



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년11월23일  
(11) 등록번호 10-1800882  
(24) 등록일자 2017년11월17일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*H01L 21/027* (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2010-0034355
- (22) 출원일자 2010년04월14일  
심사청구일자 2015년03월31일
- (65) 공개번호 10-2010-0114472
- (43) 공개일자 2010년10월25일
- (30) 우선권주장  
JP-P-2009-098621 2009년04월15일 일본(JP)
- (56) 선행기술조사문헌  
JP2001237174 A\*  
JP2008244089 A\*  
WO2008093534 A1\*  
KR1020080015052 A\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

전체 청구항 수 : 총 10 항

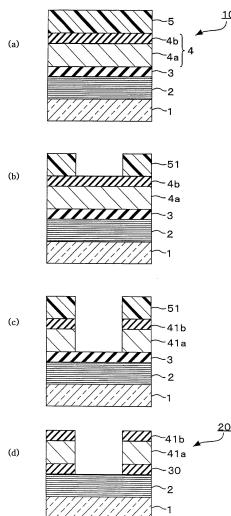
심사관 : 박성호

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

**(57) 요약**

본 발명의 과제는 마스크 사용 시의 EUV 노광광에 대한 콘트라스트를 향상시키고, 또한 패턴 엣지 부분에서의 패턴 해상성을 향상시켜 고해상도의 패턴 전사를 행할 수 있는 반사형 마스크 블랭크 및 반사형 마스크를 제공하는데에 있다. 본 발명의 반사형 마스크 블랭크(10)는, 기판(1)과, 그 기판 위에 순차적으로 형성된, EUV 노광광을 반사하는 다층 반사막(2)과, EUV 노광광을 흡수하는 흡수체막(4)을 갖고, 흡수체막(4)은 Ta를 포함하는 재료로 형성되고, 막 밀도가 6.0~16.0g/cm<sup>3</sup>이다. 반사형 마스크(20)는, 이 반사형 마스크 블랭크의 흡수체막에 전사 패턴을 형성하여 얻어진다.

**대 표 도** - 도1



## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

기판과, 그 기판 위에 형성된 노광광을 반사하는 다층 반사막과, 그 다층 반사막 위에 형성된 노광광을 흡수하는 흡수체막을 갖고, EUV광을 노광광으로 하는 EUV 리소그래피에서 이용되는 반사형 마스크 블랭크로서,

상기 흡수체막은 아몰퍼스 상태 또는 미결정의 구조를 갖는 상태이고,

상기 흡수체막은 최상층과, 그 이외의 하층으로 이루어지는 적층 구조로 되어 있고,

상기 최상층은, 탄탈(Ta)의 산화물 또는 산질화물 중 어느 하나를 포함하는 재료로 형성되고, 막 밀도가 7.0~9.0g/cm<sup>3</sup>이며,

상기 하층은, 탄탈(Ta) 및 질소(N)를 포함하는 재료로 형성되고, 막 밀도가 11.0~16.0g/cm<sup>3</sup>인 것을 특징으로 하는 반사형 마스크 블랭크.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

삭제

#### 청구항 5

삭제

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 흡수체막의 최상층은, 봉소(B)를 더 함유하는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크 블랭크.

#### 청구항 7

제1항에 있어서,

상기 흡수체막은, EUV광에 대하여 위상 시프트 효과를 발생시키는 기능을 갖는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크 블랭크.

#### 청구항 8

제1항에 있어서,

상기 다층 반사막과 상기 흡수체막 사이에, Ru막을 포함하는 보호막을 갖는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크 블랭크.

#### 청구항 9

제1항 및 제6항 내지 제8항 중 어느 한 항의 기재에 따른 반사형 마스크 블랭크의 상기 흡수체막에, 피전사체에 대한 전사 패턴으로 되는 흡수체막 패턴을 형성하는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크의 제조 방법.

#### 청구항 10

기판과, 그 기판 위에 형성된 노광광을 반사하는 다층 반사막과, 그 다층 반사막 위에 형성된 노광광을 흡수하는 흡수체막 패턴을 갖고, EUV광을 노광광으로 하는 EUV 리소그래피에서 이용되는 반사형 마스크로서,

상기 흡수체막 패턴은, 아몰퍼스 상태 또는 미결정의 구조를 갖는 상태이고,

상기 흡수체막 패턴은, 최상층과, 그 이외의 하층으로 이루어지는 적층 구조로 되어 있고, 상기 최상층은, 탄탈(Ta)의 산화물 또는 산질화물 중 어느 하나를 포함하는 재료로 형성되고, 막 밀도가 7.0~9.0g/cm<sup>3</sup>이며,

상기 하층은, 탄탈(Ta) 및 질소(N)를 포함하는 재료로 형성되고, 막 밀도가 11.0~16.0g/cm<sup>3</sup>인 것

을 특징으로 하는 반사형 마스크.

### 청구항 11

삭제

### 청구항 12

삭제

### 청구항 13

삭제

### 청구항 14

삭제

### 청구항 15

제10항에 있어서,

상기 흡수체막 패턴의 최상층은, 봉소(B)를 더 함유하는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크.

### 청구항 16

제10항에 있어서,

상기 흡수체막 패턴은, EUV광에 대하여 위상 시프트 효과를 발생시키는 기능을 갖는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크.

### 청구항 17

제10항에 있어서,

상기 다층 반사막과 상기 흡수체막 패턴 사이에, Ru막을 포함하는 보호막을 갖는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크.

### 청구항 18

제10항 및 제15항 내지 제17항 중 어느 한 항의 기재에 따른 반사형 마스크를 이용하여, 패턴 전사 장치에 의한 반도체 기판 위에의 EUV광에 의한 노광 전사를 행하는 것을 특징으로 하는 반도체 장치의 제조 방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은, 반도체 장치의 제조 등에 사용되는 노광용 반사형 마스크, 및 그것을 제조하기 위한 원판인 반사형 마스크 블랭크에 관한 것이다.

## 배경 기술

[0002] 최근, 반도체 산업에서, 반도체 디바이스의 고집적화에 수반하여, 포토 리소그래피법의 전사 한계를 상회하는 미세 패턴이 필요로 되고 있다. 이 때문에, 보다 파장이 짧은 극단 자외(Extreme Ultra Violet : 이하, EUV라고 호칭함)광을 이용한 노광 기술인 EUV 리소그래피가 유망시 되고 있다. 또한, 여기서, EUV광이란, 연 X선 영역 또는 진공 자외선 영역의 파장대의 광을 가리키고, 구체적으로는 파장이 0.2~100nm 정도의 광인 것이다. 이 EUV 리소그래피에서 이용되는 마스크로서는, 예를 들면 일본 특허 공개 평8-213303호 공보(특허 문헌 1)에 기재된 노광용 반사형 마스크가 제안되어 있다.

[0003] 이와 같은 반사형 마스크는, 기판 위에 노광광을 반사하는 다층 반사막이 형성되고, 그 다층 반사막 위에 벼파막, 또한 그 위에 노광광을 흡수하는 흡수체막이 패턴 형상으로 형성된 것이다. 벼파막은, 흡수체막의 패턴 형성 공정 및 수정 공정에서의 다층 반사막의 보호를 목적으로서 다층 반사막과 흡수체막 사이에 형성되어 있다. 노광기(패턴 전사 장치)에 탑재된 반사형 마스크에 입사한 광은, 흡수체막이 있는 부분에서는 흡수되고, 흡수체막이 없는 부분에서는 다층 반사막에 의해 반사된 광상이 반사 광학계를 통하여 반도체 기판 위에 전사된다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0004] 반사형 마스크를 이용하여, 미세 패턴을 고정밀도로 반도체 기판 등에의 패턴 전사를 행하기 위해서는, EUV광 등의 노광광에 대한 마스크 콘트라스트를 향상시키는 것이 중요하다.

[0005] 그를 위해서는, 흡수체막에서의 EUV광 등의 노광광의 흡수 성능을 향상시켜 차광성을 높일 필요가 있다. 또한, 흡수체막의 표면에서의 노광광에 대한 표면 반사를 억제하는 것도 중요하다.

[0006] 따라서 본 발명의 목적은, 첫째로, 마스크 사용 시의 노광광에 대한 콘트라스트를 향상시킨 반사형 마스크 블랭크 및 그것을 이용하여 제조되는 반사형 마스크를 제공하는 것이며, 둘째로, 패턴 옛지 부분에서의 패턴 해상성을 향상시켜 고해상도의 패턴 전사를 행할 수 있는 반사형 마스크 블랭크 및 그것을 이용하여 제조되는 반사형 마스크를 제공하는 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0007] 상기 과제를 해결하기 위해, 본 발명은 이하의 구성을 갖는다.

[0008] (구성 1)

[0009] 기판과, 그 기판 위에 형성된 노광광을 반사하는 다층 반사막과, 그 다층 반사막 위에 형성된 노광광을 흡수하는 흡수체막을 갖고, EUV광을 노광광으로 하는 EUV 리소그래피에서 이용되는 반사형 마스크 블랭크로서, 상기 흡수체막은, 탄탈(Ta)을 포함하는 재료로 형성되고, 막 밀도가 6.0~16.0g/cm<sup>3</sup>인 것을 특징으로 하는 반사형 마스크 블랭크이다.

[0010] 구성 1의 반사형 마스크 블랭크에 따르면, 탄탈(Ta)을 포함하는 재료로 형성된 흡수체막의 막 밀도가 소정의 범위인 것에 의해, 마스크 사용 시의 EUV광에 대한 콘트라스트를 향상시킨 반사형 마스크를 얻을 수 있다.

[0011] (구성 2)

[0012] 상기 흡수체막은, 최상층과, 그 이외의 하층으로 이루어지는 적층 구조로 되어 있고, 상기 최상층은, 탄탈(Ta)의 산화물, 질화물, 산질화물, 또는 탄화물 중 어느 하나를 포함하는 재료로 형성되고, 막 밀도가 6.0~11.0g/cm<sup>3</sup>이며, 상기 하층은, 탄탈(Ta)을 포함하는 재료로 형성되고, 막 밀도가 11.0~16.0g/cm<sup>3</sup>인 것을 특징으로 하는 구성 1에 기재된 반사형 마스크 블랭크이다.

[0013] 구성 2의 반사형 마스크 블랭크에 따르면, 흡수체막은, 최상층과, 그 이외의 하층으로 이루어지는 적층 구조로 하고, 상기 최상층은, 탄탈(Ta)의 산화물, 질화물, 산질화물, 또는 탄화물 중 어느 하나를 포함하는 재료로 형성되고, 막 밀도가 낮은, EUV광이 투과하기 쉬운 재료를 선정하고, 상기 하층은, 탄탈(Ta)을 포함하는 재료로 형성되고, 특히 막 밀도가 높은 재료를 선정한 것에 의해, 주로 하층에서 EUV광에 대한 충분한 차광 성능을 확보하면서, 최상층에서는 노광광에 대한 표면 반사를 억제할 수 있다. 그 결과, EUV광에 대한 마스크 콘트라스트를 향상시킨 반사형 마스크를 얻을 수 있다.

[0014] 또한, 최상층의 막 밀도를 하층의 막 밀도보다 낮게 하고, 최상층에서의 EUV광의 투과율을 높이는 것에 의해, 최상층을 통과하고, 하층에서 반사된 EUV광과, 다층 반사막에서 반사된 EUV광 사이에서 간섭 효과를 높일 수 있

어, 흡수체막의 패턴 옛지 부분에서의 위상 시프트 효과를 발생시켜, 패턴 옛지 부분에서의 패턴 해상성을 향상시킬 수 있다. 그 결과, 고해상도의 패턴 전사를 행할 수 있는 반사형 마스크를 얻을 수 있다.

[0015] (구성 3)

[0016] 상기 흡수체막의 하층은, 봉소(B)와 질소(N) 중 적어도 1 이상의 원소를 더 함유하는 것을 특징으로 하는 구성 2에 기재된 반사형 마스크 블랭크이다.

[0017] 본 발명에서는, 구성 3의 반사형 마스크 블랭크에 있는 바와 같이, 상기 흡수체막의 하층은, 봉소(B)와 질소(N) 중 적어도 1 이상의 원소를 더 함유할 수 있다. 또한, B를 함유하는 것에 의해, 흡수체막의 아몰퍼스성, 표면 평활성을 보다 향상시킬 수 있다. 또한, N을 함유하는 것에 의해, 흡수체막의 막 응력을 저감하고, 또한 흡수체막 아래의 베퍼막 혹은 다층 반사막과의 밀착성이 양호하게 된다.

[0018] (구성 4)

[0019] 상기 흡수체막의 최상층은, 봉소(B)를 더 함유하는 것을 특징으로 하는 구성 2에 기재된 반사형 마스크 블랭크이다.

[0020] 본 발명에서는, 구성 2의 반사형 마스크 블랭크에 있는 바와 같이, 상기 흡수체막의 최상층은, 봉소(B)를 더 함유할 수 있다. 또한, B를 함유하는 것에 의해, 흡수체막의 아몰퍼스성, 표면 평활성을 보다 향상시킬 수 있다.

[0021] (구성 5)

[0022] 상기 다층 반사막과 상기 흡수체막 사이에, 크롬(Cr)의 질화물을 포함하는 재료로 형성되고, 막 밀도가 5.0~9.0g/cm<sup>3</sup>인 베퍼막을 갖는 것을 특징으로 하는 구성 1에 기재된 반사형 마스크 블랭크이다.

[0023] 구성 5의 반사형 마스크 블랭크에 따르면, 상술한 각 효과 외에, 흡수체막의 패턴 형성 시, 및 패턴 수정 시의 에칭에 의한 다층 반사막의 데미지가 방지된다. 또한, Cr의 질화물을 함유하는 베퍼막의 막 밀도가 5.0~9.0g/cm<sup>3</sup>인 것에 의해, 베퍼막의 EUV광에 대한 흡수 효과를 높일 수 있어, 그 만큼, 흡수체막의 박막화를 도모할 수 있다. EUV 리소그래피는, 다층 반사막 면에 대한 수선 방향으로부터 몇 번 경사지게 한 각도로부터 EUV 노광광을 입사시키기 위해, 흡수체막의 패턴 측벽 높이에 비례하여, Shadowing 효과에 의해 전사 대상물(반도체 웨이퍼 위의 레지스트 등)에 전사하였을 때에 패턴의 선폭이 두꺼워져 간다. 흡수체막의 박막화가 도모되면, 전사 대상물에 전사하였을 때의 패턴 선폭의 굵기를 저감할 수 있다고 하는 효과를 발휘한다.

[0024] (구성 6)

[0025] 구성 1 내지 5 중 어느 한 항에 기재된 반사형 마스크 블랭크의 상기 흡수체막에, 피전사체에 대한 전사 패턴으로 되는 흡수체막 패턴을 형성하는 것을 특징으로 하는 반사형 마스크의 제조 방법이다.

[0026] 구성 6에 있는 바와 같이, 상기 구성 1 내지 5의 반사형 마스크 블랭크를 이용하여 반사형 마스크를 제조하는 것에 의해, 마스크 사용 시의 EUV광에 대한 마스크 콘트라스트를 향상시키고, 또한 고해상도의 패턴 전사를 행할 수 있는 반사형 마스크가 얻어진다.

[0027] 본 발명에 따르면, 마스크 사용 시의 EUV 노광광에 대한 마스크 콘트라스트를 향상시킨 반사형 마스크 블랭크 및 그것을 이용하여 제조되는 반사형 마스크를 제공할 수 있다. 또한, 본 발명에 따르면, 패턴 옛지 부분에서의 패턴 해상성을 향상시켜 고해상도의 패턴 전사를 행할 수 있는 반사형 마스크 블랭크 및 그것을 이용하여 제조되는 반사형 마스크를 제공할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0028] 도 1의 (a)~(d)는 반사형 마스크 블랭크의 일 실시 형태의 구성 및 이 마스크 블랭크를 이용하여 반사형 마스크를 제조하는 공정을 도시하는 단면도.

도 2는 반사형 마스크를 탑재한 패턴 전사 장치의 개략 구성을 도시하는 도면.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 이하, 본 발명을 실시 형태에 의해 상세하게 설명한다.

[0030] 우선, 본 발명의 반사형 마스크 블랭크의 구조, 구성 재료 및 제조 방법에 대하여 개략적으로 설명한다.

[0031] 본 발명의 반사형 마스크 블랭크는, 기판과, 그 기판 위에 형성된 노광광을 반사하는 다층 반사막과, 그 다층

반사막 위에 형성된 노광광을 흡수하는 흡수체막을 갖고, EUV광을 노광광으로 하는 EUV 리소그래피에서 이용되는 반사형 마스크 블랭크로서, 상기 흡수체막은, 탄탈(Ta)을 포함하는 재료로 형성되고, 막 밀도가 6.0~16.0g/cm<sup>3</sup>인 것을 특징으로 한다.

[0032] 이와 같은 본 발명의 반사형 마스크 블랭크에 따르면, 탄탈(Ta)을 포함하는 재료로 형성된 흡수체막의 막 밀도가 상기 소정의 범위인 것에 의해, 마스크 사용 시의 EUV 노광광에 대한 마스크 콘트라스트를 향상시킨 반사형 마스크 블랭크 및 그것을 이용하여 제조되는 반사형 마스크를 얻을 수 있다.

[0033] 또한, 본 발명에서 「마스크 콘트라스트」란, EUV광을 노광광으로 하는 반사형 마스크의 콘트라스트, 즉, 콘트라스트=반사율비=1:(다층 반사막으로부터의 반사율/흡수체막으로부터의 반사율)로 정의되는 값을 의미하는 것으로 한다.

[0034] 본 발명에서의 흡수체막은, 탄탈(Ta)을 포함하는 재료로 형성되고, 막 밀도가 6.0~16.0g/cm<sup>3</sup>이다. EUV 노광광에 대한 흡수율의 관점에 중점을 두는 경우에는, 막 밀도가 11.0~16.0g/cm<sup>3</sup>의 범위가 바람직하고, 막 밀도가 11.5~15.5g/cm<sup>3</sup>의 범위이면 보다 바람직하다. 또한, 전사 대상물의 레지스트가 감광하지 않는 정도, EUV 노광광을 투과하도록 하여 위상 시프트 효과를 발생시키는 것에 중점을 두는 경우에는, 막 밀도가 6.0~11.0g/cm<sup>3</sup>의 범위가 바람직하고, 막 밀도가 7.0~9.0g/cm<sup>3</sup>의 범위이면 보다 바람직하다. 또한, 막 밀도가 6.0g/cm<sup>3</sup> 미만이면, EUV 노광광의 흡수율이 대폭 낮고, 막 두께를 두껍게 할 필요가 생기게 되어, 패턴 해상성이 현저하게 열화되고 하는 문제가 생긴다. 한편, 막 밀도가 16.0g/cm<sup>3</sup>보다 높으면, Ta 순결정의 밀도(16.6g/cm<sup>3</sup>)에 가깝고, 막의 평활성이 얻어지기 어렵고, 또한 스파터링법에 의한 성막도 곤란하다고 하는 문제가 생긴다.

[0035] 본 발명에서는 특히 Ta의 단체 또는 Ta를 주성분으로 하는 재료를 바람직하게 이용할 수 있다. Ta를 주성분으로 하는 재료는, 예를 들면 Ta의 합금이다. 이와 같은 흡수체막의 결정 상태는, 평활성, 평탄성의 점으로부터, 아몰퍼스 형상 또는 미결정의 구조를 갖고 있는 것이 바람직하다. Ta를 주성분으로 하는 재료로서는, 예를 들면 Ta와 B를 포함하는 재료, Ta와 N을 포함하는 재료, Ta와 B를 함유하고, O와 N 중 적어도 어느 하나를 더 포함하는 재료, 등을 바람직하게 이용할 수 있다. Ta에 예를 들면 B를 부가하는 것에 의해, 아몰퍼스 형상의 재료가 용이하게 얻어져, 평활성을 향상시킬 수 있다. 또한, Ta에 N이나 O를 부가하면, 산화에 대한 내성이 항상되므로, 경시적인 안정성을 향상시킬 수 있다고 하는 효과가 얻어진다.

[0036] Ta 단체막인 경우, 성막 조건에 의해, 12.3~14.5g/cm<sup>3</sup>의 범위의 막 밀도가 얻어진다. 또한, Ta와 B를 포함하는 재료의 경우, Ta와 B의 조성비에 의해, 11.0~16.0g/cm<sup>3</sup>의 범위의 막 밀도가 얻어진다. 또한, Ta와 N을 포함하는 재료의 경우, Ta와 N의 조성비에 의해, 12.5~13.8g/cm<sup>3</sup>의 범위의 막 밀도가 얻어진다. 또한, Ta와 B와 N을 포함하는 재료의 경우, Ta와 B와 N의 조성비에 의해, 12.3~14.5g/cm<sup>3</sup>의 범위의 막 밀도가 얻어진다. 또한, 이들 재료에서도, 조성비 이외에, 그 성막 조건에 의해서도, 막 밀도가 변동된다.

[0037] 상기 Ta와 B를 포함하는 재료, Ta와 N을 포함하는 재료, Ta와 B와 N을 포함하는 재료와 같은 Ta를 주성분으로 하는 재료에서는, 성막된 막의 막 밀도가 6.0~16.0g/cm<sup>3</sup>의 범위이면, 본 발명에서는 조성비를 특별히 제약할 필요는 없지만, 예를 들면 예칭 가공성의 관점에서 보면, 예를 들면, Ta와 B를 포함하는 재료에서는, 조성비 Ta/B가 95/5~50/50(원자%비)의 범위인 것이 바람직하고, Ta와 N을 포함하는 재료에서는, 조성비 Ta/N이 95/5~50/50(원자%비)의 범위인 것이 바람직하고, 또한 Ta와 B와 N을 포함하는 재료에서는, N이 10~30 원자%이며, 남은 성분을 100으로 하였을 때, B가 5~30 원자%인 것이 바람직하다.

[0038] 상술한 Ta 단체 또는 Ta를 주성분으로 하는 흡수체막은, 마그네트론 스파터링 등의 스파터링법에 의해 형성하는 것이 바람직하다. 예를 들면, TaBN막의 경우, Ta와 B를 포함하는 타깃을 이용하고, 질소를 첨가한 아르곤 가스를 이용한 스파터링법에 의해 성막할 수 있다. 스파터링법에 의해 형성한 경우에는, 스파터 타깃에 투입하는 파워나 투입 가스 압력을 변화시키는 것에 의해 막 밀도나 내부 응력을 제어하는 것이 가능하다. 또한, 실온 정도의 저온에서의 형성이 가능하므로, 다층 반사막 등에의 열의 영향을 적게 할 수 있다.

[0039] 상기 흡수체막의 막 두께에 대해서는, 노광광인 EUV광에 대한 차광성이 충분히 얻어지는 두께이면 되지만, 통상 30~100nm 정도이다.

[0040] 또한, 본 발명의 반사형 마스크 블랭크의 보다 바람직한 실시 형태는, 상기 흡수체막이, 최상층과, 그 이외의 하층으로 이루어지는 적층 구조로 되어 있다(즉, 반사막 위에 하층이 형성되고, 하층 위에 상층이 형성되어 있음). 상기 최상층은, 탄탈(Ta)의 산화물, 질화물, 산질화물, 또는 탄화물 중 어느 하나를 포함하는 재료로 형성되고, 막 밀도가 6.0~11.0g/cm<sup>3</sup>이며, 상기 하층은, 탄탈(Ta)을 포함하는 재료로 형성되고, 막 밀도가 11.0~16.0g/cm<sup>3</sup>인 반사형 마스크 블랭크이다. 이와 같은 본 발명의 보다 바람직한 실시 형태에 따른 반사형 마스크

블랭크에 따르면, 이하의 효과를 갖는 반사형 마스크 블랭크 및 그것을 이용하여 제조되는 반사형 마스크가 얻어진다.

[0041] (1) 즉, 흡수체막은, 최상층과, 그 이외의 하층으로 이루어지는 적층 구조로 하고, 상기 최상층은, 탄탈(Ta)의 산화물, 질화물, 산질화물, 또는 탄화물 중 어느 하나를 포함하는 재료로 형성되고, 막 밀도가 낮은, EUV 노광 광이 투과하기 쉬운 재료를 선정하고, 상기 하층은, 탄탈(Ta)을 포함하는 재료로 형성되고, 특히 막 밀도가 높은 재료를 선정한 것에 의해, 주로 하층에서 EUV 노광광에 대한 충분한 차광 성능을 확보하면서, 최상층에서는 EUV 노광광에 대한 표면 반사를 억제할 수 있어, EUV 노광광에 대한 마스크 콘트라스트를 향상시킨 반사형 마스크를 얻을 수 있다. 즉, 최상층에서의 마스크 사용 시의 노광광 투과율을 높여 표면 반사를 억제함과 함께, 노광광에 대한 마스크 콘트라스트를 향상시킬 수 있어, 미세 패턴을 고정밀도로 패턴 전사를 행할 수 있다.

[0042] (2) 최상층의 막 밀도를 하층의 막 밀도보다 낮게 하고, 최상층에서의 EUV 노광광의 투과율을 높이는 것에 의해, 최상층을 통과하고, 하층에서 반사된 노광광과, 다층 반사막에서 반사된 노광광 사이에서 간섭 효과를 높일 수 있어, 흡수체막의 패턴 옆지 부분에서의 위상 시프트 효과를 발생시켜, 패턴 옆지 부분에서의 패턴 해상성을 향상시킬 수 있다. 그 결과, 고해상도의 패턴 전사를 행할 수 있는 반사형 마스크를 얻을 수 있다.

[0043] 본 발명에서의 상기 흡수체막의 최상층은, 탄탈(Ta)의 산화물, 질화물, 산질화물, 또는 탄화물 중 어느 하나를 포함하는 재료로 형성되고, 막 밀도가  $6.0\sim11.0\text{g/cm}^3$ 이다. 특히 바람직하게는, 막 밀도가  $7.0\sim9.0\text{g/cm}^3$ 의 범위이다. 또한, 막 밀도가  $6.0\text{g/cm}^3$  미만이면, 하층과의 계면의 반사가 강해지는 것과, EUV 광의 흡수를 거의 할 수 없게 되므로 콘트라스트를 얻을 수 없게 된다고 하는 문제가 생긴다. 한편, 막 밀도가  $11.0\text{g/cm}^3$ 보다 높으면, EUV 노광광의 투과율이 낮아지고, 최상층에서의 노광광에 대한 표면 반사를 억제하는 효과가 저감된다고 하는 문제가 생긴다.

[0044] Ta의 산화물, 질화물, 산질화물, 또는 탄화물의 대표적인 화합물 예로서는, 예를 들면, TaO, TaON, TaN, TaCN, TaC 등을 들 수 있다. 또한, 상기 흡수체막의 최상층을 형성하는 재료는, 붕소(B)를 더 함유하고 있어도 된다. B를 함유하는 것에 의해, 막의 아몰퍼스성, 표면 평활성을 보다 향상시킬 수 있다. 대표적인 화합물 예로서는, 예를 들면, TaBO, TaBON, TaBC, TaBCN 등을 들 수 있다.

[0045] 예를 들면, Ta와 O를 포함하는 재료(Ta의 산화물)의 경우, Ta와 O의 조성비에 의해,  $7.0\sim8.8\text{g/cm}^3$ 의 범위의 막 밀도가 얻어진다. 또한, Ta와 B와 O를 포함하는 재료의 경우, Ta와 B와 O의 조성비에 의해,  $8.5\sim11.0\text{g/cm}^3$ 의 범위의 막 밀도가 얻어진다. 또한, 조성비 이외에, 그 성막 조건을 변경하는 것에 의해서도, 막 밀도가 변동된다.

[0046] 상기 흡수체막의 최상층을 형성하는 재료는, 성막된 막의 막 밀도가  $6.0\sim11.0\text{g/cm}^3$ 의 범위이면, 본 발명에서 조성비를 특별히 제약할 필요는 없지만, 예를 들면 예정 가공성의 관점에서 보면, 예를 들면, Ta와 O를 포함하는 재료에서는, 조성비 Ta/O가  $30/50\sim75/15$ (원자%비)의 범위인 것이 바람직하고, 또한 Ta와 B와 O를 포함하는 재료에서는, O가  $15\sim72$  원자%이며, 나머지 성분을 100으로 하였을 때, B가  $5\sim30$  원자%인 것이 바람직하다. 상기 흡수체막의 최상층의 막 두께는, 대략  $5\sim20\text{nm}$  정도로 할 수 있지만, 예를 들면 EUV 노광광에 대한 투과율을 높이기 위해 막 두께를 최적화하는 것이 바람직하다.

[0047] 본 발명에서의 상기 흡수체막의 하층은, 탄탈(Ta)을 포함하는 재료로 형성되고, 막 밀도가  $11.0\sim16.0\text{g/cm}^3$ 이다. 특히 바람직하게는, 막 밀도가  $12.5\sim14.5\text{g/cm}^3$ 의 범위이다. 또한, 하층의 막 밀도가  $11.0\text{g/cm}^3$  미만이면, EUV 노광광에 대한 하층에서의 흡수 성능이 충분히 얻어지지 않는다고 하는 문제가 생긴다. 한편, 막 밀도가  $16.0\text{g/cm}^3$ 보다 높으면, Ta 순결정의 밀도( $16.6\text{g/cm}^3$ )에 가깝고, 막의 평활성이 얻어지기 어렵고, 또한 스퍼터링법에 의한 성막도 곤란한다고 하는 문제가 생긴다.

[0048] 본 발명에서는 특히 Ta의 단체 또는 Ta를 주성분으로 하는 재료를 바람직하게 이용할 수 있다. Ta를 주성분으로 하는 재료로서는, 예를 들면 Ta와 B를 포함하는 재료, Ta와 N을 포함하는 재료, Ta와 B를 함유하고, O와 N 중 적어도 어느 하나를 더 포함하는 재료, 등을 바람직하게 이용할 수 있다. 상술한 바와 같이, Ta에 예를 들면 B를 부가하는 것에 의해, 아몰퍼스 형상의 재료가 용이하게 얻어져, 평활성을 향상시킬 수 있다. 또한, Ta에 N이나 O를 부가하면, 산화에 대한 내성이 향상되므로, 경시적인 안정성을 향상시킬 수 있다고 하는 효과가 얻어진다.

[0049] 상술한 바와 같이, Ta 단체막의 경우, 성막 조건에 의해,  $12.3\sim14.5\text{g/cm}^3$ 의 범위의 막 밀도가 얻어진다. 또한, Ta와 B를 포함하는 재료의 경우, Ta와 B의 조성비에 의해,  $11.0\sim16.0\text{g/cm}^3$ 의 범위의 막 밀도가 얻어진다.

또한, Ta와 N을 포함하는 재료의 경우, Ta와 N의 조성비에 의해, 12.5~13.8g/cm<sup>3</sup>의 범위의 막 밀도가 얻어진다. 또한, Ta와 B와 N을 포함하는 재료의 경우, Ta와 B와 N의 조성비에 의해, 12.3~14.5g/cm<sup>3</sup>의 범위의 막 밀도가 얻어진다.

[0050] 상기 Ta와 B를 포함하는 재료, Ta와 N을 포함하는 재료, Ta와 B와 N을 포함하는 재료와 같은 Ta를 주성분으로 하는 재료를 적층 구조의 흡수체막의 하층에 이용하는 경우, 성막된 막의 막 밀도가 11.0~16.0g/cm<sup>3</sup>의 범위이면, 본 발명에서는 조성비는 특별히 제약될 필요는 없지만, 예를 들면 예칭 가공성의 관점에서 보면, 예를 들면, Ta와 B를 포함하는 재료에서는, 조성비 Ta/B가 95/5~70/30(원자%비)의 범위인 것이 바람직하고, Ta와 N을 포함하는 재료에서는, 조성비 Ta/N이 90/10~50/50(원자%비)의 범위인 것이 바람직하고, 또한 Ta와 B와 N을 포함하는 재료에서는, N이 10~40 원자%이며, 나머지 성분을 100으로 하였을 때, B가 5~30 원자%인 것이 바람직하다.

[0051] 상기 흡수체막의 하층의 막 두께에 대해서는, 노광광에 대한 차광성이 충분히 얻어지는 두께이면 되지만, 통상 30~100nm 정도이다. 상술한 적층 구조의 흡수체막에서도, 그 최상층 및 하층은, 마그네트론 스퍼터링 등의 스퍼터법에 의해 형성하는 것이 바람직하다. 예를 들면, TaBN막의 경우, Ta와 B를 포함하는 타깃을 이용하고, 질소를 첨가한 아르곤 가스를 이용한 스퍼터링법에 의해 성막할 수 있다. 스퍼터법에 의해 형성한 경우에는, 스퍼터 타깃에 투입하는 파워나 투입 가스 압력을 변화시키는 것에 의해 막 밀도나 내부 응력을 제어하는 것이 가능하다. 또한, 실온 정도의 저온에서의 형성이 가능하므로, 다층 반사막 등에의 열의 영향을 적게 할 수 있다.

[0052] 또한, 상술한 단층의 흡수체막, 상술한 적층 구조의 흡수체막의 최상층, 하층은 모두, 반드시 전체가 균일한 조성이 아니어도 되고, 예를 들면 막 두께 방향으로 조성이 다르도록 조성을 경사지게 하여도 된다. 조성을 경사지게 하는 경우, 함유하는 원소의 조성이 연속적으로 다르도록 하여도 되고, 혹은 조성이 단계적으로 다르도록 하여도 된다.

[0053] 또한, 상기 다층 반사막과 흡수체막 사이에, 그 흡수체막과 예칭 특성이 다른 베퍼막을 형성하여도 된다. 이러한 베퍼막을 형성하는 것에 의해, 흡수체막의 패턴 형성 시, 및 패턴 수정 시의 예칭에 의한 다층 반사막의 데미지가 방지된다. 특히, 크롬을 함유하는 크롬계 재료로 이루어지는 베퍼막은 높은 평활성이 얻어지기 때문에, 그 위에 형성되는 흡수체막 표면도 높은 평활성이 얻어져, 패턴 흐려짐을 감소할 수 있다.

[0054] 본 발명에서는, 크롬계 베퍼막의 재료로서는, 특히 크롬(Cr)의 질화물을 포함하는 재료를 바람직하게 들 수 있다. 또한, 베퍼막의 막 밀도가 5.0~9.0g/cm<sup>3</sup>인 것이 바람직하다. 크롬의 질화물을 포함하는 베퍼막의 막 밀도가 5.0~9.0g/cm<sup>3</sup>인 것에 의해, 베퍼막의 EUV광에 대한 흡수 효과가 높아져, 흡수체막의 박막화를 도모할 수 있어, Shadowing 효과에 의한 전사 대상물에 전사하였을 때의 패턴 선폭의 굵기를 저감할 수 있다고 하는 효과를 발휘한다.

[0055] 또한, 상기 반사형 마스크 블랭크는, 흡수체막의 상면에 소정의 전사 패턴을 형성하기 위한 레지스트막을 갖는 것이어도 된다.

[0056] 상기 반사형 마스크 블랭크를 사용하여 얻어지는 반사형 마스크로서는, 이하와 같은 양태를 들 수 있다.

[0057] (1) 기판 위에 형성된 다층 반사막 위에 베퍼막이 형성되고, 이 베퍼막 위에 소정의 전사 패턴을 갖는 흡수체막 패턴이 형성된 반사형 마스크.

[0058] (2) 기판 위에 형성된 다층 반사막 위에, 소정의 전사 패턴을 갖는 베퍼막과 흡수체막의 패턴이 형성된 반사형 마스크.

[0059] (3) 기판 위에 형성된 다층 반사막 위에, 소정의 전사 패턴을 갖는 흡수체막 패턴이 형성된 반사형 마스크.

[0060] 다음으로, 도 1의 (a)~(d) 및 도 2를 참조하여, 본 발명의 반사형 마스크 블랭크의 구조, 제조 방법 및 반사형 마스크의 제조 방법에 대해서, 보다 상세하게 설명한다.

[0061] 도 1의 (a)~(d)는 본 발명의 반사형 마스크 블랭크의 일 실시 형태 및 이 마스크 블랭크를 이용하여 반사형 마스크를 제조하는 공정을 도시하는 개략 단면도이다. 본 발명의 반사형 마스크 블랭크(10)의 일 실시 형태로서는, 도 1의 (a)에 도시한 바와 같이, 기판(1) 위에 다층 반사막(2)이 형성되고, 그 위에 베퍼막(3) 및, 베퍼층(3) 위에 하층(4a)과 최상층(4b)이 이 순번으로 적층된 적층 구조로 이루어지는 흡수체막(4)이 형성된 구조를 이루고 있다. 또한, 흡수체막(4)의 상면에는 레지스트막(5)이 형성되어 있다.

- [0062] 기판(1)으로서는, 노광 시의 열에 의한 패턴의 변형을 방지하기 위해,  $0\pm1.0\times10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 의 범위 내, 보다 바람직하게는  $0\pm0.3\times10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 의 범위 내의 저열팽창 계수를 갖는 것이 바람직하다. 이 범위의 저열팽창 계수를 갖는 소재로서는, 아몰퍼스 글래스, 세라믹, 금속 중 어느 하나라도 사용할 수 있다. 예를 들면 아몰퍼스 글래스이면,  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ 계 글래스, 석영 글래스, 결정화 글래스이면,  $\beta$  석영고용체를 석출한 결정화 글래스 등을 이용할 수 있다. 금속 기판의 예로서는, 인 바 합금(Fe-Ni계 합금) 등을 들 수 있다. 또한, 단결정 실리콘 기판을 사용할 수도 있다.
- [0063] 또한, 기판(1)은, 고반사율 및 고전사 정밀도를 얻기 위해, 높은 평활성과 평탄도를 구비한 기판이 바람직하다. 특히,  $\text{R}_{\text{rms}}$ 가  $0.2\text{nm}$  이하인 평활한 표면( $10\mu\text{m}\times10\mu\text{m}$  에리어에서의 평활성)과,  $100\text{nm}$  이하인 평탄도( $142\text{mm}\times142\text{mm}$  에리어에서의 평탄도)를 갖는 것이 바람직하다. 또한, 기판(1)은, 그 위에 형성되는 막의 막 응력에 의한 변형을 방지하기 위해, 높은 강성을 갖고 있는 것이 바람직하다. 특히,  $65\text{GPa}$  이상의 높은 영율을 갖고 있는 것이 바람직하다.
- [0064] 또한, 평활성을 나타내는 단위  $\text{R}_{\text{rms}}$ 는, 제곱 평균 평방근 거칠기이며, 예를 들면 원자간력 현미경으로 측정할 수 있다. 또한 평탄도는, TIR(Total Indicated Reading)로 나타내어지는 표면의 흡(변형량)을 나타내는 값으로, 기판 표면을 기준으로 하여 최소 제곱법으로 정해지는 평면을 초평면으로 하고, 이 초평면보다 위에 있는 기판 표면의 가장 높은 위치와, 초평면보다 아래에 있는 기판 표면의 가장 낮은 위치와의 고저차의 절대값이다.
- [0065] 다층 반사막(2)은, 굴절률이 다른 원소가 주기적으로 적층된 다층막이며, 일반적으로는, 중원소 또는 그 화합물의 박막과, 경원소 또는 그 화합물의 박막이 교대로  $40\sim60$  주기 정도 적층된 다층막이 이용된다.
- [0066] 예를 들면, 파장  $13\sim14\text{nm}$ 의 EUV광에 대한 다층 반사막으로서는, Mo막과 Si막을 교대로  $40$  주기 정도 적층한 Mo/Si 주기 적층막이 바람직하게 이용된다. 그 외에, EUV광의 영역에서 사용되는 다층 반사막으로서, Ru/Si 주기 다층막, Mo/Be 주기 다층막, Mo 화합물/Si 화합물 주기 다층막, Si/Nb 주기 다층막, Si/Mo/Ru 주기 다층막, Si/Mo/Ru/Mo 주기 다층막, Si/Ru/Mo/Ru 주기 다층막 등이 있다. 노광 과정에 의해, 재질을 적절하게 선택하면 된다.
- [0067] 다층 반사막(2)은, DC 마그네트론 스퍼터법이나, 이온 범 스퍼터법 등에 의해, 각 층을 성막하는 것에 의해 형성할 수 있다. 상술한 Mo/Si 주기 다층막의 경우, 예를 들면 이온 범 스퍼터법에 의해, 우선 Si 타깃을 이용하여 두께 수  $\text{nm}$  정도의 Si막을 성막하고, 그 후 Mo 타깃을 이용하여 두께 수  $\text{nm}$  정도의 Mo막을 성막하고, 이를 1 주기로 하여,  $40\sim60$  주기 적층한 후, 마지막으로 Si막을 성막한다. 또한, 본 발명에서는, 다층 반사막(2)과 베퍼막(3) 사이, 혹은, 다층 반사막(2)과 흡수체막(4) 사이(베퍼막(3)을 갖고 있지 않은 경우)에, 예를 들면 루테늄(Ru) 또는 그 화합물 등의 재료로 이루어지는 보호막을 형성하여도 된다. 이 보호막을 갖는 것에 의해, 베퍼막이나 흡수체막의 패턴 형성 시의 에칭에 의한 다층 반사막의 테미지가 방지되어, 노광광 반사율의 저하를 방지할 수 있다. 또한, 상기 루테늄 화합물로서는, 예를 들면, RuNb, RuZr 등을 들 수 있다.
- [0068] 베퍼막(3)으로서는, 예를 들면 전술한 크롬계 베퍼막을 바람직하게 이용할 수 있다. 이 베퍼막(3)은, DC 스퍼터, RF 스퍼터법 이외에, 이온 범 스퍼터 등의 스퍼터법에 의해 상기 다층 반사막 위에 형성할 수 있다. 또한, 베퍼막(3)의 막 두께는, 예를 들면 집속 이온 범(FIB)을 이용한 흡수체막 패턴의 수정을 행하는 경우에는,  $20\sim60\text{nm}$  정도로 하는 것이 바람직하지만, FIB를 이용하지 않는 경우에는,  $5\sim15\text{nm}$  정도로 할 수 있다.
- [0069] 다음으로, 흡수체막(4)은, 노광광인 예를 들면 EUV광을 흡수하는 기능을 갖는 것으로, 도 1의 (a)~(d)에 도시한 실시 형태에서는, 하층(4a)과 최상층(4b)의 적층 구조로 이루어진다. 이러한 흡수체막에 대해서는 상술한 바와 같다.
- [0070] 도 1의 (a)~(d)에 도시한 실시 형태에서는, 반사형 마스크 블랭크(10)는 이상과 같이 구성되고, 베퍼막(3)을 갖고 있지만, 흡수체막(4)에의 패턴 형성의 방법이나 형성한 패턴의 수정 방법에 따라서는, 이 베퍼막(3)을 형성하지 않는 구성으로 하여도 된다.
- [0071] 다음으로, 이 반사형 마스크 블랭크(10)를 이용한 반사형 마스크의 제조 공정을 설명한다.
- [0072] 반사형 마스크 블랭크(10)(도 1의 (a) 참조)의 각 층의 재료 및 형성 방법에 대해서는 상술한 바와 같다.
- [0073] 그리고, 이 반사형 마스크 블랭크(10)의 흡수체막(4)에 소정의 전사 패턴을 형성한다. 우선, 흡수체막(4) 위의 레지스트막(5)(예를 들면 공지의 전자선 묘화용 레지스트)에 대해, 전자선 묘화기를 이용하여 소정의 패턴 묘화를 행하고, 이를 현상하여, 소정의 레지스트 패턴(51)을 형성한다(도 1의 (b) 참조).

- [0074] 형성된 레지스트 패턴(51)을 마스크로 하여, 흡수체막(4)의 최상층(4b) 및 하층(4a)을 드라이 에칭하여, 소정의 전사 패턴을 갖는 흡수체막 패턴(최상층 패턴(41b)과 하층 패턴(41a)의 적층 패턴)을 형성한다(도 1의 (c) 참조). 흡수체막(4)의 최상층(4b) 및 하층(4a)은 모두 Ta를 주성분으로 하는 재료로 이루어지는 경우, 염소 가스 또는 불소계 가스를 이용한 드라이 에칭을 이용할 수 있다. 또한, 최상층 패턴(41b) 위에 남은 레지스트 패턴(51)은 산소 플라즈마 애싱이나 오존수 등을 이용하여 제거한다.
- [0075] 통상은 여기서, 흡수체막 패턴(하층 패턴(41a)과 최상층 패턴(41b)의 적층 패턴)이 설계대로 형성되어 있는지의 여부의 검사를 행한다. 패턴 검사에 이용하는 검사광이 흡수체막 패턴이 형성된 마스크 위에 입사되고, 최상층 패턴(41b) 위에서 반사되는 검사광과, 흡수체막(4)이 제거되어 노출된 베퍼막(3)에서 반사되는 검사광을 검출하고, 그 콘트라스트를 관찰하는 것에 의해서, 검사를 행한다.
- [0076] 이와 같이 하여, 예를 들면, 제거되어서는 안되는 흡수체막(4)이 제거된 편홀 결함(백결함)이나, 에칭 부족에 의해 일부가 제거되지 않고 남아 있는 에칭 부족 결함(흑결함)이 검출된 경우에는, 이를 수정한다. 편홀 결함의 수정에는, 예를 들면, FIB 어시스트 데포지션법에 의해 탄소막 등을 편홀에 퇴적시키는 등의 방법이 있다. 또한, 에칭 부족에 의한 결함의 수정에는, FIB 조사에 의한 불필요 부분의 제거를 행하는 등의 방법이 있다. 이 때, 베퍼막(3)은, FIB 조사에 대해, 다층 반사막(2)을 보호하는 보호막으로 된다.
- [0077] 이렇게 하여, 패턴 검사 및 수정이 끝난 후, 노출된 베퍼막(3)을 흡수체막 패턴에 따라서 제거하고, 베퍼막에 패턴(30)을 형성하여, 반사형 마스크(20)를 제작한다(도 1의 (d) 참조). 여기서, 예를 들면 Cr계 재료로 이루어지는 베퍼막의 경우는, 염소와 산소를 포함하는 혼합 가스로의 드라이 에칭을 이용할 수 있다. 베퍼막을 제거한 부분에서는, 노광광의 반사 영역인 다층 반사막(2)이 노출된다.
- [0078] 또한, 상술한 베퍼막을 제거하지 않아도 필요한 반사율이 얻어지는 경우에는, 베퍼막을 흡수체막과 마찬가지의 패턴 형상으로 가공하지 않고, 다층 반사막 위에 남기는 것도 가능하다.
- [0079] 마지막으로, 사양대로의 치수 정밀도로 흡수체막 패턴이 형성되어 있는지의 여부의 최종적인 확인의 검사를 행한다.
- [0080] 또한, 본 발명의 반사형 마스크 블랭크를 이용하여 제조되는 반사형 마스크는, EUV광(파장 0.2~100nm 정도)을 노광광으로서 이용하는 EUV 리소그래피에 특히 바람직하지만, 다른 단파장의 노광광에 대해서도 적절하게 이용하는 것은 가능하다.
- [0081] <실시예>
- [0082] 이하, 실시예에 의해, 본 발명의 실시 형태를 더 구체적으로 설명한다.
- [0083] <실시예 1>
- [0084] 사용하는 기판은,  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ 계의 클래스 기판(6인치(152.4mm)×6인치, 두께가 6.3mm)이다. 이 기판의 열팽창계수는  $0.2 \times 10^{-7}/\text{^\circ C}$ , 영율은 67GPa이다. 그리고, 이 클래스 기판은 기계 연마에 의해,  $R_{\text{rms}}$ 가 0.2nm 이하의 평활한 표면과, 100nm 이하인 평탄도로 형성하였다.
- [0085] 기판 위에 형성되는 다층 반사막은, 13~14nm의 노광광 파장 대역에 적합한 다층 반사막으로 하기 위해, Mo막/Si막 주기 다층 반사막을 채용하였다. 즉, 다층 반사막은, Mo 타깃과 Si 타깃을 사용하고, 이온 범 스퍼터링에 의해 기판 위에 교대로 적층하여 형성하였다. Si막을 4.2nm, Mo막을 2.8nm, 이를 1 주기로 하여, 40 주기 적층한 후, Si막을 4.2nm 성막하고, 그 위에 보호막으로서 Ru막을 2.5nm로 더 성막하였다. 이와 같이 하여 다층 반사막을 갖는 기판을 얻었다. 이 다층 반사막에 대해, 13.5nm의 EUV광을 입사각 6.0도에서 반사율을 측정한 바, 반사율은 63%이었다.
- [0086] 다음으로, 상술한 바와 같이 얻어진 다층 반사막을 갖는 기판의 보호막 위에, 베퍼막을 형성하였다. 베퍼막은, 질화 크롬막을 20nm의 두께로 형성하였다. Cr 타깃을 이용하여, 스퍼터 가스로서 아르곤(Ar)과 질소( $\text{N}_2$ )의 혼합 가스를 이용하여 DC 마그네트론 스퍼터링법에 의해 성막하였다. 성막된 CrNx막에서, 질소(N)는 10at% ( $x=0.1$ )로 하였다. 또한, 성막된 CrNx막의 막 밀도는, 7.0g/cm<sup>3</sup>이었다. 막 밀도의 측정은, 저각(底角) EUV 반사광 강도 측정에 의해 행하였다.
- [0087] 다음으로, 이 베퍼막 위에, 흡수체막의 하층으로서, Ta와 B와 N을 포함하는 재료를 50nm의 두께로 형성하였다. 즉, Ta 및 B를 포함하는 타깃을 이용하여, 아르곤(Ar)에 질소( $\text{N}_2$ )를 10% 첨가하여, DC 마그네트론 스퍼터링법

에 의해 성막하였다. 또한, 성막한 TaBN막의 조성비는, Ta가 59at%, B가 21at%, N이 20at%이었다.

[0088] 계속해서, 흡수체막의 최상층으로서, Ta와 B와 O를 포함하는 재료를 20nm의 두께로 형성하였다. 즉, Ta 및 B를 포함하는 타깃을 이용하여, 아르곤(Ar)에 산소( $O_2$ )를 10% 첨가하여, DC 마그네트론 스퍼터링법에 의해 성막하였다. 또한, 성막한 TaBO막의 조성비는, Ta가 43at%, B가 8at%, O가 49at%이었다. 또한, 성막한 TaBN막(하층)의 막 밀도는, 13.5g/cm<sup>3</sup>이며, 성막한 TaBO막(최상층)의 막 밀도는, 9.2g/cm<sup>3</sup>이었다. 막 밀도의 측정은, 상기의 방법에 의해 행하였다.

[0089] 또한, 상기 최상층의 TaBO막에 대해, 13.5nm의 EUV광을 입사각 6.0도에서 투과율을 측정한 바, 0.8%이었다.

[0090] 이상과 같이 하여 본 실시예의 반사형 마스크 블랭크를 제작하였다.

[0091] 다음으로, 이 반사형 마스크 블랭크를 이용하여, 디자인 룰이 DRAM hp32nm 세대의 패턴을 갖는 EUV 노광용 반사형 마스크를 이하와 같이 하여 제작하였다.

[0092] 우선, 상기 반사형 마스크 블랭크 위에 전자선 묘화용 레지스트막을 형성하고, 전자선 묘화기를 사용하여 소정의 패턴 묘화를 행하고, 묘화 후, 현상에 의해 레지스트 패턴을 형성하였다.

[0093] 다음으로, 이 레지스트 패턴을 마스크로 하여, 염소 가스를 이용하여 흡수체막의 최상층 및 하층을 드라이 에칭하고, 흡수체막에 하층과 최상층의 적층 패턴으로 이루어지는 전사 패턴을 형성하였다.

[0094] 또한, 염소와 산소의 혼합 가스를 이용하여, 반사 영역 위(흡수체막의 패턴이 없는 부분)에 잔존하고 있는 벼파막을 흡수체막의 패턴에 따라서 드라이 에칭하여 제거하고, 표면에 Ru 보호막을 구비한 다층 반사막을 노출시켜, 반사형 마스크를 얻었다.

[0095] 얻어진 반사형 마스크의 최종 확인 검사를 행한 바, 디자인 룰이 DRAM hp32nm 세대의 패턴을 설계대로 형성할 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 반사 영역에서의 EUV광의 반사율은, 다층 반사막을 갖는 기판에서 측정한 반사율로부터 거의 변하지 않고, 61.8%이었다.

[0096] 다음으로, 얻어진 본 실시예의 반사형 마스크를 이용하여, 도 2에 도시한 패턴 전사 장치에 의한 반도체 기판 위에의 EUV광에 의한 노광 전사를 행하였다.

[0097] 반사형 마스크를 탑재한 패턴 전사 장치(50)는, 레이저 플라즈마 X선원(31), 축소 광학계(32) 등으로 개략 구성된다. 레이저 플라즈마 X선원(31)은, 레이저 광원(31a)과, 레이저 광원(31a)으로부터 조사된 레이저를 수속시키는 렌즈(31b)와, 렌즈(31b)로 수속한 레이저가 Xe 플라즈마에 입사하는 것에 의해 방사되는 X선(EUV광)을 집광·반사하는 타깃(31c)과, EUV광을 반사하여 축소 광학계(32)로 유도하는 미러(31d, 31e)를 갖고 있다. 축소 광학계(32)는, 도 2에서는 복수의 EUV광 반사 미러(32a)를 이용하고 있다. 축소 광학계(32)에 의해, 반사형 마스크(20)에서 반사된 패턴은 통상 1/4 정도로 축소된다. 또한, 노광 파장으로서 13~14nm의 파장대를 사용하므로, 광로가 진공 중으로 되도록 미리 설정하였다.

[0098] 이와 같은 상태에서, 레이저 플라즈마 X선원(31)으로부터 얻어진 EUV광을 반사형 마스크(20)에 입사하고, 여기서 반사된 광을 축소 광학계(32)를 통하여 실리콘 웨이퍼(레지스트층을 갖는 반도체 기판)(33) 위에 전사하였다.

[0099] 반사형 마스크(20)에 입사한 광은, 흡수체막 패턴이 있는 부분에서는, 흡수체막에 흡수되어 반사되지 않고, 한편, 흡수체막 패턴이 없는 부분에 입사한 광은 다층 반사막에 의해 반사된다. 이와 같이 하여, 반사형 마스크(20)로부터 반사되는 광에 의해 형성되는 상이 축소 광학계(32)에 입사한다. 축소 광학계(32)를 경유한 노광광은, 실리콘 웨이퍼(33) 위의 레지스트층에 전사 패턴을 노광한다. 그리고, 이 노광된 레지스트층을 현상하는 것에 의해 실리콘 웨이퍼(33) 위에 레지스트 패턴을 형성하였다.

[0100] 이상과 같이 하여 반도체 기판 위에의 패턴 전사를 행한 바, 본 실시예의 반사형 마스크의 마스크 콘트라스트는 1:1000로 높고, 마스크 정밀도는 DRAM hp32nm 세대에서의 디자인 룰의 요구 정밀도인 3.8nm 이하인 것을 확인할 수 있었다.

[0101] <실시예 2>

[0102] 실시예 1과 마찬가지로 하여 다층 반사막을 갖는 기판을 제작하고, 그 Ru 보호막 위에, 실시예 1과 동일하게 질화 크롬막의 벼파막을 형성하였다. 또한, 성막된 CrNx막의 막 밀도는, 7.0g/cm<sup>3</sup>이었다.

[0103] 다음으로, 이 벼파막 위에, 흡수체막의 하층으로서, Ta와 N을 포함하는 재료를 60nm의 두께로 형성하였다. 즉,

Ta 타깃을 이용하여, 아르곤(Ar)에 질소( $N_2$ )를 10% 첨가하여, DC 마그네트론 스퍼터링법에 의해 성막하였다. 또한, 성막한 TaN막의 조성비는, Ta가 78at %, N이 22at %이었다.

[0104] 계속해서, 흡수체막의 최상층으로서, Ta와 O를 포함하는 재료를 20nm의 두께로 형성하였다. 즉, Ta 타깃을 이용하여, 아르곤(Ar)에 산소( $O_2$ )를 10% 첨가하여, DC 마그네트론 스퍼터링법에 의해 성막하였다. 또한, 성막한 TaO막의 조성비는, Ta가 55at %, O가 45at %이었다.

[0105] 또한, 성막한 TaN막(하층)의 막 밀도는, 14.2g/cm<sup>3</sup>이며, 성막한 TaO막(최상층)의 막 밀도는, 8.5g/cm<sup>3</sup>이었다.

[0106] 또한, 상기 최상층의 TaO막에 대해, 13.5nm의 EUV광을 입사각 6.0도에서 투과율을 측정한 바, 0.65%이었다.

[0107] 이상과 같이 하여 본 실시예의 반사형 마스크 블랭크를 제작하였다.

[0108] 다음으로, 이 반사형 마스크 블랭크를 이용하여, 실시예 1과 마찬가지로 하여, 디자인 룰이 DRAM hp32nm 세대의 패턴을 갖는 EUV 노광용 반사형 마스크를 제작하였다.

[0109] 얻어진 반사형 마스크의 최종 확인 검사를 행한 바, 디자인 룰이 DRAM hp32nm 세대의 패턴을 설계대로 형성할 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 반사 영역에서의 EUV광의 반사율은, 다층 반사막을 갖는 기판에서 측정한 반사율로부터 거의 변하지 않고, 61.5%이었다.

[0110] 다음으로, 얻어진 본 실시예의 반사형 마스크를 이용하여, 실시예 1과 마찬가지로, 도 2에 도시한 패턴 전사 장치에 의한 반도체 기판 위에의 EUV광에 의한 패턴 전사를 행한 바, 본 실시예의 반사형 마스크의 마스크 콘트라스트는 1:1000로 높고, 마스크 정밀도는 DRAM hp32nm 세대에서의 디자인 룰의 요구 정밀도인 3.8nm 이하인 것을 확인할 수 있었다.

[0111] <실시예 3>

[0112] 실시예 1과 마찬가지로 하여 다층 반사막을 갖는 기판을 제작하고, 그 Ru 보호막 위에, 실시예 1과 동일하게 질화 크롬막의 버퍼막을 형성하였다. 또한, 성막된 CrNx막의 막 밀도는, 7.0g/cm<sup>3</sup>이었다.

[0113] 다음으로, 이 버퍼막 위에, 흡수체막의 하층으로서, Ta막을 50nm의 두께로 형성하였다. 즉, Ta 타깃을 이용하여, 아르곤 가스(Ar) 속에서, DC 마그네트론 스퍼터링법에 의해 성막하였다.

[0114] 계속해서, 흡수체막의 최상층으로서, Ta와 O를 포함하는 재료를 20nm의 두께로 형성하였다. 즉, Ta 타깃을 이용하여, 아르곤(Ar)에 산소( $O_2$ )를 10% 첨가하여, DC 마그네트론 스퍼터링법에 의해 성막하였다. 또한, 성막한 TaO막의 조성비는, Ta가 55at %, O가 45at %이었다.

[0115] 또한, 성막한 Ta막(하층)의 막 밀도는, 14.4g/cm<sup>3</sup>이며, 성막한 TaO막(최상층)의 막 밀도는, 8.5g/cm<sup>3</sup>이었다.

[0116] 또한, 상기 최상층의 TaO막에 대해, 13.5nm의 EUV광을 입사각 6.0도에서 투과율을 측정한 바, 0.78%이었다.

[0117] 이상과 같이 하여 본 실시예의 반사형 마스크 블랭크를 제작하였다.

[0118] 다음으로, 이 반사형 마스크 블랭크를 이용하여, 실시예 1과 마찬가지로 하여, 디자인 룰이 DRAM hp32nm 세대의 패턴을 갖는 EUV 노광용 반사형 마스크를 제작하였다.

[0119] 얻어진 반사형 마스크의 최종 확인 검사를 행한 바, 디자인 룰이 DRAM hp32nm 세대의 패턴을 설계대로 형성할 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 반사 영역에서의 EUV광의 반사율은, 다층 반사막을 갖는 기판에서 측정한 반사율로부터 거의 변하지 않고, 61.7%이었다.

[0120] 다음으로, 얻어진 본 실시예의 반사형 마스크를 이용하여, 실시예 1과 마찬가지로, 도 2에 도시한 패턴 전사 장치에 의한 반도체 기판 위에의 EUV광에 의한 패턴 전사를 행한 바, 본 실시예의 반사형 마스크의 마스크 콘트라스트는 1:1000로 높고, 마스크 정밀도는 DRAM hp32nm 세대에서의 디자인 룰의 요구 정밀도인 3.8nm 이하인 것을 확인할 수 있었다.

[0121] <실시예 4>

[0122] 실시예 1과 마찬가지로 하여 다층 반사막을 갖는 기판을 제작하고, 그 Ru 보호막 위에, 실시예 1과 동일하게 질화 크롬막의 버퍼막을 형성하였다. 또한, 성막된 CrNx막의 막 밀도는, 7.0g/cm<sup>3</sup>이었다.

[0123] 다음으로, 이 버퍼막 위에, 흡수체막으로서, Ta와 B와 N을 포함하는 재료를 70nm의 두께로 형성하였다. 즉, Ta

및 B를 포함하는 타깃을 이용하여, 아르곤(Ar)에 질소( $N_2$ )를 10% 첨가하여, DC 마그네트론 스퍼터링법에 의해 성막하였다. 또한, 성막한 TaBN막의 조성비는, Ta가 59at %, B가 21at %, N이 20at %이었다.

[0124] 또한, 성막한 TaBN막의 막 밀도는, 13.5g/cm<sup>3</sup>이었다.

[0125] 이상과 같이 하여 본 실시예의 반사형 마스크 블랭크를 제작하였다.

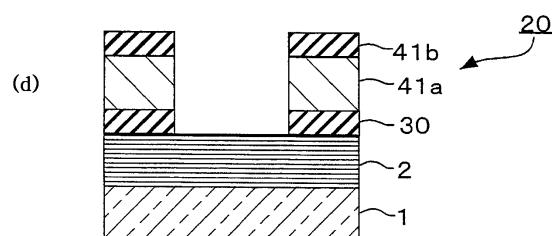
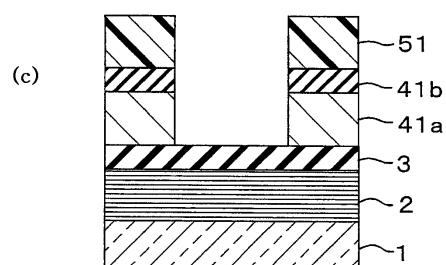
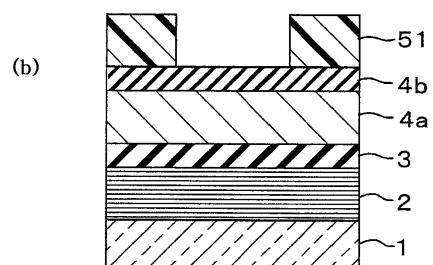
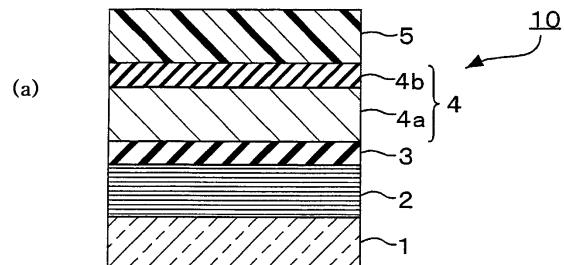
[0126] 다음으로, 이 반사형 마스크 블랭크를 이용하여, 실시예 1과 마찬가지로 하여, 디자인 룰이 DRAM hp32nm 세대의 패턴을 갖는 EUV 노광용 반사형 마스크를 제작하였다.

[0127] 얻어진 반사형 마스크의 최종 확인 검사를 행한 바, 디자인 룰이 DRAM hp32nm 세대의 패턴을 설계대로 형성할 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 반사 영역에서의 EUV광의 반사율은, 다층 반사막을 갖는 기판에서 측정한 반사율로부터 거의 변하지 않고, 61.8%이었다.

[0128] 다음으로, 얻어진 본 실시예의 반사형 마스크를 이용하여, 실시예 1과 마찬가지로, 도 2에 도시한 패턴 전사 장치에 의한 반도체 기판 위에의 EUV광에 의한 패턴 전사를 행한 바, 본 실시예의 반사형 마스크의 마스크 콘트라스트는 1:1000로 높고, 마스크 정밀도는 DRAM hp32nm 세대에서의 디자인 룰의 요구 정밀도인 3.8nm 이하인 것을 확인할 수 있었다.

## 도면

## 도면1



## 도면2

