

(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
2022年10月20日(20.10.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/219687 A1

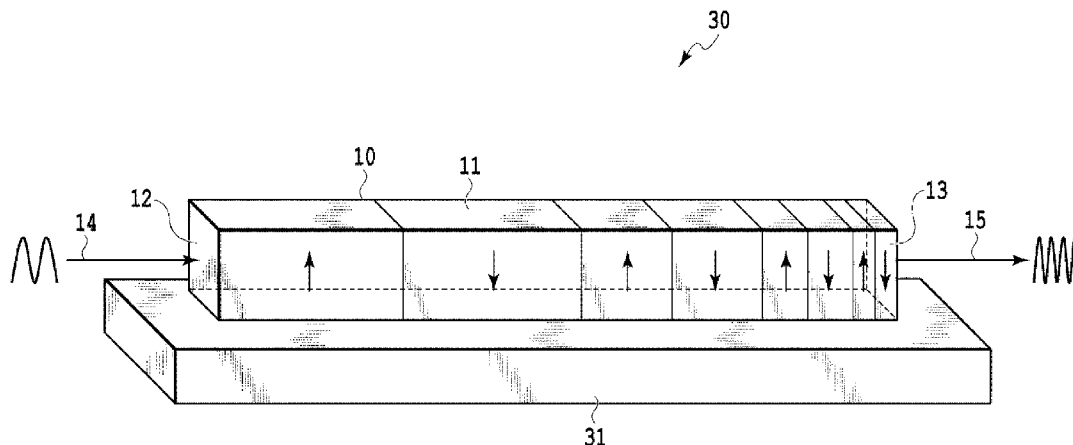
- (51) 国際特許分類:
G02F 1/37 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/015229
- (22) 国際出願日: 2021年4月12日(12.04.2021)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 柏崎 貴大(KASHIWAZAKI Takahiro); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1

N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 風間 拓志(KAZAMA Takushi); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 梅木 毅伺(UMEKI Takeshi); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 忠永 修(TADANAGA Osamu); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 圓佛 晃次(EMBUTSU Koji); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 小勝負 信建(KOSHOBU Nobutatsu); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 井上 飛鳥(INOUE Asuka); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁

(54) Title: WAVELENGTH CONVERSION OPTICAL ELEMENT

(54) 発明の名称: 波長変換光学素子

[図3]



(57) Abstract: Since, in a non-linear optical element, deterioration in wavelength conversion efficiency due to heat generated when a high-intensity converted wave is generated occurs, the present invention provides a wavelength conversion optical element equipped with a periodically poled waveguide, the periodically poled waveguide comprising a core that wavelength-converts a fundamental wave incident on an incidence end and emits a converted wave from an emission end, and a cladding that covers the periphery of the core, the structure of the element gradually changing such that quasi phase matching is achieved from the incidence end toward the emission end.

(57) 要約: 非線形光学素子においては、高強度な変換波を生成する時の発熱に起因する波長変換効率の劣化が生じるため、本発明では、周期分極反転導波路を備えた波長変換光学素子であって、前記周期分極反転導波路は、入射端に入射された基本波を波長変換し、出射端から変換波を出射するコアと、前記コアの周辺を覆うクラッドとを備え、前記周期分極反転導波路が、前記入射端から前記出射端に向かい、擬似位相整合が取られるように、素子の構造が徐々に変化する波長変換光学素子を提供する。

WO 2022/219687 A1

目 9 - 1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 渡邊 啓(WATANABE Kei); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町 3 丁目 9 - 1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人 谷・阿部特許事務所 (TANI & ABE, P.C.); 〒1070052 東京都港区赤坂 2 丁目 6 番 2 0 号 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, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：波長変換光学素子

技術分野

[0001] 本発明は、非線形光学効果を用いた光学素子に関し、具体的には、光通信システムや光計測システムにおいて用いられる波長変換光学素子に関する。

背景技術

[0002] 非線形光学効果を用いた光応用技術は、新しい光通信分野や光を用いた量子情報通信分野、光計測システム分野等において期待されている。非線形光学効果における基本的な効果として、波長変換が知られている。この波長変換は、非線形光学媒質へ入射する光を、別の波長を有する光に変換できる技術である。このような特性を有することから、波長変換は、レーザー単体では発振が困難な波長帯の光を生成する技術として、広く実用化されている。

[0003] 以下に、非線形光学効果における、波長変換の原理を説明する。非線形光学効果では、波長 λ_1 、 λ_2 の光を入力して、新たな波長 λ_3 の光を発生させる。以下の(式1)を満たす波長変換は、和周波発生 (Sum Frequency Generation: 以下、SFGとう) と呼ばれる。加えて、 $\lambda_1 = \lambda_2$ (すなわち、(式2)を満たす) 場合の波長変換は、第二高調波発生 (Second harmonic generation: 以下、SHGという) と呼ばれる。

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

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

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。

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

さらに、波長 λ_1 の光のみを入力し、(式3)の関係を満たす別の光(波長が λ_2 の光と波長が λ_3 の光別の光)を発生することも可能である(光パラメトリック効果と呼ばれる)。特に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)を新たに生成するため、様々な技術に利

用されている。例えば、光パラメトリック増幅による位相感応増幅を実現する場合、信号光と強い励起光が必要となるが、この励起光を生成する手段としてSHGが利用される。

[0004] これらの非線形光学効果を効率良く発生させるためには、相互作用する3波長の位相不整合量が0であることが求められる。これを達成する手段の一つとして、非線形光学材料の分極を周期的に反転させる（すなわち、周期分極反転構造とする）ことにより、疑似的に位相不整合量を0にすることが挙げられる。反転周期を Λ とすると、(式1)で示されるSFGにおいて、波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 の光に対し以下の(式4)を満たす反転周期 Λ を設定すれば、疑似的に位相不整合量を0にすることができる。

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

ここで、 n_1 は波長 λ_1 での屈折率、 n_2 は波長 λ_2 での屈折率、 n_3 は波長 λ_3 での屈折率である。

[0005] このような周期分極反転構造の採用に加え、波長変換光学素子を導波路化する（すなわち、周期分極反転導波路とする）ことにより、高効率な波長変換が可能となる。非線形光学効果は非線形相互作用を引き起こす光の重なり密度が高いほど、その効果も大きくなる。したがって、光を断面積が小さい導波路に閉じ込め、かつ長い距離にわたって光を導波させることが可能な周期分極反転導波路を適用することにより、高効率な波長変換が可能となる。

[0006] 特に、非線形光学材料で大きな非線形定数を有するニオブ酸リチウム(LiNbO₃)を用いた周期分極反転導波路は、その波長変換効率の高さから、すでに市販されている光源内に適用され、実用化が進んでいる。

[0007] 従来までは、非線形光学材料を用いた導波路構造の実現にはTi拡散やプロトン交換による手法が一般的であった。しかし、近年では、波長変換光学素子として結晶のバルクの特性をそのまま利用でき、高光損傷耐性、長期信頼性、デバイス設計の容易性等の特徴を有する、リッジ型光導波路が開発されている（例えば、非特許文献1参照）。このリッジ型光導波路は、二枚の基板を接合した後、一方の基板を薄膜化し、さらにリッジ加工を施すことによ

って形成される。この基板を接合する際に、接着剤等を用いず基板同士を強固に接合する技術として、直接接合技術が知られている。この技術を用いた直接接合型リッジ型導波路は、強い光を入射することができ、導波路化技術の進展と共に小コア化に成功しており、その波長変換効率は向上の一途をたどっている（例えば、非特許文献2参照）。

[0008] 導波路型の非線形光学素子において、高い変換効率を得るためには、導波路内の長い距離にわたって入射光である基本波と出射光である変換波の位相整合が取られている必要がある。導波路において低強度な光が伝搬する領域では、導波路の長手方向にわたって均一な位相整合条件が保たれていることが望まれる。これは非線形光学材料を用いた周期分極反転導波路においては、均一な導波路構造、かつ均一な分極反転周期により実現される。しかし、構造的に均一な導波路において、高強度な変換波を生成する領域では、位相整合条件が崩れるため、波長変換効率の劣化が生じる。これは、生成された変換波の方が基本波よりも導波路媒体に吸収されやすく、導波路内で光吸収による発熱が生じ、結果として屈折率の温度変化等が引き起こされることに起因する。この発熱量は伝搬する変換波の強度と正の相関を有するため、内部を伝搬する変換波の強度が高くなる出射端に近づくにつれ、導波路の温度が高くなるような温度分布を生じる。このように、非線形光学素子においては、高強度な変換波を生成する時の発熱に起因する波長変換効率の劣化が課題となる。

[0009] このような課題に対する解決方法として、従来技術では、素子の温度が一定となるように素子全体に対して温度調整を施す手法や、素子の近傍にヒーターを搭載することで温度勾配を制御する手法がある。しかし、これらの手法では、素子の作製工程が増えることや、制御システムが多くなることにより、素子の構造が煩雑化するという課題がある。

先行技術文献

非特許文献

[0010] 非特許文献1：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, pp.609-611(2003)

非特許文献2 : 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)

発明の概要

[0011] 本発明は、上記の課題を解決する手法であり、その目的は、高強度な変換波の生成を、高効率で実現させることである。

[0012] 上記の目的を達成するため、本発明の一実施態様は、高強度な変換波の生成を、高効率で実現させるため、周期分極反転導波路を備えた波長変換光学素子であって、この周期分極反転導波路は、入射端に入射された基本波を波長変換し、出射端から変換波を出射するコアと、このコアの周辺を覆うクラッドとを備え、周期分極反転導波路が、入射端から出射端に向かい、擬似位相整合が取られるように、素子の構造が徐々に変化する波長変換光学素子を提供する。

[0013] 本発明によれば、上記のような波長変換光学素子とすることにより、高強度な変換波の生成を、高効率で実現することが可能となる。さらに、従来技術に比べて、デバイス作製工程削減や素子構造の簡素化に貢献できるという効果がある。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]コアの分極反転周期を傾斜的に変化させた構造を有する周期分極反転導波路を示す図である。

[図2]コアの幅を傾斜的に変化させた構造を有する周期分極反転導波路を示す図である。

[図3]分極反転周期を変化させた構造を有する波長変換光学素子を示した図である。

[図4]コアの幅を傾斜的に変化させた波長変換光学素子を示した図である。

[図5]分極反転周期を変化させた構造を有する波長変換光学素子を示した図である。

[図6]コアの屈折率を傾斜的に変化させた波長変換光学素子を示した図である。

発明を実施するための形態

[0015] 本発明の一実施形態による波長変換光学素子は、入射された基本波から高次高調波の光を生成し、素子の出射端から波長変換された所望の光を出射する周期分極反転導波路である。但し、その位相整合条件が、入射端から出射端に近づくにつれ、傾斜的に変化しているという点で従来技術とは異なる。上述の通り、高強度な変換波を生成する周期分極反転導波路では、入射端から出射端に近づくにつれて素子の温度が上昇する。そこで本実施形態では、位相整合条件も入射端から出射端に近づくにつれて高温環境で位相整合がとれるよう、波長変換光学素子の機能が傾斜的に変化することによって発熱による位相不整合を抑制し、高効率に変換波を生成することを可能にする技術を提供する。

[0016] 図1は本発明の一実施形態による、コアの分極反転周期を傾斜的に変化させた構造を有する周期分極反転導波路を示す図である。周期分極反転導波路のコア部分を抜き出して示した図であり、リッジ型光導波路、埋込型導波路のいずれであってもよい。なお、周期分極反転導波路をリッジ型の光導波路等とする場合には、コアの周囲を覆うクラッドの少なくとも一部が空気層となる。周期分極反転導波路10は、光の波長変換を行うコア11と、片側一端に基本光14が入射する入射端12と、反対側の一端にコア11で波長変換された変換波15が出射される出射端13を備え、入射端12から出射端13に近づくにつれて、分極反転周期が傾斜的に短くなるような構造を有している。すなわち、周期分極反転導波路10の光軸方向において、一方の向きに分極が設定された領域の長さが、入射端12から出射端13に近づくにつれて、徐々に短くなる構造を有している。

[0017] 図2は本発明の一実施形態による、コアの幅を傾斜的に変化させた構造を

有する周期分極反転導波路を示す図である。周期分極反転導波路 20 は、光の波長変換を行うコア 21 と、基本光 24 が入射する入射端 22 と、コア 21 で波長変換された変換波 25 が出射される出射端 23 を備え、入射端 22 から出射端 23 に近づくにつれて、コア 21 の幅が傾斜的に短くなる構造を有している。すなわち、周期分極反転導波路 20 の光軸方向において、一方の向きに分極が設定された領域の長さが等しく、入射端 22 から出射端 23 に近づくにつれて、光軸方向とは垂直の向きのコア 21 の幅が、徐々に短くなる構造を有している。

[0018] 上述したように、内部を伝搬する変換波の強度が高くなる出射端に近づくにつれ、導波路の温度が高くなり、発熱に起因する屈折率の温度変化により、位相整合条件が崩れる。そこで、本実施形態では、入射端から出射端に近づくにつれ（式 4）に示した位相整合条件を崩さないように、コアの構造が光軸方向に変化する周期分極反転導波路とする。この構造により、導波路における光吸収およびそれに伴う発熱による位相不整合を抑制され、高効率で変換波を生成できる。

[0019] なお、周期分極反転導波路におけるクラッドの材料やコアの材料の、組成比や屈折率を、入射端から出射端に近づくにつれ、傾斜的に変化させても同様の効果を奏する。これは、組成比や屈折率を変化させても、（式 4）に示した位相整合条件を保つことができ、それによって発熱による位相不整合を抑制し、それに伴う波長変換効率の低下を抑制できるためである。

[0020] 光導波路を構成する材料は、ケイ素（Si）、二酸化ケイ素（SiO₂）、ニオブ酸リチウム（LiNbO₃）、タンタル酸リチウム（LiTaO₃）、インジウムリン（InP）、ポリマー等の誘電体や半導体、もしくはこれらに添加物を加えた化合物等から構成される、非線形光学材料から選ばれる。

[0021] （第 1 の実施形態）

以下に、図 3 および図 5 を参照して、本発明による第 1 の実施形態を説明する。本実施形態は、非線形光学導波路のコアが出射端に近づくにつれ、分極反転周期が傾斜的に変化する、すなわち、導波路の光軸方向において、一

方の向きに分極が設定された領域の長さが徐々に変化する波長変換素子に関する。

[0022] 図3は本発明の一実施形態による、分極反転周期を徐々に変化させた構造を有する波長変換光学素子を示した図である。本実施形態における波長変換光学素子30は、図1に示した周期分極反転導波路10と、周期分極反転導波路10に含まれるコア11の下面に接合された基板31を備え、入射端12から出射端13に近づくにつれて、分極反転周期が傾斜的に短くなるような構造を有している。すなわち、周期分極反転導波路10の光軸方向において、一方の向きに分極が設定された領域の長さが、入射端12から出射端13に近づくにつれて、徐々に短くなる構造を有している。ここで、コア11は、 LiNbO_3 系の強誘電体を用いられ、 LiTaO_3 からなる基板31に直接接合されているものとする。このような波長変換光学素子では、波長 $1.5\mu\text{m}$ 帯の光が倍波の波長 775nm 付近の光に変換されるように設計されている。

[0023] 上記のように構成された本実施形態による波長変換光学素子において、位相整合は分極を周期的に反転させる擬似位相整合が用いられる。上述のように、本実施形態における分極反転周期は、入射端12の近傍では所望の波長で位相整合され、出射端13に近づくにつれ、分極が設定された領域の長さが短くなるように設計されている。これは、 LiNbO_3 系の非線形光学導波路を用いた場合、位相整合波長を短波側にシフトさせることに相当する。 LiNbO_3 系の強誘電体を用いた波長変換光学素子では、温度上昇に伴って位相整合波長は長波側にシフトするため、このような形態とすることで発熱による位相不整合を抑制し、高効率に変換波の生成が可能となる。

[0024] このように、コア11の分極反転周期を入射端12から出射端13に近づくにつれ、徐々に変化させた波長変換光学素子は、コア11に LiNbO_3 系の強誘電体を用いた場合に限定されない。したがって、コア11に他の非線形光学材料を用いた周期分極反転導波路にも適用可能であり、同様に、位相整合条件を保つことにより、発熱による位相不整合を抑制し、高効率に変換波を生成する効果を奏する。

[0025] 本実施形態を取らずに、位相整合条件が導波路の伝搬方向にわたって均一になるように作製した従来の波長変換光学素子と、本実施形態による波長変換光学素子で、各々の波長変換効率を比較した。その結果、数十mWの基本波を入射した場合は、従来の波長変換光学素子の方が高い波長変換効率を示したが、数W級の基本波を入射した場合は、本実施形態による波長変換光学素子の方が高い波長変換効率を示した。これは本実施形態により、位相整合条件が導波路中で保たれ、素子の温度上昇が抑制できたことを示している。

[0026] 上述の実施形態において、導波路は基板上にコアを直接接合したリッジ型光導波路を例に取ったが、上述の通り、埋込型導波路であっても同様の効果を奏する。埋込型導波路の場合、図5に示す通り、導波路におけるコア51の周囲を覆うクラッド56が、備えられる。

[0027] (第2の実施形態)

以下に、図4を参照して、本発明による第2の実施形態を説明する。本実施形態は、非線形光学導波路のコアが出射端に近づくとつれ、コアの幅が傾斜的に変化する、すなわち、導波路の光軸方向において、光軸方向とは垂直の向きのコア幅が徐々に変化する波長変換光学素子に関する。

[0028] 図4は本発明の一実施形態による、コアの幅を徐々に変化させた波長変換光学素子を示した図である。本実施形態における波長変換光学素子40は、図2に示した周期分極反転導波路20と、周期分極反転導波路20に含まれるコア21の下面に接合された基板41を備え、入射端22から出射端23に近づくとつれて、コア21の幅が傾斜的に短くなるような構造を有している。すなわち、周期分極反転導波路20の光軸方向において、一方の向きに分極が設定された領域の長さが等しく、入射端22から出射端23に近づくとつれて、光軸方向とは垂直の向きのコア21の幅が、徐々に短くなる構造を有している。第1の実施形態と同様に、ここでは波長変換光学素子のコア21は、LiNbO₃系の強誘電体を用いられ、このコア21はLiTaO₃からなる基板41に直接接合されている。このような波長変換光学素子では、波長1.5 μ m帯の光が倍波の波長775nm付近の光に変換されるように設計されている。

[0029] 上記のように構成された本実施形態による波長変換光学素子において、位相整合は、第1の実施形態と同様に、分極を周期的に反転させる擬似位相整合が用いられる。また、この分極反転周期は入射端面付近では所望の波長で位相整合されるように設計されている。但し、第1の実施形態とは異なり、コア21の分極反転周期は一定、すなわち、周期分極反転導波路20の光軸方向において、一方の向きに分極が設定された領域の長さが等しくなっている。これは、LiNbO₃系の非線形光学導波路を用いた場合、位相整合波長を短波側にシフトさせることに相当する。したがって、このような形態とすることで、第1の実施形態と同様の効果を奏し、高効率で変換波を生成することが可能となる。

[0030] このように、コア21の幅を入射端22から出射端23に近づくにつれて変化させた波長変換光学素子は、コア21にLiNbO₃系の強誘電体を用いた場合に限定されない。したがって、コア21に他の非線形光学材料を用いた波長変換光学素子であっても、同様の効果を奏する。またコア21の幅を入射端22から出射端23に近づくにつれて、短くするか長くするかは、非線形光学材料や素子の構造により異なる。したがって、コア21の幅の変化は、素子の温度上昇による位相不整合を打ち消すように設計することが好ましい。

[0031] 本実施形態を取らずに、位相整合条件が導波路の伝搬方向にわたって均一になるように作製した従来の波長変換光学素子と、本実施形態による波長変換光学素子で、各々の波長変換効率を比較した。その結果、数十mWの基本波を入射した場合は、従来の波長変換光学素子の方が高い波長変換効率を示したが、数W級の基本波を入射した場合は、本実施形態による波長変換光学素子の方が高い波長変換効率を示した。これは本実施形態により、素子の温度上昇を抑制したことを示している。

[0032] (第3の実施形態)

以下に、本発明による第3の実施形態を説明する。本実施形態は、非線形光学導波路のコアが出射端に近づくにつれ、コアの屈折率が傾斜的に変化する、すなわち、コアは分極反転周期の1周期毎に異なる屈折率を有しており

、それぞれ領域における屈折率が導波路の光軸方向に対して、徐々に変化する波長変換光学素子に関する。

[0033] 図6は本発明の一実施形態による、コアの屈折率を徐々に変化させた波長変換光学素子を示した図である。本実施形態における波長変換光学素子60は、周期分極反転導波路61と、周期分極反転導波路61に含まれるコア62の下面に接合された基板63を備え、入射端64から出射端65に近づくにつれて、コア62の屈折率が傾斜的に小さくなるような構造を有している。すなわち、コアは分極反転周期の1周期毎に異なる屈折率を有しており、それぞれ領域における屈折率が、導波路の光軸方向において入射端64から出射端65に近づくにつれ、徐々に小さくなるような構造を有する。このように屈折率を徐々に変化させるためには、コアに用いられる材料の組成比を変化させることによって達成される。第1の実施形態と同様に、ここでは波長変換光学素子のコア62は、 LiNbO_3 系の強誘電体を用いられ、このコア62は LiTaO_3 からなる基板63に直接接合されている。このような波長変換光学素子では、波長 $1.5\mu\text{m}$ 帯の光が倍波の波長 775nm 付近の光に変換されるように設計されている。

[0034] 上記のように構成された本実施形態による波長変換光学素子において、位相整合は、第1および第2の実施形態と同様に、分極を周期的に反転させる擬似位相整合が用いられる。また、この分極反転周期は入射端面付近では所望の波長で位相整合されるように設計されている。但し、第1の実施形態とは異なり、コア62の分極反転周期は一定、すなわち、周期分極反転導波路の光軸方向において、一方の向きに分極が設定された領域の長さが等しくなっている。また、第2の実施例とは異なり、コア62の光軸方向に対する光軸方向とは垂直の向きのコア幅も一定となっている。これは、 LiNbO_3 系の非線形光学導波路を用いた場合、位相整合波長を短波側にシフトさせることに相当する。したがって、このような形態とすることで、第1の実施形態および第2の実施形態と同様の効果を奏し、高効率で変換波を生成することが可能となる。

[0035] 尚、本実施形態においては、リッジ型光導波路におけるコアの屈折率を徐々に変化させたが、埋込型導波路におけるクラッドの屈折率を徐々に変化させてもよく、コアとクラッドの両方の屈折率を徐々に変化させてもよい。また、本実施形態では組成比を変化させることにより屈折率を変化させたが、他の材料を適用することによって屈折率を変化させてもよい。このような素子の構造設計をするにあたっては、素子の温度上昇による位相不整合を打ち消すように設計することが好ましい。

[0036] 本実施形態を取らずに、位相整合条件が導波路の伝搬方向にわたって均一になるように作製した従来の波長変換光学素子と、本実施形態による波長変換光学素子で、各々の波長変換効率を比較した。その結果、数十mWの基本波を入射した場合は、従来の波長変換光学素子の方が高い波長変換効率を示したが、数W級の基本波を入射した場合は、本実施形態による波長変換光学素子の方が高い波長変換効率を示した。これは本実施形態により、位相整合条件が導波路中で保たれ、発熱による位相不整合を抑制できたことを示している。

産業上の利用可能性

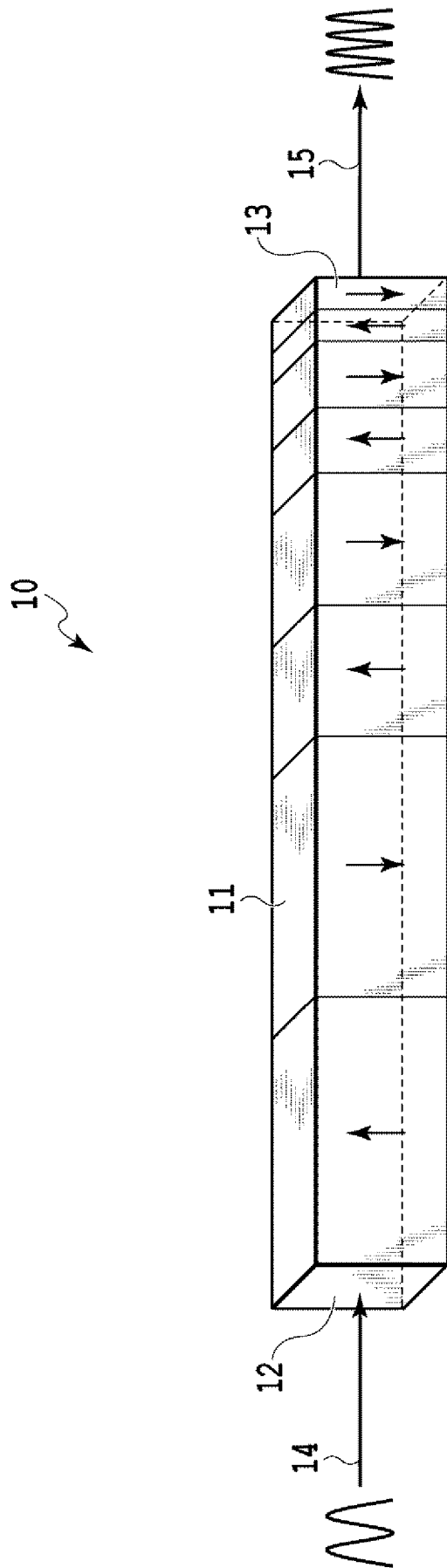
[0037] 本発明は、高強度な変換波を高効率で生成する技術として、光通信分野や光を用いた量子情報通信分野、光計測システム分野への利用が見込まれる。

請求の範囲

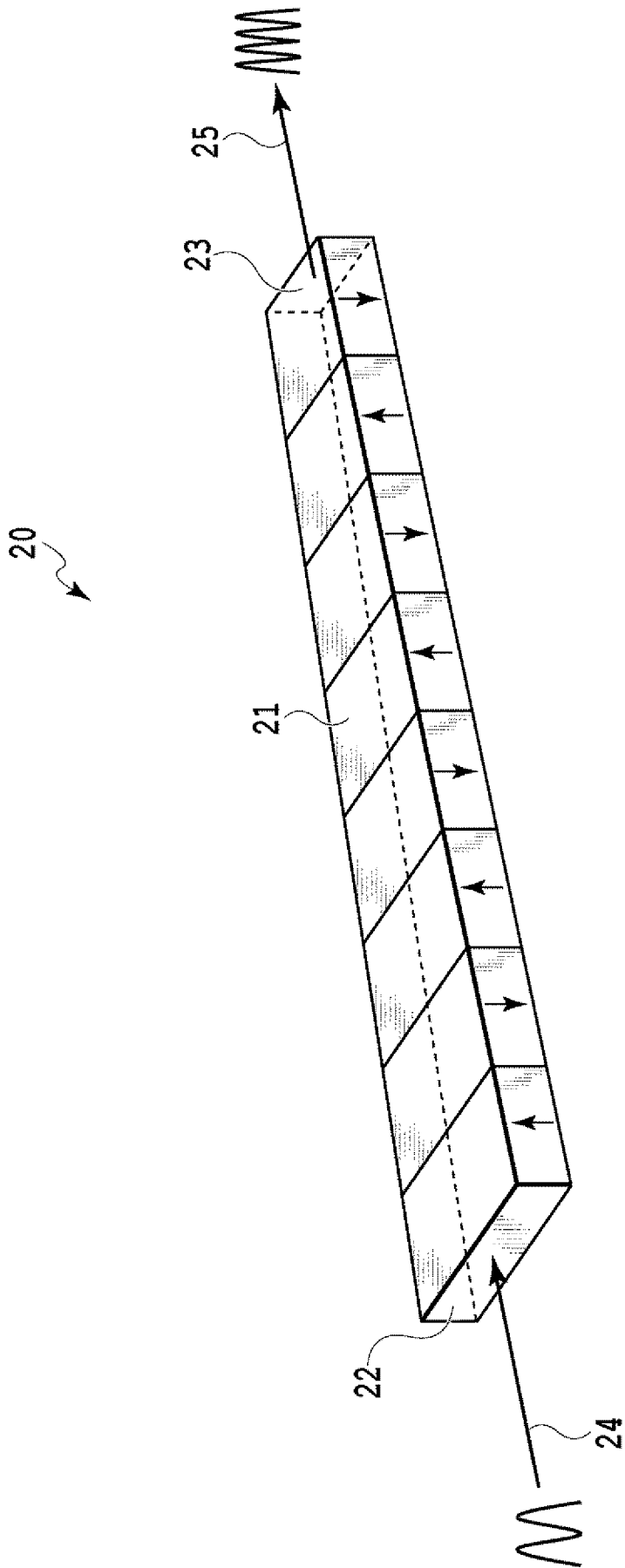
- [請求項1] 周期分極反転導波路を備えた波長変換光学素子であって、
前記周期分極反転導波路は、入射端に入射された基本波を波長変換し、出射端から変換波を出射するコアと、
前記コアの周囲を覆うクラッドとを備え、
前記周期分極反転導波路が、前記入射端から前記出射端に向かい、擬似位相整合が取られるように、素子の構造が徐々に変化する波長変換光学素子。
- [請求項2] 請求項1記載の波長変換光学素子であって、前記周期分極反転導波路において、前記周期分極反転導波路の光軸方向における一方の向きに分極が設定された領域の長さが、前記入射端から前記出射端に近づくにつれ、徐々に変化する構造を有する波長変換光学素子。
- [請求項3] 請求項1に記載の波長変換光学素子であって、前記周期分極反転導波路において、前記周期分極反転導波路の光軸方向における一方の向きに分極が設定された領域の長さが等しく、
前記入射端から前記出射端に近づくにつれて、光軸方向とは垂直の向きの前記コアの幅が、徐々に変化する構造を有する波長変換光学素子。
- [請求項4] 請求項1に記載の波長変換光学素子であって、前記周期分極反転導波路の屈折率が、前記入射端から前記出射端に向かい、徐々に変化している波長変換光学素子。
- [請求項5] 請求項4に記載の波長変換光学素子であって、前記周期分極反転導波路に用いられる材料の組成比が、前記入射端から前記出射端に向かい、徐々に変化している波長変換光学素子。
- [請求項6] 請求項4に記載の波長変換光学素子であって、前記周期分極反転導波路に用いられる材料が、前記入射端から前記出射端に向かい、徐々に変化している波長変換光学素子。

[請求項7] 請求項 1 に記載の波長変換光学素子であって、前記クラッドが空気層を含む波長変換光学素子。

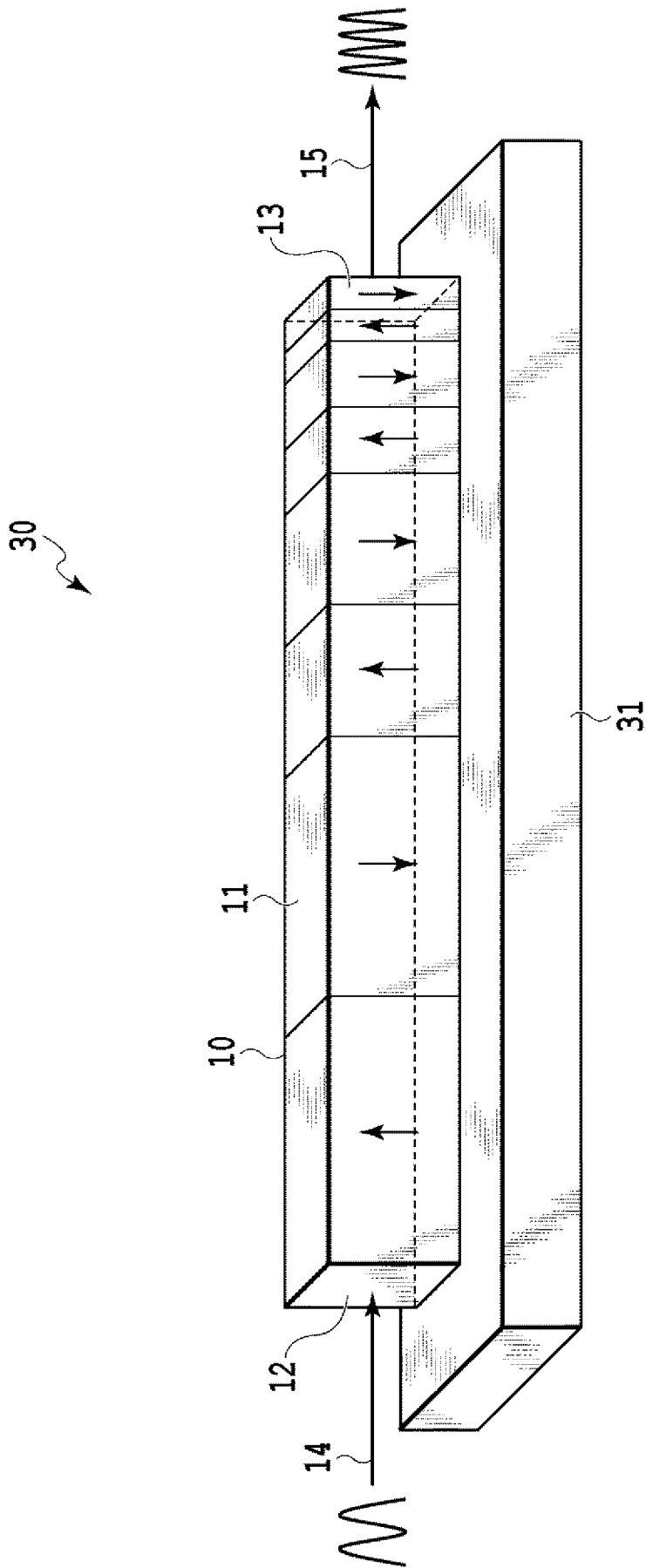
[図1]



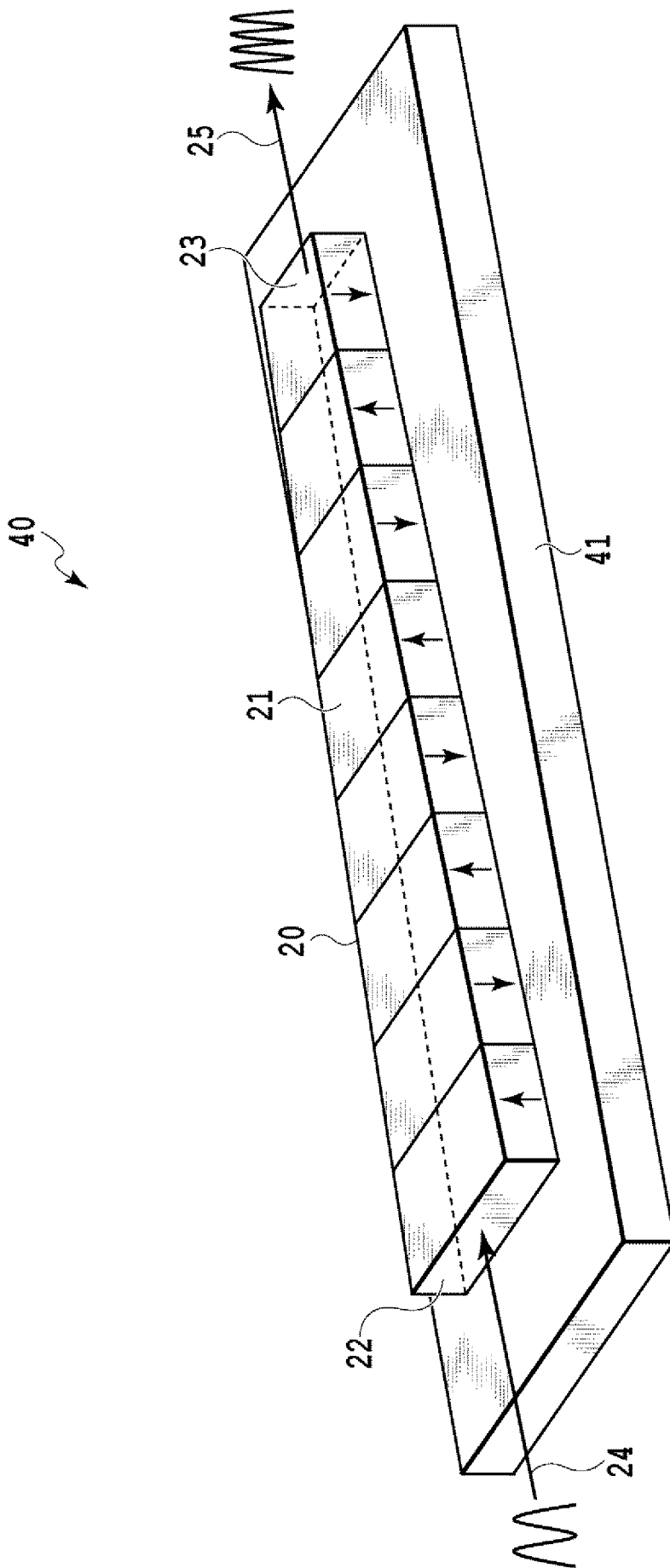
[図2]



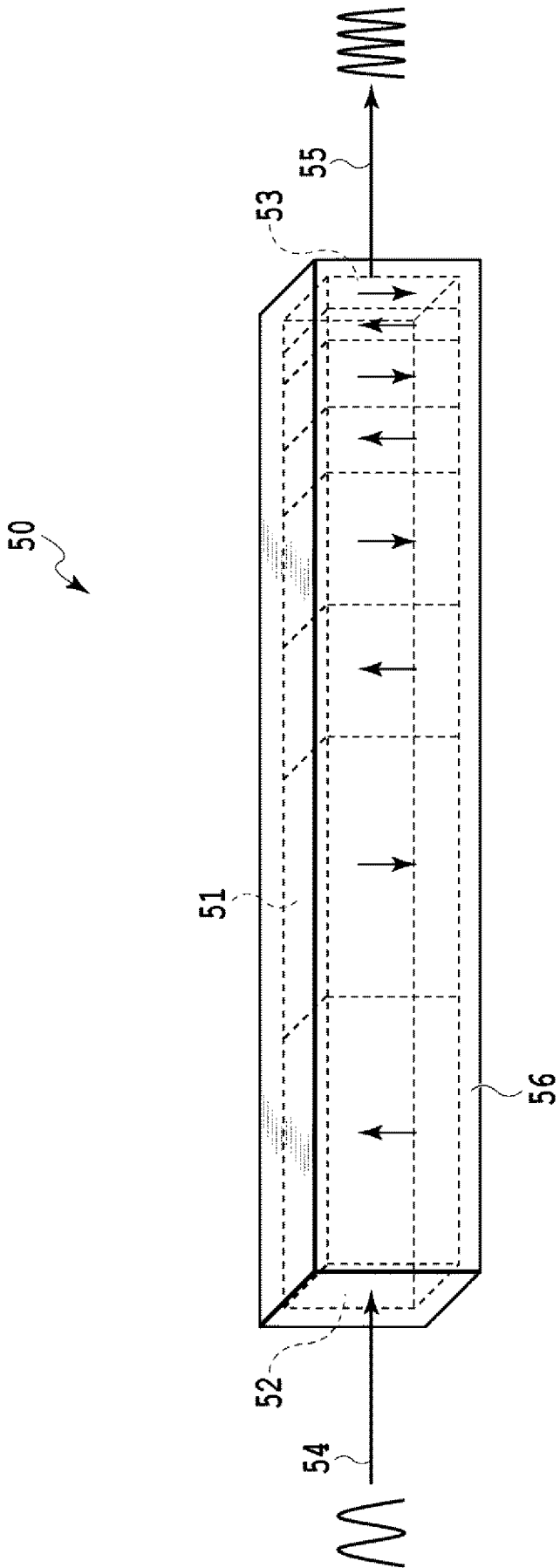
[図3]



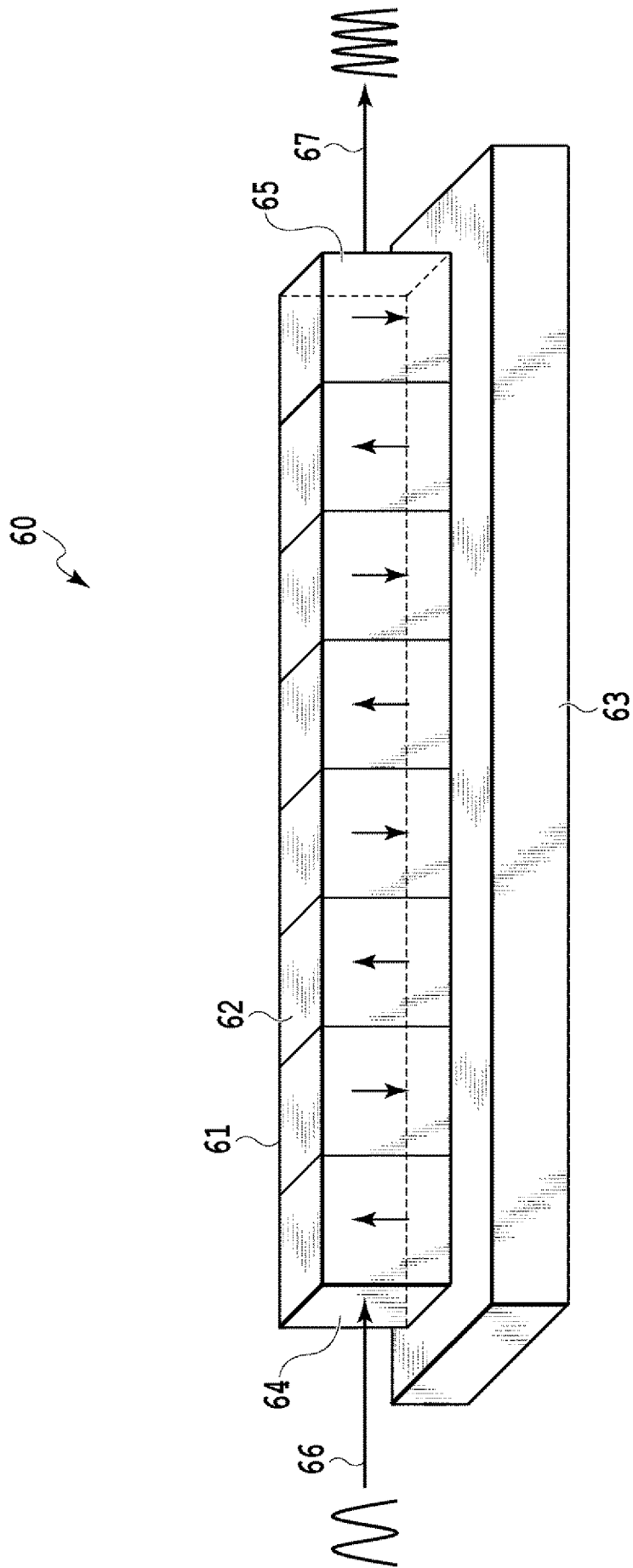
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/015229

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F 1/37(2006.01)i

FI: G02F1/37

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)

G02F1/35-1/39

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2021
Registered utility model specifications of Japan	1996-2021
Published registered utility model applications of Japan	1994-2021

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

JSTPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	WO 2008/050802 A1 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD) 02 May 2008 (2008-05-02) paragraphs [0055]-[0065], fig. 15	1-2, 7 4-6
X Y	WO 2009/047888 A1 (PANASONIC CORPORATION) 16 April 2009 (2009-04-16) paragraphs [0051]-[0053], fig. 3	1-2, 7 4-6
X	JP 6-43513 A (RICOH CO LTD) 18 February 1994 (1994-02-18) claims 1, 6, paragraph [0019]	1, 3, 7
Y	JP 2017-173827 A (DEUTSCHES ELEKTRONEN-SYNCHROTRON DESY) 28 September 2017 (2017-09-28) paragraph [0065]	4-6
Y	JP 2018-73984 A (NAT INSTITUTES OF NATURAL SCIENCES) 10 May 2018 (2018-05-10) paragraph [0045], fig. 14-15	4-6

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
10 June 2021 (10.06.2021)

Date of mailing of the international search report
29 June 2021 (29.06.2021)

Name and mailing address of the ISA/
 Japan Patent Office
 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
 Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

 Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/015229

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2019-73402 A (UNIV MIE) 16 May 2019 (2019-05-16) paragraphs [0043]-[0048], [0052]-[0054], fig. 5	4-6
A	田辺 凌, 他, “表面活性化接合により作製した GaN 分極反転積層構造の接合強度評価”, 2019 年 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, 公益社団法人応用物理学会, September 2019, pp. 13-152, entire text, all drawings, (TANABE, Ryo et al. Bonding Strength of Polarity-Inverted GaN Structure Fabricated by Surface-Activated Bonding. The Japan Society of Applied Physics.), (Lecture preprints of the 80th JSAP Autumn Meeting 2019)	1-7
A	WO 2018/045701 A1 (SHENZHEN UNIVERSITY) 15 March 2018 (2018-03-15) entire text, all drawings	1-7
A	US 2009/0154508 A1 (HC PHOTONICS CORP.) 18 June 2009 (2009-06-18) entire text, all drawings	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/015229

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2008/050802 A1	02 May 2008	US 2010/0165453 A1 paragraphs [0084]- [0094], fig. 15 CN 101506730 A	
WO 2009/047888 A1	16 Apr. 2009	US 2010/0238959 A1 paragraphs [0073]- [0075], fig. 3 CN 101821914 A	
JP 6-43513 A	18 Feb. 1994	(Family: none)	
JP 2017-173827 A	28 Sep. 2017	US 2017/0269455 A1 paragraph [0093] EP 3223069 A1	
JP 2018-73984 A	10 May 2018	US 2018/0123309 A1 paragraphs [0103]- [0115], fig. 14-15 GB 2553719 A DE 102017125099 A1 FR 3058584 A1	
JP 2019-73402 A	16 May 2019	(Family: none)	
WO 2018/045701 A1	15 Mar. 2018	CN 106207718 A	
US 2009/0154508 A1	18 Jun. 2009	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02F 1/37(2006.01)i FI: G02F1/37		
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）） G02F1/35-1/39 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 1971-2021年 日本国実用新案登録公報 1996-2021年 日本国登録実用新案公報 1994-2021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） JSTPlus/JST7580 (JDreamII)		
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 請求項の番号
X	WO 2008/050802 A1 (松下電器産業株式会社) 02.05.2008 (2008-05-02) 段落 [0055] - [0065]、図15	1-2, 7
Y		4-6
X	WO 2009/047888 A1 (パナソニック株式会社) 16.04.2009 (2009-04-16) 段落 [0051] - [0053]、図3	1-2, 7
Y		4-6
X	JP 6-43513 A (株式会社リコー) 18.02.1994 (1994-02-18) 請求項1、6、段落 [0019]	1, 3, 7
Y	JP 2017-173827 A (ドイチェス エレクトローネン-シンクロトロン デズィ) 28.09.2017 (2017-09-28) 段落 [0065]	4-6
Y	JP 2018-73984 A (大学共同利用機関法人自然科学研究機構) 10.05.2018 (2018-05-10) 段落 [0045]、図14-15	4-6
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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抵触するものではなく、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 10.06.2021	国際調査報告の発送日 29.06.2021	
名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 林 祥恵 2L 4085 電話番号 03-3581-1101 内線 3295	

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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 請求項の番号
Y	JP 2019-73402 A (国立大学法人三重大学) 16.05.2019 (2019 - 05 - 16) 段落 [0043] - [0048]、[0052] - [0054]、図5	4-6
A	田辺 凌, 他, "表面活性化接合により作製したGaN分極反転積層構造の接合強度評価", 2019年 第80回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, 公益社団法人応用物理学会, 2019.09, p. 13-152 全文、全図	1-7
A	WO 2018/045701 A1 (SHENZHEN UNIVERSITY) 15.03.2018 (2018 - 03 - 15) 全文、全図	1-7
A	US 2009/0154508 A1 (HC PHOTONICS CORP.) 18.06.2009 (2009 - 06 - 18) 全文、全図	1-7

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/015229

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2008/050802	A1	02.05.2008	US	2010/0165453	A1	
					[0084]-[0094], FIG. 15		
				CN	101506730	A	
WO	2009/047888	A1	16.04.2009	US	2010/0238959	A1	
					[0073]-[0075], FIG. 3		
				CN	101821914	A	
JP	6-43513	A	18.02.1994	(ファミリーなし)			
JP	2017-173827	A	28.09.2017	US	2017/0269455	A1	
					[0093]		
				EP	3223069	A1	
JP	2018-73984	A	10.05.2018	US	2018/0123309	A1	
					[0103]-[0115], FIGs. 14-15		
				GB	2553719	A	
				DE	102017125099	A1	
				FR	3058584	A1	
JP	2019-73402	A	16.05.2019	(ファミリーなし)			
WO	2018/045701	A1	15.03.2018	CN	106207718	A	
US	2009/0154508	A1	18.06.2009	(ファミリーなし)			