



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년02월21일

(11) 등록번호 10-2638753

(24) 등록일자 2024년02월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03F 1/26 (2012.01) *G03F 7/00* (2006.01)
G03F 7/20 (2006.01)

(52) CPC특허분류
G03F 1/26 (2013.01)
G03F 7/001 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0030899

(22) 출원일자 2018년03월16일

심사청구일자 2021년01월26일

(65) 공개번호 10-2018-0108459

(43) 공개일자 2018년10월04일

(30) 우선권주장

JP-P-2017-059685 2017년03월24일 일본(JP)

(56) 선행기술조사문헌

JP2017010059 A*

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 7 항

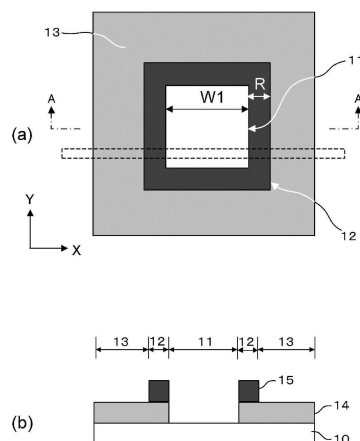
심사관 : 김대선

(54) 발명의 명칭 표시 장치 제조용 포토마스크, 및 표시 장치의 제조 방법

(57) 요약

표시 장치의 제조에 적용되는 노광 조건에 있어서, 우수한 해상성과 생산 효율을 양립할 수 있는 포토마스크를 제공한다. 포토마스크가 구비하는 전사용 패턴이, 피전사체 상에 홀을 형성하기 위한 홀 패턴으로서, 투명 기판이 노출된, 직경 $W1(\mu m)$ 의 투광부와, 투광부를 둘러싸는, 폭 $R(\mu m)$ 의 차광 림부와, 차광 림부를 둘러싸는 위상 시프트부를 갖는다. 위상 시프트부와 투광부의, 노광광의 대표 파장의 광에 대한 위상차가 대략 180도이다. 투광부의 편측에 위치하는 위상 시프트부를 투과하는 노광광이 피전사체 상에 형성하는 광 강도 분포에 있어서, 위상 시프트부와 차광 림부의 경계 위치로부터 차광 림부측을 향하여, 제1 골의 극소값점 B1까지의 거리를 $d1(\mu m)$ 로 하고, 제2 골의 극소값점 B2까지의 거리를 $d2(\mu m)$ 로 할 때, $(d1-0.5 \times W1) \leq R \leq (d2-0.5 \times W1)$ 의 조건을 만족한다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

G03F 7/2002 (2013.01)

G03F 7/70275 (2023.05)

G03F 7/70566 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

JP2001296647 A*

KR1020170003412 A*

KR1020160102904 A

KR1020140093215 A

KR1020060002043 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

투명 기관 상에 전사용 패턴을 구비한, 표시 장치 제조용 포토마스크로서,

상기 전사용 패턴은, 개구수(NA)가 0.08 내지 0.20인, 등배의 투영 노광 장치를 사용한 노광에 의해, 피전사체 상에 고립 홀을 형성하기 위한 홀 패턴이며,

상기 투명 기관이 노출된, 직경 $W1(\mu m)$ 의 투광부와,

상기 투광부를 둘러싸는, 폭 $R(\mu m)$ 의 차광 림부와,

상기 차광 림부를 둘러싸는, 위상 시프트부를 갖고,

상기 위상 시프트부와 상기 투광부의, 노광광의 대표 파장의 광에 대한 위상차가 120도 내지 240도이며,

상기 차광 림부는, 상기 노광광에 대한 광학 농도가 3.0 이상이고,

상기 노광광은 i선, h선, g선 중 어느 하나를 포함하는 광 또는 i선, h선, g선의 전부를 포함하는 브로드 파장 광이며,

상기 대표 파장은 i선, h선, g선 중 어느 하나의 파장이고,

상기 투광부의 편측에 위치하는 상기 위상 시프트부를 투과하는 노광광이 피전사체 상에 형성하는 광 강도 분포에 있어서, 상기 위상 시프트부와 상기 차광 림부의 경계 위치로부터 상기 차광 림부측을 향하고, 제1 골의 극소값점 B1까지의 거리를 $d1(\mu m)$ 로 하고, 제2 골의 극소값점 B2까지의 거리를 $d2(\mu m)$ 로 할 때,

$$(d1-0.5 \times W1) \leq R \leq (d2-0.5 \times W1)$$

인 것을 특징으로 하는, 포토마스크.

청구항 2

투명 기관 상에 전사용 패턴을 구비한, 표시 장치 제조용 포토마스크로서,

상기 전사용 패턴은, 개구수(NA)가 0.08 내지 0.20인, 등배의 투영 노광 장치를 사용한 노광에 의해, 피전사체 상에 고립 홀을 형성하기 위한 홀 패턴이며,

상기 투명 기관이 노출된, 직경 $W1(\mu m)$ 의 투광부와,

상기 투광부를 둘러싸는, 폭 $R(\mu m)$ 의 차광 림부와,

상기 차광 림부를 둘러싸는, 위상 시프트부를 갖고,

상기 위상 시프트부와 상기 투광부의, 노광광의 대표 파장의 광에 대한 위상차가 120도 내지 240도이며,

상기 차광 림부는, 상기 노광광에 대한 광학 농도가 3.0 이상이고,

상기 노광광은 i선, h선, g선 중 어느 하나를 포함하는 광 또는 i선, h선, g선의 전부를 포함하는 브로드 파장 광이며,

상기 대표 파장은 i선, h선, g선 중 어느 하나의 파장이고,

상기 투광부의 편측에 위치하는 상기 위상 시프트부를 투과하는 노광광이 피전사체 상에 형성하는 광 강도 분포에 있어서, 상기 위상 시프트부와 상기 차광 림부의 경계 위치로부터 상기 차광 림부측을 향하여, 제1 산의 극대값점 P에 있어서의 광 강도의 1/2을 나타내는 2개의 점 중, 상기 제1 산의 상기 차광 림부에 가까운 측의 경사부에 있는 점을 Q1, 상기 차광 림부로부터 먼 측의 경사부에 있는 점을 Q2로 하고, 상기 경계 위치로부터 Q1까지의 거리를 $d3$ 으로 하며, 상기 경계 위치로부터 Q2까지의 거리를 $d4$ 로 할 때,

$$(d3-0.5 \times W1) \leq R \leq (d4-0.5 \times W1)$$

인 것을 특징으로 하는, 포토마스크.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 전사용 패턴은, 상기 피전사체 상에 직경 W_2 (단 $W_2 \leq W_1$)의 홀을 형성하기 위한 홀 패턴인 것을 특징으로 하는, 포토마스크.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 위상 시프트부는, 상기 대표 파장의 광에 대해서, 2 내지 10%의 투과율을 갖는 것을 특징으로 하는, 포토마스크.

청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서,

i선, h선, 또는 g선을 포함하는 노광 광원을 갖는 등배(等倍)의 투영 노광 장치를 사용하여, 상기 전사용 패턴을 노광하고, 피전사체 상에 직경 W_2 가 0.8 내지 $3.0(\mu\text{m})$ 의 홀을 형성하는 데 사용하는, 포토마스크.

청구항 6

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 위상 시프트부는, 상기 투명 기관 상에 위상 시프트막이 형성되어 이루어지고,

상기 위상 시프트막이 갖는, 위상 시프트량의 파장 의존성은, i선, h선 및 g선에 대한 변동폭이 40도 이내인 것을 특징으로 하는, 포토마스크.

청구항 7

표시 장치의 제조 방법으로서,

제1항 또는 제2항에 기재된 포토마스크를 준비하는 공정과,

i선, h선, 또는 g선을 포함하는 노광 광원을 갖는 등배(等倍)의 투영 노광 장치를 사용하여, 상기 전사용 패턴을 노광하고, 피전사체 상에 직경 W_2 가 0.8 내지 $3.0(\mu\text{m})$ 의 홀을 형성하는 공정을 포함하는, 표시 장치의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 전자 디바이스를 제조하기 위한 포토마스크로서, 특히 플랫 패널 디스플레이(FPD) 제조용에 적합한 포토마스크와, 그것을 사용한 표시 장치의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 반도체 장치를 제조하기 위한 포토마스크로서, 하프톤형 위상 시프트 마스크가 알려져 있다. 도 11은, 종래 형태의 하프톤형 위상 시프트 마스크의 구성예를 나타내는 것으로, (a)는 평면 모식도, (b)는 (a)의 B-B 위치의 단면 모식도이다.

[0003] 도시한 하프톤형 위상 시프트 마스크에서는, 투명 기관(100) 상에 위상 시프트막(101)이 형성됨과 함께, 이 위상 시프트막(101)이 패터닝되어 홀 패턴이 형성되어 있다. 홀 패턴은, 투명 기관(100)이 노출된 투광부(103)를 포함한다. 홀 패턴의 주위는 위상 시프트부(104)가 둘러싸고 있다. 위상 시프트부(104)는, 투명 기관(100) 상에 형성된 위상 시프트막(101)을 포함한다.

[0004] 위상 시프트부(104)의 노광광의 투과율은, 예를 들어 6% 정도로 하고, 위상 시프트량은, 180도 정도로 한다. 이때, 투광부(103)를 투과한 광과, 위상 시프트부(104)를 투과한 광이 서로 역위상으로 된다. 이들 역위상의

광은, 투광부(103)와 위상 시프트부(104)의 경계 부근에서 간섭하고, 해상 성능을 향상시키는 효과를 발휘한다. 이러한 하프톤형 위상 시프트 마스크는, 소위 바이너리 마스크와 비교하여, 해상 성능뿐만 아니라 초점 심도(DOF)에 대해서도 개선 효과를 발휘하는 것이 알려져 있다.

선행기술문헌

비특허문헌

- [0005] (비특허문헌 0001) 다나베 이사오, 호우간 모리히사, 다케하나 요이치, 「입문 포토마스크 기술」, 가부시키가 이샤 코교 초사카이, 2006년 12월 15일, p.245

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 액정 표시 장치(liquid crystal display)나 유기 EL(Organic Electro Luminescence) 표시 장치 등을 포함하는 표시 장치에 있어서는, 더 밝으면서도 전력 절약임과 동시에, 고정밀, 고속 표시, 광시야각과 같은 표시 성능의 향상이 요망되고 있다.
- [0007] 예를 들어, 상기 표시 장치에 사용되는 박막 트랜지스터(Thin Film Transistor, 「TFT」)로 말하자면, TFT를 구성하는 복수의 패턴 중, 층간 절연막에 형성된 콘택트 홀이, 확실하게 상층의 패턴과 하층의 패턴을 접속시키는 작용을 갖지 않으면 올바른 동작이 보증되지 않는다. 그 한편, 예를 들어 액정 표시 장치의 개구율을 최대한 크게 하여, 밝고, 전력 절약의 표시 장치로 하기 위해서는, 콘택트 홀의 직경이 충분히 작은 것이 요구되는 등, 표시 장치의 고밀도화의 요구에 수반하여, 홀 패턴의 직경도 미세화(예를 들어 $3\mu\text{m}$ 미만)가 요망되고 있다. 예를 들어, 직경이 $0.8\mu\text{m}$ 이상 $2.5\mu\text{m}$ 이하, 나아가, 직경이 $2.0\mu\text{m}$ 이하의 홀 패턴이 필요해지고, 구체적으로는 0.8 내지 $1.8\mu\text{m}$ 의 직경을 갖는 패턴의 형성도 요망된다고 생각된다.
- [0008] 그런데, 표시 장치에 비하여, 집적도가 높고, 패턴의 미세화가 현저하게 진행된 반도체 장치(LSI) 제조용 포토마스크의 분야에서는, 높은 해상성을 얻기 위해서, 노광 장치에는 높은 개구수 NA(예를 들어 0.2 를 초과함)의 광학계를 적용하고, 노광광의 단파장화가 진행된 경위가 있다. 그 결과, 이 분야에서는, KrF나 ArF의 엑시머레이저(각각, 248nm , 193nm 의 단일 파장)가 다용되게 되었다.
- [0009] 그 한편, 표시 장치 제조용 리소그래피 분야에서는, 해상성 향상을 위해 상기와 같은 방법이 적용되는 것은, 일반적이지 않다. 예를 들어 이 분야에서 사용되는 노광 장치가 갖는 광학계의 NA(개구수)는, 0.08 내지 0.12 정도이고, 이후를 전망해도, 0.08 내지 0.20 정도가 적용되는 환경에 있다. 또한, 노광 광원으로서 i선, h선, 또는 g선이 다용되고, 주로 이들을 포함한 브로드 파장 광원을 사용함으로써, 대면적을 조사하기 위한 광량을 얻어, 생산 효율이나 비용을 중시하는 경향이 강하다.
- [0010] 또한, 표시 장치의 제조에 있어서도, 상기와 같이 패턴의 미세화 요청이 높아져 있다. 여기서, 반도체 장치 제조용 기술을, 표시 장치의 제조에 그대로 적용하는 것에는, 몇 가지 문제가 있다. 예를 들어, 고 NA(개구수)를 갖는 고해상도의 노광 장치로의 전환에는, 큰 투자가 필요하게 되어, 표시 장치의 가격과의 정합성이 얻어지지 않는다. 또한, 노광 파장의 변경(ArF 엑시머 레이저와 같은 단파장을 사용함)에 대해서는, 역시 상당한 투자를 필요로 하는 점에서 적당하지 못하다. 즉, 종래에 없던 패턴의 미세화를 추구하는 한편, 기존의 장점인 비용이나 효율을 놓칠 수는 없다는 점이, 표시 장치 제조용 포토마스크의 문제점으로 되어 있다.
- [0011] 본 발명자의 검토에 의하면, 상기 도 11에 도시한 하프톤형 위상 시프트 마스크를 표시 장치 제조용 포토마스크로서 사용할 때, 후술하는 과제가 있어, 더욱 개선의 여지가 있다는 점이 밝혀졌다.
- [0012] 포토마스크에 대해서 요망되는 성능에는, 이하의 (1) 내지 (3)의 요소가 있다.
- [0013] (1) 초점 심도(DOF)
- [0014] 노광 시에 디포커스가 발생한 경우에, 목표 CD에 대해서, CD의 변동이 소정 범위 내(예를 들어 $\pm 10\%$ 이내)가 되기 위한 초점 심도(DOF)의 수치는 높은 것이 바람직하다. DOF의 수치가 높으면, 피전사체의 평탄도의 영향을 받기 어려워, 안정적으로 패턴 전사를 행할 수 있다. 여기서 CD란, Critical Dimension의 약어이며, 패턴 폭의 의미로 사용한다. 표시 장치 제조용 포토마스크는, 반도체 장치 제조용 포토마스크와 비교하여, 사이즈가

크고, 또한, 피전사체(디스플레이 패널 기관 등)도 대 사이즈이며, 모두 평탄성을 완벽한 것으로 하는 것이 곤란하기 때문에, DOF의 수치를 높이는 포토마스크의 의의가 크다.

(2) 마스크 오차 증대 계수(MEEF: Mask Error Enhancement Factor)

이것은, 포토마스크 상의 CD 오차와 피전사체 상에 형성되는 패턴의 CD 오차의 비율을 나타내는 수치이다. 일반적으로, 패턴이 미세화할수록 포토마스크 상의 CD 오차가 피전사체 상에서 확대되기 쉽지만, 최대한 이것을 억제하여 MEEF를 낮게 함으로써, 피전사체 상에 형성되는 패턴의 CD 정밀도를 높일 수 있다. 표시 장치의 사양이 진화되고, 패턴의 미세화가 요구됨과 함께, 노광 장치의 해상 한계에 가까운 치수의 패턴을 갖는 포토마스크가 필요한 점에서, 표시 장치 제조용 포토마스크에 있어서도, 이후 MEEF가 중요시될 가능성이 높다.

(3) Eop

이것은, 목표 치수의 패턴을 피전사체 상에 형성하기 위해 필요한 노광 광량이다. 표시 장치의 제조에 있어서는, 포토마스크 기관의 사이즈가 크다(예를 들어 주 표면이 한 변 300 내지 2000mm인 사각형). 이로 인해, Eop의 수치가 높은 포토마스크를 사용하면, 스캔 노광의 속도를 내릴 필요가 생겨, 생산 효율이 저해된다. 그러므로, 표시 장치를 제조할 때에는, Eop의 수치를 저감시킬 수 있는 포토마스크를 사용하는 것이 요망된다.

본 발명자의 검토에 의하면, 상기 도 11에 도시한 하프톤형 위상 시프트 마스크에서는, DOF의 개선 효과가 얻어지는 한편, Eop나 MEEF의 점에서는, 개선이 더 요망된다는 사실을 알게 되었다. 구체적으로는, 상기 하프톤형 위상 시프트 마스크를 사용하면, 광 강도의 손실에 의해 필요 광량(Dose)이 증가하기 때문에, Eop가 대폭 증가하고, 이에 수반하여 MEEF도 커져 버리는 경향이 있어, 표시 장치 제조용 포토마스크로서는 과제가 남는다는 사실을 알게 되었다.

따라서 본 발명은, 표시 장치의 제조에 적용되는 노광 조건에 있어서, 우수한 해상성과 생산 효율을 양립할 수 있는 포토마스크를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

(제1 형태)

본 발명의 제1 형태는,

투명 기관 상에 전사용 패턴을 구비한, 표시 장치 제조용 포토마스크로서,

상기 전사용 패턴은, 피전사체 상에 홀을 형성하기 위한 홀 패턴이며,

상기 투명 기관이 노출된, 직경 $W1(\mu m)$ 의 투광부와,

상기 투광부를 둘러싸는, 폭 $R(\mu m)$ 의 차광 림부와,

상기 차광 림부를 둘러싸는, 위상 시프트부를 포함하고,

상기 위상 시프트부와 상기 투광부의, 노광광의 대표 파장의 광에 대한 위상차가 대략 180도이며,

상기 투광부의 편측에 위치하는 상기 위상 시프트부를 투과하는 노광광이 피전사체 상에 형성하는 광 강도 분포에 있어서, 상기 위상 시프트부와 상기 차광 림부의 경계 위치로부터 상기 차광 림부측을 향하여, 제1 골의 극소값점 B1까지의 거리를 $d1(\mu m)$ 로 하고, 제2 골의 극소값점 B2까지의 거리를 $d2(\mu m)$ 로 할 때,

$$(d1-0.5 \times W1) \leq R \leq (d2-0.5 \times W1)$$

인 것을 특징으로 하는, 포토마스크이다.

(제2 형태)

본 발명의 제2 형태는,

투명 기관 상에 전사용 패턴을 구비한, 표시 장치 제조용 포토마스크로서,

상기 전사용 패턴은, 피전사체 상에 홀을 형성하기 위한 홀 패턴이며,

상기 투명 기관이 노출된, 직경 $W1(\mu m)$ 의 투광부와,

상기 투광부를 둘러싸는, 폭 $R(\mu m)$ 의 차광 림부와,

- [0038] 상기 차광 림부를 둘러싸는, 위상 시프트부를 포함하고,
- [0039] 상기 위상 시프트부와 상기 투광부의, 노광광의 대표 파장의 광에 대한 위상차가 대략 180도이며,
- [0040] 상기 투광부의 편측에 위치하는 상기 위상 시프트부를 투과하는 노광광이 피전사체 상에 형성하는 광 강도 분포에 있어서, 상기 위상 시프트부와 상기 차광 림부의 경계 위치로부터 상기 차광 림부측을 향하여, 제1 산의 극대값점 P에 있어서의 광 강도의 1/2을 나타내는 2개의 점 중, 상기 제1 산의 상기 차광 림부에 가까운 측의 경사부에 있는 점을 Q1, 상기 차광 림부로부터 먼 측의 경사부에 있는 점을 Q2로 하고, 상기 경계 위치로부터 Q1까지의 거리를 d3으로 하며, 상기 경계 위치로부터 Q2까지의 거리를 d4로 할 때,
- [0041] $(d3-0.5 \times W1) \leq R \leq (d4-0.5 \times W1)$
- [0042] 인 것을 특징으로 하는, 포토마스크이다.
- [0043] (제3 형태)
- [0044] 본 발명의 제3 형태는,
- [0045] 상기 전사용 패턴은, 상기 피전사체 상에, 직경 W2(단 $W2 \leq W1$)의 홀을 형성하기 위한 홀 패턴인 것을 특징으로 하는, 상기 제1 형태 또는 제2 형태에 기재된 포토마스크이다.
- [0046] (제4 형태)
- [0047] 본 발명의 제4 형태는,
- [0048] 상기 위상 시프트부는, 상기 대표 파장의 광에 대해서, 2 내지 10%의 투과율을 갖는 것을 특징으로 하는, 상기 제1 내지 제3 형태 중 어느 하나에 기재된 포토마스크이다.
- [0049] (제5 형태)
- [0050] 본 발명의 제5 형태는,
- [0051] 개구수(NA)가 0.08 이상, 0.20 미만이고, i선, h선, 또는 g선을 포함하는 노광 광원을 갖는 등배의 투영 노광 장치를 사용하여, 상기 전사용 패턴을 노광하고, 피전사체 상에 직경 W2가 0.8 내지 3.0(μm)의 홀을 형성하는데 사용하는, 상기 제1 내지 제4 형태 중 어느 하나에 기재된 포토마스크이다.
- [0052] (제6 형태)
- [0053] 상기 제1 내지 제4 형태 중 어느 하나에 기재된 포토마스크를 준비하는 공정과,
- [0054] 개구수(NA)가 0.08 내지 0.20이며, i선, h선, 또는 g선을 포함하는 노광 광원을 갖는 등배의 투영 노광 장치를 사용하여, 상기 전사용 패턴을 노광하고, 피전사체 상에 직경 W2가 0.8 내지 3.0(μm)의 홀을 형성하는 공정을 포함하는, 표시 장치의 제조 방법이다.

발명의 효과

- [0055] 본 발명에 의하면, 표시 장치의 제조에 적용되는 노광 조건에 있어서, 우수한 해상성과 생산 효율을 양립할 수 있는 포토마스크를 제공하는 것이 가능해진다.

도면의 간단한 설명

- [0056] 도 1의 (a)는, 종래 형태의 하프톤형 위상 시프트 마스크의 단면을 나타내는 도면이며, (b)는, (a)에 있어서 투광부의 좌측의 위상 시프트부를 투과한 광의 진폭을 나타내는 도면이다.
- 도 2는, 도 1의 (b)에 있어서, 광의 위상이 (+)측으로 바뀐 산의 부분을, 피전사체 상에 있어서의 투광부에 대응하는 위치에 위치시키기 위한 수단에 대한 고찰을 설명하는 도면이다.
- 도 3은, 본 발명의 실시 형태에 따른 포토마스크의 구성예를 나타내는 것으로, (a)는 평면 모식도, (b)는 (a)의 A-A 위치의 단면 모식도이다.
- 도 4의 (a)는, 본 발명의 실시 형태에 따른 포토마스크에 있어서 차광 림부의 폭을 좁게 설정한 경우의 전사용 패턴의 일부를 나타내는 평면도이며, (b)는, 그 경우에 포토마스크의 좌측의 위상 시프트부를 투과하는 투과광이 피전사체 상에 형성하는 광 강도 분포를 나타내는 도면(그의 1)이다.

도 5의 (a)는, 본 발명의 실시 형태에 따른 포토마스크에 있어서 차광 림부의 폭을 넓게 설정한 경우의 전사용 패턴의 일부를 나타내는 평면도이며, (b)는, 그 경우에 포토마스크의 좌측의 위상 시프트부를 투과하는 투과광이 피전사체 상에 형성하는 광 강도 분포를 나타내는 도면(그의 1)이다.

도 6의 (a)는, 본 발명의 실시 형태에 따른 포토마스크에 있어서 차광 림부의 폭을 좁게 설정한 경우의 전사용 패턴의 일부를 나타내는 평면도이며, (b)는, 그 경우에 포토마스크의 좌측의 위상 시프트부를 투과하는 투과광이 피전사체 상에 형성하는 광 강도 분포를 나타내는 도면(그의 2)이다.

도 7의 (a)는, 본 발명의 실시 형태에 따른 포토마스크에 있어서 차광 림부의 폭을 넓게 설정한 경우의 전사용 패턴의 일부를 나타내는 평면도이며, (b)는, 그 경우에 포토마스크의 좌측의 위상 시프트부를 투과하는 투과광이 피전사체 상에 형성하는 광 강도 분포를 나타내는 도면(그의 2)이다.

도 8은, MEEF에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 9는, Eop에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 10은 본 실시 형태의 포토마스크(림 폭 $R=1.0\mu m$)를, 노광 장치에 의해 노광했을 때, 피전사체 상에 형성되는 광학 상(즉, 투과광의 광 강도 분포)을, 동일한 직경의 홀 패턴을 갖는 바이너리 마스크(Binary)에 의한 광학 상, 및 종래 형태의 하프톤형 위상 시프트 마스크(Att. PSM)에 의한 광학 상과 비교한 도면이다.

도 11은, 종래 형태의 하프톤형 위상 시프트 마스크의 구성예를 나타내는 것으로, (a)는 평면 모식도, (b)는 (a)의 B-B 위치의 단면 모식도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0057] 도 1의 (a)는, 종래 형태의 하프톤형 위상 시프트 마스크의 단면을 나타내는 도면이며, (b)는, (a)에 있어서 투광부의 편측 위상 시프트부를 투과한 광의 진폭을 나타내는 도면이다. 또한, 도 1의 (b)는 투광부(103)의 좌측에 위치하는 위상 시프트부(104)를 투과한 광의 진폭을 나타내고 있다. 투광부(103)의 우측에 위치하는 위상 시프트부(104)를 투과한 광은, 투광부(103)의 중심에 대해서 도 1의 (b)의 투과광 진폭과는 좌우 대칭인 투과광 진폭을 나타내지만, 여기에서는 도시를 생략하였다.

[0058] 여기서, 투광부(103)를 투과하는 광(도시생략)의 위상을 (+) 위상으로 할 때, 위상 시프트부(104)를 투과하고, 피전사체 상의, 투광부(103)의 좌측 경계로부터 중심 부근에 대응하는 영역에 도달하는 광은, (-) 위상으로 된다. 그리고 이 광은, 투광부(103)를 투과하는 (+) 위상의 광과 간섭한다. 이로 인해, 투광부(103)를 투과하는 광의 강도는 상대적으로 약해질 수 있다. 즉, (+) 위상의 광과 (-) 위상의 광 간섭에 의해, 투광부(103)를 투과해서 피전사체 상에 도달하는 광의 강도가 감소한다. 이 현상은, 투광부(103)의 치수가 미세화하면 현저해진다.

[0059] 단, 위상 시프트부(104)를 투과하는 광의 진폭 커브는, 상기 경계 위치로부터 더욱 투광부(103)측(도면 중, 우측)에 있어서, 그 위상이 (+)측으로 바뀌고, 광 진폭의 극대값점을 갖는 산을 형성한다. 그래서 본 발명자는, 이 산의 부분을 형성하는 (+) 위상의 투과광을 이용함으로써, 상기한 광 강도 감소의 작용을 억제하고, 오히려 광 강도를 증대시켜 Eop나 MEEF의 개선 효과를 얻는 가능성을 검토하였다.

[0060] 도 2는, 상기 도 1의 (b)에 있어서, 광의 위상이 (+)측으로 바뀐 산의 부분을, 피전사체 상에 있어서의 투광부에 대응하는 위치에 위치시키기 위한 수단에 대하여 행한 고찰을 설명하는 도면이다. 여기에서는, 위상 시프트부(104)의 투광부(103)측의 에지 부근에, 차광막(106)에 의해 차광 림부(105)를 형성하고 있다. 이렇게 차광 림부(105)를 형성하면, 차광막(106)으로 덮인 위상 시프트막(101)의 부분은, 위상 시프트부(104)로서 기능하지 않는다. 이로 인해, 위상 시프트부(104)의 투광부(103)측의 에지는, 차광 림부(105)를 형성하지 않는 경우에 비하여, 보다 좌측으로 시프트한다. 이것은, 위상 시프트부(104)에 의한 광의 진폭 커브를, 좌측으로 시프트시키는 것을 의미한다.

[0061] 이에 의해, 위상 시프트부(104)를 투과한 광의 진폭 커브 중, 그 위상이 (+)측으로 바뀐 산의 부분이 좌측으로 시프트한다. 이로 인해, 그 산을 형성하는 진폭 커브의 극대값점 부근을, 투광부(103)의 폭 치수 내(바람직하게는, 투광부(103)의 중심 위치 또는 그 근방)에 위치시킬 수 있다. 이와 같이 하면, 노광광을 보다 효율적으로 이용하는 것이 가능해진다. 본 발명은, 이러한 본 발명자의 지견에 기초하여 이루어진 것이다.

[0062] <실시 형태의 포토마스크의 구성>

- [0063] 도 3은, 본 발명의 실시 형태에 따른 포토마스크의 구성예를 나타내는 것으로, (a)는 평면 모식도, (b)는 (a)의 A-A 위치의 단면 모식도이다.
- [0064] 도시한 포토마스크는, 투명 기판(10) 상에 전사용 패턴을 구비한, 표시 장치 제조용 포토마스크이다. 이 전사용 패턴은, 피전사체 상에 홀을 형성하기 위한 홀 패턴으로서, 투명 기판(10)이 노출된, 직경 $W1(\mu m)$ 의 투광부(11)와, 투광부(11)를 둘러싸는, 폭 $R(\mu m)$ 의 차광 림부(12)와, 차광 림부(12)를 둘러싸는 위상 시프트부(13)를 갖는다. 투명 기판(10)은, 투명한 유리 등으로 구성되어 있다.
- [0065] 차광 림부(12)에는, 투명 기판(10)(도 3에서는 위상 시프트막(14)) 상에 차광막(15)이 형성되어 있다. 차광막(15)의 광학 농도(OD)는, 바람직하게는 $OD \geq 2$ 이며, 보다 바람직하게는, $OD \geq 3$ 이다. 차광 림부(12)는, 차광막(15)의 단층이어도 되며, 위상 시프트막(14)과 차광막(15)의 적층막이어도 된다. 위상 시프트막(14)과 차광막(15)의 적층 순(투명 기판(10)의 두께 방향의 위치 관계)에 특별히 제한은 없다. 차광막(15)의 재료는, Cr 또는 그 화합물(산화물, 질화물, 탄화물, 산화질화물, 또는 산화질화탄화물)이어도 되고, 또는, Mo, W, Ta, Ti를 포함하는 금속 화합물이어도 된다. 금속 화합물로서는, 금속 실리사이드, 또는 해당 실리사이드의 상기 화합물이어도 된다. 또한, 차광막(15)의 재료는, 습식 에칭이 가능하며, 또한, 위상 시프트막(14)의 재료(후술)에 대해서 에칭 선택성을 갖는 재료가 바람직하다. 또한, 차광막(15)이나 위상 시프트막(14)은, 그 표면측, 및/또는 이면측에, 광의 반사를 제어하는 반사 제어층을 형성한 것이어도 된다.
- [0066] 위상 시프트부(13)는, 투명 기판(10) 상에 위상 시프트막(14)을 형성하여 이루어지는 것이다. 위상 시프트막(14)은, Cr 또는 그 화합물(산화물, 질화물, 탄화물, 산화질화물, 또는 산화질화탄화물)이어도 되고, 또는, Mo, W, Ta, Ti를 포함하는 금속 화합물이어도 된다. 금속 화합물로서는, 금속의 실리사이드, 또는 해당 실리사이드의 상기 화합물이어도 된다. 위상 시프트막(14)의 재료로서는, Zr, Nb, Hf, Ta, Mo, Ti 중 어느 하나와 Si를 포함하는 재료, 또는 이들 재료의 산화물, 질화물, 산화질화물, 탄화물, 또는 산화질화탄화물을 포함하는 재료를 포함하는 것으로 할 수 있으며, 나아가 Si의 상기 화합물이어도 된다. 또한, 위상 시프트막(14)의 재료는, 습식 에칭이 가능한 재료가 바람직하다. 또한, 도 3의 포토마스크에 있어서, 습식 에칭을 위해서 위상 시프트막(14)은, 투광부측의 단면이, 차광막(15)과의 계면 근방에서 깊은 사이드 에칭을 발생하지 않는 것이 바람직하다. 구체적으로는, 사이드 에칭이 발생하여도, 그 폭이 위상 시프트막(14)의 막 두께를 초과하지 않도록, 위상 시프트막(14)의 재료나 막질을 선택하는 것이 바람직하다.
- [0067] 여기서, 위상 시프트부(13)와 투광부(11)의, 노광광의 대표 파장의 광에 대한 위상차 $\phi 1$ 은, 대략 180도이다. 대략 180도는, 120 내지 240도를 의미한다. 상기 위상차 $\phi 1$ 은, 바람직하게는 150 내지 210도이다. 또한, 위상 시프트막(14)이 갖는, 위상 시프트량의 파장 의존성은, i선, h선 및 g선에 대해서, 변동폭이 40도 이내인 것이 바람직하다.
- [0068] 차광 림부(12)는, 노광광의 대표 파장의 광을 실질적으로 투과하지 않는 차광막(15)으로서, 광학 농도 $OD \geq 2$ (바람직하게는 $OD \geq 3$)의 막을, 투명 기판(10)(도 3에서는 위상 시프트막(14)) 상에 형성하여 이루어지는 것이다. 또한, 위상 시프트부(13)는, 노광광의 대표 파장의 광에 대해서, 2 내지 10%의 투과율 $T1(\%)$ 을 갖는 것이 바람직하다. 상기 투과율 $T1$ 은, 보다 바람직하게는 3 내지 8%, 더욱 바람직하게는, $3 < T1 < 6$ 이다. 상기 투과율 $T1$ 이 과도하게 높은 경우에는, 피전사체 상에 형성되는 레지스트 패턴에 있어서, 잔막 두께가 손상되는 문제가 발생하기 쉽고, 또한, 상기 투과율 $T1$ 이 너무 낮으면, 이하에 설명하는 반전 위상의 투과광 강도 커브의 기여가 얻기 어려워진다. 또한, 여기서의 투과율 $T1$ 은, 투명 기판(10)의 투과율을 기준(100%)으로 했을 때의, 상기 대표 파장의 광 투과율로 한다. 또한, 노광광에는, i선, h선, g선 중 어느 하나를 포함하는 광, 또는 i선, h선, g선의 전부를 포함하는 브로드 파장광을 사용할 수 있다. 대표 파장이란, 노광에 사용하는 광에 포함되는 파장 중, 어느 한쪽의 파장(예를 들어 i선)으로 한다.
- [0069] 본 실시 형태의 포토마스크에 있어서, 투광부(11)의 직경 $W1(\mu m)$ 은, 바람직하게는 $0.8 \leq W1 \leq 4.0$ 이다. 도 3에 예시하는 전사용 패턴에 있어서는, 투광부(11)의 평면에서 볼 때 형상이 정사각형이며, 이 경우의 직경 $W1$ 은, 정사각형의 한 변의 치수이다. 투광부(11)의 평면에서 볼 때 형상이 직사각형인 경우에는, 긴 변의 치수를 직경 $W1$ 로 한다. 투광부(11)의 형상은 사각형이 바람직하고, 특히 정사각형이 바람직하다.
- [0070] 직경 $W1$ 이 너무 크면, 표시 장치용 노광 장치의 해상 한계 치수를 충분히 상회하기 때문에, 종래의 포토마스크에 의해 충분한 해상성이 얻어지고, 본 발명에 의한 향상 효과는 현저하게는 발생하지 않는다. 한편, 직경 $W1$ 이 너무 작으면, 포토마스크 제조 시에 안정적으로 정확한 CD를 얻기 어렵다. 보다 바람직하게는, $0.8 \leq W1 \leq 3.5$ 이다. 또한, 미세화가 더욱 요망되는 경우에는, $1.0 < W1 < 3.0$ 으로 해도 되고, 나아가, $1.2 < W1 < 2.5$ 로 해도 된

다.

- [0071] 본 실시 형태의 포토마스크가 구비하는 전사용 패턴에 의해, 피전사체 상에 직경 $W2(\mu m)$ 의 홀을 형성하는 경우, 바람직하게는 $0.8 \leq W2 \leq 3.0$ 이다. 피전사체 상에 형성되는 홀의 직경 $W2$ 는, 대향하는 2개의 변 사이의 거리의, 가장 큰 부분의 길이를 의미한다.
- [0072] 즉, 포토마스크의 투광부(11)의 직경 $W1$ 과 피전사체의 홀의 직경 $W2$ 의 관계는, 바람직하게는 $W1 \geq W2$ 이며, 보다 바람직하게는, $W1 > W2$ 이다. 또한, $\beta(\mu m)$ 를 마스크 바이어스값 ($W1 - W2$)로 하고, $\beta > 0(\mu m)$ 로 하면, 마스크 바이어스값 $\beta(\mu m)$ 는, 바람직하게는 $0.2 \leq \beta \leq 1.0$ 이며, 보다 바람직하게는, $0.2 \leq \beta \leq 0.8$ 이다.
- [0073] 도 4의 (a)는, 본 발명의 실시 형태에 따른 포토마스크에 있어서 차광 림부의 폭을 상대적으로 좁게 설정한 경우의 전사용 패턴의 일부(도 3의 점선으로 둘러싸인 부분)를 나타내는 평면도이며, (b)는, 그 경우에 포토마스크의 좌측의 위상 시프트부를 투과하는 투과광이 피전사체 상에 형성하는 광 강도 분포를 나타내는 도면이다. 또한, 도 5의 (a)는, 본 발명의 실시 형태에 따른 포토마스크에 있어서 차광 림부의 폭을 상대적으로 넓게 설정한 경우의 전사용 패턴의 일부(도 3의 점선으로 둘러싸인 부분)를 나타내는 평면도이며, (b)는, 그 경우에 포토마스크의 좌측의 위상 시프트부를 투과하는 투과광이 피전사체 상에 형성하는 광 강도 분포를 나타내는 도면이다.
- [0074] 도 4의 (b) 및 도 5의 (b)에 도시한 바와 같이, 투광부(11)의 편측(도면 중, 좌측)에 위치하는 위상 시프트부(13)를 투과하는 노광광이 피전사체 상에 형성하는 광 강도 분포를 곡선으로 그리면, 위상 시프트부(13)와 차광 림부(12)의 경계 위치로부터 차광 림부(12)측(도면 중, 우측)을 향하여, 제1 골, 제1 산, 제2 골이 출현한다. 제1 산은, 상기 도 1에 도시한 광의 진폭 커브에 있어서, 그 위상이 (+)측으로 바뀐 부분의 산에 대응한다.
- [0075] 여기서, 상기 경계 위치로부터, 제1 골의 극소값점 B1(도 4)까지의 거리를 $d1(\mu m)$ 로 하고, 제2 골의 극소값점 B2(도 5)까지의 거리를 $d2(\mu m)$ 로 할 때, 차광 림부(12)의 폭 $R(\mu m)$ 은, 하기의 (1) 식을 만족하도록 설정하는 것이 바람직하다.
- [0076] $(d1 - 0.5 \times W1) \leq R \leq (d2 - 0.5 \times W1) \quad \dots (1)$
- [0077] 또한, 도 4는 상기 (1)식에 있어서의 차광 림부(12)의 폭 R 의 하한에 대하여 나타내고, 도 5는 폭 R 의 상한에 대하여 나타내고 있다.
- [0078] 상기 (1) 식을 만족하도록 차광 림부(12)의 폭 R 을 설정하면, 위상 시프트부(13)의 투과광 중, (+) 위상의 투과광을, 투광부(11)의 중앙에 위치시킬 수 있다. 즉, 위상 시프트부(13)를 투과하는 투과광 중, (+) 위상의 부분의 적어도 일부에 의해, 투광부(11)를 투과하는 (+) 위상의 투과광과 함께, 피전사체 상에 도달시켜 그 광 강도의 피크를 높이는 작용을 얻는 것이 가능해진다.
- [0079] 다음으로, 위상 시프트부(13)를 투과하는 투과광 중, (+) 위상의 보다 많은 부분을, 피전사체 상에 도달시키기 위한 패턴 구성에 대하여, 도 6 및 도 7을 이용하여 고찰한다.
- [0080] 도 6의 (a)는, 본 발명의 실시 형태에 따른 포토마스크에 있어서 차광 림부의 폭을 상대적으로 좁게 설정한 경우의 전사용 패턴의 일부(도 3의 점선으로 둘러싸인 부분)를 나타내는 평면도이며, (b)는, 그 경우에 포토마스크의 좌측의 위상 시프트부를 투과하는 투과광이 피전사체 상에 형성하는 광 강도 분포를 나타내는 도면이다. 또한, 도 7의 (a)는, 본 발명의 실시 형태에 따른 포토마스크에 있어서 차광 림부의 폭을 상대적으로 넓게 설정한 경우의 전사용 패턴의 일부(도 3의 점선으로 둘러싸인 부분)를 나타내는 평면도이며, (b)는, 그 경우에 포토마스크의 좌측의 위상 시프트부를 투과하는 투과광이 피전사체 상에 형성하는 광 강도 분포를 나타내는 도면이다.
- [0081] 도 6의 (b) 및 도 7의 (b)에 도시한 바와 같이, 투광부(11)의 편측(도면 중, 좌측)에 위치하는 위상 시프트부(13)를 투과하는 노광광이 피전사체 상에 형성하는 광 강도 분포를 곡선으로 그리면, 상기 및 마찬가지로, 위상 시프트부(13)와 차광 림부(12)의 경계 위치로부터 차광 림부(12)측(도면 중, 우측)을 향하여, 제1 골, 제1 산, 제2 골이 출현한다.
- [0082] 이 경우, 제1 산의 극대값점 P에 있어서의 광 강도의 $1/2$ 을 나타내는 2개의 점 중, 제1 산의 차광 림부(12)에 가까운 측(도면 중, 좌측)의 경사부에 있는 점을 Q1, 차광 림부(12)로부터 먼 측(도면 중, 우측)의 경사부에 있는 점을 Q2로 하고, 상기 경계 위치로부터 Q1까지의 거리를 $d3$ (도 6)으로 하며, 상기 경계 위치로부터 Q2까지의 거리를 $d4$ (도 7)로 할 때, 차광 림부(12)의 폭 $R(\mu m)$ 은, 하기의 (2)식을 만족하도록 설정하는 것이 바람직하다.

- [0083] $(d3-0.5 \times W1) \leq R \leq (d4-0.5 \times W1)$... (2)
- [0084] 또한, 도 6은 상기 (2) 식에 있어서의 차광 림부(12)의 폭 R의 하한에 대하여 나타내고, 도 7은 상한에 대하여 나타내고 있다.
- [0085] 상기 (2) 식을 만족하도록 차광 림부(12)의 폭 R을 설정하면, 위상 시프트부(13)의 투과광 중, (+) 위상으로서, 그 광 강도가 큰 부분(상방의 약 절반)을, 투광부(11)의 중앙에 위치시킬 수 있다. 즉, 위상 시프트부(13)를 투과하는 투과광 중, (+) 위상의 산의 피크(극대값점 P)에 가까운 부분을 확실하게 투광부(11)의 치수 내 중앙 부근에 위치시키고, 피전사체 상에 도달시켜 그 광 강도의 피크를, 보다 효율적으로 높이는 작용을 얻을 수 있다.
- [0086] 본 실시 형태의 포토마스크에 의하면, 위상 시프트부(13)를 투과한 광의 진폭 커브 중, (+) 위상으로 바뀐 산의 부분 위치를 시프트시키고, (+) 위상의 산 보다 많은 부분을, 투광부(11)의 치수 내에 위치시킬 수 있다. 이에 의해, 노광광을 보다 효율적으로 이용하는 것이 가능해진다. 그 결과, 표시 장치의 제조에 적용되는 노광 조건에 있어서, 우수한 해상성과 생산 효율을 양립할 수 있다. 구체적으로는, 예를 들어 개구수(NA)가 $0.08 \leq NA \leq 0.20$, 코히런스 팩터(σ)가 $0.4 \leq \sigma \leq 0.9$ 의 노광 조건에 있어서, MEEF 및 Eop가 우수한 포토마스크를 실현할 수 있다.
- [0087] 개구수(NA)는, 보다 바람직하게는 $0.08 < NA < 0.20$ 이며, 나아가, $0.10 < NA < 0.15$ 인 것이 바람직하다. 한편, 코히런스 팩터(σ)는, 보다 바람직하게는 $0.4 < \sigma < 0.7$ 이며, 더욱 바람직하게는 $0.4 < \sigma < 0.6$ 이다.
- [0088] 본 실시 형태의 포토마스크가 갖는 전사용 패턴은, 피전사체 상에 홀을 형성하기 위한 것이고, 투명 기판이 노출된, 직경 W1(μm)의 투광부와, 투광부를 둘러싸는, 폭 R(μm)의 차광 림부와, 차광 림부를 둘러싸는, 위상 시프트부를 포함한다. 바꾸어 말하면, 이 홀을 형성하기 위한 다른 구성(전사성을 보조하기 위한 보조 패턴 등)을 포함하지 않고, MEEF나 Eop의 개선 효과가 얻어진다.
- [0089] 본 실시 형태의 포토마스크는, 피전사체 상에 고립 홀을 형성하기 위한 포토마스크로서 적합하게 사용되거나, 또는, 피전사체 상에 밀집 홀을 형성하기 위한 포토마스크로 할 수도 있다. 밀집 홀이란, 복수의 홀 패턴이 규칙적으로 배열되어, 서로 광학적인 작용을 미치는 것을 의미한다.
- [0090] 본 발명은, 본 실시 형태의 포토마스크를 사용하여, 노광 장치에 의해 노광하고, 피전사체 상에 상기 전사용 패턴을 전사하는, 표시 장치의 제조 방법을 포함한다.
- [0091] 본 발명에 의한 표시 장치의 제조 방법에서는, 우선, 본 실시 형태의 포토마스크를 준비한다. 이어서, 노광 장치를 사용하여, 상기 전사용 패턴을 노광하고, 피전사체 상에 직경 W2가 0.8 내지 3.0(μm)의 홀을 형성한다. 노광에는, 개구수(NA)가 0.08 내지 0.20이며, i선, h선, 또는 g선을 포함하는 노광 광원을 갖는 노광 장치를 사용한다. 또한, 노광에는, 등배의 프로젝션 노광을 행하는 노광 장치로서, 광학계의 개구수(NA)가 0.08 내지 0.20(코히런스 팩터(σ)가 0.4 내지 0.9)이며, i선, h선 및 g선 중 적어도 하나를 노광광에 포함하는 노광 광원을 갖는 노광 장치를 사용하는 것이 바람직하다. 노광광으로서 단일 파장을 적용하는 경우에는, i선을 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 노광광에는, i선, h선, g선의 전부를 포함하는 브로드 파장광을 사용해도 된다. 사용하는 노광 장치의 광원은, 수직 입사 성분을 제외한 사광 조명(윤대 조명 등)을 사용해도 되지만, 사광 조명을 적용하지 않고, 수직 입사 성분을 포함하는 통상 조명을 사용해도 본 발명의 우수한 효과가 충분히 얻어진다.
- [0092] 본 발명의 실시 형태에 따른 포토마스크는, 예를 들어 투명 기판(10) 상에 위상 시프트막(14)과 차광막(15)을 순서대로 적층한 구성의 포토마스크 블랭크를 준비한 후, 양쪽 막을 각각 패터닝하여 제조할 수 있다. 위상 시프트막(14) 및 차광막(15)의 성막에는, 스퍼터법 등의 공지의 성막법을 적용하면 된다. 또한, 포토마스크의 제조 시에, 포토리소그래피 공정에 있어서는, 공지의 포토레지스트를 사용하고, 레이저 묘화 장치 등을 사용할 수 있다.
- [0093] 도 3의 포토마스크를 제조할 때에는, 차광 림부(12)의 폭 R이 정교하고 치밀하게 제어되는 것이 요망된다. 이에 의해, 노광 시에 피전사체 상에 형성되는 공간 상의 프로파일이 영향을 받기 때문이다.
- [0094] 바람직하게는, 도 3의 포토마스크를 제조할 때에는, 레지스트막을 형성한 상기 포토마스크 블랭크에 대해서 묘화를 행하고, 우선 차광막(15)을 에칭하여 차광 림부(12)를 형성하고(차광 림부가 획정됨), 이어서, 다시 레지스트막을 형성함과 함께, 묘화를 행하여 위상 시프트막(14)을 에칭하고, 투광부(11)를 형성하는 것이 바람직하다.

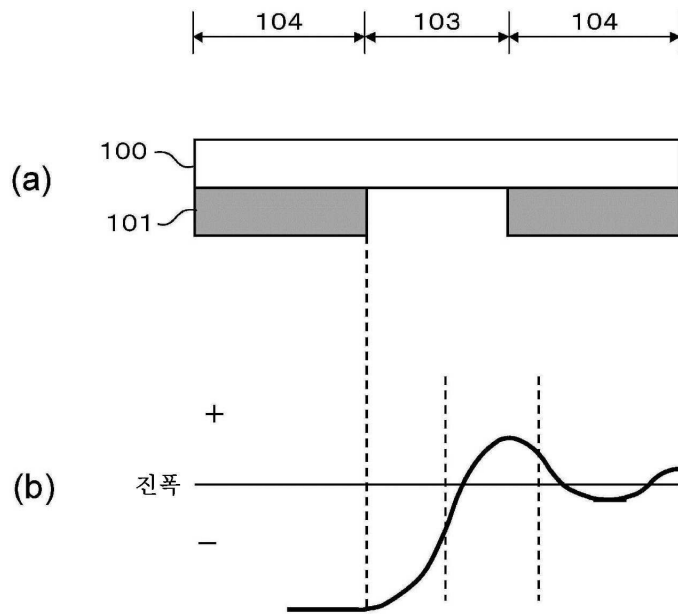
- [0095] 다음으로, 본 발명의 실시 형태에 따른 포토마스크를 사용해서 실시한 광학 시뮬레이션에 대하여 설명한다.
- [0096] 광학 시뮬레이션에서는, 상기 도 3에 도시한 것과 마찬가지로의 전사용 패턴(홀 패턴)을 갖는 포토마스크를 사용하였다. 이 경우, 투광부(11)의 직경 W1을 $2\mu\text{m}$ 로 하고, 피전사체 상에 직경 W2가 $1.5\mu\text{m}$ 의 홀을 전사(마스크 바이어스값 $\beta=0.5\mu\text{m}$)할 때 차광 림부(12)의 폭 R의 치수에 의해, MEEF 및 Eop의 광학 성능이 어떻게 변화하는지를 검증하였다. 또한, 위상 시프트부(13)의 노광광 투과율은, i선에 대해 5.2%로 하였다.
- [0097] 시뮬레이션에 사용한 광학 조건은, 이하와 같다.
- [0098] 노광 장치의 광학계는, 개구수 NA가 0.1이며, 코히런스 팩터 σ 가 0.5이다. 또한, 노광 광원에는, i선, h선, g선의 전부를 포함하는 광원(브로드 파장 광원)을 사용하고, 강도비는, $g:h:i=1:1:1$ 로 하였다.
- [0099] 도 8은, 차광 림부의 폭의 변화에 의한 MEEF의 값에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이며, 도 9는, 차광 림부의 폭의 변화에 의한 Eop의 값에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다. 도 8 및 도 9에 있어서는, 횡축의 Rim Size(μm)가, 차광 림부(12)의 폭 R을 나타낸다. 그리고, 차광 림부(12)의 폭 R이 0인 경우에는, 상기 도 11과 마찬가지로의 종래 형태의 하프톤형 위상 시프트 마스크를 사용한 경우에 상당한다.
- [0100] 도 8에 의하면, 차광 림부(12)의 폭 R의 변화에 의해, MEEF의 값이 변동되고, 특히, 폭 R이 0.5 내지 $1.5\mu\text{m}$ 일 때, MEEF의 값은 6 미만으로 되고, 또한, 폭 R이 0.5 내지 $1.0\mu\text{m}$ 일 때, MEEF의 값이 더 낮게 억제된다는 사실을 알게 되었다. 이때의 MEEF의 값은, 5.25를 하회하고, 동일한 직경 W1의 투광부(홀 패턴)를 갖는 종래 형태의 하프톤 위상 시프트 마스크에 비하여 절반 이하의 낮은 값으로 되어 있다.
- [0101] 또한, 도 9에 의하면, 본 실시 형태의 포토마스크는, 종래 형태의 하프톤형 위상 시프트 마스크보다 Eop가 대폭 저감되고, 특히, 차광 림부(12)의 폭 R이 0.5 내지 $2.0\mu\text{m}$ 의 범위에 걸쳐, 노광에 필요한 Dose량이 25% 이상 삭감된다는 사실을 알게 되었다. 특히, 차광 림부(12)의 폭이 0.75 내지 $1.5\mu\text{m}$ 일 때, 노광에 필요한 Dose량이 35% 이상 삭감된다.
- [0102] 도 10은, 상기 시뮬레이션에 사용한 본 실시 형태의 포토마스크(림 폭 $R=1.0\mu\text{m}$ 로 한 것)을, 노광 장치에 의해 노광했을 때, 피전사체 상에 형성되는 공간 상(즉, 투과광의 광 강도 분포)을, 동일한 직경의 홀 패턴을 갖는 바이너리 마스크(Binary)에 의한 공간 상, 및 종래 형태의 하프톤형 위상 시프트 마스크(Att. PSM)에 의한 공간 상과 비교한 도면이다.
- [0103] 상기 도 10에 의하면, 본 실시 형태의 포토마스크가 형성하는 공간 상은, 다른 포토마스크가 형성하는 공간 상에 비해서 피크가 높고, 나아가 경사가 급준하며(수직에 가까우며), 미세한 홀을 형성하기 위해 유리한, 우수한 프로파일이라는 사실을 알게 되었다.

부호의 설명

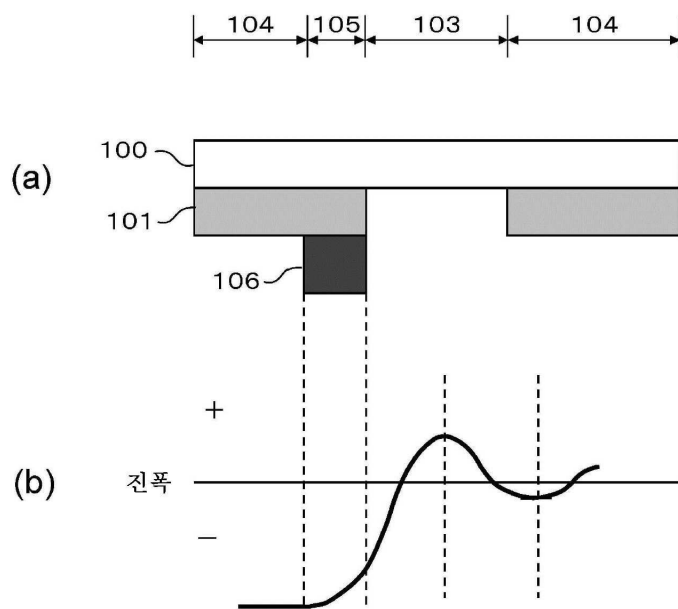
- [0104] 10: 투명 기판
11: 투광부
12: 차광 림부
13: 위상 시프트부
14: 위상 시프트막
15: 차광막

도면

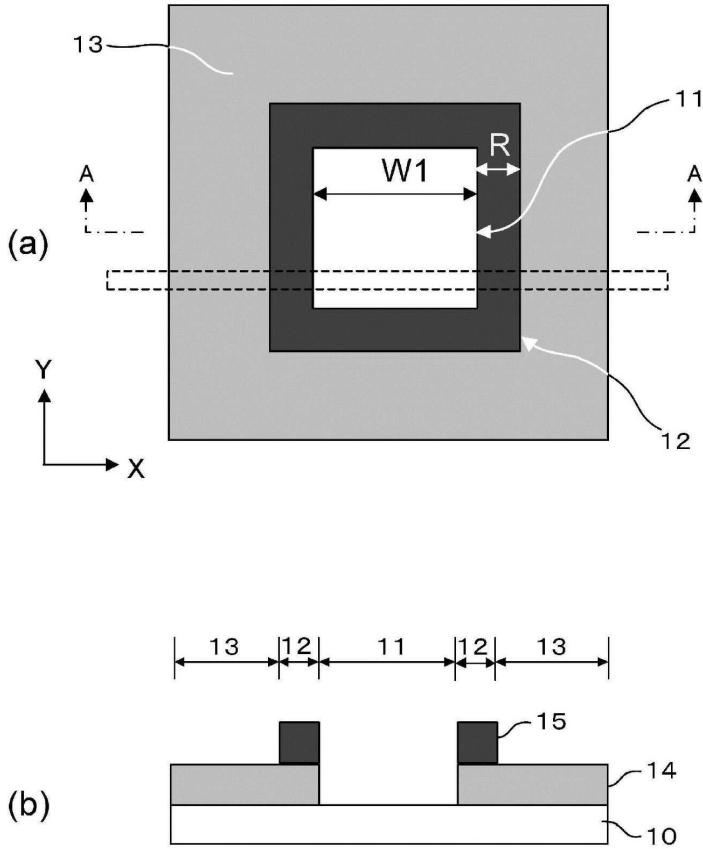
도면1



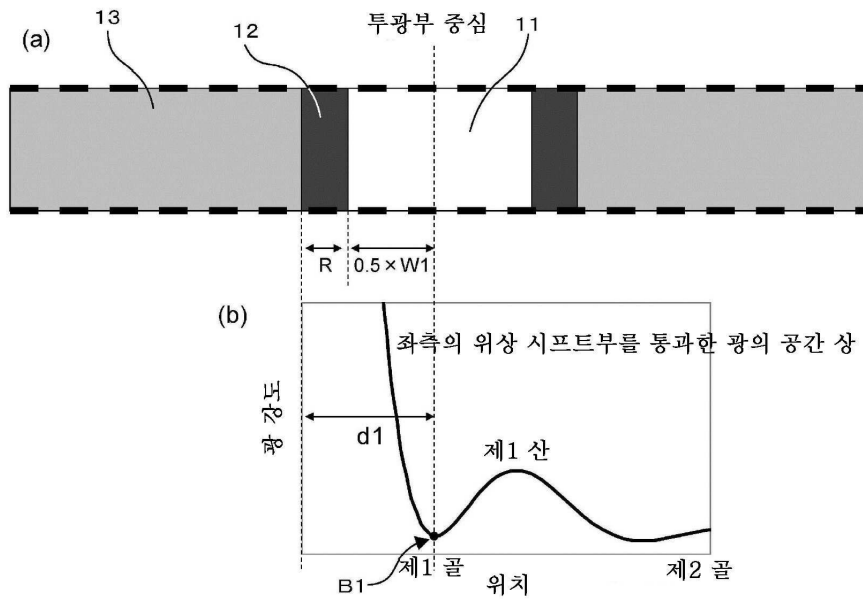
도면2



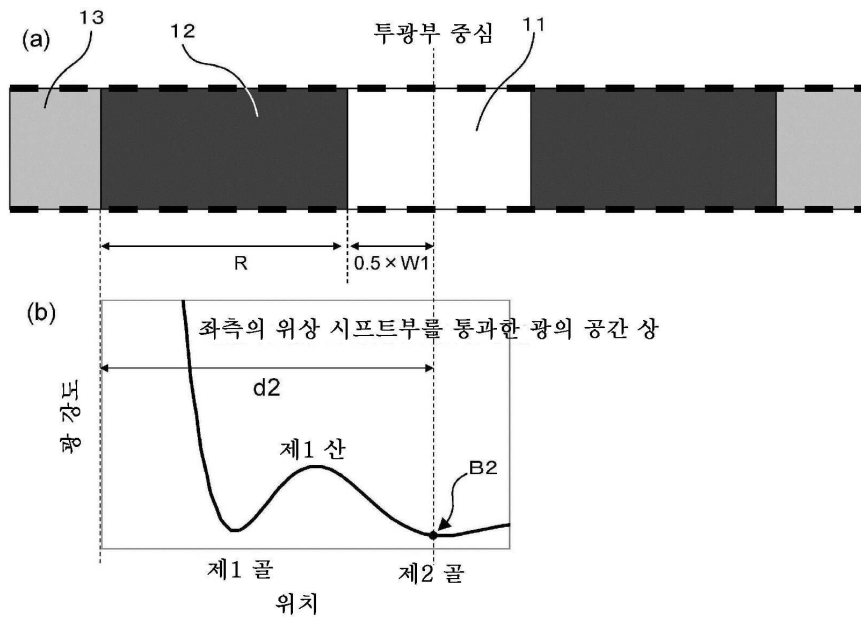
도면3



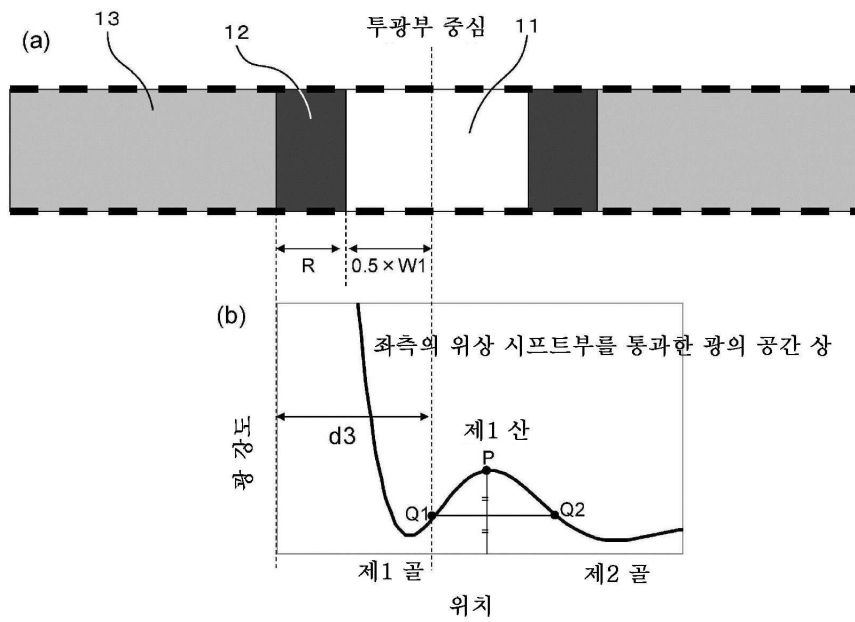
도면4



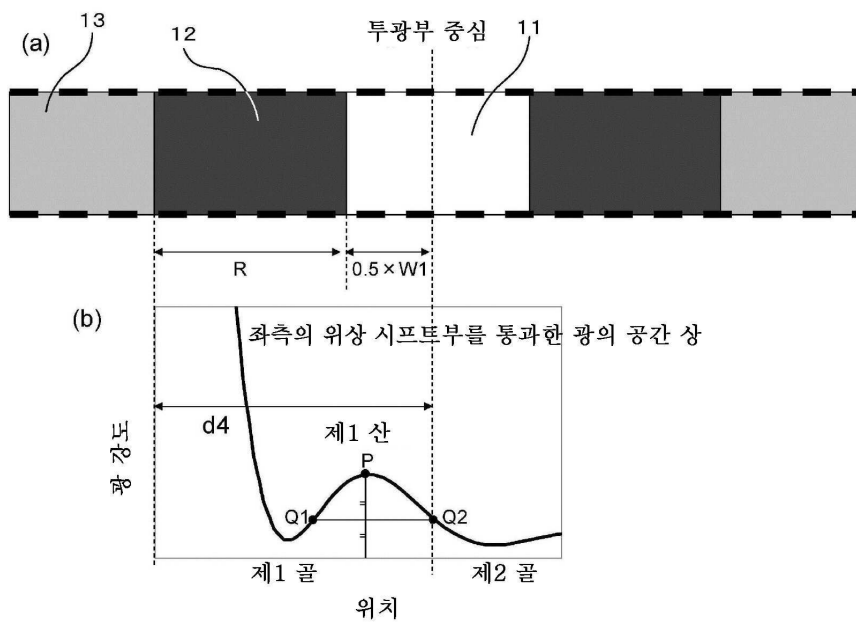
도면5



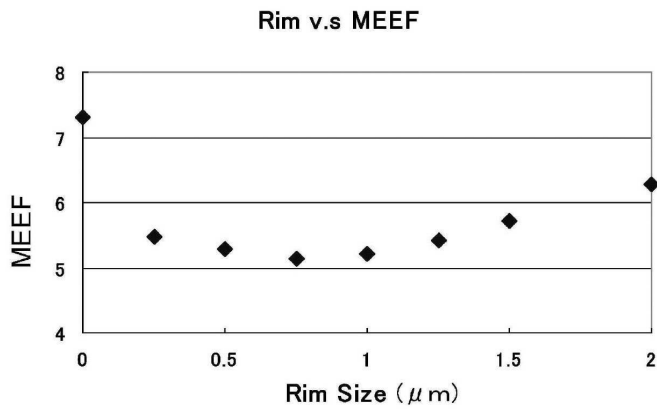
도면6



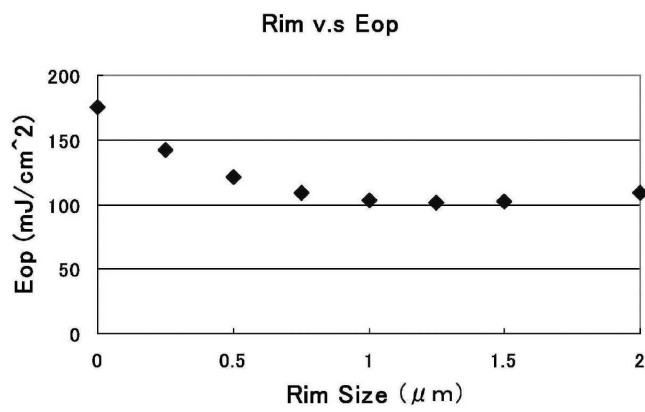
도면7



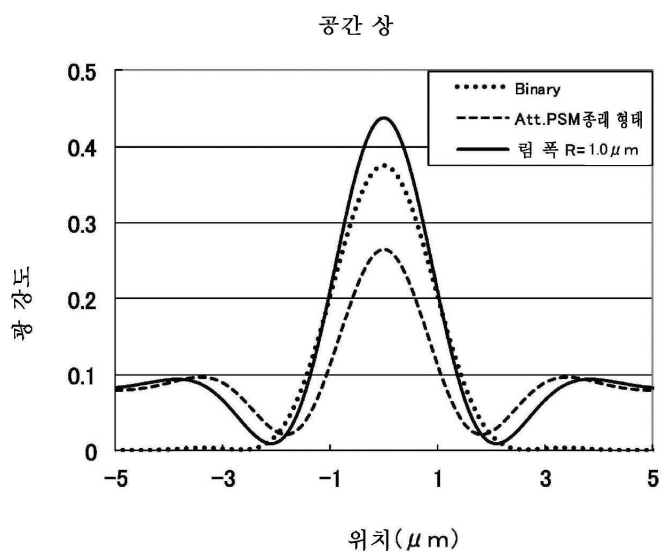
도면8



도면9



도면10



도면11

