(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)公開番号
特開2025-14589
(P2025-14589A)
(43)公開日　令和7年1月30日(2025.1.30)

(51)国際特許分類		FI			テーマコード（参考）
Ｇ０２Ｂ	*5/18 (2006.01)*	Ｇ０２Ｂ	5/18		２Ｈ２４９
Ｇ０２Ｂ	*3/00 (2006.01)*	Ｇ０２Ｂ	3/00	Ｚ	

審査請求　未請求　請求項の数　19　ＯＬ　（全37頁）

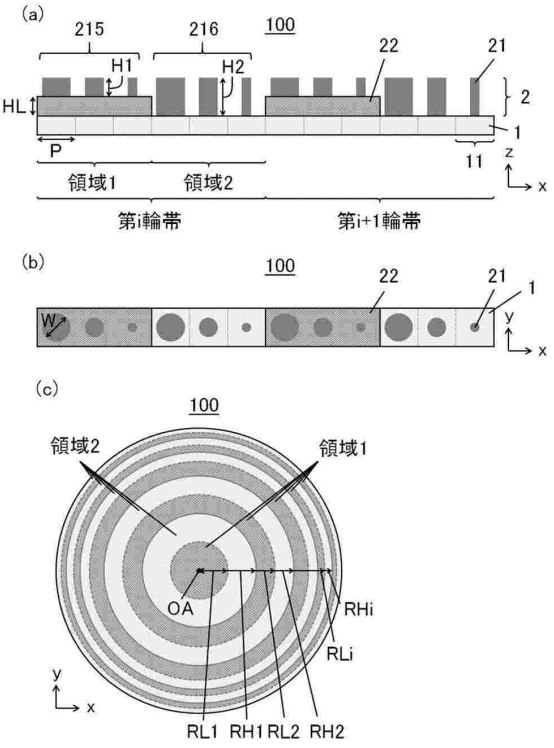
(21)出願番号　特願2023-117275(P2023-117275)
(22)出願日　令和5年7月19日(2023.7.19)

(71)出願人　000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号
(74)代理人　100110412
弁理士　藤元 亮輔
(74)代理人　100104628
弁理士　水本 敦也
(74)代理人　100121614
弁理士　平山 倫也
(72)発明者　石橋 友彦
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号
キヤノン株式会社内

Ｆターム（参考）　2H249　AA03 AA04 AA13 AA14
AA26 AA55

(54)【発明の名称】　光学素子、光学系、レンズ装置、および撮像装置

(57)【要約】
【課題】安定性の高い微細凹凸構造を有する光学素子を提供する。
【解決手段】光学素子（１００）は、基板（１）と、基板の上に形成された下地層（２２）と、凹要素または凸要素の少なくとも一方を含む複数の構造体（２１）とを有し、下地層は、第１輪帯における第１領域に配置されており、かつ第１輪帯における第２領域には配置されておらず、複数の構造体は、第１領域における下地層の上に配置された複数の第１構造体（２１５）と、第２領域における基板の上に配置された複数の第２構造体（２１６）とを含み、複数の第１構造体の夫々の幅が互いに異なり、複数の第２構造体の夫々の幅が互いに異なる。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
基板と、
該基板の上に形成された下地層と、
凹要素または凸要素の少なくとも一方を含む複数の構造体とを有し、
前記下地層は、第１輪帯における第１領域に配置されており、かつ該第１輪帯における第２領域には配置されておらず、
前記複数の構造体は、前記第１領域における前記下地層の上に配置された複数の第１構造体と、前記第２領域における前記基板の上に配置された複数の第２構造体とを含み、
前記複数の第１構造体の夫々の幅が互いに異なり、
前記複数の第２構造体の夫々の幅が互いに異なることを特徴とする光学素子。
【請求項２】
前記下地層は、前記複数の構造体と同じ材料からなることを特徴とする請求項１に記載の光学素子。
【請求項３】
前記複数の第１構造体の夫々の高さをＨ１、前記複数の第２構造体の夫々の高さをＨ２とするとき、
０．２０≦Ｈ１／Ｈ２≦０．９０
なる条件式を満足することを特徴とする請求項１に記載の光学素子。
【請求項４】
前記複数の第１構造体の夫々の高さをＨ１、前記複数の第２構造体の夫々の高さをＨ２、前記下地層の高さをＨＬとするとき、
０．８０≦（Ｈ１＋ＨＬ）／Ｈ２≦１．２０
なる条件式を満足することを特徴とする請求項１に記載の光学素子。
【請求項５】
前記基板の厚さ方向に進行する光に関し、前記複数の構造体による位相遅延量は、前記第２領域よりも前記第１領域の方が大きいことを特徴とする請求項１に記載の光学素子。
【請求項６】
前記下地層の高さをＨＬ、前記第１領域における前記基板の表面位置から高さＨＬの位置までの要素充填率の最大値をＶ１ｓ、前記第２領域における前記基板の表面位置から高さＨＬの位置までの要素充填率の最大値をＶ２ｓ、前記第１領域および前記第２領域のそれぞれにおける高さＨＬの位置から前記構造体の先端位置までの要素充填率の最大値をＶ２ａとするとき、
０．５０≦Ｖ１ｓ≦１．００
０．８０≦Ｖ２ａ／Ｖ２ｓ≦１．２０
なる条件式を満足することを特徴とする請求項１に記載の光学素子。
【請求項７】
前記下地層の高さをＨＬ、前記第１領域における高さＨＬの位置から前記構造体の先端位置までの要素充填率の最大値をＶ１ａとするとき、
０．２０≦Ｖ１ａ／Ｖ１ｓ≦０．８０
なる条件式を満足することを特徴とする請求項１に記載の光学素子。
【請求項８】
前記複数の第１構造体の最大幅および最小幅をそれぞれＷｍａｘ１、Ｗｍｉｎ１、前記複数の第２構造体の最大幅および最小幅をそれぞれＷｍａｘ２、Ｗｍｉｎ２とするとき、
１．０５≦Ｗｍａｘ１／Ｗｍｉｎ１≦６．００
１．０５≦Ｗｍａｘ２／Ｗｍｉｎ２≦６．００
なる条件式を満足することを特徴とする請求項１に記載の光学素子。
【請求項９】
前記第１輪帯において、前記複数の第１構造体および前記複数の第２構造体は、通過する光の位相が径方向に単調増加または単調減少するように構成されていることを特徴とす

る請求項１に記載の光学素子。
【請求項１０】
前記複数の第１構造体のアスペクト比の最大値をＡ１、前記複数の第２構造体のアスペクト比の最大値をＡ２とするとき、
０．３５≦Ａ１／Ａ２≦２．００
なる条件式を満足することを特徴とする請求項１に記載の光学素子。
【請求項１１】
前記複数の第２構造体の夫々の高さをＨ２、基準波長をλ０とするとき、
０．５０≦Ｈ２／λ０≦４．００
なる条件式を満足することを特徴とする請求項１に記載の光学素子。
【請求項１２】
前記複数の第１構造体の最大幅をＷｍａｘ１、前記複数の第２構造体の最大幅をＷｍａｘ２とするとき、
０．７０≦Ｗｍａｘ１／Ｗｍａｘ２≦１．４０
なる条件式を満足することを特徴とする請求項１に記載の光学素子。
【請求項１３】
前記複数の構造体の前記凹要素または前記凸要素の配列周期をＰ、前記複数の第２構造体の夫々の高さをＨ２とするとき、
０．１０≦Ｐ／Ｈ２≦０．６０
なる条件式を満足することを特徴とする請求項１に記載の光学素子。
【請求項１４】
前記第１輪帯における前記第１領域と前記第２領域との境界での規格化位相をＥ、設計回折次数をｎとするとき、
０．１５≦Ｅ／ｎ≦０．９５
なる条件式を満足することを特徴とする請求項１に記載の光学素子。
【請求項１５】
前記複数の第２構造体の夫々の高さをＨ２、前記基板の光軸方向の厚さをｔとするとき、
０．０≦Ｈ２／ｔ≦０．１
なる条件式を満足することを特徴とする請求項１に記載の光学素子。
【請求項１６】
前記複数の構造体の前記凹要素または前記凸要素の配列周期をＰ、前記第１輪帯における前記第１領域と前記第２領域との境界で、配列周期Ｐのセグメント境界から前記下地層の端までの前記基板の厚さ方向と垂直な方向における長さをＳとするとき、
０．００≦Ｓ／Ｐ≦０．４０
なる条件式を満足することを特徴とする請求項１に記載の光学素子。
【請求項１７】
請求項１乃至１６のいずれか一項に記載の光学素子を含む複数の光学素子を有することを特徴とする光学系。
【請求項１８】
請求項１７に記載の光学系と、該光学系を保持する保持部材とを有することを特徴とするレンズ装置。
【請求項１９】
請求項１７に記載の光学系と、該光学系によって形成される像を受光する撮像素子とを有することを特徴とする撮像装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、光学素子、光学系、レンズ装置、および撮像装置に関する。
【背景技術】

【０００２】
従来、撮像装置などに用いられる光学系を小型化するため、基板の表面に微細凹凸構造を形成し、回折を利用して集光または発散作用を有する光学素子（メタレンズ）が知られている。特許文献１には、テラヘルツ波用レンズとして用いられるメタレンズが開示されている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】特開２０２１－９９４００号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
微細凹凸構造を有する光学素子において、回折効率（入射光量に対する特定の回折角に向かう光量の比）を高くするには、微細凹凸構造の繰り返し周期（ピッチ）を入射光の波長に対して小さくすることが好ましい。また、ピッチごとに微細凹凸構造の形状を変化させて、なめらかな位相分布を実現することが好ましい。
【０００５】
しかしながら、ピッチを小さくすると、微細凹凸構造のアスペクト比が大きくなる。このため、微細凹凸構造を形成すること、および微細凹凸構造の形状を維持することが困難になるとともに、僅かな荷重、温度、または圧力などで微細凹凸構造が変形してしまう。
【０００６】
そこで本発明は、安定性の高い微細凹凸構造を有する光学素子を提供することを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【０００７】
本発明の一側面としての光学素子は、基板と、該基板の上に形成された下地層と、凹要素または凸要素の少なくとも一方を含む複数の構造体とを有し、前記下地層は、第１輪帯における第１領域に配置されており、かつ該第１輪帯における第２領域には配置されておらず、前記複数の構造体は、前記第１領域における前記下地層の上に配置された複数の第１構造体と、前記第２領域における前記基板の上に配置された複数の第２構造体とを含み、前記複数の第１構造体の夫々の幅が互いに異なり、前記複数の第２構造体の夫々の幅が互いに異なる。
【０００８】
本発明の他の目的及び特徴は、以下の実施例において説明される。
【発明の効果】
【０００９】
本発明によれば、安定性の高い微細凹凸構造を有する光学素子を提供することができる。
【図面の簡単な説明】
【００１０】
【図１】各実施例における光学素子の構成図である。
【図２】比較例における光学素子の構成図である。
【図３】各実施例における光学素子の凹凸要素の形状と位相変調量との関係を示す図である。
【図４】比較例における光学素子の凹凸要素の形状と位相変調量との関係を示す図である。
【図５】各実施例における光学素子の製造方法の説明図である。
【図６】各実施例におけるオフセット層の説明図である。
【図７】各実施例における光学素子の径方向に対する規格化位相の変調量の説明図である。

【図８】各実施例および比較例における光学素子の径方向に対する凹凸要素の幅の説明図である。
【図９】各実施例における要素充填率の説明図である。
【図１０（ａ）】各実施例における下地層のオフセットの説明図である。
【図１０（ｂ）】各実施例における下地層のオフセットの説明図である。
【図１０（ｃ）】各実施例における下地層のオフセットの説明図である。
【図１０（ｄ）】各実施例における下地層のオフセットの説明図である。
【図１１】各実施例における凹凸要素の形状の説明図である。
【図１２】実施例１６における光学素子の構成図である。
【図１３】実施例１９における光学素子の構成図である。
【図１４】各実施例における光学素子を備えた光学系の説明図である。
【図１５】各実施例における光学素子を備えた撮像装置の説明図である。
【発明を実施するための形態】
【００１１】
以下、本発明の実施例について、図面を参照しながら詳細に説明する。
【００１２】
まず、図１（ａ）～（ｃ）を参照して、各実施例における光学素子１００について説明する。図１（ａ）～（ｃ）は、光学素子１００の構成図である。図１（ａ）はｙ軸方向から見た（ｘｚ平面における）光学素子１００の拡大断面図、図１（ｂ）はｚ軸方向（光軸方向）から見た（ｘｙ平面における）光学素子１００の拡大上面図をそれぞれ示す。図１（ｃ）は、ｚ軸方向（光軸方向）から見た（ｘｙ平面における）光学素子１００の全体上面図を示す。各実施例において、光学素子１００の光軸方向および基板１の厚さ方向はそれぞれ、ｚ軸方向と一致している。
【００１３】
各実施例の光学素子１００は、基板１と、基板１の上に形成された凹凸構造（ピラー）２とを有する。凹凸構造２は、基板１（光学素子１００）の径方向（例えばｘ軸方向およびｙ軸方向）に周期的に配置された凹要素または凸要素の少なくとも一方を含む複数の凹凸要素（複数の構造体）２１と、基板１の厚さ方向（ｚ軸方向）に略一定の厚さの下地層２２とを有する。なお、「略一定」とは、下地層２０はできるだけ一定の厚さであることが好ましいが、製造誤差を含む場合など、厳密に一定の厚さでなくてもよいとの意味である。下地層２２の厚さは、例えば以下の条件式を満足する範囲である。
【００１４】
領域１における下地層２２の厚さの最大値および最小値を各々ＡおよびＢとするとき、以下の条件式（１）を満足する。
【００１５】
$$1.00 \leqq A/B < 1.50 \quad \cdots (1)$$
好ましくは、条件式（１）の数値範囲は、以下の条件式（１ａ）を満足する。
【００１６】
$$1.00 \leqq A/B < 1.20 \quad \cdots (1a)$$
より好ましくは、条件式（１）の数値範囲は、以下の条件式（１ｂ）を満足する。
【００１７】
$$1.00 \leqq A/B < 1.15 \quad \cdots (1b)$$
更に好ましくは、条件式（１）の数値範囲は、以下の条件式（１ｃ）を満足する。
【００１８】
$$1.00 \leqq A/B < 1.10 \quad \cdots (1c)$$
更に好ましくは、条件式（１）の数値範囲は、以下の条件式（１ｄ）を満足する。
【００１９】
$$1.00 \leqq A/B < 1.05 \quad \cdots (1d)$$
基板１の径方向に周期的な位相差（輪帯）を形成することで、入射光に集光または発散作用を与える。光学素子１００は、光学素子１００の中心に対して周方向に延びるように

、径方向に沿って配置された第１輪帯（第ｉ輪帯）および第２輪帯（第（ｉ＋１）輪帯）を含む複数の輪帯を有する。複数の輪帯のそれぞれは、光学素子１００の径方向に沿って配置された領域１（第１領域）および領域２（第２領域）を有する。なお各実施例では、複数の輪帯のうち少なくとも一つの輪帯において領域１および領域２を有していればよいが、複数の輪帯において領域１および領域２を有することが好ましく、また、全ての輪帯において領域１および領域２を有することがより好ましい。

【００２０】

複数の凹凸要素（複数の構造体）２１は、領域１に配置された複数の第１構造体２１５と、領域２に配置された複数の第２構造体２１６とを有する。領域１において、複数の第１構造体２１５は、下地層２２を介して、基板１の上に形成されている。領域２において、複数の第２構造体２１６は、基板１の上に直接（下地層を介することなく）形成されている。複数の第１構造体２１５は、径方向における幅が互いに異なる。同様に、複数の第２構造体２１６は、径方向における幅が互いに異なる。

【００２１】

基板１は、合成石英からなる透明な平板である。なお、基板１は入射する光を反射する平面鏡であってもよく、任意の曲率を有する曲面であっても構わない。また、基板１の材料は、合成石英に限定されるものではなく、無機ガラス、プラスチック等の有機材料、セラミックス、金属等であってもよい。凹凸構造２は、基板１の表面上に形成されており、凹凸構造２を通過する光に位相差を付与することで、集光または発散作用を与える。各実施例では、同心円状に周期的に２ｎπ（ｎ＝１，２，・・・なる整数であり、設計回折次数または回折次数を表す）の位相差が繰り返す輪帯により位相分布を形成することで、回折光学素子と略同等の集光作用を得ている。

【００２２】

凹凸構造２は、凹凸要素２１と下地層２２とを有する。凹凸要素２１は、周期的に配置された凹要素または凸要素からなる。各実施例において、凹凸要素２１は、誘電体材料Si_3N_4の凸形状の円柱要素からなる。なお、凹凸要素２１の形状は凸形状の円柱要素に限定されるものではなく、多角形柱、多角形錐、円錐、任意の凹形状要素、またはこれらの組合せ要素であっても構わない。また、凹凸要素２１の材料は、TiO_2、ＧａＮ、ＧａＰ、ＧａＡｓ、Ｓｉ、ＳｉＣ、Al_2O_3、SiO_2などであっても構わない。

【００２３】

凹凸要素２１は、基板１の径方向に正方形状に区分けした単位区画セグメント１１の中心に凸形状の円柱要素を配置している。なお、セグメント１１の幅（ピッチ）は入射光の波長よりも小さくすることで、光は、凹凸要素２１の形状によらず単位区画（セグメント）に占める要素充填率から求められる有効屈折率に従って位相変調される。例えば、入射光が可視光域（４００～７００ｎｍ）の場合、ピッチ（配列周期）Ｐ［ｎｍ］は４００ｎｍ未満であることが好ましく、ピッチＰを更に小さくすると不要回折光が抑制できるため好ましい。第ｉ輪帯（ｉ＝１，２，・・・）内には、複数の凹凸要素２１と基板１との間に配置され、略平板形状の下地層２２を有する領域１と、下地層２２が無い領域２とを有する。

【００２４】

下地層２２は基板１の厚さ方向に略一定の厚さになっており、各実施例では凹凸要素２１の材料と同じSi_3N_4からなる。第ｉ輪帯内の領域１および領域２は各々、複数の凹凸要素２１を有し、基板１の径方向における幅が各々で異なる形状とすることで、輪帯内で２ｎπの位相分布を形成している。光軸と垂直方向において、光軸から第ｉ輪帯の領域１及び領域２の半径を各々ＲＬｉ、ＲＨｉとする。図１（ｃ）から分かるように、ＲＬｉ＜ＲＨｉとなるように、光軸（ｚ軸）と垂直方向に領域１及び領域２は同心円状に交互に構成されている。

【００２５】

次に、比較例として、図２を参照して、下地層２２が無い光学素子１０１について説明する。図２は、比較例としての光学素子１０１の構成図である。輪帯内で２ｎπの位相分

布を形成するため、凹凸要素２１である凸形状の円柱要素の幅（直径）を変えてセグメント内における凹凸要素２１の要素充填率を変化させている。すなわち、凸円柱要素の直径を大きい要素から小さい要素に従って要素充填率が減少し、所望の位相分布を形成している。図２の光学素子１０１では、凸円柱要素の直径だけで要素充填率を調整しているため、直径を大きく変化させている。そのため、凸円柱要素の最小直径が小さくなりやすく、アスペクト比（凹凸要素２１の幅に対する高さの比率（高さ／幅））が大きくなる傾向にある。アスペクト比が大きく相対的に細長い要素の場合、接触や振動等により荷重が加わった場合や、温度や圧力等の外的要因が変化した場合などに形状が変形、傾斜、剥離してしまう場合がある。そこで各実施例では、輪帯内に下地層２２を設けて、領域２の位相変調量を底上げすることで、凹凸要素２１の幅の変化量を低減することで、アスペクト比を大きくすることなく凹凸構造２を構成している。

【００２６】

図３は、各実施例における光学素子１００の凹凸要素２１の形状と位相変調量との関係を示す図であり、凹凸要素２１である凸円柱要素の直径と位相変調量に関する。図３において、横軸は凸円柱要素の直径Ｗ（セグメントのピッチＰで規格化した規格化直径）を示し、縦軸は位相変調量を２πで規格化した規格化位相を示す。規格化位相が０から０．５４の範囲では、下地層２２が無い領域２の凸円柱要素の規格化径を０．５５２から０．７９０まで変化させる。規格化位相が０．５４から１の範囲では、下地層２２を有する領域１の凸円柱要素の規格化径を０．２５３から０．７９０まで変化させる。これにより、規格化位相０～１の位相変調量を得ていて、領域１における凹凸要素２１のアスペクト比の最大値Ａ１は７．２となり、領域２における凹凸要素２１のアスペクト比の最大値Ａ２は６．６となる。

【００２７】

図４は、比較例としての光学素子１０１の凹凸要素２１の形状と位相変調量との関係を示す図であり、下地層２２が無い光学素子１０１における凸円柱要素の直径と位相変調量に関する。図４において、横軸および縦軸はそれぞれ、図３と同様である。図４において、規格化位相０～１の位相変調量を得るには、規格化径を０．１７７から０．８２３まで変化させる必要があり、アスペクト比は最大値で２０．７であり、下地層を設けた場合よりもアスペクト比が大きくなっている。これにより、下地層２２を設けることで、凹凸要素２１のアスペクト比を抑制できていることが分かる。

【００２８】

次に、図５（ａ）～（ｃ）を参照して、各実施例の光学素子１００の製造方法について説明する。光学素子１００は、リソグラフィ技術により製造することができる。図５（ａ）～（ｃ）は、光学素子１００の製造方法の説明図であり、ナノインプリントリソグラフィで光学素子１００を製造する工程を示す。図５（ａ）は型３１を示し、電子線やレーザー等で形成した凹凸要素２１の凹凸形状を反転させた形状を有する。図５（ｂ）に示されるように、基板１の上に堆積した膜３３にレジスト材料３２を塗布して型３１を押し付けて紫外線等を照射し、レジスト材料３２に型３１の凹凸形状を反転した形状をレジスト材料３２に形成する。その後、図５（ｃ）に示されるように、型３１を剥がし、膜３３にレジスト材料３２の凹凸形状が転写するように現像することで、光学素子１００の基板１の上に凹凸構造２を形成する。なお各実施例において、凹凸構造２の製造方法は、ナノインプリントリソグラフィに限定されるものではなく、電子線やレーザー等で直接凹凸構造２を形成するなど他の手法を用いても構わない。

【００２９】

図６は、各実施例におけるオフセット層３４の説明図である。図６に示されるように、図５（ｃ）のように基板１の上に直接凹凸構造２を形成する構成に代えて、図６のように領域１および領域２の両方にまたがるように配置されるオフセット層３４を設けても構わない。なお、オフセット層３４を含んで基板１として扱ってもよい。

【００３０】

各実施例において、下地層２２は、凹凸要素２１と同じ材料で構成してもよい。図５（

ｂ）に示されるように、膜３３のように均一な膜厚の材料を準備することは比較的容易である。このため、膜３３を基にして下地層２２と凹凸構造２とを形成する場合、下地層２２は凹凸要素２１と同じ材料であることが好ましい。

【００３１】

各実施例において、領域１における凹凸要素２１の高さ（複数の第１構造体２１５の夫々の高さ）をＨ１、領域２における凹凸要素２１の高さ（複数の第２構造体２１６の夫々の高さ）をＨ２とするとき、以下の条件式（２）を満足することが好ましい。条件式（２）を満足することで、製造工程が単純になり、凹凸要素２１の形成がより容易となる。

【００３２】

０．２０≦Ｈ１／Ｈ２≦０．９０　…（２）

条件式（２）は、凹凸要素２１の形状に関する。領域１には下地層２２が配置されているため、領域２よりも領域１の凹凸要素２１の高さＨ１を低くしても位相変調量を大きくとることができる。このため、特に領域１における凹凸要素２１のアスペクト比を低減した形状を実現することが可能となる。

【００３３】

条件式（２）の下限値を下回ると、相対的に領域１の凹凸要素２１の高さＨ１が低くなり、領域１の凹凸要素２１の幅を変えた時の位相変調量を大きくとることができない。このとき、所望の位相変調量を得るには、領域１の凹凸要素２１の幅を相対的に大きく変化させる必要があるため、領域１におけるアスペクト比の低減効果が得られない。各実施例において、条件式（２）の下限値は、０．２０に代えて、０．２５、０．３０、０．３２、０．３４、０．３５、０．３６、０．３８、または０．４０に設定されることがより好ましい。

【００３４】

一方、条件式（２）の上限値を上回ると、相対的に領域２の凹凸要素２１の高さＨ２が低くなり、領域２の凹凸要素２１の幅を変えた時の位相変調量を大きくとることができない。このとき、所望の位相変調量を得るには、領域２の凹凸要素２１の幅を相対的に大きく変化させる必要があるため、領域２におけるアスペクト比の低減効果が得られない。条件式（２）の上限値は、０．９０に代えて、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、または０．６５に設定されることがより好ましい。

【００３５】

なお各実施例において、複数の第１構造体２１５の夫々の高さＨ１は、全て同一である必要はなく、互いに異なっていてもよい。この点は、複数の第２構造体２１６の高さＨ２に関しても同様である。

【００３６】

各実施例において、領域１における下地層２２の高さをＨＬとするとき、以下の条件式（３）を満足することが好ましい。なお、高さＨＬは、例えば、領域１における下地層２２の平均高さである。また、高さＨＬが最小高さおよび最大高さのいずれの場合でも条件式（３）を満足することがより好ましい。

【００３７】

０．８０≦（Ｈ１＋ＨＬ）／Ｈ２≦１．２０　…（３）

条件式（３）は、凹凸要素２１および下地層２２の高さに関する。条件式（３）を満足することで、基板１に対する領域１の凹凸要素２１の先端位置と領域２の凹凸要素２１の先端位置とが略同等となる。このため、均一な厚さの膜から凹凸構造２を形成する場合には簡易な工程で、かつ安定性の高い凹凸構造を実現できる。条件式（３）の下限を下回ると、領域２の凹凸要素２１の高さＨ２は相対的に高くなり、領域２におけるアスペクト比の低減効果が得られない。また、領域１と領域２とで凹凸要素２１の先端位置の差が大きくなる。このため、均一な厚さの膜から凹凸構造２を形成する場合には高さに差異を設ける工程を含める必要がある。一方、条件式（３）の上限を上回ると、領域１の凹凸要素２１の高さＨ１は相対的に高くなり、領域１におけるアスペクト比の低減効果が得られない

。
【００３８】
各実施例の効果をさらに確実にするため、条件式（３）の下限値は、０．８０に代えて、０．８２、０．８４、０．８６、０．８８、０．９０、０．９２、０．９４、０．９５、０．９６、０．９７、０．９８、または０．９９に設定されることがより好ましい。また、条件式（３）の上限値は、１．２０に代えて、１．１８、１．１６、１．１４、１．１２、１．１０、１．０８、１．０６、１．０５、１．０４、１．０３、１．０２、または１．０１に設定されることがより好ましい。
【００３９】
なお、凹凸要素２１および下地層２２の高さが基板１の径方向に対してわずかにうねりを有する場合には、輪帯内の凹凸要素２１および下地層２２の高さの平均値が条件式（３）を満足することが好ましい。また、製造誤差等による意図しない局所的な凹凸部や、光線有効部外の構造など各実施例の効果を期待していない領域においては、条件式（３）を満足する必要はない。
【００４０】
基板１の厚さ方向に進行する光に関し、凹凸構造２による位相変調量（位相遅延量）は、領域２よりも領域１の方が大きいことが好ましい。図７は、基板１の径方向に対する規格化位相の変調量の説明図である。図７において、縦軸は規格化位相、横軸は径方向の位置をそれぞれ示す。図８は、凹凸要素幅（例えば、凸形状の円柱要素の直径等）の説明図である。図８において、縦軸は凹凸要素幅、横軸は径方向の位置をそれぞれ示す。図８では、各実施例の光学素子１００の構成を実線、下地層２２が無い比較例の光学素子１０１を点線でそれぞれ示す。
【００４１】
各実施例において、領域１に下地層２２を配置することで、領域２よりも位相変調量を大きくすることができる。また各実施例において、各領域において凹凸要素幅を変えることにより、比較例よりも凹凸要素幅の変化量を小さくすることで、領域１および領域２の凹凸要素２１のアスペクト比を抑制することができる。領域２よりも領域１の凹凸構造２による位相変調が小さい場合には、領域１および領域２の凹凸要素幅の変化量を相対的に大きく構成しなければ所望の位相分布を得ることができず、アスペクト比抑制効果を得られない。
【００４２】
次に、図９（ａ）、（ｂ）を参照して、要素充填率について説明する。図９（ａ）、（ｂ）は要素充填率の説明図であり、図９（ａ）は下地層２２が配置された領域１における要素充填率、図９（ｂ）は下地層２２が無い領域２における要素充填率をそれぞれ示す。
【００４３】
要素充填率は、セグメントあたりに凹凸構造２が占める体積の比率である。領域１および領域２の基板１の表面と、基板１の表面位置から高さＨＬの位置までの範囲の要素充填率は、図９（ａ）、（ｂ）に示されるように、底面Ｐ×Ｐ、高さＨＬの体積Ｖｓに占める下地層２２または凹凸要素２１の比率である。領域１および領域２における高さＨＬの位置から凹凸要素２１の先端位置までの範囲の要素充填率は、図９（ａ）、（ｂ）に示されるように、底面Ｐ×Ｐ、高さＨ１の体積Ｖａに占める下地層２２または凹凸要素２１の比率である。
【００４４】
ここで、領域１における基板１の表面位置から高さＨＬの位置までの要素充填率の最大値をＶ１ｓ、領域２における基板１の表面位置から高さＨＬの位置までの要素充填率の最大値をＶ２ｓとする。また、領域１における高さＨＬの位置から凹凸構造２（構造体）の先端位置までの要素充填率の最大値をＶ１ａ、領域１および領域２のそれぞれにおける高さＨＬの位置から凹凸構造２（構造体）の先端位置までの要素充填率の最大値をＶ２ａとする。このとき、以下の条件式（４）～（６）の少なくとも一つを満足することが好ましい。

【００４５】
０．５０≦Ｖ１ｓ≦１．００　…（４）
０．８０≦Ｖ２ａ／Ｖ２ｓ≦１．２０　…（５）
０．２０≦Ｖ１ａ／Ｖ１ｓ≦０．８０　…（６）
条件式（４）は、領域１の下地層２２の要素充填率に関する。条件式（４）の下限値を下回ると、領域１および領域２の凹凸要素幅を相対的に大きく変化させないと所望の位相変調量が得られず、アスペクト比の抑制効果を得ることができない。要素充填率の定義から、Ｖ１ｓが最大となるのはＶｓと等しくなるときであるため、条件式（４）の上限値を超えることは無い。条件式（４）の下限値は、０．５０に代えて、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、または０．９６に設定されることがより好ましい。

【００４６】
条件式（５）は、領域２の要素充填率に関する。条件（５）の下限値を下回ると、相対的にＶ２ｓが大きくなり、領域２の凹凸要素の幅を大きく変化させないと所望の位相変調量が得られず、アスペクト比の抑制効果を得ることができない。一方、条件式（５）の上限値を上回ると、相対的にＶ２ａが大きくなり領域１の凹凸要素２１の幅を大きく変化させないと所望の位相変調量が得られず、アスペクト比の抑制効果を得ることができない。各実施例の効果をさらに確実にするため、条件式（５）の下限値は、０．８０に代えて、０．８２、０．８４、０．８６、０．８８、０．９０、０．９２、０．９４、または０．９６に設定されることがより好ましい。また、条件式（５）の上限値は、１．２０に代えて、１．１８、１．１６、１．１４、１．１２、１．１０、１．０８、１．０６、１．０４または１．０２に設定されることがより好ましい。

【００４７】
条件式（６）は、領域１の要素充填率に関する。条件式（６）の下限値を下回ると、相対的にＶ１ｓが大きくなり領域２の凹凸要素２１の幅を大きく変化させないと所望の位相変調量が得られず、アスペクト比の抑制効果を得ることができない。一方、条件式（６）の上限値を上回ると、相対的にＶ１ａが大きくなり、領域１の凹凸要素２１の幅を大きく変化させないと所望の位相変調量が得られず、アスペクト比の抑制効果を得ることができない。各実施例の効果をさらに確実にするため、条件式（６）の下限値は、０．２０に代えて、０．２１、０．２２、０．２３、０．２４、０．２５、０．２６、０．２７、０．２８、０．２９、または０．３０に設定されることがより好ましい。また、条件式（６）の上限値は、０．８０に代えて、０．７８、０．７６、０．７４、０．７２、０．７０、０．６８、０．６６、または０．６５に設定されることがより好ましい。

【００４８】
各実施例において、領域１における凹凸要素２１の最大幅（複数の第１構造体のうち円柱の直径の最大値）をＷｍａｘ１、最小幅（円柱の直径の最小値）をＷｍｉｎ１とする。また、領域２における凹凸要素２１の最大幅（複数の第２構造体のうち円柱の直径の最大値）をＷｍａｘ２、最小幅（円柱の直径の最小値）をＷｍｉｎ２とする。このとき、以下の条件式（７）、（８）を満足することが好ましい。

【００４９】
１．０５≦Ｗｍａｘ１／Ｗｍｉｎ１≦６．００　…（７）
１．０５≦Ｗｍａｘ２／Ｗｍｉｎ２≦６．００　…（８）
条件式（７）、（８）はそれぞれ、領域１および領域２の凹凸要素２１の形状に関する。条件式（７）、（８）のそれぞれの下限値を下回ると、僅かな凹凸要素幅の変化で位相変調が相対的に大きくなり、凹凸構造２を形成する際の製造ばらつきの影響が大きくなるため、製造が困難となる。一方、条件式（７）、（８）のそれぞれの上限値を上回ると、凹凸要素幅の変化量が大きくなり、アスペクト比の抑制効果を得ることができない。

【００５０】
各実施例の効果をさらに確実にするため、条件式（７）の下限値は、１．０５に代えて

、１．１０、１．１５、１．２０、１．２５、１．３０、１．３５、１．４０または１．４５に設定されることがより好ましい。また、条件式（７）の上限値は、６．００に代えて、５．５０、５．００、４．５０、４．００、または３．５０に設定されることがより好ましい。

【００５１】

各実施例の効果をさらに確実にするため、条件式（８）の下限値は、１．０５に代えて、１．０６、１．０８、１．１２、１．１６、１．２０、１．２４、１．２６、１．２８、１．３０、１．３２、１．３４または１．３６に設定されることがより好ましい。また、条件式（８）の上限値は、６．００に代えて５．５０、５．００、４．５０、４．００、３．５０、３．００、２．５０、２．００、１．８０、１．７０または１．６０に設定されることがより好ましい。

【００５２】

各実施例において、領域１および領域２の凹凸要素２１は、輪帯内において基板１の径方向に沿って位相変調が単調に増加または減少することが好ましい。すなわち複数の輪帯のそれぞれにおいて、複数の第１構造体２１５および複数の第２構造体２１６は、凹凸構造２を通過する光の位相が径方向に単調増加または単調減少するように構成されている。位相変調が離散的に増減をする場合には、凹凸要素幅を相対的に大きく変化させる必要があり、アスペクト比の抑制効果を得ることができない。各実施例の光学素子１００に基板１の厚さ方向に平面波が入射した際に集光作用を有する場合、輪帯内で位相変調は基板１の内部から外周部へ径方向に位相遅延が単調に減少していく。また、発散作用を有する場合、輪帯内で位相変調は基板の内部から外周部へ径方向に位相遅延が単調に増加していく。

【００５３】

各実施例において、領域１における凹凸要素２１のアスペクト比の最大値をＡ１、領域２における凹凸要素２１のアスペクト比の最大値をＡ２とするとき、以下の条件式（９）を満足することが好ましい。

【００５４】

$$0.35 \leqq A1 / A2 \leqq 2.00 \quad \cdots (9)$$

条件式（９）は、凹凸要素２１の形状に関する。条件式（９）の下限値を下回ると、領域２において凹凸要素幅の変化量が大きくなり、領域２におけるアスペクト比の抑制効果を得ることができない。一方、条件式（９）の上限値を上回ると、領域１において凹凸要素幅の変化量が大きくなり、領域１におけるアスペクト比の抑制効果を得ることができない。

【００５５】

各実施例の効果をさらに確実にするため、条件式（９）の下限値は、０．３５に代えて、０．３６、０．３８、０．４０、０．４２、０．４３または０．４４に設定されることがより好ましい。また、条件式（９）の上限値は、２．００に代えて、１．９０、１．８０、１．７０、１．６０、１．５０、１．４０、１．３０、１．２５または１．２０に設定されることがより好ましい。

【００５６】

また各実施例において、以下の条件式（１０）、（１１）を満足することが好ましい。

【００５７】

$$1.50 \leqq A1 \leqq 20.00 \quad \cdots (10)$$

$$1.50 \leqq A2 \leqq 20.00 \quad \cdots (11)$$

条件式（１０）、（１１）は、領域１および領域２の凹凸要素２１の形状に関する。条件式（１０）、（１１）のそれぞれの下限値を下回ると、僅かな凹凸要素幅の変化で位相変調が相対的に大きくなり、凹凸構造２を形成する際の製造ばらつきの影響が大きくなるため、製造が困難となる。一方、条件式（１０）、（１１）のそれぞれの上限値を上回ると、アスペクト比が大きいため、外的要因で構造が崩れやすくなる。

【００５８】

各実施例の効果をさらに確実にするため、条件式（１０）、（１１）の下限値は、１．５０に代えて、２．００、３．００、３．４０、３．８０、４．００、４．２０、４．４０、４．６０、４．８０、５．００または５．２０に設定されることがより好ましい。また、条件式（１０）、（１１）の上限値は、２０．００に代えて、１８．００、１６．００、１５．００、１４．００、１３．０、１２．０、１１．０、１０．０、９．０または８．０に設定されることがより好ましい。

【００５９】

各実施例の光学素子１００において、位相分布は基準波長λ０に依存する。このとき、以下の条件式（１２）を満足することが好ましい。

【００６０】

０．５０≦Ｈ２／λ０≦４．００　…（１２）

条件式（１２）は、凹凸要素２の形状に関する。位相分布に関しては、基準波長λ０に対する位相を基に輪帯を決定していく。条件式（１２）の下限値を下回ると、凹凸要素幅の変化量が大きくなり、領域２におけるアスペクト比の抑制効果を得ることができない。一方、条件式（１２）の上限値を上回ると、アスペクト比が大きいため、外的要因で構造が崩れやすくなる。

【００６１】

各実施例の効果をさらに確実にするため、条件式（１２）の下限値は、０．５０に代えて、０．６０、０．７０、０．８０、０．９０、０．９５または１．００に設定されることがより好ましい。また、条件式（１２）の上限値は、４．００に代えて、３．８０、３．６０、３．４０、３．２０、３．００、２．８０、２．６０、２．４０、２．２０または２．００に設定されることがより好ましい。

【００６２】

各実施例の光学素子１００は、以下の条件式（１３）を満足することが好ましい。

【００６３】

０．１５≦Ｗｍｉｎ１／Ｗｍｉｎ２≦４．００　…（１３）

条件式（１３）は、凹凸要素２１の形状に関する。条件式（１３）の下限値を下回ると、領域１における凹凸要素幅が相対的に小さくなり、領域１におけるアスペクト比の抑制効果を得ることが困難となる。一方、条件式（１３）の上限値を上回ると、領域２における凹凸要素幅が相対的に小さくなり、領域２におけるアスペクト比の抑制効果を得ることが困難となる。

【００６４】

各実施例の効果をさらに確実にするため、条件式（１３）の下限値は、０．１５に代えて、０．１６、０．１８、０．２０、０．２２、０．２４、０．２６、０．２８、または０．２９に設定されることがより好ましい。また、条件式（１３）の上限値は、４．００に代えて、３．７５、３．５０，３．２５、３．００、２．７５、２．５０、または２．２５に設定されることがより好ましい。

【００６５】

更に、本発明の光学素子は以下の条件式（１４）を満足することが好ましい。

【００６６】

０．７０≦Ｗｍａｘ１／Ｗｍａｘ２≦１．４０　…（１４）

条件式（１４）は、凹凸要素２１の形状に関する。条件式（１４）の下限値を下回ると、領域１の凹凸要素２１の最大幅が相対的に小さくなる。このため、領域１において所定の規格化位相を変化させるには、凹凸要素２１の最小幅を小さくする必要があり、アスペクト比の抑制効果を得ることが困難となる。一方、条件式（１４）の上限値を上回ると、領域２の凹凸要素２１の最大幅が相対的に小さくなる。このため、領域２において所定の規格化位相を変化させるには、凹凸要素２１の最小幅を小さくする必要があり、領域２におけるアスペクト比の抑制効果を得ることが困難となる。

【００６７】

各実施例の効果をさらに確実にするため、条件式（１４）の下限値は、０．７０に代え

て、０．７４、０．７８、０．８２、０．８４、０．８５、０．８６、または０．８７に設定されることがより好ましい。また、条件式（１４）の上限値は、１．４０に代えて、１．３６、１．３２、１．３０、１．２８、１．２６、１．２４、１．２２、または１．２０に設定されることがより好ましい。

【００６８】

各実施例の光学素子１００は、以下の条件式（１５）を満足することが好ましい。

【００６９】

０．１０≦Ｐ／Ｈ２≦０．６０　…（１５）

条件式（１５）は、凹凸要素２１およびセグメント形状に関する。条件式（１５）の下限値を下回ると、凹凸要素２１のセグメントが相対的に小さくなり、僅かな凹凸要素幅の変化で位相変調が大きくなる。その結果、凹凸構造２を形成する際の製造ばらつきの影響が大きくなるため、製造が困難となる。一方、条件式（１５）の上限値を上回ると、領域２における凹凸要素２１の高さが高くなるため、アスペクト比を抑制する効果を十分に得ることが難しくなる。

【００７０】

各実施例の効果をさらに確実にするために、条件式（１５）の下限値は、０．１０に代えて、０．１２、０．１４、０．１５、０．１６、０．１７、または０．１８に設定されることが好ましい。また、条件式（１５）の上限値は、０．６０に代えて、０．５８、０．５６、０．５４、０．５２、０．５０、０．４８、０．４６、０．４４、または０．４２に設定されることが好ましい。

【００７１】

同一の輪帯における領域１と領域２との境界での規格化位相をＥ、設計回折次数をｎとするとき、以下の条件式（１６）を満足することが好ましい。

【００７２】

０．１５≦Ｅ／ｎ≦０．９５　…（１６）

条件式（１６）は、回折作用の規格化位相に関する。条件式（１６）の下限値を下回ると、領域１における規格化位相の変化量が大きくなり、領域１における凹凸要素２１の幅の変化量を大きくしなければならず、アスペクト比を抑制することが困難となる。一方、条件式（１６）の上限値を上回ると、領域２における規格化位相の変化量が大きくなり、領域２における凹凸要素２１の幅の変化量を大きくしなければならず、アスペクト比を抑制することが困難となる。

【００７３】

各実施例の効果をさらに確実にするために、条件式（１６）の下限値は、０．１５に代えて、０．１６、０．２０、０．２４、０．２８、０．３０、０．３２、０．３４、０．３６、または０．３８に設定されることが好ましい。また、条件式（１６）の上限値は、０．９５に代えて、０．９４、０．９３、０．９２、０．９１、０．９０、０．８９、０．８８、０．８７、０．８６、０．８５、０．８４、０．８３、または０．８２に設定されることが好ましい。

【００７４】

各実施例において、基板１の光軸方向の厚さをｔとするとき、以下の条件式（１７）を満足することが好ましい。

【００７５】

０．０≦Ｈ２／ｔ≦０．１　…（１７）

条件式（１７）は、光学素子１００の形状に関する。領域２の凹凸要素２１の高さＨ２および基板１の厚さｔはいずれも長さを示す数値であり、０よりも大きい数値になる。このため、条件式（１７）の下限値を下回ることは無い。条件式（１７）の上限値を上回ると、相対的に基板の厚さが薄くなり、保持部材で保持するときに自重による変形を抑制できなくなり、またはリソグラフィ技術を用いて製造する際に基板の変形が生じてしまう。

【００７６】

各実施例の効果をさらに確実にするために、条件式（１７）の下限値は、０．０に代え

て、０．０００００１、０．０００００５、０．００００１、または０．０００１に設定されることが好ましい。また、条件式（１７）の上限値は、０．１に代えて、０．０８、０．０６、０．０４、０．０２、０．０１、０．００８、０．００６、または０．００４に設定されることが好ましい。

【００７７】

同一の輪帯内における領域１と領域２との境界で、ピッチＰのセグメント境界から下地層２２の端までの基板１の厚さ方向と垂直な方向、すなわち光軸と垂直方向における長さをＳとするとき、以下の条件式（１８）を満足することが好ましい。

【００７８】

$$0.00 \leqq S/P \leqq 0.40 \quad \cdots (18)$$

条件式（１８）は、下地層２２の形状に関する。ここで、図１０（ａ）～（ｄ）を参照して、下地層２２のオフセットについて説明する。図１０（ａ）～（ｄ）は、下地層２２のオフセットの説明図である。

【００７９】

図１０（ａ）に示されるように、同一の輪帯内の領域１および領域２の境界において、下地層２２の端部をセグメント境界から光軸と垂直方向に距離Ｓだけオフセットすることで、領域２の凹凸要素２１と下地層２２との間に十分な間隔を確保することができる。これにより、リソグラフィ技術で凹凸要素２１を形成する際に、凹凸要素２１同士の間隔、または凹凸要素２１と下地層２２との間隔を相対的に広くとることができるため、加工が容易になる。

【００８０】

図１０（ｂ）は、後述する実施例１８の第１輪帯における領域１と領域２との境界部のｘｙ平面図である。各セグメントは１辺の長さがＰの正方形であり、セグメントの中心座標(ｘ，ｙ)はｊ及びｋを整数として（（ｊ－０．５）×Ｐ，（ｋ－０．５）×Ｐ）となる。領域１とセグメントの１頂点で接する凹凸要素２１１を含むセグメントにおいては、領域１と接するセグメント頂点部からｘ方向およびｙ方向それぞれにＳだけ下地層をオフセットすればよい。領域１とセグメントの１辺で接する凹凸要素２１２を含むセグメントにおいては、領域１と接するセグメント辺からｘ方向またはｙ方向にＳだけ下地層をオフセットすればよい。領域１とセグメントの１頂点および２辺で接する凹凸要素２１３を含むセグメントにおいては、領域１と接する各々のセグメント辺からｘ方向およびｙ方向にＳだけ下地層をオフセットすればよい。下地層２２をオフセットしたセグメントでは、光が透過したときの位相変化量がオフセットしていない場合と比べて変わるため、オフセット長さＳに応じて凹凸要素の幅を変える必要がある。

【００８１】

図１０（ｃ）は、下地層２２のオフセットを考慮した場合の凹凸要素２１である凸円柱要素の直径をセグメントのピッチＰで規格化した規格化直径と、規格化位相の変化量を示す。凹凸要素２１１を含むセグメントを領域１１、凹凸要素２１２を含むセグメントを領域１２、凹凸要素２１３を含むセグメントを領域１３とする。下地層２２のオフセットが無い領域１と同じ規格化位相を得るには、領域１１、１２、１３では規格化直径を変える必要があることが分かる。なお、領域１１、１２、１３は同一の輪帯内の領域１および領域２の境界部に配置するため、規格化直径に対する規格化位相の値も領域１および領域２の境界部に相当する箇所だけを示している。

【００８２】

なお、図１０（ｄ）に示されるように、隣り合う輪帯における領域１および領域２との境界部においては、領域２の凹凸要素幅は相対的に細く構成され、下地層２２と十分な間隔を確保できる。このため、領域１の下地層２２の端部をセグメント境界部からオフセットしなくてもよい。

【００８３】

オフセット長さＳ、ピッチＰはいずれも長さを示す数値であり、０以上の数値になるため条件式（１８）を下回ることは無い。条件式（１８）の上限値を上回ると、下地層２２

をオフセットするセグメントの凹凸要素幅を相対的に大きくしなければ所望の規格化位相が得られない。このとき、凹凸要素２１の端部からオフセットした下地層２２の端部までの間隔を十分にとることができず、製造が困難となる。また、下地層端部から凹凸要素端部を超えてオーバーハングするような形状になる場合もあり、製造が困難となる。

【００８４】

各実施例の効果をさらに確実にするために、条件式（１８）の下限値は、０．００に代えて、０．００５、０．０１、０．０２、０．０４、０．０５、０．０６、０．０７、または０．０８に設定されることが好ましい。また、条件式（１８）の上限値は、０．４０に代えて、０．３６、０．３２、０．２８、０．２４、０．２０、０．１８、０．１６、０．１４、または０．１２に設定されることが好ましい。

【００８５】

以下、各実施例の光学素子１００について詳細に述べる。

【００８６】

図１１（ａ）～（ｄ）は、凹凸要素２１の形状の説明図である。図１１（ａ）に示される凹凸要素２１は凸形状の円柱要素であり、凹凸要素幅Ｗａは円柱の直径とする。図１１（ｂ）に示される凹凸要素２１は凸形状の四角柱要素であり、凹凸要素幅Ｗｂは四角柱の光軸と垂直方向の辺の長さとする。図１１（ｃ）に示される凹凸要素２１は凹形状の円柱要素であり、凹凸要素幅Ｗｃは中空状の円柱の直径とする。図１１（ｄ）に示される凹凸要素２１は凸形状の十字形状の角柱要素であり、凹凸要素幅ＷＳ、ＷＬは図示した長さとすればよい。

【００８７】

実施例１の光学素子は、厚さ０．７７５ｍｍの合成石英の基板と、Si_3N_4の凸形状の円柱要素および均一膜厚の下地層からなる凹凸構造で構成される。領域１および領域２の凹凸要素は、一辺が２４０ｎｍの正方形状のセグメント毎に配置され、高さは各々４４０ｎｍ、８８０ｎｍ、下地層の高さは４４０ｎｍである。凹凸構造の有効径はφ４．０ｍｍで、波長５００ｎｍで２πの位相差が周期的に繰り返す輪帯を１０５輪帯有しており、凹凸構造による焦点距離は４０．０ｍｍである。規格化位相が０．５４となる位置を輪帯内の領域１および領域２の境界とし、領域１および領域２におけるアスペクト比の最大値は各々７．２４、６．６４である。このため、下地層を設けずに構成した参考例１のアスペクト比の最大値２０．７と比較してアスペクト比を抑制できている。

【００８８】

実施例２の光学素子は、厚さ０．７７５ｍｍの合成石英の基板と、Si_3N_4の凸形状の円柱要素および均一膜厚の下地層からなる凹凸構造で構成される。領域１および領域２の凹凸要素は、一辺が３００ｎｍの正方形状のセグメント毎に配置され、高さは各々５００ｎｍ、１０００ｎｍ、下地層の高さは５００ｎｍである。凹凸構造の有効径はφ２．５ｍｍで、波長５８７．６ｎｍで２πの位相差が周期的に繰り返す輪帯を６７輪帯有しており、凹凸構造による焦点距離は２０．０ｍｍである。規格化位相が０．５９となる位置を輪帯内の領域１および領域２の境界とし、領域１および領域２におけるアスペクト比の最大値は各々４．４６、６．２９である。このため、下地層を設けずに構成した参考例２のアスペクト比の最大値１８．９と比較してアスペクト比を抑制できている。

【００８９】

実施例３の光学素子は、厚さ０．７７５ｍｍの合成石英の基板と、Si_3N_4の凸形状の円柱要素および均一膜厚の下地層からなる凹凸構造で構成される。領域１および領域２の凹凸要素は、一辺が３２０ｎｍの正方形状のセグメント毎に配置され、高さは各々８００ｎｍ、１６００ｎｍ、下地層の高さは８００ｎｍである。凹凸構造の有効径はφ２．５ｍｍで、波長５００ｎｍで４πの位相差が周期的に繰り返す輪帯を７９輪帯有しており、凹凸構造による焦点距離は１０．０ｍｍである。規格化位相が０．８０となる位置を輪帯内の領域１および領域２の境界とし、領域１および領域２におけるアスペクト比の最大値は各々５．８８、９．８０である。このため、下地層を設けずに構成した参考例３のアスペクト比の最大値２１．３と比較してアスペクト比を抑制できている。

【００９０】
実施例４の光学素子は、厚さ０．７７５ｍｍの合成石英の基板と、TiO_2の凸形状の円柱要素および均一膜厚の下地層からなる凹凸構造で構成される。領域１および領域２の凹凸要素は、一辺が２４０ｎｍの正方形状のセグメント毎に配置され、高さは各々３００ｎｍ、６００ｎｍ、下地層の高さは３００ｎｍである。凹凸構造の有効径はφ１２．０ｍｍで、波長５８７．６ｎｍで２πの位相差が周期的に繰り返す輪帯を３０７輪帯有しており、凹凸構造による焦点距離は１００．０ｍｍである。規格化位相が０．６５となる位置を輪帯内の領域１および領域２の境界とし、領域１および領域２におけるアスペクト比の最大値は各々３．５５、７．０１である。このため、下地層を設けずに構成した参考例４のアスペクト比の最大値３９．３と比較して、アスペクト比を抑制できている。

【００９１】
実施例５の光学素子は、厚さ２．０ｍｍの合成石英の基板と、Al_2O_3の凸形状の円柱要素および均一膜厚の下地層からなる凹凸構造で構成される。領域１および領域２の凹凸要素は一辺が３００ｎｍの正方形状のセグメント毎に配置され、高さは各々７００ｎｍ、１４００ｎｍ、下地層の高さは７００ｎｍである。凹凸構造の有効径はφ７．５ｍｍで、波長４８６．１ｎｍで２πの位相差が周期的に繰り返す輪帯を３４８輪帯有しており、凹凸構造による焦点距離は４１．７ｍｍである。規格化位相が０．６０となる位置を輪帯内の領域１および領域２の境界とし、領域１および領域２におけるアスペクト比の最大値は各々５．６８、８．８４である。このため、下地層を設けずに構成した参考例５のアスペクト比の最大値２６．４と比較してアスペクト比を抑制できている。

【００９２】
実施例６乃至１０の光学素子は、領域１の凹凸要素の高さおよび下地層の高さが異なる点を除いて、各々実施例１乃至５の光学素子と同等の仕様である。

【００９３】
実施例６の光学素子の領域１の凹凸要素および下地層の高さは各々３５２ｎｍ、５２８ｎｍである。規格化位相が０．５８となる位置を輪帯内の領域１および領域２の境界とし、領域１および領域２におけるアスペクト比の最大値は各々５．０２、５．８３である。

【００９４】
実施例７の光学素子の領域１の凹凸要素および下地層の高さは各々４００ｎｍ、６００ｎｍである。規格化位相が０．７０となる位置を輪帯内の領域１および領域２の境界とし、領域１および領域２におけるアスペクト比の最大値は各々７．９０、７．５８である。

【００９５】
実施例８の光学素子の領域１の凹凸要素および下地層の高さは各々６４０ｎｍ、９６０ｎｍである。規格化位相が１．４０となる位置を輪帯内の領域１および領域２の境界とし、領域１および領域２におけるアスペクト比の最大値は各々５．３２、１２．４７である。

【００９６】
実施例９の光学素子の領域１の凹凸要素および下地層の高さは各々２４０ｎｍ、３６０ｎｍである。規格化位相が０．６８となる位置を輪帯内の領域１および領域２の境界とし、領域１および領域２におけるアスペクト比の最大値は各々２．６３、５．３６である。

【００９７】
実施例１０の光学素子の領域１の凹凸要素および下地層の高さは各々５６０ｎｍ、８４０ｎｍである。規格化位相が０．５８となる位置を輪帯内の領域１および領域２の境界とし、領域１および領域２におけるアスペクト比の最大値は各々９．８６、７．９７である。

【００９８】
実施例１１乃至１５の光学素子は、領域１の凹凸要素の高さおよび下地層の高さが異なる点を除いて、実施例１乃至５の光学素子と同等の仕様である。

【００９９】
実施例１１の光学素子の領域１の凹凸要素および下地層の高さは各々５２８ｎｍ、３５

２ｎｍである。規格化位相が０．５５となる位置を輪帯内の領域１および領域２の境界とし、領域１および領域２におけるアスペクト比の最大値は各々６．４９、７．９４である。

【０１００】

実施例１２の光学素子の領域１の凹凸要素および下地層の高さは各々６００ｎｍ、４００ｎｍである。規格化位相が０．６０となる位置を輪帯内の領域１および領域２の境界とし、領域１および領域２におけるアスペクト比の最大値は各々８．２９、１３．７７である。

【０１０１】

実施例１３の光学素子の領域１の凹凸要素および下地層の高さは各々９６０ｎｍ、６４０ｎｍである。規格化位相が１．６０となる位置を輪帯内の領域１および領域２の境界とし、領域１および領域２におけるアスペクト比の最大値は各々５．３７、１５．９２である。

【０１０２】

実施例１４の光学素子の領域１の凹凸要素および下地層の高さは各々３６０ｎｍ、２４０ｎｍである。規格化位相が０．６０となる位置を輪帯内の領域１および領域２の境界とし、領域１および領域２におけるアスペクト比の最大値は各々３．６２、１１．９９である。

【０１０３】

実施例１５の光学素子の領域１の凹凸要素および下地層の高さは各々８４０ｎｍ、５６０ｎｍである。規格化位相が０．６０となる位置を輪帯内の領域１および領域２の境界とし、領域１および領域２におけるアスペクト比の最大値は各々７．５０、１１．２２である。

【０１０４】

実施例１６の光学素子は、領域１の凹凸要素の高さおよび下地層の構成が異なる点を除いて、実施例１の光学素子と同等の仕様である。実施例１６の光学素子の領域１は、図１２は、実施例１６の光学素子１００の説明図である。図１２に示されるように、凹凸要素２１の高さＨ１１、Ｈ１２および下地層２２の高さＨＬ１、ＨＬ２が各々異なる構造を有しており、凹凸要素２１の高さは３５２ｎｍと５２８ｎｍ、下地層２２の高さは５２８ｎｍ、３５２ｎｍである。輪帯内の領域１における下地層２２の高さが異なる位置は規格化位相が０．７８、領域１と領域２との境界は規格化位相が０．４０となる位置を境界とする。領域１のアスペクト比の最大値は３．０７と５．２９、領域２においては６．３７である。

【０１０５】

実施例１７の光学素子は、領域２における凹凸要素の形状が、光軸と垂直な平面における切断面が正方形の凸形状の四角柱要素である点を除いて、実施例１の光学素子と同等の仕様である。実施例１７は規格化位相が０．６０となる域を輪帯内の領域１及び２の境界とし、領域１および領域２におけるアスペクト比の最大値は各々７．３３、８．０５である。下地層を設けずに構成した参考例６のアスペクト比の最大値１４．６と比較してアスペクト比を抑制できている。

【０１０６】

実施例１８の光学素子は、同一の輪帯における領域１と領域２との境界部で下地層境界がセグメント境界から２４ｎｍオフセットしている点を除いて、実施例１の光学素子と同等の仕様である。下地層境界をオフセットすることにより、下地層端部と領域２の凹凸要素との最小間隔が２５．２ｎｍから４９．２ｎｍになり、製造容易になっている。

【０１０７】

実施例１８は規格化位相が０．５４となる位置を輪帯内の領域１と領域２との境界とし、領域１および領域２におけるアスペクト比の最大値は各々７．２４、６．６４である。なお、本実施例ではオフセット長さＳを２４ｎｍとしたが、５ｎｍ、１０ｎｍ、１５ｎｍ、２０ｎｍ、３０ｎｍなど凹凸要素が構成できる範囲でその数値を変更しても構わない。

【０１０８】
実施例１９の光学素子は、厚さ０．７７５ｍｍの合成石英基板と、Si_3N_4の凹形状の円柱要素及び均一膜厚の下地層からなる凹凸構造で構成される。図１３（ａ）は実施例１９の光学素子１００のｘｚ平面における断面図、図１３（ｂ）はｘｙ平面における断面図である。領域１および領域２の凹凸要素は一辺が３００ｎｍの正方形状のセグメント毎に配置され、高さは各々６００ｎｍ、１２００ｎｍ、下地層の高さは６００ｎｍである。凹凸構造の有効径はφ４．０ｍｍで、波長５００ｎｍで２πの位相差が周期的に繰り返す輪帯を１０５輪帯有しており、凹凸構造による焦点距離は４０．０ｍｍである。規格化位相が０．６５となる位置を輪帯内の領域１と領域２との境界とし、領域１および領域２におけるアスペクト比の最大値は各々１１．９８、７．０６である。このため、下地層を設けずに構成した参考例７のアスペクト比の最大値２８．２と比較して、アスペクト比を抑制できている。

【０１０９】
以下、実施例１乃至１９の光学素子の夫々に対応する数値実施例１乃至１９を示す。凹凸構造による集光および発散作用を示す位相φは、ｈを光軸と垂直な方向（径方向）の光軸からの高さ、ｍを回折光の回折次数、λ０を基準波長、Ｃｋ（ｋ＝１，２，３…）を各次数の位相係数とするとき、以下の式で表される。

【０１１０】
【数１】

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

【０１１１】
ｄ線（５８７．６ｎｍ）、ｇ線（４３５．８ｎｍ）、Ｆ線（４８６．１ｎｍ）、Ｃ線（６５６．３ｎｍ）、波長５００ｎｍにおける屈折率をｎｄ，ｎｇ，ｎＣ，ｎＦ、ｎ５００とする。領域１及び２における凹凸要素の幅を各々Ｗ１［ｎｍ］、Ｗ２［ｎｍ］、比較例の凹凸要素の幅をＷｒｅｆ［ｎｍ］とする。

【０１１２】
［数値実施例１］

規格化位相	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

［数値実施例２］

規格化位相	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

［数値実施例３］

規格化位相	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

［数値実施例４］

規格化位相	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

［数値実施例５］

規格化位相	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

［数値実施例６］

規格化位相	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	

[数値実施例７]

規格化位相	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	

[数値実施例８]

規格化位相	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	

［数値実施例９］

規格化位相	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	

［数値実施例１０］

規格化位相	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	

［数値実施例１１］

規格化位相	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	

［数値実施例１２］

規格化位相	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	

［数値実施例１３］

規格化位相	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	

［数値実施例１４］

規格化位相	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	

［数値実施例１５］

規格化位相	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	

［数値実施例１６］

規格化位相	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		

［数値実施例１７］

規格化位相	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

［数値実施例１８］

規格化位相	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				

［数値実施例１９］

規格化位相	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

各実施例における種々の数値を、以下の表１乃至表３（ａ）～（ｃ）にまとめて示す。

【０１１３】

【表１】

	Si_3N_4	TiO_2	Al_2O_3	合成石英
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

【０１１４】

【表２】

	実施例 1,6,11,16, 17,18,19	実施例 2,7,12	実施例 3,8,13	実施例 4,9,14	実施例 5,10,15
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

【０１１５】

【表３（ａ）】

	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5	実施例6	実施例7
材料	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
A1	7.24	4.46	5.88	3.55	5.68	5.02	7.90
A2	6.64	6.29	9.80	7.01	8.84	5.83	7.58
A1/A2	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

【０１１６】

【表３（ｂ）】

	実施例8	実施例9	実施例10	実施例11	実施例12	実施例13	実施例14
材料	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
A1	5.32	2.63	9.86	6.49	8.29	5.37	3.62
A2	12.47	5.36	7.97	7.94	13.77	15.92	11.99
A1/A2	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

【０１１７】

【表３（ｃ）】

	実施例15	実施例16		実施例17	実施例18	実施例19
材料	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
A1	7.50	3.07	5.29	7.33	7.24	11.98
A2	11.22	6.37		8.05	6.64	7.06
A1/A2	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

【０１１８】

各実施例の光学素子に対応した比較例（参考例１乃至７）の凹凸構造を表４に示す。

【０１１９】

【表４】

	参考例1	参考例2	参考例3	参考例4	参考例5	参考例6	参考例7
最小幅[nm]	43.5	53.0	75.0	15.3	53.0	60.2	42.5
最大幅[nm]	196.5	247.3	245.2	230.1	247.2	179.8	257.5
最大アスペクト比	20.2	18.9	21.3	39.3	26.4	14.6	28.2

【０１２０】

［光学系］

次に、図１４を参照して、各実施例の光学素子を含む光学系について説明する。図１４は、各実施例の光学素子を含む光学系の説明図である。図１４において、１００は各実施例の光学素子、１０２はレンズ要素、ＯＡは光軸、ＩＰは像面、３は各実施例の光学素子

を含む光学系である。レンズ要素は屈折レンズ、回折光学素子、ミラー等で構成され、１つでもよいし複数枚からなっていてもよい。光軸ＯＡに沿って光学素子１００およびレンズ要素１０２が配置され、入射光を撮像面ＩＰへ結像する。光学素子１００の像側の面に凹凸要素を配置することで集光または発散作用を得ている。

［撮像装置］

次に、図１５を参照して、各実施例の光学素子を含む光学系を撮像光学系として用いたデジタルスチルカメラ（撮像装置）について説明する。図１５は、各実施例の光学素子を含む光学系を備えた撮像装置６の説明図である。図１５において、４はカメラ本体、３は各実施例の光学素子を含む光学系である。５はカメラ本体４に内蔵され、光学系３によって形成された光学像を受光して光電変換するＣＣＤセンサやＣＭＯＳセンサ等の撮像素子（光電変換素子）である。カメラ本体４はクイックリターンミラーを有する所謂一眼レフカメラでもよいし、クイックリターンミラーを有さないいわゆるミラーレスカメラでもよい。このように各実施例の光学素子を含む光学系をデジタルスチルカメラ等の撮像装置に適用することにより、レンズが小型である撮像装置を得ることができる。

【０１２１】

各実施例によれば、安定性の高い微細凹凸構造を有する光学素子、光学系、レンズ装置、および撮像装置を提供することができる。

【０１２２】

各実施例の開示は、以下の構成を含む。

（構成１）

基板と、

該基板の上に形成された下地層と、

凹要素または凸要素の少なくとも一方を含む複数の構造体とを有し、

前記下地層は、第１輪帯における第１領域に配置されており、かつ該第１輪帯における第２領域には配置されておらず、

前記複数の構造体は、前記第１領域における前記下地層の上に配置された複数の第１構造体と、前記第２領域における前記基板の上に配置された複数の第２構造体とを含み、

前記複数の第１構造体の夫々の幅が互いに異なり、

前記複数の第２構造体の夫々の幅が互いに異なることを特徴とする光学素子。

（構成２）

前記下地層は、前記複数の構造体と同じ材料からなることを特徴とする構成１に記載の光学素子。

（構成３）

前記複数の第１構造体の夫々の高さをＨ１、前記複数の第２構造体の夫々の高さをＨ２とするとき、

$$0.20 \leqq H1 / H2 \leqq 0.90$$

なる条件式を満足することを特徴とする構成１または２に記載の光学素子。

（構成４）

前記複数の第１構造体の夫々の高さをＨ１、前記複数の第２構造体の夫々の高さをＨ２、前記下地層の高さをＨＬとするとき、

$$0.80 \leqq (H1 + HL) / H2 \leqq 1.20$$

なる条件式を満足することを特徴とする構成１乃至３のいずれかに記載の光学素子。

（構成５）

前記基板の厚さ方向に進行する光に関し、前記複数の構造体による位相遅延量は、前記第２領域よりも前記第１領域の方が大きいことを特徴とする構成１乃至４のいずれかに記載の光学素子。

（構成６）

前記下地層の高さをＨＬ、前記第１領域における前記基板の表面位置から高さＨＬの位置までの要素充填率の最大値をＶ１ｓ、前記第２領域における前記基板の表面位置から高さＨＬの位置までの要素充填率の最大値をＶ２ｓ、前記第１領域および前記第２領域のそ

れぞれにおける高さＨＬの位置から前記構造体の先端位置までの要素充填率の最大値をＶ２ａとするとき、
　０．５０≦Ｖ１ｓ≦１．００
　０．８０≦Ｖ２ａ／Ｖ２ｓ≦１．２０
なる条件式を満足することを特徴とする構成１乃至５のいずれかに記載の光学素子。
（構成７）
前記下地層の高さをＨＬ、前記第１領域における高さＨＬの位置から前記構造体の先端位置までの要素充填率の最大値をＶ１ａとするとき、
　０．２０≦Ｖ１ａ／Ｖ１ｓ≦０．８０
なる条件式を満足することを特徴とする構成１乃至６のいずれかに記載の光学素子。
（構成８）
前記複数の第１構造体の最大幅および最小幅をそれぞれＷｍａｘ１、Ｗｍｉｎ１、前記複数の第２構造体の最大幅および最小幅をそれぞれＷｍａｘ２、Ｗｍｉｎ２とするとき、
　１．０５≦Ｗｍａｘ１／Ｗｍｉｎ１≦６．００
　１．０５≦Ｗｍａｘ２／Ｗｍｉｎ２≦６．００
なる条件式を満足することを特徴とする構成１乃至７のいずれかに記載の光学素子。
（構成９）
前記第１輪帯において、前記複数の第１構造体および前記複数の第２構造体は、通過する光の位相が径方向に単調増加または単調減少するように構成されていることを特徴とする構成１乃至８のいずれかに記載の光学素子。
（構成１０）
前記複数の第１構造体のアスペクト比の最大値をＡ１、前記複数の第２構造体のアスペクト比の最大値をＡ２とするとき、
　０．３５≦Ａ１／Ａ２≦２．００
なる条件式を満足することを特徴とする構成１乃至９のいずれかに記載の光学素子。
（構成１１）
前記複数の第２構造体の夫々の高さをＨ２、基準波長をλ０とするとき、
　０．５０≦Ｈ２／λ０≦４．００
なる条件式を満足することを特徴とする構成１乃至１０のいずれかに記載の光学素子。
（構成１２）
前記複数の第１構造体の最大幅をＷｍａｘ１、前記複数の第２構造体の最大幅をＷｍａｘ２とするとき、
　０．７０≦Ｗｍａｘ１／Ｗｍａｘ２≦１．４０
なる条件式を満足することを特徴とする構成１乃至１１のいずれかに記載の光学素子。
（構成１３）
前記複数の構造体の前記凹要素または前記凸要素の配列周期をＰ、前記複数の第２構造体の夫々の高さをＨ２とするとき、
　０．１０≦Ｐ／Ｈ２≦０．６０
なる条件式を満足することを特徴とする構成１乃至１２のいずれかに記載の光学素子。
（構成１４）
前記第１輪帯における前記第１領域と前記第２領域との境界での規格化位相をＥ、設計回折次数をｎとするとき、
　０．１５≦Ｅ／ｎ≦０．９５
なる条件式を満足することを特徴とする構成１乃至１３のいずれかに記載の光学素子。
（構成１５）
前記複数の第２構造体の夫々の高さをＨ２、前記基板の光軸方向の厚さをｔとするとき、
　０．０≦Ｈ２／ｔ≦０．１
なる条件式を満足することを特徴とする構成１乃至１４のいずれかに記載の光学素子。
（構成１６）

前記複数の構造体の前記凹要素または前記凸要素の配列周期をＰ、前記第１輪帯における前記第１領域と前記第２領域との境界で、配列周期Ｐのセグメント境界から前記下地層の端までの前記基板の厚さ方向と垂直な方向における長さをＳとするとき、

０．００≦Ｓ／Ｐ≦０．４０

なる条件式を満足することを特徴とする構成１乃至１５のいずれかに記載の光学素子。

（構成１７）

構成１乃至１６のいずれかに記載の光学素子を含む複数の光学素子を有することを特徴とする光学系。

（構成１８）

構成１７に記載の光学系と、該光学系を保持する保持部材とを有することを特徴とするレンズ装置。

（構成１９）

構成１７に記載の光学系と、該光学系によって形成される像を受光する撮像素子とを有することを特徴とする撮像装置。

【０１２３】

以上、本発明の好ましい実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【符号の説明】

【０１２４】

１　基板

２１　凹凸要素（構造体）

２２　下地層

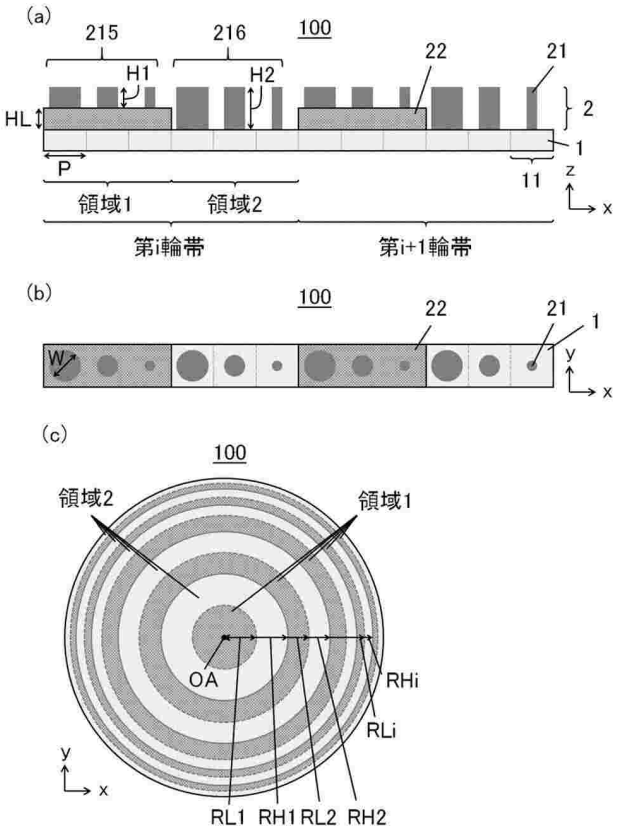
２１５　第１構造体

２１６　第２構造体

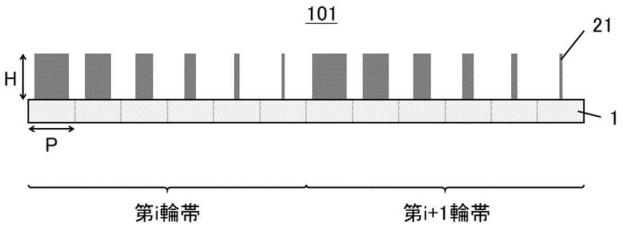
１００　光学素子

【図面】

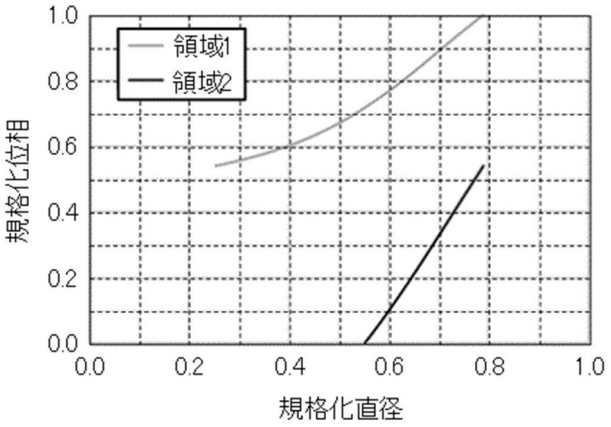
【図１】



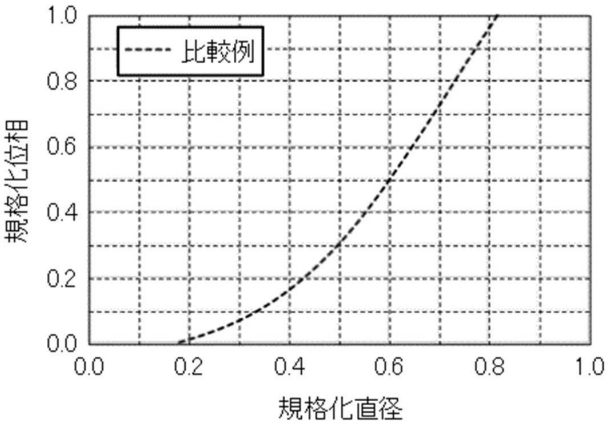
【図２】



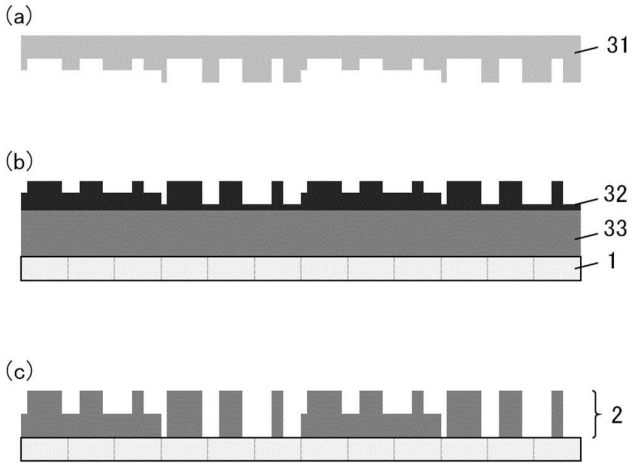
【図３】


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
規格化位相
規格化直径
領域1
領域2

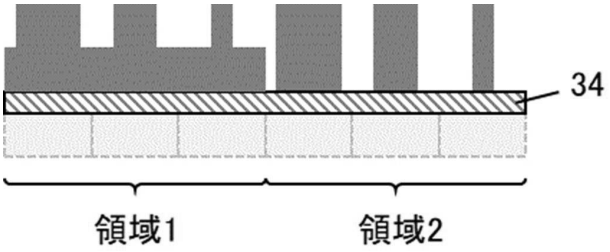
【図４】


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
規格化位相
規格化直径
比較例

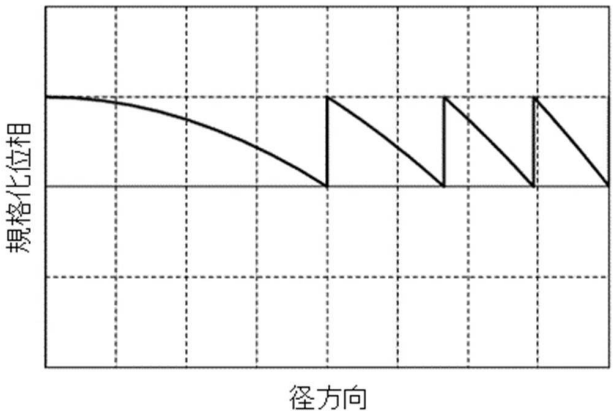
【図５】


(a)
31
(b)
32
33
1
(c)
2

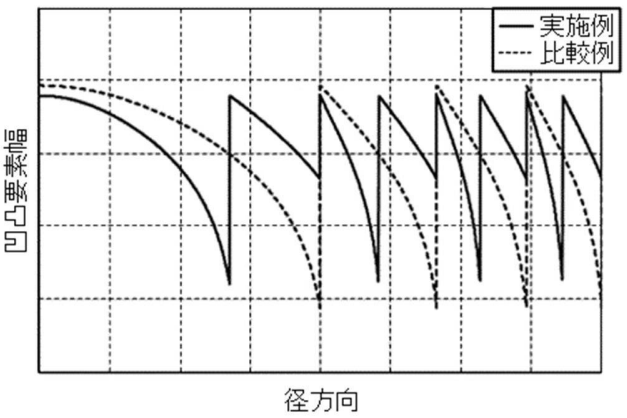
【図６】


34
領域1
領域2

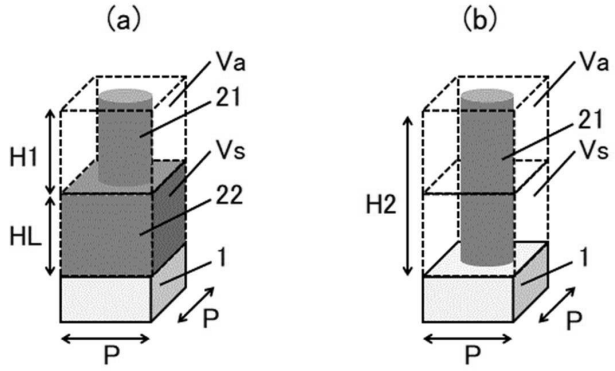
【図７】


規格化位相
径方向

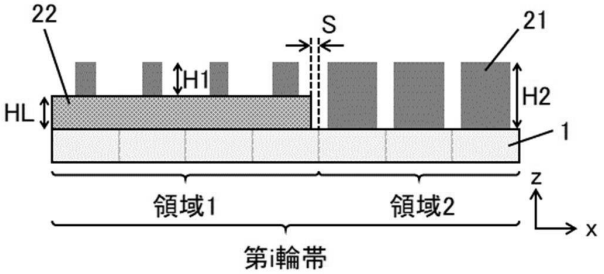
【図８】


実施例
比較例
凹凸要素幅
径方向

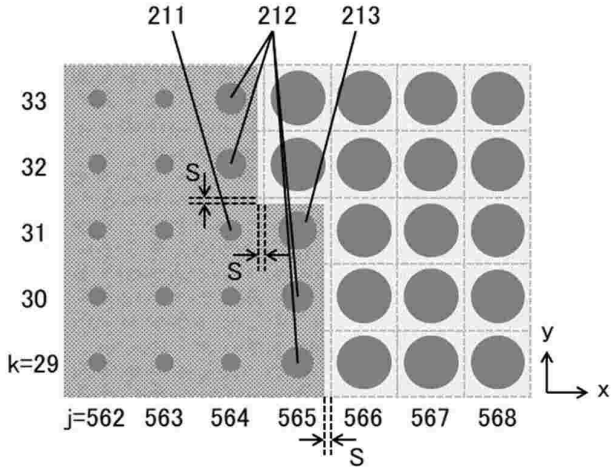
【図９】


(a)
Va
21
Vs
22
H1
HL
1
P
P
(b)
Va
21
Vs
H2
1
P
P

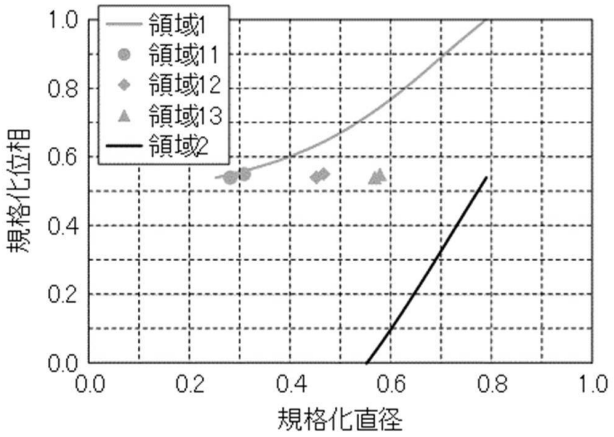
【図１０（ａ）】


22
S
21
H1
HL
H2
1
z
領域1
領域2
x
第i輪帯

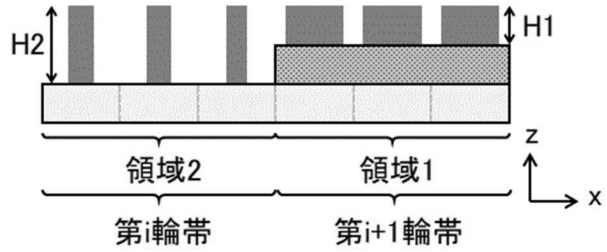
【図１０（ｂ）】



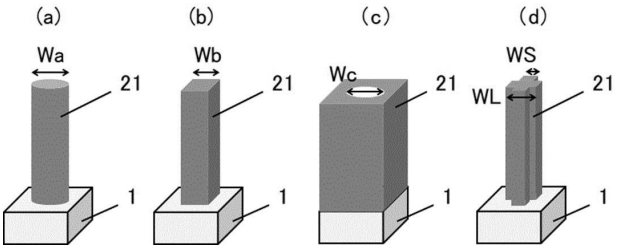
【図１０（ｃ）】



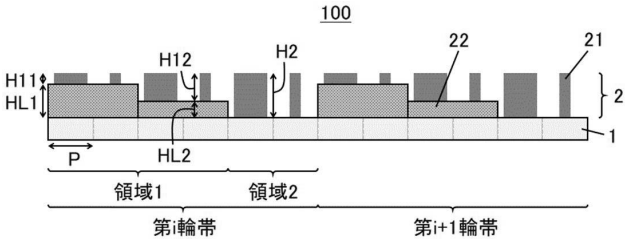
【図１０（ｄ）】



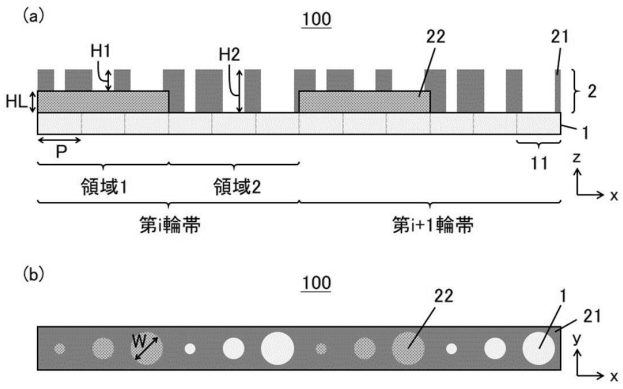
【図１１】



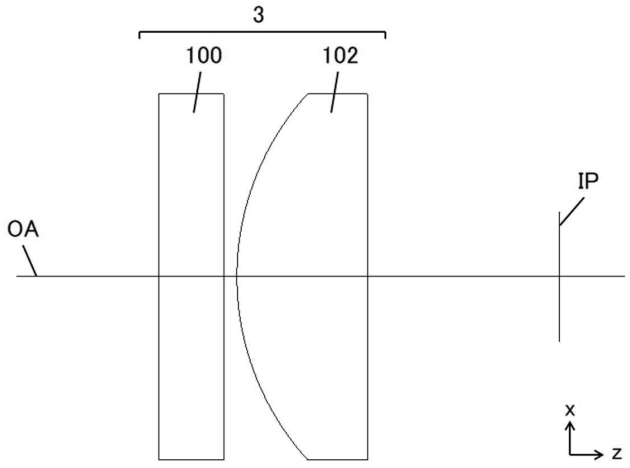
【図１２】



【図１３】



【図１４】



【図１５】

