(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2006 年6 月22 日 (22.06.2006)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2006/064939 A1

(51) 国際特許分類:
G02F 1/39 (2006.01) *G02F 1/37* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2005/023210

(22) 国際出願日: 2005 年12 月13 日 (13.12.2005)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2004-361867
2004 年12 月14 日 (14.12.2004) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立行政法人物質・材料研究機構 (**NATIONAL INSTITUTE FOR MATERIALS SCIENCE**) [JP/JP]; 〒3050047 茨城県つくば市千現１丁目２番１号 Ibaraki (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 栗村 直 (**KURIMURA, Sunao**) [JP/JP]; 〒3050047 茨城県つくば市千現１丁目２番１号 独立行政法人物質・材料研究機構内 Ibaraki (JP). 北村 健二 (**KITAMURA, Kenji**) [JP/JP]; 〒3050047 茨城県つくば市千現１丁目２番１号 独立行政法人物質・材料研究機構内 Ibaraki (JP).

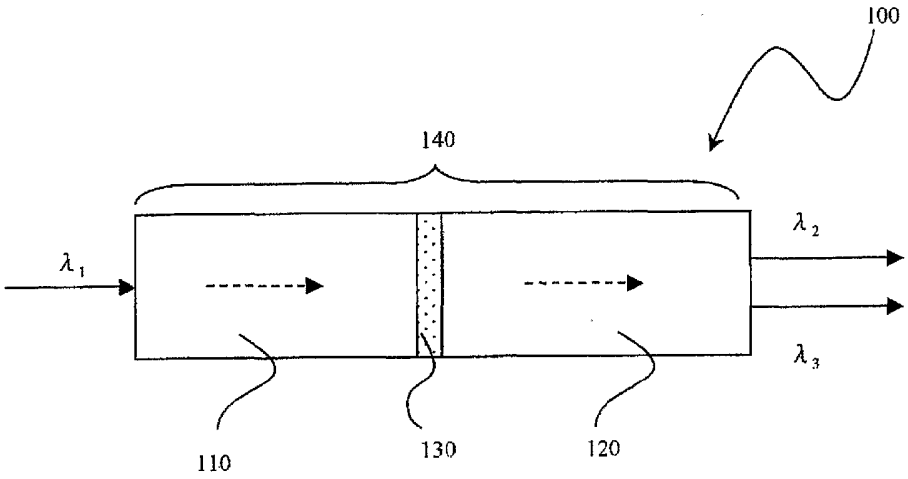
(74) 代理人: 松本 悟, 外 (**MATSUMOTO, Satoru et al.**); 〒1030027 東京都中央区日本橋３丁目２番１１号 北八重洲ビル３階 東京知財事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,

[続葉有]

(54) **Title:** WAVELENGTH CONVERSION ELEMENT SUPPRESSING LIGHT HAVING UNINTENDED WAVELENGTH

(54) 発明の名称: 意図しない波長を有する光を抑制した波長変換素子



(57) **Abstract:** A wavelength conversion element in which light having unintended wavelength (unwanted light) can be suppressed easily and the wavelength region of light obtained by wavelength conversion is not limited. The wavelength conversion element performing wavelength conversion of a first light (first wavelength λ_1) into a second light (second wavelength λ_2) and a third light (third wavelength λ_3) (satisfying a relation $1/\lambda_1=1/\lambda_2+1/\lambda_3$ ($\lambda_2<\lambda_3$)) includes at least one nonlinear optical single crystal and has at least one set of a first region, a second region and a phase regulation region. The phase regulation region including at least one polarization reversal region is located between the first region and the second region. The total length of polarization reversal widths of the polarization reversal regions corresponds to the least common multiple of the odd integral multiples of construction lengths of the respective nonlinear wavelength conversion processes generating at least one wavelength selected from a group consisting of $\lambda_1/2$, $(1/\lambda_1+1/\lambda_2)^{-1}$, $(1/\lambda_1+1/\lambda_3)^{-1}$, $(1/\lambda_1+(1/(\lambda_1/2))^{-1}$, $(1/\lambda_1+1/(\lambda_2/2))^{-1}$, and $(1/\lambda_1+1/(\lambda_3/2))^{-1}$.

(57) 要約: 意図しない波長を有する光（不要光）が、容易に抑制され、かつ、波長変換によって得られる光の波長領域に制限のない波長変換素子を提供する。 第１の光（第１の波長λ_1）を第２の光（第２の波長λ_2）と第３の光（第３の波長λ_3）とに波長変換する（関係１／λ_1＝１／λ_2＋１／λ_3（λ_2＜λ_3

[続葉有]

WO 2006/064939 A1

DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

２文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

）を満たす）波長変換素子は、少なくとも１つの非線形光学単結晶を含み、少なくとも一組の第１の領域と第２の領域と位相調整領域とを有する。少なくとも１つの分極反転領域を含む位相調整領域は、第１の領域と第２の領域との間に位置し、分極反転領域の分極反転幅の合計長は、λ_1／２、（１／λ_1＋１／λ_2）$^{-1}$、（１／λ_1＋１／λ_3）$^{-1}$、（１／λ_1＋（１／（λ_1/２））$^{-1}$、（１／λ_1＋１／（λ_2／２））$^{-1}$、および、（１／λ_1＋１／（λ_3／２））$^{-1}$からなる群から少なくとも１つ選択される波長を発生する非線形波長変換過程それぞれのコンストラクション長の奇数倍の最小公倍数に相当する。

明細書

意図しない波長を有する光を抑制した波長変換素子

技術分野

本発明は、非線形光学単結晶を用いた波長変換素子に関する。より詳細には、本発明は、意図しない波長を有する光の発生を抑制した、非線形光学単結晶を用いた波長変換素子に関する。

背景技術

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。

近年、例えば、光パラメトリック発振を利用した波長変換素子において、発振光（シグナル光およびアイドラ光）以外に意図しない波長を有する光が発生することが分かっている。

図５は、従来技術による光パラメトリック発振器によるポンプ光とシグナル光およびアイドラ光とのパワーを示す図である。

光パラメトリック発振器５０００（挿入図）は、化学量論組成のタンタル酸リチウム単結晶からなる。タンタル酸リチウム単結晶は、２６～３３μｍの範囲の周期を有する周期分極反転構造５１００を有している。このような光パラメトリック発振器５０００に、波長１．０６４μｍのポンプ光λｐを入射すると、ポンプ光λｐは、周期分極反転構造５１００の周期に応じてシグナル光λｓとアイドラ光λｉとに変換される。シグナル光λｓおよびアイドラ光λｉの波長は、それぞれ、１．５５μｍおよび３．３９μｍである。

しかしながら、図５に示されるように、これらシグナル光λｓおよびアイドラ光λｉ以外に、意図しない光（λ_Aおよびλ_B）の発生が確認された。それら意

図しない光λ_Aおよびλ_Bは、それぞれ、ポンプ光λpの第２高調波およびポンプ光λpとシグナル光λsとの和周波光である。ポンプ光λpの第２高調波は、５３２ｎｍの波長を有し、ポンプ光λpとシグナル光λsとの和周波光は、６３０ｎｍの波長を有する。この他の意図しない光の可能性として、ポンプ光λpとアイドラ光λiとの和周波光、ポンプ光λpとポンプ光λp、アイドラ光λiまたはシグナル光λsの第２高調波との和周波光があり得る。

また、これら組み合わせによって発生する意図しない光の他に、周期分極反転構造５１００の製造上のバラツキによって意図しない光が発生する場合があり得る。

図５に示されるように、意図しない光（以降では、これらを総称して不要光と呼ぶ）は、非線形光学単結晶の光損傷および熱レンズ効果の発生、変換効率の低下等の深刻な問題を引き起こし得る。

このような不要光の発生を抑えるための技術がある（例えば、特許文献１を参照）。

特許文献１：特開２００２－２５０９４８号公報

図６は、従来技術による不要光の発生を抑えた波長変換素子を示す図である。

波長変換素子６０００は、任意の強誘電体単結晶である。任意の強誘電体単結晶は分極反転構造６１００を有する。ここで、特定の強誘電体単結晶および特定の波長を有するポンプ光λpを用いて、不要光の発生を抑えて光パラメトリック発振させる場合の分極反転構造６１００の周期Λ_{OP}または分極反転比Ｒは、次の（１）または（２）のようにして決定される。

（１）不要光にとって高次の擬似位相整合条件を満たさないように、その高次の擬似位相整合条件を避けるように周期Λ_{OP}を選択する。詳細には、下記（ａ）の条件を満たし、かつ、条件（ｂ）～（ｄ）のうち少なくとも１つを満たすように、周期Λ_{OP}は決定される。

（ａ）ポンプ光λpと、光パラメトリック発振によって得られる２つの光のうちの１つの光とによって決定されるコヒーレンス長をＬａとし、次数をＭａとすると、$\Lambda_{OP}=2\times Ma\times La$である。

（ｂ）ポンプ光λpと、その第２高調波$\lambda p2$とによって決定されるコヒーレン

ス長をＬｐ２とし、次数をＭｐ２とすると、$\Lambda_{OP} \neq 2 \times Mp2 \times Lp2$である。

（ｃ）ポンプ光λｐと、光パラメトリック発振によって得られる２つの光のうちの１つの光との和周波光をλｐｓとし、ポンプ光λｐと和周波光λｐｓとによって決定されるコヒーレンス長をＬｐｓとし、次数をＭｐｓとすると、$\Lambda_{OP} \neq 2 \times Mps \times Lps$である。

（ｄ）ポンプ光λｐと、光パラメトリック発振によって得られる２つの光のうちの１つの光の第２高調波λｓ２との和周波光をλｐｓ２とし、ポンプ光λｐと和周波光λｐｓ２とによって決定されるコヒーレンス長をＬｐｓ２とし、次数をＭｐｓ２とすると、$\Lambda_{OP} \neq 2 \times Mps2 \times Lps2$である。

ここで、条件（ｂ）～（ｄ）のうち少なくとも１つを満たすことによって、不要光にとっての高次の擬似位相整合条件を避けることができる。この状態で条件（ａ）を満たせば、上記高次の擬似位相整合条件を避けた範囲から分極反転周期Λ_{OP}選択することができる。この結果、不要光の発生を抑え、かつ、所望の光のみを発生させることができる。

（２）不要光を発生させる高次の擬似位相整合条件を満たす次数（この次数は、所望の光を発生させる擬似位相整合条件を満たす次数とは異なる値である）を求め、不要光の変換効率が理論上ゼロとなり、所望の光の変換効率が高くなる分極反転比率Ｒを決定する。詳細には、上記（ａ）の条件を満たし、かつ、下記条件（ｅ）～（ｇ）のうち少なくとも１つを満たすように、周期Λ_{OP}を決定する。

次いで、選択された条件（ｅ）～（ｇ）において変換効率が理論上ゼロとなるように分極反転比率Ｒを決定する。

（ｅ）ポンプ光λｐと、その第２高調波λｐ２とによって決定されるコヒーレンス長をＬｐ２とし、次数をＭｐ２とすると、$\Lambda_{OP} = 2 \times Mp2 \times Lp2$である。

（ｆ）ポンプ光λｐと、光パラメトリック発振によって得られる２つの光のうちの１つの光との和周波光をλｐｓとし、ポンプ光λｐと和周波光λｐｓとによって決定されるコヒーレンス長をＬｐｓとし、次数をＭｐｓとすると、$\Lambda_{OP} = 2 \times Mps \times Lps$である。

（ｇ）ポンプ光λｐと、光パラメトリック発振によって得られる２つの光のうちの１つの光の第２高調波λｓ２との和周波光をλｐｓ２とし、ポンプ光λｐと和

周波光λｐｓ２とによって決定されるコヒーレンス長をＬｐｓ２とし、次数をＭｐｓ２とすると、Λ_{OP}＝２×Ｍｐｓ２×Ｌｐｓ２である。

ここで、条件（ａ）かつ条件（ｅ）～（ｇ）のうち少なくとも１つを満たせば、所望の光を発生し、かつ、不要光を発生する分極反転周期Λ_{OP}とともに、それぞれの次数が得られる。次いで、不要光の変換効率が理論上ゼロになる分極反転比Ｒを求めることで、所望の光のみを発生させることができる。

このように、図６によれば、不要光が発生しにくいように分極反転構造６１００の周期または分極反転比が決定されるので、所望の光のみを得ることができる。

発明の開示

発明が解決しようとする課題

しかしながら、特許文献１に記載される上記（１）の技術では、不要光が発生し得る波長を避けて分極反転周期Λ_{OP}が決定されるため、得られる所望の光の波長領域が制限されてしまう。

一方、特許文献１に記載される上記（２）の技術では、得られる波長領域に制限はないものの、分極反転構造６１００を形成する際に、決定された分極反転比Ｒに応じた分極反転領域の微細制御が困難であり得る。

したがって、本発明の課題は、意図しない波長を有する光（不要光）が、容易に抑制され、かつ、波長変換によって得られる光の波長領域に制限のない波長変換素子を提供することである。

課題を解決するための手段

上記課題を解決するために本発明においては、以下の手段を採用する。

①本発明による第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の光と第３の波長λ_3を有する第３の光とに波長変換する波長変換素子であって、ここで、第１の波長λ_1と第２の波長λ_2と第３の波長λ_3とは、関係$1/\lambda_1 = 1/\lambda_2 + 1/\lambda_3$（$\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$）を満たし、前記波長変換素子は少なくとも１つの非線形光学単結晶を含み、前記波長変換素子は、少なくとも一組の

第１の領域と第２の領域と位相調整領域とを有し、前記位相調整領域は、前記第１の領域と前記第２の領域との間に位置し、少なくとも１つの分極反転領域を含み、前記少なくとも１つの分極反転領域の分極反転幅それぞれの合計長は、波長$\lambda_1/2$、波長$(1/\lambda_1+1/\lambda_2)^{-1}$、波長$(1/\lambda_1+1/\lambda_3)^{-1}$、波長$(1/\lambda_1+(1/(\lambda_1/2))^{-1}$、波長$(1/\lambda_1+1/(\lambda_2/2))^{-1}$、および、波長$(1/\lambda_1+1/(\lambda_3/2))^{-1}$からなる群から少なくとも１つ選択される波長を有する非線形波長変換過程それぞれのコンストラクション長の奇数倍の最小公倍数に相当し、これにより上記目的を達成する。

②前記少なくとも１つの非線形光学単結晶は、実質的に定比組成のニオブ酸リチウムまたはタンタル酸リチウムであってもよい。

③前記実質的に定比組成のニオブ酸リチウムまたはタンタル酸リチウムは、Ｍｇ、Ｚｎ、ＳｃおよびＩｎからなる群から選択される元素を０．１～３．０ｍｏｌ％含んでもよい。

④前記第１の領域と前記第２の領域とは周期分極反転領域であってもよい。

⑤前記第１の波長λ_1が１．０６４μｍであり、前記第２の波長λ_2が１．５５μｍであり、前記第３の波長λ_3が３．３９μｍである場合、前記分極反転幅は１．０５、２．４、４、６．７、７．３、および、１１．８μｍからなる群から少なくとも１つ選択されてもよい。

⑥本発明による第１の波長λ_1を有する第１の光と第２の波長λ_2を有する第２の光とを、第３の波長λ_3を有する第３の光に波長変換する波長変換素子であって、ここで、第１の波長λ_1と第２の波長λ_2と第３の波長λ_3とは、関係$1/\lambda_3=1/\lambda_1\pm1/\lambda_2$を満たし、前記波長変換素子は、少なくとも１つの非線形光学単結晶を含み、少なくとも一組の第１の領域と第２の領域と位相調整領域とを有し、前記位相調整領域は、前記第１の領域と前記第２の領域との間に位置し、少なくとも１つの分極反転領域を含み、前記少なくとも１つの分極反転領域の分極反転幅それぞれの合計長は、波長$\lambda_1/2$、波長$\lambda_2/2$、波長$(1/\lambda_1+1/\lambda_3)^{-1}$、波長$(1/\lambda_2+1/\lambda_3)^{-1}$、波長$(1/\lambda_1+1/(\lambda_1/2))^{-1}$、波長$(1/\lambda_1+1/(\lambda_2/2))^{-1}$、波長$(1/\lambda_1+1/(\lambda_3/2))^{-1}$、波長$(1/\lambda_2+1/(\lambda_1/2))^{-1}$、波長$(1/\lambda_2+1/(\lambda_2/2))^{-1}$、お

よび、波長（$1/\lambda_2 + 1/(\lambda_3/2)$）$^{-1}$からなる群から少なくとも１つ選択される波長を有する非線形波長変換過程それぞれのコンストラクション長の奇数倍の最小公倍数に相当し、これにより上記目的を達成する。

⑦第１の波長λ_1と第２の波長λ_2と第３の波長λ_3とが、関係$1/\lambda_3 = 1/\lambda_1 + 1/\lambda_2$を満たす場合、関係$\lambda_1 > \lambda_3$および関係$\lambda_2 > \lambda_3$であってもよい。

⑧第１の波長λ_1と第２の波長λ_2と第３の波長λ_3とが、関係$1/\lambda_3 = 1/\lambda_1 - 1/\lambda_2$を満たす場合、関係$\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$であってもよい。

⑨前記少なくとも１つの非線形光学単結晶は、実質的に定比組成のニオブ酸リチウムまたはタンタル酸リチウムであってもよい。

⑩前記実質的に定比組成のニオブ酸リチウムまたはタンタル酸リチウムは、Ｍｇ、Ｚｎ、ＳｃおよびＩｎからなる群から選択される元素を０．１～３．０ｍｏｌ％含んでもよい。

⑪前記第１の領域と前記第２の領域とは周期分極反転領域であってもよい。

発明の効果

本発明によれば、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の光と第３の波長λ_3を有する第３の光とに波長変換し、ここで、第１の波長λ_1と第２の波長λ_2と第３の波長λ_3とは、関係$1/\lambda_1 = 1/\lambda_2 + 1/\lambda_3$（$\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$）を満たす波長変換素子を提供する。波長変換素子は少なくとも１つの非線形光学単結晶を含む。このように、複数の非線形光学単結晶を組み合わせて構成することができるので、広くユーザの要求に応じることができる。

波長変換素子は、少なくとも一組の第１の領域と第２の領域と位相調整領域とを有する。位相調整領域は、第１の領域と第２の領域との間に位置しており、少なくとも１つの分極反転領域を含む。分極反転領域それぞれの分極反転幅の合計長が、意図しない波長を有する非線形波長変換過程のコンストラクション長の奇数倍に相当するため、第１の領域で発生した意図しない波長を有する光と、第２の領域で発生した意図しない波長を有する光とが、位相調整領域を介してそれぞれ逆位相となり得る。その結果、意図しない波長を有する光が波長変換素子から

発生するのを抑制することができる。

ここで、意図しない非線形波長変換過程の波長とは、波長$\lambda_1/2$、波長$(1/\lambda_1+1/\lambda_2)^{-1}$、波長$(1/\lambda_1+1/\lambda_3)^{-1}$、波長$(1/\lambda_1+(1/(\lambda_1/2))^{-1}$、波長$(1/\lambda_1+1/(\lambda_2/2))^{-1}$、および、波長$(1/\lambda_1+1/(\lambda_3/2))^{-1}$からなる群から少なくとも１つ選択される波長である。

意図しない波長を有する非線形波長変換過程それぞれのコンストラクション長の奇数倍の最小公倍数に相当する分極反転幅を有する分極反転領域を少なくとも１つ形成すればよいので、高度な技術を必要としない。

図面の簡単な説明

図１は、本発明の実施の形態１による波長変換素子を示す図である。

図２は、本発明の実施の形態１によるさらに別の波長変換素子を示す図である。

図３は、本発明の実施の形態２による波長変換素子と、波長変換素子の不要光の発生とを示す図である。

図４は、実施例１および比較例１による波長変換素子におけるポンプ光と不要光とのパワーの関係を示す図である。

図５は、従来技術による光パラメトリック発振器によるポンプ光とシグナル光およびアイドラ光とのパワーを示す図である。

図６は、従来技術による不要光の発生を抑えた波長変換素子を示す図である。

(符号の説明)

１００、２００、３００　波長変換素子

１１０　第１の領域

１２０　第２の領域

１３０、２１０、３２０、３２１、３２２、３２３　位相調整領域

１４０、２２０、３１０、３１１、３１２、３１３、３４０、３４１、３５０　一組

発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。同様の要素には同一の参照符号を付し、その説明を省略する。

（実施の形態１）

図１は、本発明の実施の形態１による波長変換素子を示す図である。

波長変換素子１００は、少なくとも１つの非線形光学単結晶を含む。非線形光学単結晶は、例えば、ベータバリウムボレイト（ＢＢＯ）、リチウムトリボレート（ＬＢＯ）、ポタジウムタイタニルフォスフェイト（ＫＴＰ）、実質的に定比組成のニオブ酸リチウム（ＳＬＮ）、実質的に定比組成のタンタル酸リチウム（ＳＬＴ）、Ｍｇ、Ｚｎ、ＩｎおよびＳｃからなる群から選択される元素を０．１～３．０ｍｏｌ％ドープしたＳＬＴ、および、Ｍｇ、Ｚｎ、ＩｎおよびＳｃからなる群から選択される元素を０．１～３．０ｍｏｌ％ドープしたＳＬＮ等であり得るが、これらに限定されない。

なお、本明細書に記載のＳＬＮにおいて、実質的に「定比組成である」とは、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／（Nb_2O_5＋Li_2O）のモル分率＝０．４９５～０．５）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。

同様に、ＳＬＴにおいて、実質的に「定比組成である」とは、Li_2O／（Ta_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）のモル分率＝０．４９５～０．５）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。

波長変換素子１００は、第１の領域１１０と第２の領域１２０と位相調整領域１３０とからなる一組１４０を含む。第１の領域１１０と第２の領域１２０とは、

波長変換素子１１０に入射する光に対して複屈折整合または擬似位相整合のいずれかを満たす。詳細には、第１の領域１１０と第２の領域１２０とは、波長変換素子１１０に入射する第１の波長λ_1を有する第１の光（ポンプ光とも呼ぶ）を、第２の波長λ_2を有する第２の光（シグナル光とも呼ぶ）と第３の波長λ_3を有する第３の光（アイドラ光とも呼ぶ）とに波長変換するように位相整合されている。

ここで、第１の波長λ_1と第２の波長λ_2と第３の波長λ_3とは、関係$1/\lambda_1 = 1/\lambda_2 + 1/\lambda_3$（$\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$）を満たす。

第１の領域１１０と第２の領域１２０とが、複屈折整合を満たす場合、選択された非線形光学単結晶に応じて単結晶の切断面および研磨面を適宜選択すればよい。第１の領域１１０と第２の領域１２０とが、擬似位相整合を満たす場合、選択された非線形光学単結晶に所定の周期を有する周期分極反転構造を形成すればよい。

位相調整領域１３０は、第１の領域１１０と第２の領域１２０との間に位置する。第１の領域１１０および第２の領域１２０で発生し得る不要光には、ポンプ光の第２高調波、ポンプ光とシグナル光との和周波光、ポンプ光とアイドラ光との和周波光、ポンプ光とポンプ光の第２高調波との和周波光、ポンプ光とシグナル光の第２高調波との和周波光、ポンプ光とアイドラ光の第２高調波との和周波光とがあり得る。不要光の波長は、それぞれ、波長$\lambda_1/2$、波長$(1/\lambda_1 + 1/\lambda_2)^{-1}$、波長$(1/\lambda_1 + 1/\lambda_3)^{-1}$、波長$(1/\lambda_1 + 1/(\lambda_1/2))^{-1}$、波長$(1/\lambda_1 + 1/(\lambda_2/2))^{-1}$、および、波長$(1/\lambda_1 + 1/(\lambda_3/2))^{-1}$である。不要光は、上記に限定されず、ポンプ光、シグナル光、または、アイドラ光の組み合わせによって生じる任意の第２高調波および和周波光、ならびに、それらの組み合わせによって生じる第２高調波および和周波光が挙げられるが、実用上問題となる不要光は上述した組み合わせであり得る。

位相調整領域１３０は、１つの分極反転領域を含む。その１つの分極反転領域の分極反転幅は、上述の不要光の波長から少なくとも１つ選択された波長を発生する非線形波長変換過程のコンストラクション長に等しい。例えば、ポンプ光の第２高調波のみが不要光として発生している場合、位相調整領域１３０は、波長

λ_1／２を発生する非線形波長変換過程のコンストラクション長に相当する分極反転幅を有する、１つの分極反転領域である。この場合の位相調整領域１３０の幅（すなわち上記コンストラクション長）は、選択された非線形光学単結晶に応じて決定されることに留意されたい。

なお、本明細書において、「コンストラクション長」とは、非線形光学材料の各点で発生した光（例えば、第２高調波）の強度が建設的（加算的）に足し合わせる距離を意味している。このようなコンストラクション長は、非線形光学材料の異なる２点で発生した光（例えば、第２高調波）それぞれの位相差がπとなる２点間の距離を意図したコヒーレンス長に等しい。

ポンプ光の第２高調波に加えて、ポンプ光とシグナル光との和周波光とが不要光として発生している場合、位相調整領域１３０は、波長λ_1／２を発生する非線形波長変換過程のコンストラクション長の奇数倍と、波長$(1/\lambda_1+1/\lambda_2)^{-1}$を発生する非線形波長変換過程のコンストラクション長の奇数倍との最小公倍数に相当する分極反転幅を有する１つの分極反転領域を含む。このように、位相調整領域１３０の分極反転領域の分極反転幅は、抑制されるべき少なくとも１つの不要光を発生する非線形波長変換過程それぞれのコンストラクション長の奇数倍の最小公倍数に依存するが、１つの分極反転領域を設けるだけでよい。

なお、第１の領域１１０と第２の領域１２０とが周期分極反転構造を有している場合、これらの周期は、位相調整領域１３０の幅を考慮して算出され得ることに留意されたい。第１の領域１１０と第２の領域１２０との周期とは異なっていてもよい。また、第１の領域１１０と第２の領域１２０と位相調整領域１３０との材料は、必ずしも同一の非線形光学単結晶である必要はなく、異なる非線形光学単結晶を組み合わせて用いてもよい。これによりユーザの要求に広く応じることができる。

位相調整領域１３０は、第１の領域１１０と第２の領域１２０との間に設けられるため、第１の領域１１０で発生した不要光の位相と、第２の領域１２０で発生した不要光の位相とは、半波長だけずれている。この結果、第１の領域１１０で発生した不要光と第２の領域１２０で発生した不要光とは打ち消しあい、消滅し得る。このようにして、本発明による波長変換素子１００は、第１の領域１１

０と第２の領域１２０と位相調整領域１３０とからなる一組１４０によって不要光が抑制される。

本発明によれば、発生した不要光を位相調整領域１３０において消滅させるので、発振を制限する波長領域がない。したがって、波長変換素子１００の設計に有利であり得る。

次に、このような波長変換素子１００を用いた波長変換動作を説明する。ここでは、位相調整領域１３０は、不要光としてポンプ光の第２高調波を抑制するように形成された１つの分極反転領域であるものとする。

ＹＡＧレーザ、半導体レーザ等の任意の光源から発生された第１の波長λ_1を有する第１の光（ポンプ光）が波長変換素子１００に入射する。ポンプ光は、波長変換素子１００の第１の領域１１０において第２の光（シグナル光）と第３の光（アイドラ光）とに波長変換される。同時に、第１の領域１１０で発生した不要光Ａとしてポンプ光の第２高調波が発生し得る。

シグナル光、アイドラ光および不要光Ａは、位相調整領域１３０を通過し、第２の領域１２０に入射する。位相調整領域１３０は、図１を参照して上述したように、不要光（ポンプ光の第２高調波）を発生する非線形波長変換過程のコンストラクション長に相当する分極反転幅を有する分極反転領域である。

シグナル光、アイドラ光および不要光Ａは、第２の領域１２０を通過する。ここで、第２の領域１２０においても同様に不要光Ｂ（ここでは、ポンプ光の第２高調波）が発生する。この不要光Ｂは、位相調整領域１３０によってコンストラクション長だけずれたポンプ光の第２高調波であるため、不要光Ａとは半波長（すなわち、π）位相がずれることになる。この結果、第１の領域１１０で発生した不要光Ａと、第２の領域１２０で発生した不要光Ｂとは、打ち消しあい、消失し得る。最終的に、シグナル光および／またはアイドラ光が波長変換素子１１０から出射する。

以上説明してきたように、本発明による波長変換素子１００は、不要光を抑制するので、不要光による損失が低減し得る。その結果、光損傷および熱レンズ効果が発生しない、高効率の波長変換素子１００が提供され得る。

なお、波長変換素子１００の第１の領域１１０のポンプ光の入射面、および、

第２の領域１２０のシグナル光および／またはアイドラ光の出射面に反射防止膜を適宜設けてもよい。また、波長変換素子１００の両端にミラーを設け、波長変換素子１００を共振器として用いてもよい。このような反射防止膜、ミラーの設計は、当業者であれば適宜類推可能である。

図１では、位相調整領域１３０に分極反転領域を形成することによって、不要光の位相変調を行ったが、位相調整領域１３０の複屈折を利用することによって不要光の位相変調を行ってもよい。この場合、位相調整領域１３０は、少なくとも１つの非線形光学単結晶を含み、その少なくとも１つの非線形光学単結晶のそれぞれは、不要光それぞれの位相を半波長だけずらすように、切断面、研磨面等が調整され得る。

図１を参照して、波長変換素子１００が光パラメトリック発振をする場合を説明してきたが、波長変換素子１００は光パラメトリック発振に限定されない。例えば、本発明による波長変換素子１００は、和周波発生および差周波発生にも適用可能である。

本発明による波長変換素子１００を用いて和周波発生させる場合、第１の領域１１０と第２の領域１２０とは、波長変換素子１１０に入射する第１の波長λ_1を有する第１の光と、第２の波長λ_2を有する第２の光とを、第３の波長λ_3を有する第３の光に波長変換するように位相整合されている。ここで、第１の波長λ_1と第２の波長λ_2と第３の波長λ_3とは、関係$1/\lambda_3 = 1/\lambda_1 + 1/\lambda_2$を満たす（ただし、$\lambda_1 > \lambda_3$および$\lambda_2 > \lambda_3$）。

和周波発生させる場合に生じる不要光は、第１の光の第２高調波、第２の光の第２高調波、第１の光と第３の光との和周波光、第２の光と第３の光との和周波光、第１の光と第１の光の第２高調波との和周波光、第１の光と第２の光の第２高調波との和周波光と、第１の光と第３の光の第２高調波との和周波光と、第２の光と第１の光の第２高調波との和周波光と、第２の光と第２の光の第２高調波との和周波光、第２の光と第３の光の第２高調波との和周波光とが挙げられるが、これらに限定されない。

上述した不要光の波長は、それぞれ、波長$\lambda_1/2$、波長$\lambda_2/2$、波長$(1/\lambda_1 + 1/\lambda_3)^{-1}$、波長$(1/\lambda_2 + 1/\lambda_3)^{-1}$、波長$(1/\lambda_1 + 1/(\lambda_1$

／２））$^{-1}$、波長（１／λ_1＋１／（λ_2／２））$^{-1}$、波長（１／λ_1＋１／（λ_3／２））$^{-1}$、波長（１／λ_2＋１／（λ_1／２））$^{-1}$、波長（１／λ_2＋１／（λ_2／２））$^{-1}$、および、波長（１／λ_2＋１／（λ_3／２））$^{-1}$である。

不要光は、上記に限定されず、第１の光、第２の光、または、第３の光の組み合わせによって生じる任意の第２高調波および和周波光、ならびに、それらの組み合わせによって生じる第２高調波および和周波光が挙げられるが、実用上問題となる不要光は上述した組み合わせであり得る。

和周波発生させる場合に生じる不要光を抑制するための位相調整領域１３０は、上述の不要光の波長から少なくとも１つ選択された波長を発生させる非線形波長変換過程それぞれのコンストラクション長の奇数倍の最小公倍数に等しい分極反転幅を有する１つの分極反転領域であればよい。

一方、本発明による波長変換素子１００を用いて差周波発生させる場合、第１の領域１１０と第２の領域１２０とは、波長変換素子１１０に入射する第１の波長λ_1を有する第１の光と、第２の波長λ_2を有する第２の光とを、第３の波長λ_3を有する第３の光に波長変換するように位相整合されている。ここで、第１の波長λ_1と第２の波長λ_2と第３の波長λ_3とは、関係１／λ_3＝１／λ_1－１／λ_2を満たす（ただし、$\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$）。

差周波発生させる場合に生じる、実用上問題となり得る不要光は、和周波発生させる場合に生じる不要光と同様であり得る。したがって、差周波発生させる場合に生じる不要光を抑制するための位相調整領域１３０は、上述の不要光の波長から少なくとも１つ選択された波長を有する光を発生させる非線形波長変換過程それぞれのコンストラクション長の奇数倍の最小公倍数に等しい分極反転幅を有する１つの分極反転領域であればよい。

図１を参照して、波長変換素子１００の位相調整領域１３０が１つの分極反転領域からなる場合を示してきたが、本発明はこの構成に限定されない。図２を参照して、位相調整領域が複数の分極反転領域を含む場合を説明する。

図２は、本発明の実施の形態１によるさらに別の波長変換素子を示す図である。

波長変換素子２００は、波長変換素子１００（図１）と同様に少なくとも１つ

の非線形光学単結晶を含む。波長変換素子２００は、第１の領域１１０と第２の領域１２０と位相調整領域２１０とからなる一組２２０を含む。第１の領域１１０および第２の領域１２０は、図１と同様であるため説明を省略する。

位相調整領域２１０は、図１と同様に第１の領域１１０と第２の領域１２０との間に位置する。第１の領域１１０および第２の領域１２０で発生し得る不要光は、上述した通りである。

位相調整領域２１０は、第１の分極反転領域２３０と、第２の分極反転領域２４０と非分極反転領域２５０とを含む。第１の分極反転領域２３０の幅d_1と、第２の分極反転領域２４０の幅d_2との合計長は、不要光を発生する非線形波長変換過程のコンストラクション長に等しい。つまり、第１の分極反転領域２３０の幅d_1と第２の分極反転領域２４０の幅d_2とは、これら合計長がコンストラクション長になる限り任意の幅を有し得る。

不要光が複数ある場合には、これら合計長は、それら不要光を発生する非線形波長変換過程それぞれのコンストラクション長の奇数倍の最小公倍数になる。非分極反転領域２５０の幅は、任意であり得る。なお、分極反転領域の数は、２つに限定されない。分極反転領域は、それら分極反転領域の合計長が、少なくとも１つの不要光を発生する非線形波長変換過程それぞれのコンストラクション長の奇数倍の最小公倍数になる限り、いくつ設けてもよい。

このように位相調整領域２１０に任意の数の分極反転領域を設けることができるので、不要光の抑制に対する微調整が容易であり得る。また、波長変換素子のパターンの設計において高い自由度を持たせることができる。なお、波長変換素子２００における不要光の抑制動作も波長変換素子１００（図１）のそれと同様であるため説明を省略する。

図１および図２を参照して、波長変換素子１００および２００が、第１の領域１１０と第２の領域１２０と位相調整領域１３０および２１０とからなる１つの組１４０および２２０を有する場合を示してきたが、本発明はこの構成に限定されない。図３を参照して、波長変換素子が複数組を有する場合を説明する。

（実施の形態２）

図３は、本発明の実施の形態２による波長変換素子と、波長変換素子の不要光の発生とを示す図である。

波長変換素子３００の不要光の発生を示す図は、波長変換素子３００の各領域において不要光の発生効率が異なっていることを示す。これは、波長変換素子３００の製造上のバラツキによるものである。「製造上のバラツキ」とは、周期分極反転構造の分極反転幅のバラツキ、分極反転比のバラツキ、または、波長変換素子３００を構成する非線形光学単結晶の材質のバラツキを意図する。

波長変換素子３００は、第１の領域、第２の領域および位相調整領域からなる一組３１０、３１１、３１２および３１３を有する。それぞれの組の間には、さらなる位相調整領域３２０、３２１、３２２および３２３が位置する。これら一組３１０、３１１、３１２および３１３は、図１または図２を参照して説明した一組１４０または２２０と同様であり得る。

このように、各組における分極反転構造のバラツキの標準偏差が同程度になるように、波長変換素子３００に複数の組３１０、３１１、３１２および３１３を設計してもよい。この結果、波長変換素子３００は安定に不要光を抑制することができる。

また、組３１０を第１の領域とみなし、組３１１を第２の領域とみなすと、組３１０、３１１および位相調整領域３２０からなる組３４０において、組３１０および組３１１で発生する不要光を抑制することができる。同様に、組３１２を第１の領域とみなし、組３１３を第２の領域とみなすと、組３１２、３１３および位相調整領域３２２からなる組３４１において、組３１２および組３１３で発生する不要光を抑制することができる。さらに、組３４０を第１の領域とみなし、組３４１を第２の領域とみなすと、組３４０、３４１および位相調整領域３２１からなる組３５０において、組３４０および組３４１で発生する不要光を抑制することができる。

以下同様にして、本発明によれば、第１の領域１１０（図１または図２）と第２の領域１２０（図１または図２）と位相調整領域１３０（図１）または２１０（図２）とからなる最小の組１４０（図１）または２２０（図２）の組み合わせ

によって、階層的に不要光を抑制することができる。このような階層構造が可能であることによって、任意の不要光を容易に抑制することができるとともに、波長変換素子の設計に有利であり得る。

（実施例１）

再度図１を参照する。波長変換素子１００の非線形光学単結晶として、ＳＬＴを用いた。電界印加法を用いて、第１の領域１１０に周期３０μｍを有する周期分極反転領域を、第２の領域１２０に周期３０μｍを有する周期分極反転領域を、位相調整領域１３０に分極反転幅４μｍを有する１つの分極反転領域を形成した。この位相調整領域１３０は、波長１．０６４μｍを有する光に対して擬似位相整合するとともに、波長１．０６４μｍの第２高調波５３２ｎｍの光のコヒーレント長に相当する。第１の領域１１０、第２の領域１２０および位相調整領域１３０から得られる全体の平均周期は、３０．４μｍであった。波長変換素子１００の素子長は、３５ｍｍであった。

このようにして得られた波長変換素子１００に、第１の波長$\lambda_1$１．０６４μｍを有する第１の光（ポンプ光）を入射させ、光パラメトリック発振させた。結果を図４に示し、後述する。

（比較例１）

位相調整領域１３０を有さないことを除いて実施例１と同様であるため、説明を省略する。実施例１と同様に、作製された波長変換素子に第１の波長$\lambda_1$１．０６４μｍを有する第１の光（ポンプ光）を入射させ、光パラメトリック発振させた。結果を図４に示す。

図４は、実施例１および比較例１による波長変換素子におけるポンプ光と不要光とのパワーの関係を示す図である。

実施例１および比較例１の波長変換素子を光パラメトリック発振させたところ、いずれも第２の波長$\lambda_2$１．５５μｍを有する第２の光（シグナル光）と第３の波長$\lambda_3$３．３９μｍを有する第３の光（アイドラ光）とが観察された（図

を明瞭にするため、シグナル光とアイドラ光とのパワーを省略する)。比較例１の波長変換素子からポンプ光の第２高調波である波長５３２ｎｍの不要光が観察された（図４の黒丸)。一方、実施例１の波長変換素子からは、わずかながら不要光が観察されたものの、比較例１に比べて顕著な減少を示した。また、観察された不要光はデバイスの実用に問題となる程度ではなかった（図４の白丸)。これにより、位相調整領域１３０を設けた本発明による波長変換素子は、不要光を抑制することができることが示された。

なお、波長変換素子１００の非線形光学単結晶として、ＳＬＮ、ＳＬＴ、Ｍｇ、Ｚｎ、ＳｃおよびＩｎからなる群から選択される元素を０．１～３．０ｍｏｌ％含む、ＳＬＮまたはＳＬＴを用い、かつ、第１の波長$\lambda_1$１．０６４μｍを有する第１の光（ポンプ光）を波長変換素子１００に入射させて光パラメトリック発振させる場合、位相調整領域１００に、

・波長$(1/\lambda_1+1/\lambda_2)^{-1}$（すなわち、ポンプ光とシグナル光との和周波光）を有する不要光を発生する非線形波長変換過程のコンストラクション長に相当する分極反転幅６．７μｍの分極反転領域を形成すれば、上記不要光を消失させることができ、

・波長$(1/\lambda_1+1/\lambda_3)^{-1}$（すなわち、ポンプ光とアイドラ光との和周波光）を有する不要光を発生する非線形波長変換過程のコンストラクション長に相当する分極反転幅１１．８μｍの分極反転領域を形成すれば、上記不要光を消失させることができ、

・波長$(1/\lambda_1+1/(\lambda_1/2))^{-1}$（すなわち、ポンプ光とポンプ光の第２高調波との和周波光）を有する不要光を発生する非線形波長変換過程のコンストラクション長に相当する分極反転幅１．０５μｍの分極反転領域を形成すれば、上記不要光を消失させることができ、

・波長$(1/\lambda_1+1/(\lambda_2/2))^{-1}$（すなわち、ポンプ光とシグナル光の第２高調波との和周波光）を有する不要光を発生する非線形波長変換過程のコンストラクション長に相当する分極反転幅２．４μｍの分極反転領域を形成すれば、上記不要光を消失させることができ、

・波長$(1/\lambda_1+1/(\lambda_3/2))^{-1}$（すなわち、ポンプ光とアイドラ光の第

２高調波との和周波光）を有する不要光を発生する非線形波長変換過程のコンストラクション長に相当する分極反転幅７．３μｍの分極反転領域を形成すれば、上記不要光を消失させることができる。

これらの分極反転幅を有する分極反転領域を位相調整領域１３０に組み合わせて形成してもよいし、単独で形成してもよい。

産業上の利用可能性

以上説明してきたように、本発明による波長変換素子は、少なくとも一組の第１の領域と第２の領域と位相調整領域とを有し、少なくとも１つの分極反転領域を含む位相調整領域は、第１の領域と第２の領域との間に位置する。分極反転幅が、不要光を発生する非線形波長変換過程のコンストラクション長に相当するため、第１の領域で発生した不要光の位相と、第２の領域で発生した不要光の位相とが、逆位相となり得る。その結果、これらが互いに打ち消し合うので、不要光の発生が抑制され得る。このようにして光損傷および熱レンズ効果が発生しない、高効率の波長変換素子が提供され得る。

請求の範囲

１．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の光と第３の波長λ_3を有する第３の光とに波長変換する波長変換素子であって、ここで、第１の波長λ_1と第２の波長λ_2と第３の波長λ_3とは、関係$1/\lambda_1 = 1/\lambda_2 + 1/\lambda_3$（$\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$）を満たし、

前記波長変換素子は少なくとも１つの非線形光学単結晶を含み、

前記波長変換素子は、少なくとも一組の第１の領域と第２の領域と位相調整領域とを有し、

前記位相調整領域は、前記第１の領域と前記第２の領域との間に位置し、

前記位相調整領域は、少なくとも１つの分極反転領域を含み、前記少なくとも１つの分極反転領域の分極反転幅それぞれの合計長は、波長$\lambda_1/2$、波長$(1/\lambda_1 + 1/\lambda_2)^{-1}$、波長$(1/\lambda_1 + 1/\lambda_3)^{-1}$、波長$(1/\lambda_1 + (1/(\lambda_1/2))^{-1}$、波長$(1/\lambda_1 + 1/(\lambda_2/2))^{-1}$、および、波長$(1/\lambda_1 + 1/(\lambda_3/2))^{-1}$からなる群から少なくとも１つ選択される波長を有する非線形波長変換過程それぞれのコンストラクション長の奇数倍の最小公倍数に相当する、波長変換素子。

２．前記少なくとも１つの非線形光学単結晶は、実質的に定比組成のニオブ酸リチウムまたはタンタル酸リチウムである、請求の範囲第１項に記載の波長変換素子。

３．前記実質的に定比組成のニオブ酸リチウムまたはタンタル酸リチウムは、Ｍｇ、Ｚｎ、ＳｃおよびＩｎからなる群から選択される元素を０．１～３．０ｍｏｌ％含む、請求の範囲第２項に記載の波長変換素子。

４．前記第１の領域と前記第２の領域とは周期分極反転領域である、請求の範囲第１項に記載の波長変換素子。

５．前記第１の波長λ_1が１．０６４μｍであり、前記第２の波長λ_2が１．５５μｍであり、前記第３の波長λ_3が３．３９μｍである場合、前記分極反転幅は１．０５、２．４、４、６．７、７．３、および、１１．８μｍからなる群か

ら少なくとも１つ選択される、請求の範囲第３項に記載の波長変換素子。

６．第１の波長λ_1を有する第１の光と第２の波長λ_2を有する第２の光とを、第３の波長λ_3を有する第３の光に波長変換する波長変換素子であって、ここで、第１の波長λ_1と第２の波長λ_2と第３の波長λ_3とは、関係$1/\lambda_3 = 1/\lambda_1 \pm 1/\lambda_2$を満たし、

前記波長変換素子は少なくとも１つの非線形光学単結晶を含み、

前記波長変換素子は、少なくとも一組の第１の領域と第２の領域と位相調整領域とを有し、

前記位相調整領域は、前記第１の領域と前記第２の領域との間に位置し、

前記位相調整領域は、少なくとも１つの分極反転領域を含み、前記少なくとも１つの分極反転領域の分極反転幅それぞれの合計長は、波長$\lambda_1/2$、波長$\lambda_2/2$、波長$(1/\lambda_1 + 1/\lambda_3)^{-1}$、波長$(1/\lambda_2 + 1/\lambda_3)^{-1}$、波長$(1/\lambda_1 + 1/(\lambda_1/2))^{-1}$、波長$(1/\lambda_1 + 1/(\lambda_2/2))^{-1}$、波長$(1/\lambda_1 + 1/(\lambda_3/2))^{-1}$、波長$(1/\lambda_2 + 1/(\lambda_1/2))^{-1}$、波長$(1/\lambda_2 + 1/(\lambda_2/2))^{-1}$、および、波長$(1/\lambda_2 + 1/(\lambda_3/2))^{-1}$からなる群から少なくとも１つ選択される波長を有する非線形波長変換過程それぞれのコンストラクション長の奇数倍の最小公倍数に相当する、波長変換素子。

７．第１の波長λ_1と第２の波長λ_2と第３の波長λ_3とが、関係$1/\lambda_3 = 1/\lambda_1 + 1/\lambda_2$を満たす場合、関係$\lambda_1 > \lambda_3$および関係$\lambda_2 > \lambda_3$である、請求の範囲第６項に記載の波長変換素子。

８．第１の波長λ_1と第２の波長λ_2と第３の波長λ_3とが、関係$1/\lambda_3 = 1/\lambda_1 - 1/\lambda_2$を満たす場合、関係$\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$である、請求の範囲第６項に記載の波長変換素子。

９．前記少なくとも１つの非線形光学単結晶は、実質的に定比組成のニオブ酸リチウムまたはタンタル酸リチウムである、請求の範囲第６項に記載の波長変換素子。

１０．前記実質的に定比組成のニオブ酸リチウムまたはタンタル酸リチウムは、Ｍｇ、Ｚｎ、ＳｃおよびＩｎからなる群から選択される元素を０．１～３．０ｍｏｌ％含む、請求の範囲第９項に記載の波長変換素子。

１１．前記第１の領域と前記第２の領域とは周期分極反転領域である、請求の範囲第６項に記載の波長変換素子。

FIG. 1

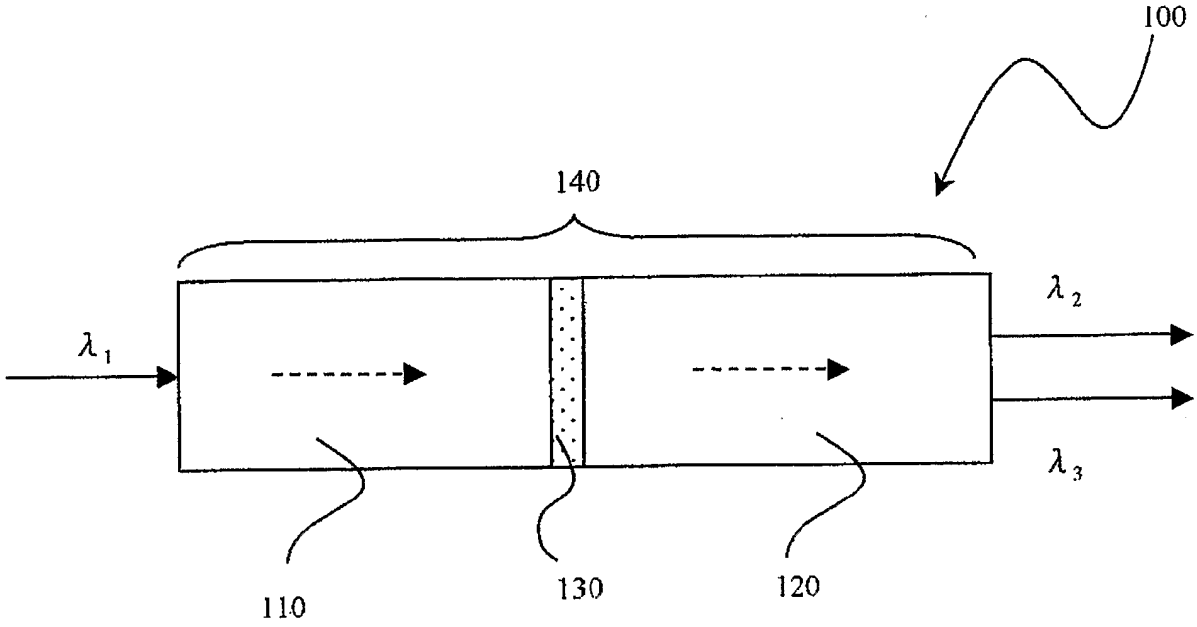

100
140
λ_1
λ_2
λ_3
110
130
120

FIG. 2

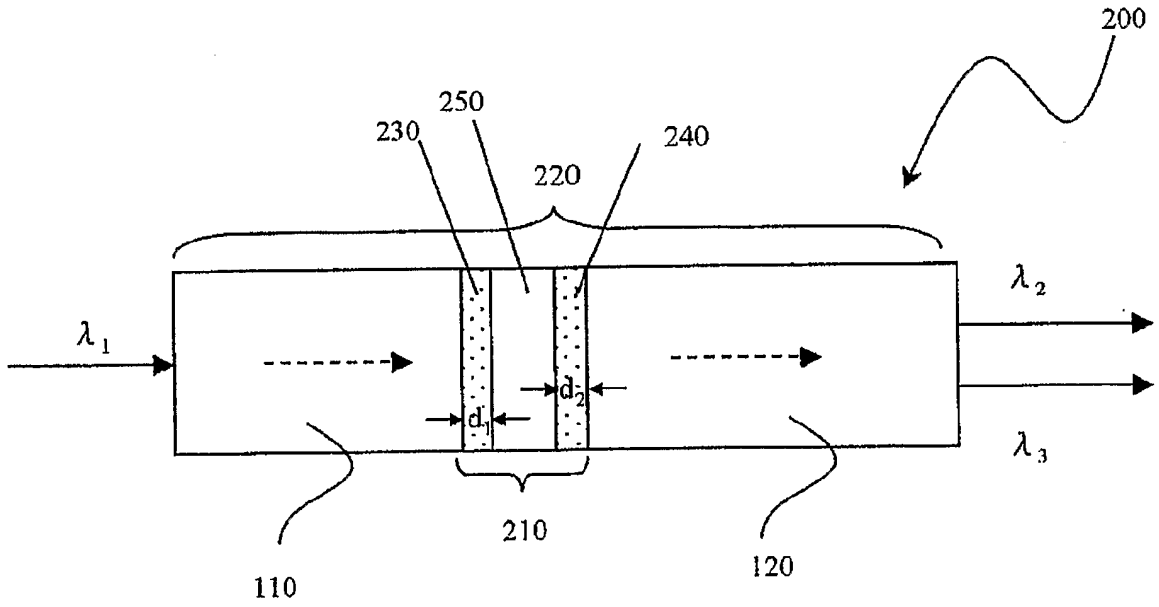

200
250
230
240
220
λ_1
λ_2
λ_3
d_1
d_2
210
110
120

FIG. 3

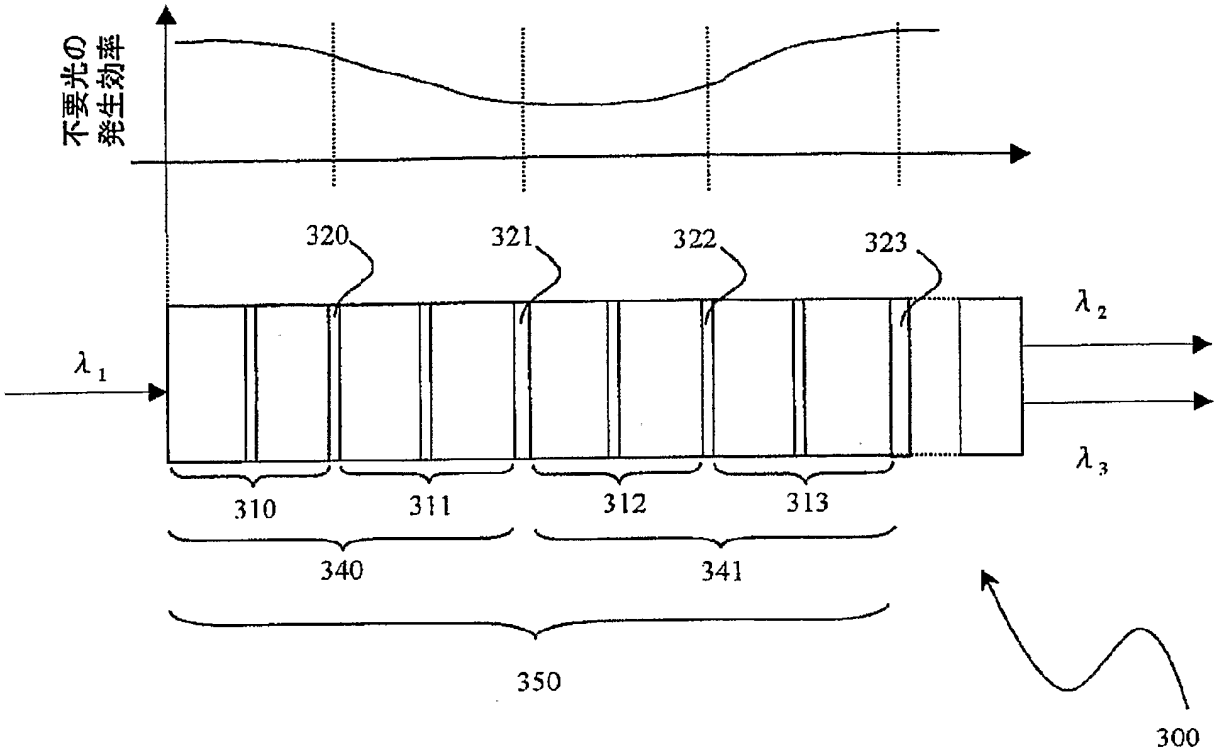

不要光の
発生効率
320
321
322
323
λ1
λ2
λ3
310
311
312
313
340
341
350
300

FIG. 4

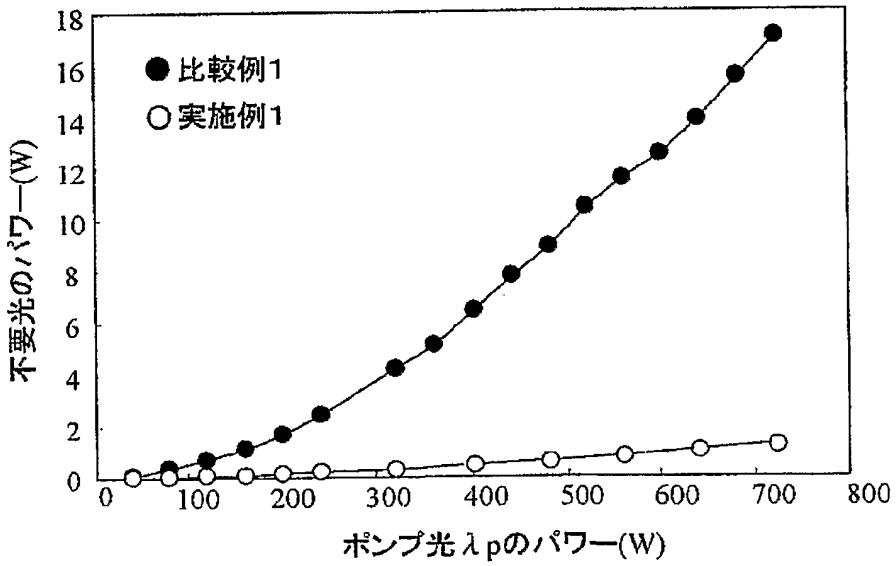

18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
● 比較例1
○ 実施例1
不要光のパワー(W)
0
100
200
300
400
500
600
700
800
ポンプ光λpのパワー(W)

FIG. 5

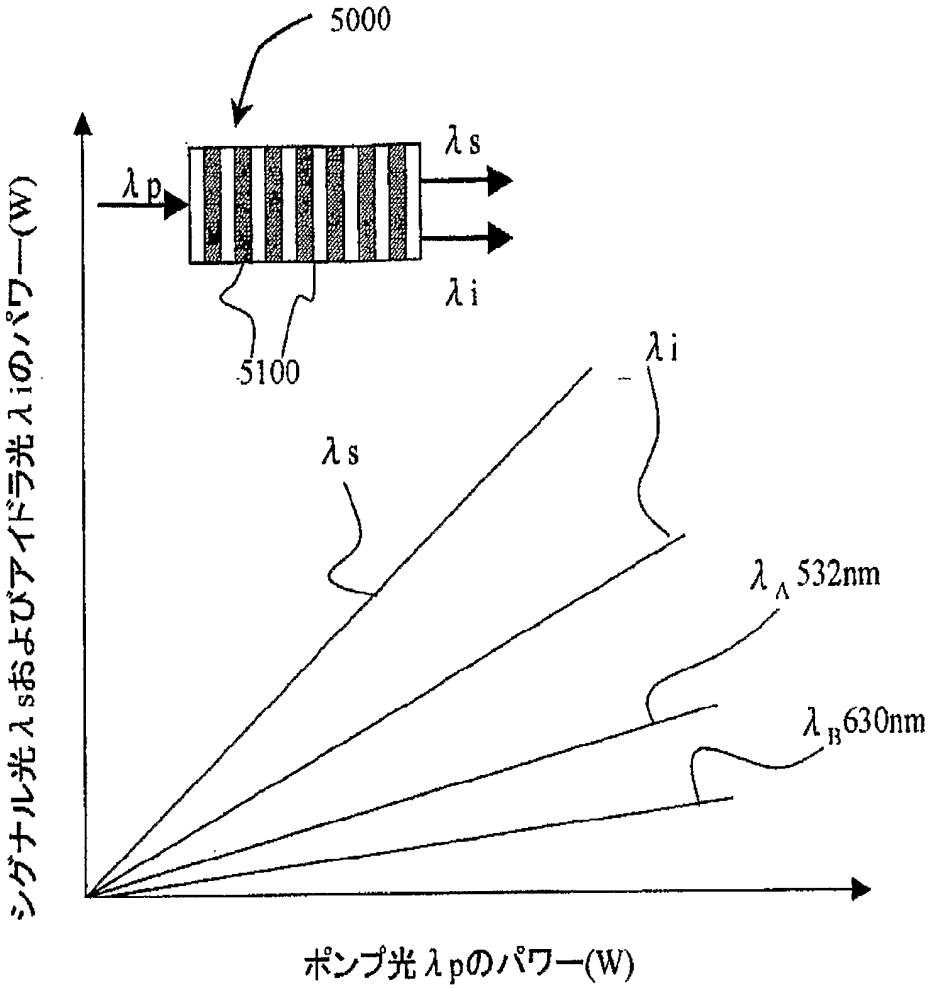
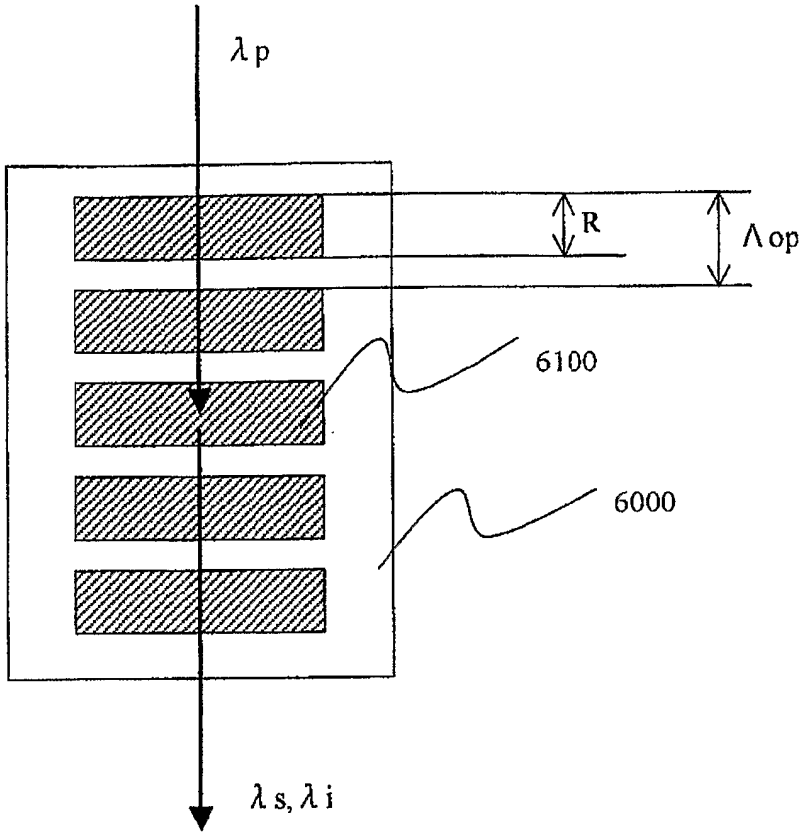

5000
λp
λs
λi
5100
λi
λs
λA 532nm
λB 630nm
シグナル光λsおよびアイドラ光λiのパワー(W)
ポンプ光λpのパワー(W)

FIG. 6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2005/023210

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G02F1/39(2006.01), ***G02F1/37***(2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G02F1/39(2006.01), ***G02F1/37***(2006.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2006
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2006 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2006

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-250948 A (Mitsubishi Cable Industries, Ltd.), 06 September, 2002 (06.09.02), Par. No. [0005] (Family: none)	1-11
Y	JP 6-123903 A (Sony Corp.), 06 May, 1994 (06.05.94), Par. Nos. [0044] to [0057] (Family: none)	1-11
Y	JP 2003-267798 A (Independent Administrative Institution National Institute for Materials Science), 25 September, 2003 (25.09.03), Par. No. [0034] & US 2001/1944 A1	2,3,9,10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
24 January, 2006 (24.01.06)	31 January, 2006 (31.01.06)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2005/023210

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-221554 A (Kabushiki Kaisha Ushio Sogo Gijutsu Kenkyush), 11 August, 2000 (11.08.00), Par. No. [0019] (Family: none)	1-11
A	JP 20001-171844 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 23 June, 2000 (23.06.00), Fig. 1 & US 671183 B1	1-11

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２００５／０２３２１０

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　*G02F1/39(2006.01), G02F1/37(2006.01)*

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　*G02F1/39(2006.01), G02F1/37(2006.01)*

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２００６年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２００６年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２００６年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
Y	JP 2002-250948 A（三菱電線工業株式会社）2002.09.06,　【０００５】　（ファミリーなし）	1-11
Y	JP 6-123903 A（ソニー株式会社）1994.05.06,　【００４４】～【００５７】　（ファミリーなし）	1-11
Y	JP 2003-267798 A（独立行政法人物質・材料研究機構）2003.09.25,　【００３４】　& US 2001/1944 A1	2,3,9,10

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー

「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
２４．０１．２００６	３１．０１．２００６

国際調査機関の名称及びあて先	特許庁審査官（権限のある職員）	
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	東　治企	２Ｘ　３３１４
	電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２９４	

様式ＰＣＴ／ＩＳＡ／２１０（第２ページ）（２００５年４月）

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
A	JP 2000-221554 A (株式会社ウシオ総合技術研究所) 2000.08.11, 【００１９】　(ファミリーなし)	1-11
A	JP 2000-171844 A (松下電器産業株式会社) 2000.06.23, 図１ & US 6711183 B1	1-11