

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7617478号  
(P7617478)

(45)発行日 令和7年1月20日(2025.1.20)

(24)登録日 令和7年1月9日(2025.1.9)

(51)国際特許分類 F I  
G 0 2 F 1/365(2006.01) G 0 2 F 1/365  
G 0 2 F 1/377(2006.01) G 0 2 F 1/377

請求項の数 4 (全11頁)

(21)出願番号	特願2023-548012(P2023-548012)	(73)特許権者	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(86)(22)出願日	令和3年9月15日(2021.9.15)	(74)代理人	110001243 弁理士法人谷・阿部特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/033985	(72)発明者	忠永 修 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
(87)国際公開番号	WO2023/042315	(72)発明者	風間 拓志 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
(87)国際公開日	令和5年3月23日(2023.3.23)	審査官	百瀬 正之
審査請求日	令和5年12月22日(2023.12.22)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 波長変換素子

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

二次非線形光学効果を用いた導波路構造を有する波長変換素子であって、  
基板と、  
前記基板上に接合され、入射光の波長変換を行うコアと、  
を備え、

前記コアは、第1の自発分極と第2の自発分極が光軸方向に対して周期的に反転する構造を有し、

前記第1の自発分極を有する領域および前記第2の自発分極を有する領域において、前記コアの断面積が、端部で最大となり、中央部で最小となるように、光軸方向に対して変化する構造を有する、波長変換素子。

10

【請求項2】

前記端部から前記中央部にかけて、前記コアの断面積が前記光軸方向に対して直線的に変化する、請求項1に記載の波長変換素子。

【請求項3】

前記端部から前記中央部にかけて、前記コアの断面積が前記光軸方向に対して曲率を有するように変化する、請求項1に記載の波長変換素子。

【請求項4】

前記コアに適用される材料が、LiNbO<sub>3</sub>、LiTaO<sub>3</sub>、およびこれらにMg、Zn、Sc、Inのうちの少なくとも一種を添加物として含有する材料から選ばれる、請求

20

項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の波長変換素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、波長変換素子に関し、より具体的には、非線形光学効果を用いた波長変換素子に関する。

【背景技術】

【0002】

二次非線形光学効果を用いた波長変換技術は、光通信における光信号の波長変換のほか、光加工、医療、生物学などの分野で実用化されている。例えば、紫外域から可視光域、赤外光域、テラヘルツ域において半導体レーザーでは直接出力できない波長域の光を出力する光源や、半導体レーザーで直接出力できる波長域であっても半導体レーザーでは得られない高出力な強度が必要な光源などが、その適用例として挙げられる。特に、高い非線形定数を有するニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$  : 以下、LN という) が適用された周期分極反転光導波路を有する波長変換素子は、その波長変換効率の高さから、既に市販されている光源として実用化が進んでいる。

10

【0003】

以下に、二次非線形光学効果を用いた波長変換の原理について説明する。二次非線形光学効果では、波長  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  の光を入力して新たな波長  $\lambda_3$  の光を発生させる。(式 1) を満足する波長変換は和周波発生 (Sum Frequency Generation : 以下、SFG という) と呼ばれる。

20

【0004】

$$1/\lambda_3 = 1/\lambda_1 + 1/\lambda_2 \quad (\text{式 1})$$

ここで、 $n_3$  は波長  $\lambda_3$  での屈折率、 $n_2$  は波長  $\lambda_2$  での屈折率、 $n_1$  は波長  $\lambda_1$  での屈折率である。特に、 $\lambda_1 = \lambda_2$  として (式 1) を変形した (式 2) を満たす波長変換は第二高調波発生 (Second harmonic generation : 以下、SHG という) と呼ばれる。

【0005】

$$\lambda_3 = \lambda_1 / 2 \quad (\text{式 2})$$

一方、(式 3) を満たす波長変換は差周波発生 (Difference Frequency Generation : 以下DFG という) と呼ばれる。

30

【0006】

$$1/\lambda_3 = 1/\lambda_1 - 1/\lambda_2 \quad (\text{式 3})$$

また、 $\lambda_1$  のみを入力して (式 3) を満たす  $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  を発生する光パラメトリック効果も存在する。SHG、SFG は、入射光に対して短波長の光、すなわちエネルギーの高い光を新たに発生し、可視光域の発生などによく利用されている。これに対し、DFG では短波長の光を長波長の光に変換し、中赤外域やそれより長波長の光の発生によく利用されている。

【0007】

このような二次非線形光学効果を高効率で発生させるためには、相互作用する 3 つの光に対する位相不整合量が 0 であることが求められる。そして、この位相不整合量を擬似的に 0 とする方法として、周期分極反転構造が挙げられる。

40

【0008】

図 1 は従来技術による、周期分極反転構造を有する波長変換素子 10 を概念的に示した斜視図である。従来技術による、周期分極反転構造を有する波長変換素子 10 は、基板 11 と、基板上に接合され入射光に対して波長変換を行うコア 12 とを含む。さらにコア 12 は非線形定数が正の値を示す領域 (以下、正のコア領域という) 121 と、非線形定数が負の値を示す領域 (以下、負のコア領域という) 122 とが、周期的に入れ替わっている構造を有する。周期分極反転構造とは、このように、光軸方向に対して二次非線形光学材料の自発分極を周期的に反転させることにより、非線形定数の正負が交互に切り替わっている構造である。そして、この反転周期を  $\Lambda$  とすると、(式 1) で示される和周波発生

50

においては、波長  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  に対して (式 4) を満足するように  $\theta$  を設定すれば、擬似的に位相不整合量を 0 とすることができる。

【 0 0 0 9 】

$$n_3 / \lambda_3 - n_2 / \lambda_2 - n_1 / \lambda_1 - 1 / \lambda = 0 \quad (\text{式 4})$$

【 0 0 1 0 】

このような周期分極反転構造を採用し、さらに波長変換素子を導波路化する、すなわち、狭い領域に光を高密度に閉じ込めて長距離を伝搬させることにより、高効率な波長変換素子となる。中でも、基板上にコアを接合したリッジ型導波路は、コアに適用される結晶バルクの特性をそのまま利用できることから、高光損傷耐性、長期信頼性、デバイス設計の容易性などに優れ、盛んに研究開発が進められている (例えば、非特許文献 1 参照)。

リッジ型導波路構造を有する波長変換素子は、一部に予め所定の波長帯で位相整合条件が満たされる周期分極反転構造が形成されているコアと、コアを保持する基板とを接合し、コアを薄膜化した後、リッジ加工することによって作製される。コアと基板の接合は、従来では接着剤が用いられていたが、近年では、直接接合技術を適用することで高強度に接合し、接合界面における剥離割れ抑制することによって、波長変換素子の更なる高効率化、長寿命化が図られている。

10

【 0 0 1 1 】

また、リッジ型導波路構造を有する波長変換素子では、光軸方向に対して垂直方向 (コアの幅方向) の光を閉じ込めるため、ダイシングソーを用いてコアまたは基板の一部を削り、屈折率の低い空気層を導入する技術が知られている (例えば、非特許文献 1 参照)。

加えて、近年ではドライエッチング法により導波路形成する技術も報告されている (例えば、非特許文献 2 参照)。このような方法で製作される波長変換素子では、導波する入射光および出射される変換光は、基板に垂直方向に光電界が偏っている TM (Transverse Magnetic Wave) 偏光の光を波長変換している。

20

【 0 0 1 2 】

例として、コアに LN 結晶が適用された波長変換素子において、室温付近である 25 で DFG による波長変換を行う場合を考える。波長変換素子に入力される 2 つの入射光の波長をそれぞれ、 $\lambda_1 = 0.98 \mu\text{m}$ 、 $\lambda_2 = 1.47 \mu\text{m}$  とすると、(式 3) から、波長変換素子から出射される変換光の波長  $\lambda_3$  は  $2.94 \mu\text{m}$  となる。ここで、位相不整合量を考えると、(式 4) から、それぞれの光の波長における LN の屈折率分散の関係を用いて、位相整合のための分極反転周期  $\Lambda$  は  $28.48 \mu\text{m}$  と算出される。すなわち、LN の自発分極が光軸方向に対して  $28.48 \mu\text{m}$  周期で反転するようなコアの構造となれば、高効率で波長変換が行われる。

30

【 0 0 1 3 】

しかしながら、波長変換素子による波長変換では、高次の擬似位相整合により意図しない変換光が生成され、それに伴って所望の波長変換効率が低下するという問題が生じ得る。例えば、上記の DFG による波長変換の例で挙げられた  $\lambda_1$  ( $0.98 \mu\text{m}$ ) および  $\lambda_2$  ( $1.47 \mu\text{m}$ ) の波長を有する光の組み合わせで考えると、(式 1) から理解できるように、波長が  $0.588 \mu\text{m}$  を有する変換光が SFG によって生成され得る。そして、この SFG による波長変換での反転周期は  $9.49 \mu\text{m}$  となり、上記の例の DFG による波長変換の擬似位相整合が成立する反転周期 ( $\Lambda = 28.48 \mu\text{m}$ ) に対して、ちょうど 3 倍の値となる。このような条件が満たされると、この入射光の組み合わせでは、SFG に対して高次の擬似位相整合が成立し、比較的高効率で SFG による波長変換も同時に行われる。

40

【 0 0 1 4 】

このような高次の擬似位相整合の発生は、非線形定数が  $+d$  か  $-d$  のどちらかの値しか取れず、中間の値が取れないため、分極反転周期構造において非線形定数の変調 (変調関数) が矩形の関数となることに起因する。すなわち、 $-1$  と  $1$  の二値で構成される矩形の関数をフーリエ級数展開すると、(式 5) の様に表され、 $\sin(x)$  以外に  $\sin(3x)$  や  $\sin(5x)$  といった奇数次の  $\sin$  成分が存在するため、奇数次の擬似位相整合が発生することとなる。

50

## 【 0 0 1 5 】

$f(x) = 4/ \times \{ \sin(x) + 1/3 \times \sin(3x) + 1/5 \times \sin(5x) + 1/7 \times \sin(7x) + \dots \}$   
 (式5)

したがって、分極反転周期 に対し、その /3や /5などの反転周期 を奇数の整数で除した周期を新たな分極反転周期とみなす、意図しない波長(寄生波長)を有する変換光が生成される。

## 【 0 0 1 6 】

このように、DFGを起こさせるときに寄生的にSFGが起こり、入射光のエネルギーがSFGにより短波長にシフトすることでDFGに寄与する入射光のエネルギーが低下し、結果的にDFGによって波長変換される変換光の強度が低下という問題が生じる。

10

## 【 0 0 1 7 】

このような寄生的に発生する、意図しない波長変換を抑制するための従来技術として、コアに位相調整層を挿入する方法がある(例えば、非特許文献1参照)。しかしながら、このような従来技術による寄生的波長変換の抑制方法では、位相調整層に到達するまでは寄生的波長変換が生じるため、その分、所望の波長変換光を得るための元になる入射光の強度が低下する。すなわち、効率的に寄生的波長変換の抑制できるわけではなく、意図する波長変換光の強度低下が少なからず生じるという課題がある。

## 【先行技術文献】

## 【非特許文献】

## 【 0 0 1 8 】

【文献】Y. Nishida, H. Miyazawa, M. Asobe, O. Tadanaga, and H. Suzuki, "Direct-bonded QPM-LN ridge waveguide with high damage resistance at room temperature", Electronics Letters, Vol.39, No.7, p.609-611, 2003.

【文献】T. Umeki, O. Tadanaga, and M. Asobe, "Highly Efficient Wavelength Converter Using Direct-Bonded PPZnLN Ridge Waveguide", IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 46, No. 8, pp. 1206-1213, 2010.

20

## 【発明の概要】

## 【 0 0 1 9 】

本開示は、上記のような課題に対して鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、高次の擬似位相整合による意図しない波長変換を抑制し得る波長変換素子を提供することにある。

30

## 【 0 0 2 0 】

上記のような課題に対し、本開示では、二次非線形光学効果を用いた波長変換素子であって、基板と、基板上に接合され、入射光の波長変換を行うコアとを備え、コアは、第1の自発分極と第2の自発分極が光軸方向に対して周期的に反転する構造を有し、第1の自発分極を有する領域および第2の自発分極を有する領域において、コアの断面積が、端部で最大となり、中央部で最小となるように、光軸方向に対して変化する構造を有する、波長変換素子を提供する。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 2 1 】

【図1】従来技術による、周期分極反転構造を有する波長変換素子を概念的に示した斜視図である。

40

【図2】波長変換素子における変調曲線を示した図であり、図2(a)は従来技術による波長変換素子を用いた場合の変調曲線、図2(b)は、意図しない波長変換に対する波長変換を抑制するための理想的な変調曲線をそれぞれ示している。

【図3】本開示による波長変換素子の構造を示した概念図であり、図3(a)は斜視図、図3(b)は上面図をそれぞれ示している。

【図4】本開示の一実施形態による波長変換素子のコアにおける変調曲線を概念的に示した図である。

【図5】従来技術による波長変換素子および本開示による波長変換素子を用いた場合にお

50

ける、位相整合パターン of 計算結果を示した図である。

【図6】図6は、本開示による波長変換素子の構造を示した概念図であり、図6(a)は斜視図、図6(b)は正面図をそれぞれ示している。

【図7】図7は、本開示による波長変換素子70の構造を示した概念図であり、図7(a)は斜視図、図7(b)は上面図、図7(c)は正面図をそれぞれ示している。

【図8】本開示による波長変換素子80の構造を示した概念図であり、図8(a)は斜視図、図8(b)は上面図をそれぞれ示している。

【発明を実施するための形態】

【0022】

以下に、図面を参照しながら本開示の種々の実施形態について詳細に説明する。同一または類似の参照符号は同一または類似の要素を示し重複する説明を省略する場合がある。材料および数値は例示を目的としており本開示の技術的範囲の限定を意図していない。以下の説明は、一例であって本開示の一実施形態の要旨を逸脱しない限り、一部の構成を省略若しくは変形し、または追加の構成とともに実施することができる。

10

【0023】

本開示では、意図しない波長変換に対し、その波長変換効率が低下するような変調が行われるように構成された波長変換素子を提案する。そして、意図しない波長変換に対する波長効率を低下するために、光が伝播するコアの断面積が、光軸方向に対して変化しているという点で従来技術と異なる。

【0024】

20

一般に、導波路型の波長変換素子における波長変換効率は、導波路を構成するコアの非線形定数、長さ、断面積に依存する(具体的には、非線形定数の二乗および長さの二乗に比例し、断面積に反比例する)。しかし、コアの非線形定数は材料に依存するパラメータであるため、変更することは実質的に困難である。また、コアの長さも基板の大きさによって制限されるため、同様に変更することは困難である。したがって、本開示による波長変換素子では、コアの断面積を変更することによって、意図しない波長変換の効率を低減する。

【0025】

図2は、波長変換素子における変調曲線を示した図であり、図2(a)は従来技術による波長変換素子を用いた場合の変調曲線、図2(b)は、意図しない波長変換に対する波長変換を抑制するための理想的な変調曲線をそれぞれ示している。図1に示されるような従来技術による波長変換素子では、コアは光軸方向に対して断面積が一定となる構造を有する。このような構造の波長変換素子では、上述した通り、非線形定数は $+d$ か $-d$ の二値しか取らないため、変調曲線は矩形の関数となる。一方、意図しない波長変換に対する波長変換を抑制するためには、変調曲線はコアの自発分極が反転する界面で非線形定数が0となるようなsin関数であることが理想である。これは、上述したフーリエ級数展開において、元の関数がsin関数であれば、高次の項が生成しないことに起因する。

30

【0026】

しかしながら、コアの自発分極が反転する界面で非線形定数を0とするためには、当該界面におけるコアの断面積は、無限大に発散しなければならない。すなわち、現実的には不可能な構造といえる。ただし、完全なsin関数とはならずとも、それに近い形状を有する変調曲線となるような変調を行えば、意図しない波長変換に対する波長変換効率を低下させることは可能である。

40

【0027】

以上のことから、本開示では、一つの自発分極を有する領域内において、光軸方向における端部では断面積が大きくなり、中央部では断面積が小さくなるような構造を有する波長変換素子を提案する。このような構造を有することにより、変調曲線は光軸方向における中央部でピークを持つ、sin関数に近い形状となる。したがって、意図しない波長変換に対する波長変換効率を低下させることが可能となる。

【0028】

50

## (第1の実施形態)

以下に、本開示による第1の実施形態について、図面を用いて詳細に説明する。本実施形態による波長変換素子は、光軸方向におけるコアの断面積が、端部で最大値、中央部で最小値を取り、端部から中央部にかけて断面積が直線的に変化するような構造を有する。

## 【0029】

図3は、本開示による波長変換素子30の構造を示した概念図であり、図3(a)は斜視図、図3(b)は上面図をそれぞれ示している。本開示による波長変換素子30は、基板31と、基板上に接合され、入射光の波長変換を行うコア32とを含む。さらに、コア32は、正のコア領域321と、負のコア領域322を含み、これら正のコア領域321と負のコア領域322が光軸方向に対して周期的に反転した周期分極反転構造を有している。また、正のコア領域321および負のコア領域322の各々は、図3(b)に示される通り、各コア領域における光軸方向の端部で断面積が最大となり、各コア領域における光軸方向の中央部で断面積が最小となるような構造を有する。加えて、端部から中央部にかけて、断面積が直線的に変化するような構造となっている。より具体的には、各コア領域は、高さ(基板31の主面に垂直方向の長さ)が一定であり、幅(基板31の主面に垂直方向および光軸方向に直交する方向の長さ)が、一方の端部から中央部に向かうにしたがって一定の割合で減少し、中央部から他方の端部に向かうにしたがって一定の割合で増加する構造となっている。各コア領域の幅は、光軸方向に平行なコア領域の中心線を軸として線対称に変化(すなわち減少および増加)する。各コア領域の断面は矩形である。

10

## 【0030】

例として、本実施形態における波長変換素子30は、基板31にはタンタル酸リチウム(LiTaO<sub>3</sub>:以下、LTという)、コア32にはLNをそれぞれ適用し、コア32の厚さは1μm、長さは12mmとする。また、正のコア領域321および負のコア領域322の各々において、断面積が最大となる位置(すなわち、端部)の幅W<sub>max</sub>は16μmとし、断面積が最小となる位置(すなわち、中央部)の幅W<sub>min</sub>は8μmとする。

20

## 【0031】

なお、本実施形態による波長変換素子30では、基板31とコア32は直接接合により接合されている。また、コア32は上述した形状となるよう、予めリソグラフィによってレジストがパターンニングされ、そのパターンに沿ってドライエッチング法により形成されたものとする。ただし、製造方法はこれに限定はされず、例えば、コアを上述した形状にするために、高強度のレーザを照射し蒸発させて加工するレーザアブレーション法などを適用してもよい。

30

## 【0032】

このような構成を有する本実施形態による波長変換素子30では、各々の正のコア領域321および負のコア領域322の中で波長変換効率が光軸方向に対する距離に応じて変化する。このため、波長変換素子30のコア32は、光軸方向に対してあたかも連続的に非線形定数が異なるかのように振る舞う。以降、本明細書では、このような断面積の変化に伴って擬似的に変化するようみなされる非線形定数を「見かけの非線形定数」と呼ぶ。

## 【0033】

図4は、本開示の一実施形態による波長変換素子30のコア32における変調曲線を概念的に示した図である。ここで縦軸は見かけの非線形定数である。図4に示される通り、本開示の一実施形態による波長変換素子30では、波長変調曲線は矩形とはならず、各コア領域の中央部で見かけの非線形定数がピークを持つ山型の波形を有する。このため、(式5)に示されるようなフーリエ級数展開によって、sin(3x)やsin(5x)といった高次のsin成分が低減され、意図しない擬似位相整合による波長変換の効率が低減される。

40

## 【0034】

図5は、従来技術による波長変換素子10および本開示による波長変換素子30を用いた場合における、位相整合パターンの計算結果を示した図である。図中における横軸は規格化位相不整合量であるが、この値は擬似位相整合の次数と考えてよい。なお、自発分極の反転は1000周期である。また、従来技術による波長変換素子10のコア12の幅は

50

8  $\mu\text{m}$ で一定とし、それ以外の寸法は上述した本開示による波長変換素子30と同一である。図5に示される通り、従来技術に比べて本開示による波長変換素子30を用いた場合、波長変換効率が全体的に低下しており、とりわけ、3次および5次といった高次における波長変換効率の低下が顕著である。実際に、従来技術による波長変換素子10を用いた場合の波長変換効率を基準に考えると、本開示による波長変換素子30を用いた場合の波長変換効率は、1次ではその減少率は33%程度であるのに対し、3次では84%減、5次では68%減であった。このことから、本開示による波長変換素子30は、高次の擬位相整合による、意図しない波長変換に対して、その変換効率を低減できていることが分かる。なお、1次(所望)の波長変換効率も低減されているが、これは入射光のパワーを増大する等で改善され得る。

10

**【0035】**

なお、本実施形態では、例として端部から中央部までの変調曲線が直線的に変化するような構造としたが、これには限定はされず、例えば、曲率を有するような変化であってもよい。

**【0036】**

加えて、本実施形態では、コアにはLNを適用したが、LNにMg、Zn、Sc、Inのうちの少なくとも一種を添加物として含有する材料であってもよい。また、コアにはLT、または、LTにMg、Zn、Sc、Inのうちの少なくとも一種を添加物として含有する材料が適用されてもよい。

**【0037】**

図6は、本開示による波長変換素子60の構造を示した概念図であり、図6(a)は斜視図、図6(b)は正面図をそれぞれ示している。図中に示される波長変換素子60は、上述した波長変換素子30と同様に、基板61と、基板上に接合され、入射光の波長変換を行うコア62とを含む。さらに、コア62は、正のコア領域621と、負のコア領域622を含み、これら正のコア領域621と負のコア領域622が光軸方向に対して周期的に反転した周期分極反転構造を有している。また、正のコア領域621および負のコア領域622の各々は、図6(b)に示される通り、各コア領域における光軸方向の端部で断面積が最大となり、各コア領域における光軸方向の中央部で断面積が最小となるような構造を有する。ただし、波長変換素子60では、各コア領域は、幅(基板61の主面に垂直方向および光軸方向に直交する方向の長さ)が一定であり、高さ(基板61の主面に垂直方向の長さ)が、一方の端部から中央部に向かうにしたがって一定の割合で減少し、中央部から他方の端部に向かうにしたがって一定の割合で増加する構造となっている。

20

30

**【0038】**

図7は、本開示による波長変換素子70の構造を示した概念図であり、図7(a)は斜視図、図7(b)は上面図、図7(c)は正面図をそれぞれ示している。図中に示される波長変換素子70は、上述した波長変換素子30および波長変換素子60と同様に、基板71と、基板上に接合され、入射光の波長変換を行うコア72とを含む。さらに、コア72は、正のコア領域721と、負のコア領域722を含み、これら正のコア領域721と負のコア領域722が光軸方向に対して周期的に反転した周期分極反転構造を有している。また、正のコア領域721および負のコア領域722の各々は、図7(b)および図7(c)に示される通り、各コア領域における光軸方向の端部で断面積が最大となり、各コア領域における光軸方向の中央部で断面積が最小となるような構造を有する。ただし、波長変換素子30および波長変換素子60とは異なり、波長変換素子70では、各コア領域は、幅(基板71の主面に垂直方向および光軸方向に直交する方向の長さ)、および高さ(基板71の主面に垂直方向の長さ)の両方が、一方の端部から中央部に向かうにしたがって一定の割合で減少し、中央部から他方の端部に向かうにしたがって一定の割合で増加する構造となっている。

40

**【0039】**

図8は、本開示による波長変換素子80の構造を示した概念図であり、図8(a)は斜視図、図8(b)は上面図をそれぞれ示している。図中に示される波長変換素子80では

50

、上述した波長変換素子 30、60 および 70 と同様に、基板 81 と、基板上に接合され、入射光の波長変換を行うコア 82 とを含む。さらに、コア 82 は、正のコア領域 821 と、負のコア領域 822 を含み、これら正のコア領域 821 と負のコア領域 822 が光軸方向に対して周期的に反転した周期分極反転構造を有している。また、正のコア領域 821 および負のコア領域 822 の各々は、図 8 (b) に示される通り、各コア領域における光軸方向の端部で断面積が最大となり、各コア領域における光軸方向の中央部で断面積が最小となるような構造を有する。ただし、波長変換素子 30、60 および 70 とは異なり、各コア領域の幅は、光軸方向に平行なコア領域の中心線からの長さが非線対称に変化（すなわち、減少および増加）する。

【0040】

このような構成を有する波長変換素子 60、70 および 80 であっても、波長変換素子 30 と同様に、高次の擬位相整合による、意図しない波長変換に対して、その変換効率を低減することができる。

【0041】

尚、波長変換素子 60、70 および 80 は、それぞれ端部から中央部までの変調曲線が直線的に変化するような構造としたが、波長変換素子 30 と同様にこれには限定はされず、例えば、曲率を有するような変化であってもよい。

【0042】

加えて、本開示による波長変換素子は、上述の実施形態では、各コア領域の光軸方向に対する断面形状は、正方形または長方形となるように述べられているが、これに限定はされない。例えば、各コア領域の光軸方向に対する断面形状は、台形であってもよい。また、各コア領域の基板と接合していない面は、曲率を有してもよい。

【産業上の利用可能性】

【0043】

本開示による波長変換素子は、従来技術に比べて、意図しない高次の波長変換を抑制する効果を奏する。したがって、所望の波長変換がより効率的に行われるため、従来技術より高効率な波長変換素子として、光通信、光加工等の分野で用いられるレーザ光源等への適用が見込まれる。

10

20

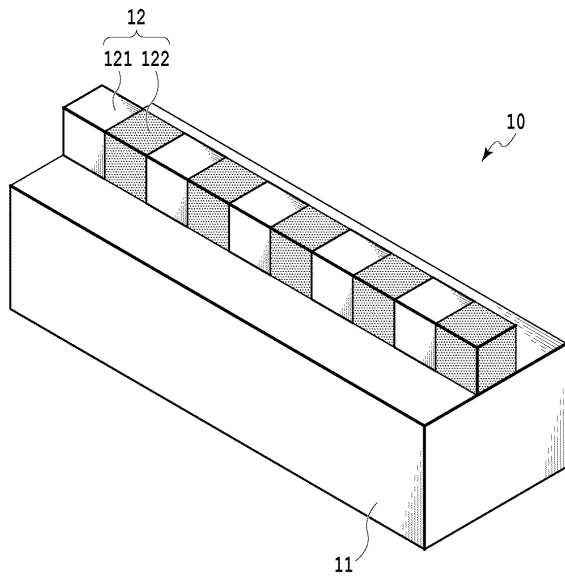
30

40

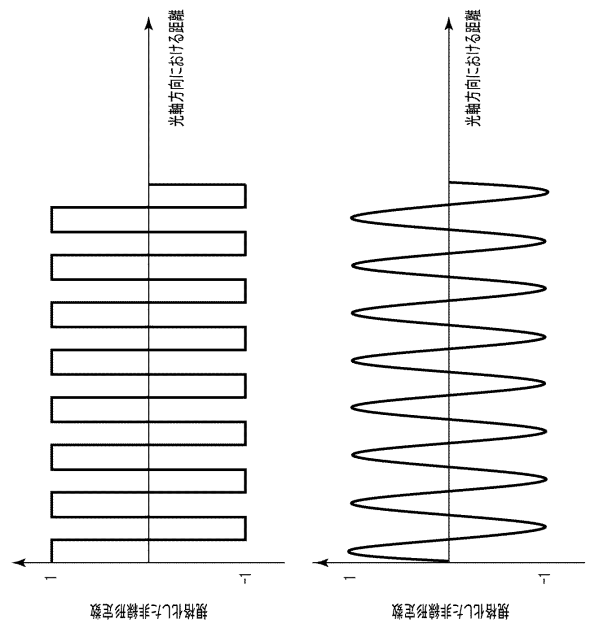
50

【図面】

【図 1】



【図 2】

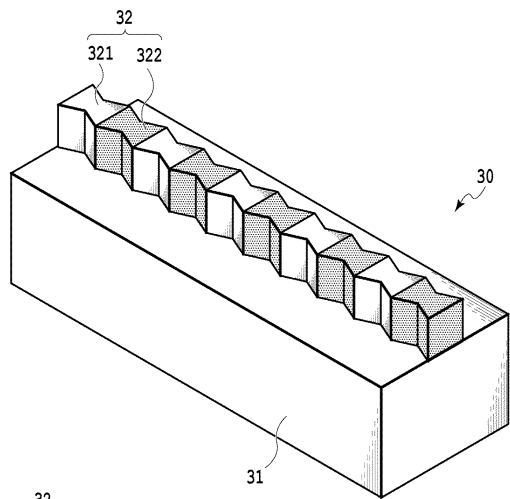


10

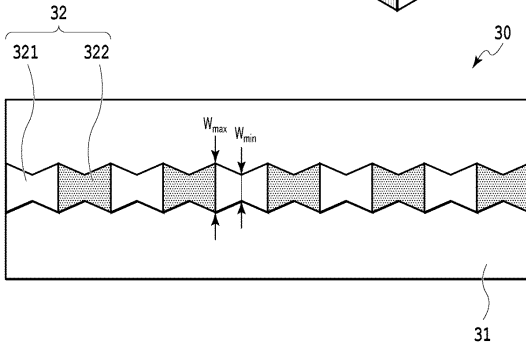
20

【図 3】

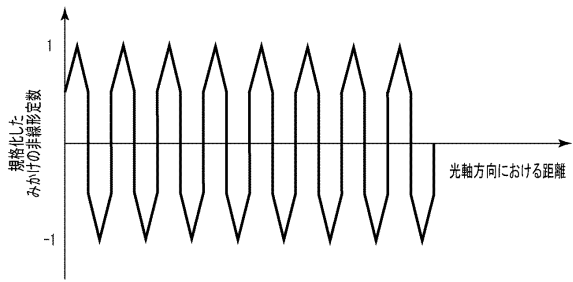
(a)



(b)



【図 4】

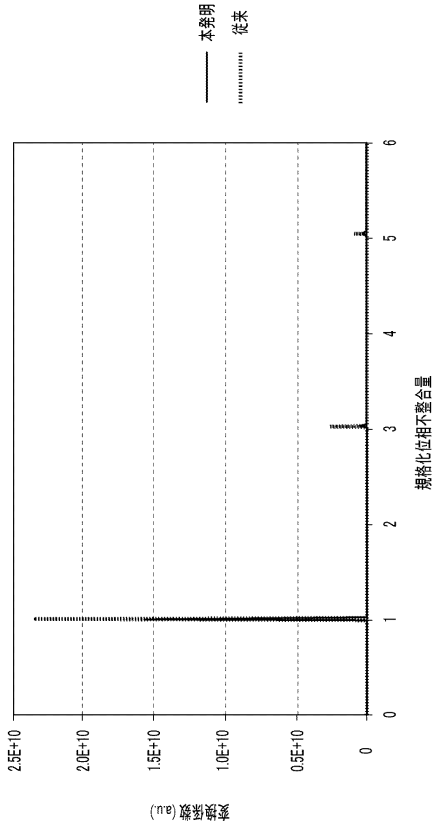


30

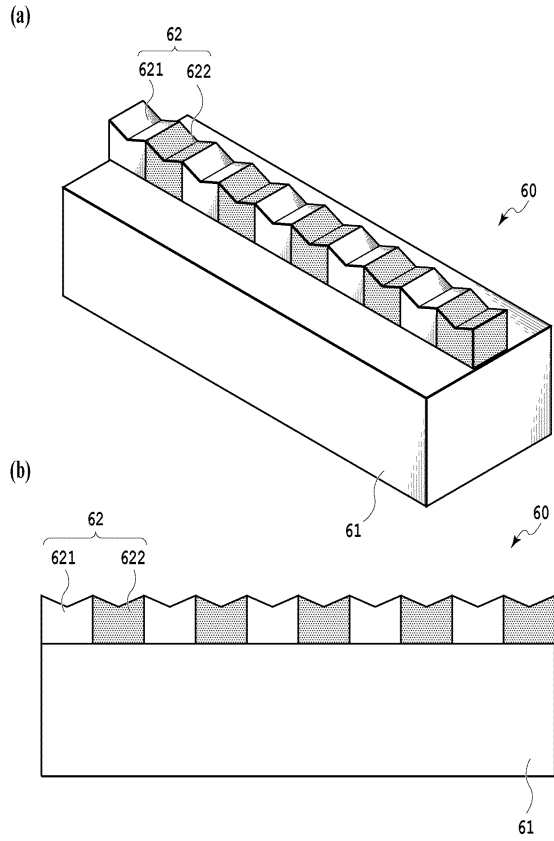
40

50

【 図 5 】



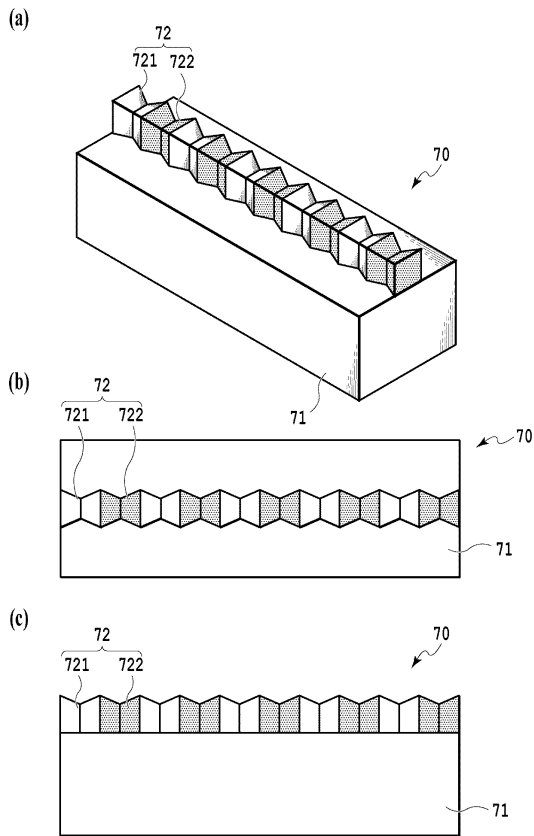
【 図 6 】



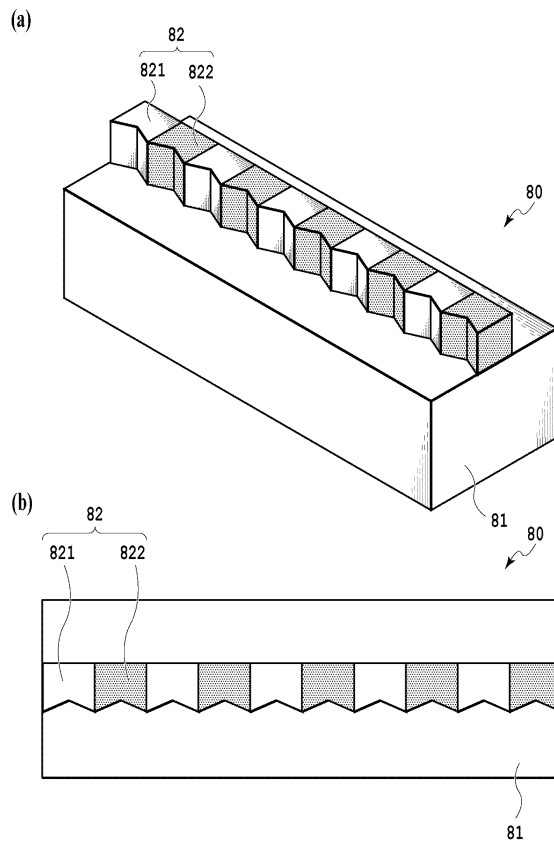
10

20

【 図 7 】



【 図 8 】



30

40

50

## フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2008-310308(JP,A)  
特開平06-289448(JP,A)  
特開2011-257558(JP,A)  
特開2011-075604(JP,A)  
特開平08-220578(JP,A)  
特開2010-197802(JP,A)  
国際公開第2020/100937(WO,A1)  
国際公開第2014/030404(WO,A1)  
米国特許出願公開第2018/0031949(US,A1)  
特開2006-330623(JP,A)  
KURIMURA, S. et al. , Quasi-phase-matched adhered ridge waveguide in LiNbO3 , APPLIED PHYSICS LETTERS , 米国 , 2006年11月09日 , VOL.89 , pp.191123-1 - 191123-3  
RAO, A. et al. , Second-harmonic generation in single-mode integrated waveguides based on mode-shape modulation , APPLIED PHYSICS LETTERS , 米国 , 2017年03月 , VOL.110 , p p.111109-1 - 111109-4  
UMEKI, T. et al. , Highly Efficient Wavelength Converter Using Direct-Bonded PPZnLN Ridge Waveguide , IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS , 米国 , IEEE , 2010年08月 , V OL.46, NO.8 , pp.1206-1213
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , DB名)  
G 0 2 F 1 / 0 0 - 1 / 1 2 5  
G 0 2 F 1 / 2 1 - 7 / 0 0  
I E E E X p l o r e  
S c i t a t i o n  
A P S J o u r n a l s