

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-159802

(P2012-159802A)

(43) 公開日 平成24年8月23日(2012.8.23)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
G 0 2 B 5/18 (2006.01)	G 0 2 B 5/18	2 H 2 4 9
G 1 1 B 7/135 (2012.01)	G 1 1 B 7/135 A	5 D 7 8 9

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 45 頁)

(21) 出願番号	特願2011-21114 (P2011-21114)	(71) 出願人	000006747
(22) 出願日	平成23年2月2日 (2011.2.2)		株式会社リコー
			東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号
		(74) 代理人	100090103
			弁理士 本多 章悟
		(74) 代理人	100067873
			弁理士 樺山 亨
		(74) 代理人	100127111
			弁理士 工藤 修一
		(72) 発明者	平井 秀明
			東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号・株式
			会社リコー内
		F ターム (参考)	2H249 AA03 AA13 AA52 AA57 AA59
			AA60 AA65

最終頁に続く

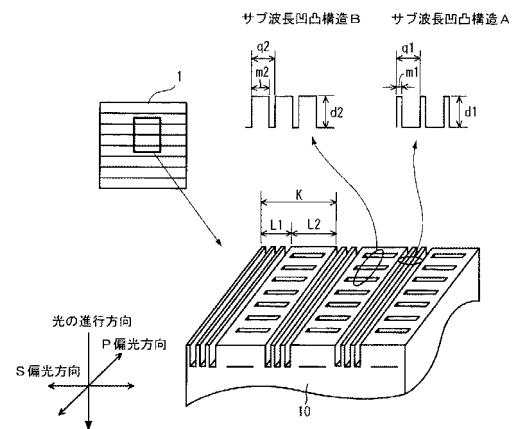
(54) 【発明の名称】 光学素子、光ピックアップ、光情報処理装置、光減衰器、偏光変換素子、プロジェクタ光学系、アイソレータ及び光学機器

(57) 【要約】

【課題】サブ波長凹凸構造の構成を適切に設定することにより、第1のサブ波長凹凸構造と第2のサブ波長凹凸構造の有効屈折率差を十分に広くとることができる偏光選択型回折素子（光学素子）を提供する。

【解決手段】回折素子1では、入射光の波長 λ 以下の周期をもつ第1のサブ波長凹凸構造Aと第2のサブ波長凹凸構造Bとが基板10上に形成されている。第1のサブ波長凹凸構造の周期を p_1 、フィリングファクタを f_1 、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の光が入射したときの有効屈折率を n_1 （P偏光）とし、第2のサブ波長凹凸構造の周期を p_2 、フィリングファクタを f_2 、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の光が入射したときの有効屈折率を n_2 （P偏光）としたとき、 $p_1 > p_2$ 、 $f_1 < f_2$ 、 n_1 （P偏光） $= n_2$ （P偏光）を満足する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入射光の波長以上の周期をもつ光学素子であり、

その 1 周期は、入射光の波長以下の周期をもつ第 1 のサブ波長凹凸構造と第 2 のサブ波長凹凸構造とで形成されてなり、

第 1 のサブ波長凹凸構造には、前記光学素子のストライプ方向と同一方向のサブ波長凹凸構造が形成されてなり、第 2 のサブ波長凹凸構造には、第 1 のサブ波長凹凸構造のストライプ方向とは直交する方向のサブ波長凹凸構造が形成されてなり、

第 1 のサブ波長凹凸構造の周期を p_1 、フィリングファクタを f_1 、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の光が入射したときの有効屈折率を n_1 (P 偏光) とし、

第 2 のサブ波長凹凸構造の周期を p_2 、フィリングファクタを f_2 、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の光が入射したときの有効屈折率を n_2 (P 偏光) としたとき、

$$p_1 > p_2$$

$$f_1 < f_2$$

$$n_1 \text{ (P 偏光)} = n_2 \text{ (P 偏光)}$$

を満足することを特徴とする光学素子。

【請求項 2】

請求項 1 記載の光学素子において、

前記光学素子のストライプ方向と同一の偏光方向の光が入射したときには、1 次回折光が発生せず、

前記光学素子のストライプ方向と直交する偏光方向の光が入射したときには、0 次回折光が発生しないように第 1 のサブ波長凹凸構造の溝深さと第 2 のサブ波長凹凸構造の溝深さとが同一の値に設定されていることを特徴とする光学素子。

【請求項 3】

入射光の波長以上の周期をもつ光学素子であり、

その 1 周期は、入射光の波長以下の周期をもつ第 1 のサブ波長凹凸構造と第 2 のサブ波長凹凸構造とで形成されてなり、

第 1 のサブ波長凹凸構造には、前記光学素子のストライプ方向と同一方向のサブ波長凹凸構造が形成されてなり、第 2 のサブ波長凹凸構造には、第 1 のサブ波長凹凸構造のストライプ方向とは直交する方向のサブ波長凹凸構造が形成されてなり、

第 1 のサブ波長凹凸構造の周期を p_1 、フィリングファクタを f_1 、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の波長 λ_1 の光が入射したときの有効屈折率を n_1 (λ_1 、P 偏光) とし、

第 2 のサブ波長凹凸構造の周期を p_2 、フィリングファクタを f_2 、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の波長 λ_1 の光が入射したときの有効屈折率を n_2 (λ_1 、P 偏光) としたとき、

$$p_1 > p_2$$

$$f_1 < f_2$$

$$n_1 (\lambda_1, \text{P 偏光}) = n_2 (\lambda_1, \text{P 偏光})$$

第 1 のサブ波長凹凸構造に、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の波長 λ_2 ($> \lambda_1$) の光が入射したときの有効屈折率を n_1 (λ_2 、P 偏光) とし、

第 2 のサブ波長凹凸構造に、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の波長 λ_2 ($> \lambda_1$) の光が入射したときの有効屈折率を n_2 (λ_2 、P 偏光) としたとき、

$$n_1 (\lambda_2, \text{P 偏光}) > n_2 (\lambda_2, \text{P 偏光})$$

を満足することを特徴とする光学素子。

【請求項 4】

請求項 3 記載の光学素子において、

波長 λ_2 の光が入射したときには、0 次回折光が発生しないように第 1 のサブ波長凹凸

構造の溝深さと第 2 のサブ波長凹凸構造の溝深さとが同一の値に設定されていることを特徴とする光学素子。

【請求項 5】

入射光の波長以上の周期をもつ光学素子であり、

その 1 周期は、入射光の波長以下の周期をもつ第 1 のサブ波長凹凸構造、第 2 のサブ波長凹凸構造、・・・第 N のサブ波長凹凸構造とで形成されてなり、

第 1 のサブ波長凹凸構造には、前記光学素子のストライプ方向と同一方向のサブ波長凹凸構造が形成されてなり、第 N のサブ波長凹凸構造には、第 1 のサブ波長凹凸構造のストライプ方向とは直交する方向のサブ波長凹凸構造が形成されてなり、第 2 のサブ波長凹凸構造から第 (N - 1) のサブ波長凹凸構造は、第 1 と第 N のサブ波長凹凸構造のストライプ方向とは異なる角度を有し、

第 1 のサブ波長凹凸構造の周期を p_1 、フィリングファクタを f_1 、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向が入射したときの有効屈折率を n_1 (P 偏光)、第 2 のサブ波長凹凸構造の周期を p_2 、フィリングファクタを f_2 、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の光が入射したときの有効屈折率を n_2 (P 偏光)、第 N のサブ波長凹凸構造の周期を p_N 、フィリングファクタを f_N 、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の光が入射したときの有効屈折率を n_N (P 偏光) としたとき、

$$p_1 > p_2 > \dots > p_N$$

$$f_1 < f_2 < \dots < f_N$$

$$n_1 \text{ (P 偏光)} = n_2 \text{ (P 偏光)} = \dots = n_N \text{ (P 偏光)}$$

を満足することを特徴とする光学素子。

【請求項 6】

請求項 5 記載の光学素子において、

所定の偏光方向を所定の次数に偏りをもって回折するように前記溝深さが設定されていることを特徴とする光学素子。

【請求項 7】

入射光の波長以上の周期をもつ光学素子であり、

その 1 周期は、入射光の波長以下の周期をもつ第 1 のサブ波長凹凸構造、第 2 のサブ波長凹凸構造、・・・第 N のサブ波長凹凸構造とで形成されてなり、

第 1 のサブ波長凹凸構造には、前記光学素子のストライプ方向と同一方向のサブ波長凹凸構造が形成されてなり、第 N のサブ波長凹凸構造には、前記第 1 のサブ波長凹凸構造のストライプ方向とは直交する方向のサブ波長凹凸構造が形成されてなり、第 2 のサブ波長凹凸構造から第 (N - 1) のサブ波長凹凸構造は、第 1 と第 N のサブ波長凹凸構造のストライプ方向とは異なる角度を有し、

第 1 のサブ波長凹凸構造の周期を p_1 、フィリングファクタを f_1 、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の波長 λ_1 の光が入射したときの有効屈折率を n_1 (λ_1 、P 偏光)、

第 2 のサブ波長凹凸構造の周期を p_2 、フィリングファクタを f_2 、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の波長 λ_1 の光が入射したときの有効屈折率を n_2 (λ_1 、P 偏光)、

・・・第 N のサブ波長凹凸構造の周期を p_N 、フィリングファクタを f_N 、前記回折素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の波長 λ_1 の光が入射したときの有効屈折率を n_N (λ_1 、P 偏光) としたとき、

$$p_1 > p_2 > \dots > p_N$$

$$f_1 < f_2 < \dots < f_N$$

$$n_1 (\lambda_1, \text{P 偏光}) = n_2 (\lambda_1, \text{P 偏光}) = \dots = n_N (\lambda_1, \text{P 偏光})$$

第 1 のサブ波長凹凸構造に、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の波長 λ_2 の光が入射したときの有効屈折率を n_1 (λ_2 、P 偏光)、

第 2 のサブ波長凹凸構造に、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の波

長 λ_2 の光が入射したときの有効屈折率を $n_2(\lambda_2, P \text{ 偏光})$ 、

・ ・ ・ 第 N のサブ波長凹凸構造に、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の波長 λ_2 の光が入射したときの有効屈折率を $n_N(\lambda_2, P \text{ 偏光})$ としたとき、

$n_1(\lambda_2, P \text{ 偏光}) > n_2(\lambda_2, P \text{ 偏光}) \cdots > n_N(\lambda_2, P \text{ 偏光})$

を満足することを特徴とする光学素子。

【請求項 8】

請求項 7 記載の光学素子において、

波長 λ_2 の光に対して所定の次数に偏りをもって回折するように前記溝深さが設定されていることを特徴とする光学素子。

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 のうちの何れか 1 つに記載の光学素子を有し、記録媒体に情報を記録し及び / 又は記録媒体に記録されている情報を読み取る光ピックアップ。

【請求項 10】

請求項 9 記載の光ピックアップを有し、この光ピックアップによって記録媒体の情報の処理を行う光情報処理装置。

【請求項 11】

請求項 1 ~ 8 のうちの何れか 1 つに記載の光学素子と、この光学素子を経た光を減衰させる減衰手段とを有する光減衰器。

【請求項 12】

請求項 1 ~ 8 のうちの何れか 1 つに記載の光学素子と、この光学素子を経た光の偏光方向を変換する変換素子とを有する偏光変換素子。

【請求項 13】

請求項 1 ~ 8 のうちの何れか 1 つに記載の光学素子、または、請求項 12 記載の偏光変換素子を有し、前記光学素子を経た光を投射するプロジェクタ光学系。

【請求項 14】

請求項 1 ~ 8 のうちの何れか 1 つに記載の光学素子を有し、光を一方向にのみ透過させて逆方向には遮断する機能を有する光アイソレータ。

【請求項 15】

請求項 1 ~ 8 のうちの何れか 1 つに記載の光学素子、または、請求項 9 記載の光ピックアップ、または、請求項 10 記載の光情報処理装置、または、請求項 11 記載の光減衰器、または、請求項 12 記載の偏光変換素子、または、請求項 13 記載のプロジェクタ光学系を有する光学機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、サブ波長凹凸構造を用いた偏光選択性回折素子としての光学素子、該光学素子を用いた光ピックアップ、光情報処理装置、光減衰器、偏光変換素子、プロジェクタ光学系、アイソレータ、及び該光学素子、光ピックアップ、光情報処理装置、光減衰器、偏光変換素子又はプロジェクタ光学系を有する光学機器に関する。

【背景技術】

【0002】

光ピックアップ光学系、プロジェクタ光学系、アイソレータ、光減衰器、反射型位相変調素子、等の各種の光学機器において、入射光の偏光方向に応じて光路分離を行う偏光選択性又は波長選択性の回折素子が必要とされている。

これに対して、最近では格子周期が使用波長よりも小さな微細周期構造を有するサブ波長凹凸構造を有する光学素子が非特許文献 1、非特許文献 2 などに開示され、注目されてきている。

サブ波長凹凸構造によって複屈折波長板、反射防止構造、偏光分離素子など様々な機能を有することが知られている。そして、それらの機能において入射光の入射角の変化による光学性能変動が少なく、光学的に優れているという報告もなされている。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 3 】

特許文献 1 には、高価な複屈折性結晶を用いることなく、複屈折性を得るために、稠密な周期構造を利用した偏光選択性回折素子が開示されている。

図 4 1 は特許文献 1 の実施例の基本構成を示す部分斜視図である。特許文献 1 の実施例 1 によれば、使用する光源の光波長は $1.3 \mu\text{m}$ 、基板の材料としては、上記波長では透明でかつ屈折率が $n = 3.5$ と大きいシリコン (Si) 結晶を用い、第 1 の領域のサブ波長凹凸構造と第 2 の領域のサブ波長凹凸構造のフィリングファクタはそれぞれ 0.5 (ここで、フィリングファクタはサブ波長凹凸構造のピッチに対する凸部の溝幅比を意味する)、第 1 の領域のサブ波長凹凸構造と第 2 の領域のサブ波長凹凸構造のピッチはそれぞれ $0.6 \mu\text{m}$ 、第 1 の領域のサブ波長凹凸構造の溝深さは $t_1 = 0.162 \mu\text{m}$ 、第 2 の領域のサブ波長凹凸構造の溝深さは $t_2 = 0.374 \mu\text{m}$ 、となっている。

図 4 1 において、符号 2 0 3 は光の進行方向を示す矢印である。

【 0 0 0 4 】

特許文献 1 によれば、上記のような屈折率、フィリングファクタを有する構造においては、サブ波長凹凸構造の有効屈折率は $n_{//} = 2.5739$ 、 $n_{\perp} = 1.3598$ となるものと記載されている。ここで、 $n_{//}$ はサブ波長凹凸構造の溝方向と同一方向の偏光方向の光が入射したときに感じる有効屈折率、 $n_{\perp}$ はサブ波長凹凸構造の溝方向と直交する方向の偏光方向の光が入射したときに感じる有効屈折率を意味する。

上記の有効屈折率の算出式は

$$n_{//} = \sqrt{(t \cdot n^2 + (1-t))} \cdots \text{式 1}$$

$$n_{\perp} = \sqrt{(1 / ((t / n^2) + (1-t)))} \cdots \text{式 2}$$

で定義される、サブ波長凹凸構造の近似式を用いて算出されてなる。

ここで n はサブ波長凹凸構造を形成する材料の屈折率、 t はフィリングファクタである。

【 0 0 0 5 】

また、本発明者らが、特許文献 2 に開示しているような回折格子の溝深さを適宜設定することにより、特定波長 λ_1 は不感帯透過、他の特定波長 λ_2 は ± 1 次光のみ発生するような回折素子を作り出すことが可能である。

とくに回折格子の構造を階段状の構造とすることにより、波長 λ_2 の光に対して所定の次数に偏りをもって回折するようにすることができる。すなわち $+1$ 次回折光を -1 次回折光に比して強く発生させることができる。

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 6 】

しかしながら、特許文献 1 のような構成は、作製が難しい構造である。一般にサブ波長凹凸構造の溝作製にはエッチング法を用いる場合が多い。エッチング法は均一な溝深さを形成することを特徴としている方法であるため、特許文献 1 のようにサブ波長凹凸構造の溝深さが領域ごとに変化した構造においては作製上の課題が予想される。

また、式 1、式 2 は近似式であり、サブ波長凹凸構造のピッチが十分に小さい場合は有効であるが、ピッチが広がってくると式 1、式 2 で算出される値から大きくずれる。

また、特許文献 1 では、その用途から材料として高屈折率材料を選択できているが、コンシューマ製品に搭載されている光学機器で使用される可視域の波長帯で透明な材料では屈折率 2.5 を超えるようなものはなく、第 1 のサブ波長凹凸構造と第 2 のサブ波長凹凸構造の有効屈折率差を十分に取れない。

この有効屈折率差が十分に取れないと、第 1、第 2 それぞれのサブ波長凹凸構造の溝深さを深くとる必要があり、作製難度がさらに上がる。

【 0 0 0 7 】

また、特許文献 2 のような階段状の構造を 2 段の構造で作れるとさらに生産性が向上する。一般に階段状構造の溝作製にはエッチング法を用いる場合が多い。エッチング法は均一な溝深さを形成することを特徴としている方法であるため、階段構造に比べ 2 値構造の

ほうが得意である。

【 0 0 0 8 】

本発明は、このような状況に鑑みてなされたもので、サブ波長凹凸構造の構成を適切に設定することにより、第 1 のサブ波長凹凸構造と第 2 のサブ波長凹凸構造の有効屈折率差を十分に広くとることができる偏光選択型回折素子（光学素子）又は波長選択型回折素子の提供を、その主な目的とする。

また、本発明は、光をその偏光方向又は波長方向に応じて特定の次数に回折することができるとともに製造が容易な光学素子、さらには、このような偏光選択型回折素子又は波長選択型回折素子を利用した各種光学機器の提供をその目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

上記目的を達成するために、請求項 1 記載の発明は、入射光の波長以上の周期をもつ光学素子であり、その 1 周期は、入射光の波長以下の周期をもつ第 1 のサブ波長凹凸構造と第 2 のサブ波長凹凸構造とで形成されてなり、第 1 のサブ波長凹凸構造には、前記光学素子のストライプ方向と同一方向のサブ波長凹凸構造が形成されてなり、第 2 のサブ波長凹凸構造には、第 1 のサブ波長凹凸構造のストライプ方向とは直交する方向のサブ波長凹凸構造が形成されてなり、第 1 のサブ波長凹凸構造の周期を p_1 、フィリングファクタを f_1 、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の光が入射したときの有効屈折率を n_1 （P 偏光）とし、第 2 のサブ波長凹凸構造の周期を p_2 、フィリングファクタを f_2 、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の光が入射したときの有効屈折率を n_2 （P 偏光）としたとき、

$$p_1 > p_2$$

$$f_1 < f_2$$

$$n_1 \text{（P 偏光）} = n_2 \text{（P 偏光）}$$

を満足することを特徴とする。

【 0 0 1 0 】

請求項 2 記載の発明は、請求項 1 記載の光学素子において、前記光学素子のストライプ方向と同一の偏光方向の光が入射したときには、1 次回折光が発生せず、前記光学素子のストライプ方向と直交する偏光方向の光が入射したときには、0 次回折光が発生しないように第 1 のサブ波長凹凸構造の溝深さと第 2 のサブ波長凹凸構造の溝深さとが同一の値に設定されていることを特徴とする。

請求項 3 記載の発明は、入射光の波長以上の周期をもつ光学素子であり、その 1 周期は、入射光の波長以下の周期をもつ第 1 のサブ波長凹凸構造と第 2 のサブ波長凹凸構造とで形成されてなり、第 1 のサブ波長凹凸構造には、前記光学素子のストライプ方向と同一方向のサブ波長凹凸構造が形成されてなり、第 2 のサブ波長凹凸構造には、第 1 のサブ波長凹凸構造のストライプ方向とは直交する方向のサブ波長凹凸構造が形成されてなり、第 1 のサブ波長凹凸構造の周期を p_1 、フィリングファクタを f_1 、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の波長 λ_1 の光が入射したときの有効屈折率を n_1 （ λ_1 、P 偏光）とし、

第 2 のサブ波長凹凸構造の周期を p_2 、フィリングファクタを f_2 、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の波長 λ_1 の光が入射したときの有効屈折率を n_2 （ λ_1 、P 偏光）としたとき、

$$p_1 > p_2$$

$$f_1 < f_2$$

$$n_1 \text{（}\lambda_1\text{、P 偏光）} = n_2 \text{（}\lambda_1\text{、P 偏光）}$$

第 1 のサブ波長凹凸構造に、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の波長 λ_2 （ $> \lambda_1$ ）の光が入射したときの有効屈折率を n_1 （ λ_2 、P 偏光）とし、

第 2 のサブ波長凹凸構造に、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の波長 λ_2 （ $> \lambda_1$ ）の光が入射したときの有効屈折率を n_2 （ λ_2 、P 偏光）としたとき、

$$n_1 \text{（}\lambda_2\text{、P 偏光）} > n_2 \text{（}\lambda_2\text{、P 偏光）}$$

を満足することを特徴とする。

請求項 4 記載の発明は、請求項 3 記載の光学素子において、波長 λ_2 の光が入射したときには、0 次回折光が発生しないように第 1 のサブ波長凹凸構造の溝深さと第 2 のサブ波長凹凸構造の溝深さとが同一の値に設定されていることを特徴とする。

【0011】

請求項 5 記載の発明は、入射光の波長以上の周期をもつ光学素子であり、その 1 周期は、入射光の波長以下の周期をもつ第 1 のサブ波長凹凸構造、第 2 のサブ波長凹凸構造、
 ・ ・ ・ 第 N のサブ波長凹凸構造とで形成されてなり、第 1 のサブ波長凹凸構造には、前記光学素子のストライプ方向と同一方向のサブ波長凹凸構造が形成されてなり、第 N のサブ波長凹凸構造には、第 1 のサブ波長凹凸構造のストライプ方向とは直交する方向のサブ波長凹凸構造が形成されてなり、第 2 のサブ波長凹凸構造から第 (N - 1) のサブ波長凹凸構造は、第 1 と第 N のサブ波長凹凸構造のストライプ方向とは異なる角度を有し、第 1 のサブ波長凹凸構造の周期を p_1 、フィリングファクタを f_1 、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向が入射したときの有効屈折率を n_1 (P 偏光)、第 2 のサブ波長凹凸構造の周期を p_2 、フィリングファクタを f_2 、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の光が入射したときの有効屈折率を n_2 (P 偏光)、第 N のサブ波長凹凸構造の周期を p_N 、フィリングファクタを f_N 、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の光が入射したときの有効屈折率を n_N (P 偏光) としたとき、

$$p_1 > p_2 > \dots > p_N$$

$$f_1 < f_2 < \dots < f_N$$

$$n_1 \text{ (P 偏光)} = n_2 \text{ (P 偏光)} = \dots = n_N \text{ (P 偏光)}$$

を満足することを特徴とする。

【0012】

請求項 6 記載の発明は、請求項 5 記載の光学素子において、所定の偏光方向を所定の次数に偏りをもって回折するように前記溝深さが設定されていることを特徴とする。

請求項 7 記載の発明は、入射光の波長以上の周期をもつ光学素子であり、その 1 周期は、入射光の波長以下の周期をもつ第 1 のサブ波長凹凸構造、第 2 のサブ波長凹凸構造、
 ・ ・ ・ 第 N のサブ波長凹凸構造とで形成されてなり、第 1 のサブ波長凹凸構造には、前記光学素子のストライプ方向と同一方向のサブ波長凹凸構造が形成されてなり、第 N のサブ波長凹凸構造には、前記第 1 のサブ波長凹凸構造のストライプ方向とは直交する方向のサブ波長凹凸構造が形成されてなり、第 2 のサブ波長凹凸構造から第 (N - 1) のサブ波長凹凸構造は、第 1 と第 N のサブ波長凹凸構造のストライプ方向とは異なる角度を有し、第 1 のサブ波長凹凸構造の周期を p_1 、フィリングファクタを f_1 、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の波長 λ_1 の光が入射したときの有効屈折率を n_1 (λ_1 、P 偏光)、

第 2 のサブ波長凹凸構造の周期を p_2 、フィリングファクタを f_2 、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の波長 λ_1 の光が入射したときの有効屈折率を n_2 (λ_1 、P 偏光)、

・ ・ ・ 第 N のサブ波長凹凸構造の周期を p_N 、フィリングファクタを f_N 、前記回折素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の波長 λ_1 の光が入射したときの有効屈折率を n_N (λ_1 、P 偏光) としたとき、

$$p_1 > p_2 > \dots > p_N$$

$$f_1 < f_2 < \dots < f_N$$

$$n_1 (\lambda_1, \text{P 偏光}) = n_2 (\lambda_1, \text{P 偏光}) = \dots = n_N (\lambda_1, \text{P 偏光})$$

第 1 のサブ波長凹凸構造に、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の波長 λ_2 の光が入射したときの有効屈折率を n_1 (λ_2 、P 偏光)、

第 2 のサブ波長凹凸構造に、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の波長 λ_2 の光が入射したときの有効屈折率を n_2 (λ_2 、P 偏光)、

・ ・ ・ 第 N のサブ波長凹凸構造に、前記光学素子のストライプ方向と同一方向の偏光方向の波長 λ_2 の光が入射したときの有効屈折率を n_N (λ_2 、P 偏光) としたとき、

$n_1(\lambda_2, P \text{ 偏光}) > n_2(\lambda_2, P \text{ 偏光}) \cdots > n_N(\lambda_2, P \text{ 偏光})$
を満足することを特徴とする。

【0013】

請求項8記載の発明は、請求項7記載の光学素子において、波長 λ_2 の光に対して所定の次数に偏りをもって回折するように前記溝深さが設定されていることを特徴とする。

請求項9記載の発明は、請求項1～8のうちの何れか1つに記載の光学素子を有し、記録媒体に情報を記録し及び/又は記録媒体に記録されている情報を読み取る光ピックアップである。

請求項10記載の発明は、請求項9記載の光ピックアップを有し、この光ピックアップによって記録媒体の情報の処理を行う光情報処理装置である。

請求項11記載の発明は、請求項1～8のうちの何れか1つに記載の光学素子と、この光学素子を経た光を減衰させる減衰手段とを有する光減衰器である。

請求項12記載の発明は、請求項1～8のうちの何れか1つに記載の光学素子と、この光学素子を経た光の偏光方向を変換する変換素子とを有する偏光変換素子である。

請求項13記載の発明は、請求項1～8のうちの何れか1つに記載の光学素子、または、請求項12記載の偏光変換素子を有し、前記光学素子を経た光を投射するプロジェクタ光学系である。

請求項14記載の発明は、請求項1～8のうちの何れか1つに記載の光学素子を有し、光を一方向にのみ透過させて逆方向には遮断する機能を有する光アイソレータである。

請求項15記載の発明は、請求項1～8のうちの何れか1つに記載の光学素子、または、請求項9記載の光ピックアップ、または、請求項10記載の光情報処理装置、または、請求項11記載の光減衰器、または、請求項12記載の偏光変換素子、または、請求項13記載のプロジェクタ光学系を有する光学機器である。

【発明の効果】

【0014】

請求項1記載の発明によれば、サブ波長凹凸構造の構成を適切に設定することにより、偏光選択型の回折素子の実現できる。

また、該サブ波長凹凸構造の溝深さは素子内で均一であるため、製造が容易である。そしてフォトリソグラフィとエッチングからなる手法により簡単に多数個同時に製作できる。

また、サブ波長凹凸構造の構成を適切に設定することにより、偏光分離型の回折機能が得られるため、ガラスやプラスチックなど材料選択自由度が広い。すなわち使用条件に応じて材料選択してやればよい。例えば、入射光として短波長の光（エネルギー密度の高い光）を用いる場合はガラスや無機系の材料にサブ波長凹凸構造を形成すればよいし、使用波長の透過率が高い材料を選択するなどといったことも可能である。

そして、本発明においては、サブ波長凹凸構造のピッチとフィリングファクタの特徴的な選択により、第1のサブ波長凹凸構造と、第2のサブ波長凹凸構造の有効屈折率差を最大限に大きくとれる方法を適用しており、溝深さを深くせず生産性の高い偏光選択型回折素子が提供できる。

また、該サブ波長凹凸構造の溝深さは素子内で均一、かつ浅い構造であるため、構造の頑強化される方向である。

また、該サブ波長凹凸構造の溝深さにより、所望の回折効率を容易に得られる。

請求項2記載の発明によれば、サブ波長凹凸構造の溝深さを適切に設定することにより、第1のサブ波長凹凸構造のストライプ方向、ここではP方向とよぶとした場合、P方向の偏光成分の光が入射したときは不感帯で、これとは直交する偏光成分の光（S方向の偏光成分の光とよぶ）が入射したときは、回折する。

【0015】

請求項3記載の発明によれば、サブ波長凹凸構造の構成を適切に設定することにより、波長選択型の回折素子の実現できる。

また、該サブ波長凹凸構造の溝深さは素子内で均一であるため、製造が容易である。そ

してフォトリソグラフィとエッチングからなる手法により簡単に多数個同時に製作できる。

また、サブ波長凹凸構造の構成を適切に設定することにより、偏光分離型の回折機能が得られるため、ガラスやプラスチックなど材料選択自由度が広い。すなわち使用条件に応じて材料選択してやればよい。例えば、入射光として短波長の光（エネルギー密度の高い光）を用いる場合はガラスや無機系の材料にサブ波長凹凸構造を形成すればよいし、使用波長の透過率が高い材料を選択するなどといったことも可能である。

そして、サブ波長凹凸構造のピッチとフィリングファクタの特徴的な選択により、第1のサブ波長凹凸構造と、第2のサブ波長凹凸構造の有効屈折率差を特定波長 λ_1 については同一、特定波長 λ_2 については異なるような方法を適用しているため、サブ波長凹凸構造を利用した波長選択型の回折素子を提供可能となる。

10

また、該サブ波長凹凸構造の溝深さは素子内で均一であるため、構造の頑強化される方向である。

また、該サブ波長凹凸構造の溝深さにより、所望の回折効率を容易に得られる。

請求項4記載の発明によれば、サブ波長凹凸構造の溝深さを適切に設定することにより、波長 λ_2 の0次光は不感帯で、1次回折光のみ発生するような、回折素子を提供することができる。

【0016】

請求項5記載の発明によれば、N種のサブ波長凹凸構造を構成する各サブ波長凹凸構造の屈折率が所定の偏光方向と異なる偏光方向について互いに同一となるように、同各サブ波長凹凸構造の形成方向を互いに異ならせるとともに同各サブ波長凹凸構造のフィリングファクタが設定されていることとすれば、各サブ波長凹凸構造の形成方向及びフィリングファクタを適宜設定することで所定の偏光方向と異なる偏光方向については回折することなく、所定の偏光方向を特定の次数に回折し得る。たとえばフォトリソグラフィ及びエッチングを用いた方法により製造を容易化可能であるとともに同時に多数を製造可能であり、薄型化、軽量化が可能であり、材料選択の自由度が広く、また組み立てを省略した低廉化可能な光学素子を提供することができる。

20

請求項6記載の発明によれば、前記所定の偏光方向を所定の次数に偏りをもって回折するように前記溝深さが設定されていることとすれば、溝深さの設定により光をその偏光方向に応じて特定の次数に回折し得る。たとえばフォトリソグラフィ及びエッチングを用いた方法により製造を容易化可能であるとともに同時に多数を製造可能であり、薄型化、軽量化が可能であり、材料選択の自由度が広く、また組み立てを省略した低廉化可能な光学素子を提供することができる。

30

【0017】

請求項7記載の発明によれば、N種のサブ波長凹凸構造を構成する各サブ波長凹凸構造の屈折率が所定の波長の光について互いに同一となるように、同各サブ波長凹凸構造の形成方向を互いに異ならせるとともに同各サブ波長凹凸構造のピッチ、フィリングファクタが設定されていることとすれば、各サブ波長凹凸構造の形成方向、ピッチ、及びフィリングファクタを適宜設定することで所定の波長 λ_1 の光については回折することなく不感帯透過し、所定の波長 λ_2 の光については特定の次数に回折し得る。たとえばフォトリソグラフィ及びエッチングを用いた方法により製造を容易化可能であるとともに同時に多数を製造可能であり、薄型化、軽量化が可能であり、材料選択の自由度が広く、また組み立てを省略した低廉化可能な光学素子を提供することができる。

40

請求項8記載の発明によれば、前記所定の波長の光を所定の次数に偏りをもって回折するように前記溝深さが設定されていることとすれば、溝深さの設定により光をその偏光方向に応じて特定の次数に回折し得る、たとえばフォトリソグラフィ及びエッチングを用いた方法により製造を容易化可能であるとともに同時に多数を製造可能であり、薄型化、軽量化が可能であり、材料選択の自由度が広く、また組み立てを省略した低廉化可能な光学素子を提供することができる。

【0018】

50

請求項 9、10 記載の発明によれば、光をその偏光方向に応じて特定の次数に回折し得る、たとえばフォトリソグラフィ及びエッチングを用いた方法により製造を容易化可能であるとともに同時に多数を製造可能であり、薄型化、軽量化が可能であり、材料選択の自由度が広く、また組み立てを省略した低廉化可能な光学素子を有する、低廉化、小型化可能な光ピックアップを用い、低廉化、小型化可能な光情報処理装置を提供することができる。

請求項 11 記載の発明によれば、光をその偏光方向に応じて特定の次数に回折し得る、たとえばフォトリソグラフィ及びエッチングを用いた方法により製造を容易化可能であるとともに同時に多数を製造可能であり、薄型化、軽量化が可能であり、材料選択の自由度が広く、また組み立てを省略した低廉化可能な光学素子を用いた、低廉化、小型化可能な光減衰器を提供することができる。

10

請求項 12 記載の発明によれば、光をその偏光方向に応じて特定の次数に回折し得る、たとえばフォトリソグラフィ及びエッチングを用いた方法により製造を容易化可能であるとともに同時に多数を製造可能であり、薄型化、軽量化が可能であり、材料選択の自由度が広く、また組み立てを省略した低廉化可能な光学素子を用いた、低廉化、小型化可能な偏光変換素子を提供することができる。

【0019】

請求項 13 記載の発明によれば、光をその偏光方向に応じて特定の次数に回折し得る、たとえばフォトリソグラフィ及びエッチングを用いた方法により製造を容易化可能であるとともに同時に多数を製造可能であり、薄型化、軽量化が可能であり、材料選択の自由度が広く、また組み立てを省略した低廉化可能な光学素子を有する、低廉化、小型化可能なプロジェクタ光学系を提供することができる。

20

請求項 14 記載の発明によれば、光をその偏光方向に応じて特定の次数に回折し得る、たとえばフォトリソグラフィ及びエッチングを用いた方法により製造を容易化可能であるとともに同時に多数を製造可能であり、薄型化、軽量化が可能であり、材料選択の自由度が広く、また組み立てを省略した低廉化可能な光学素子を用いた、低廉化、小型化可能なアイソレータを提供することができる。

請求項 15 記載の発明によれば、光をその偏光方向に応じて特定の次数に回折し得る、たとえばフォトリソグラフィ及びエッチングを用いた方法により製造を容易化可能であるとともに同時に多数を製造可能であり、薄型化、軽量化が可能であり、材料選択の自由度が広く、また組み立てを省略した低廉化可能な、ブレード型よりも強度を向上可能な光学素子を有する、低廉化、小型化可能な光学機器を提供することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態に係る光学素子の斜視図である。

【図 2】同光学素子の回折の様子を説明するための図である。

【図 3】有効屈折率のフィリングファクタのピッチ依存性を示すグラフである。

【図 4】図 1 で示した光学素子の回折効率を示すグラフである。

【図 5】比較例の回折効率を示すグラフである。

【図 6】第 2 の実施形態に係る光学素子の斜視図である。

40

【図 7】同光学素子のサブ波長凹凸部の拡大図である。

【図 8】同光学素子の回折特性の説明図である。

【図 9】同光学素子の有効屈折率の説明図である。

【図 10】同光学素子の回折効率を示すグラフである。

【図 11】第 3 の実施形態に係る光学素子の斜視図である。

【図 12】同光学素子の回折の様子を説明するための図である。

【図 13】有効屈折率のフィリングファクタのピッチ依存性を示すグラフである。

【図 14】異なる波長についての有効屈折率のフィリングファクタのピッチ依存性を示すグラフである。

【図 15】同光学素子の回折効率を示すグラフである。

50

- 【図 1 6】第 4 の実施形態に係る光学素子の斜視図である。
- 【図 1 7】同光学素子のサブ波長凹凸部の拡大図である。
- 【図 1 8】同光学素子の回折特性の説明図である。
- 【図 1 9】同光学素子の有効屈折率の説明図である。
- 【図 2 0】異なる波長についての同光学素子の有効屈折率の説明図である。
- 【図 2 1】異なる波長についての同光学素子の有効屈折率の説明図である。
- 【図 2 2】同光学素子の回折効率を示すグラフである。
- 【図 2 3】石英を基材とした型の作成方法を説明するための図である。
- 【図 2 4】シリコンを基材とした型の作成方法を説明するための図である。
- 【図 2 5】シリコン膜とモールド型を利用してガラス基板に回折素子を形成する手順を示す図である。 10
- 【図 2 6】ガラス基板に Ti_2O_5 を成膜し、 Ti_2O_5 に回折素子を形成する手順を示す図である。
- 【図 2 7】金型を使用しない回折素子の製法を説明するための図である。
- 【図 2 8】反射型回折素子の実施例を説明するための図である。
- 【図 2 9】両面に回折面を設けた実施例を説明するための図である。
- 【図 3 0】光ピックアップの実施例を説明するための図である。
- 【図 3 1】光ピックアップの他の実施例を説明するための図である。
- 【図 3 2】光減衰器の実施例を説明するための図である。
- 【図 3 3】偏光変換素子の実施例を説明するための図である。 20
- 【図 3 4】プロジェクタ光学系の実施例を説明するための図である。
- 【図 3 5】プロジェクタ光学系の他の実施例を説明するための図である。
- 【図 3 6】光アイソレータの実施例を説明するための図である。
- 【図 3 7】光アイソレータを用いた光学機器の構成図である。
- 【図 3 8】図 3 6 で示した光アイソレータの変形例を示す図である。
- 【図 3 9】光アイソレータの他の実施例を説明するための図である。
- 【図 4 0】光アイソレータの別の実施例を説明するための図である。
- 【図 4 1】従来の偏光選択性回折素子の構造を示す斜視図である。
- 【発明を実施するための形態】
- 【0 0 2 1】 30
- 以下、本発明の実施形態を図を参照して説明する。
- 図 1 はこの発明の回折素子（光学素子と同義；以下同じ）の実施例 1 を示している。回折素子 1 では、入射光の波長 λ 以下の周期をもつ第 1 のサブ波長凹凸構造 A と第 2 のサブ波長凹凸構造 B とが基板 10 上に形成されている。サブ波長凹凸構造は A、B を一組として回折素子上に波長以上の周期（回折格子周期とよぶこととする）で連続的に形成されている。
- サブ波長凹凸構造 A、B はそれぞれ溝方向、ピッチ、フィリングファクタが異なっている。一方、サブ波長凹凸構造 A、B の溝深さは等しく設定されている。
- そして、回折素子 1 に入射した光束は偏光方向により透過、もしくは ± 1 次回折するように設定されている。 40
- 【0 0 2 2】
- 図 1 の斜視図部分は、図 1 の左上に平面的に表示された回折素子 1 に形成されているサブ波長凹凸構造の拡大図であり、回折素子 1 に形成されている回折格子周期の 2 . 5 周期分を示している。
- 図 1 に示すように、波長以上の周期構造に、サブ波長凹凸構造 A、B が重畳された構造となっている。サブ波長凹凸構造 A は P 偏光方向に溝方向をもつ波長以下の周期を有する。またサブ波長凹凸構造 B は S 偏光方向に溝方向をもつ波長以下の周期を有する。
- 図 1 の符号を用いて説明すると、K は、回折素子 1 に形成されている波長以上の周期構造の周期（回折格子周期）を表す。
- L 1 は、後述するサブ波長凹凸構造 A が形成されている領域の幅である。L 2 は、後述 50

するサブ波長凹凸構造 B が形成されている領域の幅である。

q 1 は、サブ波長凹凸構造 A の周期を表す。

m 1 は、サブ波長凹凸構造 A の凸部の幅である。

$m 1 / q 1$ は、サブ波長凹凸構造 A のフィリングファクタである。

なお q 1 と m 1 の値は、溝方向に垂直に切り出した断面での値である。

q 2 は、サブ波長凹凸構造 B の周期を表す。

m 2 は、サブ波長凹凸構造 B の凸部の幅である。

$m 2 / q 2$ は、サブ波長凹凸構造 B のフィリングファクタである。なお q 2 と m 2 の値は、溝方向に垂直に切り出した断面での値である。

d 1、d 2 は、サブ波長凹凸構造 A、B かつ回折構造の溝深さを表し、本発明においてはサブ波長凹凸構造 A、B のいずれにおいても等しいことを特徴としている。

10

【0023】

(機能について)

回折素子 1 は、図 1 に示すように、波長以上の周期 K を有する周期構造に、さらに波長よりも短い周期 q 1、q 2 を有するサブ波長凹凸構造が形成されてなる。波長以上の周期構造に応じて入射光は回折し、サブ波長凹凸構造によって P、S いずれの偏光成分で回折するかの偏光選択性を出している。

これにより、図 2 に示すように、回折素子 1 は S 偏光成分の光が入射したときは回折し、P 偏光成分の光に対しては不感帯透過する。

【0024】

20

(サブ波長凹凸構造が呈する構造複屈折特性について)

各回折素子面に形成されているサブ波長凹凸構造は、一般に知られている構造的複屈折を呈する(発現する)。

構造的複屈折とは、屈折率の異なる 2 種類の媒質を光の波長よりも短い周期でストライプ状に配置したとき、ストライプに平行な偏光成分 (TE 波) とストライプに垂直な偏光成分 (TM 波) とで屈折率が異なり、複屈折作用が生じることをいう。

ここで、屈折率の異なる 2 種類の媒質として、空気と屈折率 n の媒質を想定して、サブ波長凹凸構造の周期以上の波長をもつ光が垂直入射したと仮定する。このときの入射光の偏光方向がサブ波長凹凸構造の溝に平行 (TE 方向) であるか垂直 (TM 方向) であるかによってサブ波長凹凸構造の有効屈折率は異なる。入射光の偏光方向がサブ波長凹凸構造の溝に平行である場合を $n(TE)$ 、垂直である場合を $n(TM)$ と表す。

30

【0025】

従来技術においては式 1、式 2 を用いて有効屈折率を算出しているが、本発明においては FDTD 法を用いて算出された有効屈折率を用いてなる。FDTD 法とは、電磁場の物理法則である Maxwell の方程式を厳密に計算する方法であり、時間領域差分法 (Finite Difference Time Domain method) のことである。計算負荷が高いため、従来は適用困難であり、従来技術で提示されるような近似式で有効屈折率を求められていたが、近年マシンパワーの向上に伴い PC に FDTD を用いた有効屈折率算出が可能となった。

【0026】

(偏光選択型の回折素子)

40

周期が入射光の波長 λ 以下のサブ波長凹凸構造は入射光を回折することなく(入射光はそのまま透過する)、入射光に対して複屈折特性を示す。すなわち、入射光の偏光方向に応じて異なる屈折率を示す。

図 3 は、横軸：フィリングファクタに対する偏光方向別の屈折率を示す図である。また、凡例の欄に記載されてなるとおり、同図ではサブ波長凹凸構造のピッチも併せて変化している。

従来技術の式 1、式 2 の近似式では現れないピッチサイズに伴う変化が FDTD 法を用いることで確認できる。なお計算には $n = 2.313$ 、波長 405 nm を用いた。また、凡例に記載した数値は、ピッチの波長比の値を示している。

例えば 0.10 は、 0.10λ のことであり、波長 405 nm のときは実ピッチとしては 41 nm で

50

ある。このようにサブ波長凹凸構造の屈折率は図 3 に示すようにフィリングファクタ、ピッチ、TE か TM かに応じて変化する。

【0027】

$n = 2.313$ の媒質に、

サブ波長凹凸構造 A のピッチ： $q_1 = 0.54\lambda$ ここで波長 $\lambda = 405\text{ nm}$

サブ波長凹凸構造 B のピッチ： $q_2 = 0$

サブ波長凹凸構造 A のフィリングファクタ： $t_1 = 0.26$

サブ波長凹凸構造 B のフィリングファクタ： $t_2 = 0.80$

とし、

偏光方向に対してサブ波長凹凸構造 A、B の溝方向を P 偏光方向に対して 0 度、90 度とした場合、

サブ波長凹凸構造 A の P 方向の有効屈折率： $n_1(\text{P 偏光}) = 1.70$

サブ波長凹凸構造 A の S 方向の有効屈折率： $n_1(\text{S 偏光}) = 1.136$

サブ波長凹凸構造 B の P 方向の有効屈折率： $n_2(\text{P 偏光}) = 1.70$

サブ波長凹凸構造 B の S 方向の有効屈折率： $n_2(\text{S 偏光}) = 2.194$

となり、有効屈折率 $n_1(\text{P 偏光})$ 、 $n_2(\text{P 偏光})$ は等しい値を有する。

このような構造とすることにより、図 2 (a) に示すように、回折構造の周期方向に平行な P 偏光をもつ入射光に対しては、この回折素子 1 は一様な屈折率をもつ板状体となるから、この入射光は回折素子 1 を通過し、回折現象は生じない。

【0028】

一方、回折構造の周期に垂直な S 偏光をもつ入射光に対しては、回折素子 1 は回折格子周期で屈折率が変化した回折素子となる。したがって、図 2 (b) に示すように、このような入射光は回折される。

このようにして、回折素子 1 は偏光分離素子の機能をもつことになる。

【0029】

(溝深さと回折効率)

回折素子 1 の回折効率はサブ波長凹凸構造の溝深さ (回折構造の溝深さとも表現できる) により調整可能である。図 4 は入射光の偏光方向に対する ± 1 次回折光の回折効率 (実線で示す) および 0 次光の透過効率 (破線で示す) を示している。

すなわち、図 4 は、

$n = 2.313$ の媒質に、

サブ波長凹凸構造 A のピッチ： $q_1 = 0.54\lambda$ ここで波長 $\lambda = 405\text{ nm}$

サブ波長凹凸構造 B のピッチ： $q_2 = 0.10\lambda$

サブ波長凹凸構造 A のフィリングファクタ： $t_1 = 0.26$

サブ波長凹凸構造 B のフィリングファクタ： $t_2 = 0.80$

とし、

サブ波長凹凸構造 A、B の溝方向を P 偏光方向に対して 0 度、90 度とし、

回折格子周期 $K = 5\text{ }\mu\text{m}$

サブ波長凹凸構造 A、B の幅をそれぞれ $2.5\text{ }\mu\text{m}$ とした場合の溝深さ d に対する回折効率の変化を示した図である。

図 4 から明らかなように、特に溝深さとして $0.196\text{ }\mu\text{m}$ を選択した場合は、P 偏光による回折光は発生せず不感帯透過し、S 偏光に対しては ± 1 次回折する回折素子が実現可能である。

【0030】

(回折角について)

なお図 2 において符号 α は第 1 の回折格子面によるレーザ光の回折角を示す。回折角度 α は、回折格子周期 K とし、使用波長 λ_1 とした場合、下式を満足する値として求められる。

$$\sin(\alpha) = \lambda_1 / K$$

使用用途に応じて K を選択すればよい。

【 0 0 3 1 】

(従来技術との比較)

なお従来技術で示されているようにサブ波長凹凸構造 A、B が同一のピッチを有する場合を計算してみる。

$n = 2.313$ の媒質に、

サブ波長凹凸構造 A のピッチ : $q_1 = 0.10 \lambda$

サブ波長凹凸構造 B のピッチ : $q_2 = 0.10 \lambda$

とし、

有効屈折率 n_1 (P 偏光)、 n_2 (P 偏光) は等しい値を有するためには、

サブ波長凹凸構造 A のフィリングファクタ : $t_1 = 0.35$

サブ波長凹凸構造 B のフィリングファクタ : $t_2 = 0.73$

で、

サブ波長凹凸構造 A の T E 方向の有効屈折率 : n_1 (P 偏光) = 1.584

サブ波長凹凸構造 A の T M 方向の有効屈折率 : n_1 (S 偏光) = 1.196

サブ波長凹凸構造 B の T M 方向の有効屈折率 : n_2 (P 偏光) = 1.584

サブ波長凹凸構造 B の T E 方向の有効屈折率 : n_2 (S 偏光) = 2.056

となり、有効屈折率 n_1 (S 偏光)、 n_2 (S 偏光) の差は $\Delta n = 0.86$ となり、本発明の実施例の差 : $\Delta n = 1.058$ に比べ狭くなる。

さらに、この有効屈折率において、図 4 と同様に回折効率の溝深さ依存性を算出したグラフを図 5 に示す。効率のカーブが図 4 に比べ、深溝の方向にシフトしていることが確認できる。

【 0 0 3 2 】

図 6 乃至図 10 に基づいて回折素子の実施例 2 を示す。図 6 は素子全体構成図、図 7 は SWS 部の拡大図である。

回折素子 10 では、入射光の波長 λ 以下の周期をもつ 5 種類のサブ波長凹凸構造 21、22、23、24、25 が基板 11 上に形成されている。サブ波長凹凸構造は 21、22、23、24、25 を一組として回折素子上に波長以上の周期 (回折格子周期とよぶこととする) で連続的に形成されている。サブ波長凹凸構造 21、22、23、24、25 はそれぞれ溝方向、溝の凹と凸の幅の比 (フィリングファクタとよぶ) が異なっている。一方、サブ波長凹凸構造 21、22、23、24、25 の溝深さは等しく設定されている。

そして、この回折素子 10 に入射した光束は偏光方向により回折方向が異なり、且つ各偏光方向の光束の回折する方向が特定の次数のみに回折されるように設定されている。

【 0 0 3 3 】

図 7 は回折素子 10 に形成されているサブ波長凹凸構造 (SWS 部) の拡大図であり、回折素子 10 に形成されている回折格子周期の 1 周期分を示している。

図 6、図 7 に記載されている符号について説明する。波長以上の周期構造に、サブ波長凹凸構造 21、22、23、24、25 が重畳された構造となっている。サブ波長凹凸構造 21 は P 偏光方向に溝方向をもつ波長以下の周期を有する。またサブ波長凹凸構造 25 は S 偏光方向に溝方向をもつ波長以下の周期を有する。またサブ波長凹凸構造 22、23、24 は、サブ波長凹凸構造 21、25 の間の溝方向をもつ波長以下の周期を有する。

符号 P_n は、回折素子に形成されている波長以上の周期構造の周期 (回折格子周期) を表す。

L_1 は、後述するサブ波長凹凸構造 21 が形成されている領域の幅である。 L_2 は、後述するサブ波長凹凸構造 22 が形成されている領域の幅である。 L_3 は、後述するサブ波長凹凸構造 23 が形成されている領域の幅である。 L_4 は、後述するサブ波長凹凸構造 24 が形成されている領域の幅である。 L_5 は、後述するサブ波長凹凸構造 25 が形成されている領域の幅である。

p_1 は、サブ波長凹凸構造 21 の周期を表す。

q_1 は、サブ波長凹凸構造 21 の凸部の幅である。

q_1 / p_1 は、サブ波長凹凸構造 21 のフィリングファクタである。なお p_1 と q_1 の

値は、溝方向に垂直に切り出した断面での値である。

p 2 は、サブ波長凹凸構造 2 2 の周期を表す。

q 2 は、サブ波長凹凸構造 2 2 の凸部の幅である。

q 2 / p 2 は、サブ波長凹凸構造 2 2 のフィリングファクタである。なお p 2 と q 2 の値は、溝方向に垂直に切り出した断面での値である。

p 3 は、サブ波長凹凸構造 2 3 の周期を表す。

q 3 は、サブ波長凹凸構造 2 3 の凸部の幅である。

q 3 / p 3 は、サブ波長凹凸構造 2 3 のフィリングファクタである。

なお p 3 と q 3 の値は、溝方向に垂直に切り出した断面での値である。

p 4 は、サブ波長凹凸構造 2 4 の周期を表す。

q 4 は、サブ波長凹凸構造 2 4 の凸部の幅である。

q 4 / p 4 は、サブ波長凹凸構造 2 4 のフィリングファクタである。なお p 4 と q 4 の値は、溝方向に垂直に切り出した断面での値である。

p 5 は、サブ波長凹凸構造 2 5 の周期を表す。

q 5 は、サブ波長凹凸構造 2 5 の凸部の幅である。

q 5 / p 5 は、サブ波長凹凸構造 2 5 のフィリングファクタである。なお p 5 と q 5 の値は、溝方向に垂直に切り出した断面での値である。

d は、サブ波長凹凸構造 2 1、2 2、2 3、2 4、2 5 かつ回折構造の溝深さを表し、本発明においてはサブ波長凹凸構造 2 1、2 2、2 3、2 4、2 5 のいずれにおいても等しいことを特徴としている。

【0034】

(機能について)

回折素子 10 は、図 7 に示すように、波長以上の周期 P_n を有する周期構造に、さらに波長よりも短い周期 q_1 、 q_2 、 q_3 、 q_4 、 q_5 を有するサブ波長凹凸構造が形成されてなる。波長以上の周期構造に応じて入射光は回折し、サブ波長凹凸構造によって P、S いずれの偏光成分で回折するかをの偏光選択性を出している。

これにより、図 8 に示すように回折素子 10 は S 偏光成分の光が入射したときは回折し、P 偏光成分の光に対しては不感帯透過する。

【0035】

(サブ波長凹凸構造が呈する構造複屈折特性について)

以上、サブ波長凹凸構造 2 1、2 2、2 3、2 4、2 5 のうちの回折構造のストライプ方向と平行なサブ波長凹凸構造 2 1、直交するサブ波長凹凸構造 2 5 の有効屈折率については実施例 1 の回折素子で説明したとおりであるが、本実施例においては、サブ波長凹凸構造 2 1 と 2 5 の間には入射光の回折構造のストライプ方向には平行でも直交もしないサブ波長凹凸構造 2 2、2 3、2 4 が形成されてなる。

サブ波長凹凸構造 2 2、2 3、2 4 の溝方向、フィリングファクタ、ピッチの実施例について説明する。

【0036】

まずサブ波長凹凸構造 2 3 は、P 偏光方向に対して 45 度の方向にある。或いはサブ波長凹凸構造 2 1 と 2 5 の中間の溝方向を有するとも表現できる。このような溝方向で、かつサブ波長凹凸構造のピッチがサブ波長凹凸構造 2 1 と 2 5 の略中間値 (詳細には FDTD 法で算出する)、サブ波長凹凸構造 2 3 のフィリングファクタとしてサブ波長凹凸構造 2 1、2 5 と同じフィリングファクタを選択した ($t_1 = t_5 = t_3$ となる) 場合には、その有効屈折率はサブ波長凹凸構造 2 1 と 2 5 の中間値とすることができる。

同様に、サブ波長凹凸構造 2 2 は、P 偏光方向に対して 22.5 度の方向にある。或いはサブ波長凹凸構造 2 1 と 2 3 の中間の溝方向を有するとも表現できる。このような溝方向で、かつサブ波長凹凸構造のピッチがサブ波長凹凸構造 2 1 と 2 3 の略中間値 (詳細には FDTD 法で算出する)、サブ波長凹凸構造 2 2 のフィリングファクタとしてサブ波長凹凸構造 2 1、2 3 と同じフィリングファクタを選択した ($t_1 = t_3 = t_2$ となる) 場合には、その有効屈折率はサブ波長凹凸構造 2 1 と 2 3 の中間値とすることができ

10

20

30

40

50

る。

同様に、サブ波長凹凸構造 2 4 は、P 偏光方向に対して 67.5 度の方向にある。或いはサブ波長凹凸構造 2 3 と 2 5 の中間の溝方向を有すると表現できる。このような溝方向で、かつサブ波長凹凸構造のピッチがサブ波長凹凸構造 2 3 と 2 5 の略中間値（詳細には F D T D 法で算出する）、サブ波長凹凸構造 2 4 のフィリングファクタとしてサブ波長凹凸構造 2 3、2 5 と同じフィリングファクタを選択した（ $t_3 = t_5 = t_4$ となる）場合においては、その有効屈折率はサブ波長凹凸構造 2 3 と 2 5 の中間値とすることができる。

【0037】

（偏光選択型の回折素子）

10

周期が入射光の波長 λ 以下のサブ波長凹凸構造は入射光を回折することではなく（入射光はそのまま透過する）、入射光に対して複屈折特性を示す。すなわち、入射光の偏光方向に応じて異なる屈折率を示す。

図 9 は、横軸：フィリングファクタに対する偏光方向別の屈折率を示す図である。また、凡例の欄に記載されてなるとおり、同図ではサブ波長凹凸構造の溝方向とピッチも併せて変化させている。

従来技術の式 1、式 2 の近似式では現れないピッチサイズに伴う変化が F D T D 法を用いることで確認できる。なお計算には $n = 2.313$ 、波長 405 nm を用いた。また、凡例に記載したピッチは、波長比の値を示している。例えば 0.10λ は、波長 405 nm における実ピッチとしては 41 nm である。このようにサブ波長凹凸構造の屈折率は図 9 に示すようにフィリングファクタ、ピッチ、溝方向の角度に応じて変化する。

20

【0038】

$n = 2.313$ の媒質に、

サブ波長凹凸構造 2 1 のピッチ： $q_1 = 0.54\lambda$ ここで波長 $\lambda = 405 \text{ nm}$

サブ波長凹凸構造 2 2 のピッチ： $q_2 = 0.43\lambda$

サブ波長凹凸構造 2 3 のピッチ： $q_3 = 0.32\lambda$

サブ波長凹凸構造 2 4 のピッチ： $q_4 = 0.21\lambda$

サブ波長凹凸構造 2 5 のピッチ： $q_5 = 0.10\lambda$

サブ波長凹凸構造 2 1 のフィリングファクタ： $t_1 = 0.26$

サブ波長凹凸構造 2 2 のフィリングファクタ： $t_2 = 0.36$

30

サブ波長凹凸構造 2 3 のフィリングファクタ： $t_3 = 0.55$

サブ波長凹凸構造 2 4 のフィリングファクタ： $t_4 = 0.71$

サブ波長凹凸構造 2 5 のフィリングファクタ： $t_5 = 0.80$

とし、

サブ波長凹凸構造 2 1、2 2、2 3、2 4、2 5 の溝方向を P 偏光方向に対して 0 度、22.5 度、45 度、67.5 度、90 度とした場合、

サブ波長凹凸構造 2 1 の P 方向の有効屈折率： $n_1(\text{P 偏光}) = 1.705$

サブ波長凹凸構造 2 1 の S 方向の有効屈折率： $n_1(\text{S 偏光}) = 1.128$

サブ波長凹凸構造 2 2 の P 方向の有効屈折率： $n_2(\text{P 偏光}) = 1.705$

サブ波長凹凸構造 2 2 の S 方向の有効屈折率： $n_2(\text{S 偏光}) = 1.363$

40

サブ波長凹凸構造 2 3 の P 方向の有効屈折率： $n_3(\text{P 偏光}) = 1.705$

サブ波長凹凸構造 2 3 の S 方向の有効屈折率： $n_3(\text{S 偏光}) = 1.705$

サブ波長凹凸構造 2 4 の P 方向の有効屈折率： $n_4(\text{P 偏光}) = 1.705$

サブ波長凹凸構造 2 4 の S 方向の有効屈折率： $n_4(\text{S 偏光}) = 2.003$

サブ波長凹凸構造 2 5 の P 方向の有効屈折率： $n_5(\text{P 偏光}) = 1.705$

サブ波長凹凸構造 2 5 の S 方向の有効屈折率： $n_5(\text{S 偏光}) = 2.194$

となり、有効屈折率 $n_1(\text{P 偏光})$ 、 $n_2(\text{P 偏光})$ 、 $n_3(\text{P 偏光})$ 、 $n_4(\text{P 偏光})$ 、 $n_5(\text{P 偏光})$ は等しい値を有する。

【0039】

このような構造とすることにより、図 8 (a) に示すように、回折構造の周期方向に平

50

行な P 偏光をもつ入射光に対しては、この回折素子 10 は一様な屈折率をもつ板状体となるから、この入射光は回折素子 1 を通過し、回折現象は生じない。

一方、回折構造の周期に垂直な S 偏光をもつ入射光に対しては、回折素子 10 は回折格子周期で屈折率が変化した回折素子となる。したがって、図 8 (b) に示すように、このような入射光は回折される。

このようにして、回折素子 10 は偏光分離素子の機能をもつことになる。

【0040】

(溝深さと回折効率)

回折素子 1 の回折効率はサブ波長凹凸構造の溝深さ (回折構造の溝深さとも表現できる) により調整可能である。図 10 は入射光の偏光方向に対する ± 1 次回折光の回折効率 (実線で示す) および 0 次光の透過効率 (破線で示す) を示している。

10

すなわち、図 10 は、

$n = 2.313$ の媒質に、

サブ波長凹凸構造 21 のピッチ: $q_1 = 0.54\lambda$ ここで波長 $\lambda = 405\text{ nm}$

サブ波長凹凸構造 22 のピッチ: $q_2 = 0.43\lambda$

サブ波長凹凸構造 23 のピッチ: $q_3 = 0.32\lambda$

サブ波長凹凸構造 24 のピッチ: $q_4 = 0.21\lambda$

サブ波長凹凸構造 25 のピッチ: $q_5 = 0.10\lambda$

サブ波長凹凸構造 21 のフィリングファクタ: $t_1 = 0.26$

サブ波長凹凸構造 22 のフィリングファクタ: $t_2 = 0.36$

サブ波長凹凸構造 23 のフィリングファクタ: $t_3 = 0.55$

サブ波長凹凸構造 24 のフィリングファクタ: $t_4 = 0.71$

サブ波長凹凸構造 25 のフィリングファクタ: $t_5 = 0.80$

20

とし、

偏光方向に対してサブ波長凹凸構造 21、22、23、24、25 の溝方向を P 偏光方向に対して 0 度、22.5 度、45 度、67.5 度、90 度とし、

回折格子周期 $P = 5\text{ }\mu\text{m}$

サブ波長凹凸構造 21、22、23、24、25 の幅をそれぞれ $1\text{ }\mu\text{m}$ とした場合の溝深さ d に対する回折効率の変化を示した図である。

30

【0041】

同図から明らかなように、かかる光学素子 10 では +1 次回折光と -1 次回折光の回折効率は異なり、たとえば溝深さ d が $0.2\text{ }\mu\text{m} < d < 0.4\text{ }\mu\text{m}$ の範囲では +1 次回折光にその大半を集中している。このことから、領域分割されたサブ波長凹凸構造の溝深さ d を適宜設定することにより特定の次数の光のみに偏りをもって回折させることが可能であることがわかる。このことは、他の次数の回折光についても同様に可能である。すなわち、所定の偏光成分を所定の次数に偏りを持って回折するように溝深さ d が設定される。

このように、光学素子 10 に入射した光束は偏光方向により回折方向が異なり、且つ各偏光方向の光束の回折する方向が特定の次数のみに回折されるように設定される。

【0042】

(回折角について)

40

なお図 8 において符号 α は第 1 の回折格子面によるレーザ光の回折角を示す。回折角度 α は、回折格子周期 P_n とし、使用波長 λ_1 とした場合、下式を満足する値として求められる。

$$\sin(\alpha) = \lambda_1 / P_n$$

使用用途に応じて P_n を選択すればよい。

【0043】

図 11 乃至図 15 に基づいて回折素子の実施例 3 を示す。

図 11 は本実施例の回折素子を示している。図 1 の構成と同様である。回折素子 1 では、入射光の波長 λ 以下の周期をもつ第 1 のサブ波長凹凸構造 A と、第 2 のサブ波長凹凸構造 B とが基板 10 上に形成されている。

50

サブ波長凹凸構造は A、B を一組として回折素子上に波長以上の周期（回折格子周期とよぶこととする）で連続的に形成されている。サブ波長凹凸構造 A、B はそれぞれ溝方向、ピッチ、フィリングファクタが異なっている。一方、サブ波長凹凸構造 A、B の溝深さは等しく設定されている。

回折素子 1 に入射した光束は波長により透過、もしくは ± 1 次回折するように設定されている。

【0044】

図 11 の斜視図部分は、図 11 の左上に平面的に表示された回折素子 1 に形成されているサブ波長凹凸構造の拡大図であり、回折素子 1 に形成されている回折格子周期の 2 . 5 周期分を示している。

図 11 に示すように、波長以上の周期構造に、サブ波長凹凸構造 A、B が重畳された構造となっている。サブ波長凹凸構造 A は P 偏光方向に溝方向をもつ波長以下の周期を有する。またサブ波長凹凸構造 B は S 偏光方向に溝方向をもつ波長以下の周期を有する。

図 11 の符号を用いて説明すると、K は、回折素子に形成されている波長以上の周期構造の周期（回折格子周期）を表す。

L 1 は、後述するサブ波長凹凸構造 A が形成されている領域の幅である。

L 2 は、後述するサブ波長凹凸構造 B が形成されている領域の幅である。

q 1 は、サブ波長凹凸構造 A の周期を表す。

m 1 は、サブ波長凹凸構造 A の凸部の幅である。

m 1 / q 1 は、サブ波長凹凸構造 A のフィリングファクタである。なお q 1 と m 1 の値は、溝方向に垂直に切り出した断面での値である。

q 2 は、サブ波長凹凸構造 B の周期を表す。

m 2 は、サブ波長凹凸構造 B の凸部の幅である。

m 2 / q 2 は、サブ波長凹凸構造 B のフィリングファクタである。なお q 2 と m 2 の値は、溝方向に垂直に切り出した断面での値である。

d 1、d 2 は、サブ波長凹凸構造 A、B かつ回折構造の溝深さを表し、本発明においてはサブ波長凹凸構造 A、B のいずれにおいても等しいことを特徴としている。

【0045】

（機能について）

回折素子 1 は、図 11 に示すように、波長以上の周期 K を有する周期構造に、さらに波長よりも短い周期 q 1、q 2 を有するサブ波長凹凸構造が形成されてなる。波長以上の周期構造に応じて入射光は回折し、どの波長で回折するかは波長選択性を出している。これにより、図 12 に示すように回折素子 1 は波長 $\lambda 2$ の光が入射したときは回折し、波長 $\lambda 1$ の光に対しては不感帯透過する。

サブ波長凹凸構造が呈する構造複屈折特性については上記の通りである。

【0046】

（波長選択型の回折素子）

周期が入射光の波長 λ 以下のサブ波長凹凸構造は入射光を回折することなく（入射光はそのまま透過する）、入射光に対して複屈折特性を示す。すなわち、入射光の偏光方向に応じて異なる屈折率を示す。

図 13、図 14 は、横軸：フィリングファクタに対する偏光方向別の屈折率を示す図である。また、凡例の欄に記載されてなるとおり、同図ではサブ波長凹凸構造のピッチも併せて変化している。

従来技術の式 1、式 2 の近似式では現れないピッチサイズに伴う変化が FDTD 法を用いることで確認できる。

図 13 は波長 $\lambda 1 = 405 \text{ nm}$ のグラフであり、図 14 は波長 $\lambda 2 = 650 \text{ nm}$ の場合である。なお図 13 の計算には $n = 2.313$ 、波長 405 nm を用いた。図 14 の計算には $n = 2.149$ 、波長 650 nm を用いた。また、それぞれの図で凡例に記載した数値は、ピッチの値である。

【0047】

このようにサブ波長凹凸構造の屈折率は図 1 5 に示すようにフィリングファクタ、ピッチ、TE か TM かに応じて変化する。

波長 $\lambda_1 = 405 \text{ nm}$ で $n = 2.313$

波長 $\lambda_2 = 650 \text{ nm}$ で $n = 2.149$ の媒質に、

サブ波長凹凸構造 A のピッチ : $q_1 = 40 \text{ nm}$

サブ波長凹凸構造 B のピッチ : $q_2 = 220 \text{ nm}$

サブ波長凹凸構造 A のフィリングファクタ : $t_1 = 0.62$

サブ波長凹凸構造 B のフィリングファクタ : $t_2 = 0.62$

とし、

偏光方向に対してサブ波長凹凸構造 A、B の溝方向を P 偏光方向に対して 0 度、90 度とした場合、波長 λ_1 の光に対しては、

サブ波長凹凸構造 A の P 方向の有効屈折率 : $n_1(\lambda_1, \text{P 偏光}) = 1.92$

サブ波長凹凸構造 A の S 方向の有効屈折率 : $n_1(\lambda_1, \text{S 偏光}) = 1.96$

サブ波長凹凸構造 B の P 方向の有効屈折率 : $n_2(\lambda_1, \text{P 偏光}) = 1.92$

サブ波長凹凸構造 B の S 方向の有効屈折率 : $n_2(\lambda_1, \text{S 偏光}) = 2.11$

となり、有効屈折率 $n_1(\lambda_1, \text{P 偏光})$ と $n_2(\lambda_1, \text{P 偏光})$ は等しい値を有する。

【0048】

波長 λ_2 の光に対しては、

サブ波長凹凸構造 A の P 方向の有効屈折率 : $n_1(\lambda_2, \text{P 偏光}) = 1.80$

サブ波長凹凸構造 A の S 方向の有効屈折率 : $n_1(\lambda_2, \text{S 偏光}) = 1.40$

サブ波長凹凸構造 B の P 方向の有効屈折率 : $n_2(\lambda_2, \text{P 偏光}) = 1.53$

サブ波長凹凸構造 B の S 方向の有効屈折率 : $n_2(\lambda_2, \text{S 偏光}) = 1.87$

となり、有効屈折率 $n_1(\lambda_2, \text{P 偏光})$ 、 $n_2(\lambda_2, \text{S 偏光})$ は異なる値を有する。

このような構造とすることにより、図 1 2 (a) に示すように、回折構造の周期方向に平行な P 偏光をもつ波長 λ_1 の入射光に対しては、この回折素子 1 は一様な屈折率をもつ板状体となるから、この入射光は回折素子 1 を通過し、回折現象は生じない。

【0049】

一方、波長 λ_2 の入射光に対しては回折する。回折構造のストライプ方向と同一な P 偏光を入射させるか、垂直な S 偏光を入射させても回折するが、有効屈折率差は異なる。すなわち、

P 偏光方向の光が入射したときは、有効屈折率差 : $\Delta n = 1.80 - 1.53$

S 偏光方向の光が入射したときは、有効屈折率差 : $\Delta n = 1.87 - 1.40$

となる。有効屈折率差が大きいほど、同一の回折効率の光を得るためにはサブ波長凹凸構造の溝深さとしては浅溝ですみ、生産性は高くなる。

このようにして、回折素子 1 は波長選択性、さらには偏光選択性を有する回折素子の機能をもつことになる。

【0050】

(溝深さと回折効率)

回折素子 1 の回折効率はサブ波長凹凸構造の溝深さ (回折構造の溝深さとも表現できる) により調整可能である。図 1 5 は入射光の偏光方向に対する ± 1 次回折光の回折効率 (実線で示す) および 0 次光の透過効率 (破線で示す) を示している。

すなわち、図 1 5 は、

波長 $\lambda_1 = 405 \text{ nm}$ で $n = 2.313$

波長 $\lambda_2 = 650 \text{ nm}$ で $n = 2.149$ の媒質に、

サブ波長凹凸構造 A のピッチ : $q_1 = 40 \text{ nm}$

サブ波長凹凸構造 B のピッチ : $q_2 = 220 \text{ nm}$

サブ波長凹凸構造 A のフィリングファクタ : $t_1 = 0.62$

サブ波長凹凸構造 B のフィリングファクタ : $t_2 = 0.62$

とし、

入射光として、波長 λ_1 の P 偏光方向の光、波長 λ_2 の P 偏光方向の光を入射させた場合

、サブ波長凹凸構造 A、B の溝方向を P 偏光方向に対して 0 度、90 度とし、回折格子周期 $K = 5 \mu m$ 、サブ波長凹凸構造 A、B の幅をそれぞれ $2.5 \mu m$ とした場合の溝深さ d に対する回折効率の変化を示した図である。

特に、溝深さとして $0.196 \mu m$ を選択した場合は、P 偏光による回折光は発生せず不感帯透過し、S 偏光に対しては ± 1 次回折する回折素子の実現可能である。

【0051】

(回折角について)

なお、図 12 において符号 α は第 1 の回折格子面によるレーザ光の回折角を示す。回折角度 α は、回折格子周期 K とし、使用波長 λ_1 とした場合、下式を満足する値として求められる。

$$\sin(\alpha) = \lambda_2 / K$$

使用用途に応じて K を選択すればよい。

【0052】

図 16 乃至図 22 に基づいて回折素子の実施例 4 を示す。図 16 は素子全体構成図で図 6 と同じ図、図 17 は SWS 部の拡大図で図 7 と同じ図である。

回折素子 10 では、入射光の波長 λ 以下の周期をもつ 5 種類のサブ波長凹凸構造 21、22、23、24、25 が基板 11 上に形成されている。サブ波長凹凸構造は 21、22、23、24、25 を一組として回折素子上に波長以上の周期（回折格子周期とよぶこととする）で連続的に形成されている。サブ波長凹凸構造 21、22、23、24、25 はそれぞれ溝方向、溝の凹と凸の幅の比（フィリングファクタとよぶ）が異なっている。一方、サブ波長凹凸構造 21、22、23、24、25 の溝深さは等しく設定されている。

回折素子 10 に入射した光束は波長および偏光方向により回折方向が異なり、且つ特定の次数のみに回折されるように設定されている。

【0053】

図 17 は回折素子 10 に形成されているサブ波長凹凸構造の拡大図であり、回折素子 10 に形成されている回折格子周期の 1 周期分を示している。

図 16、図 17 に記載されている符号について説明する。波長以上の周期構造に、サブ波長凹凸構造 21、22、23、24、25 が重畳された構造となっている。サブ波長凹凸構造 21 は P 偏光方向に溝方向をもつ波長以下の周期を有する。またサブ波長凹凸構造 25 は S 偏光方向に溝方向をもつ波長以下の周期を有する。またサブ波長凹凸構造 22、23、24 は、サブ波長凹凸構造 21、25 の間の溝方向をもつ波長以下の周期を有する。

P_n は、回折素子に形成されている波長以上の周期構造の周期（回折格子周期）を表す。

L_1 は、後述するサブ波長凹凸構造 21 が形成されている領域の幅である。

L_2 は、後述するサブ波長凹凸構造 22 が形成されている領域の幅である。

L_3 は、後述するサブ波長凹凸構造 23 が形成されている領域の幅である。

L_4 は、後述するサブ波長凹凸構造 24 が形成されている領域の幅である。

L_5 は、後述するサブ波長凹凸構造 25 が形成されている領域の幅である。

p_1 は、サブ波長凹凸構造 21 の周期を表す。

q_1 は、サブ波長凹凸構造 21 の凸部の幅である。

q_1 / p_1 は、サブ波長凹凸構造 21 のフィリングファクタである。なお p_1 と q_1 の値は、溝方向に垂直に切り出した断面での値である。

p_2 は、サブ波長凹凸構造 22 の周期を表す。

q_2 は、サブ波長凹凸構造 22 の凸部の幅である。

q_2 / p_2 は、サブ波長凹凸構造 22 のフィリングファクタである。なお p_2 と q_2 の値は、溝方向に垂直に切り出した断面での値である。

p_3 は、サブ波長凹凸構造 23 の周期を表す。

q_3 は、サブ波長凹凸構造 23 の凸部の幅である。

q_3 / p_3 は、サブ波長凹凸構造 23 のフィリングファクタである。なお p_3 と q_3 の

値は、溝方向に垂直に切り出した断面での値である。

p 4 は、サブ波長凹凸構造 2 4 の周期を表す。

q 4 は、サブ波長凹凸構造 2 4 の凸部の幅である。

q 4 / p 4 は、サブ波長凹凸構造 2 4 のフィリングファクタである。なお p 4 と q 4 の値は、溝方向に垂直に切り出した断面での値である。

p 5 は、サブ波長凹凸構造 2 5 の周期を表す。

q 5 は、サブ波長凹凸構造 2 5 の凸部の幅である。

q 5 / p 5 は、サブ波長凹凸構造 2 5 のフィリングファクタである。なお p 5 と q 5 の値は、溝方向に垂直に切り出した断面での値である。

d は、サブ波長凹凸構造 2 1、2 2、2 3、2 4、2 5 かつ回折構造の溝深さを表し、本発明においてはサブ波長凹凸構造 2 1、2 2、2 3、2 4、2 5 のいずれにおいても等しいことを特徴としている。

10

【0054】

(機能について)

回折素子 10 は、図 17 に示すように、波長以上の周期 P n を有する周期構造に、さらに波長よりも短い周期 q 1、q 2、q 3、q 4、q 5 を有するサブ波長凹凸構造が形成されてなる。波長以上の周期構造に応じて入射光は回折し、サブ波長凹凸構造によっていずれの波長で回折するか波長選択性を出している。

これにより、図 18 に示すように回折素子 10 は波長 $\lambda 2$ の光が入射したときは回折し、波長 $\lambda 1$ の P 偏光成分の光に対しては不感帯透過する。

20

【0055】

(サブ波長凹凸構造が呈する構造複屈折特性について)

以上、サブ波長凹凸構造 2 1、2 2、2 3、2 4、2 5 のうちの回折構造のストライプ方向と平行なサブ波長凹凸構造 2 1、直交するサブ波長凹凸構造 2 5 の有効屈折率については実施例 3 の回折素子で説明したとおりであるが、本実施例においては、サブ波長凹凸構造 2 1 と 2 5 の間には入射光の回折構造のストライプ方向には平行でも直交もしないサブ波長凹凸構造 2 2、2 3、2 4 が形成されてなる。

サブ波長凹凸構造 2 2、2 3、2 4 の溝方向、フィリングファクタ、ピッチの実施例について説明する。

まずサブ波長凹凸構造 2 3 は、P 偏光方向に対して 45 度の方向にある。或いはサブ波長凹凸構造 2 1 と 2 5 の中間の溝方向を有するとも表現できる。このような溝方向で、かつサブ波長凹凸構造のピッチがサブ波長凹凸構造 2 1 と 2 5 の略中間値 (詳細には F D T D 法で算出する)、サブ波長凹凸構造 2 3 のフィリングファクタとしてサブ波長凹凸構造 2 1、2 5 と同じフィリングファクタを選択した ($t 1 = t 5 = t 3$ となる) 場合には、その有効屈折率はサブ波長凹凸構造 2 1 と 2 5 の中間値とすることができる。

30

【0056】

同様に、サブ波長凹凸構造 2 2 は、P 偏光方向に対して 22.5 度の方向にある。或いはサブ波長凹凸構造 2 1 と 2 3 の中間の溝方向を有するとも表現できる。このような溝方向で、かつサブ波長凹凸構造のピッチがサブ波長凹凸構造 2 1 と 2 3 の略中間値 (詳細には F D T D 法で算出する)、サブ波長凹凸構造 2 2 のフィリングファクタとしてサブ波長凹凸構造 2 1、2 3 と同じフィリングファクタを選択した ($t 1 = t 3 = t 2$ となる) 場合には、その有効屈折率はサブ波長凹凸構造 2 1 と 2 3 の中間値とすることができる。

40

同様に、サブ波長凹凸構造 2 4 は、P 偏光方向に対して 67.5 度の方向にある。或いはサブ波長凹凸構造 2 3 と 2 5 の中間の溝方向を有するとも表現できる。このような溝方向で、かつサブ波長凹凸構造のピッチがサブ波長凹凸構造 2 3 と 2 5 の略中間値 (詳細には F D T D 法で算出する)、サブ波長凹凸構造 2 4 のフィリングファクタとしてサブ波長凹凸構造 2 3、2 5 と同じフィリングファクタを選択した ($t 3 = t 5 = t 4$ となる) 場合には、その有効屈折率はサブ波長凹凸構造 2 3 と 2 5 の中間値とすることができる。

50

【 0 0 5 7 】

(波長選択型の回折素子)

周期が入射光の波長 λ 以下のサブ波長凹凸構造は入射光を回折することではなく (入射光はそのまま透過する)、入射光に対して複屈折特性を示す。すなわち、入射光の偏光方向に応じて異なる屈折率を示す。

図 19、20、21 は、横軸：フィリングファクタに対する偏光方向別の屈折率を示す図である。また、凡例の欄に記載されてなるとおり、同図ではサブ波長凹凸構造の溝方向とピッチも併せて変化させている。

波長 $\lambda_1 = 405 \text{ nm}$ で $n = 2.313$

波長 $\lambda_2 = 650 \text{ nm}$ で $n = 2.149$ の媒質に、

サブ波長凹凸構造 21 のピッチ： $q_1 = 40 \text{ nm}$

サブ波長凹凸構造 22 のピッチ： $q_2 = 85 \text{ nm}$

サブ波長凹凸構造 23 のピッチ： $q_3 = 130 \text{ nm}$

サブ波長凹凸構造 24 のピッチ： $q_4 = 175 \text{ nm}$

サブ波長凹凸構造 25 のピッチ： $q_5 = 220 \text{ nm}$

サブ波長凹凸構造 21 のフィリングファクタ： $t_1 = 0.62$

サブ波長凹凸構造 22 のフィリングファクタ： $t_2 = 0.62$

サブ波長凹凸構造 23 のフィリングファクタ： $t_3 = 0.62$

サブ波長凹凸構造 24 のフィリングファクタ： $t_4 = 0.62$

サブ波長凹凸構造 25 のフィリングファクタ： $t_5 = 0.62$

とし、

サブ波長凹凸構造 21、22、23、24、25 の溝方向を P 偏光方向に対して 0 度、22.5 度、45 度、67.5 度、90 度とした場合、

波長 $\lambda = 405 \text{ nm}$ の P 偏光方向の光が入射した場合は、図 19 から、

サブ波長凹凸構造 21 の P 方向の有効屈折率： $n_1(\lambda_1, \text{P 偏光}) = 1.92$

サブ波長凹凸構造 22 の P 方向の有効屈折率： $n_2(\lambda_1, \text{P 偏光}) = 1.92$

サブ波長凹凸構造 23 の P 方向の有効屈折率： $n_3(\lambda_1, \text{P 偏光}) = 1.92$

サブ波長凹凸構造 24 の P 方向の有効屈折率： $n_4(\lambda_1, \text{P 偏光}) = 1.92$

サブ波長凹凸構造 25 の P 方向の有効屈折率： $n_5(\lambda_1, \text{P 偏光}) = 1.92$

が得られる。

【 0 0 5 8 】

また、 $\lambda = 660 \text{ nm}$ の P 偏光方向の光が入射した場合は、図 20 から、

サブ波長凹凸構造 21 の S 方向の有効屈折率： $n_1(\lambda_2, \text{P 偏光}) = 1.80$

サブ波長凹凸構造 22 の S 方向の有効屈折率： $n_2(\lambda_2, \text{P 偏光}) = 1.74$

サブ波長凹凸構造 23 の S 方向の有効屈折率： $n_3(\lambda_2, \text{P 偏光}) = 1.67$

サブ波長凹凸構造 24 の S 方向の有効屈折率： $n_4(\lambda_2, \text{P 偏光}) = 1.60$

サブ波長凹凸構造 25 の S 方向の有効屈折率： $n_5(\lambda_2, \text{P 偏光}) = 1.53$

となる。

【 0 0 5 9 】

また、 $\lambda = 660 \text{ nm}$ の S 偏光方向の光が入射した場合は、図 21 から、

サブ波長凹凸構造 21 の S 方向の有効屈折率： $n_1(\lambda_2, \text{S 偏光}) = 1.40$

サブ波長凹凸構造 22 の S 方向の有効屈折率： $n_2(\lambda_2, \text{S 偏光}) = 1.52$

サブ波長凹凸構造 23 の S 方向の有効屈折率： $n_3(\lambda_2, \text{S 偏光}) = 1.63$

サブ波長凹凸構造 24 の S 方向の有効屈折率： $n_4(\lambda_2, \text{S 偏光}) = 1.75$

サブ波長凹凸構造 25 の S 方向の有効屈折率： $n_5(\lambda_2, \text{S 偏光}) = 1.87$

となる。

【 0 0 6 0 】

このような構造とすることにより、図 18 (a) に示すように、波長 $\lambda_1 : \lambda = 405 \text{ nm}$ の P 偏光をもつ入射光に対しては、この回折素子 10 は一様な屈折率をもつ板状体となるから、この入射光は回折素子 1 を通過し、回折現象は生じない。

一方、波長 λ_2 : $\lambda = 650 \text{ nm}$ の P 偏光をもつ入射光に対しては、回折素子 10 は回折格子周期で屈折率が変化した回折素子となる。したがって、図 18 (b) に示すように、このような入射光は回折される。

波長 λ_2 : $\lambda = 650 \text{ nm}$ の S 偏光をもつ入射光に対しては、回折素子 10 は回折格子周期で屈折率が変化した回折素子となり、回折光が発生するが、その回折光は図 18 (b) とは反対の次数の回折光が強く発生する。

このように、波長 λ_2 の入射光に対しては回折する。回折構造のストライプ方向と同一な P 偏光を入射させるか、垂直な S 偏光を入射させても回折するが、有効屈折率差は異なる。すなわち、サブ波長凹凸構造 21 と 25 に着目すると、

P 偏光方向の光が入射したときは、有効屈折率差 : $\Delta n = 1.80 - 1.53$

10

S 偏光方向の光が入射したときは、有効屈折率差 : $\Delta n = 1.87 - 1.40$

となる。有効屈折率差が大きいほど、同一の回折効率の光を得るためにはサブ波長凹凸構造の溝深さとしては浅溝ですみ、生産性は高くなる。

【0061】

(溝深さと回折効率)

回折素子 1 の回折効率はサブ波長凹凸構造の溝深さ (回折構造の溝深さとも表現できる) により調整可能である。図 22 は入射光の偏光方向に対する ± 1 次回折光の回折効率 (実線で示す) および 0 次光の透過効率 (破線で示す) を示している。

すなわち、図 22 は、

波長 λ_2 : $\lambda = 650 \text{ nm}$ 、屈折率 $n = 2.149$ で、

20

サブ波長凹凸構造 21 のピッチ : $q_1 = 40 \text{ nm}$

サブ波長凹凸構造 22 のピッチ : $q_2 = 85 \text{ nm}$

サブ波長凹凸構造 23 のピッチ : $q_3 = 130 \text{ nm}$

サブ波長凹凸構造 24 のピッチ : $q_4 = 175 \text{ nm}$

サブ波長凹凸構造 25 のピッチ : $q_5 = 220 \text{ nm}$

サブ波長凹凸構造 21 のフィリングファクタ : $t_1 = 0.62$

サブ波長凹凸構造 22 のフィリングファクタ : $t_2 = 0.62$

サブ波長凹凸構造 23 のフィリングファクタ : $t_3 = 0.62$

サブ波長凹凸構造 24 のフィリングファクタ : $t_4 = 0.62$

サブ波長凹凸構造 25 のフィリングファクタ : $t_5 = 0.62$

30

とし、

偏光方向に対してサブ波長凹凸構造 21、22、23、24、25 の溝方向を P 偏光方向に対して 0 度、22.5 度、45 度、67.5 度、90 度とし、

回折格子周期 $P = 5 \mu\text{m}$

サブ波長凹凸構造 21、22、23、24、25 の幅をそれぞれ $1 \mu\text{m}$ とした場合の溝深さ d に対する回折効率の変化を示した図である。

【0062】

同図から明らかなように、かかる光学素子 10 では +1 次回折光と -1 次回折光の回折効率は異なり、たとえば溝深さ d が $1.5 \mu\text{m} < d < 2.5 \mu\text{m}$ の範囲では +1 次回折光にその大半を集中している。このことから、領域分割されたサブ波長凹凸構造の溝深さ d を適宜設定することにより特定の次数の光のみに偏りをもって回折させることが可能であることがわかる。

40

このことは、他の次数の回折光についても同様に可能である。すなわち、所定の偏光成分を所定の次数に偏りを持って回折するように溝深さ d が設定される。

このように、光学素子 10 に入射した光束は波長、偏光方向により回折方向が異なり、且つ各偏光方向の光束の回折する方向が特定の次数のみに回折されるように設定される。

【0063】

(回折角について)

なお図 18 において符号 α は第 1 の回折格子面によるレーザ光の回折角を示す。回折角度 α は、回折格子周期 P n とし、使用波長 λ_1 とした場合、下式を満足する値として求め

50

られる。

$$\sin(\alpha) = \lambda / P_n$$

使用用途に応じて P_n を選択すればよい。

【0064】

< 回折素子の作製方法 >

(石英を基材とした型)

上記各実施例で示した回折素子の作製手順を説明する。

素子の作製の説明に先立って型の作成方法を説明する。

図23は石英を基材とした型の作成方法を説明するための図である。同図(a)において、石英材料を基板とし、その表面に電子線描画用のレジストを所定の厚さに塗布し、プリベークする。予め設計されたプログラムにより、回折格子の諸元に対応したピッチ・線幅に描画する。

10

同図(b)において、レジストに対し、現像およびリンスを行うことにより、レジスト上にサブ波長凹凸構造が形成される。溝の底は石英基材が露出している。

同図(c)において、サブ波長凹凸構造のレジストパターンをマスクとして石英のドライエッチングを行う。エッチングには、RIE、ICP等のエッチング装置にて、 CF_4 、 CF_3 ガスを用いる。基板にバイアスをかけることで、面に垂直にエッチングを進行させる。

同図(d)において、レジストを剥離する。剥離の方法はドライエッチング装置内で、酸素ガスを導入し、酸素ガスプラズマ中でレジスト除去を行う方法と、基板を装置から取り出してCAROS洗浄で除去する方法とがある。

20

完成したものを石英型として用いる。

【0065】

(シリコンを基材とした型)

図24はシリコンを基材とした型の作成方法を説明するための図である。

同図(a)において、シリコン(110)を基板とし、その表面に電子線描画用のレジストを所定の厚さに塗布し、プリベークする。予め設計されたプログラムにより、回折格子の諸元に対応したピッチ・線幅に描画する。

同図(b)において、レジストに対し、現像およびリンスを行うことにより、レジスト上にサブ波長凹凸構造が形成される。溝の底はシリコン基材が露出している。

30

同図(c)において、サブ波長凹凸構造のレジストパターンをマスクとしてシリコンのアルカリウェットエッチング(KOH溶液使用)を行う。シリコン基板は{111}面の壁として、ピッチを維持したまま深さ方向にエッチングされる。

なお、ボッシュプロセス用いたドライエッチングでも同様の構造を制作できる。

同図(d)において、レジストを剥離する。

完成したものをシリコン型として用いる。

このようにして作られた石英型、あるいはシリコン型を便宜上、金型と呼ぶことがある。

【0066】

(モールド型を利用して回折格子作製)

図25はシリコン膜とモールド型を利用してガラス基板に回折素子を形成する手順を示す図である。

40

同図(a)において、ガラス基板表面にシリコン膜(Si膜)を形成する。形成方法としては、スパッタリング法を次のような条件で用いる。

1. 基板温度 : 70 ~ 100
2. 製膜時圧力 : 7 ~ 8 × 10⁻⁴ Torr
3. 成膜速度 : 0.5 ~ 1.0 / sec
4. RFパワー : 100 ~ 200 W

同図(b)において、Si膜上にUV硬化樹脂を塗布し、上からモールドで押圧する。モールド型としてはシリコン型、石英型ともに使用しうるが、微細構造を形成するナノインプリントにおいては、石英金型の方が光透過性なので適している。UV硬化樹脂はグラ

50

ンディック R C 8 7 9 0 (大日本インキ製)を用いる。

同図(c)において、モールド背面から UV (紫外線)を照射し、樹脂を固める。モールド型としてシリコン金型を用いる場合は、UVをガラス基板側から与える。

同図(d)において、モールド型を離型する。UV硬化樹脂に凸状の微細構造が形成されている。

同図(e)において、ドライエッチングで、Siが露出するまで樹脂を除去する。

ドライエッチングは以下の条件で行う。

1. ガス種 : 酸素ガス (O_2)
2. ガス流入量 : 20 sccm
3. 圧力 : 0.4 Pa
4. 樹脂エッチング速度 : 30 nm/sec
5. 上部バイアス電力 : 1 KW
6. 下部バイアス電力 : 60 W

10

同図(f)において、ガラスが露出するまで Si と樹脂をドライエッチングする。

ドライエッチングは以下の条件で行う。

1. ガス種 : SF₆、CHF₃
2. ガス流入量

SF₆ : 20 sccm

CHF₃ : 5 sccm

3. 圧力 : 0.3 Pa

20

4. 樹脂エッチング速度 : 5 nm/sec

Si エッチング速度 : 30 nm/sec

5. 上部バイアス電力 : 1 KW

6. 下部バイアス電力 : 50 W

同図(g)において、ガラス溝が所望の深さになるまでドライエッチングする。

ドライエッチングは以下の条件で行う。

1. ガス種 : CHF₃、Ar

2. ガス流入量

Ar : 5 sccm

CHF₃ : 20 sccm

3. 圧力 : 0.3 Pa

30

4. Si エッチング速度 : 4 nm/sec

ガラスエッチング速度 : 12 nm/sec

5. 上部バイアス電力 : 1 KW

6. 下部バイアス電力 : 400 W

同図(h)において、最上部に残った Si 膜を剥離処理により除去する。シリコンマスクはアルカリ (KOH) 液でウェット剥離する。

同図(i)の状態になって回折素子完成。ガラス基板自身の片面が回折素子になっている。

40

【0067】

(モールド型を利用して回折格子作製)

図26はガラス基板に Ti₂O₅ を成膜し、Ti₂O₅ に回折素子を形成する手順を示す図である。

同図(a)において、ガラス基板表面に Ti₂O₅ 膜 (5 酸化タンタル膜) を形成する。

形成方法としては、スパッタリング法を次のような条件で用いる。

1. 基板温度 : 70 ~ 100
2. 製膜時圧力 : 5 ~ 8 × 10⁻⁴ Torr
3. 成膜速度 : 0.7 ~ 1.0 / sec
4. RF パワー : 300 ~ 500 W

50

同図 (b) において、 Ti_2O_5 膜上に UV 硬化樹脂を塗布し、上からモールド型で押圧する。モールド型としてはシリコン型、石英型ともに使用しうるが、微細構造を形成するナノインプリントにおいては、石英金型の方が光透過性なので適している。UV 硬化樹脂はグラディック RC 8790 (大日本インキ製) を用いる。

同図 (c) において、モールド背面から UV (紫外線) を照射し、樹脂を固める。モールド型としてシリコン金型を用いる場合は、UV をガラス基板側から与える。

同図 (d) において、モールド型を離型する。UV 硬化樹脂に凸状の微細構造が形成されている。

同図 (e) において、 Ti_2O_5 が露出するまで樹脂をドライエッチングする。

ドライエッチングは以下の条件で行う。

1. ガス種 : 酸素ガス (O_2)
2. ガス流入量 : 20 sccm
3. 圧力 : 0.4 Pa
4. 樹脂エッチング速度 : 30 nm/sec
5. 上部バイアス電力 : 1 KW
6. 下部バイアス電力 : 60 W

同図 (f) において、 Ti_2O_5 溝が所望の深さになるまでドライエッチングする。

ドライエッチングは以下の条件で行う。

1. ガス種 : CHF_3 、Ar
2. ガス流入量
Ar : 5 sccm
 CHF_3 : 20 sccm
3. 圧力 : 0.3 Pa
4. Ti_2O_5 エッチング速度 : 8 nm/sec
5. 上部バイアス電力 : 1 KW
6. 下部バイアス電力 : 400 W

最後に、最上部に残った樹脂マスクを酸素ガス (プラズマ) 中でドライエッチングによる剥離処理により除去する。

同図 (g) の状態になって回折素子完成。ガラス基板上の 5 酸化タンタルが回折素子を形成している。

【0068】

(モールド型を利用せずに回折格子作製)

図 27 は金型を使用しない回折素子の製法を説明するための図である。

同図 (a) において、ガラス基板表面にシリコン膜 (Si 膜) を形成する。形成方法としては、スパッタリング法を次のような条件で用いる。

1. 基板温度 : 70 ~ 100
2. 製膜時圧力 : 7 ~ 8 × 10⁻⁴ Torr
3. 成膜速度 : 0.5 ~ 1.0 / sec
4. RF パワー : 100 ~ 200 W

同図 (b) において、Si 膜上に電子線用レジストを塗布する。

同図 (c) において、「高精度微細幅露光装置」によって、I 線ステッパを使用する。露光後、現像工程を経て部分的にレジストを除去し、Si を露出させる。残っているレジストは、以後のエッチング用マスクパターンとなる。

同図 (d) において、ガラスが露出するまで Si をドライエッチングする。

ドライエッチングは以下の条件で行う。

1. ガス種 : SF_6 、 CHF_3
2. ガス流入量
 SF_6 : 20 sccm
 CHF_3 : 5 sccm
3. 圧力 : 0.4 Pa

4. Si エッチング速度 : 30 nm / sec

5. 上部バイアス電力 : 1 KW

6. 下部バイアス電力 : 50 W

同図 (e) において、ガラス溝が所望の深さになるまでドライエッチングする。

ドライエッチングは以下の条件で行う。

1. ガス種 : CHF₃、Ar

2. ガス流入量

Ar : 5 sccm

CHF₃ : 20 sccm

3. 圧力 : 0.3 Pa

4. ガラスエッチング速度 : 12 nm / sec

5. 上部バイアス電力 : 1 KW

6. 下部バイアス電力 : 400 W

同図 (f) において、最上部に残った Si 膜を剥離処理により除去する。シリコンマスクはアルカリ (KOH) 液でウェット剥離する。

同図 (g) の状態になって回折素子完成。ガラス基板自身の片面が回折素子になっている。

【0069】

上記実施例では回折格子周期が一定の構造の場合について説明したが、これに限定されるものではなく、不等間隔の周期構造であってもよい。この場合、その最小間隔 (周期) が入射光の波長 λ 以上であればよい。不等間隔の周期構造とすることにより、レンズ機能をもった回折素子の実現できる。

上記実施例では回折構造のパターンが直線の場合について説明したが、これに限定されるものではなく、曲線状のパターンであってもよい。このような曲線状のパターンとすることによりレンズ機能や収差補正などの用途に適用可能となる。

上記実施例では、5 種類のサブ波長凹凸構造を有する回折素子について説明したが、5 種類に限定されるものでなく、3 種類以上であればよい。この種類の数に応じて特定の次数の回折光の最大回折効率 (すなわち特定の溝深さを設定することにより発生する回折光の強度) が決まる。領域の数を多いほど回折効率は大きくなる。

上記実施例では透過型の回折素子について説明したが、反射型の回折素子であってもよい。すなわち図 28 に示すように、ガラス基板の片側の面に回折構造を設け、回折構造の下地に反射層をつけてやることにより反射型回折素子 30 としてもよい。

サブ波長凹凸構造として回折素子の実施例 2 を適用すると、図 28 のように入射ランダム偏光のうち、P 偏光成分は回折面を不感帯透過しそのまま反射面を正反射し、S 偏光成分は回折して往路と同一方向に反射回折する構成を示している。目的に応じて各偏光成分の光量比、反射回折光の方向を任意に設定することが可能である。

【0070】

上記実施例では基板の一表面上にサブ波長凹凸構造を形成した例について説明したが、これに限られるものではなく、基板のもう一方の面に同一或いは異なるサブ波長凹凸構造を形成してやってもよい。

例えば、図 29 に示すように、基板両面に回折構造を形成し、一方の面は P 偏光のみに回折する構造とし、もう一方の面は S 偏光のみに回折する構造を形成し、各々異なる回折方向となるようにサブ波長凹凸構造の溝方向およびフィリングファクタを設定することにより、P 偏光 S 偏光ともに回折する回折素子 20 を作ることが可能である。分離角が大きくできる効果を有する。

上記実施例では、サブ波長凹凸構造が平板上に形成された場合について説明したが、これに限られるものではなく、レンズのような曲面上に形成してやってもよい。

【0071】

次に、上記各実施例で示した回折素子を用いた光学機器に関する実施例を示す。なお、本発明の回折素子の適用は、これらの図に示した構成に限定されるものではない。また、

10

20

30

40

50

上述の光学素子もその機能に応じて適宜採用され得る。

【0072】

(回折素子を用いた光学機器の実施例1：光ピックアップ)

図30は、光ディスク等の光学的記録媒体としての光記録媒体である記録媒体に情報を記録し、また記録媒体41に記録されている情報を読み取って、かかる情報の処理を行う光情報処理装置の一部を示している。この光情報処理装置50は、かかる記録や読み取りを行うための光ピックアップ40を備えている。

光ピックアップ40は、光源としての半導体レーザ42と、半導体レーザ42から出射された出射光であるレーザ光を記録媒体41に導く光ピックアップ光学系43と、光ピックアップ43によって記録媒体41に導かれ記録媒体41を経て再度光ピックアップ43を経たレーザ光を受光する受光素子44とを有している。

10

【0073】

光ピックアップ光学系43は、半導体レーザ42から出射されたレーザ光を直線偏光とする偏光分離素子として機能する光学素子10と、光学素子10を経たレーザ光をコリメートするコリメータレンズ45と、コリメータレンズ45でコリメートされたレーザ光を円偏光に変換する1/4波長板46と、1/4波長板46を経たレーザ光を記録媒体41上に集光する対物レンズ47とを有し、対物レンズ47によって記録媒体41上に集光することで記録媒体41に対する情報の記録・再生を行う。

記録媒体41で反射した光は対物レンズ47を再度透過し、続く1/4波長板46によって往路とは直交する円偏光に変換され、コリメータレンズ45を経てから再度光学素子10に入射し、往路とは異なる方向に偏光回折されて受光素子44に導かれる。なお光学素子10と受光素子44との間には集光レンズ等の受光光学系を設けてもよい。

20

受光素子44により記録媒体41からの情報信号や、対物レンズ47を支持する不図示のアクチュエータを動作させるためのサーボ信号が形成される。サーボ信号は、例えば非点収差法によるフォーカシング・エラー信号およびプッシュプル法によるトラッキング・エラー信号などが生成されることが一般に知られている。

【0074】

このように、光学素子10は、光ピックアップ光学系43において、半導体レーザ42から出射された光と、記録媒体41から反射された光を受光素子44に導くための光とについての光路分岐素子として機能し、半導体レーザ42への戻り光を防止する光アイソレータとして使用可能である。

30

光学素子10としては、実施例2の回折素子を適用すればよい。

このように光ピックアップ用の偏光分離素子として、光学素子10を用いた場合、三角プリズムをはり合わせたキューブ型の偏光分離素子に比べ光学系がコンパクト化される。とくに光ピックアップ光学系の場合、近年のノートPCなどへの適用を考えると小型化は光学素子に求められる重要事項である。光学素子10は特定次数の光のみを回折可能な偏光分離素子であるため、かかる光ピックアップに関して高効率な偏向光学系を実現可能としている。

【0075】

その他、光学素子10は、近年大容量光媒体として注目されてなるホログラフィを利用して光記録媒体に情報を記録する光ピックアップに用いられても良い。光学素子10は、このようなホログラフィ用光ピックアップにおいて、入射光を入射光の光軸と異なる2つの直交する直線偏光の光に光路を分離する偏光分離素子として用いられ得る。

40

【0076】

(回折素子を用いた光学機器の実施例2：光ピックアップ)

図31に示すように、光ピックアップ40は、光源としての半導体レーザ42a、42bと、半導体レーザ42a、42bから出射された出射光であるレーザ光を記録媒体41に導く光ピックアップ光学系43と、光ピックアップ43によって記録媒体41に導かれ記録媒体41を経て再度光ピックアップ43を経たレーザ光を受光する受光素子44a、44bとを有している。

50

ここで半導体レーザ 42a は波長 405 nm の光を出射する半導体レーザであり、半導体レーザ 42b は波長 650 nm の光を出射する半導体レーザである。また受光素子 44a は波長 405 nm のレーザ光を受光するために設置されたものであり、受光素子 44b は波長 650 nm のレーザ光を受光するために備えられている。

また記録媒体 41 は、本実施例では波長 405 nm のレーザ光で読み書きされる所謂 Blu-ray ディスクもしくは波長 650 nm のレーザ光で読み書きされる DVD ディスクのいずれかである。

【0077】

まず Blu-ray ディスクに読み書きする場合について説明する。光ピックアップ光学系 43 は、半導体レーザ 42a から出射されたレーザ光は光学素子 10a を不感帯透過し、光学素子 10a を経たレーザ光をコリメートするコリメータレンズ 45 と、コリメータレンズ 45 でコリメートされたレーザ光を円偏光に変換する 1/4 波長板 46 と、1/4 波長板 46 を経たレーザ光を記録媒体 41 上に集光する対物レンズ 47 とを有し、対物レンズ 47 によって記録媒体 41 上に集光することで記録媒体 41 に対する情報の記録・再生を行う。なおコリメータレンズ 45 と 1/4 波長板 46 の間には光路を切り替える偏光ビームスプリッタが配置されている。記録媒体 41 で反射した光は対物レンズ 47 を再度透過し、続く 1/4 波長板 46 によって往路とは直交する円偏光に変換され、偏光ビームスプリッタ 11 を反射せずに透過して光学素子 10b を不感帯透過して受光素子 44a に導かれる。

なお光学素子 10b と受光素子 44a との間には集光レンズ等の受光光学系を設けてもよい。受光素子 44a により記録媒体 41 からの情報信号や、対物レンズ 47 を支持する不図示のアクチュエータを動作させるためのサーボ信号が形成される。サーボ信号は、例えば非点収差法によるフォーカシング・エラー信号およびプッシュプル法によるトラッキング・エラー信号などが生成されることが一般に知られている。

【0078】

次に DVD ディスクに読み書きする場合について説明する。光ピックアップ光学系 43 は、半導体レーザ 42b から出射されたレーザ光は光学素子 10a を回折し、光学素子 10a を経たレーザ光をコリメートするコリメータレンズ 45 と、コリメータレンズ 45 でコリメートされたレーザ光を円偏光に変換する 1/4 波長板 46 と、1/4 波長板 46 を経たレーザ光を記録媒体 41 上に集光する対物レンズ 47 とを有し、対物レンズ 47 によって記録媒体 41 上に集光することで記録媒体 41 に対する情報の記録・再生を行う。

なおコリメータレンズ 45 と 1/4 波長板 46 の間には光路を切り替える偏光ビームスプリッタ 11 が配置されている。記録媒体 41 で反射した光は対物レンズ 47 を再度透過し、続く 1/4 波長板 46 によって往路とは直交する円偏光に変換され、偏光ビームスプリッタ 11 を反射せずに透過して光学素子 10b を回折して受光素子 44b に導かれる。なお光学素子 10b と受光素子 44a との間には集光レンズ等の受光光学系を設けてもよい。受光素子 44b により記録媒体 41 からの情報信号や、対物レンズ 47 を支持する不図示のアクチュエータを動作させるためのサーボ信号が形成される。サーボ信号は、例えば非点収差法によるフォーカシング・エラー信号およびプッシュプル法によるトラッキング・エラー信号などが生成されることが一般に知られている。

このように、光学素子 10a、10b は、光ピックアップ光学系 43 において、半導体レーザ 42a から出射された光と、半導体レーザ 42b から出射された光を合成したり、分岐したりするように機能する。

光学素子 10a、b としては、実施例 4 の回折素子を適用すればよい。

【0079】

このように光ピックアップ用の偏光分離素子として、光学素子 10a、b を用いた場合、三角プリズムをはり合わせたキューブ型のダイクロイックプリズムに比べ光学系がコンパクト化される。とくに光ピックアップ光学系の場合、近年のノート PC などへの適用を考えると小型化は光学素子に求められる重要事項である。光学素子 10a、b は特定次数の光のみを回折可能な波長選択性分離素子であるため、かかる光ピックアップに関して高

10

20

30

40

50

効率的な偏向光学系を実現可能としている。

【0080】

(回折素子を用いた光学機器の実施例3：光減衰器)

図32は、直線透過光の効率が変化する液晶素子及びこれを用いた電圧可変の光減衰器を示している。

液晶素子60は、一对の電極付き基板61と、これら基板61間に位置する液晶セルとしての液晶層62と、液晶層62を構成する液晶をかける基板61間に封入して液晶層62を形成するシール63とを有している。

光減衰器70は、液晶素子60と、基板61間に電圧を印加して液晶層62を形成する液晶の配向を制御する電圧印加部71と、液晶素子60の両側に設けられた光学素子10とを有している。

このような光減衰器70において、液晶素子60へ入射する、直交した偏光方向を有する2つの直線偏光は、第1の偏光性ビームスプリッタとして機能する偏光性回折構造である一方の光学素子10により偏光方向に応じて進行経路が互いに異なって液晶層62を透過し、液晶層62が特定のリタレーション値を有するとき第2の偏光性ビームスプリッタとして機能する偏光性回折構造である他方の光学素子10を透過する2つの直線偏光は液晶素子60の入射光と同じ進行方向に互いに揃って出射するようになっている。

【0081】

したがって、光減衰器70において、互いに揃って出射するように電圧印加部71により液晶素子60に電圧を印加した場合が直線透過光は最大となり、回折によって直進方向から光がずれると直線透過光は減衰される。液晶素子60は光学素子10を経た光を減衰させる減衰手段として機能する。

光学素子10としては、実施例2の回折素子を適用すればよい。

このように光学素子10を光減衰器70に適用する場合、液晶層62を挟持するガラス基板11の表面に偏光分岐を行う回折構造12を形成するだけで同機能が実現され、部品点数を最小限に抑えることが可能である。

【0082】

(回折素子を用いた光学機器の実施例4：偏光変換素子)

図33は、ランダム偏光を一偏光方向に揃える偏光変換素子を示している。

偏光変換素子80は、光学素子10と、光学素子10に対して入射光を入射させる開口部81を形成する遮光部材82と、光学素子10の出射側の、開口部81に対する対向位置において基板11上に形成された1/2波長板83と、光学素子10の出射側に1/2波長板83を挟むようにして基板11上に形成されたプリズム84とを有している。

偏光変換素子80において、開口部81から入射されるランダムな偏光方向を有する光束は、偏光分離を行う回折構造12に入射し、P偏光成分は0次回折光として回折せずに直進し、S偏光成分は1次回折光として回折分離される。回折構造12を直進したP偏光成分は、光学素子10を透過した後、1/2波長板83で偏光方向をS偏光に変換され射出する。よって1/2波長板83は光学素子10を経た光の偏光成分を変換する変換素子として機能している。

【0083】

一方、回折構造12に入射したS偏光成分は回折構造12で回折した後、プリズム84で偏向され、1/2波長板83を通過した光束と射出方向が揃えられS偏光のまま射出する。よってプリズム84は偏光変換素子80への光束の入射方向と射出方向をほぼ平行とする偏向部材たる光学部材として機能している。

このようにして、偏光変換素子80により、ランダムな偏光方向を有する光束は、射出時にはS偏光成分に揃った光束として射出することになる。

光学素子10としては、実施例2の回折素子を適用すればよい。

【0084】

(偏光変換素子の变形例)

偏光変換素子80は、1/2波長板83、プリズム84に代えて、これらと同機能の回

10

20

30

40

50

折構造 12 を備えた構成としてもよく、この場合、一枚のガラス基板 11 の各面に回折構造 12 を形成するだけで偏光変換素子 80 が実現される。

このように光学素子 10 を偏光変換素子に適用することにより、簡易な構成で高精度な偏光変換素子を実現される。

【0085】

(回折素子を用いた光学機器の実施例 5 : プロジェクタ)

図 34 は、被投影体としてのスクリーンに所定の画像を投影して画像を形成する画像形成装置としての投影装置たる光学機器であるプロジェクタの一部を示している。このプロジェクタ 90 は、P 偏光成分と S 偏光成分とを含む光束を出射する光源部 92 と、光源部 92 から出射された光束を用いて画像をスクリーン 91 に投影するためのプロジェクタ光学系 93 と、プロジェクタ光学系 93 によってスクリーン 91 に投影する画像を処理するパーソナルコンピュータ等によって構成される画像処理部 94 とを有している。

プロジェクタ光学系 93 は、光源部 92 とスクリーン 91 との間に位置する光学素子 10 と、光源部 92 からの光束のうち光学素子 10 と反対側に射出した光束を光学素子 10 側に反射させる反射鏡 95 と、光学素子 10 からの出射光を与えられた画像信号に基づいて変調する、液晶素子等から成る光変調手段としての液晶パネル 96 と、液晶パネル 96 を経た光をスクリーン 91 上に結像させる等の機能を有する投射光学系 97 とを有し、光学素子 10 により変調された光束をスクリーン 91 に投写し、スクリーン 91 上に、液晶パネル 96 によって調整された画像を形成する。光学素子 10 はプロジェクタ光学系 93 におけるキーパーツとなっている。

【0086】

プロジェクタ光学系 93 は、上述した種々の光学素子、光減衰器 70、偏光変換素子 80 等を適宜組み込むことが可能であり、プロジェクタ 90 は、上述した種々の光学素子、光ピックアップ 40、光情報処理装置 50、光減衰器 70、偏光変換素子 80 等を適宜組み込むことが可能である。

【0087】

図 35 は、被投影体としてのスクリーンに所定の画像を投影して画像を形成する画像形成装置としての投影装置たる光学機器であるプロジェクタの一部を示している。

このプロジェクタ 90 は、青色領域 (波長 405 nm ~ 波長 500 nm のいずれかを中心波長とする) の半導体レーザ 92a、緑色領域 (波長 500 nm ~ 波長 600 nm のいずれかを中心波長とする) の半導体レーザ 92b、赤色領域 (波長 600 nm ~ 波長 700 nm のいずれかを中心波長とする) の半導体レーザ 92c を具備し、その後段に光学素子 10c、コリメートレンズ 45、光走査素子 97 を具備している。

光学素子 10c は回折素子の実施例 2 で説明した回折素子の変形例である。また光走査素子 97 は電氣的に駆動する MEMS 素子である。

光学素子 10c に形成された回折構造のストライプ方向を P 方向とした場合、半導体レーザ 92a の P 偏光成分の光が光学素子 10c に入射するように配置され、半導体レーザ 92b の P 偏光成分の光が光学素子 10b に入射するように配置され、半導体レーザ 92c の S 偏光成分の光が光学素子 10c に入射するように配置されてなる。

【0088】

実施例 4 の回折素子を使うと、特定波長 λ_1 の P 偏光成分は不感帯透過、特定波長 λ_2 の P 偏光成分を +1 次回折、特定波長 λ_2 の S 偏光成分を -1 次回折する素子を実現できる。

ここで波長 λ_2 の代わりに波長 λ_3 ($> \lambda_2$) の波長の S 偏光成分の光を入射させた場合も -1 次回折させることができる。本実施例はこのような配置例を用いたものである。

半導体レーザ 92a、92b、92c の各レーザから出射された光束を用いて画像をスクリーン 91 に投影するためのプロジェクタ光学系 93 と、プロジェクタ光学系 93 によってスクリーン 91 に投影する画像を処理するパーソナルコンピュータ等によって構成される画像処理部 94 とを有している。そして各半導体レーザの出力および光走査素子 97 を出力したい画像信号に基づいて変調することで画像を形成する。

このようにプロジェクタ光学系の光路合成素子として、光学素子 10c 用いた場合、三角プリズムをはり合わせたキューブ型のダイクロイックプリズムに比べ光学系がコンパクト化される。とくにプロジェクタ光学系の場合、近年のモバイル型、すなわち携帯電話への搭載などへの適用を考えると小型化は光学素子に求められる重要事項である。光学素子 10c は特定次数の光のみを回折可能な波長選択性分離素子であるため、かかるプロジェクタ光学系に関して高効率な偏向光学系を実現可能としている。

【0089】

(回折素子を用いた光学機器の実施例 6：光アイソレータ)

図 36 は、本発明の光アイソレータの実施例を示す概略構成図である。なお便宜上、紙面垂直方向の偏光方向を P 偏光、紙面内での偏光方向を S 偏光と呼ぶこととする。

この光アイソレータは、透過回折型の偏光フィルタ 51、45 度ファラデー回転子 53、透過回折型の第 2 の偏光フィルタ 52 をこの順で平行に並べて接着剤等により互いに固定配備して成ると共に、全体が入射光の光軸に対して略垂直入射するように設置されている。

このうち、第 1 の偏光フィルタ 51 及び第 2 の偏光フィルタ 52 は、それぞれの透過偏光方向が互いに 45 度の角度を成すように設定されており、その構造は、入射光の波長以上の周期をもつ回折素子であり、その回折構造の一周期は、入射光の波長以下の周期をもつ 2 種類のサブ波長凹凸構造が隣り合わせに直交するようなパターンが重畳されてなり、2 種類のサブ波長凹凸構造の有効屈折率が、S 偏光方向の入射光に対しては、同一で不感帯透過となり、P 偏光方向の入射光に対しては位相差が π となり、回折するように 2 種類のサブ波長凹凸構造のフィリングファクタおよび溝深さが決定されている。

【0090】

半導体プロセスにより大面積一括生産することが可能であり、光学研磨を必要としない。45 度ファラデー回転子 53 は、GdBiFe ガーネット厚膜から成り、光の進行方向に沿った磁場 H が印加される。

それぞれの偏光フィルタとして、実施例 1 の回折素子を適用すればよい。

【0091】

(回折素子を用いた光学機器の実施例 7)

図 37 は、このような光アイソレータを使用した光学系装置（光学機器）の構成を例示した側面図である。この光学系装置は、レーザダイオード 54 からのレーザ光をレンズ 55 を通して略平行光とされ、光アイソレータ 56 に入射させ、光アイソレータ 56 を通過した透過光をその後、レンズ 57 により集光され光ファイバ端 58 に結合させるように各部がレーザ光の光軸に合わせられて配備されている。

(光アイソレータの光路)

図 36、37 において、入射光は、第 1 の偏光フィルタ 51 に入射した後、第 1 の偏光フィルタ 51 の第 1 面（回折構造が形成された面）において P 偏光成分は回折される、S 偏光成分についてはその殆どが 0 次透過（不感帯透過）する。この 0 次透過した S 偏光成分の光が 45 度ファラデー回転子 53 に垂直入射し、ファラデー回転子 53 によってその偏光方向を +45° 回転されて、出射側に配置された第 2 の偏光フィルタ 52 の方向へ減衰することなく出射される。

そして第一の偏光フィルタ同様に使用しない一方の偏光方向の光は回折され、後続の光ファイバ端 58 に入射させる偏光方向の光は回折されずに不感帯透過する。

【0092】

また逆方向の光については、出射側の偏光フィルタ 52 を 0 次透過した偏光成分が、ファラデー回転子の非可逆的作用によってその偏光方向を -45° 回転されて入射側の偏光フィルタ 51 の光源からの 0 次透過する入射時の偏光方向と直交するため回折される。

偏光フィルタ 51、52 で回折される回折光は 0 次透過光に対して十分な角度、すなわち順方向の光については光ファイバ端 58、逆方向の光についてはレーザダイオード 54 へ入射しないような角度に設定されてなる。

例えば ±1 次の回折光の角度が 10 度以上となるように回折構造のピッチが設定されて

なる。

【 0 0 9 3 】

(偏光フィルタについての他の実施例：両面化)

なお、一般に光アイソレータに用いられる反射型偏光子の仕様として消光比が使用される。使用する偏光方向である S 偏光の透過率、使用しない偏光方向である P 偏光方向の透過率の比で表される。

本発明においては S 偏光方向の 0 次光の回折効率と、 P 偏光方向の 0 次光の回折効率の比で表現される。

一般に偏光フィルタの消光比は高いことが望まれる。本発明の偏光フィルタとしては図 3 6 のような片面にのみ回折構造が形成されたものに限定されるものではなく、図 3 8 の

10

ような両面に回折構造が形成されたものであってもよい。
このような構造とすることにより、消光比は 2 乗倍大きくできる。特許文献 1 のような複屈折材料を用いた構造では消光比を上げるには偏光子を 2 枚にする必要があり、アイソレータとしての厚みが増してしまうが、本発明においては回折構造を形成するだけで消光比を上げることが可能である。

それぞれの偏光フィルタとして、実施例 1 の回折素子を適用すればよい。

【 0 0 9 4 】

以上のように回折を利用した表面構造のみでアイソレータを実現することが可能である。従来の光アイソレータに対して光学的な特性を損うこと無く低価格で製造上において量産可能な偏光フィルタを備えた光アイソレータを提供できる。

20

具体的には、従来の複屈折単結晶のプリズム、金属粒子を含むガラスなどを用いずに実現できる。またフォトリソグラフィ方式に比べ、高屈折率媒質及び低屈折率媒質から成る多層膜を形成する必要もなく、さらに安価に作製できる。

表面のみで偏光フィルタ機能が得られるため、複数の材料を用いる必要もない。

サブ波長凹凸構造が重畳された回折構造のみで偏光回折機能が発現するため、材料は任意に選択可能である。そのため、使用する波長に応じて高透過率な基板材料に回折構造を形成してやってもよいし、基板の表面に別の材料を塗布してその表面に回折構造を形成してやってもよい。ハイパワーのレーザなどに対しては耐光性のある材料表面に構造を形成すればよい。

製造方法は大面积で光学研磨を必要としないものであるため、光学的な特性を損うこと無く製造上において低価格で量産可能である。

30

不要な偏光方向の光は回折させる方式であるため、アイソレータを斜めに配置する必要がなく、略垂直入射するようなレイアウトで実現する。

【 0 0 9 5 】

(回折素子を用いた光学機器の実施例 8：光アイソレータの他実施例)

さらに本発明では回折構造のみで偏光フィルタ機能を実現できるため、図 3 9 のようなアイソレータ構造であってもよい。

すなわち、ファラデー回転子 5 3 の入射側の表面に偏光フィルタ 5 1 の機能を有する回折構造 5 3 a が形成されたものや、出射側の表面に偏光フィルタ 5 2 の機能を有する回折構造 5 3 b が形成されたものであってもよい。

40

回折構造はファラデー回転子 5 3 の表面に直接加工されたものでもよいし、ファラデー回転子 5 3 の表面に別材料を塗布した後にその表面に回折構造が形成されたものであってもよい。

それぞれの偏光フィルタとして、実施例 1 の回折素子を適用すればよい。

【 0 0 9 6 】

偏光子、ファラデー回転子、偏光子のような構成に比べ、一体化された構成であるため、ハンドリングがしやすく、また光学系としてコンパクト化できる。

サブ波長凹凸構造が重畳された回折構造のみで偏光回折機能が発現するため、材料は任意に選択可能である。そのため、ファラデー回転子に直接回折構造を形成 (加工) してやってもよいし、ファラデー回転子の表面に別材料を塗布してその表面に回折構造を形成 (

50

加工)してやってもよい。

【0097】

さらに図40のように、図36の構成と組み合わせた構成であってもよい。ファラデー回転子の両面に別材料を塗布してその表面にサブ波長凹凸構造を重畳した回折構造を形成するとともに、各々の回折構造に対向するようにサブ波長凹凸構造が形成された偏光フィルタを配置してもよい。対向する構造の隙間にはギャップを保持する保持材を設ければよい。

なお、外側の偏光フィルタの回折構造に対向させずに配置してもよいが、対向させるとアイソレータとしては回折構造が外に露出しない構成となるため、緩衝による破損や、ゴミなどの影響を受けないという効果がある。さらに外側の表面を研磨することにより任意の薄型化や任意の光路長調整が可能である。

10

それぞれの偏光フィルタとして、実施例1の回折素子を適用すればよい。

【0098】

なお、図36、図39に示した光アイソレータのファラデー回転子の代わりに波長板のような偏光回折素子を用いてもよい。磁場印加などが不要なため構造をシンプルにできる。

なお波長板としては、水晶などの複屈折材料を用いてもよいし、本実施例の偏光フィルタで用いているサブ波長凹凸構造によっても実現することが可能である。

また、偏光フィルタとしてはファラデー回転子の手前側だけに設けたものであってもよい。消光比は落ちるが薄型化、低コスト化といった目的には有効である。

20

【符号の説明】

【0099】

- 1、10、20、30 光学素子
- 40 光ピックアップ
- 56 光アイソレータ
- 70 光減衰器
- 80 偏光変換素子
- 90 プロジェクタ光学系

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0100】

【特許文献1】特開平2-096103号公報

【特許文献2】特開2005-339718号公報

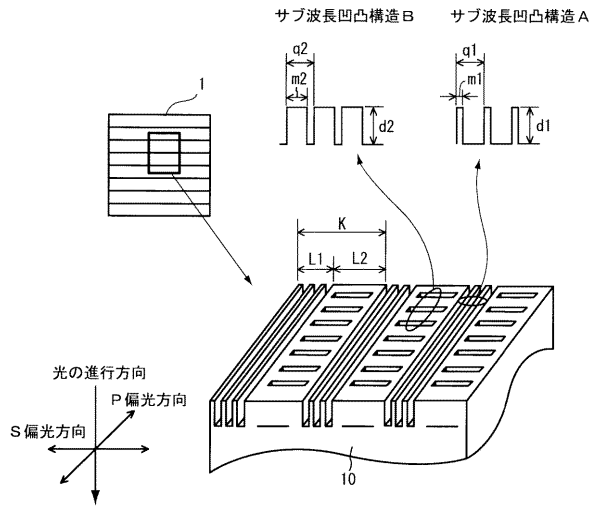
【非特許文献】

【0101】

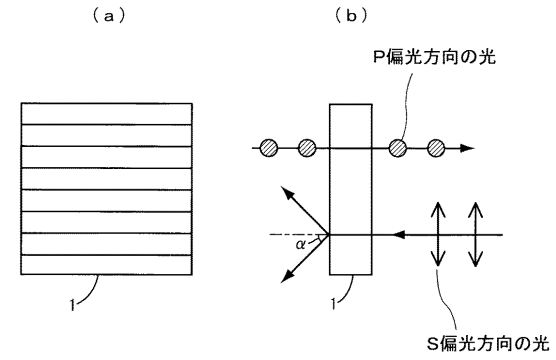
【非特許文献1】「光学」27巻1号(1998)p.p12-17

【非特許文献2】「O plus E」No.136(1991年3月)p.p86-90

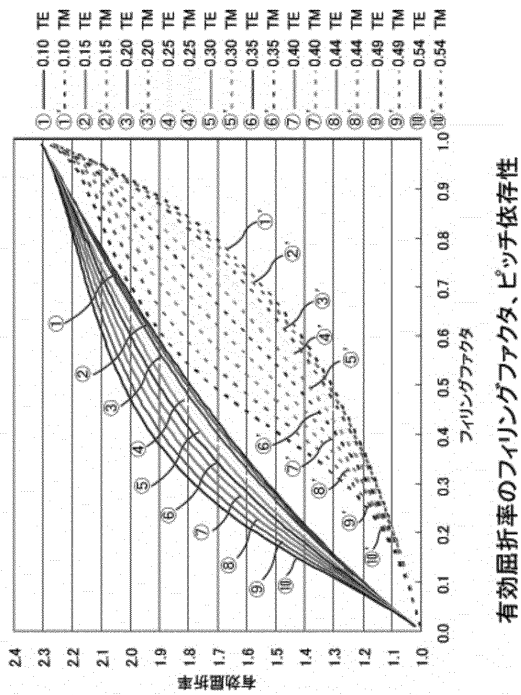
【図 1】



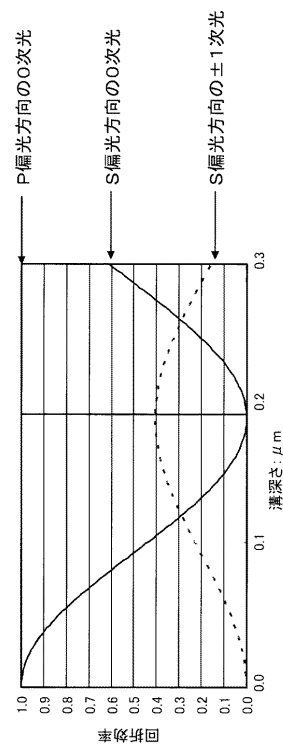
【図 2】



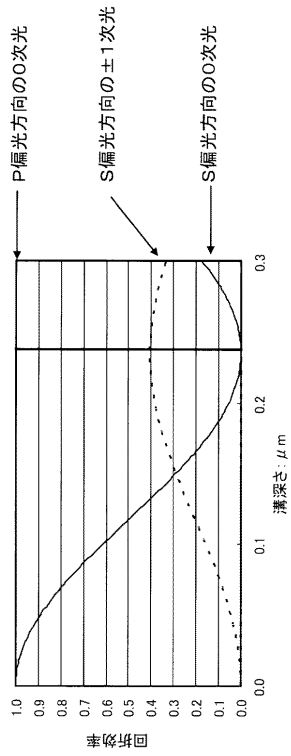
【図 3】



【図 4】

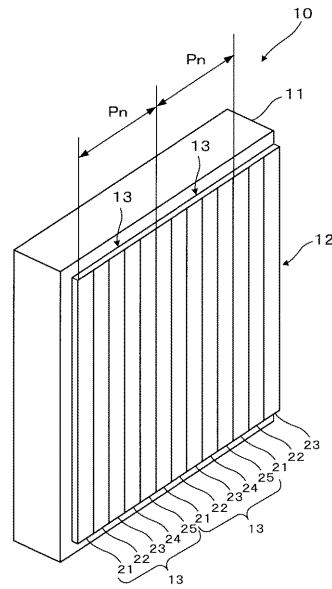


【図 5】

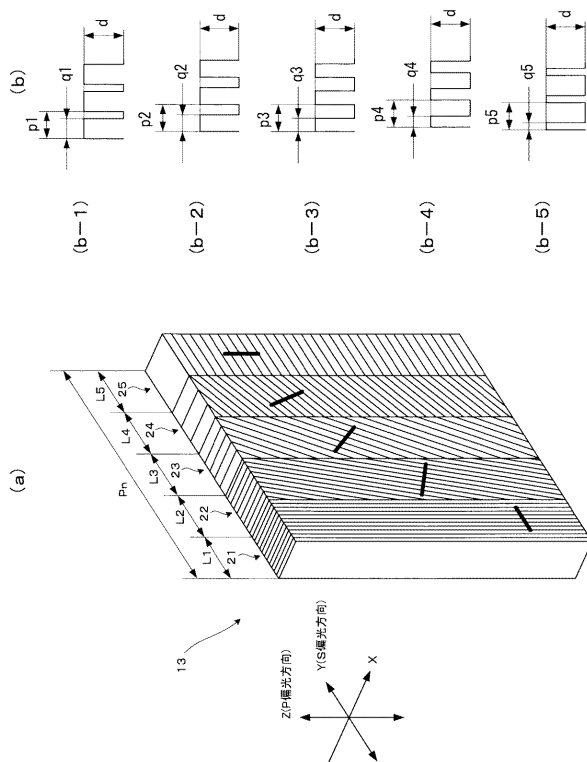


比較例：サブ波長凹凸構造が同一ピッチの場合の回折効率

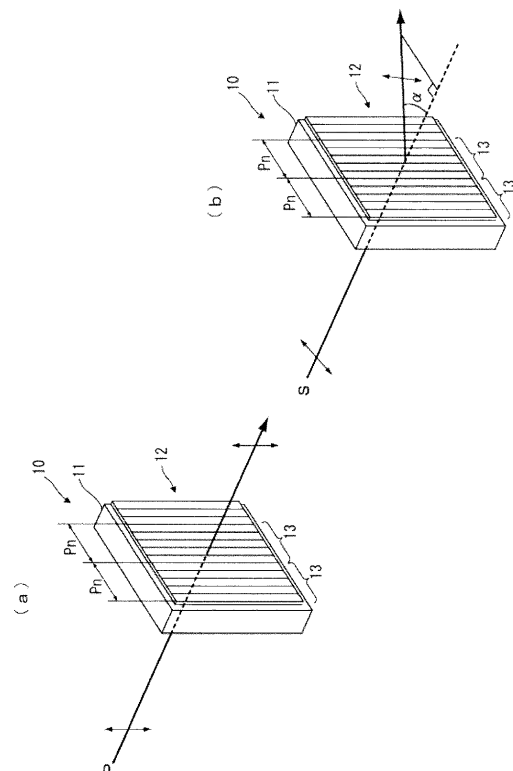
【図 6】



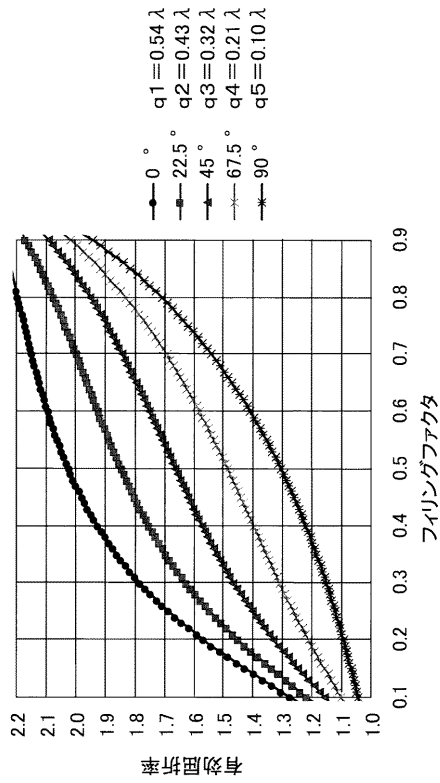
【図 7】



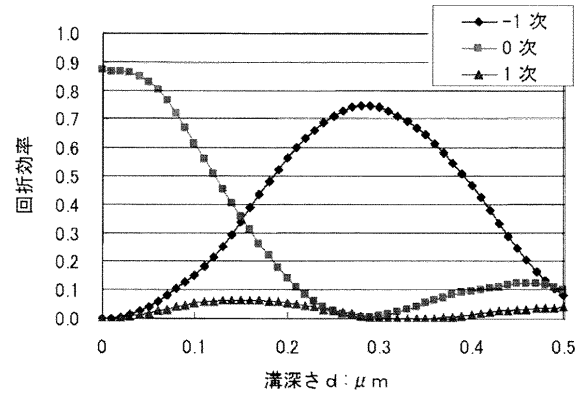
【図 8】



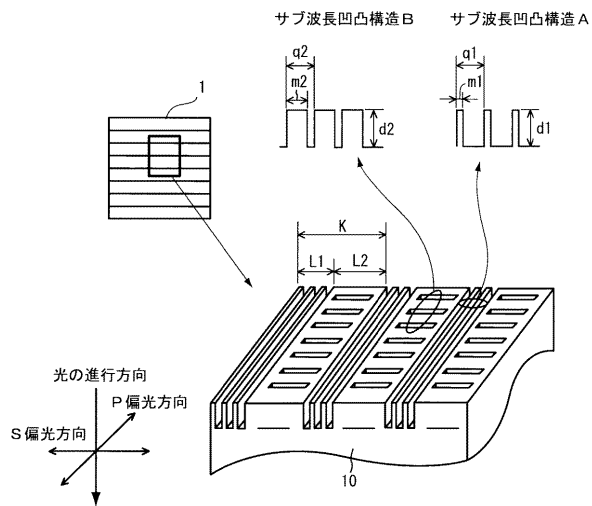
【図 9】



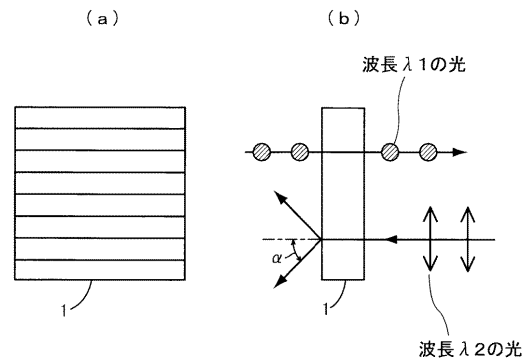
【図 10】



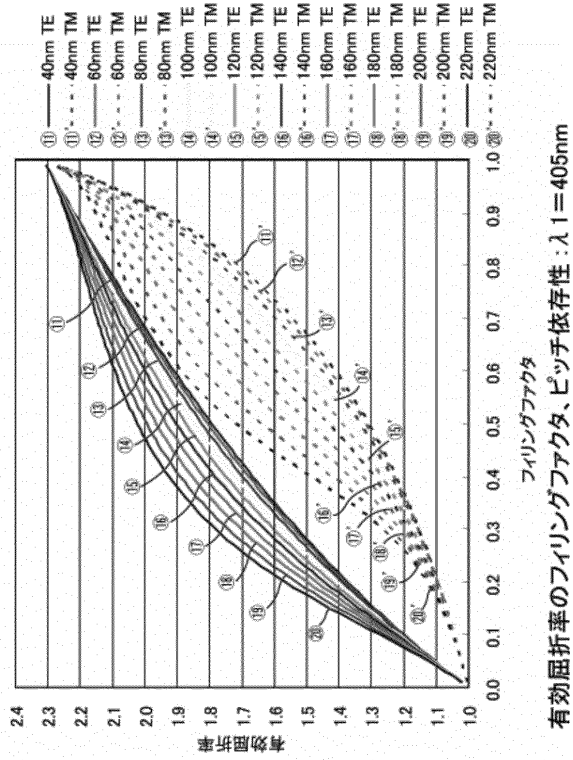
【図 11】



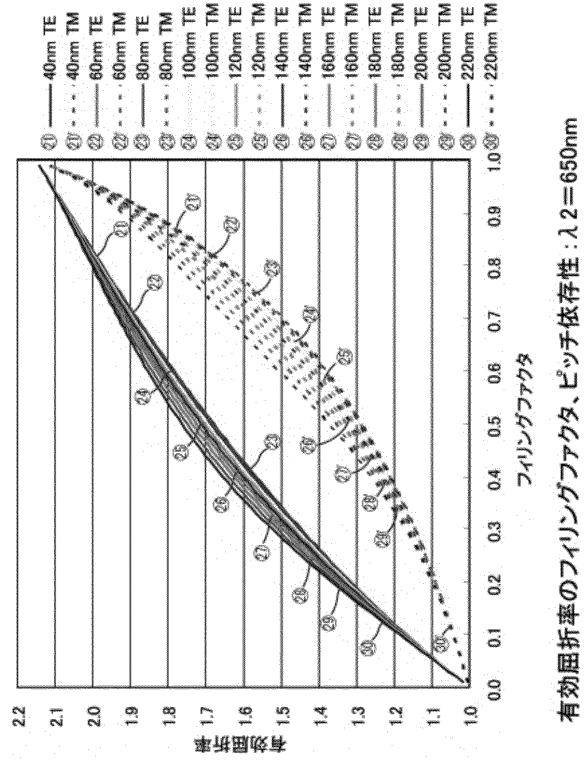
【図 12】



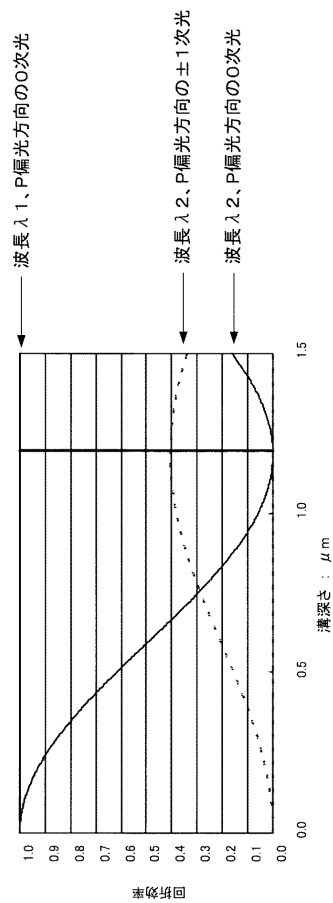
【 図 1 3 】



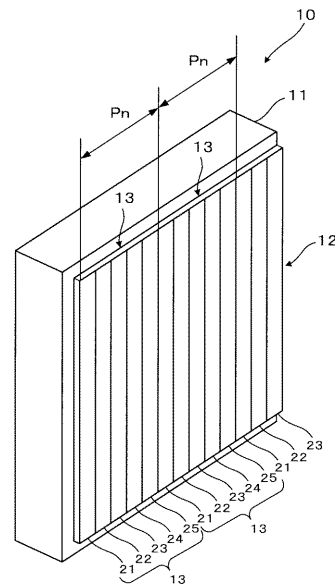
【 図 1 4 】



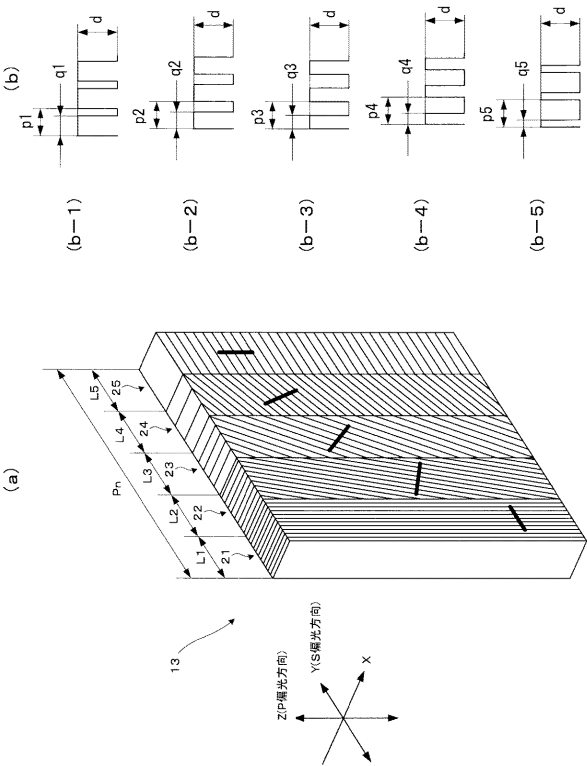
【 図 1 5 】



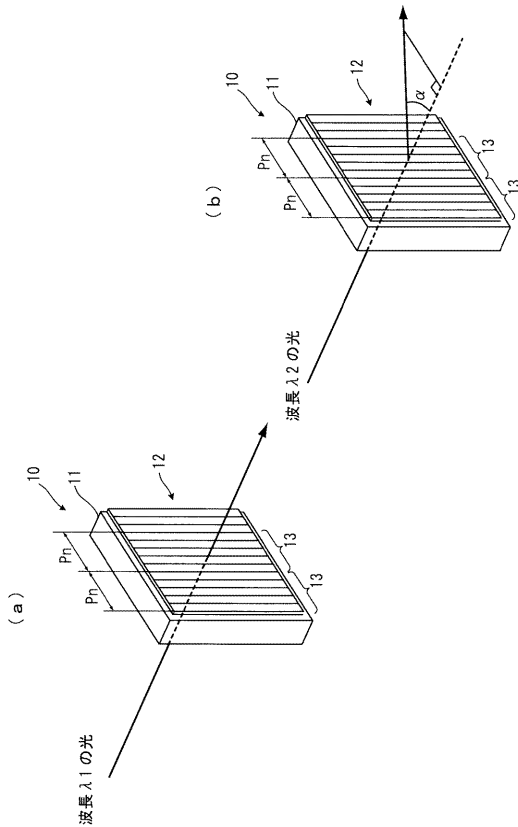
【 図 1 6 】



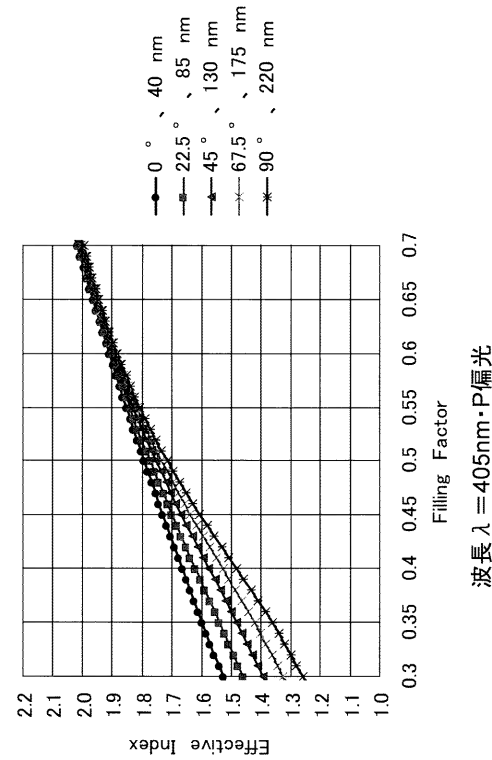
【図 17】



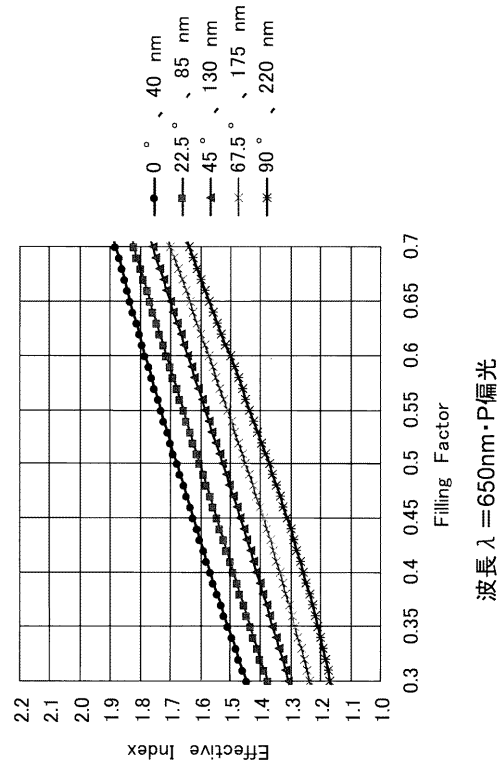
【図 18】



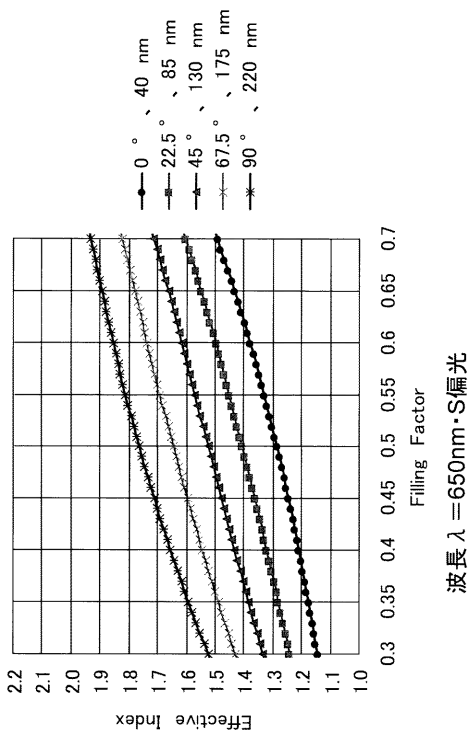
【図 19】



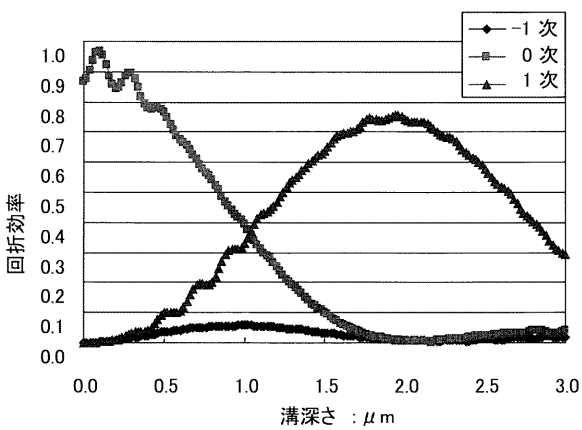
【図 20】



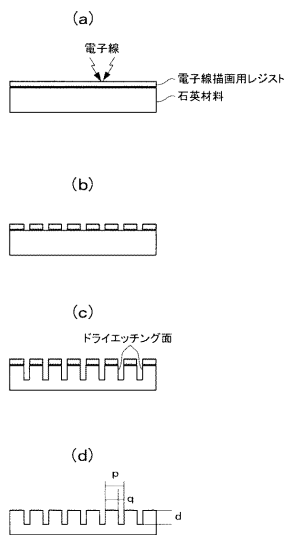
【 図 2 1 】



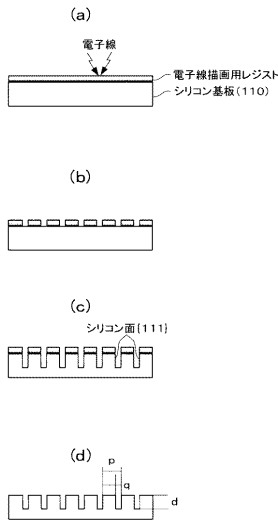
【 図 2 2 】



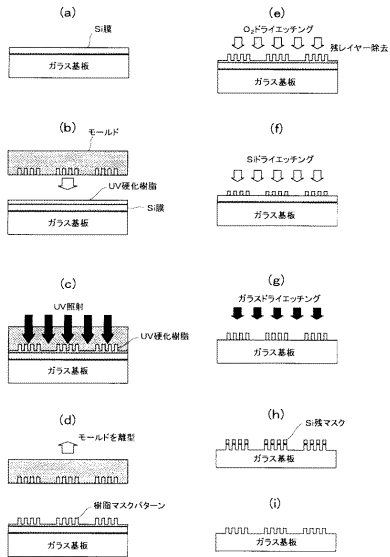
【 図 2 3 】



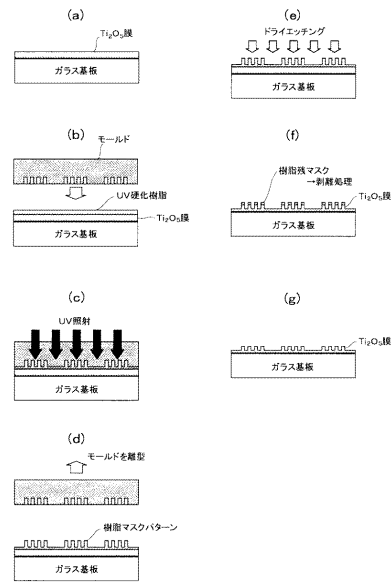
【 図 2 4 】



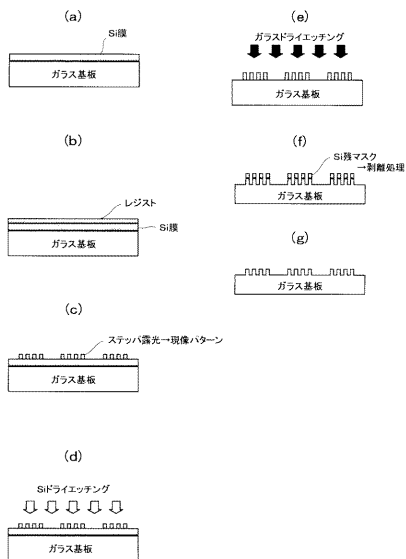
【図 25】



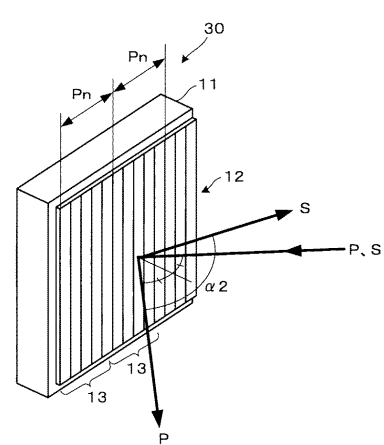
【図 26】



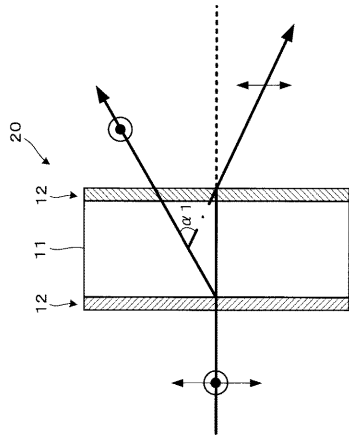
【図 27】



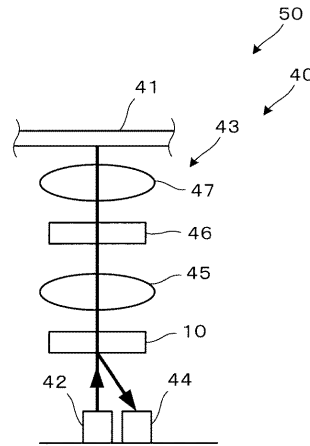
【図 28】



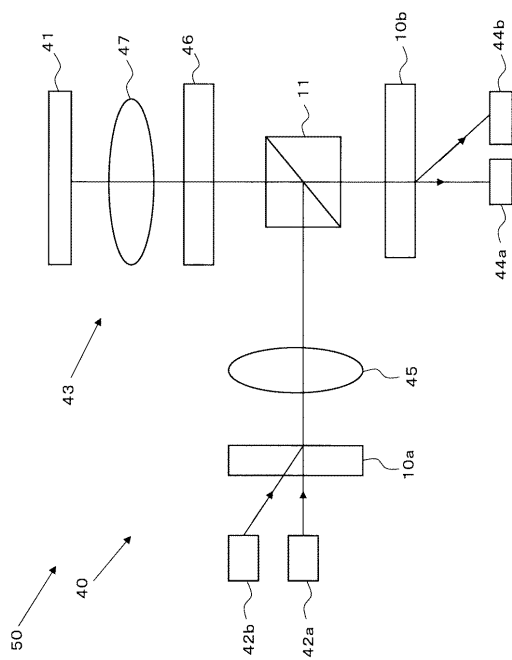
【図 29】



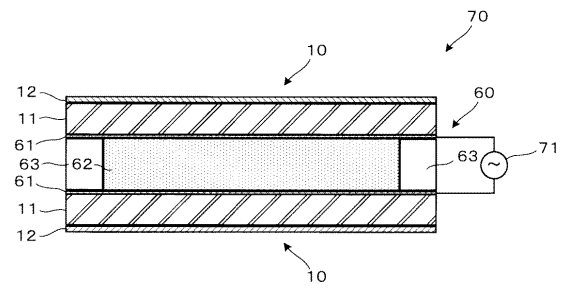
【図 30】



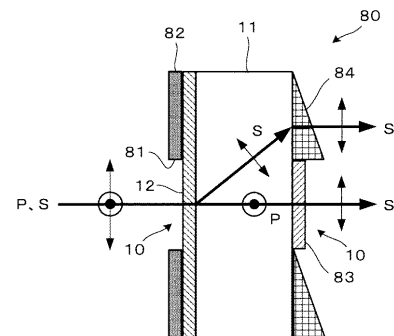
【図 31】



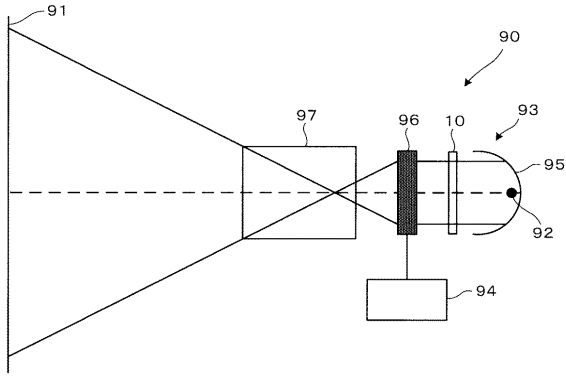
【図 32】



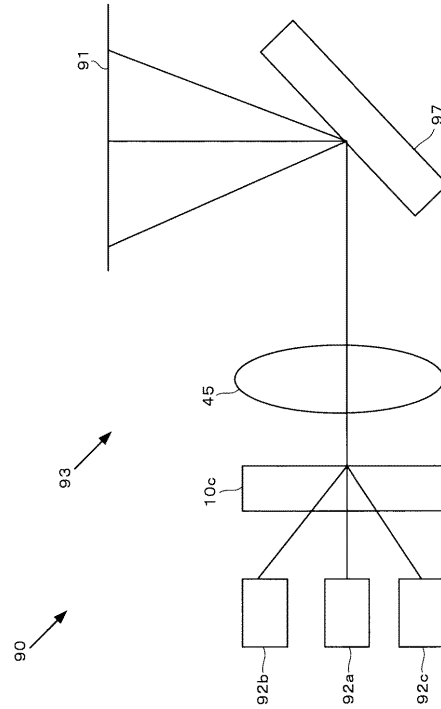
【図 33】



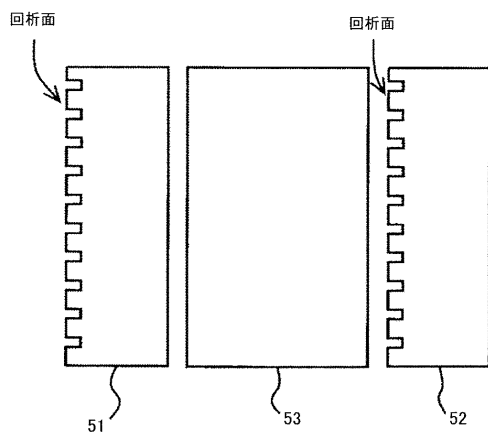
【図 3 4】



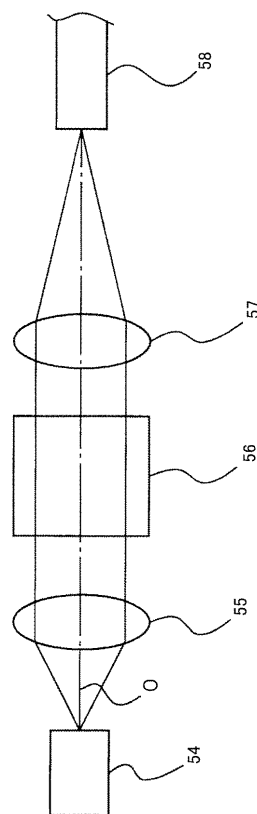
【図 3 5】



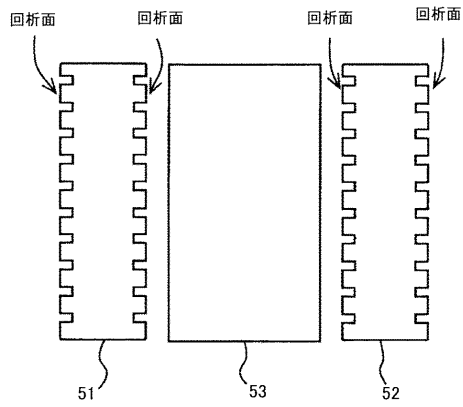
【図 3 6】



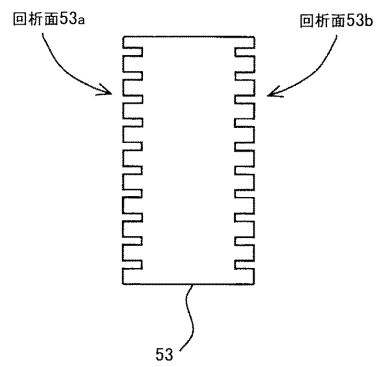
【図 3 7】



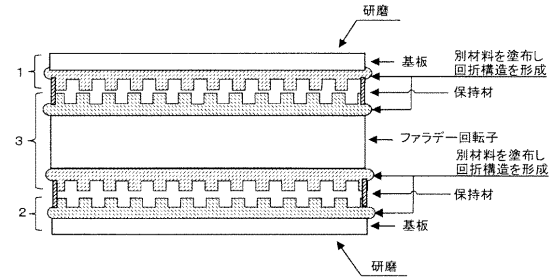
【図 38】



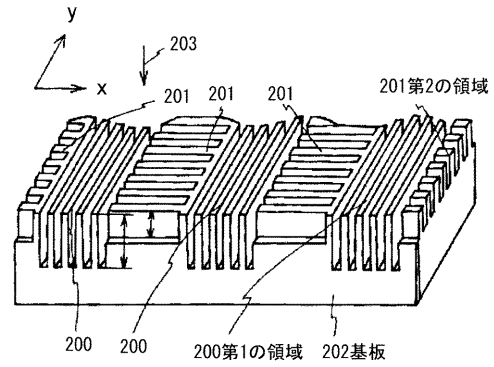
【図 39】



【図 40】



【図 41】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5D789 AA38 BA01 EA02 EA03 EC07 EC32 JA02 JA12 JA24 JA32
JA70