(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2005-283759
(P2005-283759A)
(43)公開日　平成17年10月13日(2005.10.13)

(51)Int.Cl.[7]	F I	テーマコード（参考）
G02F 1/37	G02F 1/37	2K002

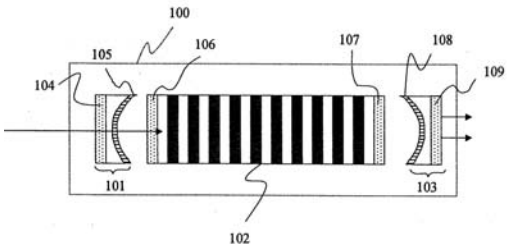
審査請求 有　請求項の数 5　ＯＬ　（全 14 頁）

(21)出願番号　特願2004-94913(P2004-94913)
(22)出願日　平成16年3月29日(2004.3.29)

(71)出願人　301023238
独立行政法人物質・材料研究機構
茨城県つくば市千現一丁目２番１号
(72)発明者　北村　健二
茨城県つくば市千現一丁目２番１号　独立行政法人物質・材料研究機構内
(72)発明者　栗村　直
茨城県つくば市千現一丁目２番１号　独立行政法人物質・材料研究機構内
(72)発明者　中村　優
茨城県つくば市千現一丁目２番１号　独立行政法人物質・材料研究機構内
(72)発明者　竹川　俊二
茨城県つくば市千現一丁目２番１号　独立行政法人物質・材料研究機構内
最終頁に続く

(54)【発明の名称】窓材料と波長変換素子材料とが最適化された波長変換装置

(57)【要約】
【課題】　多品種少量生産に適し、かつ、低コストの波長変換装置を提供すること。
【解決手段】　光の波長を短波長化または長波長化する波長変換装置は、光が入射する第１の窓と、光の波長を短波長化または長波長化するように位相整合された非線形光学単結晶と、短波長化または長波長化された光を出射する第２の窓とを含む。短波長化または長波長化された光は、第１の窓と第２の窓との間で共振し、第１の窓の材料と非線形光学単結晶と第２の窓の材料とは、同一である。
【選択図】　図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
光の波長を短波長化または長波長化する波長変換装置であって、
前記光が入射する第１の窓と、
前記光の波長を短波長化または長波長化するように位相整合された非線形光学単結晶と、
前記短波長化または長波長化された光を出射する第２の窓と
を含み、
前記短波長化または長波長化された光は、前記第１の窓と前記第２の窓との間で共振し、
前記第１の窓の材料と前記非線形光学単結晶と前記第２の窓の材料とは、同一である、波長変換装置。
【請求項２】
前記材料は、実質的に定比組成のニオブ酸リチウム、実質的に定比組成のタンタル酸リチウム、Ｍｇ、Ｚｎ、ＳｃおよびＩｎからなる群から選択される少なくとも１以上の元素を含む実質的に定比組成のニオブ酸リチウム、および、Ｍｇ、Ｚｎ、ＳｃおよびＩｎからなる群から選択される少なくとも１以上の元素を含む実質的に定比組成のニオブ酸リチウムからなる群から選択される、請求項１に記載の波長変換装置。
【請求項３】
前記第１の窓は、前記光が入射する側に第１の反射防止膜を有し、
前記非線形光学単結晶は、前記第１の窓側に第２の反射防止膜および前記第２の窓側に第３の反射防止膜を有し、
前記第２の窓は、前記短波長化または長波長化された光が出射する側に第４の反射防止膜を有し、
前記第１の反射防止膜と、前記第２の反射防止膜または前記第３の反射防止膜と、前記第４の反射防止膜とは実質的に同一の反射防止膜である、請求項１に記載の波長変換装置。
【請求項４】
前記波長変換装置は、第１の波長λ_1を有する第１の光を第２の波長λ_2を有する第２の光および第３の波長λ_3を有する第３の光に変換し、ここで、前記第１の波長λ_1と前記第２の波長λ_2と前記第３の波長λ_3とは、関係$1/\lambda_1 = 1/\lambda_2 + 1/\lambda_3$を満たし、
前記第２の窓は、前記第２の光および／または前記第３の光を出射する、請求項１に記載の波長変換装置。
【請求項５】
前記波長変換装置は、前記第１の波長λ_1を有する第１の光を第２の波長λ_2を有する第２の光に変換し、ここで、前記第１の波長λ_1と前記第２の波長λ_2とは、関係$\lambda_1 = 2 \times \lambda_2$を満たす、請求項１に記載の波長変換装置。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、非線形光学単結晶を用いた波長変換装置に関する。詳細には、本発明は、共振器に用いられる窓材料および非線形光学単結晶が最適化された波長変換装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
近年、優れた非線形光学定数および電気光学定数を有する非線形光学単結晶を用いた波長変換素子の研究が盛んに行われている。なかでも、良質な強誘電体単結晶の製造技術および分極反転形成技術の向上により、擬似位相整合方式を採用した波長変換素子の発展は目覚しい。
【０００３】

図５は、従来技術によるパラメトリック（ＯＰＯ）発振器を示す模式図である。
ＯＰＯ発振器５０００は、第１の窓５１００と、波長変換素子５２００と、第２の窓５３００とを含む。

【０００４】

第１の窓５１００は、例えば、サファイア（Al_2O_3）、フッ化カルシウム（CaF_2）、硫化亜鉛（ＺｎＳ）およびセレン化亜鉛（ＺｎＳｅ）からなる群から選択された材料から製造され得る（例えば、非特許文献１を参照。）。これらの材料は、ポンプ光（ＯＰＯ発振器５０００に入射する光）と、波長変換素子５２００にて波長変換された光とを透過する。
第１の窓５１００は、第１の反射防止膜５４００と第１の高反射率膜５５００とを有する。第１の反射防止膜５４００は、ポンプ光が第１の窓５１００で反射することなく透過するために設けられる。第１の高反射率膜５５００は、ポンプ光を透過させ、かつ、波長変換素子５２００で波長変換された光を反射させるために設けられる。

【０００５】

波長変換素子５２００は、例えば、実質的に定比組成のタンタル酸リチウム単結晶であり得る。波長変換素子５２００は、ポンプ光に対して位相整合するように所定の周期を有する周期分極構造を有している。
波長変換素子５２００は、第１の窓５１００側に第２の反射防止膜５６００、および、第２の窓５３００側に第３の反射防止膜５７００を有する。第２の反射防止膜５６００および第３の反射防止膜５７００は、ポンプ光および波長変換素子５２００で波長変換された光を透過させる。

【０００６】

第２の窓５３００は、第１の窓５１００と同様の材料群から選択された材料から製造され得るが、第１の窓５１００の材料と第２の窓５３００の材料とは異なっていてもよい。第２の窓５３００は、第２の高反射率膜５８００と第４の反射防止膜５９００とを有する。第２の高反射率膜５９００は、ポンプ光を反射させる、および、波長変換素子５２００で波長変換された光の一部を反射させるために設けられる。第４の反射防止膜５９００は、少なくとも波長変換素子５１００で波長変換された光を透過させるために設けられる。

【０００７】

第１の反射防止膜５４００と第２の反射防止膜５６００と第３の反射防止膜５７００と第４の反射防止膜５９００とは、同一の誘電体多層膜であってもよいし、異なる誘電体多層膜であってもよい。

【０００８】

次に、このようなＯＰＯ発振器５０００の動作を説明する。
ＹＡＧレーザ等の光源（図示せず）が発する波長１．０６４μｍのポンプ光が、ＯＰＯ発振器５０００に入射される。ポンプ光は、第１の反射防止膜５４００を介して第１の窓５１００へ入射する。次いで、ポンプ光は、第１の高反射率膜５５００を透過した後、第２の反射防止膜５６００を介して波長変換素子５２００に入射する。波長変換素子５２００は、波長変換素子５２００の分極反転周期に応じて、入射されたポンプ光を波長１．５８μｍ～１．７μｍのシグナル光と波長２．８μｍ～３．３μｍのアイドラ光とに変換する。変換されたシグナル光およびアイドラ光は、第３の反射防止膜５７００を介して第２の窓５３００へ入射する。

【０００９】

ポンプ光と、シグナル光および／またはアイドラ光の一部とは、第２の窓５３００の第２の高反射率膜５８００で反射される。反射されたポンプ光と、シグナル光および／またはアイドラ光とは、再度、第２の反射防止膜５６００および第３の反射防止膜５７００を介して波長変換素子５２００を透過する。反射されたポンプ光は、第１の高反射率膜５５００を透過し、ＯＰＯ発振器５０００から出射する。シグナル光および／またはアイドラ光は、第１の高反射率膜５７００で反射され、再度、波長変換素子５２００を透過する。このようにして、シグナル光および／またはアイドラ光は、第１の窓５１００と第２の窓

５３００との間で共振し、シグナル光および／またはアイドラ光の強度が増幅される。
【００１０】
最終的に、変換されたシグナル光および／またはアイドラ光の大部分が、第２の窓５３００を透過し、第４の反射防止膜５９００を介してＯＰＯ発振器５０００から出射する。
【非特許文献１】久野治義著「赤外線工学」電子情報通信学会出版第８８頁表４．１
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【００１１】
上述したように第１、第２、第３および第４の反射防止膜５４００、５６００、５７００および５９００は、誘電体多層膜であり得、これら反射防止膜はスパッタリング等の物理的気相成長法または化学的気相成長法によって堆積される。これら反射防止膜の堆積条件（温度、雰囲気、ターゲット間距離、圧力等）は、たとえ第１～第４の反射防止膜５４００、５６００、５７００および５９００が同一の誘電体多層膜であっても、基板材料によって異なる。したがって、図５に示されるＯＰＯ発振器５０００において第１の窓５１００の材料と第２の窓５３００の材料とが同一の場合、反射防止膜の堆積には、少なくとも３バッチ（第１の反射防止膜５４００および第４の反射防止膜５９００を堆積する第１のバッチ、第２の反射防止膜５６００を堆積する第２のバッチおよび第３の反射防止膜５７００を堆積する第３のバッチ）を要する。
【００１２】
このバッチ数は、製品コストに大きく影響する。すなわち、バッチ数が増えるほど、製品は高コストになる。少品種大量生産においては、このようなバッチ数を無視しても安価な製品を提供することができる。しかしながら、多品種少量生産においては、バッチ数が製品コストに及ぼす影響は大きく、ユーザは、高価格の製品を購入することを余儀なくされている。
【００１３】
また、図５に示されるＯＰＯ発振器５０００に用いられる第１の窓５１００および第２の窓５３００の材料は、いくつかの問題を有する。例えば、Al_2O_3は、硬度が高いため、加工が困難である。CaF_2は、潮解性があるため水に対する耐性が低く、取り扱いに不便である。ＺｎＳおよびＺｎＳｅは、高価であるため、装置全体のコストが高くなる。したがって、これら問題を解決する窓材料があれば望ましい。
【００１４】
したがって、本発明の目的は、多品種少量生産に適し、かつ、安価な波長変換装置を提供することである。
本発明のさらなる目的は、多品種少量生産に適し、加工および取り扱いの容易・安価な窓材料を提供し、安価な波長変換装置を提供することである。
【課題を解決するための手段】
【００１５】
本発明による光の波長を短波長化または長波長化する波長変換装置は、前記光が入射する第１の窓と、前記光の波長を短波長化または長波長化するように位相整合された非線形光学単結晶と、前記短波長化または長波長化された光を出射する第２の窓とを含み、前記短波長化または長波長化された光は、前記第１の窓と前記第２の窓との間で共振し、前記第１の窓の材料と前記非線形光学単結晶と前記第２の窓の材料とは、同一であり、これにより上記目的を達成する。
【００１６】
前記材料は、実質的に定比組成のニオブ酸リチウム、実質的に定比組成のタンタル酸リチウム、Ｍｇ、Ｚｎ、ＳｃおよびＩｎからなる群から選択される少なくとも１以上の元素を含む実質的に定比組成のニオブ酸リチウム、および、Ｍｇ、Ｚｎ、ＳｃおよびＩｎからなる群から選択される少なくとも１以上の元素を含む実質的に定比組成のニオブ酸リチウムからなる群から選択されてもよい。
【００１７】

前記第１の窓は、前記光が入射する側に第１の反射防止膜を有し、前記非線形光学単結晶は、前記第１の窓側に第２の反射防止膜および前記第２の窓側に第３の反射防止膜を有し、前記第２の窓は、前記短波長化または長波長化された光が出射する側に第４の反射防止膜を有し、前記第１の反射防止膜と、前記第２の反射防止膜または前記第３の反射防止膜と、前記第４の反射防止膜とは実質的に同一の反射防止膜であってもよい。

【００１８】

前記波長変換装置は、第１の波長λ_1を有する第１の光を第２の波長λ_2を有する第２の光および第３の波長λ_3を有する第３の光に変換し、ここで、前記第１の波長λ_1と前記第２の波長λ_2と前記第３の波長λ_3とは、関係$1/\lambda_1 = 1/\lambda_2 + 1/\lambda_3$を満たし、前記第２の窓は、前記第２の光および／または前記第３の光を出射してもよい。

前記波長変換装置は、前記第１の波長λ_1を有する第１の光を第２の波長λ_2を有する第２の光に変換し、ここで、前記第１の波長λ_1と前記第２の波長λ_2とは、関係$\lambda_1 = 2 \times \lambda_2$を満たしてもよい。

【発明の効果】

【００１９】

本発明による波長変換装置は、光が入射する第１の窓と、光の波長を短波長化または長波長化するように位相整合された非線形光学単結晶と、短波長化または長波長化された光を出射する第２の窓とを含む。第１の窓の材料と非線形光学単結晶と第２の窓の材料とは同一であるため、反射防止膜等の同一の誘電体多層膜を第１の窓材料と第２の窓材料と非線形光学単結晶とに、同時に同条件で堆積することができる。この結果、堆積バッチ数は、従来の堆積バッチ数に比べて少なくとも１回減るので、安価な波長変換装置を提供することができる。また、単結晶育成後の同一のロッドから第１の窓と、波長変換素子と、第２の窓とを加工すればよいので、安価である。

【発明を実施するための最良の形態】

【００２０】

以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態を説明する。

（実施の形態１）

図１は、実施の形態１によるパラメトリック発振を利用した波長変換装置を示す模式図である。

波長変換装置１００は、第１の窓１０１と、波長変換素子１０２と、第２の窓１０３とを含む。

第１の窓１０１は、実質的に定比組成のタンタル酸リチウム単結晶（以降ではＳＬＴと称する）、実質的に定比組成のニオブ酸リチウム（以降ではＳＬＮと称する）、および、Ｍｇ、Ｚｎ、ＳｃおよびＩｎからなる群から選択される少なくとも１つの元素をドーピングしたＳＬＴまたはＳＬＮからなる群から選択される材料から作製され得る。

【００２１】

本明細書中において、実質的に「定比組成である」とは、$Li_2O/(Ta_2O_5+Li_2O)$または$Li_2O/(Nb_2O_5+Li_2O)$のモル分率が完全に０．５０ではないものの、コングルエント組成よりも化学量論比に近い組成$Li_2O/(Ta_2O_5+Li_2O)$または（$Li_2O/(Nb_2O_5+Li_2O)$のモル分率＝０．４９０～０．５）を有しており、そのことに起因するデバイスの特性の低下が通常のデバイスの設計において問題にならない程度であることをいう。このようなＳＬＴまたはＳＬＮは、例えば、特開２０００－３４４５９５に記載される二重るつぼを使用したチョクラルスキー法により作製され得る。

【００２２】

図２は、本発明による窓材料の透過率特性を示す図である。

図２は、本発明による窓材料のうちＳＬＴの透過率特性を示す。０．３μｍ～５μｍの範囲において良好な透過率特性を示している。上記波長領域における透過率特性は、従来の窓材料の１つＺｎＳｅと比較しても、何ら差はない。このことは、上記波長領域において、波長変換素子と同一の材料のＳＬＴを窓材料として用いることができることを示している。なお、図２では、ＳＬＴの透過率特性を示すが、ＳＬＮ、不純物を添加したＳＬＴ

またはＳＬＮにおいても同様の結果が得られることを理解されたい。

【００２３】

再度図１を参照する。第１の窓１０１は、第１の反射防止膜１０４と第１の高反射率膜１０５とを有する。第１の反射防止膜１０４は、ポンプ光（波長変換装置１００に入射する光；第１の光）が第１の窓１０１で反射することなく所定の透過率で透過するために、第１の窓１０１のポンプ光が入射する側に設けられる。第１の高反射率膜１０５は、ポンプ光を所定の透過率で透過させ、かつ、波長変換素子１０２で波長変換された光を所定の反射率で反射させるために、第１の窓１０１の波長変換素子１０２側に設けられる。

【００２４】

第１の反射防止膜１０４および第１の高反射率膜１０５は、好ましくは、上述の窓材料のＸ面に形成され得る。これは、Ｘ面は、Ｚ面およびＹ面に比べて、表面粗さが小さいため良質な膜を形成することができるためである。

波長変換素子１０２は、非線形光学効果を有する、擬似位相整合された非線形光学単結晶である。詳細には、波長変換素子１０２は、ＳＬＴ、ＳＬＮ、および、Ｍｇ、Ｚｎ、ＳｃおよびＩｎからなる群から選択される少なくとも１つの元素をドーピングしたＳＬＴまたはＳＬＮからなる材料群から選択された材料から作製され得る。ただし、第１の窓１０１の材料と波長変換素子１０２の材料とは同一である。波長変換素子１０２は、ポンプ光に対して位相整合するように所定の分極反転周期を有する周期分極反転構造を有している。波長変換素子１０２の素子長は３５ｍｍであり、素子厚１～２ｍｍであるが、このようなサイズに限定されない。

【００２５】

本実施の形態では、例えば、波長変換素子１０２としてＳＬＴを用いた場合、波長１．０６４μｍのポンプ光を、波長１．４μｍ～２．１μｍのシグナル光（第２の光）および波長２．１μｍ～４μｍのアイドラ光（第３の光）に波長変換するように、所定の分極反転周期は１５μｍ～３５μｍの範囲であり得る。波長変換素子１０２の分極反転周期は、上記所定の分極反転周期に限定されず、ポンプ光の波長（第１の波長）λ_1と、シグナル光の波長（第２の波長）λ_2と、アイドラ光の波長（第３の波長）λ_3とが、関係$1/\lambda_1 = 1/\lambda_2 + 1/\lambda_3$を満たすように、擬似位相整合された分極反転周期である限り任意である。

【００２６】

波長変換素子１０２は、第１の窓１０１側に第２の反射防止膜１０６および第２の窓１０３側に第３の反射防止膜１０７を有する。第２の反射防止膜１０６および第３の反射防止膜１０７は、ポンプ光、シグナル光およびアイドラ光を所定の透過率で透過させる。

【００２７】

第２の窓１０３は、第１の窓１０１と同様に、ＳＬＮ、ＳＬＮ、および、Ｍｇ、Ｚｎ、ＳｃおよびＩｎからなる群から選択される少なくとも１つの元素をドーピングしたＳＬＴまたはＳＬＮからなる群から選択された材料から作製され得る。ただし、第２の窓１０３の材料は、第１の窓１０１の材料と波長変換素子１０２の材料と同一である。

【００２８】

第２の窓１０３は、第２の高反射率膜１０８と第４の反射防止膜１０９とを有する。第４の反射防止膜１０９は、シグナル光および／またはアイドラ光（波長変換装置１００から出射する光）が第２の窓１０３で反射することなく所定の透過率で透過するために、第２の窓１０３の光が出射する側に設けられる。第２の高反射率膜１０８は、ポンプ光を完全に反射させ、かつ、シグナル光および／またはアイドラ光の一部または全部を所定の反射率で反射させるために、第２の窓１０３の波長変換素子１０２側に設けられる。

【００２９】

このようなシグナル光および／またはアイドラ光の一部または全部を反射するか否か（単一共振または二重共振）は、ユーザの用途に応じて第２の高反射率膜１０８を設計すればよい。第１の窓１０１と同様に、第２の高反射率膜１０８および第４の反射防止膜１０９は、好ましくは、上述の窓材料のＸ面に形成され得る。これは、Ｘ面は、Ｚ面およびＹ

面に比べて、表面粗さが小さいため良好な膜を形成することができるためである。

【００３０】

なお、第１の窓１０１の材料と、波長変換素子１０２の材料と、第２の窓１０３の材料とは、同一の材料が選択されることに留意されたい。

図３は、反射防止膜が堆積された本発明の窓材料の反射率特性を示す図である。

図３から、反射防止膜とＳＬＴとは、１．０６４μｍのポンプ光と、１．５４～１．８μｍのシグナル光と、２．７～３．４μｍのアイドラ光とに対して０．５％以下の反射率を有することが分かる。このことは、波長変換素子１０２と同一の材料を窓材料として用いることができることを示している。反射防止膜は、誘電体多層膜であり得、例えば、TiO_2、SiO_2等から構成され得るが、反射防止膜を構成する誘電体多層膜の種類および膜厚等の選択によって、透過させる波長範囲を変更することができることを理解されたい。

【００３１】

本実施の形態では、第１の反射防止膜１０４と第２の反射防止膜１０６と第３の反射防止膜１０７と第４の反射防止膜１０９とは、図３に示される特性（すなわち、少なくともポンプ光、シグナル光およびアイドラ光を透過させる）を有する実質的に同一の誘電体多層膜であり得る。このような誘電体多層膜は、スパッタリング、ＣＶＤ、ＰＬＤ、ＭＢＥ等を含む、任意の物理的気相成長法または化学的気相成長法によって作製され得る。

【００３２】

本発明によれば、第１の窓１０１の材料と波長変換素子１０２の材料と第２の窓１０３の材料とが同一であるため、第１の反射防止膜１０４と、第２の反射防止膜１０６または第３の反射防止膜１０７と、第４の反射防止膜１０９とを同一および同条件のバッチ工程で堆積することができる。その結果、１つの波長変換装置１００の製造コストを下げることができる。

【００３３】

本明細書において、第１の反射防止膜１０４と、第２の反射防止膜１０６または第３の反射防止膜１０７と、第４の反射防止膜１０９とが「実質的に同一」であるとは、同一および同条件のバッチ工程で反射防止膜を堆積した場合であっても、作製された反射防止膜に多少の特性の違いは生じるものも、それがデバイスに及ぼす影響は実用上問題がない程度のことを言う。

また、第１の窓１０１の材料と波長変換素子１０２の材料と第２の窓１０３の材料とが同一であるため、単結晶育成後の同一のロッドから第１の窓１０１と波長変換素子１０２と第２の窓１０３とを加工すればよいので、低価格である。

【００３４】

次に、実施の形態１による波長変換装置１００の動作を説明する。

ＹＡＧレーザ等の光源（図示せず）が発する波長１．０６４μｍのポンプ光が、波長変換装置１００に入射される。ポンプ光は、第１の反射防止膜１０４を介して第１の窓１０１へ入射する。次いで、ポンプ光は、第１の高反射率膜１０５を透過した後、第２の反射防止膜１０６を介して波長変換素子１０２に入射する。波長変換素子１０２は、１５μｍ～３５μｍの分極反転周期に応じて、入射されたポンプ光を波長１．４μｍ～２．１μｍのシグナル光と、波長２．１μｍ～４μｍのアイドラ光とに変換する。変換されたシグナル光およびアイドラ光は、第３の反射防止膜１０７を介して第２の窓１０３へ入射する。

【００３５】

ポンプ光と、シグナル光および／またはアイドラ光の一部または全部とは、第２の窓１０３の第２の高反射率膜１０８で所定の反射率で反射される。反射されたポンプ光と、シグナル光および／またはアイドラ光の一部または全部とは、再度、第２の反射防止膜１０６および第３の反射防止膜１０７を介して波長変換素子１０２を透過する。反射されたポンプ光は、第１の高反射率膜１０５を透過して、波長変換装置１００から出射する。

【００３６】

シグナル光および／またはアイドラ光の一部または全部は、第１の高反射率膜１０５で

反射され、再度、波長変換素子１０２を透過する。このようにして、シグナル光および／またはアイドラ光は、第１の窓１０１と第２の窓１０３との間で共振し、シグナル光および／またはアイドラ光の強度が増幅される。最終的に、増幅されたシグナル光および／またはアイドラ光が、第２の高反射率膜１０８および第４の反射防止膜１０９を介して第２の窓１０３から出射する。

【００３７】

このようにして、パラメトリック発振を利用した波長変換装置１００は、入射光を長波長化する。なお、実施の形態において、第１～第４の反射防止膜１０４、１０６、１０７、１０９、および、第１～第２の高反射率膜１０５、１０８の各波長に対する透過率または反射率、ならびに、共振条件について詳述していないが、これらは設計に応じて適宜変更され得るものであり、当業者であれば容易に類推可能である。

【００３８】

（実施の形態２）

次に、第２高調波発生を利用した波長変換装置を説明する。

図４は、実施の形態２による第２高調波発生を利用した波長変換装置を示す模式図である。

波長変換装置４００は、第１の窓４０１と、波長変換素子４０２と、第２の窓４０３とを含む。

第１の窓４０１は、実施の形態１と同様に、ＳＬＴ、ＳＬＮ、および、Ｍｇ、Ｚｎ、ＳｃおよびＩｎからなる群から選択される少なくとも１つの元素をドーピングしたＳＬＴまたはＳＬＮからなる材料群から選択された材料から作製され得る。

【００３９】

第１の窓４０１は、第１の反射防止膜４０４と第１の高反射率膜４０５とを有する。第１の反射防止膜４０４は、基本波（波長変換装置４００に入射する光；第１の光）が第１の窓４０１で反射することなく所定の透過率で透過するために、第１の窓４０１の基本波が入射する側に設けられる。第１の高反射率膜４０５は、基本波を所定の透過率で透過させ、かつ、波長変換素子４０２で波長変換された光を所定の反射率で反射させるために、第１の窓４０１の波長変換素子４０２側に設けられる。第１の反射防止膜４０４および第１の高反射率膜４０５は、好ましくは、上述の窓材料のＸ面に形成され得る。これは、Ｘ面は、Ｚ面およびＹ面に比べて、表面粗さが小さいため良好な膜を形成することができるためである。

【００４０】

波長変換素子４０２は、実施の形態１と同様に、ＳＬＴ、ＳＬＮ、および、Ｍｇ、Ｚｎ、ＳｃおよびＩｎからなる群から選択される少なくとも１つの元素をドーピングしたＳＬＴまたはＳＬＮからなる材料群から選択された材料から作製され得る。第１の窓４０１の材料と波長変換素子４０２の材料とは同一である。波長変換素子４０２は、基本波に対して位相整合するように所定の周期を有する周期分極反転構造を有している。波長変換素子４０２の素子長は３５ｍｍであり、素子厚１～２ｍｍであるが、このようなサイズに限定されない。

【００４１】

本実施の形態では、例えば、波長変換素子４０２としてＳＬＴを用いた場合、波長７８０ｎｍの基本波（第１の光）を波長３９０ｎｍの第２高調波（第２の光）に波長変換するように、所定の分極反転周期は２．７μｍ～２．９μｍの範囲であり得る。波長変換素子４０２の分極反転周期は、上記所定の分極反転周期に限定されず、基本波の波長（第１の波長）λ_1と第２高調波の波長（第２の波長）λ_2とが、関係$\lambda_1 = 2 \times \lambda_2$を満たすように、擬似位相整合された分極反転周期である限り任意である。

【００４２】

波長変換素子４０２は、第１の窓４０１側に第２の反射防止膜４０６および第２の窓４０３側に第３の反射防止膜４０７を有する。第２の反射防止膜４０６および第３の反射防止膜４０７は、基本波および第２高調波を所定の透過率で透過させる。

第２の窓４０３は、実施の形態１と同様に、ＳＬＴ、ＳＬＮ、および、Ｍｇ、Ｚｎ、ＳｃおよびＩｎからなる群から選択される少なくとも１つの元素をドーピングしたＳＬＴまたはＳＬＮからなる材料群から選択された材料から作製され得る。第２の窓４０３の材料は、第１の窓４０１の材料と波長変換素子４０２の材料と同一である。

【００４３】

第２の窓４０３は、第２の高反射率膜４０８と第４の反射防止膜４０９とを有する。第４の反射防止膜４０９は、第２高調波（波長変換装置４００から出射する光）が第２の窓４０３で反射することなく所定の透過率で透過させるために、第２の窓４０３の光が出射する側に設けられる。第２の高反射率膜４０８は、基本波を完全に反射させ、かつ、第２高調波の一部を所定の反射率で反射させるために、第２の窓４０３の波長変換素子４０２側に設けられる。第１の窓４０１と同様に、第２の高反射率膜４０８および第４の反射防止膜４０９は、好ましくは、上述の窓材料のＸ面に形成され得る。これは、Ｘ面は、Ｚ面およびＹ面に比べて、表面粗さが小さいため良好な膜を形成することができるためである。

【００４４】

なお、実施の形態１と同様に、第１の窓４０１の材料と第２の波長変換素子４０２と第２の窓４０３の材料とは、同一の材料が選択されることに留意されたい。また、第１の反射防止膜４０４と第２の反射防止膜４０６と第３の反射防止膜４０７と第４の反射防止膜４０９とは、任意の物理的気相成長法または化学的気相成長法によって作製され得る同一の誘電体多層膜であり得る。

【００４５】

実施の形態１と同様に、本発明によれば、第１の窓４０１の材料と波長変換素子４０２と第２の窓４０３の材料とが同一であるため、第１の反射防止膜４０４と、第２の反射防止膜４０６または第３の反射防止膜４０７と、第４の反射防止膜４０９とを同一および同条件のバッチ工程で堆積することができる。その結果、１つの波長変換装置４００の製造コストを下げることができる。

また、第１の窓４０１の材料と波長変換素子４０２と第２の窓４０３の材料とが同一であるため、単結晶育成後の同一のロッドから第１の窓４０１と波長変換素子４０２と第２の窓４０３とを加工すればよいので、低価格である。

【００４６】

次に、実施の形態２による波長変換装置４００の動作を説明する。

半導体レーザ等の光源（図示せず）が発する波長７８０ｎｍの基本波が、波長変換装置４００に入射される。基本波は、第１の反射防止膜４０１を介して第１の窓４０１へ入射する。次いで、基本波は、第１の高反射率膜４０５を透過した後、第２の反射防止膜４０６を介して波長変換素子４０２に入射する。波長変換素子４０２は、入射された基本波を波長３８０ｎｍの第２高調波に変換する。変換された第２高調波は、第３の反射防止膜４０７を介して第２の窓４０３へ入射する。

【００４７】

基本波と第２高調波の一部とは、第２の窓４０３の第２の高反射率膜４０８で反射される。反射された基本波と第２高調波の一部とは、再度、第２の反射防止膜４０６および第３の反射防止膜４０７を介して波長変換素子４０２を透過する。反射された基本波は、第１の高反射率膜４０５を透過して、波長変換装置４００から出射する。

第２高調波の一部は、第１の高反射率膜４０５で反射され、再度、波長変換素子４０２を透過する。このようにして第２高調波は、第１の窓４０１と第２の窓４０３との間で共振し、第２高調波の強度が増幅される。最終的に、増幅された第２高調波は、第２の高反射率膜４０８および第４の反射防止膜４０９を介して第２の窓４０３から出射する。

【００４８】

このようにして、第２高調波発生を利用した波長変換装置４００は、入射光を短波長化する。なお、実施の形態において、第１～第４の反射防止膜４０４、４０６、４０７、４０９、および、第１～第２の高反射率膜４０５、４０８の各波長に対する透過率または反

射率、ならびに、共振条件について詳述していないが、これらは設計に応じて適宜変更され得るものであり、当業者であれば容易に類推可能である。また、上述した基本波および第２高調波の波長は、一例に過ぎず、波長変換素子４０２の分極反転周期に応じて異なる波長の基本波を用いることができる。

【００４９】

なお、本発明による波長変換装置に和周波発生、差周波発生を適用してもよいことは言うまでもない。この場合、第１の窓、波長変換素子、および、第２の窓に適用される第１～第４の反射防止膜および第１～第２の高反射率膜の設計を変更するだけでよく、当業者であれば、上述した効果が得られることを理解する。

また、実施の形態では、内部共振型波長変換装置について詳述したが、本発明を外部共振型波長変換装置に適用してもよい。この場合も同様の効果が得られることを理解されたい。

【００５０】

また、実施の形態では、周期分極構造によって擬似位相整合された非線形光学単結晶を用いた波長変換装置について詳述してきたが、本発明を、特定の波長領域（例えば、近紫外から赤外）において良好な透過率特性を有する限り、複屈折整合によって位相整合された非線形光学単結晶にも適用してもよい。

【産業上の利用可能性】

【００５１】

以上、実施の形態を参照して詳述してきたように、本発明によれば、入射光を長波長化または短波長化する波長変換装置において、第１の窓と波長変換素子と第２の窓とに同一の材料を適用する。これにより、第１の窓の第１の反射防止膜と、波長変換素子の第２の反射防止膜または第３の反射防止膜と、第２の窓の第４の反射防止膜とは、同一および同条件のバッチ工程で堆積され得る。この結果、一波長変換装置の製造コストを低下することができる。また、第１の窓と波長変換素子と第２の窓とは、単結晶育成後の同一ロッドから加工され得るので、一波長変換装置に要する材料コストを低下することができる。したがって、本発明の波長変換装置は、多品種少量生産に適しており、かつ、安価である。

【図面の簡単な説明】

【００５２】

【図１】実施の形態１によるパラメトリック発振を利用した波長変換装置を示す模式図

【図２】本発明による窓材料の透過率特性を示す図

【図３】反射防止膜が堆積された本発明の窓材料の反射率特性を示す図

【図４】実施の形態２による第２高調波発生を利用した波長変換装置を示す模式図

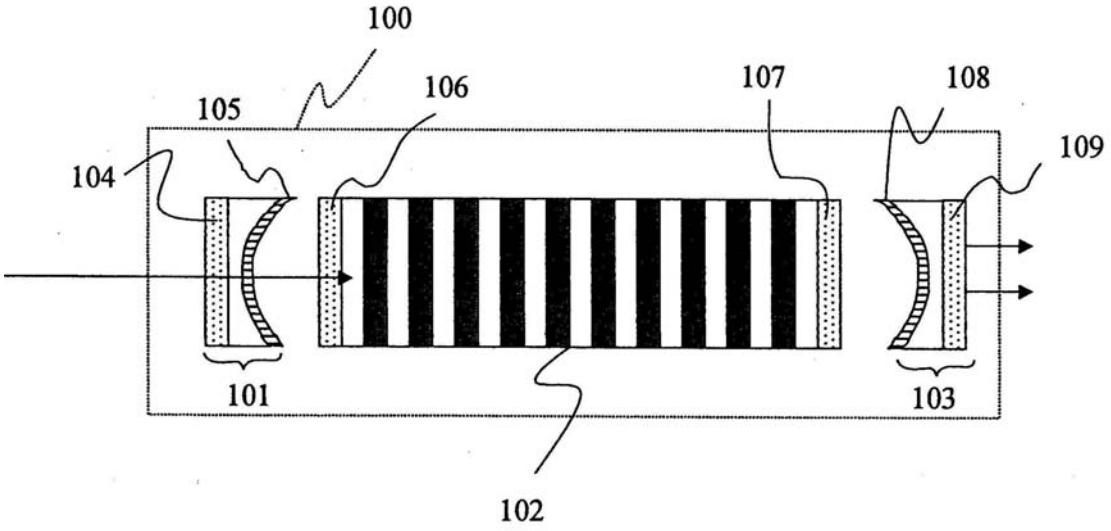
【図５】従来技術によるパラメトリック（ＯＰＯ）発振器を示す模式図

【符号の説明】

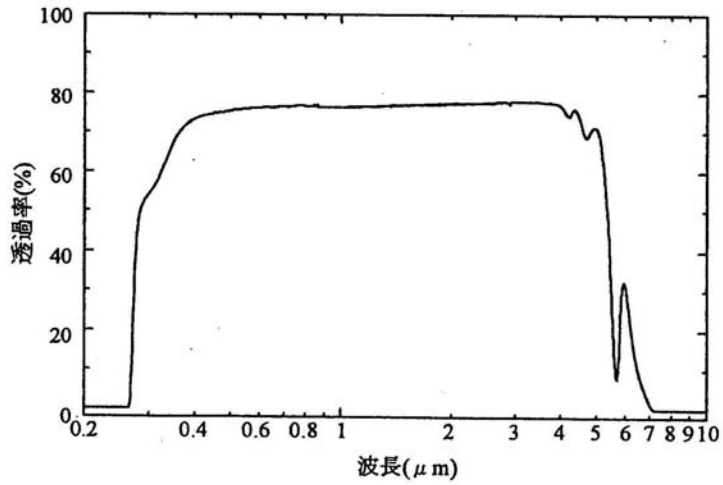
【００５３】

１００、４００　波長変換装置
１０１、４０１　第１の窓
１０２、４０２　波長変換素子
１０３、４０３　第２の窓
１０４、４０４　第１の反射防止膜
１０５、４０５　第１の高反射率膜
１０６、４０６　第２の反射防止膜
１０７、４０７　第３の反射防止膜
１０８、４０８　第２の高反射率膜
１０９、４０９　第４の反射防止膜

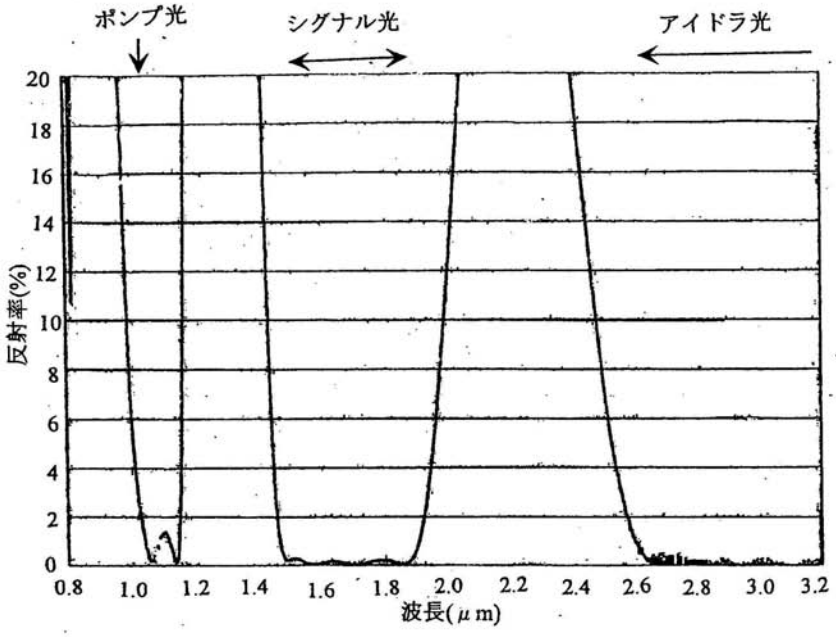
【図１】


100
105
106
107
108
109
104
101
103
102

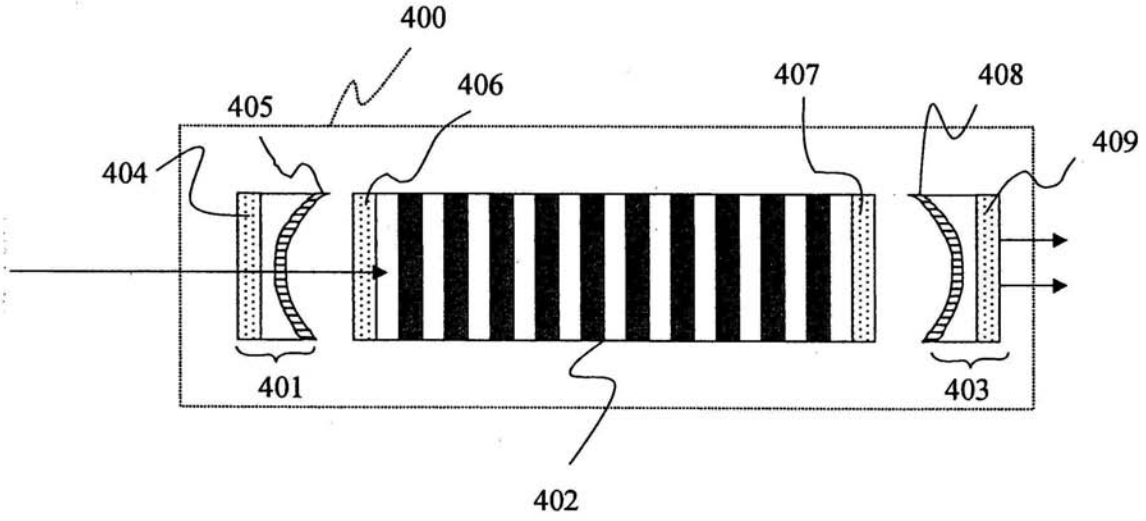
【図２】


100
80
60
40
20
0
透過率(%)
0.2
0.4
0.6
0.8
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
波長(μm)

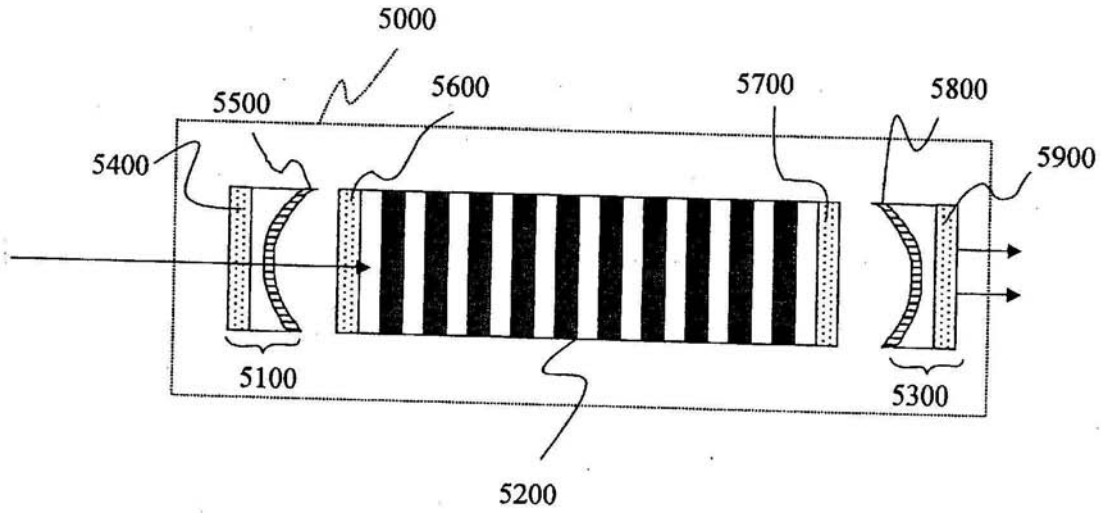
【図３】


ポンプ光
シグナル光
アイドラ光
反射率(%)
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
0.8
1.0
1.2
1.4
1.6
1.8
2.0
2.2
2.4
2.6
2.8
3.0
3.2
波長(μm)

【図４】


400
405
406
407
408
409
404
401
403
402

【図５】



従来技術

フロントページの続き

Ｆターム(参考) 2K002 AB12 BA01 CA03 DA01 EA03 EA21 FA27 HA20