

(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  
2024年6月27日(27.06.2024)



(10) 国際公開番号

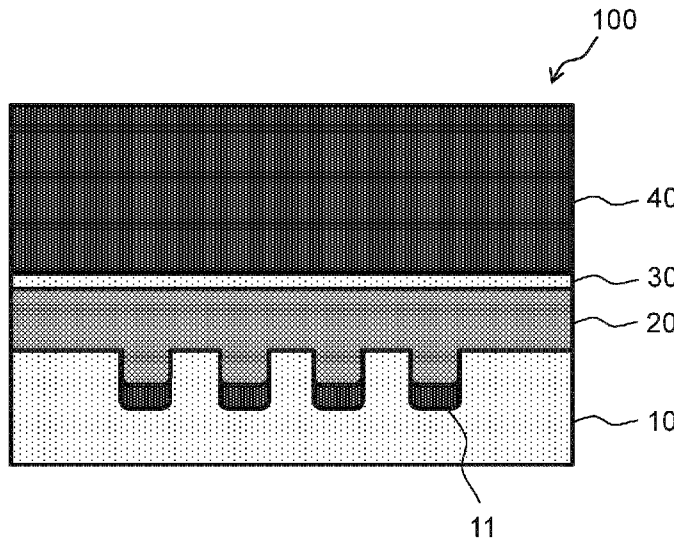
WO 2024/135076 A1

- (51) 国際特許分類:  
*G02F 1/37* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/037937
- (22) 国際出願日: 2023年10月19日(19.10.2023)
- (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 2022-207593 2022年12月23日(23.12.2022) JP
- (71) 出願人: 日本碍子株式会社(NGK INSULATORS, LTD.) [JP/JP]; 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 Aichi (JP).
- (72) 発明者: 細野 舜(HOSONO, Shun); 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 山口 省一郎(YAMAGUCHI, Shoichiro); 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 野本 祐輝(NOMOTO, Yuki); 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 弁理士法人サンネクスト国際特許事務所(SUNNEXT INTERNATIONAL PATENT OFFICE); 〒1400002 東京都品川区東品川二丁目3番12号 シーフォートスクエア センタービルディング16階 Tokyo (JP).

(54) Title: MANUFACTURING METHOD FOR WAVELENGTH CONVERSION ELEMENT, AND WAVELENGTH CONVERSION ELEMENT

(54) 発明の名称: 波長変換素子の製造方法、波長変換素子

図1



(57) Abstract: This manufacturing method for a wavelength conversion element that has a periodical polarization inversion structure includes: a step of forming the periodical polarization inversion structure by forming a polarization inversion section and a non-polarization inversion section in an alternating manner on a ferroelectric substrate; a step of etching a surface of the ferroelectric substrate on which the periodical polarization inversion structure is formed and forming a step between the polarization inversion section and the non-polarization inversion section; a step of forming a bonding layer, of a first thickness, on the ferroelectric substrate on which the step is formed; a step of polishing the surface of the bonding layer such that the thickness of the bonding layer becomes a second thickness; and a step of bonding a support



WO 2024/135076 A1

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))

substrate to the polished surface of the bonding layer.

(57) 要約: 周期分極反転構造を有する波長変換素子の製造方法は、強誘電体基板に分極反転部と非分極反転部を交互に形成することで前記周期分極反転構造を形成する工程と、前記周期分極反転構造が形成された前記強誘電体基板の表面をエッチングし、前記分極反転部と前記非分極反転部の間に段差を形成する工程と、前記段差が形成された前記強誘電体基板の上に第1の厚みで接合層を成膜する工程と、前記接合層の厚さが第2の厚みとなるように前記接合層の表面を研磨する工程と、研磨された前記接合層の表面に支持基板を接合する工程と、を含む。

## 明 細 書

発明の名称：波長変換素子の製造方法、波長変換素子

### 技術分野

[0001] 本発明は、周期分極反転構造を有する波長変換素子およびその製造方法に関する。

### 背景技術

[0002] 従来、例えば青色光や緑色光のレーザーを実現する光源として、赤色光を基本波として発振するレーザーと、第二高調波発生素子として機能する波長変換素子とを組み合わせた構造のものが知られている。このような光源で使用される波長変換素子においては、分極反転部と非分極反転部が周期的に交互に形成された周期分極反転構造を用いて実現される QPM (Quasi-Phase Matching) 構造により、波長変換が行われる。

[0003] 特許文献 1 には、光導波路内に形成された周期分極反転構造において、設計幅の異なる第一の分極反転部と第二の分極反転部とが交互に配列されており、第一の分極反転部の設計幅と第二の分極反転部の設計幅との差分が電極の形成に用いられるマスクの精度の奇数倍であり、非分極反転部の設計幅が略一定である波長変換素子が記載されている。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0004] 特許文献 1：日本国特許第 4 1 0 0 9 3 7 号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献 1 のような波長変換素子の製造工程では、基板表面をエッチングして分極反転部分に周期的な段差が形成されることを観察し、これによって基板に周期分極反転構造が正しく形成されていることを確認する場合がある。しかしながら、このような方法で周期分極反転構造が形成されていることを確認した基板上に、支持基板との接合のために SiO<sub>2</sub> 等の接合層を成膜

すると、エッチングによって形成された段差の上に接合層が成膜されるため、接合層の表面にも同様の段差が生じる。このような状態で、接合層を介して基板を支持基板に接合して波長変換素子を作製すると、接合層と支持基板の間には、接合層表面の段差による隙間が形成される。この隙間に気泡が巻き込まれることで、波長変換素子の内部に気泡が閉じ込められてしまうため、外観不良等の問題が生じることがある。

[0006] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであり、その主な目的は、エッチングにより周期分極反転構造の形成を確認した場合であっても、内部に気泡が閉じ込められることを抑制可能な波長変換素子およびその製造方法を実現することにある。

### 課題を解決するための手段

[0007] 本発明による波長変換素子の製造方法は、周期分極反転構造を有する波長変換素子の製造方法であって、強誘電体基板に分極反転部と非分極反転部を交互に形成することで前記周期分極反転構造を形成する工程と、前記周期分極反転構造が形成された前記強誘電体基板の表面をエッチングし、前記分極反転部と前記非分極反転部の間に段差を形成する工程と、前記段差が形成された前記強誘電体基板の上に第1の厚みで接合層を成膜する工程と、前記接合層の厚さが第2の厚みとなるように前記接合層の表面を研磨する工程と、研磨された前記接合層の表面に支持基板を接合する工程と、を含む。

本発明による波長変換素子は、周期分極反転構造を有するものであって、強誘電体基板に分極反転部と非分極反転部とが交互に設けられ、前記分極反転部と前記非分極反転部の間に段差を有する前記周期分極反転構造、前記段差を有する強誘電体基板の上に設けられた接合層、および前記接合層上に接合された支持基板、を有し、前記段差が、10～40nmであり、前記接合層の前記支持基板側の面の表面凹凸が、2nm以下である。

### 発明の効果

[0008] 本発明によれば、エッチングにより周期分極反転構造の形成を確認した場合であっても、内部に気泡が閉じ込められることを抑制可能な波長変換素子

およびその製造方法を実現することができる。

### 図面の簡単な説明

[0009] [図1]本発明の一実施形態に係る波長変換素子の概略構成を示す模式的な断面図である。

[図2A]比較例による波長変換素子の製造工程のうち、周期分極反転構造の形成工程を示す図である。

[図2B]比較例による波長変換素子の製造工程のうち、エッチング工程を示す図である。

[図2C]比較例による波長変換素子の製造工程のうち、接合層の成膜工程を示す図である。

[図2D]比較例による波長変換素子の製造工程のうち、支持基板の接合工程を示す図である。

[図3A]本発明の一実施形態に係る波長変換素子の製造工程のうち、周期分極反転構造の形成工程を示す図である。

[図3B]本発明の一実施形態に係る波長変換素子の製造工程のうち、エッチング工程を示す図である。

[図3C]本発明の一実施形態に係る波長変換素子の製造工程のうち、接合層の成膜工程を示す図である。

[図3D]本発明の一実施形態に係る波長変換素子の製造工程のうち、接合層の研磨工程を示す図である。

[図3E]本発明の一実施形態に係る波長変換素子の製造工程のうち、支持基板の接合工程を示す図である。

[図4]研磨工程の前、途中および後における接合層表面の観察結果を示す図である。

[図5A]比較例による波長変換素子の接合層を暗視野顕微鏡で観察した画像である。

[図5B]本発明の一実施形態に係る波長変換素子の接合層を暗視野顕微鏡で観察した画像である。

## 発明を実施するための形態

[0010] 以下、本発明の実施形態について図面を参照しつつ説明するが、本発明はこれらの実施形態には限定されない。また、図面は説明をより明確にするため、実施の形態に比べ、各部の幅、厚み、形状等について模式的に表される場合があるが、あくまで一例であって、本発明の解釈を限定するものではない。

[0011] (波長変換素子の構造)

図1は、本発明の一実施形態に係る波長変換素子の概略構成を示す模式的な断面図である。波長変換素子100は、強誘電体基板10が接合層20および接着層30を介して支持基板40に接合された構造を有している。

[0012] 強誘電体基板10は、強誘電体を用いて構成された基板である。強誘電体基板10を構成する強誘電体には、例えばMgO:LN(MgO添加ニオブ酸リチウム)や、MgO:LT(MgO添加タンタル酸リチウム)が用いられる。強誘電体基板10には、他の部分とは分極方向が反対向きに形成された分極反転部11が、一定の間隔で周期的に配置されている。すなわち、強誘電体基板10には、分極反転部11とそれ以外の部分(非分極反転部)とが、周期的に交互に形成されている。これにより、強誘電体基板10において周期分極反転構造が形成されている。

[0013] 接合層20は、強誘電体基板10を支持基板40に接合する際の接合面を形成するために用いられる。強誘電体基板10は、接合層20を介して支持基板40に接合されることで、接合に好適な接合面が接合層20に形成され、支持基板40との接合を強固に行うことができる。また、強誘電体基板10に形成された周期分極反転構造を支持基板40に直接接合せず、接合層20を介して支持基板40に接合することができるため、周期分極反転構造の保護を図ることもできる。

[0014] 接合層20は、例えばSiO<sub>2</sub>の非晶質体を用いて構成される。接合層20を非晶質体で構成することで、例えば、後述の研磨がし易くなり、接合面に好適な表面粗さが得られ易くなる。

- [0015] 接合層20は、任意の適切な方法により成膜され得る。例えば、スパッタリング、真空蒸着、イオンビームアシスト蒸着（IAD）等の物理蒸着、化学蒸着、原子層堆積（ALD）法により成膜され得る。接合層20の成膜は、例えば、室温（25℃）～300℃で行うことができる。
- [0016] 接着層30は、接合層20を介して強誘電体基板10を支持基板40に接合する。接着層30は、例えば樹脂により構成され、接合層20と支持基板40の間に介在してこれらを互いに接着する。すなわち、波長変換素子100では、接着層30を介して接合層20の表面と支持基板40とが接合されている。
- [0017] 支持基板40は、強誘電体基板10を支持する。支持基板40としては、任意の適切な基板が用いられ得る。支持基板40は、単結晶で構成されてもよく、多結晶で構成されてもよい。また、金属で構成されてもよい。支持基板40を構成する材料としては、好ましくは、シリコン、サイアロン、サファイア、コージェライト、ムライト、ガラス、石英、水晶、アルミナ、SUS、鉄ニッケル合金（42アロイ）、LN（LiNbO<sub>3</sub>：ニオブ酸リチウム）、LT（LiTaO<sub>3</sub>：タンタル酸リチウム）および黄銅からなる群から選択される。支持基板40の厚みとしては、任意の適切な厚みが採用され得る。
- [0018] 上記シリコンは、単結晶シリコンであってもよく、多結晶シリコンであってもよく、高抵抗シリコンであってもよい。また、支持基板40は、SOI（Silicon on Insulator）であってもよい。
- [0019] 代表的には、上記サイアロンは、窒化ケイ素とアルミナとの混合物を焼結して得られるセラミックスであり、例えば、Si<sub>6-w</sub>Al<sub>w</sub>O<sub>w</sub>N<sub>8-w</sub>で示される組成を有する。具体的には、サイアロンは、窒化ケイ素中にアルミナが混合された組成を有しており、式中のwはアルミナの混合比率を示している。wは、好ましくは0.5以上4.0以下である。
- [0020] 代表的には、上記サファイアはAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の組成を有する単結晶であり、上記アルミナはAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の組成を有する多結晶である。アルミナは、

好ましくは透光性アルミナである。

[0021] 代表的には、上記コーゼライトは、 $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ の組成を有するセラミックスであり、上記ムライトは、 $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \sim 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ の範囲の組成を有するセラミックスである。

[0022] 以上説明した波長変換素子100は、例えば赤色レーザー光を波長変換して青色や緑色のレーザー光を得るための第二高調波発生素子として利用される。なお図示しないが、波長変換素子100は、任意の層をさらに有していてもよい。このような層の種類・機能、数、組み合わせ、配置等は、目的に応じて適切に設定され得る。

[0023] 波長変換素子100は、任意の適切な形状で製造され得る。また、波長変換素子100のサイズは、目的に応じて適切に設定され得る。

[0024] (比較例の製造方法)

上記の波長変換素子100の製造方法を説明する前に、本発明を適用しない場合の比較例による波長変換素子の製造方法について、図2A～図2Dを参照して以下に説明する。

[0025] 図2Aは、比較例による波長変換素子110の製造工程のうち、周期分極反転構造の形成工程を示している。この工程では、 $\text{MgO} : \text{LN}$ や $\text{MgO} : \text{LT}$ により構成された強誘電体基板10において、分極反転部11と他の部分に対してそれぞれ所定の電圧を印加することで、分極反転部11と非分極反転部を周期的に交互に形成する。これにより、強誘電体基板10に周期分極反転構造を形成する。

[0026] 図2Bは、比較例による波長変換素子110の製造工程のうち、エッチング工程を示している。この工程では、図2Aの製造工程で周期分極反転構造が形成された強誘電体基板10の表面に、フッ酸と硝酸との混合液を塗布してエッチングを行う。このとき、分極反転部11と非分極反転部のエッチングレートが異なるため、非分極反転部に対して分極反転部11がより深く侵食され、強誘電体基板10の表面において、分極反転部11と非分極反転部

の間に段差 1 2 が形成される。この段差 1 2 を観察することにより、強誘電体基板 1 0 において周期分極反転構造が形成されたことを確認できる。

[0027] 図 2 C は、比較例による波長変換素子 1 1 0 の製造工程のうち、接合層の成膜工程を示している。この工程では、図 2 B のエッチング工程で段差 1 2 が形成された強誘電体基板 1 0 の上に SiO<sub>2</sub> の非晶質体等を成膜することで、接合層 2 0 を形成する。この成膜工程では前述のように、様々な成膜方法を用いることで、強誘電体基板 1 0 の表面からの厚みが成膜時間に応じた所定の厚みとなるように、接合層 2 0 を形成することができる。そのため接合層 2 0 の表面には、強誘電体基板 1 0 の表面にある段差 1 2 にそれぞれ対応して、段差 2 1 が形成される。

[0028] 図 2 D は、比較例による波長変換素子 1 1 0 の製造工程のうち、支持基板の接合工程を示している。この工程では、図 2 C の成膜工程で形成された接合層 2 0 の表面に樹脂等を塗布することで接着層 3 0 を形成し、この接着層 3 0 の上に支持基板 4 0 を載置する。これにより、接合層 2 0 と支持基板 4 0 が接着層 3 0 で接着され、強誘電体基板 1 0 と支持基板 4 0 が接合層 2 0 および接着層 3 0 を介して接合される。

[0029] 以上説明した図 2 A ~ 図 2 D の工程を順に実施することで、比較例の波長変換素子 1 1 0 が製造される。

[0030] ところで、上記の比較例による波長変換素子 1 1 0 では、図 2 D に示すように、接着層 3 0 と支持基板 4 0 の間に隙間 3 1 が形成されている。この隙間 3 1 は、図 2 D の接合工程において、接合層 2 0 の表面に存在する段差 2 1 に沿って接着層 3 0 が形成され、この状態で接合層 2 0 と支持基板 4 0 が接着層 3 0 を介して接合されることが原因となって、形成されるものである。すなわち、図 2 A ~ 図 2 D で説明した比較例による波長変換素子の製造方法では、図 2 B のエッチング工程において強誘電体基板 1 0 の表面に段差 1 2 が形成され、続く図 2 C の成膜工程において成膜された接合層 2 0 の表面に、段差 1 2 に対応する段差 2 1 が形成されることにより、接着層 3 0 と支持基板 4 0 の間に隙間 3 1 が形成される。図 2 D の接合工程において、この

隙間 31 に気泡が巻き込まれると、内部に気泡が閉じ込められた状態で波長変換素子 110 が作製される。

[0031] 波長変換素子 110 は、波長変換を行うレーザー光を透過させる必要があるため、少なくともその一部が透明な材料を用いて構成される。波長変換素子 110 の内部に閉じ込められた気泡は、この透明部分を通して外部から視認することができるため、外観不良を引き起こすおそれがある。また、温度変化による気泡の膨張や収縮などにより、接合不良等の不具合につながる可能性もある。すなわち、比較例による波長変換素子 110 では、接着層 30 と支持基板 40 の間に隙間 31 が形成されることにより、これらの問題が生じるおそれがある。

[0032] (本発明の製造方法)

以下では、上記比較例における問題点を解消するための本発明による波長変換素子の製造方法について、図 3A～図 3E を参照して以下に説明する。

[0033] 図 3A は、本発明の一実施形態に係る波長変換素子 100 の製造工程のうち、周期分極反転構造の形成工程を示している。この工程では、図 2A で説明した比較例における周期分極反転構造の形成工程と同様の方法により、強誘電体基板 10 において分極反転部 11 と非分極反転部を周期的に交互に形成することで、強誘電体基板 10 に周期分極反転構造を形成する。

[0034] 図 3B は、本発明の一実施形態に係る波長変換素子 100 の製造工程のうち、エッチング工程を示している。この工程では、図 2B で説明した比較例におけるエッチング工程と同様に、図 3A の製造工程で周期分極反転構造が形成された強誘電体基板 10 の表面にエッチングを行うことで、分極反転部 11 と非分極反転部の間に段差 12 を形成する。段差 12 の高さとしては、例えば、10～40nm である。

[0035] 図 3C は、本発明の一実施形態に係る波長変換素子 100 の製造工程のうち、接合層の成膜工程を示している。この工程では、図 2C で説明した比較例におけるエッチング工程と同様に、図 3B のエッチング工程で段差 12 が形成された強誘電体基板 10 の上に接合層 20 を成膜して形成する。このと

き、後述の研磨工程において接合層 20 を研磨しても、研磨後の接合層 20 の厚みが十分に確保されるように、比較例におけるエッチング工程の場合よりも接合層 20 の厚みを大きくする（第 1 の厚みとする）ことが好ましい。なお、比較例と同様に、接合層 20 の表面には、強誘電体基板 10 の表面にある段差 12 に対応して段差 21 が形成される。第 1 の厚みとしては、例えば、480～700 nm である。

[0036] 図 3 D は、本発明の一実施形態に係る波長変換素子 100 の製造工程のうち、接合層の研磨工程を示している。この工程では、図 3 C の成膜工程で形成された接合層 20 に対して、接合層 20 の厚さが所定の厚み（第 2 の厚み）となるまで研削、研磨等の加工を施す。これにより、図 3 C の成膜工程の終了時点では接合層 20 の表面に存在していた段差 21 を無くし、例えば接合層 20 の表面（支持基板 40 と接合される側の面）の凹凸が 2 nm 以下となるようにして、平坦な表面が形成されるようにする。なお、このときの研磨前後での接合層 20 の厚みの差（第 1 の厚みと第 2 の厚みとの差）は、例えば段差 12（段差 21）の高さの 5 倍以上 15 倍以下とすることができ、より好ましくは、5 倍以上 10 倍以下とすることができる。この範囲であれば、研磨後の接合層 20 において必要な厚みを維持しつつ、接合層 20 の表面を十分に平坦化することが可能となる。第 2 の厚みとしては、例えば、380～500 nm である。

[0037] 図 3 E は、本発明の一実施形態に係る波長変換素子 100 の製造工程のうち、支持基板の接合工程を示している。この工程では、図 2 D の研磨工程で研磨された接合層 20 の表面に、図 2 D で説明した比較例における接合工程と同様に樹脂等を塗布することで接着層 30 を形成し、この接着層 30 の上に支持基板 40 を載置する。これにより、接合層 20 と支持基板 40 が接着層 30 で接着され、強誘電体基板 10 と支持基板 40 が接合層 20 および接着層 30 を介して接合される。

[0038] 以上説明した図 3 A～図 3 E の工程を順に実施することで、本実施形態の波長変換素子 100 が製造される。

[0039] 本実施形態の波長変換素子100では、前述した比較例の波長変換素子110において生じる問題点を解消することができる。具体的には、図3Dの研磨工程で接合層20の表面から段差21が取り除かれているため、その後の図3Eの接合工程において接着層30を形成する際に、図2Dに示したような隙間31が接着層30と支持基板40の間に形成されることがない。したがって、波長変換素子100では内部に気泡が閉じ込められることを抑制し、気泡が原因となって外観不良や接合不良等の不具合が生じるのを回避することが可能となる。

[0040] なお、上記の接合工程に際し、例えば、研磨剤の残渣の除去のため、接合層20や支持基板40の表面を洗浄することが好ましい。洗浄方法としては、例えば、ウエット洗浄、ドライ洗浄、スクラブ洗浄が挙げられる。これらの中でも、簡便かつ効率的に洗浄し得ることから、スクラブ洗浄が好ましい。スクラブ洗浄の具体例としては、洗浄剤（例えば、ライオン社製、サンウォッシュシリーズ）を用いた後に、溶剤（例えば、アセトンとイソプロピルアルコール（IPA）との混合溶液）を用いてスクラブ洗浄機にて洗浄する方法が挙げられる。

## 実施例

[0041] 以下、本発明による波長変換素子100の製造方法の一例である実施例を説明する。なお、特に明記しない限り、下記の手順は室温にて行った。

[0042] 直径φ4インチ×厚さ0.3mmの、マグネシウムを5%ドーピングしたニオブ酸リチウム単結晶からなるMgO:LNを材料として、強誘電体基板10を準備した。この強誘電体基板10に複数の電極を所定間隔ごとに設置して電源に接続し、電源から1.4kVのパルス状の電圧（パルス幅20ms、25ヘルツ、パルス回数4回、印加電流の上限値は2mA）を発生させることで、図3Aの周期分極反転構造の形成工程を実施し、周期分極反転構造を形成した。

[0043] 次に、フッ酸（フッ化水素の水溶液）と硝酸との混合液を用いて強誘電体基板10の表面にエッチングを行うことで、図3Bのエッチング工程を実施

し、分極反転部 11 と非分極反転部の間に段差 12 を形成した。なお、フッ酸と硝酸の混合液の代わりに、フッ化水素の濃度が 50 wt % の水溶液を用いて、図 3 B のエッチング工程を実施してもよい。

[0044] 次に、段差 12 が形成された強誘電体基板 10 の表面に、スパッタリングによって厚み 540 nm の SiO<sub>2</sub> 膜を成膜することで、図 3 C の成膜工程を実施し、強誘電体基板 10 の上に接合層 20 を形成した。そして、この接合層 20 の表面の所定範囲を原子間力顕微鏡 (AFM) によって観察し、段差 21 が形成されていることを確認した。

[0045] 図 4 (a) は、成膜工程後 (研磨工程の実施前) の接合層 20 の表面の観察結果を示す図である。この状態では、接合層 20 の表面に約 13 nm の高さで段差 21 が形成されていることを確認できた。

[0046] 次に、接合層 20 の表面を化学機械研磨加工 (CMP) によって研磨することで、図 3 D の研磨工程を実施した。この研磨工程では、接合層 20 の厚みが 540 nm から 440 nm となるまで接合層 20 の表面を約 100 nm 研磨し、接合層 20 の表面が均一となるようにした。そして、このときの接合層 20 の表面の所定範囲を原子間力顕微鏡 (AFM) によって観察し、段差 21 が除去されて平坦になっていることを確認した。

[0047] 図 4 (b) は、研磨工程途中の接合層 20 の表面の観察結果を示す図である。図 4 (b) では、接合層 20 の表面を 50 nm 研磨した状態での観察結果を示している。この状態では、段差 21 の高さが約 3 nm まで低減しているが、まだ段差 21 を完全には除去しきれていないことを確認できた。

[0048] 図 4 (c) は、研磨工程後の接合層 20 の表面の観察結果を示す図である。図 4 (c) では、接合層 20 の表面を 100 nm 研磨した状態での観察結果を示している。この状態では、段差 21 がほぼ完全に消滅し (2 nm 以下)、接合層 20 の表面が平坦になっていることを確認できた。

[0049] 最後に、100 nm 研磨後の接合層 20 の表面に樹脂 (例えばエポキシ樹脂) を塗布して接着層 30 を形成し、この接着層 30 の上に支持基板 40 を載置して接着層 30 を乾燥させることで、図 3 E の接合工程を実施した。こ

れにより、図 1 に示す構造の波長変換素子 100 を得た。

[0050] (気泡の観察)

前述の比較例による波長変換素子 110 と、上記で作製した本実施形態の波長変換素子 100 とについて、強誘電体基板 10 側から暗視野顕微鏡による観察をそれぞれ行った。これらの観察画像を図 5 A、図 5 B にそれぞれ示す。

[0051] 図 5 A に示す観察画像では、波長変換素子 110 の内部に閉じ込められた気泡が、他の部分よりも明るく写っている。これにより、波長変換素子 110 の内部に多数の気泡が閉じ込められていることが分かる。一方、図 5 B に示す観察画像では、波長変換素子 100 の内部には気泡が存在せず、内部に気泡が閉じ込められることを抑制できていることが分かる。

[0052] 以上説明した本発明の実施形態によれば、以下のような作用効果を奏する。

[0053] (1) 周期分極反転構造を有する波長変換素子 100 の製造方法は、強誘電体基板 10 に分極反転部 11 と非分極反転部を交互に形成することで周期分極反転構造を形成すること (図 3 A : 周期分極反転構造の形成工程) と、周期分極反転構造が形成された強誘電体基板 10 の表面をエッチングし、分極反転部 11 と非分極反転部の間に段差 12 を形成すること (図 3 B : エッチング工程) と、段差 12 が形成された強誘電体基板 10 の上に第 1 の厚みで接合層 20 を成膜すること (図 3 C : 接合層の成膜工程) と、接合層 20 の厚さが第 2 の厚みとなるように接合層 20 の表面を研磨すること (図 3 D : 接合層の研磨工程) と、研磨された接合層 20 の表面に支持基板 40 を接合すること (図 3 E : 支持基板の接合工程) と、を含む。このようにしたので、エッチングにより周期分極反転構造の形成を確認した場合であっても、内部に気泡が閉じ込められることを抑制可能な波長変換素子の製造方法を実現することができる。

[0054] (2) 接合層 20 の第 1 の厚みと第 2 の厚みとの差は、段差 12 の高さの 5 倍以上 15 倍以下とすることが好ましい。このようにすれば、研磨後の接合

層 20 の厚みを維持しつつ、接合層 20 の表面を十分に平坦化することができる。

[0055] (3) 支持基板の接合工程では、接着層 30 を介して接合層 20 の表面と支持基板 40 とを接合する。この接着層 30 は、例えば樹脂で構成される。このようにしたので、接合層 20 の表面と支持基板 40 を容易かつ強固に接合することができる。

[0056] (4) 強誘電体基板 10 は、MgO : LN、MgO : LT のいずれかで構成され得る。このようにすれば、用途に応じて任意の材料で強誘電体基板 10 を構成できる。

[0057] なお、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲内で、任意の構成要素を用いて実施可能である。

[0058] 上記の実施形態や変形例はあくまで一例であり、発明の特徴が損なわれないう限り、本発明はこれらの内容に限定されるものではない。また、上記では種々の実施形態や変形例を説明したが、本発明はこれらの内容に限定されるものではない。本発明の技術的思想の範囲内で考えられるその他の態様も本発明の範囲内に含まれる。

## 符号の説明

- [0059] 10 : 強誘電体基板  
11 : 分極反転部  
12 : 段差  
20 : 接合層  
21 : 段差  
30 : 接着層  
40 : 支持基板  
100, 110 : 波長変換素子

## 請求の範囲

- [請求項1] 周期分極反転構造を有する波長変換素子の製造方法であって、  
強誘電体基板に分極反転部と非分極反転部を交互に形成することで  
前記周期分極反転構造を形成する工程と、  
前記周期分極反転構造が形成された前記強誘電体基板の表面をエッチングし、前記分極反転部と前記非分極反転部の間に段差を形成する工程と、  
前記段差が形成された前記強誘電体基板の上に第1の厚みで接合層を成膜する工程と、  
前記接合層の厚さが第2の厚みとなるように前記接合層の表面を研磨する工程と、  
研磨された前記接合層の表面に支持基板を接合する工程と、を含む、  
波長変換素子の製造方法。
- [請求項2] 請求項1に記載の波長変換素子の製造方法において、  
前記第1の厚みと前記第2の厚みとの差は、前記段差の高さの5倍以上15倍以下である、波長変換素子の製造方法。
- [請求項3] 請求項1または2に記載の波長変換素子の製造方法において、  
接着層を介して前記接合層の表面と前記支持基板とを接合する、波長変換素子の製造方法。
- [請求項4] 請求項3に記載の波長変換素子の製造方法において、  
前記接着層は樹脂で構成される、波長変換素子の製造方法。
- [請求項5] 請求項1または2に記載の波長変換素子の製造方法において、  
前記強誘電体基板は、MgO:LN、MgO:LTのいずれかで構成される、波長変換素子の製造方法。
- [請求項6] 周期分極反転構造を有する波長変換素子であって、  
強誘電体基板に分極反転部と非分極反転部とが交互に設けられ、前記分極反転部と前記非分極反転部の間に段差を有する前記周期分極反転構造、

前記段差を有する強誘電体基板の上に設けられた接合層、および前記接合層上に接合された支持基板、を有し、前記段差が、10～40nmであり、前記接合層の前記支持基板側の面の表面凹凸が、2nm以下である、波長変換素子。

[請求項7] 前記接合層と前記支持基板とを接合する接着層を有する、請求項6に記載の波長変換素子。

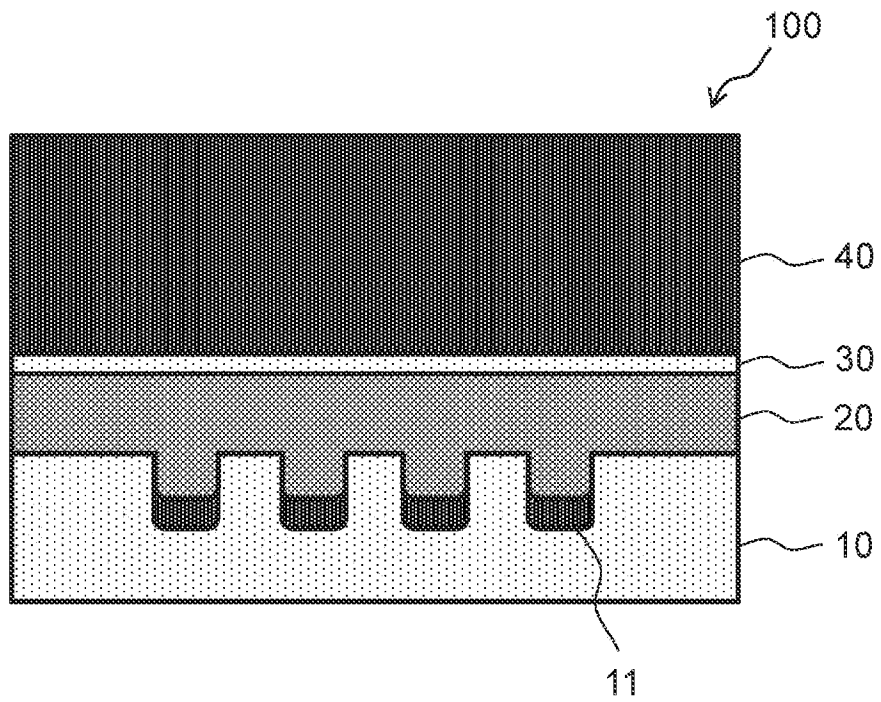
[請求項8] 前記接着層は樹脂で構成される、請求項7に記載の波長変換素子。

[請求項9] 前記強誘電体基板は、MgO:LN、MgO:LTのいずれかで構成される、請求項6～8のいずれか1項に記載の波長変換素子。

[請求項10] 前記接合層が、SiO<sub>2</sub>の非晶質体で構成される、請求項6～8のいずれか1項に記載の波長変換素子。

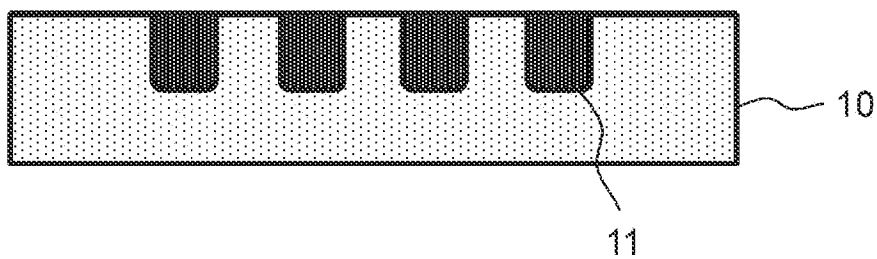
[図1]

[図1]



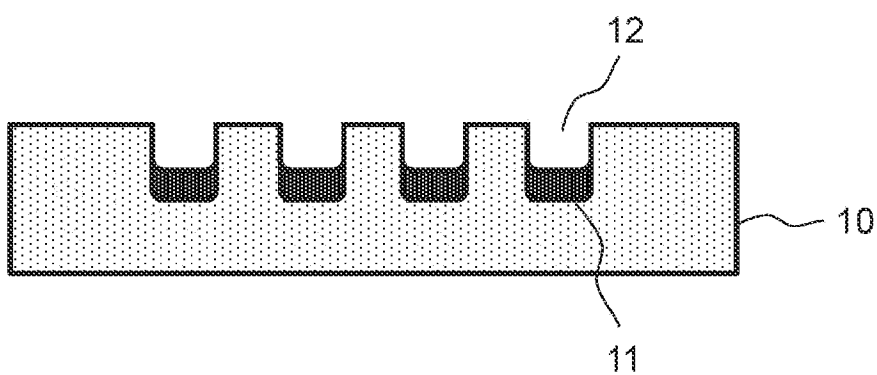
[図2A]

図2A



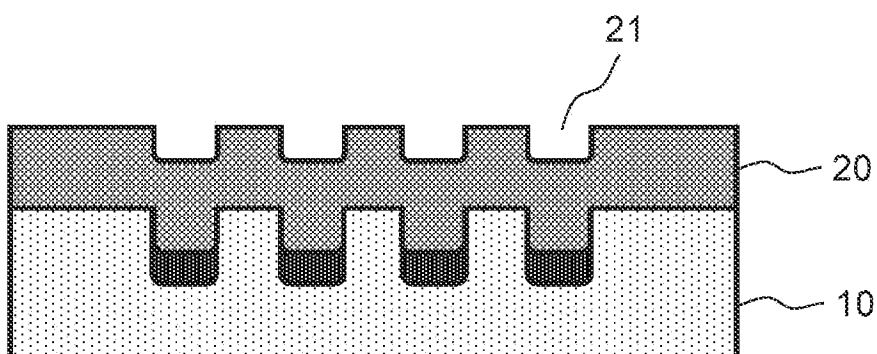
[図2B]

図2B



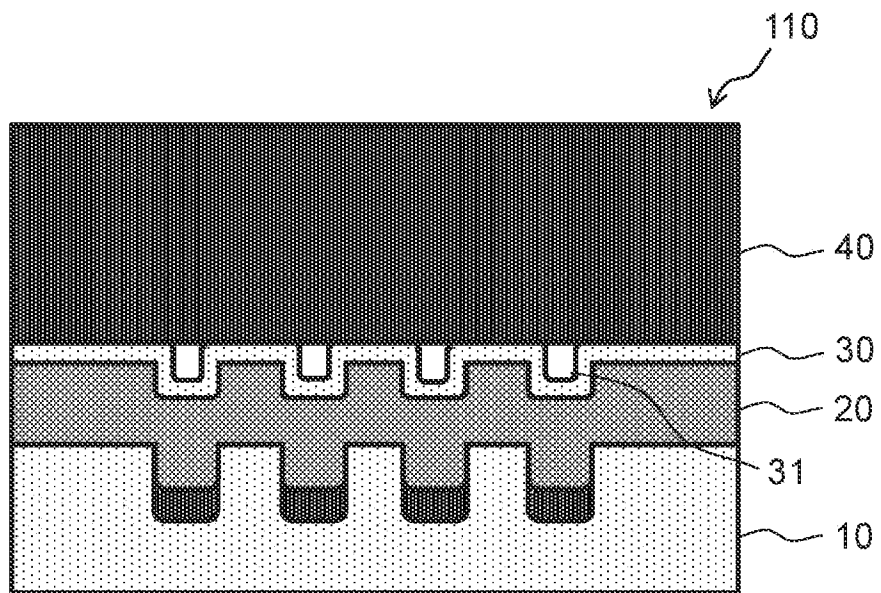
[図2C]

図2C



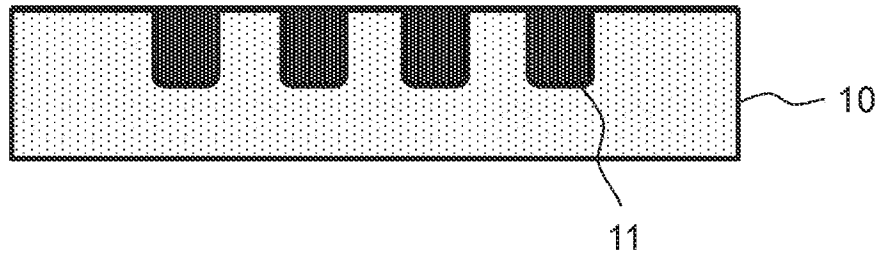
[図2D]

[図2D]



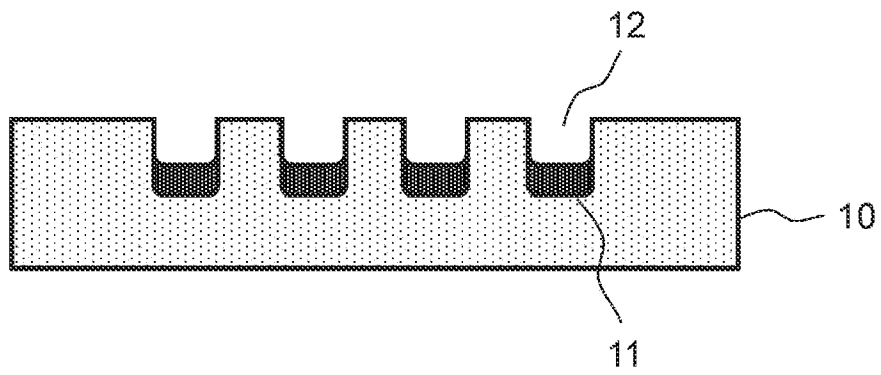
[図3A]

[図3A]



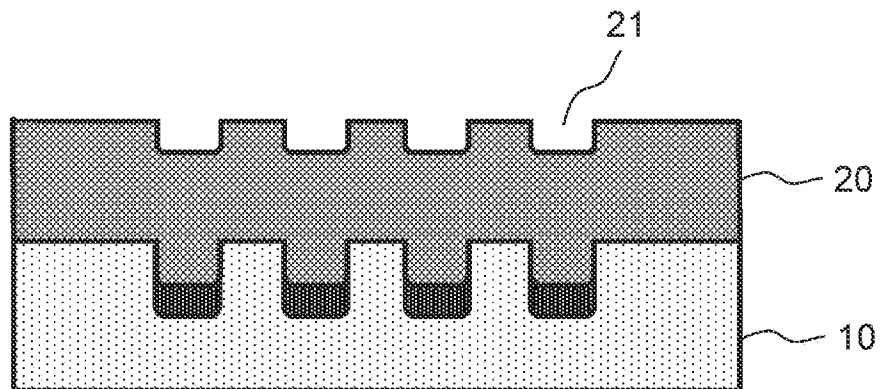
[図3B]

[図3B]



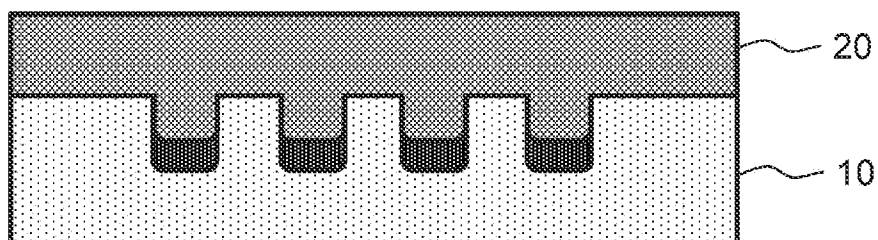
[図3C]

[図3C]



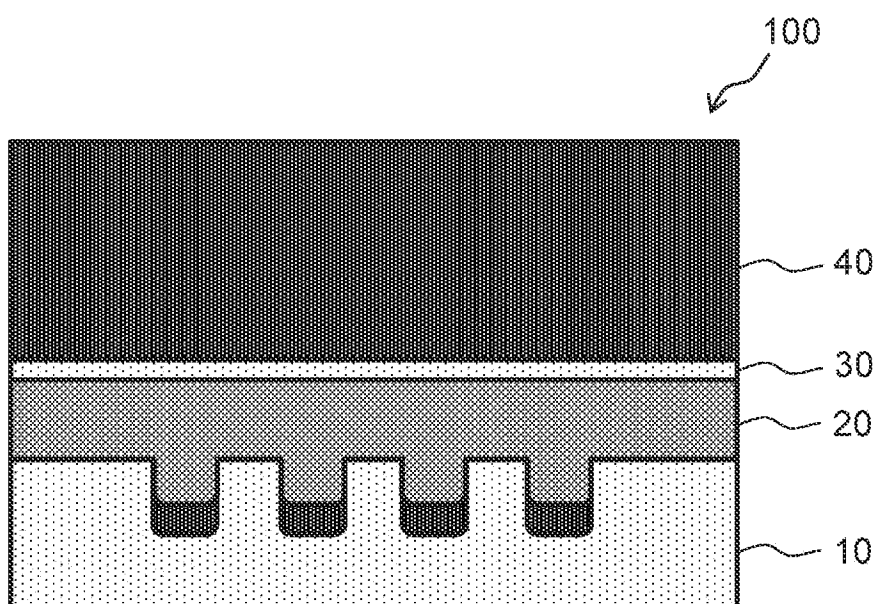
[図3D]

[図3D]



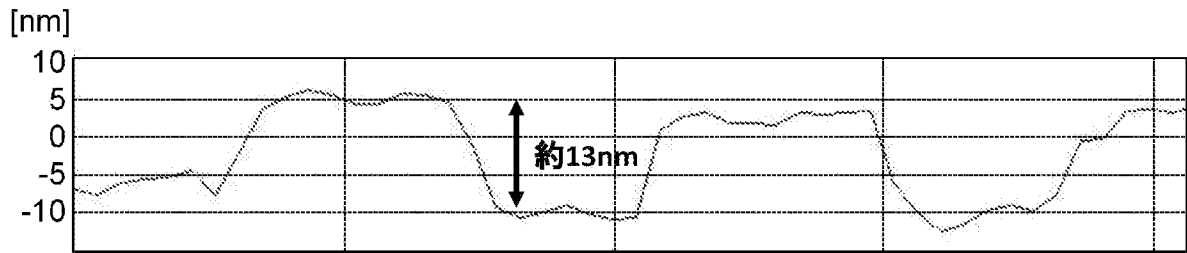
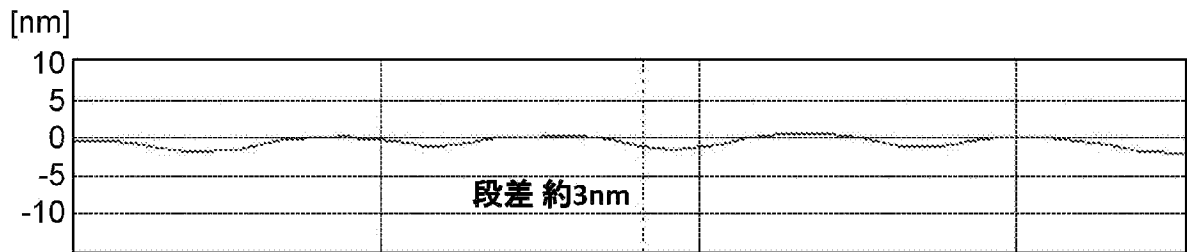
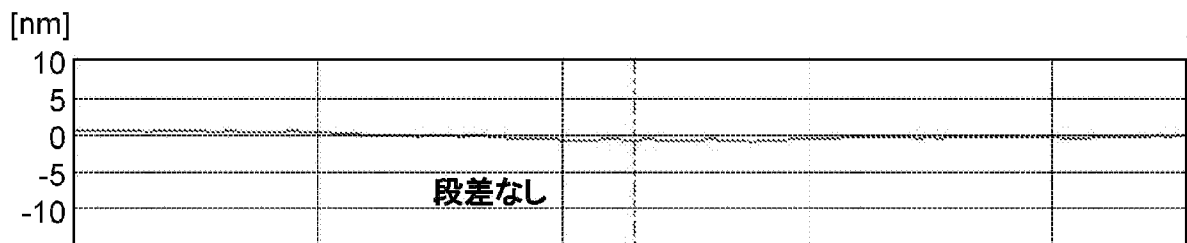
[図3E]

[図3E]



[図4]

図4

(a) SiO<sub>2</sub>膜の研磨前(b) SiO<sub>2</sub>膜 50nm研磨後(c) SiO<sub>2</sub>膜 100nm研磨後

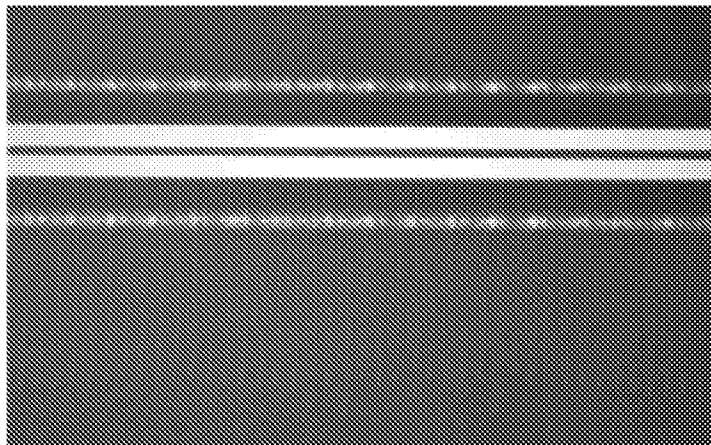
[図5A]

図5A



[図5B]

図5B



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/037937

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>G02F 1/37</i> (2006.01) FI: G02F1/37		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G02F1/00-1/125; G02F1/35-1/39; G02B6/12-6/14; H01S5/00-5/50		
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 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2007-232826 A (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) 13 September 2007 (2007-09-13) paragraphs [0011]-[0018], fig. 1-4	1-10
Y	CN 211786458 U (TIANJIN LINGXIN TECHNOLOGY DEVELOPMENT CO., LTD.) 27 October 2020 (2020-10-27) paragraphs [0035]-[0038], [0055]-[0059], fig. 1B, 5	1-10
Y	WO 2013/146749 A1 (ALPS ELECTRIC CO., LTD.) 03 October 2013 (2013-10-03) paragraph [0064]	10
Y	JP 2-235017 A (SANKYO SEIKI MFG CO., LTD.) 18 September 1990 (1990-09-18) p. 2, lower right column, lines 10-15	10
A	US 2021/0214580 A1 (OPROCESSOR INC) 15 July 2021 (2021-07-15) entire text, all drawings	1-10
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 <b>15 December 2023</b>		Date of mailing of the international search report <b>26 December 2023</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No. <b>PCT/JP2023/037937</b>
---

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2007-232826 A	13 September 2007	(Family: none)	
CN 211786458 U	27 October 2020	(Family: none)	
WO 2013/146749 A1	03 October 2013	(Family: none)	
JP 2-235017 A	18 September 1990	WO 1990/010887 A1	
US 2021/0214580 A1	15 July 2021	KR 10-2021-0090541 A	
		US 20230287245 A1	

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）） G02F1/00-1/125; G02F1/35-1/39; G02B6/12-6/14; H01S5/00-5/50		
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 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023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 請求項の番号
Y	JP 2007-232826 A (松下電器産業株式会社) 13.09.2007 (2007-09-13) 段落 [0011] - [0018]、図1-4	1-10
Y	CN 211786458 U (TIANJIN LINGXIN TECHNOLOGY DEVELOPMENT CO., LTD.) 27.10.2020 (2020-10-27) 段落 [0035] - [0038]、[0055] - [0059]、図1B、図5	1-10
Y	WO 2013/146749 A1 (アルプス電気株式会社) 03.10.2013 (2013-10-03) 段落 [0064]	10
Y	JP 2-235017 A (株式会社三協精機製作所) 18.09.1990 (1990-09-18) 第2頁右下欄第10-15行	10
A	US 2021/0214580 A1 (OPROCESSOR INC) 15.07.2021 (2021-07-15) 全文, 全図	1-10
<input 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	15. 12. 2023	国際調査報告の発送日
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

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/JP2023/037937

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2007-232826 A	13.09.2007	(ファミリーなし)	
CN 211786458 U	27.10.2020	(ファミリーなし)	
WO 2013/146749 A1	03.10.2013	(ファミリーなし)	
JP 2-235017 A	18.09.1990	WO 1990/010887 A1	
US 2021/0214580 A1	15.07.2021	KR 10-2021-0090541 A	
		US 20230287245 A1	