



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년01월15일

(11) 등록번호 10-1483338

(24) 등록일자 2015년01월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

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

(21) 출원번호 10-2012-0072788

(22) 출원일자 2012년07월04일

심사청구일자 2013년07월04일

(65) 공개번호 10-2013-0005241

(43) 공개일자 2013년01월15일

(30) 우선권주장

JP-P-2011-149496 2011년07월05일 일본(JP)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020080059025 A

KR1020090028453 A

KR1020100007731 A

(73) 특허권자

캐논 가부시끼가이샤

일본 도쿄도 오오따구 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고

(72) 발명자

교다 유이찌

일본 도쿄도 오오따구 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고

캐논 가부시끼가이샤 내

미카미 고지

일본 도쿄도 오오따구 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고

캐논 가부시끼가이샤 내

쥬지파 고오이찌로오

일본 도쿄도 오오따구 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고

캐논 가부시끼가이샤 내

(74) 대리인

장수길, 박충범

전체 청구항 수 : 총 10 항

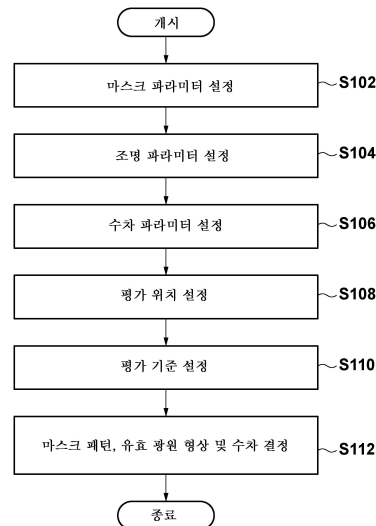
심사관 : 오순영

(54) 발명의 명칭 결정 방법, 기억 매체 및 정보 처리 장치

(57) 요약

본 발명은 마스크를 조명하는 조명 광학계와, 마스크의 패턴을 기관에 투영하는 투영 광학계를 포함하는 노광 장치의 노광 조건을 결정하는 결정 방법을 제공하며, 본 방법은, 상기 조명 광학계의 동공면에 형성되는 광 강도 분포에 대한 조명 파라미터 및 상기 투영 광학계의 수차에 대한 수차 파라미터를 설정하는 단계와, 마스크의 패턴의 광학 화상의 화상 성능이 상기 투영 광학계의 화상면에 형성되어야 할 타겟 패턴에 대해 설정된 평가 기준을 만족시키도록 상기 조명 파라미터의 값 및 상기 수차 파라미터의 값을 결정하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

마스크를 조명하는 조명 광학계와, 마스크의 패턴을 기판에 투영하는 투영 광학계를 포함하는 노광 장치의 노광 조건을 결정하는 노광 조건 결정 방법으로서,

상기 조명 광학계의 동공면에 형성되는 광 강도 분포에 대한 조명 파라미터 및 상기 투영 광학계의 수차에 대한 수차 파라미터를 설정하는 제1 단계와,

상기 조명 파라미터 및 상기 수차 파라미터를 이용하여, 상기 투영 광학계의 물체면에 배치되는 상기 마스크의 패턴에 대응해서 상기 투영 광학계의 상면(image plane)에 형성되는 상기 마스크의 패턴의 광학 화상의 화상 성능을 계산하는 제2 단계와,

상기 조명 파라미터의 값과 상기 수차 파라미터의 값을 변경하면서 상기 제2 단계를 반복하는 제3 단계와,

상기 제3 단계에 의해 계산된 화상 성능의 결과에 기초하여 상기 조명 파라미터의 값과 상기 수차 파라미터의 값을 결정하고, 결정된 상기 조명 파라미터의 값 및 결정된 상기 수차 파라미터의 값에 의해 각각 규정되는 상기 조명 광학계의 동공면에 형성되는 광 강도 분포 및 상기 투영 광학계의 수차를 상기 노광 조건으로서 결정하는 제4 단계를 포함하는, 노광 조건 결정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 단계에서는 상기 투영 광학계의 물체면에 배치되는 마스크의 패턴에 대해 마스크 파라미터가 설정되고,

상기 제2 단계에서는 상기 마스크 파라미터를 이용하여 상기 화상 성능을 계산하고,

상기 제3 단계에서는 상기 마스크 파라미터의 값을 변경하면서 상기 제2 단계를 반복하고,

제4 단계에서는 상기 마스크 파라미터의 값, 상기 조명 파라미터의 값 및 상기 수차 파라미터의 값이 결정되고, 결정된 상기 마스크 파라미터의 값, 결정된 상기 조명 파라미터의 값 및 결정된 상기 수차 파라미터의 값에 의해 각각 규정되는 상기 마스크의 패턴, 상기 조명 광학계의 동공면에 형성되는 광 강도 분포, 상기 투영 광학계의 수차를 상기 노광 조건으로서 결정하는, 노광 조건 결정 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1 단계에서, 상기 투영 광학계에 설정되는 수차량을 나타내는 파라미터가 상기 수차 파라미터로서 설정되는, 노광 조건 결정 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제1 단계에서, 상기 투영 광학계에 설정되는 초기 수차량으로부터 조정되어야 할 수차량을 나타내는 파라미터가 상기 수차 파라미터로서 설정되는, 노광 조건 결정 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 제1 단계에서 상기 투영 광학계를 구성하는 광학 소자의 구동량을 나타내는 파라미터가 상기 수차 파라미터로서 설정되는, 노광 조건 결정 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 화상 성능은, 상기 투영 광학계의 화상면 상의 초점 심도, 상기 투영 광학계의 화상면에 형성되는 마스크의 패턴의 광학 화상의 치수와 타깃 패턴의 치수 사이의 차, 및 상기 투영 광학계의 화상면에 형성되는 마스크의 패턴의 광학 화상의 노광 마진 중 하나 이상을 포함하는, 노광 조건 결정 방법.

청구항 7

제4항에 있어서,

조정되어야 할 수차량을 나타내는 파라미터가 상기 투영 광학계의 광축으로부터의 거리의 함수로서 표현되는, 노광 조건 결정 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 투영 광학계의 화상면에 형성되는 마스크의 패턴의 광학 화상을 평가하기 위하여, 상기 투영 광학계의 화상면의 평가 위치를 설정하는 단계를 더 포함하고,

상기 제2 단계에서, 상기 마스크의 패턴에 대응하는 평가 위치에 형성되는 마스크의 패턴의 광학 화상의 화상 성능이 계산되는, 노광 조건 결정 방법.

청구항 9

컴퓨터에게 제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 기재된 노광 조건 결정 방법을 실행시키는 프로그램을 저장한 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 10

마스크를 조명하는 조명 광학계와, 마스크의 패턴을 기관에 투영하는 투영 광학계를 포함하는 노광 장치의 노광 조건을 결정하는 정보 처리 장치로서,

상기 조명 광학계의 동공면에 형성되는 광 강도 분포에 대한 조명 파라미터 및 상기 투영 광학계의 수차에 대한 수차 파라미터를 설정하는 유닛과,

상기 조명 파라미터 및 상기 수차 파라미터를 이용하여, 상기 투영 광학계의 물체면에 배치되는 상기 마스크의 패턴에 대응해서 상기 투영 광학계의 상면(image plane)에 형성되는 상기 마스크의 패턴의 광학 화상의 화상 성능을 계산하는 유닛과,

상기 조명 파라미터의 값과 상기 수차 파라미터의 값을 변경하면서 상기 계산하는 유닛에 의한 계산 과정을 반복하는 유닛과,

상기 반복하는 유닛에 의해 계산된 화상 성능의 결과에 기초하여 상기 조명 파라미터의 값과 상기 수차 파라미터의 값을 결정하고, 결정된 상기 조명 파라미터의 값 및 결정된 상기 수차 파라미터의 값에 의해 각각 규정되는 상기 조명 광학계의 동공면에 형성되는 광 강도 분포 및 상기 투영 광학계의 수차를 상기 노광 조건으로서 결정하는 유닛을 포함하는, 정보 처리 장치.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 노광 장치의 노광 조건을 결정하는 결정 방법, 기억 매체 및 정보 처리 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 포토리소그래피 기술을 이용해서 반도체 디바이스를 제조하기 위해 마스크(레티클)의 패턴을 투영 광학계를 통해 기관(예를 들어, 웨이퍼)에 투영해서 전사하는 노광 장치가 채용된다. 최근에는, 반도체 디바이스의 소형화로(즉, 회로 선 폭의 감소로), 노광 장치의 해상도를 추가적으로 향상시키는 기술이 요구되고 있다.

[0003] 노광 장치는 마스크의 패턴(그 화상)을 기관 상의 원하는 위치에 원하는 형상으로 전사하는 것이 요구된다. 하

지만, 노광 시에는 몇몇 에러 요인으로 인해, 마스크 패턴이 원하는 위치에서 벗어난 위치와 원하는 형상에서 벗어난 형상으로 전사될 때가 종종 있다. 에러 요인의 예들은 기관을 노광할 때의 노광량과 포커스 위치를 포함한다. 또한, 노광량을 이상적인 상태에서부터 벗어나게 하는 요인의 예들은 광원의 불안정성과 조명 영역에 있어서의 조도 분포의 불균일성을 포함한다. 포커스 위치를 이상적인 상태에서부터 벗어나게 하는 요인의 예들은, 기관이 유지되는 위치의 불안정성과 기관의 비평탄성을 포함한다.

[0004]

또한, 투영 광학계의 수차가 상술한 에러 요인의 하나이다. 투영 광학계는, 국제 공개 WO 02/054036호에 개시되어 있는 바와 같이, 그 수차를 조정(보정)하기 위한 수차 조정 기구를 포함한다. 국제 공개 WO 02/054036호는, 투영 광학계를 통과한 광의 파면 수차에 대응하는 양으로 투영 광학계를 구성하는 광학 소자를 구동함으로써 투영 광학계의 수차를 조정하기 위한 수차 조정 기구를 개시한다. 이러한 수차 조정 기구는, 주로 저차(low-order) 수차를 조정하는 기능을 갖고, 저차 수차의 발생을 억제하고 수차의 경시 변화를 보상하는 데 이용된다. 또한, 수차 조정 기구가, 수차는 투영 광학계의 각각의 화상 높이에 대해 다른 특성을 나타내므로, 개별 화상 높이 중에서 화상 성능의 차를 억제하는 데 이용되는 경우가 있다. 하지만, 수차 조정 기구의 성능은 소정의 한계를 가지므로, 투영 광학계는 일반적으로 잔존 수차를 갖는다. 또한, 각각의 개별 노광 장치에서 잔존 수차의 양과 노광 중의 수차 변동량(즉, 예를 들어 노광 열로 인한 잔존 수차의 변동량)은 다르다.

[0005]

한편, 노광 장치의 해상도를 추가적으로 향상시키기 위하여, 일본 특허 제4606732호는 노광 장치의 노광 조건을 최적화(결정)하는 기술을 제안한다. 이러한 기술의 예들로서, 마스크 패턴(그 치수 및 형상) 및 유효 광원 형상(조명 광학계의 동공면 상에 형성되는 광 강도 분포)의 양쪽을 최적화하는 기술("SMO 기술"이라 칭함)을 이용할 수 있다. 일반적인 SMO 기술에서는, 마스크 패턴 및 유효 광원 형상이 선 폭과 같은 화상 성능에 대한 기준값(목표값)을 만족시키도록 조정된다. 또한, 일본 특허 제4606732호는, 투영 광학계의 수차에 특정값(잔존 수차에 대응하는 값과 같은 0이 아닌 값)을 설정한 후에 유효 광원 형상을 최적화하는 기술을 개시하고 있다. 상술한 바와 같이, 투영 광학계의 수차를 고려하여 유효 광원 형상과 마스크 패턴을 최적화하는 SMO 기술이 이용가능하다.

[0006]

그러나, 투영 광학계의 수차를 고려하는 종래의 SMO 기술은 투영 광학계의 수차가 화상 성능에 미치는 영향을 보상하기 위해서 유효 광원 형상과 마스크 패턴을 단순히 최적화한다. 따라서, 유효 광원 형상과 마스크의 패턴을 단순히 조정하는 것이 투영 광학계의 수차가 화상 성능에 미치는 영향을 보상하기에 불충분한 경우에는, 화상 성능이 기준값을 충족하도록 유효 광원 형상과 마스크 패턴을 결정할 수 없다. 이러한 문제는, 반도체 디바이스의 소형화가 진행됨에 따라 현저해지므로, 종래의 SMO 기술은 노광 조건을 최적화하기에 불충분해진다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007]

본 발명은 노광 장치의 노광 조건을 결정하는 데 유리한 기술을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0008]

본 발명의 일 양태에 따르면, 마스크를 조명하는 조명 광학계와, 마스크의 패턴을 기관에 투영하는 투영 광학계를 포함하는 노광 장치의 노광 조건을 결정하는 노광 조건 결정 방법으로서, 상기 조명 광학계의 동공면에 형성되는 광 강도 분포에 대한 조명 파라미터 및 상기 투영 광학계의 수차에 대한 수차 파라미터를 설정하는 제1 단계, 및 상기 투영 광학계의 화상면에 배치되는 마스크의 패턴에 대응해서 상기 투영 광학계의 화상면에 형성되는 마스크의 패턴의 광학 화상의 화상 성능이 상기 투영 광학계의 화상면에 형성되어야 할 타깃 패턴에 대해 설정된 평가 기준을 만족시키도록 상기 조명 파라미터의 값 및 상기 수차 파라미터의 값을 결정함으로써, 결정된 상기 조명 파라미터의 값 및 결정된 상기 수차 파라미터의 값에 의해 각각 규정되는 상기 조명 광학계의 동공면에 형성하는 광 강도 분포 및 상기 투영 광학계의 수차를 상기 노광 조건으로서 결정하는 제2 단계를 포함하는, 노광 조건 결정 방법이 제공된다.

[0009]

본 발명의 추가적인 특징들은 첨부 도면을 참조하여 실시예의 후술하는 설명으로부터 명확해질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0010]

도 1은 본 발명의 제1 실시예에 따른 결정 방법을 설명하기 위한 흐름도.

도 2는 도 1에 나타난 스텝 S102에서 설정되는 마스크 파라미터의 일례를 나타내는 도면.

도 3은 도 1에 나타난 스텝 S104에서 설정되는 조명 파라미터의 일례를 나타내는 도면.

도 4는 도 1에 나타난 스텝 S108에서 설정되는 평가 위치의 일례를 나타내는 도면.

도 5는 제1 실시예에서 최적화된 파라미터에 대응하는 평가 위치에서의, 투영 광학계의 화상면에 형성되는 광학 화상의 화상 성능 특성을 나타내는 그래프.

도 6은 제1 비교예에서 최적화된 파라미터에 대응하는 평가 위치에서의, 투영 광학계의 화상면에 형성되는 광학 화상의 화상 성능 특성을 나타내는 그래프.

도 7은 제2 비교예에서 최적화된 파라미터에 대응하는 평가 위치에서의, 투영 광학계의 화상면에 형성되는 광학 화상의 화상 성능 특성을 나타내는 그래프.

도 8은 본 발명의 제2 실시예에 따른 결정 방법을 설명하기 위한 흐름도.

도 9는 제2 실시예에서 최적화된 파라미터에 대응하는 평가 위치에서의, 투영 광학계의 화상면에 형성되는 광학 화상의 화상 성능 특성을 나타내는 그래프.

도 10은 본 발명의 제3 실시예에 따른 결정 방법을 설명하기 위한 흐름도.

도 11은, 도 10에 나타난 스텝 S1002에서 설정되는 마스크 파라미터의 일례를 나타내는 도면.

도 12a 및 도 12b는 제3 실시예에서의 최적화 전의 파라미터에 대응하는 평가 위치에서의, 투영 광학계의 화상면에 형성되는 광학 화상의 화상 성능 특성을 각각 나타내는 그래프.

도 13a 및 도 13b는 제3 실시예에서 최적화된 파라미터에 대응하는 평가 위치에서의, 투영 광학계의 화상면에 형성되는 광학 화상의 화상 성능 특성을 각각 나타내는 그래프.

도 14a 및 도 14b는 제3 비교예에서 최적화된 파라미터에 대응하는 평가 위치에서의, 투영 광학계의 화상면에 형성되는 광학 화상의 화상 성능 특성을 각각 나타내는 그래프.

도 15a 및 도 15b는 제4 비교예에서 최적화된 파라미터에 대응하는 평가 위치에서의, 투영 광학계의 화상면에 형성되는 광학 화상의 화상 성능 특성을 각각 나타내는 그래프.

도 16은 노광 장치의 구성을 나타내는 개략 블록도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] 이하, 첨부 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 설명한다. 동일한 참조 부호는 도면 전반에 걸쳐 동일한 부재를 나타내고, 그 반복적인 설명은 하지 않음에 유의해야 한다.

[0012] 본 발명의 발명자들은, 노광 장치의 노광 조건을 최적화하는 데 있어서, 유효 광원 형상(조명 광학계의 동공면에 형성되는 광 강도 분포)과 마스크 패턴과 마찬가지로, 투영 광학계의 수차도 최적화되는 타깃으로서 규정되어야 하는 것을 발견했다. 예를 들어, 국제 공개 WO 02/054036호에 개시된 수차 조정 기구를 이용하여 투영 광학계의 수차가 제어될 수 있다. 따라서, 투영 광학계의 수차는, 유효 광원 형상과 마스크의 패턴과 마찬가지로, 투영 광학계의 화상면에 형성되는 마스크 패턴의 광학 화상의 화상 성능을 향상시키기 위해 최적화되는 타깃으로서 규정될 수 있다.

[0013] 일반적으로, 유효 광원 형상 및 마스크 패턴이 결정되는 한, 이러한 유효 광원 형상을 이용한 이러한 마스크 패턴의 조명시에 광(노광 광)이 통과하는 투영 광학계의 동공면에서의 위치를 특정할 수 있다. 투영 광학계의 수차는 동공면 내의 각 위치에서의 광선의 위상의 변화를 나타내며, 광학 화상을 형성하는 관점에서 유효 광원 형상과 마스크 패턴에 밀접하게 연관된다. 따라서, 본 실시예에서는, 유효 광원 형상과 마스크 패턴뿐만 아니라, 투영 광학계의 수차도 최적화되는 타깃으로서 규정되어, 노광 장치의 노광 조건의 최적화에 유리한 기술을 제공한다.

[0014] <제1 실시예>

[0015] 도 1은 본 발명의 제1 실시예에 따른 결정 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 본 실시예의 결정 방법은 컴퓨터와 같은 정보 처리 장치에 의해 실행되어, 마스크(레티클)를 조명하는 조명 광학계와, 마스크의 패턴을 기관에 투영하는 투영 광학계를 포함하는 노광 장치의 노광 조건을 결정(최적화)한다. 또한, 노광 조건은 노광 장치에 설정 가능하고, 예를 들어, 마스크의 패턴(마스크 패턴)의 형상, 크기 및 위치와 같은 파라미터, 유효 광원 형

상 및 투영 광학계의 수차를 포함한다.

- [0016] 스텝 S102에서는, 투영 광학계의 물체면에 배치되는 마스크의 패턴에 대해 파라미터(마스크 파라미터)가 설정된다.
- [0017] 본 실시예에서는, 도 2에 나타난 마스크 패턴의 형상을 규정하는 마스크 파라미터("마스크 바이어스"라고도 칭함) M1, M2 및 M3이 설정된다. 도 2에 나타난 마스크 패턴은, 차광부(투과율: 0%)와 투광부(투과율: 100%)로 구성된 3 종류의 라인-앤드-스페이스(line-and-space) 패턴 LSP1, LSP2 및 LSP3을 포함한다. 마스크 파라미터 M1은 40nm의 하프(half) 피치를 갖는 라인-앤드-스페이스 패턴 LSP1의 라인 패턴의 치수(폭)를 규정한다. 마스크 파라미터 M2는 50nm의 하프 피치를 갖는 라인-앤드-스페이스 패턴 LSP2의 라인 패턴의 치수(폭)를 규정한다. 마스크 파라미터 M3은 60nm의 하프 피치를 갖는 라인-앤드-스페이스 패턴 LSP3의 치수(폭)를 규정한다. 또한, 본 실시예에서는, 마스크 파라미터 M1, M2 및 M3에 대하여 마스크 제조성의 관점에서 이하의 상한 및 하한이 규정된다.
- [0018] $35 \leq M1 \leq 45(\text{nm})$
- [0019] $45 \leq M2 \leq 60(\text{nm})$
- [0020] $55 \leq M3 \leq 75(\text{nm})$
- [0021] 일반적인 마스크 패턴은 다양한 패턴을 포함한다. 스텝 S102에서는, 마스크 패턴 또는 이들 중 일부에 대해 포함되는 모든 패턴에 대해 마스크 파라미터가 설정될 수 있다. 또한, 본 실시예에서는 마스크 패턴이 라인-앤드-스페이스 패턴을 이용해도, 다른 패턴(예를 들어, 홀(hole) 패턴)을 이용할 수도 있다. 또한, 본 실시예에서는, 마스크 패턴이 바이너리 마스크로 규정되지만, 위상 시프트 마스크나 다른 종류의 마스크로 규정될 수도 있다.
- [0022] 또한, 본 실시예에서는, 라인-앤드-스페이스 패턴의 라인 패턴의 폭이 마스크 파라미터로서 설정된다. 하지만, 라인-앤드-스페이스 패턴의 길이(길이 방향의 치수)나 마스크 패턴의 정점 위치와 연관된 양이 마스크 파라미터로서 설정될 수도 있다. 또한, 예를 들어, 마스크 패턴의 투과율이나 위상도 마스크 파라미터로서 설정가능하다.
- [0023] 스텝 S104에서는, 조명 광학계의 동공면에 형성되는 광 강도 분포, 즉, 유효 광원 형상에 대한 파라미터(조명 파라미터)가 설정된다.
- [0024] 본 실시예에서는, 도 3에 나타난 이중극(dipole) 조명의 형상을 규정하는 조명 파라미터 S1, S2 및 S3이 설정된다. 도 3에 나타난 이중극 조명은 2개의 발광부를 포함하고 라인-앤드-스페이스 패턴에 적합하다. 조명 파라미터 S1은 이중극 조명의 외부 시그마(sigma)를 규정한다. 조명 파라미터 S2는 이중극 조명의 내부 시그마(inner sigma)를 규정한다. 조명 파라미터 S3은, 이중극 조명의 발광부의 개구의 각도를 규정한다. 또한, 본 실시예에서는, 조명 파라미터 S1, S2 및 S3에 대하여 이하의 상한 및 하한이 규정된다.
- [0025] $0.80 \leq S1 \leq 0.95$
- [0026] $0.50 \leq S2 \leq 0.90$
- [0027] $10 \leq S3 \leq 50(^{\circ})$
- [0028] 본 실시예에서는, 도 2에 나타난 마스크 패턴에 적합한 이중극 조명에 대하여 조명 파라미터가 설정되지만, 다른 형상을 갖는 조명에 대하여 조명 파라미터가 설정될 수도 있다. 예를 들어, 환형 조명에 대하여 조명 파라미터(예를 들어, 외부 및 내부 시그마값)가 설정될 수 있거나, 크로스-폴(cross-pole) 조명에 대하여 조명 파라미터(외부 및 내부 시그마값, 발광부의 개구의 각도 및 발광부의 회전 각도)가 설정될 수 있다. 또한, 매우 높은 정도의 자유도를 갖는 조명 파라미터가 설정될 수도 있다. 예를 들어, 조명 광학계의 동공면을 매트릭스로 분할함으로써 얻어진 복수의 요소 광원의 발광 강도가 독립된 조명 파라미터로서 설정될 수 있다.
- [0029] 본 실시예에서는, 투영 광학계의 개구수(NA)가 1.35, 노광 광의 파장이 193nm로 설정(고정)되고, 노광 광의 편광 상태가 Y 방향의 직선 편광으로 설정(고정)되었지만, 이들이 조명 파라미터로서 설정될 수도 있다. 바꾸어 말하면, 예를 들어, 투영 광학계의 NA에 대한 파라미터, 노광 광의 파장에 대한 파라미터 및 노광 광의 편광의 정도에 대한 파라미터가 조명 파라미터로서 설정될 수 있다.
- [0030] 스텝 S106에서는, 투영 광학계의 수차에 대한 파라미터(수차 파라미터)가 설정된다. 투영 광학계의 수차는 일

반적으로, 제르니케(Zernike) 다항식으로 표현되는 파면 수차로서 규정된다. 예를 들어, 제르니케 다항식의 제1항으로부터 제36항이 이용되는 경우, 제1항 내지 제36항에 대한 36개의 계수를 설정(입력)함으로써 1개의 파면 수차(그 형상)가 규정될 수 있다. 또한, 제르니케 다항식의 각 항의 계수는 통상적으로 제1항부터 올라가는 순서대로 C1, C2, C3, ..., Cn이라 칭해진다.

[0031] C1은, 균등한 성분이며, 이는 파면 수차에 포함되지 않고 이용될 필요가 없다. C2 및 C3은, 균등한 왜곡을 나타내며, 이는 본 실시예와 같이 라인-앤드-스페이스 패턴의 중앙 패턴의 선 폭에 주목되는 경우(스텝 S108의 설명과 함께 후술함)에는 이용될 필요가 없다. 또한, C4는 투영 광학계의 디포커스에 대응한다. 본 실시예에서는, S110 및 S112에서와 같이, 복수의 초점 위치에서 광학 화상이 산출되어 프로세스 윈도우를 평가하므로, C4가 파면 수차로서 이용될 필요가 없다. 따라서, 본 실시예에서는, 제르니케 다항식의 제5항 내지 제9항의 계수 C5, C6, C7, C8 및 C9가 수차 파라미터로서 설정된다. 제르니케 다항식의 제5항 내지 제9항(C5 내지 C9)은 종종 "저차(low-order)" 파면 수차로 종종 칭해지고, 제10항(C10) 및 그 이후의 항의 "고차(high-order)" 파면 수차에 비해 투영 광학계에 구비된 수차 조정 기구에 의해 수차량이 보다 용이하게 제어될 수 있다. 본 실시예에서는, 계수 C5, C6, C7, C8 및 C9에 있어서, 노광 광의 파장(단위: λ)에 대하여 수차량(단위: $m\lambda$)의 조정 범위가 이하와 같이 규정된다.

[0032] $-30 \leq C5 \leq 30(m\lambda)$

[0033] $-30 \leq C6 \leq 30(m\lambda)$

[0034] $-30 \leq C7 \leq 30(m\lambda)$

[0035] $-30 \leq C8 \leq 30(m\lambda)$

[0036] $-30 \leq C9 \leq 30(m\lambda)$

[0037] 또한, 본 실시예에서는, 제르니케 다항식의 제1항 내지 제4항의 계수인 C1 내지 C4에 0(제로)이 입력되고, 제10항 내지 제36항의 계수인 C10 내지 C36에는, 표 1에 나타난 바와 같이, 투영 광학계의 실제의 잔존 수차에 대응하는 값이 입력된다.

[0038] [표 1]

C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23
-4.4	-7.6	9.2	2.2	-14	-3	18.4	9.6	-3.2	-1.2	-3.4	7.4	-0.6	-7
C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36	
2.6	-3.6	4.2	-2.4	0.4	0.2	-3.2	-0.4	1.4	-3	7.6	0.2	-3	

[0039]

[0040] (단위: $m\lambda$)

[0041] 이에 의해, 조정되기 곤란한 고차 파면 수차를 저차 파면 수차를 이용해서 조정함으로써, 우수한 화상 성능을 갖는 광학 화상이 형성될 수 있는지 여부를 확인할 수 있다.

[0042] 스텝 S108에서는, 투영 광학계의 화상면에 형성되는 마스크 패턴의 광학 화상을 평가하기 위하여 평가 위치(평가 점 또는 평가 선분(커트라인))가 투영 광학계의 화상면에 설정된다. 본 실시예에서는, 도 4에 나타난 바와 같이, 라인-앤드-스페이스 패턴 LSP1, LSP2 및 LSP3의 라인 패턴의 중앙에 대응하는 투영 광학계의 화상면의 위치에 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3이 설정된다. 도 4를 참조하면, 설명을 간단히 하기 위해 투영 광학계의 물체면에 있어서의 치수가 투영 광학계의 화상면에 있어서의 치수와 동일한(즉, 투영 광학계가 1의 배율을 갖는 것으로 상정됨) 것으로 상정된다. 하지만, 실제로는, 투영 광학계의 배율을 기초로 하여 화상면의 스케일의 크기를 갖는 마스크 패턴을 고려하여, 투영 광학계의 화상면에 평가 위치가 설정되어야 한다.

[0043] 스텝 S110에서는, 스텝 S108에서 설정된 각각의 평가 위치에 형성되는 마스크 패턴의 광학 화상(그 화상 성능)을 기관(투영 광학계의 화상면)에 형성되는 타깃 패턴에 대해 비교 및 평가하기 위해 평가 기준이 설정된다. 본 실시예에서 설정되는 평가 기준에 대해 상세하게 후술한다. 우선, 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에 형성되는 광학 화상의 타깃 선 폭(목표값)이 40nm, 50nm 및 60nm로 각각 설정된다. 광학 화상의 타깃 선 폭으로부터의 오차가 $\pm 10\%$ 내에 들게 하는 초점 위치와 노광량이 통상적으로 프로세스 윈도우라 칭해진다. 이러한 프로세스 윈도우에 있어서, 모든 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에서, 10%의 노광량 마진이 공통으로 얻어질 수 있는 초점 위치의 범위(초점 심도, 즉, 초점에 대한 마진)가 본 실시예에서는 평가 기준으로서 설정된다.

[0044] 본 실시예에서는, 각각의 라인-앤드-스페이스 패턴의 라인 패턴의 중앙에 대응하는 투영 광학계의 화상면의 위

치에 평가 위치가 설정되어, 이러한 평가 위치에서의 초점 심도가 평가 기준으로서 설정된다. 하지만, 평가 위치 및 평가 기준은 이러한 예들에 한정되지 않는다. 예를 들어, 각각의 라인-앤드-스페이스 패턴의 최단부의 라인 패턴에 대응하는 투영 광학계의 화상면의 위치에서도 평가 위치가 설정될 수 있고, 이러한 라인-앤드-스페이스 패턴의 중앙의 라인 패턴과 최단부의 라인 패턴과의 공통인 초점 심도가 평가 기준으로서 설정될 수도 있다. 또한, 평가 기준은 초점 심도에 한정되는 것은 아니며, 마스크 패턴의 광학 화상의 치수와 타깃 패턴의 치수 사이의 차, 마스크 패턴의 광학 화상의 노광 마진, 마스크 패턴의 광학 화상의 콘트라스트 또는 마스크 패턴의 광학 화상의 ILS(Image Log Slope)일 수도 있다. 또한, 투영 광학계의 화상면의 좌표가 평가 위치(평가점)로서 설정될 수 있고, 이러한 좌표로부터의 광학 화상의 위치 오프셋(통상적으로 "에지 플ACEMENT 에러(edge placement error)"라고도 칭해짐)이 평가 기준으로서 설정될 수도 있다.

- [0045] 스텝 S112에서는, 마스크 패턴의 값, 조명 파라미터의 값 및 수차 파라미터의 값이 최적화되어, 노광 조건, 즉, 마스크 패턴, 유효 광원 형상 및 투영 광학계의 수차를 결정한다. 우선, 스텝 S108에서 설정된 각각의 평가 위치에 형성되는 마스크 패턴의 광학 화상이 스텝 S110에서 설정된 평가 기준을 만족시키도록, 마스크 파라미터의 값, 조명 파라미터의 값 및 수차 파라미터의 값이 결정된다. 결정된 마스크 파라미터의 값, 조명 파라미터의 값 및 수차 파라미터의 값에 의해 각각 규정되는 마스크 패턴, 유효 광원 형상 및 투영 광학계의 수차는 노광 조건으로서 결정된다.
- [0046] 본 실시예에서는, 상술한 바와 같이, 독립한 11개의 파라미터: 마스크 파라미터 M1, M2 및 M3, 조명 파라미터 S1, S2 및 S3, 및 수차 파라미터 C5, C6, C7, C8 및 C9가 설정된다. 이들 파라미터를 모두 포함하는 파라미터 공간이 구성되어, 이러한 파라미터 공간에서 다운힐 심플렉스 방식(downhill simplex method)을 이용하여 이러한 파라미터의 값이 최적화된다. 보다 구체적으로, 각각의 파라미터의 값을 변화시키면서 마스크 패턴의 광학 화상이 산출되어 평가 위치에서의 초점 심도(평가 기준)를 얻고, 초점 심도가 가능한 한 크게 되도록, 이러한 파라미터의 값이 최적화된다.
- [0047] 본 실시예에서는 다운힐 심플렉스 방식을 이용해서 각각의 파라미터의 값이 최적화되었지만, 시뮬레이팅된 어닐링 방식 또는 선형 프로그래밍과 같은 수학 프로그래밍에 기초한 최적화 방법을 이용하여 최적화될 수도 있다. 또한, 본 실시예에서는 수차 파라미터 C5, C6, C7, C8 및 C9가 독립해서 변화도록 설정되었지만, 투영 광학계에 구비된 수차 조정 기구의 성능에 따라, 수차의 변화량이 화상 높이 또는 각각의 수차의 함수로서 표현될 수도 있다.
- [0048] 본 실시예에서 최적화된 각각의 파라미터 M1, M2, M3, S1, S2, S3, C5, C6, C7, C8, C9의 값이 파라미터 그룹 1에 나타내어진다.
- [0049] (파라미터 그룹 1)
- [0050] $M1 = 40.2(\text{nm})$
- [0051] $M2 = 57.7(\text{nm})$
- [0052] $M3 = 72.8(\text{nm})$
- [0053] $S1 = 0.876$
- [0054] $S2 = 0.624$
- [0055] $S3 = 22.3(^{\circ})$
- [0056] $C5 = +6.8(\text{m}\lambda)$
- [0057] $C6 = -21.2(\text{m}\lambda)$
- [0058] $C7 = -12.4(\text{m}\lambda)$
- [0059] $C8 = +17.8(\text{m}\lambda)$
- [0060] $C9 = -15.1(\text{m}\lambda)$
- [0061] 도 5는 본 실시예에서 최적화된 파라미터(파라미터 그룹 1)에 대응하는 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에서의, 투영 광학계의 화상면 상에 형성되는 광학 화상의 화상 성능 특성을 나타내는 그래프이다. 도 5는 횡축에 기준 초점 위치로부터의 디포커스량을 나타내고, 종축에 기준 노광량으로부터의 변화량(%)을 나타낸다. 또한, 도 5는 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에서의 선 폭이 타깃 선 폭의 +10% 또는 -10%와 동등하게 되게 하는 초점 위치

와 노광량의 조합의 플롯을 나타내고, 각각의 플롯을 형성하는 점들은 직선으로 서로 연결된다. 따라서, 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3의 각각에 대응하는 2개의 플롯 선 사이에 끼워져 있는 영역이, 광학 화상의 타깃 선 폭으로부터의 어긋남이 $\pm 10\%$ 의 범위 내에 드는 노광 조건의 범위이다. 또한, 모든 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에 대한 영역에 공통인 부분이 프로세스 윈도우이다. 이러한 프로세스 윈도우에서, 10%의 노광량 마진이 공통으로 얻어질 수 있는 초점 위치의 범위가 초점 심도이다. 본 실시예에서의 마스크 패턴의 광학 화상의 화상 성능에 대한 평가 기준으로서의 초점 심도는 도 5에 나타난 영역 AR1의 초점 방향의 치수(영역 AR1의 가로 치수)에 대응한다. 도 5에 나타난 바와 같이, 본 실시예에서 얻어지는 초점 심도는 177.4nm이다.

[0062]

여기에서 제1 비교예로서, 수차 파라미터 C5, C6, C7, C8 및 C9의 값을 변화시키지 않고(즉, 투영 광학계의 수차를 고려하지 않고), 마스크 파라미터 M1, M2 및 M3와 조명 파라미터 S1, S2 및 S3이 최적화되는 경우를 고려한다. 보다 구체적으로는, 도 1에 나타난 흐름도에서, 스텝 S106에서 수차 파라미터가 설정되지 않고(수차 값이 변수로서 설정되지 않고), 표 2에 나타난 바와 같이, 투영 광학계의 실제의 잔존 수차에 대응하는 값이 계수 C5 내지 C36에 입력된다.

[0063]

[표 2]

C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
20.6	-4.4	-10	1.6	8	-4.4	-7.6	9.2	2.2	-14	-3	18.4	9.6	-3.2	-1.2	-3.4
C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36
7.4	-0.6	-7	2.6	-3.6	4.2	-2.4	0.4	0.2	-3.2	-0.4	1.4	-3	7.6	0.2	-3

[0064]

[0065]

(단위: mλ)

[0066]

또한, 표 2에 나타난 계수 C10 내지 C36의 값은 표 1에 나타난 것과 같다. 제1 비교예에서 최적화된 파라미터 M1, M2, M3, S1, S2 및 S3의 값이 파라미터 그룹 2에 나타내어진다.

[0067]

(파라미터 그룹 2)

[0068]

M1=41.8(nm)

[0069]

M2=58.2(nm)

[0070]

M3=73.4(nm)

[0071]

S1=0.879

[0072]

S2=0.693

[0073]

S3=19.8(°)

[0074]

도 6은 제1 비교예에서 최적화된 파라미터(파라미터 그룹 2)에 대응하는 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에서의, 투영 광학계의 화상면 상에 형성되는 광학 화상의 화상 성능 특성을 나타내는 그래프이다. 도 6은 횡축에 기준 초점 위치로부터의 디포커스량을 나타내고, 종축에 기준 노광량으로부터의 변화량(%)을 나타낸다. 또한, 도 6은 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에서의 선 폭이 타깃 선 폭의 +10% 또는 -10%와 동등하게 되게 하는 초점 위치와 노광량의 조합의 플롯을 나타내고, 각 플롯을 형성하는 점들이 직선으로 서로 연결된다. 도 6을 참조하면, 제1 비교예에서 얻어지는 초점 심도(도 6에 나타난 영역 AR2의 가로 치수)는 155.1nm이다.

[0075]

따라서, 본 실시예에서 얻어진 초점 심도는 제1 비교예에서 얻어진 초점 심도보다 20nm 이상만큼 더 넓다. 이는, 노광 조건의 최적화에 있어서, 유효 광원 형상과 마스크의 패턴과 마찬가지로, 투영 광학계의 수차를 최적화되는 타깃으로서 규정하는 것이, 마스크 패턴의 광학 화상의 화상 성능을 향상시키는 데 효과적이라는 것을 의미한다.

[0076]

또한, 제2 비교예로서, 수차 파라미터 C5, C6, C7, C8 및 C9의 값을 변화시키지 않고(즉, 투영 광학계의 수차를 고려하지 않고), 마스크 파라미터 M1, M2 및 M3와 조명 파라미터 S1, S2 및 S3이 최적화되는 경우를 고려한다. 보다 구체적으로는, 도 1에 나타난 흐름도에서, 스텝 S106에서, 수차 파라미터가 설정되지 않고, 표 3에 나타난 값이 계수 C5 내지 C36에 입력된다.

[0077] [표 3]

C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
0	0	0	0	0	-4.4	-7.6	9.2	2.2	-14	-3	18.4	9.6	-3.2	-1.2	-3.4
C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36
7.4	-0.6	-7	2.6	-3.6	4.2	-2.4	0.4	0.2	-3.2	-0.4	1.4	-3	7.6	0.2	-3

[0078]

[0079] (단위: mλ)

[0080] 표 3에 나타난 계수 C10 내지 C36의 값은 표 1 및 2에 나타난 것과 같지만, 비교예에서는 저차 수차를 나타내는 계수 C5 내지 C9에 0이 입력된다. 이것은, 투영 광학계에 구비된 수차 조정 기구에 의해 저차 수차가 완전하게 억제된 이상적인 상태를 상정하여 이루어진다. 제2 비교예에서 최적화된 파라미터 M1, M2, M3, S1, S2 및 S3의 값이 파라미터 그룹 3에 나타내어진다.

[0081] (파라미터 그룹 3)

[0082] M1=41.8(nm)

[0083] M2=58.2(nm)

[0084] M3=73.4(nm)

[0085] S1=0.891

[0086] S2=0.628

[0087] S3=21.7(°)

[0088] 도 7은, 제2 비교예에서 최적화된 파라미터(파라미터 그룹 3)에 대응하는 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에서의, 투영 광학계의 화상면에 형성되는 광학 화상의 화상 성능 특성을 나타내는 그래프이다. 도 7은 횡축에 기준 초점 위치로부터의 디포커스량을 나타내고, 종축에 기준 노광량으로부터의 변화량(%)을 나타낸다. 또한, 도 7은, 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에서의 선 폭이 타깃 선 폭의 +10% 또는 -10%와 동등하게 되게 하는 초점 위치와 노광량의 조합의 플롯을 나타내고, 각 플롯을 형성하는 점들은 직선으로 서로 연결된다. 도 7을 참조하면, 제1 비교예에서 얻어지는 초점 심도(도 7에 나타난 영역 AR3의 가로 치수)는 164.6nm이다.

[0089] 본 실시예(도 5), 제1 비교예(도 6) 및 제2 비교예(도 7) 사이의 비교로부터 알 수 있는 바와 같이, 마스크 패턴과 유효 광원 형상뿐만 아니라, 투영 광학계의 수차도 최적화함으로써, 우수한 화상 성능을 갖는 광학 화상이 형성될 수 있다.

[0090] 마스크 패턴의 광학 화상의 화상 성능을 향상시키는 데, 투영 광학계의 수차를 최적화되는 타깃으로서 규정하는 것이 효과적인 이유에 대해 고찰한다. 상술한 설명에서 명백한 바와 같이, 유효 광원 형상 및 마스크의 패턴이 결정되는 한, 이러한 유효 광원 형상을 이용하여 이러한 마스크 패턴을 조명했을 시에, 광(노광 광)이 통과하는 투영 광학계의 동공면의 위치를 특정할 수 있다. 특히, 투영 광학계의 동공면에 있어서의 투광 광이 통과하는 위치는, 기관 상에 형성되어야 할 타깃 패턴의 형상 및 피치에 강하게 의존한다. 마스크 패턴 및 유효 광원 형상은 관련 기술에서도 최적화된다. 하지만, 관련 기술에서는, 타깃 패턴에 대하여 마스크 패턴 및 유효 광원 형상이 단순히 최적화(조정)되어, 노광 광이 통과하는 투영 광학계의 동공면에 있어서의 위치를 극적으로 변화시킬 수는 없다.

[0091] 한편, 투영 광학계의 수차는, 상술한 바와 같이, 동공면 내의 각 위치에서의 광 빔의 위상의 변화를 나타낸다. 관련 기술에서와 같이, 알려진 수차가 입력되는 경우에는, 타깃 패턴의 형상 및 피치에 대응하는 투영 광학계의 동공면 내의 위치에 큰 수차가 존재하고, 마스크 패턴 및 유효 광원 형상이 최적화되어도 수차가 화상 성능에 미치는 영향이 보상될 수 없다. 따라서, 마스크 패턴의 광학 화상의 화상 성능을 향상시키기 위해서는, 마스크 패턴과 유효 광원 형상뿐만 아니라, 투영 광학계의 수차도 동시에 최적화하는 것이 필수적이다.

[0092] 예를 들어, 도 6(제1 비교예)으로부터 알 수 있는 바와 같이, 개별 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에서 노광 마진이 최대화되는 초점 위치가 변한다. 특히, 평가 위치 Bar1에서의 초점 위치는 양의 방향으로 상당히 시프트된다. 이러한 시프트는, 투영 광학계의 수차가 화상 성능에 미치는 영향을 나타내고, 이는 마스크 패턴 및 유효 광원 형상이 최적화되어도, 투영 광학계의 수차가 화상 성능에 미치는 영향이 보상될 수 없다는 것을 의미한다.

- [0093] 한편, 도 5(본 실시예)에서 알 수 있는 바와 같이, 평가 위치 Bar1에서의 초점 위치가 보정되어, 노광 마진의 최상의 초점 위치가 개별 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3와 거의 동일하다. 따라서, 저차 수차(그 발생)는, 고차 수차가 화상 성능에 미치는 영향(예를 들어, 초점 위치의 시프트)을 보상할 수 있어, 보다 넓은 초점 심도를 얻을 수 있다.
- [0094] 또한, 도 7(제2 비교예)은 저차 수차를 발생시키는 효과를 나타낸다. 제2 비교예에서는, 저차 수차가 완전하게 억제된 이상적인 상태에서 마스크 패턴 및 유효 광원 형상을 최적화하지만, 초점 심도는 고차 수차의 영향으로 인해 작은 값을 갖는다. 상술한 바와 같이, 투영 광학계에 구비된 수차 조정 기구가 고차 수차를 억제하는 것은 곤란하다. 따라서, 투영 광학계에 고차 수차가 잔존하는 경우에는, 저차 수차를 작게 유지하는 것보다도, 고차 수차와 저차 수차 사이의 밸런스를 향상시키도록(즉, 고차 수차의 영향을 상쇄시키도록) 저차 수차를 발생시키는 것이 더욱 효과적이다.
- [0095] 상술한 설명에서 명백한 바와 같이, 투영 광학계의 수차에 특정한 값을 입력해서(수차 자체를 상수로 이용해서) 마스크 패턴 및 유효 광원 형상을 최적화하는 관련 기술은 노광 조건을 최적화시키기에 불충분하다. 따라서, 본 실시예에서는, 유효 광원 형상 및 마스크의 패턴뿐만 아니라, 투영 광학계의 수차도 최적화되는 타깃으로서 규정하는 것이, 노광 장치의 노광 조건을 최적화하는 데 유리한 기술을 제공할 수 있다.
- [0096] <제2 실시예>
- [0097] 제1 실시예에서는, 마스크 패턴, 유효 광원 형상 및 투영 광학계의 수차의 3 종류의 특징이 최적화되는 타깃으로서 규정된다. 하지만, 마스크 패턴이 최적화되는 타깃에서 제외될 수도 있다. 노광 장치에 이용되는 마스크는 매우 비싸므로, 하나의 마스크가 제조된 후에는, 마스크를 재제조하는(이를 다시 제조하는) 것을 회피하는 것이 요구된다. 따라서, 본 실시예에서는, 마스크 패턴을 변화시키지 않고(즉, 마스크 패턴을 고정해서), 유효 광원 형상 및 투영 광학계의 수차가 최적화된다.
- [0098] 도 8은 본 발명의 제2 실시예에 따른 결정 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 본 실시예의 결정 방법은 제1 실시예에서의 결정 방법과 마찬가지로이지만, 스텝 S102 대신에 스텝 S102A를 갖고, 스텝 S112 대신에 스텝 S112A를 갖는다.
- [0099] 스텝 S102A에서는, 투영 광학계의 물체면에 배치되는 마스크의 패턴(마스크 패턴)이 설정된다. 본 실시예에서는, 도 2에 나타난 바와 같이, 3 종류의 라인-엔드-스페이스 패턴 LSP1, LSP2 및 LSP3을 포함하는 마스크 패턴이 설정된다. 또한, 본 실시예에서는, 마스크 패턴이 동일하게 유지되어, 마스크 파라미터 M1, M2 및 M3이 이하의 값으로 고정된다.
- [0100] M1=41(nm)
- [0101] M2=58(nm)
- [0102] M3=73(nm)
- [0103] 스텝 S104, S106, S108 및 S110에서는, 제1 실시예에서 설명한 바와 같이, 조명 파라미터 S1, S2 및 S3, 수차 파라미터 C5, C6, C7, C8 및 C9, 평가 위치 및 평가 기준이 각각 설정된다.
- [0104] 본 실시예에서는, 제르니케 다항식의 제5항 내지 제9항의 계수 C5, C6, C7, C8 및 C9가 수차 파라미터로서 설정된다. 또한, 제1항 내지 제4항의 계수 C1 내지 C4에 0이 입력되고, 제르니케 다항식의 제10항 내지 제36항의 계수 C10 내지 C36에 표 1에 나타난 값이 입력된다.
- [0105] 또한, 본 실시예에서는, 도 4에 나타난 바와 같이, 라인-엔드-스페이스 패턴의 라인 패턴의 중앙에 대응하는 투영 광학계의 화상면의 위치에 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3이 설정되고, 이러한 평가 위치에서의 초점 심도가 평가 기준으로서 설정된다.
- [0106] 스텝 S112A에서는, 조명 파라미터의 값 및 수차 파라미터의 값이 최적화되어, 노광 조건, 즉, 유효 광원 형상 및 투영 광학계의 수차를 결정한다. 본 실시예에서 최적화된 파라미터 S1, S2, S3, C5, C6, C7, C8 및 C9의 값이 파라미터 그룹 4에 나타내어진다.
- [0107] (파라미터 그룹 4)
- [0108] S1=0.872
- [0109] S2=0.619

- [0110] $S3=13.4(^{\circ})$
- [0111] $C5=+12.5(m\lambda)$
- [0112] $C6=-6.3(m\lambda)$
- [0113] $C7=-11.3(m\lambda)$
- [0114] $C8=+18.2(m\lambda)$
- [0115] $C9=-19.9(m\lambda)$
- [0116] 도 9는 본 실시예에서 최적화된 파라미터(파라미터 그룹 4)에 대응하는 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에서의, 투영 광학계의 화상면에 형성되는 광학 화상의 화상 성능 특성을 나타내는 그래프이다. 도 9는 횡축에 기준 초점 위치로부터의 디포커스량을 나타내고, 종축에 기준 노광량으로부터의 변화량(%)을 나타낸다. 또한, 도 9는 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에서의 선 폭이 타겟 선 폭의 +10% 또는 -10%와 동등하게 되게 하는 초점 위치와 노광량의 조합의 플롯을 나타내고, 각 플롯을 형성하는 점은 직선으로 서로 연결된다. 도 9를 참조하면, 본 실시예에서 얻어지는 초점 심도(도 9에 나타난 영역 AR4의 가로 치수)는 171.6nm이다.
- [0117] 따라서, 본 실시예에서 얻어지는 초점 심도는 제1 실시예의 제1 비교예에서 얻어진 초점 심도보다 15nm 이상만 큼 더 넓다. 이것은, 마스크 패턴이 고정되어도, 유효 광원 형상 및 투영 광학계의 수차를 최적화하는 것이 마스크 패턴의 광학 화상의 화상 성능을 향상시키는 데 효과적이라는 것을 의미한다. 즉, 본 실시예에서와 같이, 마스크 패턴이 언제나 최적은 아닌 치수(폭)으로 고정된 경우에도, 유효 광원 형상 및 투영 광학계의 수차를 최적화되는 타겟으로서 규정하는 것은 노광 장치의 노광 조건을 최적화하는 데 유리한 기술을 제공할 수 있게 한다.
- [0118] <제3 실시예>
- [0119] 도 10은, 본 발명의 제3 실시예에 따른 결정 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 본 실시예의 결정 방법은, 제1 실시예 및 제2 실시예와 같이, 마스크(레티클)를 조명하는 조명 광학계와, 마스크의 패턴을 기관에 투영하는 투영 광학계를 포함하는 노광 장치의 노광 조건을 결정(최적화)한다.
- [0120] 스텝 S1002에서, 투영 광학계의 화상면에 형성되는 마스크 패턴의 광학 화상을 평가하기 위해 화상 높이(평가 화상 높이)가 설정된다. 본 실시예에서는, 스텝-앤드-스캔 노광 장치(스캐너)를 상정하고, 5개의 화상 높이 즉, (-12.6, 0), (-7, 0), (0, 0), (7, 0) 및 (12.6, 0)이 평가 화상 높이로서 설정된다. 또한, 슬릿 방향의 좌표가 x로 규정되고 스캔 방향의 좌표가 y로 규정된다.
- [0121] S1004에서는, 투영 광학계의 물체면에 배치되는 마스크의 패턴에 대해 파라미터(마스크 파라미터)가 설정된다.
- [0122] 본 실시예에서는, 도 11에 나타난 마스크 패턴의 형상을 규정하는 마스크 파라미터 M1, M2 및 M3이 설정된다. 도 11에 나타난 마스크 패턴은 차광부(투과율: 6%)와 투광부(투과율: 100%)에 의해 형성된 3 종류의 라인-앤드-스페이스 패턴 LSP4, LSP5 및 LSP6을 포함한다. 마스크 파라미터 M1은, 100nm의 피치를 갖는 라인-앤드-스페이스 패턴 LSP4의 라인 패턴의 치수(폭)를 규정한다. 마스크 파라미터 M2는 120nm의 피치를 갖는 라인-앤드-스페이스 패턴 LSP5의 라인 패턴의 치수(폭)를 규정한다. 마스크 파라미터 M3은 150nm의 피치를 갖는 라인-앤드-스페이스 패턴 LSP6의 라인 패턴의 치수(폭)를 규정한다. 또한, 본 실시예에서는, 마스크 패턴이 동일하게 유지되어, 마스크 파라미터 M1, M2 및 M3이 이하의 값으로 고정된다.
- [0123] $M1=50(nm)$
- [0124] $M2=53(nm)$
- [0125] $M3=58(nm)$
- [0126] 스텝 S1006에서는, 유효 광원 형상에 대해 파라미터(조명 파라미터)가 설정된다. 본 실시예에서는, 제1 실시예와 제2 실시예와 마찬가지로, 도 3에 나타난 이중극 조명의 형상을 규정하는 조명 파라미터 S1, S2 및 S3이 설정된다. 또한, 본 실시예에서는, 조명 파라미터 S1, S2 및 S3에 대하여, 이하의 상한 및 하한이 규정된다.
- [0127] $0.70 \leq S1 \leq 0.98$
- [0128] $0.50 \leq S2 \leq 0.85$

[0129] $20 \leq S3 \leq 110(^{\circ})$

[0130] 스텝 S1008에서는, 투영 광학계에 존재하는 수차(초기 수차량)가 설정된다. 본 실시예에서는, 초기 수차량이 제르니케 다항식의 제1항 내지 제36항의 계수 C1 내지 C36에 의해 나타내어지고, 스텝 S1002에서 설정된 각 평가 화상 높이에 대해, 표 4에 나타난 바와 같이, 투영 광학계의 실제의 잔존 수차에 대응하는 값이 설정된다.

[0131] [표 4]

	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
-12.6	18.2	24.2	4.2	-10	2.6	17.4	0.8	0.4	6.2	-0.8	-15	-0.8	17	4.4	-1.6	-3.4	-0.4
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36	
	3	-2	-3	0.6	-1	-7.8	3.4	6.6	2	-3	-4.2	-1.2	-2.6	3	-2.8	-6.4	
-7	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
	-12	11.4	-3.2	-9.4	-2.8	4.6	4	-1.8	9.6	0	-14	-0.6	16.6	6	0.4	-0.2	1.2
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36	
0	1.8	4	-5.6	1.6	-1.2	-3.4	3.2	2.6	5.8	-1.6	2	1.8	-2	1.4	-1.4	-8.6	
	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
	3	14	2.8	-4.6	0.6	18.4	3.4	-5.6	9	5.6	4.6	0.8	13	6.8	0	3.8	1.8
7	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36	
	2.2	3.2	1.6	2.8	-1	-0.4	2.4	2.2	1.8	1	4.8	-2.6	-6	-1.2	-6.4		
	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
12.6	-13	9.2	6	-5.8	0	13	4.8	-3	18	12.4	-6.8	-0.6	14.2	6	3.4	1	0.8
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36	
	2.6	4.4	-7.6	2	-1.4	-1.4	-0.6	0	1.8	1.6	0.6	1.6	-0.4	-0.6	0.8	-9.2	
	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
	18.2	8.4	-0.8	-2	-2.4	22.6	-4	-7.8	6.4	10.8	-3	-5	10.4	-7.4	-2.4	4.6	-3.4
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36	
	0.8	1.6	-4.8	1	1.6	2.4	-3	-1	0.2	-1.6	-6.6	2.6	-1.6	5.8	-2	-7.4	

[0132]

[0133] (단위: mλ)

[0134] 스텝 S1010에서는, 투영 광학계의 수차에 대한 파라미터(수차 파라미터)로서, 초기 수차량으로부터 조정되어야 할 수차량을 나타내는 파라미터(수차 조정 파라미터)가 설정된다. 본 실시예에서는, 화상 높이 코마(coma) 수차에 대한 화상 높이 코마 수차 조정 파라미터 P1, 구면 수차에 대한 구면 수차 조정 파라미터 P2, 상면 만곡(field curvature) 수차에 대한 상면 만곡 수차 조정 파라미터 P3이 수차 조정 파라미터로서 설정된다. 이들 수차 조정 파라미터의 값에 대응하는 수차량은 투영 광학계를 구성하는 광학 소자를 광축 방향으로 이동시킴으로써 발생될 수 있다. 따라서, 수차 조정 파라미터는 투영 광학계를 구성하는 광학 소자의 광축 방향의 이동량(구동량)도 나타낸다.

[0135] 또한, 발생된 수차량 ΔC7 및 ΔC9와, 화상면 폭 ΔZdef는, 표 5에 나타난 바와 같이, 투영 광학계의 광축으로부터의 거리 h(mm)(화상 높이)의 함수로서 표현된다.

[0136] [표 5]

	P1(μm)	P2(μm)	P3(μm)
ΔC7 (mλ)	1 x (h/13)	-0.003 x (h/13)	-0.018 x (h/13) ³ +0.011 x (h/13)
ΔC9 (mλ)	0.019 x (h/13) ²	1	-0.005 x (h/13) ²
ΔZdef (nm)	0	0	1 x (h/13) ²

[0137]

[0138] 수차 조정 파라미터 P1, P2 및 P3이 설정되면, 각 화상 높이에서의 수차 조정량이 얻어질 수 있다.

[0139] 본 실시예에서는, 수차 조정 파라미터는, 투영 광학계를 구성하는 광학 소자의 광축 방향의 이동량을 나타낸다. 하지만, 수차 조정 파라미터는, 예를 들어, 투영 광학계를 구성하는 광학 소자의 편심(eccentricity) 및 틸트(tilt), 스테이지의 이동량, 또는 조명 광학계를 구성하는 광학 소자의 구동량을 나타낼 수도 있다.

[0140] 또한, 수차 조정 파라미터는 각각의 개별 노광 장치마다에서 다른 값을 갖는다. 따라서, 다양한 노광 장치에 선택 및 적용될 수 있도록, 각각의 노광 장치에 대해서 파라미터 감도 테이블의 데이터베이스를 생성하는 것이 바람직하다.

[0141] 본 실시예에서는, 수차 조정 파라미터 P1, P2 및 P3에 대하여 이하의 수차량의 조정 범위를 한정한다.

[0142] $-50 \leq P1 \leq 50(\mu m)$

[0143] $-50 \leq P2 \leq 50(\mu m)$

- [0144] $-50 \leq P3 \leq 50 (\mu m)$
- [0145] 스텝 S1012에서는, 투영 광학계의 화상면에 형성되는 마스크 패턴의 광학 화상을 평가하기 위한 평가 위치를 투영 광학계의 화상면에 설정한다. 본 실시예에서는, 도 11에 나타난 바와 같이, 라인-앤드-스페이스 패턴 LSP4, LSP5 및 LSP6의 각각의 라인 패턴의 중앙에 대응하는 투영 광학계의 화상면의 위치에 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3을 설정한다.
- [0146] 스텝 S1014에서는, 스텝 S1012에서 설정한 평가 위치에 각각 형성되는 마스크 패턴의 광학 화상(그 화상 성능)을 기관(투영 광학계의 화상면)에 형성해야 할 타깃 패턴과 비교해서 평가하기 위한 평가 기준을 설정한다. 본 실시예에서 설정되는 평가 기준을 구체적으로 설명한다. 우선, 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3의 각각에 형성되는 광학 화상의 타깃 선 폭(목표값)을 모두 50nm로 설정한다. 본 실시예에서는, 마스크 패턴의 광학 화상의 치수와 타깃 패턴의 치수 사이의 차(CD차)의 RMS를 평가 기준으로서 설정한다. 5개의 화상 높이:(-12.6, 0), (-7, 0), (0, 0), (7, 0) 및 (12.6, 0)에 대해, 디포커스량을 0, $\pm 20nm$, $\pm 40nm$ 로 변화시키면서 CD 차를 구한다는 점에 유의한다.
- [0147] 본 실시예에서는, 각각의 라인-앤드-스페이스 패턴의 라인 패턴의 중앙에 대응하는 투영 광학계의 화상면의 위치에 평가 위치를 설정하고, 이러한 평가 위치에서의 CD차를 평가 기준으로서 설정한다. 그러나, 평가 위치 및 평가 기준은 이에 한정되지 않는다. 예를 들어, 라인-앤드-스페이스 패턴의 최단부의 라인 패턴에 대응하는 투영 광학계의 화상면에도 평가 위치를 설정할 수 있고, 이러한 라인-앤드-스페이스 패턴의 중앙의 라인 패턴과 최단부의 라인 패턴에서 공통인 CD차를 평가 기준으로서 설정할 수 있다. 또한, 개별 화상 높이마다 다른 패턴을 설정할 수 있고, 이러한 패턴의 타깃 선 폭으로부터의 CD차를 평가 기준으로서 설정할 수 있다. 평가 기준은 CD차로 한정되는 것은 아니며, 초점 심도, 마스크 패턴의 광학 화상의 노광 마진, 마스크 패턴의 광학 화상의 콘트라스트 또는 마스크 패턴의 광학 화상의 ILS(Image Log Slope)일 수 있다. 또한, 투영 광학계의 화상면의 좌표를 평가 위치(평가 점)로서 설정할 수 있고, 이러한 좌표로부터의 광학 화상의 위치 오프셋(또한, 통상 "에지 플레이스먼트 에러"라고 지칭함)을 평가 기준으로서 설정할 수 있다.
- [0148] 스텝 S1016에서는, 조명 파라미터의 값 및 수차 조정 파라미터를 최적화하고, 노광 조건, 즉, 유효 광원 형상 및 투영 광학계의 수차를 결정한다. 우선, 스텝 S1012에서 설정한 각각의 평가 위치에 형성되는 마스크 패턴의 광학 화상이 스텝 S1014에서 설정한 평가 기준을 만족시키도록, 조명 파라미터의 값과 수차 조정 파라미터의 값이 결정된다. 그리고, 결정한 조명 파라미터의 값 및 수차 조정 파라미터의 값의 각각에 의해 규정되는 유효 광원 형상 및 투영 광학계의 수차(초기 수차량으로부터 조정해야 할 수차량)를 노광 조건으로서 결정한다.
- [0149] 본 실시예에서는, 상술한 바와 같이 독립적인 6개의 파라미터: 조명 파라미터 S1, S2 및 S3과 수차 조정 파라미터 P1, P2 및 P3이 설정된다. 이들 파라미터를 모두 포함하는 파라미터 공간이 구성되고, 이들 파라미터의 값은 다운힐 심플렉스 방식을 이용하여 이러한 파라미터 공간에서 최적화한다. 구체적으로는, 각 파라미터의 값을 변화시키면서 마스크 패턴의 광학 화상을 산출해서, 평가 위치에서의 CD차의 RMS(평가 기준)를 취득하고, CD차의 RMS가 가능한 한 작아지도록 이들 파라미터의 값을 최적화한다.
- [0150] 본 실시예에서 최적화하기 전의 각 파라미터 S1, S2, S3, P1, P2 및 P3의 값을 파라미터 그룹 5에 나타낸다.
- [0151] (파라미터 그룹 5)
- [0152] $S1=0.950$
- [0153] $S2=0.713$
- [0154] $S3=45(^{\circ})$
- [0155] $P1=0$
- [0156] $P2=0$
- [0157] $P3=0$
- [0158] 도 12a 및 도 12b는 본 실시예에서 최적화하기 전의 파라미터(파라미터 그룹 5)에 대응하고, 투영 광학계의 화상면에 형성되는 광학 화상의 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에서의 화상 성능 특성을 도시하는 그래프이다. 도 12a에서는 횡축에 기준 초점 위치로부터의 디포커스량을 나타내고, 종축에 광학 화상의 선 폭을 나타낸다. 도 12a에서는 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에서의 선 폭의 플롯을 나타내고, 각각의 플롯을 형성하는 점을 직선으로 서로 연결한다. 또한, 도 12b에서는 횡축에 기준 초점 위치로부터의 디포커스량을 나타내고, 종축에 CD차를

나타낸다. 도 12b에서는 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에서의 CD차의 플롯을 나타내고, 각각의 플롯을 형성하는 점을 직선으로 서로 연결한다. 도 12a 및 도 12b를 참조하면, 디포커스량 0, $\pm 20\text{nm}$ 및 $\pm 40\text{nm}$ 에서의 CD차의 RMS는 모두 7.1nm 이다.

본 실시예에서, 최적화된 각 파라미터 S1, S2, S3, P1, P2 및 P3의 값을 파라미터 그룹 6에 나타낸다.

(파라미터 그룹 6)

S1=0.910

S2=0.663

S3=45($^{\circ}$)

P1=-15.6

P2=-16.6

P3=9.3

또한, 각각의 화상 높이에 대한 수차 세트는 표 6에 나타낸다.

[표 6]

	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	zdef
-126	18.2	24.2	4.2	4.9	2.6	0.8	0.8	0.4	6.2	-0.8	-15.2	-0.8	17.0	4.4	-1.6	-3.4	-0.4	8.7
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36		
	3.0	-2.0	-3.0	0.5	-1.0	-7.8	3.4	6.6	2.0	-3.0	-4.2	-1.2	-2.6	3.0	-2.8	-6.4		
-7	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	zdef
	-11.8	11.4	-3.2	-1.0	-2.8	-12.0	4.0	-1.8	9.6	0.0	-13.8	-0.6	16.6	6.0	0.4	-0.2	1.2	2.7
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36		
0	1.8	4.0	-5.6	1.6	-1.2	-3.4	3.2	2.6	5.8	-1.6	2.0	1.8	-2.0	1.4	-1.4	-6.6		
	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	zdef
	3.0	14.0	2.8	-4.6	0.6	1.8	3.4	-5.6	9.0	5.6	4.6	0.8	13.0	6.8	0.0	3.8	1.8	0.0
7	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36		
	2.2	3.2	1.6	2.8	-1.0	-0.4	-0.4	2.4	2.2	1.8	1.0	4.8	-2.6	-6.0	-1.2	-6.4		
	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	zdef
126	-13.4	9.2	6.0	-14.2	0.0	-3.6	4.8	-3.0	18.0	12.4	-6.8	-0.6	14.2	6.0	3.4	1.0	0.8	2.7
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36		
	2.6	4.4	-7.6	2.0	-1.4	-0.6	0.0	1.8	1.6	0.6	1.6	-0.4	-0.6	0.8	-9.2			
126	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	zdef
	18.2	8.4	-0.8	-17.1	-2.4	6.0	-4.0	-7.8	6.4	10.8	-3.0	-5.0	10.4	-7.4	-2.4	4.6	-3.4	8.7
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36		
	0.8	1.6	-4.8	1.0	1.6	2.4	-3.0	-1.0	0.2	-1.6	-6.6	2.6	-1.6	5.8	-2.0	-7.4		

(단위: mλ)

도 13a 및 도 13b는 본 실시예에서 최적화한 각 파라미터(파라미터 그룹 6)에 대응하는, 투영 광학계의 화상면에 형성되는 광학 화상의 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에서의 화상 성능 특성을 도시하는 그래프이다. 도 13a에서는 횡축에 기준 초점 위치로부터의 디포커스량을 나타내고, 종축에 각 광학 화상의 선 폭을 나타낸다. 도 13a에서는 평가 위치 Bar1 내지 Bar2 및 Bar3에서의 선 폭의 플롯을 나타내고 각 플롯을 형성하는 점을 직선으로 서로 연결한다. 또한, 도 13b에서는 횡축에 기준 초점 위치로부터의 디포커스량을 나타내고, 종축에 CD차를 나타낸다. 도 13b에서는 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에서의 CD차의 플롯을 나타내고 각각의 플롯을 형성하는 점을 직선으로 서로 연결한다. 도 13a 및 도 13b를 참조하면, 디포커스량 0, $\pm 20\text{nm}$ 및 $\pm 40\text{nm}$ 에서의 CD차의 RMS는 모두 1.5nm 이다. 도 13a 및 도 13b에서 알 수 있는 바와 같이, 모든 광학성의 높이 및 모든 디포커스량에 대한 마스크 패턴의 광학 화상의 선 폭은, 각 파라미터 S1, S2, S3, P1, P2 및 P3의 값을 최적화하기 전의 타깃 선 폭보다 최적화한 후의 타깃 선 폭에 근접한다.

제3 비교예로서, 수차 조정 파라미터 P1, P2 및 P3의 값을 변화시키지 않고(즉, 투영 광학계의 수차를 고려하지 않고), 조명 파라미터 S1, S2 및 S3을 최적화하는 경우를 고려한다. 구체적으로는, 도 10에 나타난 흐름도에서, 스텝 S1010에서는 수차 조정 파라미터를 설정하지 않는다(즉, 수차 조정 파라미터 P1, P2 및 P3의 값을 0으로 고정). 제3 비교예에서 최적화된 조명 파라미터 S1, S2 및 S3의 값은 파라미터 그룹 7에 나타낸다.

(파라미터 그룹 7)

S1=0.958

S2=0.694

S3=73($^{\circ}$)

[0177] P1=0

[0178] P2=0

[0179] P3=0

[0180] 도 14a 및 도 14b는 제3 비교예에서 최적화한 파라미터(파라미터 그룹 7)에 대응하는, 투영 광학계의 화상면에 형성되는 광학 화상의 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에서의 화상 성능 특성을 도시하는 그래프이다. 도 14a에서는, 횡축에 기준 초점 위치로부터의 디포커스량을 나타내고, 종축에 광학 화상의 광학 화상의 선 폭을 나타낸다. 도 14a에서는, 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에서의 선 폭의 플롯을 나타내고, 각 플롯을 형성하는 점을 직선으로 서로 연결한다. 또한, 도 14b에서는, 횡축에 기준 초점 위치로부터의 디포커스량을 나타내고, 종축에 CD차를 나타낸다. 도 14b에서는, 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에서의 CD차의 플롯을 나타내고 각 플롯을 형성하는 점을 직선으로 서로 연결한다. 도 14a 및 도 14b를 참조하면, 디포커스량 0, $\pm 20\text{nm}$ 및 $\pm 40\text{nm}$ 에서의 CD차의 RMS는 모두 1.66nm이다. 이는, 화상 높이에서의 변화가 본 실시예(도 13b)에 비해 제3 비교예(도 14b)에서 크다는 것을 나타낸다.

[0181] 이와 같이, 노광 조건의 최적화에 있어서, 유효 광원 형상이나 마스크 패턴과 마찬가지로, 투영 광학계의 수차(초기 수차량으로부터 조정해야 할 수차량)도 최적화의 타겟으로서 한정하는 것이 마스크 패턴의 광학 화상의 화상 성능을 향상시키는데 효과적이다.

[0182] 또한, 제4 비교예로서 조명 파라미터 S1, S2 및 S3의 값을 변화시키지 않고(즉, 유효 광원을 고정), 수차 조정 파라미터 P1, P2 및 P3을 최적화하는 경우를 고려할 수 있다. 구체적으로는, 도 10에 나타난 흐름도에서, 스텝 S1006에서는, 조명 파라미터를 설정하지 않는다(즉, 조명 파라미터 S1, S2 및 S3의 값을 각각 0.950, 0.75 및 0.73으로 고정). 제4 비교예에서 최적화된 수차 조정 파라미터 P1, P2 및 P3의 값을 파라미터 그룹 8에 나타낸다.

[0183] (파라미터 그룹 8)

[0184] S1=0.950

[0185] S2=0.713

[0186] S3=73($^{\circ}$)

[0187] P1=0

[0188] P2=0

[0189] P3=0

[0190] 또한, 각각의 화상 높이에 대한 수차 세트는 표 7에 나타낸다.

[0191] [표 7]

	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	zdef
-12.6	18.2	24.2	4.2	-25.8	2.6	0.0	0.8	0.4	6.2	-0.8	-15.2	-0.8	17.0	4.4	-1.6	-3.4	-0.4	10.0
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36		
	3.0	-2.0	-3.0	0.6	-1.0	-7.8	3.4	6.6	2.0	-3.0	-4.2	-1.2	-2.6	3.0	-2.8	-6.4		
-7.0	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	zdef
	-11.8	11.4	-3.2	-17.9	-2.8	-12.8	4.0	-1.8	9.6	0.0	-13.8	-0.6	16.6	6.0	0.4	-0.2	1.2	3.1
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36		
0.0	1.8	4.0	-5.6	1.6	-1.2	-3.4	3.2	2.6	5.8	-1.6	2.0	1.8	-2.0	1.4	-1.4	-8.6		
	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	zdef
	3.0	14.0	2.8	-4.6	0.6	1.0	3.4	-5.6	9.0	5.6	4.6	0.8	13.0	6.8	0.0	3.8	1.8	0.0
7.0	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36		
	2.2	3.2	1.6	2.8	-1.0	-0.4	-0.4	2.4	2.2	1.8	1.0	4.8	-2.6	-6.0	-1.2	-6.4		
	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	zdef
12.6	-13.4	9.2	6.0	2.7	0.0	-4.4	4.8	-3.0	18.0	12.4	-6.8	-0.6	14.2	6.0	3.4	1.0	0.8	3.1
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36		
	2.6	4.4	-7.6	2.0	-1.4	-1.4	-0.6	0.0	1.8	1.6	0.6	1.6	-0.4	-0.6	0.8	-9.2		
	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	zdef
	18.2	8.4	-0.8	13.4	-2.4	5.2	-4.0	-7.8	6.4	10.8	-3.0	-5.0	10.4	-7.4	-2.4	4.6	-3.4	10.0
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36		
	0.8	1.6	-4.8	1.0	1.6	2.4	-3.0	-1.0	0.2	-1.6	-6.6	2.6	-1.6	5.8	-2.0	-7.4		

[0192] (단위: mλ)

[0194] 도 15a 및 도 15b는 제4 비교예에서 최적화한 파라미터(파라미터 그룹 8)에 대응하는, 투영 광학계의 화상면에 형성되는 광학 화상의, 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에서의 각각의 화상 성능 특성을 도시하는 그래프이다. 도 15a에서는, 횡축에 기준 초점 위치로부터의 디포커스량을 나타내고, 종축에 각 광학 화상의 선 폭을 나타낸다.

다. 도 15a에서는, 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에서의 선 폭의 플롯을 나타내고, 각 플롯을 형성하는 점을 직선으로 서로 연결하였다. 또한, 도 15b에서는 황축에 기준 초점 위치로부터의 디포커스량을 나타내고, 종축에 CD차를 나타낸다. 도 15b에서는, 평가 위치 Bar1, Bar2 및 Bar3에서의 CD차의 플롯을 나타내고, 각 플롯을 형성하는 점을 직선으로 서로 연결하였다. 도 15a 및 도 15b를 참조하면, 디포커스량 0, $\pm 20\text{nm}$ 및 $\pm 40\text{nm}$ 에서의 CD차의 RMS는 모두 3.2nm이다. 이로부터, 본 실시예에서 최적화하기 전(도 12b)보다 제4 비교예(도 14b)에서 화상 높이 중의 CD차가 작게 유지되는 것을 알 수 있다.

[0195] 이와 같이, 공지된 수차를 입력해서 유효 광원 형상을 최적화하는 종래 기술은, 유효 광원의 형상 및 투영 광학계의 수차를 동시에 모두 최적화하는 본 실시예와 비교하여 마스크 패턴의 광학 화상의 화상 성능을 향상시킬 수 없다. 그러나, 투영 광학계의 수차(수차 조정 파라미터의 값)만을 최적화할 때(제4 비교예)에는, 디포커스량의 변화에 대하여 CD차가 비교적 커지게 된다. 본 실시예(도 13a 및 도 13b), 제3 비교예(도 14a 및 도 14b) 및 제4 비교예(도 15a 및 도 15b) 간의 비교로부터 알 수 있는 바와 같이, 유효 광원 형상 및 투영 광학계의 수차를 동시에 최적화함으로써 가장 우수한 화상 성능을 갖는 광학 화상을 형성할 수 있다.

[0196] 또한, 본 실시예에서는, 투영 광학계에 설정할 수차량을 나타내는 파라미터를 이용하는 대신에, 투영 광학계에 설정된 초기 수차량으로부터 조정되어야 할 수차량(투영 광학계를 형성하는 광학 소자의 구동량)을 나타내는 수차 조정 파라미터를 수차 파라미터로서 이용한다. 이에 의해, 최적화된 수차 조정 파라미터 P1, P2 및 P3을 투영 광학계에 구비된 수차 조정 기구에 입력하는 지령(수차 조정 지령)으로서 이용할 수 있게 된다.

[0197] 본 실시예에서는, 유효 광원의 형상 및 투영 광학계의 수차를 최적화의 타겟으로서 한정하지만, 마스크 패턴(마스크 파라미터 M1, M2 및 M3)도 최적화의 타겟으로서 한정될 수 있다.

[0198] 제1 실시예, 제2 실시예 및 제3 실시예는 이하의 처리를 실행함으로써도 실현될 수 있다. 즉, 상술한 실시예의 기능을 실현하는 소프트웨어(프로그램)를 네트워크 또는 각 기억 매체를 통해서 시스템 또는 장치에 공급하고, 그 시스템 또는 장치의 컴퓨터(예를 들어, CPU 또는 MPU)에 의해 관독해서 실행된다. 이 경우, 프로그램 및 이러한 프로그램을 기억하는 기억 매체는 본 발명을 구성한다.

[0199] <제4 실시예>

[0200] 도 16을 참조하여, 조명 광학계로부터의 광으로 조명된 마스크 패턴을 웨이퍼에 전사하는 노광 장치(100)에 대해서 설명한다. 도 16은 노광 장치(100)의 구성을 도시하는 개략 블록도이다. 노광 장치(100)는 본 실시예에서는 스텝 앤드 스캔 방식의 노광 장치이지만, 스텝 앤드 리피트 방식이나 다른 노광 방식도 적용할 수 있다.

[0201] 노광 장치(100)는 조명 장치(110), 마스크(120)를 지지하는 마스크 스테이지(도시 안함), 투영 광학계(130), 웨이퍼(140)를 지지하는 웨이퍼 스테이지(도시 안함)를 포함한다.

[0202] 조명 장치(110)는 광원(160) 및 조명 광학계(180)를 포함하고, 전사용 회로 패턴이 형성된 마스크(120)를 조명한다. 광원(160)은 예를 들어, 파장 약 193nm의 ArF 엑시머 레이저, 파장 약 248nm의 KrF 엑시머 레이저 등의 엑시머 레이저를 사용한다. 그러나, 광원(160)의 종류 및 개수는 특정한 예로 한정되지 않고, 예를 들어, 파장 약 157nm의 F₂ 레이저 또는 협대역 수은 램프가 광원(160)으로서 사용될 수 있다. 조명 광학계(180)는 광원(160)으로부터의 광으로 마스크(120)를 조명하고, 제1 실시예, 제2 실시예 또는 제3 실시예의 결정 방법에 의해 결정된 유효 광원을 형성한다. 조명 광학계(180)는 주회 광학계(routing optical system)(181), 빔 정형 광학계(182), 편광 제어 유닛(183), 위상 제어 유닛(184), 사출 각도 제어 광학 소자(185), 릴레이 광학계(186), 다중 광속 발생 유닛(187)을 포함한다. 또한, 조명 광학계(180)는 편광 상태 조정 유닛(188), 컴퓨터 생성 홀로그램(189), 릴레이 광학계(190), 개구(191), 줌 광학계(192), 다중 광속 발생 유닛(193), 개구 조리개(194), 조사 유닛(195)을 포함한다.

[0203] 주회 광학계(181)는 광원(160)으로부터의 광을 편향해서 빔 정형 광학계(182)로 도광한다. 빔 정형 광학계(182)는 광원(160)으로부터의 광의 단면 형상의 종횡비율(aspect ratio)을 소정의 값으로 변환(예를 들어, 단면 형상을 직사각형에서 정방형으로 변환)한다. 빔 정형 광학계(182)는 다중 광속 발생 유닛(187)을 조명하기 위해서 필요한 크기 및 발산각을 갖는 광속을 형성한다.

[0204] 편광 제어 유닛(183)은 예를 들어 직선 편광자로 구성되고, 불필요한 편광 성분을 제거하는 기능을 갖는다. 편광 제어 유닛(183)을 이용하여 제거(차광)되는 편광 성분을 최소한으로 함으로써 광원(160)으로부터의 광을 효율적으로 소정의 직선 편광으로 변환할 수 있다. 위상 제어 유닛(184)은 편광 제어 유닛(183)에 의해 직선 편광이 된 광에 $\lambda/4$ 의 위상차를 부여해서 원편광으로 변환한다. 사출 각도 제어 광학 소자(185)는 예를 들어,

광학 적분기(예를 들어, 복수의 마이크로렌즈 또는 섬유로 형성된 플라이-아이 렌즈)로 구성되고, 소정의 발산 각도로 광을 사출한다. 릴레이 광학계(186)는 사출 각도 제어 광학 소자(185)로부터 사출된 광을 다중 광속 발생 유닛(187)에 집광한다. 사출 각도 제어 광학 소자(185)의 사출면과 다중 광속 발생 유닛(187)의 입사면은 릴레이 광학계(186)를 통해 서로 푸리에 변환의 관계(각각 물체면과 동공면의 관계, 또는 동공면과 화상면의 관계)로 배열된다. 다중 광속 발생 유닛(187)은 편광 상태 조정 유닛(188) 및 컴퓨터 생성 홀로그램(189)을 균일하게 조명하기 위한 광학 적분기로 구성된다. 다중 광속 발생 유닛(187)의 사출면에는, 복수의 점 광원에 의해 2차 광원이 형성된다. 다중 광속 발생 유닛(187)으로부터 사출된 광은, 원편광으로서 편광 상태 조정 유닛(188)으로 입사한다.

[0205] 편광 상태 조정 유닛(188)은 위상 제어 유닛(184)에 의해 원편광이 된 광에 $\lambda/4$ 의 위상차를 부여해서 소정의 편광 방향을 갖는 직선 편광으로 변환한다. 편광 상태 조정 유닛(188)으로부터 사출된 광은 직선 편광으로서, 회절 광학 소자로 기능하는 컴퓨터 생성 홀로그램(189)에 입사한다. 본 실시예에서 편광 상태 조정 유닛(188)은 컴퓨터 생성 홀로그램(189)보다 광원측에 배치되지만, 편광 상태 조정 유닛(188)과 컴퓨터 생성 홀로그램(189)은 서로 교체될 수 있다. 또한, 편광 상태 조정 유닛(188)은 SWS(Sub-Wavelength Structure)로 구성된 경우, 1개의 소자가 편광 상태 조정 유닛과 회절 광학 소자의 기능을 가질 수 있다(즉, 편광 상태 조정 유닛(188)은 회절 광학 소자와 일체식으로 형성된다).

[0206] 컴퓨터 생성 홀로그램(189)은 릴레이 광학계(190)를 통하여, 개구(191)의 위치에서 제1 실시예, 제2 실시예 또는 제3 실시예의 결정 방법에 따라 결정된 유효 광원(광 강도 분포)을 형성한다. 또한, 컴퓨터 생성 홀로그램(189)은 환형 조명 또는 4중극 조명을 형성할 수 있고, 편광 상태 조정 유닛(188)과 협동하여 예를 들어 탄젠셜 편광이나 레이디얼 편광을 실현할 수 있다. 이 경우와 같이, 서로 다른 유효 광원을 형성하는 복수의 컴퓨터 생성 홀로그램(189)은, 예를 들어 터렛 등의 스위치 유닛에 배치된다. 제1 실시예, 제2 실시예 또는 제3 실시예의 결정 방법에 따라 결정된 유효 광원에 대응하는 컴퓨터 생성 홀로그램(189)을 조명 광학계(180)의 광로에 배치함으로써, 다양한 유효 광원을 형성할 수 있다.

[0207] 개구(191)는 컴퓨터 생성 홀로그램(189)에 의해 형성된 유효 광원(광 강도 분포)만을 통과시키는 기능을 갖는다. 컴퓨터 생성 홀로그램(189)과 개구(191)는 푸리에 변환 관계로 배치된다. 줌 광학계(192)는 컴퓨터 생성 홀로그램(189)에 의해 형성된 유효 광원을 소정의 배율로 확대해서, 다중 광속 발생 유닛(193)에 투영한다. 다중 광속 발생 유닛(193)은 조명 광학계(180)의 동공면에 배치되고, 개구(191)의 위치에 형성된 광 강도 분포에 대응하는 광원상(유효 광원)을 사출면에 형성한다. 다중 광속 발생 유닛(193)은 본 실시예에서는, 플라이 아이 렌즈 또는 원통형 렌즈 어레이 등의 광학 적분기로 구성된다. 다중 광속 발생 유닛(193)의 사출면의 근방에는, 개구 조리개(194)가 배치된다는 점에 유의한다. 조사 유닛(195)은, 예를 들어 집광 광학계를 포함하고, 다중 광속 발생 유닛(193)의 사출면에 형성되는 유효 광원을 이용하여 마스크(120)를 조명한다.

[0208] 마스크(120)는 웨이퍼(140)에 전사되는 패턴을 갖는다. 노광 장치(100)의 노광 조건을 결정하는 결정 방법으로서 제1 실시예의 결정 방법이 이용되는 경우, 마스크(120)는 제1 실시예의 결정 방법에 따라 결정된 마스크 패턴에 대응하는 패턴을 웨이퍼(140)에 전사해야 할 패턴으로서 갖는다. 마스크(120)는 마스크 스테이지(도시 안함)에 의해 지지 및 구동된다. 마스크(120)에 의한 회절광은 투영 광학계(130)를 통해 웨이퍼(140)에 투영된다. 노광 장치(100)는 스텝 앤드 스캔 방식의 노광 장치이기 때문에, 이를 주사함으로써 웨이퍼(140) 상에 마스크(120)의 패턴을 전사한다.

[0209] 투영 광학계(130)는 마스크(120)의 패턴을 웨이퍼(140)에 투영한다. 또한, 투영 광학계(130)에는, 제1 실시예, 제2 실시예 또는 제3 실시예의 결정 방법에 따라 결정된 투영 광학계의 수차가 설정된다. 투영 광학계(130)는 굴절계, 반사 굴절계 또는 반사계를 사용할 수 있다.

[0210] 웨이퍼(140)는 마스크(120)의 패턴이 투영(전사)되는 기관이며, 웨이퍼 스테이지(도시 안함)에 지지 및 구동된다. 그러나, 웨이퍼(140)는 유리판 또는 다른 기관으로 치환될 수 있다. 웨이퍼(140)는 레지스트가 도포되어 있다.

[0211] 노광 시에, 광원(160)으로부터의 광은 조명 광학계(180)를 통해 마스크(120)를 조명한다. 마스크(120)의 패턴의 정보를 반영하는 광은 투영 광학계(130)를 통해 웨이퍼(140)에 결상된다. 이 때, 노광 장치(100)에는 상술한 바와 같이 제1 실시예, 제2 실시예 또는 제3 실시예의 결정 방법에 따라 결정된 노광 조건이 설정된다. 따라서, 노광 장치(100)는 높은 처리량과 높은 경제성을 갖고 고품질의 디바이스(예를 들어 반도체 소자, LCD 소자, 촬상 소자(예를 들어 CCD), 박막 자기 헤드)를 제공할 수 있다. 디바이스는 노광 장치(100)를 이용해서 포토레지스트(감광제)가 도포된 기관(예를 들어, 웨이퍼 또는 유리판)을 노광하는 공정과, 노광된 기관을 현상하

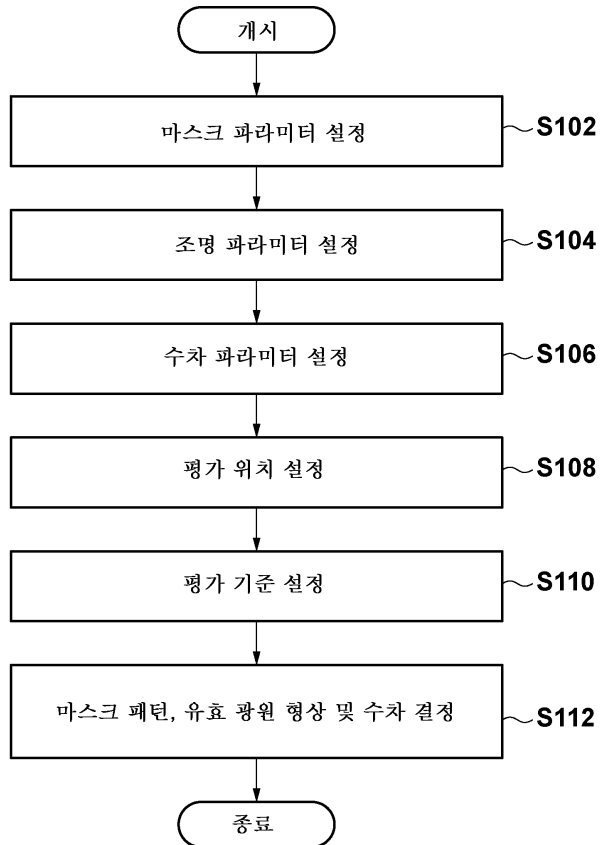
는 공정과, 그 밖의 주지의 공정을 통해 제조된다.

[0212]

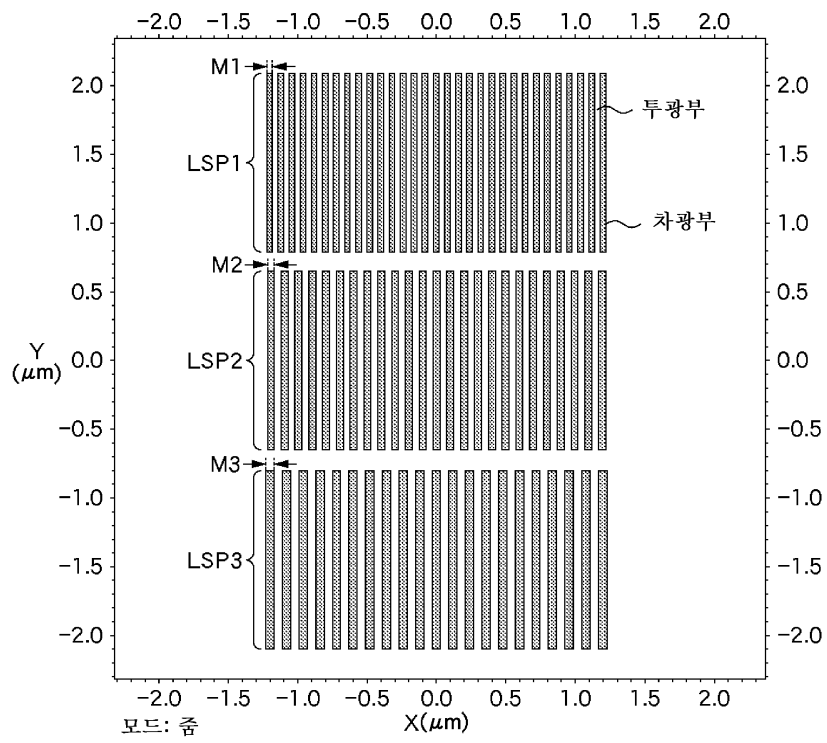
본 발명은 예시적인 실시예를 참조하여 설명하였지만, 본 발명은 개시된 예시적인 실시예로 제한되지 않는다는 점이 이해될 것이다. 이하의 청구범위의 범주는 이러한 모든 변경, 등가 구조 및 기능을 포함하도록 광의의 해석을 따라야 한다.

도면

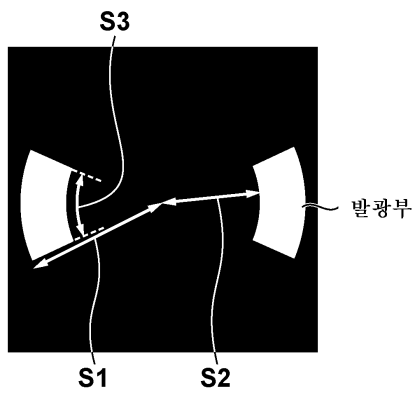
도면1



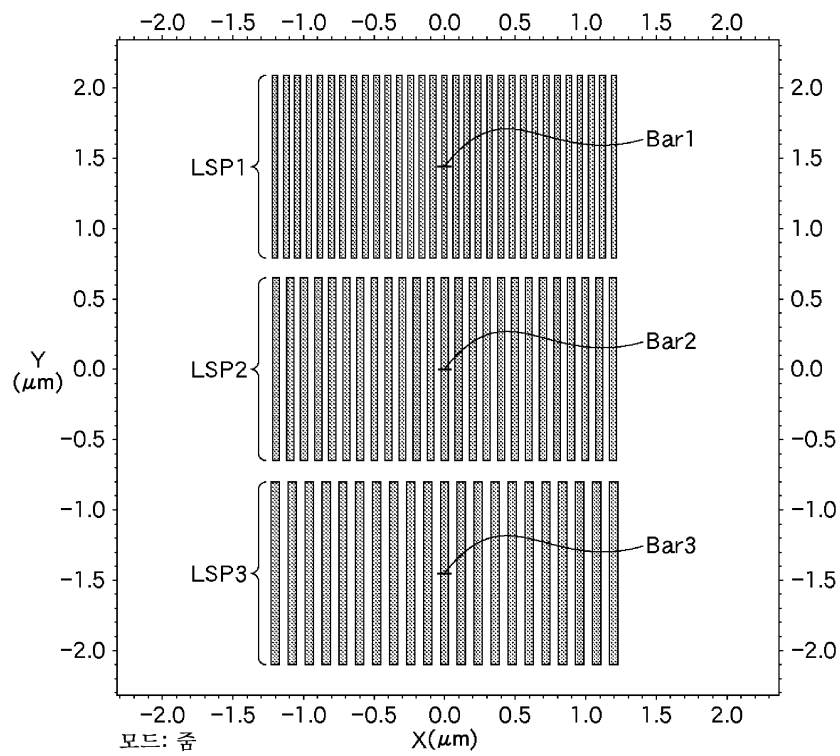
도면2



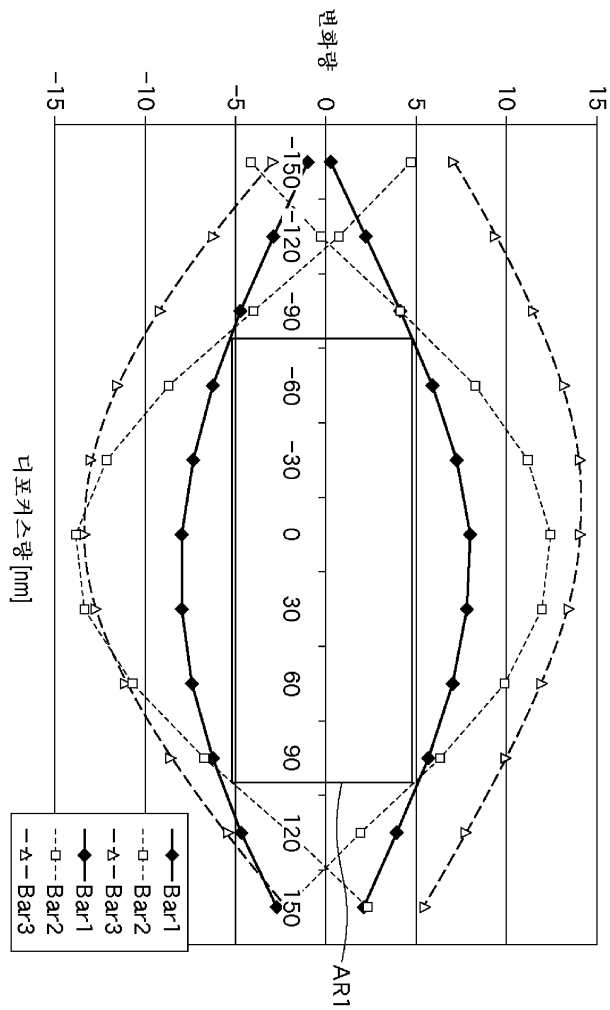
도면3



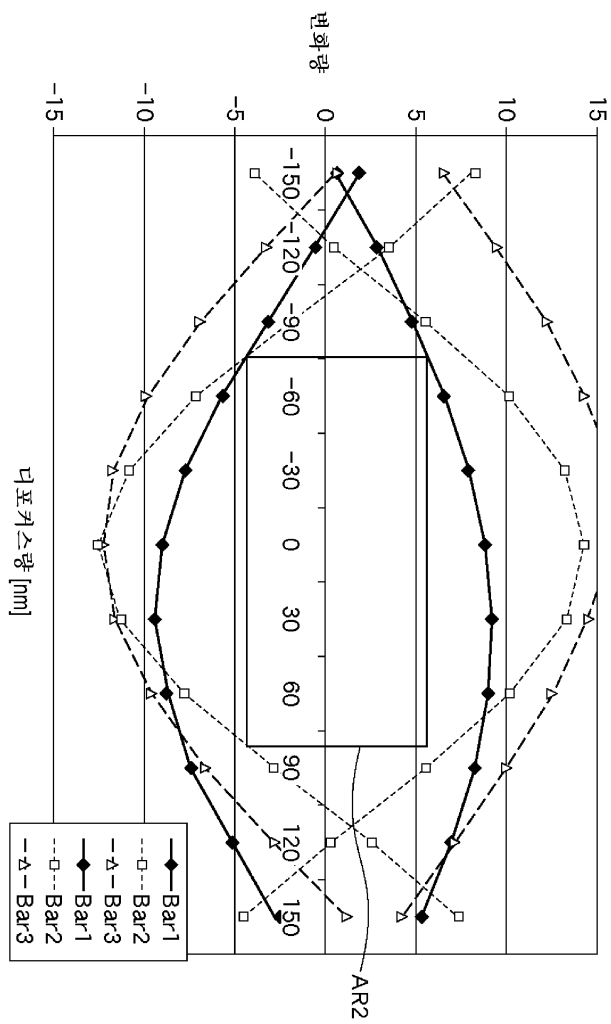
도면4



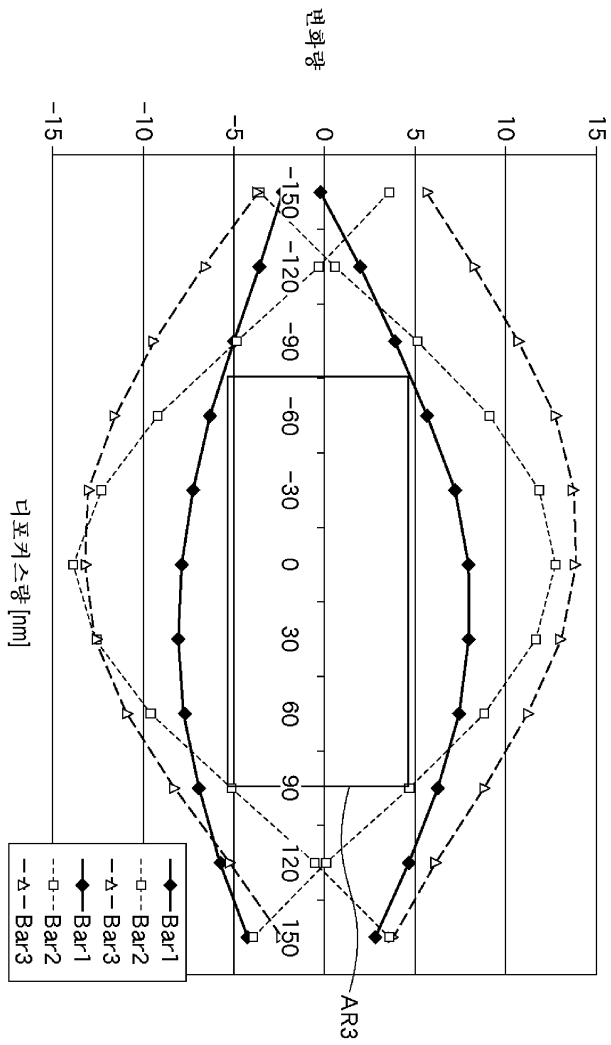
도면5



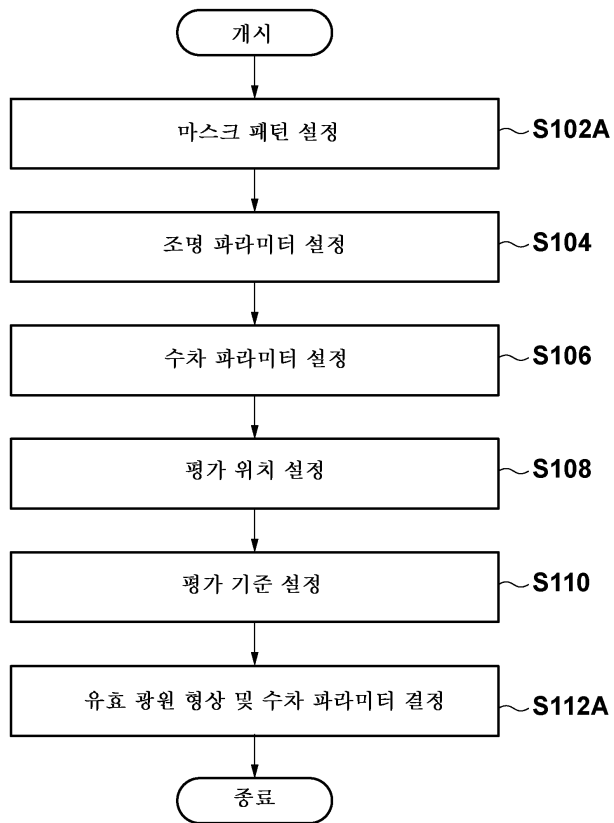
도면6



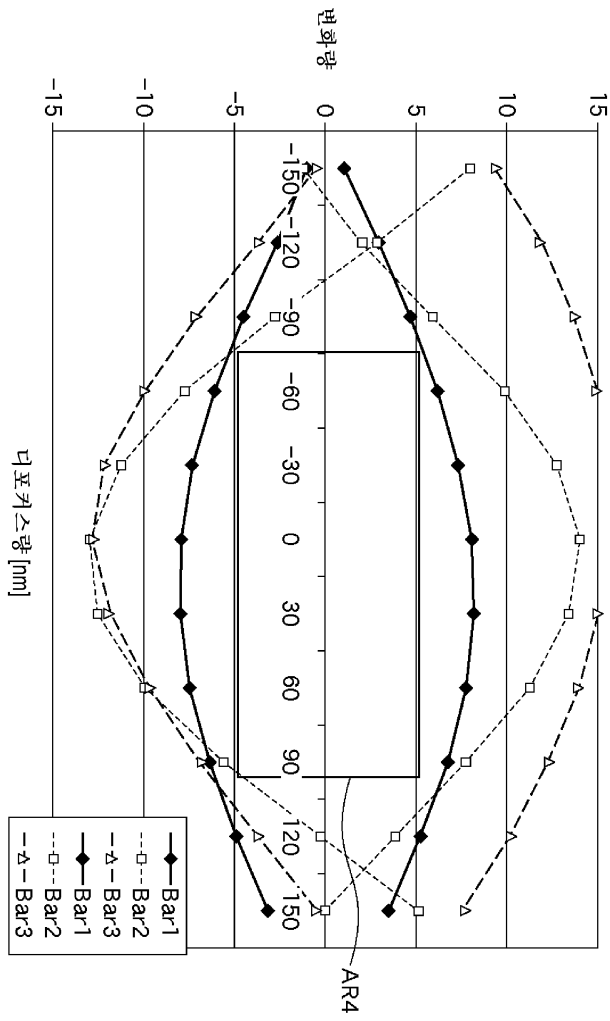
도면7



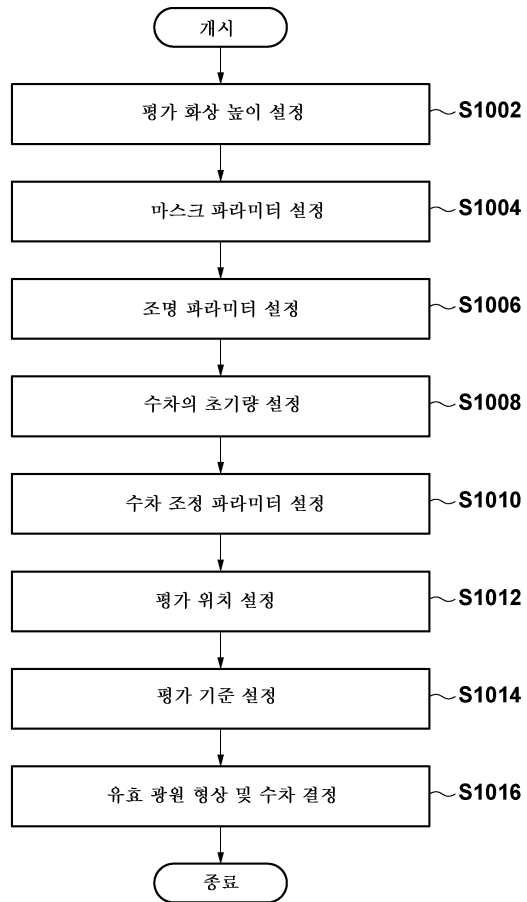
도면8



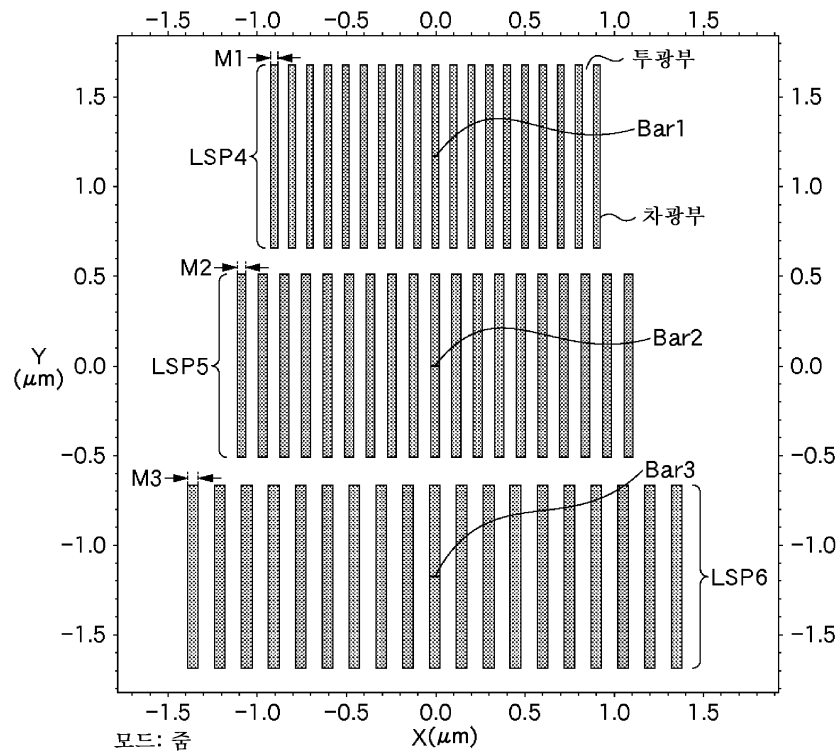
도면9



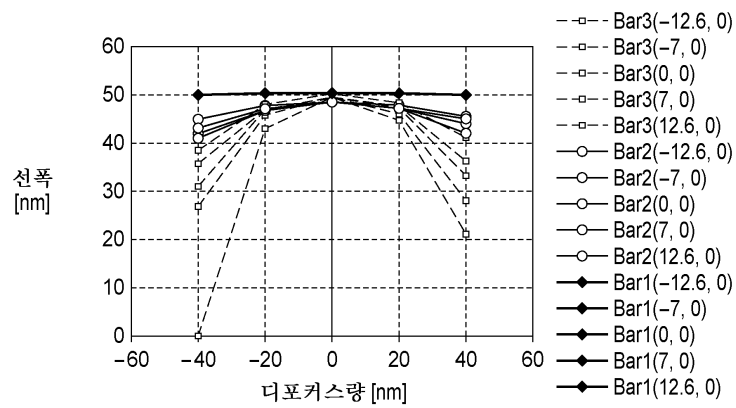
도면10



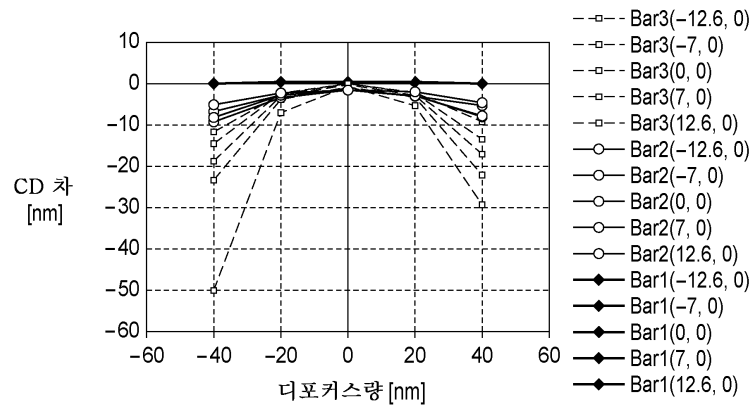
도면11



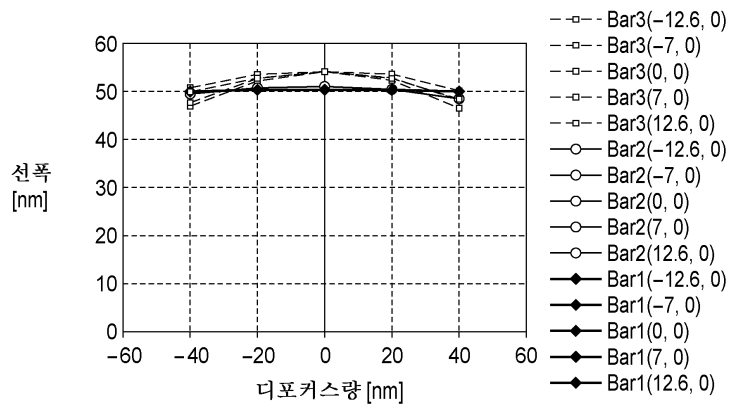
도면12a



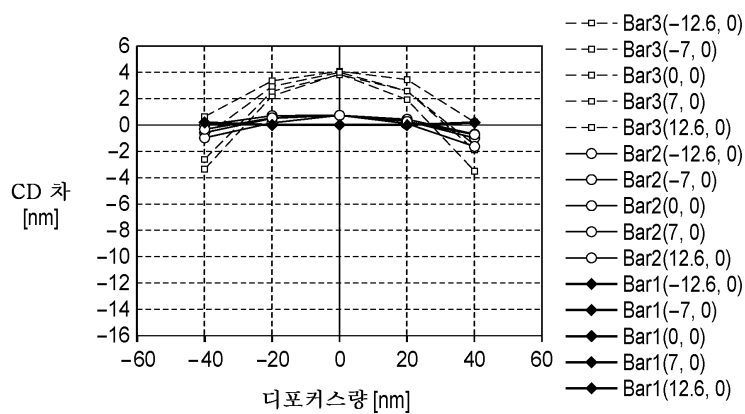
도면12b



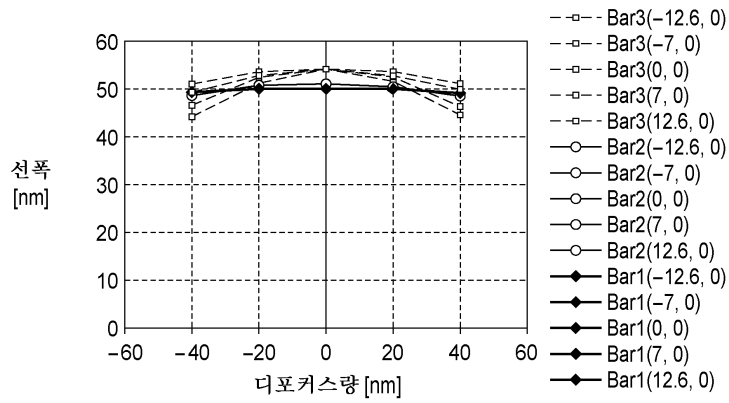
도면13a



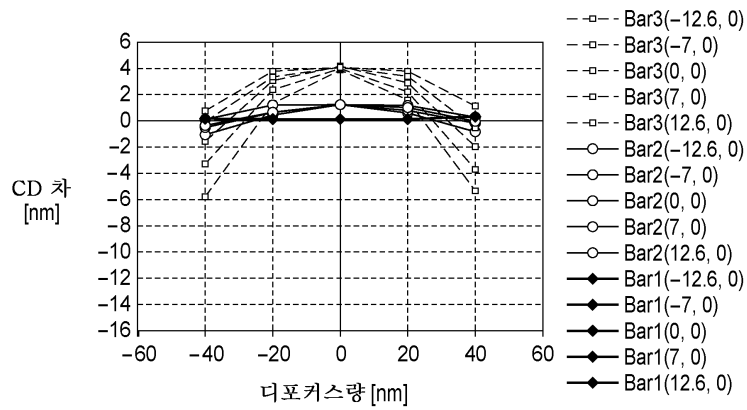
도면13b



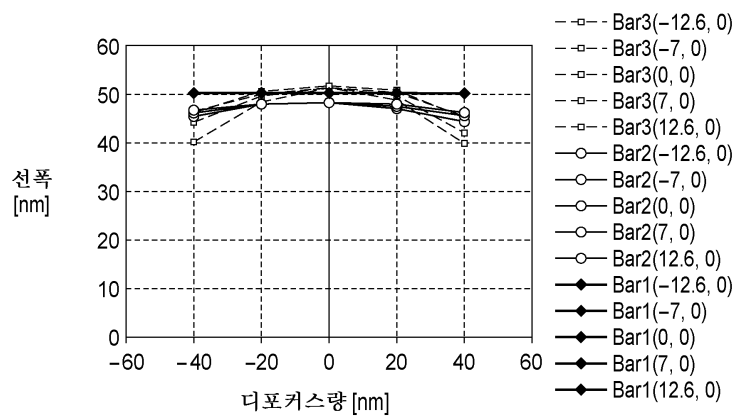
도면14a



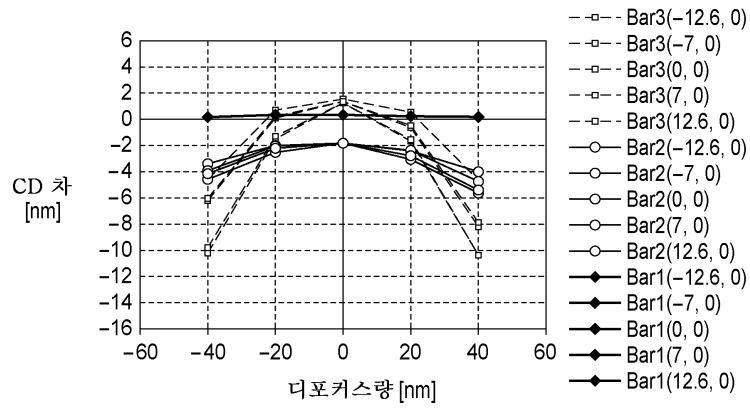
도면14b



도면15a



도면15b



도면16

