



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：光導波路素子及び光導波路素子の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、光導波路素子及び光導波路素子の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 電気光学効果を奏する基板と、基板に設けられた光導波路と、を備える光導波路素子がある。例えば、特許文献1及び非特許文献1に記載の光変調素子では、光導波路が設けられた基板の一部を分極反転させることにより、光帯域の拡大を図っている。また、特許文献2に記載の集積型光変調素子では、光導波路が設けられた基板の一部を分極反転させることにより、チャープ及びスキューのない高精度の光信号の発生を図っている。一方、動作電圧の低減及び帯域の拡大を図るために光導波路を含む部分をリッジ構造とする光変調素子が知られており、広く使われている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2005-284129号公報

特許文献2：特開2008-116865号公報

特許文献3：特開2005-275121号公報

非特許文献

[0004] 非特許文献1：Janner, Davide, Michele Belmonte, and Valerio Pruneri. "Tailoring the Electrooptic Response and Improving the Performance of Integrated LiNbO₃ Modulators by Domain Engineering." Journal of Lightwave Technology 25. 9 (2007): 2402-2409.

非特許文献2: Schreiber, G., et al. "Efficient cascaded difference frequency conversion in periodically poled Ti: LiNbO₃ waveguides using pulsed and cw pumping." *Applied Physics B* 73. 5-6 (2001): 501-504.

非特許文献3: Janner, D., et al. "Grinding free electric-field poling of Ti indiffused z-cut LiNbO₃ wafer with submicron resolution." *Applied Physics A* 91. 2 (2008): 319-321.

非特許文献4: 宮澤信太郎, and 栗村直. 分極反転デバイスの基礎と応用, オプトロニクス社. ISBN 4-902312-11-5, 2005

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上述の両課題である動作電圧の低減及び帯域の拡大を解決するためには、分極反転構造及びリッジ構造をともに備える光変調素子が考えられる。このような光変調素子を作製するために、例えば、光導波路を有するリッジ部を備える基板において、リッジ部及びリッジ部以外の平坦部（トレンチ部の底面）に跨がる領域の強誘電分極方向を反転する必要がある。リッジ状の部分のみを反転した構成でも、特許文献1の効能を実現することはできるが、平坦部（トレンチ底部）も含めて分極反転し、分極壁をリッジ状の光導波路部から遠ざけた位置に形成することが望ましい。この理由として、分極反転工程においてリッジの幅に相当する精細な形状制御が必要であること、反転面積が小さいので、反転面積をモニタ制御するための電流量のモニタに対してより高感度及び高精度が要求されること、強誘電体結晶の分極壁では応力及びトラップ電荷の密度が大きいため、屈折率が不均一となりやすく、光の散

乱による伝搬光の損失及び不要偏波成分の発生が生じやすいこと、温度変化に光導波路基板の歪み及び捻れが大きくなり、干渉計型の光デバイスでは安定性の劣化を招くこと、などがある。この場合、リッジ部と平坦部とでは基板の厚さが異なるので、分極反転工程において基板に高電圧を印加した際に、リッジ部における電界の強度は、平坦部における電界の強度よりも小さくなる。このため、分極反転のための電圧の調整が複雑化し、所望の領域を超えて意図しない領域の分極方向が反転されるおそれがある。その結果、光変調素子における光制御の帯域拡大幅、並びに、光信号の品質及び精度が低下するおそれがある。

[0006] なお、光導波路がリッジ構造でなく平坦な構造の場合、分極反転の制御を正確に行う方法が、非特許文献2及び非特許文献3に示されている。Tiなどの不純物拡散工程の際に形成させる薄い分極反転層を研磨などで除去する方法（非特許文献2）、または、分極反転層が形成されない不純物拡散工程の条件を用いる（非特許文献3）ことが有効であり、マイクロメートル以下の精度で分極反転壁の位置を制御した例が報告されている。Tiなどの不純物拡散によって光導波路を形成した基板の分極反転域の精密な制御において、薄い分極反転層の存在が本質的な阻害要因であるのか、薄い分極反転層の存在ではなく微小な分極反転域の存在が支配的な阻害要因なのか、不純物を拡散した部分の抗電界の低下及び微小な分極反転域の存在が支配的な阻害要因なのか、いまだ科学的な結論は出ていないが、非特許文献2及び非特許文献3の手法が制御性改善に一定の効果があることは事実である。

[0007] しかしながら、リッジ構造の光導波路を形成した場合、上記に示した方法を用いても、今なお、分極反転域の制御を正確に行うことが難しい。特許文献3には、光導波路が形成されている面の反対側にリッジ部の高さよりも深い溝を形成して、分極反転領域の制御を行う方法が開示されている。リッジ型導波路のような表面の比較的小さな凹凸構造及び基板の厚さの不均一性に関わりなく、裏面に形成した深い溝の形状に対応した分極反転域を得るといふ、強引な方法である。特許文献1の構成のデバイス及び特許文献2の構成

のデバイスを作成する際に極めて有効な方法であるが、非特許文献１と同様に、基板の加工プロセスが必要である。

[0008] 本発明は、基板の分極反転処理の精度を向上可能な構造を有する光導波路素子及び光導波路素子の製造方法を提供する。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の一側面に係る光導波路素子の製造方法は、基板の抗電界を下げる不純物をドーピングすることによって、第１方向に延びる光導波路を基板に形成する光導波路形成工程と、光導波路を含む第１リッジ部及び第１リッジ部と交差する第２リッジ部を形成するリッジ形成工程と、基板のうち、第２リッジ部によって区分される一方の領域に電圧を印加することにより、一方の領域の分極方向を反転する分極処理工程と、を備える。

[0010] この光導波路素子の製造方法によれば、基板の抗電界を下げる不純物をドーピングして光導波路を形成し、光導波路を含む第１リッジ部及び第１リッジ部に交差する第２リッジ部を形成している。そして、第２リッジ部によって区分される基板の一方の領域に分極反転処理のために高電圧を印加した場合、一方の領域のうちの第１リッジ部以外の部分に生じる電界が、第２リッジ部に生じる電界よりも大きくなる。このため、基板の抗電界が、第２リッジ部に生じる電界よりも大きく、一方の領域のうちの第１リッジ部以外の部分に生じる電界よりも小さくなるように電圧を調整することによって、分極方向が反転される領域を第２リッジ部により制限することができ、第２リッジ部を超えた部分の分極反転を防ぐことが可能となる。また、第１リッジ部には、基板の抗電界を下げる不純物が含まれるので、一方の領域の第１リッジ部の分極方向を反転することが可能となる。その結果、基板の分極反転処理の精度を向上することが可能となる。

[0011] 本発明の他の側面に係る光導波路素子の製造方法では、リッジ形成工程において、第２リッジ部の高さが基板の平坦度より大きくなるように、第２リッジ部を形成してもよい。基板の平坦度は、基板の厚さの不均一性のことであり、裏面を基準とした基板の厚さの最大値と最小値との差である。この平

平坦度が第2リッジ部の高さよりも大きい場合、第2リッジ部の高さよりも大きい高さを有する部分が一方の領域に含まれる可能性がある。この部分の分極方向を反転させるために電圧を大きくすると、第2リッジ部における電界が大きくなって、第2リッジ部を超えて分極方向の反転が行われるおそれがある。このため、第2リッジ部の高さが基板の平坦度より大きくなるようにすることで、第2リッジ部による分極反転の制御の確実性を向上することが可能となる。その結果、分極反転処理の精度をさらに向上することが可能となる。

[0012] 本発明の他の側面に係る光導波路素子の製造方法では、分極処理工程において、液体電極を用いて領域に電圧を印加してもよい。この場合、基板と液体電極との接触を確実に行うことができ、基板に印加される電圧の均一性を向上できる。その結果、分極反転処理の精度をさらに向上することが可能となる。

[0013] 本発明の他の側面に係る光導波路素子の製造方法では、リッジ形成工程において、第1リッジ部と交差する第3リッジ部をさらに形成し、分極処理工程において、基板のうち、第2リッジ部と第3リッジ部とに挟まれる領域に電圧を印加することにより、領域の分極方向を反転してもよい。これによれば、第2リッジ部と第3リッジ部とに挟まれる領域に電圧を印加した場合、挟まれる領域のうちの第1リッジ部以外の部分に生じる電界が、第2リッジ部及び第3リッジ部に生じる電界よりも大きくなる。このため、基板の抗電界が、第2リッジ部及び第3リッジ部に生じる電界よりも大きく、挟まれる領域のうちの第1リッジ部以外の部分に生じる電界よりも小さくなるように電圧を調整することによって、分極方向が反転される領域を第2リッジ部及び第3リッジ部により制限することができ、第2リッジ部及び第3リッジ部を超えた部分の分極反転を防ぐことが可能となる。また、第1リッジ部には、基板の抗電界を下げる不純物が含まれるので、一方の領域の第1リッジ部の分極方向を反転することが可能となる。その結果、基板の分極反転処理の精度を向上することが可能となる。

[0014] 本発明の一側面に係る光導波路素子は、第1方向に延びる第1リッジ部と、第1リッジ部と交差する第2リッジ部と、を有する基板を備える。第1リッジ部は、第1方向に延びる光導波路を有している。光導波路は、基板の抗電界を下げる不純物を含んでいる。基板は、第1方向に沿って順に配置された第1領域及び第2領域を有している。第1領域の分極方向は、第2領域の分極方向と反対である。第2リッジ部は、第1領域と第2領域との境界上に設けられている。

[0015] この光導波路素子によれば、基板は、第1方向に延びる第1リッジ部と、第1リッジ部に交差する第2リッジ部と、を有するとともに、第1方向に沿って順に配置された第1領域及び第2領域を有している。この第2領域の分極方向を反転するために第2領域に電圧を印加した場合、第2領域のうち第1リッジ部以外の部分に生じる電界が、第2リッジ部に生じる電界よりも大きくなる。このため、基板の抗電界が第2リッジ部に生じる電界よりも大きく、第1リッジ部以外の部分に生じる電界よりも小さくなるように電圧を調整することによって、第2領域の分極反転を第2リッジ部により制限することができ、第2リッジ部を超えた部分の分極反転を防ぐことが可能となる。また、第1リッジ部には、基板の抗電界を下げる不純物を含む光導波路を有しているので、第2領域の第1リッジ部の分極方向を反転することが可能となる。

[0016] 本発明の他の側面に係る光導波路素子では、第2リッジ部の高さは、前記基板の平坦度より大きくてもよい。基板の平坦度が第2リッジ部の高さよりも大きい場合、第2リッジ部の高さよりも大きい高さを有する部分が第2領域に含まれる可能性がある。この部分の分極方向を反転させるために電圧を大きくすると、第2リッジ部における電界が大きくなって、第2リッジ部を超えて分極方向の反転が行われるおそれがある。このため、第2リッジ部の高さが基板の平坦度より大きくなるようにすることで、第2リッジ部による分極反転の制御の確実性を向上することが可能となる。その結果、分極反転処理の精度をさらに向上することが可能となる。

[0017] デバイスの省電力化が重要視される現在、駆動電圧の低減に効果の高いリッジ型導波路が特に有効であり、本技術の産業的価値は高い。また、ニオブ酸リチウムを基板とする場合には、高さ $5-6\mu\text{m}$ 程度のリッジが適しており、基板の厚さの不均一性を $5\mu\text{m}$ 以下、好ましくは $2\mu\text{m}$ 以下に抑えることが望ましい。SAWデバイス用単結晶の国際規格よりも厳しい厚さの均一性（非特許文献4のTable 2）が求められるが、不均一性が $2\mu\text{m}$ 以下の基板は入手可能であるので、本技術は実現性が高い。

発明の効果

[0018] 本発明によれば、基板の分極反転処理の精度を向上できる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]一実施形態に係る光導波路素子の構成を概略的に示す斜視図である。

[図2]図1の光導波路素子の製造方法の一例を示す工程図である。

[図3]図2のリッジ形成工程における基板の構成を概略的に示す平面図である。

[図4]図2の分極処理工程で用いられる分極反転装置の構成を概略的に示す図である。

[図5]図4の分極反転装置における基板のマスキング方法の一例を概略的に示す図である。

[図6]比較例の基板におけるトレンチ部周辺を概略的に示す拡大図である。

[図7]図4の分極反転装置における基板のマスキング方法の第1変形例を概略的に示す図である。

[図8]図4の分極反転装置における基板のマスキング方法の第2変形例を概略的に示す図である。

[図9]図4の分極反転装置における基板のマスキング方法の第3変形例を概略的に示す図である。

[図10]図4の分極反転装置における基板のマスキング方法の第4変形例を概略的に示す図である。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、添付図面を参照して本発明の実施形態を詳細に説明する。

[0021] 図1は、一実施形態に係る光導波路素子の構成を概略的に示す図である。

図1に示されるように、光導波路素子1は、例えば光変調素子であって、基板10と、信号電極20と、を備えている。

[0022] 基板10は、一方向（以下、「方向A（第1方向）」という。）に沿って延びる板状部材であって、例えばニオブ酸リチウム（ LiNbO_3 、以下「LN」という。）などの電気光学効果を奏する誘電体材料（強誘電体）から構成されている。基板10の方向Aに沿った長さは例えば10～150mm程度、基板10の方向Aと直交する方向（以下、「方向B」という。）に沿った長さは例えば0.1～3mm程度、基板10の厚さは例えば0.2～1mm程度である。基板10は、方向Aにおける両端面である端面10a及び端面10bと、方向Bにおける両端面である側端面10c及び側端面10dと、を有している。

[0023] 基板10は、第1領域10eと、第2領域10fと、第3領域10gと、を有している。第1領域10e、第2領域10f及び第3領域10gは、方向Aに沿って順に配置されている。第1領域10eでは、誘電体材料の結晶軸方向Zは、例えば基板10の主面10mの法線軸NV方向と反対方向に向いている。第2領域10fでは、誘電体材料の結晶軸方向Zは、例えば基板10の主面10mの法線軸NV方向に向いている。第3領域10gでは、誘電体材料の結晶軸方向Zは、例えば基板10の主面10mの法線軸NV方向と反対方向に向いている。ここで、誘電体の分極方向は、結晶軸方向Zと同じ方向に向いている。すなわち、第1領域10eの分極方向は、第2領域10fの分極方向と反対であり、第1領域10eの分極方向は、第3領域10gの分極方向と同じである。

[0024] 基板10は、リッジ部11（第1リッジ部）と、リッジ部12（第2リッジ部）と、リッジ部13（第3リッジ部）と、トレンチ部14と、を有している。リッジ部11は、主面10mに設けられ、端面10aから端面10bまで方向Aに沿って延びている。リッジ部11の方向Aと直交する断面形状

は、台形状を呈している。リッジ部 11 の頂部の幅は、例えば $9\ \mu\text{m}$ 程度である。リッジ部 11 の底部の幅は、例えば $12\ \mu\text{m}$ 程度である。リッジ部 11 の高さは、例えば $6\ \mu\text{m}$ 程度である。リッジ部 11 における基板 10 の厚さ T_{r1} は、例えば $1\ \text{mm}$ 程度である。リッジ部 11 は、光導波路 11a を含んでいる。光導波路 11a は、直線型の光導波路であって、端面 10a から端面 10b まで方向 A に沿って延びている。光導波路 11a は、基板 10 にチタン等の不純物がドーピングされて成る。

[0025] リッジ部 12 は、第 1 領域 10e と第 2 領域 10f との境界面であるドメインウォール D1 上に設けられ、側端面 10c から側端面 10d まで方向 B に沿って延びている。ドメインウォール D1 は、リッジ部 12 の両側面のうち第 2 領域 10f 側の側面 12a に位置し、側面 12a から基板 10 の裏面 10n まで延びている。リッジ部 12 の方向 B と直交する断面形状は、台形状を呈している。リッジ部 12 の頂部の幅は、例えば $9\sim 20\ \mu\text{m}$ 程度である。リッジ部 12 の底部の幅は、例えばリッジ形状が台形であって底角が 75 度であった場合には $12\sim 23\ \mu\text{m}$ 程度である。リッジ部 12 の高さは、例えば $6\ \mu\text{m}$ 程度である。リッジ部 12 における基板 10 の厚さ T_{r2} は、例えば $1\ \text{mm}$ 程度である。

[0026] リッジ部 13 は、第 2 領域 10f と第 3 領域 10g との境界面であるドメインウォール D2 上に設けられ、側端面 10c から側端面 10d まで方向 B に沿って延びている。ドメインウォール D2 は、リッジ部 13 の両側面のうち第 2 領域 10f 側の側面 13a に位置し、側面 13a から基板 10 の裏面 10n まで延びている。リッジ部 13 の方向 B と直交する断面形状は、台形状を呈している。リッジ部 13 の頂部の幅は、例えば $9\sim 20\ \mu\text{m}$ 程度である。リッジ部 13 の底部の幅は、例えばリッジ形状が台形であって底角が 75 度であった場合には $12\sim 23\ \mu\text{m}$ 程度である。リッジ部 13 の高さは、例えば $6\ \mu\text{m}$ 程度である。リッジ部 13 における基板 10 の厚さ T_{r3} は、例えば $1\ \text{mm}$ 程度である。

[0027] なお、加工前のウェハは、その厚さが不均一である場合がある。この場合

、リッジ部 1 2 及びリッジ部 1 3 の高さは、ウェハの平坦度 (TTV ; Total Thickness Variation) よりも大きくしてもよい。ここで、ウェハの平坦度とは、ウェハ裏面を基準面として厚さ方向に測定した高さのウェハ全面における最大値と最小値との差である。

[0028] トレンチ部 1 4 は、リッジ部 1 2 及びリッジ部 1 3 に挟まれた部分であって、リッジ部 1 1 によって側端面 1 0 c 側と側端面 1 0 d 側とに分断されている。トレンチ部 1 4 における基板 1 0 の厚さ T_t は、例えばリッジ部 1 2 における基板 1 0 の厚さ T_{r2} からリッジ部 1 2 の高さを減じた厚さとするればよい。

[0029] 信号電極 2 0 は、外部から供給される電気信号である変調信号を伝送し、変調信号に応じた電界を光導波路 1 1 a に印加するための長尺の部材である。信号電極 2 0 は、例えば金 (Au) から構成されている。信号電極 2 0 は、第 1 部分 2 0 a と、第 2 部分 2 0 b と、第 3 部分 2 0 c と、第 4 部分 2 0 d と、を有している。

[0030] 第 1 部分 2 0 a は、基板 1 0 の第 1 領域 1 0 e における主面 1 0 m 上に設けられている。第 1 部分 2 0 a は、基板 1 0 の側端面 1 0 c からリッジ部 1 1 まで方向 B に延びている。第 1 部分 2 0 a の一端は、変調信号を供給するための外部回路に電氣的に接続される。第 2 部分 2 0 b は、第 1 領域 1 0 e におけるリッジ部 1 1 上に設けられ、第 1 部分 2 0 a の他端からドメインウォール D 1 まで方向 A に延びている。第 2 部分 2 0 b の一端は第 1 部分 2 0 a の他端に接続されている。

[0031] 第 3 部分 2 0 c は、第 2 領域 1 0 f におけるリッジ部 1 1 上に設けられ、ドメインウォール D 1 からドメインウォール D 2 まで方向 A に延びている。第 3 部分 2 0 c の一端は第 2 部分 2 0 b の他端に接続されている。第 2 部分 2 0 b 及び第 3 部分 2 0 c は、変調信号により形成される電界を光導波路 1 1 a に印加する作用部として機能する。第 4 部分 2 0 d は、リッジ部 1 3 上に設けられ、第 3 部分 2 0 c の他端から側端面 1 0 c まで方向 B と反対方向に延びている。第 4 部分 2 0 d の一端は第 3 部分 2 0 c の他端に接続され、

第4部分20dの他端は終端回路に電氣的に接続されている。

[0032] なお、光導波路素子1は、バッファ層（不図示）をさらに備えてもよい。バッファ層は、基板10上に設けられ、リッジ部11においてはリッジ部11と信号電極20との間に位置している。バッファ層は、光導波路11aを伝搬する光の信号電極20による吸収を低減するために設けられる。バッファ層は、例えばシリコン酸化物（例えば SiO_2 ）等によって構成されている。

[0033] 以上のように構成された光導波路素子1では、端面10aから光導波路11aに入力光が入力される。入力光は、光導波路11aを伝搬する。このとき、信号電極20により伝送される変調信号によって形成される電界が光導波路11aに印加されることによって、光導波路11aの屈折率が変化する。光導波路11aを伝搬する光は、光導波路11aの屈折率変化に応じて変調される。変調された光は、変調光として端面10bから出力される。

[0034] ここで、第1領域10eにおける誘電体材料の結晶軸方向Zは、基板10の主面10mの法線軸NV方向と反対方向に向いている。第2領域10fにおける誘電体材料の結晶軸方向Zは、基板10の主面10mの法線軸NV方向に向いている。このため、第1領域10eにおいては、低周波の誘導位相量は、第2部分20bの長さに比例して増加し、高周波の誘導位相量は、第2部分20bの長さが大きくなるに従い緩やかに増加する。一方、第2領域10fにおいては、低周波及び高周波の誘導位相量の変化量はそれぞれ、第1領域10eにおける低周波及び高周波の誘導位相量の変化量と同じであるが、低周波及び高周波の誘導位相量の変化の方向は、第1領域10eにおける低周波及び高周波の誘導位相量の変化の方向と反対である。すなわち、第2領域10fにおいては、低周波の誘導位相量は、第2部分20bの長さに比例して減少し、高周波の誘導位相量は、第2部分20bの長さが大きくなるに従い緩やかに減少する。このため、低周波の誘導位相量と高周波の誘導位相量との差が低減され、光周波数応答特性が平坦化される。その結果、広帯域化が可能となる。

[0035] 次に、図1及び図2を参照して、光導波路素子1の製造方法の一例について説明する。図2は、光導波路素子1の製造方法の一例を示す工程図である。図2に示されるように、光導波路素子1の製造方法は、光導波路形成工程S01と、リッジ形成工程S02と、分極処理工程S03と、バッファ層形成工程S04と、熱処理工程S05と、電極形成工程S06と、を備えている。

[0036] 光導波路形成工程S01では、基板10（ウェハ）の主面10mに光導波路11aを形成する。例えば、基板10の主面10m上において、光導波路11aが形成される部分に不純物をドーピングすることによって、光導波路11aを形成する。例えば、光導波路11aが形成される部分に不純物を蒸着し、蒸着した不純物を熱拡散することによって、不純物をドーピングする。ドーピングされる不純物は、基板10に含まれる誘電体材料の抗電界 E_c （分極反転電界ともいう。）を下げる不純物であればよく、例えばチタン（Ti）、銅（Cu）、クロム（Cr）等である。抗電界 E_c とは、誘電体の自発分極の分極方向が反転する電界である。例えば、光導波路用として市販されているLN結晶の抗電界 E_c は、約21kV/mmであるが、チタンをドーピングしたLN結晶の抗電界 E_{ct} は、LN結晶の抗電界 E_c よりも小さいため反転しやすい。

[0037] リッジ形成工程S02では、光導波路形成工程S01において光導波路11aが形成された基板10の主面10mに、リッジ部11、リッジ部12及びリッジ部13を形成する。具体的に説明すると、リッジ形成工程S02では、まず、例えばフォトリソグラフィにより、リッジ部11、リッジ部12及びリッジ部13に対応する主面10m上の領域を覆うようにして、マスクMを形成する。

[0038] 図3は、リッジ形成工程S02において、マスクMが形成された基板10の構成を概略的に示す平面図である。図3に示されるように、マスクMは、基板10の主面10m上において、リッジ部11、リッジ部12及びリッジ部13が形成される部分を覆うように形成される。そして、マスクMをエッ

チングマスクとして用いて、ドライエッチング、ウェットエッチング等により基板 10 の主面 10 m を化学的に除去することによって、リッジ部 11、リッジ部 12 及びリッジ部 13 を形成する。なお、サンドブラスト及び切削加工等により基板 10 の主面 10 m を機械的に除去することにより、リッジ部 11、リッジ部 12 及びリッジ部 13 を形成してもよい。リッジ部 11、リッジ部 12 及びリッジ部 13 の形成後、マスク M を除去する。

[0039] 分極処理工程 S03 では、分極反転装置 3 を用いて、基板 10 の所望の領域の分極方向を反転する。図 4 に示されるように、分極反転装置 3 は、挟持部材 31 と、封止部材 32 と、液体電極 33 と、液体電極 34 と、高電圧電源 35 と、ポラライザ 36 と、アナライザ 37 と、を備えている。挟持部材 31 は、基板 50 を挟持するための一对の板状部材であって、例えばアクリル板等の透明な樹脂板である。封止部材 32 は、例えば環状の樹脂材（リング）である。液体電極 33 及び液体電極 34 は、導電性の液体であって、例えば塩化リチウム（LiCl）水溶液である。ポラライザ 36 及びアナライザ 37 は、クロスニコル像観察用の偏光板である。

[0040] 高電圧電源 35 は、高電圧を供給するための装置である。高電圧電源 35 は、制御装置 41 と、信号発生器 42 と、高電圧アンプ 43 と、電流モニタ 44 と、を備えている。制御装置 41 は、例えば PC（Personal Computer）であって、電流モニタ 44 によってモニタされた電流に応じて信号発生器 42 に制御信号を送信する。信号発生器 42 は、例えばパルスジェネレータであって、制御装置 41 から出力された制御信号に応じて、数 V の電圧を有するパルス信号を出力する。高電圧アンプ 43 は、電圧を増幅する回路であって、信号発生器 42 から出力されたパルス信号の電圧を増幅する。高電圧アンプ 43 は、増幅したパルス信号を液体電極 34 に出力し、液体電極 33 及び液体電極 34 間に高電圧 V を印加する。電流モニタ 44 は、基板 10 に流れた電流をモニタする。

[0041] 以上のように構成された分極反転装置 3 では、一对の挟持部材 31 によって、封止部材 32 を介して基板 50 が挟持されるとともに、基板 50 の一方

面と挟持部材 3 1 との間に液体電極 3 3 が充填され、基板 5 0 の他方面と挟持部材 3 1 との間に液体電極 3 4 が充填される。そして、高電圧電源 3 5 は、制御装置 4 1 からの制御信号に基づいて、信号発生器 4 2 により信号を発生し、高電圧アンプ 4 3 を介して、液体電極 3 3 及び液体電極 3 4 の間に高電圧 V を印加する。そして、制御装置 4 1 は、電流モニタ 4 4 によってモニタされた電流を時間積分した電荷量が、反転させる領域の面積に応じて定められる値に達したことを検出すると、信号発生器 4 2 に信号の出力を停止させる。なお、挟持部材 3 1 に挟持された基板 5 0 は、所望の領域に対して抗電界 E_c を超える電界を印加するためにマスキングされた基板 1 0 である。

[0042] 図 5 は、分極反転装置 3 における基板 1 0 のマスキング方法の一例を概略的に示す図である。図 5 に示されるように、基板 5 0 は、基板 1 0 と、基板 1 0 の主面 1 0 m に設けられたマスク層 5 1 と、を備えている。マスク層 5 1 は、絶縁性を有し、例えば絶縁性樹脂から構成されている。マスク層 5 1 は、基板 1 0 の端面 1 0 a からリッジ部 1 2 の頂面までの部分と、端面 1 0 b からリッジ部 1 3 の頂面までの部分と、を覆うように主面 1 0 m に設けられている。マスク層 5 1 は、主面 1 0 m のうちリッジ部 1 2 の頂面とリッジ部 1 3 の頂面とに挟まれた部分の上に開口 5 1 a を有している。マスク層 5 1 は、例えばスピコートまたはフォトリソグラフィにより形成され得る。

[0043] 分極反転装置 3 を用いた分極反転原理について説明する。なお、厚さ T_r 1、厚さ T_r 2 及び厚さ T_r 3 がいずれも厚さ T_r として説明している。この分極反転装置 3 では、液体電極 3 3 及び液体電極 3 4 間に電圧 V が供給される。このとき、マスク層 5 1 の開口 5 1 a を介して、基板 1 0 に電圧 V が印加される。リッジ部 1 2 及びリッジ部 1 3 における電界 E_r は、リッジ部 1 2 及びリッジ部 1 3 における基板 1 0 の厚さ T_r で電圧 V を割った値 (V/T_r) である。また、トレンチ部 1 4 における電界 E_t は、トレンチ部 1 4 における基板 1 0 の厚さ T_t で電圧 V を割った値 (V/T_t) である。

[0044] そして、基板 1 0 の抗電界 E_c が電界 E_r と電界 E_t との間 ($E_r < E_c < E_t$) になるように電圧 V が調整される。なお、リッジ部 1 1 における電

界は、平均的には電界 E_r と等しくなる。しかしながら、リッジ部11にはチタン等の不純物がドーピングされているので、リッジ部11における抗電界 E_{ct} は、抗電界 E_c よりも小さいため、電界 E_r によって分極反転が可能となる。また、マスク層51が設けられた位置での電界 E_p は、電界 E_r よりも小さい。このため、基板10のうちリッジ部12及びリッジ部13に挟まれた領域の分極方向が反転し、第2領域10fが形成される。

[0045] 図2に戻って、バッファ層形成工程S04では、基板10の主面10m上にリッジ部11、リッジ部12及びリッジ部13を形成した後、光導波路11aを覆うように、基板10の主面10mにバッファ層を形成する。主面10m全体を覆うように、基板10の主面10mにバッファ層を形成してもよい。真空蒸着法、イオンアシスト真空蒸着法、スパッタリング法、及び、CVD (chemical vapor deposition) 法等の汎用的な薄膜堆積方法によって、バッファ層を形成する。バッファ層は、例えばシリコン酸化物(SiO_2)またはアルミニウム酸化物(Al_2O_3)等によって構成されている。

[0046] 熱処理工程S05では、バッファ層形成工程S04において形成されたバッファ層の酸素欠損を補填するために、バッファ層に熱処理を施す。この熱処理は、酸素含有雰囲気中において、約600度程度の温度において行われる。

[0047] 電極形成工程S06では、バッファ層上に信号電極20を形成する。具体的に説明すると、フォトリソグラフィにより、バッファ層上にレジストパターンを形成する。このレジストパターンは、信号電極20のための開口を有する。次に、レジストパターンをマスクとして例えばメッキ法を用いて、バッファ層上に信号電極20を形成する。電極形成工程S06において、バッファ層上に接地電極を形成してもよい。信号電極20の形成後、レジストパターンを除去する。

[0048] 以上のようにして、光導波路素子1が作製される。なお、バッファ層形成工程S04及び熱処理工程S05は、リッジ形成工程S02と分極処理工程S03との間に行われてもよく、バッファ層を設けない場合には省略されて

もよい。

[0049] 上述の光導波路素子 1 の製造方法によれば、基板 10 の抗電界 E_c を下げる不純物を基板 10 にドーピングして方向 A に延びる光導波路 11 a を形成し、光導波路 11 a を含む方向 A に延びるリッジ部 11 及びリッジ部 11 に交差するリッジ部 12 及びリッジ部 13 を形成している。そして、基板 10 のうち、リッジ部 12 及びリッジ部 13 に挟まれる領域（リッジ部 12 によって区分される一方の領域）に電圧 V を印加している。このとき、トレンチ部 14 に生じる電界 E_t が、リッジ部 12 及びリッジ部 13 に生じる電界 E_r よりも大きくなる。このため、基板 10 の抗電界 E_c がリッジ部 12 及びリッジ部 13 に生じる電界 E_r よりも大きく、トレンチ部 14 に生じる電界 E_t よりも小さくなるように電圧 V を調整することによって、分極方向が反転される第 2 領域 10 f の広がりやリッジ部 12 及びリッジ部 13 により制限することができる。

[0050] すなわち、第 2 領域 10 f は、方向 A の反対方向において、リッジ部 12 の側面 12 a まで広がって形成されるが、リッジ部 12 を超えて形成されない。また、第 2 領域 10 f は、方向 A において、リッジ部 13 の側面 13 a まで広がって形成されるが、リッジ部 13 を超えて形成されない。このように、リッジ部 12 及びリッジ部 13 を超えて分極反転されることを防ぐことができる。また、リッジ部 11 には、基板 10 の抗電界 E_c を下げる不純物が含まれるので、リッジ部 12 及びリッジ部 13 に挟まれるリッジ部 11 の分極方向を反転することが可能となる。その結果、基板 10 の分極反転処理の精度を向上することが可能となる。

[0051] 本来、リッジ部 11 における電界 E_r は基板の抗電界 E_c を超えていないので、リッジ部 11、または基板裏面のリッジ部 11 に対向する位置に分極反転核が発生し、基板 10 を貫通して反転領域が成長していくことはない。しかし、 Ti のような不純物を拡散したリッジ部分では、上記の条件で分極反転処理を行えば、トレンチ部 14 の分極反転部とつながった形状で分極方位が反転し、一方、不純物を拡散していないリッジ部 12 及びリッジ部 13

では、電界 E_r が基板の抗電界 E_c を超えない限り分極方位が反転しないことが、再現性良く観察される。

[0052] リッジ部 11 の分極反転を安定的に再現性良く反転を行える条件では、以下の現象が起きていると推定できる。抗電界 E_c に近い電界が印加されたリッジ部 11 の表面では、多数の微小な分極反転核が発生する。不純物の含まれる部分の抗電界は、基板材料本来の抗電界 E_c よりも小さいので、微小な分極反転核は不純物である Ti の拡散距離と同程度（一般的な光ファイバ通信用波長 1550 nm の光導波路の場合、深さは $3\sim4\text{ }\mu\text{m}$ ）の深さまでは成長し得るものの、基板 10 を貫通して成長していくには至らない。一方、トレンチ部 14 では、電界 E_t が抗電界 E_c を超えているので、多数箇所では分極反転核が発生し、核が基板を貫通することを経て、分極反転域の成長と反転部分の面積の拡大とが進む。分極反転壁がリッジ部 11 の斜面に達すると、新たな分極反転核の発生と貫通による分極反転域の拡大とは止まる、または大きく抑制されると考えられる。しかしながら、電界 E_t が抗電界 E_c 以下であっても分極反転壁の移動は起こり得るので、リッジ部 11 において数 μm 程度に成長した分極反転域と、トレンチ部 14 において成長拡大してきた分極反転部と、の合区（マージ）が起こり得る。さらに、リッジ部 11 における新たな分極反転核の発生、数 μm 程度への成長、そしてマージが繰り返されれば、トレンチ部 14 において成長拡大してきた分極反転部の面積の拡大は続き、最終的にはリッジ部 11 全体を含めて一体となった分極反転域が形成される。なお、抗電界以下の電界であっても、微小な分極反転核が形成されること及び分極壁が移動することは、非特許文献 4 の 3. 1. 4 節「選択的核生成」に解説されている。

[0053] 不純物が拡散していないリッジ部 12 及びリッジ部 13 においても、表面に微小な分極反転核が形成されて、分極壁及び微小な核が移動していると考えられる。このため、リッジ部 12, 13 においても、徐々にではあるが分極反転が進んでいると思われる。しかしながら、リッジ部 12, 13 において形成される分極反転領域がごく小さいので、トレンチ部 14 において成長

拡大してきた分極反転部のリッジ部 1 2, 1 3 に向かう成長は、リッジ部 1 1 に向かう成長に比べて極めて遅い。したがって、リッジ部 1 2, 1 3 に向かう反転域の拡大は進まないと思っても、実工程管理上の問題は無い。

[0054] また、液体電極 3 3, 3 4 を用いて、リッジ部 1 2 及びリッジ部 1 3 に挟まれる領域に電圧 V を印加している。このため、基板 1 0 と液体電極 3 3, 3 4 との接触を確実に行うことができ、基板 1 0 に印加される電圧の均一性を向上できる。その結果、分極反転処理の精度をさらに向上することが可能となる。

[0055] なお、本発明の一態様に係る光導波路素子及び光導波路素子の製造方法は上記実施形態に限定されない。例えば、光導波路素子 1 は、光変調素子に限られず、光スイッチ、偏波コントローラ等であってもよい。その場合、分極反転を形成する形状によって、リッジ部 1 2 及びリッジ部 1 3 は適宜変更してもよい。伝搬光の光路を切替える光スイッチの場合、及び、2つの光を合波干渉させるマッハツエンダー光変調器などの場合、光導波路が直線状の部分だけでは構成できず、斜行させたり屈曲させた光導波路部が必要となるが、その部分がリッジ導波路の場合、例えば、リッジ部 1 2 及びリッジ部 1 3 は方向 A に垂直でなくてもよく傾斜させてもよい。また、分極反転させる領域が端面 1 0 a、端面 1 0 b、側端面 1 0 c 及び側端面 1 0 d を含まない、すなわち、基板 1 0 内で閉じている場合、その分極反転させる領域を囲むようにリッジ部を設けてもよい。また、光導波路素子 1 が方向 A に延びる複数の光導波路を有する構成では、方向 B と交差するリッジ部を設け、光導波路間で分極方向が異なるように領域を分けてもよい。

[0056] また、光導波路 1 1 a は、マッハツエンダー (Mach-Zehnder) 型の光導波路であってもよく、光導波路素子 1 の変調方式に応じた構造を有してもよい。

[0057] 基板 1 0 は、第 1 領域 1 0 e 及び第 2 領域 1 0 f を有し、第 3 領域 1 0 g を有しなくてもよい。この場合、光導波路素子 1 は、リッジ部 1 3 を有しなくてもよい。このように、基板 1 0 が方向 A に沿って順に配列された 2 以上の複数の領域を有していればよく、領域の数は限定されない。また、隣り合

う領域の分極方向は互いに反対であって、基板 10 は、隣り合う領域のドメインウォール（境界面）上に設けられたリッジ部を有していればよい。

[0058] また、リッジ形成工程 S02 において、光導波路 11a が形成された基板 10 の平坦度を測定し、リッジ部 12 及びリッジ部 13 の高さが基板 10 の平坦度よりも大きくなるように、リッジ部 12 及びリッジ部 13 を形成するとよい。

[0059] 図 6 を用いて、基板の平坦度が分極反転に及ぼす影響を説明する。図 6 は、比較例の基板におけるトレンチ部周辺を概略的に示す拡大図である。図 6 に示されるように、比較例の基板 110 では、裏面 110n が膨らんでおり、リッジ部 112 及びリッジ部 113 の高さが基板 110 の平坦度よりも小さい。すなわち、トレンチ部 114 における基板 110 の厚さ T_t は、リッジ部 112 及びリッジ部 113 における基板 110 の厚さ T_r よりも大きい。ここで、トレンチ部 114 の分極方向を反転させるために、電圧 V を大きくして、トレンチ部 114 の電界 $E_t (=V/T_t)$ を基板 110 の抗電界 E_c よりも大きくする。比較例の基板 110 では、トレンチ部 114 における基板 110 の厚さ T_t は、リッジ部 112 及びリッジ部 113 における基板 110 の厚さ T_r よりも大きいので、リッジ部 112 及びリッジ部 113 における電界 $E_r (=V/T_r)$ は、基板 110 の抗電界 E_c よりも大きくなる。このため、リッジ部 112 及びリッジ部 113 の分極方向が反転され、さらにリッジ部 112 及びリッジ部 113 を超えて分極反転されるおそれがある。

[0060] これに対し、図 5 に示されるように、基板 10 では、リッジ部 12 及びリッジ部 13 の高さは基板 10 の平坦度よりも大きい。すなわち、リッジ部 12 及びリッジ部 13 における基板 10 の厚さ T_r は、トレンチ部 14 における基板 10 の厚さ T_t よりも大きい。ここで、トレンチ部 14 の分極方向を反転させるために、電圧 V を大きくして、トレンチ部 14 の電界 E_t を基板 10 の抗電界 E_c よりも大きくする。このとき、基板 10 では、リッジ部 12 及びリッジ部 13 における基板 10 の厚さ T_r は、トレンチ部 14 にお

る基板 10 の厚さ T_t よりも大きいので、基板 10 の抗電界 E_c が電界 E_r と電界 E_t との間 ($E_r < E_c < E_t$) になるように電圧 V を調整することができる。このため、リッジ部 12 及びリッジ部 13 によって、分極反転される基板 10 の範囲を制限することができる。このように、基板 10 では、リッジ部 12 及びリッジ部 13 による分極反転の制御の確実性を向上することが可能となる。その結果、分極反転処理の精度をさらに向上することが可能となる。

[0061] また、分極反転装置 3 における基板 10 のマスキング方法は、上述の方法に限定されない。以下に、基板 10 のマスキング方法の変形例について説明する。

[0062] (第 1 変形例)

図 7 は、分極反転装置 3 における基板 10 のマスキング方法の第 1 変形例を概略的に示す図である。図 7 に示されるように、基板 50 は、マスク層 51 に代えてマスク層 52 を備えている点で、図 5 の基板 50 と相違する。すなわち、図 7 の基板 50 では、マスク層 52 は、基板 10 の裏面 10n のうち基板 10 の端面 10a からリッジ部 12 に対向する位置までの部分と、端面 10b からリッジ部 13 に対向する位置までの部分と、を覆うように裏面 10n に設けられている。マスク層 52 は、裏面 10n のうちリッジ部 12 に対向する位置とリッジ部 13 に対向する位置とに挟まれた部分の上に開口 52a を有している。マスク層 52 は、絶縁性を有し、例えば絶縁性樹脂から構成されている。マスク層 52 は、例えばスピンコートまたはフォトリソグラフィにより形成され得る。

[0063] この分極反転装置 3 においても、図 5 の分極反転装置 3 と同様にして、基板 10 の所望の領域の分極方向を反転することができる。また、フォトリソグラフィなどで形成される絶縁性樹脂（マスク層 52）がリッジ部 11、リッジ部 12 及びリッジ部 13 により散乱されることがないので、分極反転の境界（ドメインウォール D1 及びドメインウォール D2）がシャープに精度よく形成できる。

[0064] (第2変形例)

図8は、分極反転装置3における基板10のマスキング方法の第2変形例を概略的に示す図である。図8に示されるように、基板50は、金属膜53がさらに設けられている点で、図7の基板50と相違する。すなわち、図8の基板50では、金属膜53は、封止部材32に囲まれた範囲において、マスク層52上に設けられている。金属膜53は、開口52aにおいて基板10の裏面10nに設けられ、基板10と接触を成している。金属膜53は、導電性を有し、例えばクロム(Cr)、アルミニウム(Al)、金(Au)等から構成されている。金属膜53は、例えばリフトオフ法により形成され得る。

[0065] この分極反転装置3においても、図5の分極反転装置3と同様にして、基板10の所望の領域の分極方向を反転することができる。また、金属膜53を用いることにより、印加される電界の均一性を向上することができる。

[0066] (第3変形例)

図9は、分極反転装置3における基板10のマスキング方法の第3変形例を概略的に示す図である。図9に示されるように、分極反転装置3は、挟持部材31、封止部材32、液体電極33及び液体電極34を備えていない点で、図5、図7、図8の分極反転装置3と相違する。基板50は、マスク層51に代えて、金属膜54及び金属膜55を備えている点で図5の基板50と相違する。すなわち、図9の基板50では、基板10の主面10mのうち、リッジ部12とリッジ部13とに挟まれた部分に金属膜54が設けられ、基板10の裏面10nのうち金属膜54に対向する部分を覆うように金属膜55が設けられている。金属膜54及び金属膜55は、導電性を有し、例えばCr、Al、Au等から構成されている。金属膜54及び金属膜55は、例えばリフトオフ法により形成され得る。

[0067] この分極反転装置3においても、図5の分極反転装置3と同様にして、基板10の所望の領域の分極方向を反転することができる。また、金属膜54及び金属膜55を用いることにより、印加される電界の均一性を向上するこ

とができる。また、液体電極 3 3 及び液体電極 3 4 の液漏れ等が生じることがなく、簡単に分極反転を行うことが可能となる。

[0068] (第 4 変形例)

図 1 0 は、分極反転装置 3 における基板 1 0 のマスキング方法の第 4 変形例を概略的に示す図である。図 1 0 に示されるように、分極反転装置 3 は、挟持部材 3 1、封止部材 3 2、液体電極 3 3 及び液体電極 3 4 を備えていない点で、図 5、図 7、図 8 の分極反転装置 3 と相違する。基板 5 0 は、さらに金属膜 5 4 を備えている点で、図 8 の基板 5 0 と相違する。

[0069] この分極反転装置 3 においても、図 5 の分極反転装置 3 と同様にして、基板 1 0 の所望の領域の分極方向を反転することができる。また、液体電極 3 3 及び液体電極 3 4 の液漏れ等が生じることがなく、簡単に分極反転を行うことが可能となる。

符号の説明

[0070] 1 …光導波路素子、1 0 …基板、1 0 e …第 1 領域、1 0 f …第 2 領域、1 1 …リッジ部（第 1 リッジ部）、1 2 …リッジ部（第 2 リッジ部）、1 3 …リッジ部（第 3 リッジ部）、3 3, 3 4 …液体電極、1 1 a …光導波路、A …方向（第 1 方向）、D 1 …ドメインウォール（境界）、E c …抗電界。

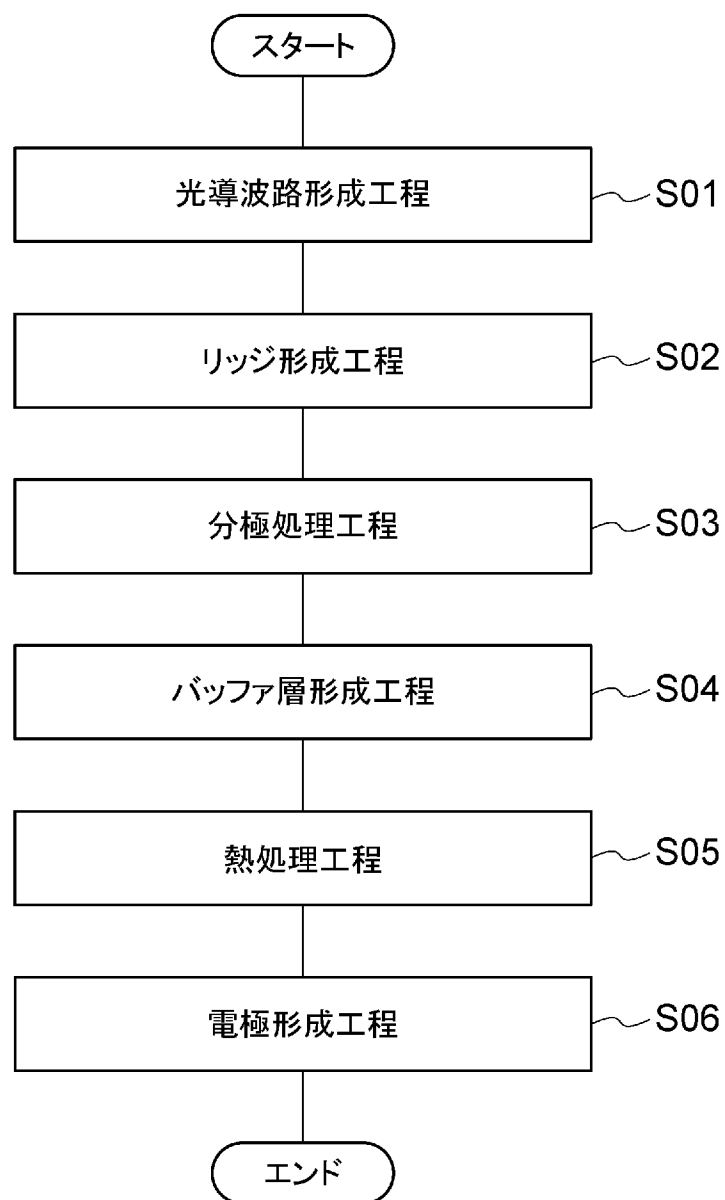
請求の範囲

- [請求項1] 基板の抗電界を下げる不純物をドーピングすることによって、第1方向に延びる光導波路を前記基板に形成する光導波路形成工程と、
- 前記光導波路を含む第1リッジ部及び前記第1リッジ部と交差する第2リッジ部を形成するリッジ形成工程と、
- 前記基板のうち、前記第2リッジ部によって区分される一方の領域に電圧を印加することにより、前記領域の分極方向を反転する分極処理工程と、
- を備える光導波路素子の製造方法。
- [請求項2] 前記リッジ形成工程において、前記第2リッジ部の高さが前記基板の平坦度より大きくなるように、前記第2リッジ部を形成する、請求項1に記載の光導波路素子の製造方法。
- [請求項3] 前記分極処理工程において、液体電極を用いて前記領域に電圧を印加する、請求項1または請求項2に記載の光導波路素子の製造方法。
- [請求項4] 前記リッジ形成工程において、前記第1リッジ部と交差する第3リッジ部をさらに形成し、
- 前記分極処理工程において、前記基板のうち、前記第2リッジ部と前記第3リッジ部とに挟まれる領域に電圧を印加することにより、前記領域の分極方向を反転する、請求項1～請求項3のいずれか一項に記載の光導波路素子の製造方法。
- [請求項5] 第1方向に延びる第1リッジ部と、前記第1リッジ部と交差する第2リッジ部と、を有する基板を備え、
- 前記第1リッジ部は、前記第1方向に延びる光導波路を有し、
- 前記光導波路は、前記基板の抗電界を下げる不純物を含んでおり、
- 前記基板は、前記第1方向に沿って順に配置された第1領域及び第2領域を有し、
- 前記第1領域の分極方向は、前記第2領域の分極方向と反対であり、

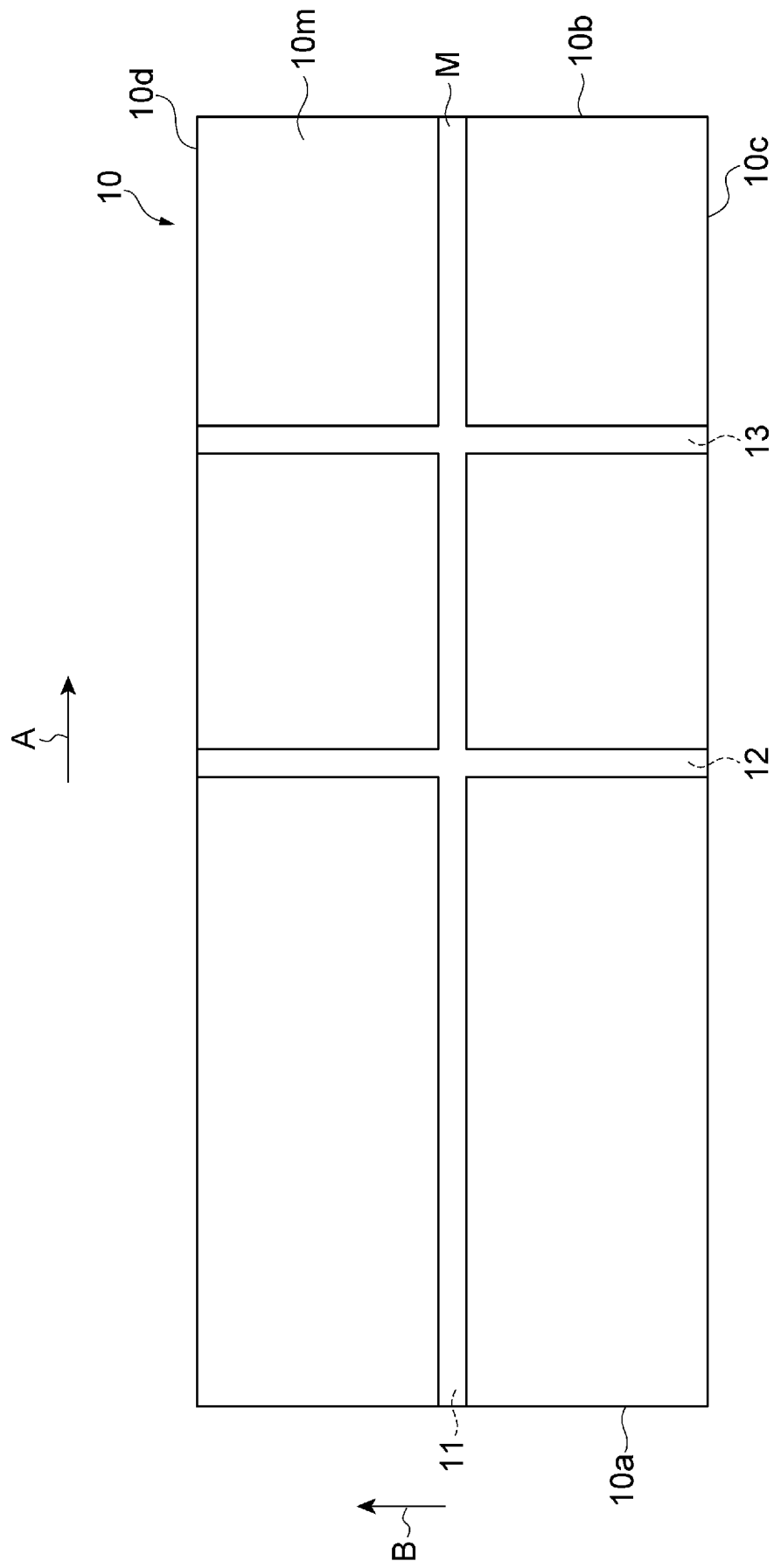
前記第 2 リッジ部は、前記第 1 領域と前記第 2 領域との境界上に設けられている、光導波路素子。

[請求項6] 前記第 2 リッジ部の高さは、前記基板の平坦度より大きい、請求項 5 に記載の光導波路素子。

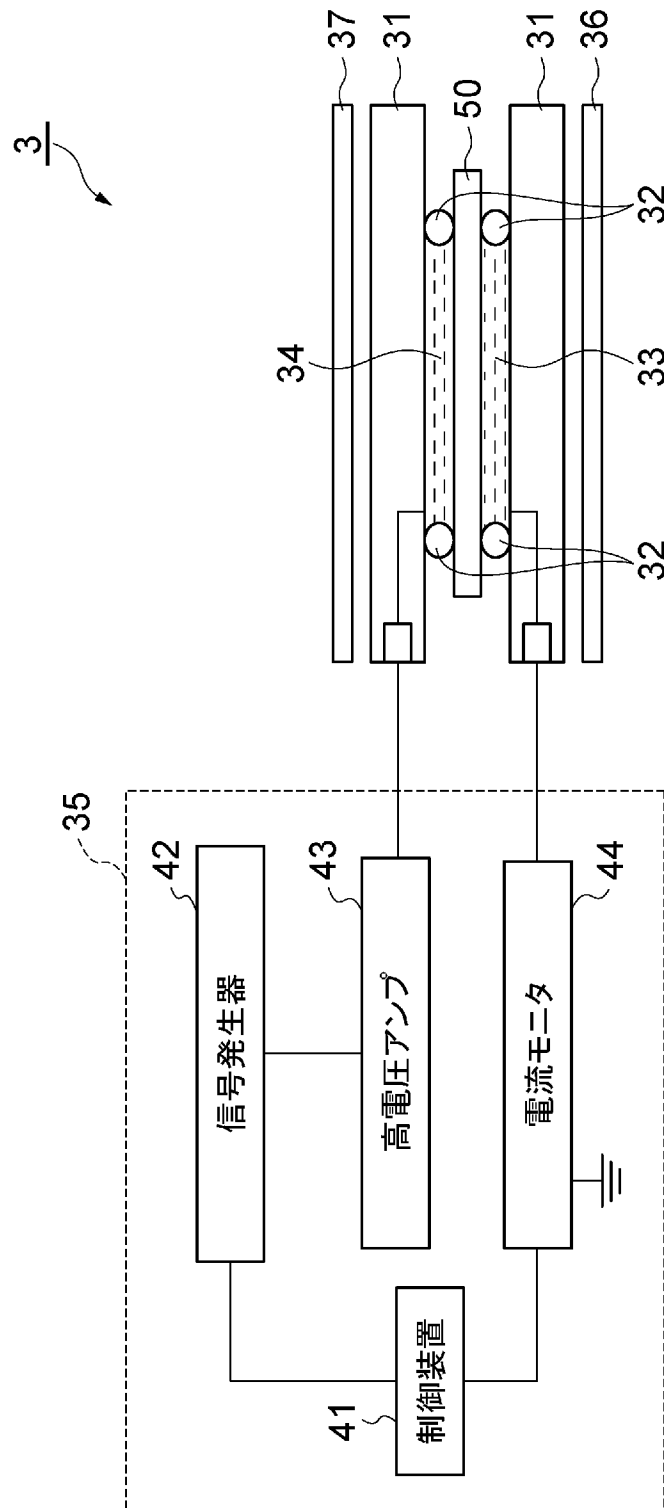
[図2]



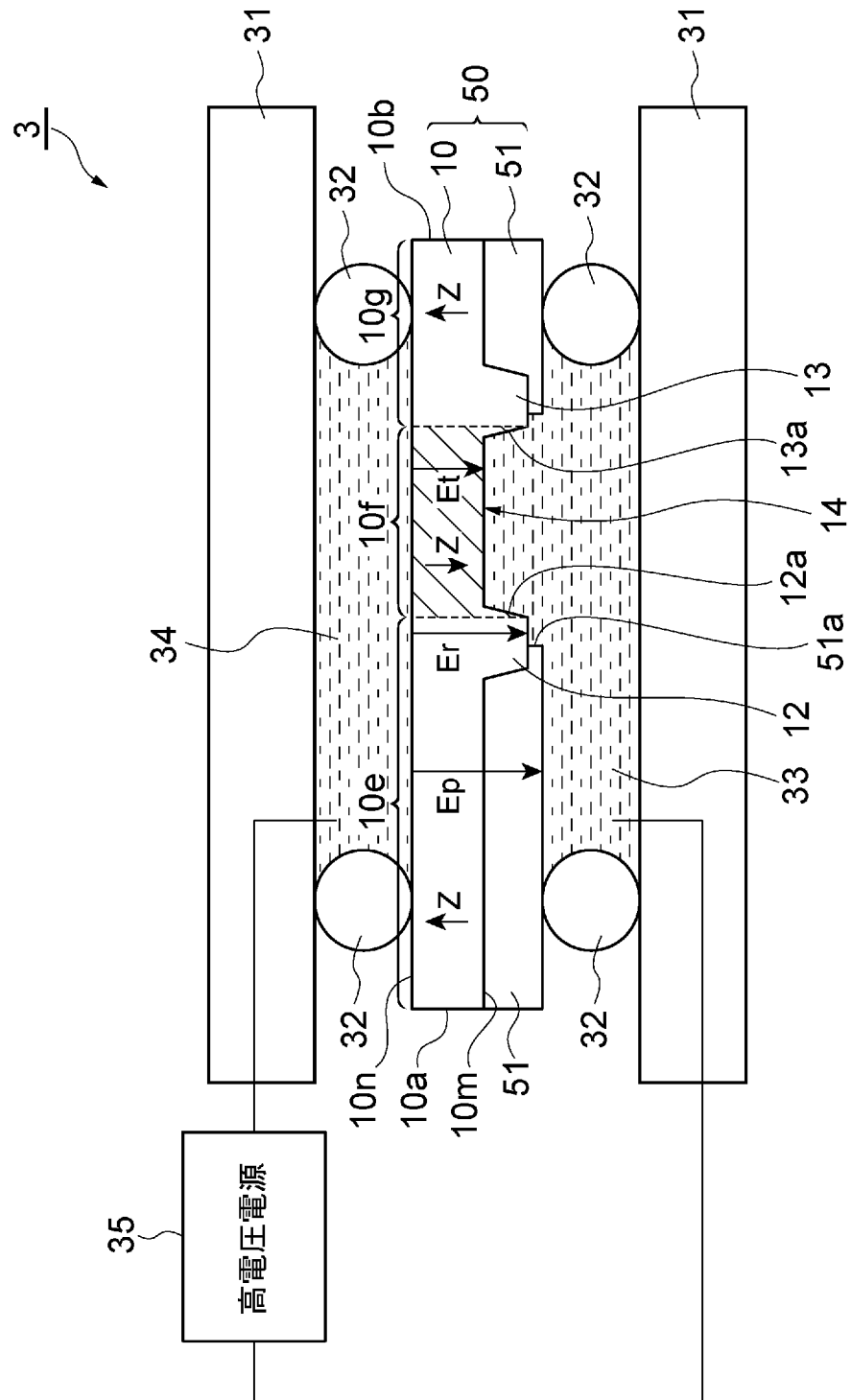
[図3]



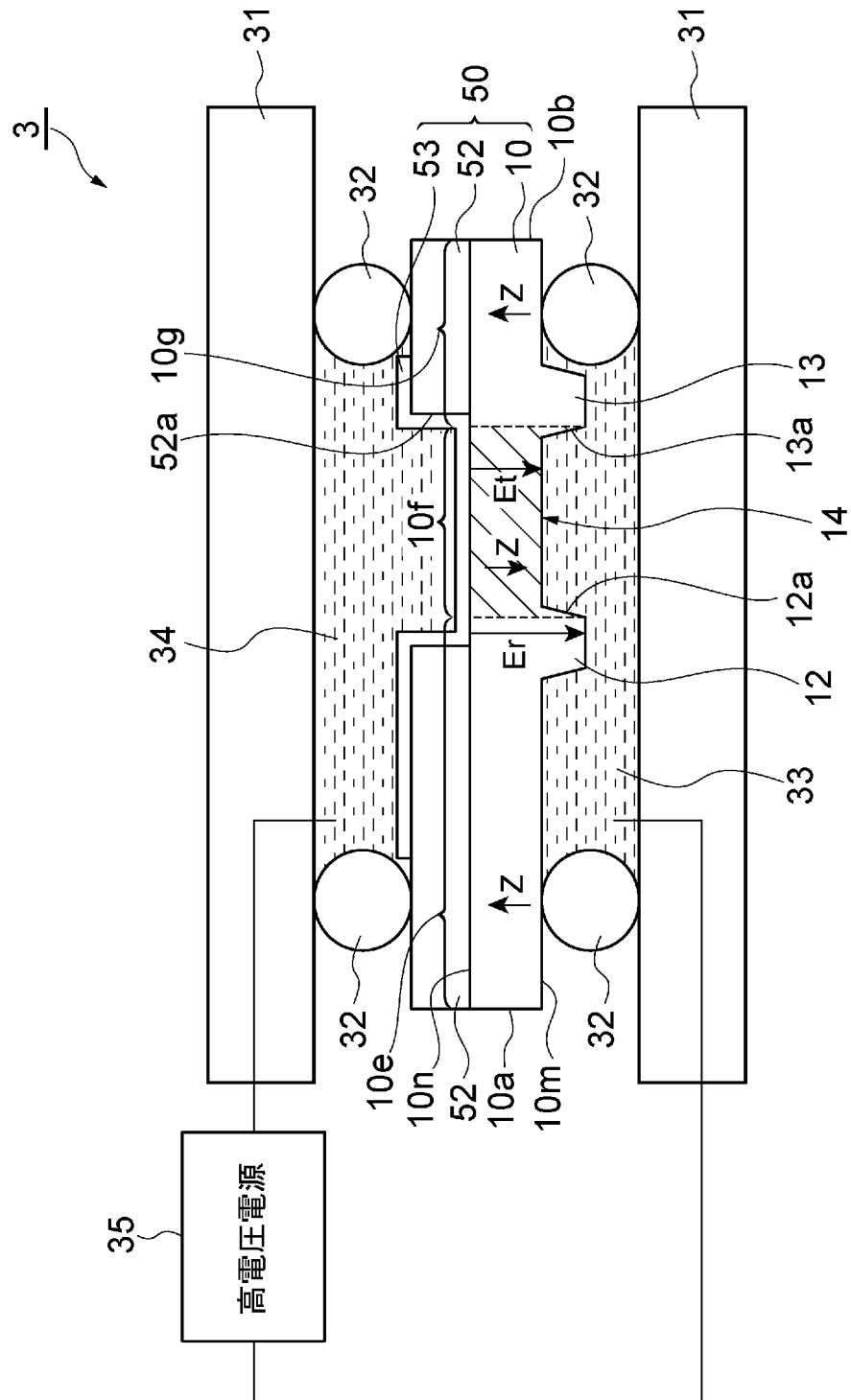
[図4]



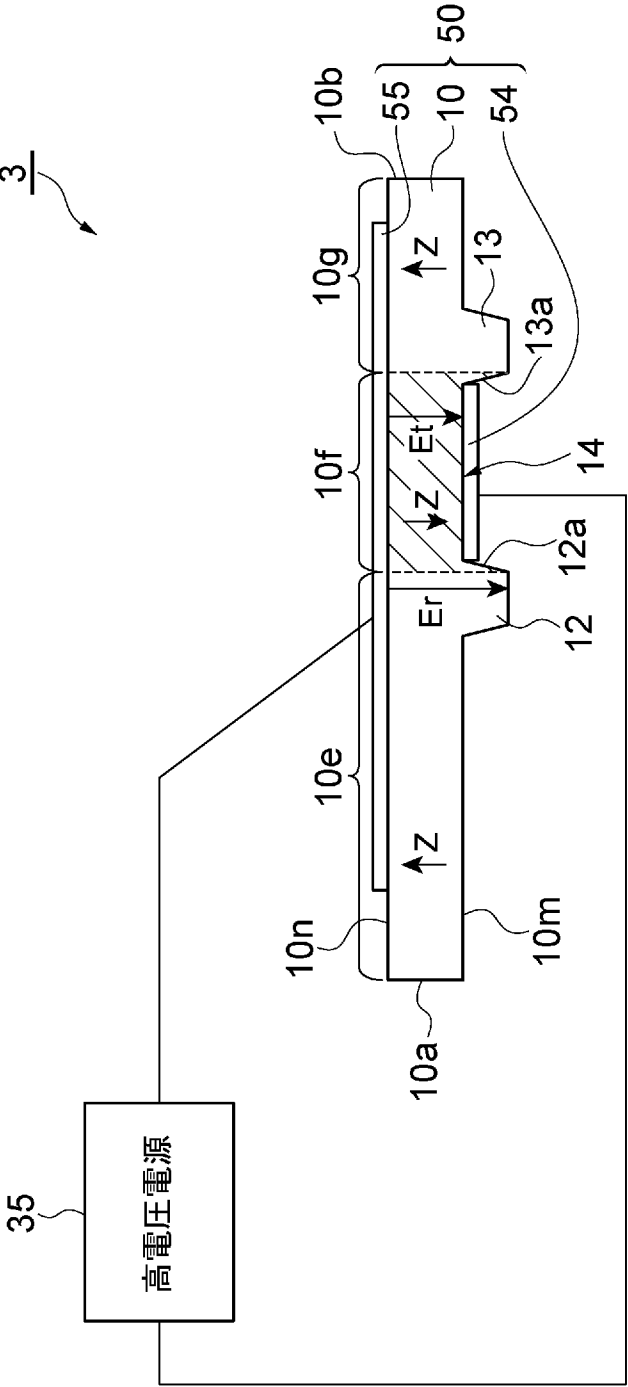
[図5]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/053943

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F1/035(2006.01)i, G02F1/313(2006.01)i

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)

G02F1/035, G02F1/313, G02B6/12, C30B29/30

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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

Thomson Innovation, JSTPlus(JDreamIII), Scitation

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2009/004683 A1 (Fujitsu Ltd.), 08 January 2009 (08.01.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	US 6156255 A (The Board of Trustees of the Leland Stanford), 05 December 2000 (05.12.2000), entire text; all drawings & US 5800767 A & US 6013221 A & US 6074594 A	1-6
A	JP 11-2848 A (Mitsubishi Cable Industries, Ltd.), 06 January 1999 (06.01.1999), entire text; all drawings (Family: none)	1-6

☒ 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
18 April, 2014 (18.04.14)

Date of mailing of the international search report
20 May, 2014 (20.05.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/053943

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 2005-292287 A (Sumitomo Osaka Cement Co., Ltd.), 20 October 2005 (20.10.2005), entire text; all drawings & US 2006/0079006 A1 & US 2011/0197432 A1 & US 2011/0201133 A1 & US 2011/0206860 A1 & US 8524509 B2 & US 8193004 B2 & US 8293543 B2 & US 8669121 B2	1-6
A	JP 2010-78914 A (Fujitsu Ltd.), 08 April 2010 (08.04.2010), entire text; all drawings & US 2010/0080507 A1	1-6

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02F1/035(2006.01)i, G02F1/313(2006.01)i

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（I P C））

Int.Cl. G02F1/035, G02F1/313, G02B6/12, C30B29/30

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 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）

Thomson Innovation, JSTPlus(JDreamIII), Scitation

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
A	WO 2009/004683 A1（富士通株式会社）2009.01.08, 全文、全図（ファミリーなし）	1 - 6
A	US 6156255 A（The Board of Trustees of the Leland Stanford） 2000.12.05, 全文、全図 & US 5800767 A & US 6013221 A & US 6074594 A	1 - 6
A	JP 11-2848 A（三菱電線工業株式会社）1999.01.06, 全文、全図（ファミリーなし）	1 - 6

☒ 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

1 8 . 0 4 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

2 0 . 0 5 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

佐藤 宙子

2 X

9 3 1 6

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 4

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 請求項の番号
A	JP 2005-292287 A (住友大阪セメント株式会社) 2005. 10. 20, 全文、 全図 & US 2006/0079006 A1 & US 2011/0197432 A1 & US 2011/0201133 A1 & US 2011/0206860 A1 & US 8524509 B2 & US 8193004 B2 & US 8293543 B2 & US 8669121 B2	1 - 6
A	JP 2010-78914 A (富士通株式会社) 2010. 04. 08, 全文、全図 & US 2010/0080507 A1	1 - 6