

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4369256号
(P4369256)

(45) 発行日 平成21年11月18日(2009.11.18)

(24) 登録日 平成21年9月4日(2009.9.4)

(51) Int. Cl. F I
G O 2 B 5/18 (2006.01) G O 2 B 5/18
G O 2 B 5/30 (2006.01) G O 2 B 5/30

請求項の数 11 (全 13 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2004-14715 (P2004-14715) (22) 出願日 平成16年1月22日(2004.1.22) (65) 公開番号 特開2005-208331 (P2005-208331A) (43) 公開日 平成17年8月4日(2005.8.4) 審査請求日 平成18年8月30日(2006.8.30)</p> <p>(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願(平成15年度~平成17年度独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「デバイス用高機能化ナノガラス」プロジェクト委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受けるもの)</p>	<p>(73) 特許権者 000004008 日本板硝子株式会社 東京都港区三田三丁目5番27号 (72) 発明者 仲間 健一 大阪府大阪市中央区北浜四丁目7番28号 日本板硝子株式会社内 (72) 発明者 引地 奈緒子 大阪府大阪市中央区北浜四丁目7番28号 日本板硝子株式会社内 審査官 杉山 輝和</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分光光学素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

所定の入射角で入射する入射光に対して、その波長に依存して所定の方向に出射光を出射する分光光学素子において、透過型回折光学素子と、その回折光出射面に直接積層されている光学位相制御素子とを備え、前記透過型回折光学素子による回折光の回折角が波長によって変化するのに伴って、広い波長域で偏光依存損失が低くかつ回折光のエネルギーの波長依存性が小さくなるように、前記光学位相制御素子中における光強度減衰量、位相変化量又は反射量のうち、少なくともいずれか1つが変化することを特徴とする分光光学素子。

【請求項2】

少なくとも2つの異なる波長成分を含む前記入射光に対して、前記透過型回折光学素子における所定波長に対する回折効率と、該透過型回折光学素子によって回折された同波長の入射光に対する光学位相制御素子による光強度の減衰量との積が、少なくとも2つの異なる波長において一定であることを特徴とする請求項1に記載の分光光学素子。

【請求項3】

少なくとも2つの異なる波長成分を含む前記入射光に対して、前記透過型回折光学素子における所定波長に対する回折効率と、該透過型回折光学素子によって回折された同波長の入射光に対する前記光学位相制御素子による反射量との積が、少なくとも2つの異なる波長において一定であることを特徴とする請求項1に記載の分光光学素子。

【請求項4】

前記光学位相制御素子は、前記透過型回折光学素子によって回折された少なくとも任意の直交する2つの偏光の位相変化量に対して、値が等しく符号が反対の位相変化量を与えることを特徴とする請求項1に記載の分光光学素子。

【請求項5】

前記透過型回折光学素子による第1の波長の n 次回折光(n は絶対値が1以上の整数)と、第1の波長よりも短い第2の波長の m 次回折光(m は絶対値が2以上の整数)との回折角が等しく、前記光学位相制御素子に対して入射する光が同一方向から入射する場合において、第1の波長の光は通過させ、第2の波長の光を反射させることを特徴とする請求項1に記載の分光光学素子。

【請求項6】

前記光学位相制御素子は、第1の波長に対しては、その波長の $1/2$ 以下の周期を有する周期構造を備え、かつ第1の波長よりも短い第2の波長に対しては、その波長の $1/2$ 以上の周期を有する周期構造を備えることを特徴とする請求項1に記載の分光光学素子。

【請求項7】

前記透過型回折光学素子は、屈折率の異なる2以上の材料を組合せて構成し、各材料が占める体積の割合によって該透過型回折光学素子の見かけの屈折率を所望の値に一致させたことを特徴とする請求項1に記載の分光光学素子。

【請求項8】

前記光学位相制御素子は、光学多層膜であることを特徴とする請求項1～7のいずれか一項に記載の分光光学素子。

【請求項9】

前記光学位相制御素子は、使用波長域において透明な材料からなるラミナー型周期構造体であることを特徴とする請求項1～7のいずれか一項に記載の分光光学素子。

【請求項10】

前記透過型回折光学素子は使用波長域において透明な材料からなる周期的凹凸構造を有する素子であることを特徴とする請求項1～9のいずれか一項に記載の分光光学素子。

【請求項11】

前記光学位相制御素子から出射する光を集光するレンズを備えたことを特徴とする請求項1～10のいずれか一項に記載の分光光学素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は分光分析機器や複数の波長を使用する光学機器において使用される分光光学素子に関し、とくに透過型回折光学素子を用いた分光光学素子に関する。

【背景技術】

【0002】

回折格子に代表される回折光学素子は、分光分析機器において光スペクトルの解析のために広く利用されている。分光分析においては広帯域に渡ってエネルギー利用効率の高いことが要求される。広帯域で高い回折効率を得るには、反射型回折格子が適している。また、反射型回折格子は、波長に対する回折角度の変化割合、すなわち波長角度分散特性が良好であるため、分光分析機器に広く用いられている。

【0003】

しかし、回折格子の格子間隔が波長程度の反射型回折格子は、波長分散が大きく、TMモードに対しては広帯域かつ高効率だが、TEモードに対しては、効率が低くかつ波長損失特性が安定しない問題があった。このような回折格子は、共鳴領域で動作するため複雑な波長損失特性を示し、広帯域に渡って安定した動作を実現できない。

【0004】

これに対して、格子間隔が波長の10倍以上ある回折格子は、高次の回折光を使用し、いわゆるリトロ配置もしくはそれに近い配置を使用することにより、高波長分散で高効率を実現でき、かつ偏光依存損失(PDL)を低く抑えられる(例えば、非特許文献1参

10

20

30

40

50

照)。しかし使用可能な帯域は、フリースペクトルレンジによって制約され、一般的には100nm以下であった。このような回折格子では、多くの次数の回折光も生じるため、波長と入射角度と格子定数の関係から、不要な次数の回折光が所定の出射角度に入ってくる。このため使用可能な帯域が制限される。

【0005】

一方、目的によっては透過型回折格子も広く用いられている。透過型回折格子は特定波長域において、PDLが低く、かつ高い回折効率を実現するのに適している。

【非特許文献1】久保田広著、「波動光学」、岩波書店、1971年、第10章

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0006】

しかしながら、透過型回折格子は特定の波長域においては、低PDLと高回折効率とを両立できるが、両立できる帯域は広くなかった。また波長の光と λ/m (m は2以上の自然数)の光は同じ回折角度になる回折次数 m の回折光が生じ、これによって帯域が制限されていた。

【0007】

本発明はこのような問題点を解決するためになされたもので、広い波長域で高い回折効率を有し、かつPDLが低くて回折光のエネルギーの波長依存性が小さい分光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】

20

【0008】

本発明においては、所定の入射角で入射する入射光に対して、その波長に依存して所定の方向に出射光を出射する分光光学素子を対象とし、上記の問題点を解決するために次の手段を用いた。

【0009】

本発明の分光光学素子は、透過型回折光学素子と、その回折光出射面に直接積層されている光学位相制御素子とを備える。そしてこの透過型回折光学素子による回折光の回折角が波長によって変化するのに伴って、広い波長域で偏光依存損失が低くかつ回折光のエネルギーの波長依存性が小さくなるように、前記光学位相制御素子中における光強度減衰量、位相変化量又は反射量のうち、少なくともいずれか1つが変化するように構成する。

30

【0010】

透過型回折光学素子で回折される光は波長ごとに異なる回折角を有する。したがって回折光出射面に直接積層されている光学位相制御素子への入射角が波長によって変化する。このような構成では、光学位相制御素子中を通過する光はその入射角に応じて光学長が変化するため、光強度減衰量や位相変化量などの物理量が変化を受ける。また光学位相制御素子による反射量も変化を受ける。このため、本発明の分光光学素子には、波長ごとに所定の波長特性を付与することができる。

【0011】

上記透過型回折光学素子と光学位相制御素子とは直接積層されている。2つの光学素子を直接積層し一体化されているので、透過型回折光学素子と光学位相制御素子の位置関係が固定され、調整が不要である。

40

【0012】

上記のような構成の分光光学素子において、少なくとも2つの異なる波長成分を含む入射光に対して、透過型回折光学素子における所定波長に対する回折効率と、透過型回折光学素子によって回折された同波長の入射光に対する光学位相制御素子による光強度の減衰量との積が、少なくとも2つの異なる波長において一定であるように構成する。

これにより、広い波長域にわたって回折光強度の波長依存性を補償することができ、均一な出射エネルギーを取り出すことができる。

【0013】

また、上記のような構成の分光光学素子において、少なくとも2つの異なる波長成分を

50

含む入射光に対して、透過型回折光学素子における所定波長に対する回折効率と、透過型回折光学素子によって回折された同波長の入射光に対する光学位相制御素子による反射量との積が、少なくとも2つの異なる波長において一定であるように構成する。

この手段によっても、回折光強度の波長依存性を補償することができる。これにより、広い波長域にわたって均一な出射エネルギーを取り出すとともに、偏光依存性の小さな分光光学素子を提供できる。

【0014】

また、本発明の光学位相制御素子を、透過型回折光学素子によって回折された少なくとも任意の直交する2つの偏光の位相変化量に対して、値が等しく符号が反対の位相変化量を与えるように構成する。

例えば、各波長に対して透過型回折光学素子による偏波モード分散を補償するような位相制御量をもつように光学位相制御素子を構成すれば、広い波長域に渡って偏波モード分散の小さい出射光を取り出すことができる。

【0015】

また、透過型回折光学素子による第1の波長の n 次回折光(n は絶対値が1以上の整数)と第2の波長の m 次回折光(m は絶対値が2以上の整数)との回折角が等しく、光学位相制御素子に対する入射光が同一方向から入射する場合において、光学位相制御素子を第1の波長の光は通過させ、第2の波長の光を反射させるように構成する。

第1の波長が第2の波長の $m/n (> 0)$ 倍であるとき、第1の波長の n 次回折光と第2の波長の m 次回折光とは回折角が一致するが、本発明の構成によれば、波長による弁別が可能となり、分光光学素子としての使用可能波長域を大幅に広くとることができる。

【0016】

また、光学位相制御素子が、第1の波長に対しては、波長の $1/2$ 以下であり、かつ第1の波長より短い第2の波長に対しては、波長の $1/2$ 以上である周期をもった周期構造を有するように構成する。

このような構成により、長波長域の回折光は回折されずに直進して出射し、短波長域の回折光は、光学位相制御素子で回折して別の方向に出射できる。これによって、1つの分光光学素子を2つの波長域用として同時使用することができる。

【0017】

以上の透過型回折光学素子は屈折率の異なる2以上の材料を組合せて構成するのが望ましい。とくに各材料が占める体積の割合によって透過型回折光学素子の見かけの屈折率を所望の値に一致させることが望ましい。

このように構成することにより、透過型回折光学素子の屈折率を単一材料では得ることの難しい最適値に制御することができ、広帯域で回折効率の大きな、設計に即した回折光学素子を実現できる。

【0018】

光学位相制御素子は、光学多層膜または使用波長域において透明な材料からなるラミナー型周期構造体で構成することが望ましい。光学多層膜またはラミナー型周期構造体は透過型回折格子と直接積層できる。

【0019】

透過型回折光学素子は使用波長域において透明な材料からなる周期的凹凸構造を有する回折格子とすることが望ましい。

【0020】

また光学位相制御素子から出射する光を集光するレンズを備えることが望ましい。

マイクロレンズ上に透過型回折格子と光学位相制御素子とを実装することにより、光学系を小型に集積化できるので、信頼性を高めることができる。

【発明の効果】

【0021】

本発明の構成により、広い波長域で高い回折効率を有し、かつPDLが低くて回折光のエネルギーがTE、TMモードに対してのバランスよく配分される分光光学素子を提供す

10

20

30

40

50

ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

本発明の分光光学素子の実施形態について、その基本構成を製造工程に沿って説明する。

まず、平板状ガラス基板の一方の表面に光学位相制御素子を形成する。光学位相制御素子としては、光学多層膜を用いた。光学多層膜は、単位となる光学膜の材質によって決まる屈折率と、その膜厚の組み合わせを設計することにより、所望の波長特性、位相制御特性を得ることができる。所定の設計に基づいて膜構成を定め、光学モニタを有する蒸着装置で設計された膜構成を得るための成膜を行った。

【0023】

ついでこの光学位相制御素子に積層して、透過型回折光学素子を作製する。

透過型回折光学素子は、ブレード型とラミナー型とを作製した。

【0024】

ブレード型の場合、上記多層膜の表面に積層して透明材料からなる周期的凹凸構造を形成する。本実施形態ではゾルゲル材料の成形により周期的凹凸構造を形成した。具体的な方法を以下に説明する。

【0025】

テトラエトキシシランと酸水溶液を主成分とするゾル液にポリエチレングリコールを加えた成形剤溶液をガラス基板に塗布し、このガラス基板を成形型と対向するように真空プレス装置に取り付ける。成形型表面には予め離型材を成膜しておく。プレス装置内を真空にし、基板上のゲル膜が柔らかい状態で、成形型を押し当てる。その状態で60に保持し、ゲル膜を硬化させる。プレス機内を大気に戻した後、成形型をゲル膜から離型した。ゲル膜表面には成形型の溝が転写された周期的凹凸構造が形成されている。これを350で熱処理し、透過型回折格子を得た。

【0026】

また、ラミナー型の場合、所定の設計に基づいて透明膜を形成した後、その表面にエッチング時のマスクになるCr膜をスパッタで成膜する。フォトリソグラフィとエッチングによってこのCr膜をパターンニングし、エッチングマスクを作製する。このマスクを介してICP-RIE装置を用いて、ドライエッチングを行って透明膜に平行な溝を形成し、所定の構造を作製した。エッチングガスには、アルミナの場合 C_3F_8 ガスを、石英と酸化タンタルの多層膜の場合 CF_4 ガスをそれぞれ用いた。

ラミナー型の周期構造体は複数積層することができる。最初の周期構造体を作製した後、その表面に再度透明膜を形成する。この透明膜を同様に加工することにより、ラミナー型周期構造体を積層した構造を作成することができる。

【0027】

本発明の分光光学素子10の典型的な形態は図1に示す通り、透過型回折光学素子20と光学位相制御素子30がガラス基板50の一方の面に積層された構造を有する。ここで基板50の表面に垂直な方向にZ軸をとり、基板50に平行に互いに直交するX、Y軸をとって回折光学素子20の周期方向をY軸方向とした。

【0028】

図2はこの分光光学素子のYZ面に平行な断面を示している。分光光学素子10に透過型回折光学素子20の存在する側の面から入射光40を入射すると、その周期構造によって入射光は波長ごとに所定の回折角度に回折されて回折光42として光学位相制御素子30に入射する。

【0029】

光学位相制御素子は、波長ごとに入射角が変化すれば、素子中を通過する光学長が変化するため、光強度減衰量と位相制御量は波長によって異なる。また入射角が変化すれば反射量も変化する。例えば入射光40に波長成分 λ_a と λ_b が含まれるとき、図3に示すように λ_a と λ_b でその回折角が異なるため、光学位相制御素子30の反射率 $R(\lambda_a)$ と

10

20

30

40

50

$R(\lambda_b)$ は一般に異なる。また光学位相制御素子 30 中の光路長 L は波長 λ_a の光の場合の $L = L_a$ と波長 λ_b の場合の $L = L_b$ とは一般に異なる。

【0030】

一方、光学位相制御素子の平均屈折率 n は波長に依存するので一般に $n(\lambda_a)$ と $n(\lambda_b)$ は異なる。ただしその差異の程度は光学位相制御素子を構成する材料および素子の構造によって異なる。すなわち光学位相制御素子を通る光が受ける減衰量と位相制御量は光学長 nL に依存する。この場合、 n 、 L とともに波長に依存して変化するため、入射光が光学位相制御素子中で受ける減衰量と位相制御量は一般に波長ごとに異なる。

【0031】

[実施例1]

以下、本発明の第1の実施例を説明する。

波長多重光通信では、複数の波長の信号光が用いられ、例えば100nm以上の広い波長域を含む場合もある。透過型回折格子は広い波長域で使用すると、通常波長に応じて、回折効率が変化する。すなわち、このような透過型回折光学素子を複数の波長を含む光が透過すると、その回折光のエネルギーは波長によって変化する。したがって回折光全体の強度が波長によって変動を受けることになる。

【0032】

本実施例の光学位相制御素子は、図3に示すように基板50上に積層された光学多層膜32である。この光学多層膜32は波長による回折格子22の回折効率の変動を補償するように設計する。この場合、回折角が波長によって異なるため、図3に示すように回折光の光学多層膜32中における光学長も波長によって異なる。

【0033】

そこで、例えば2つの波長における回折効率と光学多層膜による光強度の減衰量の積が一定になるように光学多層膜32を設計することにより、回折光強度の波長依存性を補償することができる。これにより、広い波長域にわたって均一な出射エネルギーを取り出すことができる分光光学素子を得ることができる。この構成は分光された光を受光して処理する場合など、均一な強度で受光することが望ましい場合に適している。

【0034】

本実施例の分光光学素子は図4に示すように、光学位相制御素子である光学多層膜32上に透過型回折光学素子であるラミナー型透過回折格子22を積層した構造を有する。ラミナー型透過回折格子22は図1に示したブレード型回折格子と異なり、基板上に矩形状の凸部(リッジ部)24が周期的に配列されて格子を形成している。

【0035】

本実施例のラミナー型透過回折格子は、屈折率1.6の Al_2O_3 層に溝加工を施して形成され、格子間隔(ピッチ)1427nm、格子の溝深さ2400nmとし、格子のリッジ部24の幅を799nmとした。この回折格子は、入射角 27.5° のTMモード入射光に対して、波長 $\lambda = 1350$ nmにおける一次回折光の回折効率は88%、 $\lambda = 1500$ nmにおける一次回折光の回折効率は92%であり、この2波長における回折効率に4%の変化がある。

【0036】

一方、それぞれの波長における回折角度は $\lambda = 1350$ nmにおいて 17.6° 、 $\lambda = 1500$ nmにおいて 21.6° となるため、 0° 入射時に対応する基板の垂直方向の膜厚を T とすれば、それぞれの波長における実効膜厚は、 $\lambda = 1350$ nmにおいて $1.049T$ 、 $\lambda = 1500$ nmにおいて $1.075T$ となる。これらの実効膜厚を考慮して、本実施例の光学多層膜32は、 $1.24L / 0.22H / 0.73L / 1.041H / ITO膜80nm / 1.04H / 0.73L / 0.22H / 1.24L$ となる9層構成とした。ここで、 H は高屈折率材料 Ta_2O_5 、 L は低屈折率材料 SiO_2 をそれぞれ表す。また波長 λ は1500nmとした。

【0037】

両波長における吸収係数は光路長差を加味して、 $\lambda = 1350$ nmにおいて14.9%

10

20

30

40

50

、 $\lambda = 1500 \text{ nm}$ において 18.2% となるので、本実施例による分光光学素子では、 $\lambda = 1350 \text{ nm}$ における一次回折光の回折効率は 74.9% 、 $\lambda = 1500 \text{ nm}$ における一次回折光の回折効率は 75.3% であり、 $\lambda = 1350 \sim 1500 \text{ nm}$ という広い波長範囲で回折効率の変化が 0.4% 以下の極めて光学特性の安定した分光光学素子を実現できた。

【0038】

[実施例2]

実施例1では、光学位相制御素子における光強度の減衰量を光学多層膜の吸収によって実現したが、本実施例では、2つの偏波モード、すなわちTEモードとTMモードの両方に対して広い波長範囲で光学特性を安定させることを目的とする。このため、光学多層膜の反射と透過のエネルギーを波長ごとに設計し、回折光強度の波長依存性を補償するようにする。これにより、広い波長域にわたって均一な出射エネルギーを取り出すとともに、偏光依存性の小さな回折光学素子を得ることができる。この構成は、偏光光学系において広帯域で安定した分光特性が必要な場合に好ましい。

10

【0039】

本実施例の分光光学素子は実施例1同様に光学位相制御素子である光学多層膜32上に透過型回折光学素子であるラミナー型透過回折格子22を積層した構造を有する(図4参照)。本実施例のラミナー型透過回折格子は、屈折率 1.46 の SiO_2 層を加工して形成され、格子間隔(ピッチ)、 2500 nm 、格子の溝深さ 5100 nm 、格子のリッジ部24の幅 1250 nm とした。

20

【0040】

このラミナー型回折格子は、 0° (垂直)入射のTEモード入射光に対して、 $\lambda = 1500 \text{ nm}$ における1次回折光の回折効率が 42% 、 $\lambda = 1800 \text{ nm}$ における一次回折光の回折効率が 39% 、 0° 入射のTMモード入射光に対して、 $\lambda = 1500 \text{ nm}$ における1次回折光の回折効率が 34% 、 $\lambda = 1800 \text{ nm}$ における一次回折光の回折効率が 26% である。またPDLは $\lambda = 1500 \sim 1800 \text{ nm}$ に対して、 $0.9 \sim 1.8 \text{ dB}$ である。

【0041】

一方、本実施例では回折効率と光学多層膜による反射量の光強度の積がTEモードとTMモードで一定かつ等しくなるように、光学膜に屈折率 3.57 、膜厚 50 nm のSi膜を用い、各波長毎に変化する回折角度に応じてTE、TMモードの反射率を制御した。その結果、 $\lambda = 1500 \text{ nm}$ におけるTEモード1次回折光の回折効率は 27% 、 $\lambda = 1600 \text{ nm}$ におけるTEモード1次回折光の回折効率は 24% 、 $\lambda = 1500 \text{ nm}$ におけるTMモード1次回折光の回折効率は 27% 、 $\lambda = 1800 \text{ nm}$ におけるTMモード1次回折光の回折効率は 22% となった。また、PDLは $\lambda = 1500 \sim 1600 \text{ nm}$ に対して、 $0 \sim 0.4 \text{ dB}$ であり、回折効率およびPDLの変化が極めて小さい光学特性の安定した分光光学素子を実現できた。

30

【0042】

[実施例3]

本実施例においては、回折光学素子を通過する際に発生するTE、TMモードの位相変化量の差を補正し、偏波モード間のモード分散を補償するように光学位相制御素子を設計する。位相変化量は、回折格子を構成する材料の屈折率とリッジの幅によって変化するが、回折格子の周期構造によって各偏光が感受する等価的な誘電率が異なるため、位相変化量は異なる。

40

【0043】

例えば、実施例1のラミナー型透過回折格子は、回折格子の溝に平行な偏光、すなわちTEモードに対する等価屈折率が 1.37 、溝に垂直な偏光、すなわちTMモードに対する等価屈折率が 1.23 であるため、両者の等価屈折率差は 0.14 であり、溝深さ 2400 nm の回折格子層を伝搬する場合に発生する両モードの位相差は、回折角度を考慮すると、 $\lambda = 1350 \text{ nm}$ の場合、 0.26 、 $\lambda = 1500 \text{ nm}$ の場合、 0.24 とな

50

る。

【0044】

本実施例の光学位相制御素子としては、回折格子層の等価屈折率差と符号が反対で値が等しく、使用波長に対して±1次の回折光がカットオフになる周期構造を使用する。本実施例では図5に示すように、回折格子22を構成するY方向の周期構造と直交し、基板50の表面に平行なX方向の周期構造体36を用いる。回折格子22と周期構造体36はリッジ部の屈折率が等しくなるようにし(同一材料で構成するのが望ましい)、かつリッジ部と空隙部(溝部)の幅の比率が等しくなるように構造を設定する。ただし使用波長に対して±1次の回折光をカットオフするため、周期構造体36の溝周期は回折格子22に比べて小さくし、使用波長の1/2以下とする。以上の構造の分光光学素子では回折格子部

10

【0045】

具体的には、基板50表面にラミナー型透過回折格子と同様の構造のラミナー型周期構造体36を光学位相制御素子として形成する。この周期構造体36の上に実施例1と同様の回折格子22を積層形成する。回折格子22と周期構造体36の構造は上記の関係を満たす条件で、周期の方向が直交するように形成する。この構成により波長1350~1500nmという広い波長範囲で、偏波モード間の位相差が0.01以下の極めて偏波モード分散の少ない分光光学素子を実現できた。

【0046】

[実施例4]

本実施例では光学位相制御素子の透過光だけでなく反射光も利用する。

透過型回折格子は入射光に波長 a の第1の波長成分とその $1/|m|$ の波長 b ($=a/|m|$ 、 m は絶対値が2以上の整数)の第2の波長成分が含まれていると、 a の0次回折光と b の m 次回折光が、等しい回折角で生じる性質があるので、使用できる波長範囲(いわゆるフリースペクトルレンジ)が制限される。一般的に言えば、第1の波長の n 次回折光(n は絶対値が1以上の整数)と第2の波長の m 次回折光は、第1の波長が第2の波長の m/n 倍であるとき、回折角が等しくなる。ただし、 m と n の符号は等しく、 $m/n > 0$ とする。

20

【0047】

そこで本実施例の光学位相制御素子は、図6に示すように0次回折光44の波長 a は通過させ、同じ回折角で入射する波長 b ($=a/|m|$)の m 次回折光46を反射させるように設計する。

30

【0048】

本実施例では、図4に示した光学多層膜34上にラミナー型透過回折格子22を積層した構成を用いた。格子間隔1427nmのラミナー型透過回折格子は、 $=1350\sim1500$ nmの波長範囲の1次回折光が $17.6\sim21.6^\circ$ に回折されると同時に、 $=675\sim750$ nmの波長範囲の2次回折光も同じ角度範囲に回折される。したがって、カットオン波長800nmの長波長透過フィルタ型に設計した光学多層膜34上に、実施例1同様のラミナー型透過回折格子22を構成することで、 $=675\sim750$ nmの波長範囲の2次回折光の光量を40dB以上抑圧することができ、実用的には850~1600nmの波長範囲で分光光学系を構成可能な分光光学素子を実現できた。

40

【0049】

この構成では、等しい回折角で回折格子22から出射される高次回折光の透過を抑制できるため、分光光学素子としての使用可能波長域を大幅に広くとることができる。例えば、可視光から近赤外光にかけての波長範囲で分光用途で使用する場合に適する。

【0050】

また透過型回折格子の1次回折光が最大になるように設計し、もともと高調波光が十分に小さい場合でも、高調波光の透過を抑制することができるため、出射光の波長の S/N 比を向上することができ、純度の高い波長の光を取り出すことができる。この場合は、とくに可視から近赤外にかけて光源用途で使用する場合に適する。

50

【 0 0 5 1 】

また本実施例の共振器構造の代わりに、0次光も一部反射して入射角と同じ正反射の光路に戻すこともできる。これによって、アド・ドロップ機能をもつ透過型回折光学素子が実現できる。

【 0 0 5 2 】

[実施例 5]

本実施例においては光学位相制御素子は、長波長域に対しては、波長の1/2以下の周期をもつ周期構造となり、短波長域に対しては、波長の1/2以上の周期をもつ周期構造となるように設計する。

【 0 0 5 3 】

この場合、図7に示すように長波長域の回折光44は回折されずに直進して出射し、短波長域の回折光45は、光学位相制御素子である周期構造体38で回折され別の方向に出射される。これによって、2つの波長域用の分光光学素子として同時使用することができる。したがって2つの分光光学素子を切り替えることなく、静止固定した状態で広帯域の安定した光学評価が可能になる。本実施例の構成はとくに可視光から近赤外光にかけての波長範囲での分光用途で使用する場合に適する。

【 0 0 5 4 】

本実施例では、透過型回折格子としては実施例1と同様なラミナー型透過回折格子22を用い、光学位相制御素子として図8に示すような回折格子22と同じY方向に周期をもつラミナー型周期構造体38を用いた。基板50上に屈折率1.6、周期1113.5nmのラミナー型周期構造体38を作製して光学位相制御素子とし、その上に実施例1同様のラミナー型透過回折格子22を周期の方向を合わせて配置して分光光学素子を作製した。

【 0 0 5 5 】

この分光光学素子に入射角 -27.5° で波長400~1500nmの光を入射すると、波長1350~1500nmの光は、回折格子22で回折された後、周期構造体38をそのまま通過し、 $17.6 \sim 21.6^\circ$ の範囲に分光することができた。一方、波長400~700nmの光は、回折格子22で回折された後、光学位相制御素子の周期構造体38で再度回折され、 $-24.9 \sim -37^\circ$ の範囲に分光することができ、可視~赤外の広範囲の分光光学素子を実現することができた。

【 0 0 5 6 】

また、本実施例では、透過型回折格子の周期構造と光学位相制御素子の周期構造とを平行に配置したが、両者を平行からオフセットすることによって、回折、分散する方向を変えることができる。

【 0 0 5 7 】

[実施例 6]

以上の実施例1~4は、光学位相制御素子の設計によって所望の機能を得る手段である。これに対して本実施例では透過型回折格子によって所望の機能を得る手段を説明する。

【 0 0 5 8 】

この手段として透過型回折格子を複数の屈折率の異なる材料を組合せて構成する。その際、透過型回折格子を構成する各材料の屈折率と体積との積をそれぞれ求め、それらの平均値を透過型回折格子の全体積で割った値を、所定の使用波長での設計屈折率となるように材料と構造を選定する。すなわち、各材料が占める体積の割合を調節することによって、透過型回折格子の見かけの屈折率を所望の値(設計屈折率)に一致させる。これにより、単一材料では得ることが難しい最適な屈折率の透過型回折格子構造を実現でき、設計に即した広帯域で回折効率の大きい分光光学素子を得ることができる。

【 0 0 5 9 】

本実施例では、図9のように光学位相制御素子30上に、屈折率1.46のSiO₂を膜厚30nm、屈折率2.1のTa₂O₅を膜厚10nm、交互に60ペアからなる多層

10

20

30

40

50

膜 28 を成膜した。この表面にストライプ状 Cr マスクを設け、 CF_4 ガスによる気相エッチングにより溝を周期的に形成した。これにより、格子間隔 1427 nm、リッジ部 25 の幅 799 nm、平均屈折率 1.62、溝深さ 2400 nm のラミナー型透過回折格子 26 を作製した。

【0060】

この光学特性を測定したところ、TM モード回折効率 88%、TE モード回折効率 72% であり、リッジ形状の鈍りと垂直壁の傾き (86°) を考慮すると、屈折率 1.6 で設計した回折格子の TM モード回折効率計算値 92%、TE モード回折効率計算値 90% とほぼ同等の性能が得られた。この場合、各層の膜厚は不要な干渉を防ぐため、波長の $1/30$ 以下であることが望ましい。

10

【0061】

以上の各実施例では光学位相制御素子として光学多層膜またはラミナー型周期構造体を使用する場合について説明したが、これに限られない。入射角依存性があれば他の光学素子であってもよい。ホログラフィック光学素子、光学結晶、サブ波長光学素子、フォトリソグラフィック結晶などを用いることができる。

【0062】

これらが光学多層膜のように透過型回折光学素子上に直接成膜する方法で実装できない場合には、貼り合わせ等の手段によって固定するのが望ましい。また別途、基板を用意し、その基板の上に透過型回折光学素子、光学位相制御素子を配置固定してもよい。

【0063】

本実施例の回折光学素子は、所定の基板の上に例えば光の入出力に用いる他の素子とともに実装されていてもよい。例えば図 10 に示すように透過型回折光学素子 20 と光学位相制御素子 30 を積層した分光光学素子を、平板状のレンズアレイ 60 などの光学素子とともに実装してもよい。

20

【図面の簡単な説明】

【0064】

【図 1】本発明の分光光学素子の基本構成を示す模式図である。

【図 2】本発明の分光光学素子の基本動作を示す断面模式図である。

【図 3】実施例 1 の分光光学素子の動作原理を示す図である。

【図 4】実施例 1、2 及び 4 の分光光学素子を示す模式図である。

30

【図 5】実施例 3 の分光光学素子を示す模式図である。

【図 6】実施例 4 の分光光学素子の動作原理を示す図である。

【図 7】実施例 5 の分光光学素子の動作原理を示す図である。

【図 8】実施例 5 の分光光学素子を示す模式図である。

【図 9】実施例 6 の分光光学素子を示す断面模式図である。

【図 10】レンズを実装した本発明の分光光学素子を示す断面模式図である。

【符号の説明】

【0065】

10 分光光学素子

20 透過型回折光学素子

40

22、26 ラミナー型透過回折格子

24、25 リッジ部

30 光学位相制御素子

32、34 光学多層膜

36、38 ラミナー型周期構造体

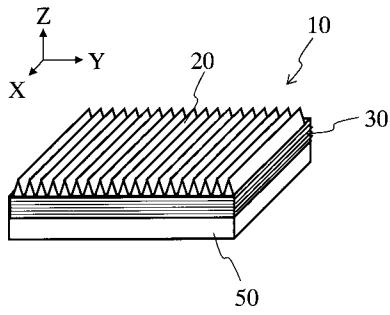
40 入射光

42、44、45 回折光

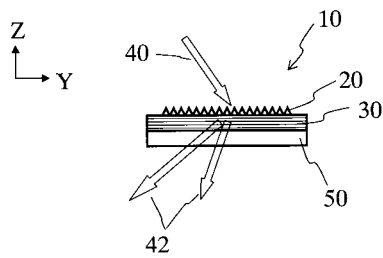
50 ガラス基板

60 レンズアレイ

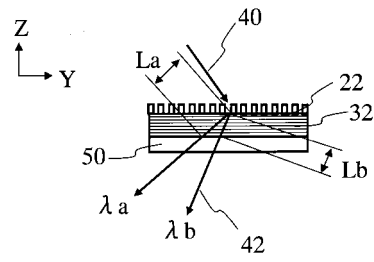
【図1】



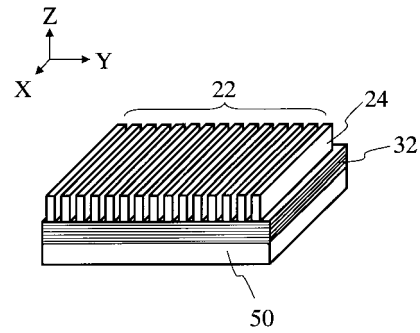
【図2】



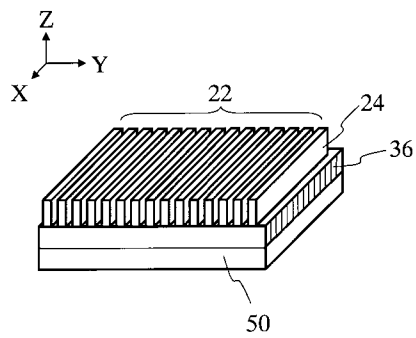
【図3】



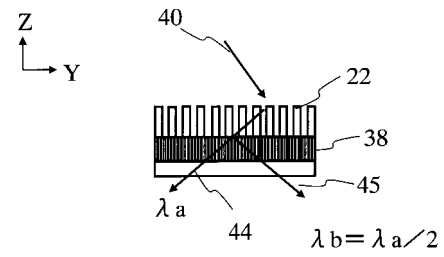
【図4】



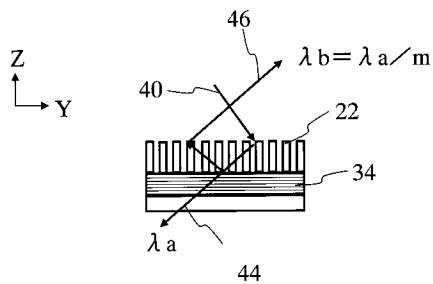
【図5】



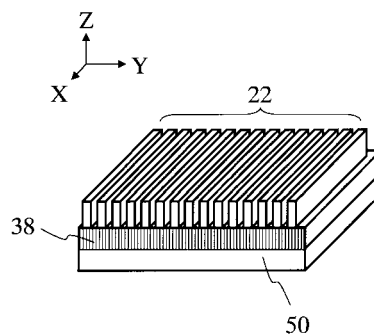
【図7】



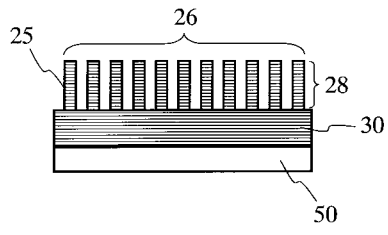
【図6】



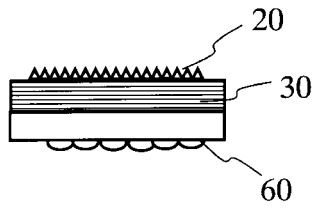
【図8】



【 図 9 】



【 図 10 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2003-207613(JP,A)
特開平06-258523(JP,A)
特開平08-110406(JP,A)
特開昭62-289804(JP,A)
特開2001-290017(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 5/18

G02B 5/30