



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0119119
(43) 공개일자 2023년08월16일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03F 1/24 (2012.01) G03F 1/48 (2012.01)
G03F 1/74 (2012.01) G03F 1/84 (2012.01)
H01L 21/027 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G03F 1/24 (2013.01)
G03F 1/48 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2023-7018805
- (22) 출원일자(국제) 2021년12월08일
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2023년06월02일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2021/045162
- (87) 국제공개번호 WO 2022/138170
국제공개일자 2022년06월30일
- (30) 우선권주장
JP-P-2020-212297 2020년12월22일 일본(JP)

- (71) 출원인
호야 가부시킴가이사
일본 도쿄도 신주꾸구 니시신주꾸 6초메 10-1
- (72) 발명자
이케베 요헤이
일본국 1608347 도쿄도 신주꾸구 니시신주꾸 6초메 10-1 호야 가부시킴가이사 내
- (74) 대리인
특허법인(유한) 다래

전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 반사형 마스크 블랭크, 반사형 마스크, 반사형 마스크의 제조 방법 및 반도체 디바이스의 제조 방법

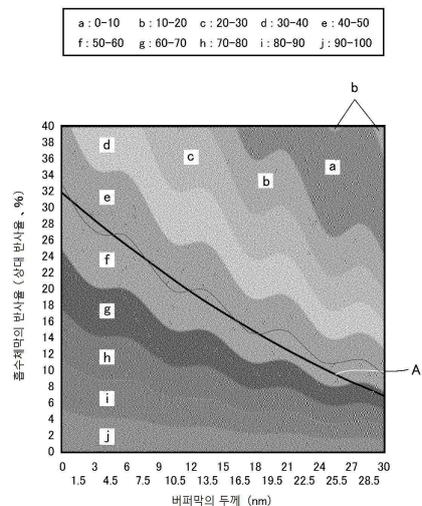
(57) 요약

본 발명은, 반사형 위상 시프트 마스크에 요구되는 위상 시프트 기능 및 광학 특성을 만족시키면서, 마스크 검사를 고정밀도로 행할 수 있는 반사형 마스크 블랭크를 제공한다.

기관의 주표면 상에, 다층 반사막, 제 1 박막 및 제 2 박막을 이 순서로 구비하는 반사형 마스크 블랭크로서, 파장 13.5nm의 광에 있어서의 상기 다층 반사막의 반사율에 대한 제 2 박막의 상대 반사율 R₂는 3% 이상이고, 파장 13.5nm의 광에 있어서의 상기 제 1 박막의 소외 계수를 k₁, 상기 제 1 박막의 두께를 d₁[nm]이라고 했을 때, (식 1)의 관계를 만족시키는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크 블랭크.

(식 1) $21.5 \times k_1^2 \times d_1^2 - 52.5 \times k_1 \times d_1 + 32.1 > R_2$

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

G03F 1/74 (2013.01)

G03F 1/84 (2013.01)

H01L 21/0274 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

기판의 주표면 상에, 다층 반사막, 제 1 박막 및 제 2 박막을 이 순서로 구비하는 반사형 마스크 블랭크로서, 파장 13.5nm의 광에 있어서의 상기 다층 반사막의 반사율에 대한 제 2 박막의 상대 반사율 R_2 는 3% 이상이고, 파장 13.5nm의 광에 있어서의 상기 제 1 박막의 소외 계수를 k_1 , 상기 제 1 박막의 두께를 d_1 [nm]이라고 했을 때, (식 1)의 관계를 만족시키는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크 블랭크.

$$(식 1) \quad 21.5 \times k_1^2 \times d_1^2 - 52.5 \times k_1 \times d_1 + 32.1 > R_2$$

청구항 2

제 1 항에 있어서,
상기 상대 반사율 R_2 는, 32% 이하인 것을 특징으로 하는 반사형 마스크 블랭크.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,
상기 제 1 박막의 소외 계수 k_1 은, 0.05 이하인 것을 특징으로 하는 반사형 마스크 블랭크.

청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 제 1 박막의 두께 d_1 은, 1nm 이상 30nm 이하인 것을 특징으로 하는 반사형 마스크 블랭크.

청구항 5

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 제 1 박막은, 금속 원소와, 산소 및 질소 중 적어도 어느 하나의 원소를 함유하고 있는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크 블랭크.

청구항 6

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 제 2 박막은, 금속 원소를 함유하고 있는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크 블랭크.

청구항 7

제 1 항 내지 제 6 항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 다층 반사막과 상기 제 1 박막의 사이에 보호막을 구비하는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크 블랭크.

청구항 8

제 7 항에 있어서,
상기 보호막은, 루테튬을 함유하는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크 블랭크.

청구항 9

제 1 항 내지 제 8 항 중 어느 한 항에 기재한 반사형 마스크 블랭크의 상기 제 1 박막 및 상기 제 2 박막에 전

사 패턴이 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크.

청구항 10

제 1 항 내지 제 8 항 중 어느 한 항에 기재한 반사형 마스크 블랭크를 이용하는 반사형 마스크의 제조 방법으로서,

상기 제 2 박막에 전사 패턴을 형성하는 공정과,

상기 전사 패턴이 형성된 제 2 박막에 대하여, 파장 13.5nm의 광을 포함하는 검사광을 이용해 상기 전사 패턴의 결함 검사를 행하는 공정과,

상기 결함 검사에서 검출된 제 2 박막의 전사 패턴에 존재하는 결함에 대하여, 불소를 함유하는 물질을 공급하면서 하전(荷電) 입자를 조사하는 결함 수정을 행하는 공정과,

상기 결함 수정 후, 상기 제 1 박막에 전사 패턴을 형성하는 공정을 갖는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크의 제조 방법.

청구항 11

제 9 항에 기재한 반사형 마스크를 이용하고, 반도체 기판 상의 레지스트막에 전사 패턴을 노광 전사하는 공정을 구비하는 것을 특징으로 하는 반도체 디바이스의 제조 방법.

청구항 12

제 10 항에 기재한 반사형 마스크의 제조 방법에 의해 제조된 반사형 마스크를 이용하고, 반도체 기판 상의 레지스트막에 전사 패턴을 노광 전사하는 공정을 구비하는 것을 특징으로 하는 반도체 디바이스의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 반도체 디바이스의 제조 등에 사용되는 노광용 마스크를 제조하기 위한 원판인 반사형 마스크 블랭크, 반사형 마스크, 반사형 마스크의 제조 방법 및 반도체 디바이스의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 반도체 디바이스의 제조에 있어서의 노광 장치는, 광원의 파장을 서서히 짧게 하면서 진화해 오고 있다. 보다 미세한 패턴 전사를 실현하기 위해, 파장이 13.5nm 근방인 극단 자외선(EUV: Extreme Ultra Violet. 이하, EUV 광이라고 하는 경우가 있다.)을 이용한 EUV 리소그래피가 개발되어 있다. EUV 리소그래피에서는, EUV 광에 대하여 투명한 재료가 적은 점에서, 반사형 마스크가 이용된다. 대표적인 반사형 마스크로서, 반사형 바이너리 마스크 및 반사형 위상 시프트 마스크(반사형의 하프톤 위상 시프트 마스크)가 있다. 반사형 바이너리 마스크는, EUV 광을 충분히 흡수하는 비교적 두꺼운 흡수체 패턴을 갖는다. 반사형 위상 시프트 마스크는, EUV 광을 광 흡수에 의해 감광(減光)시키고, 또한 다층 반사막으로부터의 반사광에 대하여 원하는 각도로 위상이 반전된 반사광을 발생시키는 비교적 얇은 흡수체 패턴(위상 시프트 패턴)을 갖는다. 반사형 위상 시프트 마스크는, 위상 시프트 효과에 의해 높은 전사 광학상(像) 콘트라스트가 얻어지므로 해상도를 보다 향상시킬 수 있다. 또, 반사형 위상 시프트 마스크의 흡수체 패턴(위상 시프트 패턴)의 막 두께가 얇은 점에서, 정밀도 좋고 미세한 위상 시프트 패턴을 형성할 수 있다.

[0003] 이와 같은 EUV 리소그래피용의 반사형 마스크 및 이것을 제작하기 위한 마스크 블랭크에 관련된 기술이 특허문헌 1 및 2에 기재되어 있다.

[0004] 특허문헌 1에는, EUV 광에 있어서의 흡수체막의 반사율이 2% 이하인 것을 의도하여, 기판 상에, 다층 반사막, 흡수체막 및 에칭 마스크막을 이 순서로 갖는 반사형 마스크 블랭크로서, 흡수체막이, 버퍼층과, 버퍼층 위에 설치된 흡수층을 갖고, 버퍼층이, 탄탈(Ta) 또는 규소(Si)를 함유하는 재료로 이루어지며, 버퍼막의 막 두께가 0.5nm 이상 25nm 이하이고, 흡수층이 크롬(Cr)을 함유하는 재료로 이루어지며, 버퍼막의 EUV 광에 대한 소쇠(消衰) 계수보다도 흡수층의 소쇠 계수가 크고, 에칭 마스크막이 탄탈(Ta) 또는 규소(Si)를 함유하는 재료로 이루어지며, 에칭 마스크막의 막 두께가 0.5nm 이상 14nm 이하인 반사형 마스크 블랭크가 개시되어 있다.

[0005] 특허문헌 2에는, 기관 상에, 다층 반사막, 보호막 및 EUV 광의 위상을 시프트시키는 위상 시프트막을 이 순서로 갖는 반사형 마스크 블랭크로서, 위상 시프트막은, 제 1 층과 제 2 층을 갖고, 제 1 층은, 탄탈(Ta) 및 크롬(Cr) 중 적어도 1 이상의 원소를 포함하는 재료로 이루어지며, 제 2 층은, 루테튬(Ru)과, 크롬(Cr), 니켈(Ni), 코발트(Co), 바나듐(V), 니오브(Nb), 몰리브덴(Mo), 텅스텐(W) 및 레늄(Re) 중 적어도 1 이상의 원소를 포함하는 금속을 포함하는 재료로 이루어지는 반사형 마스크 블랭크가 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 국제공개 2020/175354호 공보
 (특허문헌 0002) 국제공개 2019/225737호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 패턴을 미세하게 할수록, 및 패턴 치수나 패턴 위치의 정밀도를 높일수록 반도체 디바이스의 전기적 특성 및 성능이 올라가고, 또, 집적도 향상 및 칩 사이즈를 저감할 수 있다. 그 때문에, EUV 리소그래피에는 종래보다도 한 단계 높은 고정밀도이고 또한 미세한 치수의 패턴 전사 성능이 요구되고 있다. 현재는, hp 16nm(half pitch 16nm) 세대 대응의 초미세하고 또한 고정밀도의 패턴 형성이 요구되고 있다. 이와 같은 요구에 대해, EUV 광을 노광광으로서 이용하고, 또한 위상 시프트 효과를 이용하는 반사형 위상 시프트 마스크가 요구되고 있다.

[0008] 반사형 마스크 블랭크를 이용하여 초미세하고 또한 고정밀도의 패턴을 구비하는 반사형 마스크를 제조할 때, 드라이 에칭에 의해 흡수체막에 패턴을 형성한다. 그러나, 흡수체막에 모든 패턴을 고정밀도로 형성하는 것은 어렵고, 흡수체막의 패터닝 후, 에칭으로 제거해야 하는 영역의 흡수체막이 다 제거되지 못하고 잔존해 버리고 있는, 이른바 흑결함이 발생하는 것을 피하기 어렵게 되고 있다. 이와 같은 흡수체 패턴의 흑결함은, 결함 수정 기술에 의해 수정할 수 있는 경우가 많다. 근래는, 흑결함의 주위에 대하여 비여기(非勵起)의 에칭 가스(불소계 가스 등)를 공급하면서, 흑결함에 대하여 전자선 등의 하전(荷電) 입자를 조사함으로써, 흑결함을 휘발시켜 제거하는 결함 수정(EB 결함 수정)이 이용되는 경우가 많다. 그러나, 흡수체막의 구성 원소에 따라서는, 이 EB 결함 수정으로 흑결함의 수정을 행할 때에, 흡수체막과 보호막 사이에서의 수정 레이트차(差)를 충분히 확보할 수 없는 경우가 있다. 한편, 근래, 다양한 재료가 흡수체막을 구성하는 재료로서 검토되고 있다. 흡수체막의 재료에 따라서는, 흡수체막을 패터닝할 때의 드라이 에칭 시, 흡수체막과 보호막 사이에서 충분한 에칭 선택성을 확보할 수 없는 경우가 있다.

[0009] 이러한 사정으로부터, 보호막과 흡수체막의 사이에, 보호막과 흡수체막의 양쪽에 대하여 충분한 에칭 선택성을 갖는 버퍼막을 설치하는 경우가 있다. 이 버퍼막을 구비하는 반사형 마스크 블랭크로부터 반사형 마스크를 제조하는 공정에서는, 흡수체막에 드라이 에칭으로 전사 패턴을 형성하는 공정이 행하여진 후로서, 버퍼막에 드라이 에칭으로 전사 패턴을 형성하는 공정이 행하여지기 전에, 흡수체 패턴의 흑결함의 유무를 포함하는 검사인 마스크 검사(결함 검사)가 행하여진다. 이 마스크 검사에서는, 검사광에 대한 흡수체막이 존재하는 영역으로부터의 반사광과, 흡수체막이 제거되어 버퍼막이 노출된 영역으로부터의 반사광 사이의 콘트라스트로부터, 기관 상에 흡수체막이 존재하고 있는 영역을 검출한다. 이 때문에, 고정밀한 결함 검사를 행하기 위해서는, 검사광에 대하여 흡수체막의 반사광과 버퍼막의 반사광 사이에서 충분한 콘트라스트를 확보할 필요가 있다. 그것에 더하여, 반사형 마스크용의 마스크 블랭크는, 흡수체막과 버퍼막과 흡수체막의 적층 구조로 전사 패턴을 구성하기 때문에, 광학적인 제약이 있다. 특히, 반사형 위상 시프트 마스크의 경우, 버퍼막과 흡수체막의 적층 구조의 전사 패턴 전체에서 원하는 위상 시프트 기능을 발휘할 필요가 있다. 이러한 사정으로부터, 반사형 마스크에 요구되는 EUV 광에 대한 광학 특성을 만족시키면서, 마스크 검사를 고정밀도로 행할 수 있는 반사형 마스크 블랭크를 제공하는 것이 요구되고 있다.

[0010] 그래서, 본 발명은, 반사형 마스크에 요구되는 광학 특성을 만족시키면서, 마스크 검사를 고정밀도로 행할 수 있는 반사형 마스크 블랭크를 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0011] 또, 본 발명은, 상기 반사형 마스크 블랭크를 이용하여 제조되는 반사형 마스크 및 그 제조 방법을 제공하는

것, 그리고 그 반사형 마스크를 이용하는 반도체 디바이스의 제조 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

상기 과제를 해결하기 위해, 본 발명은 이하의 구성을 갖는다.

(구성 1)

기판의 주표면 상에, 다층 반사막, 제 1 박막 및 제 2 박막을 이 순서로 구비하는 반사형 마스크 블랭크로서,

파장 13.5nm의 광에 있어서의 상기 다층 반사막의 반사율에 대한 제 2 박막의 상대 반사율 R_2 는 3% 이상이고,

파장 13.5nm의 광에 있어서의 상기 제 1 박막의 소외 계수를 k_1 , 상기 제 1 박막의 두께를 d_1 [nm]이라고 했을 때, (식 1)의 관계를 만족시키는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크 블랭크.

$$(식 1) \quad 21.5 \times k_1^2 \times d_1^2 - 52.5 \times k_1 \times d_1 + 32.1 > R_2$$

(구성 2)

상기 상대 반사율 R_2 는, 32% 이하인 것을 특징으로 하는 구성 1에 기재한 반사형 마스크 블랭크.

(구성 3)

상기 제 1 박막의 소외 계수 k_1 은, 0.05 이하인 것을 특징으로 하는 구성 1 또는 2에 기재한 반사형 마스크 블랭크.

(구성 4)

상기 제 1 박막의 두께 d_1 은, 1nm 이상 30nm 이하인 것을 특징으로 하는 구성 1 내지 3 중 어느 것에 기재한 반사형 마스크 블랭크.

(구성 5)

상기 제 1 박막은, 금속 원소와, 산소 및 질소 중 적어도 어느 하나의 원소를 함유하고 있는 것을 특징으로 하는 구성 1 내지 4 중 어느 것에 기재한 반사형 마스크 블랭크.

(구성 6)

상기 제 2 박막은, 금속 원소를 함유하고 있는 것을 특징으로 하는 구성 1 내지 5 중 어느 것에 기재한 반사형 마스크 블랭크.

(구성 7)

상기 다층 반사막과 상기 제 1 박막의 사이에 보호막을 구비하는 것을 특징으로 하는 구성 1 내지 6 중 어느 것에 기재한 반사형 마스크 블랭크.

(구성 8)

상기 보호막은, 루테튬을 함유하는 것을 특징으로 하는 구성 7에 기재한 반사형 마스크 블랭크.

(구성 9)

구성 1 내지 구성 8 중 어느 것에 기재한 반사형 마스크 블랭크의 상기 제 1 박막 및 상기 제 2 박막에 전사 패턴이 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크.

(구성 10)

구성 1 내지 구성 8 중 어느 것에 기재한 반사형 마스크 블랭크를 이용하는 반사형 마스크의 제조 방법으로서,

상기 제 2 박막에 전사 패턴을 형성하는 공정과,

상기 전사 패턴이 형성된 제 2 박막에 대하여, 파장 13.5nm의 광을 포함하는 검사광을 이용해 상기 전사 패턴의 결함 검사를 행하는 공정과,

상기 결함 검사에서 검출된 제 2 박막의 전사 패턴에 존재하는 결함에 대하여, 불소를 함유하는 물질을 공급하

면서 하전 입자를 조사하는 결함 수정을 행하는 공정과,

[0039] 상기 결함 수정 후, 상기 제 1 박막에 전사 패턴을 형성하는 공정을 갖는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크의 제조 방법.

[0040] (구성 11)

[0041] 구성 9에 기재한 반사형 마스크를 이용하고, 반도체 기판 상의 레지스트막에 전사 패턴을 노광 전사하는 공정을 구비하는 것을 특징으로 하는 반도체 디바이스의 제조 방법.

[0042] (구성 12)

[0043] 구성 10에 기재한 반사형 마스크의 제조 방법에 의해 제조된 반사형 마스크를 이용하고, 반도체 기판 상의 레지스트막에 전사 패턴을 노광 전사하는 공정을 구비하는 것을 특징으로 하는 반도체 디바이스의 제조 방법.

발명의 효과

[0044] 본 발명에 의하면, 반사형 마스크에 요구되는 광학 특성을 만족시키면서, 마스크 결함 검사를 고정밀도로 행할 수 있는 반사형 마스크 블랭크를 제공할 수 있다.

[0045] 또, 본 발명에 의하면, 상기 반사형 마스크 블랭크를 이용하여 제조되는 반사형 마스크 및 그 제조 방법을 제공하는 것, 그리고 그 반사형 마스크를 이용하는 반도체 디바이스의 제조 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0046] 도 1은, 본 발명의 실시형태의 반사형 마스크 블랭크의 개략 구성의 일례를 설명하기 위한 주요부 단면 모식도이다.

도 2는, 반사형 마스크 블랭크로부터 반사형 마스크를 제작하는 공정을 주요부 단면 모식도로 나타낸 공정도이다.

도 3은, 버퍼막을 TaB0 재료로 구성한 경우의, 파장 13.5nm의 광에 있어서의, 버퍼막의 두께, 흡수체막의 상대 반사율, 콘트라스트의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 4는, 버퍼막을 CrN 재료로 구성한 경우의, 파장 13.5nm의 광에 있어서의, 버퍼막의 두께, 흡수체막의 상대 반사율, 콘트라스트의 관계를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0047] 이하, 본 발명의 실시형태에 대해서 설명하되, 우선 본 발명에 이른 경위에 대해서 설명한다. 본 발명자는, 반사형 마스크에 요구되는 광학 특성을 만족시키면서, 패턴 결함 수정을 행할 수 있는 수단에 대해서 예의 검토를 행하였다. 여기에서는, 특히, 반사형 바이너리 마스크보다도 광학 특성의 제약이 큰 반사형 위상 시프트 마스크의 경우에 대해서 상세한 검토를 행하였다. 우선, 원하는 위상 시프트 기능을 발휘시키기 위해서는, EUV 노광광에 있어서의 다층 반사막에 대한 위상 시프트 기능을 갖는 흡수체막(이하, 단지 「흡수체막」이라고 한다)의 상대 반사율이 3% 이상인 것이 요구되는 것에 주목했다.

[0048] 한편, 근래, 검사용 EUV 광을 검사광에 이용한 검사 장치가 실용화되어 오고 있다. 이 검사 장치는, EUV 리소그래피의 노광 장치에서 이용되고 있는 EUV 광(이하, 이것을 EUV 노광광이라고 하는 경우가 있다.)과 동일 파장의 광(13.5nm의 광)을 이용하여 검사를 행하기 때문에, 다른 파장을 이용하는 검사 장치에 비하여, 노광 시에 문제가 될 수 있는 결함을 파악할 수 있는 점에서 바람직하다. 그러나, 버퍼막을 남긴 상태에서 흡수체 패턴(위상 시프트 패턴)의 결함 수정을 행하는 경우, 버퍼막에서의 흡수나 감쇠가 발생해 버린다.

[0049] 이 점에 대해 검토한 결과, 본 발명자는, 흡수체막과 버퍼막과의 사이에서, 콘트라스트가 40%를 넘는 것이, 버퍼막이 존재하고 있는 상태여도, 마스크 검사를 양호하게 행하기 위해 필요한 것을 찾아냈다. 여기에서, 콘트라스트는, 이하의 식으로 산출되는 값이다. 또, 본 명세서 중에 있어서, 「상대 반사율」이란 다층 반사막의 반사율[%]을 100으로 했을 때의 상대 반사율을 말한다.

[0050]
$$((\text{버퍼막의 상대 반사율}[\%] - \text{흡수체막의 상대 반사율}[\%]) / (\text{버퍼막의 상대 반사율}[\%] + \text{흡수체막의 상대 반사율}[\%])) \times 100$$

[0051] 그리고, 원하는 콘트라스트를 얻기 위한 조건에 대해서 검토한바, 흡수체막의 상대 반사율, 버퍼막의 두께 및

소쇠 계수 k 가 주요인이 되는 것을 알 수 있었다.

[0052] 이 지견에 의거하여, 본 발명자는, 파장 13.5nm의 광에 있어서의, 버퍼막의 두께 및 소쇠 계수 k , 흡수체막의 상대 반사율의 값을 각각 변화시켜, 원하는 콘트라스트를 얻기 위한 조건을 시뮬레이션에 의해 구했다. 그 일례를, 도 3, 도 4에 각각 나타낸다.

[0053] 도 3은, 버퍼막을 TaB로 구성된 경우의, 파장 13.5nm의 광에 있어서의, 버퍼막의 두께, 흡수체막의 상대 반사율, 콘트라스트의 관계를 나타낸 그래프이다. 도 3에 있어서는, 소쇠 계수 k_1 을 0.022, 굴절률 n_1 을 0.955로 하고, 버퍼막의 두께를 0~30nm, 흡수체막의 상대 반사율을 0~40%까지 변화시켜, 콘트라스트에 대한 시뮬레이션을 행하고 있다.

[0054] 도 4는, 버퍼막을 CrN으로 구성된 경우에 있어서의, 버퍼막의 두께, 흡수체 재료의 상대 반사율, 콘트라스트의 관계를 나타낸 그래프이다. 도 4에 있어서는, 소쇠 계수 k_1 을 0.039, 굴절률 n_1 을 0.928로 하고, 버퍼막의 두께를 0~30nm, 흡수체막의 상대 반사율을 0~40%까지 변화시켜, 콘트라스트에 대한 시뮬레이션을 행하고 있다.

[0055] 또, 도 3, 도 4에 있어서, 영역 a, b, ... j는, 콘트라스트가 0-10, 10-20, ... 90-100의 영역을 각각 나타내고 있다.

[0056] 본 발명자는, 이와 같은 다양한 시뮬레이션을 행하여 검토를 거듭한 결과, 이하의 식을 만족시키는 범위의 영역이면, 40%를 넘는 원하는 콘트라스트가 얻어지는 것을 찾아냈다.

[0057] (식 1) $21.5 \times k_1^2 \times d_1^2 - 52.5 \times k_1 \times d_1 + 32.1 > R_2$

[0058] 여기에서, k_1 은 버퍼막의 소쇠 계수, d_1 은 버퍼막의 두께, R_2 는 흡수체막의 상대 반사율이다. 도 3에서의 곡선 A1, 도 4에서의 곡선 A2가 식 1의 등호 부분에 대응하고 있다. 즉, 도 3에 있어서는, 곡선 A1보다도 아래의 영역이면, 40%를 넘는 원하는 콘트라스트가 얻어진다. 또, 도 4에 있어서는, 곡선 A2보다도 아래의 영역이면, 40%를 넘는 원하는 콘트라스트가 얻어진다. 또한, 반사형 바이너리 마스크의 경우에 있어서도, 상기 (식 1)의 조건을 만족시킨다면, 40%를 넘는 원하는 콘트라스트가 얻어진다.

[0059] 본 발명은, 이상과 같은 예의 검토의 결과, 이루어진 것이다. 또한, 본 실시형태에 있어서는, 버퍼막을 제 1 박막, 흡수체막을 제 2 박막으로 했지만, 이것으로 한정되는 것은 아니다.

[0060] 이하, 본 발명의 실시형태에 대해서, 도면을 참조하면서 구체적으로 설명한다. 또한, 이하의 실시형태는, 본 발명을 구체화할 때의 한 형태로서, 본 발명을 그 범위 내로 한정하는 것은 아니다. 또한, 도면 중, 동일 또는 상당하는 부분에는 동일한 부호를 붙이고 그 설명을 간략화 내지 생략하는 경우가 있다.

[0061] < 반사형 마스크 블랭크(100)의 구성 및 그 제조 방법 >

[0062] 도 1은, 본 실시형태의 반사형 마스크 블랭크(100)의 구성을 설명하기 위한 주요부 단면 모식도이다. 도 1에 나타나는 바와 같이, 반사형 마스크 블랭크(100)는, 기관(1)과, 다층 반사막(2)과, 보호막(3)과, 버퍼막(제 1 박막)(4)과, 흡수체막(제 2 박막)(5)을 갖고, 이들이 이 순서로 적층된 구조를 갖는다. 다층 반사막(2)은, 제 1 주면(主面)(표측(表側) 표면)측에 형성되며, 노광광인 EUV 광을 높은 반사율로 반사한다. 보호막(3)은, 다층 반사막(2)을 보호하기 위해 설치되며, 후술하는 버퍼막(4)을 패터닝할 때에 사용하는 에칭트 및 세정액에 대하여 내성을 갖는 재료로 형성된다. 버퍼막(4) 및 흡수체막(5)은, EUV 광을 흡수하는 동시에 위상 시프트 기능을 갖는다. 또, 기관(1)의 제 2 주면(이측(裏側) 표면)측에는, 정전 척용의 도전막(도시하지 않음)이 형성된다. 또한, 흡수체막(5) 위에 에칭 마스크막을 갖도록 해도 된다.

[0063] 본 명세서에 있어서, 「기관(1)의 주표면 위에, 다층 반사막(2)을 갖는다」란, 다층 반사막(2)이, 기관(1)의 표면에 접하여 배치되는 것을 의미하는 경우 외에, 기관(1)과, 다층 반사막(2)과의 사이에 다른 막을 갖는 것을 의미하는 경우도 포함한다. 다른 막에 대해서도 마찬가지이다. 예를 들면 「막 A 위에 막 B를 갖는다」란, 막 A와 막 B가 직접 접하도록 배치되어 있는 것을 의미하는 것 외에, 막 A와 막 B의 사이에 다른 막을 갖는 경우도 포함한다. 또, 본 명세서에 있어서, 예를 들면 「막 A가 막 B의 표면에 접하여 배치된다」란, 막 A와 막 B의 사이에 다른 막을 개재하지 않고, 막 A와 막 B가 직접 접하도록 배치되어 있는 것을 의미한다.

[0064] 이하, 본 실시형태를, 각 층마다 설명한다.

[0065] << 기관(1) >>

- [0066] 기관(1)은, EUV 광에 의한 노광 시의 열에 의한 흡수체 패턴(전사 패턴)(5a)(도 2 참조)의 왜곡을 방지하기 위해, $0 \pm 5\text{ppb}/^\circ\text{C}$ 의 범위 내의 저열팽창 계수를 갖는 것이 바람직하게 이용된다. 이 범위의 저열팽창 계수를 갖는 소재로는, 예를 들면, $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ 계 유리, 다성분계 유리 세라믹스 등을 이용할 수 있다.
- [0067] 기관(1)의 전사 패턴(후술의 버퍼 패턴(4a) 및 흡수체 패턴(5a)이 이것에 대응한다.)이 형성되는 측의 제 1 주면은, 적어도 패턴 전사 정밀도, 위치 정밀도를 얻는 관점에서 고평탄도가 되도록 표면 가공되어 있다. EUV 노광의 경우, 기관(1)의 전사 패턴이 형성되는 측의 주표면(제 1 주면)의 $132\text{mm} \times 132\text{mm}$ 의 영역에 있어서, 평탄도가 $0.1\mu\text{m}$ 이하인 것이 바람직하고, 더욱 바람직하게는 $0.05\mu\text{m}$ 이하, 특히 바람직하게는 $0.03\mu\text{m}$ 이하이다. 또, 전사 패턴이 형성되는 측과 반대측의 제 2 주면은, 노광 장치에 세트할 때에 정전 척킹되는 면으로서, $132\text{mm} \times 132\text{mm}$ 의 영역에 있어서, 평탄도가 $0.1\mu\text{m}$ 이하인 것이 바람직하고, 더욱 바람직하게는 $0.05\mu\text{m}$ 이하, 특히 바람직하게는 $0.03\mu\text{m}$ 이하이다. 또한, 반사형 마스크 블랭크(100)에서의 제 2 주면측의 평탄도는, $142\text{mm} \times 142\text{mm}$ 의 영역에 있어서, 평탄도가 $1\mu\text{m}$ 이하인 것이 바람직하고, 더욱 바람직하게는 $0.5\mu\text{m}$ 이하, 특히 바람직하게는 $0.3\mu\text{m}$ 이하이다.
- [0068] 또, 기관(1)의 표면 평활도의 높음도 극히 중요한 항목이다. 기관(1)의 제 1 주면의 표면 거칠기는, 제곱 평균 평방근 거칠기(RMS)로 0.1nm 이하인 것이 바람직하다. 또한, 표면 평활도는, 원자간력 현미경으로 측정할 수 있다.
- [0069] 또한, 기관(1)은, 그 위에 형성되는 막(다층 반사막(2) 등)의 막 응력에 의한 변형을 억제하기 위해, 높은 강성을 갖고 있는 것이 바람직하다. 특히, 기관(1)은, 65GPa 이상의 높은 영률을 갖고 있는 것이 바람직하다.
- [0070] <<다층 반사막(2)>>
- [0071] 다층 반사막(2)은, 반사형 마스크(200)에 있어서, EUV 광을 반사하는 기능을 부여하는 것이며, 굴절률이 다른 원소를 주성분으로 하는 각 층이 주기적으로 적층된 다층막이다.
- [0072] 일반적으로는, 고굴절률 재료인 경원소(輕元素) 또는 그 화합물의 박막(고굴절률층)과, 저굴절률 재료인 중원소(重元素) 또는 그 화합물의 박막(저굴절률층)이 교대로 40에서 60 주기 정도 적층된 다층막이, 다층 반사막(2)으로서 이용된다. 다층막은, 기관(1)측으로부터 고굴절률층과 저굴절률층을 이 순서로 적층한 고굴절률층/저굴절률층의 적층 구조를 1 주기로 하여 복수 주기 적층해도 된다. 또, 다층막은, 기관(1)측으로부터 저굴절률층과 고굴절률층을 이 순서로 적층한 저굴절률층/고굴절률층의 적층 구조를 1 주기로 하여 복수 주기 적층해도 된다. 또한, 다층 반사막(2)의 최표면(最表面)의 층, 즉 다층 반사막(2)의 기관(1)과 반대측의 표면층은, 고굴절률층으로 하는 것이 바람직하다. 상술의 다층막에 있어서, 기관(1)측으로부터 고굴절률층과 저굴절률층을 이 순서로 적층한 고굴절률층/저굴절률층의 적층 구조를 1 주기로 하여 복수 주기 적층하는 경우는, 최상층이 저굴절률층이 된다. 이 경우, 저굴절률층이 다층 반사막(2)의 최표면을 구성하면 용이하게 산화되어 버려, 반사형 마스크(200)의 반사율이 감소한다. 그 때문에, 최상층의 저굴절률층 상에, 고굴절률층을 추가로 형성하여 다층 반사막(2)으로 하는 것이 바람직하다. 한편, 상술의 다층막에 있어서, 기관(1)측으로부터 저굴절률층과 고굴절률층을 이 순서로 적층한 저굴절률층/고굴절률층의 적층 구조를 1 주기로 하여 복수 주기 적층하는 경우는, 최상층이 고굴절률층이 되므로, 그대로어도 된다.
- [0073] 본 실시형태에 있어서, 고굴절률층으로는, 규소(Si)를 포함하는 층이 채용된다. Si를 포함하는 재료로는, Si 단체(單體) 외에, Si에, 붕소(B), 탄소(C), 질소(N) 및 산소(O)를 포함하는 Si 화합물을 이용할 수 있다. Si를 포함하는 층을 고굴절률층으로서 사용함으로써, EUV 광의 반사율이 뛰어난 EUV 리소그래피용 반사형 마스크(200)가 얻어진다. 또, 본 실시형태에 있어서 기관(1)으로는 유리 기관이 바람직하게 이용된다. Si는 유리 기관과의 밀착성에 있어서도 뛰어나다. 또, 저굴절률층으로는, 몰리브덴(Mo), 루테튬(Ru), 로듐(Rh) 및 백금(Pt)으로부터 선택되는 금속 단체, 또는 이들의 합금이 이용된다. 예를 들면 파장 13nm 에서 14nm 의 EUV 광에 대한 다층 반사막(2)으로는, 바람직하게는 Mo 막과 Si 막을 교대로 40에서 60 주기 정도 적층한 Mo/Si 주기 적층막이 이용된다. 또한, 다층 반사막(2)의 최상층인 고굴절률층을 규소(Si)로 형성해도 된다.
- [0074] 다층 반사막(2)의 단독에서의 반사율은, 통상 65% 이상이며, 상한은 통상 73%이다. 또한, 다층 반사막(2)의 각 구성층의 막 두께 및 주기는, 노광 파장에 따라 적절히 선택하면 되고, 브래그 반사의 법칙을 만족시키도록 선택된다. 다층 반사막(2)에 있어서 고굴절률층 및 저굴절률층은 각각 복수 존재하지만, 고굴절률층끼리, 그리고 저굴절률층끼리의 막 두께가 동일하지 않아도 된다. 또, 다층 반사막(2)의 최표면의 Si 층의 막 두께는, 반사율을 저하시키지 않는 범위에서 조정할 수 있다. 최표면의 Si 층(고굴절률층)의 막 두께는, 3nm 에서 10nm 의 범위로 할 수 있다.

- [0075] 다층 반사막(2)의 형성 방법은 당해 기술 분야에 있어서 공지이다. 예를 들면 이온 빔 스퍼터링법에 의해, 다층 반사막(2)의 각 층을 성막함으로써 형성할 수 있다. 상술한 Mo/Si 주기 적층막의 경우, 예를 들면 이온 빔 스퍼터링법에 의해, 우선 Si 타겟을 이용하여 두께 4nm 정도의 Si 막을 기판(1) 상에 성막한다. 그 후 Mo 타겟을 이용하여 두께 3nm 정도의 Mo 막을 성막한다. 이 Si 막/Mo 막을 1 주기로 하여, 40에서 60 주기 적층해, 다층 반사막(2)을 형성한다(최표면의 층은 Si 층으로 한다). 또한, 예를 들면, 다층 반사막(2)을 60 주기로 한 경우, 40 주기보다 공정수는 늘어나지만, EUV 광에 대한 반사율을 높일 수 있다. 또, 다층 반사막(2)의 성막 시에, 이온원(源)으로부터 크립톤(Kr) 이온 입자를 공급하여, 이온 빔 스퍼터링을 행함으로써 다층 반사막(2)을 형성하는 것이 바람직하다.
- [0076] <<보호막(3)>>
- [0077] 본 실시형태의 반사형 마스크 블랭크(100)는, 다층 반사막(2)과 버퍼막(4)의 사이에 보호막(3)을 구비하는 것이 바람직하다.
- [0078] 후술하는 반사형 마스크(200)의 제조 공정에서의 드라이 에칭 및 세정으로부터 다층 반사막(2)을 보호하기 위해, 다층 반사막(2) 위에, 또는 다층 반사막(2)의 표면에 접하여 보호막(3)을 형성할 수 있다. 보호막(3)은, 버퍼막(4)을 패터닝할 때에 사용하는 에천트, 및 세정액에 대하여 내성을 갖는 재료로 형성된다. 다층 반사막(2) 위에 보호막(3)이 형성되어 있음으로써, 다층 반사막(2) 및 보호막(3)을 갖는 기판(1)을 이용하여 반사형 마스크(200)(EUV 마스크)를 제조할 때의, 다층 반사막(2)의 표면의 대미지를 억제할 수 있다. 그 때문에, 다층 반사막(2)의 EUV 광에 대한 반사율 특성이 양호해진다.
- [0079] 보호막(3)은, 루테튬을 함유하는 것이 바람직하다. 보호막(3)의 재료는, Ru 금속 단체여도 되고, Ru에 티탄(Ti), 니오브(Nb), 몰리브덴(Mo), 지르코늄(Zr), 이트륨(Y), 붕소(B), 란탄(La), 코발트(Co) 및 레늄(Re) 등으로부터 선택되는 적어도 1종의 금속을 함유한 Ru 합금이어도 되며, 질소를 포함하고 있어도 상관없다. 이와 같은 보호막(3)은, 특히, 버퍼막(4)을, 염소계 가스(Cl계 가스)의 드라이 에칭으로 패터닝하는 경우에 유효하다. 보호막(3)은, 염소계 가스를 이용한 드라이 에칭에 있어서의 보호막(3)에 대한 버퍼막(4)의 에칭 선택비(버퍼막(4)의 에칭 속도/보호막(3)의 에칭 속도)가 1.5 이상, 바람직하게는 3 이상이 되는 재료로 형성되는 것이 바람직하다. 여기에서, 도 1에서는 보호막(3)이 1층인 경우를 나타내고 있지만, 3층 이상의 적층 구조로 할 수도 있다. 예를 들면, 최하층과 최상층을, Ru를 함유하는 물질로 이루어지는 층으로 하고, 최하층과 최상층의 사이에, Ru 이외의 금속, 또는 합금을 개재시킨 보호막(3)으로 해도 상관없다. 한편, 보호막(3)은, 규소(Si), 규소(Si) 및 산소(O)를 포함하는 재료, 규소(Si) 및 질소(N)를 포함하는 재료, 규소(Si), 산소(O) 및 질소(N)를 포함하는 재료 등의 규소계 재료로부터 선택한 재료를 사용할 수도 있다.
- [0080] EUV 리소그래피에서는, 노광광에 대하여 투명한 물질이 적기 때문에, 마스크 패턴면의 이물 부착을 방지하는 EUV 펠리클이 기술적으로 간단하지는 않다. 이 점에서, 펠리클을 이용하지 않는 펠리클리스 운용이 주류로 되어 있다. 또, EUV 리소그래피에서는, EUV 노광에 의해 마스크에 카본막이 퇴적하거나, 또는 산화막이 성장하는 것과 같은 노광 컨테미네이션이 발생한다. 그 때문에, EUV 노광용의 반사형 마스크(200)를 반도체 디바이스의 제조에 사용하고 있는 단계에서, 자주 세정을 행하여 마스크 상의 이물이나 컨테미네이션을 제거할 필요가 있다. 이 때문에, EUV 노광용 반사형 마스크(200)에서는, 광 리소그래피용의 투과형 마스크에 비해 현격한 차이의 마스크 세정 내성이 요구되고 있다. 반사형 마스크(200)가 보호막(3)을 가짐으로써, 세정액에 대한 세정 내성을 높일 수 있다.
- [0081] 보호막(3)의 막 두께는, 다층 반사막(2)을 보호한다는 기능을 다할 수 있는 한 특별히 제한되지 않는다. EUV 광의 반사율의 관점에서, 보호막(3)의 막 두께는, 바람직하게는 1.0nm 이상 8.0nm 이하, 보다 바람직하게는 1.5nm 이상 6.0nm 이하이다.
- [0082] 보호막(3)의 형성 방법으로는, 공지의 막 형성 방법과 마찬가지로 특별히 제한 없이 채용할 수 있다. 구체적으로는, 스퍼터링법 및 이온 빔 스퍼터링법을 들 수 있다.
- [0083] <<버퍼막(제 1 박막) 및 흡수체막(제 2의 박막)>>
- [0084] 본 실시형태의 반사형 마스크 블랭크(100)에서는, 다층 반사막(2)의 위, 또는 다층 반사막(2)의 위에 형성된 보호막(3) 위에, 버퍼막(제 1 박막)(4) 및 흡수체막(제 2 박막)(5)이 형성된다. 버퍼막(4) 및 흡수체막(5)은, 반사형 마스크(200)의 상태에서는, 버퍼막(4)에 버퍼 패턴(4a)이, 흡수체막(5)에 흡수체 패턴(5a)이 각각 형성되고, 이 버퍼 패턴(4a) 및 흡수체 패턴(5a)이 전사 패턴을 구성하는 것이다.

- [0085] 흡수체막(5)에서의, 파장 13.5nm의 광(EUV 노광광 또는 검사용 EUV 광)에 있어서의 다층 반사막(2)의 반사율에 대한 상대 반사율 R_2 는 3% 이상이다. 그리고, 파장 13.5nm의 광에 있어서의 버퍼막(4)의 소외 계수를 k_1 , 버퍼막(4)의 두께를 d_1 [nm]이라고 했을 때, (식 1)의 관계를 만족시키는 것이다.
- [0086] (식 1) $21.5 \times k_1^2 \times d_1^2 - 52.5 \times k_1 \times d_1 + 32.1 > R_2$
- [0087] 본 실시형태의 후술하는 반사형 마스크(200)에 있어서, 버퍼막(4) 및 흡수체막(5)(버퍼 패턴(4a) 및 흡수체 패턴(5a))이 설치되어 있는 부분에서는, EUV 광을 흡수하여 감광하면서 패턴 전사에 악영향이 없는 레벨에서 일부의 광을 반사시킨다. 한편, 개구부(버퍼막(4) 및 흡수체막(5)이 없는 부분)에서는, EUV 광이, 다층 반사막(2)으로부터(보호막(3)이 있는 경우에는, 보호막(3)을 개재하여 다층 반사막(2)으로부터) 반사된다. 버퍼막(4) 및 흡수체막(5)이 형성되어 있는 부분으로부터의 반사광은, 개구부로부터의 반사광과 원하는 위상차를 형성한다. 버퍼막(4) 및 흡수체막(5)은, 버퍼막(4) 및 흡수체막(5)으로부터의 반사광과, 다층 반사막(2)으로부터의 반사광과의 위상차가, 130도에서 230도가 되도록 형성된다. 180도 근방 또는 220도 근방의 반전된 위상차의 광끼리가 패턴 에지부에서 서로 간섭함으로써, 투영 광학상의 상 콘트라스트가 향상된다. 그 상 콘트라스트의 향상에 수반하여 해상도가 올라가, 노광량 여유도(裕度) 및 초점 여유도 등의 노광에 관한 각종 여유도가 확대된다.
- [0088] 이하, 각각의 막에 대해서 설명한다.
- [0089] <<버퍼막(제 1 박막)>>
- [0090] 본 실시형태의 반사형 마스크 블랭크(100)에서는, 다층 반사막(2)의 위, 또는 다층 반사막(2)의 위에 형성된 보호막(3) 위에, 버퍼막(제 1 박막)(4)이 형성된다.
- [0091] 버퍼막(4)은, 금속 원소를 함유하고 있는 것이 바람직하다. 이 금속 원소는, 광의(廣義)의 금속 원소로 할 수 있고, 알칼리금속, 알칼리 토류 금속, 전이금속, 반(半)금속 중에서 선택할 수 있다. 버퍼막(4)은, 다층 반사막(2)과의 에칭 선택성(보호막(3)이 형성되어 있는 경우에는 보호막(3)과의 에칭 선택성)을 갖는 것이며, 상술한 (식 1)의 관계를 만족시키는 것이면, 상술의 광의의 금속 원소로부터 선택할 수 있다.
- [0092] 또, 버퍼막(제 1 박막)(4)은, 금속 원소와, 산소 및 질소 중 적어도 어느 하나의 원소를 함유하고 있는 것이 바람직하다. 산소나 질소가 함유되어 있음으로써, 소외 계수를 저하시킬 수 있어, 설계 자유도를 높일 수 있다. 또, 산소나 질소가 미리 함유되어 있음으로써, 버퍼막(4)에 형성되는 패턴의 산화에 의한 팽창이나 변형을 억제할 수 있다.
- [0093] 버퍼막(4)의 두께 d_1 은, 1nm 이상인 것이 바람직하고, 3nm 이상이면 보다 바람직하다. 흡수체 패턴(5a)에 대하여 결함 수정을 행하는 경우에, 다층 반사막(2) 또는 보호막(3)에의 대미지를 억제할 수 있기 때문이다. 한편, 버퍼막(4)의 두께 d_1 은, 30nm 이하인 것이 바람직하고, 20nm 이하이면 보다 바람직하며, 15nm 이하이면 더욱 바람직하다. 상기의 콘트라스트를 40%보다도 크게 하기 위해 필요한 흡수체 패턴(5a)의 상대 반사율의 상한치가 올라가, 흡수체막(5)의 설계 자유도가 높아진다. 또, 흡수체 패턴(5a)에 대한 대미지나 사이드 에칭 진행을 억제할 수 있기 때문이다.
- [0094] 버퍼막(4)의 재료로는, 상술한 바와 같이 특별히 한정되는 것은 아니지만, 탄탈계 재료나 크롬계 재료를 바람직하게 이용할 수 있다. 탄탈계 재료로는, 탄탈 금속 외에, 탄탈(Ta)에 질소(N), 산소(O), 붕소(B) 및 탄소(C)로부터 선택되는 1 이상의 원소를 함유시킨 재료 등을 적용하는 것이 바람직하다. 그중에서도, 탄탈(Ta)과, 산소(O) 및 붕소(B)로부터 선택되는 적어도 하나의 원소를 포함하는 것인 것이 바람직하다. 또, 버퍼막(4)을 크롬을 함유하는 재료로 형성하는 경우, 크롬 금속 외에, 크롬(Cr)에 산소(O), 질소(N), 탄소(C), 붕소(B) 및 불소(F)로부터 선택되는 하나 이상의 원소를 함유하는 재료 등을 적용하는 것이 바람직하다. 특히 크롬(Cr)의 질화물을 포함하는 재료가 바람직하다.
- [0095] 또, 버퍼막(4)의 굴절률 n_1 은, 0.975 이하이면 바람직하고, 0.955 이하이면 보다 바람직하다. 또, 버퍼막(4)의 굴절률 n_1 은, 0.890 이상이면 바람직하고, 0.910 이상이면 보다 바람직하다.
- [0096] 소외 계수 k_1 이 0.016~0.039의 범위인 것이 바람직하다.
- [0097] 버퍼막(4)의 소외 계수 k_1 은, 0.05 이하이면 바람직하고, 0.04 이하이면 보다 바람직하며, 0.03 이하이면 더욱 바람직하다. 광학 시뮬레이션의 결과로 보아, 파장 13.5nm의 광에 대한 버퍼막(4)으로부터의 반사광보다도, 다

층 반사막(2)으로부터의 반사광의 광 강도 쪽이 강하고, 버퍼막(4)의 소외 계수 k_1 이 커짐에 따라 버퍼막(4)의 반사광이 저하되는 것으로 추찰된다. 소외 계수 k_1 을 상기의 범위로 함으로써, 버퍼막(4)의 반사광의 저하를 억제할 수 있는 것으로 추찰되므로, 바람직하다.

[0098] <<흡수체막(제 2 박막)(5)>>

[0099] 본 실시형태의 반사형 마스크 블랭크(100)에서는, 버퍼막(4) 위에, 흡수체막(5)이 형성된다. 상술한 바와 같이, 흡수체막(5)에서의, 파장 13.5nm의 광(EUV 노광광 또는 검사용 EUV 광)에 있어서의 다층 반사막(2)의 반사율에 대한 상대 반사율 R_2 는 3% 이상이다. 이 상대 반사율 R_2 는, 흡수체막(5)에서 반사된 반사광(엄밀히는, 흡수체막(5)의 표면에서 반사된 광과, 흡수체막(5)과 버퍼막(4)의 계면에서 반사된 광의 양쪽을 포함한다.)뿐만 아니라, 버퍼막(4)에서 반사된 반사광(버퍼막(4)과 보호막(3)의 계면에서 반사된 광)도 포함하여 산출되는 것이다. 즉, 이 상대 반사율 R_2 는, 버퍼막(4)과 흡수체막(5)의 적층 구조에서의 표면 반사율로 규정할 수도 있다.

[0100] 또, 이 상대 반사율 R_2 는, 32% 이하인 것이 바람직하다. 파장 13.5nm의 광에 대한 마스크 검사로 충분한 콘트라스트를 확보하는 동시에, 노광 전사 시의 패턴상(像)에서 충분한 콘트라스트를 확보하기 위함이다.

[0101] 패턴이나 노광 조건에도 따르지만, 위상 시프트 효과를 얻기 위해, 전사 패턴(버퍼 패턴(4a) 및 흡수체 패턴(5a))의 EUV 광에 대한 절대 반사율은, 4%~27%인 것이 바람직하고, 10%~17%인 것이 보다 바람직하다.

[0102] 본 실시형태의 흡수체막(5)은, 금속 원소를 함유하고 있는 것이 바람직하다. 특별히 한정되는 것은 아니지만, 예를 들면, 흡수체막(5)은, 루테튬(Ru)과 크롬(Cr)을 함유하는 재료로 형성해도 된다. 흡수체막(5)은, 루테튬(Ru) 및 크롬(Cr)에, 질소(N), 산소(O), 붕소(B) 및 탄소(C)로부터 선택되는 적어도 하나의 원소를 함유시킨 재료를 이용하는 것이 보다 바람직하다.

[0103] 한편, 흡수체막(5)은, 탄탈(Ta)에, 텔루륨(Te), 안티몬(Sb), 백금(Pt), 요오드(I), 비스무트(Bi), 이리듐(Ir), 오스뮴(Os), 텅스텐(W), 레늄(Re), 주석(Sn), 인듐(In), 폴로늄(Po), 철(Fe), 금(Au), 수은(Hg), 갈륨(Ga) 및 알루미늄(Al)으로부터 선택되는 적어도 하나의 원소를 함유시킨 재료를 이용해도 된다. 또한, 흡수체막(5)은, 탄탈(Ta)과 이리듐(Ir)을 함유하는 재료로 형성해도 된다. 흡수체막(5)은, 루테튬(Ru) 및 크롬(Cr)에, 질소(N), 산소(O), 붕소(B) 및 탄소(C)로부터 선택되는 적어도 하나의 원소를 함유시킨 재료를 이용하는 것이 보다 바람직하다.

[0104] 흡수체막(5)의 위상차 및 반사율은, 굴절률 n_2 , 소외 계수 k_2 및 막 두께를 바꿈으로써 조정하는 것이 가능하다. 흡수체막(5)의 막 두께는, 60nm 이하가 바람직하고, 50nm 이하가 보다 바람직하며, 45nm 이하가 더욱 바람직하다. 흡수체막(5)의 막 두께는, 20nm 이상이 바람직하다. 또한, 보호막(3)을 갖는 경우에는, 흡수체막(5)의 위상차 및 반사율은, 보호막(3)의 굴절률 n , 소외 계수 k 및 막 두께를 고려하여 조정할 수도 있다.

[0105] 파장 13.5nm의 광에 대한 흡수체막(5)의 굴절률 n_2 는, 0.870 이상인 것이 바람직하고, 0.885 이상인 것이 보다 바람직하다. 또, 흡수체막(5)의 굴절률 n_2 는, 0.955 이하인 것이 바람직하고, 0.940 이하인 것이 바람직하다. 파장 13.5nm의 광에 대한 흡수체막(5)의 소외 계수 k_2 는, 0.01 이상인 것이 바람직하고, 0.02 이상인 것이 바람직하다. 또, 흡수체막(5)의 소외 계수 k_2 는, 0.05 이하인 것이 바람직하고, 0.04 이하인 것이 바람직하다.

[0106] 상술의 소정의 재료의 흡수체막(5)은, DC 스퍼터링법 및 RF 스퍼터링법 등의 스퍼터링법, 그리고 산소 가스 등을 이용한 반응성 스퍼터링법과 같은 공지의 방법으로 형성할 수 있다. 타겟은, 1종의 금속을 포함하는 것이어도 되고, 흡수체막(5)을 2종 이상의 금속으로 구성하는 경우에는, 2종 이상의 금속(예를 들면 Ru와 Cr)을 포함하는 합금 타겟을 이용할 수 있다. 또, 흡수체막(5)을 2종 이상의 금속으로 구성하는 경우에는, 흡수체막(5)을 구성하는 박막은, Ru 타겟과 Cr 타겟을 이용하는 코스퍼터링(co-sputtering)으로 성막할 수 있다.

[0107] 위상 시프트막(4)은, 2층 이상을 포함하는 다층막이어도 된다.

[0108] <<에칭 마스크막>>

[0109] 흡수체막(5) 위에, 또는 흡수체막(5)의 표면에 접하여, 에칭 마스크막을 형성할 수 있다. 에칭 마스크막의 재료로는, 에칭 마스크막에 대한 위상 시프트막(4)의 에칭 선택비가 높아지는 것과 같은 재료를 이용한다. 여기에서, 「A에 대한 B의 에칭 선택비」란, 에칭을 행할 필요가 없는 층(마스크가 되는 층)인 A와 에칭을 행할 필요가 있는 층인 B와의 에칭 레이트의 비를 말한다. 구체적으로는 「A에 대한 B의 에칭 선택비=B의 에칭 속도

/A의 에칭 속도」의 식에 의해 특정된다. 또, 「선택비가 높다」란, 비교 대상에 대해, 상기 정의의 선택비의 값이 큰 것을 말한다. 에칭 마스크막에 대한 흡수체막(5)의 에칭 선택비는, 1.5 이상이 바람직하고, 3 이상이 더욱 바람직하다.

- [0110] 본 실시형태에 있어서의 Ru계 재료로 형성된 흡수체막(5)은, 산소를 포함하는 염소계 가스, 또는 산소 가스에 의한 드라이 에칭에 의해 에칭이 가능하다. 에칭 마스크막에 대한 Ru계 재료의 흡수체막(5)의 에칭 선택비가 높은 재료로는, 규소(Si) 또는 규소 화합물의 재료를 이용할 수 있다.
- [0111] 에칭 마스크막에 이용할 수 있는 규소 화합물로는, 규소(Si)와 질소(N), 산소(O), 탄소(C) 및 수소(H)로부터 선택되는 적어도 하나의 원소를 포함하는 재료, 그리고 규소 또는 규소 화합물에 금속을 포함하는 금속 규소(금속 실리사이드) 또는 금속 규소 화합물(금속 실리사이드 화합물) 등의 재료를 들 수 있다. 금속 규소 화합물로는, 금속 및 Si와, N, O, C 및 H로부터 선택되는 적어도 하나의 원소를 포함하는 재료를 들 수 있다.
- [0112] 에칭 마스크막의 막 두께는, 전사 패턴을 정밀도 좋게 흡수체막(5)에 형성하는 에칭 마스크로서의 기능을 얻는 관점에서, 2nm 이상인 것이 바람직하다. 또, 에칭 마스크막의 막 두께는, 레지스트막의 막 두께를 얇게 하는 관점에서, 15nm 이하인 것이 바람직하다.
- [0113] <<도전막>>
- [0114] 기관(1)의 제 2 주면(이측 표면)측(다층 반사막(2) 형성면의 반대측)에는, 일반적으로, 정전 척용의 도전막(도시하지 않음)이 형성된다. 정전 척용의 도전막에 요구되는 전기적 특성(시트 저항)은 통상 $100\Omega/\square$ (Ω /Square) 이하이다. 도전막의 형성 방법은, 예를 들면 마그네트론 스퍼터링법 또는 이온 빔 스퍼터링법에 의해, 크롬(Cr) 및 탄탈(Ta) 등의 금속 및 합금의 타겟을 사용하여 형성할 수 있다.
- [0115] 도전막의 크롬(Cr)을 포함하는 재료는, Cr을 함유하고, 추가로 붕소(B), 질소(N), 산소(O) 및 탄소(C)로부터 선택한 적어도 하나를 함유한 Cr 화합물인 것이 바람직하다.
- [0116] 도전막의 탄탈(Ta)을 포함하는 재료로는, Ta(탄탈), Ta를 함유하는 합금, 또는 이들 중 어느 것에 붕소, 질소, 산소 및 탄소 중 적어도 하나를 함유한 Ta 화합물을 이용하는 것이 바람직하다.
- [0117] 도전막의 두께는, 정전 척용으로서의 기능을 만족시키는 한 특별히 한정되지 않는다. 도전막의 두께는, 통상 10nm에서 200nm이다. 또, 이 도전막은 마스크 블랭크(100)의 제 2 주면측의 응력 조정도 견비하고 있다. 즉, 도전막은, 제 1 주면측에 형성된 각종 막으로부터의 응력과 밸런스를 잡아, 평탄한 반사형 마스크 블랭크(100)가 얻어지도록 조정되어 있다.
- [0118] <반사형 마스크(200) 및 그 제조 방법>
- [0119] 본 실시형태의 반사형 마스크(200)는, 반사형 마스크 블랭크(100)의 버퍼막(4) 및 흡수체막(5)에 전사 패턴(버퍼 패턴(4a) 및 흡수체 패턴(5a))이 형성되어 있는 것이다. 전사 패턴이 형성된 버퍼막(4) 및 흡수체막(5)(버퍼 패턴(4a) 및 흡수체 패턴(5a))은, 상술의 본 실시형태의 반사형 마스크 블랭크(100)의 버퍼막(4) 및 흡수체막(5)과 마찬가지로이다. 상술의 본 실시형태의 반사형 마스크 블랭크(100)의 버퍼막(4) 및 흡수체막(5)을 패터닝함으로써, 전사 패턴(버퍼 패턴(4a) 및 흡수체 패턴(5a))을 형성할 수 있다. 위상 시프트막(4)의 패터닝은, 소정의 드라이 에칭 가스에 의해 행할 수 있다. 반사형 마스크(200)의 버퍼 패턴(4a) 및 흡수체 패턴(5a)은, EUV 광을 흡수하고, 또 일부의 EUV 광을 개구부(버퍼 패턴(4a) 및 흡수체 패턴(5a))이 형성되어 있지 않은 부분)와는 소정의 위상차로 반사할 수 있다. 상기 소정의 드라이 에칭 가스는, 염소계 가스 및 산소 가스의 혼합 가스, 산소 가스 및 불소계 가스 등을 사용할 수 있다. 버퍼 패턴(4a) 및 흡수체 패턴(5a)을 패터닝하기 위해, 필요에 따라서 버퍼 패턴(4a) 및 흡수체 패턴(5a) 위에 에칭 마스크막을 설치할 수 있다. 그 경우, 에칭 마스크 패턴을 마스크로 하여, 버퍼막(4) 및 흡수체막(5)을 드라이 에칭해 버퍼 패턴(4a) 및 흡수체 패턴(5a)을 형성할 수 있다.
- [0120] 본 실시형태의 반사형 마스크 블랭크(100)를 사용하여, 반사형 마스크(200)를 제조하는 방법에 대해서 설명한다.
- [0121] 반사형 마스크 블랭크(100)를 준비하여, 그 제 1 주면의 흡수체막(5) 위에, 레지스트막을 형성한다(반사형 마스크 블랭크(100)로서 레지스트막을 구비하고 있는 경우는 불요). 이 레지스트막에 원하는 전사 패턴을 묘화(노광)하고, 추가로 현상, 린스함으로써 소정의 레지스트 패턴(6a)(전사 패턴을 갖는 레지스트막)을 형성한다(도 2(a) 참조).

- [0122] 다음으로, 이 레지스트 패턴(6a)을 마스크로 하여, 흡수체막(5)을 에칭해 흡수체 패턴(5a)(전사 패턴을 갖는 흡수체막(5))을 형성한다. 이 에칭에 대하여, 버퍼막(4)은 충분한 에칭 선택성을 가지므로, 버퍼막(4)은 전면(全面)에서 잔존한다. 흡수체 패턴(5a)을 형성한 후, 잔존하는 레지스트 패턴(6a)은 제거한다(에칭 마스크막이 형성되어 있는 경우에는, 레지스트 패턴(6a)을 마스크로 하여 에칭 마스크막을 에칭해 에칭 마스크 패턴을 형성하고, 이 에칭 마스크 패턴을 마스크로 하여 흡수체 패턴(5a)을 형성하고, 에칭 마스크 패턴을 제거한다.). 이때, 흡수체 패턴(5a)에는 결함 부분(5b)이 잔존하고 있는 경우가 있다(도 2(b) 참조). 이 흡수체 패턴(5a)에 대하여, 파장 13.5nm의 광(검사용 EUV 광)을 이용한 마스크 검사(결함 검사)를 행하여, 결함 부분(5b)의 검출을 행한다.
- [0123] 본 실시형태에 있어서의 반사형 마스크 블랭크(100)는, 상술한 바와 같이, 파장 13.5nm의 광(EUV 노광광 또는 검사용 EUV 광)에 있어서의 다층 반사막(2)의 반사율에 대한 상대 반사율 R_2 는 3% 이상이다. 그리고, 파장 13.5nm의 광에 있어서의 버퍼막(4)의 소외 계수를 k_1 , 버퍼막(4)의 두께를 d_1 [nm]이라고 했을 때, (식 1)의 관계를 만족시키는 것이다.
- [0124] (식 1) $21.5 \times k_1^2 \times d_1^2 - 52.5 \times k_1 \times d_1 + 32.1 > R_2$
- [0125] 이 때문에, 흡수체막(5)과 버퍼막(4)의 사이에서 40%를 상회하는 적합한 콘트라스트를 확보할 수 있어, 전사 패턴을 형성하는데 있어서 문제가 될 수 있는 결함 부분(5b)(도시와 같이 흡수체막(5)이 일부 깎여진 상태의 결함 부분도 포함한다)을 정밀도 좋게 검출하는 것이 가능해진다.
- [0126] 그리고, 검출한 결함 부분(5b)에 대하여, 비여기 상태의 불소계 가스(불소를 함유하는 물질)를 공급하면서, 그 부분에 전자선(하전 입자)을 조사함으로써, 결함 부분(5b)을 제거한다(도 2(c) 참조).
- [0127] 그 후, 흡수체 패턴(5a)을 마스크로 하여, 버퍼막(4)을 에칭해 버퍼 패턴(4a)(전사 패턴을 갖는 버퍼막(4))을 형성한다. 마지막으로, 산성이나 알칼리성의 수용액을 이용한 웨트 세정을 행하여, 본 실시형태의 반사형 마스크(200)가 제조된다(도 2(d) 참조).
- [0128] 이와 같이, 본 실시형태의 반사형 마스크(200)의 제조 방법은, 반사형 마스크 블랭크(100)를 이용하는 반사형 마스크(200)의 제조 방법으로서, 제 2 박막인 흡수체막(5)에 전사 패턴을 구성하는 흡수체 패턴(5a)을 형성하는 공정과, 흡수체 패턴(5a)에 대하여, 파장 13.5nm의 광을 포함하는 검사광을 이용해 흡수체 패턴(5a)의 결함 검사를 행하는 공정과, 결함 검사에서 검출된 흡수체 패턴(5a)에 존재하는 결함 부분(5b)에 대하여, 불소를 함유하는 물질을 공급하면서 하전 입자를 조사하는 결함 수정을 행하는 공정과, 결함 수정 후, 제 1 박막인 버퍼막에 전사 패턴을 구성하는 버퍼 패턴(4a)을 형성하는 공정을 갖는 것을 특징으로 하는 것이다.
- [0129] <반도체 디바이스의 제조 방법>
- [0130] 본 실시형태는, 상술의 반사형 마스크(200), 또는 상술의 반사형 마스크(200)의 제조 방법에 의해 제조된 반사형 마스크(200)를 이용하고, 반도체 기판 상의 레지스트막에 전사 패턴을 노광 전사하는 공정을 구비하는, 반도체 디바이스의 제조 방법이다. 본 실시형태의 반사형 마스크(200)를, EUV 광의 노광 광원을 갖는 노광 장치에 세트하고, 피전사 기판 상에 형성되어 있는 레지스트막에 전사 패턴을 전사함으로써, 반도체 디바이스를 제조할 수 있다. 그 때문에, 미세하고 또한 고정밀도의 전사 패턴을 갖는 반도체 디바이스를 제조할 수 있다.
- [0131] **실시예**
- [0132] 이하, 실시예에 대해서 도면을 참조하면서 설명한다. 본 실시형태는 이들 실시예로 한정되는 것은 아니다. 또한, 실시예에 있어서 마찬가지로의 구성요소에 대해서는 동일한 부호를 사용하고, 설명을 간략화 또는 생략한다.
- [0133] [실시예 1]
- [0134] 실시예 1로서, 반사형 마스크 블랭크(100)의 제조 방법에 대해서 설명한다.
- [0135] 제 1 주면 및 제 2 주면의 양 주표면이 연마된 6025 사이즈(약 152mm×152mm×6.35mm)의 저열팽창 유리 기판인 SiO₂-TiO₂계 유리 기판을 준비해 기판(1)으로 했다. 평탄하고 평활한 주표면이 되도록, 조(粗)연마 가공 공정, 정밀 연마 가공 공정, 국소 가공 공정 및 터치 연마 가공 공정으로 이루어지는 연마를 행하였다.
- [0136] 다음으로, SiO₂-TiO₂계 유리 기판(1)의 제 2 주면(이측 표면)에, CrN 막으로 이루어지는 도전막을 마그네트론 스퍼터링(반응성 스퍼터링)법에 의해 하기의 조건으로 형성했다. 도전막은, Cr 타겟을 이용하여, 아르곤(Ar)가

스와 질소(N₂) 가스의 혼합 가스 분위기에서, 20nm의 막 두께가 되도록 성막했다.

- [0137] 다음으로, 도전막이 형성된 측과 반대측의 기판(1)의 주표면(제 1 주면) 상에, 다층 반사막(2)을 형성했다. 기판(1) 상에 형성되는 다층 반사막(2)은, 파장 13.5nm의 EUV 광에 적합한 다층 반사막(2)으로 하기 위해, 몰리브덴(Mo)과 규소(Si)로 이루어지는 주기(周期) 적층 반사막으로 했다. 다층 반사막(2)은, Mo 타겟과 Si 타겟을 사용하고, 크립톤(Kr) 가스 분위기 중에서 이온 빔 스퍼터링법에 의해 기판(1) 상에 Mo 층 및 Si 층을 교대로 적층하여 형성했다. 우선, Si 막을 4.2nm의 막 두께로 성막하고, 계속해서, Mo 막을 2.8nm의 막 두께로 성막했다. 이것을 1 주기로 하여, 마찬가지로 해서 40 주기 적층하고, 마지막으로 Si 막을 4.0nm의 막 두께로 성막하여, 다층 반사막(2)을 형성했다.
- [0138] 계속해서, Ar 가스 분위기 중에서, Ru 타겟을 사용한 스퍼터링법에 의해, 다층 반사막(2)의 표면에 Ru 막으로 이루어지는 보호막(3)을, 3.5nm의 막 두께가 되도록 성막했다.
- [0139] 다음으로, DC 마그네트론 스퍼터링법(반응성 스퍼터링법)에 의해, 실시예 1에서의 버퍼막(4)으로서, 탄탈(Ta)과, 산소(O) 및 붕소(B)로 이루어지는 박막(TaBO 막)을 형성했다. 버퍼막(4)은, 탄탈(Ta)과 붕소(B)의 혼합 타겟을 이용하여, 아르곤(Ar) 가스와 산소(O₂) 가스의 혼합 가스의 분위기 중에서, 6nm의 두께로 형성했다.
- [0140] 상기와 같이 형성한 실시예 1의 버퍼막(4)(TaBO 막)의 파장 13.5nm에 있어서의 굴절률 n_1 , 소외 계수(굴절률 허수부(虛部)) k_1 , 상대 반사율 R_1 은, 각각 이하와 같았다.
- [0141] TaBO 막: $n_1=0.955$, $k_1=0.022$, $R_1=80.1\%$
- [0142] 다음으로, DC 마그네트론 스퍼터링법(반응성 스퍼터링법)에 의해, 흡수체막(5)으로서 루테튬(Ru), 크롬(Cr) 및 질소(N)로 이루어지는 박막(RuCrN 막)을 형성했다. 흡수체막(5)은, Ru 타겟과 Cr 타겟을 이용하여, 크립톤(Kr) 가스와 질소(N₂) 가스의 혼합 가스 분위기에서, 40.0nm의 두께로 형성했다.
- [0143] 상기와 같이 형성한 실시예 1의 흡수체막(5)(RuCrN 막)의 파장 13.5nm에 있어서의 굴절률 n_2 , 소외 계수(굴절률 허수부) k_2 , 상대 반사율 R_2 는, 각각 이하와 같았다.
- [0144] RuCrN 막: $n_2=0.900$, $k_2=0.021$, $R_2=19.9\%$
- [0145] 이상의 순서에 따라, 실시예 1의 반사형 마스크 블랭크(100)를 제조했다.
- [0146] 실시예 1의 반사형 마스크 블랭크(100)에 있어서의 버퍼막(4) 및 흡수체막(5)에 대하여, 식 1의 관계를 만족시키는지 여부에 대해 검토한바, 식 1의 좌변($21.5 \times k_1^2 \times d_1^2 - 52.5 \times k_1 \times d_1 + 32.1$)의 값은 25.6, 우변(R_2)의 값은 19.9가 되어, 식 1의 관계를 만족시키고 있었다. 그리고, 실시예 1에서의 흡수체막(5)과 버퍼막(4) 사이의 콘트라스트는 60.2%로, 40%를 넘는 양호한 값이었다.
- [0147] 다음으로, 상기 반사형 마스크 블랭크(100)를 이용하여, 도 2에 나타내는 공정에 따라 실시예 1의 반사형 마스크(200)를 제조했다.
- [0148] 도 2(b)에 나타나는 공정에 있어서, 실시예 1에서의 흡수체 패턴(5a)에 대하여, 파장 13.5nm의 광(검사용 EUV 광)을 이용한 마스크 검사(결함 검사)를 행한바, 전자 패턴을 형성하는 데 있어서 문제가 될 수 있는 결함 부분(5b)을 정밀도 좋게 검출할 수 있었다. 이것에 의해, 검출한 결함 부분(5b)에 대하여, 불소계 가스를 공급하면서, 그 부분에 전자선을 조사함으로써, 결함 부분(5b)을 제거할 수 있어, 양호한 흡수체 패턴(5a)을 갖는 반사형 마스크(200)를 제조할 수 있었다.
- [0149] 실시예 1에서 제작한 반사형 마스크(200)를 EUV 스캐너에 세트하고, 반도체 기판 상에 피가공막과 레지스트막이 형성된 웨이퍼에 대하여 EUV 노광을 행하였다. 그리고, 이 노광 완료 레지스트막을 현상함으로써, 피가공막이 형성된 반도체 기판 상에 레지스트 패턴을 형성했다. 이 레지스트 패턴을 에칭에 의해 피가공막에 전사하고, 또, 절연막 및 도전막의 형성, 도펀트의 도입, 그리고 어닐 등 여러 가지 공정을 거침으로써, 원하는 특성을 갖는 반도체 디바이스를 제조할 수 있었다.
- [0150] [실시예 2]

- [0151] 실시예 2에서는, 버퍼막(4) 및 흡수체막(5)을 제외하고, 실시예 1과 마찬가지로의 구조와 방법으로, 반사형 마스크 블랭크(100)를 제조했다.
- [0152] 실시예 1과 마찬가지로 기판(1) 상에 다층 반사막(2), 보호막(3)을 형성한 후에, DC 마그네트론 스퍼터링법(반응성 스퍼터링법)에 의해, 실시예 2에 있어서의 버퍼막(4)으로서, 크롬(Cr)과 질소(N)로 이루어지는 박막(CrN 막)을 형성했다. 버퍼막(4)은, 크롬(Cr) 타겟을 이용하여, 아르곤(Ar) 가스와 질소(N₂) 가스의 혼합 가스의 분위기 중에서, 6nm의 두께로 형성했다.
- [0153] 상기와 같이 형성한 실시예 2의 버퍼막(4)(CrN 막)의 파장 13.5nm에 있어서의 굴절률 n_1 , 소외 계수(굴절률 허수부) k_1 , 상대 반사율 R_1 은, 각각 이하와 같았다.
- [0154] CrN 막: $n_1=0.928$, $k_1=0.039$, $R_1=67.4\%$
- [0155] 다음으로, DC 마그네트론 스퍼터링법(반응성 스퍼터링법)에 의해, 흡수체막(5)으로서 이리듐(Ir), 탄탈(Ta) 및 산소(O)로 이루어지는 박막(IrTaO 막)을 형성했다. 흡수체막(5)은, Ir 타겟과 Ta 타겟을 이용하여, 크립톤(Kr) 가스와 산소(O₂) 가스의 혼합 가스 분위기에서, 40.0nm의 막 두께가 되도록, 반응성 스퍼터링에 의해 성막했다.
- [0156] 상기와 같이 형성한 실시예 2의 흡수체막(5)(IrTaO 막)의 파장 13.5nm에 있어서의 굴절률 n_2 , 소외 계수(굴절률 허수부) k_2 , 상대 반사율 R_2 는, 각각 이하와 같았다.
- [0157] IrTaO 막: $n_2=0.927$, $k_2=0.033$, $R_2=5.2\%$
- [0158] 이상의 순서로, 실시예 2의 반사형 마스크 블랭크(100)를 제조했다.
- [0159] 실시예 2의 반사형 마스크 블랭크(100)에 있어서의 버퍼막(4) 및 흡수체막(5)에 대하여, 식 1의 관계를 만족시키는지 여부에 대해 검토한바, 식 1의 좌변($21.5 \times k_1^2 \times d_1^2 - 52.5 \times k_1 \times d_1 + 32.1$)의 값은 21.0, 우변(R_2)의 값은 5.2가 되어, 식 1의 관계를 만족시키고 있었다. 그리고, 실시예 2에 있어서의 흡수체막(5)과 버퍼막(4) 사이의 콘트라스트는 85.7%로, 40%를 넘는 양호한 값이었다.
- [0160] 다음으로, 상기 반사형 마스크 블랭크(100)를 이용하여, 도 2에 나타내는 공정에 따라 실시예 2의 반사형 마스크(200)를 제조했다.
- [0161] 도 2(b)에 나타나는 공정에 있어서, 실시예 2에 있어서의 흡수체 패턴(5a)에 대하여, 파장 13.5nm의 광(검사용 EUV 광)을 이용한 마스크 검사(결함 검사)를 행한바, 전자 패턴을 형성하는 데 있어서 문제가 될 수 있는 결함 부분(5b)을 정밀도 좋게 검출할 수 있었다. 이것에 의해, 검출한 결함 부분(5b)에 대하여, 불소계 가스를 공급 하면서, 그 부분에 전자선을 조사함으로써, 결함 부분(5b)을 제거할 수 있어, 양호한 흡수체 패턴(5a)을 갖는 반사형 마스크(200)를 제조할 수 있었다.
- [0162] 실시예 2에서 제작한 반사형 마스크(200)를 EUV 스캐너에 세트하고, 반도체 기판 상에 피가공막과 레지스트막이 형성된 웨이퍼에 대하여 EUV 노광을 행하였다. 그리고, 이 노광 완료 레지스트막을 현상함으로써, 피가공막이 형성된 반도체 기판 상에 레지스트 패턴을 형성했다. 이 레지스트 패턴을 에칭에 의해 피가공막에 전사하고, 또, 절연막 및 도전막의 형성, 도펀트의 도입, 그리고 어닐 등 여러 가지 공정을 거침으로써, 원하는 특성을 갖는 반도체 디바이스를 제조할 수 있었다.
- [0163] [비교예 1]
- [0164] 비교예 1에서는, 버퍼막 및 흡수체막을 제외하고, 실시예 1과 마찬가지로의 구조와 방법으로, 반사형 마스크 블랭크를 제조했다.
- [0165] 실시예 1과 마찬가지로 기판 상에 다층 반사막, 보호막을 형성한 후에, DC 마그네트론 스퍼터링법(반응성 스퍼터링법)에 의해, 비교예 1에 있어서의 버퍼막으로서, 탄탈(Ta)과, 산소(O) 및 붕소(B)로 이루어지는 박막(TaBO 막)을 형성했다. 버퍼막은, 탄탈(Ta)과 붕소(B)의 혼합 타겟을 이용하여, 아르곤(Ar) 가스와 산소(O₂) 가스의 혼합 가스의 분위기 중에서, 10nm의 두께로 형성했다.
- [0166] 상기와 같이 형성한 비교예 1의 버퍼막(TaBO 막)의 파장 13.5nm에 있어서의 굴절률 n_1 , 소외 계수(굴절률 허수

부) k_1 , 상대 반사율 R_1 은, 각각 이하와 같았다.

[0167]

TaBO 막: $n_1=0.955$, $k_1=0.022$, $R_1=60.8\%$

[0168]

다음으로, DC 마그네트론 스퍼터링법(반응성 스퍼터링법)에 의해, 흡수체막으로서 루테튬(Ru) 및 질소(N)로 이루어지는 박막(RuN 막)을 형성했다. 흡수체막은, Ru 타겟을 이용하여, 크립톤(Kr) 가스와 질소(N_2) 가스의 혼합 가스 분위기에서, 40.0nm의 두께로 형성했다.

[0169]

상기와 같이 형성한 비교예 1의 흡수체막(RuN 막)의 파장 13.5nm에 있어서의 굴절률 n_2 , 소외 계수(굴절률 허수부) k_2 , 상대 반사율 R_2 는, 각각 이하와 같았다.

[0170]

RuN 막: $n_2=0.890$, $k_2=0.016$, $R_2=27.4\%$

[0171]

이상의 순서로, 비교예 1의 반사형 마스크 블랭크를 제조했다.

[0172]

비교예 1의 반사형 마스크 블랭크에 있어서의 버퍼막 및 흡수체막에 대하여, 식 1의 관계를 만족시키는지 여부에 대해 검토한바, 식 1의 좌변($21.5 \times k_1^2 \times d_1^2 - 52.5 \times k_1 \times d_1 + 32.1$)의 값은 21.7, 우변(R_2)의 값은 27.4가 되어, 식 1의 관계를 만족시키는 것은 아니었다. 그리고, 비교예 1에서의 흡수체막과 버퍼막 사이의 콘트라스트는 37.9%로, 40%를 하회하는 값이었다.

[0173]

다음으로, 상기 반사형 마스크 블랭크를 이용하여, 도 2에 나타내는 공정에 따라 비교예 1의 반사형 마스크(200)를 제조했다.

[0174]

도 2(b)에 나타나는 공정에 있어서, 비교예 1에 있어서의 흡수체 패턴에 대하여, 파장 13.5nm의 광(검사용 EUV 광)을 이용한 마스크 검사(결함 검사)를 행한바, 전사 패턴을 형성하는 데 있어서 문제가 될 수 있는 결함 부분을 정밀도 좋게 검출할 수 없었다. 수정해야 하는 결함 부분을 다 검출하지 못하여, 흡수체 패턴 및 버퍼 패턴에 결함 부분이 잔존해 버려, 양호한 흡수체 패턴을 갖는 반사형 마스크를 제조할 수 없었다.

[0175]

비교예 1에서 제작한 반사형 마스크를 EUV 스캐너에 세트하고, 반도체 기판 상에 피가공막과 레지스트막이 형성된 웨이퍼에 대하여 EUV 노광을 행하였다. 그리고, 이 노광 완료 레지스트막을 현상함으로써, 피가공막이 형성된 반도체 기판 상에 레지스트 패턴을 형성했다. 이 레지스트 패턴을 에칭에 의해 피가공막에 전사한바, 잔존하고 있었던 결함 부분이 전사되어 버리고 있었다.

[0176]

그 때문에, 실시예 1 및 2의 경우와 달리, 비교예 1에서 제작한 반사형 마스크를 이용한 경우에는, 원하는 특성을 갖는 반도체 디바이스를 제조할 수 없었다.

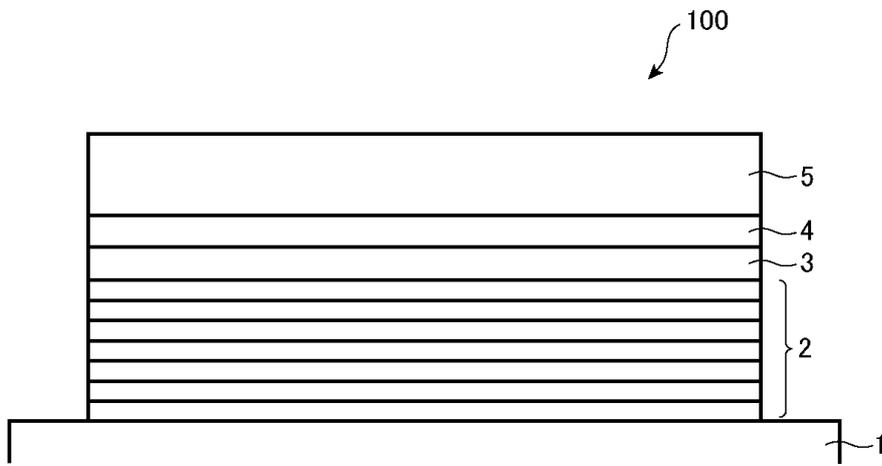
부호의 설명

[0177]

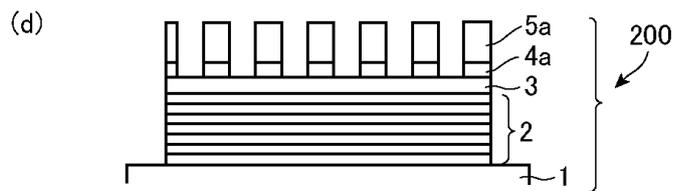
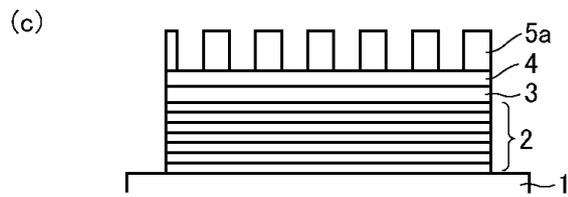
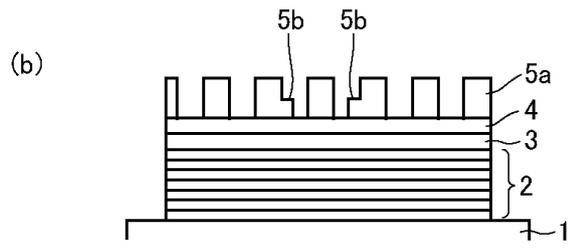
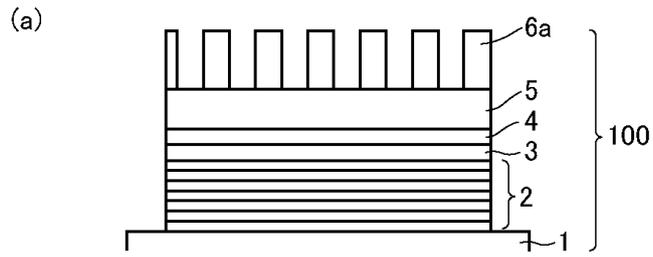
- 1: 기판
- 2: 다층 반사막
- 3: 보호막
- 4: 버퍼막(제 1 박막)
- 4a: 버퍼 패턴(전사 패턴)
- 5: 위상 시프트 기능을 갖는 흡수체막(제 2 박막)
- 5a: 흡수체 패턴(전사 패턴)
- 5b: 결함 부분
- 6a: 레지스트 패턴
- 100: 반사형 마스크 블랭크
- 200: 반사형 마스크

도면

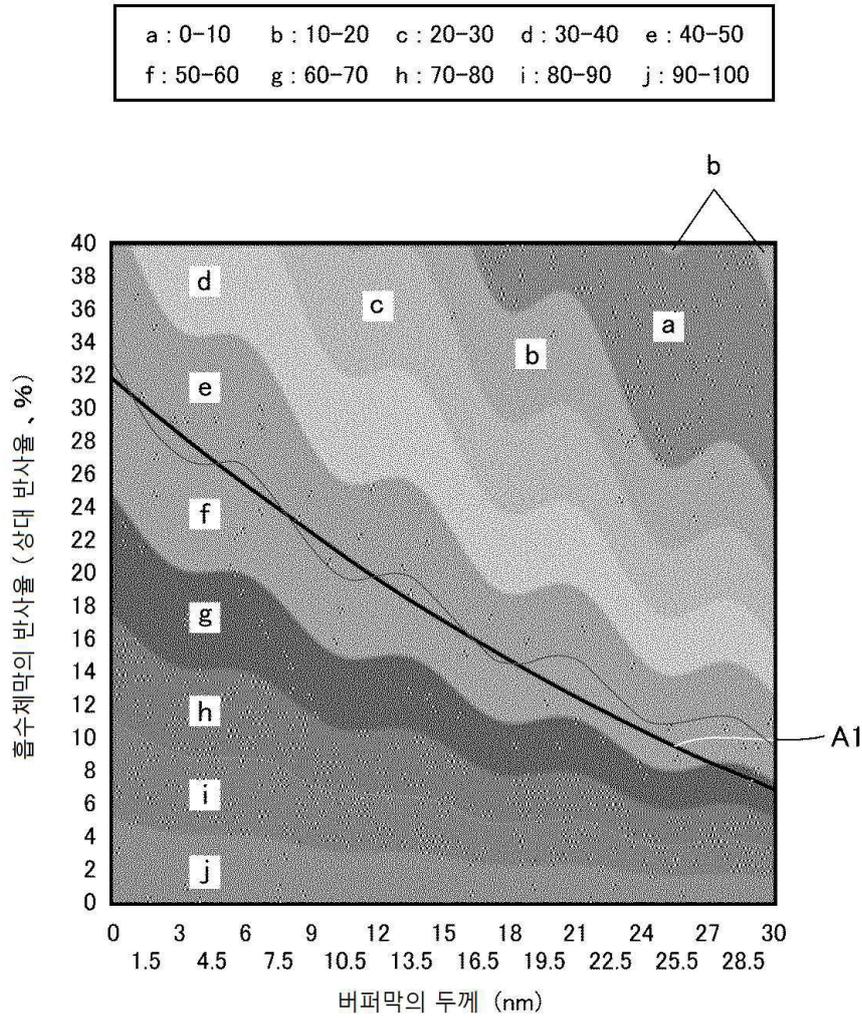
도면1



도면2



도면3



도면4

