(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0015867
(43) 공개일자 2025년02월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 3/00 (2022.01)
(52) CPC특허분류
G02B 3/0043 (2013.01)
G02B 3/0018 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-0083241
(22) 출원일자 2024년06월26일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
JP-P-2023-117275 2023년07월19일 일본(JP)

(71) 출원인
캐논 가부시끼가이샤
일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루꼬 3쪼메 30방 2고
(72) 발명자
이시바시 토모히코
일본국 도쿄도 오오따꾸 시모마루꼬 3쪼메 30방 2고 캐논 가부시끼가이샤 나이
(74) 대리인
권태복

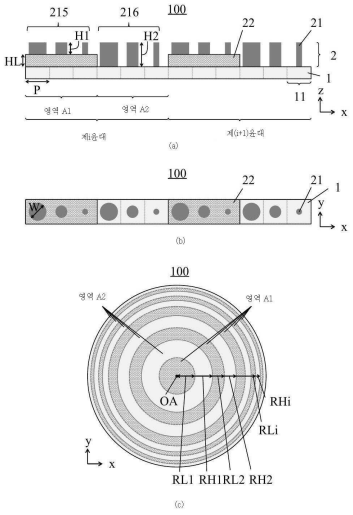
전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 **광학 소자, 광학계, 렌즈 장치 및 촬상 장치**

(57) 요 약

광학 소자는, 기판과, 상기 기판에 동심원형으로 배치된 복수의 윤대를 구비한다. 상기 복수의 윤대는, 하지층이 설치된 제 1 영역과, 상기 하지층이 설치되지 않은 제 2 영역을 포함하는 제 1 윤대를 구비한다. 반경 방향의 폭이 서로 상이한 복수의 제 1 구조체는 상기 제 1 영역에 배치되어 있다. 상기 반경 방향의 폭이 서로 상이한 복수의 제 2 구조체는 상기 제 2 영역에 배치되어 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G02B 2003/0093 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

광학 소자로서,

기판; 및

상기 기판에 동심원형으로 배치된 복수의 윤대를 포함하고,

상기 복수의 윤대는, 하지층이 설치된 제 1 영역과, 상기 하지층이 설치되지 않은 제 2 영역을 포함하는 제 1 윤대를 구비하고,

반경 방향의 폭이 서로 상이한 복수의 제 1 구조체는 상기 제 1 영역에 배치되어 있고,

상기 반경 방향의 폭이 서로 상이한 복수의 제 2 구조체는 상기 제 2 영역에 배치되어 있는, 광학 소자.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 하지층이 상기 복수의 제 1 구조체와 동일한 재료로 제조된, 광학 소자.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 제 1 구조체의 각각의 높이를 H1, 및 상기 복수의 제 2 구조체의 각각의 높이를 H2로 하는 경우, 이하의 부등식을 만족하는, 광학소자:

$0.20 \leq H1/H2 \leq 0.90$.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 제 1 구조체의 각각의 높이를 H1, 상기 복수의 제 2 구조체의 각각의 높이를 H2, 및 상기 하지층의 높이를 HL로 하는 경우, 이하의 부등식을 만족하는, 광학소자:

$0.80 \leq (H1+HL)/H2 \leq 1.20$.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 기판의 표면에 수직으로 입사하는 광에 대한 상기 복수의 제 1 구조체에 의해 생긴 위상 지연량은, 상기 광에 대한 상기 복수의 제 2 구조체에 의해 생긴 위상 지연량보다 큰, 광학 소자.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 하지층의 높이를 HL, 상기 기판의 표면으로부터 상기 높이 HL까지의 범위에서 상기 복수의 제 1 구조체의 충전율의 최대값을 V1s, 상기 기판의 표면으로부터 상기 높이 HL까지의 범위에서 상기 복수의 제 2 구조체의 충전율의 최대값을 V2s, 및 상기 높이 HL의 위치로부터 상기 복수의 제 1 구조체와 상기 복수의 제 2 구조체의 선단들 중 대응한 선단까지의 범위에서 상기 복수의 제 1 구조체와 상기 복수의 제 2 구조체의 충전율의 최대값을 V2a로 하는 경우, 이하의 부등식을 만족하는, 광학 소자:

$0.50 \leq V1s \leq 1.00$

$0.80 \leq V2a/V2s \leq 1.20$.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 하지층의 높이를 HL, 상기 기판의 표면으로부터 상기 높이 HL까지의 범위에서 상기 복수의 제 1 구조체의 충전율의 최대값을 V1s, 및 상기 높이 HL의 위치로부터 상기 복수의 제 1 구조체의 선단까지의 범위에서 상기 복수의 제 1 구조체의 상기 충전율의 최대값을 V1a로 하는 경우, 이하의 부등식을 만족하는, 광학 소자:

$0.20 \leq V1a/V1s \leq 0.80$.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 제 1 구조체의 최대폭 및 최소폭을 각각 Wmax1 및 Wmin1, 상기 복수의 제 2 구조체의 최대폭 및 최소폭을 각각 Wmax2 및 Wmin2로 하는 경우, 이하의 부등식을 만족하는, 광학 소자:

$1.05 \leq Wmax1/Wmin1 \leq 6.00$

$1.05 \leq Wmax2/Wmin2 \leq 6.00$.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 제 1 구조체와 상기 복수의 제 2 구조체의 각각에 의해 생긴 위상 변조량이 상기 반경 방향으로 단조롭게 변경되는, 광학 소자.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 제 1 구조체의 애스펙트비의 최대값을 AR1, 상기 복수의 제 2 구조체의 애스펙트비의 최대값을 AR2로 하는 경우, 이하의 부등식을 만족하는, 광학 소자:

$0.35 \leq AR1/AR2 \leq 2.00$.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 제 2 구조체의 각각의 높이를 H2, 기준 파장을 $\lambda 0$로 하는 경우, 이하의 부등식을 만족하는, 광학 소자:

$0.50 \leq H2/\lambda 0 \leq 4.00$.

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 제 1 구조체의 최대폭을 Wmax1, 상기 복수의 제 2 구조체의 최대폭을 Wmax2로 하는 경우, 이하의 부등식을 만족하는, 광학 소자:

$0.70 \leq Wmax1/Wmax2 \leq 1.40$.

청구항 13

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 제 2 구조체의 상기 반경 방향으로의 배열 주기를 P, 상기 복수의 제 2 구조체의 각각의 높이를 H2로 하는 경우, 이하의 부등식을 만족하는, 광학 소자:

$0.10 \leq P/H2 \leq 0.60$.

청구항 14

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 영역과 상기 제 2 영역의 경계에서의 규격화 위상을 E, 설계 회절 차수를 n으로 하는 경우, 이하의 부등식을 만족하는, 광학 소자:

$0.15 \leq E/n \leq 0.95$.

청구항 15

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 제 2 구조체의 각각의 높이를 H2, 상기 기판의 두께를 t로 하는 경우, 이하의 부등식을 만족하는, 광학 소자:

$0.00 \leq H2/t \leq 0.10$.

청구항 16

제 1 항 내지 제 15 항 중 어느 한 항에 따른 상기 광학 소자를 구비하는 복수의 광학 소자를 포함하는, 광학계.

청구항 17

렌즈 장치로서,

제 16 항에 따른 상기 광학계; 및

상기 광학계를 보유하는 보유부재를 포함하는, 렌즈 장치.

청구항 18

촬상 장치로서,

제 16 항에 따른 상기 광학계; 및

상기 광학계에 의해 형성된 상을 수광하는 촬상 소자를 포함하는, 촬상 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 실시 형태의 일 측면은 광학 소자, 광학계, 렌즈 장치 및 촬상 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 종래, 촬상 장치 등에서의 광학계를 소형화하기 위해서, 기판의 표면에 미세 요철(파도모양, 릴리프 또는 텍스처드) 구조를 형성하고, 회절을 이용하여 집광 또는 발산 작용을 제공하는 광학 소자(메타렌즈)가 알려져 있다. 일본 특허공개 제2021-99400호 공보에는, 테라헤르츠파용 렌즈로서 메타렌즈가 개시되어 있다.

[0003] 미세 요철 구조를 갖는 광학 소자에 있어서, 회절 효율(입사광량에 대한 특정의 회절각을 향하는 광량의 비)을 높이기 위해서, 미세 요철 구조의 반복 주기(피치)를 입사광의 파장에 대하여 작게 할 수도 있다. 피치마다 미세 요철 구조의 형상을 변화시켜서 매끄러운 위상 분포를 실현할 수도 있다.

[0004] 그러나, 피치를 감소시키면, 미세 요철 구조의 애스펙트비가 증가한다. 이 때문에, 미세 요철 구조를 형성하고, 미세 요철 구조의 형상을 유지하는 것이 어려워짐과 아울러, 약간의 하중, 온도, 또는 압력 등으로 미세 요철 구조가 변형될 수도 있다.

발명의 내용

[0005] 본 발명의 일 측면에 따른 광학 소자는, 기판; 및 상기 기판에 동심원형으로 배치된 복수의 윤대를 구비한다. 상기 복수의 윤대는, 하지층이 설치된 제 1 영역과, 상기 하지층이 설치되지 않은 제 2 영역을 포함하는 제 1 윤대를 구비한다. 반경 방향의 폭이 서로 상이한 복수의 제 1 구조체는 상기 제 1 영역에 배치되어 있다. 상기 반경 방향의 폭이 서로 상이한 복수의 제 2 구조체는 상기 제 2 영역에 배치되어 있다. 상기 광학 소자를 각기 갖는 광학계, 렌즈 장치 및 촬상 장치도, 본 발명의 다른 측면을 구성한다.

[0006] 본 발명의 여러 가지 실시 형태의 추가의 특징들은, 첨부도면을 참조하여 이하의 실시 형태들의 설명으로부터 명백해질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0007] 도 1a, 1b, 1c는 각 예에 따른 광학 소자의 구성도이다.

도 2는 비교 예에 따른 광학 소자의 구성도이다.

도 3은 각 예에 있어서의 광학 소자의 요철 요소의 형상과 위상 변조량과의 관계를 도시하는 도면이다.

도 4는 비교 예에 있어서의 광학 소자의 요철 요소의 형상과 위상 변조량과의 관계를 도시하는 도면이다.

도 5a, 5b 및 5c는 각 예에 따른 광학 소자의 제조 방법의 설명도이다.

도 6은 각 예에 따른 오프셋 층의 설명도이다.

도 7은 각 예에 따른 광학 소자의 반경 방향으로의 정규화 위상의 변조량의 설명도이다.

도 8은 각 예 및 비교 예에 따른 광학 소자의 각각의 반경 방향으로의 요철 요소의 폭의 설명도이다.

도 9a 및 9b는 각 예에 따른 요소 충전율의 설명도이다.

도 10a, 10b, 10c 및 10d는 각 예에 따른 하지층의 오프셋의 설명도이다.

도 11a, 11b, 11c 및 11d는 각 예에 따른 요철 요소의 형상의 설명도이다.

도 12는 예 16에 따른 광학 소자의 구성도이다.

도 13a 및 13b는 예 19에 따른 광학 소자의 구성도이다.

도 14는 각 예에 따른 광학 소자를 구비한 광학계의 설명도이다.

도 15는 각 예에 따른 광학 소자를 구비한 촬상 장치의 설명도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0008] 본 발명에 따른 실시 형태를 첨부 도면을 참조하여 상세히 설명한다.

[0009] 각 예에 따른 광학 소자(100)에 대해서 도 1a, 1b 및 1c를 참조하여 설명한다. 도 1a, 1b, 1c는 광학 소자(100)의 구성도이다. 도 1a는 y축 방향에서 본(xz 평면에서의) 광학 소자(100)의 확대 단면도이다. 도 1b는 z축 방향(광축 방향)에서 본(xy 평면에서의) 광학 소자(100)의 확대 평면도이다. 도 1c는 z축 방향(광축 방향)에서 본(xy 평면에서의) 광학 소자(100)의 전체 평면도를 도시한다. 각 예에서, 광학 소자(100)의 광축 방향 및 기판(1)의 두께 방향은, z축 방향과 일치한다.

[0010] 각 예에 따른 광학 소자(100)는, 기판(1)과, 이 기판(1) 상에 형성된 요철 구조(필라)(2)를 구비한다. 요철 구조(2)는, 기판(1)의 반경 방향으로 주기적으로 배치된 오목부분 또는 볼록부분 중 적어도 하나를 포함하는 복수의 요철 요소(복수의 구조체)(21)와, 기판(1)의 두께 방향(z축 방향)으로 대략 일정한 두께의 하지층(22)을 구비한다. "대략 일정한"이란, 하지층(20)은 가능한 한 일정한 두께이어도 되지만, 그 두께는 제조 오차 등으로 인해 엄밀하게 일정할 필요는 없다는 것을 의미한다. 하지층(22)의 두께는, 예를 들면 이하의 부등식을 만족하는 범위 내이다.

[0011] 기판(1)에 있어서의 하지층(22)의 최대 두께 및 최소 두께를 각각 A 및 B로 할 때, 이하의 부등식 (1)을 만족한다.

[0012] $1.00 \leq <A/B<1.50$ (1)

[0013] 부등식 (1)은 이하의 부등식 (1a)로 대체되어도 된다.

[0014] $1.00 \leq <A/B<1.20$ (1a)

[0015] 부등식 (1)은 이하의 부등식 (1b)로 대체되어도 된다.

[0016] $1.00 \leq A/B<1.15$ (1b)

[0017] 부등식 (1)은 이하의 부등식 (1c)로 대체되어도 된다.

[0018] $1.00 \leq A/B<1.10$ (1c)

[0019] 부등식 (1)은 이하의 부등식 (1d)로 대체되어도 된다.

[0020] $1.00 \leq A/B<1.05$ (1d)

[0021] 기판(1)의 반경 방향으로 주기적인 위상차(윤대(annulus section) 또는 윤대들)를 형성하는 것으로, 입사광에 집광 또는 발산 작용을 제공할 수 있다. 광학 소자(100)는, 반경방향을 따라 배치된 제 1 윤대(제 i 윤대) 및 제 2 윤대(제(i+1) 윤대)에 의해 광학 소자(100)의 중심에 대하여 원주방향으로 연장되는, 복수의 윤대를 구비한다. 복수의 윤대의 각각은, 광학 소자(100)의 반경 방향을 따라 배치된 영역 A1(제 1 영역) 및 영역 A2(제 2 영역)를 구비한다. 각 예에서, 복수의 윤대 중 적어도 하나의 윤대는, 영역 A1 및 영역 A2를 가질 수도 있지만, 상기 복수의 윤대는 영역 A1과 영역 A2를 가질 수도 있고, 모든 윤대는 영역 A1과 영역 A2를 가질 수도 있다.

[0022] 복수의 요철 요소(복수의 구조체)(21)는, 영역 A1에 배치된 복수의 제 1 구조체(215)와, 영역 A2에 배치된 복수의 제 2 구조체(216)를 가진다. 영역 A1에서, 복수의 제 1 구조체(215)는, 하지층(22)을 통해 기판(1) 상에 형성된다. 영역 A2에서, 복수의 제 2 구조체(216)는, 기판(1) 상에 직접(하지층(22)을 통하지 않고) 형성된다. 복수의 제 1 구조체(215)는 반경 방향의 폭이 상이하다. 마찬가지로, 복수의 제 2 구조체(216)도 반경 방향의 폭이 상이하다. 그러나, 복수의 제 1 구조체(215)의 폭의 전부가 상이할 필요는 없고, 그들 중 일부가 동일할 수도 있다. 마찬가지로, 이것은, 복수의 제 2 구조체(216)의 폭에도 적용 가능하다.

[0023] 기판(1)은 합성 석영으로 이루어지는 투명한 평판이다. 기판(1)은 입사 광을 반사하는 평면거울일 수도 있거나, 임의의 곡률을 갖는 곡면 일 수도 있다. 기판(1)의 재료는, 합성 석영에 한정되지 않고, 무기 유리, 플라스틱 등의 유기 재료, 세라믹스, 금속 등이어도 된다. 요철 구조(2)는, 기판(1)의 표면 상에 형성되고, 요철 구조(2)를 통과하는 광에 위상차를 제공함으로써, 집광 또는 발산 작용을 제공한다. 각 예에서는, 동심원형으로 주기적으로 $2n\pi$(n=1, 2,..., 정수는 설계 회절 차수 또는 회절 차수를 나타낸다)의 위상차가 반복하는 윤대에

의해 위상 분포를 형성함으로써, 회절 광학 소자와 대략 동등한 집광 작용을 얻는다.

[0024] 요철 구조(2)는 요철 요소(21)와 하지층(22)을 가진다. 요철 요소(21)는 주기적으로 배치된 오목부분 또는 볼록부분으로 이루어진다. 각 예에서, 요철 요소(21)는 유전체 재료 Si_3N_4로 제조된 볼록한 원통형 요소로 구성된다. 요철 요소(21)의 형상은 볼록한 원통형 요소에 한정되는 것이 아니고, 다각형 기둥, 다각형 피라미드, 원추, 임의의 오목 요소, 또는 이들의 조합 요소일 수도 있다. 요철 요소(21)의 재료는 TiO_2, GaN, GaP, GaAs, Si, SiC, Al_2O_3 , SiO_2 등일 수도 있다.

[0025] 요철 요소(21)는, 기판(1)의 반경 방향으로 정사각형으로 구분된 단위 구획 세그먼트(11)의 중심에 볼록한 원통형 요소를 배치하고 있다. 세그먼트(11)의 폭(피치)은 입사광의 파장보다 작기 때문에, 광은 요철 요소(21)의 형상에 관계없이 단위 구획(세그먼트)을 차지하는 충전율(요소 충전율)로부터 구해지는 유효 굴절률에 따라 효과적으로 위상 변조된다. 예를 들면, 입사광이 가시광 범위(400 내지 700nm)인 경우, 피치(배열 주기) P[nm]은 400nm 미만일 수도 있고, 피치 P는 불필요 회절광이 억제될 수 있기 때문에 더욱 감소될 수도 있다. 제 i 윤대(i = 1, 2,...) 내에는 복수의 요철 요소(21)와 기판(1) 사이에 배치된 대략 평판 하지층(22)을 갖는 영역 A1과, 복수의 요철 요소(21)와 기판(1) 사이에 배치된 대략 평판 하지층(22)을 갖지 않는 영역 A2를 가진다.

[0026] 하지층(22)은, 기판(1)의 두께 방향으로 대략 일정한 두께로 되어 있고, 각 예에서는 요철 요소(21)의 재료와 동일한 Si_3N_4로 이루어진다. 제 i 윤대 내의 영역 A1, A2의 각각은 복수의 요철 요소(21)를 갖고, 각 형상은 기판(1)의 반경 방향의 폭이 상이하다. 따라서, 상기 윤대 내에서 $2n\pi$의 위상 분포를 형성한다. 광축과 수직 방향으로, 광축으로부터 제 i 윤대의 영역 A1 및 영역 A2의 반경을 각각 RLi, RHi로 한다. 도 1c로부터 알 수 있는 바와 같이, RLi<RHi가 되도록, 광축(z축)에 수직 방향으로 영역 A1 및 영역 A2는 동심원형으로 교대로 배치되어 있다.

[0027] 비교 예에 따른 하지층(22)이 없는 광학 소자(101)에 대하여 도 2를 참조하여 설명한다. 도 2는, 비교 예에 따른 광학 소자(101)의 구성도이다. 윤대 내에 $2n\pi$의 위상 분포를 형성하기 위해, 요철 요소(21)인 볼록한 원통형 요소의 폭(직경)을 변화시켜 상기 세그먼트 내의 요철 요소(21)의 요소 충전율을 변화시킨다. 즉, 볼록한 원통형 요소의 직경이 큰 요소로부터 작은 요소의 순으로 요소 충전율이 감소하여, 원하는 위상 분포를 형성한다. 도 2에 도시된 광학 소자(101)에서는, 볼록한 원통형 요소의 직경만으로 요소 충전율을 조정하고 있기 때문에, 그 직경을 크게 변화시키고 있다. 따라서, 볼록한 원통형 요소의 최소 직경이 감소하기 쉽고, 애스펙트비(요철 요소(21)의 폭에 대한 높이의 비율(높이/폭))가 증가하는 경향이 있다. 애스펙트비가 크고 상대적으로 긴 요소의 경우, 접촉이나 진동으로 인해 하중이 가해진 경우나, 온도나 압력 등의 외적 요인이 변화한 경우에, 상기 형상이 변형, 경사 또는 박리할 수도 있다. 이에 따라, 각 예에서는, 윤대 내에 하지층(22)을 설치하여 영역 A2의 위상 변조량을 올려 요철 요소(21)의 폭 변화량을 저감함으로써, 애스펙트비를 증가시키지 않고 요철 구조(2)를 형성하고 있다.

[0028] 도 3은, 각 예에 따른 광학 소자(100)의 요철 요소(21)의 형상과 상기 위상 변조량과의 관계를 도시하는 도면이며, 요철 요소(21)인 볼록한 원통형 요소의 직경 및 상기 위상 변조량에 관한 것이다. 도 3에 있어서, 횡축은 볼록한 원통형 요소의 직경 W(세그먼트의 피치 P로 규격화한 규격화 직경)를 나타내고, 종축은 위상 변조량을 2π로 규격화한 규격화 위상을 나타낸다. 규격화 위상이 0 내지 0.54의 범위인 경우에는, 하지층(22)이 없는 영역 A2의 볼록한 원통형 요소의 규격화 직경을 0.552부터 0.790까지 변화시킨다. 규격화 위상이 0.54부터 1까지의 범위인 경우에는, 하지층(22)을 갖는 영역 A1의 볼록한 원통형 요소의 규격화 직경을 0.253부터 0.790까지 변화시킨다. 따라서, 규격화 위상 0 내지 1의 위상 변조량을 얻을 수 있고, 영역 A1에 있어서의 요철 요소(21)의 애스펙트비의 최대값 AR1은 7.2이고, 영역 A2에 있어서의 요철 요소(21)의 애스펙트비의 최대값 AR2는 6.6이다.

[0029] 도 4는, 비교 예에 따른 광학 소자(101)의 요철 요소(21)의 형상과 위상 변조량과의 관계를 도시하는 도면이며, 하지층(22)이 없는 광학 소자(101)에 있어서의 볼록한 원통형 요소의 직경과 상기 위상 변조량에 관한 것이다. 도 4에서, 횡축 및 종축은 각각 도 3과 동일하다. 도 4에 있어서, 규격화 위상 0 내지 1의 위상 변조량을 얻기 위해서는, 규격화 직경을 0.177부터 0.823까지 변화시킬 필요가 있고, 애스펙트비는 최대값으로 20.7이며, 하지층을 설치한 경우보다 애스펙트비가 크다. 따라서, 하지층(22)을 설치하는 것은 요철 요소(21)의 애스펙트비를 억제할 수 있음을 알 수 있다.

[0030] 각 예에 따른 광학 소자(100)의 제조 방법을 도 5a, 5b 및 5c를 참조하여 설명한다. 광학 소자(100)는, 리소그래피 기술을 사용하여 제조될 수 있다. 도 5a, 5b 및 5c는, 광학 소자(100)의 제조 방법의 설명도이며, 나노임

프린트 리소그래피를 사용하여 광학 소자(100)를 제조하는 단계를 도시한다. 도 5a는 몰드(31)를 나타내고, 전자선이나 레이저 등으로 형성된 요철 요소(21)의 요철 형상을 반전시킨 형상을 가진다. 도 5b에 도시한 바와 같이, 기판(1) 상에 퇴적한 막(33)에 레지스트 재료(32)를 도포하여 몰드(31)를 가압하고, 자외선 등을 조사하여, 레지스트 재료(32)에 몰드(31)의 요철 형상을 반전한 형상을 형성한다. 그 후, 도 5c에 도시한 바와 같이, 몰드(31)를 박리하고, 막(33)에 레지스트 재료(32)의 요철 형상이 전사되도록 현상함으로써, 광학 소자(100)의 기판(1) 상에 요철 구조(2)를 형성한다. 각 예에서, 요철 구조(2)의 제조 방법은, 나노임프린트 리소그래피에 한정되지 않고, 전자선이나 레이저 등으로 직접 요철 구조(2)를 형성하는 등의 다른 방법을 이용할 수도 있다.

[0031] 도 6은 각 예에 따른 오프셋 층(34)의 설명도이다. 도 6에 도시한 바와 같이, 도 5c에 도시한 바와 같이 기판(1) 상에 직접 요철 구조(2)를 형성하는 구조 대신에, 도 6에 도시한 바와 같이 영역 A1 및 영역 A2에 걸쳐 배치된 오프셋 층(34)이 설치될 수도 있다. 그 기판(1)은 오프셋 층(34)을 구비하고 기판(1)으로서 취급될 수도 있다.

[0032] 각 예에서, 하지층(22)은 요철 요소(21)와 동일한 재료로 제조될 수도 있다. 도 5b에 도시된 바와 같이, 막(33)과 같이 균일한 막 두께의 재료를 준비하는 것은 비교적 쉽다. 따라서, 막(33)에 기초하여 하지층(22)과 요철 구조(2)를 형성하는 경우, 하지층(22)은 요철 요소(21)와 동일한 재료로 제조될 수도 있다.

[0033] 각 예에서, 영역 A1에서의 복수의 제 1 구조체(215)의 각각의 높이(제 1 높이)는 H1이고, 영역 A2에서의 복수의 제 2 구조체(216)의 각각의 높이(제 2 높이)를 H2로 하는 경우, 이하의 부등식 (2)를 만족할 수도 있다. 부등식 (2)를 만족함으로써, 제조 공정이 간단해지고, 요철 요소(21)의 형성이 보다 쉬워진다.

[0034] $0.20 \leq H1/H2 \leq 0.90$ (2)

[0035] 부등식 (2)는 요철 요소(21)의 형상에 관한 것이다. 영역 A1에는 하지층(22)이 배치되어 있기 때문에, 영역 A2보다 영역 A1의 요철 요소(21)의 높이 H1을 낮게 해도, 위상 변조량을 증가시킬 수 있다. 따라서, 특히 영역 A1의 요철 요소(21)의 애스펙트비를 저감한 형상을 실현할 수도 있다.

[0036] 부등식 (2)의 하한값을 하회하는 경우, 상대적으로 영역 A1의 요철 요소(21)의 높이 H1이 낮아져, 영역 A1의 요철 요소(21)의 폭을 변경한 경우에 위상 변조량을 증가시킬 수 없다. 이때, 원하는 위상 변조량을 얻기 위해서는, 영역 A1의 요철 요소(21)의 폭을 상대적으로 크게 변화시킬 필요가 있어, 영역 A1에 있어서의 애스펙트비의 저감 효과를 얻을 수 없다. 각 예에서, 부등식 (2)의 하한값은, 0.25, 0.30, 0.32, 0.34, 0.35, 0.36, 0.38 또는 0.40이다.

[0037] 한편, 부등식 (2)의 상한값을 상회하는 경우, 상대적으로 영역 A2의 요철 요소(21)의 높이 H2가 낮아져, 영역 A2의 요철 요소(21)의 폭을 변경하였을 때의 위상 변조량을 증가시킬 수 없다. 이때, 원하는 위상 변조량을 얻기 위해서는, 영역 A2의 요철 요소(21)의 폭을 상대적으로 크게 변화시킬 필요가 있어, 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 저감 효과를 얻을 수 없다. 부등식 (2)의 상한값은, 0.88, 0.86, 0.84, 0.82, 0.80, 0.78, 0.76, 0.74, 0.72, 0.70, 0.69, 0.68, 0.67, 0.66 또는 0.65로 변경될 수도 있다.

[0038] 각 예에서, 복수의 제 1 구조체(215)의 높이 H1은 동일할 필요는 없고, 서로 상이할 수도 있다. 이 점은, 복수의 제 2 구조체(216)의 높이 H2에 대해서도 마찬가지이다.

[0039] 각 예에서, 영역 A1에 있어서의 하지층(22)의 높이를 HL로 하는 경우, 이하의 부등식 (3)을 만족할 수도 있다. 높이 HL이 최소 높이 또는 최대 높이인 경우에도 부등식 (3)을 만족할 수도 있다.

[0040] $0.80 \leq (H1+HL)/H2 \leq 1.20$ (3)

[0041] 부등식 (3)은 요철 요소(21) 및 하지층(22)의 높이에 관한 것이다. 부등식 (3)을 만족함으로써, 기판(1)에 대한 영역 A1의 요철 요소(21)의 선단 위치와 영역 A2의 요철 요소(21)의 선단 위치가 대략 동등하게 된다. 이 때문에, 균일한 두께의 막으로부터 요철 구조(2)를 형성하는 경우에는, 간단한 공정으로, 안정성이 높은 요철 구조를 실현할 수 있다. 부등식 (3)의 하한값을 하회하는 경우, 영역 A2의 요철 요소(21)의 높이 H2는 상대적으로 높아져, 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 저감 효과를 얻을 수 없다. 또한, 영역 A1과 영역 A2에서 요철 요소(21)의 선단 위치의 차가 증가한다. 따라서, 균일한 두께의 막으로부터 요철 구조(2)를 형성하는 경우에는, 높이에 차이를 제공하는 단계를 포함할 필요가 있다. 한편, 부등식 (3)의 상한값을 상회하는 경우에, 영역 A1의 요철 요소(21)의 높이 H1은 상대적으로 높아져, 영역 A1에 있어서의 애스펙트비의 저감 효과를 얻을 수 없다.

[0042] 각 예의 효과를 더욱 확실하게 하기 위해, 부등식 (3)의 하한값은, 0.82, 0.84, 0.86, 0.88, 0.90, 0.92, 0.94, 0.95, 0.96, 0.97, 0.98 또는 0.99로 변경될 수도 있다. 부등식 (3)의 상한값은, 1.18, 1.16, 1.14,

1.12, 1.10, 1.08, 1.06, 1.05, 1.04, 1.03, 1.02 또는 1.01로 변경될 수도 있다.

[0043] 요철 요소(21) 및 하지층(22)의 높이가 기판(1)의 반경 방향에 대하여 약간 파도모양을 갖는 경우에는, 윤대내의 요철 요소(21) 및 하지층(22)의 높이의 평균값이 부등식 (3)을 만족할 수도 있다. 또한, 제조 오차로 인해 의도하지 않은 국소적인 요철부나, 광선 유효부외의 구조 등의 각 예의 효과를 기대하고 있지 않은 영역에 있어서는, 부등식 (3)을 만족하지 않을 수도 있다.

[0044] 기판(1)의 두께 방향으로 진행하는 광에 관해서, 요철 구조(2)에 의한 위상 변조량(위상 지연량)은 영역 A2보다 영역 A1 쪽이 클 수도 있다. 도 7은 기판(1)의 반경 방향에 대한 규격화 위상의 변조량의 설명도이다. 도 7에서, 종축은 정규화 위상을 나타내고, 횡축은 반경 방향의 위치를 나타낸다. 도 8은, 요철 요소 폭(예를 들면, 볼록한 원통형 요소의 직경 등)의 설명도이다. 도 8에서, 종축은 요철 요소 폭을 나타내고, 횡축은 반경 방향의 위치를 나타낸다. 도 8에서, 각 예에 따른 광학 소자(100)의 구조를 실선으로 나타내고, 하지층(22)이 없는 비교 예에 따른 광학 소자(101)의 구조를 점선으로 나타낸다.

[0045] 각 예에서는, 영역 A1에 하지층(22)을 배치함으로써, 영역 A2보다 위상 변조량을 크게 한다. 각 예에서는, 각 영역에서 요철 요소 폭을 변화시키는 것에 의해, 비교 예보다 요철 요소 폭의 변화량을 작게 함으로써, 영역 A1 및 영역 A2의 요철 요소(21)의 애스펙트비를 억제한다. 영역 A2보다 영역 A1의 요철 구조(2)에 의한 위상 변조가 작은 경우에는, 영역 A1 및 영역 A2의 요철 요소 폭의 변화량을 상대적으로 크게 구성하지 않으면 원하는 위상 분포 또는 애스펙트비 억제 효과를 얻을 수 없다.

[0046] 도 9a 및 9b를 참조하여 요소 충전율을 설명한다. 도 9a 및 9b는, 요소 충전율의 설명도이다. 도 9a는 하지층(22)을 갖는 영역 A1에 있어서의 요소 충전율을 도시하고, 도 9b는 하지층(22)이 없는 영역 A2에 있어서의 요소 충전율을 도시한다.

[0047] 요소 충전율은 세그먼트 당 요철 구조(2)가 차지하는 체적의 비율이다. 도 9a 및 9b에 도시한 바와 같이, 영역 A1 또는 영역 A2의 기판(1)의 표면 위치로부터, 기판(1)의 표면 위치로부터 높이 HL의 위치까지의 범위의 요소 충전율은, 바닥면 P×P 곱하기 높이 HL로 규정된 체적 Vs에 대한 하지층(22) 또는 요철 요소(21)의 비율이다. 도 9a 및 9b에 도시한 바와 같이, 영역 A1 또는 영역 A2의 높이 HL의 위치로부터 요철 요소(21)의 선단 위치까지의 범위의 요소 충전율은, 바닥면 P×P 곱하기 높이 H1로 규정된 체적 Va에 대한 하지층(22) 또는 요철 요소(21)의 비율이다.

[0048] 영역 A1에 있어서의 기판(1)의 표면 위치(표면)로부터 높이 HL의 위치까지의 복수의 제 1 구조체의 요소 충전율의 최대값을 V1s, 영역 A2에 있어서의 기판(1)의 표면 위치로부터 높이 HL의 위치까지의 복수의 제 2 구조체의 요소 충전율의 최대값을 V2s, 영역 A1에서의 높이 HL의 위치로부터 요철 구조(2)(구조체)의 선단 위치(선단)까지의 복수의 제 1 구조체의 요소 충전율의 최대값을 V1a, 영역 A1 및 영역 A2의 각각에서의 높이 HL의 위치로부터 요철 구조(2)(구조체)의 선단 위치까지의 복수의 제 2 구조체의 요소 충전율의 최대값을 V2a로 하는 경우, 이하의 부등식 (4) 내지 (6) 중 적어도 하나를 만족할 수도 있다.

[0049] $0.50 \leq V1s \leq 1.00$ (4)

[0050] $0.80 \leq V2a/V2s \leq 1.20$ (5)

[0051] $0.20 \leq V1a/V1s \leq 0.80$ (6)

[0052] 부등식 (4)는 영역 A1의 하지층(22)의 요소 충전율에 관한 것이다. 부등식 (4)의 하한값을 하회하는 경우, 영역 A1 및 영역 A2의 요철 요소 폭을 상대적으로 크게 변화시키지 않으면 원하는 위상 변조량 또는 애스펙트비의 억제 효과를 얻을 수 없다. 요소 충전율의 정의로부터, V1s가 최대가 되는 것은 Vs와 같아지는 경우이므로, 부등식 (4)의 상한값을 결코 초과하지 않는다. 부등식 (4)의 하한값은 0.54, 0.58, 0.62, 0.64, 0.68, 0.72, 0.76, 0.80, 0.82, 0.84, 0.86, 0.88, 0.90, 0.92, 0.94 또는 0.96일 수도 있다.

[0053] 부등식 (5)는 영역 A2의 요소 충전율에 관한 것이다. 조건(5)의 하한값을 하회하는 경우, 상대적으로 V2s가 커져, 영역 A2의 요철 요소 폭을 크게 변화시키지 않으면 원하는 위상 변조량 또는 애스펙트비의 억제 효과를 얻을 수 없다. 한편, 부등식 (5)의 상한값을 상회하는 경우에, 상대적으로 V2a가 커져, 영역 A1의 요철 요소(21)의 폭을 크게 변화시키지 않으면 원하는 위상 변조량 또는 애스펙트비의 억제 효과를 얻을 수 없다. 각 예의 효과를 더욱 확실하게 하기 위해, 부등식 (5)의 하한값은, 0.82, 0.84, 0.86, 0.88, 0.90, 0.92, 0.94 또는 0.96으로 변경될 수도 있다. 부등식 (5)의 상한값은, 1.18, 1.16, 1.14, 1.12, 1.10, 1.08, 1.06, 1.04 또는 1.02로 변경될 수도 있다.

[0054] 부등식 (6)은 영역 A1의 요소 충전율에 관한 것이다. 부등식 (6)의 하한값을 하회하는 경우, 상대적으로 V1s가 커져, 영역 A2의 요철 요소(21)의 폭을 크게 변화시키지 않으면 원하는 위상 변조량 또는 애스펙트비의 억제 효과를 얻을 수 없다. 한편, 부등식 (6)의 상한값을 상회하는 경우, 상대적으로 V1a가 커져, 영역 A1의 요철 요소(21)의 폭을 크게 변화시키지 않으면 원하는 위상 변조량 또는 애스펙트비의 억제 효과를 얻을 수 없다. 각 예의 효과를 더욱 확실하게 하기 위해, 부등식 (6)의 하한값은, 0.21, 0.22, 0.23, 0.24, 0.25, 0.26, 0.27, 0.28, 0.29 또는 0.30으로 변경될 수도 있다. 부등식 (6)의 상한값은, 0.78, 0.76, 0.74, 0.72, 0.70, 0.68, 0.66 또는 0.65으로 변경될 수도 있다.

[0055] 각 예에 있어서, 영역 A1에 있어서의 요철 요소(21)의 최대폭(복수의 제 1 구조체 중 원기둥의 직경의 최대값)을 Wmax1, 영역 A1에 있어서의 요철 요소(21)의 최소폭(원기둥의 직경의 최소값)을 Wmin1, 영역 A2에 있어서의 요철 요소(21)의 최대폭(복수의 제 2 구조체 중 원기둥의 직경의 최대값)을 Wmax2, 영역 A2에 있어서의 요철 요소(21)의 최소폭(원기둥의 직경의 최소값)을 Wmin2로 하는 경우, 이하의 부등식 (7), (8)을 만족할 수도 있다.

[0056] $1.05 \leq Wmax1/Wmin1 \leq 6.00$ (7)

[0057] $1.05 \leq Wmax2/Wmin2 \leq 6.00$ (8)

[0058] 부등식 (7),(8)은 각각 영역 A1 및 영역 A2의 요철 요소(21)의 형상에 관한 것이다. 부등식 (7),(8)의 각각의 하한값을 하회하는 경우, 약간의 요철 요소 폭의 변화로 인해 위상 변조가 상대적으로 커지고, 요철 구조(2)를 형성할 때의 제조 변동의 영향이 커져, 제조가 어려워진다. 한편, 부등식 (7),(8) 각각의 상한값을 상회하는 경우, 요철 요소 폭의 변화량이 증가하여, 애스펙트비의 억제 효과를 얻을 수 없다.

[0059] 각 예의 효과를 더욱 확실하게 하기 위해, 부등식 (7)의 하한값은, 1.10, 1.15, 1.20, 1.25, 1.30, 1.35, 1.40 또는 1.45로 변경될 수도 있다. 부등식 (7)의 상한값은, 5.50, 5.00, 4.50, 4.00, 또는 3.50으로 변경될 수도 있다.

[0060] 각 예의 효과를 더욱 확실하게 하기 위해, 부등식 (8)의 하한값은, 1.06, 1.08, 1.12, 1.16, 1.20, 1.24, 1.26, 1.28, 1.30, 1.32, 1.34 또는 1.36으로 변경될 수도 있다. 부등식 (8)의 상한값은, 5.50, 5.00, 4.50, 4.00, 3.50, 3.00, 2.50, 2.00, 1.80, 1.70 또는 1.60으로 변경될 수도 있다.

[0061] 각 예에서, 영역 A1 및 영역 A2의 요철 요소(21)의 위상 변조는, 윤대 내에서 기판(1)의 반경 방향을 따라 단조롭게 증가 또는 감소된다. 즉, 복수의 윤대 각각에 있어서, 복수의 제 1 구조체(215) 및 복수의 제 2 구조체(216)는 요철 구조(2)를 통과하는 광의 위상이 반경 방향으로 단조롭게 증가 또는 감소하도록 구성되어 있다. 위상 변조가 이산적으로 증가 또는 감소하는 경우에는, 요철 요소 폭을 상대적으로 크게 변화시킬 필요가 있고, 애스펙트비의 억제 효과를 얻을 수 없다. 각 예에 따른 광학 소자(100)에 기판(1)의 두께 방향으로 평면파가 입사했을 때에 집광 작용을 갖는 경우, 윤대 내에서 위상 변조는, 기판(1)의 내부로부터 외주부로 반경 방향으로 위상 지연이 단조롭게 감소한다는 것을 나타낸다. 또한, 각 예에 따른 광학 소자(100)에 발산 작용을 갖는 경우, 윤대 내에서 위상 변조는 기판의 내부로부터 외주부로 반경 방향으로 위상 지연이 단조롭게 증가한다는 것을 나타낸다.

[0062] 각 예에서, 영역 A1에 있어서의 요철 요소(21)의 애스펙트비의 최대값을 AR1, 영역 A2에 있어서의 요철 요소(21)의 애스펙트비의 최대값을 AR2로 하는 경우, 이하의 부등식 (9)를 만족할 수도 있다.

[0063] $0.35 \leq AR1/AR2 \leq 2.00$ (9)

[0064] 부등식 (9)는 요철 요소(21)의 형상에 관한 것이다. 부등식 (9)의 하한값을 하회하는 경우, 영역 A2에 있어서 요철 요소 폭의 변화량이 커져, 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 억제 효과를 얻을 수 없다. 한편, 부등식 (9)의 상한값을 상회하는 경우, 영역 A1에 있어서 요철 요소 폭의 변화량이 커져, 영역 A1에 있어서의 애스펙트비의 억제 효과를 얻을 수 없다.

[0065] 각 예의 효과를 더욱 확실하게 하기 위해, 부등식 (9)의 하한값은, 0.36, 0.38, 0.40, 0.42, 0.43 또는 0.44로 변경될 수도 있다. 부등식 (9)의 상한값은, 1.90, 1.80, 1.70, 1.60, 1.50, 1.40, 1.30, 1.25 또는 1.20으로 변경될 수도 있다.

[0066] 각 예에서는, 이하의 부등식 (10), (11)을 만족할 수도 있다.

[0067] $1.50 \leq A1 \leq 20.00$ (10)

[0068] $1.50 \leq A2 \leq 20.00$ (11)

[0069] 부등식 (10), (11)은 영역 A1 및 영역 A2의 요철 요소(21)의 형상에 관한 것이다. 부등식 (10), (11)의 각각의 하한값을 하회하는 경우, 약간의 요철 요소 폭의 변화로 위상 변조가 상대적으로 커지고, 요철 구조(2)를 형성할 때의 제조 변동의 영향이 커져, 제조가 어려워진다. 한편, 부등식 (10), (11)의 각각의 상한값을 상회하는 경우에는, 애스펙트비가 증가하여, 외적 요인으로 인해 상기 구조가 붕괴되기 쉬워진다.

[0070] 각 예의 효과를 더욱 확실하게 하기 위해, 부등식 (10), (11)의 하한값은, 2.00, 3.00, 3.40, 3.80, 4.00, 4.20, 4.40, 4.60, 4.80, 5.00 또는 5.20으로 변경될 수도 있다. 부등식 (10), (11)의 상한값은, 18.00, 16.00, 15.00, 14.00, 13.0, 12.0, 11.0, 10.0, 9.0 또는 8.0으로 변경될 수도 있다.

[0071] 각 예에 따른 광학 소자(100)에 있어서, 위상 분포는 기준 파장 $\lambda 0$에 의존한다. 이하의 부등식 (12)를 만족할 수도 있다.

[0072] $0.50 \leq H2/\lambda 0 \leq 4.00$ (12)

[0073] 부등식 (12)는 요철 요소(2)의 형상에 관한 것이다. 위상 분포에 관해서는, 기준 파장 $\lambda 0$에 대한 위상에 기초하여 윤대를 결정한다. 부등식 (12)의 하한값을 하회하는 경우, 요철 요소 폭의 변화량이 커져, 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 억제 효과를 얻을 수 없다. 한편, 부등식 (12)의 상한값을 상회하는 경우에는, 애스펙트비가 증가하여, 외적 요인으로 인해 상기 구조가 붕괴되기 쉬워진다.

[0074] 각 예의 효과를 더욱 확실하게 하기 위해, 부등식 (12)의 하한값은, 0.60, 0.70, 0.80, 0.90, 0.95 또는 1.00으로 변경될 수도 있다. 부등식 (12)의 상한값은, 3.80, 3.60, 3.40, 3.20, 3.00, 2.80, 2.60, 2.40, 2.20 또는 2.00으로 변경될 수도 있다.

[0075] 각 예에 따른 광학 소자(100)는, 이하의 부등식 (13)을 만족할 수도 있다.

[0076] $0.15 \leq Wmin1/Wmin2 \leq 4.00$ (13)

[0077] 부등식 (13)은 요철 요소(21)의 형상에 관한 것이다. 부등식 (13)의 하한값을 하회하는 경우, 영역 A1에 있어서의 요철 요소 폭이 상대적으로 작아지고, 영역 A1에 있어서의 애스펙트비의 억제 효과를 얻는 것이 어려워진다. 한편, 부등식 (13)의 상한값을 상회하는 경우에는, 영역 A2에 있어서의 요철 요소 폭이 상대적으로 작아져, 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 억제 효과를 얻는 것이 어려워진다.

[0078] 각 예의 효과를 더욱 확실하게 하기 위해, 부등식 (13)의 하한값은, 0.16, 0.18, 0.20, 0.22, 0.24, 0.26, 0.28 또는 0.29로 변경될 수도 있다. 부등식 (13)의 상한값은, 3.75, 3.50, 3.25, 3.00, 2.75, 2.50 또는 2.25로 변경될 수도 있다.

[0079] 이하의 부등식 (14)를 만족할 수도 있다.

[0080] $0.70 \leq Wmax1/Wmax2 \leq 1.40$ (14)

[0081] 부등식 (14)는 요철 요소(21)의 형상에 관한 것이다. 부등식 (14)의 하한값을 하회하는 경우, 영역 A1의 요철 요소(21)의 최대 폭이 상대적으로 작아진다. 따라서, 영역 A1에서 소정의 규격화 위상을 변화시키기 위해서는, 요철 요소(21)의 최소 폭을 감소시킬 필요가 있고, 애스펙트비의 억제 효과를 얻는 것이 어려워진다. 한편, 부등식 (14)의 상한값을 상회하는 경우에는, 영역 A2의 요철 요소(21)의 최대 폭이 상대적으로 작아진다. 따라서, 영역 A2에서 소정의 규격화 위상을 변화시키기 위해서는, 요철 요소(21)의 최소 폭을 감소시킬 필요가 있고, 영역 A2에서의 애스펙트비의 억제 효과를 얻는 것이 어려워진다.

[0082] 각 예에 따른 효과를 더욱 확실하게 하기 위해, 부등식 (14)의 하한값은, 0.74, 0.78, 0.82, 0.84, 0.85, 0.86, 또는 0.87로 변경될 수도 있다. 부등식 (14)의 상한값은, 1.36, 1.32, 1.30, 1.28, 1.26, 1.24, 1.22 또는 1.20으로 변경될 수도 있다.

[0083] 이하의 부등식 (15)를 만족할 수도 있다.

[0084] $0.10 \leq P/H2 \leq 0.60$ (15)

[0085] 부등식 (15)는 요철 요소(21) 및 세그먼트의 형상에 관한 것이다. 부등식 (15)의 하한값을 하회하는 경우, 요철 요소(21)의 세그먼트가 상대적으로 작아지고, 약간의 요철 요소 폭의 변화로 위상 변조가 증가한다. 그 결과, 요철 구조(2)를 형성할 때의 제조 변동의 영향이 증가하여, 제조가 어려워진다. 한편, 부등식 (15)의 상한값을

상회하는 경우에는, 영역 A2에 있어서의 요철 요소(21)의 높이가 높아져, 애스펙트비의 억제 효과를 충분히 얻는 것이 어려워진다.

[0086] 각 예의 효과를 더욱 확실하게 하기 위해, 부등식 (15)의 하한값은, 0.12, 0.14, 0.15, 0.16, 0.17, 또는 0.18로 변경될 수도 있다. 또한, 부등식 (15)의 상한값은, 0.58, 0.56, 0.54, 0.52, 0.50, 0.48, 0.46, 0.44, 또는 0.42로 변경될 수도 있다.

[0087] 동일한 윤대에 있어서의 영역 A1과 영역 A2의 경계에서의 규격화 위상을 E, 설계 회절 차수를 n으로 하는 경우, 이하의 부등식 (16)을 만족할 수도 있다.

[0088] $0.15 \leq E/n \leq 0.95$ (16)

[0089] 부등식 (16)은 회절 작용의 규격화 위상에 관한 것이다. 부등식 (16)의 하한값을 하회하는 경우, 영역 A1에 있어서의 규격화 위상의 변화량이 커지고, 영역 A1에 있어서의 요철 요소(21)의 폭의 변화량을 증가시켜야 해서, 애스펙트비의 억제 효과를 얻는 것이 어려워진다. 한편, 부등식 (16)의 상한값을 상회하는 경우에는, 영역 A2에 있어서의 규격화 위상의 변화량이 커지고, 영역 A2에 있어서의 요철 요소(21)의 폭의 변화량을 증가시켜야 해서, 애스펙트비의 억제 효과를 얻는 것이 어려워진다.

[0090] 각 예의 효과를 더욱 확실하게 하기 위해서, 부등식 (16)의 하한값은, 0.16, 0.20, 0.24, 0.28, 0.30, 0.32, 0.34, 0.36 또는 0.38로 변경될 수도 있다. 부등식 (16)의 상한값은, 0.94, 0.93, 0.92, 0.91, 0.90, 0.89, 0.88, 0.87, 0.86, 0.85, 0.84, 0.83 또는 0.82로 변경될 수도 있다.

[0091] 각 예에서, 기판(1)의 광축 방향의 두께를 t로 하는 경우, 이하의 부등식 (17)을 만족할 수도 있다.

[0092] $0.00 \leq H2/t \leq 0.10$ (17)

[0093] 부등식 (17)은 광학 소자(100)의 형상에 관한 것이다. 영역 A2의 요철 요소(21)의 높이 H2 및 기판(1)의 두께 t는 모두 길이를 나타내는 수치이며, 0보다 큰 수치가 된다. 따라서, 그 값은 결코 부등식 (17)의 하한값을 하회하지 않는다. 부등식 (17)의 상한값을 상회하는 경우, 상대적으로 기판의 두께가 얇아져, 기판이 보유부재에 의해 보유될 때에 자중에 의한 변형을 억제할 수 없게 되거나, 리소그래피 기술을 이용하여 제조할 때에 기판이 변형할 수도 있다.

[0094] 각 예의 효과를 더욱 확실하게 하기 위해서, 부등식 (17)의 하한값은, 0.000001, 0.000005, 0.00001, 또는 0.0001로 변경될 수도 있다. 부등식 (17)의 상한값은, 0.08, 0.06, 0.04, 0.02, 0.01, 0.008, 0.006 또는 0.004로 변경될 수도 있다.

[0095] 동일한 윤대 내의 영역 A1과 영역 A2의 경계에서, 피치 P의 세그먼트간 경계로부터 하지층(22)의 끝까지의 기판(1)의 두께 방향에 수직한 방향, 즉 광축과 수직 방향의 길이 S로 하는 경우, 이하의 부등식 (18)을 만족할 수도 있다.

[0096] $0.00 \leq S/P \leq 0.40$ (18)

[0097] 부등식 (18)은 하지층(22)의 형상에 관한 것이다. 도 10a 내지 도 10d를 참조하여, 하지층(22)의 오프셋을 설명한다. 도 10a 내지 도 10d는, 하지층(22)의 오프셋의 설명도이다.

[0098] 도 10a에 도시된 바와 같이, 동일한 윤대 내의 영역 A1과 영역 A2의 경계에서, 하지층(22)의 끝을 세그먼트 경계로부터 광축과 수직 방향으로 길이 S만큼 오프셋함으로써, 영역 A2의 요철 요소(21)와 하지층(22) 사이에 충분한 간격을 확보할 수 있다. 이에 따라, 리소그래피 기술을 사용하여 요철 요소(21)를 형성할 때에, 요철 요소(21)끼리의 간격, 또는 요철 요소(21)와 하지층(22)의 간격을 상대적으로 넓게 확보할 수 있어, 가공이 쉬울 수 있다.

[0099] 도 10b는, 후술하는 예 18의 제 1 윤대에 있어서의 영역 A1과 영역 A2의 경계에서의 xy 평면도이다. 각 세그먼트는, 1변의 길이가 P의 정사각형이며, 세그먼트의 중심 좌표(x, y)는 j 및 k를 정수로서$((j-0.5)\times P,(k-0.5)\times P)$가 된다. 영역 A1과 세그먼트의 1정점에서 접하는 요철 요소(211)를 포함하는 세그먼트에 있어서는, 영역 A1과 접하는 세그먼트 정점으로부터 x방향 및 y방향 각각으로 S만큼 하지층을 오프셋하여도 된다. 영역 A1과 세그먼트의 1변에서 접하는 요철 요소(212)를 포함하는 세그먼트에 있어서는, 영역 A1과 접하는 세그먼트 변으로부터 x 방향 또는 y 방향으로 S만큼 하지층을 오프셋하여도 된다. 영역 A1과 세그먼트의 1 정점 및 2변에서 접하는 요철 요소(213)를 포함하는 세그먼트에 있어서는, 영역 A1과 접하는 각 세그먼트 변으로부터 x 방향 및 y 방향 각각으로 S만큼 하지층을 오프셋하여도 된다. 하지층(22)을 오프셋한 세그먼트에서는, 광이 세그먼트를 투과

했을 때의 위상 변화량이 그 세그먼트가 오프셋되어 있지 않은 경우와 상이하여, 오프셋 길이 S에 따라 요철 요소의 폭을 변화시킬 필요가 있다.

[0100] 도 10c는, 하지층(22)의 오프셋을 고려한 경우의 요철 요소(21)인 볼록한 원통형 요소의 직경을 세그먼트 피치 P로 규격화한 규격화 직경과, 규격화 위상의 변화량을 도시한다. 요철 요소(211)를 포함하는 세그먼트를 영역 A11, 요철 요소(212)를 포함하는 세그먼트를 영역 A12, 요철 요소(213)를 포함하는 세그먼트를 영역 A13으로 한다. 하지층(22)의 오프셋이 없는 영역 A1과 동일한 규격화 위상을 얻기 위해서는, 영역 A11, A12, A13에서는 규격화 직경을 변경할 필요가 있는 것을 알 수 있다. 영역 A11, A12, A13은 동일한 윤대 내의 영역 A1과 영역 A2의 경계에 위치되기 때문에, 규격화 직경에 대한 규격화 위상의 값도 영역 A1과 영역 A2의 경계에 상당하는 위치에 도시하여 있다.

[0101] 도 10d에 도시한 바와 같이, 인접하는 윤대에 있어서의 영역 A1과 영역 A2의 경계에 있어서는, 영역 A2의 요철 요소 폭은 상대적으로 좁도록 구성되어, 하지층(22)으로부터 충분한 간격을 확보할 수 있다. 이 때문에, 영역 A1의 하지층(22)의 끝을 세그먼트 경계로부터 오프셋하지 않아도 된다.

[0102] 오프셋 길이 S 및 피치 P는 모두 길이를 나타내는 수치이며, 0이상의 수치가 되기 때문에, 그 값은 결코 부등식 (18)의 하한값을 하회하지 않는다. 부등식 (18)의 상한값을 상회하는 경우, 하지층(22)을 오프셋하는 세그먼트의 요철 요소 폭을 상대적으로 크게 하지 않으면 원하는 규격화 위상을 얻을 수 없다. 이때, 요철 요소(21)의 끝으로부터 상기 오프셋된 하지층(22)의 끝까지 충분한 간격을 확보할 수 없어, 제조가 어려워진다. 또한, 하지층의 끝으로부터 요철 요소의 끝을 넘는 오버행(overhang) 형상으로 인해, 제조가 어려워진다.

[0103] 각 예의 효과를 더욱 확실하게 하기 위해서, 부등식 (18)의 하한값은, 0.005, 0.01, 0.02, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07 또는 0.08로 변경될 수도 있다. 부등식 (18)의 상한값은, 0.36, 0.32, 0.28, 0.24, 0.20, 0.18, 0.16, 0.14, 또는 0.12로 변경될 수도 있다.

[0104] 이하, 각 예에 따른 광학 소자(100)에 대하여 상세히 설명한다.

[0105] 도 11a, 11b, 11c, 11d는 요철 요소(21)의 형상의 설명도이다. 도 11a에 도시된 요철 요소(21)는 볼록한 원통형 요소이고, 요철 요소 폭 Wa는 원기둥의 직경이다. 도 11b에 도시된 요철 요소(21)는 볼록한 직사각형(사각형) 각기둥 요소이고, 요철 요소 폭 Wb는 상기 직사각형 각기둥의 광축과 수직 방향의 변의 길이다. 도 11c에 도시된 요철 요소(21)는 오목한 원통형 요소이고, 요철 요소 폭 Wc는 중공형 원기둥의 직경이다. 도 11d에 도시된 요철 요소(21)는 볼록한 십자형 각기둥 요소이며, 요철 요소 폭 WS, WL은 도시된 길이일 수도 있다.

[0106] 예 1에 따른 광학 소자는, 두께 0.775㎜의 합성 석영으로 제조된 기판과, Si_3N_4으로 제조된 볼록한 원통형 요소와, 균일한 막 두께의 하지층으로 이루어지는 요철 구조를 갖는다. 영역 A1 및 영역 A2의 요철 요소는, 한 변이 240㎚인 정사각형 세그먼트마다 배치되고, 높이는 각각 440㎚, 880㎚, 하지층의 높이는 440㎚이다. 요철 구조의 유효 직경은 φ4.0㎜이고, 파장 500㎚에서 2π의 위상차가 주기적으로 반복하는 윤대를 105윤대 가지고 있고, 요철 구조에 의한 초점 거리는 40.0㎜이다. 규격화 위상이 0.54인 위치를 윤대 내의 영역 A1과 영역 A2의 경계로 설정하고, 영역 A1 및 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 최대값은 각각 7.24, 6.64이다. 이 때문에, 하지층이 없는 참고예 1에서 애스펙트비의 최대값 20.7과 비교하여, 애스펙트비를 억제할 수 있다.

[0107] 예 2에 따른 광학 소자는, 두께 0.775㎜의 합성 석영으로 제조된 기판과, Si_3N_4으로 제조된 볼록한 원통형 요소와, 균일한 막 두께의 하지층으로 이루어지는 요철 구조를 갖는다. 영역 A1 및 영역 A2의 요철 요소는, 한 변이 300㎚인 정사각형 세그먼트마다 배치되고, 높이는 각각 500㎚, 1000㎚, 하지층의 높이는 500㎚이다. 요철 구조의 유효 직경은 φ2.5㎜이고, 파장 587.6㎚에서 2π의 위상차가 주기적으로 반복하는 윤대를 67윤대 갖고 있고, 요철 구조에 의한 초점 거리는 20.0㎜이다. 규격화 위상이 0.59인 위치를 윤대 내의 영역 A1과 영역 A2의 경계로 설정하고, 영역 A1 및 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 최대값은 각각 4.46, 6.29이다. 이 때문에, 하지층이 없는 참고예 2에서 애스펙트비의 최대값 18.9와 비교하여, 애스펙트비를 억제할 수 있다.

[0108] 예 3에 따른 광학 소자는, 두께 0.775㎜의 합성 석영으로 제조된 기판과, Si_3N_4으로 제조된 볼록한 원통형 요소와, 균일한 막 두께의 하지층으로 이루어지는 요철 구조를 갖는다. 영역 A1 및 영역 A2의 요철 요소는, 한 변이 320㎚인 정사각형 세그먼트마다 배치되고, 높이는 각각 800㎚, 1600㎚, 하지층의 높이는 800㎚이다. 요철 구조의 유효 직경은 φ2.5㎜이고, 파장 500㎚에서 4π의 위상차가 주기적으로 반복하는 윤대를 79윤대 갖고 있고, 요철 구조에 의한 초점 거리는 10.0㎜이다. 규격화 위상이 0.80인 위치를 윤대 내의 영역 A1 및 영역 A2의 경계로 설정하고, 영역 A1 및 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 최대값은 각각 5.88, 9.80이다. 이 때문에, 하지층

이 없는 참고예 3에서 애스펙트비의 최대값 21.3과 비교하여, 애스펙트비를 억제할 수 있다.

[0109] 예 4에 따른 광학 소자는, 두께 0.775㎜의 합성 석영으로 제조된 기판과, TiO_2로 제조된 볼록한 원통형 요소와, 균일한 막 두께의 하지층으로 이루어지는 요철 구조를 갖는다. 영역 A1 및 영역 A2의 요철 요소는, 한 변이 240㎚인 정사각형 세그먼트마다 배치되고, 높이는 각각 300㎚, 600㎚, 하지층의 높이는 300㎚이다. 요철 구조의 유효 직경은 φ12.0㎜이고, 파장 587.6㎚에서 2π의 위상차가 주기적으로 반복하는 윤대를 307윤대 갖고 있고, 요철 구조에 의한 초점 거리는 100.0㎜이다. 규격화 위상이 0.65인 위치를 윤대 내의 영역 A1 및 영역 A2의 경계로 설정하고, 영역 A1 및 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 최대값은 각각 3.55, 7.01이다. 이 때문에, 하지층이 없는 참고예 4에서 애스펙트비의 최대값 39.3과 비교하여, 애스펙트비를 억제할 수 있다.

[0110] 예 5에 따른 광학 소자는, 두께 2.0㎜의 합성 석영으로 제조된 기판과, Al_2O_3으로 제조된 볼록한 원통형 요소와 균일한 막 두께의 하지층 으로 이루어지는 요철 구조를 갖는다. 영역 A1 및 영역 A2의 요철 요소는 한 변이 300㎚인 정사각형 세그먼트마다 배치되고, 높이는 각각 700㎚, 1400㎚, 하지층의 높이는 700㎚이다. 요철 구조의 유효 직경은 φ7.5㎜이고, 파장 486.1㎚에서 2π의 위상차가 주기적으로 반복하는 윤대를 348윤대 가지고 있고, 요철 구조에 의한 초점 거리는 41.7㎜이다. 규격화 위상이 0.60인 위치를 윤대 내의 영역 A1 및 영역 A2의 경계로 설정하고, 영역 A1 및 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 최대값은 각각 5.68, 8.84이다. 이 때문에, 하지층이 없는 참고예 5에서 애스펙트비의 최대값 26.4와 비교하여, 애스펙트비를 억제할 수 있다.

[0111] 예 6 내지 10에 따른 광학 소자는, 영역 A1의 요철 요소의 높이와 하지층의 높이가 다른 점을 제외하고는, 각각 예 1 내지 5의 광학 소자와 동등한 사양이다.

[0112] 예 6에 따른 광학 소자의 영역 A1의 요철 요소 및 하지층의 높이는 각각 352㎚, 528㎚이다. 규격화 위상이 0.58인 위치를 윤대 내의 영역 A1과 영역 A2의 경계로 설정하고, 영역 A1 및 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 최대값은 각각 5.02, 5.83이다.

[0113] 예 7에 따른 광학 소자의 영역 A1의 요철 요소 및 하지층의 높이는 각각 400㎚, 600㎚이다. 규격화 위상이 0.70인 위치를 윤대 내의 영역 A1과 영역 A2의 경계로 설정하고, 영역 A1 및 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 최대값은 각각 7.90, 7.58이다.

[0114] 예 8에 따른 광학 소자의 영역 A1의 요철 요소 및 하지층의 높이는 각각 640㎚, 960㎚이다. 규격화 위상이 1.40인 위치를 윤대 내의 영역 A1과 영역 A2의 경계로 설정하고, 영역 A1 및 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 최대값은 각각 5.32, 12.47이다.

[0115] 예 9에 따른 광학 소자의 영역 A1의 요철 요소 및 하지층의 높이는 각각 240㎚, 360㎚이다. 규격화 위상이 0.68인 위치를 윤대 내의 영역 A1과 영역 A2의 경계로 설정하고, 영역 A1 및 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 최대값은 각각 2.63, 5.36이다.

[0116] 예 10에 따른 광학 소자의 영역 A1의 요철 요소 및 하지층의 높이는 각각 560㎚, 840㎚이다. 규격화 위상이 0.58인 위치를 윤대 내의 영역 A1과 영역 A2의 경계로 설정하고, 영역 A1 및 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 최대값은 각각 9.86, 7.97이다.

[0117] 예 11 내지 15의 광학 소자는, 영역 A1의 요철 요소의 높이와 하지층의 높이가 다른 점을 제외하고는, 예 1 내지 5의 광학 소자와 동등한 사양이다.

[0118] 예 11에 따른 광학 소자의 영역 A1에서의 요철 요소 및 하지층의 높이는 각각 528㎚, 352㎚이다. 규격화 위상이 0.55인 위치를 윤대 내의 영역 A1과 영역 A2의 경계로 설정하고, 영역 A1 및 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 최대값은 각각 6.49, 7.94이다.

[0119] 예 12에 따른 광학 소자의 영역 A1의 요철 요소 및 하지층의 높이는 각각 600㎚, 400㎚이다. 규격화 위상이 0.60인 위치를 윤대 내의 영역 A1과 영역 A2의 경계로 설정하고, 영역 A1 및 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 최대값은 각각 8.29, 13.77이다.

[0120] 예 13에 따른 광학 소자의 영역 A1의 요철 요소 및 하지층의 높이는 각각 960㎚, 640㎚이다. 규격화 위상이 1.60인 위치를 윤대 내의 영역 A1과 영역 A2의 경계로 설정하고, 영역 A1 및 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 최대값은 각각 5.37, 15.92이다.

[0121] 예 14에 따른 광학 소자의 영역 A1의 요철 요소 및 하지층의 높이는 각각 360㎚, 240㎚이다. 규격화 위상이 0.60인 위치를 윤대 내의 영역 A1과 영역 A2의 경계로 설정하고, 영역 A1 및 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의

최대값은 각각 3.62, 11.99이다.

[0122] 예 15에 따른 광학 소자의 영역 A1의 요철 요소 및 하지층의 높이는 각각 840㎚, 560㎚이다. 규격화 위상이 0.60인 위치를 윤대 내의 영역 A1과 영역 A2의 경계로 설정하고, 영역 A1 및 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 최대값은 각각 7.50, 11.22이다.

[0123] 예 16에 따른 광학 소자는, 영역 A1의 요철 요소의 높이와 하지층의 구성이 다른 점을 제외하고는, 예 1에 따른 광학 소자와 동등한 사양이다. 도 12는 예 16에 따른 광학 소자의 설명도이다. 도 12에 도시한 바와 같이, 요철 요소(21)의 높이(H11, H12) 및 하지층(22)의 높이(HL1, HL2)는 각각 다른 구조를 갖고 있고, 요철 요소(21)의 높이는 352㎚와 528㎚, 하지층 22의 높이는 528㎚, 352㎚이다. 윤대 내의 영역 A1에서의 하지층(22)의 높이가 다른 위치는, 규격화 위상이 0.78, 영역 A1과 영역 A2의 경계는 규격화 위상이 0.40인 위치를 경계로 한다. 영역 A1의 애스펙트비의 최대 값은 3.07과 5.29, 영역 A2의 애스펙트비의 최대 값은 6.37입니다.

[0124] 예 17에 따른 광학 소자는, 영역 A2에 있어서의 요철 요소의 형상이, 광축에 수직인 평면에 있어서의 절단면이 정사각형인 볼록한 직사각형(사각형) 각기둥 요소인 점을 제외하고, 예 1의 광학 소자와 동등한 사양이다. 예 17은 규격화 위상이 0.60인 영역을 윤대 내의 영역 A1과 영역 A2의 경계로 설정하고, 영역 A1 및 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 최대값은 각각 7.33, 8.05이다. 하지층이 없는 참고예 6의 애스펙트비의 최대값 14.6과 비교하여, 애스펙트비를 억제할 수 있다.

[0125] 예 18에 따른 광학 소자는, 동일한 윤대에 있어서의 영역 A1과 영역 A2의 경계에서 하지층 경계가 세그먼트 경계로부터 24㎚ 오프셋하고 있는 점을 제외하고, 예 1에 따른 광학 소자와 동등한 사양이다. 하지층 경계를 오프셋함으로써, 하지층 끝과 상기 영역 A2의 요철 요소 사이의 최소 간격이 25.2㎚부터 49.2㎚까지 변경되어, 제조가 쉬워진다.

[0126] 예 18은 규격화 위상이 0.54인 위치를 윤대 내의 영역 A1과 영역 A2의 경계로 하고, 영역 A1 및 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 최대값은 각각 7.24, 6.64이다. 본 예에서는, 오프셋 길이 S를 24㎚로 하고 있지만, 5㎚, 10㎚, 15㎚, 20㎚, 30㎚ 등 요철 요소가 구성 가능한 한 그 수치를 변경해도 된다.

[0127] 예 19에 따른 광학 소자는, 두께 0.775㎜의 합성 석영으로 제조된 기판과, Si_3N_4로 제조된 오목한 원통형 요소와, 균일한 막 두께의 하지층으로 이루어지는, 요철 구조를 갖는다. 도 13a는 예 19에 따른 광학 소자(100)의 xz 평면에서의 단면도, 도 13b는 예 19에 따른 광학 소자(100)의 xy 평면에서의 단면도이다. 영역 A1 및 영역 A2의 요철 요소는 한 변이 300㎚인 정사각형 세그먼트마다 배치되고, 높이는 각각 600㎚, 1200㎚, 하지층의 높이는 600㎚이다. 요철 구조의 유효 직경은 φ4.0㎜이고, 파장 500㎚에서 2π의 위상차가 주기적으로 반복하는 윤대를 105윤대 가지고 있고, 요철 구조에 의한 초점 거리는 40.0㎜이다. 규격화 위상이 0.65인 위치를 윤대 내의 영역 A1과 영역 A2의 경계로 설정하고, 영역 A1 및 영역 A2에 있어서의 애스펙트비의 최대값은 각각 11.98, 7.06이다. 이 때문에, 하지층이 없는 참고예 7의 애스펙트비의 최대값 28.2와 비교하여, 애스펙트비를 억제할 수 있다.

[0128] 이하, 예 1 내지 19에 따른 광학 소자 각각에 대응하는 수치 예 1 내지 19를 나타낸다. 요철 구조에 의한 집광 및 발산 작용을 나타내는 위상 φ는, h를 광축에 수직인 방향(반경방향)의 광축으로부터의 높이, m을 회절광의 회절 차수, λ0을 기준 파장, Ck(k=1, 2, 3,...)을 각 차수의 위상 계수로 하면, 다음과 같이 표현된다.

[0129] $$\phi(h) = \left(2\pi \frac{m}{\lambda_0}\right) \sum_k C_{2k} h^{2k}$$

[0130] d선(587.6nm), g선(435.8nm), F선(486.1nm), C선(656.3nm), 파장 500㎚에서의 굴절률을 nd, ng, nC, nF, n500으로 한다. 영역 A1 및 A2에서의 요철 요소의 폭을 각각 W1[㎚], W2[㎚], 비교 예의 요철 요소의 폭을 Wref[㎚]로 한다.

[0131] 수치 예 1

규격화 위상	W1	W2	Wref1
0.00		132.45	43.48
0.05		138.45	66.44
0.10		144.15	82.23
0.15		149.64	94.19
0.20		154.97	104.04
0.25		160.19	112.59
0.30		165.32	120.22
0.35		170.38	127.12
0.40		175.42	133.44
0.45		180.48	139.34
0.50		185.58	144.96
0.54	60.79	189.62	149.33
0.60	95.31		155.75
0.65	113.95		161.01
0.70	128.17		166.16
0.75	140.18		171.21
0.80	150.87		176.18
0.85	160.69		181.18
0.90	170.11		186.30
0.95	179.73		191.56
1.00	189.57		196.52

[0132]

[0133] 수치 예 2

규격화 위상	W1	W2	Wref2
0.00		158.94	52.99
0.05		166.78	82.77
0.10		174.14	102.57
0.15		181.20	117.34
0.20		188.06	129.51
0.25		194.79	140.16
0.30		201.41	149.70
0.35		207.90	158.33
0.40		214.31	166.23
0.45		220.76	173.58
0.50		227.39	180.60
0.55		234.24	187.44
0.59	112.09	239.58	192.84
0.65	141.54		200.86
0.70	160.51		207.43
0.75	177.02		213.88
0.80	191.37		220.27
0.85	203.86		226.74
0.90	215.65		233.51
0.95	228.05		240.57
1.00	239.89		247.29

[0134]

[0135] 수치 예 3

규격화 위상	W1	W2	Wref3
0.00		163.26	74.98
0.10		169.62	97.75
0.20		175.83	112.71
0.30		181.96	123.86
0.40		188.08	133.16
0.50		194.24	141.46
0.60		200.53	149.09
0.70		206.97	156.17
0.80	136.05	213.53	162.79
0.90	144.54		169.10
1.00	151.29		175.24
1.10	157.24		181.34
1.20	162.72		187.48
1.30	167.77		193.72
1.40	172.49		200.05
1.50	177.01		206.51
1.60	181.51		213.17
1.70	186.07		220.20
1.80	190.64		227.84
1.90	195.15		236.23
2.00	200.02		245.16

[0136]

[0137] 수치 예 4

규격화 위상	W1	W2	Wref4
0.00		85.65	15.25
0.05		101.98	67.65
0.10		114.61	90.20
0.15		125.27	103.58
0.20		134.52	115.27
0.25		142.73	126.60
0.30		150.29	136.86
0.35		157.51	145.42
0.40		164.56	152.39
0.45		171.42	158.51
0.50		178.06	164.70
0.54		183.29	170.12
0.60		191.36	179.06
0.65	84.56	198.34	186.69
0.70	116.42		193.72
0.75	136.38		199.78
0.80	152.32		205.26
0.85	165.61		211.46
0.90	177.15		219.59
0.95	189.20		228.51
1.00	201.50		230.08

[0138]

[0139] 수치 예 5

규격화 위상	W1	W2	Wref5
0.00		158.36	52.97
0.05		166.48	79.60
0.10		174.23	97.81
0.15		181.73	111.83
0.20		189.07	123.73
0.25		196.30	134.40
0.30		203.39	144.17
0.35		210.36	153.20
0.40		217.21	161.61
0.45		224.01	169.54
0.50		230.87	177.15
0.54		236.44	183.10
0.60	123.32	244.65	191.89
0.65	144.19		199.09
0.70	161.62		206.16
0.75	177.43		213.07
0.80	191.96		219.85
0.85	205.46		226.63
0.90	218.72		233.54
0.95	232.57		240.59
1.00	245.90		247.22

[0140]

[0141] 수치 예 6

규격화 위상	W1	W2
0.00		151.05
0.05		156.31
0.10		161.49
0.15		166.64
0.20		171.76
0.25		176.84
0.30		181.89
0.35		186.90
0.40		191.94
0.45		197.05
0.50		202.25
0.55		207.44
0.58	70.16	210.38
0.65	109.34	
0.70	126.54	
0.75	142.11	
0.80	156.88	
0.85	170.53	
0.90	183.79	
0.95	198.06	
1.00	211.04	

[0142]

[0143] 수치 예 7

규격화 위상	W1	W2
0.00		132.01
0.05		142.35
0.10		151.62
0.15		160.04
0.20		167.81
0.25		175.12
0.30		182.14
0.35		188.98
0.40		195.70
0.45		202.29
0.50		208.77
0.54		213.90
0.60		221.64
0.65		228.31
0.70	50.66	235.17
0.75	118.64	
0.80	152.47	
0.85	178.35	
0.90	200.04	
0.95	219.95	
1.00	239.89	

[0144]

[0145] 수치 예 8

규격화 위상	W1	W2
0.00		128.27
0.10		137.09
0.20		145.00
0.30		152.28
0.40		159.10
0.50		165.59
0.60		171.88
0.70		178.05
0.80		184.17
0.90		190.31
1.00		196.51
1.10		202.84
1.20		209.41
1.30		216.32
1.40	120.28	223.63
1.50	143.63	
1.60	159.94	
1.70	174.47	
1.80	188.44	
1.90	203.75	
2.00	223.92	

[0146]

[0147] 수치 예 9

규격화 위상	W1	W2
0.00		111.87
0.05		123.26
0.10		133.24
0.15		141.71
0.20		149.02
0.25		155.85
0.30		162.77
0.35		169.95
0.40		177.14
0.45		183.91
0.50		190.13
0.55		196.33
0.60		203.43
0.68	91.15	215.18
0.70	105.66	
0.75	130.19	
0.80	151.59	
0.85	169.55	
0.90	183.43	
0.95	199.62	
1.00	215.64	

[0148]

[0149] 수치 예 10

규격화 위상	W1	W2
0.00		175.65
0.05		183.00
0.10		190.27
0.15		197.51
0.20		204.71
0.25		211.79
0.30		218.67
0.35		225.38
0.40		232.02
0.45		238.82
0.50		245.92
0.55		253.07
0.58	56.82	256.90
0.65	122.39	
0.70	147.19	
0.75	168.58	
0.80	188.48	
0.85	206.14	
0.90	222.66	
0.95	240.81	
1.00	257.76	

[0150]

[0151] 수치 예 11

규격화 위상	W1	W2
0.00		110.85
0.05		118.59
0.10		125.58
0.15		132.01
0.20		138.04
0.25		143.77
0.30		149.29
0.35		154.63
0.40		159.84
0.45		164.95
0.50		170.02
0.55	81.32	175.10
0.60	99.50	
0.65	113.30	
0.70	125.22	
0.75	136.04	
0.80	145.86	
0.85	154.81	
0.90	163.32	
0.95	171.88	
1.00	179.95	

[0152]

[0153] 수치 예 12

규격화 위상	W1	W2
0.00		72.61
0.05		95.29
0.10		111.80
0.15		124.95
0.20		136.14
0.25		146.01
0.30		154.90
0.35		163.04
0.40		170.63
0.45		177.84
0.50		184.81
0.55		191.59
0.60	72.34	198.23
0.65	113.91	
0.70	141.68	
0.75	163.42	
0.80	181.55	
0.85	196.60	
0.90	209.56	
0.95	222.18	
1.00	233.93	

[0154]

[0155] 수치 예 13

규격화 위상	W1	W2
0.00		100.48
0.10		114.55
0.20		125.47
0.30		134.65
0.40		142.79
0.50		150.23
0.60		157.17
0.70		163.74
0.80		170.07
0.90		176.27
1.00		182.40
1.10		188.53
1.20		194.71
1.30		200.99
1.40		207.48
1.50		214.28
1.60	178.74	221.48
1.70	189.71	
1.80	200.78	
1.90	212.36	
2.00	223.94	

[0156]

[0157] 수치 예 14

규격화 위상	W1	W2
0.00		50.05
0.05		79.97
0.10		97.72
0.15		111.10
0.20		122.41
0.25		132.13
0.30		140.54
0.35		148.11
0.40		155.34
0.45		162.51
0.50		169.56
0.55		176.29
0.60	99.54	182.71
0.65	118.07	
0.70	133.58	
0.75	148.31	
0.80	161.23	
0.85	171.92	
0.90	182.13	
0.95	194.01	
1.00	203.77	

[0158]

[0159] 수치 예 15

규격화 위상	W1	W2
0.00		124.75
0.05		135.29
0.10		144.90
0.15		153.80
0.20		162.17
0.25		170.15
0.30		177.83
0.35		185.27
0.40		192.52
0.45		199.62
0.50		206.61
0.55		213.56
0.60	112.01	220.45
0.65	131.35	
0.70	147.84	
0.75	162.63	
0.80	176.09	
0.85	188.39	
0.90	199.91	
0.95	211.15	
1.00	221.97	

[0160]

[0161] 수치 예 16

규격화 위상	W11	W12	W2
0.00			138.25
0.05			143.97
0.10			149.47
0.15			154.81
0.20			160.02
0.25			165.13
0.30			170.20
0.35			175.28
0.40		99.88	180.31
0.45		113.75	
0.50		125.76	
0.54		134.37	
0.60		146.02	
0.65		155.08	
0.70		163.81	
0.78	114.69	176.91	
0.80	121.81		
0.85	137.96		
0.90	152.35		
0.95	166.17		
1.00	179.95		

[0162]

[0163] 수치 예 17

규격화 위상	W1	W2	Wref6
0.00		109.35	60.15
0.05		115.29	73.38
0.10		120.88	83.52
0.15		126.19	91.89
0.20		131.28	99.23
0.25		136.22	105.89
0.30		141.04	112.06
0.35		145.76	117.84
0.40		150.40	123.30
0.45		154.97	128.50
0.50		159.50	133.51
0.54		163.11	137.42
0.60	60.07	168.56	143.16
0.65	90.24		147.85
0.70	110.30		152.46
0.75	125.32		157.02
0.80	137.73		161.53
0.85	148.59		166.04
0.90	158.51		170.61
0.95	168.10		175.24
1.00	177.59		179.85

[0164]

[0165] 수치 예 18

규격화 위상	W1	W11	W12	W13	W2
0.00					132.52
0.05					138.51
0.10					144.21
0.15					149.70
0.20					155.03
0.25					160.25
0.30					165.37
0.35					170.43
0.40					175.47
0.45					180.53
0.50					185.63
0.54	60.79	67.49	108.63	136.41	189.67
0.60	95.31	99.31	127.32	150.44	
0.65	113.95				
0.70	128.17				
0.75	140.18				
0.80	150.87				
0.85	160.69				
0.90	170.11				
0.95	179.73				
1.00	189.57				

[0166]

[0167] 수치 예 19

규격화 위상	W1	W2	Wref7
0.00		257.49	257.49
0.10		246.63	246.63
0.20		240.96	240.96
0.30		238.67	238.67
0.40		237.14	237.14
0.50		234.23	234.23
0.60		228.80	228.80
0.70		220.82	220.82
0.80		211.13	211.13
0.90		200.96	200.96
1.00		191.50	191.50
1.10		184.92	184.92
1.20		176.60	176.60
1.30	226.77	170.00	170.00
1.40	220.77		161.81
1.50	210.77		149.89
1.60	190.59		132.42
1.70	161.38		108.89
1.80	130.43		81.29
1.90	100.95		55.45
2.00	50.09		42.53

[0168]

[0169] 표 1 내지 표 3C는 각 예에 따른 각종 수치를 요약한다.

[0170] [표 1]

	Si_3N_4	TiO_2	Al_2O_3	합성석영
ng	2.08394	2.48181	1.63759	1.46240
nF	2.06710	2.42034	1.63053	1.45876
nd	2.04580	2.35281	1.62153	1.45345
nC	2.03665	2.32645	1.61759	1.45084
n500	2.06337	2.40780	1.62896	1.45790

[0171]

[0172] [표 2]

	예 1, 6, 11, 16, 17, 18, 및 19	예 2, 7, 및 12	예 3, 8, 및 13	예 4, 9, 및 14	예 5, 10, 및 15
λ0	500.0	587.6	500.0	587.6	486.1
C2	-1.249999E-02	-2.500000E-02	-5.000000E-02	-5.000000E-03	-1.200000E-02
C4	3.395631E-04	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
C6	-1.203821E-04	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
C8	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

[0173]

[0174] [표 3A]

	예 1	예 2	예 3	예 4	예 5	예 6	예 7
재료	Si_3N_4	Si_3N_4	Si_3N_4	TiO_2	Al_2O_3	Si_3N_4	Si_3N_4
λ0 [nm]	500	587.56	500	587.6	486.1	500	587.56
P [nm]	240	300	320	240	300	240	300
H1 [nm]	440	500	800	300	700	352	400
H2 [nm]	880	1000	1600	600	1400	880	1000
HL [nm]	440	500	800	300	700	528	600
H1/H2	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.400	0.400
(H1+HL)/H2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Wmin1[nm]	60.8	112.1	136.0	84.6	123.3	70.2	50.7
Wmax1[nm]	189.6	239.9	200.0	201.5	245.9	211.0	239.9
Wmin2[nm]	132.4	158.9	163.3	85.7	158.4	151.1	132.0
Wmax2[nm]	189.6	239.6	213.5	198.3	244.7	210.4	235.2
AR1	7.24	4.46	5.88	3.55	5.68	5.02	7.90
AR2	6.64	6.29	9.80	7.01	8.84	5.83	7.58
AR1/AR2	1.09	0.71	0.60	0.51	0.64	0.86	1.04
Wmax1/Wmin1	3.12	2.14	1.47	2.38	1.99	3.01	4.74
Wmax2/Wmin2	1.43	1.51	1.31	2.32	1.54	1.39	1.78
N	1	1	2	1	1	1	1
V1s	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
V1a	0.490	0.502	0.307	0.554	0.528	0.607	0.502
V2s	0.490	0.501	0.350	0.536	0.522	0.603	0.483
V2a	0.490	0.501	0.350	0.536	0.522	0.603	0.483
V1a/V1s	0.490	0.502	0.307	0.554	0.528	0.607	0.502
V2a/V2s	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
H2/λ	1.760	1.702	3.200	1.021	2.880	1.760	1.702
Wmin1/Wmin2	0.459	0.705	0.833	0.987	0.779	0.464	0.384
Wmax1/Wmax2	1.000	1.001	0.937	1.016	1.005	1.003	1.020
P/H2	0.273	0.300	0.200	0.400	0.214	0.273	0.300
E/n	0.540	0.590	0.400	0.650	0.600	0.580	0.700
t [mm]	0.775	0.775	0.775	0.775	2.000	0.775	0.775
H2/t	0.0011	0.0013	0.0021	0.0008	0.0007	0.0011	0.0013
S [nm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S/P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

[0175]

[0176] [표 3B]

	예 8	예 9	예 10	예 11	예 12	예 13	예 14
재료	Si_3N_4	TiO_2	Al_2O_3	Si_3N_4	Si_3N_4	Si_3N_4	TiO_2
λ0 [nm]	500	587.6	486.1	500	587.56	500	587.6
P [nm]	320	240	300	240	300	320	240
H1 [nm]	640	240	560	528	600	960	360
H2 [nm]	1600	600	1400	880	1000	1600	600
HL [nm]	960	360	840	352	400	640	240
H1/H2	0.400	0.400	0.400	0.600	0.600	0.600	0.600
(H1+HL)/H2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Wmin1 [nm]	120.3	91.1	56.8	81.3	72.3	178.7	99.5
Wmax1 [nm]	223.9	215.6	257.8	179.9	233.9	223.9	203.8
Wmin2 [nm]	128.3	111.9	175.7	110.8	72.6	100.5	50.1
Wmax2 [nm]	223.6	215.2	256.9	175.1	198.2	221.5	182.7
AR1	5.32	2.63	9.86	6.49	8.29	5.37	3.62
AR2	12.47	5.36	7.97	7.94	13.77	15.92	11.99
AR1/AR2	0.43	0.49	1.24	0.82	0.60	0.34	0.30
Wmax1/Wmin1	1.86	2.37	4.54	2.21	3.23	1.25	2.05
Wmax2/Wmin2	1.74	1.92	1.46	1.58	2.73	2.20	3.65
N	2	1	1	1	1	2	1
V1s	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
V1a	0.385	0.634	0.580	0.442	0.478	0.385	0.566
V2s	0.384	0.631	0.576	0.418	0.343	0.376	0.455
V2a	0.384	0.631	0.576	0.418	0.343	0.376	0.455
V1a/V1s	0.385	0.634	0.580	0.442	0.478	0.385	0.566
V2a/V2s	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
H2/λ	3.200	1.021	2.880	1.760	1.702	3.200	1.021
Wmin1/Wmin2	0.938	0.815	0.324	0.734	0.996	1.779	1.989
Wmax1/Wmax2	1.001	1.002	1.003	1.028	1.180	1.011	1.115
P/H2	0.200	0.400	0.214	0.273	0.300	0.200	0.400
E/n	0.700	0.680	0.580	0.550	0.600	0.800	0.600
t [mm]	0.775	0.775	2.000	0.775	0.775	0.775	0.775
H2/t	0.0021	0.0008	0.0007	0.0011	0.0013	0.0021	0.0008
S [nm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S/P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

[0177]

[0178] [표 3C]

	예 15	예 16		예 17	예 18	예 19
재료	Al_2O_3	Si_3N_4		Si_3N_4	Si_3N_4	Si_3N_4
λ0 [nm]	486.1	500		500	500	500
P [nm]	300	240		240	240	300
H1 [nm]	840	352	528	440	440	600
H2 [nm]	1400	880		880	880	1200
HL [nm]	560	528	352	440	440	600
H1/H2	0.600	0.400	0.600	0.500	0.500	0.500
(H1+HL)/H2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Wmin1 [nm]	112.0	114.7	99.9	60.1	60.8	50.1
Wmax1 [nm]	222.0	180.0	176.9	177.6	189.6	226.8
Wmin2 [nm]	124.7	138.2		109.3	132.5	170.0
Wmax2 [nm]	220.5	180.3		168.6	189.7	257.5
AR1	7.50	3.07	5.29	7.33	7.24	11.98
AR2	11.22	6.37		8.05	6.64	7.06
AR1/AR2	0.67	0.48	0.83	0.91	1.09	1.70
Wmax1/Wmin1	1.98	1.57	1.77	2.96	3.12	4.53
Wmax2/Wmin2	1.77	1.30		1.54	1.43	1.51
n	1	1		1	1	1
V1s	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
V1a	0.430	0.442	0.427	0.430	0.490	0.449
V2s	0.424	0.443		0.387	0.491	0.579
V2a	0.424	0.443		0.387	0.491	0.579
V1a/V1s	0.430	0.442	0.427	0.430	0.490	0.449
V2a/V2s	1.000	1.000		1.000	1.000	1.000
H2/λ	2.880	1.760		1.760	1.760	2.400
Wmin1/Wmin2	0.898	0.830	0.723	0.549	0.459	0.295
Wmax1/Wmax2	1.007	0.998	0.981	1.054	0.999	0.881
P/H2	0.214	0.273		0.273	0.273	0.250
E/n	0.600	0.780	0.400	0.600	0.540	0.650
t [mm]	2.000	0.775		0.775	0.775	0.775
H2/t	0.0007	0.0011		0.0011	0.0011	0.0015
S [nm]	0.000	0.000	0.000	0.000	24.000	0.000
S/P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.000

[0179]

[0180] 각 예에 따른 광학 소자에 대응한 비교 예(참고예 1 내지 7)에 따른 요철 구조를 나타내는 수치를 표 4에 나타낸다.

[0181] [표 4]

	참고 예 1	참고 예 2	참고 예 3	참고 예 4	참고 예 5	참고 예 6	참고 예 7
최소폭 [nm]	43.5	53.0	75.0	15.3	53.0	60.2	42.5
최대폭 [nm]	196.5	247.3	245.2	230.1	247.2	179.8	257.5
최대 애스펙트비	20.2	18.9	21.3	39.3	26.4	14.6	28.2

[0182]

[0183] 광학계

[0184] 다음으로, 각 예에 따른 광학 소자를 포함하는 광학계에 대해서 도 14를 참조하여 설명한다. 도 14는, 상기 각 예에 따른 광학 소자를 포함하는 광학계의 설명도이다. 도 14에서, 참조번호 100은 상기 각 예에 따른 광학 소자, 참조번호 102는 렌즈 소자, OA는 광축, IP는 상면, 참조번호 3은 상기 각 예에 따른 광학 소자를 포함하는 광학계이다. 렌즈 요소는, 렌즈, 회절 광학 소자, 미러 등으로 구성되며, 그 렌즈 요소의 수는 제한되지 않는다. 광축 OA를 따라 광학 소자(100) 및 렌즈 소자(102)가 배치되어 입사광을 촬상면 IP에 결상한다. 광학 소자(100)의 상측(image side)의 표면에 배치된 요철 요소는, 집광 또는 발산 작용을 제공한다.

[0185] 촬상 장치

[0186] 다음에, 도 15를 참조하여, 각 예에 따른 광학 소자를 포함하는 광학계를 촬상 광학계로서 사용한 디지털 스틸 카메라(촬상 장치)에 대하여 설명한다. 도 15는 각 예에 따른 광학 소자를 포함하는 광학계를 갖는 촬상 장치(6)의 설명도이다. 도 15에서, 참조번호 4는 카메라 본체, 참조번호 3은 각 예에 따른 광학 소자를 포함하는 광학계이다. 참조번호 5는 카메라 본체(4)에 내장되어 광학계(3)에 의해 형성된 광학 화상을 수광하여 광전 변환하는 CCD 센서 또는 CMOS 센서 등의 촬상 소자(광전 변환 소자)이다. 카메라 본체(4)는, 퀵 리턴 미러를 갖는

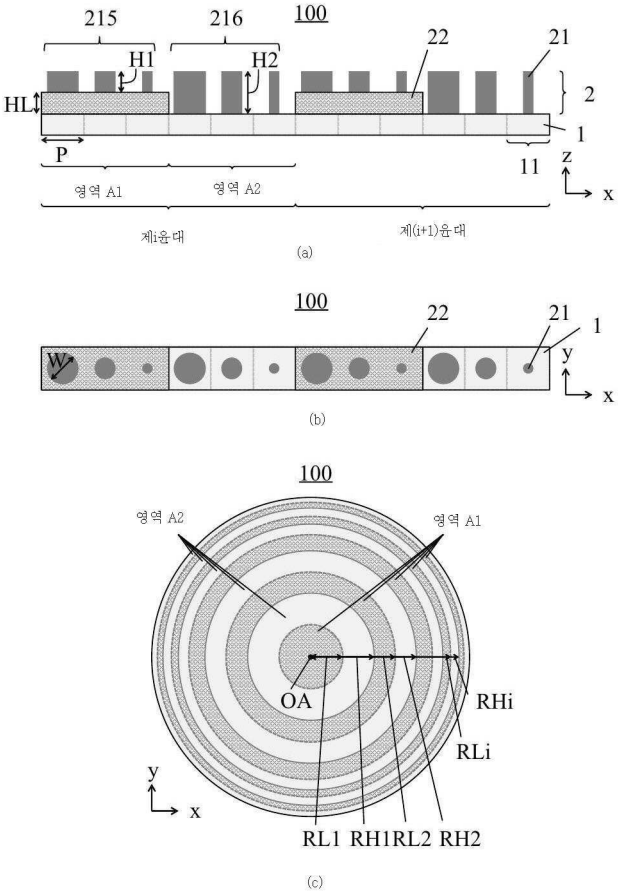
소위 일안 리플렉스 카메라일 수도 있고, 퀵 리턴 미러를 갖지 않는 소위 미러리스 카메라일 수도 있다. 이와 같이, 각 예에 따른 광학 소자를 포함하는 광학계를 디지털 스틸 카메라 등의 촬상 장치에 적용하는 것은, 렌즈가 소형인 촬상 장치를 제공할 수 있다.

[0187] 따라서, 상기 예의 일 측면에 따른 광학 소자는, 기판에 동심원형으로 배치된 복수의 윤대를 구비한다. 이 복수의 윤대는, 하지층이 설치된 제 1 영역과, 하지층이 설치되지 않은 제 2 영역을 포함하는 제 1 윤대를 구비한다. 반경 방향의 폭이 서로 상이한 복수의 제 1 구조체는 상기 제 1 영역에 배치되어 있다. 반경 방향의 폭이 서로 상이한 복수의 제 2 구조체는, 상기 제 2 영역에 배치되어 있다. 따라서, 각 예는, 안정성이 높은 미세 요철 구조를 갖는 광학 소자, 광학계, 렌즈 장치 및 촬상 장치를 제공할 수 있다.

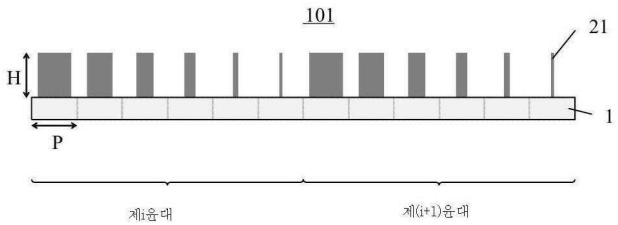
[0188] 본 발명에서는 실시 형태들의 예를 기재하였지만, 일부의 실시 형태는 상기 개시된 실시 형태들에 한정되지 않는다는 것을 알 것이다. 아래의 청구항의 범위는, 모든 변형, 동등한 구조 및 기능을 포함하도록 폭 넓게 해석해야 한다.

도면

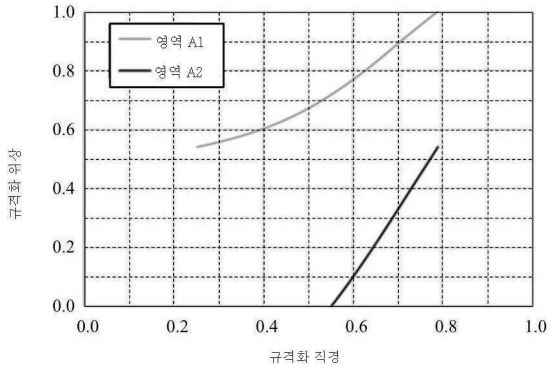
도면1



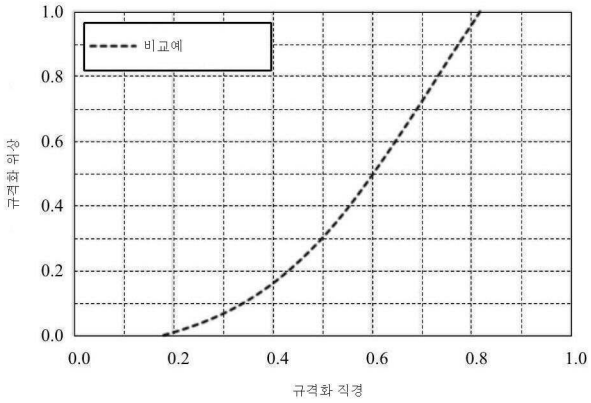
도면2


101
21
H
1
P
제i윤대
제(i+1)윤대

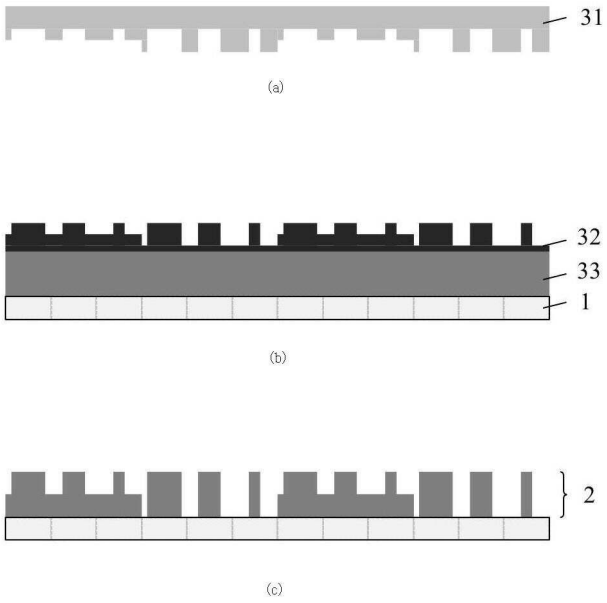
도면3


영역 A1
영역 A2
규격화 위상
규격화 직경
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0

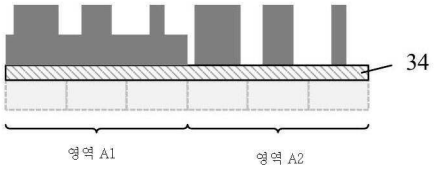
도면4


비교예
규격화 위상
규격화 직경
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0

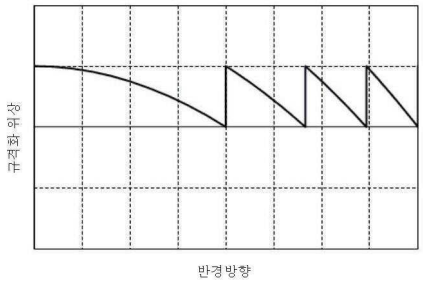
도면5



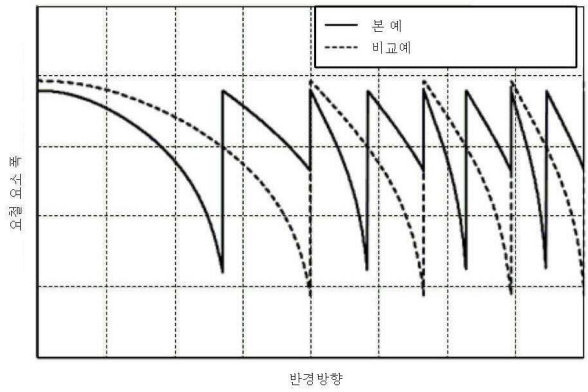
도면6



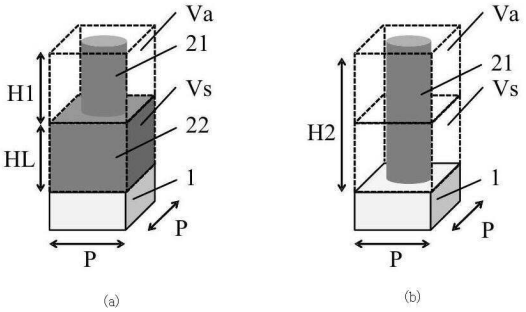
도면7



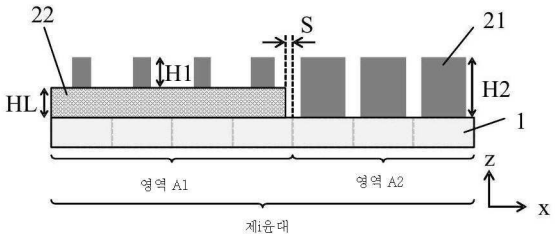
도면8



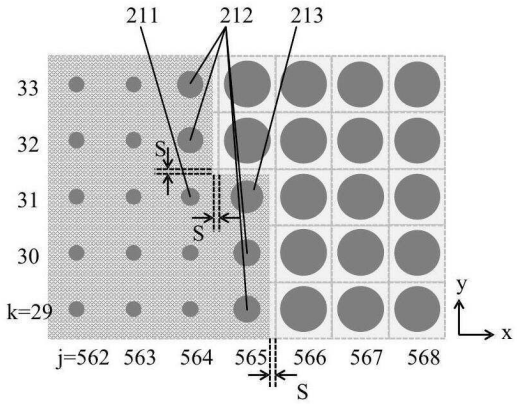
도면9



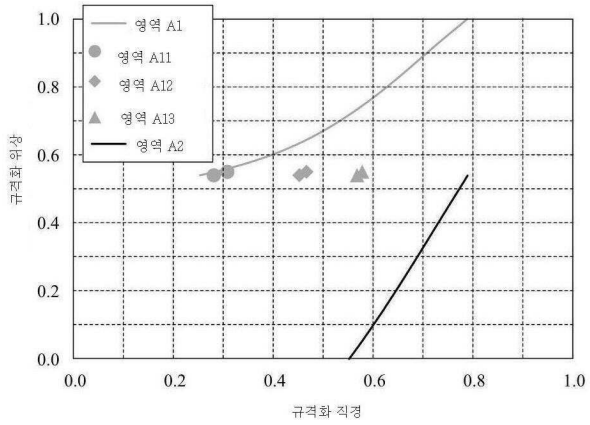
도면10a



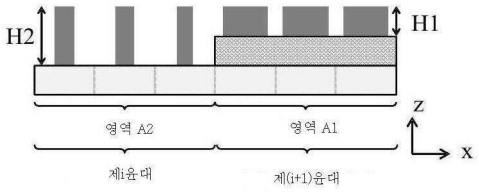
도면10b



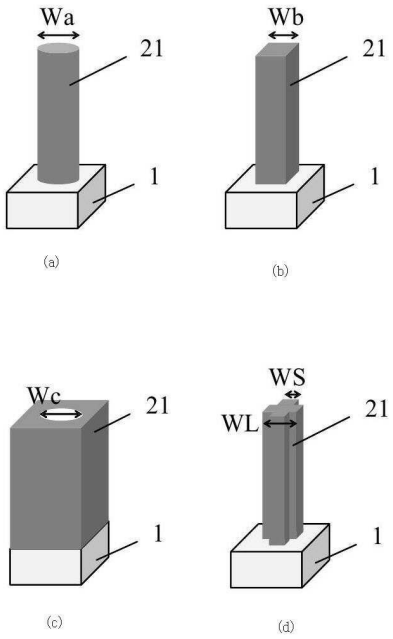
도면10c



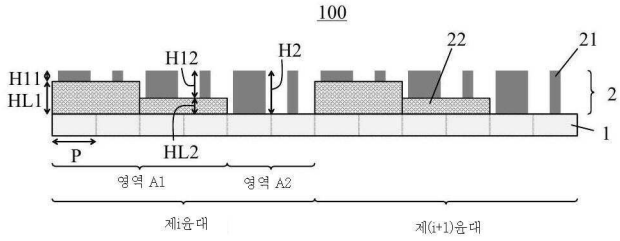
도면10d



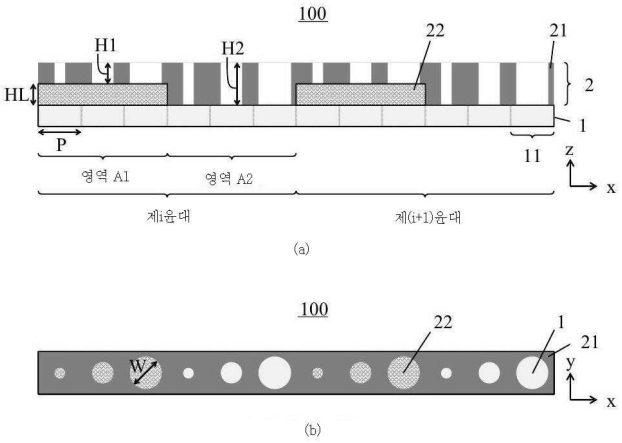
도면11



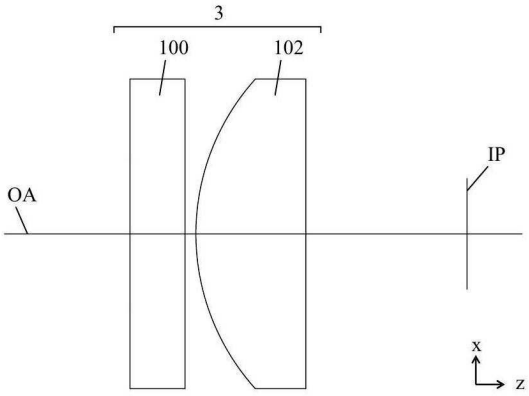
도면12



도면13



도면14



도면15

