

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2007 年 10 月 11 日 (11.10.2007)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2007/114367 A1

- (51) 国際特許分類:
G02F 1/035 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2007/057196
- (22) 国際出願日: 2007 年 3 月 30 日 (30.03.2007)
- (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2006-100533 2006 年 3 月 31 日 (31.03.2006) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 住友大阪セメント株式会社 (SUMITOMO OSAKA CEMENT CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1028465 東京都千代田区六番町 6 番地 2 8 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 市川 潤一郎 (ICHIKAWA, Junichiro) [JP/JP]; 〒1028465 東京都千代田区六番町 6 番地 2 8 住友大阪セメント株式会社内 Tokyo (JP). 山本 太 (YAMAMOTO, Futoshi)

[JP/JP]; 〒1028465 東京都千代田区六番町 6 番地 2 8 住友大阪セメント株式会社内 Tokyo (JP). 金原 勇貴 (KINPARA, Yuhki) [JP/JP]; 〒1028465 東京都千代田区六番町 6 番地 2 8 住友大阪セメント株式会社内 Tokyo (JP). 近藤 勝利 (KONDOU, Katsutoshi) [JP/JP]; 〒1028465 東京都千代田区六番町 6 番地 2 8 住友大阪セメント株式会社内 Tokyo (JP). 及川 哲 (OIKAWA, Satoshi) [JP/JP]; 〒1028465 東京都千代田区六番町 6 番地 2 8 住友大阪セメント株式会社内 Tokyo (JP).

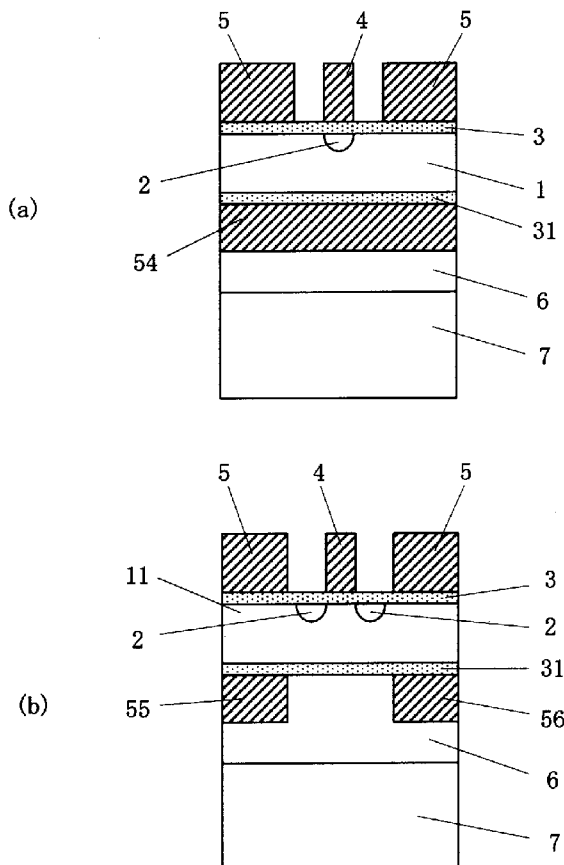
(74) 代理人: 田村 爾 (TAMURA, Chikashi); 〒1070052 東京都港区赤坂 1 丁目 4 番 1 0 号 赤坂三鈴ビル 4 階 Tokyo (JP).

(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, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, MG,

/ 続葉有 /

(54) Title: LIGHT CONTROL ELEMENT

(54) 発明の名称: 光制御素子



(57) Abstract: Provided is a light control element by which rate matching between a microwave and an optical wave and microwave impedance matching can be performed, and furthermore, a drive voltage can be reduced. The light control element is provided with a thin board (1 (11)), which has electro-optical effects and a thickness of 10 μ m or less; a light guide (2) formed on the thin board; and a control electrode for controlling light passing through the light guide. The control electrode is composed of a first electrode and a second electrode arranged to sandwich the thin board. The first electrode has a coplanar type electrode composed of at least a signal electrode (4) and a grounding electrode (5). The second electrode has at least grounding electrodes (54 (55, 56)) and applies electric field to the light guide by operating with the signal electrode of the first electrode.

(57) 要約: マイクロ波と光波との速度整合やマイクロ波のインピーダンス整合が実現でき、しかも、駆動電圧の低減が可能な光制御素子を提供することを目的とする。電気光学効果を有し、厚みが10 μ m以下の薄板1 (11) と、該薄板に形成された光導波路2 と、該光導波路を通過する光を制御するための制御電極とを有する光制御素子において、該制御電極は、該薄板を挟むように配置された第1電極と第2電極とからなり、該第1電極は、少なくとも信号電極4 と接地電極5 とからなるコプレーナ型の電極を有し、該第2電極は、少なくとも接地電極54 (55, 56) を有すると共に、第1電極の信号電極と協働して該光導波路に電界を印加するよう構成されていることを特徴とする。



MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,
PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, ZA, ZM, ZW.

IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, 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).

- (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,

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。

明 細 書

光制御素子

技術分野

[0001] 本発明は、光制御素子に関し、特に、電気光学効果を有し、厚みが $10\mu\text{m}$ 以下の薄板と、該薄板に形成された光導波路と、該光導波路を通過する光を制御するための制御電極とを有する光制御素子に関する。

背景技術

[0002] 従来、光通信分野や光測定分野において、電気光学効果を有する基板上に光導波路や制御電極を形成した導波路型光変調器や導波路型光スイッチなどの各種の光制御素子が多用されている。

現在利用されている光制御素子の多くの形態は、図1(a)に示すような、厚さ $0.5\sim 1\text{mm}$ 程度の電気光学結晶基板1に、光導波路2や信号電極4及び接地電極5を形成したものである。なお、図1(a)はZカット型 LiNbO_3 基板を用いた光変調器の例であり、符号3は SiO_2 膜などのバッファ層を示している。

[0003] 特に、導波路型光変調器においては、光導波路内を伝搬する光波を変調制御するため、マイクロ波信号が制御電極に印加されている。このため、マイクロ波が効率的に制御電極を伝搬するためには、マイクロ波を光変調器に導入する同軸ケーブルなどの信号線路と光変調器内の制御電極とのインピーダンス整合を図る必要がある。

このため、図1(a)に示すように、信号電極4を接地電極5で挟み込む形状、いわゆるコプレーナ型の制御電極が利用されている。

[0004] しかしながら、コプレーナ型制御電極の場合には、基板1の電気光学効果の効率が低い方向(図1(a)のZカット型 LiNbO_3 基板の場合には、上下方向が該当する)に、効率的に外部電界が作用しないため、必要な光変調度を得るために、より大きな電圧が必要となる。具体的には、 LiNbO_3 (以下、「LN」という)基板を利用し、光導波路に沿った電極長が 1cm の場合には、約 $10\sim 15\text{V}$ 程度の半波長電圧が必要となる。

[0005] また、図1(b)に示すように、特許文献1には、光導波路の光波の閉じ込めを改善し、制御電極が生成する電界をより効率良く光導波路に印加するために、光導波路を

リッジ型導波路20とし、信号電極4及び41に対して、接地電極5, 51, 52をより近接配置する構成が提案されている。この構成により、ある程度の駆動電圧の低減は実現できるが、特に、高周波帯域における高速変調を実現するには、より一層の駆動電圧の低減が不可欠である。

特許文献1: 米国特許明細書第6, 580, 843号

- [0006] また、特許文献2には、図1(c)に示すように、基板を制御電極で挟み込み、電気光学効果の効率が低い方向(図1(c)のZカット型 LiNbO_3 基板の場合には、上下方向が該当する)に電界を印加することが提案されている。しかも、図1(c)の光変調器は、電気光学効果を有する基板を分極反転し、自発分極の方向(図中の矢印方向)が異なる基板領域10及び11を形成すると共に、各基板領域には光導波路2が形成されており、共通の信号電極42と接地電極53で各光導波路に電界を印加した場合には、各光導波路を伝搬する光波には逆向きの位相変化を発生させることが可能となる。このような差動駆動により、駆動電圧をより一層低下させることが可能となる。

特許文献2: 特許第3638300号公報

- [0007] しかしながら、図1(c)のような電極構造では、マイクロ波の屈折率が高くなり、光導波路を伝搬する光波と変調信号であるマイクロ波との速度整合を取ることが困難となる。しかも、インピーダンスは逆に低くなるため、マイクロ波の信号線路とのインピーダンス整合を取ること難しくなるという欠点がある。

- [0008] 他方、以下の特許文献3又は4においては、 $30\ \mu\text{m}$ 以下の厚みを有する極めて薄い基板(以下、「薄板」という)に、光導波路並びに変調電極を組み込み、該薄板より誘電率の低い他の基板を接合し、マイクロ波に対する実効屈折率を下げ、マイクロ波と光波との速度整合を図ることが行われている。

特許文献3: 特開昭64-18121号公報

特許文献4: 特開2003-215519号公報

- [0009] しかしながら、このような薄板を用いた光変調器に対して、図1(a)乃至(c)のような構造の制御電極を形成した場合であっても、依然として、上述した問題は、根本的に解消されていない。図1(c)のような制御電極で基板を挟み込む場合には、基板の厚みを薄くした場合、マイクロ波屈折率は下がる傾向にあるが、光波とマイクロ波との速

度整合を実現するのは困難である。電極の幅にも依存するが、例えば、LNの薄板を用いた場合で、実効屈折率が約5程度であり、最適値である2.14には及ばない。他方、インピーダンスは、基板が薄くなるに従い下がる傾向となり、インピーダンス不整合が拡大する原因となる。

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0010] 本発明が解決しようとする課題は、上述したような問題を解決し、マイクロ波と光波との速度整合やマイクロ波のインピーダンス整合が実現でき、しかも、駆動電圧の低減が可能な光制御素子を提供することである。

また、駆動電圧の低減により、光制御素子の温度上昇を抑制でき安定動作が可能な光制御素子を提供することであり、さらには、コストのより安い低駆動電圧型駆動装置を利用できる光制御素子を提供することである。

課題を解決するための手段

[0011] 上記課題を解決するため、請求項1に係る発明では、電気光学効果を有し、厚みが $10\mu\text{m}$ 以下の薄板と、該薄板に形成された光導波路と、該光導波路を通過する光を制御するための制御電極とを有する光制御素子において、該制御電極は、該薄板を挟むように配置された第1電極と第2電極とからなり、該第1電極は、少なくとも信号電極と接地電極とからなるコプレーナ型の電極を有し、該第2電極は、少なくとも接地電極を有すると共に、第1電極の信号電極と協働して該光導波路に電界を印加するよう構成されていることを特徴とする。

本発明における「コプレーナ型の電極」とは、信号電極を接地電極で挟んだものを意味し、例えば、信号電極と両側の接地電極は同じ電極間隔のものや、電極間隔が異なるもの、接地電極が片側だけのものも含むものである。また、信号電極を複数のラインで形成し、これら複数のラインを接地電極で挟むものや、さらに、複数のラインの間に接地電極を追加配置するものなども含むものである。

[0012] 請求項2に係る発明では、請求項1に記載の光制御素子において、該光導波路はリッジ型光導波路であることを特徴とする。

[0013] 請求項3に係る発明では、請求項1又は2に記載の光制御素子において、該薄板と

、該第1電極又は該第2電極との間にはバッファ層が形成されていることを特徴とする。

[0014] 請求項4に係る発明では、請求項1乃至3のいずれかに記載の光制御素子において、該信号電極又は該接地電極は、透明電極又は薄板側に透明電極を配置した電極のいずれかで構成されていることを特徴とする。

[0015] 請求項5に係る発明では、請求項2乃至4のいずれかに記載の光制御素子において、少なくとも該リッジ型導波路の両側に配置された溝には、低誘電率膜が充填されていることを特徴とする。

[0016] 請求項6に係る発明では、請求項5に記載の光制御素子において、該信号電極に給電する信号線は、該第1電極の接地電極を跨ぐあるいは潜るように配置され、該信号線と該接地電極との間には該低誘電率膜が配置されていることを特徴とする。

[0017] 請求項7に係る発明では、請求項1乃至6のいずれかに記載の光制御素子において、該第2電極は、該光導波路の形状に対応した形状を有するパターン状電極であることを特徴とする。

[0018] 請求項8に係る発明では、請求項1乃至7のいずれかに記載の光制御素子において、該第1電極の接地電極と該第2電極の接地電極とは、該薄板に設けられたスルーホールを介して電氣的に接続されていることを特徴とする。

[0019] 請求項9に係る発明では、請求項1乃至8のいずれかに記載の光制御素子において、該光導波路の少なくとも一部を含む薄板の自発分極が反転されていることを特徴とする。

[0020] 請求項10に係る発明では、請求項1乃至9のいずれかに記載の光制御素子において、該薄板は該第1電極又は該第2電極を挟むように接着層を介して支持基板に接着されていることを特徴とする。

[0021] 請求項11に係る発明では、請求項10に記載の光制御素子において、該第2電極は該支持基板上に配置されていることを特徴とする。

[0022] 請求項12に係る発明では、請求項1乃至11のいずれかに記載の光制御素子において、少なくとも第1電極の信号電極の幅 W 、高さ T_{EL} 、該第1電極における信号電極と接地電極との間隔 G 、及び光導波路がリッジ型光導波路である場合にはリッジの深

さDは、該信号電極に係る半波長電圧 V_{pai} が $8V \cdot \text{cm}$ 以下、インピーダンス Z が 30Ω 以上 60Ω 以下、及び光とマイクロ波との屈折率差 Δn と該信号電極の電界が光導波路に作用する作用部分の長さ L との積が 1.3cm 以下となるように設定されていることを特徴とする。

発明の効果

- [0023] 請求項1に係る発明により、電気光学効果を有し、厚みが $10 \mu\text{m}$ 以下の薄板と、該薄板に形成された光導波路と、該光導波路を通過する光を制御するための制御電極とを有する光制御素子において、該制御電極は、該薄板を挟むように配置された第1電極と第2電極とからなり、該第1電極は、少なくとも信号電極と接地電極とからなるコプレーナ型の電極を有し、該第2電極は、少なくとも接地電極を有すると共に、第1電極の信号電極と協働して該光導波路に電界を印加するよう構成されているため、マイクロ波と光波との速度整合やマイクロ波のインピーダンス整合が実現でき、高速動作が可能な光制御素子を提供することができる。しかも、駆動電圧の低減が可能なため、既存の廉価な駆動装置を用いて高速駆動が可能となり、駆動装置に係るコストも削減できる。
- [0024] 請求項2に係る発明により、光導波路はリッジ型光導波路であるため、光波の閉じ込め効率が高く、また、制御電極が形成する電界を光導波路に集中させることが可能となり、より低駆動電圧の光制御素子を実現することができる。
- [0025] 請求項3に係る発明により、薄板と、第1電極又は第2電極との間にはバッファ層が形成されているため、光導波路を伝搬する光波の伝搬損失を抑制しながら、制御電極を光導波路のより近傍に配置することが可能となる。
- [0026] 請求項4に係る発明により、信号電極又は接地電極は、透明電極又は薄板側に透明電極を配置した電極のいずれかで構成されているため、バッファ層が無い場合でも、光導波路を伝搬する光波の伝搬損失を抑制しながら、制御電極を光導波路のより近傍に配置することが可能となる。
- [0027] 請求項5に係る発明により、少なくともリッジ型導波路の両側に配置された溝には、低誘電率膜が充填されているため、制御電極におけるマイクロ波屈折率やインピーダンスの調整が可能となり、より適切なマイクロ波屈折率やインピーダンスを得ること

ができる。

- [0028] 請求項6に係る発明により、信号電極に給電する信号線は、第1電極の接地電極を跨ぐあるいは潜るように配置され、該信号線と該接地電極との間には該低誘電率膜が配置されているため、制御電極の配線の自由度が増し、光集積回路などの複雑な配線も可能となる。また、配線を立体化することができ、より適切なマイクロ波の屈折率やインピーダンスを得ることも可能となる。
- [0029] 請求項7に係る発明により、第2電極は、光導波路の形状に対応した形状を有するパターン状電極であるため、光導波路に印加される電界を、より集中させることができ、駆動電圧をより一層低減させることが可能となる。
- [0030] 請求項8に係る発明により、第1電極の接地電極と第2電極の接地電極とは、薄板に設けられたスルーホールを介して電氣的に接続されているため、光制御素子に係る電気配線を簡略化できると共に、第1電極の接地電極と第2電極の接地電極とに発生する浮遊電荷のズレを抑制でき、より適切な電界を光導波路に印加させることが可能となる。
- [0031] 請求項9に係る発明により、光導波路の少なくとも一部を含む薄板の自発分極が反転されているため、光制御素子の差動駆動が、簡便な制御電極や駆動回路で容易に実現できる上、駆動電圧を低減することも可能となる。
- [0032] 請求項10に係る発明により、薄板は第1電極又は第2電極を挟むように接着層を介して支持基板に接着されているため、薄板の機械的強度を補強でき、信頼性の高い光制御素子を提供するが可能となる。
- [0033] 請求項11に係る発明により、第2電極は支持基板上に配置されているため、制御電極に係る配置の自由度が増し、光集積回路などの複雑な配線も可能となる。さらに、薄板に配置される制御電極の数が減少でき、薄板に加わる熱応力などにより薄板が破損する危険性を減少させることも可能となる。
- [0034] 請求項12に係る発明により、少なくとも第1電極の信号電極の幅 W 、高さ T_{EL} 、該第1電極における信号電極と接地電極との間隔 G 、及び光導波路がリッジ型光導波路である場合にはリッジの深さ D は、該信号線路に係る半波長電圧 V_{pai} が $8V \cdot cm$ 以下、インピーダンス Z が 30Ω 以上 60Ω 以下、及び光とマイクロ波との屈折率差 Δn と

該信号電極の電界が光導波路に作用する作用部分の長さ L との積が 1.3cm 以下となるように設定されているため、信号電極の幅や高さ、また、信号電極と接地電極との間隔やリッジの深さなどを調整するだけで、マイクロ波と光波との速度整合や、変調信号を入力する側のインピーダンスに対するマイクロ波のインピーダンス整合が極めて容易に実現でき、高速動作が可能な光制御素子を提供することができる。しかも、駆動電圧の低減が可能なため、既存の廉価な駆動装置を用いて高速駆動が可能となり、駆動装置に係るコストも削減できる。

図面の簡単な説明

- [0035] [図1]従来の光制御素子の例を示す図である。
- [図2]本発明の光制御素子の実施例を示す図である。
- [図3]リッジ型導波路を有する光制御素子の例を示す図である。
- [図4]低誘電率膜を有する光制御素子の例を示す図である。
- [図5]薄板の裏面側に光導波路を形成した光制御素子の例を示す図である。
- [図6]透明電極を利用した光制御素子の例を示す図である。
- [図7]第2電極にパターン状電極を用いた光制御素子の例を示す図である。
- [図8]分極反転を用いた光制御素子の例を示す図である。
- [図9]スルーホールを利用した光制御素子の例を示す図である。
- [図10]計算モデルを説明する図である。
- [図11]基板の厚さに対する駆動電圧値の変化を示すグラフである。
- [図12]計算結果 ($t=2\mu\text{m}$, $D/t=0.2$) を示す表である。
- [図13]計算結果 ($t=2\mu\text{m}$, $D/t=0.4$) を示す表である。
- [図14]計算結果 ($t=2\mu\text{m}$, $D/t=0.6$) を示す表である。
- [図15]計算結果 ($t=2\mu\text{m}$, $D/t=0.8$) を示す表である。
- [図16]計算結果 ($t=4\mu\text{m}$, $D/t=0.2$) を示す表である。
- [図17]計算結果 ($t=4\mu\text{m}$, $D/t=0.4$) を示す表である。
- [図18]計算結果 ($t=4\mu\text{m}$, $D/t=0.6$) を示す表である。
- [図19]計算結果 ($t=4\mu\text{m}$, $D/t=0.8$) を示す表である。
- [図20]計算結果 ($t=6\mu\text{m}$, $D/t=0.2$) を示す表である。

[図21]計算結果($t=6\ \mu\text{m}$, $D/t=0.4$)を示す表である。

[図22]計算結果($t=6\ \mu\text{m}$, $D/t=0.6$)を示す表である。

[図23]計算結果($t=6\ \mu\text{m}$, $D/t=0.8$)を示す表である。

[図24]計算結果($t=8\ \mu\text{m}$, $D/t=0.2$)を示す表である。

[図25]計算結果($t=8\ \mu\text{m}$, $D/t=0.4$)を示す表である。

[図26]計算結果($t=8\ \mu\text{m}$, $D/t=0.6$)を示す表である。

[図27]計算結果($t=8\ \mu\text{m}$, $D/t=0.8$)を示す表である。

[図28]計算結果($t=2\ \mu\text{m}$, $W/t=2.2\sim 4.0$)における V_{pai} 評価を示す表である。

[図29]計算結果($t=2\ \mu\text{m}$, $W/t=2.2\sim 4.0$)における Z 評価を示す表である。

[図30]計算結果($t=2\ \mu\text{m}$, $W/t=2.2\sim 4.0$)における NM 評価を示す表である。

符号の説明

- [0036]
- 1 Zカット型LN結晶基板
 - 2 光導波路
 - 3, 31 バッファ層
 - 4, 41, 42, 43, 44, 140 信号電極
 - 5, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 150 接地電極
 - 6 接着層
 - 7 支持基板
 - 8, 81 低誘電率膜
 - 9, 91, 92, 93, 94, 95, 96 透明電極
 - 11 Xカット型LN結晶基板
 - 20 リッジ型導波路(リッジ部)
 - 100 スルーホールに形成された接続線路

発明を実施するための最良の形態

- [0037] 以下、本発明を好適例を用いて詳細に説明する。

本発明に係る光制御素子の基本的な構成は、電気光学効果を有し、厚みが $10\ \mu\text{m}$ 以下の薄板と、該薄板に形成された光導波路と、該光導波路を通過する光を制御するための制御電極とを有する光制御素子において、該制御電極は、該薄板を挟む

ように配置された第1電極と第2電極とからなり、該第1電極は、少なくとも信号電極と接地電極とからなるコプレーナ型の電極を有し、該第2電極は、少なくとも接地電極を有すると共に、第1電極の信号電極と協働して該光導波路に電界を印加するよう構成されていることを特徴とする。

[0038] 図2は、本発明の光制御素子に係る実施例を示す断面図であり、図2(a)はZカット型LN基板(薄板)1を利用した場合を、図2(b)はXカット型LN基板(薄板)11を利用した場合を、各々示している。本発明の光制御素子においては、薄板の厚みは $10\mu\text{m}$ 以下が好ましい。

図2(a)では、薄板1に光導波路2が形成され、該薄板1を挟むように制御電極が配置されている。制御電極としては、薄板1の上側に配置された第1電極と、薄板、下側に配置された第2電極とがある。第1電極には、信号電極4と接地電極5が設けられ、また、第2電極には接地電極54が設けられている。第1電極及び第2電極には、図示した電極以外にDC電極など、必要な電極を適宜付加できることは言うまでもない。

[0039] 図2(a)の光制御素子の特徴は、光導波路2に対して信号電極4と接地電極5による電界以外に、信号電極4と接地電極54とによる電界が印加されることである。これにより、光導波路2をおける図の縦方向の電界を強くすることができ、駆動電圧を低減させることが可能となる。

しかも、制御電極におけるマイクロ波の屈折率及びインピーダンスは、信号電極4と接地電極5及び54により決定されるため、例えば、最適値であるマイクロ波屈折率2.14、インピーダンス 50Ω に設定することも可能となる。

[0040] 各電極は、薄板との間に SiO_2 膜などのバッファ層3又は31を介して配置されている。バッファ層には、光導波路を伝搬する光波が、制御電極により吸収又は散乱されることを防止する効果を有している。また、バッファ層の構成としては、必要に応じ、薄板1の焦電効果を緩和するため、Si膜などを組み込むことも可能である。

なお、接地電極5又は54と薄板1との間に存在するバッファ層は、省略することも可能であるが、薄板1の光導波路と接地電極54との間にあるバッファ層については、薄板の厚みが薄くなるに従い、光導波路を伝搬する光波のモード径は薄板の厚みとほぼ等しくなることから、接地電極54による光波の吸収又は散乱も発生するため、この

部分のバッファ層は残しておくことが好ましい。

[0041] また、光制御素子の基板は薄板であるため、薄板1に対する第1電極と第2電極との配置を、逆にした場合でも、図1(a)のものと同様に、光制御素子を動作させることが可能である。

[0042] 薄板1は、第2電極が形成された後に、接着層6を介して支持基板7に接合される。これにより、薄板1が10 μ m以下の場合でも、光制御素子として十分な機械的強度を確保することが可能となる。

また、図2(a)では、第2電極(第1電極と第2電極との配置を逆にした場合には、第1電極)は、薄板1側に接して配置されているが、支持基板7上に第2電極(又は第1電極)を形成し、接着層を介して薄板1に接合することも可能である。

[0043] 図2(b)は、Xカット型LN基板を用いたものであり、電気光学効果の効率が低い方向は、図の横方向となる。このため、第1電極では、光導波路2を挟む位置に信号電極4と接地電極5とを配置し、第2電極では、信号電極4と接地電極55及び56とが形成する電界が、光導波路2に対して横方向の成分を有するように、接地電極55及び56の形状及び配置が決定されている。なお、後述するように、第2電極を光導波路の形状に対応してパターン状電極とすることにより、より最適な電界分布を形成することが可能となる。

[0044] 薄板に使用される電気光学効果を有する結晶性基板としては、例えば、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、PLZT(ジルコン酸チタン酸鉛ランタン)、及び石英系の材料及びこれらの組み合わせが利用可能である。特に、電気光学効果の高いニオブ酸リチウム(LN)やタンタル酸リチウム(LT)結晶が好適に利用される。

[0045] 光導波路の形成方法としては、Tiなどを熱拡散法やプロトン交換法などで基板表面に拡散させることにより形成することができる。また、特許文献5のように薄板1の表面に光導波路の形状に合わせてリッジを形成し、光導波路を構成することも可能である。

信号電極や接地電極などの制御電極は、Ti・Auの電極パターンの形成及び金メッキ方法などにより形成することが可能である。また、後述する透明電極については、ITOや赤外透明導電膜であるInとTiの複合酸化物膜などが利用可能であり、フォトリ

ソグラフィ法により電極パターンを形成しリフトオフ法によって形成する方法や、所定の電極パターンが残るようにマスク材を形成し、ドライエッチング、あるいはウエットエッチングにて形成する方法などが使用可能である。

特許文献5:特開平6-289341号公報

- [0046] 光制御素子を含む薄板1の製造方法は、数百 μm の厚さを有する基板に上述した光導波路を形成し、基板の裏面を研磨して、10 μm 以下の厚みを有する薄板を作成する。その後薄板の表面に制御電極を作り込む。また、光導波路や制御電極などの作り込みを行った後に、基板の裏面を研磨することも可能である。なお、光導波路形成時の熱的衝撃や各種処理時の薄膜の取り扱いによる機械的衝撃などが加わると、薄板が破損する危険性もあるため、これらの熱的又は機械的衝撃が加わり易い工程は、基板を研磨して薄板化する前に行うことが好ましい。
- [0047] 支持基板7に使用される材料としては、種々のものが利用可能であり、例えば、薄板と同様の材料を使用する他に、石英、ガラス、アルミナなどのように薄板より低誘電率の材料を使用したり、薄板と異なる結晶方位を有する材料を使用することも可能である。ただし、線膨張係数が薄板と同等である材料を選定することが、温度変化に対する光制御素子の変調特性を安定させる上で好ましい。仮に、同等の材料の選定が困難である場合には、薄板と支持基板とを接合する接着剤に、薄板と同等な線膨張係数を有する材料を選定する。
- [0048] 薄板1と支持基板7との接合には、接着層6として、エポキシ系接着剤、熱硬化性接着剤、紫外線硬化性接着剤、半田ガラス、熱硬化性、光硬化性あるいは光増粘性の樹脂接着剤シートなど、種々の接着材料を使用することが可能である。
- [0049] 以下に、本発明に係る光制御素子の応用例について説明する。なお、以下の図面には、前出した部材と同じ部材を用いる場合には、可能な限り同じ符号を用い、さらに、構成の特徴を明確にするため、必要に応じ接着層や支持基板を省略して記載している。

(リッジ型導波路を有する光制御素子)

図3は、本発明の光制御素子に係る応用例であり、光導波路をリッジ型導波路で形成した例を示す。光導波路をリッジ型光導波路で形成することにより、光波の閉じ込

め効率が高くなり、また、制御電極が形成する電界を光導波路に集中させることが可能となるため、より低駆動電圧の光制御素子を実現することができる。

[0050] 図3(a)は、図2(a)の光制御素子の光導波路をリッジ型導波路20としたものであり、リッジ部20に伝搬する光波を閉じ込めている。リッジ部20には、信号電極4と接地電極5とが形成する電界と、信号電極4と接地電極54とが形成する電界とが集中的に印加されるため、光制御素子の駆動伝達を低減させることにも寄与する。

[0051] 図3(b)は、2つの光導波路2をリッジ型導波路20とするものである。リッジ型導波路に対応して信号電極4及び41が配置され、信号電極には互いに逆向きの信号などが印加されている。

例えば、左側のリッジ部20についてみると、信号電極4と接地電極5とが形成する電界と、信号電極4と接地電極54とが形成する電界と、さらには信号電極4と信号電極41とが形成する電界とが集中的に印加される。

[0052] 図3(c)は、2つの光導波路2をリッジ型導波路20すると共に、2つの光導波路間に、接地電極51に対応したリッジ部を形成したものである。リッジ型導波路20に対応して信号電極4及び41が配置され、信号電極には個々独立した信号などが印加されている。

例えば、左側のリッジ部20についてみると、信号電極4と接地電極5とが形成する電界と、信号電極4と接地電極54とが形成する電界と、さらには信号電極4と接地電極51とが形成する電界とが集中的に印加される。

[0053] 基板の厚さとほぼ同じ程度までリッジの深さを形成することは、現時点の製造技術では変調器としての機械的強度に課題が残るが、光導波路の閉じ込めが強くなり、信号電極により形成される電界が集中的に印加される。機械的強度を強くするためには、リッジ加工部を低誘電率膜で埋めることができる。

また、接地電極下の基板1は、電気光学効果を有する必要なく、図4又は図5に示す低誘電率膜を基板の代替に使用することもできる。これにより、接地電極部の電気光学基板を残す必要が無く作製条件が広がる。また、信号電極周辺部に低誘電率層がくるため、電極損が低下し高周波対応が可能となる。

[0054] (低誘電率膜を有する光制御素子)

図4は、本発明の光制御素子に係る応用例であり、リッジ型導波路を形成する溝や、第1電極を構成する信号電極4と接地電極5との間に低誘電率膜を配置した例を示す。このような低誘電率膜の配置により、制御電極におけるマイクロ波屈折率やインピーダンスの調整が可能となり、また、制御電極の配線の自由度を増加させることが可能となる。

低誘電率膜の材料としては、ベンゾシクロブテン(BCB)などが使用でき、低誘電率膜の製造方法として、塗付法などが利用できる。

[0055] 図4(a)に示すように、リッジ型導波路20の両側に形成される溝や、信号電極4と接地電極5との間、あるいは第1電極を覆うように低誘電率膜8を形成することができる。

また、図4(b)に示すように、接地電極5を跨ぐように信号電極4の給電部42を配置し、接地電極4と給電部42との間には低誘電率膜8が配置される。これにより、制御電極の立体的な配線が可能となり、制御電極に係る配線設計の自由度が増加する。さらに、接地電極を信号電極の上方(薄板から離れる位置)を通過させることも可能である。

[0056] (薄板の裏面側に光導波路を形成した光制御素子)

図5は、本発明の光制御素子に係る応用例であり、光導波路2(リッジ型導波路20)を薄板1の裏面(図の下側)に形成した例を示す。

厚みが10 μ m以下の薄板を使用する場合には、図5(a)のように、光導波路2を薄板1の裏面に形成し、第1電極である信号電極4及び接地電極5を薄板の表面に、また、第2電極である接地電極54を薄板1の裏面に形成しても、特に信号電極4と接地電極54とが形成する電界により、リッジ部20に電界を印加させることが可能となる。

[0057] また、図5(b)は、2つの信号電極4及び41を用いた例であり、左側のリッジ部20に対しては、特に信号電極4と接地電極54とが形成する電界により、また、右側のリッジ部20に対しては、特に信号電極41と接地電極54とが形成する電界により、電界が印加される。

なお、各リッジ部20を形成する溝には、必要に応じて低誘電率膜81が形成されている。図5における低誘電率膜81に替わり、空気層を配置し、誘電率の低い領域を形成することも可能である。

[0058] 図3のような光制御素子の場合には、リッジ型導波路のリッジ部の頂上に信号電極4や41を正確に配置することが必要であるが、図5のような光制御素子の場合には、信号電極4や41の幅をリッジ型導波路の幅以上に設定するだけで、両者間に若干の位置ズレが発生しても、効率よくリッジ部に電界を印加することができるという利点を有している。

[0059] (透明電極を利用した光制御素子)

図6は、本発明の光制御素子に係る応用例であり、透明電極(9及び91至96)を電極に使用した例を示す。信号電極又は接地電極に、透明電極又は薄板側に透明電極を配置した電極のいずれかを用いることにより、バッファ層が無い場合でも、光導波路を伝搬する光波の伝搬損失を抑制しながら、制御電極を光導波路のより近傍に配置することが可能となり、駆動電圧を低減させることができる。

[0060] 図6(a)は、第2電極の接地電極に透明電極9を使用する例であり、図6(b)は第1電極に透明電極91, 92を使用する例である。これらの場合には、図3(a)で示したバッファ層31や3が不要となり、電極を光導波路に近接して配置することが可能となる。

なお、図6(b)の第1電極を構成する接地電極(透明電極91)は、電極の近傍に光導波路が無い場合、通常の金属電極で形成しても良い。

[0061] 図6(c)及び(d)は、制御電極の一部(薄板1又は11に接する側)に、透明電極を使用する例を示すものである。透明電極は、一般的にAuなどの金属電極と比較して電気抵抗率が高いため、電極の電気抵抗を下げる目的で、透明電極9や93乃至96に接触して金属電極140, 150, 151を配置することができる。透明電極の厚さは、例えば、バッファ層と同程度の $0.7\mu\text{m}$ 相当であればよく、屈折率によってはそれ以上の $3\mu\text{m}$ 位であっても良い。

また、透明電極は、93や95, 96に示したようにリッジ型導波路の近傍又はリッジ型光導波路の側面に配置することも可能であり、極めて効果的に電界を導波路に作用させることが可能となる。

なお、図6(c)は、Zカット型LN基板を用いた例であり、図6(d)はXカット型LN基板を用いた例である。

[0062] (第2電極にパターン状電極を用いた光制御素子)

図7は、本発明の光制御素子に係る応用例であり、第2電極を形成する接地電極をパターン状電極で構成した例を示す。第2電極を、光導波路の形状に対応した形状を有するパターン状電極とすることにより、光導波路に印加される電界を、より適切な形状に調整でき、駆動電圧をより一層低減させることが可能となる。

[0063] 図7(a)は、接地電極57を光導波路2に沿ったストリップ状の電極とし、信号電極4と接地電極57とが形成する電界を、より光導波路2に集中するように構成している。

また、図7(b)は、Xカット型の薄板11を用いた例であり、第2電極を形成する接地電極58、59が、パターン状電極で形成されている。

[0064] (分極反転を用いた光制御素子)

図8は、本発明の光制御素子に係る応用例であり、薄板1を分極反転した例を示す。光導波路の少なくとも一部を含む薄板1の自発分極を反転させることにより、光制御素子の差動駆動が、簡便な制御電極や駆動回路で容易に実現でき、駆動電圧の低減も可能となる。

[0065] 図8(a)は、薄板1の基板領域12と13とにおいて、互いに異なる向き(図中の矢印)に自発分極が揃えられている。第1電極を構成する信号電極43は、各基板領域12及び13に形成された光導波路2に対して、共通の電界を印加することが可能である。各光導波路においては互いに基板の分極方向が異なるため、光導波路を伝搬する光波の位相変化が逆の状態となり、結果として、差動駆動と同様の効果を得ることができる。

[0066] 図8(b)は、薄板1の基板領域12と13との分極方向を互いに異なるように調整すると共に、リッジ型光導波路を利用した場合の例を示す。2つのリッジ型導波路20に電界を印加する信号電極44は共通であり、さらに、2つの信号電極44は接続線路45により導通されている。また、リッジ型導波路を形成する溝や、信号電極と接地電極5との間には、低誘電率膜8が形成されている。

[0067] (スルーホールを利用した光制御素子)

図9は、本発明の光制御素子に係る応用例であり、第1電極の接地電極と第2電極の接地電極との電氣的接続に、スルーホールを利用した例である。第1電極の接地電極と第2電極の接地電極とを、薄板に設けられたスルーホールを介して電氣的に

接続することにより、光制御素子に係る電気配線を簡略化できると共に、第1電極の接地電極と第2電極の接地電極とに発生する浮遊電荷のズレを抑制でき、より適切な電界を光導波路に印加させることが可能となる。

[0068] 図9(a)は、Zカット型LN薄板1を利用した例であり、第1電極の接地電極5と第2電極の接地電極54とが、薄板1のスルーホール内に配置された接続線路100により導通状態に維持されている。

図2乃至図8に例示した第1電極の接地電極と第2電極の接地電極とは、薄板の周囲又は外部で電氣的に導通されているが、制御電極に印加される変調信号が高周波になるに従い、接地電極に誘起される浮遊電荷にタイミングのズレが生じ易くなる。このため、図9(a)のように、光導波路に近い場所で両者を導通することで、このタイミングのズレを抑制することが可能となる。

図9(b)は、Xカット型LN薄板11を用いた例について、同様にスルーホールを設けたものを示している。

実施例

[0069] 本発明の光制御素子の基本的な特性を見るため、図3(a)のように、基板の表面側にコプレーナ電極を有し、裏面側に接地電極を配置した実施例と、図1(a)のように基板表面にコプレーナ電極のみを配置した従来技術例1、図1(c)のように、基板の表面側と裏面側の制御電極で挟み込んだ従来技術例2とについて、基板の厚さが2～10 μm の範囲における駆動電圧値($\text{V}\cdot\text{cm}$)の変化を計算した。実施例については、信号電極4の高さ／基板1の厚さ＝1.25、信号電極4の幅／基板1の厚さ＝1.5、信号電極4と接地電極5とのギャップ／基板1の厚さ＝3、リッジ部20の高さ／基板1の厚さ＝0.8、バッファ層3及び31の厚み0.5 μm 、接地電極54の厚み1 μm と仮定した。従来技術1のコプレーナ電極では、信号電極4の高さ27 μm 、幅7 μm 、信号電極と接地電極とのギャップ25 μm 、バッファ層3の厚み0.7 μm と仮定した。また、従来技術2の対向電極のタイプでは、制御電極42及び53の高さ27 μm 、幅42 μm 、バッファ層(図1では基板の上面のみにしか形成されていないが、計算上は基板の両面にバッファ層が形成されていると仮定している。)の厚み0.7 μm と仮定している。

[0070] その計算結果を図11に示す。図11のグラフから、本発明の光制御素子の基本的な構造は、基板の厚さが $10\mu\text{m}$ 以下においては、従来の光制御素子より駆動電圧が低く、優れた効果を有することが理解される。駆動電圧値(半波長電圧 V_{pai})は、 $10\text{V}\cdot\text{cm}$ 以下であることが好ましく、より好ましくは $8\text{V}\cdot\text{cm}$ 以下である。図11においては、基板の厚さが $10\mu\text{m}$ において、駆動電圧値が $8\text{V}\cdot\text{cm}$ を超えているが、上記実施例で設定した数値を再調整することにより、基板の厚さが $10\mu\text{m}$ の場合であっても、駆動電圧値を $8\text{V}\cdot\text{cm}$ 以下とすることが可能であることを確認している。

したがって、本発明の光制御素子においては、基板の厚さは $10\mu\text{m}$ 以下が好ましいことが容易に理解される。

次に、本発明の光制御素子の構造を決める各種のパラメータについて計算を行った結果を説明する。

[0071] 本発明の光制御素子の構成の例として、図10に示すように、制御電極は、該薄板を挟むように配置された第1電極と第2電極とからなり、該第1電極は、少なくとも信号電極と接地電極とからなるコプレーナ型の電極構造を有し、該第2電極は、少なくとも接地電極を有すると共に、第1電極の信号電極と協働して該光導波路に電界を印加するように構成した場合に、少なくとも信号電極の幅 W 、高さ T_{EL} 、信号電極と接地電極との間隔 G 、及び光導波路がリッジ型光導波路である場合にはリッジの深さ D を調整することで、以下の条件を満足した光制御素子が設計できることを、有限要素法を用いて確認した。なお、光導波路としては、直線導波路または直線導波路を組み合わせたマッハツェンダー型干渉系を構成してもよい。

[0072] (信号線路の条件)

(1) 信号線路における半波長電圧 V_{pai} が $8\text{V}\cdot\text{cm}$ 以下

(2) インピーダンス Z が 30Ω 以上 60Ω 以下

(3) 光とマイクロ波との屈折率差 Δn と信号線路の電界が光導波路に作用する作用部分の長さ(作用長) L との積が 1.3cm 以下

なお、 $\Delta n \times L \leq 1.3\text{cm}$ の場合には、光制御素子の光帯域を 10GHz 以上とすることが可能となる。

[0073] 計算のモデルとしては、波長 $1.55\mu\text{m}$ の光に対し、信号線路の電界が光導波路

に作用する片側の断面図が図10に示すマッハツェンダー型干渉系を構成した、リッジ型光導波路を仮定する。基板1にはZカット型LN、バッファ層3、31には厚さ $0.5\ \mu\text{m}$ の SiO_2 を、信号電極4および接地電極5には金を用いる。この時、信号電極4の幅を W 、信号電極4と接地電極5との間隔を G 、信号電極4や接地電極5の高さを T_{EL} 、リッジ型光導波路20のリッジの深さを D 、そして基板1の厚さを t とした。

[0074] 基板の厚み t が、 $2\ \mu\text{m}$ 、 $4\ \mu\text{m}$ 、 $6\ \mu\text{m}$ 、 $8\ \mu\text{m}$ の4つの場合について、シミュレーションを行い、各パラメータについては、以下の範囲で離散的に条件となる数値を設定した。

(信号電極の幅 W)

信号電極の幅 W は、基板の厚さ t で規格化した値を用い、 W/t が 0.2 、 0.5 、 0.8 、 1 、 1.4 、 1.7 、 2.0 となるように設定した。

[0075] (リッジの深さ D)

リッジの深さ D は、基板の厚さ t で規格化した値を用い、 D/t が 0.2 、 0.4 、 0.6 、 0.8 となるように設定した。

(電極の高さ T_{EL})

電極の高さ T_{EL} は、 0.5 、 1.0 、 1.5 、 2.0 、 2.5 、 $3.0\ (\mu\text{m})$ となるように設定した。

[0076] (電極の間隔 G)

電極の間隔 G は、基板の厚さ t で規格化した値を用い、 G/t (以下の図では「Gap/ t 」と表記)が 1.0 、 2.25 、 3.5 、 4.75 、 6.0 となるように設定した。

[0077] 各パラメータに設定された数値から、半波長電圧 V_{pai} (以下の図では「 V_{pi} 」と表記)、インピーダンス Z (以下の図では「 Z_0 」と表記)、マイクロ波屈折率 NM を算出し、次の条件を満足する結果については「○」を、同条件を満足しない結果については「×」を付与した。

(評価条件)

(1) $V_{\text{pai}} \leq 8\ (\text{V} \cdot \text{cm})$

(2) $30\ \Omega \leq Z \leq 60\ \Omega$

(3) $1.5 \leq NM \leq 2.8$

ただし、マイクロ波屈折率 NM の範囲については、作用長 L が $2\text{cm} \leq L \leq 6\text{cm}$ であ

る場合について、信号線路の条件($\Delta n \times L$ は1.3以下)を満足する条件を評価条件とした。

[0078] 上記評価条件で評価した結果を、図12乃至27に示す。

$t=2\mu\text{m}$ の場合の結果は、図12(D/t が0.2)、図13(同0.4)、図14(同0.6)、及び図15(同0.8)に示す。

$t=4\mu\text{m}$ の場合の結果は、図16(D/t が0.2)、図17(同0.4)、図18(同0.6)、及び図19(同0.8)に示す。

$t=6\mu\text{m}$ の場合の結果は、図20(D/t が0.2)、図21(同0.4)、図22(同0.6)、及び図23(同0.8)に示す。

$t=8\mu\text{m}$ の場合の結果は、図24(D/t が0.2)、図25(同0.4)、図26(同0.6)、及び図27(同0.8)に示す。

[0079] また、上記評価条件の(1)乃至(3)の全ての条件を満足している部分に、網掛けを施している。

図12乃至27から、本発明の光制御素子において、上述した条件を満足する光制御素子を、信号電極の幅 W 、信号電極と接地電極との間隔 G 、信号電極や接地電極の高さを T_{EL} 、リッジ型光導波路のリッジの深さ D 、そして基板の厚さ t を調整することで、容易に実現可能であることが理解される。

[0080] さらに、図12乃至27の結果から、各パラメータについては、以下のことも理解できる。

[0081] (信号電極幅 W の範囲)

基板の厚み t が2, 4, 6 μm のいずれにおいても、上記評価条件を満足する部分は、 $W/t > 0.2$ の範囲に存在する。

特に、 $t=2\mu\text{m}$ について、 W/t をさらに2.2~4.0まで変化させたデータ(図28乃至30参照)を見ると、 W/t の上限値は、 Z が上記評価条件を外れることにより規定され、 W/t の下限値は、 Z 又は V_{pai} が上記評価条件を外れることにより規定される。これは、 W/t が大きくなると、信号電極と接地電極間の容量が大きくなり、 Z が小さくなるために、上述の条件を満足しなくなる。一方、 W/t を小さくすると、電極間の容量が小さくなるために、 Z が大きくなり上述の条件を満足しなくなる。また、 W/t が小さくな

り過ぎても、光導波路に光が閉じこもらなくなる。このため光導波路と信号電極が形成する電界の変調効率は低下し、 V_{pai} が上述の条件を満足しなくなる。

[0082] W の上限値について、より詳細に検討する。

$t=2\mu\text{m}$ の場合の W/t の上限値が約4.0であり、 $t=6\mu\text{m}$ の場合の W/t の上限値が約1.4であることから、図10のモデルの場合には、 W/t の上限値は $W/t = -0.65t + 5.3$ で制限されていることが容易に理解できる。つまり、図10に示すモデルの一例として、薄板の厚み t と信号電極の幅 W との関係 W/t が0.2以上、 $-0.65t + 5.3$ 以下で規定される範囲内にある場合には、第1電極の信号電極の高さ T_{EL} 、第1電極における信号電極と接地電極との間隔 G 、及び光導波路がリッジ型光導波路である場合にはリッジの深さ D の各パラメーターの設定自由度を大きくしながら、信号線路に係る半波長電圧 V_{pai} が $8\text{V}\cdot\text{cm}$ 以下、インピーダンス Z が 30Ω 以上 60Ω 以下、及び光とマイクロ波との屈折率差 Δn と該信号電極の電界が光導波路に作用する作用部分の長さ L との積が 1.3cm 以下となる条件を実現することが可能となる。

[0083] (リッジの深さ D の範囲)

$t=4\mu\text{m}$ のデータ(図16～19参照)を見ると、 D の下限値は、 W/t の上限付近又は下限付近で、制限される条件が異なっている。

D と W を小さくすると光波の閉じ込め効率が下がるため、制御電極が形成する電界による変調効率は低下する。よって、 W の下限の境界付近では、 V_{pai} が上記評価条件より高くなるため、 D の下限値が規定される。 W/t の上限の境界付近では、信号電極と接地電極間容量が大きくなり、 Z が小さく、 NM は大きくなるため、 Z 又は NM が上記評価条件を外れることにより規定されている。

なお、 $t=4\mu\text{m}$ における $W/t=0.8$ のデータを見ると、 D/t が大きくなるに従い、電極間容量が小さくなり Z が大きくなるため、 Z が上記評価条件を外れる傾向にあることから、 Z の変化により D の上限値が規定される可能性もある。

[0084] (電極間隔 G の範囲)

$t=2\mu\text{m}$ 、 $D/t=0.4$ 、 $W/t=0.8$ 、 $T_{EL}=2\sim 3\mu\text{m}$ のデータ(図13参照)を見ると、 G の下限値は、 NM が上記評価条件を外れることにより規定される。また、 $W/t=0.8$ と1.1のデータを見ると、 G の上限値は、 Z が上記評価条件を外れることにより

規定される。Gの下限付近で電極間隔が狭くなるためNMが小さく上記評価条件を外れるためであり、反対にGの上限付近ではZが高くなるため上記評価条件から外れるためである。

[0085] (電極高さ T_{EL} の範囲)

$t=4\mu\text{m}$ 、 $W/t=2$ 、 $D/t=0.4$ 、 0.6 、 0.8 のデータ(図17～19参照)を見ると、 T_{EL} の上限値及び下限値は、ZまたはNMが上記評価条件を外れることにより規定される。 T_{EL} の上限値は、 T_{EL} が高くなるとZが低くNMが小さくなり、ZまたはNMの上記評価条件を外れるためである。 T_{EL} の下限値は、 T_{EL} が低くなるとZが高くNMが大きくなり、ZまたはNMの上記評価条件を外れるためである。

産業上の利用可能性

[0086] 本発明に係る光制御素子によれば、マイクロ波と光波との速度整合やマイクロ波のインピーダンス整合が実現でき、しかも、駆動電圧の低減が可能な光制御素子を提供することが可能となる。

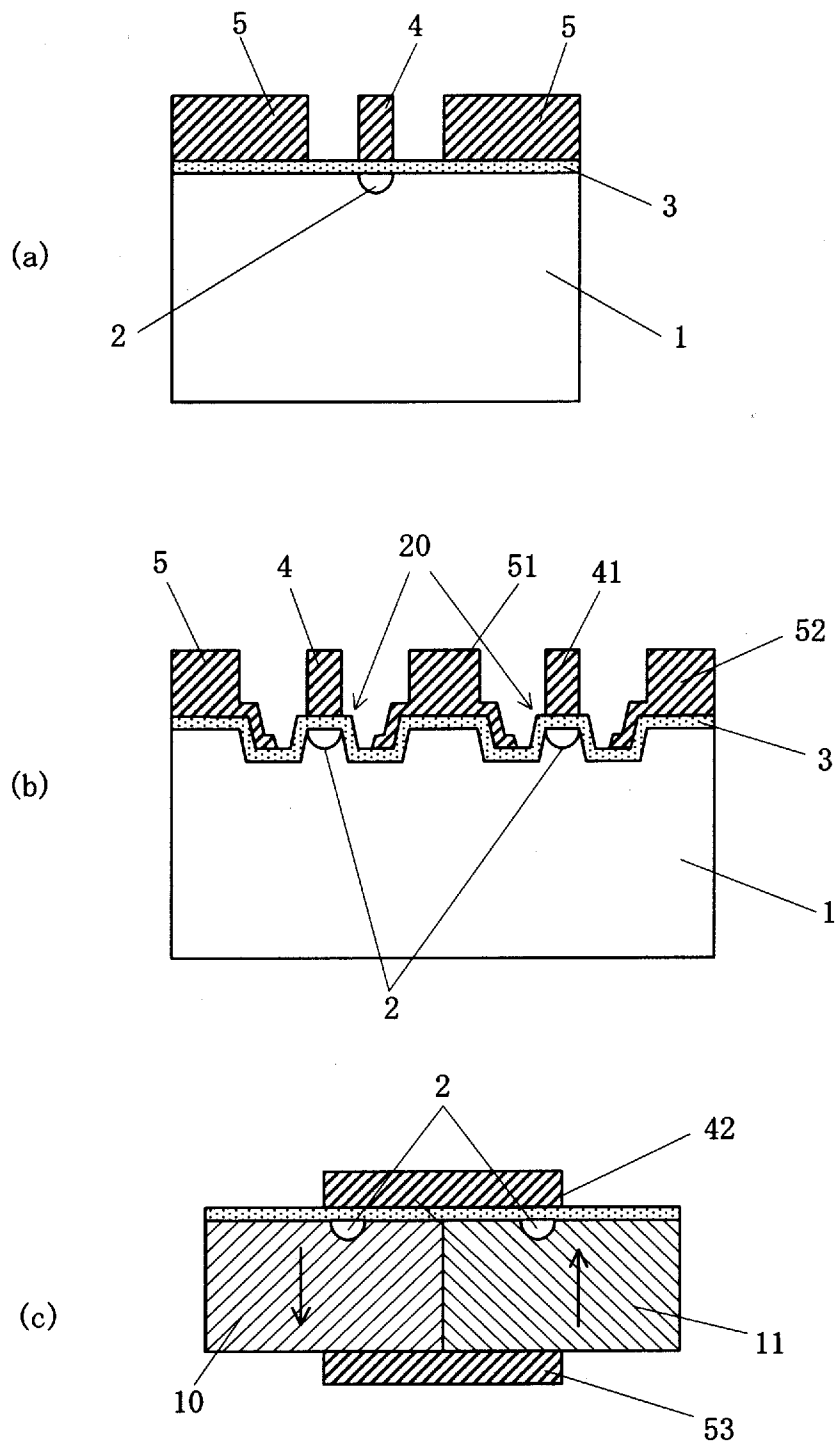
また、駆動電圧の低減により、光制御素子の温度上昇を抑制でき安定動作が可能な光制御素子を提供でき、さらには、コストのより安い低駆動電圧型駆動装置を利用できる光制御素子を提供することが可能となる。

請求の範囲

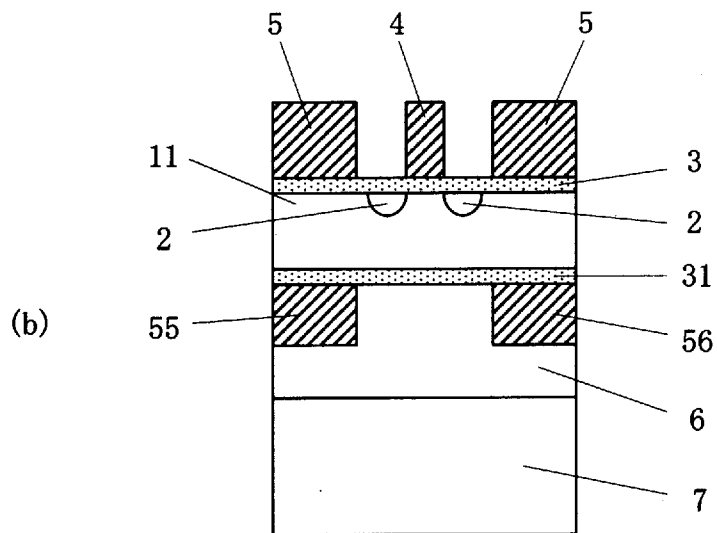
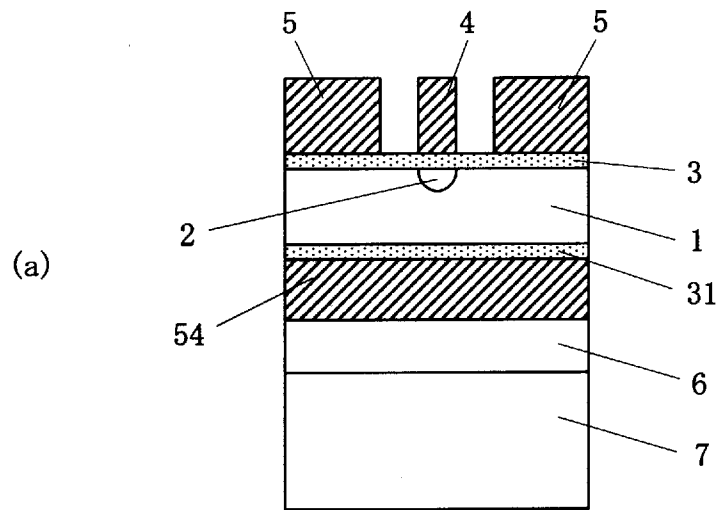
- [1] 電気光学効果を有し、厚みが $10\mu\text{m}$ 以下の薄板と、該薄板に形成された光導波路と、該光導波路を通過する光を制御するための制御電極とを有する光制御素子において、
- 該制御電極は、該薄板を挟むように配置された第1電極と第2電極とからなり、
- 該第1電極は、少なくとも信号電極と接地電極とからなるコプレーナ型の電極を有し、
- 該第2電極は、少なくとも接地電極を有すると共に、第1電極の信号電極と協働して該光導波路に電界を印加するよう構成されていることを特徴とする光制御素子。
- [2] 請求項1に記載の光制御素子において、該光導波路はリッジ型光導波路であることを特徴とする光制御素子。
- [3] 請求項1又は2に記載の光制御素子において、該薄板と、該第1電極又は該第2電極との間にはバッファ層が形成されていることを特徴とする光制御素子。
- [4] 請求項1乃至3のいずれかに記載の光制御素子において、該信号電極又は該接地電極は、透明電極又は薄板側に透明電極を配置した電極のいずれかで構成されていることを特徴とする光制御素子。
- [5] 請求項2乃至4のいずれかに記載の光制御素子において、少なくとも該リッジ型導波路の両側に配置された溝には、低誘電率膜が充填されていることを特徴とする光制御素子。
- [6] 請求項5に記載の光制御素子において、該信号電極に給電する信号線は、該第1電極の接地電極を跨ぐあるいは潜るように配置され、該信号線と該接地電極との間には該低誘電率膜が配置されていることを特徴とする光制御素子。
- [7] 請求項1乃至6のいずれかに記載の光制御素子において、該第2電極は、該光導波路の形状に対応した形状を有するパターン状電極であることを特徴とする光制御素子。
- [8] 請求項1乃至7のいずれかに記載の光制御素子において、該第1電極の接地電極と該第2電極の接地電極とは、該薄板に設けられたスルーホールを介して電氣的に接続されていることを特徴とする光制御素子。

- [9] 請求項1乃至8のいずれかに記載の光制御素子において、該光導波路の少なくとも一部を含む薄板の自発分極が反転されていることを特徴とする光制御素子。
- [10] 請求項1乃至9のいずれかに記載の光制御素子において、該薄板は該第1電極又は該第2電極を挟むように接着層を介して支持基板に接着されていることを特徴とする光制御素子。
- [11] 請求項10に記載の光制御素子において、該第2電極は該支持基板上に配置されていることを特徴とする光制御素子。
- [12] 請求項1乃至11のいずれかに記載の光制御素子において、少なくとも第1電極の信号電極の幅 W 、高さ T_{EL} 、該第1電極における信号電極と接地電極との間隔 G 、及び光導波路がリッジ型光導波路である場合にはリッジの深さ D は、該信号電極に係る半波長電圧 V_{pai} が $8V \cdot cm$ 以下、インピーダンス Z が 30Ω 以上 60Ω 以下、及び光とマイクロ波との屈折率差 Δn と該信号電極の電界が光導波路に作用する作用部分の長さ L との積が $1.3cm$ 以下となるように設定されていることを特徴とする光制御素子。

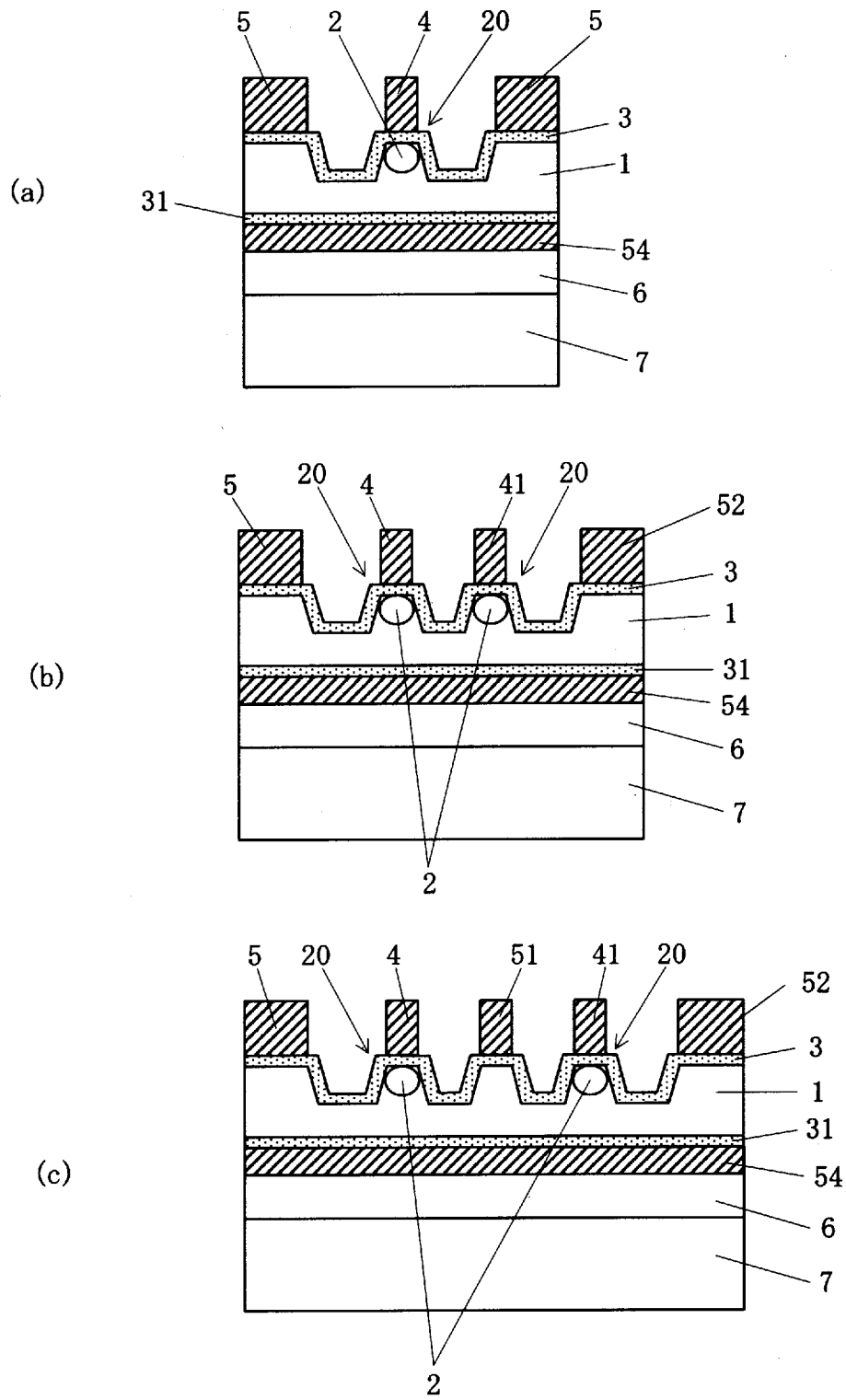
[図1]



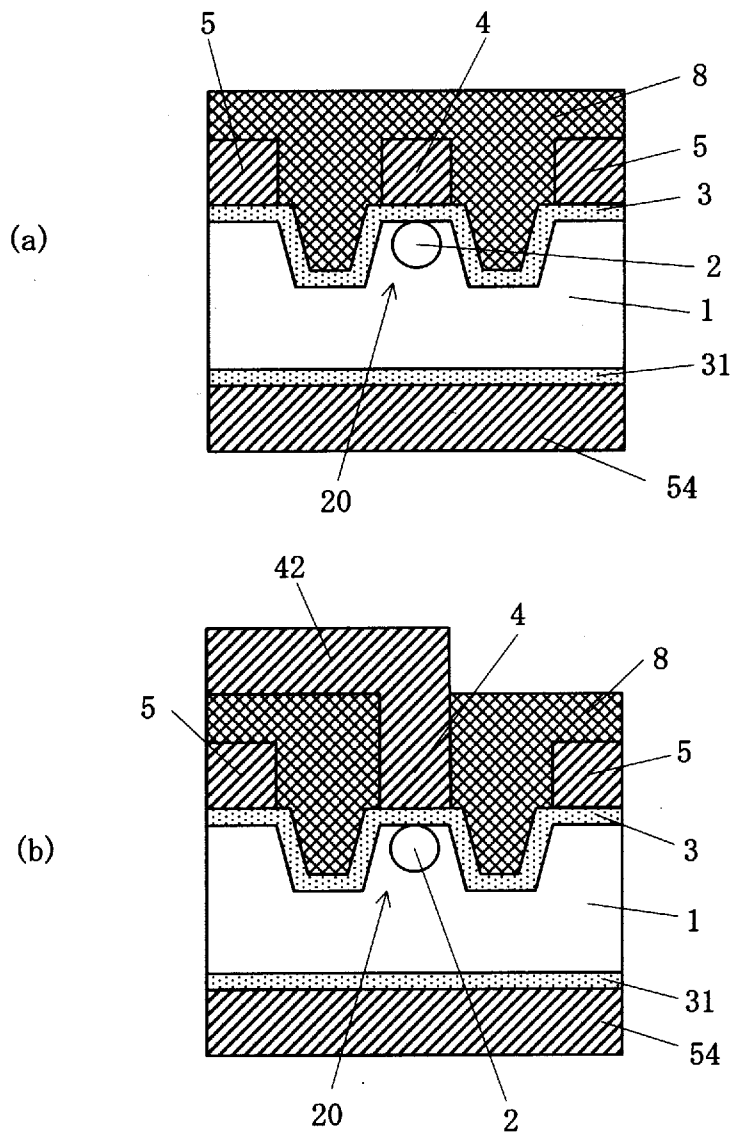
[図2]



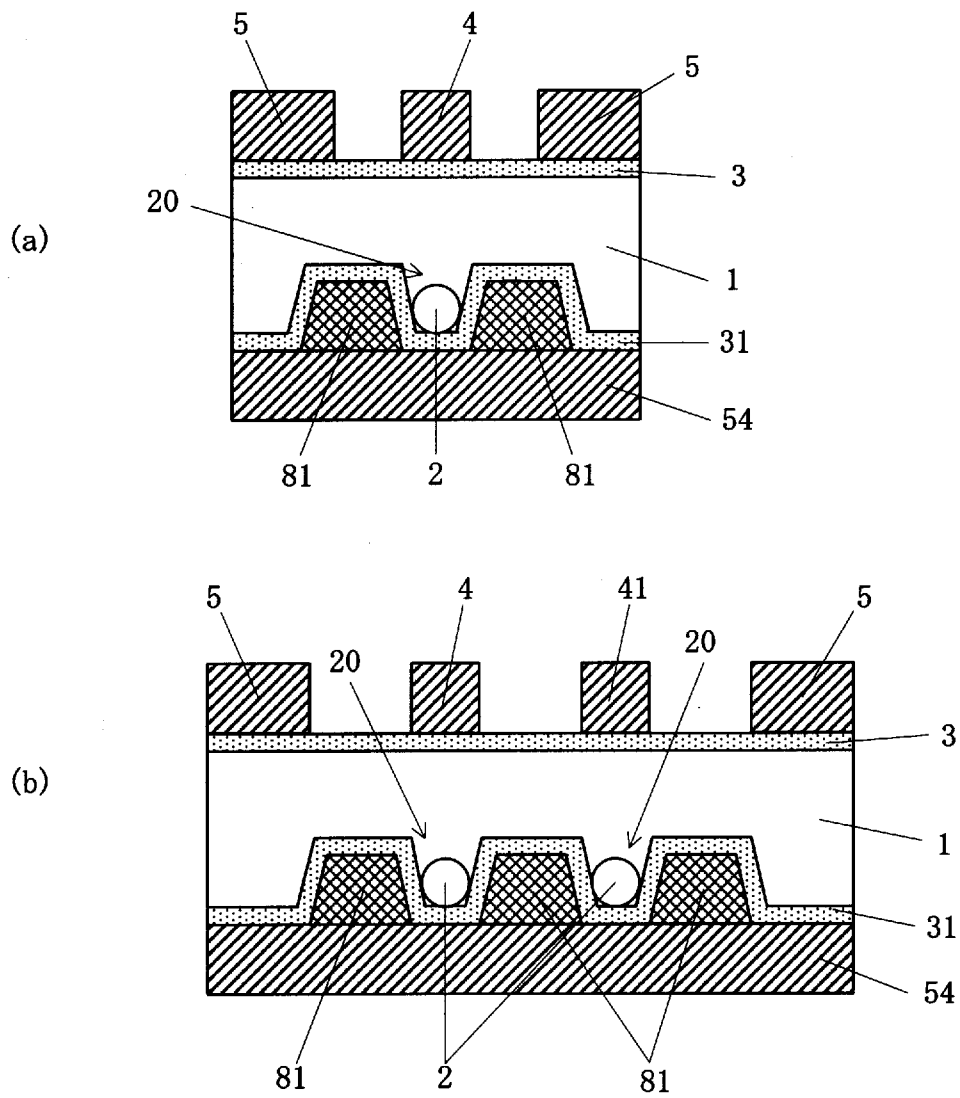
[図3]



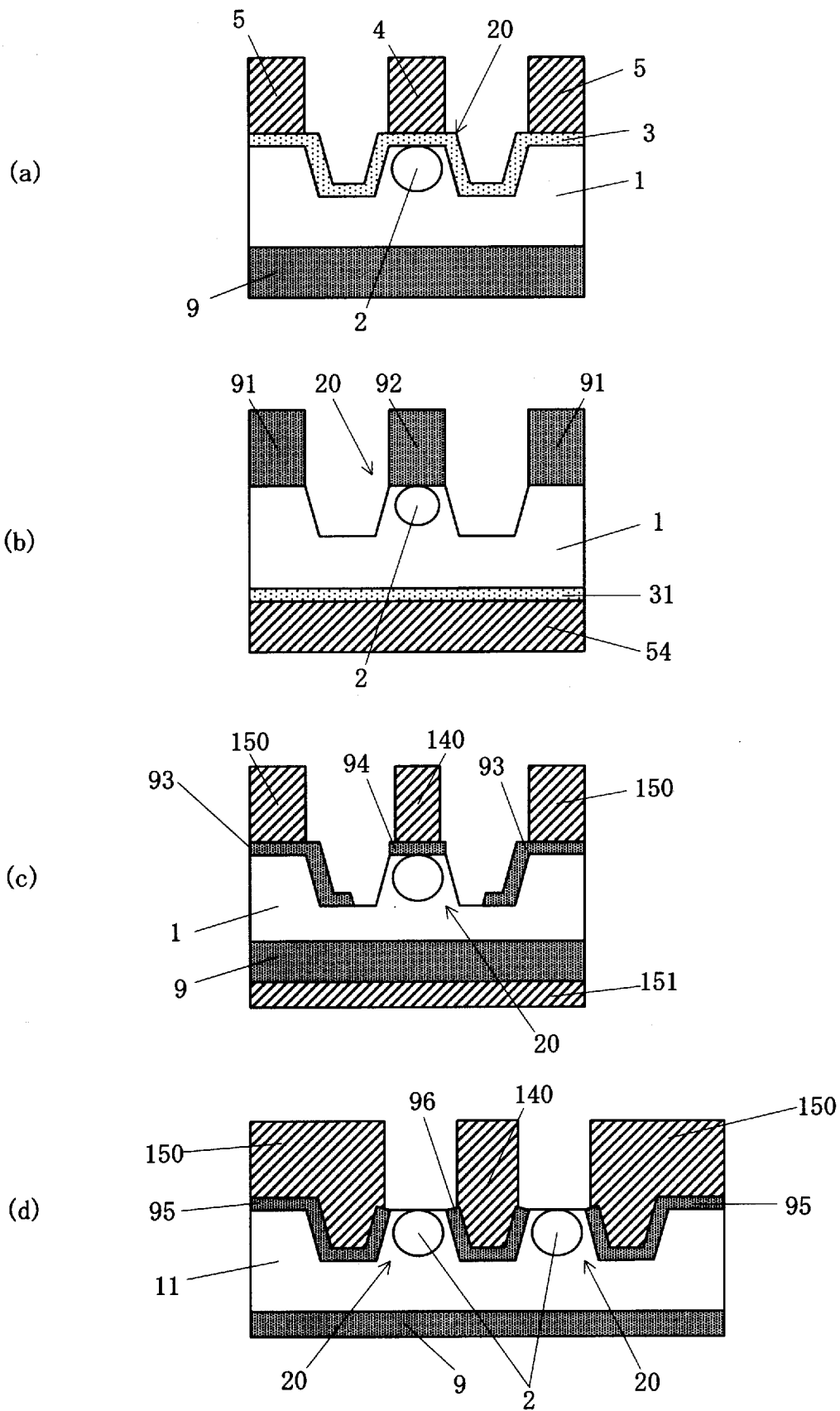
[図4]



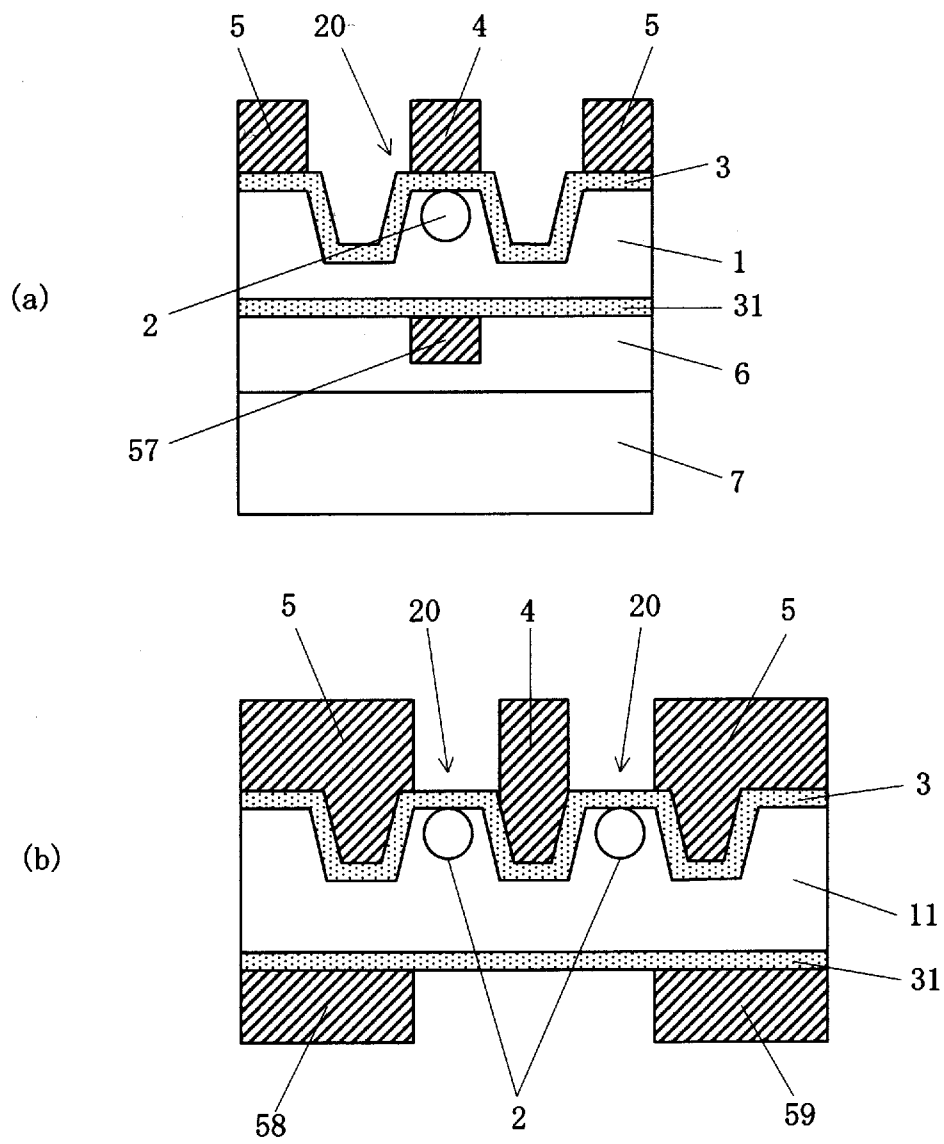
[図5]



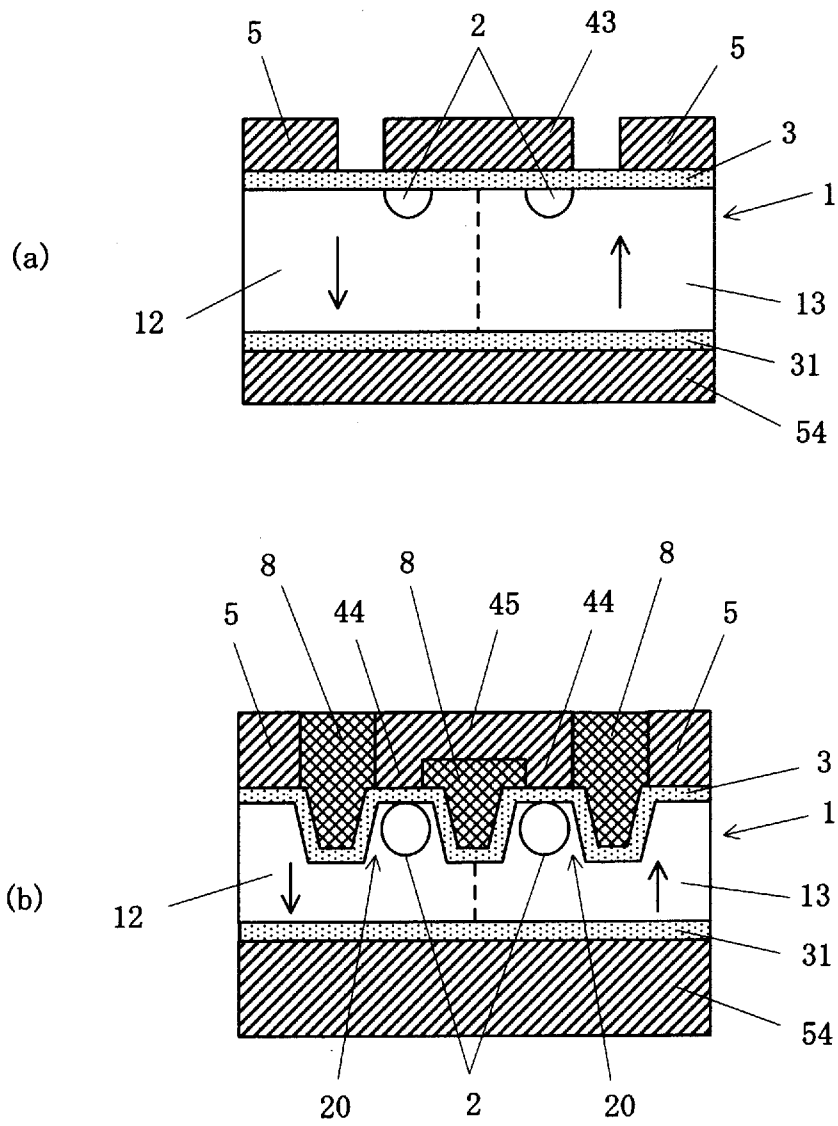
[図6]



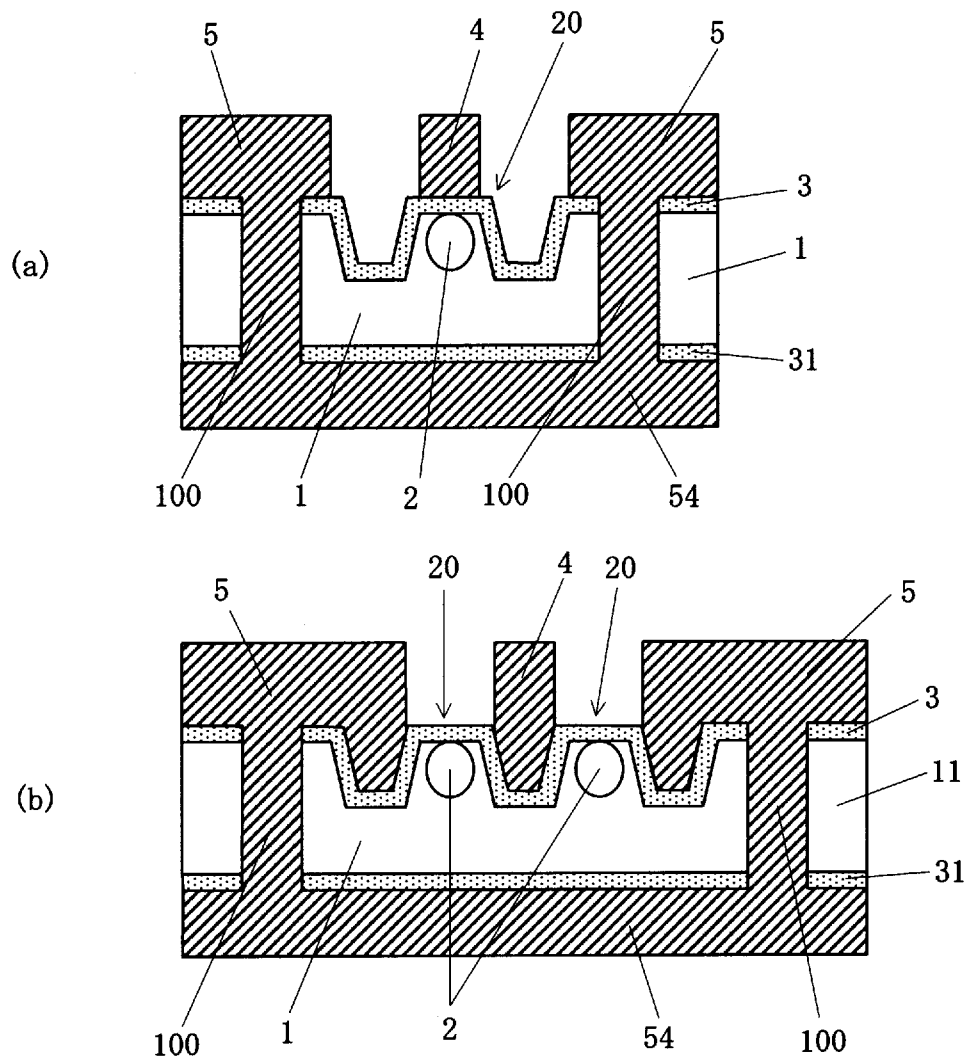
[図7]



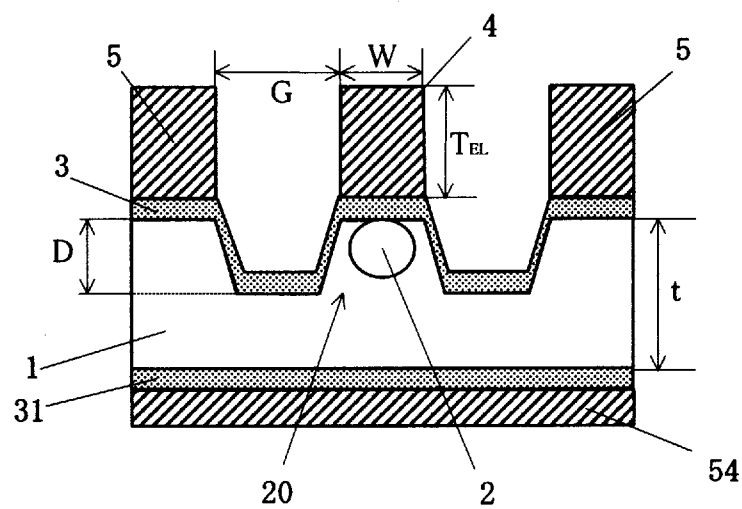
[図8]



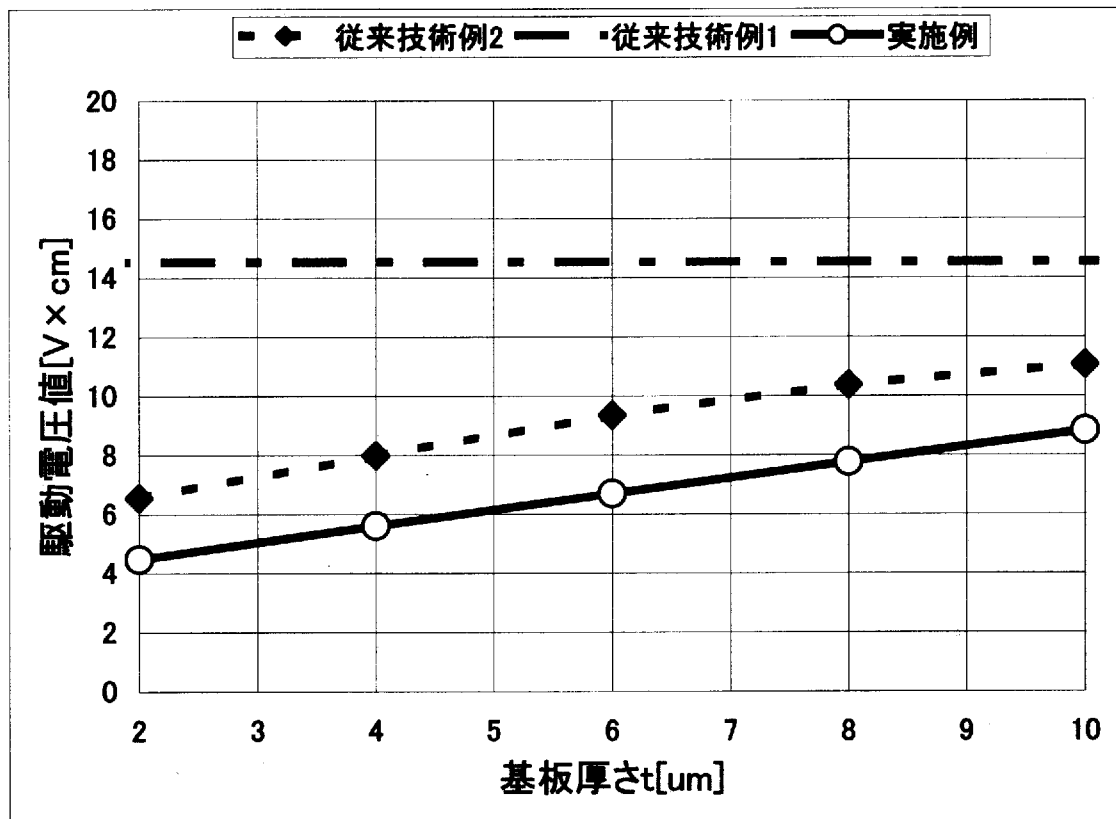
[図9]



[図10]



[図11]



[図12]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[図16]

		D/t																		
		0.2																		
W/t	0.2	T _{EL}																		
		0.5			1			1.5			2			2.5			3			
		Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	
		Gap/t	1	x	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		2.3	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	x	
		3.5	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	
		4.8	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	
		6	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	
		0.5	T _{EL}																	
			0.5			1			1.5			2			2.5			3		
Gap/t	1		x	○	x	x	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	
2.3	x		○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	○	○	x	○	○		
3.5	x		○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	○	x	x	○	x		
4.8	x		○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	○	x	x	○	x		
6	x		○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	○	x	x	○	x		
0.8	T _{EL}																			
	0.5			1			1.5			2			2.5			3				
	Gap/t		1	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○
	2.3	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○		
	3.5	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○		
	4.8	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○		
	6	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○		
	1.1	T _{EL}																		
		0.5			1			1.5			2			2.5			3			
		Gap/t	1	○	○	○	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○
2.3		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
3.5		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
4.8		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
6		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
1.4		T _{EL}																		
		0.5			1			1.5			2			2.5			3			
		Gap/t	1	○	○	○	○	○	○	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○
	2.3	○	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	3.5	○	x	○	○	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	4.8	○	x	○	○	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	6	○	x	○	○	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	1.7	T _{EL}																		
		0.5			1			1.5			2			2.5			3			
		Gap/t	1	○	○	○	○	○	○	○	○	x	○	○	x	○	○	x	x	○
2.3		○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
3.5		○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	○	○	○	○		
4.8		○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	○		
6		○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	○		
2		T _{EL}																		
		0.5			1			1.5			2			2.5			3			
		Gap/t	1	○	x	○	○	○	x	x	○	x	x	○	x	○	x	x	○	x
	2.3	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	○	x	○	○		
	3.5	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	○		
	4.8	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	○		
	6	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	○		

[図17]

		D/t																	
		0.4																	
W/t	0.2	T_{EL}																	
		0.5						1			1.5			2			2.5		
		Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi
		Gap/t	1	x	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		Gap/t	2.3	x	○	x	x	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		Gap/t	3.5	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	x	x	x	x	x	x
		Gap/t	4.8	x	○	x	x	○	x	x	○	x	○	x	x	x	x	x	x
		Gap/t	6	x	○	x	x	○	x	x	○	x	○	x	x	x	x	x	x
	0.5	T_{EL}																	
		0.5						1			1.5			2			2.5		
		Gap/t	1	x	○	x	x	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○
		Gap/t	2.3	x	○	x	x	○	x	x	○	x	○	x	○	x	○	x	○
		Gap/t	3.5	x	○	x	x	○	x	x	○	x	○	x	○	x	○	x	○
		Gap/t	4.8	x	○	x	x	○	x	x	○	x	○	x	○	x	○	x	○
		Gap/t	6	x	○	x	x	○	x	x	○	x	○	x	○	x	○	x	○
	0.8	T_{EL}																	
		0.5						1			1.5			2			2.5		
		Gap/t	1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Gap/t	2.3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Gap/t	3.5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Gap/t	4.8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Gap/t	6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.1	T_{EL}																	
		0.5						1			1.5			2			2.5		
		Gap/t	1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Gap/t	2.3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Gap/t	3.5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Gap/t	4.8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Gap/t	6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.4	T_{EL}																	
		0.5						1			1.5			2			2.5		
		Gap/t	1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Gap/t	2.3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Gap/t	3.5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Gap/t	4.8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Gap/t	6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.7	T_{EL}																	
		0.5						1			1.5			2			2.5		
		Gap/t	1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Gap/t	2.3	○	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Gap/t	3.5	○	x	○	○	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Gap/t	4.8	○	x	○	○	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Gap/t	6	○	x	○	○	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	2	T_{EL}																	
		0.5						1			1.5			2			2.5		
		Gap/t	1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	x	○	○	x	○	○
		Gap/t	2.3	○	x	○	○	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Gap/t	3.5	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	○	○	○
		Gap/t	4.8	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	○	○	○
		Gap/t	6	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	○	○	○

[図18]

		D/t																				
		0.6																				
W/t	0.2	T _{EL}																				
				0.5			1			1.5			2			2.5			3			
				Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	
		Gap/t	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
			2.3	x	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
			3.5	x	○	x	x	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
			4.8	x	○	x	x	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		6	x	○	x	x	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
		0.5	T _{EL}																			
					0.5			1			1.5			2			2.5			3		
			Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi		
Gap/t	1		x	○	○	x	○	○	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	x	○	
	2.3		x	○	x	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	○	
	3.5		x	○	x	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	○	
	4.8		x	○	x	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	○	
6	x		○	x	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	○		
0.8	T _{EL}																					
			0.5			1			1.5			2			2.5			3				
			Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi		
	Gap/t	1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		2.3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		3.5	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		4.8	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	6	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	1.1	T _{EL}																				
				0.5			1			1.5			2			2.5			3			
			Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi		
Gap/t		1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		2.3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		3.5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		4.8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
6		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
1.4		T _{EL}																				
				0.5			1			1.5			2			2.5			3			
			Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi		
	Gap/t	1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		2.3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		3.5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		4.8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	1.7	T _{EL}																				
				0.5			1			1.5			2			2.5			3			
			Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi		
Gap/t		1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		2.3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		3.5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		4.8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
6		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
2		T _{EL}																				
				0.5			1			1.5			2			2.5			3			
			Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi		
	Gap/t	1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	x	○	○	x	○	○	
		2.3	○	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		3.5	○	x	○	○	○	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		4.8	○	x	○	○	○	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	6	○	x	○	○	○	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		

[illegible]

[図21]

		D/t																					
		0.4																					
			T_{EL}																				
			0.5			1			1.5			2			2.5			3					
			Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi			
			Gap/t	1	2.3	3.5	4.8	6	1	2.3	3.5	4.8	6	1	2.3	3.5	4.8	6	1	2.3	3.5	4.8	6
W/t	0.2	Gap/t	1	x	○	x	x	○	x	○	x	x	○	x	○	x	x	○	x	○	x	○	
			2.3	x	○	x	x	○	x	○	x	○	x	○	x	x	○	x	○	x	○	x	
			3.5	x	○	x	x	○	x	○	x	○	x	○	x	x	○	x	○	x	○	x	
			4.8	x	○	x	x	○	x	○	x	○	x	○	x	x	○	x	○	x	○	x	
			6	x	○	x	x	○	x	○	x	○	x	○	x	x	○	x	○	x	○	x	
	0.5	Gap/t	1	x	○	x	x	○	x	○	x	x	○	x	○	x	○	○	x	○	○	x	
			2.3	x	○	x	x	○	x	○	x	○	x	○	x	x	○	x	○	○	x	○	
			3.5	x	○	x	x	○	x	○	x	○	x	○	x	x	○	x	○	○	x	○	
			4.8	x	○	x	x	○	x	○	x	○	x	○	x	x	○	x	○	○	x	○	
			6	x	○	x	x	○	x	○	x	○	x	○	x	x	○	x	○	○	x	○	
	0.8	Gap/t	1	○	x	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			2.3	○	x	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			3.5	○	x	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			4.8	○	x	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			6	○	x	x	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	1.1	Gap/t	1	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	○	○	x	
			2.3	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	○	○	○	
			3.5	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	○	x	○	
			4.8	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	○	x	○	
			6	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	○	x	○	
	1.4	Gap/t	1	○	x	○	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
			2.3	○	x	○	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
			3.5	○	x	○	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
			4.8	○	x	○	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
			6	○	x	○	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
	1.7	Gap/t	1	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
			2.3	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
			3.5	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
			4.8	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
			6	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
	2	Gap/t	1	○	x	x	○	x	x	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
			2.3	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	x	x	x	x	x
			3.5	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	x	x	x	x	x
			4.8	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	x	x	x	x	x
			6	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	x	x	x	x	x

		D/t																		
		0.6																		
		T _{EL}																		
		0.5 1 1.5 2 2.5 3																		
		Z0 NM Vpi Z0 NM Vpi Z0 NM Vpi Z0 NM Vpi Z0 NM Vpi Z0 NM Vpi																		
W/t 0.2	Gap/t	1	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x
		2.3	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x
		3.5	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x
		4.8	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x
		6	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x
	W/t 0.5	Gap/t	1	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O
2.3			x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x
3.5			x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x
4.8			x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x
6			x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x
W/t 0.8		Gap/t	1	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x
	2.3		O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O
	3.5		O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O
	4.8		O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O
	6		O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O
	W/t 1.1	Gap/t	1	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x
2.3			O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O
3.5			O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O
4.8			O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O
6			O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O
W/t 1.4		Gap/t	1	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x
	2.3		O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O
	3.5		O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O
	4.8		O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O
	6		O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O	O	x	O
	W/t 1.7	Gap/t	1	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x
2.3			O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x
3.5			O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x
4.8			O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x
6			O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x
W/t 2		Gap/t	1	O	x	x	O	x	x	O	x	x	O	x	x					

[図23]

		D/t																	
		0.8																	
		T_{EL}																	
		0.5			1			1.5			2			2.5			3		
W/t	Gap/t	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi
		1	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○
0.2	2.3	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
	3.5	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
	4.8	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
	6	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
0.5	1	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
	2.3	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
	3.5	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
	4.8	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
	6	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
0.8	1	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
	2.3	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
	3.5	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
	4.8	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
	6	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
1.1	1	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
	2.3	○	x	○	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
	3.5	○	x	○	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
	4.8	○	x	○	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
	6	○	x	○	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
1.4	1	○	x	○	○	x	○	○	x	○	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
	2.3	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○
	3.5	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○
	4.8	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○
	6	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○
1.7	1	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x
	2.3	○	x	○	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x
	3.5	○	x	○	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x
	4.8	○	x	○	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x
	6	○	x	○	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x
2	1	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x
	2.3	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x
	3.5	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x
	4.8	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x
	6	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x

[図25]

[illegible]

[図26]

[illegible]

[図27]

		D/t																			
		0.8																			
W/t	0.2	T _{EL}																			
		0.5			1			1.5			2			2.5			3				
		Gap/t	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	Z0	NM	Vpi	
			1	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
			2.3	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
			3.5	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
	0.5	4.8	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	
		6	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	
		T _{EL}																			
		0.5			1			1.5			2			2.5			3				
		Gap/t	1	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x
	2.3		x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	
	3.5		x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	
	4.8		x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	
	0.8	6	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	
		T _{EL}																			
		0.5			1			1.5			2			2.5			3				
		Gap/t	1	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x
			2.3	○	x	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x
	3.5		○	x	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	
4.8	○		x	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x		
1.1	6	○	x	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x	○	○	x		
	T _{EL}																				
	0.5			1			1.5			2			2.5			3					
	Gap/t	1	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	
		2.3	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	
3.5		○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x		
4.8		○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x		
1.4	6	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x		
	T _{EL}																				
	0.5			1			1.5			2			2.5			3					
	Gap/t	1	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	
		2.3	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	
3.5		○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x		
4.8		○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x		
1.7	6	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x		
	T _{EL}																				
	0.5			1			1.5			2			2.5			3					
	Gap/t	1	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	
		2.3	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	
3.5		○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x		
4.8		○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x		
2	6	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x	○	x	x		

[図28]

W/t		D/t																																						
		0.2						0.4						0.6						0.8																				
		T_{EL}						T_{EL}						T_{EL}						T_{EL}																				
2.20	Gap/t	2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t	2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t	2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t	2	0.5	1	1.5	2	2.5	3								
			4.5	7	9.5	12	4.5	7			9.5	12	4.5	7	9.5	12			4.5	7	9.5	12																		
			Gap/t	4.5	0.5	1	1.5	2			2.5	3	Gap/t	4.5	0.5	1			1.5	2	2.5	3	Gap/t	4.5			0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t	4.5	0.5	1	1.5	2	2.5	3
					7	9.5	12	7			9.5	12			7	9.5			12	7	9.5	12																		
					Gap/t	7	0.5	1			1.5	2			2.5	3			Gap/t	7	0.5	1					1.5	2	2.5	3	Gap/t	7			0.5	1	1.5	2	2.5	3
	9.5	12					9.5	12	9.5	12	9.5	12																												
	Gap/t	9.5	0.5	1			1.5	2	2.5	3	Gap/t	9.5	0.5	1	1.5	2	2.5	3			Gap/t	9.5	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t	9.5			0.5	1	1.5	2	2.5	3		
			12	12	12	12	12	12	12	12																														
			Gap/t	12	0.5	1	1.5	2	2.5	3			Gap/t	12	0.5	1	1.5	2	2.5	3			Gap/t	12	0.5	1	1.5	2			2.5	3	Gap/t	12	0.5	1	1.5	2	2.5	3
					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2			2.5	3			0.5	1	1.5	2	2.5	3
	Gap/t	12			0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t	12			0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t	12			0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t	12			0.5	1	1.5	2	2.5	3
					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3
			Gap/t	12	0.5	1	1.5	2	2.5	3			Gap/t	12	0.5	1	1.5	2	2.5	3			Gap/t	12	0.5	1	1.5	2	2.5	3			Gap/t	12	0.5	1	1.5	2	2.5	3
					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3
	Gap/t	12			0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t	12			0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t	12			0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t	12			0.5	1	1.5	2	2.5	3
					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3
			Gap/t	12	0.5	1	1.5	2	2.5	3			Gap/t	12	0.5	1	1.5	2	2.5	3			Gap/t	12	0.5	1	1.5	2	2.5	3			Gap/t	12	0.5	1	1.5	2	2.5	3
					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3
	Gap/t	12			0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t	12			0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t	12			0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t	12			0.5	1	1.5	2	2.5	3
					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3
Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	
				0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3	
	Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3	
				0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3	
Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	
				0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3	
	Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3	
				0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3	
Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	
				0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3	
	Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3	
				0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3	
Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	
				0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3	
	Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3	
				0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3	
Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	
				0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3	
	Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3	
				0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3	
Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	
				0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3	
	Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3	
				0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3	
Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	
				0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3	
	Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3	
				0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3	
Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	
				0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3	
	Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3	
				0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3	
Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	
				0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3	
	Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3	
				0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3	
Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	Gap/t			12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	
				0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3					0.5	1	1.5	2	2.5	3	
	Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3		Gap/t	12		0.5	1	1.5	2	2.5	3	
				0.5	1	1.5	2	2.5																																

[図29]

[illegible]

[図30]

W/t				D/t																									
				0.2						0.4						0.6						0.8							
				T_{EL}						T_{EL}						T_{EL}						T_{EL}							
2.20	Gap/t	2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	2	0.5	1	1.5	2	2.5	3
			4.5	7	9.5	12	4.5	7		9.5	12	4.5	7	9.5	12		4.5	7	9.5	12									
			7	9.5	12	7	9.5	12		7	9.5	12	7	9.5	12		7	9.5	12										
			9.5	12	9.5	12	9.5	12		9.5	12	9.5	12	9.5	12														
			12	12	12	12	12	12		12	12	12	12																
	Gap/t	4.5	0.5	1	1.5	2	2.5	3	4.5	0.5	1	1.5	2	2.5	3	4.5	0.5	1	1.5	2	2.5	3	4.5	0.5	1	1.5	2	2.5	3
			7	9.5	12	7	9.5	12		7	9.5	12	7	9.5	12		7	9.5	12										
			9.5	12	9.5	12	9.5	12		9.5	12	9.5	12	9.5	12														
			12	12	12	12	12	12		12	12	12	12																
			12	12	12	12	12	12		12	12	12	12																
	Gap/t	7	0.5	1	1.5	2	2.5	3	7	0.5	1	1.5	2	2.5	3	7	0.5	1	1.5	2	2.5	3	7	0.5	1	1.5	2	2.5	3
			9.5	12	9.5	12	9.5	12		9.5	12	9.5	12	9.5	12														
			12	12	12	12	12	12		12	12	12	12																
			12	12	12	12	12	12		12	12	12	12																
			12	12	12	12	12	12		12	12	12	12																
	Gap/t	9.5	0.5	1	1.5	2	2.5	3	9.5	0.5	1	1.5	2	2.5	3	9.5	0.5	1	1.5	2	2.5	3	9.5	0.5	1	1.5	2	2.5	3
			12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12															
			12	12	12	12	12	12		12	12	12	12																
			12	12	12	12	12	12		12	12	12	12																
			12	12	12	12	12	12		12	12	12	12																
Gap/t	12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	12	0.5	1	1.5	2	2.5	3	
		12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12																
		12	12	12	12	12	12		12	12	12	12																	
		12	12	12	12	12	12		12	12	12	12																	
		12	12	12	12	12	12		12	12	12	12																	
2.50	Gap/t	2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	2	0.5	1	1.5	2	2.5	3
			4.5	7	9.5	12	4.5	7		9.5	12	4.5	7	9.5	12		4.5	7	9.5	12									
			7	9.5	12	7	9.5	12		7	9.5	12	7	9.5	12		7	9.5	12										
			9.5	12	9.5	12	9.5	12		9.5	12	9.5	12	9.5	12														
			12	12	12	12	12	12		12	12	12	12																
	Gap/t	4.5	0.5	1	1.5	2	2.5	3	4.5	0.5	1	1.5	2	2.5	3	4.5	0.5												

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/057196

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F1/035(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)

G02F1/03

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	1996-2007
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2007	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2007

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.
X Y	JP 2003-75790 A (NGK Insulators, Ltd.), 12 March, 2003 (12.03.03), (Family: none)	1, 3, 7 2, 4-6, 8-12
X Y	JP 2003-156723 A (NGK Insulators, Ltd.), 30 May, 2003 (30.05.03), & US 2003/0044100 A1 & EP 1291706 A2	1, 3, 7, 10, 11 2, 4-6, 8, 9, 12
Y	JP 2002-182173 A (Sumitomo Osaka Cement Co., Ltd.), 26 June, 2002 (26.06.02), (Family: none)	1-12
Y	JP 6-130338 A (Fujitsu Ltd.), 13 May, 1994 (13.05.94), Fig. 6 (Family: none)	1-12

☒ 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
12 June, 2007 (12.06.07)

Date of mailing of the international search report
26 June, 2007 (26.06.07)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/057196

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 3-229214 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 11 October, 1991 (11.10.91), (Family: none)	2-12
Y	JP 2005-274793 A (NGK Insulators, Ltd.), 10 March, 2005 (10.03.05), (Family: none)	1-12

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

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. G02F1/03

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	1971-2007年
日本国実用新案登録公報	1996-2007年
日本国登録実用新案公報	1994-2007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
X Y	JP 2003-75790 A (日本碍子株式会社) 2003.03.12 (ファミリーなし)	1, 3, 7 2, 4-6, 8-12
X Y	JP 2003-156723 A (日本碍子株式会社) 2003.05.30 & US 2003/0044100 A1 & EP 1291706 A2	1, 3, 7, 10, 11 2, 4-6, 8, 9, 12
Y	JP 2002-182173 A (住友大阪セメント株式会社) 2002.06.26 (ファミリーなし)	1-12

☒ 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、一般的技术水準を示すもの
「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

12.06.2007

国際調査報告の発送日

26.06.2007

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100-8915
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

9316

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

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
Y	JP 6-130338 A (富士通株式会社) 1994. 05. 13, 第6図(ファミリーなし)	1-12
Y	JP 3-229214 A (日本電信電話株式会社) 1991. 10. 11(ファミリーなし)	2-12
Y	JP 2005-274793 A (日本碍子株式会社) 2005. 03. 10(ファミリーなし)	1-12