



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년04월30일
 (11) 등록번호 10-1390586
 (24) 등록일자 2014년04월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G03F 7/20 (2006.01) G06F 9/44 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2012-0024427
 (22) 출원일자 2012년03월09일
 심사청구일자 2013년03월08일
 (65) 공개번호 10-2012-0104497
 (43) 공개일자 2012년09월21일
 (30) 우선권주장
 JP-P-2011-053556 2011년03월10일 일본(JP)
 (56) 선행기술조사문헌
 KR100889124 B1
 KR1020050121728 A
 JP2009164363 A

(73) 특허권자
 캐논 가부시끼가이샤
 일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고
 (72) 발명자
 교다 유이찌
 일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고
 캐논 가부시끼가이샤 내
 쯔지따 고오이찌로오
 일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고
 캐논 가부시끼가이샤 내
 (74) 대리인
 장수길, 박충범

전체 청구항 수 : 총 18 항

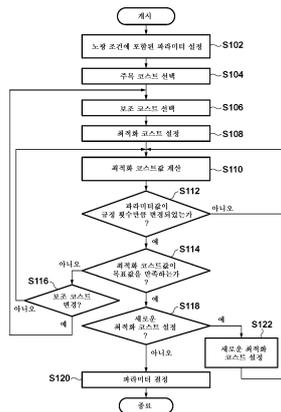
심사관 : 조승현

(54) 발명의 명칭 **컴퓨터 판독가능 저장 매체, 결정 방법 및 컴퓨터**

(57) 요약

본 발명은, 노광 장치에 있어서의 노광 조건을 컴퓨터가 결정하도록 하는 프로그램을 저장한 컴퓨터 판독가능 저장 매체이며, 상기 프로그램은, 상기 노광 조건에 대응해서 상기 투영 광학계의 화상면 상에 형성된 화상을 평가하는 데 사용되는 복수의 평가 항목으로부터 주목 평가 항목을 선택하는 단계와, 상기 주목 평가 항목과는 다르고, 상기 노광 조건에 포함되는 파라미터값을 변경했을 때 상기 주목 평가 항목의 값이 변하는 방향과 동일한 방향으로 값이 변하는 평가 항목을 보조 평가 항목으로서 선택하는 단계와, 상기 주목 평가 항목과 상기 보조 평가 항목을 포함하는 평가 함수를 값으로서 설정하는 단계를 컴퓨터가 실행하도록 하는, 컴퓨터 판독가능 저장 매체를 제공한다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

마스크를 조명하기 위한 조명 광학계와, 상기 마스크의 패턴의 화상을 기관 상에 투영하기 위한 투영 광학계를 포함하는 노광 장치에 있어서의 노광 조건을 컴퓨터가 결정하도록 하는 프로그램을 저장한 컴퓨터 판독가능 저장 매체이며,

상기 프로그램은,

상기 노광 조건에 대응해서 상기 투영 광학계의 화상면 상에 형성된 화상을 상기 기관 상에 형성되어야 할 목표 패턴과 비교해서 평가하는 데 사용되는 복수의 평가 항목으로부터 주목되는 평가 항목인 주목 평가 항목을 선택하는 제1 단계;

상기 복수의 평가 항목 중에서, 상기 주목 평가 항목과는 다르게, 상기 노광 조건에 포함되는 파라미터값을 변경했을 때 상기 주목 평가 항목의 값이 변하는 방향과 동일한 방향으로 값이 변하는 평가 항목을 보조 평가 항목으로서 선택하는 제2 단계;

상기 주목 평가 항목과 상기 보조 평가 항목을 포함하는 평가 함수를 값으로서 설정하는 제3 단계;

상기 평가 함수의 값이 목표값에 근접하도록 상기 파라미터값을 변경하고, 상기 파라미터값에 대응해서 상기 투영 광학계의 화상면 상에 형성된 복수의 화상의 각각에 대해서 상기 평가 함수의 값을 계산하는 제4 단계; 및

상기 제4 단계에서 계산된 복수의 상기 평가 함수의 값으로부터 상기 목표값을 만족하는 평가 함수의 값에 대응하는 파라미터값을, 상기 노광 조건에 포함되는 파라미터값으로서 결정하는 제5 단계

를 상기 컴퓨터가 실행하도록 하는, 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제2 단계에서는, 상기 복수의 평가 항목 중에서, 상기 파라미터값에 대하여 상기 주목 평가 항목의 값보다 그 값이 작은 평가 항목이 상기 보조 평가 항목으로서 선택되는, 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제2 단계에서는, 상기 복수의 평가 항목 중에서, 상기 파라미터값의 변경에 대한 감도가 상기 주목 평가 항목의 감도보다 높은 평가 항목이 상기 보조 평가 항목으로서 선택되는, 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제2 단계에서는, 상기 복수의 평가 항목 중에서, 상기 파라미터값을 변경했을 때 연속적으로 값이 변하는 평가 항목이 상기 보조 평가 항목으로서 선택되는, 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 제2 단계에서는, 상기 복수의 평가 항목 사이의 대응 관계를 나타내는 표를 참조함으로써, 상기 노광 조건에 포함되는 파라미터값을 변경했을 때 상기 주목 평가 항목의 값이 변하는 방향과 동일한 방향으로 값이 변하는 평가 항목이 상기 보조 평가 항목으로서 선택되는, 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제4 단계에서 계산된 복수의 상기 평가 함수의 값 중 어느 것도 상기 목표값을 만족하지 않을 경우에는, 상기 제2 단계에서 선택된 평가 항목과는 다른 평가 항목이 새로운 보조 평가 항목으로서 선택되고, 상기 프로그램은 상기 제3 단계, 상기 제4 단계 및 상기 제5 단계를 상기 컴퓨터가 실행하도록 하는, 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 제4 단계에서 계산된 복수의 상기 평가 함수의 값 중 1개 이상의 값이 상기 목표값을 만족하는 경우에,

상기 프로그램은,

상기 주목 평가 항목만의 새로운 평가 함수를 설정하는 제6 단계;

상기 제6 단계에서 설정된 상기 새로운 평가 함수의 값이 상기 목표값에 근접하도록 상기 노광 조건에 포함되는 파라미터값을 상기 제5 단계에서 결정된 파라미터값으로부터 규정 횟수만큼 변경하면서 상기 파라미터의 값에 대응해서 상기 투영 광학계의 화상면에 형성된 복수의 화상의 각각에 대해서 상기 제6 단계에서 설정된 상기 새로운 평가 함수의 값을 계산하는 제7 단계; 및

상기 제7 단계에서 계산된 복수의 상기 평가 함수의 값으로부터 상기 목표값을 만족하는 평가 함수의 값에 대응하는 파라미터값을, 상기 노광 조건에 포함되는 파라미터의 값으로서 결정하는 제8 단계

를 상기 컴퓨터가 실행하도록 하는, 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 제3 단계에서는, 상기 주목 평가 항목의 값이 목표값에 근접하는 방향이, 상기 보조 평가 항목의 값이 목표값에 근접하는 방향과 일치하도록, 상기 평가 함수가 설정되는, 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 주목 평가 항목은 상기 투영 광학계의 화상면 상의 초점 심도이며,

상기 보조 평가 항목은, 상기 투영 광학계의 화상면 상에 형성된 마스크의 패턴의 화상의 사이즈와 상기 목표 패턴의 사이즈 사이의 차이, 및 상기 투영 광학계의 화상면 상에 형성된 마스크의 패턴의 화상의 노광 여유도 중 하나 이상을 포함하는, 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 노광 조건은, 상기 마스크의 패턴의 형상, 및 상기 조명 광학계의 동공면(pupil plane) 상에 형성되어야 할 광 강도 분포 중 하나 이상을 포함하는, 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 11

마스크를 조명하기 위한 조명 광학계와, 상기 마스크의 패턴의 화상을 기관 상에 투영하기 위한 투영 광학계를 포함하는 노광 장치에 있어서의 노광 조건을 결정하는 결정 방법이며, 상기 방법은,

상기 노광 조건에 대응해서 상기 투영 광학계의 화상면 상에 형성된 화상을 상기 기관에 형성되어야 할 목표 패턴과 비교해서 평가하는 데 사용되는 복수의 평가 항목으로부터 주목되는 평가 항목인 주목 평가 항목을 선택하는 제1 단계;

상기 복수의 평가 항목 중에서, 상기 주목 평가 항목과는 다르게, 상기 노광 조건에 포함되는 파라미터값을 변경했을 때 상기 주목 평가 항목의 값이 변하는 방향과 동일한 방향으로 값이 변하는 평가 항목을 보조 평가 항목으로서 선택하는 제2 단계;

상기 주목 평가 항목과 상기 보조 평가 항목을 포함하는 평가 함수를 값으로서 설정하는 제3 단계;

상기 평가 함수의 값이 목표값에 근접하도록 상기 파라미터값을 변경하고, 상기 파라미터값에 대응해서 상기 투영 광학계의 화상면 상에 형성된 복수의 화상의 각각에 대해서 상기 평가 함수의 값을 계산하는 제4 단계; 및

상기 제4 단계에서 계산된 복수의 상기 평가 함수의 값으로부터 상기 목표값을 만족하는 평가 함수의 값에 대응하는 파라미터값을, 상기 노광 조건에 포함되는 파라미터값으로서 결정하는 제5 단계

를 포함하는, 노광 조건 결정 방법.

청구항 12

제11항에 따른 노광 조건 결정 방법을 실행하는 컴퓨터.

청구항 13

마스크를 조명하기 위한 조명 광학계와, 상기 마스크의 패턴의 화상을 기관 상에 투영하기 위한 투영 광학계를 포함하는 노광 장치에 있어서의 노광 조건을 결정하는 결정 방법이며, 상기 방법은,

상기 투영 광학계의 화상면 상에 형성된 화상을, 상기 노광 조건에 포함되는 파라미터값을 변경하면서 상기 기관 상에 형성되어야 할 목표 패턴과 비교해서 평가하는 데 사용되는 평가 항목의 값을 계산하고, 목표값을 만족하는 평가 항목의 값에 대응하는 파라미터값을, 상기 노광 조건에 포함되는 파라미터값으로서 결정하는 단계

를 포함하고,

상기 평가 항목은, 주목되는 평가 항목인 주목 평가 항목과, 상기 주목 평가 항목과는 다르고 파라미터값이 변경될 때에 상기 주목 평가 항목의 값이 변경되지 않는 경우에 값이 변하는 보조 평가 항목을 포함하는, 노광 조건 결정 방법.

청구항 14

마스크를 조명하기 위한 조명 광학계와, 상기 마스크의 패턴의 화상을 기관 상에 투영하기 위한 투영 광학계를 포함하는 노광 장치에 있어서의 노광 조건을 결정하는 결정 방법이며, 상기 방법은,

상기 투영 광학계의 화상면 상에 형성된 화상을, 상기 노광 조건에 포함되는 파라미터값을 변경하면서 상기 기관 상에 형성되어야 할 목표 패턴과 비교해서 평가하는 데 사용되는 평가 항목의 값을 계산하고, 목표값을 만족하는 평가 항목의 값에 대응하는 파라미터값을, 상기 노광 조건에 포함되는 파라미터값으로서 결정하는 단계

를 포함하고,

상기 평가 항목은, 주목되는 평가 항목인 주목 평가 항목과, 상기 주목 평가 항목과는 다르고 상기 투영 광학계의 화상면 상에 형성된 화상이 비정상(abnormal)인 경우 비정상 값을 갖는 보조 평가 항목을 포함하는, 노광 조건 결정 방법.

청구항 15

제13항에 따른 노광 조건 결정 방법을 컴퓨터가 실행하도록 하는 프로그램을 저장한 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 16

제14항에 따른 노광 조건 결정 방법을 컴퓨터가 실행하도록 하는 프로그램을 저장한 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 17

제13항에 따른 노광 조건 결정 방법을 실행하는 컴퓨터.

청구항 18

제14항에 따른 노광 조건 결정 방법을 실행하는 컴퓨터.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은, 노광 장치의 노광 조건을 결정하기 위한 프로그램을 저장한 컴퓨터 판독가능 저장 매체, 결정 방법 및 컴퓨터에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 노광 장치를 이용한 노광 단계에서는, 일반적으로, 웨이퍼와 같은 기관의 표면에 도포된 포토레지스트(레지스트)를 원하는 화상 특성에 기초하여 전사하고, 초점 위치, 노광량 등의 변동(에러)의 경우에 화상 특성을 변화시키기 어렵게 하는 것이 요구된다. 노광 장치의 노광 조건을 최적화하는(결정하는) 기술은, 일본 특허 공개 제2008-166777호, T. Matsuyama 등의 "A Study of Source & Mask Optimization for ArF Scanners", Proc. of SPIE, USA, SPIE, 2009, Vol.7274, p.727408(문헌 1), 및 Linyong Pang 등의 "Optimization from Design Rules, Source and Mask, to Full Chip with a Single Computational Lithography Framework: Level-Set-Methods-based Inverse Lithography Technology(ILT)", Proc. of SPIE, USA, SPIE, 2010, Vol.7640, 764000(문헌 2)에 제안되어 있다. 예를 들면, 화상 특성은 화상의 사이즈와 형상, 콘트라스트, 노광량에 대한 화상 사이즈의 여유도, 및 초점 위치에 대한 화상 사이즈의 여유도를 포함한다. 노광 조건은, 유효 광원의 형상(조명 광학계의 동공면(pupil plane)에 형성된 광 강도 분포), 투영 광학계의 개구수(NA)와 수차, 투영 광학계의 물체면에 배치된 마스크의 패턴(사이즈와 형상), 및 마스크의 투과율을 포함한다.

[0003] 노광 조건을 최적화할 시에, 유효 광원이나 마스크 패턴에 관해, 사용자의 주목 대상, 예를 들면, 특정 화상의 라인폭에 대한 초점 심도(DOF: depth of focus)를 최대화하는 조건이 탐색된다. 노광 조건 최적화는 DOF를 확대하는 노광 조건에 대한 탐색에 한정되지 않는다는 것에 유의해야 한다. 예를 들면, 노광 장치의 투영 광학계의 수차가 항상 변동한다면, 이러한 수차 변동의 영향을 억제하는 노광 조건에 대한 탐색이 요망된다. 노광량의 요동(fluctuation)이 작은 노광 장치에 있어서는, 노광량의 여유도가 아니라 초점 심도(초점에 대한 여유도)를 얻기 위한 노광 조건을 탐색하는 것이 요망된다. 노광 장치의 스테이지(stage)가 크게 진동하면, 스테이지 진동에 대하여 화상 특성이 변화하기 어려운 노광 조건에 대한 탐색이 요망된다. 즉, 노광 조건 최적화에 대한 보다 폭넓은 요구가 존재하고, 다양한 종류의 노광 조건이 최적화된다.

[0004] 노광 조건 최적화에서, 일반적으로, 평가 항목(예를 들면, DOF, NILS 또는 라인폭)이 미리 설정되고, 평가 항목의 값(평가량)이 기준을 만족하도록 노광 조건이 최적화된다. 그 평가량이 가능한 큰 것이 바람직한 DOF 또는 NILS(Normalized Image Log Slope)와 같은 평가 항목에 대해서는, 노광 조건의 최적화는 평가량의 최대화를 의미한다. 한편, 그 평가량이 가능한 한 작은 것이 바람직한 라인폭과 같은 평가 항목에 대해서는, 노광 조건의 최적화는 평가량의 최소화를 의미한다. 보다 구체적으로, 노광 조건의 최적화는, 소정의 노광 조건(유효 광원의 형상이나 마스크 패턴의 형상을 규정하는 파라미터) 하에서의 평가량을 구하고, 그 평가량에 따라 노광 조건을 변경함으로써(노광 조건을 반복적으로 변경함으로써) 실행된다. 노광 조건의 변경 방법은 수학적 방법이나 알고리즘에 따르고, 다양한 방법이 제안되어 있다. 이하, 주목하는 평가 항목(평가량)을 최적화 코스트라 칭할 것이다. 최적화 코스트는 종종 메리트(merit) 함수나 메트릭(metric)이라 칭해지거나 단순히 코스트 또는 메리트라 칭해진다는 것에 유의해야 한다.

[0005] 관련 기술에서, 주목하는 평가 항목은 최적화 코스트로서 그대로 설정된다. 예를 들면, 일본 특허 공개 제 2008-166777호에서, 라인폭(CD) 균일성 등이 최적화 코스트로서 설정되고, 최적의 유효 광원의 형상이 얻어진다. 문헌 1에서, 공통 프로세스 윈도우나 OPE 특성(라인폭)이 최적화 코스트로서 설정되고, 최적의 유효 광원의 형상이나 마스크 패턴이 얻어진다. 문헌 2에서, 엣지 플레이스먼트 에러(edge placement error)가 최적화 코스트로서 설정되고, 노광 조건이 최적화된다.

[0006] 그러나, 본 발명자는, 관련 기술에서는, 주목하는 평가 항목이 최적화 코스트로서 그대로 설정되기 때문에, 몇몇 경우에 노광 조건이 최적화될 수 없다는 것을 발견했다.

[0007] 관련 기술에서는, 상술한 바와 같이, 노광 조건을 변경하면서 최적화 코스트값이 구해지고, 최적화 코스트값의 변화에 기초해서 노광 조건이 변경되는 방향이 결정되어, 노광 조건이 최적의 조건으로 서서히 수렴한다. 따라서, 노광 조건이 변경될 때마다 최적화 코스트값이 변하는 것이 중요하다.

[0008] 예를 들면, DOF를 최대화하기 위한 노광 조건의 최적화를 검토한다. 관련 기술에서는, DOF가 최적화 코스트로서 그대로 설정되고, 최적화 코스트를 최대화하기 위해 노광 조건이 변경된다. 노광 조건이 변경될 때, DOF의 값이 커진다고 상정한다. 이는, 노광 조건이 변경된 방향으로 노광 조건을 변경함으로써 DOF의 값이 더 크게 될 가능성이 높다는 것을 시사한다. 또는, 노광 조건이 변경될 때, DOF의 값이 작아진다고 상정한다. 이는, 노광 조건이 변경된 방향의 역방향으로 노광 조건을 변경함으로써, DOF의 값이 더 크게 될 가능성이 높다는 것을 시사한다.

[0009] 노광 조건이 변경되어도 DOF의 값이 변하지 않을 경우, 노광 조건이 변경되어야 하는 방향을 알 수 없다. 보다 구체적으로, 유효 광원의 형상이나 마스크 패턴이 변경되어도, 몇몇 경우에 DOF의 값이 거의 얻어지지 않는다 (즉, DOF가 계속해서 0(제로)의 값을 취한다). 최적화 코스트가 계속해서 특정값을 취할 경우에는, 노광 조건이 변경되는 방향을 알 수 없다. 따라서, 노광 조건이 최적화될 수 없다.

[0010] 이러한 문제를 회피하기 위해서, 노광 조건의 변경(탐색) 범위가 좁혀질 수 있다. 단, 이 경우에는, 노광 조건이 매우 좁은 범위에서 탐색될 수 있고, 한정된 좁은 범위 내에서 최적화될 수 있다. 노광 조건이 전반적으로 최적화될 수 없으므로, 이는 실용적이지 않다. 상술한 바와 같이, 노광 조건은 몇몇 경우에 최적화될 수 없다. 하지만, 관련 기술은 당연히하게도 이에 대한 문제점이나 해결책 중 어느 것도 언급하지 않았다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 노광 장치에 있어서의 노광 조건을 결정하는 데 유리한 기술을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 발명의 일 양태에 따르면, 마스크를 조명하기 위한 조명 광학계와, 상기 마스크의 패턴의 화상을 기관 상에 투영하기 위한 투영 광학계를 포함하는 노광 장치에 있어서의 노광 조건을 컴퓨터가 결정하도록 하는 프로그램을 저장한 컴퓨터 판독가능 저장 매체이며, 상기 프로그램은, 상기 노광 조건에 대응해서 상기 투영 광학계의 화상면 상에 형성된 화상을 상기 기관 상에 형성되어야 할 목표 패턴과 비교해서 평가하는 데 사용되는 복수의 평가 항목으로부터 주목되는 평가 항목인 주목 평가 항목을 선택하는 제1 단계, 상기 복수의 평가 항목 중에서, 상기 주목 평가 항목과는 다르게, 상기 노광 조건에 포함되는 파라미터값을 변경했을 때 상기 주목 평가 항목의 값이 변하는 방향과 동일한 방향으로 값이 변하는 평가 항목을 보조 평가 항목으로서 선택하는 제2 단계, 상기 주목 평가 항목과 상기 보조 평가 항목을 포함하는 평가 함수를 값으로서 설정하는 제3 단계, 상기 평가 함수의 값이 목표값에 근접하도록 상기 파라미터값을 변경하고, 상기 파라미터값에 대응해서 상기 투영 광학계의 화상면 상에 형성된 복수의 화상의 각각에 대해서 상기 평가 함수의 값을 계산하는 제4 단계, 및 상기 제4 단계에서 계산된 복수의 상기 평가 함수의 값으로부터 상기 목표값을 만족하는 평가 함수의 값에 대응하는 파라미터값을, 상기 노광 조건에 포함되는 파라미터값으로서 결정하는 제5 단계를 상기 컴퓨터가 실행하도록 하는, 컴퓨터 판독가능 저장 매체가 제공된다.

[0013] 본 발명의 추가적인 양태는 첨부 도면을 참조하여 후술하는 실시예의 설명으로부터 명백해질 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0014] 도 1은 본 발명의 일 양태에 따른 결정 방법을 설명하기 위한 흐름도.
- 도 2는 도 1의 스텝 S102에서 설정된 마스크 패턴의 형상을 규정하는 파라미터의 일례를 나타내는 도면.
- 도 3은 도 1의 스텝 S102에서 설정된 유효 광원의 형상을 규정하는 파라미터의 일례를 나타내는 도면.
- 도 4는 마스크 패턴의 일례를 나타내는 도면.
- 도 5는 마스크 패턴 및 투영 광학계의 화상면에 형성된 광학상의 일례를 나타내는 도면.
- 도 6은 유효 광원(형상)의 일례를 나타내는 도면.
- 도 7은 투영 광학계의 화상면에 형성된 광학상의 일례를 나타내는 도면.
- 도 8은 투영 광학계의 화상면에 형성된 광학상의 디포커스(defocus) 의존성을 나타내는 그래프.

도 9a 및 도 9b는, 본 실시예에 따른 노광 조건의 최적화에서, 최적화 코스트값의 변화를 나타내는 그래프.

도 10은 관련 기술에 따른 노광 조건의 최적화에서, 최적화 코스트값의 변화를 나타내는 그래프.

도 11은 각 노광 조건에 대하여 공통의 라인폭 DOF의 값이 얻어질 수 있는 범위가 매우 좁은 것을 나타내는 도면.

도 12는 각 노광 조건에 대한 베스트(best) 포커스에 있어서의 라인폭 에러 RMS의 값을 나타내는 도면.

도 13은 투영 광학계의 화상면에 형성된 광학상의 디포커스 의존성을 나타내는 그래프.

도 14는 본 실시예 및 관련 기술에 따른 노광 조건의 최적화에서, 최적화 코스트값의 변화를 나타내는 그래프.

도 15는 마스크 패턴의 형상을 규정하는 파라미터의 일례를 나타내는 도면.

도 16은 유효 광원의 형상을 규정하는 파라미터의 일례를 나타내는 도면.

도 17은 투영 광학계의 화상면에 형성된 광학상의 일례를 나타내는 도면.

도 18은 마스크 패턴의 일례를 나타내는 도면.

도 19는 유효 광원(형상)의 일례를 나타내는 도면.

도 20은 관련 기술에 있어서 최적화된 노광 조건에 대응해서 투영 광학계의 화상면에 형성된 광학상을 나타내는 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부 도면을 참조해서 설명할 것이다. 도면 전반에서 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타내며, 그 반복적인 설명은 하지 않을 것이라는 점에 유의해야 한다.

[0016] 본 발명은, IC 또는 LSI와 같은 반도체 칩, 액정 패널과 같은 표시 소자, 자기 헤드와 같은 검출 디바이스, 및 CCD와 같은 화상 센서를 포함하는 각종 디바이스의 제조나 마이크로메카닉스(micromechanics)에 이용되는 노광 장치의 노광 조건을 결정하는 데 적용될 수 있다. 마이크로메카닉스는, 반도체 집적 회로 제조 기술을 미세 구조체의 제작에 응용해서 진보된 기능을 갖는 마이크론 단위의 기계 시스템을 생성하는 기술이나, 그 기계 시스템 자체를 나타낸다.

[0017] <제1 실시예>

[0018] 도 1은 본 발명의 일 양태에 따른 결정 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 본 실시예에 따른 결정 방법은, 컴퓨터와 같은 정보 처리 장치에 의해 실행되어, 마스크(레티클)를 조명하기 위한 조명 광학계와 마스크의 패턴을 기관에 투영하기 위한 투영 광학계를 포함하는 노광 장치의 노광 조건을 결정(최적화)한다. 노광 조건은 노광 장치에 설정 가능한 조건이다. 본 실시예에서, 노광 조건은 마스크의 패턴(마스크 패턴)의 형상 및 조명 광학계의 동공면에 형성되어야 할 광 강도 분포(유효 광원의 형상) 중 적어도 하나를 포함한다.

[0019] 스텝 S102에서, 노광 조건에 포함되는 파라미터가 설정된다. 본 실시예에서, 최적화되는 노광 조건, 예를 들면, 유효 광원의 형상이나 마스크 패턴의 형상을 규정하는 파라미터가 설정된다. 그러나, 노광 조건에 포함되는 파라미터는 노광 조건에 연관된 물리량이지만 하면 된다. 예를 들면, 투영 광학계의 NA 또는 투영 광학계의 수차의 크기로부터 도출된 양이 파라미터로서 설정될 수 있다.

[0020] 본 실시예에서, 마스크 패턴에 관해서, 도 2에 나타낸 바와 같이, SRAM 메모리 셀에 대한 패턴(마스크 패턴)의 형상을 규정하는 파라미터 P_A , P_B , P_C 및 P_D 가 설정된다. 도 2에 나타낸 패턴은 2개의 직사각형으로 형성되고, 파라미터 P_A , P_B , P_C 및 P_D 는 2개의 직사각형 변의 길이를 나타낸다. 투영 광학계의 화상면에 형성되는 마스크 패턴의 화상(광학상)을 계산할 때, 도 2에 나타낸 패턴이 주기적으로 무한히 배치되어 마스크 패턴으로서 이용된다는 것에 유의해야 한다. 보다 구체적으로, 도 2에 나타낸 2개의 패턴을 포함하고, 그 패턴이 X축 방향으로 130nm, Y축 방향으로 250nm만큼 분리된 기본 패턴군이 설정된다. 도 4에 나타낸 바와 같이, 기본 패턴 군은 X축 방향으로 260nm의 주기로 배치되고, Y축 방향으로 500nm의 주기로 배치되어 마스크 패턴을 형성한다.

[0021] 본 실시예에서, 마스크 패턴에 포함된 직사각형의 변의 길이는 파라미터로서 설정된다. 대신에, 각 변의 꼭지점의 위치나 중점의 위치의 좌표와 같은, 변에 연관된 좌표가 마스크 패턴의 형상을 규정하는 파라미터로서 설

정될 수 있다. 또한, 마스크의 투과율이나 위상이 파라미터로서 설정될 수 있다.

- [0022] 유효 광원에 관해서, 도 3에 나타난 바와 같이, 비대칭 4중극 조명(asymmetric quadrupole illumination)의 형상을 규정하는 파라미터 Ψ_1 , Ψ_2 , σ_a 및 σ_b 가 설정된다. 파라미터 Ψ_1 은 비대칭 4중극 조명의 수직 방향에 위치하는 발광부의 각도를 나타내고, 파라미터 Ψ_2 는 비대칭 4중극 조명의 수평 방향에 위치하는 발광부의 각도를 나타낸다. 또한, 파라미터 σ_a 는 외 시그마 값(outer sigma value)을 나타내고, 파라미터 σ_b 는 내 시그마 값(inner sigma value)을 나타낸다. 파라미터 Ψ_1 의 값이 파라미터 Ψ_2 의 값과 동등할 때에는, 수직 방향에 위치한 발광부의 각도는 수평 방향에 위치한 발광부의 각도와 동등하다는 것에 유의해야 한다. 따라서, 본 실시예의 비대칭 4중극 조명은, 대칭 4중극(이 경우, 단순히 4중극 조명이라 칭함)을 포함한다. 비대칭 4중극 조명은 때때로 I-Quad 조명이라 칭해진다.
- [0023] 본 실시예에서, 비대칭 4중극 조명에 대하여 파라미터가 설정된다. 대신에, 환형(annular) 조명 또는 다른 형상의 조명에 대하여 파라미터(예를 들면, 외 시그마 값과 내 시그마 값)가 설정될 수도 있다.
- [0024] 상술한 바와 같이, 본 실시예에서, 마스크 패턴의 형상 및 유효 광원의 형상을 규정하는 8개의 파라미터 P_A , P_B , P_C , P_D , Ψ_1 , Ψ_2 , σ_a 및 σ_b 가 스텝 S102에서 설정된다. 다른 노광 조건에 대해서, 본 실시예에서는, 투영 광학계의 NA가 0.93, 노광광의 파장이 193nm, 노광광의 편광 상태가 탄젠셜(tangential) 편광으로 설정(고정)된다는 것에 유의해야 한다.
- [0025] 스텝 S104에서, 노광 조건에 대응해서 투영 광학계의 화상면에 형성된 광학상을 기관에 형성되어야 할 목표 패턴과 비교하여 평가하는 데 사용되는 복수의 평가 항목으로부터, 주목되는 평가 항목인 주목 평가 항목(주목 코스트)이 선택된다.
- [0026] 본 실시예에서 설정된 주목 코스트에 대해 상세히 설명한다. 도 5는, 도 4에 나타난 마스크 패턴을 도 3에 나타난 유효 광원(비대칭 4중극 조명)이 조명했을 경우에, 투영 광학계의 화상면에 형성된 광학상의 일례를 나타내는 도면이다. 도 5를 참조하면, MP는 마스크 패턴을 나타내고, OI는 광학상을 나타낸다. 광학상 OI에서, 라인폭 LW1 및 LW2와, Y축 방향(수직 방향)으로의 간격 Gap의 목표값이 각각 90nm, 65nm 및 100nm로 설정된다. 본 실시예에서는, 라인폭 LW1 및 LW2와, 간격 Gap의 각각에 대하여, 목표값으로부터의 어긋남량이 10% 이하인 초점 범위가 공통 라인폭 DOF라 칭해질 것이다. 공통 라인폭 DOF는 주목 코스트로서 선택된다. 공통 라인폭 DOF가 값이 클수록, 투영 광학계의 초점 위치의 어긋남에 대해 형성된 광학상의 라인폭을 변경하기 더 어렵다. 상술한 바와 같이, 공통 라인폭 DOF의 값은 가능한 한 큰 것이 바람직하므로, 후술하는 최적화 코스트의 최적화는 최적화 코스트의 최대화를 의미한다.
- [0027] 본 실시예의 광학상은, 투영 광학계의 화상면의 각 위치에 도달하는 광의 강도를 간단히 계산함으로써 얻어진 화상(단순 광학상, 공중(aerial) 화상, 또는 단순히 광학상이라 칭함)이거나 다른 광학상일 수 있다. 예를 들면, 레지스트 화상에 대응하는 화상을 얻기 위해서, 광학상에 레지스트의 산(acid)의 확산을 나타내는 가우스 함수(Gaussian function)가 컨볼루션되거나(convolved), 특정 수식에 의해 표현되는 레지스트 모델이 몇몇 경우에 고려된다. 이러한 광학상도 본 실시예의 광학상에 포함된다. 레지스트 모델을 고려한 광학상은 Prolith® 과 같은 상업적으로 이용가능한 광학 시뮬레이터를 이용해서 계산될 수 있다.
- [0028] 본 실시예에서, 공통 라인폭 DOF(즉, 투영 광학계의 화상면의 초점 심도)가 주목 코스트로서 선택된다. 하지만, 주목 코스트는 이것에 한정되지 않는다. 노광 조건의 변경에 따라서 그 값이 변하는 평가 항목이면 충분하다. 예를 들면, 노광 여유도, NILS, 또는 노광 장치의 마스크 스테이지 또는 웨이퍼 스테이지의 진동을 의미하는 MSD(Moving Standard Deviation)에 대한 라인폭의 감도가 주목 코스트로서 선택될 수 있다.
- [0029] 스텝 S106에서, 보조 코스트(보조 평가 항목)가 선택된다. 주목 코스트와 보조 코스트 사이의 차이는 아래와 같다. 주목 코스트는 주목되는(즉, 최적화되는) 평가 항목 자체이다. 보조 코스트는, 주목 코스트를 적절하게 최적화하는 데 이용되는 보조적인 평가 항목이다. 더욱 구체적으로는, 보조 코스트는, 주목 코스트와는 다른 평가 항목이고, 노광 조건을 변경할 시에 주목 코스트의 값이 변하는 방향과 동일한 방향으로 그 값이 변한다. 본 실시예에서, 베스트 포커스의 라인폭 에러 RMS(즉, 투영 광학계의 화상면에 형성된 마스크 패턴의 화상의 사이즈와 목표 패턴의 사이즈(목표값) 사이의 차)가 보조 코스트로서 선택된다.
- [0030] 스텝 S108에서, 주목 코스트와 보조 코스트를 조합함으로써 주목 코스트와 보조 코스트를 값으로서 포함하는 함수인 최적화 코스트(평가 함수)가 설정된다. 본 실시예에서, 최적화 코스트는 아래의 방식으로 설정된다.

- [0031] 주목 코스트: 공통 라인폭 DOF(nm)
- [0032] 보조 코스트: 베스트 포커스의 라인폭 에러 RMS(nm)
- [0033] 최적화 코스트: 주목 코스트 - 보조 코스트
- [0034] 노광 조건이 적절하지 않다면, 주목 코스트로서 선택된 공통 라인폭 DOF는 0의 값을 취할 수 있다. 한편, 라인폭 에러 RMS는 노광 조건에 독립하여 특정한 값(예를 들면, 0)을 계속해서 취하는 평가 항목이 아니다. 라인폭 에러 RMS는, 노광 조건의 변경에 따라서 민감하게(공통 라인폭 DOF보다 더 민감하게), 그리고 연속적으로 값을 변화시키는 평가 항목이다. 따라서, 주목 코스트로서의 역할을 하는 공통 라인폭 DOF와 보조 코스트로서의 역할을 하는 라인폭 에러 RMS를 조합하는 것은, 노광 조건의 변경에 따라서 민감하게 그 값이 변하는 최적화 코스트를 설정할 수 있게 한다.
- [0035] 또한, 보조 코스트로서, 주목 코스트의 값이 얻어지는 노광 조건에 대하여 주목 코스트의 값(절대값)보다 작은 값(절대값)을 취하는 평가 항목이 선택될 필요가 있다. 예를 들면, 최적화 코스트에 대한 보조 코스트의 비중이 크면, 주목 코스트가 아니라 보조 코스트를 주로 고려해서 노광 조건이 최적화된다. 본 실시예에서, 보조 코스트로서 선택된 라인폭 에러 RMS의 값은, DOF가 적절하게 얻어질 수 있는 노광 조건에 대해 주목 코스트로서 선택된 공통 라인폭 DOF의 값보다 매우 작다. 따라서, 주목 코스트와 보조 코스트를 조합해서 최적화 코스트가 설정되어도, 실제로는 주목 코스트로서 선택된 공통 라인폭 DOF만을 고려해서 노광 조건이 최적화될 수 있다. 보조 코스트의 값이 주목 코스트의 값보다 작지 않다면, 최적화 코스트에 대한 보조 코스트의 비중을 감소시키기 위해서, 보조 코스트의 단위가 조정될 수 있거나, 보조 코스트의 값에 계수가 곱해질 수 있다.
- [0036] 베스트 포커스에서의 라인폭 에러 RMS의 값이 더 작을수록, 공통 라인폭 DOF가 커지는 가능성이 더 높다. 따라서, 주목 코스트와 독립적으로 보조 코스트를 선택하는 대신, 상술한 바와 같이, 노광 조건을 변경했을 시에 주목 코스트의 값의 변하는 방향과 동일한 방향으로 그 값을 변화시키는 평가 항목이 보조 코스트로서 선택되는 것이 바람직하다는 것이 이해될 것이다.
- [0037] 주목 코스트와 보조 코스트를 조합할 때 보조 코스트의 부호에 대해 설명한다. 주목 코스트와 보조 코스트를 조합할 때, 주목 코스트의 값이 목표값에 근접하는 방향을 보조 코스트의 값이 목표값에 근접하는 방향과 일치시키는 것이 필요하다. 예를 들면, 공통 라인폭 DOF는, 가능한 한 큰 값(양의 값)을 갖는 것이 바람직하다. 한편, 라인폭 에러 RMS는 가능한 한 작은 값을 갖는 것이 바람직하다. 따라서, 본 실시예에서와 같이, 최적화 코스트를 최적화하기 위해, 보조 코스트로서의 역할을 하는 라인폭 에러 RMS는 음의 부호를 부여받을 필요가 있고, 주목 코스트로서의 역할을 하는 공통 라인폭 DOF와 조합될 필요가 있다.
- [0038] 스텝 S110에서, 최적화 코스트의 값을 목표값에 근접시키기 위해 스텝 S102에서 설정된 파라미터의 값이 변경된다. 파라미터의 값에 대응해서 투영 광학계의 화상면에 형성된 복수의 광학상의 각각에 대해 최적화 코스트의 값이 계산된다. 노광 조건에 포함되는 파라미터의 값은 특정한 수학적 방법이나 알고리즘에 따라 변경된다는 것에 유의해야 한다. 본 실시예에서, 다운힐 심플렉스(downhill simplex) 방법을 이용해서 파라미터의 값이 변경된다. 하지만, 시뮬레이션된 어닐링 방법이나 Monte Carlo 방법과 같은 임의의 다른 방법이 파라미터의 값을 변경하는 데 이용될 수 있다.
- [0039] 다운힐 심플렉스 방법에서는, 파라미터값의 변경 카운트가 적을 때(즉, 초기 단계에서), 난수(random number)를 이용해서 파라미터값이 변경되고, 파라미터값에 대응하는 광학상에 대해 최적화 코스트값이 계산된다는 점에 유의해야 한다. 난수를 이용해서 파라미터값이 소정의 횟수만큼 변경된 후에, 각각의 최적화 코스트값을 고려하여(최적화 코스트값이 목표값에 근접하도록) 파라미터값의 변경이 반복된다. 이렇게 최적화 코스트값을 고려하여 파라미터값이 변경되면, 파라미터값의 변경 범위가 서서히 좁아져, 최종적으로는 파라미터값이 수렴한다(노광 조건이 결정(최적화)된다).
- [0040] 스텝 S112에서, 파라미터값이 규정 횟수만큼(본 실시예에서는, 350회) 변경되었는지(즉, 최적화 코스트값이 규정 횟수만큼 계산되었는지) 여부가 판정된다. 파라미터값이 변경되는 규정 횟수는, 미리(예를 들면, 파라미터가 설정될 때(S102)) 설정된다는 것에 유의해야 한다. 파라미터값이 규정 횟수만큼 변경되었을 경우에, 프로세스는 스텝 S114로 진행한다. 파라미터값이 규정 횟수만큼 변경되지 않았을 경우에는, 프로세스가 스텝 S110으로 진행하여 최적화 코스트의 값의 계산을 계속한다.
- [0041] 상술한 바와 같이, 스텝 S110 및 S112에서, 노광 조건을 규정하는 파라미터값이 규정 횟수만큼 변경되어, 파라미터값에 대응하여 투영 광학계의 화상면에 형성된 복수의 화상의 각각에 대해서, 최적화 코스트값이 계산된다.

- [0042] 스텝 S114에서는, 스텝 S110에서 계산된 복수의 최적화 코스트값이 목표값(본 실시예에서는, 400 이상)을 만족하는 최적화 코스트값을 포함하는지 여부(즉, 목표값을 만족하는 최적화 코스트값이 적어도 1개 존재하는지 여부)가 판정된다. 최적화 코스트의 목표값은 미리(예를 들면, 최적화 코스트가 설정될 때(S108)) 설정된다는 것에 유의해야 한다. 목표값을 만족하는 최적화 코스트값이 없을 경우에는, 프로세스가 스텝 S116으로 진행한다. 목표값을 만족하는 최적화 코스트값이 있을 경우에는, 프로세스가 스텝 S118로 진행한다.
- [0043] 스텝 S116에서, 보조 코스트를 변경하는지 여부가 판정된다. 스텝 S116의 기준은 사용자에게 의해 설정되거나 자동으로 설정될 수 있다는 점에 유의해야 한다. 보조 코스트를 변경하기 위해, 프로세스는 스텝 S106으로 복귀하여, 현재 보조 코스트로서 선택되어 있는 평가 항목과는 다른 평가 항목을 새로운 보조 코스트로서 선택한다. 그리고, 상술한 바와 같은 동일한 방식으로, 스텝 S108, S110, S112 및 S114가 실행된다. 보조 코스트가 변경되지 않을 경우에는, 프로세스가 스텝 S110으로 복귀하여, 파라미터값을 규정 횟수만큼 변경하고, 파라미터값에 대응해서 투영 광학계의 화상면에 형성된 복수의 화상의 각각에 대해 최적화 코스트값을 계산한다.
- [0044] 상술한 프로세스에서는, 주목 코스트뿐만 아니라 주목 코스트와 보조 코스트를 조합함으로써 얻어진 최적화 코스트를 고려해서 노광 조건(에 포함된 파라미터값)이 최적화된다. 스텝 S118에서, 보조 코스트를 제거할지, 즉, 주목 코스트만의 함수인 새로운 최적화 코스트를 설정할지 여부가 판정된다. 스텝 S118의 기준은 사용자에게 의해 설정되거나 자동적으로 설정될 수 있다는 것에 유의해야 한다. 단, 보조 코스트를 제거하는 것은 단지 새로운 최적화 코스트의 설정의 일례이다. 예를 들면, 최적화 코스트의 최적화에 있어서 보조 코스트의 영향을 감소시킴으로써 새로운 최적화 코스트가 설정된다.
- [0045] 새로운 최적화 코스트가 설정되지 않을 경우에는, 프로세스가 S120으로 진행하여, 목표값을 만족하는 최적화 코스트값에 대응하는 파라미터값을 스텝 S102에서 설정된 파라미터값으로서 결정한다.
- [0046] 새로운 최적화 코스트를 설정하기 위해, 프로세스는 스텝 S122로 진행하여, 스텝 S104에서 선택된 주목 코스트만의 함수인 새로운 최적화 코스트를 설정한다(즉, 최적화 코스트로서 주목 코스트 자체를 설정한다). 스텝 S114 후에, 최적화 코스트값은, 최적화 코스트값이 특정값을 계속해서 취하는 상태에서 빠져나온다는 것에 유의해야 한다. 따라서, 주목 코스트(본 실시예에서는, 공통 라인폭 DOF) 자체가 새로운 최적화 코스트로서 설정되고, 상술한 바와 같이, 새로운 최적화 코스트값은 결코 특정값을 계속해서 취하지 않는다.
- [0047] 새로운 최적화 코스트가 설정되면, 프로세스는 스텝 S110으로 복귀하여 상술한 바와 같은 새로운 최적화 코스트값을 계산한다. 이 때, 노광 조건에 포함되는 파라미터값은, 목표값을 만족하는 최적화 코스트값에 대응하는 파라미터값(즉, 스텝 S120에서 결정된 파라미터값)으로부터 규정 횟수만큼 변경된다. 스텝 S120에서, 스텝 S110에서 계산된 새로운 최적화 코스트값으로부터 목표값을 만족하는 최적화 코스트값에 대응하는 파라미터값이 스텝 S102에서 설정된 파라미터값으로서 새롭게 결정된다. 이렇게, 주목 코스트만의 함수인 새로운 최적화 코스트를 설정하는 것은 주목 코스트만을 고려해서 노광 조건을 최적화할 수 있게 한다.
- [0048] 이하, 본 실시예에 있어서 최적화(결정)된 노광 조건에 대해 상세하게 설명한다. 도 5에 나타난 마스크 패턴 MP는 본 실시예에서 최적화된 마스크 패턴이다. 도 6은 본 실시예에서 최적화된 유효 광원(형상)을 나타낸다. 표 1은 본 실시예에서 최적화된 마스크 패턴의 형상 및 유효 광원의 형상을 규정하는 8개의 파라미터 P_A , P_B , P_C , P_D , Ψ_1 , Ψ_2 , σ_a 및 σ_b 를 나타낸다. 표 1에서, 파라미터 P_A , P_B , P_C 및 P_D 는 각각 "A", "B", "C" 및 "D"로서 표현된다. 도 7은, 도 6에 나타난 유효 광원이 도 5에 나타난 마스크 패턴 MP를 조명했을 경우에, 투영 광학계의 화상면에 형성된 광학상의 일례를 나타내는 도면이다.

표 1

A	122.74	nm
B	97.45	nm
C	414.11	nm
D	55.05	nm
σ_a	0.860	
σ_b	0.682	
Ψ_1	32.43	도(degrees)
Ψ_2	56.27	도(degrees)

[0049]

[0050]

도 8은 이러한 노광 조건에 대응해서 투영 광학계의 화상면에 형성된 광학상의 라인폭 LW1 및 LW2와, 간격 Gap의 디포커스 의존성을 나타낸다. 도 8에서, 가로축은 디포커스값(nm)을 취하고, 세로축은 라인폭 LW1 및 LW2와, 간격 Gap의 그 목표값에 대한 상대적인 에러(%)를 취한다. 도 8을 참조하면, 라인폭 LW1 및 LW2와, 간격 Gap의 모든 상대 에러가 $\pm 10\%$ 이하인 디포커스의 범위를 나타내는 공통 라인폭 DOF는 566.8nm의 매우 큰 값을 갖는다는 것이 판명된다.

[0051]

도 9a는 본 실시예에 따른 노광 조건의 최적화에서 최적화 코스트값의 변화를 나타내는 그래프이다. 도 9b는 도 9a에 나타낸 영역 α , β 및 γ 중에서 영역 α 의 확대도이다. 도 9a 및 9b에서, 가로축은 노광 조건(에 포함된 파라미터)의 변경 횟수를 취하고, 세로축은 최적화 코스트값을 취한다.

[0052]

도 9a를 참조하면, 영역 α (노광 조건의 변경 횟수가 적은 단계)에서는, 대부분의 경우에 주목 코스트로서의 역할을 하는 공통 라인폭 DOF의 값이 얻어질 수 없다(즉, 0이 된다). 따라서, 최적화 코스트값은, 보조 코스트값에 의해 지배된다. 도 9b로부터 명백한 바와 같이, 영역 α 에서는, 변경 횟수가 증가함에 따라 최적화 코스트값이 서서히 커진다. 이는, 보조 코스트로서의 역할을 하는 라인폭 에러 RMS의 값이 감소하는 방향으로 노광 조건이 변경된다는 것을 의미한다.

[0053]

라인폭 에러 RMS의 값이 작아지면, 공통 라인폭 DOF의 값이 얻어진다(0이 아닌 값을 취한다). 이는, 노광 조건의 변경에 대하여 라인폭 에러 RMS의 값이 작아지는 방향과 공통 라인폭 DOF의 값이 커지는 방향이 동일한 경향을 갖기 때문이다.

[0054]

영역 β 는 공통 라인폭 DOF가 얻어지는 단계를 나타낸다. 도 9a를 참조하면, 노광 조건의 변경 횟수가 50회를 초과한 단계에서, 공통 라인폭 DOF의 값이 거의 1/2로 얻어지는 경우가 있다. 단, 노광 조건의 변경 횟수가 100회를 초과하면, 공통 라인폭 DOF의 값이 거의 모든 경우에서 얻어진다. 라인폭 에러 RMS의 값은, 상술한 바와 같이, 공통 라인폭 DOF의 값보다도 매우 작기 때문에, 이 단계에서는, 최적화 코스트값은, 주목 코스트로서의 역할을 하는 공통 라인폭 DOF의 값에 의해 지배된다(즉, 공통 라인폭 DOF의 값으로서 간주될 수 있다). 영역 β 에서, 공통 라인폭 DOF의 값이 서서히 커지도록, 노광 조건이 변경된다.

[0055]

영역 γ 는, 노광 조건의 변경 횟수가 더욱 증가하는 단계를 나타낸다. 영역 γ 에서, 최적화 코스트값의 변화량이 감소한다. 노광 조건의 변경 횟수가 300회를 초과하면, 최적화 코스트값이 거의 변경되지 않는다. 노광 조건에 포함된 파라미터값이 수렴하여 노광 조건을 결정한다.

[0056]

상술한 바와 같이, 본 실시예에서는, 주목 코스트값이 얻어질 수 없는(즉, 노광 조건을 변경하는 방향이 알려지지 않은) 경우에도, 보조 코스트값이 언제나 변하므로, 노광 조건을 변경해야 할 방향이 결정될 수 있다. 노광 조건을 변경할 방향이 결정되면, 주목 코스트값이 점차 얻어진다. 최종적으로, 주목 코스트가 최적화 코스트값을 지배하고, 노광 조건이 최적화된다(노광 조건에 포함된 파라미터값이 수렴한다).

[0057]

비교예로서, 관련 기술에 의한(즉, 보조 코스트가 고려되지 않음) 노광 조건의 최적화에 대해 설명한다. 관련 기술에서는, 주목 평가 항목(주목 코스트)이 그대로 최적화 코스트로서 설정된다. 따라서, 공통 라인폭 DOF가 그대로 최적화 코스트로서 설정된다. 도 10은 관련 기술에 따른 노광 조건의 최적화에 있어서 최적화 코스트의

값의 변화를 나타내는 그래프이다. 관련 기술에 따른 노광 조건의 최적화에 있어서도, 본 실시예에서와 같이, 다운힐 심플렉스 방법을 이용해서 노광 조건에 포함된 파라미터값이 변경된다.

- [0058] 도 10을 참조하면, 노광 조건(에 포함된 파라미터값)의 변경 횟수가 증가되어도, 최적화 코스트(공통 라인폭 DOF)의 값이 0이다. 관련 기술에서는, 공통 라인폭 DOF의 값이 그대로 최적화 코스트값으로서 설정되고, 노광 조건이 변경된 후에도 공통 라인폭 DOF의 값이 0의 값을 계속해서 취한다.
- [0059] 노광 조건의 변경 횟수가 적은 단계에서는, 상술한 바와 같이, 난수를 이용해서 노광 조건이 설정되고, 최적화 코스트값이 계산된다(다운힐 심플렉스 방법의 특징). 몇몇 경우에, 공통 라인폭 DOF가 얻어진다(0이 아닌 값이 얻어진다). 하지만, 노광 조건을 변경할 때 최적화 코스트값이 계속해서 0이면, 노광 조건을 변경해야 할 방향이 알려질 수 없다. 여기에서, 최적화 코스트값이 0의 값을 취하는 것이 아니라 최적화 코스트값이 노광 조건의 변경 후에도 동일한 값을 취하는(즉, 변화가 없는) 것이 문제이다. 다운힐 심플렉스 방법에서는, 최적화 코스트값의 변화에 기초해서 노광 조건(에 포함된 파라미터값)이 변경된다. 이 때문에, 최적화 코스트값이 변하지 않으면, 노광 조건을 변경해야 할 방향을 결정할 수 없다. 도 10에 나타난 관련 기술의 노광 조건의 최적화에서는, 최적화 코스트값으로서의 역할을 하는 공통 라인폭 DOF의 값이 얻어질 수 없는 영역에서 해(solution)가 수렴하고, 노광 조건이 최적화될 수 없다.
- [0060] 관련 기술에서, 공통 라인폭 DOF의 값이 얻어질 수 없는 영역에서 해가 수렴하는 것에 대해 설명한다. 도 11은, 각 노광 조건에 대하여 공통 라인폭 DOF의 값이 얻어질 수 있는 범위가 매우 좁은 것을 나타내는 도면이다. 도 11에서, 가로축은 시그마 비율(내 시그마값 σ_b 와 외 시그마값 σ_a 사이의 비율)을 취하고, 세로축은 외 시그마값 σ_a 를 취하고, 각 조건에 대응하는 공통 라인폭 DOF의 값이 플로팅된다. 나머지 노광 조건에 포함된 파라미터(마스크 패턴의 형상을 규정하는 파라미터 P_A, P_B, P_C 및 P_D 와, 유효 광원의 형상을 규정하는 파라미터 Ψ_1 및 Ψ_2)는 표 1에 나타난 값(최적값)을 갖는다는 것에 유의해야 한다.
- [0061] 도 11을 참조하면, 공통 라인폭 DOF의 값은 대부분의 영역에서 0이다. 명백한 바와 같이, 2개의 파라미터 σ_a 및 σ_b 만이 변경되었지만(나머지 파라미터는 최적값을 가짐), 공통 라인폭 DOF의 값이 얻어질 수 있는 영역은 매우 작다. 실제로는, 최적화되어야 할 많은 파라미터가 있으므로, 파라미터값의 조합의 수가 매우 많고, 최적화 공간이 도 11에 나타난 최적화 공간보다 크다. 이렇게 큰 최적화 공간에서는, 공통 라인폭 DOF의 값(0이 아닌 값)이 얻어지는 파라미터의 조합의 수가 매우 적고, 공통 라인폭 DOF는 0의 값을 계속해서 취하는 경우가 종종 있다.
- [0062] 보조 코스트로서 선택된 베스트 포커스에 있어서의 라인폭 에러 RMS에 대해서 설명한다. 도 12는 각 노광 조건에 대한 라인폭 에러 RMS의 값을 나타내는 도면이다. 도 12에서, 가로축은 시그마 비율(내 시그마값 σ_b 와 외 시그마값 σ_a 사이의 비율)을 취하고, 세로축은 외 시그마값 σ_a 를 취하고, 각 조건에 대응하는 베스트 포커스에서의 라인폭 에러 RMS의 값(nm)이 플로팅된다. 도 11과 도 12 사이의 비교로부터 명백한 바와 같이, 공통 라인폭 DOF의 값이 목표값에 근접하는 방향(즉, 값이 커지는 조건)은 라인폭 에러 RMS의 값이 목표값에 근접하는 방향(즉, 값이 작아지는 조건)과 동일하다.
- [0063] 상술한 바와 같이, 주목 코스트값이 목표값에 근접하는 방향은 보조 코스트값이 목표값에 근접하는 방향과 동일할 필요가 있다. 본 실시예에서는, 도 11 및 12에 나타난 바와 같이, 공통 라인폭 DOF의 값이 목표값에 근접하는 방향과, 베스트 포커스에서의 라인폭 에러 RMS의 값이 목표값에 근접하는 방향이 전반적으로 동일하여, 주목 코스트와 보조 코스트의 조합이 적합하다. 보다 구체적으로, 도 11 및 12에 나타난 바와 같이, 외 시그마값과 시그마 비율이 특정 범위에서 변경되는 경우에, 공통 라인폭 DOF 및 라인폭 에러 RMS의 변화량(즉, 미분값)은 동일한 경향을 갖는다. 공통 라인폭 DOF와 라인폭 에러 RMS는 외 시그마 및 시그마 비율 이외의 파라미터에 대하여도, 그 변화량에 대해 동일한 관계를 갖는다는 것에 유의해야 한다.
- [0064] 주목 코스트에 대하여 보조 코스트를 선택할 때, 예를 들면, 상술한 바와 같이, 노광 조건에 포함된 파라미터값을 변경시킴으로써 얻어진 미분값의 부호가 비교됨으로써, 보조 코스트로서 설정되어야 할 평가 항목을 특정한다. 보조 코스트로서 설정되어야 할 평가 항목을 특정하는 스텝이 스텝 S104와 스텝 S106 사이에 제공될 수 있다는 것에 유의해야 한다. 또한, 복수의 평가 항목 사이의 대응 관계를 나타내는 표(주목 코스트에 대한 보조 코스트의 바람직한 조합(본 실시예에서는, 공통 라인폭 DOF에 대한 베스트 포커스에서의 라인폭 에러 RMS))가 미리 작성될 수 있고, 이러한 표를 참조하여 보조 코스트가 선택될 수 있다. 사용자가 주목 코스트로서 선택된 평가 항목에 대하여 보조 코스트로서 선택되어야 할(즉, 바람직한) 평가 항목을 미리 알고 있을 경우에는, 사용

자가 그 평가 항목을 보조 코스트로서 선택하도록 지시할 수 있다. 주목 코스트에 대해 보조 코스트를 선택하는 것은 상술한 것에 한정되지 않는다. 주목 코스트의 값이 변하는 방향과 동일한 방향으로 그 값이 변하는 평가 항목을 선택할 수만 있으면 된다.

[0065] 상술한 바와 같이, 본 실시예에서는, 주목 평가 항목을 그대로 설정하는 대신, 주목 코스트와 보조 코스트의 합수가 최적화 코스트로서 설정된다. 노광 조건의 변경에 관계없이 주목 코스트값이 변하지 않는 경우에도, 보조 코스트값은 변한다. 따라서, 노광 조건을 변경해야 할 방향을 알 수 있고, 노광 조건을 최적화할 수 있다.

[0066] <제2 실시예>

[0067] 제2 실시예에서는, 스텝 S104에서, 도 5에 나타난 광학상 OI의 라인폭 LW1 및 LW2와, 간격 Gap에 대한 공통 노광 여유도 DOF가 주목 코스트로서 선택되는 경우에 대해 설명한다. 노광 여유도는, 어떤 초점에 있어서, 광학상의 라인폭과 그 목표값 사이의 상대 에러가 $\pm 10\%$ 이하인 노광량의 범위를 나타낸다. 라인폭 LW1 및 LW2와, 간격 Gap 모두에 공통인 노광 여유도가 공통 노광 여유도로서 규정된다. 본 실시예에서는, 공통 노광 여유도가 노광량의 10% 이상으로 얻어질 수 있는 초점 범위가 공통 노광 여유도 DOF로 칭해질 것이다. 공통 노광 여유도 DOF의 값이 클수록, 노광량의 어긋남 및 투영 광학계의 초점의 어긋남에 대하여 형성된 광학상의 라인폭을 더 변화시키기 어렵다.

[0068] 스텝 S106에서, 주목 코스트로서 선택된 공통 노광 여유도 DOF에 대하여, 베스트 포커스에 있어서의 공통 노광 여유도가 보조 코스트로서 선택된다. 따라서, 스텝 S108에서는, 이하의 방식으로 최적화 코스트가 설정된다.

[0069] 주목 코스트: 공통 노광 여유도 DOF(nm)

[0070] 보조 코스트: 베스트 포커스에 있어서의 공통 노광 여유도(%)

[0071] 최적화 코스트: 주목 코스트 + 보조 코스트

[0072] 베스트 포커스에 있어서의 공통 노광 여유도의 값이 클수록, 공통 노광 여유도 DOF의 값이 커진다. 베스트 포커스에 있어서의 공통 노광 여유도는 노광 조건을 변경했을 때에 공통 노광 여유도 DOF의 값이 변하는 방향과 동일한 방향으로 그 값이 변하므로, 베스트 포커스에 있어서의 공통 노광 여유도는 공통 노광 여유도 DOF에 대한 보조 코스트로서 적합하다.

[0073] 표 2는, 본 실시예에서 최적화된 마스크 패턴의 형상 및 유효 광원의 형상을 규정하는 8개의 파라미터 P_A , P_B , P_C , P_D , Ψ_1 , Ψ_2 , σ_a 및 σ_b 의 값을 나타낸다. 표 2에서는, 파라미터 P_A , P_B , P_C 및 P_D 는 각각 "A", "B", "C" 및 "D"로서 표현된다. 노광 조건에 포함되는 파라미터값은 제1 실시예에서와 마찬가지로, 다운힐 심플렉스 방법을 이용해서 변경되며, 그 변경 카운트는 650이다. 최적화 코스트값의 목표값은 200 이상이다.

표 2

A	143.05	nm
B	110.49	nm
C	403.55	nm
D	57.03	nm
σ_a	0.873	
σ_b	0.690	
Ψ_1	70.68	도
Ψ_2	41.43	도

[0074]

[0075] 도 13은 이러한 노광 조건에 대응해서 투영 광학계의 화상면에 형성된 광학상의 라인폭 LW1 및 LW2와, 간격 Gap의 디포커스 의존성을 나타낸다. 도 13에서, 가로축은 디포커스값(nm)을 취하고, 세로축은 라인폭 LW1 및 LW2와, 간격 Gap의 그 목표값에 대한 상대 에러(%)가 $\pm 10\%$ 이하인 노광량의 기준 노광량에 대한 비율(%)을

취한다. 도 13에 나타난 6개의 플롯 곡선에 의해 둘러싸여진 영역은, 라인폭 LW1 및 LW2와, 간격 Gap의 에러가 $\pm 10\%$ 이하인 노광량과 초점의 조합을 나타낸다. 도 13을 참조하면, 공통 노광 여유도 DOF는 332.5nm이다.

[0076] 도 14는 본 실시예 및 관련 기술에 따른 노광 조건의 최적화에서의 최적화 코스트값의 변화를 나타내는 그래프이다. 도 14에서, 가로축은 노광 조건(에 포함되는 파라미터)의 변경 카운트를 취하고, 세로축은 최적화 코스트값을 취한다.

[0077] 본 실시예에 따른 노광 조건의 최적화에 대해 설명한다. 도 14를 참조하면, 노광 조건의 변경 카운트가 적은 단계에서는, 최적화 코스트로서의 역할을 하는 공통 노광 여유도 DOF의 값이 얻어질 수 없는(즉, 0이 되는) 경우가 많다. 따라서, 최적화 코스트값에 대해서, 보조 코스트로서의 역할을 하는 베스트 포커스에 있어서의 공통 노광 여유도의 값에 의해, 노광 조건을 변경하는 방향이 결정된다. 노광 조건의 변경 카운트가 거의 50이면, 공통 노광 여유도 DOF의 값이 얻어지며, 최적화 코스트값은 주목 코스트로서의 역할을 하는 공통 노광 여유도 DOF의 값에 의해 지배된다. 노광 조건의 변경 카운트가 120을 초과하면, 공통 노광 여유도 DOF의 값이 항상 얻어진다. 노광 조건에 포함되는 파라미터값이 수렴하여(최대화되어), 노광 조건이 결정된다.

[0078] 한편, 관련 기술에 따른 노광 조건의 최적화에서는, 노광 조건의 변경 후에도, 공통 노광 여유도 DOF의 값이 계속해서 0을 취한다. 따라서, 노광 조건을 변경해야 할 방향이 알려지지 않는다. 관련 기술에 따른 노광 조건의 최적화에서, 최적화 코스트값으로서의 역할을 하는 공통 노광 여유도 DOF의 값이 얻어지지 않는 영역에서 해가 수렴하고, 노광 조건이 최적화될 수 없다.

[0079] <제3 실시예>

[0080] 상술한 바와 같이, 본 발명은, 주목 평가 항목을 그대로 최적화 코스트로서 설정하는 대신, 주목 코스트와 보조 코스트의 함수를 최적화 코스트로서 설정하는(즉, 보조 코스트를 선택(설정)하는) 것을 특징으로 한다. 보조 코스트(로서 선택되는 평가 항목)는, 스텝 S106에서 변경될 수 있다. 또한, 보조 코스트가 제거된 최적화 코스트, 즉, 주목 코스트만의 함수인 최적화 코스트는 스텝 S122에서 설정될 수 있다.

[0081] 하지만, 보조 코스트의 변경이나 최적화 코스트의 설정은 도 1에 나타내는 흐름도에 한정되지 않는다. 예를 들면, 노광 조건의 변경 카운트에 따라서, 보조 코스트(로서 선택되는 평가 항목)가 변경될 수 있다. 노광 조건의 변경 카운트가 여전히 적을 때에는, 주목 코스트와 보조 코스트를 1:1의 비율로 더함으로써 최적화 코스트가 설정될 수 있다. 노광 조건의 변경 카운트가 증가함에 따라서, 보조 코스트의 가중치를 감소시킴으로써 최적화 코스트가 설정될 수 있다.

[0082] 또는, 처음부터 보조 코스트를 설정하는 대신, 노광 조건의 변경 카운트가 일정한 값에 도달했을 때에 보조 코스트가 설정될 수 있다. 보다 구체적으로, 관련 기술에서와 같이, 최적화 코스트가 연속해서 동일한 값을 취했을 때, 보조 코스트가 설정될 수 있다.

[0083] 보조 코스트로서 선택되는 평가 항목은 1개의 물리량에 한정되지 않는다. 복수의 평가 항목이 보조 코스트로서 선택될 수 있다. 예를 들면, 제1 실시예에 있어서, 라인폭 에러 RMS뿐만 아니라 라인폭 에러 RMS와 NILS가 보조 코스트로서 선택될 수 있다.

[0084] <제4 실시예>

[0085] 제4 실시예에서는, SRAF(Sub-Resolution Assist Feature) 패턴을 포함하는 마스크 패턴의 최적화(결정)가 설명된다. 보조 패턴으로도 지칭되는 SRAF 패턴은 메인 패턴의 화상의 성능을 개선시키기 위해서 삽입된다. 따라서, SRAF 패턴은 기관 상에서는 해상시키지 않고 유지시킬 필요가 있다.

[0086] 마스크 패턴에 관해서는, 본 실시예에서는 도 15에 나타난 바와 같이, 금속 프로세스에서 특징적인 패턴(마스크 패턴)의 형상을 규정하는 파라미터 $P_A, P_B, P_C, P_D, P_E, P_F, P_G, P_H, P_I, P_J$ 및 P_K 를 설정한다. 도 15에 나타난 패턴은 소위 인-비트윈(In-Between)으로 지칭되는 메인 패턴으로서, 메인 패턴 MPT1 및 MPT2와, 메인 패턴 MPT1 및 MPT2의 주위에 배치된 메인 패턴 MPT3 및 MPT4를 포함한다. 또한, 도 15에 나타난 패턴은, SRAF 패턴으로서 SRAF 패턴 APT1, APT2, APT3, APT4, APT5, APT6, APT7, APT8, APT9 및 APT10를 포함한다. 파라미터 P_A 는 메인 패턴 MPT1 및 MPT2의 변의 길이를 나타낸다. 파라미터 P_B 는 메인 패턴 MPT1 및 메인 패턴 MPT2 사이의 간격을 나타낸다. 파라미터 P_C 는 메인 패턴 MPT2의 중점의 X 좌표와 SRAF 패턴 APT4의 중점의 X 좌표 사이의 간격을 나타낸다. 파라미터 P_D 는 SRAF 패턴 APT1의 변의 길이를 나타낸다. 파라미터 P_E 는 SRAF 패턴 APT1과 SRAF 패턴 APT4 사이의 간격을 나타낸다. 파라미터 P_F 는 메인 패턴 MPT2의 중점의 X 좌표와 SRAF 패턴 APT3의 중점의

X 좌표 사이의 간격을 나타낸다. 파라미터 P_G 는 SRAF 패턴 APT2의 변의 길이를 나타낸다. 파라미터 P_H 는 SRAF 패턴 APT2와 패턴 APT3 사이의 간격을 나타낸다. 파라미터 P_I 는 메인 패턴 MPT2의 중점의 X 좌표와 SRAF 패턴 APT10의 좌단의 X 좌표 사이의 간격을 나타낸다. 파라미터 P_J 및 P_K 는 각각, SRAF 패턴 APT9의 각 변의 길이를 나타낸다.

[0087] 유효 광원에 관해서는, 본 실시예에서는 도 16에 나타낸 바와 같이, 환형 조명의 형상을 규정하는 파라미터 σ_a 및 σ_b 가 설정된다. 파라미터 σ_a 는 외 시그마 값을 나타내고, 파라미터 σ_b 는 내 시그마 값을 나타낸다.

[0088] 상술한 바와 같이, 본 실시예에서는 마스크 패턴의 형상 및 유효 광원의 형상을 규정하는 13개의 파라미터 P_A , P_B , P_C , P_D , P_E , P_F , P_G , P_H , P_I , P_J 및 P_K 및 σ_a 및 σ_b 를 설정한다. 기타의 노광 조건에 대해서, 본 실시예에서는 투영 광학계(액침)의 NA를 1.35로, 노광광의 파장을 193nm로, 노광광의 편광 상태를 탄젠셜 편광으로 설정(고정)한다는 점에 유의해야 한다.

[0089] 본 실시예에서 설정되는 주목 코스트를 설명한다. 도 17은 도 15에 나타낸 마스크 패턴을 도 16에 도시된 유효 광원(환형 조명)으로 조명하는 경우에, 투영 광학계의 화상면에 형성되는 광학상의 일례를 나타내는 도면이다. 메인 패턴 MPT1, MPT2, MPT3 및 MPT4에 대응하는 광학상을 각각 MIM1, MIM2, MIM3 및 MIM4로 규정한다. 광학상 MIM1의 가로방향의 라인폭은 H1, H2, H3 및 H4로 규정된다. 또한, 광학상 MIM1과 광학상 MIM2 사이의 (세로 방향의) 간격은 V1, V2 및 V3로 규정된다. 라인폭 H1, H2, H3 및 H4의 목표값은 70nm이다. 간격 V1, V2 및 V3의 목표값은 100nm이다. 본 실시예에서는, 메인 패턴의 광학상의 라인폭 H1 내지 H4 및 간격 V1 내지 V3의 각각에 대하여, 대응하는 목표값으로부터의 에러 RMS를 주목 코스트로서 선택한다. 에러 RMS는 작을수록 좋기 때문에, 최적화 코스트 값의 최적화는 최적화 코스트 값의 최소화를 의미한다.

[0090] 본 실시예에서 설정되는 보조 코스트 및 최적화 코스트를 설명한다. 도 17에 나타낸 바와 같이, SRAF 패턴에 대응하는 가상적인 광학상의 라인폭을 H5, H6, H7, H8, H9, H10 및 H11로 규정한다. 또한, SRAF 패턴에 대응하는 가상적인 광학상의 라인폭을 V4, V5, V6, V7, V8, V9 및 V10으로 규정한다. SRAF 패턴은 상술한 바와 같이 보조 패턴이기 때문에, 기관상에서 해상시키지 않고 유지되어야 할 필요가 있다. 따라서, 본 실시예에서는 SRAF 패턴이 해상되었을 때에는 최적화 코스트의 값이 비정상적인 값으로 되도록 이하에 설명하는 바와 같이 보조 코스트 및 최적화 코스트를 설정한다. 이하에서는, H5, H6, H7, H8, H9, H10, H11, V4, V5, V6, V7, V8, V9 및 V10을 SRAF 평가 선분군이라고 지칭한다는 점에 유의해야 한다.

[0091] 주목 코스트: 메인 패턴의 광학상의 라인폭 H1 내지 H4 및 간격 V1 내지 V3의 에러 RMS(nm)

[0092] 보조 코스트: 0(SRAF 평가 선분군의 라인폭이 모두 0nm일 때)

[0093] 200 (SRAF 평가 선분군의 라인폭 중 적어도 1개가 0nm보다도 클 때)

[0094] 최적화 코스트: 주목 코스트 + 보조 코스트

[0095] 주목 코스트로서 제공되는 에러 RMS는 최대 수십의 값이다. 따라서, 보조 코스트의 값인 "200"은 에러 RMS보다 매우 크다. 본 실시예에서와 같이, 보조 코스트를 비정상 판단을 하는 체계로서 이용하는 경우, 보조 코스트가 취할 수 있는 값(절대값)은 주목 코스트가 취할 수 있는 값보다 큰 값으로 하는 것이 바람직하다.

[0096] 본 실시예에서 최적화된 마스크 패턴의 형상 및 유효 광원의 형상을 규정하는 13개의 파라미터 P_A , P_B , P_C , P_D , P_E , P_F , P_G , P_H , P_I , P_J 및 P_K 및 σ_a 및 σ_b 의 값을 표 3에 나타낸다. 표 3에서는, 파라미터 P_A , P_B , P_C , P_D , P_E , P_F , P_G , P_H , P_I , P_J 및 P_K 를 각각 "A", "B", "C", "D", "E", "F", "G", "H", "I", "J" 및 "K"로 나타낸다. 노광 조건(에 포함되는 파라미터값)은, 제1 및 제2 실시예와 마찬가지로 다운힐 심플렉스(downhill simplex) 방법을 이용해서 변경한다는 점에 유의해야 한다. 주목 코스트로서 제공되는 에러 RMS의 값은 0.38nm이다.

표 3

A	95.38	nm	F	209.29	nm	K	114.97	nm
B	71.83	nm	G	15.27	nm	σ_a	0.836	
C	129.96	nm	H	224.88	nm	σ_b	0.550	
D	31.24	nm	I	52.49	nm			
E	65.70	nm	J	35.75	nm			

[0097]

[0098]

[0099]

[0100]

[0101]

[0102]

[0103]

[0104]

[0105]

[0106]

[0107]

본 실시예에서 최적화된 마스크 패턴을 도 18에 나타낸다. 본 실시예에서 최적화된 유효 광원(형상)을 도 19에 나타낸다. 도 17에 나타낸 광학상은 도 18에 나타낸 마스크 패턴을 도 19에 나타낸 유효 광원으로 조명했을 때에 투영 광학계의 화상면에 형성되는 광학상이다. 도 17로부터 명백한 바와 같이, SRAF 패턴은 해상되지 않고, 각각의 메인 패턴에 대응하는 광학상의 라인폭은 고정밀도로 목표값으로 조정될 수 있다.

도 20은 관련 기술(즉, 보조 코스트를 고려하지 않을 경우)에서 최적화된 노광 조건(마스크 패턴 및 유효 광원)에 대응해서 투영 광학계의 화상면에 형성되는 광학상을 나타내는 도면이다. 관련 기술에서는, 주목 코스트로서 제공되는 에러 RMS의 값은 0.35nm이지만, 도 20의 AIM1 및 AIM2로서 지시된 바와 같이, SRAF 패턴은 해상된다.

상술한 바와 같이, SRAF 패턴을 포함하는 마스크 패턴의 최적화(결정)에서도, 주목하는 평가 항목을 최적화 코스트로서 직접 설정하지 않고, 주목 코스트와 보조 코스트와의 함수를 최적화 코스트로서 설정하는 것이 효과적이다.

<제5 실시예>

제4 실시예에서는, SRAF 패턴이 해상되는 경우에 비정상 값을 부가하도록 보조 코스트가 설정되었다. 그러나, 보조 코스트의 설정은 이에 한정되는 것은 아니다. 예를 들면, SRAF 패턴 등의 특정한 패턴이 아닌 메인 패턴의 해상에 관련되어 보조 코스트를 설정할 수 있다. 예를 들면, 홀 패턴의 딥플의 유무를 판정하기 위해서 보조 코스트를 설정할 수 있고, 해상되지 말아야 할 SRAF 패턴을 포함하지 않는 마스크 패턴에서의 해상을 판정하기 위해 보조 코스트를 설정할 수 있다.

OPC(Optical Proximity Correction)를 실시한 마스크 패턴은 종종 복잡한 형상을 갖는다. 특히, 삽입된 SRAF 패턴을 포함하고 OPC를 실시한 마스크 패턴은 고도로 복잡한 형상을 갖는다. 최근의 미세 패턴닝의 요구를 충족시키기 위해, 마스크 패턴의 파라미터로서 형상뿐만 아니라 위상 및 투과율 등의 요소가 특정된다. 일반적으로, 메인 패턴의 위치 이외의 위치에서의 화상의 해상을 방지하는 것이 바람직하다. 그러나, 마스크 패턴이 복잡하게 됨에 따라, 화상 해상도의 위험성이 있는 위치를 파악하는 것이 보다 어렵게 되었다. 이러한 경우, 메인 패턴의 위치 이외의 위치에서 화상이 해상되는 것을 방지하도록 보조 코스트를 설정하는 것이 효과적이다.

화상 해상도가 발생하였는지 여부를 판정하기 위한 위치는 예를 들어 메인 패턴으로부터 소정 거리만큼 이격된 영역에서 적당한 피치로 설정될 수 있다. 메인 패턴의 위치 이외의 영역에 걸쳐서, 화상 해상도가 발생하였는지 여부를 판정하기 위해 사용되는 평가 선분이 설정될 수 있다. 전자는 최적화에 필요로 하는 시간 및 데이터량을 작게 감소시키는데 유리하다. 후자는 화상이 해상되는 위험성을 보다 정확하게 판정하는 데 유리하다.

<제6 실시예>

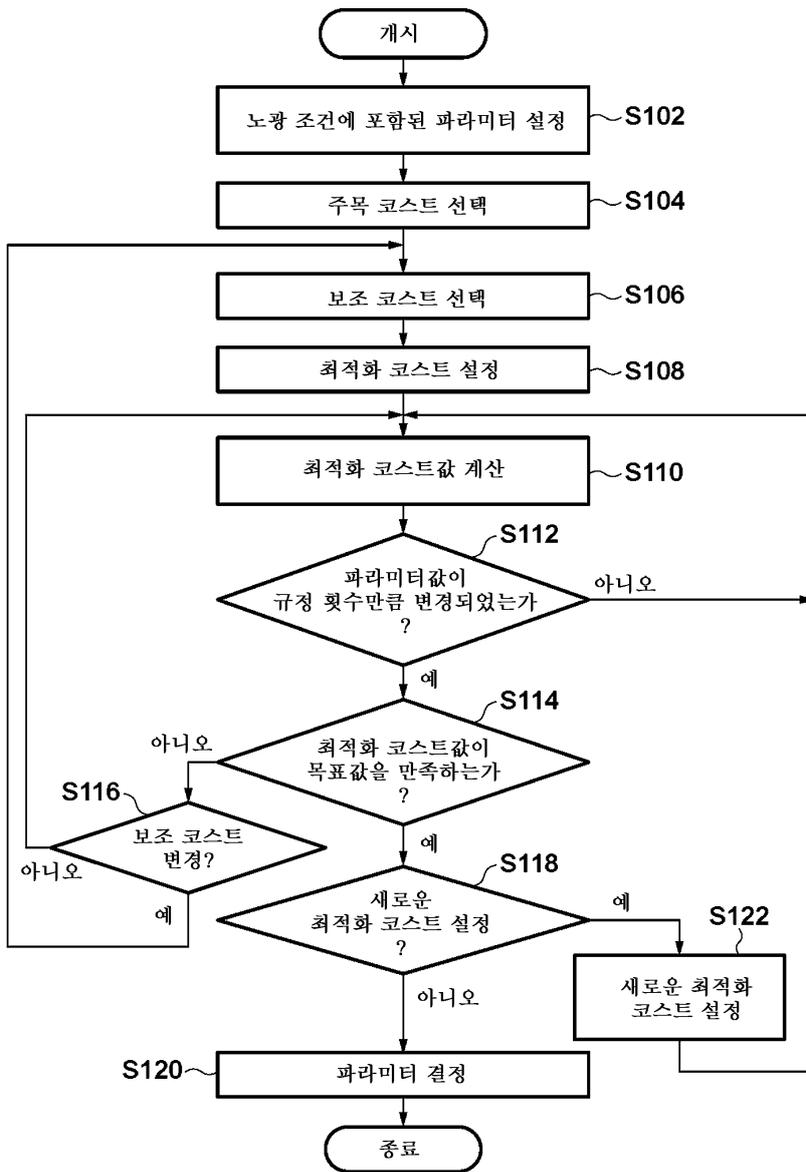
제4 및 제5 실시예에서는, 보조 코스트를 이용하여, 해상되지 말아야 할 위치에서 해상도가 발생하였을 때(광학상의 라인폭이 얇아짐) 비정상 값을 부가하는 경우가 설명되었다. 그러나, 본 발명은 이에 한정되는 것은 아니다. 예를 들면, NILS가 특정한 값보다도 작을 때, 또는 MEEF가 특정한 값보다도 클 때에 비정상 값을 부가할 수 있다. MEEF는 마스크 에러 개선 계수(Mask Error Enhancement Factor)의 약어이며, 마스크 제조 시에 마스크 상의 패턴에 특정한 값의 치수 에러가 발생하는 경우 웨이퍼 상에 투영되는 패턴에 발생하는 치수 에러의 크기를 나타낸다.

제3 실시예에서는, 평가 항목(물리량)의 값 자체가 보조 코스트로서 고려되었다. 그러나, 평가 항목의 값의 비정상 판정 조건이 보조 코스트로서 고려될 수도 있다. 구체적으로는, 이하에 나타낸 바와 같이 보조 코스트가 설정될 수 있다.

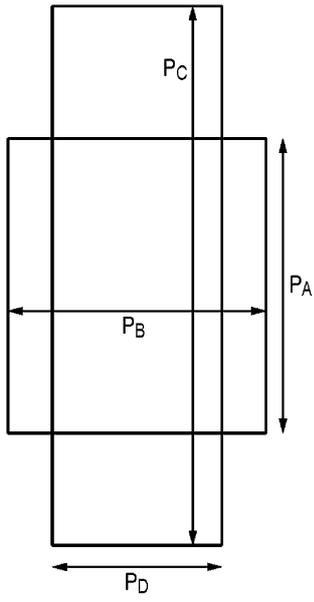
- [0108] 보조 코스트: 0(주목 패턴의 NILS의 값이 1.4 이상)
- [0109] 50(주목 패턴의 NILS의 값이 1.4 미만)
- [0110] 보조 코스트: 0(주목 패턴의 MEEF의 값이 5 미만)
- [0111] 100(주목 패턴의 MEEF의 값이 5 이상)
- [0112] 비정상 판정 조건으로서 제공되는 보조 코스트를 설정하는 평가 항목은 특정한 평가 항목으로 제한되지는 않는다.
- [0113] <다른 실시예>
- [0114] 본 발명의 양태는 전술한 실시예의 기능을 행하기 위해 메모리 디바이스에 기록된 프로그램을 판독하고 실행하는 시스템 또는 장치의 컴퓨터(또는 CPU 또는 MPU 등의 디바이스)에 의해 구현될 수 있고, 전술한 실시예의 기능을 행하기 위해 예를 들어 메모리 디바이스에 기록된 프로그램을 판독하고 실행함으로써 행해지는 스텝들로 이루어진 방법에 의해 구현될 수 있다. 이를 위해, 프로그램은 네트워크를 통해, 또는 메모리 디바이스(예를 들어, 컴퓨터 판독 가능 매체)로서 제공되는 다양한 종류의 기록 매체로부터 컴퓨터에 제공된다.
- [0115] 본 발명은 예시적인 실시예를 참조하여 설명하였지만, 본 발명은 개시된 예시적인 실시예에 제한되지 않는다는 점이 이해될 것이다. 이하의 청구범위의 범주는 이러한 모든 변형 및 등가 구조를 포함하도록 광의의 해석에 따라야 한다.

도면

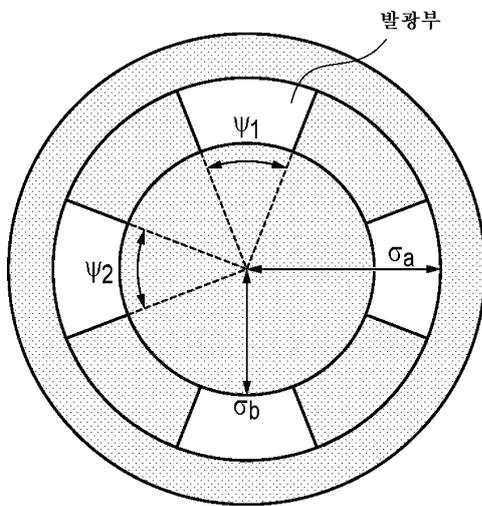
도면1



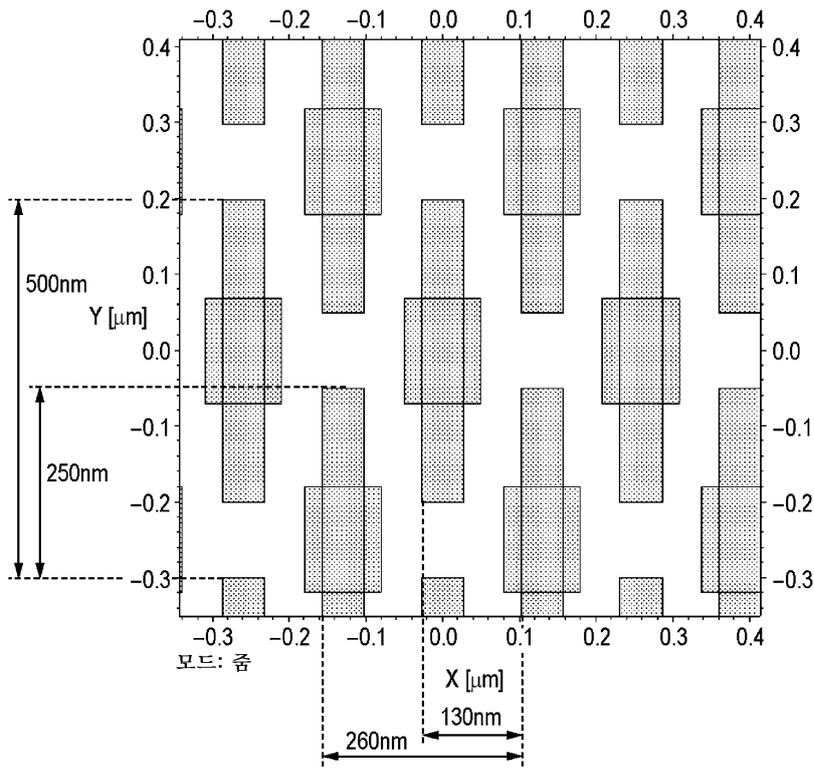
도면2



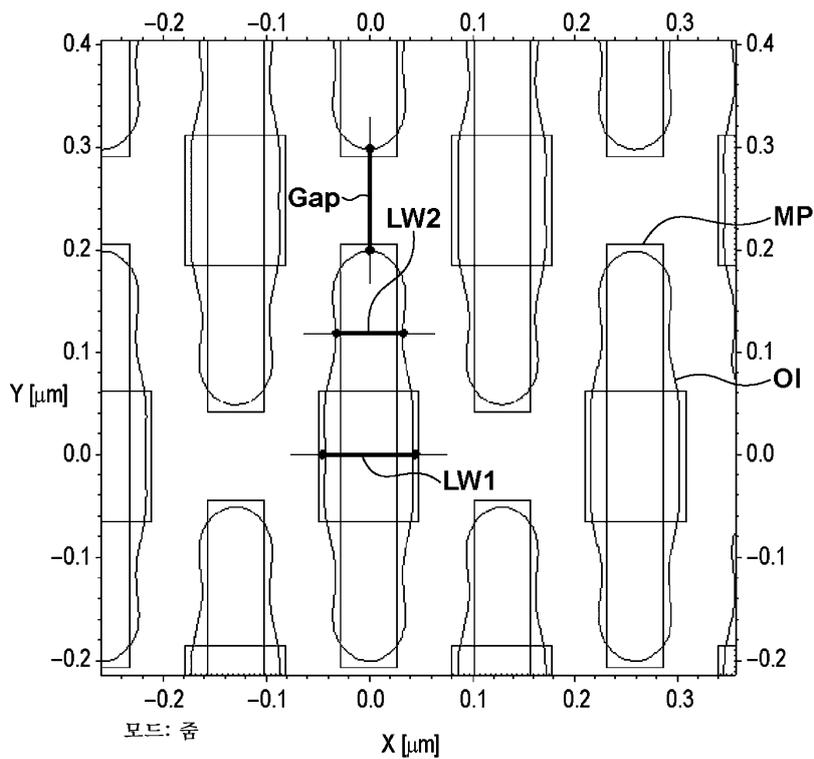
도면3



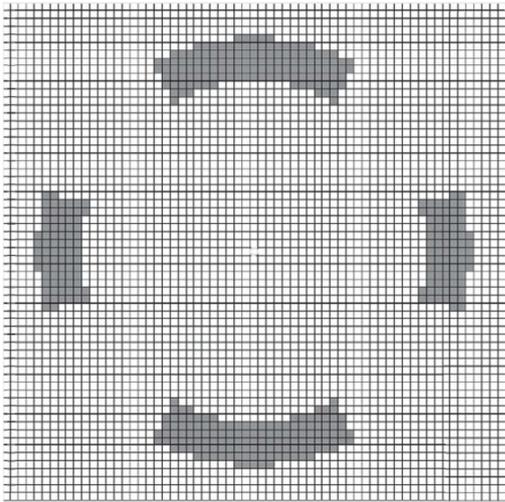
도면4



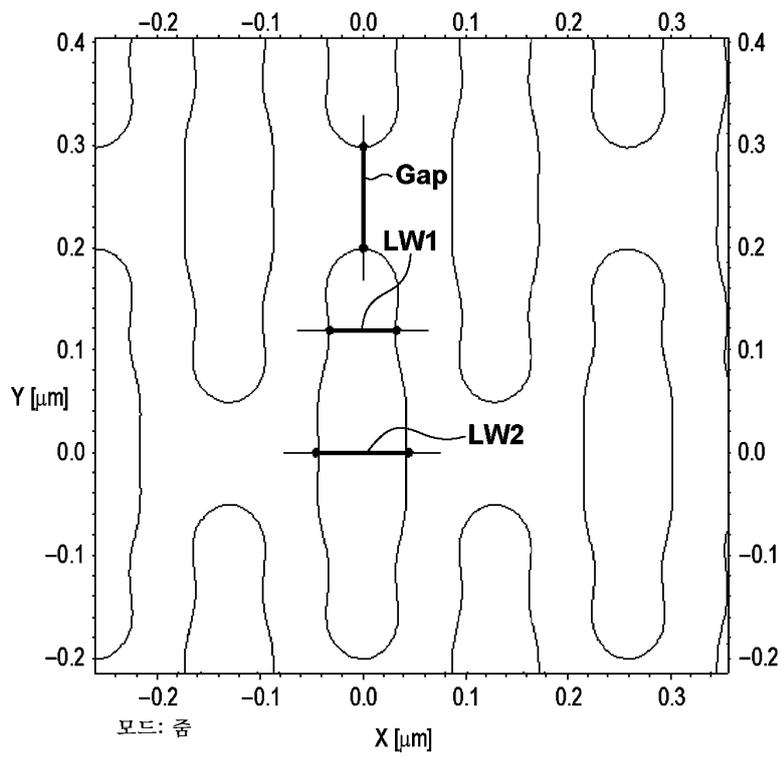
도면5



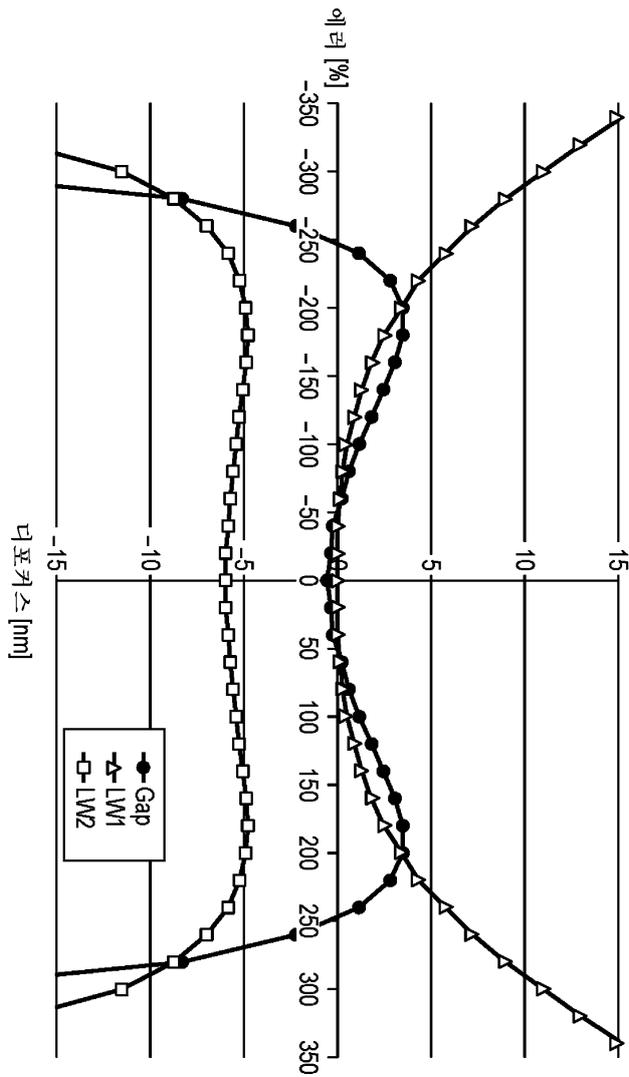
도면6



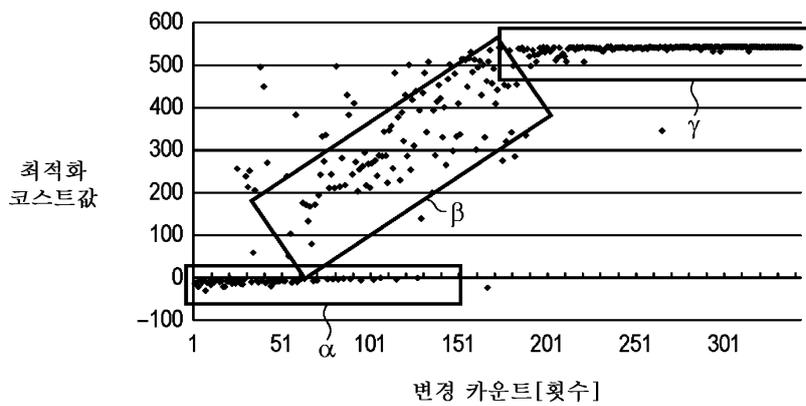
도면7



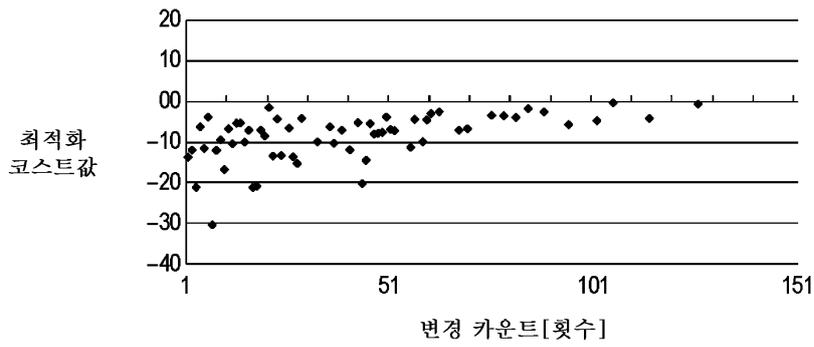
도면8



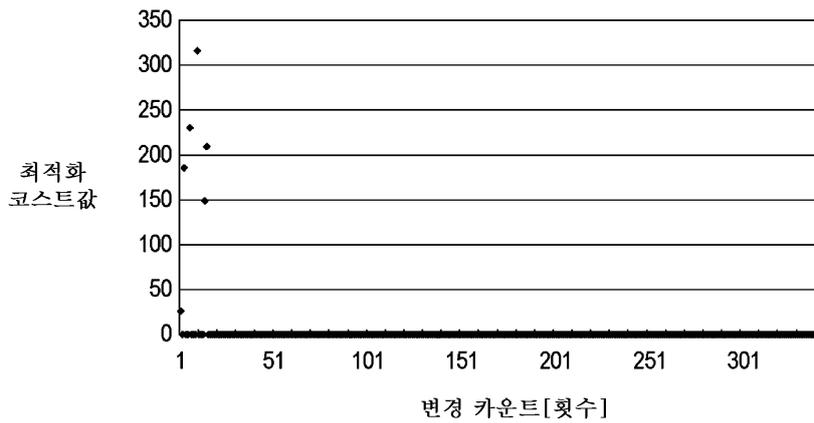
도면9a



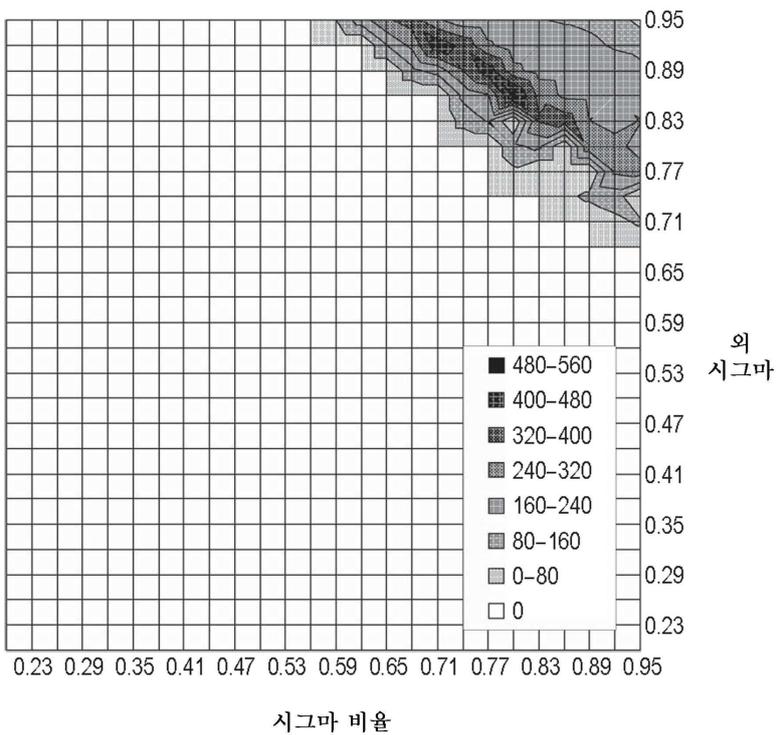
도면9b



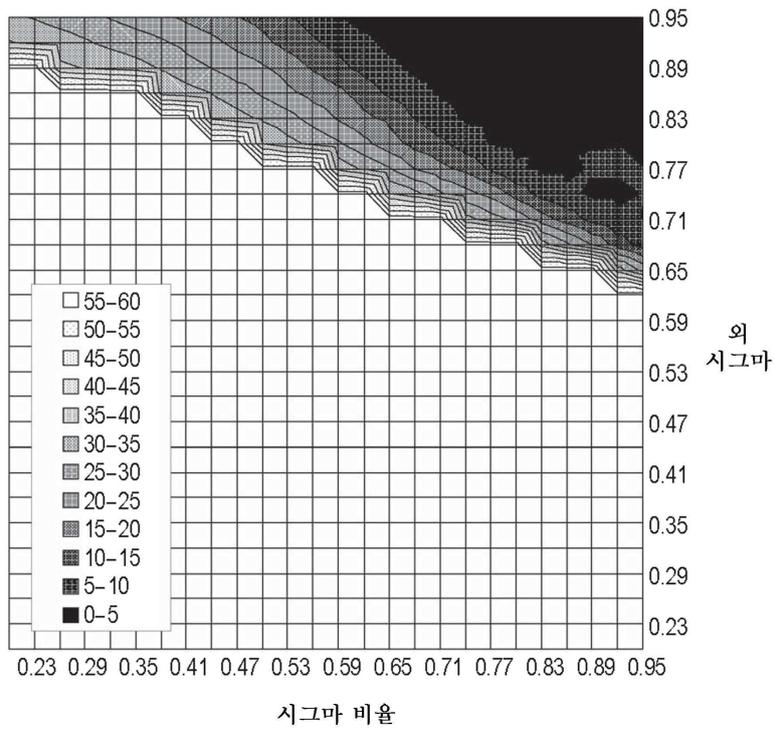
도면10



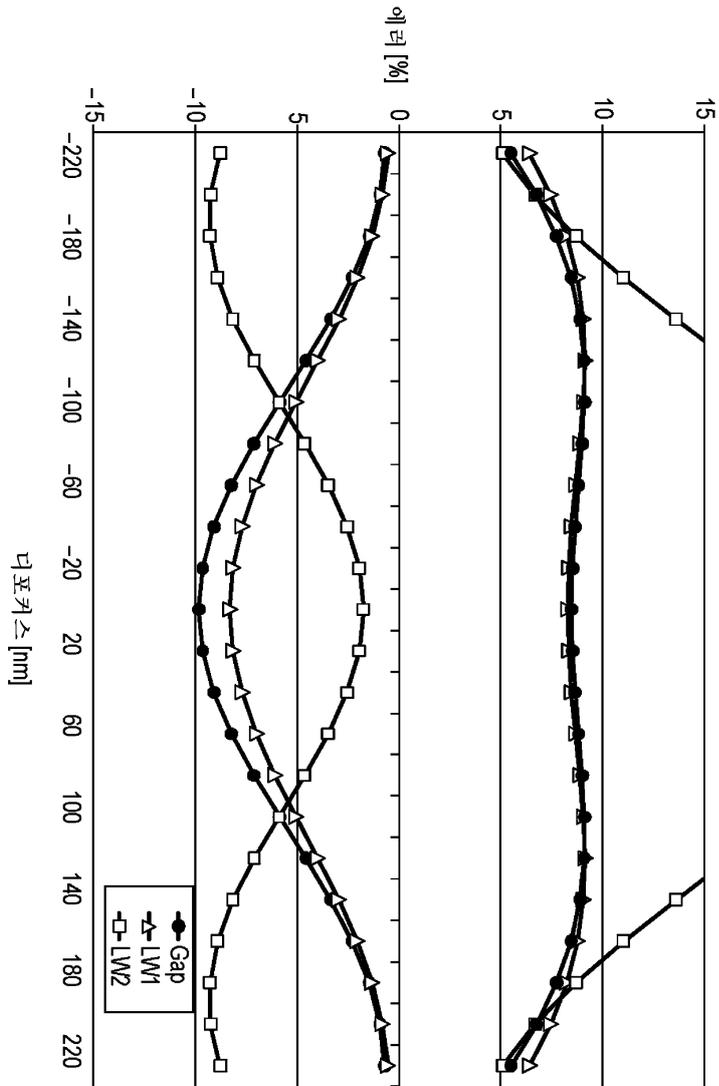
도면11



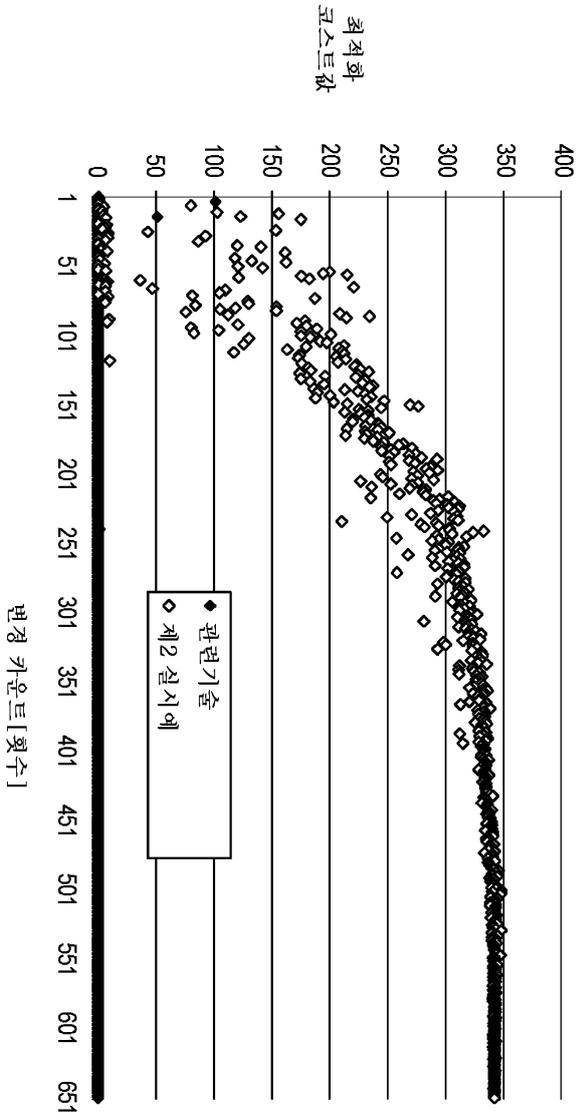
도면12



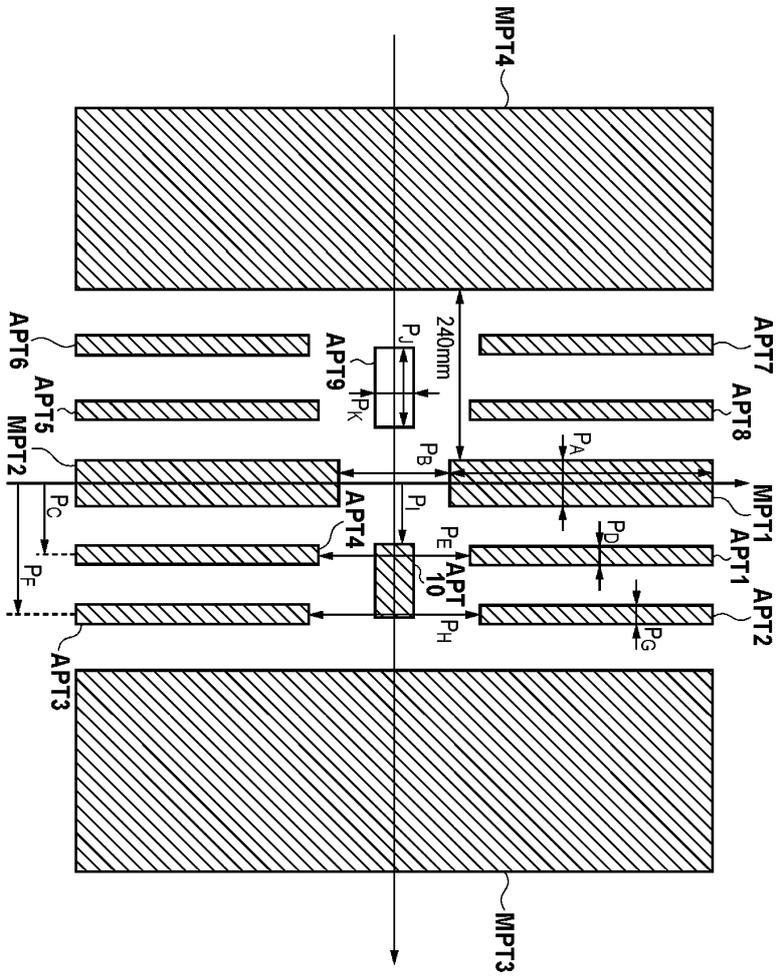
도면13



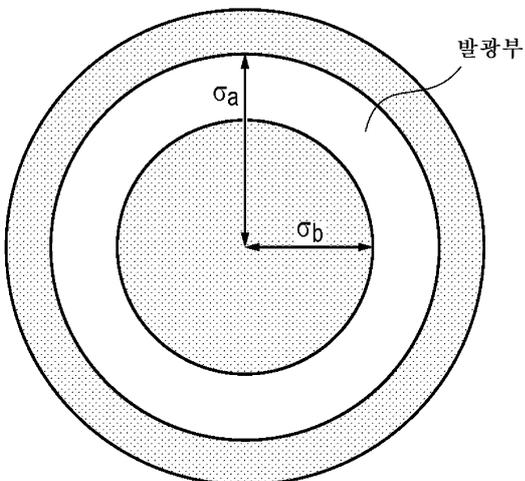
도면14



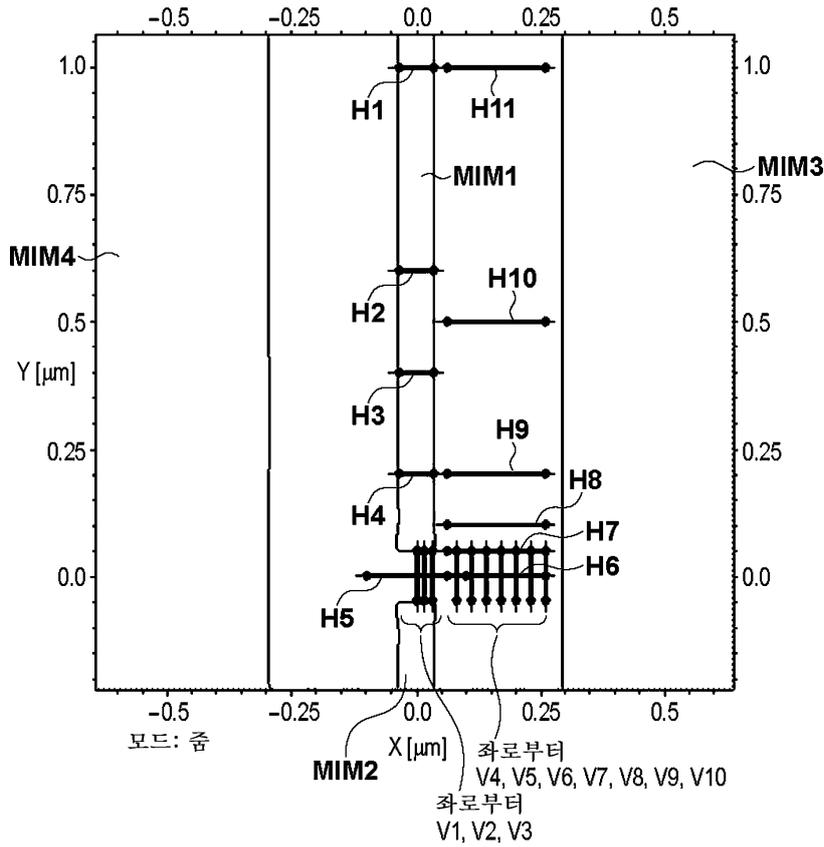
도면15



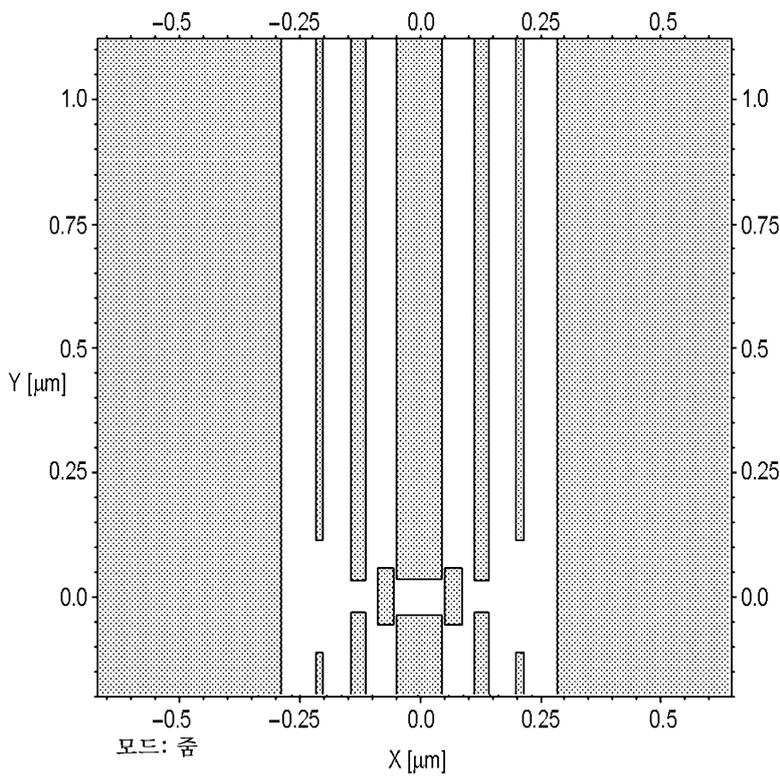
도면16



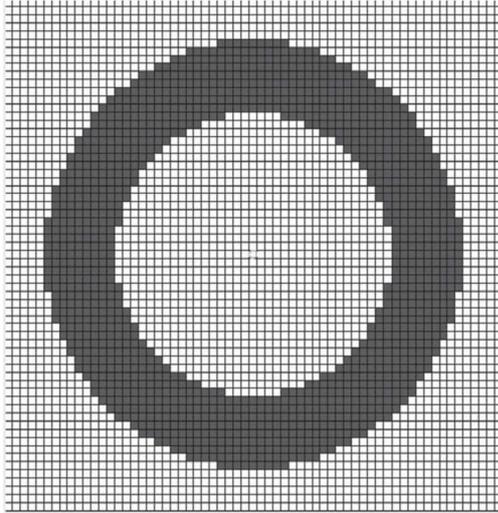
도면17



도면18



도면19



도면20

