자로부터의 발산광속은, 집광렌즈군(43)에 의해 집광되어, 마이크로 플라이아이렌즈(44)의 위치의 근방에, 회절광학소자의 파 필드 영역을 형성한다.
- <540> 여기서, 마이크로 플라이아이렌즈(44)는, 2차원 매트릭스형상으로 배열된 복수의 렌즈면을 1개 혹은 복수의 기판상에 일체적으로 형성한 것이다. 또, 마이크로 플라이아이렌즈(44)대신에, 2차원 매트릭스형상으로 집적된 복수의 렌즈소자를 구비하는 플라이아이렌즈가 사용되더라도 좋다.
- <541> 또한, 회절광학소자와 마이크로 플라이아이렌즈(44)와의 사이에 배치되는 집광렌즈군은, 다음과 같은 줌광학계나 변배(變倍)광학계로 하는 것이 바람직하다.
- <542> 즉, 렌즈를 광축방향으로 이동시키는 것에 의해 초점거리를 연속적 변경할 수가 있는 줌광학계나, 렌즈를 교환함에 의해 초점거리를 불연속적으로 변경할 수가 있는 다초점거리 광학계 등의 변배광학계이다.
- <543> 그런데, 마이크로 플라이아이렌즈(44)의 사출면측에는, 복수의 광원상으로 이루어지는 2차광원(면(面)광원)이 형성된다. 또, 마이크로 플라이아이렌즈(44)(또는 플라이아이렌즈)의 입사면의 위치에, 복수의 광원의 허상이 형성되더라도 좋다.
- <544> 이 2차광원에서의 빛은, 콘덴서광학계(45)에 의해 집광되어, 가변 시야조리개(46)를 중첩적으로 조명한다.
- <545> 그리고, 가변 시야조리개(46)로부터의 빛은, 블라인드 결상광학계 (47a~47 c)를 통해, 제 1 면상에 배치된 투영원판으로서의 레티클 R에 달한다.
- <546> 이 블라인드 결상광학계(47a~47)는, 가변 시야조리개(46)의 개구부와 제 1 면에 배치된 투영원판으로서의 레티클 R을, 거의 공역으로 한다.
- <547> 또한, 본 실시형태에 있어서는, 블라인드 결상광학계(47a~47c) 중에, 2장의 광로 굴절거울(48a, 48b)이 배치되고, 그들 거울(48a, 48b)에 의해 광로는 거의 180° 편향하고 있다.
- <548> 이 블라인드 결상광학계(47a~47c)로부터의 빛에 의하면, 레티클 R 상의 패턴형성 영역의 일부에는, 예를 들면 슬릿형상의 조야(照野)가 형성된다.
- <549> 이 조야로부터의 빛은, 상술의 제 6 실시형태의 제조방법에 의해 얻어진 투영광학계를 통해, 투영광학계의 제 2 면에 배치된 위크피스(감광성기관)로서의 웨이퍼 W에 이르고, 이 웨이퍼 W에 슬릿형상의 조야 내의 패턴의 상을 형성한다.
- <550> 또한, 본 실시형태에서는, 레티클 R을 제 1 면상에 지지하는 레티클 스테이지 RS와 웨이퍼 W를 제 2 면상에 지지하는 웨이퍼 스테이지가, Y방향으로 이동 가능하게 되어 있다.
- <551> 투영광학계의 배율을 β 로 할 때, 해당 배율 β 의 비로 이들의 레티클 스테이지 RS와 웨이퍼 스테이지 WS를 이동시키면서 노광을 하면, 웨이퍼 WS의 위, 더욱 말하자면, 슬릿형상의 결상영역을 Y방향에 소인(掃引)할 수 있는 영역(전형적으로는 직사각형상의 쇼트영역 내)에, 레티클 R의 패턴상이 전사된다.
- <552> 1개의 쇼트영역에의 주사(走査)노광이 종료된 후, 웨이퍼 스테이지 WS가 구동되어, 다음 쇼트영역에의 주사노광이 행하여진다. 이것이 반복됨으로써, 웨이퍼 W의 거의 전면에, 복수의 쇼트영역이 형성된다.
- <553> 또, 본 실시형태에서는, 제 6 실시형태의 제조방법에 의해 제조된 투영광학계를 주사노광장치에 적용한 예를 나타내었지만, 제 6 실시형태의 제조방법에 의해 제조된 투영광학계는, 일괄노광형의 투영노광장치에도 적용할 수 있다.
- <554> 또한, 본 실시형태의 투영노광장치에 있어서는, 광원(40)으로부터의 빛에 따라서 레티클 R을 조명하는 조명광학계(41~47c)의 적어도 일부, 특히 빛에너지가 높아지는 부위에는, 등축정계의 결정재료(예를 들면 형석)로 이루어지는 광학부재를 사용하고 있다.

- <555> 이러한 조명광학계는, 그것에 요구되는 광학성능이 투영광학계에 비하여 낮기 때문에, 본 실시형태에서는, 그 조명광학계에 있어서의 복굴절률의 영향(편광수차)의 저감(이것은, 그 조명광학계 중의 등축정계의 결정재료의 결정축방향을 최적화함에 의해 실현된다.)은, 특별히 행하여지고 있지 않다.
- <556> 다만, 조명광학계에 요구되는 광학성능이 높은 경우에는, 상술의 제 6 실시형태와 같이, 등축정계의 결정재료의 결정축방향을 최적화가 행하여지거나, 비결정재료로 이루어지는 광학부재에 의해, 등축정계의 결정재료에 기인하는 복굴절의 영향(편광수차)이 보정되거나 하더라도 좋다.
- <557> 또한, 본 실시형태에서는, 광원(40)으로서, 파장 193nm의 펄스광을 공급하는 ArF 엑시머레이저를 적용하였지만, 광원(40)으로서, 예를 들면 파장 157nm의 펄스광을 공급하는 F₂ 레이저, 파장 147nm의 빛을 공급하는 Kr₂ 레이저, 파장 126nm의 빛을 공급하는 Ar₂ 레이저를 적용할 수도 있다.
- <558> 예를 들면, 광원(40)으로서 파장 157nm의 펄스광을 공급하는 F₂ 레이저가 적용된 때에는, 조명광학계(41~47c) 중의 광투과 부재로서, 형석이나 불화바륨 등의 등축정계의 결정재료나, 불소가 도프된 석영(개질 석영)을 사용할 수 있다.
- <559> 특히, 상기 마이크로 플라이아이렌즈(44)의 광학재료로서는, 가공의 용이함과 유리 길이의 짧기를 감안하여, 개질 석영으로 하는 것이 바람직하다.
- <560> 이상과 같이 본 실시형태에 의하면, 예를 들면 형석과 같은 고유복굴절을 나타내는 결정재료가 사용되었다고 해도, 복굴절의 영향을 실질적으로 받는 일없이 양호한 광학성능을 확보하는 것이 가능하다.
- <561> [그 밖의 실시형태]
- <562> 또, 본 발명의 결상성능의 평가방법은, 투영광학계의 조정방법에 적용할 수도 있다. 예를 들면, 일본 특허공개 2000-47103에 개시된 투영광학계의 조정방법에 있어서, 측정과면 W 대신에, 상기 WA를 사용한다.
- <563> 또한, 본 발명의 결상성능의 평가방법은, 일본 특허출원 2000-234747 (출원일 평성 12년 8월 2일)에 개시된 장치설계 제작시스템에 적용할 수도 있다.
- <564> 또, 이 시스템은, 투영렌즈의 설계를 하는 설계 섹션과, 유리재료를 제조하는 재료제조 섹션과, 렌즈부품을 가공 제작하는 부품가공제작 섹션과, 투영렌즈를 조립하는 장치조립 섹션으로 구성된다. 재료제조 섹션에는, 재료 검사장치 및 재료검사 데이터베이스 서버가 설치되고, 부품가공제작 섹션에는, 렌즈부품 검사장치 및 부품검사 데이터베이스 서버가 설치된다. 설계 섹션에 있어서, 각 데이터베이스 서버에 기억된 검사데이터에 따라서 투영렌즈의 조립설계 데이터가 재설계된다. 장치조립 섹션은, 재설계된 조립설계 데이터에 따라서 투영렌즈의 조립을 하는 것이다. 이 설계 섹션에 있어서의 설계에, 본 발명의 평가방법을 적용하면 좋다.
- <565> 또한, 이상의 실시형태에서는, 노광장치에 적용되는 투영광학계를 평가대상으로 하였지만, 본 발명은, 노광장치에 적용되는 위치맞춤장치에 있어서의 얼라이먼트 정밀도를 향상시키기 위해서, 해당 위치맞춤장치에 사용되는 관찰광학계를 평가대상으로 하더라도 좋다.

산업이용 가능성

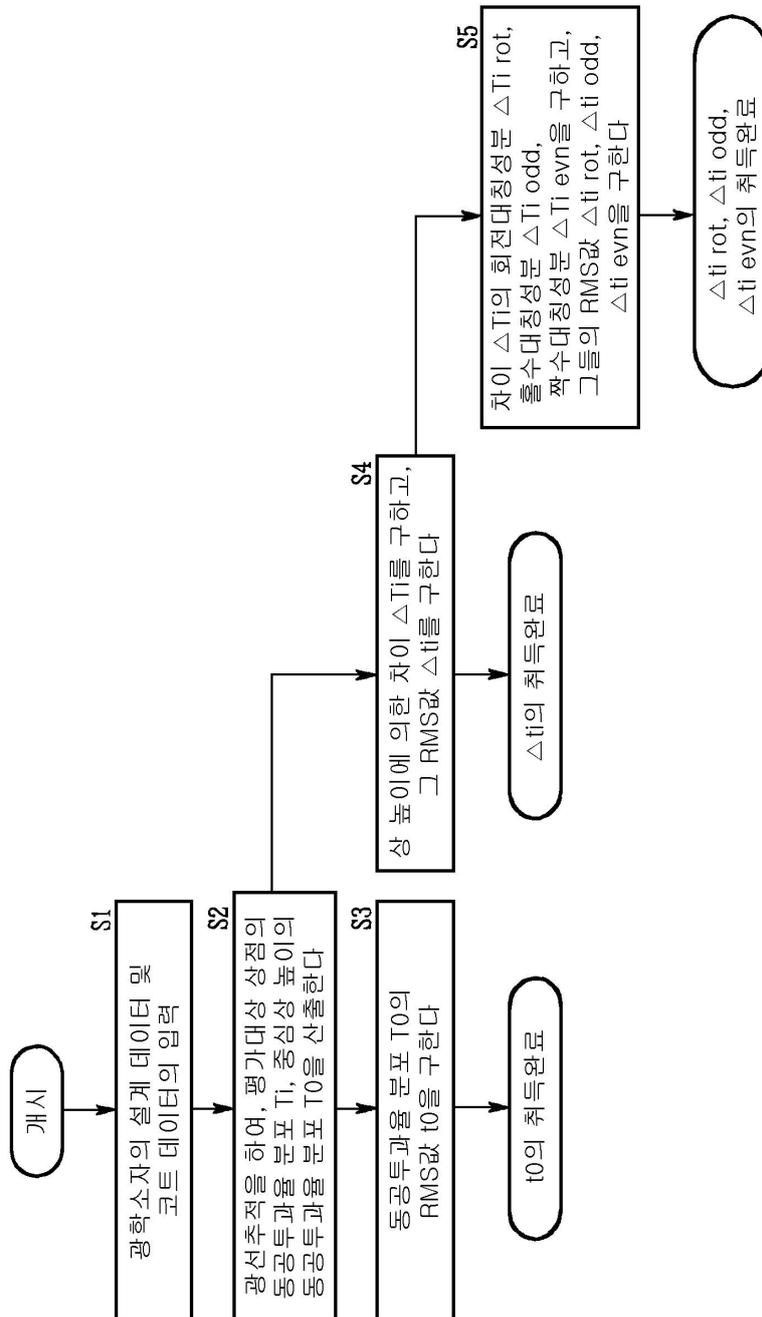
- <566> 본 발명에 의하면, 박막에 의한 영향을 정확히 반영시킨 결상성능의 평가방법을 실시할 수가 있다.
- <567> 또한, 이 평가방법을 박막의 설계나 결상광학계의 설계에 적용함에 의해, 박막의 영향을 양호하게 제거할 수가 있고, 또한, 그 결과, 양호한 결상성능을 갖는 결상광학계를 얻을 수 있다.
- <568> 또한, 본 발명에 의하면, 예를 들면 형석과 같은 고유복굴절을 나타내는 결정재료를 사용하더라도, 복굴절의 영향을 정확히 반영시킨 결상성능의 평가방법을 실시할 수가 있다.
- <569> 또한, 이 평가방법을 결상광학계의 설계에 적용함에 의해, 복굴절의 영향을 양호하게 제거할 수 있고, 그 결과 양호한 결상성능을 갖는 결상광학계를 얻을 수 있다.
- <570> 그리고, 이러한 결상광학계를 투영노광에 사용하는 것에 의해, 뛰어난 결상성능을 기초로 패턴전사를 하는 것이 가능하게 된다.

도면의 간단한 설명

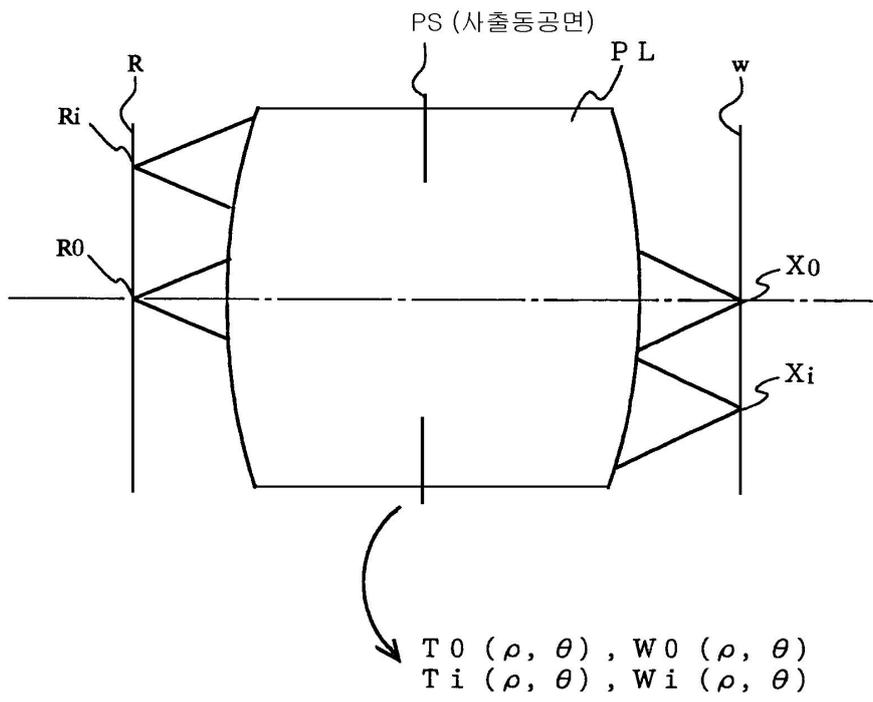
- <571> 도 1은, 제 1 실시형태에 있어서 투과율에 근거하는 각 평가지표를 취득하는 순서를 나타내는 플로차트이다.
- <572> 도 2는, 제 1 실시형태에 있어서 투과율에 근거하는 각 평가지표를 취득하는 순서를 설명하는 도면이다.
- <573> 도 3은, 제 1 실시형태에 있어서 위상도약(phase jump)에 근거하는 각 평가지표를 취득하는 순서를 나타내는 플로차트이다.
- <574> 도 4는, 1점조명에 의한 3광속간섭(光束干涉)을 나타내는 도면이다.
- <575> 도 5는, 제 2 실시형태의 순서를 나타내는 플로차트이다.
- <576> 도 6은, 제 3 실시형태의 예1 ~ 예4의 렌즈설계(렌즈수정)에 있어서의, 수정타겟, 평가지표, 최적화 파라미터를 나타내는 표이다.
- <577> 도 7은, 제 4 실시형태에 있어서 결상광학계의 위상도약(phase jump)에 근거하는 평가지표를 취득하는 순서를 나타내는 플로차트이다.
- <578> 도 8은, 제 5 실시형태에 있어서 설계순서를 개략적으로 나타내는 플로차트이다.
- <579> 도 9는, 제 6 실시형태에 있어서 투영광학계의 제조방법의 개략을 나타내는 플로차트이다.
- <580> 도 10은, 제 7 실시형태에 있어서 노광장치를 개략적으로 나타내는 도면이다.

도면

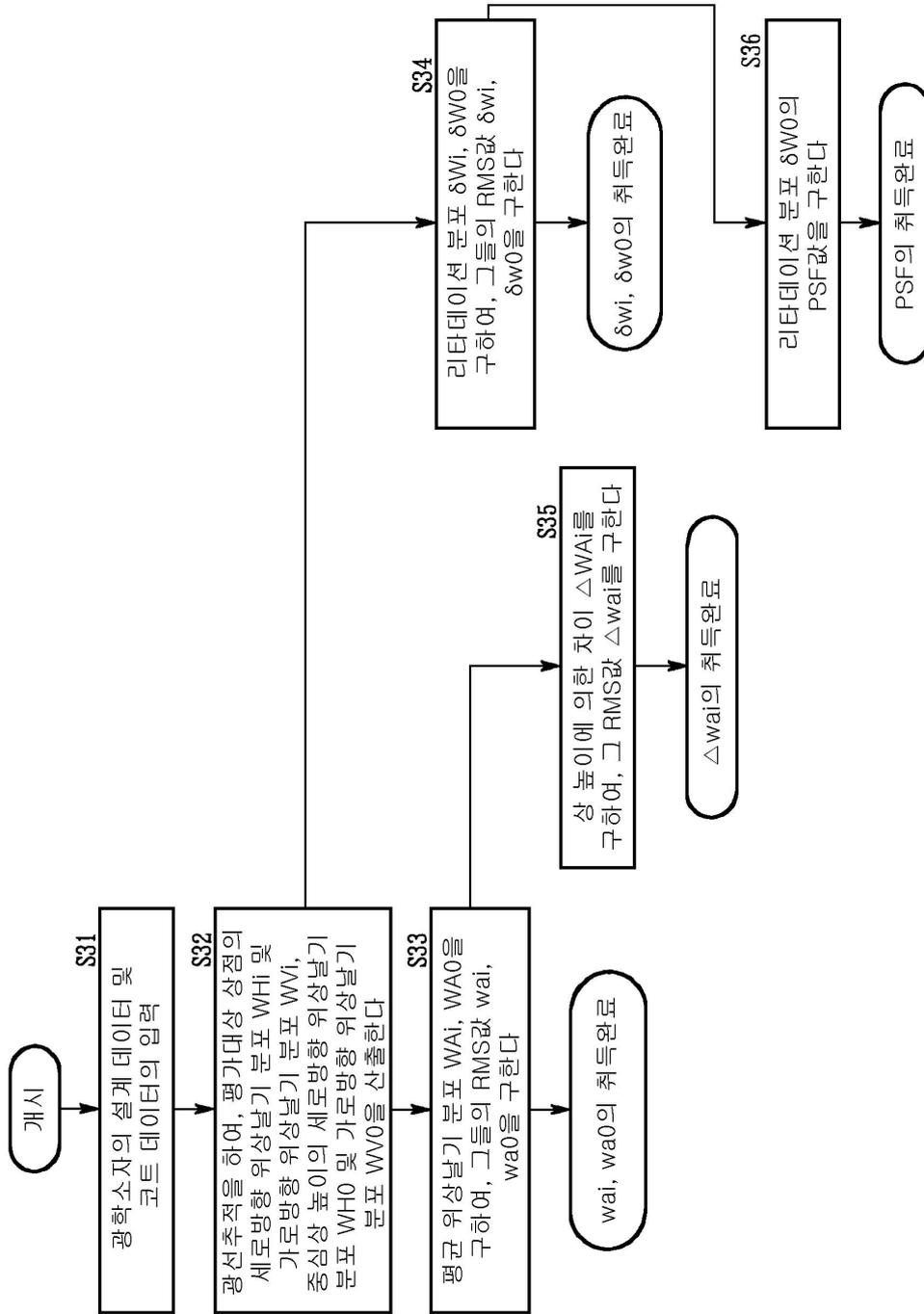
도면1



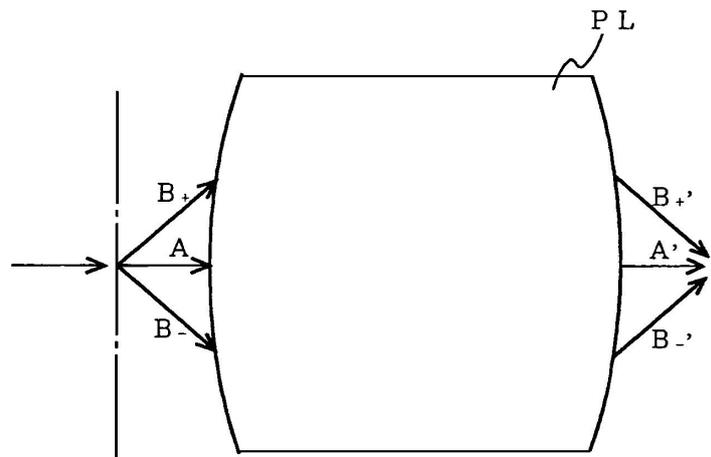
도면2



도면3



도면4

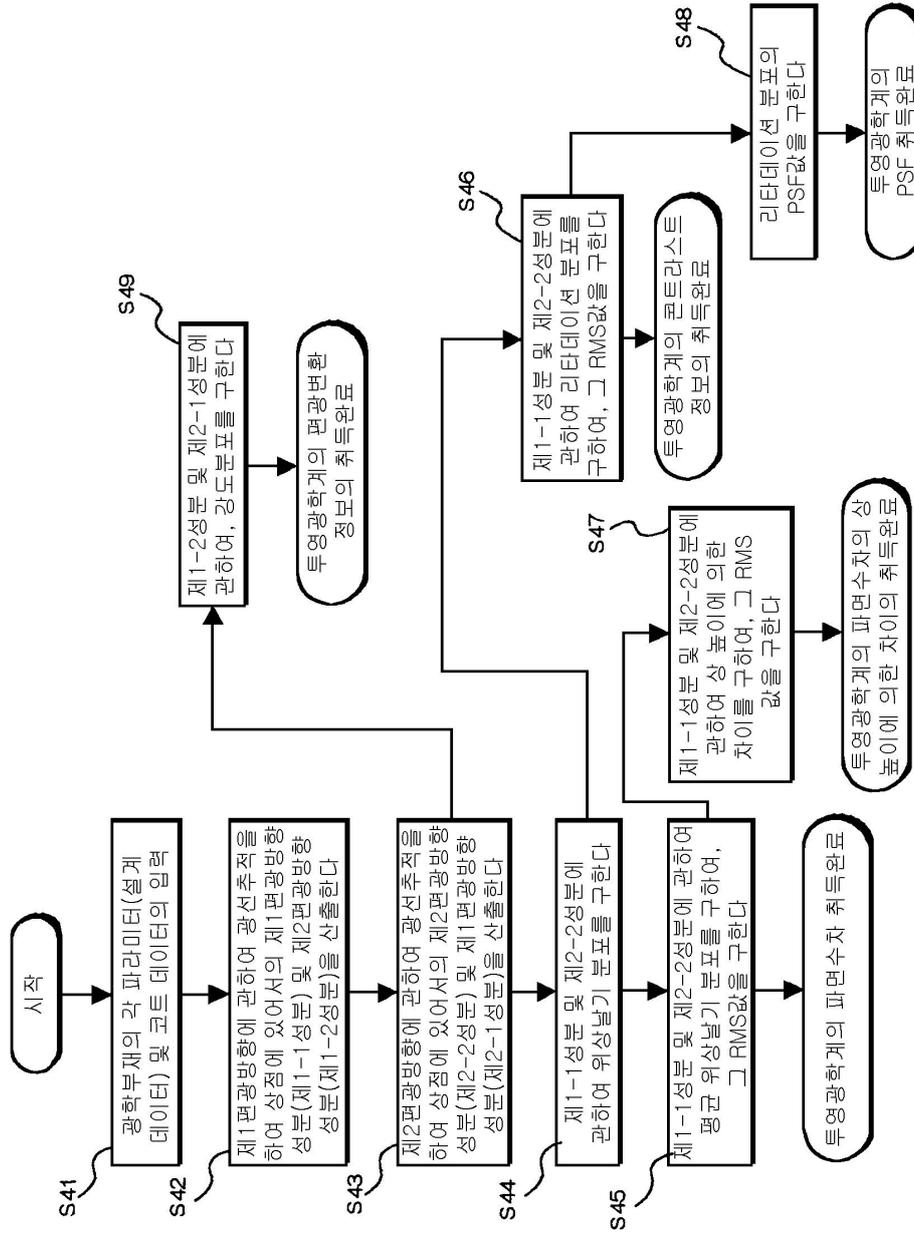


도면6

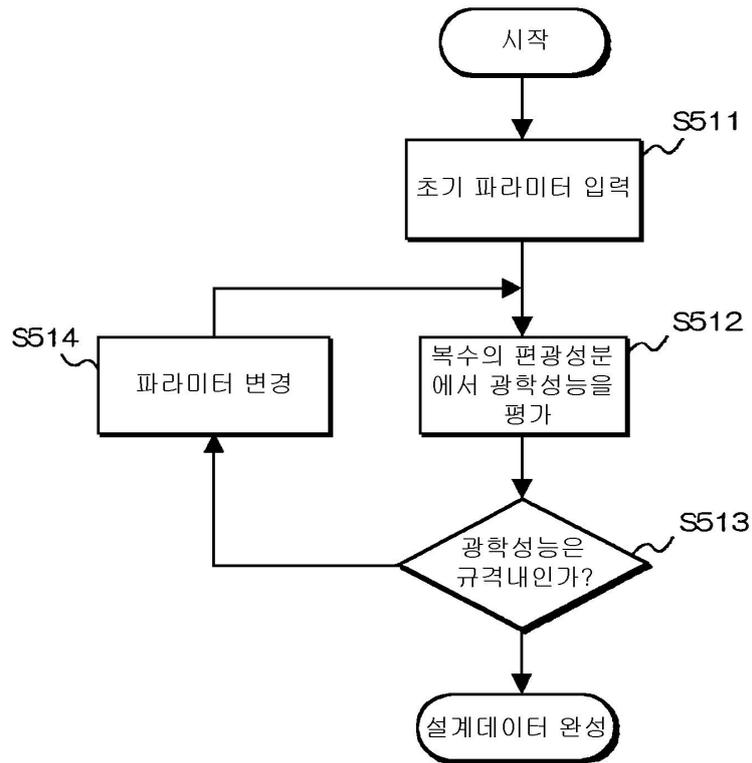
예	수정타겟	평가지시	최적화 파라미터
1	소망의 파면수차 $WA^{(t)}$	전체의 파면수차 WA	렌즈 파라미터 및 코트 파라미터
2	소망의 파면수차 $WA^{(t)}$	(렌즈만에 의한 파면수차) + (박막만에 의한 파면수차 (초기값)) WACconst + WAL	렌즈 파라미터 또는 코트 파라미터
3	소망의 파면수차 $WA^{(t)}$	(렌즈만에 의한 파면수차) + (전체의 파면수차 (초기값))- (렌즈만에 의한 파면수차 (초기값)) WAL + (WAconst - WALconst)	렌즈 파라미터 또는 코트 파라미터
4	전체의 파면수차 (초기값) WAconst	렌즈만에 의한 파면수차 WAL	렌즈 파라미터 또는 코트 파라미터

(단, 예 4는 수정량의 부호반전을 요한다)

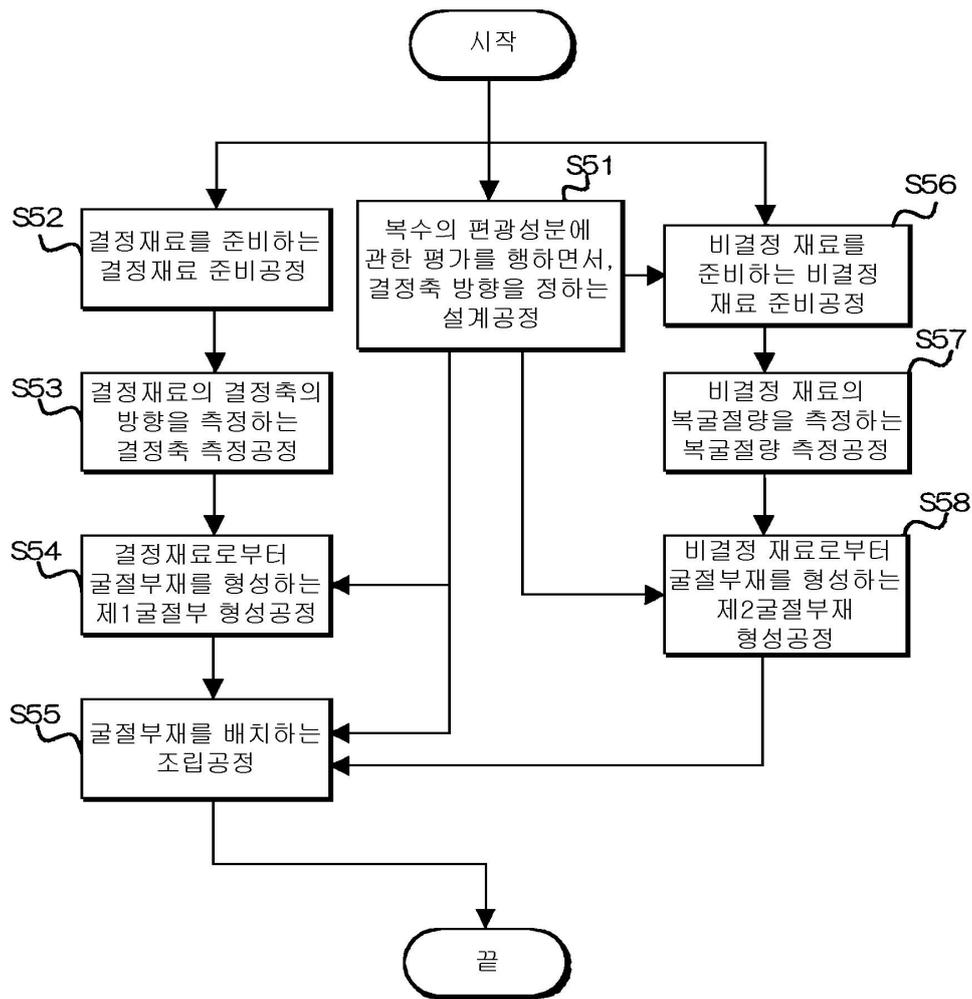
도면7



도면8



도면9



도면10

