



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년04월15일
(11) 등록번호 10-1385901
(24) 등록일자 2014년04월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 9/44 (2006.01) G06F 17/10 (2006.01)
G03F 7/20 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0103538
(22) 출원일자 2011년10월11일
심사청구일자 2012년10월11일
(65) 공개번호 10-2012-0040658
(43) 공개일자 2012년04월27일
(30) 우선권주장
JP-P-2010-234914 2010년10월19일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020080079623 A
JP2006156864 A
JP2004264102 A

(73) 특허권자
캐논 가부시끼가이샤
일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고
(72) 발명자
나카야마 료
일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고
캐논 가부시끼가이샤 내
쥬지마 고오이찌로오
일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고
캐논 가부시끼가이샤 내
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
장수길, 박충범

전체 청구항 수 : 총 7 항

심사관 : 최정권

(54) 발명의 명칭 레지스트 패턴 계산 방법 및 계산 프로그램 저장 매체

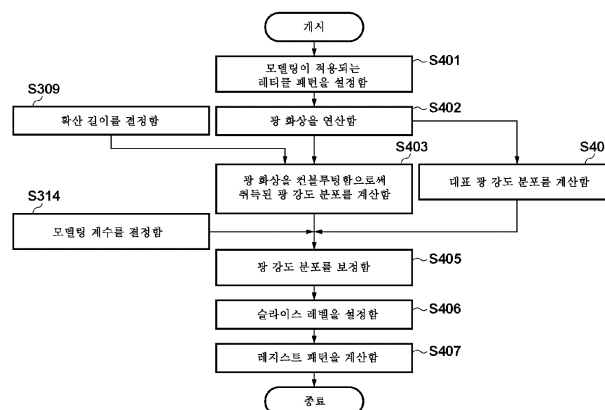
(57) 요약

기록 매체는 레지스트 패턴을 계산하는 방법을 컴퓨터에 실행시키는 프로그램을 저장한다. 이러한 방법은, 레티클의 패턴 및 노광 조건에 기초하여, 상기 레지스트에 형성되는 광 화상의 광 강도 분포를 계산하는 제1 단계; 계산된 광 강도 분포를 제1 확산 길이를 이용하여 컨볼루팅하는 제2 단계; 계산된 광 강도 분포 또는 컨볼루팅된 광 강도 분포로부터 대표 광 강도를 계산하는 제3 단계; J를 상기 대표 광 강도의 분포라고 할 때,

$$\left\{ \sum_{k=0}^n (a_k J^k) \right\} \exp(-\alpha J)$$

로 나타내어지는 제1 함수를 포함하는 보정 함수를, 컨볼루팅된 광 강도 분포에 가산함으로써, 컨볼루팅된 광 강도 분포를 보정하는 제4 단계; 및 보정된 광 강도 분포와 미리 설정된 슬라이스 레벨에 기초하여 상기 레지스트 패턴을 계산하는 제5 단계를 포함한다.

대표도



(72) 발명자

미카미 고지

일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고
캐논 가부시끼가이샤 내

이시이 히로유키

일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고
캐논 가부시끼가이샤 내

특허청구의 범위

청구항 1

레티클의 패턴 및 투영 광학계를 통해 레지스트를 노광하고, 노광된 레지스트를 현상함으로써 기판 상에 형성되는 레지스트 패턴을 계산하는 방법을 컴퓨터에 실행시키는 프로그램을 저장한 기록 매체이며,

상기 방법은,

레티클의 패턴 및 노광 조건에 기초하여, 상기 레지스트에 형성되는 광 화상의 광 강도 분포를 계산하는 제1 단계;

상기 제1 단계에서 계산된 광 강도 분포를 제1 확산 길이를 이용하여 컨볼루팅(convoluting)하는 제2 단계;

상기 제1 단계에서 계산된 광 강도 분포 또는 상기 제2 단계에서 컨볼루팅된 광 강도 분포를 이용하여, 상기 레지스트의 면 내에서 규정된 점을 포함하고, 미리 결정된 사이즈를 갖는 영역에서의 광 강도를 대표하는 대표 광 강도를 각 점에 대해 계산하는 제3 단계;

J를 상기 대표 광 강도의 분포라고 하고, a_k 및 α 를 상수라고 하고, n을 자연수라고 할 때,

$$\left\{ \sum_{k=0}^n (a_k J^k) \right\} \exp(-\alpha J)$$

로 나타내어지는 제1 함수를 포함하는 보정 함수를, 상기 제2 단계에서 컨볼루팅된 광 강도 분포에 가산함으로써, 상기 제2 단계에서 컨볼루팅된 광 강도 분포를 보정하는 제4 단계; 및

상기 제4 단계에서 보정된 광 강도 분포와 미리 설정된 슬라이스 레벨에 기초하여 상기 레지스트 패턴을 계산하는 제5 단계

를 포함하는, 기록 매체.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 영역은 상기 점을 그 중심으로 하여 17nm(포함) 내지 1 μ m(포함)의 반경을 갖는 원 영역, 및 각 변이 34nm(포함) 내지 2 μ m(포함)인 정사각형 영역 중 하나이고,

상기 대표 광 강도는 상기 영역에서의 광 강도의 최소값, 최대값 또는 평균 중 하나인, 기록 매체.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1 단계에서 계산된 광 강도 분포를 상기 제1 확산 길이보다 긴 제2 확산 길이를 이용하여 컨볼루팅하는 제6 단계를 더 포함하고,

K를 상기 제6 단계에서 컨볼루팅된 광 강도 분포라 하고, b_i 및 β 를 상수라 하고, m을 자연수라 할 때, 상기 보정 함수는, 상기 제1 함수 뿐만 아니라,

$$\left\{ \sum_{i=0}^m (b_i K^i) \right\} \exp(-\beta K)$$

로 나타내어지는 제2 함수도 포함하는, 기록 매체.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제1 확산 길이는 50nm 이하이고, 상기 제2 확산 길이는 50nm(포함) 내지 200 μ m(포함)인, 기록 매체.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 보정 함수에 의해 보정된 광 강도 분포의 상기 레티클의 패턴에 대한 민감도와, 상기 보정 함수에 의해 보정된 광 강도 분포의 노광량에 대한 민감도를 포함하는 평가 함수의 값이 허용 범위 내에 들도록, 상기 상수 a_k , b_1 , α 및 β 가 설정되는, 기록 매체.

청구항 6

제3항에 있어서,

상기 보정 함수에 의해 보정된 광 강도 분포로부터 계산된 레지스트 패턴의 라인폭과 노광 처리에 의해 취득되는 레지스트 패턴의 라인폭 사이의 차분의 제곱 평균 제곱근(root-mean-square)값으로서 표현되는 평가 함수의 값이 허용 범위 내에 들도록, 상기 상수 a_k , b_1 , α 및 β 가 설정되는, 기록 매체.

청구항 7

컴퓨터를 이용하여, 레티클의 패턴의 화상을 투영 광학계에 의해 레지스트에 투영하여 상기 레지스트를 노광하고, 노광된 레지스트를 현상함으로써 기판 상에 형성되는 레지스트 패턴을 계산하는 방법이며,

레티클의 패턴 및 노광 조건에 기초하여, 상기 레지스트에 형성되는 광 화상의 광 강도 분포를 계산하는 제1 단계;

상기 제1 단계에서 계산된 광 강도 분포를 제1 확산 길이를 이용하여 컨볼루팅하는 제2 단계;

상기 제1 단계에서 계산된 광 강도 분포 또는 상기 제2 단계에서 컨볼루팅된 광 강도 분포를 이용하여, 상기 레지스트의 면 내에서 규정된 점을 포함하고, 미리 결정된 사이즈를 갖는 영역에서의 광 강도를 대표하는 대표 광 강도를 각 점에 대해 계산하는 제3 단계;

J 를 상기 대표 광 강도의 분포라고 하고, a_k 및 α 를 상수라고 하고, n 을 자연수라고 할 때,

$$\left\{ \sum_{k=0}^n (a_k J^k) \right\} \exp(-\alpha J)$$

로 나타내어지는 제1 함수를 포함하는 보정 함수를, 상기 제2 단계에서 컨볼루팅된 광 강도 분포에 가산함으로써, 상기 제2 단계에서 컨볼루팅된 광 강도 분포를 보정하는 제4 단계; 및

상기 제4 단계에서 보정된 광 강도 분포와 미리 설정된 슬라이스 레벨에 기초하여 상기 레지스트 패턴을 계산하는 제5 단계

를 포함하는, 레지스트 패턴 계산 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 레지스트 패턴 계산 방법 및 계산 프로그램 저장 매체에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 리소그래피 프로세스에서, 레지스트 패턴은, 레티클 패턴으로부터의 광이 투영 광학계에 의해 레지스트에 투영되어 레지스트를 노광하는 노광 프로세스와, 노광된 레지스트가 현상되는 현상 프로세스에 의해 형성된다. 원하는 형상을 갖는 레지스트 패턴이 웨이퍼에 전사되어 형성되는 것이 바람직하다. 그러나, 예를 들어, 광 근접 효과(OPE: optical proximity effect)와 낮은 k_1 로 인해, 원하는 형상을 갖는 레지스트 패턴이 실제로는 웨이퍼에 전사될 수 없다. 이는 디바이스 특성을 저하시키는 하나의 요소이다. 따라서, 디바이스 특성을 향상시키기 위하여 레지스트 패턴의 형상을 계산하는 것이 필요하다.

[0003] 레지스트 패턴을 계산하기 위하여, 일본 특허 공개 제08-148404호는 광 화상에 기초하여 연산된 광 강도 분포를 컨볼루팅함으로써 취득된 광 강도 분포로부터 레지스트 패턴을 계산하는 방법을 개시한다. 일본 특허 공개 제 08-148404호에 개시된 기술에서, 광 화상의 광 강도 분포가 다양한 분산값(이하, 확산 길이라 칭함)을 사용하여 컨볼루팅되어 노광 결과에서 취득된 것에 근접한 확산 길이를 취득한다. 일본 특허 공개 제08-148404호에 개시된 기술에서, 모델링 결과에서 취득된 확산 길이가 계산될 패턴의 광 강도 분포의 컨볼루션 적분의 계산에 적용됨으로써 레지스트 패턴의 사이즈를 계산한다.

[0004] 불행하게도, 일본 특허 공개 제08-148404호에 개시된 종래 기술은 레지스트 패턴의 사이즈를 높은 정밀도로 계산하는 것이 곤란했다. 본 발명의 발명자는 이러한 곤란함의 이유를 조사했으며, 낮은 $k1$ 으로의 현재의 경향에서, 광 화상에 기초하여 연산된 광 강도 분포를 수학적으로 컨볼루팅하는 방법이 레지스트에 있어서의 산의 확산 현상을 충분히 높은 정밀도로 표현할 수 없다는 결론을 내렸다. 이하는 그 이유이다. 도 1은 화학적으로 증폭된 레지스트에서의 노광 시에 발생하는 화학 반응의 개략도이다. 노광 시에는, 높은 광 강도를 갖는 영역(밝은 영역)에서는, 레지스트 중의 산(H^+)이 레지스트 폴리머와 연속하여 연쇄 반응을 한다. 이와 반대로, 낮은 광 강도를 갖는 영역(어두운 영역)에서는, 산(H^+)은 킨처(quencher)에 포함된 염기(OH^-)와 중화된다. 즉, 노광 광의 강도의 크기에 따라(관심 영역이 밝은지 또는 어두운지에 따라) 산의 거동이 다르다. 광 강도의 크기에 관계없이 동일한 수학적 형식으로 광 화상이 컨볼루팅되는 일본 특허 공개 제08-148404호에 개시된 종래 기술은 상술한 산의 거동을 고려하지 않는다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 상술한 상황을 고려하여 이루어졌으며, 레지스트 패턴의 계산 정밀도를 향상시키는 기술을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0006] 일 양태에 있어서의 본 발명은 레티클의 패턴 및 투영 광학계를 통해 레지스트를 노광하고, 노광된 레지스트를 현상함으로써 기판 상에 형성되는 레지스트 패턴을 계산하는 방법을 컴퓨터에 실행시키는 프로그램을 저장한 기록 매체이며, 상기 방법은, 레티클의 패턴 및 노광 조건에 기초하여, 상기 레지스트에 형성되는 광 화상의 광 강도 분포를 계산하는 제1 단계; 상기 제1 단계에서 계산된 광 강도 분포를 제1 확산 길이를 이용하여 컨볼루팅(convoluting)하는 제2 단계; 상기 제1 단계에서 계산된 광 강도 분포 또는 상기 제2 단계에서 컨볼루팅된 광 강도 분포를 이용하여, 상기 레지스트의 면 내에서 규정된 점을 포함하고, 미리 결정된 사이즈를 갖는 영역에서의 광 강도를 대표하는 대표 광 강도를 각 점에 대해 계산하는 제3 단계; J를 상기 대표 광 강도의 분포라고 하

고, a_k 및 α 를 상수라고 하고, n 을 자연수라고 할 때,
$$\left\{ \sum_{k=0}^n (a_k J^k) \right\} \exp(-\alpha J)$$
로 나타내어지는 제1 함수를 포함하는 보정 함수를, 상기 제2 단계에서 컨볼루팅된 광 강도 분포에 가산함으로써, 상기 제2 단계에서 컨볼루팅된 광 강도 분포를 보정하는 제4 단계; 및 상기 제4 단계에서 보정된 광 강도 분포와 미리 설정된 슬라이스 레벨에 기초하여 상기 레지스트 패턴을 계산하는 제5 단계를 포함하는, 기록 매체를 제공한다.

[0007] 본 발명의 추가적인 특징들은 첨부 도면을 참조하여 후술하는 실시예들의 설명으로부터 명백해질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0008] 도 1은 노광시에 발생하는 화학 반응의 개략도.

도 2는 레지스트 패턴을 계산하는 컴퓨터의 구성을 나타내는 블록도.

도 3은 SEM에 의한 길이 측정의 흐름도.

도 4는 보정 함수를 결정하기 위한 흐름도.

도 5는 기준 패턴과 그 목표 사이즈 및 평가 위치를 설명하기 위한 도면.

도 6은 SEM 에지를 설명하기 위한 그래프.

도 7은 대표 광 강도 J를 설명하기 위한 맵(map).

도 8은, SEM 에지에 있어서의 대표 광 강도 $J_{SEMedge}$ 의 추출을 설명하기 위한 그래프.

도 9a 내지 9d는 모델링에 이용되는 패턴을 모델링할 때 평가 함수의 감소를 설명하기 위한 그래프.

도 10은 레지스트 패턴 계산 방법의 흐름도.

도 11은 모델링에 이용되는 레티클 패턴의 도면.

도 12a 및 12b는, 광 화상의 광 강도 분포와 대표 광 강도 분포를 각각 나타내는 그래프.

도 13a 및 13b는 상이한 스페이스 사이즈와 라인 사이즈를 갖는 패턴의 대표 광 강도 분포를 각각 나타내는 그래프.

도 14는 보정 함수를 나타내는 그래프.

도 15a는 $I_{0SEMedge}$ 와 스페이스 사이즈 사이의 관계의 예를 나타내는 그래프.

도 15b는 대표 광 강도 $J_{SEMedge}$ 와 스페이스 사이즈 사이의 관계의 예를 나타내는 그래프.

도 15c는 보정 함수 $f(J_{SEMedge})$ 와 스페이스 사이즈 사이의 관계의 예를 나타내는 그래프.

도 15d는 광 강도 $I_{SEMedge}$ 와 스페이스 사이즈 사이의 관계의 예를 나타내는 그래프.

도 16은 광 강도 $K_{SEMedge}$ 와 듀티(duty) 사이의 관계를 나타내는 그래프.

도 17a 내지 17c는 보정 전후의 기준 패턴의 광 강도 분포를 나타내는 그래프.

도 18은 종래 기술과 본 발명의 예에서의 레지스트 패턴의 계산 오차들 사이의 비교를 나타내는 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009]

본 발명의 실시예에서는, 레티클의 패턴의 화상을 투영 광학계에 의해 레지스트에 투영하고 노광된 레지스트를 현상함으로써 기판 상에 형성된 레지스트 패턴이 시뮬레이터를 이용하여 계산된다. 도 2는 이러한 시뮬레이터가 탑재된 컴퓨터의 구성을 나타낸다. 이 컴퓨터는 CPU(101), 프로그램 및 데이터를 저장하는 기록 매체(102), 주메모리(103), 키보드나 마우스와 같은 입력 디바이스(104), 액정 디스플레이와 같은 표시 장치(105), 기록 매체(107)를 관독하는 관독 장치(106)를 포함한다. 기록 매체(102), 주메모리(103), 입력 디바이스(104), 표시 장치(105) 및 관독 장치(106) 모두는 CPU(101)에 접속된다. 이 컴퓨터에서, 레지스트 패턴을 계산하기 위한 프로그램을 저장하는 기록 매체(107)가 관독 장치(106)에 장착된다. CPU(101)는 기록 매체(107)로부터 프로그램을 관독하여 이를 기록 매체(102)에 저장하고, 이를 실행함으로써 레지스트 패턴을 모델링 및 계산한다. 레지스트 패턴은 노광 장치에 의해 노광된 웨이퍼에 대해 평가 부분에서 SEM(scanning electron microscope)에 의해 취득된 임계 치수(CD: critical dimension)의 측정 결과와, 시뮬레이터에 의해 취득된 임계 치수의 계산 결과를 비교함으로써 모델링된다. 또한, 레지스트 패턴은, 그 모델링 결과를 광학 시뮬레이션에 적용하여 레티클 패턴의 화상을 계산함으로써 계산된다.

[0010]

도 3은 SEM에 의한 길이 측정의 흐름도이다. 스텝 S201에서, 노광에 있어서의 NA, 노광량, 조명 형상, 레지스트의 종류와 같은 노광 조건이 결정된다. 스텝 S202에서, 스텝 S201에서 결정된 노광 조건 하에서, 노광 장치에 의해 기판(웨이퍼) 상의 레지스트가 노광된다. 스텝 S203에서, 스텝 S202에서 노광된 레지스트가 현상 장치에 의해 현상된다. 스텝 S204에서, SEM을 이용해서 스텝 S203에서 현상된 레지스트 패턴의 길이 측정이 행해진다.

[0011]

도 4는 레지스트 패턴의 모델링을 나타내는 흐름도이다. 스텝 S301에서, 모델링에 이용되는 복수의 레티클 패턴이 설정된다. 스텝 S302에서, 스텝 S301에서 설정된 복수의 레티클 패턴으로부터 선택되는 기준 패턴, 그 목표 사이즈와 평가 위치가 결정된다. 예를 들면, 도 5는 기준 패턴에 대한 목표 사이즈 및 평가 위치를 설명하는 도면이며, 복수의 레티클 패턴으로부터 소정의 피치를 갖는 라인-앤드-스페이스(line-and-space) 패턴이 기준 패턴으로서 선택되고, 패턴 중앙의 차광부가 평가 위치로서 설정된다. 또한, 설정된 평가 위치에서 예를 들어 SEM에 의해 측정된 값이 목표 사이즈로서 입력된다. 입력된 목표 사이즈는 스텝 S305에서 이용된다. 스텝 S303에서, 시뮬레이터는, 스텝 S301에서 설정된 모델링에 이용되는 레티클 패턴 각각에 대해서, 노광 조건에 기초해서 레지스트 상에 형성되는 광 화상의 광 강도 분포를 계산한다(제1 스텝). 스텝 S304에서, 시뮬레이터는

광 화상의 광 강도 분포를 소정의 확산 길이를 이용하여 컨볼루팅한다. 스텝 S305에서, 시뮬레이터는, 스텝 S302에서 결정된 기준 패턴의 목표 사이즈 및 그 평가 위치에 기초하여 슬라이스 레벨(CD 계산에서의 강도)을 설정한다. 슬라이스 레벨은 별도로 미리 설정될 수도 있다는 것에 유의해야 한다. 스텝 S306에서, 시뮬레이터는 스텝 S305에서 결정된 슬라이스 레벨에 기초해서 모델링에 이용되는 패턴의 CD들을 계산한다.

[0012] 스텝 S307에서, 시뮬레이터는 모델링에 이용되는 패턴의, 스텝 S306에서 계산된 CD들의 결과와 스텝 S204에서 SEM에 의해 측정된, 모델링에 이용되는 패턴의 CD들의 결과 사이의 차분의 RMS(root-mean-square)값을 비교한다. 스텝 S308에서, 시뮬레이터는 스텝 S304에서 설정된 확산 길이를 변경한다. 그리고, 시뮬레이터는 프로세스를 스텝 S304로 복귀시켜 스텝 S304 내지 S307을 반복한다. 스텝 S309에서, 시뮬레이터는 스텝 S304 내지 S307을 반복함으로써 취득된 계산 결과 중에서, RMS 차분이 최소화되는 확산 길이를 결정한다. 스텝 S310에서, 시뮬레이터는 스텝 S309에서 결정된 확산 길이(제1 확산 길이)를 이용하여 컨볼루팅함으로써 취득된 광 강도 분포를 계산한다(제2 스텝). 스텝 S309에서 결정된 확산 길이(제1 확산 길이)는 예를 들면, 50nm 이하이다. 스텝 S310에서 계산된 광 강도 분포를 이하, 보정 전의 광 강도 분포라 칭할 것이다. 스텝 S311에서, 시뮬레이터는 보정 전의 광 강도 $I_{0SEMedge}$ 를 추출한다. 여기에서, 도 6을 참조하여 SEM 에지에 대해 설명한다. 도 6에 나타난 바와 같이, 레지스트가 SEM에 의해 측정될 때 2차 전자의 신호 강도의 변화에 기초하여 노광된 레지스트의 에지가 검출될 수 있다. SEM 에지는, 도 6에 나타난 바와 같이, 측정될 레지스트의 2개의 에지의 좌표를 의미한다. 또한, $I_{0SEMedge}$ 는 시뮬레이터에 의해 계산되는 SEM 에지에 있어서의 광 강도이다.

[0013] 스텝 S312에서, 시뮬레이터는 광 화상에 기초하여 연산된 광 강도 분포로부터 대표 광 강도의 값을 계산한다(제3 스텝). 도 7은 스텝 S301에서 설정된 레지스트 패턴 중 하나를 나타낸다. 도 7을 참조하여, 레지스트의 면 내에서 규정된 라인 상의 점을 포함하고 소정의 사이즈를 갖는 영역에 있어서의 광 강도를 대표하는 대표 광 강도 J가 각 점에 대해 계산된다. 도 7을 참조하면, 대표 광 강도를 계산하는 데 이용되는 영역은 각 점을 그 중심으로 하여 반경이 Xnm인 원이다. 이 계산 작업은 라인 상의 모든 점에 대해 행해진다. 본 실시예에서는, 대표 광 강도 J로서 광 강도의 최소값이 계산되지만, 대표 광 강도 J는 광 강도의 최소값에 한정되지 않고, 영역 내의 그 최대값, 그 평균값 또는 이들의 조합일 수도 있다. 대표 광 강도 J는 최소값에 이웃하는 값일 수도 있다. 대표 광 강도 J가 계산되는 범위 X는 적어도 최소 라인폭 이상인 것이 바람직하다.

[0014] $k1=0.25$ 를 갖는 ArF의 액침(immersion) 노광 장치를 가정하면, 최소 라인폭은 35nm이므로, 적어도 이러한 라인폭 이상의 범위의 정보를 계산되어야 한다. 따라서, 어떠한 찍혀진 점이 범위 X의 중심으로 상정되는 경우, 범위 X는 17nm, 즉 최소 라인폭의 대략 절반 이상인 것이 바람직하다. 또한, 쿼터가 $1\mu m$ 을 초과하는 범위에는 영향을 미치는 경향이 덜하므로, 범위 X는 $1\mu m$ 이하인 것이 바람직하다. 요약하면, 범위 X는 17nm(포함) 내지 $1\mu m$ (포함)인 것이 바람직하다. 계산된 분포의 예에 대해 예를 참조하여 후술한다. 도 7에서 나타난 대표 광 강도 J를 계산하는 데 이용되는 영역의 형상은 원이다. 그러나, 이 영역의 형상은 원에 한정되지 않고, 많은 디바이스 구조가 사각형을 가지므로 예를 들어, 정사각형일 수도 있다. 대표 광 강도 J를 계산하는 데 이용되는 영역의 형상이 정사각형일 경우, 이 정사각형은 각 변이 34nm(포함) 내지 $2\mu m$ (포함)일 수 있다. 또한, 본 실시예에서는, 광 화상에 기초하여 연산된 광 강도 분포로부터 대표 광 강도가 계산되지만, 대표 광 강도 J는 광 화상에 기초하여 연산된 광 강도 분포를 임의의 확산 길이를 이용하여 컨볼루팅함으로써 취득될 수도 있다.

[0015] 스텝 S313에서, 시뮬레이터는 스텝 S312에서 계산된 대표 광 강도의 분포에 기초하여 도 8에 나타난 바와 같이, 목표 SEM 에지에 있어서의 대표 광 강도 $J_{SEMedge}$ 를 추출한다. 스텝 S314에서, 시뮬레이터는 보정 함수에 대한 계수를 모델링하여 계수를 결정한다. 계수의 결정시에, 스텝 S311에서 추출된 SEM 에지에 있어서의 보정 전의 광 강도 $I_{0SEMedge}$ 및 스텝 S313에서 취득된 $J_{SEMedge}$ 가 이용된다. 시뮬레이터는 대표 광 강도 $J_{SEMedge}$ 를 변수로서 갖는 제1 함수를 포함하는 보정 함수를 결정하고, 이것을 광 강도 $I_{0SEMedge}$ 에 가산함으로써 SEM 에지에 있어서의 보정 전의 광 강도 $I_{0SEMedge}$ 를 보정한다(제4 스텝). 이 때, SEM 에지에 있어서의 광 강도에 대한 보정 함수 $f(J_{SEMedge})$ 는 이하와 같다.

[0016]
$$f(J_{SEMedge}) = \left\{ \sum_{k=0}^n (a_k J_{SEMedge}^k) \right\} \exp(-\alpha J_{SEMedge}) \quad \dots (1)$$

[0017] 여기에서, a_k 및 α 는 상수이고 n 은 자연수이다. 이 식에서, 상수 a_k 및 α 의 용이한 계산을 위해,

$$f(J_{SEMedge})|_{J_{SEMedge}=0} = 0 \text{ and } f(J_{SEMedge})|_{J_{SEMedge}=1} = 0$$

[0019] 이라는 하는 제약이 주어진다. 식 (1)에서, a_k 및 α 의 전부가 동시에 제로는 아니다. 따라서, 일반적으로 본 실시예의 보정 함수 $f(J_{SEMedge})$ 는 대표 광 강도 $J_{SEMedge}$ 를 변수로서 갖는 다항식과 지수 함수의 곱이다. 그러나, a_k 가 전부 제로인 경우(즉, 상수 α 가 제로가 아닌 경우), 보정 함수 $f(J_{SEMedge})$ 는 대표 광 강도 $J_{SEMedge}$ 를 변수로서 갖는 지수 함수로서 표현된다. 반대로, 상수 α 가 제로인 경우(즉, 상수 a_k 중 적어도 하나가 제로가 아닌 경우), 보정 함수 $f(J_{SEMedge})$ 는 대표 광 강도 $J_{SEMedge}$ 를 변수로서 갖는 다항식으로서 표현된다.

[0020] 식 (1)을 이용하여 SEM 에지에 있어서 보정 후의 광 강도 $I_{SEMedge}$ 는 아래와 같다.

$$I_{SEMedge} = I0_{SEMedge} + f(J_{SEMedge}) \quad \dots (2)$$

[0022] 상수 a_k 및 α 가 고정되어 있으면, 보정 후의 광 강도 $I_{SEMedge}$ 는 식 (2)를 이용하여 결정될 수 있으므로, SEM 에지에 있어서의 광 강도가 각 패턴에 대해 계산될 수 있다. 이러한 패턴의 보정에 대해 $Ip_{SEMedge}$ 를 보정 후의 광 강도라고 하고, $Ia_{SEMedge}$ 를 보정 후의 광 강도 $Ip_{SEMedge}$ 의 평균이라고 한다. 그러면, 평가 함수 C 는 광 강도 $Ip_{SEMedge}$ 및 평균 $Ia_{SEMedge}$ 를 이용하여 아래와 같이 정의된다.

$$C = \sum_{pattern} \left\{ \left(\frac{Ip_{SEMedge} - Ia_{SEMedge}}{Ia_{SEMedge}} \right)^2 + \left(\frac{Ip_{SEMedge,d_2} - d_1}{Ip_{SEMedge,d_1} - d_2} \right)^2 \right\} \quad \dots (3)$$

[0023]

[0024] 여기에서, $Ip_{SEMedge,d_1}$ 및 $Ip_{SEMedge,d_2}$ 는 2개의 상이한 노광량 d_1 및 d_2 로 레지스트가 노광될 때 SEM 에지에 있어서의 광 강도이다. 식 (3)의 우변의 제1항은 패턴에 대한 민감도를 나타내고, 제2항은 노광량에 대한 민감도를 나타낸다. 본 실시예에서는 2개의 상이한 노광량에서의 광 강도 $I_{SEMedge}$ 가 이용되지만, 2종류보다 많은 노광량이 이용될 수도 있다. 모델링에서의 계수 a_k 및 α 는 식 (3)에서 나타난 평가 함수 C 의 값이 예를 들어, 최소화되도록 설정된다. 평가 함수 C 의 값이 최소화될 때의 계수 a_k 및 α 는 예를 들어, Excel과 같은 솔버(solver)에 의해 구현될 수 있는 예를 들어, 의사-뉴턴(quasi-Newton) 방법에 의해 결정될 수 있다. 계수의 계산과, 계산된 계수에 기초하여 보정 함수 $f(J_{SEMedge})$ 와 대표 광 강도 $J_{SEMedge}$ 사이의 관계에 대해 예를 참조하여 후술한다.

[0025] 이하, 평가 함수 C 의 값의 감소의 의미에 대해 설명한다. 도 9a는 패턴의 종류와 광 강도 $I0_{SEMedge}$ 사이의 관계를 나타내는 그래프이다. 다른 관점에서, 도 9a에 나타난 관계는, 각 패턴에 대해 광 강도 $I0_{SEMedge}$ 의 값에 대해 슬라이스 레벨이 결정되는 한, 실측 결과가 예측될 수 있다는 것을 의미한다. 도 9a에서 알 수 있는 바와 같이, 각 개별 패턴에서 광 강도 $I0_{SEMedge}$ 의 값이 달라진다. 이 변동은, 소정의 슬라이스 레벨을 결정해서 CD가 계산될 때, 이 변동이 상당하여, 레지스트 패턴의 예측 오차가 크다는 것, 즉 예측이 부정확하다는 것을 의미한다. 도 9c는 종축 상에 보정 후의 SEM 에지에 있어서의 광 강도 $I_{SEMedge}$ 를 나타내는 그래프이고, 도 9a에 나타난 광 강도 $I0_{SEMedge}$ 의 변동이 도 9d에 나타난 대표 광 강도 $J_{SEMedge}$ 를 변수로서 갖는 보정 함수를 이용하여 강도 보정량을 합하여 보정될 때의 이상형을 나타낸다. 도 9c에 나타난 바와 같이, 보정 후의 광 강도 $I_{SEMedge}$ 의 변동을 없앨 수 있는 경우, 이 상태에서 슬라이스 레벨을 결정해서 CD가 계산되고, 레지스트 패턴의 예측 오차가 제거될 수 있으며, 즉 레지스트 패턴이 정확하게 계산될 수 있다. 이것이 평가 함수 C 의 값의 감소의 의미를 설명한다. 그러나, 실제로는, 도 9c에 나타난 바와 같이 광 강도 $I_{SEMedge}$ 의 변동을 없애는 것이 어렵다. 그 때문에, 도 9b에 나타난 바와 같이, 예측 오차를 감소시키기 위해서, 보정 후의 광 강도 $I_{SEMedge}$ 의 변동을 도 9a에 나타난 보정 전의 것보다 작게 하는 것이 현실적이다. 상술한 방식으로, 대표 광 강도 $J_{SEMedge}$ 를 변수로서 갖는 보정 함수가 노광 광 강도의 크기를 고려하는 모델링을 행하는 데 이용된다. 또한, 모델링되는 패턴의 라인폭과 노광 처리에 의해 취득된 레지스트 패턴의 라인폭 사이의 차분의 제곱 평균 제곱근(root-mean-square)으로서 표현되는 평가 함수 C 의 값이 허용 범위 내에 들도록, 각 계수값이 활강 심플렉스(downhill simplex) 방법과 같

은 최적화 방법을 이용하여 결정될 수 있다.

[0026] 플레어(flare)의 영향을 고려하면, 대표 광 강도를 나타내는 함수(제1 함수) 뿐만 아니라 스텝 S309에서 설정된 제1 확산 길이보다 긴 제2 확산 길이를 이용해서 컨볼루팅함으로써 취득된 광 강도 분포를 나타내는 함수(제2 함수)가 보정 함수에 포함될 수도 있다(제6 스텝). 플레어는 예를 들어, 노광 장치의 렌즈에 의한 바람직하지 않은 반사 및 산란으로 인해 발생하는 미광(stray light)이다. 더 긴 확산 길이를 이용해 컨볼루팅함으로써 취득된 광 강도 분포는 물리적으로 듀티(흑색에 대한 백색의 비율)를 나타낸다. 이러한 표현의 예는 후술하는 예에서 명백하게 될 것이다. 이 경우에, 더 긴 확산 길이를 이용하여 컨볼루팅함으로써 취득된 분포의 SEM 에지에서 있어서의 광 강도를 $K_{SEMedge}$ 라 하면, 보정 함수는 아래와 같다.

$$f(J_{SEMedge}, K_{SEMedge}) = \left\{ \sum_{k=0}^n (a_k J_{SEMedge}^k) \right\} \exp(-\alpha J_{SEMedge}) + \left\{ \sum_{l=0}^m (b_l K_{SEMedge}^l) \right\} \exp(-\beta K_{SEMedge})$$

[0027]

[0028] ... (4)

[0029] 여기에서, b_l 및 β 는 상수이고, m 은 자연수이다.

[0030] 또한, 보정 후의 광 강도 분포는 아래와 같다.

$$I_{SEMedge} = I0_{SEMedge} + f(J_{SEMedge}, K_{SEMedge}) \quad \dots (5)$$

[0031]

[0032] 제2 보정 함수의 변수 K 를 계산하는 데 사용되는 제2 확산 길이는, 플레어가 영향을 미치는 50nm(포함) 내지 200 μ m(포함)의 범위 내에 든다. 다음으로, 보정 함수를 이용해서 레지스트 패턴을 계산하는 방법도 도 10을 참조하여 설명한다. 스텝 S401에서, 도 4의 흐름도에서 나타낸, 모델링에 이용되는 패턴뿐만 아니라 모델링 결과가 적용되는 레티클 패턴도 설정된다. 스텝 S402에서, 시뮬레이터는 도 4에 나타낸 흐름도의 스텝 S401에서 모델링에 이용된 레티클 패턴의 각각 뿐만 아니라, 설정된 레티클 패턴의 각각에 대해서도 웨이퍼 상에 형성되는 광 화상의 광 강도 분포를 계산한다(제1 스텝). 스텝 S403에서, 시뮬레이터는, 스텝 S402에서 계산된 광 강도 분포를 스텝 S309에서 결정된 제1 확산 길이를 이용하여 컨볼루팅한다(제2 스텝). 스텝 S404에서, 시뮬레이터는 스텝 S402에서 계산된 광 강도 분포로부터 대표 광 강도 $J_{SEMedge}$ 의 분포를 계산한다(제3 스텝). 스텝 S405에서, 시뮬레이터는 도 4에 나타낸 흐름도의 스텝 S314에서 결정된 보정 함수를 이용해서 보정 후의 광 강도 $I_{SEMedge}$ 를 계산한다(제4 스텝). 시뮬레이터는 모델링시에 SEM 에지에 있어서의 광 강도를 이용하며, 이는 모델링 결과가 적용될 때에 광 강도 분포 전체의 데이터에 적용된다. 즉, 식 (1) 및 (2)에 나타낸 관계에 스텝 S314에서 결정된 계수가 대입되고, 취득된 관계가 적혀진 모든 점들에 적용된다. 보정 전후의 광 강도 분포 사이의 비교의 예에 대해 후술한다.

[0033] 스텝 S406에서, 시뮬레이터는 스텝 S405에서 취득된 모델링 결과가 적용되는 레티클 패턴의 보정 후의 광 강도 분포에 있어서, 기준으로서의 역할을 하는 패턴의 평가 위치에 대응하는 슬라이스 레벨을 설정한다. 스텝 S407에서, 시뮬레이터는 스텝 S405에서 보정된 광 강도의 분포 $I_{SEMedge}$ 와 스텝 S406에서 설정된 슬라이스 레벨에 기초하여, 모델링 결과가 적용되는 레티클 패턴의 CD를 계산함으로써, 레지스트 패턴을 계산한다(제5 스텝). 이에 의해, 종래 기술보다 레지스트 패턴을 더 높은 정밀도로 계산할 수 있다. 모델링 결과를 적용했을 때의 종래 기술과 본 발명 사이의 비교에 대해 예를 참조하여 후술한다.

[0034] [예]

[0035] 상술한 실시예에 있어서의 예에 대해서 설명한다. 스텝 S301에서, 모델링에 이용하는 복수의 레티클 패턴이 설정된다. 도 11은 이용되는 패턴의 개략도이다. 패턴 A에서, 모든 막대(bar)는 길이 $W=5\mu$ m이다. 단순화를 위해 패턴 A가 도 11에서 3개의 라인을 갖지만, 실제로 17개의 라인을 갖는다. 또한, 패턴 A는 패턴 A의 전체 영역에서 주기적으로 배열된 라인과 스페이스와, 17 라인 중에서 평가부로서 중앙 라인을 갖는다. 25 종류의 패턴 A가 라인과 스페이스 사이즈의 상이한 조합을 규정함으로써 취득된다. 패턴 B에서, 모든 막대는 길이 $W=2\mu$ m를 갖는다. 단순화를 위해 패턴 B가 도 11에서 3개의 라인을 갖지만, 실제로 9개의 라인을 갖는다. 또한, 패턴 B는 패턴 B의 전체 영역에서 주기적으로 배열된 라인, 스페이스 및 갭과, 9 라인 중에서 평가부로서 중앙 라인을 갖는다. 8 종류의 패턴 B가 라인, 스페이스 및 갭 사이즈의 상이한 조합을 규정함으로써 취득된다. 패턴 C는 패턴 B의 차광부와 투광부를 반전시킴으로써 취득된 레티클 패턴이다. 패턴 C는 패턴 B와 동일한 사이즈 규정을 채용하며, 5 종류의 패턴 C가 이용된다. 도 18은 실제 사이즈를 나타낸다. 상술한 전체 38 종류의

패턴이 본 예에서 이용되지만, 패턴의 종류, 이러한 패턴의 막대의 길이와 개수, 및 이러한 패턴의 라인, 스페이스 및 갭의 사이즈는 상술한 수치값을 갖는 패턴으로 한정되지는 않는다.

[0036] 스텝 S302에서, 스텝 S301에서 설정된 복수의 레티클 패턴으로부터 선택되는 기준 패턴과, 그 목표 사이즈와 평가 위치가 결정된다. 여기에서, 기준 패턴은 레티클 패턴의 노광량을 결정하는 데 이용되는 패턴을 의미한다. 본 실시예에서, 도 11에 나타난 50-nm 라인-앤드-스페이스 패턴이 기준 패턴으로서 결정된다. 스텝 S303에서, 시뮬레이터는 스텝 S301에서 설정된, 모델링에 이용되는 레티클 패턴의 각각에 대해서, 웨이퍼 상에 형성되는 광 화상의 광 강도 분포를 계산한다. 스텝 S304에서, 시뮬레이터는 광 화상의 광 강도 분포를 소정의 확산 길이를 이용하여 컨볼루팅한다. 스텝 S305에서, 시뮬레이터는 슬라이스 레벨을 설정한다. 본 예에서, 슬라이스 레벨은 기준 패턴의 중앙 막대의 실제 사이즈에 맞는 광 강도(노광량)로 설정된다. 스텝 S306에서, 시뮬레이터는 스텝 S305에서 결정된 슬라이스 레벨에 기초하여 각종 패턴의 CD들을 계산한다. 스텝 S307에서, 시뮬레이터는 스텝 S306에서 계산된, 모델링에 이용되는 패턴의 CD들의 결과와, 스텝 S204에서 SEM에 의해 측정된, 모델링에 이용되는 패턴의 CD들의 결과 사이의 차분의 RMS(root-mean-square)값을 비교한다. 스텝 S308에서, 시뮬레이터는 스텝 S304에서 설정된 확산 길이를 변경한다. 그리고, 시뮬레이터는 스텝 S304 내지 S307을 반복한다. 본 예에서, 확산 길이를 50nm 이하의 범위 내에서 변경해서 계산이 반복적으로 수행되었다. SEM에 의한 측정까지의 시퀀스는 도 3에 나타난 흐름도에서와 동일하다는 것에 유의해야 한다. 또한, 노광은, NA가 1.35, 0.90/0.72의 환상 존(annular zone) 비율, 그리고 웨이퍼측으로부터 순서대로 39-nm BARC, 42-nm TARC, 90-nm 레지스트 및 35-nm 톱 코트(top coat)가 형성되는 웨이퍼를 갖는 환상 조명을 이용하여 수행되었다.

[0037] 스텝 S309에서, 시뮬레이터는 차분의 RMS값이 최소화되는 확산 길이를 결정한다. 본 예에서, 이 확산 길이는 19.3nm이다. 스텝 S310에서, 시뮬레이터는 스텝 S309에서 결정된 확산 길이를 이용하여 컨볼루팅함으로써 취득된 보정 전의 광 강도 분포를 계산한다. 스텝 S311에서, 시뮬레이터는 SEM 에지에 있어서의 보정 전의 광 강도 $I_{0SEMedge}$ 를 추출한다. 스텝 S312에서, 시뮬레이터는 광 화상에 기초하여 연산된 광 강도 분포로부터, 대표 광 강도로서 주변 영역에 있어서의 광 강도의 최소값 J 를 계산한다. 본 예에서, 광 화상에 기초하여 연산된 광 강도 분포로부터 주변 광의 강도의 최소값이 추출된다. 도 12a는 도 7에 나타난 바와 같이, 기준 패턴의 막대의 중앙부를 규정하는 라인에 의해 나타내어지는 부분에서의 광 강도 분포를 나타낸다. 또한, 도 12b는 그 선에 대해서, 17nm(포함) 내지 1 μ m(포함)의 범위 내에 들고 반경 300nm를 갖는 영역 내의 광 강도의 최소값을 추출함으로써 취득되는 광 강도의 분포 J 를 나타낸다. 도 13a는 상술한 방법을 모델링에 이용되는 패턴에 대해 실행한 결과의 예를 나타내며, 이러한 패턴은 라인 사이즈가 80nm로 고정되고 스페이스 사이즈가 변경될 때 취득된다. 도 13b는 스페이스 사이즈가 80nm로 고정되고 라인 사이즈가 변경될 때 취득되는, 모델링에서의 이용을 위한 패턴에 대한 상술한 방법을 실행하는 결과의 예를 나타낸다. 도 13a 및 13b에서 알 수 있는 바와 같이, 라인 사이즈(차광부의 사이즈)에 따라 광 강도 J 의 가능한 범위가 다르다.

[0038] 스텝 S313에서, 시뮬레이터는 스텝 S312에서 계산된 대표 광 강도의 분포에 기초하여 목표 SEM 에지에 있어서의 대표 광 강도 $J_{SEMedge}$ 를 추출한다. 스텝 S314에서, 시뮬레이터는 보정 함수에 대한 계수를 모델링하여 계수를 결정한다. 계수의 결정에서, 2개의 상이한 노광량 $d_1=290J/m^2$ 및 $d_2=300J/m^2$ 에서 SEM 에지에 있어서의 광 강도 $I_{SEMedge}$ 가 이용된다. 본 예에서는 2개의 상이한 노광량에서 광 강도 $I_{SEMedge}$ 가 이용되지만, 2개보다 많은 노광량이 이용될 수도 있다. 또한, 시뮬레이터는 $f(J_{SEMedge})|_{J_{SEMedge}=1}=0$ 및 $a_0=0$ 을 갖는 다항식을 이용하는 4차 등식을 이용하여 계수를 결정한다. 계수값의 결과는 $a_1=11.5$, $a_2=-155.3$, $a_3=1197.6$, $a_4=-1053.8$, 및 $\alpha=18.6$ 이다. 도 14는, 계수값의 이러한 결과가 이용될 때 보정 함수 $f(J_{SEMedge})$ 와 대표 광 강도 $J_{SEMedge}$ 사이의 관계를 나타낸다.

[0039] 도 15a 내지 15d는, 라인 사이즈가 80nm로 고정되고, 스페이스 사이즈가 변경될 때 취득되는 라인-앤드-스페이스 패턴의 각각에 대하여, 보정 전의 광 강도, 대표 광 강도, 보정 함수, 및 보정 후의 광 강도의 결과를 나타낸다. 이러한 모든 그래프는 횡축에 변경된 스페이스 사이즈를 나타낸다. 도 15a 내지 15d로부터 알 수 있는 바와 같이, 대표 광 강도를 변수로서 갖는 보정 함수 $f(J_{SEMedge})$ 를 이용함으로써, 보정 전의 광 강도 $I_{0SEMedge}$ 에 비해 보정 후의 광 강도 $I_{SEMedge}$ 에서의 광 강도의 변동을 더 작게 한다. 상술한 바와 같이, 대표 광 강도를 이용함으로써 노광 광 강도의 크기의 정보를 고려하는 모델링이 행해진다. 또한, 플레이어의 영향을 고려하는 모델링을 행하기 위하여, 대표 광 강도의 분포뿐만 아니라 레티클 투영에 의해 취득된 광 강도 분포를 보다 긴 확산 길이를 이용하여 컨볼루팅함으로써 취득된 광 강도 분포를 나타내는 함수도 단지 보정 함수에 포함될 필요가 있다. 더 긴 확산 길이를 이용하여 컨볼루팅함으로써 취득된 광 강도 분포 K 는 물리적으로 패턴의 듀티(흑색에

대한 백색의 비율(스페이스/라인)를 나타낸다. 도 16은 이러한 광 강도 분포의 예를 나타낸다. 도 16은 스텝 S309에서 결정된 확산 길이(19.3nm)보다 훨씬 긴 300nm의 확산 길이를 이용하여 컨볼루팅함으로써 취득된 라인-앤드-스페이스 패턴에서 SEM 에지에 있어서의 광 강도 $K_{SEMedge}$ 와 듀티 사이의 관계를 나타내는 그래프이다. 도 16으로부터 알 수 있는 바와 같이, SEM 에지에 있어서의 광 강도 $K_{SEMedge}$ 와 듀티는 소정의 상관을 갖는다. 따라서, 대표 광 강도 $J_{SEMedge}$ 및 비교적 긴 큰 확산 길이를 이용하여 계산된 광 강도 $K_{SEMedge}$ 를 동시에 사용함으로써, 노광 광 강도의 크기 및 듀티를 반영하는 모델링을 할 수 있다.

[0040] 다음으로, 모델링 결과가 적용된다. 이 동작에 대해서는 도 10에 나타난 흐름도를 참조하여 설명한다. 스텝 S401에서, 모델링이 적용되는 레티클 패턴이 설정된다. 본 예에서는, 스텝 S301에서 설정된 38개 종류의 레티클 패턴이 이용된다. 스텝 S402에서, 시뮬레이터는 스텝 S401에서 설정된 레티클 패턴의 각각에 대해서, 웨이퍼 상에 형성된 광 화상의 광 강도 분포를 계산한다. 스텝 S403에서, 시뮬레이터는 스텝 S309에서 결정된 확산 길이를 이용하여 광 화상의 광 강도 분포를 컨볼루팅한다. 본 예에서의 확산 길이는 19.3nm이다. 스텝 S404에서, 시뮬레이터는 스텝 S402에서 계산된 광 화상의 광 강도 분포로부터 대표 광 강도의 분포를 계산한다. 스텝 S405에서, 시뮬레이터는 도 4에 나타난 흐름도의 스텝 S314에서 결정된 보정 함수의 계수에 기초하여, 스텝 S401에서 설정된 레티클 패턴의 각각에 대하여 보정 후의 광 강도 분포를 생성한다. 도 17a 내지 17c는 기준 패턴에 대한 평가 라인에 대해 식 (1) 및 (2)에서 나타난 관계가 적용되는 경우를 예시하며, 도 17a는 보정 전의 광 강도 분포를 나타내는 그래프이고, 도 17b는 대표 광 강도 J 의 분포를 나타내는 그래프이고, 도 17c는 보정 전후의 광 강도 분포 사이의 비교를 나타내는 그래프이다. 도 17c는 보정 후의 광 강도 분포가 보정 전의 광 강도 분포보다 높은 비례 최소 레벨을 가지므로, 보정 전의 광 강도 분포는 그 형상을 현저하게 변경시키지 않고도 보정될 수 있다는 것을 나타낸다.

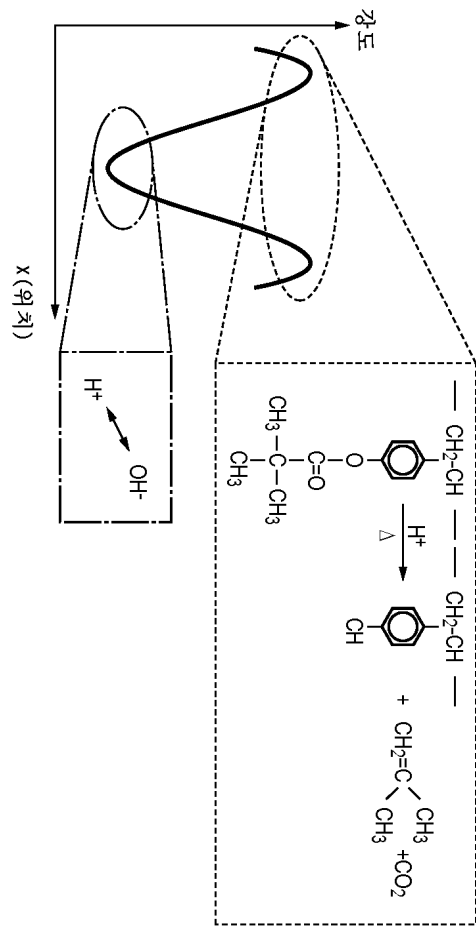
[0041] 스텝 S406에서, 시뮬레이터는 스텝 S405에서 취득된 보정 후의 광 강도 분포에 대한 슬라이스 레벨을 설정한다. 본 예에서, 슬라이스 레벨은 기준 패턴의 중앙 막대의 실제 사이즈에 맞는 강도로 설정된다. 스텝 S407에서, 시뮬레이터는 스텝 S406에서 결정된 슬라이스 레벨에 기초하여 스텝 S401에서 설정된 패턴의 CD들을 계산함으로써 레지스트 패턴을 계산한다. 도 18은 일본 특허 공개 제08-148404에 개시된 종래 기술과 본 예에서의 레지스트 패턴의 계산 정밀도를 나타내는 그래프이다. 도 18은 종축에서 SEM에 의해 취득된 실측값에 대해 레지스트 패턴의 계산된 값의 시프트(양 또는 음의 시프트)를 나타내고, 횡축에서 모델링에 이용된 레티클 패턴의 사이즈를 나타낸다(단위: nm). 도 18의 패턴 A, B 및 C, 라인, 스페이스 및 갭의 사이즈의 규정은 도 11의 규정에 대응된다. 도 18은 대부분의 계산된 레지스트 패턴의 오차가 종래 기술보다 본 예에서 더 작다는 것을 나타낸다. 또한, 이들 레지스트 패턴의 오차의 RMS값이 종래 기술에서는 8.08nm이지만, 본 실시예에서는 2.63nm라는 사실은, 본 예에서는 보다 높은 정밀도로 레지스트 패턴이 계산될 수 있다는 것을 나타낸다.

[0042] 본 예에서는, 예를 들어, 투영 광학계에 의해 생성된 수차(aberration)의 영향을 고려하지 않고 레지스트 패턴이 계산되지만, 본 예에서와 동일한 모드가 실시가능하므로, 예를 들어, 투영 광학계에 의해 생성된 수차의 영향을 고려함으로써 레지스트 패턴이 계산될 수도 있다. 또한, 본 예는, 유효 광원과 같은 노광 조건을 최적화하기 위한 동작과 조합해서 이용될 수 있다. 또한, 본 발명의 양태들은 상술한 실시예(들)의 기능을 수행하기 위해 메모리 디바이스 상에 기록된 프로그램을 판독 및 실행하는 컴퓨터 시스템 또는 장치 (또는 CPU 또는 MPU와 같은 디바이스)와, 예를 들어, 상술한 실시예(들)의 기능을 수행하기 위해 메모리 디바이스 상에 기록된 프로그램을 판독 및 실행함으로써 컴퓨터 시스템 또는 장치에 의해 그 스텝들이 수행되는 방법에 의해 구현될 수도 있다. 이러한 목적으로, 프로그램이 예를 들어, 메모리 디바이스(예를 들어, 컴퓨터 판독가능 매체)로서의 역할을 하는 다양한 종류의 기록 매체로부터 또는 네트워크를 통해 컴퓨터에 제공된다. 이 경우에, 시스템 또는 장치와 프로그램이 저장된 기록 매체는 본 발명의 범위 내에 드는 것으로 포함된다.

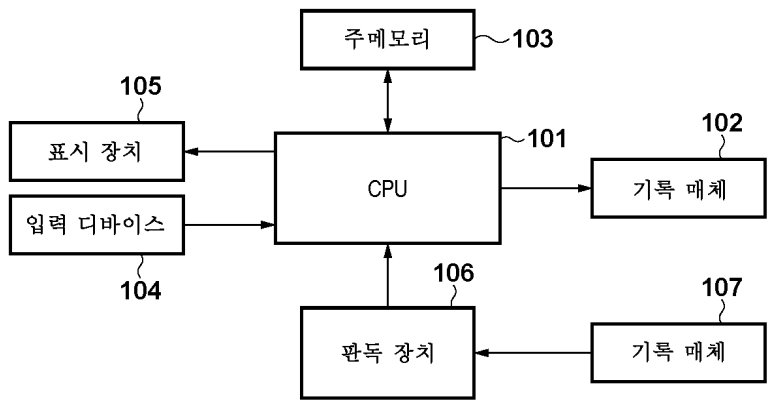
[0043] 실시예들을 참조하여 본 발명을 설명하였지만, 본 발명은 개시된 실시예들에 한정되지 않는다는 것이 이해되어야 한다. 이하의 청구항의 범위는 이러한 모든 변형 및 동등한 구성과 기능을 포함하도록 최광의의 해석에 따라야 한다.

도면

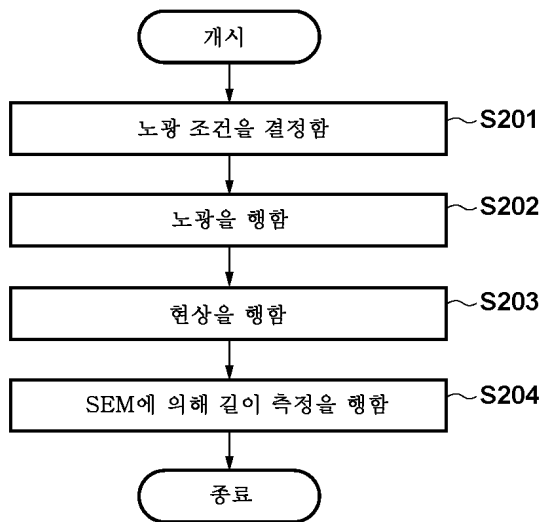
도면1



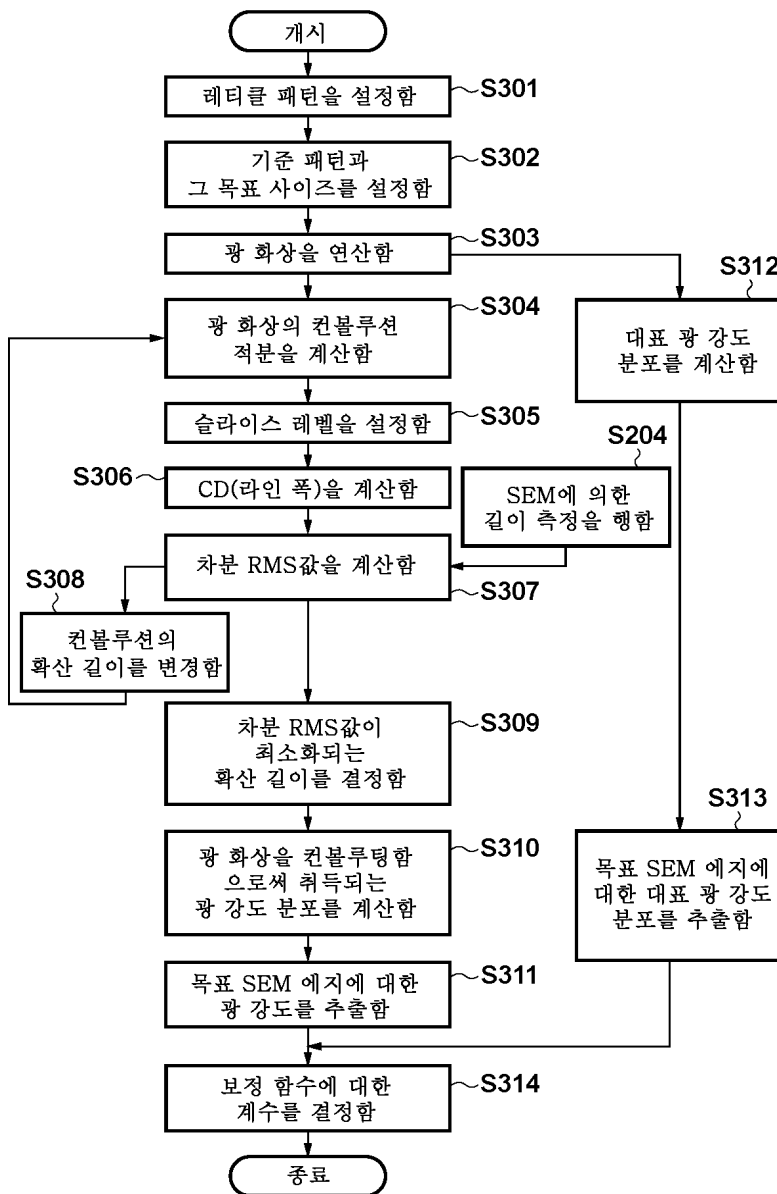
도면2



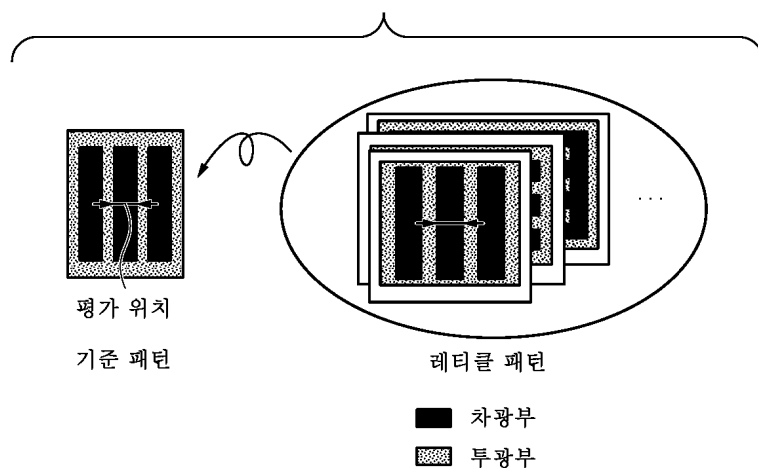
도면3



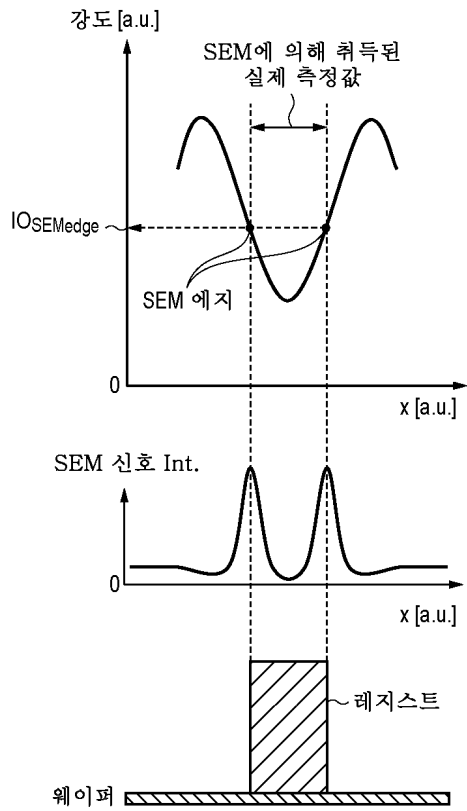
도면4



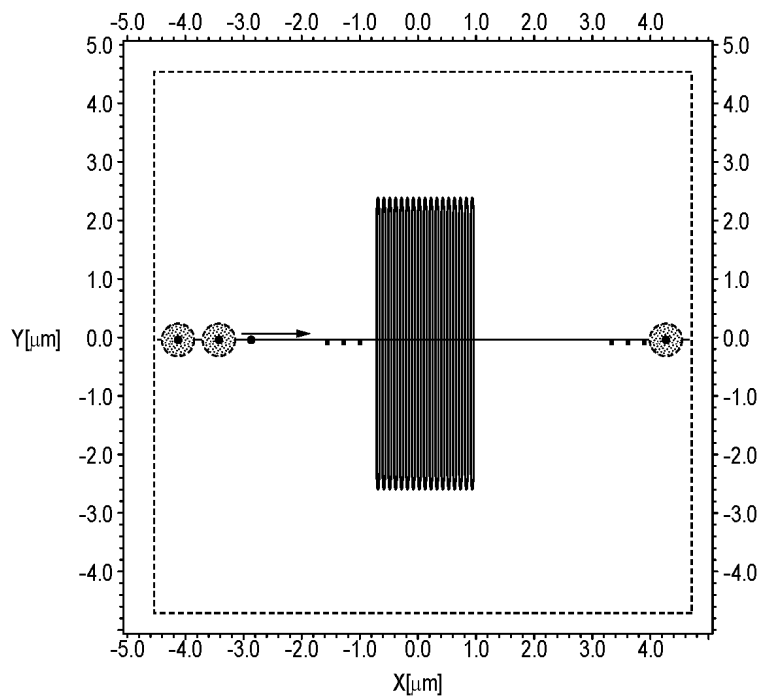
도면5



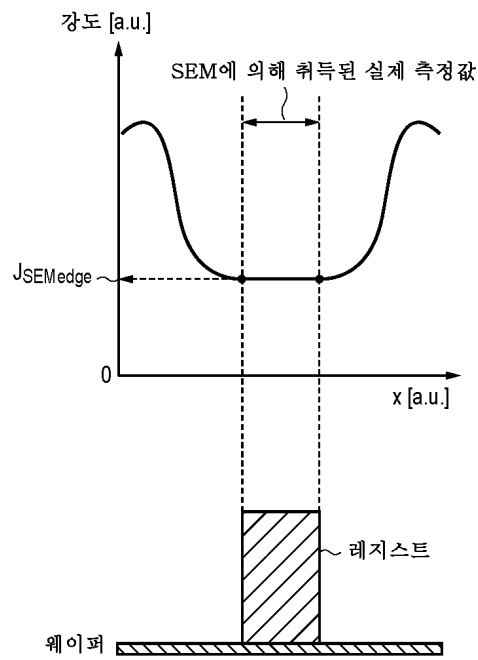
도면6



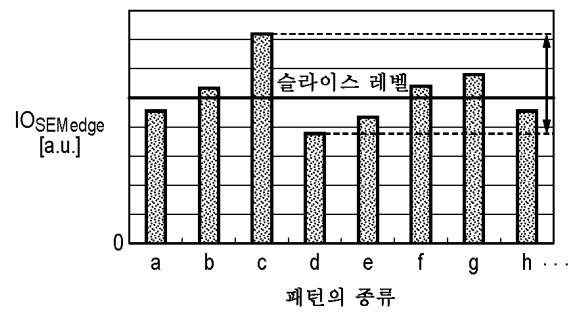
도면7



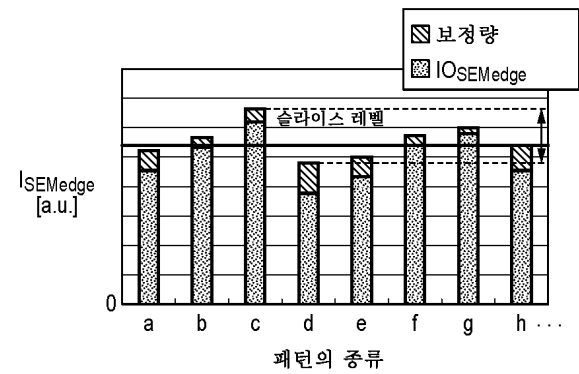
도면8



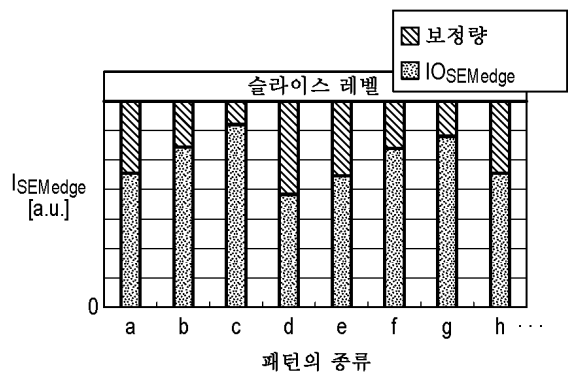
도면9a



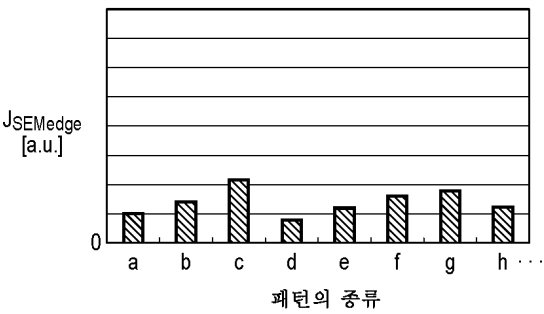
도면9b



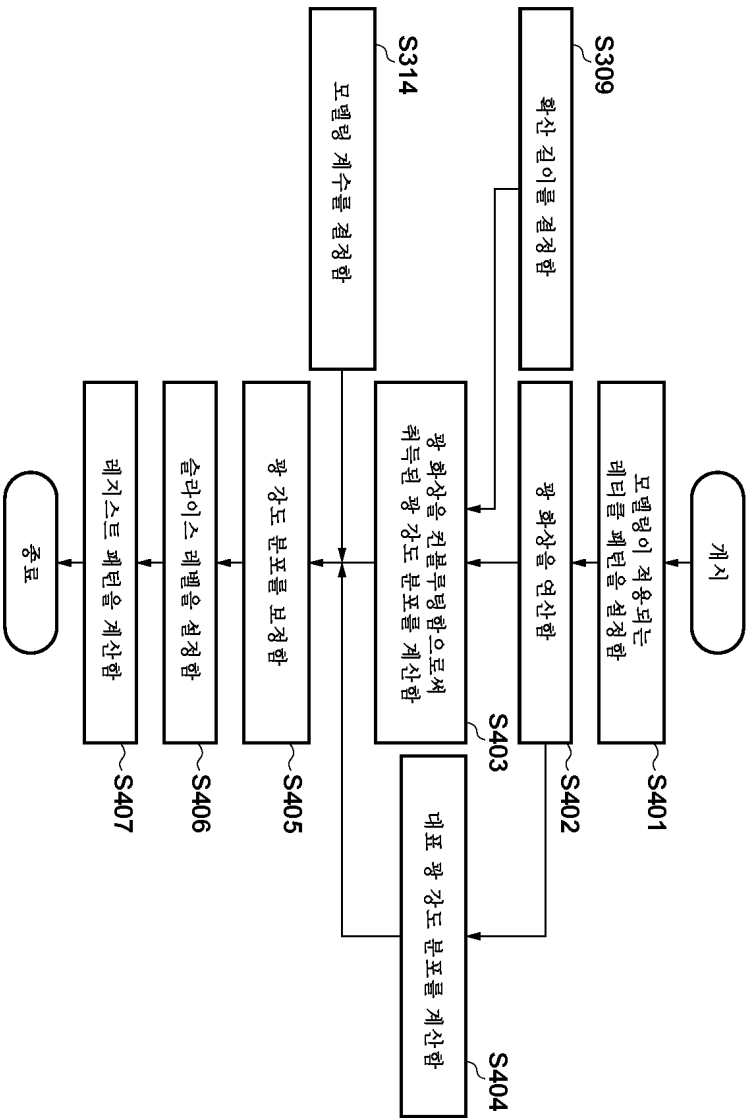
도면9c



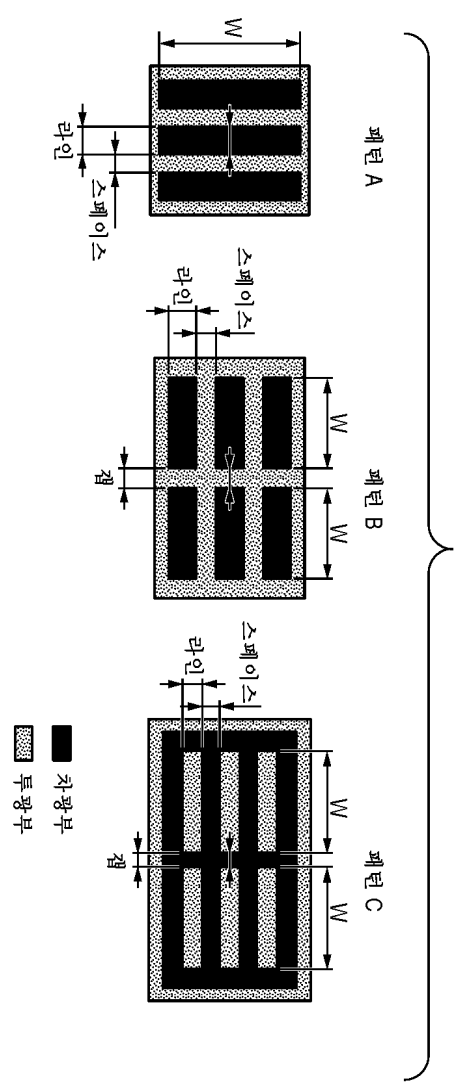
도면9d



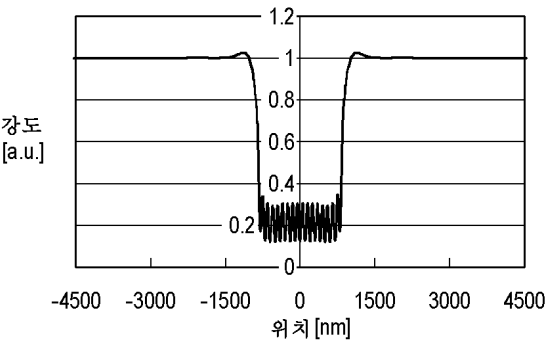
도면10



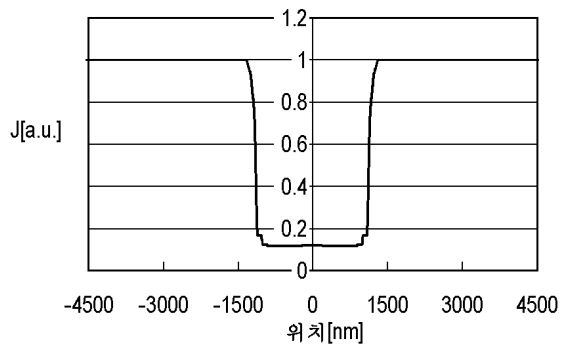
도면11



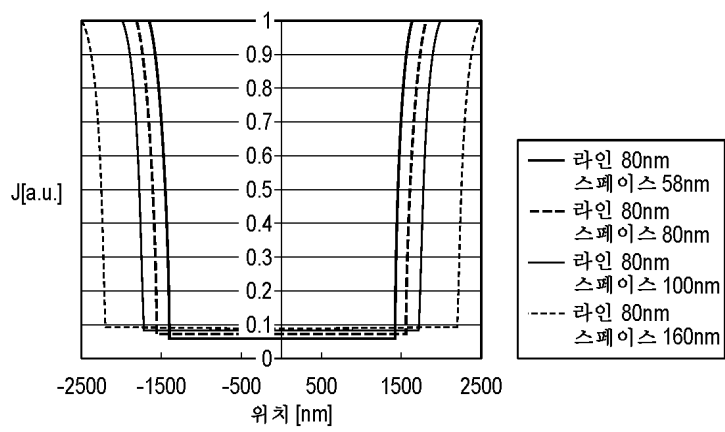
도면12a



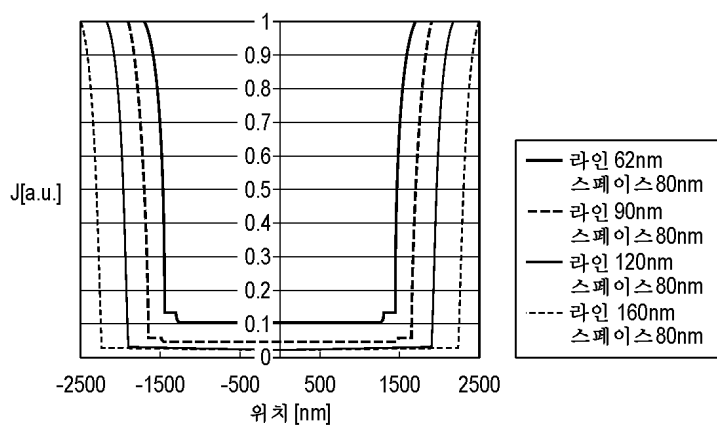
도면12b



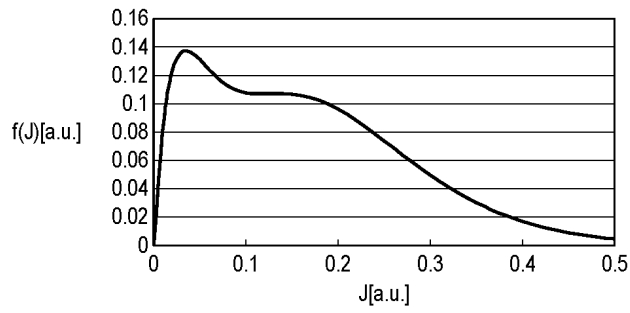
도면13a



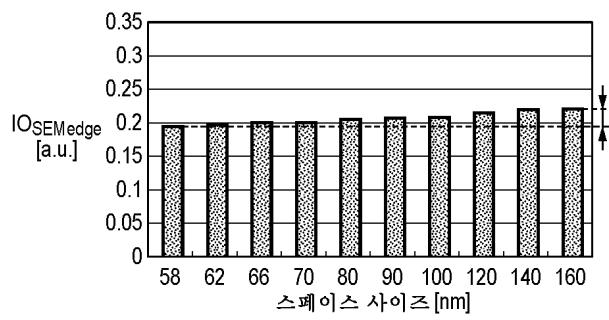
도면13b



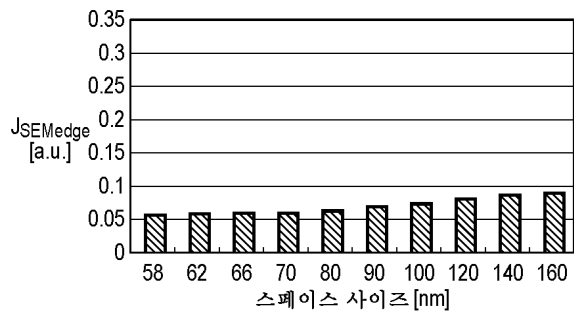
도면14



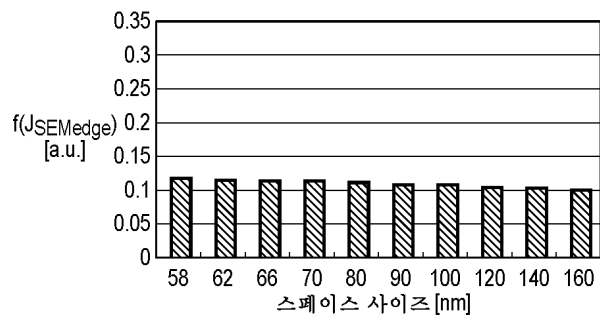
도면15a



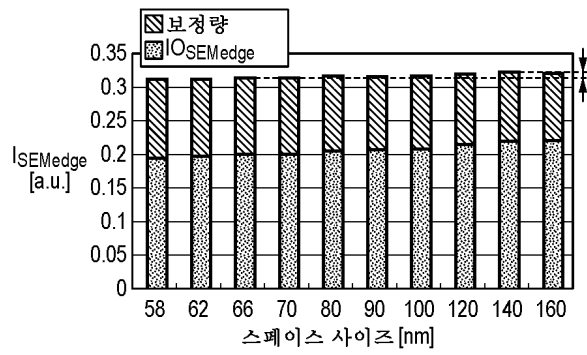
도면15b



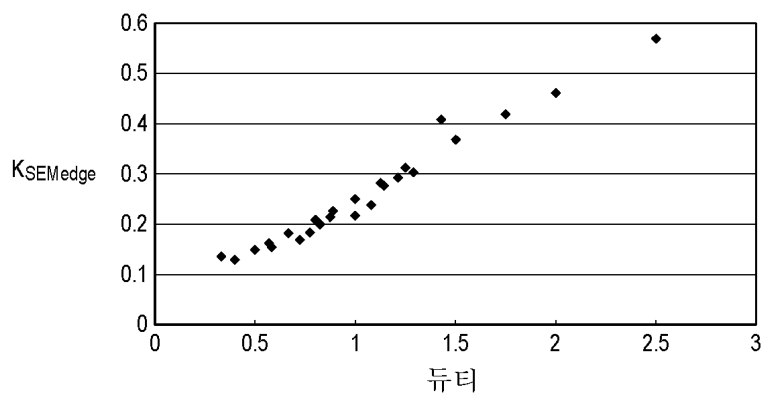
도면15c



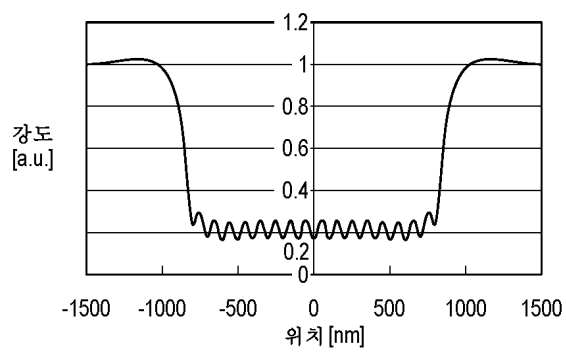
도면15d



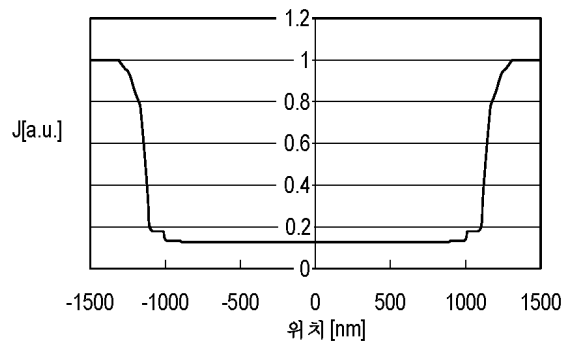
도면16



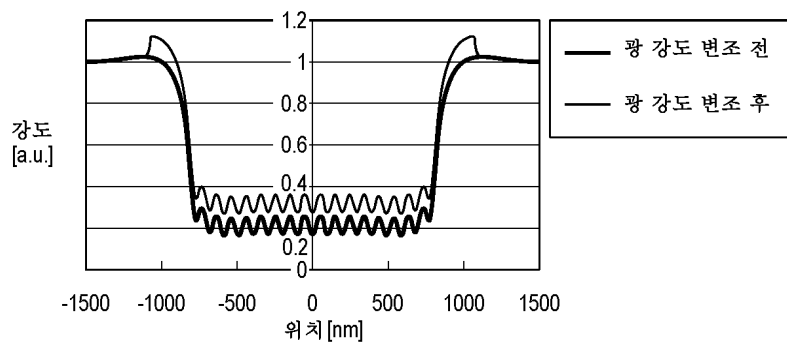
도면17a



도면17b



도면17c



도면18

