



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0011685  
(43) 공개일자 2024년01월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G03F 1/24 (2012.01) G03F 1/26 (2012.01)  
(52) CPC특허분류  
G03F 1/24 (2013.01)  
G03F 1/26 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2023-7038576  
(22) 출원일자(국제) 2022년05월06일  
심사청구일자 없음  
(85) 번역문제출일자 2022년11월08일  
(86) 국제출원번호 PCT/JP2022/019567  
(87) 국제공개번호 WO 2022/249863  
국제공개일자 2022년12월01일  
(30) 우선권주장  
JP-P-2021-089300 2021년05월27일 일본(JP)

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

전체 청구항 수 : 총 11 항

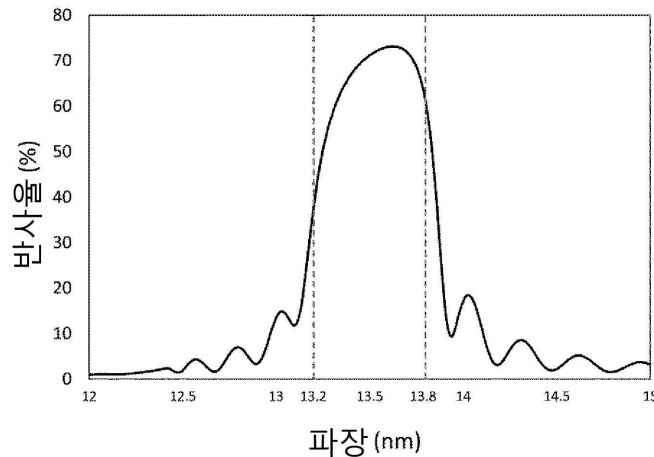
(54) 발명의 명칭 마스크 블랭크, 반사형 마스크 및 반도체 디바이스의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은, EUV 노광 장치로 노광 전사를 행하였을 때에, 뛰어난 전사 특성을 발현할 수 있는 반사형 마스크를 제조할 수 있는 마스크 블랭크를 제공한다. 기관의 주표면 상에, 다층 반사막과 패턴 형성용 박막이 이 순서로 설치된 마스크 블랭크이다. 박막은, 금속을 함유하는 재료로 이루어지고, 박막의 파장  $\lambda_L=13.2\text{nm}$ 의 광에 대한 굴절률을  $n_L$ , 박막의 파장  $\lambda_M=13.5\text{nm}$ 의 광에 대한 굴절률을  $n_M$ , 박막의 파장  $\lambda_H=13.8\text{nm}$ 의 광에 대한 굴절률을  $n_H$ , 계수  $P=[(1-n_H)/\lambda_H-(1-n_L)/\lambda_L]/[(1-n_M)/\lambda_M]$ 이라고 했을 때, 계수 P의 절대값은, 0.09 이하가 된다.

대표도 - 도3

다층막 상 반사율(시뮬레이션)



## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

기판의 주표면 상에, 다층 반사막과 패턴 형성용 박막이 이 순서로 설치된 마스크 블랭크로서,  
 상기 박막은, 금속을 함유하는 재료로 이루어지고,  
 상기 박막의 파장  $\lambda_L=13.2\text{nm}$ 의 광에 대한 굴절률을  $n_L$ ,  
 상기 박막의 파장  $\lambda_M=13.5\text{nm}$ 의 광에 대한 굴절률을  $n_M$ ,  
 상기 박막의 파장  $\lambda_H=13.8\text{nm}$ 의 광에 대한 굴절률을  $n_H$ ,  
 계수  $P=[(1-n_H)/\lambda_H-(1-n_L)/\lambda_L]/[(1-n_M)/\lambda_M]$ 이라고 했을 때,  
 상기 계수 P의 절대값은, 0.09 이하가 되는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,  
 파장  $\lambda_M$ 의 광에 대한 상기 박막의 굴절률  $n_M$ 은, 0.96 이하인 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

#### 청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,  
 상기 박막의 두께는, 100nm 미만인 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

#### 청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,  
 상기 다층 반사막과 상기 박막의 사이에 보호막을 구비하는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

#### 청구항 5

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 있어서,  
 상기 박막은, 상기 파장  $\lambda_M$ 의 광에 대하여, 상기 박막으로부터의 반사광과 상기 다층 반사막으로부터의 반사광과의 사이에서 130도 내지 230도의 위상차를 발생시키는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

#### 청구항 6

기판의 주표면 상에, 다층 반사막과 전사 패턴이 형성된 박막이 이 순서로 설치된 반사형 마스크로서,  
 상기 박막은, 금속을 함유하는 재료로 이루어지고,  
 상기 박막의 파장  $\lambda_L=13.2\text{nm}$ 의 광에 대한 굴절률을  $n_L$ ,  
 상기 박막의 파장  $\lambda_M=13.5\text{nm}$ 의 광에 대한 굴절률을  $n_M$ ,  
 상기 박막의 파장  $\lambda_H=13.8\text{nm}$ 의 광에 대한 굴절률을  $n_H$ ,  
 계수  $P=[(1-n_H)/\lambda_H-(1-n_L)/\lambda_L]/[(1-n_M)/\lambda_M]$ 이라고 했을 때,  
 상기 계수 P의 절대값은, 0.09 이하가 되는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크.

**청구항 7**

제 6 항에 있어서,

파장  $\lambda_{\text{H}}$ 의 광에 대한 상기 박막의 굴절률  $n_{\text{H}}$ 은, 0.96 이하인 것을 특징으로 하는 반사형 마스크.

**청구항 8**

제 6 항 또는 제 7 항에 있어서,

상기 박막의 두께는, 100nm 미만인 것을 특징으로 하는 반사형 마스크.

**청구항 9**

제 6 항 내지 제 8 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 다층 반사막과 상기 박막의 사이에 보호막을 구비하는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크.

**청구항 10**

제 6 항 내지 제 9 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 박막은, 상기 파장  $\lambda_{\text{H}}$ 의 광에 대하여, 상기 박막으로부터의 반사광과 상기 다층 반사막으로부터의 반사광과의 사이에서 130도 내지 230도의 위상차를 발생시키는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크.

**청구항 11**

제 6 항 내지 제 10 항 중 어느 한 항에 기재된 반사형 마스크를 이용하고, 반도체 기관 상의 레지스트막에 상기 전사 패턴을 노광 전사하는 공정을 구비하는 것을 특징으로 하는 반도체 장치의 제조 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은, 반도체 디바이스의 제조 등에 사용되는 노광용 마스크를 제조하기 위한 원판인 마스크 블랭크, 반사형 마스크 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.

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

[0004] 특허문헌 1에는, 기관 상에 형성된 다층막으로 이루어지는 고(高)반사부와, 상기 다층막의 일부 위에 형성된 단층막으로 이루어지는 저반사부를 구비하는 극단 자외선 노광용 마스크가 개시되어 있다. 이 마스크에 있어서, 상기 저반사부로부터의 반사광은, 상기 고반사부로부터의 반사광에 대해 5~15%의 반사율이고, 상기 고반사부로부터의 반사광에 대하여, 175~185도의 위상차를 가지며, 상기 저반사부를 구성하는 단층막의 노광 파장에 대한 굴절률(1- $\delta$ ) 및 소쇠(消衰) 계수  $\beta$ 는, 굴절률(1- $\delta$ ) 및 소쇠 계수  $\beta$ 를 좌표축으로 하는 평면 좌표에 있어서, 소정의 점 좌표(1- $\delta$ ,  $\beta$ )를 연결하는 영역 내에 있는 것을 특징으로 하는 것이다.

[0005] 특허문헌 2에는, 기관 상에, 다층 반사막, 보호막 및 EUV 광의 위상을 시프트시키는 위상 시프트막을 이 순서로 갖는 반사형 마스크 블랭크가 개시되어 있다. 이 반사형 마스크 블랭크는, 상기 위상 시프트막 표면의 반사율이 3% 초과 20% 이하이고, 소정의 170도~190도의 위상차를 갖도록, 상기 위상 시프트막은, 2종 이상의 금속을 갖는 합금으로 이루어지는 재료로 구성되어 이루어지며,  $k > a * n + \beta$ 의 굴절률  $n$ , 소쇠 계수  $k$ 를 만족시키는 금속 원소군을 군 A,  $k < a * n + \beta$ 의 굴절률  $n$ , 소쇠 계수  $k$ 를 만족시키는 금속 원소군을 군 B로 하여, 상기 합

금은, 상기 군 A와 상기 군 B로부터 각각 1종 이상의 금속 원소를 선택하고, 상기 위상 시프트막의 막 두께가 설정 막 두께에 대하여  $\pm 0.5\%$  변동했을 때의 상기 위상차의 변화량이  $\pm 2^\circ$ 의 범위이고, 또한 반사율의 변화량이  $\pm 0.2\%$ 의 범위가 되도록, 조성비가 조정되어 있는 것을 특징으로 하는 것이다.(단,  $\alpha$ : 비례 정수,  $\beta$ : 정수로 한다.)

### 선행기술문헌

#### 특허문헌

- [0006] (특허문헌 0001) 일본국 특개2006-228766호 공보
- (특허문헌 0002) 일본국 특개2018-146945호 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 마스크가 요구되고 있다.
- [0008] 이와 같은 위상 시프트 효과를 이용하는 반사형 마스크에 있어서는, EUV 광의 중심 파장인 13.5nm에 있어서, 기관의 주표면 상에 다층 반사막을 설치하고, 이 다층 반사막 위에 설치한 패턴 형성용 박막(예를 들면 흡수체 막)에, 위상 시프트 효과를 가지게 하도록 설계하는 것이 행하여지고 있다.
- [0009] 반사형 마스크에 있어서, 노광 전사 특성의 추가적인 향상이 요구되고 있다. 특히, 위상 시프트 효과를 이용하는 전사 패턴이 형성된 박막(예를 들면 흡수체 패턴)을 구비하는 반사형 마스크의 경우에 있어서는, 이 박막의 광학 특성의 추가적인 향상이 요구되고 있다.
- [0010] 그래서, 본 발명은, EUV 노광 장치로 노광 전사를 행하였을 때에, 뛰어난 전사 특성을 발현할 수 있는 반사형 마스크를 제조할 수 있는 마스크 블랭크를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0011] 또, 본 발명은, EUV 노광 장치로 노광 전사를 행하였을 때에, 뛰어난 전사 특성을 발현할 수 있는 반사형 마스크를 제공하는 것, 그리고 그 반사형 마스크를 이용하는 반도체 디바이스의 제조 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

#### 과제의 해결 수단

- [0012] 상기 과제를 해결하기 위해, 본 발명은 이하의 구성을 갖는다.
- [0013] (구성 1)
- [0014] 기관의 주표면 상에, 다층 반사막과 패턴 형성용 박막이 이 순서로 설치된 마스크 블랭크로서,
- [0015] 상기 박막은, 금속을 함유하는 재료로 이루어지고,
- [0016] 상기 박막의 파장  $\lambda_L=13.2\text{nm}$ 의 광에 대한 굴절률을  $n_L$ ,
- [0017] 상기 박막의 파장  $\lambda_M=13.5\text{nm}$ 의 광에 대한 굴절률을  $n_M$ ,
- [0018] 상기 박막의 파장  $\lambda_H=13.8\text{nm}$ 의 광에 대한 굴절률을  $n_H$ ,
- [0019] 계수  $P=[(1-n_H)/\lambda_H-(1-n_L)/\lambda_L]/[(1-n_M)/\lambda_M]$ 이라고 했을 때,
- [0020] 상기 계수 P의 절대값은, 0.09 이하가 되는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.
- [0021] (구성 2)

- [0022] 파장  $\lambda_M$ 의 광에 대한 상기 박막의 굴절률  $n_M$ 은, 0.96 이하인 것을 특징으로 하는 구성 1에 기재한 마스크 블랭크.
- [0023] (구성 3)
- [0024] 상기 박막의 두께는, 100nm 미만인 것을 특징으로 하는 구성 1 또는 2에 기재의 마스크 블랭크.
- [0025] (구성 4)
- [0026] 상기 다층 반사막과 상기 박막의 사이에 보호막을 구비하는 것을 특징으로 하는 구성 1 내지 3 중 어느 것에 기재한 마스크 블랭크.
- [0027] (구성 5)
- [0028] 상기 박막은, 상기 파장  $\lambda_M$ 의 광에 대하여, 상기 박막으로부터의 반사광과 상기 다층 반사막으로부터의 반사광과의 사이에서 130도 내지 230도의 위상차를 발생시키는 것을 특징으로 하는 구성 1 내지 4 중 어느 것에 기재한 마스크 블랭크.
- [0029] (구성 6)
- [0030] 기관의 주표면 상에, 다층 반사막과 전사 패턴이 형성된 박막이 이 순서로 설치된 반사형 마스크로서,
- [0031] 상기 박막은, 금속을 함유하는 재료로 이루어지고,
- [0032] 상기 박막의 파장  $\lambda_L=13.2\text{nm}$ 의 광에 대한 굴절률을  $n_L$ ,
- [0033] 상기 박막의 파장  $\lambda_M=13.5\text{nm}$ 의 광에 대한 굴절률을  $n_M$ ,
- [0034] 상기 박막의 파장  $\lambda_H=13.8\text{nm}$ 의 광에 대한 굴절률을  $n_H$ ,
- [0035] 계수  $P=[(1-n_H)/\lambda_H-(1-n_L)/\lambda_L]/[(1-n_M)/\lambda_M]$ 이라고 했을 때,
- [0036] 상기 계수 P의 절대값은, 0.09 이하가 되는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크.
- [0037] (구성 7)
- [0038] 파장  $\lambda_M$ 의 광에 대한 상기 박막의 굴절률  $n_M$ 은, 0.96 이하인 것을 특징으로 하는 구성 6에 기재한 반사형 마스크.
- [0039] (구성 8)
- [0040] 상기 박막의 두께는, 100nm 미만인 것을 특징으로 하는 구성 6 또는 7에 기재한 반사형 마스크.
- [0041] (구성 9)
- [0042] 상기 다층 반사막과 상기 박막의 사이에 보호막을 구비하는 것을 특징으로 하는 구성 6 내지 8 중 어느 것에 기재한 반사형 마스크.
- [0043] (구성 10)
- [0044] 상기 박막은, 상기 파장  $\lambda_M$ 의 광에 대하여, 상기 박막으로부터의 반사광과 상기 다층 반사막으로부터의 반사광과의 사이에서 130도 내지 230도의 위상차를 발생시키는 것을 특징으로 하는 구성 6 내지 9 중 어느 것에 기재한 반사형 마스크.
- [0045] (구성 11)
- [0046] 구성 6 내지 10 중 어느 것에 기재한 반사형 마스크를 이용하고, 반도체 기관 상의 레지스트막에 상기 전사 패턴을 노광 전사하는 공정을 구비하는 것을 특징으로 하는 반도체 장치의 제조 방법.

**발명의 효과**

- [0047] 본 발명에 의하면, EUV 노광 장치로 노광 전사를 행하였을 때에, 뛰어난 전사 특성을 발현할 수 있는 반사형 마스크를 제조할 수 있는 마스크 블랭크를 제공할 수 있다.

[0048] 또, 본 발명에 의하면, EUV 노광 장치로 노광 전사를 행하였을 때에, 뛰어난 전사 특성을 발현할 수 있는 반사형 마스크 및 그 제조 방법을 제공하는 것, 그리고 그 반사형 마스크를 이용하는 반도체 디바이스의 제조 방법을 제공하는 것이 가능하다.

**도면의 간단한 설명**

[0049] 도 1은 본 발명의 실시형태의 반사형 마스크 블랭크의 개략 구성의 일례를 설명하기 위한 주요부 단면 모식도이다.

도 2는 반사형 마스크 블랭크로부터 반사형 마스크의 개략 구성의 일례를 설명하기 위한 주요부 단면 모식도이다.

도 3은 본 발명의 실시형태의 반사형 마스크 블랭크에 있어서의, EUV 광을 노광광으로서 이용했을 때의, 다층 반사막 상에서의 반사율과, 파장과의 관계를 나타낸 그래프이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0050] 이하, 본 발명의 실시형태에 대해서 설명하되, 우선 본 발명에 이른 경위에 대해서 설명한다. 본 발명자는, EUV 노광 장치로 노광 전사를 행하였을 때에, 뛰어난 전사 특성을 발현할 수 있는 수단에 대해서, 예의 검토를 행하였다.

[0051] 본 발명자들은, 패턴 형성용 박막을 구성하는 흡수체막의 재료의 선정에, EUV 광의 중심 파장 이외의 파장대에 대해서도 고려함으로써, 반사형 마스크의 흡수체 패턴의 광학 특성을 향상시킬 수 있다고 생각했다. 이것에 대해서, 도 3을 이용하여 설명한다. 도 3은, 본 발명의 실시형태의 반사형 마스크 블랭크에 있어서의, EUV 광을 노광광으로서 이용했을 때의, 다층 반사막 상에서의 반사율과, 파장과의 관계를 나타낸 그래프이다. 동 도면으로부터 파악되는 바와 같이, EUV 노광 장치에 있어서 다층 반사막에 입사하는 EUV 광은, 중심 파장인 13.5nm 뿐만 아니라, 그 근방의 파장대에 있어서도, 어느 정도의 진폭을 갖고 있다. 동 도면에 나타나는 바와 같이, 다층 반사막은, 중심 파장인 13.5nm에 있어서 70%를 넘는 높은 반사율을 갖지만, 그 근방의 파장대에 있어서도, 무시할 수 없는 반사율을 갖고 있다. 예를 들면, 13.0nm 내지 14.0nm의 파장대에 있어서, 10%를 넘는 반사율을 갖고 있고, 13.2nm 내지 13.8nm의 파장대에 있어서, 30%를 넘는 반사율을 갖고 있다.

[0052] 막 재료의 굴절률  $n$ 은, 노광광의 파장에 의해 변화한다. 한편, 반사형 마스크에 있어서, 다층 반사막으로부터 반사되는 EUV 광과, 흡수체막으로부터 반사되는 EUV 광과의 사이의 위상차  $\phi$ 는, 광의 파장  $\lambda$ , 그 파장  $\lambda$ 에 있어서의 굴절률  $n$ , 막 두께  $d$ 를 이용한 하기 관계식 (1)로 산출할 수 있다(반사형이기 때문에 광로차는  $2d$ 가 된다).

[0053] 진공 중( $n=1$ )과의 위상차  $\phi$ :

[0054] 
$$2\pi(1-n) \times 2d / \lambda = 4\pi(1-n)d / \lambda \cdots (1)$$

[0055] 그 위상차  $\phi$ 는, 파장대를 가진 EUV 광의 각 파장에서 동일한 수치에 가까워질수록(파장대를 가진 EUV 광의 각 파장에 있어서의 위상차  $\phi$ 의 편차  $\Delta\phi$ 가 작을수록), 위상 시프트 효과가 향상된다고 추측된다.

[0056] 상술의 식 (1)에 있어서, 막 두께  $d$ 는 광학 특성의 관점으로부터의 제약을 받는다. 이 때문에, 상술의 식 (1)에 있어서의, 막 두께  $d$ 를 제외한  $4\pi(1-n)/\lambda$ 의 부분에 주목했다.

[0057] 예의 검토의 결과, 파장  $\lambda_L=13.2nm$ ,  $\lambda_M=13.5nm$ ,  $\lambda_H=13.8nm$ 의 각 광에 대한 박막의 각 굴절률을  $n_L$ ,  $n_M$ ,  $n_H$ 로 하고, 계수  $A_L=4\pi \times (1-n_L)/\lambda_L$ ,  $A_M=4\pi \times (1-n_M)/\lambda_M$ ,  $A_H=4\pi \times (1-n_H)/\lambda_H$ , 계수  $P=(A_H-A_L)/A_M$ 이라고 했을 때,  $|P| \leq 0.09$ 의 조건을 만족시키는 박막으로 하면, EUV 노광 장치로 노광 전사를 행하였을 때에, EUV 광의 파장대  $\lambda_L=13.2nm \sim \lambda_H=13.8nm$ 에 있어서의 위상차  $\phi_L \sim \phi_H$ 의 편차  $\Delta\phi (= \phi_H - \phi_L)$ . 이하, 단지 「위상차  $\Delta\phi$ 」라고 하는 경우도 있다.)의 크기를 20도 이하로 억제할 수 있고, 뛰어난 전사 특성을 발현할 수 있다는 결론에 이르렀다. 여기에서, 계수  $P$ 는, 이하와 같이 전개할 수 있다.

[0058] 계수  $P=(A_H-A_L)/A_M$

[0059] 
$$=[(1-n_H)/\lambda_H - (1-n_L)/\lambda_L] / [(1-n_M)/\lambda_M]$$

[0060] 본 발명은, 이상과 같은 예의 검토의 결과, 이루어진 것이다. 또한, 상술의 계수  $P$ 의 도출 방법은, 본 발명의

권리 범위를 제한하는 것은 아니다(계수  $A_L$ ,  $A_M$ ,  $A_H$ 는, 본 발명의 필수 요소가 아니다).

[0061] 본 실시형태에 있어서는, EUV 광의 중심 파장  $\lambda_M$ 에 있어서의 위상차  $\phi_M$ 이 약  $1.2\pi$ (약 216도)가 되도록 설계하고 있다. 그 이유는, 반사형의 광학계에 의한 이중 회절(Double Diffraction)의 발생이나, 흡수체 패턴, 다층막의 영향에 의해, 실효적인 반사면이 흡수체막과 다층 반사막과의 계면보다도 더욱 기관층의 위치가 되기 때문이다. 그러나, 본 발명은 이것으로 한정되는 것은 아니며, 예를 들면, EUV 광의 중심 파장  $\lambda_M$ 에 있어서의 위상차  $\phi_M$ 이  $\pi$ (180도)가 되도록 설계되는 패턴 형성용의 박막에 대하여 적용하는 것도 가능하다. 위상차  $\phi_M$ 이  $\pi$ (180도)가 되도록 한 경우, EUV 광의 파장대( $\lambda_L \sim \lambda_H$ )에 있어서, 계수 P의 절대값을 0.09 이하가 되도록 함으로써, 위상차  $\Delta\phi (= \phi_H - \phi_L)$ 의 크기를 17도 이하로 억제할 수 있다.

[0062] 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.

[0063] <반사형 마스크 블랭크(100)의 구성 및 그 제조 방법>

[0064] 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, 흡수체막(4)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 흡수체막(4)을 패턴링할 때에 사용하는 에천트 및 세정액에 대하여 내성을 갖는 재료로 형성된다. 흡수체막(4)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(4) 위에 에칭 마스크막을 갖도록 해도 된다.

[0065] 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.

[0066] 이하, 본 실시형태를, 각 층마다 설명을 한다.

[0067] <<기관(1)>>

[0068] 기관(1)은, EUV 광에 의한 노광 시의 열에 의한 흡수체 패턴(전사 패턴)(4a)(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.

[0069] 기관(1)의 전사 패턴(후술의 흡수체 패턴(4a)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.

[0070] 또, 기관(1)의 표면 평활도의 높음도 극히 중요한 항목이다. 기관(1)의 제 1 주면의 표면 거칠기는, 계급 평균 평방근 거칠기(RMS)로  $0.1\text{nm}$  이하인 것이 바람직하다. 또한, 표면 평활도는, 원자간력 현미경으로 측정할 수 있다.

[0071] 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,  $65\text{GPa}$  이상의 높은 영률을 갖고 있는 것이 바람직하다.

- [0072] <<다층 반사막(2)>>
- [0073] 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.
- [0074] 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 40 내지 60 주기(周期) 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 되기 때문에, 그대로여도 된다.
- [0075] 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 내지 14nm의 EUV 광에 대한 다층 반사막(2)으로는, 바람직하게는 Mo 막과 Si 막을 교대로 40내지 60 주기 정도 적층한 Mo/Si 주기 적층막이 이용된다. 또한, 다층 반사막(2)의 최상층인 고굴절률층을 규소(Si)로 형성해도 된다.
- [0076] 다층 반사막(2)의 단독에서의 반사율은, 통상 65% 이상이고, 상한은 통상 73%이다. 또한, 다층 반사막(2)의 각 구성층의 막 두께 및 주기는, 노광 파장에 의해 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 내지 10nm의 범위로 할 수 있다.
- [0077] 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 기관(1) 상에 성막한다. 그 후 Mo 타겟을 이용하여 두께 3nm 정도의 Mo 막을 성막한다. 이 Si 막/Mo 막을 1 주기로 하여, 40 내지 60 주기 적층하고, 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.
- [0078] <<보호막(3)>>
- [0079] 본 실시형태의 반사형 마스크 블랭크(100)는, 다층 반사막(2)과 흡수체막(4)의 사이에 보호막(3)을 구비하는 것이 바람직하다.
- [0080] 후술하는 반사형 마스크(200)의 제조 공정에 있어서의 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, 흡수체막(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 기관(1)을 이용하여 반사형 마스크(200)(EUV 마스크)를 제조할 때의, 다층 반사막(2)의 표면에의 대미지를 억제할 수 있다. 그 때문에, 다층 반사막(2)의 EUV 광에 대한 반사율 특성이 양호해진다.

- [0081] 보호막(3)의 표면에 접하는 흡수체막(4)이, 루테튬(Ru)을 포함하는 재료(Ru계 재료)로 이루어지는 박막인 경우에는, 보호막(3)의 재료로서, 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 수 있다.
- [0082] 한편, 보호막(3)의 표면에 접하는 흡수체막(4)이, 탄탈계 재료나 크롬계 재료로 이루어지는 박막인 경우에는, 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) 등 으로부터 선택되는 적어도 1종의 금속을 함유한 Ru 합금이어도 되며, 질소를 포함하고 있어도 된다.
- [0083] EUV 리소그래피에서는, 노광광에 대하여 투명한 물질이 적기 때문에, 마스크 패턴면의 이물 부착을 방지하는 EUV 펠리클이 기술적으로 간단하지 않다. 이 점에서, 펠리클을 이용하지 않는 펠리클리스 운용이 주류로 되어 있다. 또, EUV 리소그래피에서는, EUV 노광에 의해 반사형 마스크에 카본막이 퇴적하거나, 또는 산화막이 성장하는 것과 같은 노광 컨테미네이션이 발생한다. 그 때문에, EUV 노광용 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 리소그래피용 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.
- [0084] 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 1.5 nm 이상 6.0nm 이하이다.
- [0085] 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.
- [0086] << 흡수체막 >>
- [0087] 본 실시형태의 반사형 마스크 블랭크(100)에서는, 다층 반사막(2)의 위, 또는 다층 반사막(2)의 위에 형성된 보호막(3)의 위에, 흡수체막(패턴 형성용 박막)(4)이 형성된다. 흡수체막(4)은, 반사형 마스크(200)의 상태에서는, 흡수체 패턴(4a)이 형성되고, 이 흡수체 패턴(4a)이 전사 패턴을 구성하는 것이다.
- [0088] 흡수체막(4)에서의, EUV 노광광(중심 파장인 13.5nm)에 있어서의 다층 반사막(2)의 반사율에 대한 상대 반사율 R은 1% 이상인 것이 바람직하고, 2% 이상인 것이 보다 바람직하다. 또, 이 상대 반사율 R은, 40% 이하인 것이 바람직하다. EUV 노광광에 대한 마스크 검사로 충분한 콘트라스트를 확보하는 동시에, 노광 전사 시의 패턴상(像)에서 충분한 콘트라스트를 확보하기 위함이다.
- [0089] 본 실시형태의 후술하는 반사형 마스크(200)에 있어서, 흡수체막(4)(흡수체 패턴(4a))이 설치되어 있는 부분에서는, EUV 광을 흡수하여 감광(減光)하면서 패턴 전사에 악영향이 없는 레벨에서 일부의 광을 반사시킨다. 한편, 개구부(흡수체막(4)이 없는 부분)에서는, EUV 광이, 다층 반사막(2)으로부터(보호막(3)이 있는 경우에는, 보호막(3)을 개재하여 다층 반사막(2)으로부터) 반사된다. 흡수체막(4)이 형성되어 있는 부분으로부터의 반사광은, 개구부로부터의 반사광과 원하는 위상차를 형성한다. 흡수체막(4)은, 파장  $\lambda_m (= 13.5\text{nm})$ 의 광에 대하여, 흡수체막(4)으로부터의 반사광과, 다층 반사막(2)으로부터의 반사광과의 위상차가, 130도 내지 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.
- [0090] 흡수체막(4)은, 금속 원소를 함유하는 재료로 이루어진다. 이 금속 원소는, 광의(廣義)의 금속 원소로 할 수 있고, 알칼리금속, 알칼리 토류 금속, 전이금속, 반(半)금속 중에서 선택할 수 있다. 흡수체막(4)은, 다층 반사막(2)과의 에칭 선택성(보호막(3)이 형성되어 있는 경우에는 보호막(3)과의 에칭 선택성)을 갖는 것이면, 상술의 광의의 금속 원소로부터 선택할 수 있다. 예를 들면, 흡수체막(4)에 함유시키는 금속 원소에, 크롬(Cr), 바나듐(V), 팔라듐(Pd), 티탄(Ti), 이리듐(Ir), Rh(로듐), 탄탈(Ta), 니오브(Nb), 몰리브덴(Mo), 루테튬(Ru), 주석(Sn), 백금(Pt) 등을 이용할 수 있다.
- [0091] 또, 흡수체막(4)은, 본 발명의 효과를 일탈하지 않는 범위에서, 산소, 질소, 탄소, 붕소로부터 선택되는 적어도 1종 이상을 함유시킬 수 있다.

- [0092] 흡수체막(4)은, 그 파장  $\lambda_L=13.2\text{nm}$ 의 광에 대한 굴절률을  $n_L$ , 파장  $\lambda_M=13.5\text{nm}$ 의 광에 대한 굴절률을  $n_M$ , 파장  $\lambda_H=13.8\text{nm}$ 의 광에 대한 굴절률을  $n_H$ , 계수  $P=[(1-n_H)/\lambda_H-(1-n_L)/\lambda_L]/[(1-n_M)/\lambda_M]$ 이라고 했을 때, 계수 P의 절대값은, 0.09 이하가 되는 것이다. 이것에 의해, EUV 노광 장치로 노광 전사를 행하였을 때에, 파장대  $\lambda_L\sim\lambda_H$ 에 있어서의 EUV 광에 있어서의 위상차  $\Delta\phi(=\phi_H-\phi_L)$ 의 크기를 20도 이하로 억제하는 것이 가능해진다.
- [0093] 또, 흡수체막(4)은, EUV 광의 파장대  $\lambda_L=13.2\text{nm}\sim\lambda_H=13.8\text{nm}$ 에 있어서, 계수 P의 절대값이 0.085 이하로 되어 있으면, 위상차  $\Delta\phi$ 를 18도 이내로 억제할 수 있는 점에서 바람직하다. 그리고, 흡수체막(4)은, EUV 광의 파장대  $\lambda_L=13.2\text{nm}\sim\lambda_H=13.8\text{nm}$ 에 있어서, 계수 P의 절대값이 0.07 이하로 되어 있으면, 위상차  $\Delta\phi$ 를 15도 이내로 억제할 수 있는 점에서 보다 바람직하다. 또한, 흡수체막(4)은, EUV 광의 파장대  $\lambda_L=13.2\text{nm}\sim\lambda_H=13.8\text{nm}$ 에 있어서, 계수 P의 절대값이 0.045 이하로 되어 있으면, 위상차  $\Delta\phi$ 를 10도 이내로 억제할 수 있는 점에서 보다 더 바람직하다.
- [0094] 흡수체막(4)은, 그 파장  $\lambda_L=13.0\text{nm}$ 의 광에 대한 굴절률을  $n_L$ , 파장  $\lambda_M=13.5\text{nm}$ 의 광에 대한 굴절률을  $n_M$ , 파장  $\lambda_H=14.0\text{nm}$ 의 광에 대한 굴절률을  $n_H$ , 계수  $P=[(1-n_H)/\lambda_H-(1-n_L)/\lambda_L]/[(1-n_M)/\lambda_M]$ 이라고 했을 때, 계수 P의 절대값은, 0.15 이하가 되는 것이다. 이것에 의해, EUV 노광 장치로 노광 전사를 행하였을 때에, 파장대  $\lambda_L\sim\lambda_H$ 에 있어서의 EUV 광에 있어서의 위상차  $\Delta\phi(=\phi_H-\phi_L)$ 의 크기를 35도 이하로 억제하는 것이 가능해진다.
- [0095] 또, 흡수체막(4)은, EUV 광의 파장대  $\lambda_L=13.0\text{nm}\sim\lambda_H=14.0\text{nm}$ 에 있어서, 계수 P의 절대값이 0.14 이하로 되어 있으면, 위상차  $\Delta\phi$ 를 30도 이내로 억제할 수 있는 점에서 바람직하다. 그리고, 흡수체막(4)은, EUV 광의 파장대  $\lambda_L=13.0\text{nm}\sim\lambda_H=14.0\text{nm}$ 에 있어서, 계수 P의 절대값이 0.11 이하로 되어 있으면, 위상차  $\Delta\phi$ 를 25도 이내로 억제할 수 있는 점에서 보다 바람직하다. 또한, 흡수체막(4)은, EUV 광의 파장대  $\lambda_L=13.0\text{nm}\sim\lambda_H=14.0\text{nm}$ 에 있어서, 계수 P의 절대값이 0.09 이하로 되어 있으면, 위상차  $\Delta\phi$ 를 20도 이내로 억제할 수 있는 점에서 보다 더 바람직하다.
- [0096] 흡수체막(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, 흡수체막(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.
- [0097] 또, 흡수체막(4)의 파장  $\lambda_M(=13.5\text{nm})$ 의 광에 대한 굴절률  $n_M$ 은, 0.960 이하이면 바람직하고, 0.955 이하이면 보다 바람직하다. 또, 흡수체막(4)의 굴절률  $n_M$ 은, 0.850 이상이면 바람직하고, 0.870 이상이면 보다 바람직하다.
- [0098] 흡수체막(4)의 파장  $\lambda_M$ 의 광에 대한 소외 계수  $k_M$ 은, 0.10 이하이면 바람직하고, 0.08 이하이면 보다 바람직하고, 0.05 이하이면 더욱 바람직하다. 광학 시뮬레이션의 결과로 보아, 파장 13.5nm의 광에 대한 흡수체막(4)으로부터의 반사광보다도, 다층 반사막(2)으로부터의 반사광의 광 강도 쪽이 강하고, 흡수체막(4)의 소외 계수  $k_M$ 이 커짐에 따라 흡수체막(4)의 반사광이 저하되는 것으로 추찰된다. 소외 계수  $k_M$ 을 상기의 범위로 함으로써, 흡수체막(4)의 반사광의 저하를 억제할 수 있다고 추찰되므로, 바람직하다.
- [0099] 패턴이나 노광 조건에도 따르지만, 위상 시프트 효과를 얻기 위해, 전사 패턴(흡수체 패턴(4a))의 EUV 광(중심 파장인 13.5nm)에 대한 절대 반사율은, 1%~30%인 것이 바람직하고, 2%~25%인 것이 보다 바람직하다.
- [0100] 흡수체막(4)의 위상차 및 반사율은, EUV 노광광에 있어서의 굴절률  $n_L$ ,  $n_M$ ,  $n_H$ , 소외 계수  $k_L$ ,  $k_M$ ,  $k_H$  및 막 두께 d를 바꿈으로써 조정하는 것이 가능하다. 흡수체막(4)의 막 두께는, 100nm 미만이 바람직하고, 98nm 이하가 보다 바람직하며, 90nm 이하가 더욱 바람직하다. 흡수체막(4)의 막 두께는, 30nm 이상이 바람직하다. 또한, 보

호막(3)을 갖는 경우에는, 흡수체막(4)의 위상차 및 반사율은, 보호막(3)의 굴절률  $n$ , 소외 계수  $k$  및 막 두께를 고려하여 조정할 수도 있다.

- [0101] 상술의 소정의 재료의 흡수체막(4)은, DC 스퍼터링법 및 RF 스퍼터링법 등의 스퍼터링법, 그리고 산소 가스를 이용한 반응성 스퍼터링법과 같은 공지의 방법으로 형성할 수 있다. 타겟은, 1종의 금속을 포함하는 것이어도 되고, 흡수체막(4)을 2종 이상의 금속으로 구성하는 경우에는, 2종 이상의 금속(예를 들면 Ru와 Cr)을 포함하는 합금 타겟을 이용할 수 있다. 또, 흡수체막(4)을 2종 이상의 금속으로 구성하는 경우에는, 흡수체막(4)을 구성하는 박막은, 예를 들면 Ru 타겟과 Cr 타겟을 이용하는 코스퍼터링(co-sputtering)으로 성막할 수 있다.
- [0102] 또한, 흡수체막(4)은, 2층 이상을 포함하는 다층막이어도 된다. 이 경우, 흡수체막(4)의 모든 층에서, 계수  $P$ 의 절대값이 0.09 이하인 조건을 만족시키는 것이 바람직하다.
- [0103] <<에칭 마스크막>>
- [0104] 흡수체막(4) 위에, 또는 흡수체막(4)의 표면에 접하여, 에칭 마스크막(도시하지 않음)을 형성할 수 있다. 에칭 마스크막의 재료로는, 에칭 마스크막에 대한 흡수체막(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(4)의 에칭 선택비는, 1.5 이상이 바람직하고, 3 이상이 더욱 바람직하다.
- [0105] 에칭 마스크막의 막 두께는, 전사 패턴을 정밀도 좋게 흡수체막(4)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.
- [0106] <<도전막>>
- [0107] 기관(1)의 제 2 주면(이측 표면)측(다층 반사막(2) 형성면의 반대측)에는, 일반적으로, 정전 적용의 도전막(도시하지 않음)이 형성된다. 정전 적용의 도전막에 요구되는 전기적 특성(시트 저항)은 통상  $100\Omega/\square$  ( $\Omega$ /Square) 이하이다. 도전막의 형성 방법은, 예를 들면 마그네트론 스퍼터링법 또는 이온 빔 스퍼터링법에 의해, 크롬(Cr) 및 탄탈(Ta) 등의 금속 및 합금의 타겟을 이용하여 형성할 수 있다.
- [0108] 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.
- [0109] 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.
- [0110] 도전막의 두께는, 정전 적용으로서의 기능을 만족시키는 한 특별히 한정되지 않는다. 도전막의 두께는, 통상 10nm 내지 200nm이다. 또, 이 도전막은 마스크 블랭크(100)의 제 2 주면측의 응력 조정도 겸비하고 있다. 즉, 도전막은, 제 1 주면측에 형성된 각종 막으로부터의 응력과 밸런스를 잡아, 평탄한 반사형 마스크 블랭크(100)가 얻어지도록 조정되어 있다.
- [0111] <반사형 마스크(200) 및 그 제조 방법>
- [0112] 본 실시형태의 반사형 마스크(200)는, 반사형 마스크 블랭크(100)의 흡수체막(4)에 전사 패턴(흡수체 패턴(4a))이 형성되어 있는 것이다. 전사 패턴이 형성된 흡수체막(4)(흡수체 패턴(4a))은, 상술의 본 실시형태의 반사형 마스크 블랭크(100)의 흡수체막(4)과 마찬가지로이다. 상술의 본 실시형태의 반사형 마스크 블랭크(100)의 흡수체막(4)을 패터닝함으로써, 전사 패턴(흡수체 패턴(4a))을 형성할 수 있다. 흡수체막(4)의 패터닝은, 소정의 드라이 에칭 가스에 의해, 행할 수 있다. 반사형 마스크(200)의 흡수체 패턴(4a)은, EUV 광을 흡수하고, 또 일부의 EUV 광을 개구부(흡수체 패턴(4a))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. 흡수체 패턴(4a)을 패터닝하기 위해, 필요에 따라서 흡수체 패턴(4a) 위에 에칭 마스크막을 설치할 수 있다. 그 경우, 에칭 마스크 패턴을 마스크로 하여, 흡수체막(4)을 드라이 에칭해 흡수체 패턴(4a)을 형성할 수 있다.
- [0113] 본 실시형태의 반사형 마스크 블랭크(100)를 사용하여, 반사형 마스크(200)를 제조하는 방법에 대해서

설명한다.

- [0114] 반사형 마스크 블랭크(100)를 준비하여, 그 제 1 주면의 흡수체막(4) 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(전사 패턴을 갖는 레지스트막)을 형성한다.
- [0115] 다음으로, 이 레지스트 패턴을 마스크로 하여, 흡수체막(4)을 에칭해 흡수체 패턴(4a)(전사 패턴을 갖는 흡수체막(4))을 형성한다. 흡수체 패턴(4a)을 형성한 후, 잔존하는 레지스트 패턴은 제거한다(에칭 마스크막이 형성되어 있는 경우에는, 레지스트 패턴을 마스크로 하여 에칭 마스크막을 에칭해 에칭 마스크 패턴을 형성하고, 이 에칭 마스크 패턴을 마스크로 하여 흡수체 패턴(4a)을 형성하고, 에칭 마스크 패턴을 제거한다.).
- [0116] 마지막으로, 산성이나 알칼리성의 수용액을 이용한 웨트 세정을 행하여, 본 실시형태의 반사형 마스크(200)가 제조된다.
- [0117] <반도체 디바이스의 제조 방법>
- [0118] 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.
- [0119] [실시에 및 비교예]
- [0120] 실시예 1~16, 비교예 1, 2
- [0121] 이하, 실시예 1~16, 비교예 1, 2에 대해서 도면을 참조하면서 설명한다. 본 실시형태는 이들 실시예로 한정되는 것은 아니다. 또한, 실시예에 있어서 마찬가지로의 구성요소에 대해서는 동일한 부호를 사용하고, 설명을 간략화 또는 생략한다.
- [0122] 실시예 1~16, 비교예 1, 2로서, 반사형 마스크 블랭크(100)의 제조 방법에 대해서 설명한다.
- [0123] 제 1 주면 및 제 2 주면의 양 주표면이 연마된 6025 사이즈(약 152mm×152mm×6.35mm)의 저열팽창 유리 기판인 SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>계 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.
- [0124] 다음으로, SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>계 유리 기판(1)의 제 2 주면(이측 표면)에, CrN막으로 이루어지는 도전막을 마그네트론 스퍼터링(반응성 스퍼터링)법에 의해 하기의 조건으로 형성했다. 도전막은, Cr 타겟을 이용하여, 아르곤(Ar) 가스와 질소(N<sub>2</sub>) 가스의 혼합 가스 분위기에서, 20nm의 막 두께가 되도록 성막했다.
- [0125] 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 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.
- [0126] 계속해서, Ar 가스 분위기 중에서, 스퍼터링법에 의해, 다층 반사막(2)의 표면에 보호막(3)을, 3.5nm의 막 두께가 되도록 성막했다. 또한, 상술의 실시예 1~16, 비교예 1, 2에 있어서, 보호막(3)의 재료는, 흡수체막(4)을 패터닝할 때에 사용하는 드라이 에칭 가스에 대하여, 에칭 내성을 갖는 재료를 적절히 선정했다.
- [0127] 계속해서, Ar 가스 분위기 중에서, 스퍼터링법에 의해, 보호막(3)의 표면에 흡수체막(4)을 성막했다. 상술의 실시예 1~16, 비교예 1, 2에 있어서, 흡수체막(4)의 구성 원소는, 하기의 표 1-1, 1-2에 나타내는 것이며, 각각의 구성 원소에 적합한 스퍼터링 타겟을 적절히 선정했다. 또한, 상술의 실시예 1~16, 비교예 1, 2에 있어서, 흡수체막(4)은, EUV 광의 중심 파장 λ<sub>M</sub>에 있어서의 위상차 φ<sub>M</sub>이 1.2π(216도)가 되도록 설계하고 있다.
- [0128] 그 후, 소정의 세정 처리 등을 행하여, 실시예 1~16, 비교예 1, 2에 있어서의 반사형 마스크 블랭크(100)를 제

조했다.

[0129] 다음으로, 실시예 1~16, 비교예 1, 2에 있어서의 반사형 마스크 블랭크(100)에 대해서, 상술한 반사형 마스크(200)를 제조하는 방법에 기재한 바와 같이, 레지스트 패턴을 형성하고, 레지스트 패턴을 마스크로 하여, 흡수체막(4)을 에칭해 흡수체 패턴(4a)(전사 패턴을 갖는 흡수체막(4))을 형성하고, 산성이나 알칼리성의 수용액을 이용한 웨트 세정을 행함으로써, 실시예 1~16, 비교예 1, 2에 있어서의 반사형 마스크(200)를 제조했다.

[0130] 실시예 1~16, 비교예 1, 2에 있어서의 반사형 마스크 블랭크(100) 및 반사형 마스크(200)에 있어서의, 흡수체막(4)의 구성 원소, EUV 광의 중심 파장  $\lambda_M (=13.5\text{nm})$ 에 있어서의 굴절률  $n_M$  및 소외 계수  $k_M$ , 파장  $\lambda_L = 13.2\text{nm}$ ,  $\lambda_M = 13.5\text{nm}$ ,  $\lambda_H = 13.8\text{nm}$ 에 있어서의 계수  $A_L = 4\pi \times (1-n_L)/\lambda_L$ ,  $A_M = 4\pi \times (1-n_M)/\lambda_M$ ,  $A_H = 4\pi \times (1-n_H)/\lambda_H$ , 막 두께  $d$ , EUV 광의 파장대  $\lambda_L = 13.2\text{nm} \sim \lambda_H = 13.8\text{nm}$ 에 있어서의, 계수  $P = (A_H - A_L)/A_M = [(1-n_H)/\lambda_H - (1-n_L)/\lambda_L] / [(1-n_M)/\lambda_M]$ , 위상차  $\Delta\phi$ 에 대해서, 표 1-1, 표 1-2에 나타낸다.

[표 1-1]

	실시예 1	실시예 2	실시예 3	실시예 4	실시예 5	실시예 6	실시예 7	실시예 8	실시예 9
구성 원소	Cr <sub>80</sub> O <sub>10</sub> N <sub>10</sub>	Cr <sub>65</sub> N <sub>15</sub>	V	Pd	Ti	Ir <sub>70</sub> Ta <sub>15</sub> O <sub>15</sub>	Rh	Ta <sub>70</sub> B <sub>15</sub> N <sub>15</sub>	Nb
$n_M (\lambda_M=13.5\text{nm})$	0.9449	0.9361	0.9432	0.8761	0.9519	0.9374	0.8750	0.9580	0.9337
$k_M (\lambda_M=13.5\text{nm})$	0.0304	0.0352	0.0251	0.0464	0.0142	0.0313	0.0312	0.0296	0.0617
$A_L (\lambda_L=13.2\text{nm}) [\text{nm}^{-1}]$	0.0504	0.0584	0.0518	0.1125	0.0437	0.0564	0.1119	0.0377	0.0594
$A_M (\lambda_M=13.5\text{nm}) [\text{nm}^{-1}]$	0.0513	0.0595	0.0529	0.1153	0.0446	0.0583	0.1163	0.0391	0.0617
$A_H (\lambda_H=13.8\text{nm}) [\text{nm}^{-1}]$	0.0521	0.0605	0.0541	0.1181	0.0459	0.0602	0.1207	0.0406	0.0641
막 두께 $d(1.2\pi @ 13.5\text{nm})$	73.51	63.40	71.27	32.69	84.22	64.67	32.40	96.41	61.12
$P [\lambda=13.2\sim 13.8\text{nm}]$	0.0337	0.0341	0.0428	0.0486	0.0505	0.0648	0.0754	0.0753	0.0761
위상차 $\Delta\phi [\text{deg}] [\lambda=13.2\sim 13.8\text{nm}]$	7.27	7.36	9.24	10.50	10.91	14.00	16.29	16.27	16.44
$A_L (\lambda_L=13.0\text{nm}) [\text{nm}^{-1}]$	0.0498	0.0577	0.0511	0.1104	0.0429	0.0553	0.1089	0.0368	0.0578
$A_M (\lambda_M=14.0\text{nm}) [\text{nm}^{-1}]$	0.0527	0.0611	0.0549	0.1198	0.0467	0.0614	0.1234	0.0416	0.0656
$P [\lambda=13.0\sim 14.0\text{nm}]$	0.0560	0.0566	0.0712	0.0807	0.0837	0.1051	0.1245	0.1245	0.1265
위상차 $\Delta\phi [\text{deg}] [\lambda=13.0\sim 14.0\text{nm}]$	12.11	12.25	15.40	17.46	18.10	22.73	26.92	26.94	27.36

[0132]

[표 1-2]

	실시예 10	실시예 11	실시예 12	실시예 13	실시예 14	실시예 15	실시예 16	비교예 1	비교예 2
구성 원소	Mo	Ru <sub>60</sub> Cr <sub>10</sub> N <sub>10</sub>	Ru <sub>70</sub> Rh <sub>30</sub>	Ru <sub>80</sub> Nb <sub>20</sub>	Ru <sub>95</sub> N <sub>5</sub>	Ru	SnO	W	SiO <sub>2</sub>
$n_M (\lambda_M=13.5\text{nm})$	0.9238	0.8974	0.8830	0.8965	0.8938	0.8863	0.9399	0.9328	0.9780
$k_M (\lambda_M=13.5\text{nm})$	0.0064	0.0185	0.0214	0.0143	0.0162	0.0171	0.0635	0.0330	0.0108
$A_L (\lambda_L=13.2\text{nm}) [\text{nm}^{-1}]$	0.0682	0.0916	0.1044	0.0923	0.0946	0.1012	0.0571	0.0594	0.0194
$A_M (\lambda_M=13.5\text{nm}) [\text{nm}^{-1}]$	0.0710	0.0955	0.1089	0.0964	0.0988	0.1058	0.0559	0.0625	0.0205
$A_H (\lambda_H=13.8\text{nm}) [\text{nm}^{-1}]$	0.0739	0.0995	0.1135	0.1005	0.1032	0.1105	0.0544	0.0659	0.0214
막 두께 $d(1.2\pi @ 13.5\text{nm})$	53.13	39.45	34.61	38.13	38.15	35.63	67.45	60.32	184.31
$P [\lambda=13.2\sim 13.8\text{nm}]$	0.0807	0.0827	0.0835	0.0856	0.0867	0.0874	-0.0481	0.1041	0.0985
위상차 $\Delta\phi [\text{deg}] [\lambda=13.2\sim 13.8\text{nm}]$	17.43	17.85	18.05	18.49	18.74	18.89	-10.39	22.49	21.28
$A_L (\lambda_L=13.0\text{nm}) [\text{nm}^{-1}]$	0.0663	0.0890	0.1014	0.0896	0.0918	0.0982	0.0578	0.0576	0.0185
$A_M (\lambda_M=14.0\text{nm}) [\text{nm}^{-1}]$	0.0758	0.1029	0.1163	0.1031	0.1058	0.1134	0.0532	0.0679	0.0219
$P [\lambda=13.0\sim 14.0\text{nm}]$	0.1334	0.1359	0.1373	0.1408	0.1424	0.1435	-0.0823	0.1651	0.1675
위상차 $\Delta\phi [\text{deg}] [\lambda=13.0\sim 14.0\text{nm}]$	28.86	29.37	29.71	30.45	30.80	31.05	-17.80	35.71	36.22

[0134]

[0135] 이들 표 1-1, 1-2에 나타내는 바와 같이, 실시예 1~16에 나타내는 흡수체막(4)은, 모두 막 두께가 100nm 미만이고, EUV 광의 파장대  $\lambda_L = 13.2\text{nm} \sim \lambda_H = 13.8\text{nm}$ 에 있어서, 계수 P의 절대값이 0.09 이하로 되어 있으며, 위상차  $\Delta\phi$ 를 20도 이내로 억제할 수 있게 되어 있다. 실시예 1~11, 16에 나타내는 흡수체막(4)은, 또한, EUV 광의 파장대  $\lambda_L = 13.2\text{nm} \sim \lambda_H = 13.8\text{nm}$ 에 있어서, 계수 P의 절대값이 0.085 이하로 되어 있고, 위상차  $\Delta\phi$ 를 18도 이내로 억제할 수 있게 되어 있다. 그리고, 실시예 1~6, 16에 나타내는 흡수체막(4)은, EUV 광의 파장대  $\lambda_L = 13.2\text{nm} \sim \lambda_H = 13.8\text{nm}$ 에 있어서, 계수 P의 절대값이 0.07 이하로 되어 있고, 위상차  $\Delta\phi$ 를 15도 이내로 억제할 수 있게 되어 있다. 또한, 실시예 1~3에 나타내는 흡수체막(4)은, EUV 광의 파장대  $\lambda_L = 13.2\text{nm} \sim \lambda_H = 13.8\text{nm}$ 에 있어서, 계수 P의 절대값이 0.045 이하로 되어 있고, 위상차  $\Delta\phi$ 를 10도 이내로 억제할 수 있게 되어 있다.

[0136] 한편, 비교예 1에 있어서는, EUV 광의 파장대  $\lambda_L = 13.2\text{nm} \sim \lambda_H = 13.8\text{nm}$ 에 있어서, 흡수체막(4)의 위상차  $\Delta\phi$ 는 22.49로 20도를 넘고 있으며, 무시할 수 없는 위상차  $\Delta\phi$ 를 갖고 있다. 또, 비교예 2에 있어서는, 흡수체막(4)의 막 두께가 183.31nm이며, 100nm 미만을 대폭으로 상회하고 있다.

[0137] 또, 표 1-1, 1-2에는, 실시예 1~16, 비교예 1, 2에 대하여, EUV 광의 파장대  $\lambda_L = 13.0\text{nm} \sim \lambda_H = 14.0\text{nm}$ 에 있어서의, 계수  $A_L = 4\pi \times (1-n_L)/\lambda_L$ ,  $A_H = 4\pi \times (1-n_H)/\lambda_H$ , 계수  $P = (A_H - A_L)/A_M$ , 위상차  $\Delta\phi$ 도 나타내고 있다. 이들

의 표 1-1, 1-2에 나타내는 바와 같이, 실시예 1~16에 나타내는 흡수체막(4)은, EUV 광의 파장대  $\lambda_L=13.0\text{nm}$  ~  $\lambda_H=14.0\text{nm}$ 에 있어서의, 계수 P의 절대값이 0.15 이하로 되어 있고, 위상차  $\Delta\phi$ 를 35도 이내로 억제할 수 있게 되어 있다. 그리고, 실시예 1~12, 16에 나타내는 흡수체막(4)은, EUV 광의 파장대  $\lambda_L=13.0\text{nm}$  ~  $\lambda_H=14.0\text{nm}$ 에 있어서의, 계수 P의 절대값이 0.14 이하로 되어 있고, 위상차  $\Delta\phi$ 를 30도 이내로 억제할 수 있게 되어 있다. 또한, 실시예 1~6, 16에 나타내는 흡수체막(4)은, EUV 광의 파장대  $\lambda_L=13.0\text{nm}$  ~  $\lambda_H=14.0\text{nm}$ 에 있어서의, 계수 P의 절대값이 0.11 이하로 되어 있고, 위상차  $\Delta\phi$ 를 25도 이내로 억제할 수 있게 되어 있다. 또한, 실시예 1~5, 16에 나타내는 흡수체막(4)은, EUV 광의 파장대  $\lambda_L=13.0\text{nm}$  ~  $\lambda_H=14.0\text{nm}$ 에 있어서의, 계수 P의 절대값이 0.09 이하로 되어 있고, 위상차  $\Delta\phi$ 를 20도 이내로 억제할 수 있게 되어 있다.

[0138] 또, 실시예 1~16, 비교예 1, 2에 있어서의 반사형 마스크 블랭크(100) 및 반사형 마스크(200)에 있어서의, 흡수체막(4)의 구성 원소, 파장  $\lambda_L=13.2\text{nm}$ ,  $\lambda_M=13.5\text{nm}$ ,  $\lambda_H=13.8\text{nm}$ 에 있어서의 계수  $E_L=4\pi \times (1-k_L)/\lambda_L$ ,  $E_M=4\pi \times (1-k_M)/\lambda_M$ ,  $E_H=4\pi \times (1-k_H)/\lambda_H$ , EUV 광의 파장대  $\lambda_L=13.2\text{nm}$  ~  $\lambda_H=13.8\text{nm}$ 에 있어서의, 계수  $F=(E_H-E_L)/E_M$  ( $=[(1-k_H)/\lambda_H - (1-k_L)/\lambda_L]/[(1-k_M)/\lambda_M]$ )에 대해서, 표 2-1, 표 2-2에 나타낸다( $k_L$ ,  $k_M$ ,  $k_H$ 는, 파장  $\lambda_L=13.2\text{nm}$ ,  $\lambda_M=13.5\text{nm}$ ,  $\lambda_H=13.8\text{nm}$ 에 있어서의 소외 계수이다.). 또한, 표 2-1, 2-2에는, 실시예 1~16, 비교예 1, 2에 대하여, EUV 광의 파장대  $\lambda_L=13.0\text{nm}$  ~  $\lambda_H=14.0\text{nm}$ 에 있어서의, 계수  $E_L=4\pi \times (1-k_L)/\lambda_L$ ,  $E_M=4\pi \times (1-k_M)/\lambda_M$ ,  $E_H=4\pi \times (1-k_H)/\lambda_H$ , EUV 광의 파장대  $\lambda_L=13.0\text{nm}$  ~  $\lambda_H=14.0\text{nm}$ 에 있어서의, 계수  $F=(E_H-E_L)/E_M$  ( $=[(1-k_H)/\lambda_H - (1-k_L)/\lambda_L]/[(1-k_M)/\lambda_M]$ )도 나타내고 있다.

[0139] [표 2-1]

	실시예 1	실시예 2	실시예 3	실시예 4	실시예 5	실시예 6	실시예 7	실시예 8	실시예 9
구성 원소	Cr <sub>30</sub> O <sub>10</sub> N <sub>10</sub>	Cr <sub>35</sub> N <sub>15</sub>	V	Pd	Ti	Ir <sub>70</sub> Ta <sub>15</sub> O <sub>15</sub>	Rh	Ta <sub>70</sub> B <sub>15</sub> N <sub>15</sub>	Nb
$E_L$ ( $\lambda_L=13.2\text{nm}$ )	0.0274	0.0318	0.0230	0.0384	0.0130	0.0280	0.0253	0.0275	0.0565
$E_M$ ( $\lambda_M=13.5\text{nm}$ )	0.0283	0.0328	0.0234	0.0432	0.0132	0.0291	0.0290	0.0276	0.0574
$E_H$ ( $\lambda_H=13.8\text{nm}$ )	0.0292	0.0338	0.0238	0.0485	0.0134	0.0306	0.0334	0.0277	0.0583
$F$ [ $\lambda=13.2\sim 13.8\text{nm}$ ]	0.0640	0.0636	0.0348	0.2331	0.0306	0.0887	0.2783	0.0062	0.0314
$E_L$ ( $\lambda_L=13.0\text{nm}$ )	0.0268	0.0311	0.0227	0.0352	0.0128	0.0272	0.0231	0.0274	0.0559
$E_H$ ( $\lambda_H=14.0\text{nm}$ )	0.0298	0.0345	0.0240	0.0521	0.0134	0.0316	0.0364	0.0278	0.0589
$F$ [ $\lambda=13.0\sim 14.0\text{nm}$ ]	0.1057	0.1050	0.0577	0.3907	0.0453	0.1481	0.4580	0.0129	0.0525

[0140]

[0141] [표 2-2]

	실시예 10	실시예 11	실시예 12	실시예 13	실시예 14	실시예 15	실시예 16	비교예 1	비교예 2
구성 원소	Mo	Ru <sub>60</sub> Cr <sub>10</sub> N <sub>10</sub>	Ru <sub>70</sub> Rh <sub>30</sub>	Ru <sub>60</sub> Nb <sub>20</sub>	Ru <sub>35</sub> N <sub>5</sub>	Ru	SnO	W	SiO <sub>2</sub>
$E_L$ ( $\lambda_L=13.2\text{nm}$ )	0.0056	0.0152	0.0172	0.0115	0.0129	0.0136	0.0566	0.0307	0.0097
$E_M$ ( $\lambda_M=13.5\text{nm}$ )	0.0060	0.0172	0.0199	0.0134	0.0151	0.0159	0.0591	0.0307	0.0100
$E_H$ ( $\lambda_H=13.8\text{nm}$ )	0.0065	0.0197	0.0231	0.0156	0.0177	0.0187	0.0616	0.0314	0.0104
$F$ [ $\lambda=13.2\sim 13.8\text{nm}$ ]	0.1455	0.2588	0.3016	0.3045	0.3136	0.3201	0.0846	0.0216	0.0706
$E_L$ ( $\lambda_L=13.0\text{nm}$ )	0.0054	0.0141	0.0156	0.0105	0.0118	0.0124	0.0550	0.0308	0.0095
$E_H$ ( $\lambda_H=14.0\text{nm}$ )	0.0068	0.0215	0.0255	0.0172	0.0196	0.0208	0.0630	0.0319	0.0106
$F$ [ $\lambda=13.0\sim 14.0\text{nm}$ ]	0.2405	0.4278	0.4976	0.5028	0.5184	0.5291	0.1351	0.0375	0.1170

[0142]

[0143] 소외 계수 k에 관해서는, 실시예 1~16 및 비교예 1, 2에 있어서, 유의미한 차는 발견되지 않았다.

[0144] 실시예 1~16에 의해 얻어진 반사형 마스크(200)를 EUV 스캐너에 세트하고, 반도체 기판 상에 피가공막과 레지스트막이 형성된 웨이퍼에 대하여 EUV 노광을 행하여, 이 노광 완료 레지스트막을 현상함으로써, 피가공막이 반도체 기판 상에 레지스트 패턴을 형성했다.

[0145] 실시예 1~16에 의해 얻어진 반사형 마스크(200)는, EUV 광의 중심 파장  $\lambda_M$ 에 있어서의 위상차  $\phi_M$ 이  $1.2\pi$ 이고, EUV 광의 파장대  $\lambda_L=13.2\text{nm}$  ~  $\lambda_H=13.8\text{nm}$ 에 있어서, 계수 P의 절대값은, 0.09 이하로 되어 있는 흡수체 패턴(4a)을 구비하고 있다. 이것에 의해, EUV 광을 노광광으로 하여 이용한 경우에, EUV 광의 파장대  $\lambda_L=13.2\text{nm}$  ~  $\lambda_H=13.8\text{nm}$ 에 있어서, 위상차  $\Delta\phi$ 를 20도 이내로 억제할 수 있고, 요구되는 미세 패턴을 정밀도 좋게 형성할 수 있으며, 미세하고 또한 고정밀도의 전사 패턴을 갖는 반도체 장치를 제조할 수 있었다.

[0146] 추가로 이 레지스트 패턴을 에칭에 의해 피가공막에 전사하고, 또, 절연막, 도전막의 형성, 도펀트의 도입, 또는 어닐 등 여러 가지 공정을 거침으로써, 원하는 특성을 갖는 반도체 장치를 높은 수율로 제조할 수 있었다.

[0147] 비교예 1의 반사형 마스크(200)는, EUV 광의 파장대  $\lambda_L=13.2\text{nm}$  ~  $\lambda_H=13.8\text{nm}$ 에 있어서, 계수 P의 절대값이

0.09를 상회하고 있는 흡수체 패턴(4a)을 구비하고 있다. 그 결과, EUV 광을 노광광으로서 이용한 경우에, EUV 광의 파장대  $\lambda_L=13.2\text{nm} \sim \lambda_H=13.8\text{nm}$ 에 있어서, 위상차  $\Delta\phi$ 는 22.49도로 20도 이내로 억제할 수 없어, 위상 시프트 효과를 충분히 얻을 수 없었다. 그 때문에, 요구되는 미세 패턴을 정밀도 좋게 형성할 수 없어, 미세하고 또한 고정밀도의 전사 패턴을 갖는 반도체 장치를 제조할 수 없었다.

[0148] 추가로 이 레지스트 패턴을 에칭에 의해 피가공막에 전사하고, 또, 절연막, 도전막의 형성, 도펀트의 도입, 또는 어닐 등 여러 가지 공정을 거침으로써, 원하는 특성을 갖는 반도체 장치를 높은 수율로 제조할 수 없었다.

[0149] 비교예 2의 반사형 마스크(200)는, 흡수체막(4)을  $\text{SiO}_2$ 로 구성하고 있으며, 금속 원소를 함유하고 있지 않다. 그 결과, 흡수체막(4)의 막 두께가 184.31nm로 100nm를 대폭으로 넘어 버려, 양호한 전사 특성을 얻을 수 없고, 미세하고 또한 고정밀도의 전사 패턴을 갖는 반도체 장치를 제조할 수 없었다.

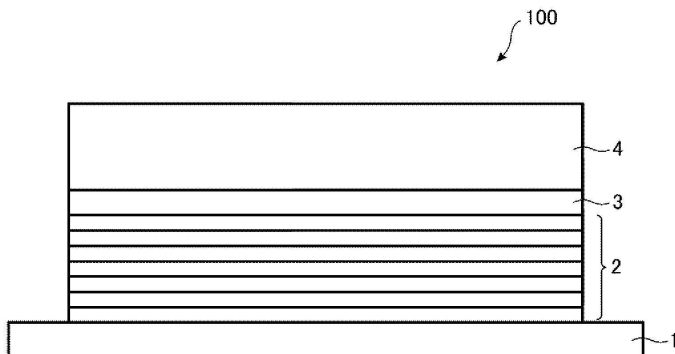
[0150] 추가로 이 레지스트 패턴을 에칭에 의해 피가공막에 전사하고, 또, 절연막, 도전막의 형성, 도펀트의 도입, 또는 어닐 등 여러 가지 공정을 거침으로써, 원하는 특성을 갖는 반도체 장치를 높은 수율로 제조할 수 없었다.

**부호의 설명**

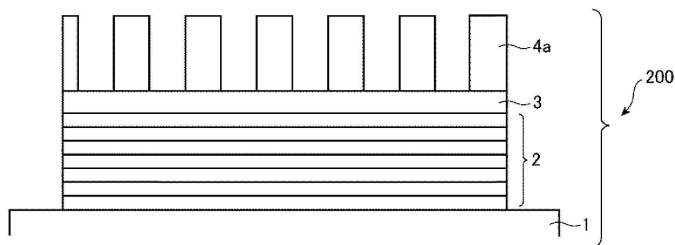
- [0151] 1: 기판      2: 다층 반사막
- 3: 보호막      4: 흡수체막(패턴 형성용 박막)
- 4a: 흡수체 패턴(전사 패턴)    100: 반사형 마스크 블랭크
- 200: 반사형 마스크

**도면**

**도면1**



**도면2**



도면3

다층막 상 반사율(시뮬레이션)

