



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2009년09월22일
(11) 등록번호 10-0918335
(24) 등록일자 2009년09월14일

(51) Int. Cl.

H01L 21/027 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-7001660
(22) 출원일자 2005년06월22일
심사청구일자 2007년10월17일
(85) 번역문제출일자 2007년01월23일
(65) 공개번호 10-2007-0043979
(43) 공개일자 2007년04월26일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2005/011411
(87) 국제공개번호 WO 2006/001291
국제공개일자 2006년01월05일

(30) 우선권주장

JP-P-2004-00184657 2004년06월23일 일본(JP)

(56) 선행기술조사문현

WO2004046771 A1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문현

(73) 특허권자

가부시키가이샤 니콘

일본 도쿄도 지요다구 마루노우찌 3쵸메 2방 3고
캐논 가부시키가이샤

일본 도쿄도 오오따구 시모마루꼬 3쵸메 30방 2고

(72) 별명자

고마쓰다 히데키

일본 도쿄도 지요다구 마루노우치 3쵸메 2-3 가부
시키가이샤 니콘내

다카하시 도모와키

일본 도쿄도 지요다구 마루노우치 3쵸메 2-3 가부
시키가이샤 니콘내

스즈키 마사유키

일본 도쿄도 오타구 시모마루코 3쵸메 30-2 캐논
가부시키가이샤내

(74) 대리인

김창세

전체 청구항 수 : 총 5 항

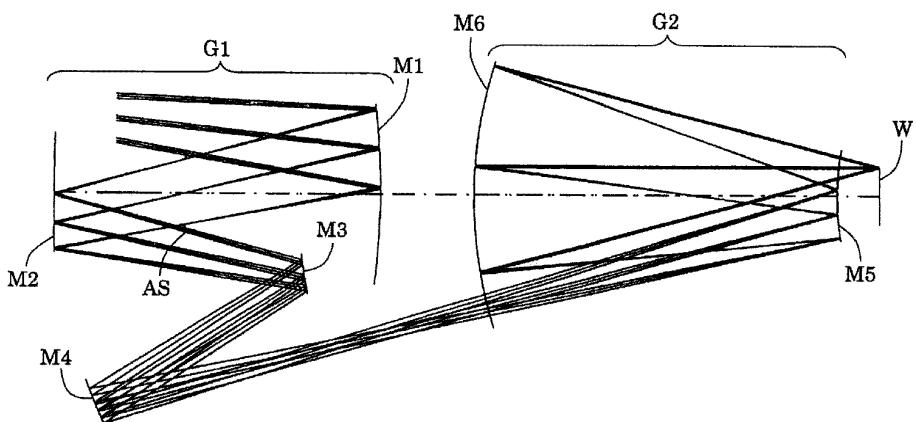
심사관 : 심병로

(54) 투영 노광 장치

(57) 요 약

시야 영역 및 결상 영역이 광축으로부터 떨어져 위치하는 반사 광학계로서, 이미지면 상의 각 점에 도달하는 광 속의 개구수가 이미지 높이나 방향에 관계없이 거의 균일한 투영 광학계. 투영 광학계의 개구수를 규정하기 위한 개구 조리개(AS)를 구비하고, 개구 조리개는, 소정 영역 내의 각 점에 도달하는 광속의 개구수를 소정 영역의 전체에 걸쳐 방향에 관계없이 거의 균일하게 하기 위한 소요 형상의 개구부를 갖는다. 개구부의 소요 형상은, 개구 조리개와 이미지면(W) 사이에 배치된 부분 광학계(M2~M6)가 소망의 사영 관계를 만족하지 않는 것이 소정 영역 내의 각 점에 도달하는 광속의 개구수의 불균일성에 미치는 영향을 보상하도록 규정되어 있다.

대 표 도



특허청구의 범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

제 1 면에 설정되는 마스크상의, 광축으로부터 떨어진 원호 영역을, 조명하기 위한 조명 광학계와, 상기 마스크에 형성된 패턴의 이미지를 제 2 면에 설정되는 감광성 기판 상에서 광축으로부터 떨어진 원호 영역에 형성하기 위한 반사형의 투영 광학계와, 상기 마스크와 상기 감광성 기판을 상대적으로 주사 이동 가능하게 유지하는 스테이지를 갖는 투영 노광 장치에 있어서,

상기 원호 영역은 상기 주사 이동 방향의 폭이 상기 주사 이동 방향에 대해 수직인 방향의 폭에 비해 상대적으로 좁고,

상기 투영 광학계는 개구수를 규정하기 위한 개구 조리개를 구비하고, 상기 개구 조리개의 개구 형상은 상기 주사 이동 방향에 대응하는 방향의 제 1 직경이 상기 주사 이동 방향에 수직인 방향에 대응하는 방향의 제 2 직경보다 큰 형상인

것을 특징으로 하는 투영 노광 장치.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 개구 조리개의 형상은, 상기 주사 이동 방향에 대응하는 방향으로 긴 직경을 갖는 타원 형상인 것을 특징으로 하는 투영 노광 장치.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 개구 조리개는, 개구 형상 또는 크기가 다른 별도의 개구 조리개와 교환 가능하게 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 투영 노광 장치.

청구항 14

제 11 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제 2 면의 상기 원호 영역 상의 복수의 이미지점을, A1, A2, A3, …, An으로 하고,

상기 복수의 이미지점은, 상기 제 2 면의 상기 원호 영역 상에서, 등 간격으로 다수 샘플링되는 것으로 하고,

상기 복수의 이미지점 중 임의의 하나를 Ai라고 부르는 것으로 하고,

상기 개구 조리개를 포함하는 평면에 평행한 평면에서 직교하는 2개의 좌표 x, y를 상정하고, 상기 개구 조리개에 중, 좌표 x가 최대로 되는 점을 Pxu라 하고, 좌표 x가 최소로 되는 점을 Pxb라 하며, 좌표 y가 최대로 되는 점을 Pyu라 하고, 좌표 y가 최소로 되는 점을 Pyb라 하고,

상기 이미지점 Ai를 중심으로 하는 반경 1인 구면 Si를 상정하고, 상기 점 Pxu를 통과하여 상기 이미지점 Ai에 도달하는 광선이 상기 구면 Si와 교차하는 좌표를 (Xixu, Yixu)라 하고, 상기 점 Pxb를 통과하여 상기 이미지점 Ai에 도달하는 광선이 상기 구면 Si와 교차하는 좌표를 (Xixb, Yixb)라 하며, 상기 점 Pyu를 통과하여 상기 이미지점 Ai에 도달하는 광선이 상기 구면 Si와 교차하는 좌표를 (Xiyu, Yiyu)라 하고, 상기 점 Pyb를 통과하여 상기 이미지점 Ai에 도달하는 광선이 상기 구면 Si와 교차하는 좌표를 (Xiyb, Yiyb)라 하고,

상기 이미지점 Ai에 대응하는 2개의 변수 NAXi 및 NAYi를 각각,

$$NAXi = (Xixu - Xixb) / 2$$

$$NAYi = (Yiyu - Yiyb) / 2$$

라고 규정할 때,

상기 개구 형상은,

$$\{ \Sigma NAXi (i=1 \sim n) \} / n = \{ \Sigma NAYi (i=1 \sim n) \} / n$$

을 만족하는

것을 특징으로 하는 투영 노광 장치.

청구항 15

제 11 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 개구 조리개를 통과하는 주 광선이 광축과 이루는 각도를 Θ 라 하고, 상기 주 광선이 상기 제 2 면에 도달하는 점의 상기 광축으로부터의 거리를 h라 하며, 상기 부분 광학계의 초점 거리를 F라 하고, Θ 를 가변, 제 3 차 수차의 정수를 δ 라고 했을 때의 $g(\Theta) = \sin \Theta + \delta \cdot \sin 3\Theta$ 의 함수를 이용하여, $h=F \cdot g(\Theta)$ 로 표시될 때,

상기 개구 형상은, 단경에 대한 장경의 비율이,

$$g(\Theta) / (dg(\Theta) / d\Theta)$$

에 대한 $\tan \Theta$ 인 타원인

것을 특징으로 하는 투영 노광 장치.

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

명세서

기술분야

<1> 본 발명은 투영 광학계, 노광 장치 및 노광 방법에 관한 것이다. 더 상세하게는, 본 발명은 EUV 광을 이용하여 반도체 소자 등의 디바이스를 포토리소그래피 공정으로 제조하는 데 사용되는 노광 장치에 바람직한 투영 광학계에 관한 것이다.

배경기술

<2> 종래, 반도체 소자 등의 제조에 사용되는 노광 장치에서는, 마스크(레티클) 상에 형성된 회로 패턴을, 투영 광학계를 거쳐 감광성 기판(예컨대 웨이퍼) 상에 투영 전사한다. 감광성 기판에는 레지스트가 도포되어 있고, 투영 광학계를 거친 투영 노광에 의해 레지스트가 감광하여, 마스크 패턴에 대응한 레지스트 패턴을 얻을 수 있다.

<3> 여기서, 노광 장치의 해상력 W 는, 노광광의 파장 λ 과 투영 광학계의 개구수 NA에 의존하고, 다음 식 (a)로 표시된다.

$$W=k \cdot \lambda / NA \quad (k: \text{정수}) \quad (a)$$

<5> 따라서, 노광 장치의 해상력을 향상시키기 위해서는, 노광광의 파장 λ 을 짧게 하고, 또한, 투영 광학계의 개구수 NA를 크게 하는 것이 필요하게 된다. 일반적으로, 투영 광학계의 개구수 NA를 소정값 이상으로 크게 하는 것은 광학 설계의 관점에서 곤란하기 때문에, 노광광의 단파장화가 필요하게 된다.

<6> 그래서, 반도체 패터닝의 차세대의 노광 방법(노광 장치)으로서, EUVL(Extreme UltraViolet Lithography : 극자외 리소그래피)의 수법이 주목받고 있다. EUVL 노광 장치에서는, 파장이 248nm인 KrF 엑시머 레이저광이나 파장이 193nm인 ArF 엑시머 레이저광을 이용하는 종래의 노광 방법과 비교하여, 5~20nm 정도의 파장을 갖는 EUV(Extreme UltraViolet: 극자외선)광을 이용한다.

<7> 노광광으로서 EUV 광을 이용하는 경우, 사용 가능한 광 투과성의 광학 재료가 존재하지 않게 된다. 이 때문에, EUVL 노광 장치에서는, 필연적으로, 반사형의 마스크를 이용하고, 또한, 반사형의 투영 광학계를 이용하게 된다.

발명의 상세한 설명

<8> 일반적으로, EUVL 노광 장치에 이용되는 반사형의 투영 광학계에서는, 물체면 상의 시야 영역 및 이미지면 상의 결상 영역이 광축 상에 없다. 이것은, 반사면이 통과하는 광속을 차단하지 않도록 광로 분리를 하기 때문이다. 이에 비하여, 슈바르츠실트(Schwarzschild) 광학계에서는, 시야 영역 및 결상 영역을 광축 상에 위치시키기 위해서, 미러의 중앙에 마련된 개구부를 거쳐서 광을 통과시키고 있다.

<9> 이 경우, 광학계의 개구가 고리형이 되어, 어떤 특정 공간 주파수에 한해서 해상력이 저하하는 특성이 있기 때문에, 리소그래피에는 적합하지 않다. 일반적으로, EUVL 노광 장치에 이용되는 투영 광학계에서는, 후술하는

바와 같이, 이미지면 상의 각 점에 도달하는 광속의 개구수가 방향에 따라 다르다. 이미지면 상의 각 점에 도달하는 광속의 개구수가 방향에 따라 다르다는 것은, 해상력에 방향에 기인하는 불균일이 있다는 것이며, 투영 광학계를 거쳐 감광성 기판 상에 패턴의 형상에 편차가 발생하게 된다.

- <10> 본 발명은, 시야 영역 및 결상 영역이 광축으로부터 떨어져 위치하는 반사 광학계로서, 이미지면 상의 각 점에 도달하는 광속의 개구수가 방향에 관계없이 거의 균일한 투영 광학계를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- <11> 또한, 본 발명은, 이미지면 상의 각 점에 도달하는 광속의 개구수가 방향에 관계없이 거의 균일한 반사형의 투영 광학계를 이용하여, 예컨대 노광광으로서 EUV 광을 이용하여, 마스크 패턴을 감광성 기판 상에 큰 해상력으로 또한 충실히 형성할 수 있는 노광 장치 및 노광 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- <12> 상기 목적을 달성하기 위해서, 본 발명의 제 1 형태에서는, 제 1 면의 이미지를 제 2 면 상에서 광축으로부터 떨어진 소정 영역에 형성하는 반사형의 투영 광학계에 있어서, 상기 투영 광학계의 개구수를 규정하기 위한 개구 조리개를 구비하고, 상기 개구 조리개는, 직교하는 2 방향에 관한 치수가 서로 다른 개구부를 갖는 것을 특징으로 하는 투영 광학계를 제공한다.
- <13> 본 발명의 제 2 형태에서는, 제 1 면의 이미지를 제 2 면 상에서 광축으로부터 떨어진 소정 영역에 형성하는 반사형의 투영 광학계에 있어서, 상기 투영 광학계의 개구수를 규정하기 위한 개구 조리개를 구비하고, 상기 개구 조리개는, 개구 형상이 다른 별도의 개구 조리개와 교환 가능하게 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 투영 광학계를 제공한다.
- <14> 본 발명의 제 3 형태에서는, 상기 제 1 면에 설정된 마스크를 조명하기 위한 조명계와, 상기 마스크에 형성된 패턴의 이미지를 상기 제 2 면에 설정된 감광성 기판 상에 형성하기 위한 제 1 형태 또는 제 2 형태의 투영 광학계를 구비하는 것을 특징으로 하는 노광 장치를 제공한다.
- <15> 본 발명의 제 4 형태에서는, 상기 제 1 면에 설정된 마스크를 조명하는 조명 공정과, 제 1 형태 또는 제 2 형태의 투영 광학계를 거쳐 상기 마스크에 형성된 패턴의 이미지를 상기 제 2 면에 설정된 감광성 기판 상에 투영 노광하는 노광 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 방법을 제공한다.
- <16> 본 발명의 제 5 형태에서는, 제 1 면에 설정되는 마스크를 조명하기 위한 조명 광학계와, 상기 마스크에 형성된 패턴의 이미지를 제 2 면에 설정되는 감광성 기판 상에서 광축으로부터 떨어진 원호 영역에 형성하기 위한 반사형의 투영 광학계와, 상기 마스크와 상기 감광성 기판을 상대적으로 주사 이동 가능하게 유지하는 스테이지를 갖는 투영 노광 장치에 있어서,
- <17> 상기 원호 영역은 상기 주사 이동 방향의 폭이 상기 주사 이동 방향에 대하여 수직인 방향의 폭에 대하여 상대적으로 좁고,
- <18> 상기 투영 광학계는 개구수를 규정하기 위한 개구 조리개를 구비하고, 해당 개구 조리개의 개구 형상은 상기 주사 이동 방향에 대응하는 방향의 직경이 해당 주사 이동 방향에 수직인 방향에 대응하는 방향의 직경보다 큰 형상인 것을 특징으로 하는 투영 노광 장치를 제공한다.

실시예

- <37> 이하, 본 발명의 실시예의 설명에 앞서, 종래 기술의 불합리에 대하여 구체적으로 설명한다. 시야 영역 및 결상 영역이 광축으로부터 떨어져 위치하는 반사형의 투영 광학계에서는, 본래의 의미에서의 광축 상의 개구수 NA는 정의할 수 없다. 그래서, 광축 밖의 개구수 NA를, 도 1에 도시하는 바와 같이 정의한다.
- <38> 도 1을 참조하면, 광축 상의 개구수 NA_o 는, 이미지면 IP에 도달하는 최외연(最外緣)의 광선(개구부의 둘레를 통과하여 이미지면 IP에 도달하는 광선)이 광축 AX와 이루는 각도, 즉 입사 각도 θ 을 이용하여 다음 식 (1)에 의해 표시된다. 한편, 광축 밖의 개구수 NA를, 이미지면 IP에 도달하는 최외연의 광선의 입사 각도 θ_1 및 θ_2 를 이용하여 다음 식 (2)에 의해 정의한다.

$$NA_o = \sin \theta \quad (1)$$

$$NA = (\sin \theta_1 - \sin \theta_2) / 2 \quad (2)$$

- <41> 상술한 광축 밖의 개구수 NA의 정의는, 광축 밖의 정현 조건으로부터 필연적으로 이를다. 광축 밖의 정현 조건에 대해서는, 예컨대, 츠루다 타다오 저, 「제 4 광의 연필」, 신기술 커뮤니케이션즈, p.433 등을 참조할 수

있다. 일반적으로, 투영 광학계에 있어서, 광축 밖의 개구수 NA는 광축 상의 NA_o와 다르다. 또한, 개구부가 원형 형상이기 때문에, 광축 밖의 개구수 NA는 자오선 방향과 서지털(sagittal) 방향에서 다르다. 이 현상은 여러 가지 요인에 기인하여 발생한다.

<42> 우선, 광축 상의 NA_o가 광축 밖의 개구수 NA와 동일하게 되는 조건에 대하여 생각한다. 적어도 광학계가 하기의 3개의 조건을 만족하는 경우, 이미지면 상의 각 점에 도달하는 광속의 개구수 NA는 이미지 위치에 관계없이, 또한, 방향에 관계없이 균일하게 된다.

<43> (1) 광학계가 거의 무(無)수차인 것.

<44> (2) 개구 조리개와 이미지면 사이에 배치된 부분 광학계에 있어서, 광의의 정현 조건이 성립하는 것. 즉, 도 2에 도시하는 바와 같이, 이미지면 IP 상의 임의의 이미지점에 도달하는 광선이 이미지면 IP의 법선과 이루는 x 방향의 각도(x 방향 입사 각도)를 α 로 하고, y 방향의 각도(y 방향 입사 각도)를 β 라고 할 때, 그 광선이 개구 조리개 AS를 통과할 때의 광선의 광축 AX로부터의 x 방향 높이 ξ , 및 y 방향 높이 ζ 는, $\xi = A \sin \alpha + B$, 및 $\zeta = A \sin \beta + C$ 에 의해 각각 표현되는 것. 여기서, A, B 및 C은 이미지점마다 결정되는 정수이다.

<45> (3) 개구 조리개와 이미지면 사이에 배치된 부분 광학계에 있어서, $h = F \sin \theta$ 로 나타내는 사영 관계를 만족하는 것. 즉, 도 2에 도시하는 바와 같이, 개구 조리개 AS를 통과할 때에 주 광선이 광축 AX와 이루는 각도를 θ 로 하고, 그 주 광선의 이미지면 IP에서의 광축 AX로부터의 높이를 h 로 하고, 상기 부분 광학계 GR의 초점 거리를 F라고 할 때, $h = F \sin \theta$ 로 나타내는 사영 관계가 성립하는 것.

<46> 노광 장치에 탑재되는 투영 광학계에 있어서, 광학계가 거의 무수차라는 제 1 조건은 문제없이 만족된다. 그러나, 제 1 조건 이외의 조건, 특히 부분 광학계 GR이 소망의 사영 관계를 만족시킨다는 제 3 조건에 대해서는, 큰 오차가 발생하기 쉽다. 이하, 부분 광학계 GR이 광의의 정현 조건을 만족시킨다는 제 2 조건과 제 1 조건을 만족하지만, 제 3 조건을 만족하지 않는 경우, 즉 부분 광학계 GR의 사영 관계가 θ 를 변수로 하는 함수 $g(\theta)$ 을 이용하여 $h = F \cdot g(\theta)$ 로 표시되는 경우에 대하여 고찰한다.

<47> 이 때, 광축 밖의 개구수 NA, 즉 이미지면 상의 광축 이외의 각 점에 도달하는 광속의 자오선 방향의 개구수 NA_m 및 서지털 방향의 개구수 NA_s는, 광축 상의 개구수 NA_o를 이용하여, 다음 식 (3) 및 (4)로 각각 표시된다.

<48> $NA_m = NA_o \cdot \cos \theta / (dg(\theta) / d\theta) \quad (3)$

<49> $NA_s = NA_o \cdot \sin \theta / g(\theta) \quad (4)$

<50> 식 (3) 및 (4)을 참조하면, $g(\theta) = \sin \theta$ 이면, NA_m=NA_s=NA_o로 되고, 이미지면 상의 각 점에 도달하는 광속의 개구수 NA가 이미지 높이 및 방향에 관계없이 균일하게 되는 것은 분명하다. 일반적으로는, $g(\theta) \neq \sin \theta$ 이기 때문에, 이미지면 상의 각 점에 도달하는 광속의 개구수 NA는 균일하게 되지 않는다. 여기서, 사영 관계가 $g(\theta) = \sin \theta$ 로부터 벗어나는 경우, 구체적으로 어떻게 벗어나는지를 생각해 본다.

<51> 실제로 노광 장치에 탑재되는 투영 광학계에 있어서도 수차의 주 성분은 3차수차이기 때문에, 3차 수차 성분에만 착안하면, 함수 $g(\theta)$ 를 다음 식 (5)로 나타낼 수 있다. 여기서, δ 는, 광학계가 가지는 사영 관계의 $F \sin \theta$ 로부터의 어긋남량을 나타내는 정수이다.

<52> $g(\theta) = \sin \theta + \delta \cdot \sin^3 \theta \quad (5)$

<53> 식 (5)로 표시되는 함수 $g(\theta)$ 를 상술한 식 (3) 및 (4)에 대입하면, 자오선 방향의 개구수 NA_m 및 서지털 방향의 개구수 NA_s는, 다음 식 (6) 및 (7)로 각각 표시된다.

<54> $NA_m = NA_o / (1 + 3 \delta \cdot \sin^2 \theta) \quad (6)$

<55> $NA_s = NA_o / (1 + \delta \cdot \sin^2 \theta) \quad (7)$

<56> 식 (6) 및 (7)을 참조하면, 이미지면 상의 각 점에 도달하는 광속의 개구수 NA는 이미지 높이에 따라(θ 에 의존하여) 다르고, 광축 상의 개구수 NA_o로부터의 오차량은 서지털 방향을 1이라고 하면 자오선 방향은 3이 되는 것을 알 수 있다. 이와 같이, 일반적으로 투영 광학계에 있어서 이미지면 상의 각 점에 도달하는 광속의 개구수 NA는 이미지 높이에 따라 다르고, 또한 방향에 따라 다르다. 한편, 상술한 바와 같이, 투영 광학계의 해상력은 λ/NA (λ 은 사용광의 파장)에 비례한다.

- <57> 따라서, 광속의 개구수 NA가 이미지 높이에 따라 다르고, 또한 방향에 따라 다르다는 것은, 투영 광학계의 해상력에 방향에 기인하는 불균일이 있다는 것이 된다. 투영 광학계의 해상력에 방향에 기인하는 불균일이 있으면, 반도체 회로의 소성 시에 형성되는 미세 패턴의 형상이 방향에 따라 변동한다. 그 결과, 최종적으로 제조되는 콘덴서나 트랜지스터가 전기 회로 설계자가 의도하는 소정의 전기적 특성(콘덕턴스, 임피던스 등)을 가지지 않게 되어, 최악의 경우에는 침적 회로가 불량품으로 되어 버린다.
- <58> 이상의 문제에 대처하는 데 광학적으로 가장 바람직한 방법은, 상술한 제 1 조건~제 3 조건을 전부 만족하는 광학계를 설계하는 것이다. 그러나, 제 1 조건~제 3 조건을 전부 만족하는 광학계를 설계하는 것은 이론적으로는 가능하지만, 그것을 위해 요구되는 미리 구조의 복잡함, 미리 개수의 증가, 조립 정밀도의 현저한 고도화는, 나아가서는 제품 가격의 고등(高騰) 등을 초래하게 되어, 실제로는 현실적이지 않다. 특히, EUVL 노광 장치에 있어서는, 반사미러의 매수 증가는, 미러의 반사율이 그다지 높지 않기 때문에, 노광광량의 저하를 초래하게 되고, 나아가서는 제품의 가치도 저하시키게 된다.
- <59> 본원의 발명자는, 투영 광학계의 개구수를 규정하는 개구 조리개의 개구부의 형상을 통상의 원형 형상이 아니라 소요 형상(예컨대 타원 형상)으로 설정함으로써, 이미지면 상의 각 점에 도달하는 광속의 개구수 NA를 방향에 관계없이 거의 균일하게 한다는 기술적 사상을 얻었다. 이하, 본 발명의 실시예를 참조하여, 본 발명의 기술적 사상의 구체적인 내용에 대하여 설명한다.
- <60> 본 발명의 실시예를, 첨부 도면에 근거하여 설명한다. 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 노광 장치의 구성을 개략적으로 도시하는 도면이다. 또한, 도 4는, 도 3의 노광 장치에 있어서 웨이퍼 상에 형성되는 원호 형상의 정지 노광 영역(즉 실효 노광 영역)과 광축의 위치 관계를 도시하는 도면이다. 도 3에 있어서, 감광성 기판인 웨이퍼 W의 법선 방향을 따라 Z축을, 웨이퍼 W의 면내에서 도 3의 지면에 평행한 방향에 Y축을, 웨이퍼 W의 면내에서 도 3의 지면에 수직인 방향에 X축을 각각 설정하고 있다.
- <61> 도 3을 참조하면, 본 실시예의 노광 장치는, 노광광을 공급하기 위한 광원으로서, 예컨대 레이저 플라즈마 광원(1)을 구비하고 있다. 광원(1)으로부터 사출된 광은, 파장 선택 필터(2)를 거쳐서, 조명 광학계(3)에 입사한다. 여기서, 파장 선택 필터(2)는, 광원(1)이 공급하는 광으로부터, 소정 파장(예컨대 13.5nm)의 EUV 광(X선)만을 선택적으로 투과시키고, 다른 파장광의 투과를 차단하는 특성을 갖는다.
- <62> 파장 선택 필터(2)를 투과한 EUV 광은, 복수의 반사경으로부터 구성된 조명 광학계(3)를 거쳐서, 전사해야 할 패턴이 형성된 반사형의 마스크 M을 조명한다. 마스크 M은, 그 패턴면이 XY 평면을 따라 연장하도록, Y 방향을 따라 이동 가능한 마스크 스테이지 MS에 의해 유지되어 있다. 그리고, 마스크 스테이지 MS의 이동은, 도시를 생략한 레이저 간섭계에 의해 계측되도록 구성되어 있다. 이렇게 해서, 마스크 M 상에는, Y축에 대해 대칭인 원호 형상의 조명 영역(시야 영역)이 형성된다.
- <63> 조명된 마스크 M의 패턴으로부터의 광은, 반사형의 투영 광학계 PL을 거쳐서, 감광성 기판인 웨이퍼 W 상에 마스크 패턴의 이미지를 형성한다. 즉, 웨이퍼 W 상에는, 도 4에 도시하는 바와 같이, Y축에 대해 대칭인 원호 형상의 정지 노광 영역(실효 노광 영역: 결상 영역) ER이 형성된다. 도 4를 참조하면, 광축 AX를 중심으로 한 반경 φ을 갖는 원형 형상의 영역(이미지 서클) IF 내에서, 이 이미지 서클 IF에 접하도록 X 방향의 길이가 LX이고 Y 방향의 길이가 LY인 원호 형상의 정지 노광 영역 ER이 마련되어 있다.
- <64> 웨이퍼 W는, 그 노광면이 XY 평면을 따라 연장하도록, X 방향 및 Y 방향을 따라 이차원적으로 이동 가능한 웨이퍼 스테이지 WS에 의해 유지되어 있다. 또, 웨이퍼 스테이지 WS의 이동은, 마스크 스테이지 MS와 마찬가지로, 도시를 생략한 레이저 간섭계에 의해 계측되도록 구성되어 있다. 이렇게 해서, 마스크 스테이지 MS 및 웨이퍼 스테이지 WS를 Y 방향을 따라 이동시키면서, 즉 투영 광학계 PL에 대하여 마스크 M 및 웨이퍼 W를 Y 방향을 따라 상대 이동시키면서 스캔 노광(주사 노광)을 행하는 것에 의해, 웨이퍼 W 상의 하나의 솟 영역(노광 영역)에 마스크 M의 패턴이 전사된다.
- <65> 도 5에 도시하는 바와 같이, 하나의 솟 영역 SR의 X 방향의 길이는 정지 노광 영역 ER의 X 방향의 길이 LX와 일치하고, 그 Y 방향의 길이는 웨이퍼 W의 이동거리에 의존한 길이 LY가 된다. 또, 투영 광학계 PL의 투영 배율(전사 배율)이 1/4인 경우, 웨이퍼 스테이지 WS의 이동 속도를 마스크 스테이지 MS의 이동 속도의 1/4로 설정하여 동기 주사를 행한다. 그리고, 웨이퍼 스테이지 WS의 X 방향에 따른 단계 이동과 Y 방향에 따른 주사 이동을 반복하는 것에 의해, 웨이퍼 W의 각 솟 영역에 마스크 M의 패턴이 차차 전사된다.
- <66> 도 6은 본 실시예에 따른 투영 광학계의 구성을 개략적으로 도시하는 도면이다. 도 6을 참조하면, 본 실시예의 투영 광학계 PL은, 마스크 M의 패턴의 중간 이미지를 형성하기 위한 제 1 반사 결상 광학계 G1과, 마스크 패턴

의 중간 이미지(마스크 M의 패턴의 2차 이미지)를 웨이퍼 W 상에 형성하기 위한 제 2 반사 결상 광학계 G2에 의해 구성되어 있다.

<67> 제 1 반사 결상 광학계 G1은 4개의 반사경 M1~M4에 의해 구성되고, 제 2 반사 결상 광학계 G2는 2개의 반사경 M5 및 M6에 의해 구성되어 있다. 또한, 투영 광학계 PL은 웨이퍼측(이미지측)에 텔레센트릭한 광학계이다. 또한, 모든 반사경 M1~M6의 반사면이 광축에 대해 회전 대칭인 비구면 형상으로 형성되고, 제 1 반사경 M1로부터 제 2 반사경 M2에 이르는 광로 중에는 개구 조리개 AS가 배치되어 있다.

<68> 또, 비구면은, 광축에 수직인 방향의 높이를 y로 하고, 비구면의 정점에서의 접평면으로부터 높이 y에서의 비구면 상의 위치까지의 광축에 따른 거리(새그량)를 z로 하고, 정점 곡률 반경을 r로 하며, 원주 계수를 κ 로 하고, n차 비구면 계수를 C_n 으로 했을 때, 이하의 식 (b)로 표시된다.

$$z = (y^2/r) / [1 + \{1 - (1 + \kappa) \cdot y^2/r^2\}^{1/2}]$$

$$+ C_4 \cdot y^4 + C_6 \cdot y^6 + C_8 \cdot y^8 + C_{10} \cdot y^{10} + \dots \quad (b)$$

<70> 본 실시예의 투영 광학계 PL에서는, 마스크 M(도 6에서는 도시하지 않음)으로부터의 광은, 제 1 오목면 반사경 M1의 반사면, 제 2 오목면 반사경 M2의 반사면, 제 3 볼록면 반사경 M3의 반사면, 및 제 4 오목면 반사경 M4의 반사면에서 순차적으로 반사된 후, 마스크 패턴의 중간 이미지를 형성한다. 그리고, 제 1 반사 결상 광학계 G1을 거쳐서 형성된 마스크 패턴 중간 이미지로부터의 광은, 제 5 볼록면 반사경 M5의 반사면 및 제 6 오목면 반사경 M6의 반사면에서 순차적으로 반사된 후, 웨이퍼 W 상에 마스크 패턴의 축소 이미지(2차 이미지)를 형성한다.

<71> 다음 표 1에, 본 실시예에 따른 투영 광학계 PL의 제원의 값을 언급한다. 표 1에 있어서, λ 는 노광광(EUV 광)의 파장을 나타내고, β 는 투영 배율을 나타내며, NA는 이미지측(웨이퍼측) 개구수를 나타내고, H_0 은 마스크 M 상에 있어서의 최대 물체 높이를 나타내며, ϕ 은 웨이퍼 W 상에서의 이미지 서클 IF의 반경(최대 이미지 높이)을 나타내고, LX는 정지 노광 영역 ER의 X 방향에 따른 치수를 나타내며, LY는 정지 노광 영역 ER의 Y 방향에 따른 치수를 각각 나타내고 있다.

<72> 또한, 면번호는 물체면인 마스크면으로부터 이미지면인 웨이퍼면으로의 광선이 진행하는 방향에 따른 마스크측으로부터의 반사면의 순서를, r는 각 반사면의 정점 곡률 반경(屈率)을 나타내고, d는 각 반사면의 축상 간격즉 면 간격(屈率)을 각각 나타내고 있다. 또, 면 간격 d는 반사될 때에 그 부호를 바꾸는 것으로 한다. 그리고, 광선의 입사 방향에 관계없이 마스크측을 향하여 볼록면의 곡률 반경을 정(正)으로 하고, 오목면(오목 렌즈)의 곡률 반경을 부(負)라고 하고 있다.

표 1

(주요 제원)

 $\lambda = 13.5\text{nm}$ $\beta = 1/4$

NA=0.26

HO=124mm

 $\phi = 31\text{mm}$

LX=26mm

LY=2mm

(광학 부재 제원)

면번호 r d

(마스크면) 652.352419

1	-790.73406	-209.979693	(제 1 반사경 M1)
2	∞	-141.211064	(개구 조리개 AS)
3	3000.00000	262.342040	(제 2 반사경 M2)
4	478.68563	-262.292922	(제 3 반사경 M3)
5	571.53754	842.912526	(제 4 반사경 M4)
6	296.70332	-391.770887	(제 5 반사경 M5)
7	471.35911	436.582453	(제 6 반사경 M6)

<73>

(웨이퍼면)

(비구면 데이터)

1면

 $\kappa = 0.000000$

$$C_4 = 0.246505 \times 10^{-8} \quad C_6 = -0.446668 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 0.120146 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -0.594987 \times 10^{-22}$$

$$C_{12} = 0.340020 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 0.254558 \times 10^{-30}$$

$$C_{16} = -0.806173 \times 10^{-34} \quad C_{18} = 0.686431 \times 10^{-38}$$

$$C_{20} = -0.209184 \times 10^{-42}$$

3면

 $\kappa = 0.000000$

$$C_4 = -0.413181 \times 10^{-9} \quad C_6 = 0.717222 \times 10^{-14}$$

$$C_8 = -0.713553 \times 10^{-19} \quad C_{10} = 0.255721 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -0.495895 \times 10^{-24} \quad C_{14} = 0.324678 \times 10^{-27}$$

$$C_{16} = -0.103419 \times 10^{-30} \quad C_{18} = 0.164243 \times 10^{-34}$$

$$C_{20} = -0.104535 \times 10^{-38}$$

4면

 $\kappa = 0.000000$

$$C_4 = -0.217375 \times 10^{-8} \quad C_6 = 0.385056 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = -0.347673 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 0.186477 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -0.244210 \times 10^{-26} \quad C_{14} = -0.704052 \times 10^{-30}$$

$$C_{16} = 0.833625 \times 10^{-34} \quad C_{18} = -0.418438 \times 10^{-38}$$

$$C_{20} = 0.792241 \times 10^{-43}$$

<74>

5면

$$\kappa = 0.00000$$

$$\begin{aligned} C_4 &= -0.380907 \times 10^{-10} & C_6 &= -0.334201 \times 10^{-15} \\ C_8 &= 0.113527 \times 10^{-19} & C_{10} &= -0.535935 \times 10^{-25} \\ C_{12} &= -0.416047 \times 10^{-29} & C_{14} &= 0.881874 \times 10^{-34} \\ C_{16} &= -0.583757 \times 10^{-39} & C_{18} &= -0.780811 \times 10^{-45} \\ C_{20} &= 0.176571 \times 10^{-49} \end{aligned}$$

6면

$$\kappa = 0.00000$$

$$\begin{aligned} C_4 &= -0.190330 \times 10^{-8} & C_6 &= 0.134021 \times 10^{-11} \\ C_8 &= -0.471080 \times 10^{-16} & C_{10} &= -0.968673 \times 10^{-20} \\ C_{12} &= 0.284390 \times 10^{-22} & C_{14} &= -0.265057 \times 10^{-25} \\ C_{16} &= 0.131472 \times 10^{-28} & C_{18} &= -0.341329 \times 10^{-32} \\ C_{20} &= 0.365714 \times 10^{-36} \end{aligned}$$

7면

$$\kappa = 0.00000$$

$$\begin{aligned} C_4 &= 0.668635 \times 10^{-10} & C_6 &= 0.359674 \times 10^{-15} \\ C_8 &= 0.468613 \times 10^{-20} & C_{10} &= -0.440976 \times 10^{-24} \\ C_{12} &= 0.431536 \times 10^{-28} & C_{14} &= -0.257984 \times 10^{-32} \\ C_{16} &= 0.938415 \times 10^{-37} & C_{18} &= -0.190247 \times 10^{-41} \\ C_{20} &= 0.165315 \times 10^{-45} \end{aligned}$$

<75>

<76> 본 실시예의 투영 광학계 PL에서는, 광장이 13.5nm의 EUV 광에 대하여 여러 가지 수차가 양호하게 보정된 결상 영역으로서, 26mm(=LX)×2mm(=LY)의 원호 형상의 정지 노광 영역이 웨이퍼 W 상에 확보된다. 따라서, 웨이퍼 W에서, 예컨대 26mm(=LX)×33mm(=LYo)의 크기를 갖는 각 솟 영역에, 마스크 M의 패턴이 주사 노광에 의해 전사된다.

<77>

즉, 본 실시예의 투영 광학계 PL에서는, 도 4에 도시하는 바와 같이, 유효한 결상 영역(정지 노광 영역) ER이 (26mm×2mm의 원호 형상의 영역에 한정되고, 나아가서는 유효한 이미지 높이가 29mm~31mm(유효한 물체 이미지가 116mm~124mm)의 상대적으로 좁은 범위로 한정되어 있다. 이것은, 상술한 바와 같이, 본 실시예와 같은 반사형의 투영 광학계 PL에서는, 반사면이 통과하는 광속을 차단하지 않도록 광로 분리를 해야 하기 때문이다.

<78>

본 실시예의 투영 광학계 PL에서는, 도 4에 도시하는 바와 같이, 유효한 결상 영역(정지 노광 영역) ER이 26mm×2mm의 부분 원호 형상의 영역에 한정되고, 이미지 필드 IF의 원주 전체에 대하여 상당히 짧은 일부의 원호 형상의 영역에 불과하다. 따라서, 개구 조리개 AS의 개구부를 원형 형상으로 하면, 도 7에 도시하는 바와 같이, 자오선 방향의 개구수 NAm과 서지털 방향의 개구수 NAs의 다른 점, 즉 개구의 왜곡 방향 및 왜곡 모양이, 결상 영역의 전체에 걸쳐 거의 동일하게 된다. 도 7에서는, 개구부를 원형 형상으로 했을 때의 개구의 왜곡 정도를 타원으로 나타내고 있다.

<79>

구체적으로, 본 실시예의 투영 광학계 PL에서, 종래 기술에 따라서 개구 조리개 AS의 개구부를 직경이 68.348mm의 원형 형상으로 설정하면, 결상 영역의 각 이미지 높이의 점에서의 자오선 방향의 개구수 NAm 및 서지털 방향의 개구수 NAs는, 이하의 표 2에 나타내는 바와 같다.

표 2

이미지 높이 29mm의 점에서의 NAm: 0.250765182507

이미지 높이 29mm의 점에서의 NAs: 0.258042961396

이미지 높이 31mm의 점에서의 NAm: 0.249217797699

<80>

이미지 높이 31mm의 점에서의 NAs: 0.257476183744

<81>

그래서, 본 실시예에서는, 개구 조리개 AS의 개구부를 원형 형상 이외의 소요의 형상, 예컨대 타원 형상으로 하는 것에 의해, 도 8에 도시하는 바와 같이, 개구의 왜곡을 결상 영역의 전체에 걸쳐 양호하게 억제하여, 자오선

방향의 개구수 NA_m 과 서지털 방향의 개구수 NA_s 가 결상 영역의 전체에 걸쳐 거의 균일하게 되도록 구성하고 있다. 도 8에서는, 개구부를 타원 형상으로 했을 때의 개구의 왜곡 정도를 짚은 선의 타원으로 나타내고 있다. 또한, 도 8에 있어서의 파선의 타원은, 개구부를 원형 형상으로 했을 때의 개구의 왜곡 정도를 나타내는 도 7의 타원에 대응하고 있다. 구체적으로 도 8을 참조하면, 원호의 좌우의 끝에서는 XY 방향과 자오선·서지털 방향이 다르기 때문에, 염밀하게는 NA가 원으로 되지 않고 거의 타원 형상이 된다. 이와 같이, 중앙에서는 거의 균일한 원형의 NA가 되지만, 원호의 좌우의 끝에서는 염밀하게는 불균일한 비원형의 NA가 된다. 그러나, 완전한 원이 되지 않는다고 해도, 자오선 방향과 서지털 방향의 NA의 차(또는 X 방향과 Y 방향의 NA의 차)를 작게 할 수 있다는 효과를 얻을 수 있다.

<82> 도 9는 타원 형상의 개구 조리개의 개구부를 나타내는 일례이다. 동 도면에 있어서, 개구 조리개 AS의 개구부(10)의 Y 방향의 직경은 a , X 방향의 직경은 b 이다. 도 9에서 a 쪽이 b 보다 큰 것은, EUV 노광 장치는 상술한 바와 같이 노광광량의 저하를 막기 위해, 미려 개수를 최대한 적게 할 필요가 있고, 이 때문에, 일반적으로는 사영 관계가 $h > F \sin \theta$ 로 되기 때문에, 도 9에 도시하는 바와 같이, 서지털 방향의 개구수를 상대적으로 작게 하는 형상으로 하는 것이 바람직하기 때문이다. 또한, 사영 관계가 $h < F \sin \theta$ 로 되는 경우 등은, 도 9의 a 의 값을 b 의 값보다 작게 하는 것이 바람직하다. 또한, 경우에 따라서는, 정현 조건 등 다른 광학 특성도 고려하여 개구 조리개의 형상을 정하는 것이 바람직하다.

<83> 노광에 사용되는 유효한 광선의 이미지 높이를 상대적으로 좁은 범위에 한정하면, 전술의 식 (6) 및 (7)에서 소망의 사영 관계로부터의 어긋남량 δ 가 어느 정도 크더라도, 이미지면 상의 각 점에 도달하는 광속의 개구수 NA의 이미지 높이에 의한 불균일성은 무시할 수 있는 것을 알 수 있다. 따라서, 본 실시예와 같이, 노광에 사용되는 유효한 광선의 이미지 높이를 29mm~31mm로 상대적으로 좁은 범위에 한정하면 이미지 높이에 의한 개구수 NA의 불균일성도 개선하는 것이 가능해진다.

<84> 구체적으로, 본 실시예의 투영 광학계 PL에서, 도 9에 도시하는 바와 같이, 본 발명에 따라 개구 조리개 AS의 개구부(10)를 긴 직경(자오선 방향)이 68.348mm이고 짧은 직경(서지털 방향)이 66.254mm인 타원 형상으로 설정하면, 결상 영역의 각 이미지 높이에 있어서의 자오선 방향의 개구수 NA_m 및 서지털 방향의 개구수 NA_s 는, 이하의 표 3에 나타내는 바와 같이 된다. 또, 도 9에 있어서, 보조 개구부(11)는 마스크 M으로부터 제 1 반사경 M1을 향하는 소정의 광속을 통과시키기 위한 개구부이며, 보조 개구부(12)는 제 2 반사경 M2으로부터 제 3 반사경 M3을 향하는 소정의 광속을 통과시키기 위한 개구부이다.

표 3

이미지 높이 29mm의 점에서의 NA_m : 0. 250765272746

이미지 높이 29mm의 점에서의 NA_s : 0. 250272182607

이미지 높이 31mm의 점에서의 NA_m : 0. 249217758088

<85> 이미지 높이 31mm의 점에서의 NA_s : 0. 24972074902

<86> 표 2에 도시하는 바와 같이, 이미지 높이 29mm의 점에서 0.2507~0.2580으로 비교적 크게 편차가 있던 개구수 NA가, 본 발명을 적용함으로써, 표 3에 도시하는 바와 같이, 0.2507~0.2502로 편차가 작아져, 1/15 정도로 편차를 억제할 수 있게 되었다. 마찬가지로, 이미지 높이 31mm의 점에서 0.2492~0.2574로 비교적 크게 편차가 있던 개구수 NA가, 본 발명을 적용함으로써, 0.2492~0.2497로 편차가 작아져, b1/16 정도로 편차를 억제할 수 있게 되었다.

<87> 이상과 같이, 본 실시예의 투영 광학계 PL에서는, 유효한 결상 영역이 상대적으로 가늘고 긴 원호 형상의 영역에 한정되고, 유효한 이미지 높이가 상대적으로 좁은 범위에 한정되어 있기 때문에, 이미지면 상의 각 점에 도달하는 광속의 개구수 NA의 이미지 높이에 의한 불균일성이 작게 억제된다. 또한, 본 실시예의 투영 광학계 PL에서는, 개구 조리개 AS의 개구부를 소정의 타원 형상으로 설정하고 있기 때문에, 이미지면 상의 각 점에 도달하는 광속의 개구수 NA의 방향에 의한 불균일성도 작게 억제된다.

<88> 즉, 본 실시예에서는, 시야 영역 및 결상 영역이 광축으로부터 떨어져 위치하는 반사 광학계로서, 이미지면 상의 각 점에 도달하는 광속의 개구수가 방향에 관계없이 거의 균일한 투영 광학계 PL을 실현할 수 있다. 따라서, 본 실시예의 노광 장치에서는, 이미지면 상의 각 점에 도달하는 광속의 개구수가 방향에 관계없이 거의 균일한 반사형의 투영 광학계 PL을 이용하고, 노광광으로서 EUV 광을 이용하고 있기 때문에, 마스크 M의 패턴을 웨이퍼 W 상에 큰 해상력으로 또한 충실히 형성할 수 있다.

<89> 덧붙여서 말하면, 본 실시예의 투영 광학계 PL에서, 개구 조리개 AS와 웨이퍼 W(이미지면) 사이에 배치된 부분 광학계 GR(M2~M6)의 초점 거리 F, 및 부분 광학계 GR(M2~M6)의 사영 관계를 규정하는 함수 $g(\theta)$ 는, 이하의 표 4에 나타내는 바와 같다.

표 4

$$F = -129.186524007 \text{mm}$$

$$\begin{aligned} g(\theta) = & -1.089581416414470 \times 10^{-8} + 9.983031116454740 \times 10^{-1} \times \theta \\ & - 2.608569671543950 \times 10^{-4} \times \theta^2 + 1.693133763108080 \times 10^{-1} \times \theta^3 \\ & + 3.272877426399590 \times 10^{-1} \times \theta^4 - 1.064541314452320 \times 10^{-11} \times \theta^5 \\ & + 2.105681558275050 \times 10^{-2} \times \theta^6 - 1.964921359054180 \times 10^{-13} \times \theta^7 \\ & + 9.263250785150350 \times 10^{-3} \times \theta^8 - 2.172610074916260 \times 10^{-14} \times \theta^9 \\ & + 2.026470680865160 \times 10^{-4} \times \theta^{10} \end{aligned}$$

<90>

<91> 표 4에 나타내는 파라미터 $g(\theta)$ 에 근거하여 계산하면, 이미지 높이 29mm의 점에서의 서지털 방향의 개구수 NAs 와 자오선 방향의 개구수 NAm의 비, 즉 NAs/NAm은, 다음 식 (8)로 나타내는 값이 된다.

$$NAs/NAm = \{\sin \theta / g(\theta)\} / \{\cos \theta / (dg(\theta) / d\theta)\}$$

$$= 1.034204511394000 \quad (8)$$

<92>

<93> 식 (8)로 나타내는 값은, 실제의 NAs/NAm의 값, 즉 1.029022286에 매우 가까워, 결상 영역의 각 이미지 높이에 있어서의 개구수 NA의 방향에 따른 차이의 발생에 대해서는 상술한 제 3 조건의 요인이 지배적인 것을 확인할 수 있다. 또한, 식 (8)을 참조하면, 개구 조리개 AS의 개구부를, 긴 직경과 짧은 직경의 비율이 $\tan \theta : g(\theta) / (dg(\theta) / d\theta)$ 의 타원 형상으로 설정하는 것이 바람직한 것을 알 수 있다.

<94>

도 10은, 개구의 왜곡이 결상에 부여하는 영향에 대한 시뮬레이션 결과를 도시하는 도면이다. 도 10에 있어서, 가로축은 NA 왜곡(즉 자오선 방향의 개구수 NAm과 서지털 방향의 개구수 NAs의 왜곡 정도)을, 세로축은 소정 선폭으로부터의 오차 ΔCD 를 각각 나타내고 있다. 이 시뮬레이션에서는, 투영 광학계의 이미지측 NA를 0.18로 하고, σ (코히어런스 팩터: 조명 광학계의 사출측 개구수/투영 광학계의 입사측 개구수)를 0.8로 하고, 광의 파장 λ 을 13.5nm으로 하며, 선폭이 45nm인 고립선 패턴 마스크를 이용하여, 오버도즈(overdose)에 의해 선폭이 25nm 인 패턴을 웨이퍼 상에 소성하였다.

<95>

따라서, 도 10의 세로축 $\Delta CD(\text{nm})$ 은, 소정 선폭인 25nm로부터의 선폭 오차를 나타내고 있는 것으로 된다. 일반적으로, 패턴 선폭에 대하여 10%(이 시뮬레이션의 경우에는 $25\text{nm} \times 0.1 = 2.5\text{nm}$)의 오차가 발생하면, 반도체 집적 회로가 불량품인 것으로 하고 있다. 도 10을 참조하면, 수%의 NA 왜곡이 반도체 집적 회로의 양부(良否)에 대하여 심각한 영향을 가지는 것을 알 수 있다.

<96>

이어서, 도 11을 참조하여, 개구 조리개 AS의 개구부가 구체적으로 만족시키는 것이 바람직한 조건에 대하여 설명한다. 우선, 도 11(a)에 도시하는 바와 같이, 투영 광학계 PL의 이미지면(제 2 면)의 원호 형상의 결상 영역(소정 영역) ER 상의 복수의 이미지점을, A1, A2, A3, …, An으로 한다. 그리고, 복수의 이미지점 중 임의의 하나를 Ai라고 부른다. 여기서, 이들 복수의 이미지점은, 이미지면의 원호 형상의 결상 영역 ER 상에서, 거의 등간격으로 다수 샘플링된다. 도 11(a)에서는, 설명을 간략화하기 위해서, 6개의 이미지점 A1~A6만을 나타내고 있다.

<97>

또한, 도 11(b)에 도시하는 바와 같이, 개구 조리개 AS를 포함하는 평면에 평행한 평면(XY 평면)에 있어서 직교하는 2개의 좌표 x, y를 상정하고, 개구 조리개 애지 중, 좌표 x가 최대로 되는 점을 Pxu로 하고, 좌표 x가 최소로 되는 점을 Pxb로 하며, 좌표 y가 최대로 되는 점을 Pyu로 하고, 좌표 y가 최소로 되는 점을 Pyb로 한다. 또한, 이미지점 Ai를 중심으로 하는 반경1의 구면 Si를 상정하고, 점 Pxu를 통하여 이미지점 Ai에 도달하는 광선이 구면 Si와 교차하는 좌표를 (Xixu, Yixu)로 하며, 점 Pxb를 통하여 이미지점 Ai에 도달하는 광선이 구면 Si와 교차하는 좌표를 (Xiyb, Yiyb)로 하고, 점 Pyu를 통하여 이미지점 Ai에 도달하는 광선이 구면 Si와 교차하는 좌표를 (Xiyu, Yiyu)로 하고, 점 Pyb를 통하여 이미지점 Ai에 도달하는 광선이 구면 Si와 교차하는 좌표를 (Xiyb, Yiyb)로 한다. 여기서, 구면 Si에서의 X, Y 좌표의 부호와, 개구부에서의 X, Y 좌표의 부호가 일치하도록, 개구부에서의 X, Y축의 방향을 정의한다.

<98>

그리고, 이미지점 Ai에 대응하는 2개의 변수로서, 다음 식 (9) 및 (10)에 의해 각각 정의되는 변수 NAXi 및

NAy_i를 도입한다.

$$<99> NAx_i = (X_{ixu} - X_{ixb}) / 2 \quad (9)$$

$$<100> NAy_i = (Y_{iyu} - Y_{iyb}) / 2 \quad (10)$$

<101> 이렇게 해서, 이미지면의 원호 형상의 결상 영역 ER 상의 각 점에 도달하는 광속의 개구수를 방향에 관계없이 거의 균일하게 하기 위해서는, 개구 조리개 AS의 개구부의 소요 형상이, 다음 식 (11)을 거의 만족하는 것이 바람직하다. 단, 식 (11)에 있어서, $\Sigma (i=1 \sim n)$ 는 $i=1$ 로부터 $i=n$ 까지의 총합 기호이다.

$$<102> \{ \Sigma NAx_i (i=1 \sim n) \} / n = \{ \Sigma NAy_i (i=1 \sim n) \} / n \quad (11)$$

<103> 표 2 및 (3)을 참조하여 상술한 바와 같이, 도 6에 나타내는 투영 광학계 PL에서, 종래 기술에 따르는 종래예에서는 개구 조리개 AS의 개구부가 직경 $\phi=68.348\text{mm}$ 의 원형 형상이며, 본 발명에 따른 본 실시예에서는 개구 조리개 AS의 개구부가 X 방향 직경 $\phi_x=66.764\text{mm}$ 에서 Y 방향 직경 $\phi_y=68.348\text{mm}$ 의 타원 형상인 것으로 한다. 이하, 6개의 이미지점 A1~A6에만 착안한 평가예를 나타내지만, 이것은 기술이 번잡해지는 것을 피하기 위한 것이며, 본래는 이미지면의 원호 형상의 결상 영역 ER 상에서 더 많은 이미지점을 샘플링하는 것이 바람직하다. 도 11(a)에 나타내는 6개의 이미지점 A1~A6의 좌표(X좌표, Y 좌표)는, 이하의 표 5에 나타내는 바와 같다.

표 5

$$A1 = (0, 29)$$

$$A2 = (0, 31)$$

$$A3 = (13, 26.037)$$

$$A4 = (13, 28.037)$$

$$A5 = (-13, 26.037)$$

$$A6 = (-13, 26.037)$$

<104> 따라서, 종래예의 경우, 각 이미지점 A1~A6에 도달하는 광선이 구면 Si와 교차하는 좌표, 즉 X_{ixu}, X_{ixb}, Y_{iyu}, Y_{iyb}는 이하의 표 6에 나타내는 바와 같다.

표 6

X1xu = 0. 258042943154

X1xb = -0. 258042943154

Y1yu = 0. 256357547338

Y1yb = -0. 245172818845

X2xu = 0. 257476143154

X2xb = -0. 257476143154

Y2yu = 0. 255819520205

Y2yb = -0. 242616331396

X3xu = 0. 259312007332

X3xb = -0. 253769989674

Y3yu = 0. 257306651069

Y3yb = -0. 246969026605

X4xu = 0. 259077265506

X4xb = -0. 252997085452

Y4yu = 0. 256801648512

Y4yb = -0. 244661464593

X5xu = 0. 253769989674

X5xb = -0. 259312007332

Y5yu = 0. 257306651069

Y5yb = -0. 246969026606

X6xu = 0. 252997085391

X6xb = -0. 259077265493

Y6yu = 0. 256801650789

Y6yb = -0. 244661462094

<106>

<107> 한편, 본 실시예의 경우, 각 이미지점 A1~A6에 도달하는 광선이 구면 Si와 교차하는 좌표, 즉 Xixu, Xixb, Yiyu, Yiyb는 이하의 표 7에 나타내는 바와 같다.

표 7

$X1xu = 0.252165810353$
 $X1xb = -0.252165810353$
 $Y1yu = 0.256357547323$
 $Y1yb = -0.245172893708$
 $X2xu = 0.25161071214$
 $X2xb = -0.25161071214$
 $Y2yu = 0.255819520205$
 $Y2yb = -0.242616146657$
 $X3xu = 0.253346326274$
 $X3xb = -0.248029134343$
 $Y3yu = 0.257306648643$
 $Y3yb = -0.246967652147$
 $X4xu = 0.253123286675$
 $X4xb = -0.247265493391$
 $Y4yu = 0.256801637468$
 $Y4yb = -0.244660091297$
 $X5xu = 0.248029134344$
 $X5xb = -0.253346326274$
 $Y5yu = 0.257306648643$
 $Y5yb = -0.246967652148$
 $X6xu = 0.24726549333$
 $X6xb = -0.253123286663$
 $Y6yu = 0.256801639745$
 $Y6yb = -0.244660088798$

<108>

이렇게 해서, 종래예의 경우, 식 (11)의 좌변 $\{\sum N Ax_i (i=1 \sim n)\}/n$ 및 우변 $\{\sum N Ay_i (i=1 \sim n)\}/n$ 은 이하의 표 8에 나타내는 바와 같다. 또한, 본 실시예의 경우, 식 (11)의 좌변 $\{\sum N Ax_i (i=1 \sim n)\}/n$ 및 우변 $\{\sum N Ay_i (i=1 \sim n)\}/n$ 은 이하의 표 9에 나타내는 바와 같다.

표 8

$\{\sum N Ax_i (i=1 \sim n)\}/n = 0.256779239$
 $\{\sum N Ay_i (i=1 \sim n)\}/n = 0.2509536499$

표 9

$\{\sum N Ax_i (i=1 \sim n)\}/n = 0.2509234605$
 $\{\sum N Ay_i (i=1 \sim n)\}/n = 0.2509531806$

<111>

표 8 및 (9)을 참조하면, 종래예보다 본 실시예쪽이 식 (11)을 양호하게 만족시키고 있는 것을 알 수 있다. 그 결과, 본 발명에 따른 본 실시예에서는, 개구 조리개 AS의 개구부의 소요 형상이 식 (11)을 거의 만족시키는 타원 형상으로 설정되어 있기 때문에, 이미지면의 원호 형상의 결상 영역 ER 상의 각 점에 도달하는 광속의 개구 수를 방향에 관계없이 거의 균일하게 할 수 있다.

<113>

그런데, 반도체 패턴 노광 장치에 탑재되는 투영 광학계에서는, 개구 조리개로서, 예컨대 카메라의 조리개와 마찬가지로 개구 직경이 가변의 홍채 조리개를 이용하는 것이 통상이다. 그러나, 본 실시예에 있어서 예컨대 타원 형상의 개구부와 같은 변형 개구부를 이용하는 경우, 개구 조리개로서 홍채 조리개를 채용할 수는 없다. 그래서, 본 실시예에서는, 투영 광학계 PL의 개구수 NA의 변화에 있어서, 개구 형상이 다른 별도의 개구 조리개와 교환 가능한 구성을 채용하는 것이 바람직하다. 또, 개구 형상이 다른 별도의 개구 조리개는, 상사형(相似形)

의 개구 조리개더라도 좋은 것은 물론이다.

<114> 또한, 도 6을 참조하면, 일반적으로 시야 영역 및 결상 영역이 광축으로부터 떨어져 형성되는 반사형의 투영 광학계에서는, 유효 광속을 차단하지 않도록 매우 좁은 공간에 개구 조리개를 배치하게 된다. 따라서, 원형 형상의 개구부를 갖는 통상의 개구 조리개를 이용하는 경우에도, 개구 조리개에 개구경의 가변을 위한 비교적 복잡한 기구를 마련하는 것보다, 개구 형상이 다른 별도의 개구 조리개와 교환 가능한 구성을 채용하는 것이 바람직한 경우도 있다. 또, 상술한 실시예에서는 반사형의 투영 광학계를 이용하고 있지만, 이것에 한정되지 않고, 반사 굴절형의 투영 광학계를 이용하여, 상술한 실시예와 동일한 작용 효과를 얻을 수 있다.

<115> 상술한 실시예에 따른 노광 장치에서는, 조명계에 의해 마스크를 조명하고(조명 공정), 투영 광학계를 이용하여 마스크에 형성된 전사용의 패턴을 감광성 기판에 노광하는(노광 공정) 것에 의해, 마이크로 디바이스(반도체 소자, 활상 소자, 액정 표시 소자, 박막 자기 헤드 등)를 제조할 수 있다. 이하, 본 실시예의 노광 장치를 이용하여 감광성 기판으로서의 웨이퍼 등에 소정의 회로 패턴을 형성함으로써, 마이크로 디바이스로서의 반도체 디바이스를 얻을 때의 수법의 일례에 대하여, 도 12의 흐름도를 참조하여 설명한다.

<116> 우선, 도 12의 단계 301에서, 1로트의 웨이퍼 상에 금속막이 증착된다. 다음의 단계 302에서, 그 1로트의 웨이퍼 상의 금속막 상에 포토레지스트가 도포된다. 그 후, 단계 303에서, 본 실시예의 노광 장치를 이용하여, 마스크(레티클) 위의 패턴의 이미지가 그 투영 광학계를 거쳐, 그 1로트의 웨이퍼 상의 각 솟 영역에 순차적으로 노광 전사된다.

<117> 그 후, 단계 304에서, 그 1로트의 웨이퍼 상의 포토레지스트의 현상이 행하여진 후, 단계 305에서, 그 1로트의 웨이퍼 상에서 레지스트 패턴을 마스크로 하여 에칭을 함으로써, 마스크 상의 패턴에 대응하는 회로 패턴이 각 웨이퍼 상의 각 솟 영역에 형성된다. 그 후, 그 이상의 레이어의 회로 패턴의 형성 등을 행함으로써, 반도체 소자 등의 디바이스가 제조된다. 상술한 반도체 디바이스 제조 방법에 의하면, 매우 미세한 회로 패턴을 갖는 반도체 디바이스를 스루풋 좋게 얻을 수 있다.

<118> 또, 상술한 본 실시예에서는, EUV 광을 공급하기 위한 광원으로서 레이저 플라즈마 광원을 이용하고 있다. 그러나, 이것에 한정되지 않고, EUV 광을 공급하는 다른 적당한 광원, 예컨대 싱크로트론 방사(SOR) 광원 등을 이용할 수도 있다.

<119> 또한, 상술한 본 실시예에서는, EUV 광(X선)을 공급하기 위한 광원을 갖는 노광 장치에 본 발명을 적용하고 있지만, 이것에 한정되지 않고, EUV 광 이외의 다른 광원을 공급하는 광원을 갖는 노광 장치에 대해서도 본 발명을 적용할 수 있다.

<120> 또한, 상술한 본 실시예에서는, 노광 장치의 투영 광학계에 본 발명을 적용하고 있지만, 이것에 한정되지 않고, 제 1 면(물체면)의 이미지를 제 2 면(이미지면) 상에서 광축으로부터 떨어진 소정 영역에 형성하는 일반적인 반사형의 투영 광학계에 대해서도 본 발명을 적용할 수 있다.

<121> 본 발명에 따른 반사형의 투영 광학계에서는, 개구 조리개의 개구부를 원형 형상 이외의 소요의 형상(예컨대 타원 형상)으로 설정하고 있기 때문에, 이미지면 상의 각 점에 도달하는 광속의 개구수의 방향에 따른 불균일성을 작게 억제할 수 있다.

<122> 즉, 본 발명에서는, 시야 영역 및 결상 영역이 광축으로부터 떨어져 위치하는 반사 광학계로서, 이미지면 상의 각 점에 도달하는 광속의 개구수가 방향에 관계없이 거의 균일한 투영 광학계를 실현할 수 있다. 따라서, 본 발명의 노광 장치에서는, 이미지면 상의 각 점에 도달하는 광속의 개구수가 방향에 관계없이 거의 균일한 반사형의 투영 광학계를 이용하여, 예컨대 노광광으로서 EUV 광을 이용하여, 마스크 패턴을 감광성 기판 상에 큰 해상력으로 또한 충실히 형성할 수 있다.

도면의 간단한 설명

<19> 도 1은 광축 상의 개구수 및 광축 밖의 개구수의 정의를 각각 설명하는 도면,

<20> 도 2는 부분 광학계가 만족해야 할 광의의 정현 조건 및 사영 관계에 대하여 설명하는 도면,

<21> 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 노광 장치의 구성을 개략적으로 도시하는 도면,

<22> 도 4는 도 3의 노광 장치에 있어서 웨이퍼 상에 형성되는 원호 형상의 정지 노광 영역과 광축의 위치 관계를 개략적으로 도시하는 도면,

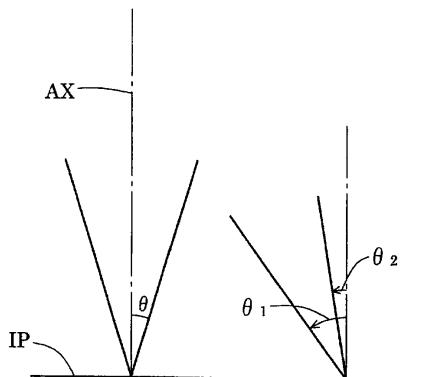
- <23> 도 5는 주사 노광에 의해 웨이퍼 상에 하나의 솟 영역이 형성되는 모양을 개략적으로 도시하는 도면,
- <24> 도 6은 본 실시예에 따른 투영 광학계의 구성을 개략적으로 도시하는 도면,
- <25> 도 7은 종래 기술에 따라 개구부를 원형 형상으로 했을 때의 결상 영역의 각 점에서의 개구의 왜곡 방향 및 왜곡 모양을 모식적으로 도시하는 도면,
- <26> 도 8은 본 발명에 따라 개구부를 타원 형상으로 했을 때의 결상 영역의 각 점에서의 개구의 왜곡 방향 및 왜곡 모양을 모식적으로 도시하는 도면,
- <27> 도 9는 자오선 방향으로 긴 직경을 갖는 타원 형상의 개구부를 갖는 개구 조리개를 개략적으로 도시하는 도면,
- <28> 도 10은 개구의 왜곡이 결상에 부여하는 영향에 대한 시뮬레이션 결과를 도시하는 도면,
- <29> 도 11은 개구 조리개의 개구부가 구체적으로 만족시키는 것이 바람직한 조건을 설명하는 도면,
- <30> 도 12는 마이크로 디바이스로서의 반도체 디바이스를 얻을 때의 수법의 일례에 대하여, 그 흐름도를 도시하는 도면이다.

<31> 도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명

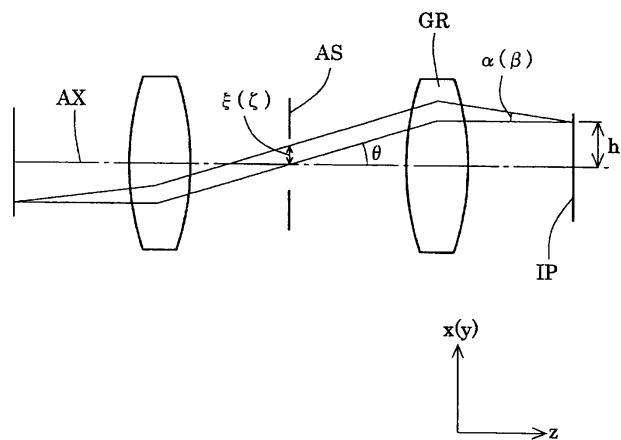
- | | |
|----------------------|---------------|
| <32> 1 : 레이저 플라즈마 광원 | 2 : 파장 선택 필터 |
| <33> 3 : 조명 광학계 | M : 마스크 |
| <34> MS : 마스크 스테이지 | PL : 투영 광학계 |
| <35> W : 웨이퍼 | WS : 웨이퍼 스테이지 |
| <36> M1~M6 : 반사경 | AS : 개구 조리개 |

도면

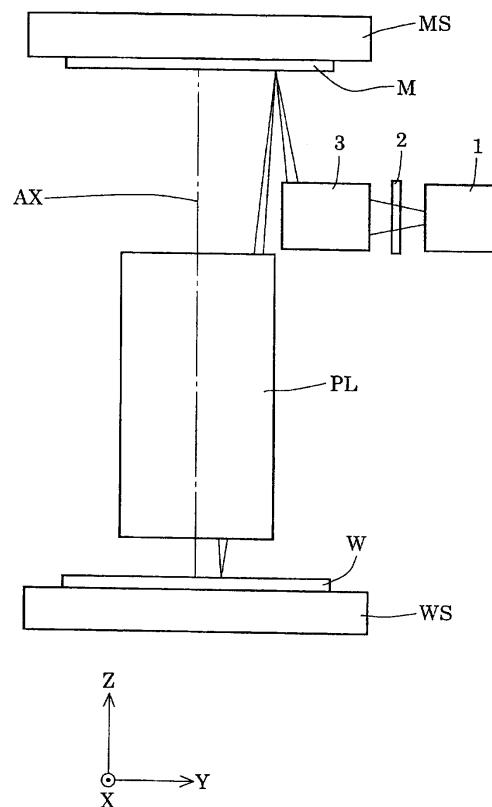
도면1



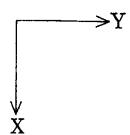
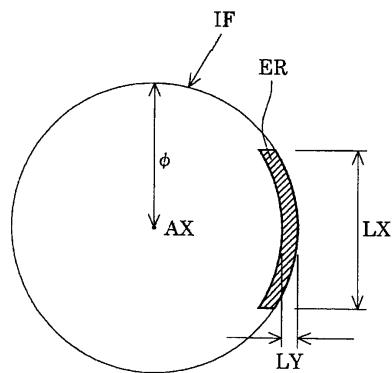
도면2



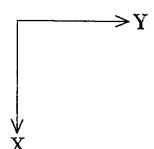
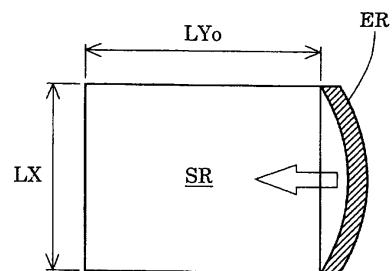
도면3



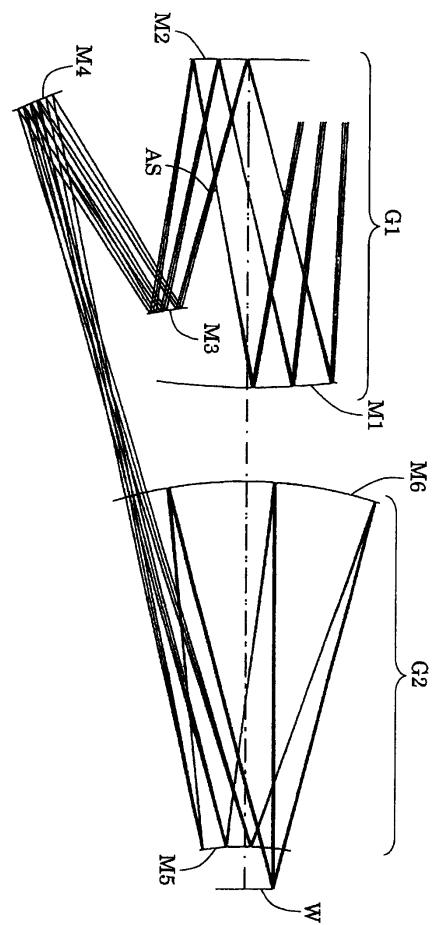
도면4



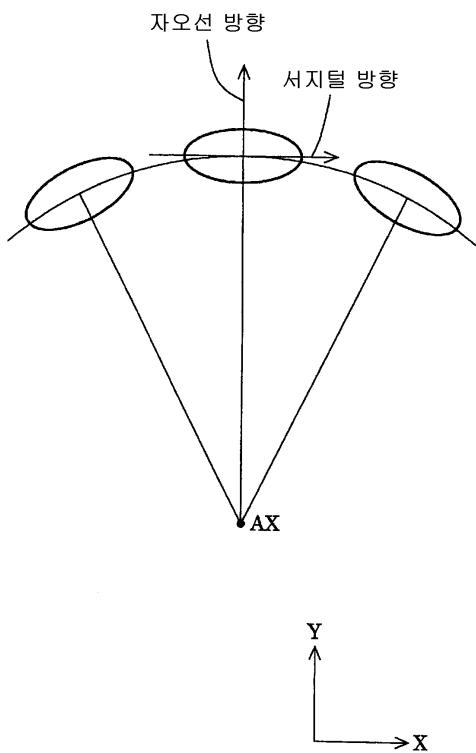
도면5



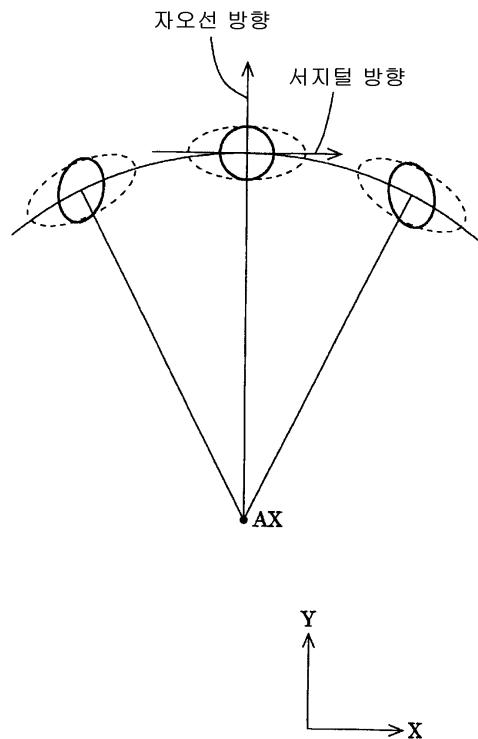
도면6



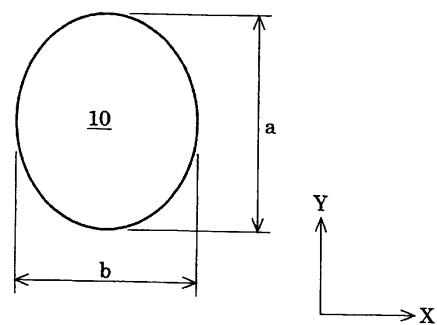
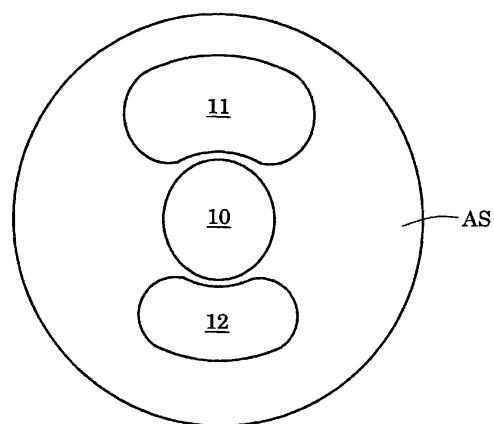
도면7



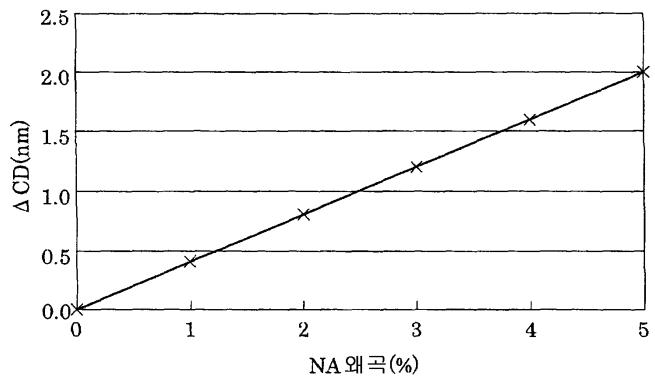
도면8



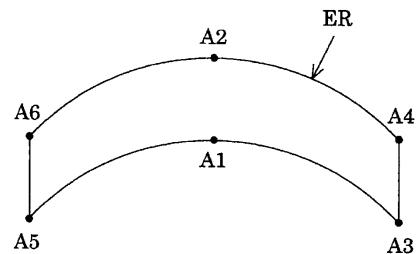
도면9



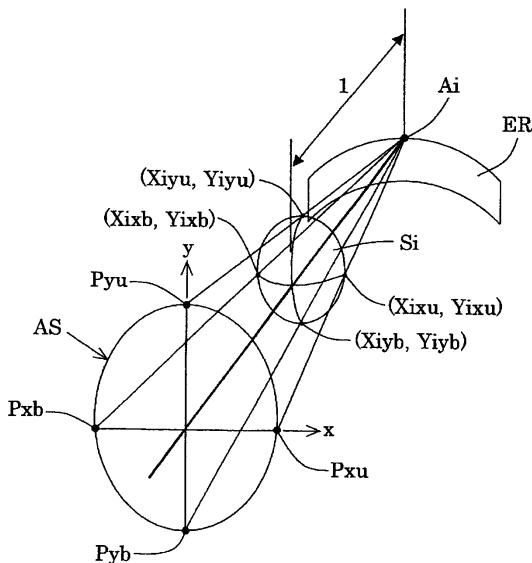
도면10



도면11



(a)



(b)

도면12

