



등록특허 10-2660488



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년04월24일
(11) 등록번호 10-2660488
(24) 등록일자 2024년04월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03F 1/32 (2012.01) *G03F 1/58* (2012.01)
G03F 7/20 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G03F 1/32 (2013.01)
G03F 1/58 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-7032557

(22) 출원일자(국제) 2019년05월08일
심사청구일자 2022년03월15일

(85) 번역문제출일자 2020년11월11일

(65) 공개번호 10-2021-0015777

(43) 공개일자 2021년02월10일

(86) 국제출원번호 PCT/JP2019/018396

(87) 국제공개번호 WO 2019/230313
국제공개일자 2019년12월05일

(30) 우선권주장

JP-P-2018-103482 2018년05월30일 일본(JP)

(56) 선행기술조사문현

JP2017037278 A

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 20 항

심사관 : 이병수

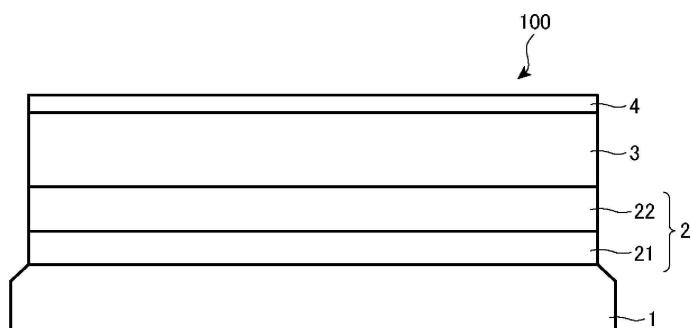
(54) 발명의 명칭 마스크 블랭크, 위상 시프트 마스크 및 반도체 디바이스의 제조 방법

(57) 요 약

본 발명은 ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대해 소정의 투과율로 투과하는 기능과 그 투과하는 ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대해 소정의 위상차를 발생시키는 기능을 겸비하고, 이면 반사율이 절감된 위상 시프트막을 구비하는 마스크 블랭크를 제공한다.

위상 시프트막(2)은, 투광성 기판측부터 제 1 층(21) 및 제 2 층(22)의 순으로 적층한 구조를 포함한다. 제 1 층(21)은 투광성 기판(1)의 표면에 접하여 설치되어 있다. 제 1 층(21) 및 제 2 층(22)의 ArF 엑시머 레이저의 노광광의 파장에 있어서의 굴절률을 각각 n_1 , n_2 로 했을 때, $n_1 < n_2$ 의 관계를 만족시킨다. 제 1 층(21) 및 제 2 층(22)의 상기 노광광의 파장에 있어서의 소쇠(消衰) 계수를 각각 k_1 , k_2 로 했을 때, $k_1 < k_2$ 의 관계를 만족시킨다. 제 1 층(21) 및 제 2 층(22)의 막 두께를 각각 d_1 , d_2 로 했을 때, $d_1 < d_2$ 의 관계를 만족시킨다.

대 표 도



(52) CPC특허분류

G03F 7/20 (2013.01)

(56) 선행기술조사문현

JP2016004223 A

JP2017021312 A

JP2017134424 A

JP6133530 B1

JP2017076152 A

명세서

청구범위

청구항 1

투광성 기판 상에, 위상 시프트막을 구비한 마스크 블랭크로서,
 상기 위상 시프트막은, 상기 투광성 기판측부터 제 1 층 및 제 2 층의 순으로 적층한 구조를 포함하고,
 상기 제 1 층은, 상기 투광성 기판의 표면에 접하여 설치되며,
 상기 제 1 층 및 상기 제 2 층의 ArF 엑시머 레이저의 노광광의 파장에 있어서의 굴절률을 각각 n_1 , n_2 로 했을 때, $n_1 < n_2$ 의 관계를 만족시키고,
 상기 제 1 층 및 상기 제 2 층의 상기 노광광의 파장에 있어서의 소쇠(消衰) 계수를 각각 k_1 , k_2 로 했을 때, $k_1 < k_2$ 의 관계를 만족시키며,
 상기 제 1 층 및 상기 제 2 층의 막 두께를 각각 d_1 , d_2 로 했을 때, $d_1 < d_2$ 의 관계를 만족시키는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
 상기 제 1 층의 굴절률 n_1 은 1.8 이상이며, 상기 제 1 층의 소쇠 계수 k_1 은 0.15 이하인 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,
 상기 제 2 층의 굴절률 n_2 는 2.2 이상이며, 상기 제 2 층의 소쇠 계수 k_2 는 0.2 이상인 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

청구항 4

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,
 상기 투광성 기판의 상기 노광광의 파장에 있어서의 굴절률을 n_s 로 했을 때, $n_s < n_1 < n_2$ 의 관계를 만족시키고,
 상기 투광성 기판의 상기 노광광의 파장에 있어서의 소쇠 계수를 k_s 로 했을 때, $k_s < k_1 < k_2$ 의 관계를 만족시키는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

청구항 5

제 4 항에 있어서,
 상기 투광성 기판의 굴절률 n_s 는 1.6 이하이며, 상기 투광성 기판의 소쇠 계수 k_s 는 0.01 이하인 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

청구항 6

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,
 상기 위상 시프트막은, 상기 노광광을 15% 이상의 투과율로 투과시키는 기능과, 상기 위상 시프트막을 투과한 상기 노광광에 대해 상기 위상 시프트막의 두께와 동일한 거리만큼 공기 중을 통과한 상기 노광광과의 사이에서 150도 이상 200도 이하의 위상차를 발생시키는 기능을 갖는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

청구항 7

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 제 1 층은, 규소와 질소와 산소로 이루어지는 재료, 또는 반(半)금속 원소 및 비(非)금속 원소로부터 선택되는 1 이상의 원소와 규소와 질소와 산소로 이루어지는 재료로 형성되고,

상기 제 2 층은, 규소와 질소로 이루어지는 재료, 또는 반금속 원소 및 비금속 원소로부터 선택되는 1 이상의 원소와 규소와 질소로 이루어지는 재료로 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 제 2 층의 질소의 함유량은, 상기 제 1 층의 질소의 함유량보다도 많은 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

청구항 9

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 위상 시프트막은, 상기 제 2 층의 위에 제 3 층을 구비하고,

상기 제 3 층의 상기 노광광의 파장에 있어서의 굴절률을 n_3 로 했을 때, $n_3 < n_1 < n_2$ 의 관계를 만족시키며,

상기 제 3 층의 상기 노광광의 파장에 있어서의 소쇠 계수를 k_3 로 했을 때, $k_1 < k_2 < k_3$ 의 관계를 만족시키는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 제 3 층의 막 두께를 d_3 로 했을 때, $d_3 < d_1 < d_2$ 의 관계를 만족시키는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

청구항 11

제 9 항에 있어서,

상기 제 3 층의 굴절률 n_3 는 1.8 미만이며, 상기 제 3 층의 소쇠 계수 k_3 는 1.0 이상인 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

청구항 12

제 9 항에 있어서,

상기 제 3 층은, 규소와 질소로 이루어지는 재료, 또는 반금속 원소 및 비금속 원소로부터 선택되는 1 이상의 원소와 규소와 질소로 이루어지는 재료로 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

청구항 13

제 9 항에 있어서,

상기 위상 시프트막은, 상기 제 3 층의 위에 제 4 층을 구비하고,

상기 제 4 층의 상기 노광광의 파장에 있어서의 굴절률을 n_4 로 했을 때, $n_4 < n_1 < n_2$ 의 관계를 만족시키며,

상기 제 4 층의 상기 노광광의 파장에 있어서의 소쇠 계수를 k_4 로 했을 때, $k_4 < k_1 < k_2$ 의 관계를 만족시키는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 제 4 층의 굴절률 n_4 는 1.7 이하이며, 상기 제 4 층의 소쇠 계수 k_4 는 0.02 이하인 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

청구항 15

제 13 항에 있어서,

상기 제 4 층은, 규소와 산소로 이루어지는 재료, 또는 반금속 원소 및 비금속 원소로부터 선택되는 1 이상의 원소와 규소와 산소로 이루어지는 재료로 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

청구항 16

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 위상 시프트막은, 상기 제 2 층의 위에 제 3A 층을 구비하고,

상기 제 3A 층의 상기 노광광의 파장에 있어서의 굴절률을 n_{3A} 로 했을 때, $n_{3A} < n_1 < n_2$ 의 관계를 만족시키고,

상기 제 3A 층의 상기 노광광의 파장에 있어서의 소쇠 계수를 k_{3A} 로 했을 때, $k_{3A} < k_1 < k_2$ 의 관계를 만족시키는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 제 3A 층의 굴절률 n_{3A} 는 1.7 이하이며, 상기 제 3A 층의 소쇠 계수 k_{3A} 는 0.02 이하인 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

청구항 18

제 16 항에 있어서,

상기 제 3A 층은, 규소와 산소로 이루어지는 재료, 또는 반금속 원소 및 비금속 원소로부터 선택되는 1 이상의 원소와 규소와 산소로 이루어지는 재료로 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

청구항 19

제 1 항 또는 제 2 항에 기재된 마스크 블랭크의 상기 위상 시프트막에 전사 패턴이 설치되어 있는 것을 특징으로 하는 위상 시프트 마스크.

청구항 20

제 19 항에 기재된 위상 시프트 마스크를 이용하여, 반도체 기판 상의 레지스트막에 전사 패턴을 노광 전사하는 공정을 구비하는 것을 특징으로 하는 반도체 디바이스의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 마스크 블랭크 및 그 마스크 블랭크를 이용하여 제조된 위상 시프트 마스크에 관한 것이다. 또, 본 발명은, 상기의 위상 시프트 마스크를 이용한 반도체 디바이스의 제조 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 일반적으로, 반도체 디바이스의 제조 공정에서는, 포토리소그래피법을 이용하여 미세 패턴의 형성이 행하여지고 있다. 또, 이 미세 패턴의 형성에는 통상 몇 장의 전사용 마스크라고 불리고 있는 기판이 사용된다. 반도체 디바이스의 패턴을 미세화함에 있어서는, 전사용 마스크에 형성되는 마스크 패턴의 미세화에 더하여, 포토리소그래피에서 사용되는 노광 광원의 파장의 단파장화가 필요해진다. 반도체 장치 제조 시의 노광 광원으로는, 근래는 KrF 엑시머 레이저(파장 248nm)로부터 ArF 엑시머 레이저(파장 193nm)로 단파장화가 진행되고 있다.

[0003] 전사용 마스크의 종류로는, 종래의 투광성 기판 상에 크롬계 재료로 이루어지는 차광 패턴을 구비한 바이너리

마스크 외에, 하프톤형 위상 시프트 마스크가 알려져 있다.

[0004] 특허문헌 1에는, 차광막과 표면 및 이면(裏面) 반사 방지막을 구비하는 바이너리 마스크 블랭크가 개시되어 있다. 이 특허문헌 1에서는, 차광대(遮光帶)로부터의 반사에 기인하는, 인접 쇼트에 영향을 주는 플레어(Flare)나, 패턴 에어리어 내에서의 노광량 초과 에러(Dose Error)를 억제하기 위해, 차광막의 아래에 접하여 형성되며, 규소, 전이 금속, 산소 및 질소를 포함하고, 막의 굴절률 n_2 가 1.0~3.5, 막의 소쇠(消衰) 계수 k_2 가 2.5 이하, 막 두께 t_2 가 5~40nm인 이면 반사 방지막을 구비하고 있다. 그리고, 투명 기판측으로부터의 광의 입사에 대한 반사율(이하, 이면 반사율이라고 한다.)이 약 30% 이하이고, 구체적으로는, 그 실시예에 나타나는 바와 같이, 약 29%나 약 23%가 되는 바이너리 마스크 블랭크를 실현하고 있다.

[0005] 특허문헌 2에는, 투광성 기판 상에, ArF 노광광을 소정의 투과율로 투과하고, 또한 투과하는 ArF 노광광에 대해 소정량의 위상 시프트를 발생시키는 기능을 갖는 위상 시프트막이 설치된 하프톤형 위상 시프트 마스크 블랭크가 개시되어 있다. 이 특허문헌 2에서는, 위상 시프트막을, 고투과층과 저투과층을 포함하는 적층 구조로 하고 있다. 또한, 고투과층은, 질소 함유량이 상대적으로 많은 SiN계 막을 적용하고, 저투과층은, 질소 함유량이 상대적으로 적은 SiN계 막을 적용하고 있다.

[0006] 또, 근래, 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 노광 전사를 행할 때에 사용되는 조명 시스템도 고도화, 복잡화하고 있다. 특허문헌 3에는, 기판 상의 마스크 패턴의 결상(結像)을 향상시키기 위해 리소그래피 장치의 조사원(照射源)을 구성하는 방법이 개시되어 있다. 이 방법은, 이하의 6개의 공정을 포함하는 것이다. (1) 조사원을 꽈셀군으로 분할하는 공정으로서, 각 꽈셀군이 조사원의 동면(瞳面)에 하나 또는 복수의 조사원 포인트를 포함하는 공정. (2) 각 꽈셀군의 편광 상태를 변화시켜, 각 꽈셀군의 편광 상태의 변화로부터 초래되는, 복수의 크리티컬 디멘션의 각각에 대한 점진적 효과를 구하는 공정. (3) 구해진 점진적 효과를 이용하여, 복수의 크리티컬 디멘션의 각각에 관한 제 1 복수의 감도(感度) 계수를 계산하는 공정. (4) 초기의 조사원을 선택하는 공정. (5) 계산된 제 1 복수의 감도 계수를 이용하여, 초기의 조사원의 꽈셀군의 편광 상태의 변화의 결과로서 리소그래피의 메트릭을 반복 계산하는 공정으로서, 초기의 조사원의 꽈셀군의 편광 상태의 변화가, 변경된 조사원을 생성하는 공정. (6) 반복 계산의 결과에 의거하여 초기의 조사원을 조절하는 공정.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 일본국 특허 제5054766호 공보

(특허문헌 0002) 일본국 특개 2014-137388호 공보

(특허문헌 0003) 일본국 특개 2012-74695호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 근래, 전사 패턴의 한층 더한 미세화가 요망되고 있고, 노광 전사를 행할 때에 사용되는 조명 시스템도 고도화, 복잡화해 오고 있다. 예를 들면, 특허문헌 3에 있어서의 조명 시스템에서는, 조사원의 위치나 각도를 최적화하도록 제어된다. 이와 같은, 복잡한 조명 시스템에 있어서, 비교적 단파장의 ArF 액시머 레이저의 노광광으로 전사용 마스크에 대해 노광을 행하는 경우, 그 전사용 마스크의 투광성 기판 내에서 다중 반사에 의한 미광(迷光)이 생기기 쉽게 되어 있다. 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 노광 전사를 행할 때에 이 미광이 전사용 마스크의 투광성 기판에 있어서의 패턴 형성 영역의 바깥에 설치된 바코드나 열라이먼트 마크에 도달하면, 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 비치는 현상이 일어난다. 이 현상이 일어나면 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 CD 불균일이 발생한다. 투광성 기판 상의 박막에 형성되는 바코드나 열라이먼트 마크는, 전사용 마스크의 식별이나 위치 맞춤을 위해 필요 불가결한 것이기 때문에, 이들을 제거하는 것은 현실적이지 않다. 또, 일반적으로, 노광 전사를 행할 때에 사용되는 조명 시스템에, 전사용 마스크의 노광 영역의 외측에 노광광이 조사되는 것을 차단하기 위한 셜터 기구가 설치되어 있다. 그러나, 상술한 조사원의 위치나 각도의 최적화에 의한 노광광의 사입사(斜入射) 성분의 증대에 의해, 전사용 마스크의 노광 영역 내에 조사된 노광광이 투광성 기판 내에서 노광 영역의 외측의 영역으로 다중 반사하여 발생하는 미광을 억제하는 것은 곤란하다. 이와 같은 사정으로

부터, 종래에 있어서는 허용되고 있던 이면 반사율이 약 30% 정도의 마스크 블랭크에서는, 전사 패턴의 한층 더한 미세화의 요구를 만족시키는 것이 곤란하게 되어 오고 있다.

[0009] 그래서, 본 발명은, 종래의 과제를 해결하기 위해 이루어진 것이고, 투광성 기판 상에 위상 시프트막을 구비한 마스크 블랭크에 있어서, ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대해 소정의 투과율로 투과하는 기능과 그 투과하는 ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대해 소정의 위상차를 발생시키는 기능을 겸비하는 위상 시프트막이며, 또한 이면 반사율이 저감된 위상 시프트막을 구비하는 마스크 블랭크를 제공하는 것을 목적으로 하고 있다. 또, 이 마스크 블랭크를 이용하여 제조되는 위상 시프트 마스크를 제공하는 것을 목적으로 하고 있다. 그리고, 본 발명은, 이와 같은 위상 시프트 마스크를 이용한 반도체 디바이스의 제조 방법을 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기의 과제를 달성하기 위해, 본 발명은 이하의 구성을 갖는다.

[0011] (구성 1)

투광성 기판 상에, 위상 시프트막을 구비한 마스크 블랭크로서,

[0013] 상기 위상 시프트막은, 상기 투광성 기판측부터 제 1 층 및 제 2 층의 순으로 적층한 구조를 포함하고,

[0014] 상기 제 1 층은, 상기 투광성 기판의 표면에 접하여 설치되며,

[0015] 상기 제 1 층 및 상기 제 2 층의 ArF 엑시머 레이저의 노광광의 파장에 있어서의 굴절률을 각각 n_1 , n_2 로 했을 때, $n_1 < n_2$ 의 관계를 만족시키고,

[0016] 상기 제 1 층 및 상기 제 2 층의 상기 노광광의 파장에 있어서의 소쇠 계수를 각각 k_1 , k_2 로 했을 때, $k_1 < k_2$ 의 관계를 만족시키며,

[0017] 상기 제 1 층 및 상기 제 2 층의 막 두께를 각각 d_1 , d_2 로 했을 때, $d_1 < d_2$ 의 관계를 만족시키는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

[0018] (구성 2)

[0019] 상기 제 1 층의 굴절률 n_1 은 1.8 이상이며, 상기 제 1 층의 소쇠 계수 k_1 은 0.15 이하인 것을 특징으로 하는 구성 1 기재의 마스크 블랭크.

[0020] (구성 3)

[0021] 상기 제 2 층의 굴절률 n_2 는 2.2 이상이며, 상기 제 2 층의 소쇠 계수 k_2 는 0.2 이상인 것을 특징으로 하는 구성 1 또는 2 기재의 마스크 블랭크.

[0022] (구성 4)

[0023] 상기 투광성 기판의 상기 노광광의 파장에 있어서의 굴절률을 n_s 로 했을 때, $n_s < n_1 < n_2$ 의 관계를 만족시키고,

[0024] 상기 투광성 기판의 상기 노광광의 파장에 있어서의 소쇠 계수를 k_s 로 했을 때, $k_s < k_1 < k_2$ 의 관계를 만족시키는 것을 특징으로 하는 구성 1 내지 3 중 어느 것에 기재한 마스크 블랭크.

[0025] (구성 5)

[0026] 상기 투광성 기판의 굴절률 n_s 는 1.6 이하이며, 상기 투광성 기판의 소쇠 계수 k_s 는 0.01 이하인 것을 특징으로 하는 구성 4 기재의 마스크 블랭크.

[0027] (구성 6)

[0028] 상기 위상 시프트막은, 상기 노광광을 15% 이상의 투과율로 투과시키는 기능과, 상기 위상 시프트막을 투과한 상기 노광광에 대해 상기 위상 시프트막의 두께와 동일한 거리만큼 공기 중을 통과한 상기 노광광과의 사이에서 150도 이상 200도 이하의 위상차를 발생시키는 기능을 갖는 것을 특징으로 하는 구성 1 내지 5 중 어느 것에 기재한 마스크 블랭크.

[0029] (구성 7)

[0030] 상기 제 1 층은, 규소와 질소와 산소로 이루어지는 재료, 또는 반(半)금속 원소 및 비(非)금속 원소로부터 선택되는 1 이상의 원소와 규소와 질소와 산소로 이루어지는 재료로 형성되고,

[0031] 상기 제 2 층은, 규소와 질소로 이루어지는 재료, 또는 반금속 원소 및 비금속 원소로부터 선택되는 1 이상의 원소와 규소와 질소로 이루어지는 재료로 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 구성 1 내지 6 중 어느 것에 기재한 마스크 블랭크.

[0032] (구성 8)

[0033] 상기 제 2 층의 질소의 함유량은, 상기 제 1 층의 질소의 함유량보다도 많은 것을 특징으로 하는 구성 7 기재의 마스크 블랭크.

[0034] (구성 9)

[0035] 상기 위상 시프트막은, 상기 제 2 층의 위에 제 3 층을 구비하고,

[0036] 상기 제 3 층의 상기 노광광의 파장에 있어서의 굴절률을 n_3 로 했을 때, $n_3 < n_1 < n_2$ 의 관계를 만족시키며,

[0037] 상기 제 3 층의 상기 노광광의 파장에 있어서의 소쇠 계수를 k_3 로 했을 때, $k_1 < k_2 < k_3$ 의 관계를 만족시키는 것을 특징으로 하는 구성 1 내지 8 중 어느 것에 기재한 마스크 블랭크.

[0038] (구성 10)

[0039] 상기 제 3 층의 막 두께를 d_3 로 했을 때, $d_3 < d_1 < d_2$ 의 관계를 만족시키는 것을 특징으로 하는 구성 9 기재의 마스크 블랭크.

[0040] (구성 11)

[0041] 상기 제 3 층의 굴절률 n_3 는 1.8 미만이며, 상기 제 3 층의 소쇠 계수 k_3 는 1.0 이상인 것을 특징으로 하는 구성 9 또는 10 기재의 마스크 블랭크.

[0042] (구성 12)

[0043] 상기 제 3 층은, 규소와 질소로 이루어지는 재료, 또는 반금속 원소 및 비금속 원소로부터 선택되는 1 이상의 원소와 규소와 질소로 이루어지는 재료로 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 구성 9 내지 11 중 어느 것에 기재한 마스크 블랭크.

[0044] (구성 13)

[0045] 상기 위상 시프트막은, 상기 제 3 층의 위에 제 4 층을 구비하고,

[0046] 상기 제 4 층의 상기 노광광의 파장에 있어서의 굴절률을 n_4 로 했을 때, $n_4 < n_1 < n_2$ 의 관계를 만족시키며,

[0047] 상기 제 4 층의 상기 노광광의 파장에 있어서의 소쇠 계수를 k_4 로 했을 때, $k_4 < k_1 < k_2$ 의 관계를 만족시키는 것을 특징으로 하는 구성 9 내지 12 중 어느 것에 기재한 마스크 블랭크.

[0048] (구성 14)

[0049] 상기 제 4 층의 굴절률 n_4 는 1.7 이하이며, 상기 제 4 층의 소쇠 계수 k_4 는 0.02 이하인 것을 특징으로 하는 구성 13 기재의 마스크 블랭크.

[0050] (구성 15)

[0051] 상기 제 4 층은, 규소와 산소로 이루어지는 재료, 또는 반금속 원소 및 비금속 원소로부터 선택되는 1 이상의 원소와 규소와 산소로 이루어지는 재료로 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 구성 13 또는 14 기재의 마스크 블랭크.

[0052] (구성 16)

[0053] 상기 위상 시프트막은, 상기 제 2 층의 위에 제 3A 층을 구비하고,

- [0054] 상기 제 3A 층의 상기 노광광의 파장에 있어서의 굴절률을 n_{3A} 로 했을 때, $n_{3A} < n_1 < n_2$ 의 관계를 만족시키고,
- [0055] 상기 제 3A 층의 상기 노광광의 파장에 있어서의 소쇠 계수를 k_{3A} 로 했을 때, $k_{3A} < k_1 < k_2$ 의 관계를 만족시키는 것을 특징으로 하는 구성 1 내지 8 중 어느 것에 기재한 마스크 블랭크.
- [0056] (구성 17)
- [0057] 상기 제 3A 층의 굴절률 n_{3A} 는 1.7 이하이며, 상기 제 3A 층의 소쇠 계수 k_{3A} 는 0.02 이하인 것을 특징으로 하는 구성 16 기재의 마스크 블랭크.
- [0058] (구성 18)
- [0059] 상기 제 3A 층은, 규소와 산소로 이루어지는 재료, 또는 반금속 원소 및 비금속 원소로부터 선택되는 1 이상의 원소와 규소와 산소로 이루어지는 재료로 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 구성 16 또는 17 기재의 마스크 블랭크.
- [0060] (구성 19)
- [0061] 구성 1 내지 18 중 어느 것에 기재한 마스크 블랭크의 상기 위상 시프트막에 전사 패턴이 설치되어 있는 것을 특징으로 하는 위상 시프트 마스크.
- [0062] (구성 20)
- [0063] 구성 19 기재의 위상 시프트 마스크를 이용하여, 반도체 기판 상의 레지스트막에 전사 패턴을 노광 전사하는 공정을 구비하는 것을 특징으로 하는 반도체 디바이스의 제조 방법.

발명의 효과

- [0064] 본 발명에 의하면, 투광성 기판 상에 위상 시프트막을 구비하고 있고, 그 위상 시프트막은, ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대해 소정의 투과율로 투과하는 기능과 그 투과하는 ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대해 소정의 위상차를 발생시키는 기능을 겸비하면서, 이면 반사율이 저감된 위상 시프트막을 구비하는 마스크 블랭크를 제공 할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0065] 도 1은 본 발명의 제 1 실시형태에 있어서의 마스크 블랭크의 구성을 나타내는 단면도이다.
 도 2는 본 발명의 제 2 실시형태에 있어서의 마스크 블랭크의 구성을 나타내는 단면도이다.
 도 3은 본 발명의 제 3 실시형태에 있어서의 마스크 블랭크의 구성을 나타내는 단면도이다.
 도 4는 본 발명의 제 4 실시형태에 있어서의 마스크 블랭크의 구성을 나타내는 단면도이다.
 도 5는 본 발명의 제 1 내지 제 4 실시형태에 있어서의 위상 시프트 마스크의 제조 공정을 나타내는 단면 모식 도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0066] 이하, 본 발명의 실시형태에 대하여 설명한다. 본 발명자들은, 위상 시프트막에 있어서, ArF 엑시머 레이저의 노광광(이후, 단지 노광광이라고 하는 경우도 있다.)을 소정의 투과율로 투과하는 기능과 소정의 위상차를 발생시키는 기능을 겸비하면서, 이면 반사율을 더욱 저감하는 수단에 대하여, 예의 연구를 행하였다.
- [0067] 전사용 마스크에 대한 노광 시에 발생하는 미광은, 위상 시프트 마스크의 투광성 기판의 이측(裏側)(위상 시프트막이 설치되어 있지 않은 측)의 표면(이면)으로부터 입사한 노광광의 일부가, 투광성 기판과 위상 시프트막의 계면에서 반사되고, 또한 투광성 기판의 이면과 공기의 계면에서 재차 반사되어, 투광성 기판의 표측(表側)의 표면의 위상 시프트막이 없는 영역으로부터 출사한 광에 기인하는 것으로 생각된다. 이 미광에 의해 발생하는, 바코드나 열라이먼트 마크의 비침을 억제하려면, 투광성 기판에 조사되는 노광광의 광 강도에 대한 미광의 광 강도를 0.2% 이하로 하는 것이 요망된다. 위상 시프트 마스크에 있어서, 전사 패턴이 형성되는 영역의 외주(外周)의 영역에 설치되는 차광대(위상 시프트막과 차광막의 적층 구조)는, 투과율이 0.2% 이하인 것이 바람직하다고 여겨지고 있다. 이 투과율이면, 노광광이 투과해도 반도체 디바이스 상의 레지스트막의 CD 불균일에 주

는 영향은 실질적으로 없다고 여겨지고 있다.

[0068] 위상 시프트 마스크에 대해 ArF 엑시머 레이저의 노광광으로 노광을 행할 경우, 공기 중으로부터 투광성 기판의 이면에 노광광이 입사할 때에, 투광성 기판의 이면에서 반사하는 광이 입사광의 5% 정도 발생한다(즉, 투광성 기판의 내부로 입사하는 노광광의 광 강도는 5% 정도 감소한다.). 또한, 투광성 기판과 위상 시프트막의 계면에서 반사된 일부의 노광광이, 투광성 기판의 이면과 공기의 계면에서 반사될 때에, 일부의 광은 반사되지 않고, 이면으로부터 출사한다. 이러한 점을 검토한 결과, 투광성 기판 상에 위상 시프트막만이 존재하는 상태에 있어서, 노광광에 대한 투광성 기판측(이면측)의 반사율(이면 반사율)이 9% 이하이면, 미광의 광 강도를 0.2% 이하로 할 수 있고, 바코드나 얼라이먼트 마크의 비침을 억제할 수 있다는 생각에 이르렀다.

[0069] 또한, 위상 시프트막의 이면 반사율을 실제로 측정하는 경우, 투광성 기판의 위상 시프트막이 설치되어 있는 측과는 반대측의 표면(이면)에 측정광을 조사하여 반사광의 광 강도를 측정하고, 그 반사광의 광 강도로부터 이면 반사율을 구하고 있다. 그 측정된 반사광의 광 강도는, 공기와 투광성 기판의 계면에서 반사된 광과, 그곳에서 반사되지 않고 투광성 기판으로 입사한 측정광이 투광성 기판과 위상 시프트막의 계면에서 반사되고, 또한 투광성 기판의 이면과 공기의 계면에서 재반사되지 않고 공기 중으로 출사한 광(그 계면으로 입사한 광의 4% 보다 조금 적은(弱) 광)을 적어도 포함한 광의 광 강도가 된다. 즉, 상기의 이면 반사율이 9% 이하란, 투광성 기판과 위상 시프트막의 계면에서 반사된 광 이외의 반사광도 포함한 광으로 구해지는 이면 반사율이다.

[0070] 그리고, 본 발명자는, ArF 엑시머 레이저의 노광광을 소정의 투과율로 투과하는 기능과 소정의 위상차를 발생시키는 기능을 겸비하면서, 9% 이하의 이면 반사율을 실현하기 위한, 위상 시프트막을 구비한 마스크 블랭크의 구성을 검토했다.

[0071] 종래의 위상 시프트막을 형성하는 재료는, 굴절률 n 이 가능한 한 크고, 또한 소쇠 계수 k 가 너무 크지 않고 너무 작지 않은 범위 내에 있는 것이 바람직하다고 여겨지고 있다. 종래의 위상 시프트막은, 주로 위상 시프트막의 내부에서 ArF 엑시머 레이저의 노광광을 흡수함으로써 소정의 투과율로 ArF 엑시머 레이저의 노광광을 투과시키면서, 그 투과하는 ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대해 소정의 위상차를 발생시키는 설계 사상으로 되어 있기 때문이다. 단층 구조의 위상 시프트막에서는, 위상 시프트막에 요구되는 기능(위상 시프트막 내를 투과하는 ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대해 소정의 투과율과 위상차를 발생시키는 기능)을 가지면서, 9% 이하의 이면 반사율을 실현하는 것이 어렵다. 그래서, 본 발명자는, 위상 시프트막을 복수의 층으로 구성하고, 이를 층 전체에 있어서, ArF 엑시머 레이저의 노광광을 소정의 투과율로 투과하는 기능과 소정의 위상차를 발생시키는 기능을 겸비하면서, 9% 이하의 이면 반사율을 실현하는 것을 검토했다. ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대한 위상 시프트막의 이면 반사율을 저감하려면, 투광성 기판과 위상 시프트막의 계면에서의 반사광과, 위상 시프트막을 구성하는 층간의 계면에서의 반사광과의 간섭 효과도 이용하는 것이 필요하다.

[0072] 이러한 점을 고려한 결과, 위상 시프트막을, 투광성 기판측부터 제 1 층 및 제 2 층의 순으로 적층한 구조로 하고, 제 1 층을 투광성 기판의 표면에 접하여 설치되도록 하며, ArF 엑시머 레이저의 노광광의 파장에 있어서의 제 1 층, 제 2 층의 굴절률 n_1 , n_2 , 소쇠 계수 k_1 , k_2 및 막 두께 d_1 , d_2 를 각각 조정함으로써, ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대한 소정의 투과율과 소정의 위상차를 겸비하면서, 9% 이하의 이면 반사율이 되는 위상 시프트막을 형성할 수 있는 것을 발견했다. 본 발명은, 이상과 같은 예의 검토에 의해 이루어진 것이다. 또한, 이후의 설명에 있어서, 특별히 언급이 없는 한, 굴절률, 소쇠 계수, 투과율, 위상차의 값은, ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대한 값이다.

[0073] 도 1은, 본 발명의 제 1 실시형태에 관한 마스크 블랭크(100)의 구성을 나타내는 단면도이다. 도 1에 나타내는 본 발명의 마스크 블랭크(100)는, 투광성 기판(1) 상에, 위상 시프트막(2), 차광막(3) 및 하드 마스크막(4)이 이 순으로 적층된 구조를 갖는다.

[0074] 투광성 기판(1)은, 합성 석영 유리 외에, 석영 유리, 알루미노실리케이트 유리, 소다 라임 유리, 저열팽창 유리($\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ 유리 등) 등으로 형성할 수 있다. 이를 중에서도, 합성 석영 유리는, ArF 엑시머 레이저광에 대한 투과율이 높아, 마스크 블랭크의 투광성 기판(1)을 형성하는 재료로서 특히 바람직하다.

[0075] 투광성 기판(1)의 굴절률 n_s 는, 1.6 이하인 것이 바람직하고, 1.59 이하이면 보다 바람직하며, 1.58 이하이면 더욱 바람직하다. 한편, 투광성 기판(1)의 굴절률 n_s 는, 1.5 이상인 것이 바람직하고, 1.52 이상이면 보다 바람직하며, 1.54 이상이면 더욱 바람직하다. 또, 투광성 기판(1)의 소쇠 계수 k_s 는, 0.01 이하인 것이 바람직하다. 또한, 투광성 기판(1)의 소쇠 계수 k_3 의 하한치는 0.00이다.

- [0076] 위상 시프트막(2)은, 위상 시프트막(2)의 내부를 투과한 노광광과 공기 중을 투과한 노광광의 사이에서 충분한 위상 시프트 효과를 발생시키려면, 노광광에 대한 투과율이 15% 이상이면 바람직하고, 16% 이상이면 보다 바람직하다. 한편, 위상 시프트막(2)의 노광광에 대한 투과율은, 40% 이하이면 바람직하고, 36% 이하이면 보다 바람직하다.
- [0077] 위상 시프트막(2)은, 적절한 위상 시프트 효과를 얻기 위해, 투과하는 ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대해, 이 위상 시프트막(2)의 두께와 동일한 거리만큼 공기 중을 통과한 광파의 사이에서 발생하는 위상차가 150도 이상 200도 이하의 범위가 되도록 조정되어 있는 것이 바람직하다. 위상 시프트막(2)에 있어서의 상기 위상차의 하한치는, 155도 이상인 것이 바람직하고, 160도 이상이면 보다 바람직하다. 한편, 위상 시프트막(2)에 있어서의 상기 위상차의 상한치는, 190도 이하인 것이 바람직하다.
- [0078] 위상 시프트막(2)은, 투광성 기판(1) 상에 위상 시프트막(2)만이 존재하는 상태에 있어서, ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대한 이면 반사율이 9% 이하인 것이 바람직하다.
- [0079] 위상 시프트막(2)은, 투광성 기판(1)측부터, 제 1 층(21), 제 2 층(22)이 적층된 구조를 갖는다. 위상 시프트막(2)의 전체에서, 상기의 투과율, 위상차, 이면 반사율의 각 조건을 적어도 만족시킬 필요가 있다. 위상 시프트막(2)이 상기의 각 조건을 만족시키려면, 제 1 층(21)의 굴절률 n_1 과 제 2 층(22)의 굴절률 n_2 가 $n_1 < n_2$ 의 관계를 만족시키고, 제 1 층(21)의 소쇠 계수 k_1 과 제 2 층(22)의 소쇠 계수 k_2 가 $k_1 < k_2$ 의 관계를 만족시킬 필요가 있는 것을 본 발명자는 발견했다.
- [0080] 게다가, 제 1 층(21)의 굴절률 n_1 은, 1.8 이상이면 바람직하고, 1.85 이상이면 보다 바람직하다. 또, 제 1 층(21)의 굴절률 n_1 은, 2.2 미만이면 바람직하고, 2.15 이하이면 보다 바람직하다. 제 1 층(21)의 소쇠 계수 k_1 은, 0.15 이하인 것이 바람직하고, 0.14 이하이면 보다 바람직하다. 또, 제 1 층(21)의 소쇠 계수 k_1 은, 0.05 이상이면 바람직하고, 0.06 이상이면 보다 바람직하다. 또한, 제 1 층(21)의 굴절률 n_1 및 소쇠 계수 k_1 은, 제 1 층(21)의 전체를 광학적으로 균일한 하나의 층으로 간주하여 도출된 수치이다.
- [0081] 또한, 투광성 기판(1)의 굴절률 n_s , 제 1 층(21)의 굴절률 n_1 , 제 2 층(22)의 굴절률 n_2 가 $n_s < n_1 < n_2$ 의 관계를 만족시키고, 투광성 기판(1)의 소쇠 계수 k_s , 제 1 층(21)의 소쇠 계수 k_1 , 제 2 층(22)의 소쇠 계수 k_2 가 $k_s < k_1 < k_2$ 의 관계를 만족시키는 것이 바람직하다.
- [0082] 위상 시프트막(2)이 상기의 각 조건을 만족시키려면, 제 2 층(22)의 굴절률 n_2 는, 2.2 이상인 것이 바람직하고, 2.25 이상이면 보다 바람직하다. 또, 제 2 층(22)의 굴절률 n_2 는, 3.0 이하이면 바람직하고, 2.8 이하이면 보다 바람직하다. 또, 제 2 층(22)의 소쇠 계수 k_2 는, 0.2 이상인 것이 바람직하고, 0.25 이상이면 보다 바람직하다. 또, 제 2 층(22)의 소쇠 계수 k_2 는, 0.5 이하이면 바람직하고, 0.4 이하이면 보다 바람직하다. 또한, 제 2 층(22)의 굴절률 n_2 및 소쇠 계수 k_2 는, 제 2 층(22)의 전체를 광학적으로 균일한 하나의 층으로 간주하여 도출된 수치이다.
- [0083] 위상 시프트막(2)을 포함하는 박막의 굴절률 n 과 소쇠 계수 k 는, 그 박막의 조성만으로 정해지는 것은 아니다. 그 박막의 막 밀도나 결정 상태 등도 굴절률 n 이나 소쇠 계수 k 를 좌우하는 요소이다. 이 때문에, 반응성 스퍼터링으로 박막을 성막할 때의 제(諸)조건을 조정하여, 그 박막이 원하는 굴절률 n 및 소쇠 계수 k 가 되도록 성막한다. 제 1 층(21), 제 2 층(22)을, 상기의 굴절률 n 과 소쇠 계수 k 의 범위로 하려면, 반응성 스퍼터링으로 성막할 때에, 귀(貴)가스와 반응성 가스(산소 가스, 질소 가스 등)의 혼합 가스의 비율을 조정하는 것만으로 한정되지 않는다. 반응성 스퍼터링으로 성막할 때에 있어서의 성막실 내의 압력, 스퍼터링 타겟에 인가(印加)하는 전력, 타겟과 투광성 기판(1)과의 사이의 거리 등의 위치 관계 등 다방면에 걸친다. 이러한 성막 조건은 성막 장치에 고유한 것이며, 형성되는 제 1 층(21), 제 2 층(22)이 원하는 굴절률 n 및 소쇠 계수 k 가 되도록 적절히 조정되는 것이다.
- [0084] 또한, 위상 시프트막(2)이 상기의 각 조건을 만족시키려면, 상기의 제 1 층(21), 제 2 층(22)의 광학 특성에 더하여, 제 1 층(21)의 막 두께 d_1 과 제 2 층(22)의 막 두께 d_2 가, $d_1 < d_2$ 의 관계를 만족시키는 것이 적어도 필요하다.
- [0085] 제 1 층(21)의 막 두께 d_1 은, 33nm 미만이면 바람직하고, 32nm 이하이면 보다 바람직하다. 또, 제 1 층(21)의

막 두께 d_1 은, 10nm보다 큰 것이 바람직하고, 15nm 이상이면 보다 바람직하다.

[0086] 제 2 층(22)의 막 두께 d_2 는, 33nm 이상이면 바람직하고, 34nm 이상이면 보다 바람직하다. 또, 제 2 층(22)의 막 두께 d_2 는, 50nm 이하인 것이 바람직하고, 48nm 이하이면 보다 바람직하다.

[0087] 제 1 층(21)은, 규소와 질소와 산소로 이루어지는 재료, 또는 반금속 원소 및 비금속 원소로부터 선택되는 1 이상의 원소와 규소와 질소와 산소로 이루어지는 재료로 형성되는 것이 바람직하다. 또, 제 2 층(22)은, 규소와 질소로 이루어지는 재료, 또는 반금속 원소 및 비금속 원소로부터 선택되는 1 이상의 원소와 규소와 질소로 이루어지는 재료로 형성되는 것이 바람직하다. 이 반금속 원소 중에서도, 봉소, 게르마늄, 안티몬 및 텔루륨으로부터 선택되는 1 이상의 원소를 함유시키면, 스퍼터링 타겟으로서 이용하는 규소의 도전성을 높이는 것을 기대할 수 있기 때문에, 바람직하다. 또, 이 비금속 원소 중에서도, 질소, 탄소, 불소 및 수소로부터 선택되는 1 이상의 원소를 함유시키면 바람직하다. 이 비금속 원소에는, 헬륨(He), 아르곤(Ar), 크립톤(Kr) 및 크세논(Xe) 등의 귀가스도 포함된다.

[0088] 제 2 층(22)의 질소의 함유량은, 제 1 층(21)의 질소의 함유량보다도 많은 것이 바람직하다. 제 1 층(21)의 질소의 함유량은, 40 원자% 이하인 것이 바람직하고, 30 원자% 이하인 것이 보다 바람직하다. 또, 제 1 층(21)의 질소의 함유량은, 10 원자% 이상인 것이 바람직하고, 15 원자% 이상인 것이 보다 바람직하다. 한편, 제 2 층(22)의 질소의 함유량은, 45 원자% 이상인 것이 바람직하고, 50 원자% 이상인 것이 보다 바람직하며, 55 원자% 이상인 것이 더욱 바람직하다. 제 2 층(22)은, 굴절률이 높은 재료로 형성되는 것이 바람직하지만, 질소 함유량을 많게 함으로써 굴절률을 높일 수 있기 때문이다.

[0089] 제 1 층(21)의 산소의 함유량은, 제 2 층(22)의 산소의 함유량보다도 많은 것이 바람직하다. 제 1 층(21)의 산소의 함유량은, 10 원자% 이상인 것이 바람직하고, 15 원자% 이상인 것이 보다 바람직하다. 또, 제 1 층(21)의 산소의 함유량은, 45 원자% 이하인 것이 바람직하고, 40 원자% 이하인 것이 보다 바람직하다. 한편, 제 2 층(22)의 산소의 함유량은, 5 원자% 이하인 것이 바람직하고, 2 원자% 이하인 것이 보다 바람직하다. 제 2 층(22)은, 산소를 함유하지 않는 것이 더욱 바람직하다. 제 2 층(22)의 산소의 함유량이 들어남에 따라 제 2 층(22)의 굴절률이 저하되기 때문이다.

[0090] 제 1 층(21)은, 투광성 기판(1)의 표면에 접하여 설치된다. 제 1 층(21)이 투광성 기판(1)의 표면과 접한 구성으로 하는 편이, 상기의 위상 시프트막(2)의 제 1 층(21), 제 2 층의 적층 구조에 의해 발생하는 이면 반사율을 저감하는 효과가 보다 얻어지기 때문이다.

[0091] 위상 시프트막(2)에 있어서의 제 1 층(21), 제 2 층(22)은, 스퍼터링에 의해 형성되지만, DC 스퍼터링, RF 스퍼터링 및 이온 범 스퍼터링 등 중 어느 스퍼터링도 적용 가능하다. 성막 레이트를 고려하면, DC 스퍼터링을 적용하는 것이 바람직하다. 도전성이 낮은 타겟을 이용하는 경우에 있어서는, RF 스퍼터링이나 이온 범 스퍼터링을 적용하는 것이 바람직하지만, 성막 레이트를 고려하면, RF 스퍼터링을 적용하면 보다 바람직하다.

[0092] 마스크 블랭크(100)는, 위상 시프트막(2) 상에 차광막(3)을 구비한다. 일반적으로, 바이너리 마스크에서는, 전사 패턴이 형성되는 영역(전사 패턴 형성 영역)의 외주 영역은, 노광 장치를 이용하여 반도체 웨이퍼 상의 레지스트막에 노광 전사했을 때에 외주 영역을 투과한 노광광에 의한 영향을 레지스트막이 받지 않도록, 소정 값 이상의 광학 농도(OD)를 확보하는 것이 요구되고 있다. 이 점에 대해서는, 위상 시프트 마스크의 경우도 동일하다. 통상, 위상 시프트 마스크를 포함하는 전사용 마스크의 외주 영역에서는, OD가 2.7 이상이면 바람직하다. 위상 시프트막(2)은 소정의 투과율로 노광광을 투과하는 기능을 갖고 있어, 위상 시프트막(2)만으로는 소정 값의 광학 농도를 확보하는 것은 곤란하다. 이 때문에, 마스크 블랭크(100)를 제조하는 단계에서 위상 시프트막(2)의 위에, 부족한 광학 농도를 확보하기 위해 차광막(3)을 적층해 두는 것이 필요로 된다. 이와 같은 마스크 블랭크(100)의 구성으로 함으로써, 위상 시프트 마스크(200)(도 5 참조)를 제조하는 도중에, 위상 시프트 효과를 사용하는 영역(기본적으로 전사 패턴 형성 영역)의 차광막(3)을 제거하면, 외주 영역에 소정 값의 광학 농도가 확보된 위상 시프트 마스크(200)를 제조할 수 있다.

[0093] 차광막(3)은, 단층 구조 및 2층 이상의 적층 구조 중 어느 것도 적용 가능하다. 또, 단층 구조의 차광막(3) 및 2층 이상의 적층 구조의 차광막(3)의 각 층은, 막 또는 층의 두께 방향에서 거의 동일한 조성인 구성이어도, 층의 두께 방향에서 조성 경사진 구성이어도 된다.

[0094] 도 1에 기재한 형태에 있어서의 마스크 블랭크(100)는, 위상 시프트막(2)의 위에, 다른 막을 개재하지 않고 차광막(3)을 적층한 구성으로 하고 있다. 이 구성의 경우의 차광막(3)은, 위상 시프트막(2)에 패턴을 형성할 때

에 이용되는 에칭 가스에 대해 충분한 에칭 선택성을 갖는 재료를 적용할 필요가 있다. 이 경우의 차광막(3)은, 크롬을 함유하는 재료로 형성하는 것이 바람직하다. 차광막(3)을 형성하는 크롬을 함유하는 재료로는, 크롬 금속 외에, 크롬에 산소, 질소, 탄소, 붕소 및 불소로부터 선택되는 하나 이상의 원소를 함유하는 재료를 들 수 있다.

[0095] 일반적으로, 크롬계 재료는, 염소계 가스와 산소 가스의 혼합 가스로 에칭되지만, 크롬 금속은 이 에칭 가스에 대한 에칭 레이트가 그다지 높지 않다. 염소계 가스와 산소 가스의 혼합 가스의 에칭 가스에 대한 에칭 레이트를 높이는 점을 고려하면, 차광막(3)을 형성하는 재료로는, 크롬에 산소, 질소, 탄소, 붕소 및 불소로부터 선택되는 하나 이상의 원소를 함유하는 재료가 바람직하다. 또, 차광막(3)을 형성하는 크롬을 함유하는 재료에 몰리브덴, 인듐 및 주석 중 하나 이상의 원소를 함유시켜도 된다. 몰리브덴, 인듐 및 주석 중 하나 이상의 원소를 함유시킴으로써, 염소계 가스와 산소 가스의 혼합 가스에 대한 에칭 레이트를 보다 빠르게 할 수 있다.

[0096] 또, 제 2 층(22)을 형성하는 재료와의 사이에서 드라이 에칭에 대한 에칭 선택성이 얻어지는 것이면, 차광막(3)을 전이 금속과 규소를 함유하는 재료로 형성해도 된다. 전이 금속과 규소를 함유하는 재료는 차광 성능이 높아, 차광막(3)의 두께를 얇게 하는 것이 가능해지기 때문이다. 차광막(3)에 함유시키는 전이 금속으로는, 몰리브덴(Mo), 탄탈(Ta), 텅스텐(W), 티탄(Ti), 크롬(Cr), 하프늄(Hf), 니켈(Ni), 바나듐(V), 지르코늄(Zr), 루테늄(Ru), 로듐(Rh), 아연(Zn), 니오브(Nb), 팔라듐(Pd) 등 중 어느 하나의 금속 또는 이들 금속의 합금을 들 수 있다. 차광막(3)에 함유시키는 전이 금속 원소 이외의 금속 원소로는, 알루미늄(Al), 인듐(In), 주석(Sn) 및 갈륨(Ga) 등을 들 수 있다.

[0097] 한편, 다른 실시형태의 마스크 블랭크(100)로서, 위상 시프트막(2)측부터 크롬을 함유하는 재료로 이루어지는 층과 전이 금속과 규소를 함유하는 재료로 이루어지는 층이 이 순으로 적층된 구조의 차광막(3)을 구비해도 된다. 이 경우에 있어서의 크롬을 함유하는 재료 및 전이 금속과 규소를 함유하는 재료의 구체적인 사항에 대해서는, 상기의 차광막(3)의 경우와 마찬가지이다.

[0098] 마스크 블랭크(100)는, 위상 시프트막(2)과 차광막(3)이 적층된 상태에 있어서, ArF 액시머 레이저의 노광광에 대한 이면 반사율이 9% 이하인 것이 바람직하다.

[0099] 마스크 블랭크(100)에 있어서, 차광막(3)을 에칭할 때에 이용되는 에칭 가스에 대해 에칭 선택성을 갖는 재료로 형성된 하드 마스크막(4)을 차광막(3)의 위에 추가로 적층시킨 구조으로 하면 바람직하다. 하드 마스크막(4)은, 기본적으로 광학 농도의 제한을 받지 않기 때문에, 하드 마스크막(4)의 두께는 차광막(3)의 두께에 비하여 대폭 얇게 할 수 있다. 그리고, 유기계 재료의 레지스트막은, 이 하드 마스크막(4)에 패턴을 형성하는 드라이 에칭이 끝날 때까지의 동안, 에칭 마스크로서 기능할 만큼의 막의 두께가 있으면 충분하므로, 종래 보다도 대폭 두께를 얇게 할 수 있다. 레지스트막의 박막화는, 레지스트 해상도의 향상과 패턴 무너짐 방지에 효과가 있어, 미세화 요구에 대응해 가는 데 있어서 지극히 중요하다.

[0100] 이 하드 마스크막(4)은, 차광막(3)이 크롬을 함유하는 재료로 형성되어 있는 경우는, 규소를 함유하는 재료로 형성되는 것이 바람직하다. 또한, 이 경우의 하드 마스크막(4)은, 유기계 재료의 레지스트막과의 밀착성이 낮은 경향이 있기 때문에, 하드 마스크막(4)의 표면을 HMDS(Hexamethyldisilazane) 처리를 실시하여, 표면의 밀착성을 향상시키는 것이 바람직하다. 또한, 이 경우의 하드 마스크막(4)은, SiO₂, SiN, SiON 등으로 형성되면 보다 바람직하다.

[0101] 또, 차광막(3)이 크롬을 함유하는 재료로 형성되어 있는 경우에 있어서의 하드 마스크막(4)의 재료로서, 상기 외에, 탄탈을 함유하는 재료도 적용 가능하다. 이 경우에 있어서의 탄탈을 함유하는 재료로는, 탄탈 금속 외에, 탄탈에 질소, 산소, 붕소 및 탄소로부터 선택되는 하나 이상의 원소를 함유시킨 재료 등을 들 수 있다. 예를 들면, Ta, TaN, TaO, TaON, TaBN, TaBO, TaBON, TaCN, TaCO, TaCON, TaBCN, TaBOCN 등을 들 수 있다. 또, 하드 마스크막(4)은, 차광막(3)이 규소를 함유하는 재료로 형성되어 있는 경우, 상기의 크롬을 함유하는 재료로 형성되는 것이 바람직하다.

[0102] 마스크 블랭크(100)에 있어서, 하드 마스크막(4)의 표면에 접하여, 유기계 재료의 레지스트막이 100nm 이하의 막 두께로 형성되어 있는 것이 바람직하다. DRAM hp32nm 세대에 대응하는 미세 패턴의 경우, 하드 마스크막(4)에 형성해야 하는 전사 패턴(위상 시프트 패턴)에, 선 폭이 40nm의 SRAF(Sub-Resolution Assist Feature)가 설치되는 경우가 있다. 그러나, 이 경우라도, 레지스트 패턴의 단면(斷面) 애스펙트비를 1:2.5로 낮출 수 있으므로, 레지스트막의 현상 시, 린스 시 등에 레지스트 패턴이 도괴(倒壞)나 탈리되는 것을 억제할 수 있다. 또한, 레지스트막은, 막 두께가 80nm 이하이면 보다 바람직하다.

- [0103] 도 2는, 본 발명의 제 2 실시형태에 관한 마스크 블랭크(110)의 구성을 나타내는 단면도이다. 본 실시형태에 있어서의 마스크 블랭크(110)에서는, 위상 시프트막(2)은, 투광성 기판(1)측부터, 제 1 층(21), 제 2 층(22), 제 3 층(23)이 적층된 구조를 갖는다. 제 1 층(21), 제 2 층(22)에 대해서는, 적합한 굴절률이나 소쇠 계수, 막 두께는, 제 1 실시형태에 있어서 서술한 바와 같으므로, 설명을 생략한다. 투광성 기판(1), 차광막(3), 하드 마스크막(4)의 구성에 관해서도, 제 1 실시형태에 있어서 서술한 바와 같다.
- [0104] 제 3 층(23)은, 그 표층 부분을 제외하고, 규소와 질소로 이루어지는 재료, 또는 반금속 원소 및 비금속 원소로부터 선택되는 1 이상의 원소와 규소와 질소로 이루어지는 재료로 형성되는 것이 바람직하다.
- [0105] 제 1 층(21)의 굴절률 n_1 , 제 2 층(22)의 굴절률 n_2 , 제 3 층(23)의 굴절률 n_3 은, $n_3 < n_1 < n_2$ 의 관계를 만족시키는 것이 바람직하다. 또, 제 1 층(21)의 소쇠 계수 k_1 , 제 2 층(22)의 소쇠 계수 k_2 , 제 3 층(23)의 소쇠 계수 k_3 은, $k_1 < k_2 < k_3$ 의 관계를 만족시키는 것이 바람직하다. 게다가, 제 3 층(23)의 굴절률 n_3 은, 1.8 미만인 것이 바람직하고, 1.75 이하이면 보다 바람직하다. 또, 제 3 층(23)의 굴절률 n_3 은, 1.0 이상인 것이 바람직하고, 1.2 이상이면 보다 바람직하다. 제 3 층(23)의 소쇠 계수 k_3 은, 1.0 이상인 것이 바람직하고, 1.2 이상이면 보다 바람직하다. 또, 제 3 층(23)의 소쇠 계수 k_3 은, 2.0 이하인 것이 바람직하고, 1.8 이하이면 보다 바람직하다.
- [0106] 제 1 층(21)의 막 두께 d_1 , 제 2 층(22)의 막 두께 d_2 , 제 3 층(23)의 막 두께 d_3 은, $d_3 < d_1 < d_2$ 의 관계를 만족시키는 것이 바람직하다. 게다가, 제 3 층(23)의 막 두께 d_3 은 10nm 이하이면 바람직하고, 9nm 이하이면 보다 바람직하다. 또, 제 3 층(23)의 막 두께 d_3 은, 2nm 이상인 것이 바람직하고, 3nm 이상이면 보다 바람직하다.
- [0107] 제 3 층(23)의 질소의 함유량은, 제 2 층(22)의 질소의 함유량보다도 적은 것이 바람직하다. 제 3 층(23)의 질소의 함유량은, 35 원자% 이하인 것이 바람직하고, 30 원자% 이하인 것이 보다 바람직하다. 또, 제 3 층(23)의 질소의 함유량은, 5 원자% 이상인 것이 바람직하고, 10 원자% 이상인 것이 보다 바람직하다. 제 3 층(23)의 산소의 함유량은, 제 1 층(21)의 산소의 함유량보다도 적은 것이 바람직하다. 제 3 층(23)의 산소의 함유량은, 10 원자% 이하인 것이 바람직하고, 5 원자% 이하인 것이 보다 바람직하다.
- [0108] 본 실시형태에 있어서의 마스크 블랭크(110)는, 상술과 같은 구성으로 함으로써, 대략 180도의 위상차를 발생시킬 수 있는 동시에, 제 1 실시형태의 마스크 블랭크(100)와 비교하여, 이면 반사율의 한층 더한 저감이 가능해진다.
- [0109] 도 3은, 본 발명의 제 3 실시형태에 관한 마스크 블랭크(120)의 구성을 나타내는 단면도이다. 본 실시형태에 있어서의 마스크 블랭크(120)에서는, 위상 시프트막(2)은, 투광성 기판(1)측부터, 제 1 층(21), 제 2 층(22), 제 3 층(23), 제 4 층(24)이 적층된 구조를 갖는다. 제 1 층(21), 제 2 층(22), 제 3 층(23)에 대해서는, 적합한 굴절률이나 소쇠 계수, 막 두께는, 제 1 및 제 2 실시형태에 있어서 서술한 바와 같으므로, 설명을 생략한다. 투광성 기판(1), 차광막(3), 하드 마스크막(4)의 구성에 관해서도, 제 1 실시형태에 있어서 서술한 바와 같다.
- [0110] 제 4 층(24)은, 규소와 산소로 이루어지는 재료, 또는 반금속 원소 및 비금속 원소로부터 선택되는 1 이상의 원소와 규소와 산소로 이루어지는 재료로 형성되어 있는 것이 바람직하다.
- [0111] 또, 제 1 층(21)의 굴절률 n_1 , 제 2 층(22)의 굴절률 n_2 , 제 3 층(23)의 굴절률 n_3 , 제 4 층(24)의 굴절률 n_4 는, $n_3 < n_1 < n_2$ 의 관계와 $n_4 < n_1 < n_2$ 의 관계를 동시에 만족시키는 것이 바람직하다. 또, 제 1 층(21)의 소쇠 계수 k_1 , 제 2 층(22)의 소쇠 계수 k_2 , 제 3 층(23)의 소쇠 계수 k_3 , 제 4 층(24)의 소쇠 계수를 k_4 는, $k_1 < k_2 < k_3$ 의 관계와 $k_4 < k_1 < k_2$ 의 관계를 동시에 만족시키는 것이 바람직하다. 게다가, 제 4 층(24)의 굴절률 n_4 는, 1.7 이하인 것이 바람직하고, 1.65 이하이면 보다 바람직하다. 또, 제 4 층(24)의 굴절률 n_4 는, 1.50 이상인 것이 바람직하고, 1.52 이상이면 보다 바람직하다. 또, 제 4 층(24)의 소쇠 계수 k_4 는, 0.02 이하인 것이 바람직하고, 0.01 이하이면 보다 바람직하다. 또, 제 4 층(24)의 소쇠 계수 k_4 는, 0.00 이상인 것이 바람직하다.
- [0112] 제 4 층(24)의 두께는 10nm 이하이면 바람직하고, 9nm 이하이면 보다 바람직하다. 또, 제 4 층(24)의 두께는, 2nm 이상인 것이 바람직하고, 3nm 이상이면 보다 바람직하다.

- [0113] 제 4 층(24)의 산소의 함유량은, 제 1 층(21)의 산소의 함유량보다도 많은 것이 바람직하다. 제 4 층(24)의 산소의 함유량은, 50 원자% 이상인 것이 바람직하고, 55 원자% 이하인 것이 보다 바람직하다.
- [0114] 본 실시형태에 있어서의 마스크 블랭크(120)는, 상술과 같은 구성으로 함으로써, 대략 180도의 위상차를 발생시킬 수 있는 동시에, 질소 함유량이 많은 규소 함유막에서 발생하기 쉬운 헤이즈의 발생을 억제할 수 있어, 제 1 실시형태의 마스크 블랭크(100)와 비교하여, 이면 반사율의 한층 더한 저감이 가능해진다.
- [0115] 도 4는, 본 발명의 제 4 실시형태에 관한 마스크 블랭크(130)의 구성을 나타내는 단면도이다. 본 실시형태에 있어서의 마스크 블랭크(130)에서는, 위상 시프트막(2)은, 투광성 기판(1)측부터, 제 1 층(21), 제 2 층(22), 제 3A 층(25)이 적층된 구조를 갖는다. 제 1 층(21), 제 2 층(22)에 대해서는, 적합한 굴절률이나 소쇠 계수, 막 두께는, 제 1 실시형태에 있어서 서술한 바와 같으므로, 설명을 생략한다. 투광성 기판(1), 차광막(3), 하드 마스크막(4)의 구성에 관해서도, 제 1 실시형태에 있어서 서술한 바와 같다.
- [0116] 제 3A 층(25)은, 규소와 산소로 이루어지는 재료, 또는 반금속 원소 및 비금속 원소로부터 선택되는 1 이상의 원소와 규소와 산소로 이루어지는 재료로 형성되는 것이 바람직하다.
- [0117] 제 1 층(21)의 굴절률 n_1 , 제 2 층(22)의 굴절률 n_2 , 제 3A 층(25)의 굴절률 n_{3A} 는, $n_{3A} < n_1 < n_2$ 의 관계를 만족시키는 것이 바람직하다. 또, 제 1 층(21)의 소쇠 계수 k_1 , 제 2 층(22)의 소쇠 계수 k_2 , 제 3A 층(25)의 소쇠 계수 k_{3A} 는, $k_{3A} < k_1 < k_2$ 의 관계를 만족시키는 것이 바람직하다. 게다가, 제 3A 층(25)의 굴절률 n_{3A} 는, 1.7 이하인 것이 바람직하고, 1.65 이하이면 보다 바람직하다. 또, 제 3A 층(25)의 굴절률 n_{3A} 는, 1.50 이상인 것이 바람직하고, 1.52 이상이면 보다 바람직하다. 또, 제 3A 층(25)의 소쇠 계수 k_{3A} 는, 0.02 이하인 것이 바람직하고, 0.01 이하이면 보다 바람직하다. 또, 제 3A 층(25)의 소쇠 계수 k_{3A} 는, 0.00 이상인 것이 바람직하다.
- [0118] 제 1 층(21)의 막 두께 d_1 , 제 2 층(22)의 막 두께 d_2 , 제 3A 층(25)의 막 두께 d_{3A} 는, $d_{3A} < d_1 < d_2$ 의 관계를 만족시키는 것이 바람직하다. 게다가, 제 3A 층(25)의 막 두께 d_{3A} 는 30nm 이하이면 바람직하고, 25nm 이하이면 보다 바람직하다. 또, 제 3A 층(25)의 막 두께 d_{3A} 는, 2nm 이상인 것이 바람직하고, 3nm 이상이면 보다 바람직하다.
- [0119] 제 3A 층(25)의 산소의 함유량은, 제 1 층(21)의 산소의 함유량보다도 많은 것이 바람직하다. 제 3A 층(25)의 산소의 함유량은, 50 원자% 이상인 것이 바람직하고, 55 원자% 이하인 것이 보다 바람직하다.
- [0120] 본 실시형태에 있어서의 마스크 블랭크(130)는, 상술과 같은 구성으로 함으로써, 대략 180도의 위상차를 발생시킬 수 있는 동시에, 제 1 실시형태의 마스크 블랭크(100)와 비교하여, 이면 반사율의 한층 더한 저감이 가능해진다.
- [0121] 도 5에, 제 1 내지 제 4 실시형태의 마스크 블랭크(100, 110, 120, 130)로 제조되는 본 발명의 제 1 내지 제 4 실시형태에 관한 위상 시프트 마스크(200, 210, 220, 230)와 그 제조 공정을 나타낸다.
- [0122] 도 5(g)에 나타내어져 있는 바와 같이, 위상 시프트 마스크(200, 210, 220, 230)는, 마스크 블랭크(100, 110, 120, 130)의 위상 시프트막(2)에 전사 패턴인 위상 시프트 패턴(2a)이 형성되고, 차광막(3)에 차광 패턴(3b)이 형성되어 있는 것을 특징으로 하고 있다. 마스크 블랭크(100, 110, 120, 130)에 하드 마스크막(4)이 설치되어 있는 구성의 경우, 이 위상 시프트 마스크(200, 210, 220, 230)의 작성 도중에 하드 마스크막(4)은 제거된다.
- [0123] 본 발명의 제 1 내지 제 4 실시형태에 관한 위상 시프트 마스크(200, 210, 220, 230)의 제조 방법은, 상기의 마스크 블랭크(100, 110, 120, 130)를 이용하는 것이고, 드라이 에칭에 의해 차광막(3)에 전사 패턴을 형성하는 공정과, 전사 패턴을 갖는 차광막(3)을 마스크로 하는 드라이 에칭에 의해 위상 시프트막(2)에 전사 패턴을 형성하는 공정과, 차광 패턴을 갖는 레지스트막(제 2 레지스트 패턴)(6b)을 마스크로 하는 드라이 에칭에 의해 차광막(3)에 차광 패턴(3b)을 형성하는 공정을 구비하는 것을 특징으로 하고 있다. 이하, 도 5에 나타내는 제조 공정에 따라, 본 발명의 위상 시프트 마스크(200, 210, 220, 230)의 제조 방법을 설명한다. 또한, 여기에서는, 차광막(3)의 위에 하드 마스크막(4)이 적층된 마스크 블랭크(100, 110, 120, 130)를 이용한 위상 시프트 마스크(200, 210, 220, 230)의 제조 방법에 대하여 설명한다. 또, 차광막(3)에는 크롬을 함유하는 재료를 적용하고, 하드 마스크막(4)에는 규소를 함유하는 재료를 적용한 경우에 대하여 서술한다.
- [0124] 우선, 마스크 블랭크(100, 110, 120, 130)에 있어서의 하드 마스크막(4)에 접하여, 레지스트막을 스판 도포법에

의해 형성한다. 다음으로, 레지스트막에 대해, 위상 시프트막(2)에 형성해야 하는 전사 패턴(위상 시프트 패턴)인 제 1 패턴을 전자선으로 노광 묘화하고, 추가로 현상 처리 등의 소정의 처리를 행하여, 위상 시프트 패턴을 갖는 제 1 레지스트 패턴(5a)을 형성했다(도 5(a) 참조). 계속해서, 제 1 레지스트 패턴(5a)을 마스크로 하여, 불소계 가스를 이용한 드라이 에칭을 행하여, 하드 마스크막(4)에 제 1 패턴(하드 마스크 패턴(4a))을 형성했다(도 5(b) 참조).

[0125] 다음으로, 레지스트 패턴(5a)을 제거하고 나서, 하드 마스크 패턴(4a)을 마스크로 하여, 염소계 가스와 산소 가스의 혼합 가스를 이용한 드라이 에칭을 행하여, 차광막(3)에 제 1 패턴(차광 패턴(3a))을 형성한다(도 5(c) 참조). 계속해서, 차광 패턴(3a)을 마스크로 하여, 불소계 가스를 이용한 드라이 에칭을 행하여, 위상 시프트막(2)에 제 1 패턴(위상 시프트 패턴(2a))을 형성하고, 또한 하드 마스크 패턴(4a)을 제거했다(도 5(d) 참조).

[0126] 다음으로, 마스크 블랭크(100, 110, 120, 130) 상에 레지스트막을 스픈 도포법에 의해 형성했다. 다음으로, 레지스트막에 대해, 차광막(3)에 형성해야 하는 패턴(차광 패턴)인 제 2 패턴을 전자선으로 노광 묘화하고, 추가로 현상 처리 등의 소정의 처리를 행하여, 차광 패턴을 갖는 제 2 레지스트 패턴(6b)을 형성했다(도 5(e) 참조). 계속해서, 제 2 레지스트 패턴(6b)을 마스크로 하여, 염소계 가스와 산소 가스의 혼합 가스를 이용한 드라이 에칭을 행하여, 차광막(3)에 제 2 패턴(차광 패턴(3b))을 형성했다(도 5(f) 참조). 또한, 제 2 레지스트 패턴(6b)을 제거하고, 세정 등의 소정의 처리를 거쳐, 위상 시프트 마스크(200, 210, 220, 230)를 얻었다(도 5(g) 참조).

[0127] 상기의 드라이 에칭에서 사용되는 염소계 가스로는, Cl이 포함되어 있으면 특별히 제한은 없다. 예를 들면, Cl₂, SiCl₂, CHCl₃, CH₂Cl₂, CCl₄, BC_l₃ 등을 들 수 있다. 또, 상기의 드라이 에칭에서 사용되는 불소계 가스로는, F가 포함되어 있으면 특별히 제한은 없다. 예를 들면, CHF₃, CF₄, C₂F₆, C₄F₈, SF₆ 등을 들 수 있다. 특히, C를 포함하지 않는 불소계 가스는, 유리 기판에 대한 에칭 레이트가 비교적 낮기 때문에, 유리 기판에의 테마지를 보다 작게 할 수 있다.

[0128] 본 발명의 위상 시프트 마스크(200, 210, 220, 230)는, 상기의 마스크 블랭크(100, 110, 120, 130)를 이용하여 제작된 것이다. 이 때문에, 전사 패턴이 형성된 위상 시프트막(2)(위상 시프트 패턴(2a))은 ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대한 투과율이 15% 이상이고, 또한 위상 시프트 패턴(2a)을 투과한 노광광과 위상 시프트 패턴(2a)의 두께와 동일한 거리만큼 공기 중을 통과한 노광광과의 사이에 있어서의 위상차가 150도 이상 200도 이하의 범위 내로 되어 있다. 또, 이 위상 시프트 마스크(200)는, 차광 패턴(3b)이 적층되어 있지 않은 위상 시프트 패턴(2a)의 영역(위상 시프트 패턴(2a)만이 존재하는 투광성 기판(1) 상의 영역)에 있어서의 이면 반사율이 9% 이하로 되어 있다. 이것에 의해, 위상 시프트 마스크(200)를 이용하여 전사 대상물(반도체 웨이퍼 상의 레지스트막 등)에 노광 전사를 행하였을 때에, 상기의 미광에 의해 노광 전사상(轉寫像)에 주는 영향을 억제할 수 있다.

[0129] 본 발명의 반도체 디바이스의 제조 방법은, 상기의 위상 시프트 마스크(200, 210, 220, 230)를 이용하여, 반도체 기판 상의 레지스트막에 전사 패턴을 노광 전사하는 것을 특징으로 하고 있다. 위상 시프트 마스크(200, 210, 220, 230)는, ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대해 소정의 투과율로 투과하는 기능과 그 투과하는 ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대해 소정의 위상차를 발생시키는 기능을 겸비하고, 이면 반사율이 9% 이하로 종래의 것에 비하여 대폭 저감되어 있다. 이 때문에, 이 위상 시프트 마스크(200, 210, 220, 230)를 노광 장치에 세트하고, 그 위상 시프트 마스크(200, 210, 220, 230)의 투광성 기판(1)측으로부터 ArF 엑시머 레이저의 노광광을 조사하여 전사 대상물(반도체 웨이퍼 상의 레지스트막 등)에 노광 전사를 행하여도, 위상 시프트 마스크(200, 210, 220, 230)에 형성된 바코드나 얼라이먼트 마크의 전사 대상물에의 비침을 억제할 수 있어, 높은 정밀도로 전사 대상물에 원하는 패턴을 전사할 수 있다.

[0130] 한편, 상기의 본 발명의 제 1 내지 제 4의 각 실시형태에서 나타낸 위상 시프트막의 구성과는 다른, 별도의 발명의 위상 시프트막의 구성이어도, ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대한 소정의 투과율과 소정의 위상차를 겸비하면서, 9% 이하의 이면 반사율이 되는 위상 시프트막을 실현하는 것은 가능하다. 예를 들면, 이 별도의 발명의 마스크 블랭크는, 투광성 기판 상에, 위상 시프트막을 구비한 마스크 블랭크로서, 위상 시프트막은, 투광성 기판측부터 제 1B 층, 제 2B 층, 제 3B 층 및 제 4B 층의 순으로 적층된 구조를 포함하고, 제 1B 층은, 상기 투광성 기판의 표면에 접하여 설치되며, 제 1B 층, 제 2B 층, 제 3B 층 및 제 4B 층의 ArF 엑시머 레이저의 노광광의 파장에 있어서의 굴절률을 각각 n_{1B}, n_{2B}, n_{3B}, n_{4B}로 했을 때, n_{4B} < n_{1B} < n_{2B} 및 n_{4B} < n_{3B} < n_{2B}의 관계를 동시에 만족시키고, 제 1B 층, 제 2B 층, 제 3B 층 및 제 4B 층의 노광광의 파장에 있어서의 소쇠 계수를 각각 k_{1B},

k_{2B} , k_{3B} , k_{4B} 로 했을 때, $k_{4B} < k_{1B} < k_{2B}$ 및 $k_{4B} < k_{3B} < k_{2B}$ 의 관계를 동시에 만족시키며, 제 1B 층, 제 2B 층, 제 3B 층 및 제 4B 층의 막 두께를 각각 d_{1B} , d_{2B} , d_{3B} , d_{4B} 로 했을 때, $d_{1B} > d_{3B} > d_{4B}$ 및 $d_{2B} > d_{3B} > d_{4B}$ 의 관계를 동시에 만족시키는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크를 들 수 있다. 또한, 투광성 기판, 차광막, 하드 마스크막의 구성에 관해서는, 상기의 제 1 실시형태에 있어서 서술한 것과 마찬가지이다. 또, 위상 시프트막에 관해서도, 이후에 기술하는 점 이외에 대해서는, 상기의 제 1 실시형태에 있어서 서술한 것과 마찬가지이다.

[0131] 제 1B 층 및 제 3B 층은, 규소와 질소와 산소로 이루어지는 재료, 또는 반금속 원소 및 비금속 원소로부터 선택되는 1 이상의 원소와 규소와 질소와 산소로 이루어지는 재료로 형성되는 것이 바람직하다. 또, 제 2B 층은, 규소와 질소로 이루어지는 재료, 또는 반금속 원소 및 비금속 원소로부터 선택되는 1 이상의 원소와 규소와 질소로 이루어지는 재료로 형성되는 것이 바람직하다. 제 4B 층은, 규소와 산소로 이루어지는 재료, 또는 반금속 원소 및 비금속 원소로부터 선택되는 1 이상의 원소와 규소와 산소로 이루어지는 재료로 형성되는 것이 바람직하다.

[0132] 제 1B 층의 굴절률 n_{1B} 는, 1.8 이상이면 바람직하고, 1.85 이상이면 보다 바람직하다. 또, 제 1B 층의 굴절률 n_{1B} 는, 2.2 미만이면 바람직하고, 2.15 이하이면 보다 바람직하다. 제 1B 층의 소쇠 계수 k_{1B} 는, 0.15 이하인 것이 바람직하고, 0.14 이하이면 보다 바람직하다. 또, 제 1B 층의 소쇠 계수 k_{1B} 는, 0.05 이상이면 바람직하고, 0.06 이상이면 보다 바람직하다. 제 1B 층의 막 두께 d_{1B} 는, 35nm 이하이면 바람직하고, 33nm 이하이면 보다 바람직하다. 또, 제 1B 층의 막 두께 d_{1B} 는, 20nm보다 큰 것이 바람직하고, 21nm 이상이면 보다 바람직하다.

[0133] 제 2B 층의 굴절률 n_{2B} 는, 2.2 이상인 것이 바람직하고, 2.25 이상이면 보다 바람직하다. 또, 제 2B 층의 굴절률 n_{2B} 는, 3.0 이하이면 바람직하고, 2.8 이하이면 보다 바람직하다. 또, 제 2B 층의 소쇠 계수 k_{2B} 는, 0.2 이상인 것이 바람직하고, 0.25 이상이면 보다 바람직하다. 또, 제 2B 층의 소쇠 계수 k_{2B} 는, 0.5 이하이면 바람직하고, 0.4 이하이면 보다 바람직하다. 제 2B 층의 막 두께 d_{2B} 는, 35nm 이하이면 바람직하고, 33nm 이하이면 보다 바람직하다. 또, 제 2B 층의 막 두께 d_{2B} 는, 20nm보다 큰 것이 바람직하고, 21nm 이상이면 보다 바람직하다.

[0134] 제 3B 층의 굴절률 n_{3B} 는, 1.8 이상이면 바람직하고, 1.85 이상이면 보다 바람직하다. 또, 제 3B 층의 굴절률 n_{3B} 는, 2.2 미만이면 바람직하고, 2.15 이하이면 보다 바람직하다. 제 3B 층의 소쇠 계수 k_{3B} 는, 0.15 이하인 것이 바람직하고, 0.14 이하이면 보다 바람직하다. 또, 제 3B 층의 소쇠 계수 k_{3B} 는, 0.05 이상이면 바람직하고, 0.06 이상이면 보다 바람직하다. 제 3B 층의 막 두께 d_{3B} 는, 20nm 이하이면 바람직하고, 19nm 이하이면 보다 바람직하다. 또, 제 3B 층의 막 두께 d_{3B} 는, 10nm 이상인 것이 바람직하고, 15nm 이상이면 보다 바람직하다.

[0135] 제 4B 층의 굴절률 n_{4B} 는, 1.7 이하인 것이 바람직하고, 1.65 이하이면 보다 바람직하다. 또, 제 4B 층의 굴절률 n_{4B} 는, 1.50 이상인 것이 바람직하고, 1.52 이상이면 보다 바람직하다. 또, 제 4B 층의 소쇠 계수 k_{4B} 는, 0.1 이하인 것이 바람직하고, 0.01 이하이면 보다 바람직하다. 또, 제 4B 층의 소쇠 계수 k_{4B} 는, 0.00 이상인 것이 바람직하다. 제 4B 층의 막 두께 d_{4B} 는, 10nm보다도 작은 것이 바람직하고, 9nm 이하이면 보다 바람직하다. 또, 제 4B 층의 막 두께 d_{4B} 는, 2nm 이상인 것이 바람직하고, 3nm 이상이면 보다 바람직하다.

[0136] 제 2B 층의 질소의 함유량은, 제 1B 층 및 제 3B 층의 질소의 함유량보다도 많은 것이 바람직하다. 제 1B 층 및 제 3B 층의 질소의 함유량은, 40 원자% 이하인 것이 바람직하고, 30 원자% 이하인 것이 보다 바람직하다. 또, 제 1B 층 및 제 3B 층의 질소의 함유량은, 10 원자% 이상인 것이 바람직하고, 15 원자% 이상인 것이 보다 바람직하다. 한편, 제 2B 층의 질소의 함유량은, 45 원자% 이상인 것이 바람직하고, 50 원자% 이상인 것이 보다 바람직하며, 55 원자% 이상인 것이 더욱 바람직하다. 제 2B 층은, 굴절률이 높은 재료로 형성되는 것이 바람직하지만, 질소 함유량을 많게 함으로써 굴절률을 높일 수 있기 때문이다.

[0137] 제 1B 층 및 제 3B 층의 산소의 함유량은, 제 2B 층의 산소의 함유량보다도 많은 것이 바람직하다. 제 1B 층 및 제 3B 층의 산소의 함유량은, 10 원자% 이상인 것이 바람직하고, 15 원자% 이상인 것이 보다 바람직하다.

또, 제 1B 층 및 제 3B 층의 산소의 함유량은, 45 원자% 이하인 것이 바람직하고, 40 원자% 이하인 것이 보다 바람직하다. 한편, 제 2B 층의 산소의 함유량은, 5 원자% 이하인 것이 바람직하고, 2 원자% 이하인 것이 보다 바람직하다. 제 2B 층은, 산소를 함유하지 않는 것이 더욱 바람직하다. 제 2B 층의 산소의 함유량이 늘어남에 따라 제 2B 층의 굴절률이 저하되기 때문이다.

[0138] 제 4B 층의 산소의 함유량은, 제 1B 층, 제 2B 층 및 제 3B 층의 산소의 함유량보다도 많은 것이 바람직하다. 제 4B 층의 산소의 함유량은, 50 원자% 이상인 것이 바람직하고, 55 원자% 이하인 것이 보다 바람직하다.

[0139] 한편, 상기 제 1 내지 제 4 실시형태의 마스크 블랭크로부터 위상 시프트 마스크를 제조하는 경우와 마찬가지의 순서로, 이 별도의 발명의 마스크 블랭크로부터 위상 시프트 마스크를 제조할 수 있다. 이 별도의 발명의 위상 시프트 마스크는, 상기의 별도의 발명의 마스크 블랭크의 위상 시프트막에 전사 패턴인 위상 시프트 패턴이 형성되어, 차광막에 차광 패턴이 형성되어 있는 것을 특징으로 하고 있다.

[0140] 한편, 상기의 본 발명의 반도체 디바이스의 제조 방법에 대해서도, 상기의 별도의 발명의 위상 시프트 마스크를 이용하는 것이 가능하다. 이 별도의 발명의 위상 시프트 마스크도, ArF 액시머 레이저의 노광광에 대해 소정의 투과율로 투과하는 기능과 그 투과하는 ArF 액시머 레이저의 노광광에 대해 소정의 위상차를 발생시키는 기능을 겸비하고, 이면 반사율이 9% 이하로 종래의 것에 비하여 대폭 저감되어 있다. 이 때문에, 이 별도의 발명의 위상 시프트 마스크를 노광 장치에 세트하고, 그 별도의 발명의 위상 시프트 마스크의 투광성 기판측으로부터 ArF 액시머 레이저의 노광광을 조사하여 전사 대상물(반도체 웨이퍼 상의 레지스트막 등)에 노광 전사하는 공정을 행하여도, 그 별도의 발명의 위상 시프트 마스크에 형성된 바코드나 얼라이먼트 마크의 전사 대상물에의 비침을 억제할 수 있어, 높은 정밀도로 전사 대상물에 원하는 패턴을 전사할 수 있다.

실시예

[0142] 이하, 실시예에 의해, 본 발명의 실시형태를 더욱 구체적으로 설명한다.

[0143] (실시예 1)

[0144] [마스크 블랭크의 제조]

[0145] 주표면의 치수가 약 152mm×약 152mm이고, 두께가 약 6.35mm인 합성 석영 유리로 이루어지는 투광성 기판(1)을 준비했다. 이 투광성 기판(1)은, 단면(端面) 및 주표면을 소정의 표면 거칠기로 연마하고, 그 후, 소정의 세정 처리 및 건조 처리를 실시한 것이다. 이 투광성 기판(1)의 광학 특성을 측정한바, 굴절률 n_s 가 1.556, 소쇠 계수 k_s 가 0.00이었다.

[0146] 다음으로, 투광성 기판(1)의 표면에 접하고 규소, 산소 및 질소로 이루어지는 위상 시프트막(2)의 제 1 층(21)(SiON 막 Si:O:N=40 원자%:35 원자%:25 원자%)을 29.5nm의 두께로 형성했다. 이 제 1 층(21)은, 매엽식 RF 스퍼터 장치 내에 투광성 기판(1)을 설치하고, 규소(Si) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar), 산소(O_2) 및 질소(N_2)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 RF 스퍼터링에 의해 형성했다. 계속해서, 제 1 층(21) 상에, 규소 및 질소로 이루어지는 위상 시프트막(2)의 제 2 층(22)(SiN 막 Si:N=43 원자%:57 원자%)을 41.5nm의 두께로 형성했다. 이 제 2 층(22)은, 규소(Si) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar) 및 질소(N_2)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 반응성 스퍼터링(RF 스퍼터링)에 의해 형성했다. 이상의 순서에 의해, 투광성 기판(1)의 표면에 접하고 제 1 층(21), 제 2 층(22)이 적층된 위상 시프트막(2)을 71nm의 두께로 형성했다. 또한, 제 1 층(21), 제 2 층(22)의 조성은, X선 광전자 분광법(XPS)에 의한 측정에 의해 얻어진 결과이다. 이하, 다른 막에 관해서도 마찬가지이다.

[0147] 다음으로, 위상 시프트량 측정 장치(레이저 테크사 제조 MPM193)를 이용하여, 그 위상 시프트막(2)의 광장 193nm의 광에 대한 투과율과 위상차를 측정한바, 투과율이 27.4%, 위상차가 183.2도(deg)였다. 또, 이 위상 시프트막(2)의 제 1 층(21), 제 2 층(22)의 각 광학 특성을 분광 엘립소미터(J.A.Woollam사 제조 M-2000D)로 측정한바, 제 1 층(21)은 굴절률 n_1 이 1.990, 소쇠 계수 k_1 이 0.085이고, 제 2 층(22)은, 굴절률 n_2 가 2.595, 소쇠 계수 k_2 가 0.357이었다. ArF 액시머 레이저의 노광광의 광장의 광에 대한 위상 시프트막(2)의 이면 반사율은 3.7%이며, 9%를 하회하는 것이었다.

[0148] 다음으로, 위상 시프트막(2) 상에 CrOCN으로 이루어지는 차광막(3)(CrOCN 막 Cr:O:C:N=55 원자%:22 원자%:12 원자%:11 원자%)을 59.5nm의 두께로 형성했다. 이 차광막(3)은, 매엽식 DC 스퍼터 장치 내에 위상 시프트막

(2)이 형성된 투광성 기판(1)을 설치하고, 크롬(Cr) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar), 이산화탄소(CO_2), 질소(N_2) 및 헬륨(He)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 반응성 스퍼터링(DC 스퍼터링)에 의해 형성했다. 이 투광성 기판(1) 상에 위상 시프트막(2)과 차광막(3)이 적층된 상태에 있어서의 ArF 엑시머 레이저의 노광광의 파장의 광에 대한 이면 반사율은 0.5%이며, 9%를 하회하는 것이었다. 이 위상 시프트막(2)과 차광막(3)의 적층 구조에 있어서의 파장 193nm의 광에 대한 광학 농도(OD)를 측정한바, 3.0 이상이었다. 또, 다른 투광성 기판(1)을 준비하여, 동일 성막 조건으로 차광막(3)만을 성막하고, 그 차광막(3)의 광학 특성을 상기 분광 엘립소미터로 측정한바, 굴절률 n 이 1.92, 소쇠 계수 k 가 1.50이었다.

[0149] 다음으로, 차광막(3)의 위에, 규소 및 산소로 이루어지는 하드 마스크막(4)을 5nm의 두께로 형성했다. 이 하드 마스크막(4)은, 매엽식 RF 스퍼터 장치 내에, 위상 시프트막(2) 및 차광막(3)이 적층된 투광성 기판(1)을 설치하고, 이산화 규소(SiO_2) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar) 가스를 스퍼터링 가스로 하여, RF 스퍼터링에 의해 형성했다. 이상의 순서에 의해, 투광성 기판(1) 상에, 3층 구조의 위상 시프트막(2), 차광막(3) 및 하드 마스크막(4)이 적층된 구조를 구비하는 마스크 블랭크(100)를 제조했다.

[0150] [위상 시프트 마스크의 제조]

[0151] 다음으로, 이 실시예 1의 마스크 블랭크(100)를 이용하여, 이하의 순서로 실시예 1의 위상 시프트 마스크(200)를 제작했다. 처음에, 하드 마스크막(4)의 표면에 HMDS 처리를 실시했다. 계속해서, 스펀 도포법에 의해, 하드 마스크막(4)의 표면에 접하고, 전자선 묘화용 화학 증폭형 레지스트로 이루어지는 레지스트막을 막 두께 80nm로 형성했다. 다음으로, 이 레지스트막에 대해, 위상 시프트막(2)에 형성해야 하는 위상 시프트 패턴인 제 1 패턴을 전자선 묘화했다. 또한, 소정의 현상 처리 및 세정 처리를 행하여, 제 1 패턴을 갖는 제 1 레지스트 패턴(5a)을 형성했다(도 5(a) 참조). 이때, 제 1 레지스트 패턴(5a)에는, 패턴 형성 영역 외에 있어서, 바코드나 열라이먼트 마크에 대응하는 형상의 패턴도 아울러서 형성했다.

[0152] 다음으로, 제 1 레지스트 패턴(5a)을 마스크로 하고, CF_4 가스를 이용한 드라이 에칭을 행하여, 하드 마스크막(4)에 제 1 패턴(하드 마스크 패턴(4a))을 형성했다(도 5(b) 참조). 이때, 하드 마스크막(4)에는, 패턴 형성 영역 외에 있어서, 바코드나 열라이먼트 마크에 대응하는 형상의 패턴도 아울러서 형성했다. 그 후, 제 1 레지스트 패턴(5a)을 제거했다.

[0153] 계속해서, 하드 마스크 패턴(4a)을 마스크로 하고, 염소와 산소의 혼합 가스(가스 유량비 $\text{Cl}_2:\text{O}_2=10:1$)를 이용한 드라이 에칭을 행하여, 차광막(3)에 제 1 패턴(차광 패턴(3a))을 형성했다(도 5(c) 참조). 이때, 차광막(3)에는, 패턴 형성 영역 외에 있어서, 바코드나 열라이먼트 마크에 대응하는 형상의 패턴도 아울러서 형성했다. 다음으로, 차광 패턴(3a)을 마스크로 하고, 불소계 가스(SF_6+He)를 이용한 드라이 에칭을 행하여, 위상 시프트막(2)에 제 1 패턴(위상 시프트 패턴(2a))을 형성하고, 또한 동시에 하드 마스크 패턴(4a)을 제거했다(도 5(d) 참조). 이때, 위상 시프트막(2)에는, 패턴 형성 영역 외에 있어서, 바코드나 열라이먼트 마크에 대응하는 형상의 패턴도 아울러서 형성했다.

[0154] 다음으로, 차광 패턴(3a) 상에, 스펀 도포법에 의해, 전자선 묘화용 화학 증폭형 레지스트로 이루어지는 레지스트막을 막 두께 150nm로 형성했다. 다음으로, 레지스트막에 대해, 차광막에 형성해야 하는 패턴(차광 패턴)인 제 2 패턴을 노광 묘화하고, 추가로 현상 처리 등의 소정의 처리를 행하여, 차광 패턴을 갖는 제 2 레지스트 패턴(6b)을 형성했다(도 5(e) 참조). 계속해서, 제 2 레지스트 패턴(6b)을 마스크로 하고, 염소와 산소의 혼합 가스(가스 유량비 $\text{Cl}_2:\text{O}_2=4:1$)를 이용한 드라이 에칭을 행하여, 차광막(3)에 제 2 패턴(차광 패턴(3b))을 형성했다(도 5(f) 참조). 추가로, 제 2 레지스트 패턴(6b)을 제거하고, 세정 등의 소정의 처리를 거쳐, 위상 시프트 마스크(200)를 얻었다(도 5(g) 참조).

[0155] 이 위상 시프트 마스크(200)에 대해, AIMS193(Carl Zeiss사 제조)를 이용하여, ArF 엑시머 레이저의 노광광으로 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 노광 전사했을 때에 있어서의 노광 전사상의 시뮬레이션을 행하였다. 이 시뮬레이션으로 얻어진 노광 전사상을 검증한바, 설계 사양을 충분히 만족시키고 있었다. 또, 노광 전사상에는, 바코드나 열라이먼트 마크의 비침에 기인하는 CD 불균일은 보이지 않았다. 이상의 점에서, 이 실시예 1의 마스크 블랭크로부터 제조된 위상 시프트 마스크(200)는, 노광 장치에 세트하여 ArF 엑시머 레이저의 노광광에 의한 노광 전사를 행하여도, 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 대해 고정밀도로 노광 전사를 행할 수 있다고 할 수 있다.

[0156] (실시예 2)

[0157] [마스크 블랭크의 제조]

[0158] 실시예 2의 마스크 블랭크(110)는, 위상 시프트막(2) 이외에 대해서는, 실시예 1과 마찬가지의 순서로 제조했다. 이 실시예 2의 위상 시프트막(2)은, 제 2 층(22)의 위에 제 3 층(23)을 형성하고 있다. 구체적으로는, 투광성 기판(1)의 표면에 접하고 규소, 산소 및 질소로 이루어지는 위상 시프트막(2)의 제 1 층(21)(SiON 막 Si:O:N=40 원자%:35 원자%:25 원자%)을 29.5nm의 두께로 형성했다. 이 위상 시프트막(2)은, 매연식 RF 스퍼터 장치 내에 투광성 기판(1)을 설치하고, 규소(Si) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar), 산소(O₂) 및 질소(N₂)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 RF 스퍼터링에 의해 형성했다. 계속해서, 제 1 층(21) 상에, 규소 및 질소로 이루어지는 위상 시프트막(2)의 제 2 층(22)(SiN 막 Si:N=43 원자%:57 원자%)을 41.5nm의 두께로 형성했다. 이 제 2 층(22)은, 규소(Si) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar) 및 질소(N₂)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 반응성 스퍼터링(RF 스퍼터링)에 의해 형성했다. 이 제 2 층(22) 상에, 규소 및 질소로 이루어지는 위상 시프트막(2)의 제 3 층(23)(Si:N=68 원자%:32 원자%)을 3nm의 두께로 형성했다. 이 제 3 층(23)은, 규소(Si) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar) 및 질소(N₂)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 반응성 스퍼터링(RF 스퍼터링)에 의해 형성했다. 이상의 순서에 의해, 투광성 기판(1)의 표면에 접하고 제 1 층(21), 제 2 층(22), 제 3 층(23)이 적층된 위상 시프트막(2)을 74nm의 두께로 형성했다.

[0159] 상기 위상 시프트량 측정 장치를 이용하여, 그 위상 시프트막(2)의 ArF 엑시머 레이저의 노광광의 파장(파장 193nm)의 광에 대한 투과율과 위상차를 측정한바, 투과율이 19.6%, 위상차가 175.8도(deg)였다. 또한, 이 위상 시프트막(2)의 제 1 층(21), 제 2 층(22), 제 3 층(23)의 각 광학 특성을 상기 분광 엘립소미터로 측정한바, 제 1 층(21)은 굴절률 n₁이 1.990, 소쇠 계수 k₁이 0.085이고, 제 2 층(22)은, 굴절률 n₂가 2.595, 소쇠 계수 k₂가 0.357이고, 제 3 층(23)은, 굴절률 n₃가 1.648, 소쇠 계수 k₃가 1.861이었다. 위상 시프트막(2)의 ArF 엑시머 레이저의 노광광의 파장의 광에 대한 이면 반사율(투광성 기판(1)측의 반사율)은 6.3%이며, 9%를 하회하는 것이었다.

[0160] 이상의 순서에 의해, 투광성 기판(1) 상에, 제 1 층(21), 제 2 층(22), 제 3 층(23)으로 이루어지는 위상 시프트막(2), 차광막(3) 및 하드 마스크막(4)이 적층된 구조를 구비하는 실시예 2의 마스크 블랭크(110)를 제조했다. 또한, 이 실시예 2의 마스크 블랭크(110)는, 투광성 기판(1) 상에 위상 시프트막(2)과 차광막(3)이 적층된 상태에 있어서의 ArF 엑시머 레이저의 노광광의 파장의 광에 대한 이면 반사율(투광성 기판(1)측의 반사율)은 6.9%이며, 9%를 하회하는 것이었다. 이 위상 시프트막(2)과 차광막(3)의 적층 구조에 있어서의 파장 193nm의 광에 대한 광학 농도(OD)를 측정한바, 3.0 이상이었다.

[0161] [위상 시프트 마스크의 제조]

[0162] 다음으로, 이 실시예 2의 마스크 블랭크(110)를 이용하여, 실시예 1과 마찬가지의 순서로, 실시예 2의 위상 시프트 마스크(210)를 제작했다.

[0163] 이 위상 시프트 마스크(210)에 대해, AIMS193(Carl Zeiss사 제조)를 이용하여, ArF 엑시머 레이저의 노광광으로 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 노광 전사했을 때에 있어서의 노광 전사상의 시뮬레이션을 행하였다. 이 시뮬레이션으로 얻어진 노광 전사상을 검증한바, 설계 사양을 충분히 만족시키고 있었다. 또, 노광 전사상에는, 바코드나 열라이먼트 마크의 비침에 기인하는 CD 불균일은 보이지 않았다. 이상의 점에서, 이 실시예 2의 마스크 블랭크로부터 제조된 위상 시프트 마스크(210)는, 노광 장치에 세트하여 ArF 엑시머 레이저의 노광광에 의한 노광 전사를 행하여도, 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 대해 고정밀도로 노광 전사를 행할 수 있다고 할 수 있다.

[0164] (실시예 3)

[0165] [마스크 블랭크의 제조]

[0166] 실시예 3의 마스크 블랭크(120)는, 위상 시프트막(2) 이외에 대해서는, 실시예 1과 마찬가지의 순서로 제조했다. 이 실시예 3의 위상 시프트막(2)은, 제 3 층(23) 위에 제 4 층(24)을 형성하고 있다. 구체적으로는, 투광성 기판(1)의 표면에 접하고 규소, 산소 및 질소로 이루어지는 위상 시프트막(2)의 제 1 층(21)(SiON 막 Si:O:N=40 원자%:35 원자%:25 원자%)을 29.5nm의 두께로 형성했다. 이 제 1 층(21)은, 매연식 RF 스퍼터 장치 내에 투광성 기판(1)을 설치하고, 규소(Si) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar), 산소(O₂) 및 질소(N₂)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 RF 스퍼터링에 의해 형성했다. 계속해서, 제 1 층(21) 상에, 규소 및 질소로 이루어지는 위상 시프트막(2)의 제 2 층(22)(SiN 막 Si:N=43 원자%:57 원자%)을 41.5nm의 두께로 형성했다. 이 제 2 층(22)은, 규소(Si) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar) 및 질소(N₂)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 반응성 스퍼터링(RF 스퍼터링)에 의해 형성했다. 이 제 2 층(22) 상에, 규소 및 질소로 이루어지는 위상 시프트막(2)의 제 3 층(23)(Si:N=68 원자%:32 원자%)을 3nm의 두께로 형성했다. 이 제 3 층(23)은, 규소(Si) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar) 및 질소(N₂)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 반응성 스퍼터링(RF 스퍼터링)에 의해 형성했다. 이상의 순서에 의해, 투광성 기판(1)의 표면에 접하고 제 1 층(21), 제 2 층(22), 제 3 층(23)이 적층된 위상 시프트막(2)을 74nm의 두께로 형성했다.

및 질소로 이루어지는 위상 시프트막(2)의 제 2 층(22)(SiN 막 Si:N=43 원자%:57 원자%)을 41.5nm의 두께로 형성했다. 이 제 2 층(22)은, 규소(Si) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar) 및 질소(N₂)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 반응성 스퍼터링(RF 스퍼터링)에 의해 형성했다. 계속해서, 제 2 층(22) 상에, 규소 및 질소로 이루어지는 위상 시프트막(2)의 제 3 층(23)(Si:N=68 원자%:32 원자%)을 3nm의 두께로 형성했다. 이 제 3 층(23)은, 규소(Si) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar) 및 질소(N₂)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 반응성 스퍼터링(RF 스퍼터링)에 의해 형성했다. 계속해서, 제 3 층(23) 상에, 규소 및 산소로 이루어지는 위상 시프트막(2)의 제 4 층(24)(SiO 막 Si:O=33 원자%:67 원자%)을 3nm의 두께로 형성했다. 이 제 4 층(24)은, 규소(Si) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar) 및 산소(O₂)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 반응성 스퍼터링(RF 스퍼터링)에 의해 형성했다. 이상의 순서에 의해, 투광성 기판(1)의 표면에 접하여 제 1 층(21), 제 2 층(22), 제 3 층(23), 제 4 층(24)이 적층된 위상 시프트막(2)을 77nm의 두께로 형성했다.

[0167]

상기 위상 시프트량 측정 장치를 이용하여, 그 위상 시프트막(2)의 ArF 엑시머 레이저의 노광광의 파장(파장 193nm)의 광에 대한 투과율과 위상차를 측정한바, 투과율이 20.1%, 위상차가 178.0도(deg)였다. 또한, 이 위상 시프트막(2)의 제 1 층(21), 제 2 층(22), 제 3 층(23), 제 4 층(24)의 각 광학 특성을 상기 분광 엘립소미터로 측정한바, 제 1 층(21)은 굴절률 n₁이 1.990, 소쇠 계수 k₁이 0.085이고, 제 2 층(22)은, 굴절률 n₂가 2.595, 소쇠 계수 k₂가 0.357이며, 제 3 층(23)은, 굴절률 n₃가 1.648, 소쇠 계수 k₃가 1.861이고, 제 4 층(24)은, 굴절률 n₄가 1.590, 소쇠 계수 k₄가 0.000이었다. 위상 시프트막(2)의 ArF 엑시머 레이저의 노광광의 파장의 광에 대한 이면 반사율(투광성 기판(1)측의 반사율)은 5.8%이며, 9%를 하회하는 것이었다.

[0168]

이상의 순서에 의해, 투광성 기판(1) 상에, 제 1 층(21), 제 2 층(22), 제 3 층(23), 제 4 층(24)으로 이루어지는 위상 시프트막(2), 차광막(3) 및 하드 마스크막(4)이 적층된 구조를 구비하는 실시예 3의 마스크 블랭크(120)를 제조했다. 또한, 이 실시예 3의 마스크 블랭크(120)는, 투광성 기판(1) 상에 위상 시프트막(2)과 차광막(3)이 적층된 상태에 있어서의 파장 193nm의 광에 대한 이면 반사율(투광성 기판(1)측의 반사율)은 7.7%이며, 9%를 하회하는 것이었다. 이 위상 시프트막(2)과 차광막(3)의 적층 구조에 있어서의 파장 193nm의 광에 대한 광학 농도(OD)를 측정한바, 3.0 이상이었다.

[0169]

[위상 시프트 마스크의 제조]

[0170]

다음으로, 이 실시예 3의 마스크 블랭크(120)를 이용하여, 실시예 1과 마찬가지의 순서로, 실시예 3의 위상 시프트 마스크(220)를 제작했다.

[0171]

이 위상 시프트 마스크(220)에 대해, AIMS193(Carl Zeiss사 제조)를 이용하여, ArF 엑시머 레이저의 노광광으로 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 노광 전사했을 때에 있어서의 노광 전사상의 시뮬레이션을 행하였다. 이 시뮬레이션으로 얻어진 노광 전사상을 검증한바, 설계 사양을 충분히 만족시키고 있었다. 또, 노광 전사상에는, 바코드나 열라이먼트 마크의 비침에 기인하는 CD 불균일은 보이지 않았다. 이상의 점에서, 이 실시예 3의 마스크 블랭크로부터 제조된 위상 시프트 마스크(220)는, 노광 장치에 세트하여 ArF 엑시머 레이저의 노광광에 의한 노광 전사를 행하여도, 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 대해 고정밀도로 노광 전사를 행할 수 있다고 할 수 있다.

[0172]

(실시예 4)

[0173]

[마스크 블랭크의 제조]

[0174]

실시예 4의 마스크 블랭크(130)는, 위상 시프트막(2) 이외에 대해서는, 실시예 1과 마찬가지의 순서로 제조했다. 이 실시예 4의 위상 시프트막(2)은, 제 2 층(22)의 위에, 제 3 층(23)과 조성이 다른 제 3A 층(25)을 형성하고 있다. 구체적으로는, 투광성 기판(1)의 표면에 접하고 규소, 산소 및 질소로 이루어지는 위상 시프트막(2)의 제 1 층(21)(SiON 막 Si:O:N=40 원자%:35 원자%:25 원자%)을 29.5nm의 두께로 형성했다. 이 제 1 층(21)은, 매엽식 RF 스퍼터 장치 내에 투광성 기판(1)을 설치하고, 규소(Si) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar), 산소(O₂) 및 질소(N₂)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 RF 스퍼터링에 의해 형성했다. 계속해서, 제 1 층(21) 상에, 규소 및 질소로 이루어지는 위상 시프트막(2)의 제 2 층(22)(SiN 막 Si:N=43 원자%:57 원자%)을 41.5nm의 두께로 형성했다. 이 제 2 층(22)은, 규소(Si) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar) 및 질소(N₂)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 반응성 스퍼터링(RF 스퍼터링)에 의해 형성했다. 계속해서, 제 2 층(22) 상에, 규소 및 산소로 이루어지는 위상 시프트막(2)의 제 3A 층(25)(SiO 막 Si:O=33 원자%:67 원자%)을 3nm의

두께로 형성했다. 이 제 3A 층(25)은, 규소(Si) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar) 및 산소(O_2)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 반응성 스퍼터링(RF 스퍼터링)에 의해 형성했다. 이상의 순서에 의해, 투광성 기판(1)의 표면에 접하고 제 1 층(21), 제 2 층(22), 제 3A 층(25)이 적층된 위상 시프트막(2)을 74nm의 두께로 형성했다.

[0175] 상기 위상 시프트량 측정 장치를 이용하여, 그 위상 시프트막(2)의 ArF 액시머 레이저의 노광광의 파장(파장 193nm)의 광에 대한 투과율과 위상차를 측정한바, 투과율이 27.7%, 위상차가 179.3도(deg)였다. 또한, 이 위상 시프트막(2)의 제 1 층(21), 제 2 층(22), 제 3A 층(25)의 각 광학 특성을 상기 분광 엘립소미터로 측정한바, 제 1 층(21)은 굴절률 n_1 이 1.990, 소쇠 계수 k_1 이 0.085이고, 제 2 층(22)은, 굴절률 n_2 가 2.595, 소쇠 계수 k_2 가 0.357이고, 제 3A 층(25)은, 굴절률 n_{3A} 가 1.590, 소쇠 계수 k_{3A} 가 0.000이었다. 위상 시프트막(2)의 ArF 액시머 레이저의 노광광의 파장의 광에 대한 이면 반사율(투광성 기판(1)측의 반사율)은 8.4%이며, 9%를 하회하는 것이었다.

[0176] 이상의 순서에 의해, 투광성 기판(1) 상에, 제 1 층(21), 제 2 층(22), 제 3A 층(25)으로 이루어지는 위상 시프트막(2), 차광막(3) 및 하드 마스크막(4)이 적층된 구조를 구비하는 실시예 4의 마스크 블랭크(130)를 제조했다. 또한, 이 실시예 4의 마스크 블랭크(130)는, 투광성 기판(1) 상에 위상 시프트막(2)과 차광막(3)이 적층된 상태에 있어서의 ArF 액시머 레이저의 노광광의 파장의 광에 대한 이면 반사율(투광성 기판(1)측의 반사율)은 8.3%이며, 9%를 하회하는 것이었다. 이 위상 시프트막(2)과 차광막(3)의 적층 구조에 있어서의 파장 193nm의 광에 대한 광학 농도(OD)를 측정한바, 3.0 이상이었다.

[0177] [위상 시프트 마스크의 제조]

[0178] 다음으로, 이 실시예 4의 마스크 블랭크(130)를 이용하여, 실시예 1과 마찬가지의 순서로, 실시예 4의 위상 시프트 마스크(230)를 제작했다.

[0179] 이 위상 시프트 마스크(230)에 대해, AIMS193(Carl Zeiss사 제조)를 이용하여, ArF 액시머 레이저의 노광광으로 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 노광 전사를 때에 있어서의 노광 전사상의 시뮬레이션을 행하였다. 이 시뮬레이션으로 얻어진 노광 전사상을 검증한바, 설계 사양을 충분히 만족시키고 있었다. 또, 노광 전사상에는, 바코드나 얼라이먼트 마크의 비침에 기인하는 CD 불균일은 보이지 않았다. 이상의 점에서, 이 실시예 4의 마스크 블랭크로부터 제조된 위상 시프트 마스크(230)는, 노광 장치에 세트하여 ArF 액시머 레이저의 노광광에 의한 노광 전사를 행하여도, 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 대해 고정밀도로 노광 전사를 행할 수 있다고 할 수 있다.

[0180] (실시예 5)

[0181] [마스크 블랭크의 제조]

[0182] 실시예 5의 마스크 블랭크(130)는, 위상 시프트막(2) 이외에 대해서는, 실시예 1과 마찬가지의 순서로 제조했다. 이 실시예 5의 위상 시프트막(2)은, 제 1 층(21), 제 2 층(22), 제 3A 층(25)의 각각의 막 두께를 실시예 4의 것으로부터 변경하고 있다. 구체적으로는, 투광성 기판(1)의 표면에 접하고 규소, 산소 및 질소로 이루어지는 위상 시프트막(2)의 제 1 층(21)(SiON 막 Si:O:N=40 원자%:35 원자%:25 원자%)을 31nm의 두께로 형성했다. 이 제 1 층(21)은, 매엽식 RF 스퍼터 장치 내에 투광성 기판(1)을 설치하고, 규소(Si) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar), 산소(O_2) 및 질소(N_2)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 RF 스퍼터링에 의해 형성했다. 계속해서, 제 1 층(21) 상에, 규소 및 질소로 이루어지는 위상 시프트막(2)의 제 2 층(22)(SiN 막 Si:N=43 원자%:57 원자%)을 38nm의 두께로 형성했다. 이 제 2 층(22)은, 규소(Si) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar) 및 질소(N_2)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 반응성 스퍼터링(RF 스퍼터링)에 의해 형성했다. 계속해서, 제 2 층(22) 상에, 규소 및 산소로 이루어지는 위상 시프트막(2)의 제 3A 층(25)(SiO 막 Si:O=33 원자%:67 원자%)을 20nm의 두께로 형성했다. 이 제 3A 층(25)은, 규소(Si) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar) 및 산소(O_2)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 반응성 스퍼터링(RF 스퍼터링)에 의해 형성했다. 이상의 순서에 의해, 투광성 기판(1)의 표면에 접하고 제 1 층(21), 제 2 층(22), 제 3A 층(25)이 적층된 위상 시프트막(2)을 89nm의 두께로 형성했다.

[0183] 상기 위상 시프트량 측정 장치를 이용하여, 그 위상 시프트막(2)의 ArF 액시머 레이저의 노광광의 파장(파장 193nm)의 광에 대한 투과율과 위상차를 측정한바, 투과율이 35.2%, 위상차가 189.6도(deg)였다. 또한, 이 위

상 시프트막(2)의 제 1 층(21), 제 2 층(22), 제 3A 층(25)의 각 광학 특성을 상기 분광 엘립소미터로 측정한바, 제 1 층(21)은 굴절률 n_1 이 1.990, 소쇠 계수 k_1 이 0.085이며, 제 2 층(22)은, 굴절률 n_2 가 2.595, 소쇠 계수 k_2 가 0.357이고, 제 3A 층(25)은, 굴절률 n_{3A} 가 1.590, 소쇠 계수 k_{3A} 가 0.000이었다. 위상 시프트막(2)의 ArF 엑시머 레이저의 노광광의 파장의 광에 대한 이면 반사율(투광성 기판(1)측의 반사율)은 5.4%이며, 9%를 하회하는 것이었다.

[0184] 이상의 순서에 의해, 투광성 기판(1) 상에, 제 1 층(21), 제 2 층(22), 제 3A 층(25)으로 이루어지는 위상 시프트막(2), 차광막(3) 및 하드 마스크막(4)이 적층된 구조를 구비하는 실시예 5의 마스크 블랭크(130)를 제조했다. 이 위상 시프트막(2)과 차광막(3)의 적층 구조에 있어서의 파장 193nm의 광에 대한 광학 농도(OD)를 측정한바, 3.0 이상이었다.

[0185] [위상 시프트 마스크의 제조]

[0186] 다음으로, 이 실시예 5의 마스크 블랭크(130)를 이용하여, 실시예 1과 마찬가지의 순서로, 실시예 5의 위상 시프트 마스크(230)를 제작했다.

[0187] 이 위상 시프트 마스크(230)에 대해, AIMS193(Carl Zeiss사 제조)를 이용하여, ArF 엑시머 레이저의 노광광으로 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 노광 전사했을 때에 있어서의 노광 전사상의 시뮬레이션을 행하였다. 이 시뮬레이션으로 얻어진 노광 전사상을 검증한바, 설계 사양을 충분히 만족시키고 있었다. 또, 노광 전사상에는, 바코드나 얼라이먼트 마크의 비침에 기인하는 CD 불균일은 보이지 않았다. 이상의 점에서, 이 실시예 5의 마스크 블랭크로부터 제조된 위상 시프트 마스크(230)는, 노광 장치에 세트하여 ArF 엑시머 레이저의 노광광에 의한 노광 전사를 행하여도, 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 대해 고정밀도로 노광 전사를 행할 수 있다고 할 수 있다.

[0188] (실시예 6)

[0189] [마스크 블랭크의 제조]

[0190] 실시예 6의 마스크 블랭크(110)는, 위상 시프트막(2) 이외에 대해서는, 실시예 1과 마찬가지의 순서로 제조했다. 이 실시예 6의 위상 시프트막(2)은, 제 1 층(21), 제 2 층(22)의 막 두께를 실시예 2의 것으로부터 변경하고, 또한, 제 3 층(23)의 조성 및 막 두께를 실시예 2의 것으로부터 변경하고 있다. 구체적으로는, 투광성 기판(1)의 표면에 접하고 규소, 산소 및 질소로 이루어지는 위상 시프트막(2)의 제 1 층(21)(SiON 막 Si:O:N = 40 원자%:35 원자%:25 원자%)을 31nm의 두께로 형성했다. 이 제 1 층(21)은, 매엽식 RF 스퍼터 장치 내에 투광성 기판(1)을 설치하고, 규소(Si) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar), 산소(O₂) 및 질소(N₂)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 RF 스퍼터링에 의해 형성했다. 계속해서, 제 1 층(21) 상에, 규소 및 질소로 이루어지는 위상 시프트막(2)의 제 2 층(22)(SiN 막 Si:N=43 원자%:57 원자%)을 35nm의 두께로 형성했다. 이 제 2 층(22)은, 규소(Si) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar) 및 질소(N₂)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 반응성 스퍼터링(RF 스퍼터링)에 의해 형성했다. 계속해서, 제 2 층(22) 상에, 규소, 산소 및 질소로 이루어지는 위상 시프트막(2)의 제 3 층(23)(Si:O:N=40 원자%:35 원자%:25 원자%)을 17nm의 두께로 형성했다. 이 제 3 층(23)은, 규소(Si) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar), 산소(O₂) 및 질소(N₂)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 반응성 스퍼터링(RF 스퍼터링)에 의해 형성했다. 이상의 순서에 의해, 투광성 기판(1)의 표면에 접하고 제 1 층(21), 제 2 층(22), 제 3 층(23)이 적층된 위상 시프트막(2)을 83nm의 두께로 형성했다.

[0191] 상기 위상 시프트량 측정 장치를 이용하여, 그 위상 시프트막(2)의 ArF 엑시머 레이저의 노광광의 파장(파장 193nm)의 광에 대한 투과율과 위상차를 측정한바, 투과율이 33.4%, 위상차가 191.5도(deg)였다. 또한, 이 위상 시프트막(2)의 제 1 층(21), 제 2 층(22), 제 3 층(23)의 각 광학 특성을 상기 분광 엘립소미터로 측정한바, 제 1 층(21)은 굴절률 n_1 이 1.990, 소쇠 계수 k_1 이 0.085이고, 제 2 층(22)은, 굴절률 n_2 가 2.595, 소쇠 계수 k_2 가 0.357이고, 제 3 층(23)은, 굴절률 n_3 가 1.990, 소쇠 계수 k_3 가 0.085였다. 위상 시프트막(2)의 ArF 엑시머 레이저의 노광광의 파장의 광에 대한 이면 반사율(투광성 기판(1)측의 반사율)은 4.7%이며, 9%를 하회하는 것이었다.

[0192] 이상의 순서에 의해, 투광성 기판(1) 상에, 제 1 층(21), 제 2 층(22), 제 3 층(23)으로 이루어지는 위상 시프트막(2), 차광막(3) 및 하드 마스크막(4)이 적층된 구조를 구비하는 실시예 6의 마스크 블랭크(110)를 제조했다. 이 위상 시프트막(2)과 차광막(3)의 적층 구조에 있어서의 파장 193nm의 광에 대한 광학 농도(OD)를

측정한바, 3.0 이상이었다.

[0193] [위상 시프트 마스크의 제조]

[0194] 다음으로, 이 실시예 6의 마스크 블랭크(110)를 이용하여, 실시예 1과 마찬가지의 순서로, 실시예 6의 위상 시프트 마스크(210)를 제작했다.

[0195] 이 위상 시프트 마스크(210)에 대해, AIMS193(Carl Zeiss사 제조)를 이용하여, ArF 엑시머 레이저의 노광광으로 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 노광 전사했을 때에 있어서의 노광 전사상의 시뮬레이션을 행하였다. 이 시뮬레이션으로 얻어진 노광 전사상을 검증한바, 설계 사양을 충분히 만족시키고 있었다. 또, 노광 전사상에는, 바코드나 얼라이먼트 마크의 비침에 기인하는 CD 불균일은 보이지 않았다. 이상의 점에서, 이 실시예 6의 마스크 블랭크로부터 제조된 위상 시프트 마스크(210)는, 노광 장치에 세트하여 ArF 엑시머 레이저의 노광광에 의한 노광 전사를 행하여도, 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 대해 고정밀도로 노광 전사를 행할 수 있다고 할 수 있다.

[0196] (참고예 1)

[0197] [마스크 블랭크의 제조]

[0198] 참고예 1의 마스크 블랭크는, 별도의 발명의 마스크 블랭크에 관한 참고예이다. 이 참고예 1의 마스크 블랭크는, 위상 시프트막 이외에 대해서는, 실시예 1과 마찬가지의 순서로 제조했다. 이 참고예 1의 위상 시프트막 (2)은, 투광성 기판측부터 제 1B 층, 제 2B 층, 제 3B 층 및 제 4B 층이 순서대로 적층된 구조를 구비한다. 제 1B 층은, 실시예 1의 제 1 층(21)과 동일한 재료를 이용하고 있지만, 막 두께를 31nm로 변경하고 있다. 제 2B 층은, 실시예 1의 제 2 층(22)과 동일한 재료를 이용하고 있지만, 막 두께를 30nm로 변경하고 있다. 제 3B 층은, 실시예 1의 제 1 층(21)과 동일한 재료를 이용하고 있지만, 막 두께를 15nm로 변경하고 있다. 제 4B 층은, 실시예 3의 제 4 층(24)과 동일한 재료를 이용하고 있으며, 막 두께도 3nm로 동일하게 하고 있다. 이상의 순서에 의해, 투광성 기판의 표면에 접하고 제 1B 층, 제 2B 층, 제 3B 층 및 제 4B 층이 적층된 위상 시프트막을 79nm의 두께로 형성했다.

[0199] 상기 위상 시프트량 측정 장치를 이용하여, 그 위상 시프트막의 ArF 엑시머 레이저의 노광광의 파장(파장 193nm)의 광에 대한 투과율과 위상차를 측정한바, 투과율이 38.5%, 위상차가 175.1도(deg)였다. 위상 시프트막(2)의 ArF 엑시머 레이저의 노광광의 파장의 광에 대한 이면 반사율(투광성 기판(1)측의 반사율)은 8.9%이며, 9%를 하회하는 것이었다.

[0200] 이상의 순서에 의해, 투광성 기판 상에, 제 1B 층, 제 2B 층, 제 3B 층 및 제 4B 층으로 이루어지는 위상 시프트막, 차광막 및 하드 마스크막이 적층된 구조를 구비하는 참고예 1의 마스크 블랭크를 제조했다. 이 위상 시프트막과 차광막의 적층 구조에 있어서의 파장 193nm의 광에 대한 광학 농도(OD)를 측정한바, 3.0 이상이었다.

[0201] [위상 시프트 마스크의 제조]

[0202] 다음으로, 이 참고예 1의 마스크 블랭크를 이용하여, 실시예 1과 마찬가지의 순서로, 참고예 1의 위상 시프트 마스크를 제작했다.

[0203] 이 참고예 1의 위상 시프트 마스크에 대해, AIMS193(Carl Zeiss사 제조)를 이용하여, ArF 엑시머 레이저의 노광광으로 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 노광 전사했을 때에 있어서의 노광 전사상의 시뮬레이션을 행하였다. 이 시뮬레이션으로 얻어진 노광 전사상을 검증한바, 설계 사양을 충분히 만족시키고 있었다. 또, 노광 전사상에는, 바코드나 얼라이먼트 마크의 비침에 기인하는 CD 불균일은 보이지 않았다. 이상의 점에서, 이 참고예 1의 마스크 블랭크로부터 제조된 위상 시프트 마스크는, 노광 장치에 세트하여 ArF 엑시머 레이저의 노광광에 의한 노광 전사를 행하여도, 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 대해 고정밀도로 노광 전사를 행할 수 있다고 할 수 있다.

[0204] (비)교예 1)

[0205] [마스크 블랭크의 제조]

[0206] 이 비교예 1의 마스크 블랭크는, 위상 시프트막 이외에 대해서는, 실시예 1과 마찬가지의 순서로 제조했다. 이 비교예 1의 위상 시프트막은, 단층 구조로 변경하고 있다. 구체적으로는, 투광성 기판의 표면에 접하고 규소 및 질소로 이루어지는 위상 시프트막(SiN 막 Si:N=43 원자%:57 원자%)을 60nm의 두께로 형성했다. 이 위상

시프트막은, 매엽식 RF 스퍼터 장치 내에 투광성 기판을 설치하고, 규소(Si) 타겟을 이용하며, 아르곤(Ar) 및 질소(N_2)의 혼합 가스를 스퍼터링 가스로 하는 반응성 스퍼터링(RF 스퍼터링)에 의해 형성했다.

[0207] 이 위상 시프트막의 광학 특성을 상기 분광 엘립소미터로 측정한바, 굴절률 n 이 2.638, 소쇠 계수 k 가 0.363이었다. 단, 이 단층 구조의 위상 시프트막은, 위상차가 178.5도(deg)가 되도록 조정한바, 투과율은 18.6%가 되었다. 위상 시프트막과 차광막의 적층 구조에 있어서의 ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대한 광학 농도(OD)를 3.0 이상이 되도록 하기 위해, 차광막은, 조성 및 광학 특성은 동일하게 했지만, 두께는 55.8nm로 변경했다. 위상 시프트막의 ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대한 이면 반사율은 25.8%이며, 9%를 대폭 상회하는 것이었다.

[0208] 이상의 순서에 의해, 투광성 기판 상에, SiN의 단층 구조로 이루어지는 위상 시프트막, 차광막 및 하드 마스크막이 적층된 구조를 구비하는 비교예 1의 마스크 블랭크를 제조했다. 또한, 이 비교예 1의 마스크 블랭크는, 투광성 기판 상에 위상 시프트막과 차광막이 적층된 상태에 있어서의 ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대한 이면 반사율은 20.0%이며, 9%를 대폭 상회하는 것이었다.

[0209] [위상 시프트 마스크의 제조]

[0210] 다음으로, 이 비교예 1의 마스크 블랭크를 이용하여, 실시예 1과 마찬가지의 순서로, 비교예 1의 위상 시프트 마스크를 제작했다.

[0211] 제작한 비교예 1의 하프톤형 위상 시프트 마스크에 대해, AIMS193(Carl Zeiss사 제조)를 이용하여, ArF 엑시머 레이저의 노광광으로 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 노광 전사했을 때에 있어서의 노광 전사상의 시뮬레이션을 행하였다. 이 시뮬레이션으로 얻어진 노광 전사상을 검증한바, 바코드나 얼라이먼트 마크의 비침에 기인하는 CD 불균일이 보여, 설계 사양을 만족시키고 있지 않았다. 이상의 점에서, 이 비교예 1의 마스크 블랭크로부터 제조된 위상 시프트 마스크는, 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 대해 고정밀도로 노광 전사를 행할 수 없게 된다고 할 수 있다.

[0212] (비교예 2)

[0213] [마스크 블랭크의 제조]

[0214] 이 비교예 2의 마스크 블랭크는, 위상 시프트막 이외에 대해서는, 실시예 1과 마찬가지의 순서로 제조했다. 이 비교예 2의 위상 시프트막은, 제 1 층, 제 2 층, 제 3 층의 막 두께를, 40.0nm, 35.5nm, 3.5nm로 각각 변경하고 있다. 이 위상 시프트막(2)은, 제 2 층의 두께가 제 1 층의 두께보다도 작게 되어 있다. 또한, 위상 시프트막(2)의 제 1 층, 제 2 층, 제 3 층의 각각의 굴절률, 소쇠 계수는 실시예 1과 동일하다.

[0215] 이 위상 시프트막은, 위상차가 176.3도(deg)이고, 투과율은 19.9%가 되었다. 위상 시프트막과 차광막의 적층 구조에 있어서의 광에 대한 광학 농도(OD)를 3.0 이상이 되도록 하기 위해, 차광막은, 조성 및 광학 특성을 실시예 1과 동일하게 했지만, 두께는 55.6nm로 변경했다. 위상 시프트막의 ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대한 이면 반사율은 12.1%이며, 9%를 대폭 상회하는 것이었다.

[0216] 이상의 순서에 의해, 투광성 기판 상에, 위상 시프트막, 차광막 및 하드 마스크막이 적층된 구조를 구비하는 비교예 2의 마스크 블랭크를 제조했다. 또한, 이 비교예 2의 마스크 블랭크는, 투광성 기판 상에 위상 시프트막과 차광막이 적층된 상태에 있어서의 ArF 엑시머 레이저의 노광광에 대한 이면 반사율은 16.9%이며, 9%를 대폭 상회하는 것이었다.

[0217] [위상 시프트 마스크의 제조]

[0218] 다음으로, 이 비교예 2의 마스크 블랭크를 이용하여, 실시예 1과 마찬가지의 순서로, 비교예 2의 위상 시프트 마스크를 제작했다.

[0219] 제작한 비교예 2의 하프톤형 위상 시프트 마스크에 대해, AIMS193(Carl Zeiss사 제조)를 이용하여, ArF 엑시머 레이저의 노광광으로 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 노광 전사했을 때에 있어서의 노광 전사상의 시뮬레이션을 행하였다. 이 시뮬레이션으로 얻어진 노광 전사상을 검증한바, 바코드나 얼라이먼트 마크의 비침에 기인하는 CD 불균일이 보여, 설계 사양을 만족시키고 있지 않았다. 이상의 점에서, 이 비교예 2의 마스크 블랭크로부터 제조된 위상 시프트 마스크는, 반도체 디바이스 상의 레지스트막에 대해 고정밀도로 노광 전사를 행할 수 없게 된다고 할 수 있다.

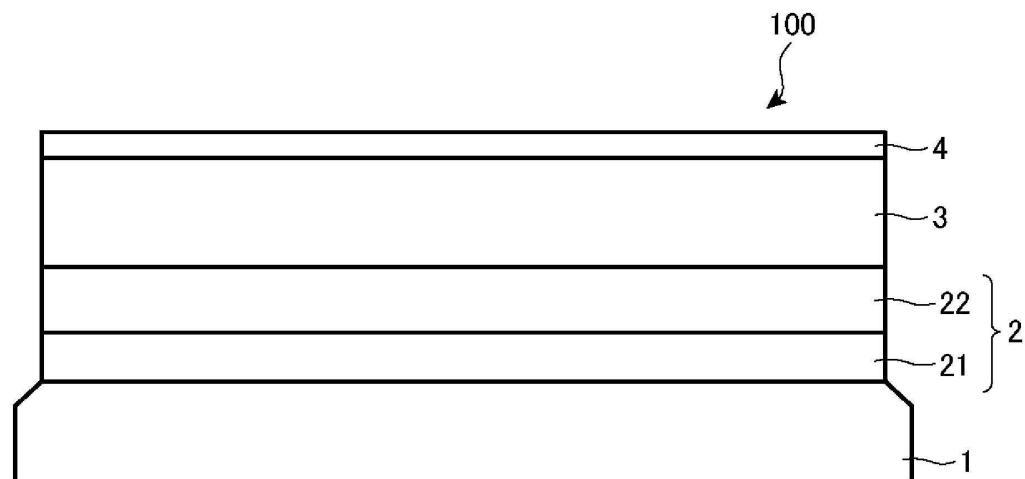
부호의 설명

[0220]

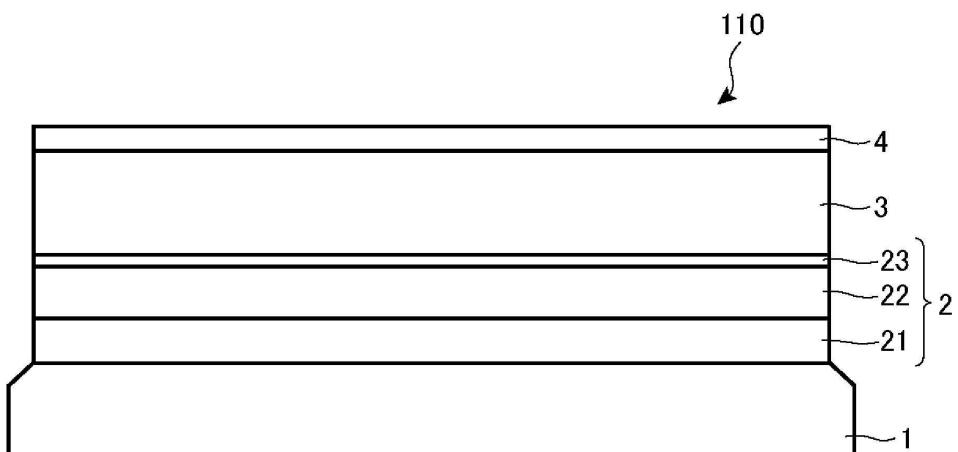
- | | |
|--------------------------------|-----------------|
| 1: 투광성 기판 | 2: 위상 시프트막 |
| 21: 제 1 층 | 22: 제 2 층 |
| 23: 제 3 층 | 24: 제 4 층 |
| 25: 제 3A 층 | 2a: 위상 시프트 패턴 |
| 3: 차광막 | 3a, 3b: 차광 패턴 |
| 4: 하드 마스크막 | 4a: 하드 마스크 패턴 |
| 5a: 제 1 레지스트 패턴 | 6b: 제 2 레지스트 패턴 |
| 100, 110, 120, 130: 마스크 블랭크 | |
| 200, 210, 220, 230: 위상 시프트 마스크 | |

도면

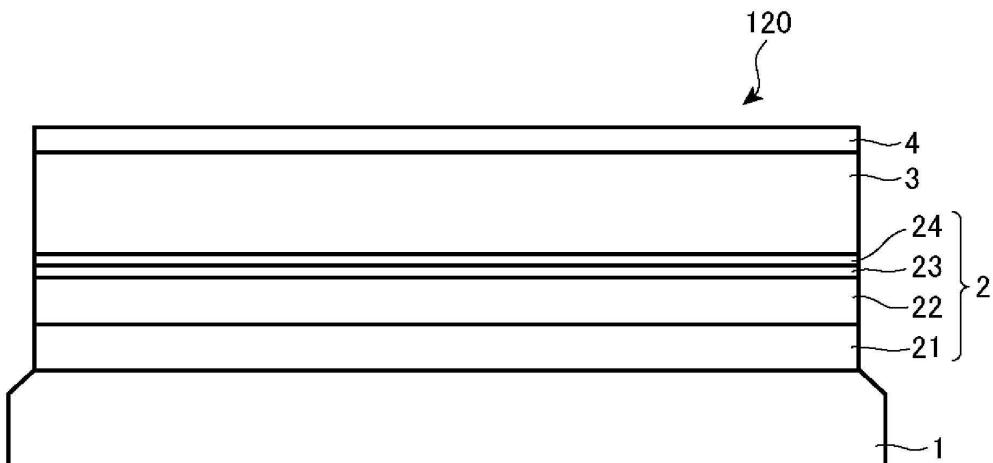
도면1



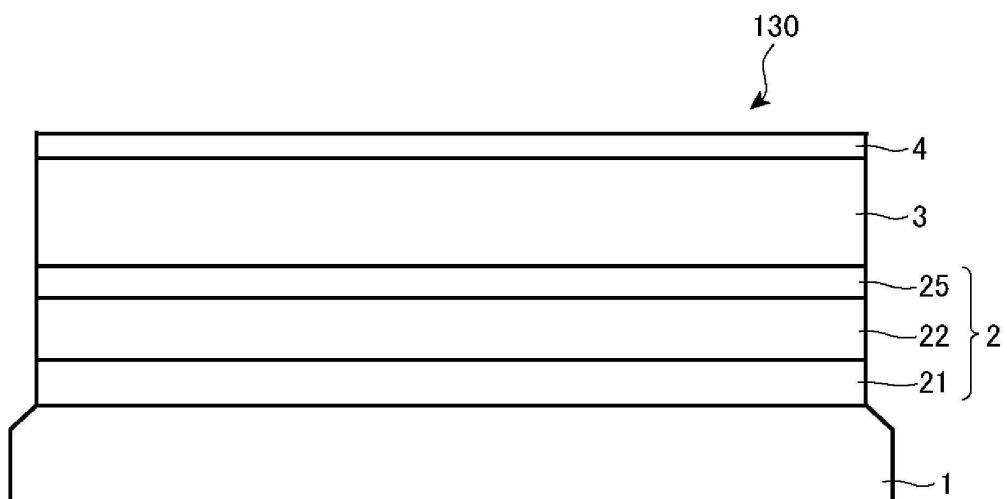
도면2



도면3



도면4



도면5

