

(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
2017年10月5日(05.10.2017)

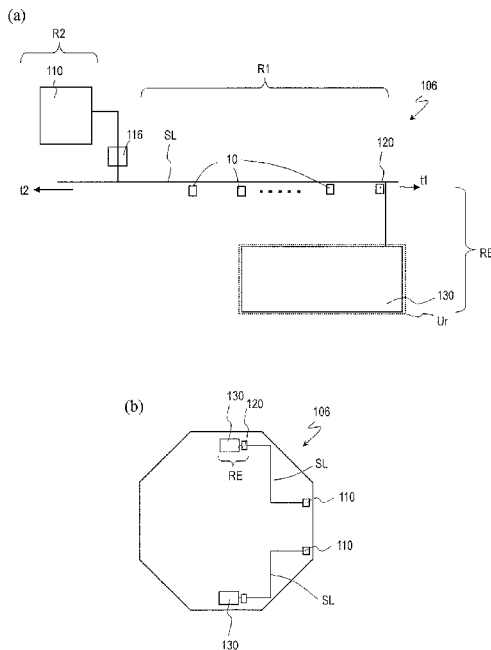


(10) 国際公開番号
WO 2017/170133 A1

- (51) 国際特許分類:
H01Q 3/34 (2006.01) *H01Q 13/22* (2006.01)
G01R 29/10 (2006.01) *H01Q 21/06* (2006.01)
H01Q 3/44 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/011753
- (22) 国際出願日: 2017年3月23日(23.03.2017)
- (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 2016-065584 2016年3月29日(29.03.2016) JP
- (71) 出願人: シャープ株式会社(SHARP KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒5908522 大阪府堺市堺区匠町1番地 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 犬飼 順一(INUKAI Junichi). 原 猛(HARA Takeshi). 安尾 文利(YASUO Fumitoshi). 小坂 知裕(KOSAKA Tomohiro). 門野 真也(KADONO Shinya).
- (74) 代理人: 奥田 誠司(OKUDA Seiji); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜一丁目8番16号 大阪証券取引所ビル10階 奥田国際特許事務所 Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: SCANNING ANTENNA, METHOD FOR INSPECTING SCANNING ANTENNA, AND METHOD FOR MANUFACTURING SCANNING ANTENNA

(54) 発明の名称: 走査アンテナ、走査アンテナの検査方法および走査アンテナの製造方法



(57) Abstract: The present invention is provided with: a TFT substrate (106) which has a transmission/reception region (R1) having an array of a plurality of antenna units and a non-transmission/reception region (R2) and which includes a plurality of patch electrodes and a plurality of first TFTs supported by a first dielectric substrate; a slot substrate including a slot electrode having a plurality of slots; a liquid-crystal layer provided between the TFT substrate and the slot substrate; and a plurality of inspection electrode parts RE disposed so as not to overlap the plurality of antenna units when viewed in the normal direction of the first dielectric substrate. Each of the plurality of inspection electrode parts (RE) includes: a second TFT (120) which is supported by the TFT substrate (106) and which has a source electrode connected to a source bus line and a gate electrode connected to a gate bus line; a transparent electrode (130) which is supported by the TFT substrate (106) and which is connected to a drain electrode of the second TFT (120); and a slot electrode extended so as to oppose the liquid-crystal layer via the transparent electrode.

(57) 要約: 複数のアンテナ単位が配列された送受信領域 (R1) と非送受信領域 (R2) とを有し、第1誘電体基板に支持された複数の第1のTFTおよび複数のパッチ電極を有するTFT基板 (106) と、複数のスロットを有するスロット電極を備えたスロット基板と、TFT基板とスロット基板との間に設けられた液晶層と、第1誘電体基板の法線方向から見たとき、複数のアンテナ単位と重ならないように配置された複数の検査電極部REとを備え、複数の検査電極部 (RE) のそれぞれは、TFT基板 (106) に支持され、ソース電極がソースバスラインに接続され、ゲート電極がゲートバスラインに接続された第2のTFT (120) と、TFT基板 (106) に支持され、第2のTFT (120) のドレイン電極に接続された透明電極 (130) と、液晶層を介して透明電極と対向するように延設されたスロット電極とを有する。

ス電極がソースバスラインに接続され、ゲート電極がゲートバスラインに接続された第2のTFT (120) と、TFT基板 (106) に支持され、第2のTFT (120) のドレイン電極に接続された透明電極 (130) と、液晶層を介して透明電極と対向するように延設されたスロット電極とを有する。

WO 2017/170133 A1

明 細 書

発明の名称：

走査アンテナ、走査アンテナの検査方法および走査アンテナの製造方法 技術分野

[0001] 本発明は、走査アンテナならびに走査アンテナの検査方法に関し、特に、アンテナ単位（「素子アンテナ」ということもある。）が液晶容量を有する走査アンテナ（「液晶アレイアンテナ」ということもある。）ならびに走査アンテナの検査方法に関する。

背景技術

[0002] 移動体通信や衛星放送用のアンテナは、ビームの方向を変えられる（「ビーム走査」または「ビームステアリング」と言われる。）機能を必要とする。このような機能を有するアンテナ（以下、「走査アンテナ（scanned antenna）」という。）として、アンテナ単位を備えるフェイズドアレイアンテナが知られている。しかしながら、従来のフェイズドアレイアンテナは高価であり、民生品への普及の障害となっている。特に、アンテナ単位の数が増えると、コストが著しく上昇する。

[0003] そこで、液晶材料（ネマチック液晶、高分子分散液晶を含む）の大きな誘電異方性（複屈折率）を利用した走査アンテナが提案されている（特許文献1～4 および非特許文献1）。液晶材料の誘電率は周波数分散を有するので、本明細書において、マイクロ波の周波数帯における誘電率（「マイクロ波に対する誘電率」ということもある。）を特に「誘電率 $M(\epsilon_M)$ 」と表記することにする。

[0004] 特許文献3 および非特許文献1 には、液晶表示装置（以下、「LCD」という。）の技術を利用することによって低価格な走査アンテナが得られると記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2007-116573号公報

特許文献2：特開2007-295044号公報

特許文献3：特表2009-538565号公報

特許文献4：特表2013-539949号公報

非特許文献

[0006] 非特許文献1：R. A. Stevenson et al., "Rethinking Wireless Communications: Advanced Antenna Design using LCD Technology", SID 2015 DIGEST, pp. 827-830.

非特許文献2：M. ANDO et al., "A Radial Line Slot Antenna for 12GHz Satellite TV Reception", IEEE Transactions of Antennas and Propagation, Vol. AP-33, No. 12, pp. 1347-1353 (1985).

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 上述したように、LCD技術を適用することによって低価格な走査アンテナを実現するというアイデアは知られてはいるものの、LCD技術を利用した走査アンテナの構造、その製造方法、その駆動方法およびその検査方法を具体的に記載した文献はない。

[0008] そこで、本発明は、従来のLCDの製造技術を利用して量産することが可能な走査アンテナ、その検査方法およびその製造方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の一実施形態の走査アンテナは、複数のアンテナ単位が配列された

送受信領域と、前記送受信領域以外の領域に位置する非送受信領域とを有する走査アンテナであって、第1誘電体基板と、前記第1誘電体基板に支持された複数の第1のTFTと、複数のパッチ電極と、複数のゲートバスラインと、複数のソースバスラインとを有するTFT基板であって、前記送受信領域において、前記複数の第1のTFTおよび前記複数のパッチ電極は、それぞれ、前記複数のアンテナ単位に対応して配置され、前記非送受信領域において、前記複数のソースバスラインのそれぞれは、前記非送受信領域に配置されたソース端子部から前記送受信領域に延び、前記複数のゲートバスラインのそれぞれは、前記非送受信領域に配置されたゲート端子部から前記送受信領域に延びている、TFT基板と、第2誘電体基板と、前記第2誘電体基板の第1主面に設けられたスロット電極とを有するスロット基板と、前記TFT基板と前記スロット基板との間に設けられた液晶層と、前記第2誘電体基板の前記第1主面と反対側の第2主面に誘電体層を介して対向するように配置された反射導電板と、前記送受信領域において、前記第1誘電体基板の法線方向から見たとき、前記複数のアンテナ単位と重ならないように配置された複数の検査電極部とを備え、前記スロット電極は、前記複数のパッチ電極に対応して配置された複数のスロットを有し、前記複数の検査電極部のそれぞれは、前記TFT基板に支持され、かつ、ソース電極が前記複数のソースバスラインのうちの1つのソースバスラインに接続され、ゲート電極が前記複数のゲートバスラインのうちの1つのゲートバスラインに接続された第2のTFTと、前記TFT基板に支持され、かつ、前記第2のTFTのドレイン電極に接続された透明電極と、前記液晶層を介して、前記透明電極と対向するように延設された前記スロット電極とを有する。

[0010] ある実施形態において、前記透明電極は、前記1つのソースバスラインにおける前記ソース端子部側とは反対側の終端部の近傍に、前記第2のTFTを介して接続されている。

[0011] ある実施形態において、前記第1誘電体基板の法線方向から見たとき、前記透明電極の面積は、前記パッチ電極の面積の2倍以上である。

- [0012] ある実施形態において、前記透明電極は前記パッチ電極よりも薄い。
- [0013] ある実施形態において、前記スロット電極のうち前記液晶層を介して前記透明電極と対向する部分はスロットを有していない。
- [0014] ある実施形態において、前記スロット電極および前記パッチ電極は、いずれも、透光性を有していない金属電極である。
- [0015] ある実施形態において、前記非送受信領域において、前記 T F T 基板は、前記 1 つのソースバスラインに外部から電圧を入力するソースパッドと、前記 1 つのゲートバスラインに外部から電圧を入力するゲートパッドとをさらに備える。
- [0016] ある実施形態において、前記 1 つのソースバスラインは前記ソース端子部を介して前記ソースパッドに接続され、前記 1 つのゲートバスラインは前記ゲート端子部を介して前記ゲートパッドに接続されている。
- [0017] ある実施形態において、上記走査アンテナは、端子部との間、および／または、前記ゲートパッドと前記ゲート端子部との間に、スイッチング素子をさらに有する。
- [0018] 本発明の一実施形態の走査アンテナの検査方法は、上記のいずれかに記載の走査アンテナの検査方法であって、前記複数の検査電極部から、検査対象とする検査電極部を選択する工程（A）と、前記スロット電極と、前記複数のソースバスラインおよび前記複数のゲートバスラインに、それぞれ、所定の電圧を印加した状態で、前記選択された検査電極部に可視光を入射させたときの反射光を、前記 T F T 基板の上方から前記透明電極越しに観察する工程（B）とを包含し、前記工程（B）では、前記選択された検査電極部において、前記透明電極と前記スロット電極とが前記液晶層を介して重なる領域が、前記反射光の観察を行う観察領域となり、前記観察領域からの前記反射光の強度の大きさによって、前記選択された検査電極部の良否を判断する。
- [0019] ある実施形態において、前記走査アンテナの前記 T F T 基板は、前記複数のソースバスラインに接続されたソースパッドと、前記複数のゲートバスラインに接続されたゲートパッドとをさらに備え、前記工程（B）において、

前記ソースパッドおよび前記ゲートパッドから前記複数のソースバスラインおよび前記複数のゲートバスラインに前記所定の電圧を入力する。

[0020] ある実施形態において、前記工程（B）の後で、前記TFT基板のうち前記ソースパッドおよび前記ゲートパッドが形成された部分を前記TFT基板から分離する工程をさらに包含する。

[0021] 本発明の一実施形態のTFT基板は、複数のアンテナ単位領域を含む送受信領域と、前記送受信領域以外の領域に位置する非送受信領域とを含むTFT基板であって、第1誘電体基板と、前記第1誘電体基板に支持された複数の第1のTFTと、複数のパッチ電極と、複数のゲートバスラインと、複数のソースバスラインとを有し、前記送受信領域において、前記複数の第1のTFTおよび前記複数のパッチ電極は、それぞれ、前記複数のアンテナ単位に対応して配置されており、前記複数のパッチ電極は透光性を有していない金属電極であり、前記送受信領域において、前記第1誘電体基板の法線方向から見たとき、前記複数のアンテナ単位と重ならないように配置された複数の検査電極部をさらに備え、前記複数の検査電極部のそれぞれは、前記TFT基板に支持され、かつ、ソース電極が前記複数のソースバスラインのうちの1つのソースバスラインに接続され、ゲート電極が前記複数のゲートバスラインのうちの1つのゲートバスラインに接続された第2のTFTと、前記TFT基板に支持され、かつ、前記第2のTFTのドレイン電極に接続された透明電極とを有する。

[0022] 本発明の一実施形態の走査アンテナを製造する方法は、検査用アンテナとして、上記の走査アンテナを製造する工程（a）と、前記検査用アンテナの前記ソースパッドおよび前記ゲートパッドから所定の電圧を入力して、前記複数の検査電極部における液晶配向の良否を検査する工程（b）と、前記工程（b）の後、前記TFT基板における前記ソースパッドおよび前記ゲートパッドが形成された領域を、前記TFT基板から分離させる工程（c）と、前記工程（c）の後、ソースドライバおよびゲートドライバを前記TFT基板に実装する工程（d）とを包含する。

発明の効果

[0023] 本発明のある実施形態によると、従来のLCDの製造技術を利用して量産することが可能な走査アンテナ、その検査方法およびその製造方法が提供される。

図面の簡単な説明

[0024] [図1]第1の実施形態の走査アンテナ1000の一部を模式的に示す断面図である。

[図2] (a) および (b) は、それぞれ、走査アンテナ1000におけるTF基板101およびスロット基板201を示す模式的な平面図である。

[図3] (a) および (b) は、それぞれ、TF基板101のアンテナ単位領域Uを模式的に示す断面図および平面図である。

[図4] (a) ~ (c) は、それぞれ、TF基板101のゲート端子部GT、ソース端子部STおよびトランスファー端子部PTを模式的に示す断面図である。

[図5]TF基板101の製造工程の一例を示す図である。

[図6]スロット基板201におけるアンテナ単位領域Uおよび端子部ITを模式的に示す断面図である。

[図7]TF基板101およびスロット基板201におけるトランスファー部を説明するための模式的な断面図である。

[図8] (a) ~ (c) は、それぞれ、第2の実施形態におけるTF基板102のゲート端子部GT、ソース端子部STおよびトランスファー端子部PTを示す断面図である。

[図9]TF基板102の製造工程の一例を示す図である。

[図10] (a) ~ (c) は、それぞれ、第3の実施形態におけるTF基板103のゲート端子部GT、ソース端子部STおよびトランスファー端子部PTを示す断面図である。

[図11]TF基板103の製造工程の一例を示す図である。

[図12]TF基板103およびスロット基板203におけるトランスファー

部を説明するための模式的な断面図である。

[図13] (a) は、ヒーター用抵抗膜 68 を有する T F T 基板 104 の模式的な平面図であり、(b) はスロット 57 およびパッチ電極 15 のサイズを説明するための模式的な平面図である。

[図14] (a) および (b) は、抵抗加熱構造 80 a および 80 b の模式的な構造と電流の分布を示す図である。

[図15] (a) ~ (c) は、抵抗加熱構造 80 c ~ 80 e の模式的な構造と電流の分布を示す図である。

[図16] (a) は、ヒーター用抵抗膜 68 を有する液晶パネル 100 P a の模式的な断面図であり、(b) は、ヒーター用抵抗膜 68 を有する液晶パネル 100 P b の模式的な断面図である。

[図17] 本発明の実施形態による走査アンテナの 1 つのアンテナ単位の等価回路を示す図である。

[図18] (a) ~ (c)、(e) ~ (g) は、実施形態の走査アンテナの駆動に用いられる各信号の波形の例を示す図であり、(d) は、ドット反転駆動を行っている L C D パネルの表示信号の波形を示す図である。

[図19] (a) ~ (e) は、実施形態の走査アンテナの駆動に用いられる各信号の波形の他の例を示す図である。

[図20] (a) ~ (e) は、実施形態の走査アンテナの駆動に用いられる各信号の波形のさらに他の例を示す図である。

[図21] (a) は、走査アンテナ 1000 におけるアンテナ単位の配向状態を模式的に示す断面図であり、(b) は、スロット基板 201 側から各アンテナ単位の配向状態を観察した結果を例示する平面図である。

[図22] (a) は、走査アンテナ 1000 におけるアンテナ単位の配向状態を模式的に示す断面図であり、(b) は、T F T 基板 101 側から各アンテナ単位の配向状態を観察した結果を例示する平面図である。

[図23] (a) および (b) は、本実施形態の電極形状を例示する平面図および拡大平面図であり、(c) は、電極形状の他の例を示す平面図である。

[図24] (a) および (b) は、本実施形態の他の電極形状を例示する平面図および拡大平面図であり、(c) は、電極形状の他の例を示す平面図である。

[図25] (a) は、検査用透明電極を有していない走査アンテナの模式的な断面図であり、(b) は、アンテナ単位の液晶配向を観察した結果を示す模式的な上面図である。

[図26] (a) および (b) は、それぞれ、検査用透明電極が設けられた走査アンテナ 1000A の模式的な断面図および上面図であり、(c) は、アンテナ単位の液晶配向を観察した結果を示す模式的な上面図である。

[図27] 検査用透明電極が設けられた走査アンテナ 1000A の変形例を示す模式的な断面図である。

[図28] (a) および (b) は、検査用透明電極が設けられた他の走査アンテナ 1000B を示す模式的な断面図および上面図であり、(c) は、液晶配向の観察結果を示す上面図である。

[図29] (a) および (b) は、検査用透明電極が設けられたさらに他の走査アンテナ 1000C を示す模式的な断面図および上面図であり、(c) は、液晶配向の観察結果を示す上面図である。

[図30] (a) ~ (c) は、検査用透明電極が設けられたさらに他の走査アンテナ 1000D を示す模式的な断面図および上面図であり、(d) は、液晶配向の観察結果を示す上面図である。

[図31] 検査用透明電極が配置されたスロット基板 201 を例示する模式的な断面図である。

[図32] 検査用透明電極が配置された T F T 基板 101 を例示する模式的な断面図である。

[図33] 配向検査 I、II に用いられる検査装置 401 の模式的な斜視図である。

[図34] 配向検査 I、II に用いられる他の検査装置 402 の模式的な斜視図である。

[図35] (a) および (b) は、それぞれ、走査アンテナ 1000 の基準位置マークを例示する平面図およびマーカーの拡大上面図である。

[図36] 本実施形態の液晶配向の検査方法の一例を説明する図である。

[図37] 本実施形態の液晶配向の検査方法の他の例を説明する図である。

[図38] 検査対象とするアンテナ単位を選択する方法の一例を説明するための、走査アンテナの一部を示す平面図である。

[図39] 検査対象とするアンテナ単位を選択する方法の他の例を説明するための、走査アンテナの一部を示す平面図である。

[図40] (a) は、TF T 基板 106 の一部を例示する模式的な拡大平面図であり、(b) は、TF T 基板 106 の一例を示す模式的な平面図である。

[図41] (a) および (b) は、それぞれ、走査アンテナ 1000 E を例示する模式的な平面図である。

[図42] (a) は、走査アンテナ 1000 E における検査電極部 R E の配向状態を模式的に示す拡大断面図であり、(b) は、TF T 基板 106 の上方から液晶配向を観察した結果を例示する拡大平面図である。

[図43] TF T 基板 106 のより具体的な構成を例示する模式的な断面図である。

[図44] スロット基板 206 のより具体的な構成を例示する模式的な断面図である。

[図45] 配向検査 111 で使用する駆動回路（検査用駆動回路）を示す模式的な図である。

[図46] 配向検査時の各信号の波形を例示する図である。

[図47] 走査アンテナ 1000 E における検査用駆動回路および検査用電極部 R E の配置例を示す図である。

[図48] 配向検査 111 のプロセスフローの一例を説明する図である。

[図49] (a) は、従来のLCD 900 の構造を示す模式図であり、(b) はLCD パネル 900 a の模式的な断面図である。

発明を実施するための形態

[0025] 以下、図面を参照して、本発明の実施形態による走査アンテナおよびその製造方法を説明する。以下の説明においては、まず、公知のTFT型LCD（以下、「TFT-LCD」という。）の構造および製造方法を説明する。ただし、LCDの技術分野で周知の事項については説明を省略することがある。TFT-LCDの基本的な技術については、例えば、Liquid Crystals, Applications and Uses, Vol. 1-3 (Editor: Birenda Bahadur, Publisher: World Scientific Pub Co Inc)などを参照されたい。参考のために、上記の文献の開示内容の全てを本明細書に援用する。

[0026] 図31(a)および(b)を参照して、典型的な透過型のTFT-LCD（以下、単に「LCD」という。）900の構造および動作を説明する。ここでは、液晶層の厚さ方向に電圧を印加する縦電界モード（例えば、TNモードや垂直配向モード）のLCD900を例示する。LCDの液晶容量に印加される電圧のフレーム周波数（典型的には極性反転周波数の2倍）は例えば4倍速駆動でも240Hzであり、LCDの液晶容量の誘電体層としての液晶層の誘電率 ϵ は、マイクロ波（例えば、衛星放送やKuバンド（12～18GHz）、Kバンド（18～26GHz）、Kaバンド（26～40GHz））に対する誘電率 $M(\epsilon_M)$ と異なる。

[0027] 図49(a)に模式的に示すように、透過型のLCD900は、液晶表示パネル900aと、制御回路CNTLと、バックライト（不図示）と、電源回路（不図示）などを備えている。液晶表示パネル900aは、液晶表示セルLCCと、ゲートドライバGDおよびソースドライバSDを含む駆動回路とを含む。駆動回路は、例えば、液晶表示セルLCCのTFT基板910に実装されてもよいし、駆動回路の一部または全部は、TFT基板910に一体化（モノリシック化）されてもよい。

[0028] 図49(b)に、LCD900が有する液晶表示パネル（以下、「LCDパネル」という。）900aの模式的に断面図を示す。LCDパネル900

aは、TFT基板910と、対向基板920と、これらの間に設けられた液晶層930とを有している。TFT基板910および対向基板920は、いずれもガラス基板などの透明基板911、921を有している。透明基板911、921としては、ガラス基板の他、プラスチック基板が用いられることもある。プラスチック基板は、例えば、透明な樹脂（例えばポリエステル）とガラス繊維（例えば不織布）で形成される。

[0029] LCDパネル900aの表示領域DRは、マトリクス状に配列された画素Pによって構成されている。表示領域DRの周辺には表示に寄与しない額縁領域FRが形成されている。液晶材料は表示領域DRを包囲するように形成されたシール部（不図示）によって表示領域DR内に封止されている。シール部は、例えば、紫外線硬化性樹脂とスペーサ（例えば樹脂ビーズまたはシリカビーズ）とを含むシール材を硬化させることによって形成され、TFT基板910と対向基板920とを互いに接着、固定する。シール材中のスペーサは、TFT基板910と対向基板920との間隙、すなわち液晶層930の厚さを一定に制御する。液晶層930の厚さの面内ばらつきを抑制するために、表示領域DR内の遮光される部分（例えば配線上）に、柱状スペーサが紫外線硬化性樹脂を用いて形成される。近年、液晶テレビやスマートフォン用のLCDパネルに見られるように、表示に寄与しない額縁領域FRの幅は非常に狭くなっている。

[0030] TFT基板910では、透明基板911上に、TFT912、ゲートバスライン（走査線）GL、ソースバスライン（表示信号線）SL、画素電極914、補助容量電極（不図示）、CSバスライン（補助容量線）（不図示）が形成されている。CSバスラインはゲートバスラインと平行に設けられる。あるいは、次段のゲートバスラインをCSバスラインとして用いることもある（CSオンゲート構造）。

[0031] 画素電極914は、液晶の配向を制御する配向膜（例えばポリイミド膜）に覆われている。配向膜は、液晶層930と接するように設けられる。TFT基板910はバックライト側（観察者とは反対側）に配置されることが多

い。

[0032] 対向基板 920 は、液晶層 930 の観察者側に配置されることが多い。対向基板 920 は、透明基板 921 上に、カラーフィルタ層（不図示）と、対向電極 924 と、配向膜（不図示）とを有している。対向電極 924 は、表示領域 DR を構成する複数の画素 P に共通に設けられるので、共通電極とも呼ばれる。カラーフィルタ層は、画素 P 毎に設けられるカラーフィルタ（例えば、赤フィルタ、緑フィルタ、青フィルタ）と、表示に不要な光を遮光するためのブラックマトリクス（遮光層）とを含む。ブラックマトリクスは、例えば、表示領域 DR 内の画素 P の間、および額縁領域 FR を遮光するように配置される。

[0033] TFT 基板 910 の画素電極 914 と、対向基板 920 の対向電極 924 と、これらの間の液晶層 930 が、液晶容量 C_{lc} を構成する。個々の液晶容量が画素に対応する。液晶容量 C_{lc} に印加された電圧を保持するために（いわゆる電圧保持率を高くするために）、液晶容量 C_{lc} と電氣的に並列に接続された補助容量 CS が形成されている。補助容量 CS は、典型的には、画素電極 914 と同電位とされる電極と、無機絶縁層（例えばゲート絶縁層（ SiO_2 層））と、CS バスラインに接続された補助容量電極とで構成される。CS バスラインからは、典型的には、対向電極 924 と同じ共通電圧が供給される。

[0034] 液晶容量 C_{lc} に印加された電圧（実効電圧）が低下する要因としては、（１）液晶容量 C_{lc} の容量値 C_{clc} と、抵抗値 R との積である CR 時定数に基づくもの、（２）液晶材料中に含まれるイオン性不純物に起因する界面分極、および／または、液晶分子の配向分極などがある。これらのうち、液晶容量 C_{lc} の CR 時定数による寄与が大きく、液晶容量 C_{lc} に電氣的に並列に接続された補助容量 CS を設けることによって、CR 時定数を大きくすることができる。なお、液晶容量 C_{lc} の誘電体層である液晶層 930 の体積抵抗率は、汎用されているネマチック液晶材料の場合、 $10^{12} \Omega \cdot cm$ のオーダーを超えている。

[0035] 画素電極 914 に供給される表示信号は、ゲートバスライン GL にゲートドライバ GD から供給される走査信号によって選択された TFT 912 がオン状態となったときに、その TFT 912 に接続されているソースバスライン SL に供給されている表示信号である。したがって、あるゲートバスライン GL に接続されている TFT 912 が同時にオン状態となり、その時に、その行の画素 P のそれぞれの TFT 912 に接続されているソースバスライン SL から対応する表示信号が供給される。この動作を、1 行目（例えば表示面の最上行）から m 行目（例えば表示面の最下行）まで順次に行うことによって、m 行の画素行で構成された表示領域 DR に 1 枚の画像（フレーム）が書き込まれ、表示される。画素 P が m 行 n 列にマトリクス状に配列されているとすると、ソースバスライン SL は各画素列に対応して少なくとも 1 本、合計で少なくとも n 本設けられる。

[0036] このような走査は線順次走査と呼ばれ、1 つの画素行が選択されて、次の行が選択されるまでの時間は水平走査期間（1 H）と呼ばれ、ある行が選択され、再びその行が選択されるまでの時間は垂直走査期間（1 V）またはフレームと呼ばれる。なお、一般に、1 V（または 1 フレーム）は、m 本の画素行を全て選択する期間 $m \cdot H$ に、ブランキング期間を加えたものとなる。

[0037] 例えば、入力映像信号が NTSC 信号の場合、従来の LCD パネルの 1 V（＝1 フレーム）は、 $1/60 \text{ sec}$ （16.7 msec）であった。NTSC 信号はインターレース信号であり、フレーム周波数は 30 Hz で、フィールド周波数は 60 Hz であるが、LCD パネルにおいては各フィールドで全ての画素に表示信号を供給する必要があるので、 $1 V = (1/60) \text{ sec}$ で駆動する（60 Hz 駆動）。なお、近年では、動画表示特性を改善するために、2 倍速駆動（120 Hz 駆動、 $1 V = (1/120) \text{ sec}$ ）で駆動される LCD パネルや、3D 表示のために 4 倍速（240 Hz 駆動、 $1 V = (1/240) \text{ sec}$ ）で駆動される LCD パネルもある。

[0038] 液晶層 930 に直流電圧が印加されると実効電圧が低下し、画素 P の輝度が低下する。この実効電圧の低下には、上記の界面分極および／または配向

分極の寄与があるので、補助容量CSを設けても完全に防止することは難しい。例えば、ある中間階調に対応する表示信号を全ての画素にフレーム毎に書き込むと、フレーム毎に輝度変動し、フリッカーとして観察される。また、液晶層930に長時間にわたって直流電圧が印加されると液晶材料の電気分解が起こることがある。また、不純物イオンが片側の電極に偏析し、液晶層に実効的な電圧が印加されなくなり、液晶分子が動かなくなることもある。これらを防止するために、LCDパネル900aはいわゆる、交流駆動される。典型的には、表示信号の極性を1フレーム毎（1垂直走査期間毎）に反転する、フレーム反転駆動が行われる。例えば、従来のLCDパネルでは、1/60sec毎に極性反転が行われている（極性反転の周期は30Hz）。

[0039] また、1フレーム内においても印加される電圧の極性の異なる画素を均一に分布させるために、ドット反転駆動またはライン反転駆動などが行われている。これは、正極性と負極性とで、液晶層に印加される実効電圧の大きさを完全に一致させることが難しいからである。例えば、液晶材料の体積抵抗率が $10^{12}\Omega \cdot \text{cm}$ のオーダー超であれば、1/60sec毎に、ドット反転またはライン反転駆動を行えば、フリッカーはほとんど視認されない。

[0040] LCDパネル900aにおける走査信号および表示信号は、制御回路CNTLからゲートドライバGDおよびソースドライバSDに供給される信号に基づいて、ゲートドライバGDおよびソースドライバSDがゲートバスラインGLおよびソースバスラインSLにそれぞれ供給される。例えば、ゲートドライバGDおよびソースドライバSDは、それぞれ、TFT基板910に設けられた対応する端子に接続されている。ゲートドライバGDおよびソースドライバSDは、例えば、ドライバICとしてTFT基板910の額縁領域FRに実装されることもあるし、TFT基板910の額縁領域FRにモノリシックに形成されることもある。

[0041] 対向基板920の対向電極924は、トランスファー（転移）と呼ばれる導電部（不図示）を介して、TFT基板910の端子（不図示）に電氣的に

接続される。トランスファは、例えば、シール部と重なるように、あるいは、シール部の一部に導電性を付与することによって形成される。額縁領域FRを狭くするためである。対向電極924には、制御回路CNTLから、直接または間接的に共通電圧が供給される。典型的には、共通電圧は、上述したように、CSバスラインにも供給される。

[0042] [走査アンテナの基本構造]

液晶材料の大きな誘電率 $M(\epsilon_M)$ の異方性（複屈折率）を利用したアンテナ単位を用いた走査アンテナは、LCDパネルの画素に対応付けられるアンテナ単位の各液晶層に印加する電圧を制御し、各アンテナ単位の液晶層の実効的な誘電率 $M(\epsilon_M)$ を変化させることによって、静電容量の異なるアンテナ単位で2次元的なパターンを形成する（LCDによる画像の表示に対応する。）。アンテナから出射される、または、アンテナによって受信される電磁波（例えば、マイクロ波）には、各アンテナ単位の静電容量に応じた位相差が与えられ、静電容量の異なるアンテナ単位によって形成された2次元的なパターンに応じて、特定の方向に強い指向性を有することになる（ビーム走査）。例えば、アンテナから出射される電磁波は、入力電磁波が各アンテナ単位に入射し、各アンテナ単位で散乱された結果得られる球面波を、各アンテナ単位によって与えられる位相差を考慮して積分することによって得られる。各アンテナ単位が、「フェイズシフター：phase shifter」として機能していると考えられることもできる。液晶材料を用いた走査アンテナの基本的な構造および動作原理については、特許文献1～4および非特許文献1、2を参照されたい。非特許文献2は、らせん状のスロットが配列された走査アンテナの基本的な構造を開示している。参考のために、特許文献1～4および非特許文献1、2の開示内容の全てを本明細書に援用する。

[0043] なお、本発明の実施形態による走査アンテナにおけるアンテナ単位はLCDパネルの画素に類似してはいるものの、LCDパネルの画素の構造とは異なっているし、複数のアンテナ単位の配列もLCDパネルにおける画素の配列とは異なっている。後に詳細に説明する第1の実施形態の走査アンテナ1

000を示す図1を参照して、本発明の実施形態による走査アンテナの基本構造を説明する。走査アンテナ1000は、スロットが同心円状に配列されたラジアルインラインスロットアンテナであるが、本発明の実施形態による走査アンテナはこれに限られず、例えば、スロットの配列は、公知の種々の配列であってよい。

[0044] 図1は、本実施形態の走査アンテナ1000の一部を模式的に示す断面図であり、同心円状に配列されたスロットの中心近傍に設けられた給電ピン72（図2（b）参照）から半径方向に沿った断面の一部を模式的に示す。

[0045] 走査アンテナ1000は、TF基板101と、スロット基板201と、これらの間に配置された液晶層LCと、スロット基板201と、空気層54を介して対向するように配置された反射導電板65とを備えている。走査アンテナ1000は、TF基板101側からマイクロ波を送受信する。

[0046] TF基板101は、ガラス基板などの誘電体基板1と、誘電体基板1上に形成された複数のパッチ電極15と、複数のTF10とを有している。各パッチ電極15は、対応するTF10に接続されている。各TF10は、ゲートバスラインとソースバスラインとに接続されている。

[0047] スロット基板201は、ガラス基板などの誘電体基板51と、誘電体基板51の液晶層LC側に形成されたスロット電極55とを有している。スロット電極55は複数のスロット57を有している。

[0048] スロット基板201と、空気層54を介して対向するように反射導電板65が配置されている。空気層54に代えて、マイクロ波に対する誘電率Mが小さい誘電体（例えば、PTFEなどのフッ素樹脂）で形成された層を用いることができる。スロット電極55と反射導電板65と、これらの間の誘電体基板51および空気層54とが導波路301として機能する。

[0049] パッチ電極15と、スロット57を含むスロット電極55の部分と、これらの間の液晶層LCとがアンテナ単位Uを構成する。各アンテナ単位Uにおいて、1つのパッチ電極15が1つのスロット57を含むスロット電極55の部分と液晶層LCを介して対向しており、液晶容量を構成している。パッ

チ電極 1 5 とスロット電極 5 5 とが液晶層 LC を介して対向する構造は、図 4 9 に示した LCD パネル 9 0 0 a の画素電極 9 1 4 と対向電極 9 2 4 とが液晶層 9 3 0 を介して対向する構造と似ている。すなわち、走査アンテナ 1 0 0 0 のアンテナ単位 U と、LCD パネル 9 0 0 a における画素 P とは似た構成を有している。また、アンテナ単位は、液晶容量と電氣的に並列に接続された補助容量（図 1 3 (a)、図 1 7 参照）を有している点でも LCD パネル 9 0 0 a における画素 P と似た構成を有している。しかしながら、走査アンテナ 1 0 0 0 は、LCD パネル 9 0 0 a と多くの相違点を有している。

[0050] まず、走査アンテナ 1 0 0 0 の誘電体基板 1、5 1 に求められる性能は、LCD パネルの基板に求められる性能と異なる。

[0051] 一般に LCD パネルには、可視光に透明な基板が用いられ、例えば、ガラス基板またはプラスチック基板が用いられる。反射型の LCD パネルにおいては、背面側の基板には透明性が不要なので、半導体基板が用いられることもある。これに対し、アンテナ用の誘電体基板 1、5 1 としては、マイクロ波に対する誘電損失（マイクロ波に対する誘電正接を $\tan \delta_{\mu}$ と表すことにする。）が小さいことが好ましい。誘電体基板 1、5 1 の $\tan \delta_{\mu}$ は、概ね 0.03 以下であることが好ましく、0.01 以下がさらに好ましい。具体的には、ガラス基板またはプラスチック基板を用いることができる。ガラス基板はプラスチック基板よりも寸法安定性、耐熱性に優れ、TFT、配線、電極等の回路要素を LCD 技術を用いて形成するのに適している。例えば、導波路を形成する材料が空気とガラスである場合、ガラスの方が上記誘電損失が大きいため、ガラスがより薄い方が導波ロスを減らすことができるとの観点から、好ましくは $400\ \mu\text{m}$ 以下であり、 $300\ \mu\text{m}$ 以下がさらに好ましい。下限は特になく、製造プロセスにおいて、割れることなくハンドリングできればよい。

[0052] 電極に用いられる導電材料も異なる。LCD パネルの画素電極や対向電極には透明導電膜としてITO膜が用いられることが多い。しかしながら、ITOはマイクロ波に対する $\tan \delta_{\mu}$ が大きく、アンテナにおける導電層とし

て用いることができない。スロット電極 55 は、反射導電板 65 とともに導波路 301 の壁として機能する。したがって、導波路 301 の壁におけるマイクロ波の透過を抑制するためには、導波路 301 の壁の厚さ、すなわち、金属層（Cu 層または Al 層）の厚さは大きいことが好ましい。金属層の厚さが表皮深さの 3 倍であれば、電磁波は $1/20$ （ -26 dB ）に減衰され、5 倍であれば $1/150$ （ -43 dB ）程度に減衰されることが知られている。したがって、金属層の厚さが表皮深さの 5 倍であれば、電磁波の透過率を 1% に低減することができる。例えば、 10 GHz のマイクロ波に対しては、厚さが $3.3\text{ }\mu\text{m}$ 以上の Cu 層、および厚さが $4.0\text{ }\mu\text{m}$ 以上の Al 層を用いると、マイクロ波を $1/150$ まで低減することができる。また、 30 GHz のマイクロ波に対しては、厚さが $1.9\text{ }\mu\text{m}$ 以上の Cu 層、および厚さが $2.3\text{ }\mu\text{m}$ 以上の Al 層を用いると、マイクロ波を $1/150$ まで低減することができる。このように、スロット電極 55 は、比較的厚い Cu 層または Al 層で形成することが好ましい。Cu 層または Al 層の厚さに上限は特になく、成膜時間やコストを考慮して、適宜設定され得る。Cu 層を用いると、Al 層を用いるよりも薄くできるという利点が得られる。比較的厚い Cu 層または Al 層の形成は、LCD の製造プロセスで用いられる薄膜堆積法だけでなく、Cu 箔または Al 箔を基板に貼り付ける等、他の方法を採用することもできる。金属層の厚さは、例えば、 $2\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $30\text{ }\mu\text{m}$ 以下である。薄膜堆積法を用いて形成する場合、金属層の厚さは $5\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。なお、反射導電板 65 は、例えば、厚さが数 mm のアルミニウム板、銅板などを用いることができる。

[0053] パッチ電極 15 は、スロット電極 55 のように導波路 301 を構成する訳ではないので、スロット電極 55 よりも厚さが小さい Cu 層または Al 層を用いることができる。ただし、スロット電極 55 のスロット 57 付近の自由電子の振動がパッチ電極 15 内の自由電子の振動を誘起する際に熱に変わるロスを避けるために、抵抗が低い方が好ましい。量産性の観点からは Cu 層よりも Al 層を用いることが好ましく、Al 層の厚さは例えば $0.5\text{ }\mu\text{m}$ ～

2 μm が好ましい。

[0054] また、アンテナ単位Uの配列ピッチは、画素ピッチと大きく異なる。例えば、12 GHz (Ku band) のマイクロ波用のアンテナを考えると、波長 λ は、例えば25 mmである。そうすると、特許文献4に記載されているように、アンテナ単位Uのピッチは $\lambda/4$ 以下および/または $\lambda/5$ 以下であるので、6.25 mm以下および/または5 mm以下ということになる。これはLCDパネルの画素のピッチと比べて10倍以上大きい。したがって、アンテナ単位Uの長さおよび幅もLCDパネルの画素長さおよび幅よりも約10倍大きいことになる。

[0055] もちろん、アンテナ単位Uの配列はLCDパネルにおける画素の配列と異なり得る。ここでは、同心円状に配列した例（例えば、特開2002-217640号公報参照）を示すが、これに限られず、例えば、非特許文献2に記載されているように、らせん状に配列されてもよい。さらに、特許文献4に記載されているようにマトリクス状に配列してもよい。

[0056] 走査アンテナ1000の液晶層LCの液晶材料に求められる特性は、LCDパネルの液晶材料に求められる特性と異なる。LCDパネルは画素の液晶層の屈折率変化によって、可視光（波長380 nm～830 nm）の偏光に位相差を与えることによって、偏光状態を変化させる（例えば、直線偏光の偏光軸方向を回転させる、または、円偏光の円偏光度を変化させる）ことによって、表示を行う。これに対して実施形態による走査アンテナ1000は、アンテナ単位Uが有する液晶容量の静電容量値を変化させることによって、各パッチ電極から励振（再輻射）されるマイクロ波の位相を変化させる。したがって、液晶層は、マイクロ波に対する誘電率 $M(\epsilon_M)$ の異方性（ $\Delta\epsilon_M$ ）が大きいことが好ましく、 $\tan\delta_M$ は小さいことが好ましい。例えば、M. Wittke et al., SID 2015 DIGEST pp. 824-826に記載の $\Delta\epsilon_M$ が4以上で、 $\tan\delta_M$ が0.02以下（いずれも19 GHzの値）を好適に用いることができる。その他、九鬼、高分子55巻8月号 pp. 599-602 (2006)に記載の $\Delta\epsilon_M$ が0.4以上、

$\tan \delta_m$ が0.04以下の液晶材料を用いることができる。

[0057] 一般に液晶材料の誘電率は周波数分散を有するが、マイクロ波に対する誘電異方性 $\Delta \epsilon_m$ は、可視光に対する屈折率異方性 Δn と正の相関がある。したがって、マイクロ波に対するアンテナ単位用の液晶材料は、可視光に対する屈折率異方性 Δn が大きい材料が好ましいと言える。LCD用の液晶材料の屈折率異方性 Δn は550nmの光に対する屈折率異方性で評価される。ここでも550nmの光に対する Δn （複屈折率）を指標に用いると、 Δn が0.3以上、好ましくは0.4以上のネマチック液晶が、マイクロ波に対するアンテナ単位用に用いられる。 Δn に特に上限はない。ただし、 Δn が大きい液晶材料は極性が強い傾向にあるので、信頼性を低下させる恐れがある。信頼性の観点からは、 Δn は0.4以下であることが好ましい。液晶層の厚さは、例えば、1 μm ～500 μm である。

[0058] 以下、本発明の実施形態による走査アンテナの構造および製造方法をより詳細に説明する。

[0059] （第1の実施形態）

まず、図1および図2を参照する。図1は詳述した様に走査アンテナ1000の中心付近の模式的な部分断面図であり、図2（a）および（b）は、それぞれ、走査アンテナ1000におけるTF基板101およびスロット基板201を示す模式的な平面図である。

[0060] 走査アンテナ1000は2次元に配列された複数のアンテナ単位Uを有しており、ここで例示する走査アンテナ1000では、複数のアンテナ単位が同心円状に配列されている。以下の説明においては、アンテナ単位Uに対応するTF基板101の領域およびスロット基板201の領域を「アンテナ単位領域」と呼び、アンテナ単位と同じ参照符号Uを付すことにする。また、図2（a）および（b）に示す様に、TF基板101およびスロット基板201において、2次的に配列された複数のアンテナ単位領域によって画定される領域を「送受信領域R1」と呼び、送受信領域R1以外の領域を「非送受信領域R2」と呼ぶ。非送受信領域R2には、端子部、駆動回路な

どが設けられる。

[0061] 図2(a)は、走査アンテナ1000におけるTF T基板101を示す模式的な平面図である。

[0062] 図示する例では、TF T基板101の法線方向から見たとき、送受信領域R1はドーナツ状である。非送受信領域R2は、送受信領域R1の中心部に位置する第1非送受信領域R2aと、送受信領域R1の周縁部に位置する第2非送受信領域R2bとを含む。送受信領域R1の外径は、例えば200mm〜1500mmで、通信量などに応じて設定される。

[0063] TF T基板101の送受信領域R1には、誘電体基板1に支持された複数のゲートバスラインGLおよび複数のソースバスラインSLが設けられ、これらの配線によってアンテナ単位領域Uが規定されている。アンテナ単位領域Uは、送受信領域R1において、例えば同心円状に配列されている。アンテナ単位領域Uのそれぞれは、TF Tと、TF Tに電氣的に接続されたパッチ電極とを含んでいる。TF Tのソース電極はソースバスラインSLに、ゲート電極はゲートバスラインGLにそれぞれ電氣的に接続されている。また、ドレイン電極は、パッチ電極と電氣的に接続されている。

[0064] 非送受信領域R2(R2a、R2b)には、送受信領域R1を包囲するようにシール領域Rsが配置されている。シール領域Rsにはシール材(不図示)が付与されている。シール材は、TF T基板101およびスロット基板201を互いに接着させるとともに、これらの基板101、201の間に液晶を封入する。

[0065] 非送受信領域R2のうちシール領域Rsの外側には、ゲート端子部GT、ゲートドライバGD、ソース端子部STおよびソースドライバSDが設けられている。ゲートバスラインGLのそれぞれはゲート端子部GTを介してゲートドライバGDに接続されている。ソースバスラインSLのそれぞれはソース端子部STを介してソースドライバSDに接続されている。なお、この例では、ソースドライバSDおよびゲートドライバGDは誘電体基板1上に形成されているが、これらのドライバの一方または両方は他の誘電体基板上

に設けられていてもよい。

[0066] 非送受信領域 R 2 には、また、複数のトランスファー端子部 P T が設けられている。トランスファー端子部 P T は、スロット基板 2 0 1 のスロット電極 5 5 (図 2 (b)) と電氣的に接続される。本明細書では、トランスファー端子部 P T とスロット電極 5 5 との接続部を「トランスファー部」と称する。図示するように、トランスファー端子部 P T (トランスファー部) は、シール領域 R s 内に配置されてもよい。この場合、シール材として導電性粒子を含有する樹脂を用いてもよい。これにより、T F T 基板 1 0 1 とスロット基板 2 0 1 との間に液晶を封入させるとともに、トランスファー端子部 P T とスロット基板 2 0 1 のスロット電極 5 5 との電氣的な接続を確保できる。この例では、第 1 非送受信領域 R 2 a および第 2 非送受信領域 R 2 b の両方にトランスファー端子部 P T が配置されているが、いずれか一方のみに配置されていてもよい。

[0067] なお、トランスファー端子部 P T (トランスファー部) は、シール領域 R s 内に配置されていなくてもよい。例えば非送受信領域 R 2 のうちシール領域 R s の外側に配置されていてもよい。

[0068] 図 2 (b) は、走査アンテナ 1 0 0 0 におけるスロット基板 2 0 1 を例示する模式的な平面図であり、スロット基板 2 0 1 の液晶層 L C 側の表面を示している。

[0069] スロット基板 2 0 1 では、誘電体基板 5 1 上に、送受信領域 R 1 および非送受信領域 R 2 に亘ってスロット電極 5 5 が形成されている。

[0070] スロット基板 2 0 1 の送受信領域 R 1 では、スロット電極 5 5 には複数のスロット 5 7 が配置されている。スロット 5 7 は、T F T 基板 1 0 1 におけるアンテナ単位領域 U に対応して配置されている。図示する例では、複数のスロット 5 7 は、ラジアルインラインスロットアンテナを構成するように、互いに概ね直交する方向に延びる一対のスロット 5 7 が同心円状に配列されている。互いに概ね直交するスロットを有するので、走査アンテナ 1 0 0 0 は、円偏波を送受信することができる。

[0071] 非送受信領域R 2 には、複数の、スロット電極5 5の端子部I Tが設けられている。端子部I Tは、T F T基板1 0 1のトランスファ端子部P T（図2（a））と電氣的に接続される。この例では、端子部I Tは、シール領域R s内に配置されており、導電性粒子を含有するシール材によって対応するトランスファ端子部P Tと電氣的に接続される。

[0072] また、第1非送受信領域R 2 aにおいて、スロット基板2 0 1の裏面側に給電ピン7 2が配置されている。給電ピン7 2によって、スロット電極5 5、反射導電板6 5および誘電体基板5 1で構成された導波路3 0 1にマイクロ波が挿入される。給電ピン7 2は給電装置7 0に接続されている。給電は、スロット5 7が配列された同心円の中心から行う。給電の方式は、直結給電方式および電磁結合方式のいずれであってもよく、公知の給電構造を採用することができる。

[0073] 以下、図面を参照して、走査アンテナ1 0 0 0の各構成要素をより詳しく説明する。

[0074] <T F T基板1 0 1の構造>

・アンテナ単位領域U

図3（a）および（b）は、それぞれ、T F T基板1 0 1のアンテナ単位領域Uを模式的に示す断面図および平面図である。

[0075] アンテナ単位領域Uのそれぞれは、誘電体基板（不図示）と、誘電体基板に支持されたT F T 1 0と、T F T 1 0を覆う第1絶縁層1 1と、第1絶縁層1 1上に形成され、T F T 1 0に電氣的に接続されたパッチ電極1 5と、パッチ電極1 5を覆う第2絶縁層1 7とを備える。T F T 1 0は、例えば、ゲートバスラインG LおよびソースバスラインS Lの交点近傍に配置されている。

[0076] T F T 1 0は、ゲート電極3、島状の半導体層5、ゲート電極3と半導体層5との間に配置されたゲート絶縁層4、ソース電極7 Sおよびドレイン電極7 Dを備える。T F T 1 0の構造は特に限定しない。この例では、T F T 1 0は、ボトムゲート構造を有するチャネルエッチ型のT F Tである。

- [0077] ゲート電極 3 は、ゲートバスライン G L に電氣的に接続されており、ゲートバスライン G L から走査信号を供給される。ソース電極 7 S は、ソースバスライン S L に電氣的に接続されており、ソースバスライン S L からデータ信号を供給される。ゲート電極 3 およびゲートバスライン G L は同じ導電膜（ゲート用導電膜）から形成されていてもよい。ソース電極 7 S、ドレイン電極 7 D およびソースバスライン S L は同じ導電膜（ソース用導電膜）から形成されていてもよい。ゲート用導電膜およびソース用導電膜は、例えば金属膜である。本明細書では、ゲート用導電膜を用いて形成された層（レイヤー）を「ゲートメタル層」、ソース用導電膜を用いて形成された層を「ソースメタル層」と呼ぶことがある。
- [0078] 半導体層 5 は、ゲート絶縁層 4 を介してゲート電極 3 と重なるように配置されている。図示する例では、半導体層 5 上に、ソースコンタクト層 6 S およびドレインコンタクト層 6 D が形成されている。ソースコンタクト層 6 S およびドレインコンタクト層 6 D は、それぞれ、半導体層 5 のうちチャネルが形成される領域（チャネル領域）の両側に配置されている。半導体層 5 は真性アモルファスシリコン（ $i-a-Si$ ）層であり、ソースコンタクト層 6 S およびドレインコンタクト層 6 D は n^+ 型アモルファスシリコン（ n^+-a-Si ）層であってもよい。
- [0079] ソース電極 7 S は、ソースコンタクト層 6 S に接するように設けられ、ソースコンタクト層 6 S を介して半導体層 5 に接続されている。ドレイン電極 7 D は、ドレインコンタクト層 6 D に接するように設けられ、ドレインコンタクト層 6 D を介して半導体層 5 に接続されている。
- [0080] 第 1 絶縁層 1 1 は、T F T 1 O のドレイン電極 7 D に達するコンタクトホール C H 1 を有している。
- [0081] パッチ電極 1 5 は、第 1 絶縁層 1 1 上およびコンタクトホール C H 1 内に設けられており、コンタクトホール C H 1 内で、ドレイン電極 7 D と接している。パッチ電極 1 5 は、金属層を含む。パッチ電極 1 5 は、金属層のみから形成された金属電極であってもよい。パッチ電極 1 5 の材料は、ソース電

極 7 S およびドレイン電極 7 D と同じであってもよい。ただし、パッチ電極 1 5 における金属層の厚さ（パッチ電極 1 5 が金属電極の場合にはパッチ電極 1 5 の厚さ）は、ソース電極 7 S およびドレイン電極 7 D の厚さよりも大きくなるように設定される。パッチ電極 1 5 における金属層の厚さは、A 1 層で形成する場合、例えば $0.5 \mu\text{m}$ 以上に設定される。

[0082] ゲートバスライン GL と同じ導電膜を用いて、CS バスライン CL が設けられていてもよい。CS バスライン CL は、ゲート絶縁層 4 を介してドレイン電極（またはドレイン電極の延長部分）7 D と重なるように配置され、ゲート絶縁層 4 を誘電体層とする補助容量 CS を構成してもよい。

[0083] ゲートバスライン GL よりも誘電体基板側に、アライメントマーク（例えば金属層）2 1 と、アライメントマーク 2 1 を覆う下地絶縁膜 2 とが形成されていてもよい。アライメントマーク 2 1 は、1 枚のガラス基板から例えば m 枚の TFT 基板を作製する場合において、フォトマスク枚が n 枚（ $n < m$ ）であると、各露光工程を複数回に分けて行う必要が生じる。このようにフォトマスクの枚数（ n 枚）が 1 枚のガラス基板 1 から作製される TFT 基板 1 0 1 の枚数（ m 枚）よりも少ないとき、フォトマスクのアライメントに用いられる。アライメントマーク 2 1 は省略され得る。

[0084] 本実施形態では、ソースメタル層とは異なる層内にパッチ電極 1 5 を形成する。これにより、次のようなメリットが得られる。

[0085] ソースメタル層は、通常金属膜を用いて形成されることから、ソースメタル層内にパッチ電極を形成することも考えられる（参考例の TFT 基板）。しかしながら、パッチ電極は、電子の振動を阻害しない程度に低抵抗であることが好ましく、例えば、厚さが $0.5 \mu\text{m}$ 以上の比較的厚い A 1 層で形成される。このため、参考例の TFT 基板では、そのような厚い金属膜からソースバスライン SL など形成することになり、配線を形成する際のパターニングの制御性が低くなるという問題がある。これに対し、本実施形態では、ソースメタル層とは別個にパッチ電極 1 5 を形成するので、ソースメタル層の厚さとパッチ電極 1 5 の厚さとを独立して制御できる。したがって、ソ

ースメタル層を形成する際の制御性を確保しつつ、所望の厚さのパッチ電極 15 を形成できる。

[0086] 本実施形態では、パッチ電極 15 の厚さを、ソースメタル層の厚さとは別個に、高い自由度で設定できる。なお、パッチ電極 15 のサイズは、ソースバスライン SL 等ほど厳密に制御される必要がないので、パッチ電極 15 を厚くすることによって線幅シフト（設計値とのずれ）が大きくなっても構わない。なお、パッチ電極 15 の厚さとソースメタル層の厚さが等しい場合を排除するものではない。

[0087] パッチ電極 15 は、主層として Cu 層または Al 層を含んでもよい。走査アンテナの性能はパッチ電極 15 の電気抵抗と相関があり、主層の厚さは、所望の抵抗が得られるように設定される。電気抵抗の観点から、Cu 層の方が Al 層よりもパッチ電極 15 の厚さを小さくできる可能性がある。

[0088] ・ゲート端子部 GT、ソース端子部 ST およびトランスファー端子部 PT
図 4 (a) ~ (c) は、それぞれ、ゲート端子部 GT、ソース端子部 ST およびトランスファー端子部 PT を模式的に示す断面図である。

[0089] ゲート端子部 GT は、誘電体基板上に形成されたゲートバスライン GL、ゲートバスライン GL を覆う絶縁層、およびゲート端子用上部接続部 19g を備えている。ゲート端子用上部接続部 19g は、絶縁層に形成されたコンタクトホール CH2 内で、ゲートバスライン GL と接している。この例では、ゲートバスライン GL を覆う絶縁層は、誘電体基板側からゲート絶縁層 4、第 1 絶縁層 11 および第 2 絶縁層 17 を含む。ゲート端子用上部接続部 19g は、例えば、第 2 絶縁層 17 上に設けられた透明導電膜から形成された透明電極である。

[0090] ソース端子部 ST は、誘電体基板上（ここではゲート絶縁層 4 上）に形成されたソースバスライン SL、ソースバスライン SL を覆う絶縁層、およびソース端子用上部接続部 19s を備えている。ソース端子用上部接続部 19s は、絶縁層に形成されたコンタクトホール CH3 内で、ソースバスライン SL と接している。この例では、ソースバスライン SL を覆う絶縁層は、第

1 絶縁層 1 1 および第 2 絶縁層 1 7 を含む。ソース端子用上部接続部 1 9 s は、例えば、第 2 絶縁層 1 7 上に設けられた透明導電膜から形成された透明電極である。

[0091] トランスファー端子部 P T は、第 1 絶縁層 1 1 上に形成されたパッチ接続部 1 5 p と、パッチ接続部 1 5 p を覆う第 2 絶縁層 1 7 と、トランスファー端子用上部接続部 1 9 p とを有している。トランスファー端子用上部接続部 1 9 p は、第 2 絶縁層 1 7 に形成されたコンタクトホール C H 4 内で、パッチ接続部 1 5 p と接している。パッチ接続部 1 5 p は、パッチ電極 1 5 と同じ導電膜から形成されている。トランスファー端子用上部接続部（上部透明電極ともいう。）1 9 p は、例えば、第 2 絶縁層 1 7 上に設けられた透明導電膜から形成された透明電極である。本実施形態では、各端子部の上部接続部 1 9 g、1 9 s および 1 9 p は、同じ透明導電膜から形成されている。

[0092] 本実施形態では、第 2 絶縁層 1 7 を形成した後のエッチング工程により、各端子部のコンタクトホール C H 2、C H 3、C H 4 を同時に形成することができるという利点がある。詳細な製造プロセスは後述する。

[0093] < T F T 基板 1 0 1 の製造方法 >

 T F T 基板 1 0 1 は、例えば以下の方法で製造され得る。図 5 は、T F T 基板 1 0 1 の製造工程を例示する図である。

[0094] まず、誘電体基板上に、金属膜（例えば T i 膜）を形成し、これをパターニングすることにより、アライメントマーク 2 1 を形成する。誘電体基板としては、例えばガラス基板、耐熱性を有するプラスチック基板（樹脂基板）などを用いることができる。次いで、アライメントマーク 2 1 を覆うように、下地絶縁膜 2 を形成する。下地絶縁膜 2 として、例えば S i O₂ 膜を用いる。

[0095] 続いて、下地絶縁膜 2 上に、ゲート電極 3 およびゲートバスライン G L を含むゲートメタル層を形成する。

[0096] ゲート電極 3 は、ゲートバスライン G L と一体的に形成され得る。ここでは、誘電体基板上に、スパッタ法などによって、図示しないゲート用導電膜

(厚さ：例えば50nm以上500nm以下)を形成する。次いで、ゲート用導電膜をパターニングすることにより、ゲート電極3およびゲートバスラインGLを得る。ゲート用導電膜の材料は特に限定しない。アルミニウム(AI)、タングステン(W)、モリブデン(Mo)、タンタル(Ta)、クロム(Cr)、チタン(Ti)、銅(Cu)等の金属またはその合金、若しくはその金属窒化物を含む膜を適宜用いることができる。ここでは、ゲート用導電膜として、MoN(厚さ：例えば50nm)、Al(厚さ：例えば200nm)およびMoN(厚さ：例えば50nm)をこの順で積層した積層膜を形成する。

[0097] 次いで、ゲートメタル層を覆うようにゲート絶縁層4を形成する。ゲート絶縁層4は、CVD法等によって形成され得る。ゲート絶縁層4としては、酸化珪素(SiO_2)層、窒化珪素(SiN_x)層、酸化窒化珪素(SiO_xN_y ; $x > y$)層、窒化酸化珪素(SiN_xO_y ; $x > y$)層等を適宜用いることができる。ゲート絶縁層4は積層構造を有していてもよい。ここでは、ゲート絶縁層4として、 SiN_x 層(厚さ：例えば410nm)を形成する。

[0098] 次いで、ゲート絶縁層4上に半導体層5およびコンタクト層を形成する。ここでは、真性アモルファスシリコン膜(厚さ：例えば125nm)および n^+ 型アモルファスシリコン膜(厚さ：例えば65nm)をこの順で形成し、パターニングすることにより、島状の半導体層5およびコンタクト層を得る。半導体層5に用いる半導体膜はアモルファスシリコン膜に限定されない。例えば、半導体層5として酸化物半導体層を形成してもよい。この場合には、半導体層5とソース・ドレイン電極との間にコンタクト層を設けなくてもよい。

[0099] 次いで、ゲート絶縁層4上およびコンタクト層上にソース用導電膜(厚さ：例えば50nm以上500nm以下)を形成し、これをパターニングすることによって、ソース電極7S、ドレイン電極7DおよびソースバスラインSLを含むソースメタル層を形成する。このとき、コンタクト層もエッチン

グされ、互いに分離されたソースコンタクト層 6 S とドレインコンタクト層 6 D とが形成される。

[0100] ソース用導電膜の材料は特に限定しない。アルミニウム (Al)、タングステン (W)、モリブデン (Mo)、タンタル (Ta)、クロム (Cr)、チタン (Ti)、銅 (Cu) 等の金属またはその合金、若しくはその金属窒化物を含む膜を適宜用いることができる。ここでは、ソース用導電膜として、MoN (厚さ：例えば 30 nm)、Al (厚さ：例えば 200 nm) および MoN (厚さ：例えば 50 nm) をこの順で積層した積層膜を形成する。なお、代わりに、ソース用導電膜として、Ti (厚さ：例えば 30 nm)、MoN (厚さ：例えば 30 nm)、Al (厚さ：例えば 200 nm) および MoN (厚さ：例えば 50 nm) をこの順で積層した積層膜を形成してもよい。

[0101] ここでは、例えば、スパッタ法でソース用導電膜を形成し、ウェットエッチングによりソース用導電膜のパターニング (ソース・ドレイン分離) を行う。この後、例えばドライエッチングにより、コンタクト層のうち、半導体層 5 のチャネル領域となる領域上に位置する部分を除去してギャップ部を形成し、ソースコンタクト層 6 S およびドレインコンタクト層 6 D とに分離する。このとき、ギャップ部において、半導体層 5 の表面近傍もエッチングされる (オーバーエッチング)。

[0102] なお、例えばソース用導電膜として Ti 膜および Al 膜をこの順で積層した積層膜を用いる場合には、例えばリン酸酢酸硝酸水溶液を用いて、ウェットエッチングで Al 膜のパターニングを行った後、ドライエッチングで Ti 膜およびコンタクト層 (n^+ 型アモルファスシリコン層) 6 を同時にパターニングしてもよい。あるいは、ソース用導電膜およびコンタクト層を一括してエッチングすることも可能である。ただし、ソース用導電膜またはその下層とコンタクト層 6 とを同時にエッチングする場合には、基板全体における半導体層 5 のエッチング量 (ギャップ部の掘れ量) の分布の制御が困難となる場合がある。これに対し、上述したように、ソース・ドレイン分離とギャッ

プ部の形成と別個のエッチング工程で行うと、ギャップ部のエッチング量をより容易に制御できる。

[0103] 次に、TFT10を覆うように第1絶縁層11を形成する。この例では、第1絶縁層11は、半導体層5のチャネル領域と接するように配置される。また、公知のフォトリソグラフィにより、第1絶縁層11に、ドレイン電極7Dに達するコンタクトホールCH1を形成する。

[0104] 第1絶縁層11は、例えば、酸化珪素(SiO_2)膜、窒化珪素(SiN_x)膜、酸化窒化珪素(SiO_xN_y ; $x > y$)膜、窒化酸化珪素(SiN_xO_y ; $x > y$)膜等の無機絶縁層であってもよい。ここでは、第1絶縁層11として、例えばCVD法により、厚さが例えば330nmの SiN_x 層を形成する。

[0105] 次いで、第1絶縁層11上およびコンタクトホールCH1内にパッチ用導電膜を形成し、これをパターニングする。これにより、送受信領域R1にパッチ電極15を形成し、非送受信領域R2にパッチ接続部15pを形成する。パッチ電極15は、コンタクトホールCH1内でドレイン電極7Dと接する。なお、本明細書では、パッチ用導電膜から形成された、パッチ電極15、パッチ接続部15pを含む層を「パッチメタル層」と呼ぶことがある。

[0106] パッチ用導電膜の材料として、ゲート用導電膜またはソース用導電膜と同様の材料が用いられ得る。ただし、パッチ用導電膜は、ゲート用導電膜およびソース用導電膜よりも厚くなるように設定される。これにより、電磁波の透過率を低く抑えること、パッチ電極のシート抵抗を低減させることで、パッチ電極内の自由電子の振動が熱に変わるロスを低減させることが可能になる。パッチ用導電膜の好適な厚さは、例えば、1 μm 以上30 μm 以下である。これよりも薄いと、電磁波の透過率が30%程度となり、シート抵抗が0.03 Ω/sq 以上となり、ロスが大きくなるという問題が生じる可能性があり、厚いとスロットのパターニング性が悪化するという問題が生じる可能性がある。

[0107] ここでは、パッチ用導電膜として、MoN（厚さ：例えば50nm）、A

Al（厚さ：例えば1000nm）およびMoN（厚さ：例えば50nm）をこの順で積層した積層膜（MoN／Al／MoN）を形成する。なお、代わりに、Ti（厚さ：例えば50nm）、MoN（厚さ：例えば50nm）、Al（厚さ：例えば2000nm）およびMoN（厚さ：例えば50nm）をこの順で積層した積層膜（MoN／Al／MoN／Ti）を形成してもよい。あるいは、代わりに、Ti（厚さ：例えば50nm）、MoN（厚さ：例えば50nm）、Al（厚さ：例えば500nm）およびMoN（厚さ：例えば50nm）をこの順で積層した積層膜（MoN／Al／MoN／Ti）を形成してもよい。または、Ti膜、Cu膜およびTi膜をこの順で積層した積層膜（Ti／Cu／Ti）、あるいは、Ti膜およびCu膜をこの順で積層した積層膜（Cu／Ti）を用いてもよい。

[0108] 次いで、パッチ電極15および第1絶縁層11上に第2絶縁層（厚さ：例えば100nm以上300nm以下）17を形成する。第2絶縁層17としては、特に限定されず、例えば酸化珪素（SiO₂）膜、窒化珪素（SiN_x）膜、酸化窒化珪素（SiO_xN_y；x>y）膜、窒化酸化珪素（SiN_xO_y；x>y）膜等を適宜用いることができる。ここでは、第2絶縁層17として、例えば厚さ200nmのSiN_x層を形成する。

[0109] この後、例えばフッ素系ガスを用いたドライエッチングにより、無機絶縁膜（第2絶縁層17、第1絶縁層11およびゲート絶縁層4）を一括してエッチングする。エッチングでは、パッチ電極15、ソースバスラインSLおよびゲートバスラインGLはエッチストップとして機能する。これにより、第2絶縁層17、第1絶縁層11およびゲート絶縁層4に、ゲートバスラインGLに達するコンタクトホールCH2が形成され、第2絶縁層17および第1絶縁層11に、ソースバスラインSLに達するコンタクトホールCH3が形成される。また、第2絶縁層17に、パッチ接続部15pに達するコンタクトホールCH4が形成される。

[0110] この例では、無機絶縁膜を一括してエッチングするため、得られたコンタクトホールCH2の側壁では、第2絶縁層17、第1絶縁層11およびゲー

ト絶縁層 4 の側面が整合し、コンタクトホール C H 3 の側壁では、第 2 絶縁層 1 7 および第 1 絶縁層 1 1 の側壁が整合する。なお、本明細書において、コンタクトホール内において、異なる 2 以上の層の「側面が整合する」とは、これらの層におけるコンタクトホール内に露出した側面が、垂直方向に面一である場合のみでなく、連続してテーパ形状などの傾斜面を構成する場合をも含む。このような構成は、例えば、同一のマスクを用いてこれらの層をエッチングする、あるいは、一方の層をマスクとして他方の層のエッチングを行うこと等によって得られる。

[0111] 次に、第 2 絶縁層 1 7 上、およびコンタクトホール C H 2、C H 3、C H 4 内に、例えばスパッタ法により透明導電膜（厚さ：50 nm 以上 200 nm 以下）を形成する。透明導電膜として、例えば I T O（インジウム・錫酸化物）膜、I Z O 膜、Z n O 膜（酸化亜鉛膜）などを用いることができる。ここでは、透明導電膜として、厚さが例えば 100 nm の I T O 膜を用いる。

[0112] 次いで、透明導電膜をパターニングすることにより、ゲート端子用上部接続部 1 9 g、ソース端子用上部接続部 1 9 s およびトランスファー端子用上部接続部 1 9 p を形成する。ゲート端子用上部接続部 1 9 g、ソース端子用上部接続部 1 9 s およびトランスファー端子用上部接続部 1 9 p は、各端子部で露出した電極または配線を保護するために用いられる。このようにして、ゲート端子部 G T、ソース端子部 S T およびトランスファー端子部 P T が得られる。

[0113] <スロット基板 2 0 1 の構造>

次いで、スロット基板 2 0 1 の構造をより具体的に説明する。

[0114] 図 6 は、スロット基板 2 0 1 におけるアンテナ単位領域 U および端子部 I T を模式的に示す断面図である。

[0115] スロット基板 2 0 1 は、表面および裏面を有する誘電体基板 5 1 と、誘電体基板 5 1 の表面に形成された第 3 絶縁層 5 2 と、第 3 絶縁層 5 2 上に形成されたスロット電極 5 5 と、スロット電極 5 5 を覆う第 4 絶縁層 5 8 とを備

える。反射導電板 65 が誘電体基板 51 の裏面に誘電体層（空気層）54 を介して対向するように配置されている。スロット電極 55 および反射導電板 65 は導波路 301 の壁として機能する。

[0116] 送受信領域 R1 において、スロット電極 55 には複数のスロット 57 が形成されている。スロット 57 はスロット電極 55 を貫通する開口である。この例では、各アンテナ単位領域 U に 1 個のスロット 57 が配置されている。

[0117] 第 4 絶縁層 58 は、スロット電極 55 上およびスロット 57 内に形成されている。第 4 絶縁層 58 の材料は、第 3 絶縁層 52 の材料と同じであってもよい。第 4 絶縁層 58 でスロット電極 55 を覆うことにより、スロット電極 55 と液晶層 LC とが直接接触しないので、信頼性を高めることができる。スロット電極 55 が Cu 層で形成されていると、Cu が液晶層 LC に溶出することがある。また、スロット電極 55 を薄膜堆積技術を用いて Al 層で形成すると、Al 層にボイドが含まれることがある。第 4 絶縁層 58 は、Al 層のボイドに液晶材料が侵入するのを防止することができる。なお、Al 層をアルミ箔を接着材により誘電体基板 51 に貼り付け、これをパターニングすることによってスロット電極 55 を作製すれば、ボイドの問題を回避できる。

[0118] スロット電極 55 は、Cu 層、Al 層などの主層 55M を含む。スロット電極 55 は、主層 55M と、それを挟むように配置された上層 55U および下層 55L とを含む積層構造を有していてもよい。主層 55M の厚さは、材料に応じて表皮効果を考慮して設定され、例えば $2\mu\text{m}$ 以上 $30\mu\text{m}$ 以下であってもよい。主層 55M の厚さは、典型的には上層 55U および下層 55L の厚さよりも大きい。

[0119] 図示する例では、主層 55M は Cu 層、上層 55U および下層 55L は Ti 層である。主層 55M と第 3 絶縁層 52 との間に下層 55L を配置することにより、スロット電極 55 と第 3 絶縁層 52 との密着性を向上できる。また、上層 55U を設けることにより、主層 55M（例えば Cu 層）の腐食を抑制できる。

[0120] 反射導電板 65 は、導波路 301 の壁を構成するので、表皮深さの 3 倍以上、好ましくは 5 倍以上の厚さを有することが好ましい。反射導電板 65 は、例えば、削り出しによって作製された厚さが数 mm のアルミニウム板、銅板などを用いることができる。

[0121] 非送受信領域 R2 には、端子部 1T が設けられている。端子部 1T は、スロット電極 55 と、スロット電極 55 を覆う第 4 絶縁層 58 と、上部接続部 60 とを備える。第 4 絶縁層 58 は、スロット電極 55 に達する開口を有している。上部接続部 60 は、開口内でスロット電極 55 に接している。本実施形態では、端子部 1T は、シール領域 Rs 内に配置され、導電性粒子を含有するシール樹脂によって、TF T 基板におけるトランスファー端子部と接続される（トランスファー部）。

・トランスファー部

図 7 は、TF T 基板 101 のトランスファー端子部 PT と、スロット基板 201 の端子部 1T とを接続するトランスファー部を説明するための模式的な断面図である。図 7 では、図 1 ～図 4 と同様の構成要素には同じ参照符号を付している。

[0122] トランスファー部では、端子部 1T の上部接続部 60 は、TF T 基板 101 におけるトランスファー端子部 PT のトランスファー端子用上部接続部 19p と電氣的に接続される。本実施形態では、上部接続部 60 とトランスファー端子用上部接続部 19p とを、導電性ビーズ 71 を含む樹脂（シール樹脂）73（「シール部 73」ということもある。）を介して接続する。

[0123] 上部接続部 60、19p は、いずれも、ITO 膜、IZO 膜などの透明導電層であり、その表面に酸化膜が形成される場合がある。酸化膜が形成されると、透明導電層同士の電氣的な接続が確保できず、コンタクト抵抗が高くなる可能性がある。これに対し、本実施形態では、導電性ビーズ（例えば Au ビーズ）71 を含む樹脂を介して、これらの透明導電層を接着させるので、表面酸化膜が形成されていても、導電性ビーズが表面酸化膜を突き破る（貫通する）ことにより、コンタクト抵抗の増大を抑えることが可能である。

導電性ビーズ 71 は、表面酸化膜だけでなく、透明導電層である上部接続部 60、19p をも貫通し、パッチ接続部 15p およびスロット電極 55 に直接接合していてもよい。

[0124] トランスファ部は、走査アンテナ 1000 の中心部および周縁部（すなわち、走査アンテナ 1000 の法線方向から見たとき、ドーナツ状の送受信領域 R1 の内側および外側）の両方に配置されていてもよいし、いずれか一方のみに配置されていてもよい。トランスファ部は、液晶を封入するシール領域 R_s 内に配置されていてもよいし、シール領域 R_s の外側（液晶層と反対側）に配置されていてもよい。

[0125] <スロット基板 201 の製造方法>

スロット基板 201 は、例えば以下の方法で製造され得る。

[0126] まず、誘電体基板上に第 3 絶縁層（厚さ：例えば 200 nm）52 を形成する。誘電体基板としては、ガラス基板、樹脂基板などの、電磁波に対する透過率の高い（誘電率 ϵ_M および誘電損失 $\tan \delta_M$ が小さい）基板を用いることができる。誘電体基板は電磁波の減衰を抑制するために薄い方が好ましい。例えば、ガラス基板の表面に後述するプロセスでスロット電極 55 などの構成要素を形成した後、ガラス基板を裏面側から薄板化してもよい。これにより、ガラス基板の厚さを例えば 500 μm 以下に低減できる。

[0127] 誘電体基板として樹脂基板を用いる場合、TF T 等の構成要素を直接、樹脂基板上に形成してもよいし、転写法を用いて樹脂基板上に形成してもよい。転写法によると、例えば、ガラス基板上に樹脂膜（例えばポリイミド膜）を形成し、樹脂膜上に後述するプロセスで構成要素を形成した後、構成要素が形成された樹脂膜とガラス基板とを分離させる。一般に、ガラスよりも樹脂の方が誘電率 ϵ_M および誘電損失 $\tan \delta_M$ が小さい。樹脂基板の厚さは、例えば、3 μm ~ 300 μm である。樹脂材料としては、ポリイミドの他、例えば、液晶高分子を用いることもできる。

[0128] 第 3 絶縁層 52 としては、特に限定しないが、例えば酸化珪素 (SiO_2) 膜、窒化珪素 (SiN_x) 膜、酸化窒化珪素 (SiO_xN_y ; $x > y$) 膜、

窒化酸化珪素 (SiN_xO_y ; $x > y$) 膜等を適宜用いることができる。

[0129] 次いで、第3絶縁層52の上に金属膜を形成し、これをパターニングすることによって、複数のスロット57を有するスロット電極55を得る。金属膜としては、厚さが $2\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ のCu膜（またはAl膜）を用いてもよい。ここでは、Ti膜、Cu膜およびTi膜をこの順で積層した積層膜を用いる。なお、代わりに、Ti（厚さ：例えば50nm）およびCu（厚さ：例えば5000nm）をこの順で積層した積層膜を形成してもよい。

[0130] この後、スロット電極55上およびスロット57内に第4絶縁層（厚さ：例えば100nmまたは200nm）58を形成する。第4絶縁層58の材料は、第3絶縁層の材料と同じであってもよい。この後、非送受信領域R2において、第4絶縁層58に、スロット電極55に達する開口部を形成する。

[0131] 次いで、第4絶縁層58上および第4絶縁層58の開口部内に透明導電膜を形成し、これをパターニングすることにより、開口部内でスロット電極55と接する上部接続部60を形成する。これにより、端子部ITを得る。

[0132] <TF T10の材料および構造>

本実施形態では、各画素に配置されるスイッチング素子として、半導体層5を活性層とするTF Tが用いられる。半導体層5はアモルファスシリコン層に限定されず、ポリシリコン層、酸化物半導体層であってもよい。

[0133] 酸化物半導体層を用いる場合、酸化物半導体層に含まれる酸化物半導体は、アモルファス酸化物半導体であってもよいし、結晶質部分を有する結晶質酸化物半導体であってもよい。結晶質酸化物半導体としては、多結晶酸化物半導体、微結晶酸化物半導体、c軸が層面に概ね垂直に配向した結晶質酸化物半導体などが挙げられる。

[0134] 酸化物半導体層は、2層以上の積層構造を有していてもよい。酸化物半導体層が積層構造を有する場合には、酸化物半導体層は、非晶質酸化物半導体層と結晶質酸化物半導体層とを含んでいてもよい。あるいは、結晶構造の異なる複数の結晶質酸化物半導体層を含んでいてもよい。また、複数の非晶質

酸化物半導体層を含んでいてもよい。酸化物半導体層が上層と下層とを含む2層構造を有する場合、上層に含まれる酸化物半導体のエネルギーギャップは、下層に含まれる酸化物半導体のエネルギーギャップよりも大きいことが好ましい。ただし、これらの層のエネルギーギャップの差が比較的小さい場合には、下層の酸化物半導体のエネルギーギャップが上層の酸化物半導体のエネルギーギャップよりも大きくてもよい。

[0135] 非晶質酸化物半導体および上記の各結晶質酸化物半導体の材料、構造、成膜方法、積層構造を有する酸化物半導体層の構成などは、例えば特開2014-007399号公報に記載されている。参考のために、特開2014-007399号公報の開示内容の全てを本明細書に援用する。

[0136] 酸化物半導体層は、例えば、In、GaおよびZnのうち少なくとも1種の金属元素を含んでもよい。本実施形態では、酸化物半導体層は、例えば、In-Ga-Zn-O系の半導体（例えば酸化インジウムガリウム亜鉛）を含む。ここで、In-Ga-Zn-O系の半導体は、In（インジウム）、Ga（ガリウム）、Zn（亜鉛）の三元系酸化物であって、In、GaおよびZnの割合（組成比）は特に限定されず、例えばIn:Ga:Zn=2:2:1、In:Ga:Zn=1:1:1、In:Ga:Zn=1:1:2等を含む。このような酸化物半導体層は、In-Ga-Zn-O系の半導体を含む酸化物半導体膜から形成され得る。なお、In-Ga-Zn-O系の半導体等、酸化物半導体を含む活性層を有するチャネルエッチ型のTFETを、「CE-OS-TFET」と呼ぶことがある。

[0137] In-Ga-Zn-O系の半導体は、アモルファスでもよいし、結晶質でもよい。結晶質In-Ga-Zn-O系の半導体としては、c軸が層面に概ね垂直に配向した結晶質In-Ga-Zn-O系の半導体が好ましい。

[0138] なお、結晶質In-Ga-Zn-O系の半導体の結晶構造は、例えば、上述した特開2014-007399号公報、特開2012-134475号公報、特開2014-209727号公報などに開示されている。参考のために、特開2012-134475号公報および特開2014-20972

7号公報の開示内容の全てを本明細書に援用する。 In-Ga-Zn-O 系半導体層を有するTFTは、高い移動度（ a-SiTFT に比べ20倍超）および低いリーク電流（ a-SiTFT に比べ100分の1未満）を有しているので、駆動TFT（例えば、非送受信領域に設けられる駆動回路に含まれるTFT）および各アンテナ単位領域に設けられるTFTとして好適に用いられる。

[0139] 酸化物半導体層は、 In-Ga-Zn-O 系半導体の代わりに、他の酸化物半導体を含んでいてもよい。例えば In-Sn-Zn-O 系半導体（例えば $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2\text{-ZnO}$ ； InSnZnO ）を含んでもよい。 In-Sn-Zn-O 系半導体は、 In （インジウム）、 Sn （スズ）および Zn （亜鉛）の三元系酸化物である。あるいは、酸化物半導体層は、 In-Al-Zn-O 系半導体、 In-Al-Sn-Zn-O 系半導体、 Zn-O 系半導体、 In-Zn-O 系半導体、 Zn-Ti-O 系半導体、 Cd-Ge-O 系半導体、 Cd-Pb-O 系半導体、 CdO （酸化カドミウム）、 Mg-Zn-O 系半導体、 In-Ga-Sn-O 系半導体、 In-Ga-O 系半導体、 Zr-In-Zn-O 系半導体、 Hf-In-Zn-O 系半導体、 Al-Ga-Zn-O 系半導体、 Ga-Zn-O 系半導体などを含んでいてもよい。

[0140] 図3に示す例では、TFT10は、ボトムゲート構造を有するチャネルエッチ型のTFTである。「チャネルエッチ型のTFT」では、チャネル領域上にエッチストップ層が形成されておらず、ソースおよびドレイン電極のチャネル側の端部下面は、半導体層の上面と接するように配置されている。チャネルエッチ型のTFTは、例えば半導体層上にソース・ドレイン電極用の導電膜を形成し、ソース・ドレイン分離を行うことによって形成される。ソース・ドレイン分離工程において、チャネル領域の表面部分がエッチングされる場合がある。

[0141] なお、TFT10は、チャネル領域上にエッチストップ層が形成されたエッチストップ型TFTであってもよい。エッチストップ型TFTでは、ソースおよびドレイン電極のチャネル側の端部下面は、例えばエッチストップ層

上に位置する。エッチストップ型のTF Tは、例えば半導体層のうちチャネル領域となる部分を覆うエッチストップ層を形成した後、半導体層およびエッチストップ層上にソース・ドレイン電極用の導電膜を形成し、ソース・ドレイン分離を行うことによって形成される。

[0142] また、TF T 1 0は、ソースおよびドレイン電極が半導体層の上面と接するトップコンタクト構造を有するが、ソースおよびドレイン電極は半導体層の下面と接するように配置されていてもよい（ボトムコンタクト構造）。さらに、TF T 1 0は、半導体層の誘電体基板側にゲート電極を有するボトムゲート構造であってもよいし、半導体層の上方にゲート電極を有するトップゲート構造であってもよい。

[0143] （第2の実施形態）

図面を参照しながら、第2の実施形態の走査アンテナを説明する。本実施形態の走査アンテナにおけるTF T基板は、各端子部の上部接続部となる透明導電層が、TF T基板における第1絶縁層と第2絶縁層との間に設けられている点で、図2に示すTF T基板1 0 1と異なる。

[0144] 図8（a）～（c）は、それぞれ、本実施形態におけるTF T基板1 0 2のゲート端子部GT、ソース端子部STおよびトランスファー端子部PTを示す断面図である。図4と同様の構成要素には同じ参照符号を付し、説明を省略する。なお、アンテナ単位領域Uの断面構造は前述の実施形態（図3）と同様であるので図示および説明を省略する。

[0145] 本実施形態におけるゲート端子部GTは、誘電体基板上に形成されたゲートバスラインGL、ゲートバスラインGLを覆う絶縁層、およびゲート端子用上部接続部1 9 gを備えている。ゲート端子用上部接続部1 9 gは、絶縁層に形成されたコンタクトホールCH 2内で、ゲートバスラインGLと接している。この例では、ゲートバスラインGLを覆う絶縁層は、ゲート絶縁層4および第1絶縁層1 1を含む。ゲート端子用上部接続部1 9 gおよび第1絶縁層1 1上には第2絶縁層1 7が形成されている。第2絶縁層1 7は、ゲート端子用上部接続部1 9 gの一部を露出する開口部1 8 gを有している。

この例では、第2絶縁層17の開口部18gは、コンタクトホールCH2全体を露出するように配置されていてもよい。

[0146] ソース端子部STは、誘電体基板上（ここではゲート絶縁層4上）に形成されたソースバスラインSL、ソースバスラインSLを覆う絶縁層、およびソース端子用上部接続部19sを備えている。ソース端子用上部接続部19sは、絶縁層に形成されたコンタクトホールCH3内で、ソースバスラインSLと接している。この例では、ソースバスラインSLを覆う絶縁層は、第1絶縁層11のみを含む。第2絶縁層17は、ソース端子用上部接続部19sおよび第1絶縁層11上に延設されている。第2絶縁層17は、ソース端子用上部接続部19sの一部を露出する開口部18sを有している。第2絶縁層17の開口部18sは、コンタクトホールCH3全体を露出するように配置されていてもよい。

[0147] トランスファァー端子部PTは、ソースバスラインSLと同じ導電膜（ソース用導電膜）から形成されたソース接続配線7pと、ソース接続配線7p上に延設された第1絶縁層11と、第1絶縁層11上に形成されたトランスファァー端子用上部接続部19pおよびパッチ接続部15pとを有している。

[0148] 第1絶縁層11には、ソース接続配線7pを露出するコンタクトホールCH5およびCH6が設けられている。トランスファァー端子用上部接続部19pは、第1絶縁層11上およびコンタクトホールCH5内に配置され、コンタクトホールCH5内で、ソース接続配線7pと接している。パッチ接続部15pは、第1絶縁層11上およびコンタクトホールCH6内に配置され、コンタクトホールCH6内でソース接続配線7pと接している。トランスファァー端子用上部接続部19pは、透明導電膜から形成された透明電極である。パッチ接続部15pは、パッチ電極15と同じ導電膜から形成されている。なお、各端子部の上部接続部19g、19sおよび19pは、同じ透明導電膜から形成されていてもよい。

[0149] 第2絶縁層17は、トランスファァー端子用上部接続部19p、パッチ接続部15pおよび第1絶縁層11上に延設されている。第2絶縁層17は、ト

ランスファ端子用上部接続部 19 p の一部を露出する開口部 18 p を有している。この例では、第 2 絶縁層 17 の開口部 18 p は、コンタクトホール CH5 全体を露出するように配置されている。一方、パッチ接続部 15 p は、第 2 絶縁層 17 で覆われている。

[0150] このように、本実施形態では、ソースメタル層に形成されたソース接続配線 7 p によって、ランスファ端子部 P T のランスファ端子用上部接続部 19 p と、パッチ接続部 15 p とを電氣的に接続している。図示していないが、前述の実施形態と同様に、ランスファ端子用上部接続部 19 p は、スロット基板 201 におけるスロット電極と、導電性粒子を含有するシール樹脂によって接続される。

[0151] 前述した実施形態では、第 2 絶縁層 17 の形成後に、深さが異なるコンタクトホール CH1 ~ CH4 を一括して形成する。例えばゲート端子部 G T 上では、比較的厚い絶縁層（ゲート絶縁層 4、第 1 絶縁層 11 および第 2 絶縁層 17）をエッチングするのに対し、ランスファ端子部 P T では、第 2 絶縁層 17 のみをエッチングする。このため、浅いコンタクトホールの下地となる導電膜（例えばパッチ電極用導電膜）がエッチング時に大きなダメージを受ける可能性がある。

[0152] これに対し、本実施形態では、第 2 絶縁層 17 を形成する前にコンタクトホール CH1 ~ 3、CH5、CH6 を形成する。これらのコンタクトホールは第 1 絶縁層 11 のみ、または第 1 絶縁層 11 およびゲート絶縁層 4 の積層膜に形成されるので、前述の実施形態よりも、一括形成されるコンタクトホールの深さの差を低減できる。したがって、コンタクトホールの下地となる導電膜へのダメージを低減できる。特に、パッチ電極用導電膜に A I 膜を用いる場合には、I T O 膜と A I 膜とを直接接触させると良好なコンタクトが得られないことから、A I 膜の上層に M o N 層などのキャップ層を形成することがある。このような場合に、エッチングの際のダメージを考慮してキャップ層の厚さを大きくする必要がないので有利である。

[0153] < T F T 基板 102 の製造方法 >

TFT基板102は、例えば次のような方法で製造される。図9は、TFT基板102の製造工程を例示する図である。なお、以下では、各層の材料、厚さ、形成方法などが、前述したTFT基板101と同様である場合には説明を省略する。

[0154] まず、TFT基板102と同様の方法で、誘電体基板上に、アライメントマーク、下地絶縁層、ゲート金属層、ゲート絶縁層、半導体層、コンタクト層およびソース金属層を形成し、TFTを得る。ソース金属層を形成する工程では、ソース用導電膜から、ソースおよびドレイン電極、ソースバスラインに加えて、ソース接続配線7pも形成する。

[0155] 次に、ソース金属層を覆うように第1絶縁層11を形成する。この後、第1絶縁層11およびゲート絶縁層4を一括してエッチングし、コンタクトホールCH1～3、CH5、CH6を形成する。エッチングでは、ソースバスラインSLおよびゲートバスラインGLはエッチストップとして機能する。これにより、送受信領域R1において、第1絶縁層11に、TFTのドレイン電極に達するコンタクトホールCH1が形成される。また、非送受信領域R2において、第1絶縁層11およびゲート絶縁層4に、ゲートバスラインGLに達するコンタクトホールCH2、第1絶縁層11に、ソースバスラインSLに達するコンタクトホールCH3およびソース接続配線7pに達するコンタクトホールCH5、CH6が形成される。コンタクトホールCH5をシール領域Rsに配置し、コンタクトホールCH6をシール領域Rsの外側に配置してもよい。あるいは、両方ともシール領域Rsの外部に配置してもよい。

[0156] 次に、第1絶縁層11上およびコンタクトホールCH1～3、CH5、CH6に透明導電膜を形成し、これをパターニングする。これにより、コンタクトホールCH2内でゲートバスラインGLと接するゲート端子用上部接続部19g、コンタクトホールCH3内でソースバスラインSLと接するソース端子用上部接続部19s、およびコンタクトホールCH5内でソース接続配線7pと接するトランスファ端子用上部接続部19pを形成する。

[0157] 次に、第1絶縁層11上、ゲート端子用上部接続部19g、ソース端子用上部接続部19s、トランスファ端子用上部接続部19p上、およびコンタクトホールCH1、CH6内に、パッチ電極用導電膜を形成し、パターニングを行う。これにより、送受信領域R1に、コンタクトホールCH1内でドレイン電極7Dと接するパッチ電極15、非送受信領域R2に、コンタクトホールCH6内でソース接続配線7pと接するパッチ接続部15pを形成する。パッチ電極用導電膜のパターニングは、ウェットエッチングによって行ってもよい。ここでは、透明導電膜（ITOなど）とパッチ電極用導電膜（例えばAl膜）とのエッチング選択比を大きくできるエッチャントを用いる。これにより、パッチ電極用導電膜のパターニングの際に、透明導電膜をエッチストップとして機能させることができる。ソースバスラインSL、ゲートバスラインGLおよびソース接続配線7pのうちコンタクトホールCH2、CH3、CH5で露出された部分は、エッチストップ（透明導電膜）で覆われているため、エッチングされない。

[0158] 続いて、第2絶縁層17を形成する。この後、例えばフッ素系ガスを用いたドライエッチングにより、第2絶縁層17のパターニングを行う。これにより、第2絶縁層17に、ゲート端子用上部接続部19gを露出する開口部18g、ソース端子用上部接続部19sを露出する開口部18sおよびトランスファ端子用上部接続部19pを露出する開口部18pを設ける。このようにして、TF T基板102を得る。

[0159] （第3の実施形態）

図面を参照しながら、第3の実施形態の走査アンテナを説明する。本実施形態の走査アンテナにおけるTF T基板は、透明導電膜からなる上部接続部をトランスファ端子部に設けない点で、図8に示すTF T基板102と異なる。

[0160] 図10（a）～（c）は、それぞれ、本実施形態におけるTF T基板103のゲート端子部GT、ソース端子部STおよびトランスファ端子部PTを示す断面図である。図8と同様の構成要素には同じ参照符号を付し、説明

を省略する。なお、アンテナ単位領域Uの構造は前述の実施形態（図3）と同様であるので図示および説明を省略する。

[0161] ゲート端子部GTおよびソース端子部STの構造は、図8に示すTF T基板102のゲート端子部およびソース端子部の構造と同様である。

[0162] トランスファ端子部PTは、第1絶縁層11上に形成されたパッチ接続部15pと、パッチ接続部15p上に積み重ねられた保護導電層23とを有している。第2絶縁層17は、保護導電層23上に延設され、保護導電層23の一部を露出する開口部18pを有している。一方、パッチ電極15は、第2絶縁層17で覆われている。

[0163] <TF T基板103の製造方法>

TF T基板103は、例えば次のような方法で製造される。図11は、TF T基板103の製造工程を例示する図である。なお、以下では、各層の材料、厚さ、形成方法などが、前述したTF T基板101と同様である場合には説明を省略する。

[0164] まず、TF T基板101と同様の方法で、誘電体基板上に、アライメントマーク、下地絶縁層、ゲートメタル層、ゲート絶縁層、半導体層、コンタクト層およびソースメタル層を形成し、TF Tを得る。

[0165] 次に、ソースメタル層を覆うように第1絶縁層11を形成する。この後、第1絶縁層11およびゲート絶縁層4を一括してエッチングし、コンタクトホールCH1～3を形成する。エッチングでは、ソースバスラインSLおよびゲートバスラインGLはエッチストップとして機能する。これにより、第1絶縁層11に、TF Tのドレイン電極に達するコンタクトホールCH1が形成されるとともに、第1絶縁層11およびゲート絶縁層4に、ゲートバスラインGLに達するコンタクトホールCH2が形成され、第1絶縁層11に、ソースバスラインSLに達するコンタクトホールCH3が形成される。トランスファ端子部が形成される領域にはコンタクトホールを形成しない。

[0166] 次いで、第1絶縁層11上およびコンタクトホールCH1、CH2、CH3内に透明導電膜を形成し、これをパターニングする。これにより、コンタ

クトホールCH2内でゲートバスラインGLと接するゲート端子用上部接続部19g、およびコンタクトホールCH3内でソースバスラインSLと接するソース端子用上部接続部19sを形成する。トランスファー端子部が形成される領域では、透明導電膜は除去される。

[0167] 次に、第1絶縁層11上、ゲート端子用上部接続部19gおよびソース端子用上部接続部19s上、およびコンタクトホールCH1内にパッチ電極用導電膜を形成し、パターニングを行う。これにより、送受信領域R1に、コンタクトホールCH1内でドレイン電極7Dと接するパッチ電極15を形成し、非送受信領域R2に、パッチ接続部15pを形成する。前述の実施形態と同様に、パッチ電極用導電膜のパターニングには、透明導電膜（ITOなど）とパッチ電極用導電膜とのエッチング選択比を確保できるエッチャントを用いる。

[0168] 続いて、パッチ接続部15p上に保護導電層23を形成する。保護導電層23として、Ti層、ITO層およびIZO（インジウム亜鉛酸化物）層など（厚さ：例えば50nm以上100nm以下）を用いることができる。ここでは、保護導電層23として、Ti層（厚さ：例えば50nm）を用いる。なお、保護導電層をパッチ電極15の上に形成してもよい。

[0169] 次いで、第2絶縁層17を形成する。この後、例えばフッ素系ガスを用いたドライエッチングにより、第2絶縁層17のパターニングを行う。これにより、第2絶縁層17に、ゲート端子用上部接続部19gを露出する開口部18g、ソース端子用上部接続部19sを露出する開口部18s、および保護導電層23を露出する開口部18pを設ける。このようにして、TF基板103を得る。

[0170] <スロット基板203の構造>

図12は、本実施形態における、TF基板103のトランスファー端子部PTと、スロット基板203の端子部ITとを接続するトランスファー部を説明するための模式的な断面図である。図12では、前述の実施形態と同様の構成要素には同じ参照符号を付している。

- [0171] まず、本実施形態におけるスロット基板203を説明する。スロット基板203は、誘電体基板51と、誘電体基板51の表面に形成された第3絶縁層52と、第3絶縁層52上に形成されたスロット電極55と、スロット電極55を覆う第4絶縁層58とを備える。反射導電板65が誘電体基板51の裏面に誘電体層（空気層）54を介して対向するように配置されている。スロット電極55および反射導電板65は導波路301の壁として機能する。
- [0172] スロット電極55は、Cu層またはAl層を主層55Mとする積層構造を有している。送受信領域R1において、スロット電極55には複数のスロット57が形成されている。送受信領域R1におけるスロット電極55の構造は、図6を参照しながら前述したスロット基板201の構造と同じである。
- [0173] 非送受信領域R2には、端子部ITが設けられている。端子部ITでは、第4絶縁層58に、スロット電極55の表面を露出する開口が設けられている。スロット電極55の露出した領域がコンタクト面55cとなる。このように、本実施形態では、スロット電極55のコンタクト面55cは、第4絶縁層58で覆われていない。
- [0174] トランスファ部では、TF基板103におけるパッチ接続部15pを覆う保護導電層23と、スロット基板203におけるスロット電極55のコンタクト面55cとを、導電性ビーズ71を含む樹脂（シール樹脂）を介して接続する。
- [0175] 本実施形態におけるトランスファ部は、前述の実施形態と同様に、走査アンテナの中心部および周縁部の両方に配置されていてもよいし、いずれか一方のみに配置されていてもよい。また、シール領域Rs内に配置されていてもよいし、シール領域Rsの外側（液晶層と反対側）に配置されていてもよい。
- [0176] 本実施形態では、トランスファ端子部PTおよび端子部ITのコンタクト面に透明導電膜を設けない。このため、保護導電層23と、スロット基板203のスロット電極55とを、導電性粒子を含有するシール樹脂を介して

接続させることができる。

[0177] また、本実施形態では、第1の実施形態（図3および図4）と比べて、一括形成されるコンタクトホールの深さの差が小さいので、コンタクトホールの下地となる導電膜へのダメージを低減できる。

[0178] <スロット基板203の製造方法>

スロット基板203は、次のようにして製造される。各層の材料、厚さおよび形成方法は、スロット基板201と同様であるので、説明を省略する。

[0179] まず、スロット基板201と同様の方法で、誘電体基板上に、第3絶縁層52およびスロット電極55を形成し、スロット電極55に複数のスロット57を形成する。次いで、スロット電極55上およびスロット内に第4絶縁層58を形成する。この後、スロット電極55のコンタクト面となる領域を露出するように、第4絶縁層58に開口部18pを設ける。このようにして、スロット基板203が製造される。

[0180] <内部ヒーター構造>

上述したように、アンテナのアンテナ単位に用いられる液晶材料の誘電異方性 $\Delta \epsilon_M$ は大きいことが好ましい。しかしながら、誘電異方性 $\Delta \epsilon_M$ が大きい液晶材料（ネマチック液晶）の粘度は大きく、応答速度が遅いという問題がある。特に、温度が低下すると、粘度は上昇する。移動体（例えば、船舶、航空機、自動車）に搭載された走査アンテナの環境温度は変動する。したがって、液晶材料の温度をある程度以上、例えば30℃以上、あるいは45℃以上に調整できることが好ましい。設定温度は、ネマチック液晶材料の粘度が概ね10cP（センチポアズ）以下となるように設定することが好ましい。

[0181] 本発明の実施形態の走査アンテナは、上記の構造に加えて、内部ヒーター構造を有することが好ましい。内部ヒーターとしては、ジュール熱を利用する抵抗加熱方式のヒーターが好ましい。ヒーター用の抵抗膜の材料としては、特に限定されないが、例えば、ITOやIZOなど比較的比抵抗の高い導電材料を用いることができる。また、抵抗値の調整のために、金属（例えば

、ニクロム、チタン、クロム、白金、ニッケル、アルミニウム、銅)の細線やメッシュで抵抗膜を形成してもよい。ITOやIZOなどの細線やメッシュを用いることもできる。求められる発熱量に応じて、抵抗値を設定すればよい。

[0182] 例えば、直径が340mmの円の面積(約90,000mm²)を100V交流(60Hz)で、抵抗膜の発熱温度を30℃にするためには、抵抗膜の抵抗値を139Ω、電流を0.7Aで、電力密度を800W/m²とすればよい。同じ面積を100V交流(60Hz)で、抵抗膜の発熱温度を45℃にするためには、抵抗膜の抵抗値を82Ω、電流を1.2Aで、電力密度を1350W/m²とすればよい。

[0183] ヒーター用の抵抗膜は、走査アンテナの動作に影響を及ぼさない限りどこに設けてもよいが、液晶材料を効率的に加熱するためには、液晶層の近くに設けることが好ましい。例えば、図13(a)に示すTF基板104に示す様に、誘電体基板1のほぼ全面に抵抗膜68を形成してもよい。図13(a)は、ヒーター用抵抗膜68を有するTF基板104の模式的な平面図である。抵抗膜68は、例えば、図3に示した下地絶縁膜2で覆われる。下地絶縁膜2は、十分な絶縁耐圧を有するように形成される。

[0184] 抵抗膜68は、開口部68a、68bおよび68cを有することが好ましい。TF基板104とスロット基板とが貼り合せられたとき、パッチ電極15と対向するようにスロット57が位置する。このときに、スロット57のエッジから距離dの周囲には抵抗膜68が存在しないよう開口部68aを配置する。dは例えば0.5mmである。また、補助容量CSの下部にも開口部68bを配置し、TFの下部にも開口部68cを配置することが好ましい。

[0185] なお、アンテナ単位Uのサイズは、例えば4mm×4mmである。また、図13(b)に示すように、例えば、スロット57の幅s2は0.5mm、スロット57の長さs1は3.3mm、スロット57の幅方向のパッチ電極15の幅p2は0.7mm、スロットの長さ方向のパッチ電極15の幅p1

は0.5 mmである。なお、アンテナ単位U、スロット57およびパッチ電極15のサイズ、形状、配置関係などは図13(a)および(b)に示す例に限定されない。

[0186] ヒーター用抵抗膜68からの電界の影響をさらに低減するために、シールド導電層を形成してもよい。シールド導電層は、例えば、下地絶縁膜2の上に誘電体基板1のほぼ全面に形成される。シールド導電層には、抵抗膜68のように開口部68a、68bを設ける必要はないが、開口部68cを設けることが好ましい。シールド導電層は、例えば、アルミニウム層で形成され、接地電位とされる。

[0187] また、液晶層を均一に加熱できるように、抵抗膜の抵抗値に分布を持たせることが好ましい。液晶層の温度分布は、最高温度－最低温度（温度むら）が、例えば15℃以下となることが好ましい。温度むらが15℃を超えると、位相差変調が面内でばらつき、良好なビーム形成ができなくなるという不具合が発生することがある。また、液晶層の温度が T_{ni} 点（例えば125℃）に近づくと、 $\Delta\epsilon_M$ が小さくなるので好ましくない。

[0188] 図14(a)、(b)および図15(a)～(c)を参照して、抵抗膜における抵抗値の分布を説明する。図14(a)、(b)および図15(a)～(c)に、抵抗加熱構造80a～80eの模式的な構造と電流の分布を示す。抵抗加熱構造は、抵抗膜と、ヒーター用端子とを備えている。

[0189] 図14(a)に示す抵抗加熱構造80aは、第1端子82aと第2端子84aとこれらに接続された抵抗膜86aとを有している。第1端子82aは、円の中心に配置され、第2端子84aは円周の全体に沿って配置されている。ここで円は、送受信領域R1に対応する。第1端子82aと第2端子84aとの間に直流電圧を供給すると、例えば、第1端子82aから第2端子84aに放射状に電流I Aが流れる。したがって、抵抗膜86aは面内の抵抗値は一定であっても、均一に発熱することができる。もちろん、電流の流れる向きは、第2端子84aから第1端子82aに向かう方向でもよい。

[0190] 図14(b)に抵抗加熱構造80bは、第1端子82bと第2端子84b

とこれらに接続された抵抗膜 86 b とを有している。第 1 端子 82 b および第 2 端子 84 b は円周に沿って互いに隣接して配置されている。抵抗膜 86 b における第 1 端子 82 b と第 2 端子 84 b との間を流れる電流 I_A によって発生する単位面積当たりの発熱量が一定になるように、抵抗膜 86 b の抵抗値は面内分布を有している。抵抗膜 86 b の抵抗値の面内分布は、例えば、抵抗膜 86 を細線で構成する場合、細線の太さや、細線の密度で調整すればよい。

[0191] 図 15 (a) に示す抵抗加熱構造 80 c は、第 1 端子 82 c と第 2 端子 84 c とこれらに接続された抵抗膜 86 c とを有している。第 1 端子 82 c は、円の上側半分の円周に沿って配置されており、第 2 端子 84 c は円の下側半分の円周に沿って配置されている。抵抗膜 86 c を例えば第 1 端子 82 c と第 2 端子 84 c との間を上下に延びる細線で構成する場合、電流 I_A による単位面積あたりの発熱量が面内で一定になるように、例えば、中央付近の細線の太さや密度が高くなるように調整されている。

[0192] 図 15 (b) に示す抵抗加熱構造 80 d は、第 1 端子 82 d と第 2 端子 84 d とこれらに接続された抵抗膜 86 d とを有している。第 1 端子 82 d と第 2 端子 84 d とは、それぞれ円の直径に沿って上下方向、左右方向に延びるように設けられている。図では簡略化しているが、第 1 端子 82 d と第 2 端子 84 d とは互いに絶縁されている。

[0193] また、図 15 (c) に示す抵抗加熱構造 80 e は、第 1 端子 82 e と第 2 端子 84 e とこれらに接続された抵抗膜 86 e とを有している。抵抗加熱構造 80 e は、抵抗加熱構造 80 d と異なり、第 1 端子 82 e および第 2 端子 84 e のいずれも円の中心から上下左右の 4 つの方向に延びる 4 つの部分有している。互いに 90 度を成す第 1 端子 82 e の部分と第 2 端子 84 e の部分とは、電流 I_A が、時計回りに流れるように配置されている。

[0194] 抵抗加熱構造 80 d および抵抗加熱構造 80 e のいずれにおいても、単位面積当たりの発熱量が面内で均一になるように、円周に近いほど電流 I_A が多くなるように、例えば、円周に近い側の細線を太く、密度が高くなるよう

に調整されている。

[0195] このような内部ヒーター構造は、例えば、走査アンテナの温度を検出して、予め設定された温度を下回ったときに自動的に動作するようにしてもよい。もちろん、使用者の操作に呼応して動作するようにしてもよい。

[0196] <外部ヒーター構造>

本発明の実施形態の走査アンテナは、上記の内部ヒーター構造に代えて、あるいは、内部ヒーター構造とともに、外部ヒーター構造を有してもよい。外部ヒーターとしては、公知の種々のヒーターを用いることができるが、ジュール熱を利用する抵抗加熱方式のヒーターが好ましい。ヒーターの内、発熱する部分をヒーター部ということにする。以下では、ヒーター部として抵抗膜を用いる例を説明する。以下でも、抵抗膜は参照符号68で示す。

[0197] 例えば、図16(a)および(b)に示す液晶パネル100Paまたは100Pbの様に、ヒーター用の抵抗膜68を配置することが好ましい。ここで、液晶パネル100Paおよび100Pbは、図1に示した走査アンテナ1000のTFT基板101と、スロット基板201と、これらの間に設けられた液晶層LCとを有し、さらにTFT基板101の外側に、抵抗膜68を含む抵抗加熱構造を有している。抵抗膜68をTFT基板101の誘電体基板1の液晶層LC側に形成してよいが、TFT基板101の製造プロセスが煩雑化するので、TFT基板101の外側（液晶層LCとは反対側）に配置することが好ましい。

[0198] 図16(a)に示す液晶パネル100Paは、TFT基板101の誘電体基板1の外側の表面に形成されたヒーター用抵抗膜68と、ヒーター用抵抗膜68を覆う保護層69aとを有している。保護層69aは省略してもよい。走査アンテナは、例えばプラスチック製のケースに收容されるので、抵抗膜68にユーザが直接触れることはない。

[0199] 抵抗膜68は、誘電体基板1の外側の表面に、例えば、公知の薄膜堆積技術（例えば、スパッタ法、CVD法）、塗布法または印刷法を用いて形成することができる。抵抗膜68は、必要に応じてパターンニングされている。パ

ターニングは、例えば、フォトリソグラフィプロセスで行われる。

[0200] ヒーター用の抵抗膜 68 の材料としては、内部ヒーター構造について上述したように、特に限定されず、例えば、ITO や IZO など比較的比抵抗の高い導電材料を用いることができる。また、抵抗値の調整のために、金属（例えば、ニクロム、チタン、クロム、白金、ニッケル、アルミニウム、銅）の細線やメッシュで抵抗膜 68 を形成してもよい。ITO や IZO などの細線やメッシュを用いることもできる。求められる発熱量に応じて、抵抗値を設定すればよい。

[0201] 保護層 69 a は、絶縁材料で形成されており、抵抗膜 68 を覆うように形成されている。抵抗膜 68 がパターニングされており、誘電体基板 1 が露出されている部分には保護層 69 a を形成しなくてもよい。抵抗膜 68 は、後述するように、アンテナの性能が低下しないようにパターニングされる。保護層 69 a を形成する材料が存在することによって、アンテナの性能が低下する場合には、抵抗膜 68 と同様に、パターニングされた保護層 69 a を用いることが好ましい。

[0202] 保護層 69 a は、ウェットプロセス、ドライプロセスのいずれで形成してもよい。例えば、抵抗膜 68 が形成された誘電体基板 1 の表面に、液状の硬化性樹脂（または樹脂の前駆体）または溶液を付与した後、硬化性樹脂を硬化させることによって形成される。液状の樹脂または樹脂の溶液は、種々の塗布法（例えば、スロットコーター、スピンコーター、スプレーを用いて）または種々の印刷法で、所定の厚さとなるように誘電体基板 1 の表面に付与される。その後、樹脂の種類に応じて、室温硬化、加熱硬化、または光硬化することによって、絶縁性樹脂膜で保護層 69 a を形成することができる。絶縁性樹脂膜は、例えば、フォトリソグラフィプロセスでパターニングされ得る。

[0203] 保護層 69 a を形成する材料としては、硬化性樹脂材料を好適に用いることができる。硬化性樹脂材料は、熱硬化タイプおよび光硬化タイプを含む。また、熱硬化タイプは、熱架橋タイプおよび熱重合タイプを含む。

[0204] 熱架橋タイプの樹脂材料としては、例えば、エポキシ系化合物（例えばエポキシ樹脂）とアミン系化合物の組合せ、エポキシ系化合物とヒドラジド系化合物の組み合わせ、エポキシ系化合物とアルコール系化合物（例えばフェノール樹脂を含む）の組み合わせ、エポキシ系化合物とカルボン酸系化合物（例えば酸無水物を含む）の組み合わせ、イソシアネート系化合物とアミン系化合物の組み合わせ、イソシアネート系化合物とヒドラジド系化合物の組み合わせ、イソシアネート系化合物とアルコール系化合物の組み合わせ（例えばウレタン樹脂を含む）、イソシアネート系化合物とカルボン酸系化合物の組み合わせが挙げられる。また、カチオン重合タイプ接着材としては、例えば、エポキシ系化合物とカチオン重合開始剤の組み合わせ（代表的なカチオン重合開始剤、芳香族スルホニウム塩）が挙げられる。ラジカル重合タイプの樹脂材料としては、例えば、各種アクリル、メタクリル、ウレタン変性アクリル（メタクリル）樹脂等のビニル基を含むモノマーおよび／またはオリゴマーとラジカル重合開始剤の組み合わせ（代表的なラジカル重合開始剤：アゾ系化合物（例えば、AIBN（アゾビスイソブチロニトリル）））、開環重合タイプの樹脂材料としては、例えば、エチレンオキシド系化合物、エチレンイミン系化合物、シロキサン系化合物が挙げられる。その他、マレイミド樹脂、マレイミド樹脂とアミンの組合せ、マレイミドとメタクリル化合物の組合せ、ビスマレイミドトリアジン樹脂およびポリフェニレンエーテル樹脂を用いることができる。また、ポリイミドも好適に用いることができる。なお、「ポリイミド」は、ポリイミドの前駆体であるポリアミック酸を含む意味で用いる。ポリイミドは、例えば、エポキシ系化合物またはイソシアネート系化合物と組み合わせて用いられる。

[0205] 耐熱性、化学的安定性、機械特性の観点から、熱硬化性タイプの樹脂材料を用いることが好ましい。特に、エポキシ樹脂またはポリイミド樹脂を含む樹脂材料が好ましく、機械特性（特に機械強度）および吸湿性の観点から、ポリイミド樹脂を含む樹脂材料が好ましい。ポリイミド樹脂とエポキシ樹脂とを混合して用いることもできる。また、ポリイミド樹脂および／またはエ

ポキシ樹脂に熱可塑性樹脂および／またはエラストマを混合してもよい。さらに、ポリイミド樹脂および／またはエポキシ樹脂として、ゴム変性したものを混合してもよい。熱可塑性樹脂またはエラストマを混合することによって、柔軟性や靱性（タフネス）を向上させることができる。ゴム変性したものをを用いても同様の効果を得ることができる。

[0206] 光硬化タイプは、紫外線または可視光によって、架橋反応および／または重合反応を起こし、硬化する。光硬化タイプには、例えば、ラジカル重合タイプとカチオン重合タイプがある。ラジカル重合タイプとしては、アクリル樹脂（エポキシ変性アクリル樹脂、ウレタン変性アクリル樹脂、シリコーン変性アクリル樹脂）と光重合開始剤との組み合わせが代表的である。紫外光用ラジカル重合開始剤としては、例えば、アセトフェノン型およびベンゾフェノン型が挙げられる。可視光用ラジカル重合開始剤としては、例えば、ベンジル型およびチオキサントン型を挙げることができる。カチオン重合タイプとしては、エポキシ系化合物と光カチオン重合開始剤との組合せが代表的である。光カチオン重合開始剤は、例えば、ヨードニウム塩系化合物を挙げることができる。なお、光硬化性と熱硬化性とを併せ持つ樹脂材料を用いることもできる。

[0207] 図16（b）に示す液晶パネル100Pbは、抵抗膜68と誘電体基板1との間に接着層67をさらに有している点で、液晶パネル100Paと異なる。また、保護層69bが予め作製された高分子フィルムまたはガラス板を用いて形成される点異なる。

[0208] 例えば、保護層69bが高分子フィルムで形成された液晶パネル100Pbは、以下の様にして製造される。

[0209] まず、保護層69bとなる絶縁性の高分子フィルムを用意する。高分子フィルムとしては、例えば、ポリエチレンテレフタレート、ポリエチレンナフタレート等のポリエステルフィルム、ポリフェニルスルホン、および、ポリイミド、ポリアミド等のスーパーエンジニアリングプラスチックのフィルムが用いられる。高分子フィルムの厚さ（すなわち、保護層69bの厚さ）は

、例えば、 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $200\text{ }\mu\text{m}$ 以下である。

[0210] この高分子フィルム的一方の表面の上に、抵抗膜68を形成する。抵抗膜68は、上述の方法で形成され得る。抵抗膜68はパターニングされてもよく、高分子フィルムも必要に応じてパターニングされてもよい。

[0211] 抵抗膜68が形成された高分子フィルム（すなわち、保護層69bと抵抗膜68とが一体に形成された部材）を、接着材を用いて、誘電体基板1に貼り付ける。接着材としては、上記の保護層69aの形成に用いられる硬化性樹脂と同様の硬化性樹脂を用いることができる。さらに、ホットメルトタイプの樹脂材料（接着材）を用いることもできる。ホットメルトタイプの樹脂材料は、熱可塑性樹脂を主成分とし、加熱により溶融し、冷却により固化する。ポリオレフィン系（例えば、ポリエチレン、ポリプロピレン）、ポリアミド系、エチレン酢酸ビニル系が例示される。また、反応性を有するウレタン系のホットメルト樹脂材料（接着材）も販売されている。接着性および耐久性の観点からは、反応性のウレタン系が好ましい。

[0212] また、接着層67は、抵抗膜68および保護層（高分子フィルム）69bと同様にパターニングされてもよい。ただし、接着層67は、抵抗膜68および保護層69bを誘電体基板1に固定できればよいので、抵抗膜68および保護層69bよりも小さくてもよい。

[0213] 高分子フィルムに代えて、ガラス板を用いて保護層69bを形成することもできる。製造プロセスは、高分子フィルムを用いる場合と同様であってよい。ガラス板の厚さは、 1 mm 以下が好ましく、 0.7 mm 以下がさらに好ましい。ガラス板の厚さの下限は特にないが、ハンドリング性の観点から、ガラス板の厚さは 0.3 mm 以上であることが好ましい。

[0214] 図16（b）に示した液晶パネル100Pbでは、保護層（高分子フィルムまたはガラス板）69bに形成された抵抗膜68を誘電体基板1に接着層67を介して固定したが、抵抗膜68を誘電体基板1に接触するように配置すればよく、抵抗膜68および保護層69bを誘電体基板1に固定（接着）する必要は必ずしもない。すなわち、接着層67を省略してもよい。例えば

、抵抗膜 68 が形成された高分子フィルム（すなわち、保護層 69 b と抵抗膜 68 とが一体に形成された部材）を、抵抗膜 68 が誘電体基板 1 に接触するように配置し、走査アンテナを収容するケースで、抵抗膜 68 を誘電体基板 1 に押し当てるようにしてもよい。例えば、抵抗膜 68 が形成された高分子フィルムを単純に置くだけでは、接触熱抵抗が高くなるおそれがあるので、押し当てることによって接触熱抵抗を低下させることが好ましい。このような構成を採用すると、抵抗膜 68 および保護層（高分子フィルムまたはガラス板） 69 b が一体として形成された部材を取り外し可能にできる。

[0215] なお、抵抗膜 68（および保護層 69 b）が後述するようにパターニングされている場合には、アンテナの性能が低下しないように、TFT 基板に対する位置がずれない程度に固定することが好ましい。

[0216] ヒーター用の抵抗膜 68 は、走査アンテナの動作に影響を及ぼさない限りどこに設けてもよいが、液晶材料を効率的に加熱するためには、液晶層の近くに設けることが好ましい。したがって、図 16（a）および（b）に示したように、TFT 基板 101 の外側に設けることが好ましい。また、図 16（a）に示したように、TFT 基板 101 の誘電体基板 1 の外側に直接、抵抗膜 68 を設けた方が、図 16（b）に示したように、接着層 67 を介して抵抗膜 68 を誘電体基板 1 の外側に設けるよりも、エネルギー効率がよく、かつ、温度の制御性も高いので好ましい。

[0217] 抵抗膜 68 は、例えば、図 13（a）に示す TFT 基板 104 に対して、誘電体基板 1 のほぼ全面に設けてもよい。内部ヒーター構造について上述したように、抵抗膜 68 は、開口部 68 a、68 b および 68 c を有することが好ましい。

[0218] 保護層 69 a および 69 b は、抵抗膜 68 を覆うように全面に形成してもよい。上述したように、保護層 69 a または 69 b がアンテナ特性に悪影響を及ぼす場合には、抵抗膜 68 の開口部 68 a、68 b および 68 c に対応する開口部を設けてもよい。この場合、保護層 69 a または 69 b の開口部は、抵抗膜 68 の開口部 68 a、68 b および 68 c の内側に形成される。

[0219] ヒーター用抵抗膜 68 からの電界の影響をさらに低減するために、シールド導電層を形成してもよい。シールド導電層は、例えば、抵抗膜 68 の誘電体基板 1 側に絶縁膜を介して形成される。シールド導電層は、誘電体基板 1 のほぼ全面に形成される。シールド導電層には、抵抗膜 68 のように開口部 68 a、68 b を設ける必要はないが、開口部 68 c を設けることが好ましい。シールド導電層は、例えば、アルミニウム層で形成され、接地電位とされる。また、液晶層を均一に加熱できるように、抵抗膜の抵抗値に分布を持たせることが好ましい。これらも内部ヒーター構造について上述した通りである。

[0220] 抵抗膜は、送受信領域 R 1 の液晶層 LC を加熱できればよいので、例示したように、送受信領域 R 1 に対応する領域に抵抗膜を設ければよいが、これに限られない。例えば、図 2 に示したように、TFT 基板 101 が、送受信領域 R 1 を含む矩形の領域を画定することができるような外形を有している場合には、送受信領域 R 1 を含む矩形の領域に対応する領域に抵抗膜を設けてもよい。勿論、抵抗膜の外形は、矩形に限られず、送受信領域 R 1 を含む、任意の形状であってよい。

[0221] 上記の例では、TFT 基板 101 の外側に抵抗膜を配置したが、スロット基板 201 の外側（液晶層 LC とは反対側）に、抵抗膜を配置してもよい。この場合にも、図 16 (a) の液晶パネル 100 P a と同様に、誘電体基板 51 に直接、抵抗膜を形成してもよいし、図 16 (b) の液晶パネル 100 P b と同様に、接着層を介して、保護層（高分子フィルムまたはガラス板）に形成された抵抗膜を誘電体基板 51 に固定してもよい。あるいは、接着層を省略して、抵抗膜が形成された保護層（すなわち、保護層と抵抗膜とが一体に形成された部材）を抵抗膜が誘電体基板 51 に接触するように配置してもよい。例えば、抵抗膜が形成された高分子フィルムを単純に置くだけでは、接触熱抵抗が高くなるおそれがあるので、押し当てることによって接触熱抵抗を低下させることが好ましい。このような構成を採用すると、抵抗膜および保護層（高分子フィルムまたはガラス板）が一体として形成された部材

を取り外し可能にできる。なお、抵抗膜（および保護層）がパターンニングされている場合には、アンテナの性能が低下しないように、スロット基板に対する位置がずれない程度に固定することが好ましい。

[0222] スロット基板 201 の外側に抵抗膜を配置する場合には、抵抗膜のスロット 57 に対応する位置に開口部を設けることが好ましい。また、抵抗膜はマイクロ波を十分に透過できる厚さであることが好ましい。

[0223] ここでは、ヒーター部として抵抗膜を用いた例を説明したが、ヒーター部として、この他に、例えば、ニクロム線（例えば巻線）、赤外線ヒーター部などを用いることができる。このような場合にも、アンテナの性能を低下させないように、ヒーター部を配置することが好ましい。

[0224] このような外部ヒーター構造は、例えば、走査アンテナの温度を検出して、予め設定された温度を下回ったときに自動的に動作するようにしてもよい。もちろん、使用者の操作に呼応して動作するようにしてもよい。

[0225] 外部ヒーター構造を自動的に動作させるための温度制御装置として、例えば、公知の種々のサーモスタットを用いることができる。例えば、抵抗膜に接続された 2 つの端子の一方と電源との間に、バイメタルを用いたサーモスタットを接続すればよい。もちろん、温度検出器を用いて、予め設定した温度を下回らないように、外部ヒーター構造に電源から電流を供給するような温度制御装置を用いてもよい。

[0226] <駆動方法>

本発明の実施形態による走査アンテナが有するアンテナ単位のアレイは、LCD パネルと類似した構造を有しているので、LCD パネルと同様に線順次駆動を行う。しかしながら、従来の LCD パネルの駆動方法を適用すると、以下の問題が発生する恐れがある。図 17 に示す、走査アンテナの 1 つのアンテナ単位の等価回路図を参照しつつ、走査アンテナに発生し得る問題点を説明する。

[0227] まず、上述したように、マイクロ波領域の誘電異方性 $\Delta \epsilon_m$ （可視光に対する複屈折 Δn ）が大きい液晶材料の比抵抗は低いので、LCD パネルの駆動

方法をそのまま適用すると、液晶層に印加される電圧を十分に保持できない。そうすると、液晶層に印加される実効電圧が低下し、液晶容量の静電容量値が目標値に到達しない。

- [0228] このように液晶層に印加された電圧が所定の値からずれると、アンテナのゲインが最大となる方向が所望する方向からずれることになる。そうすると、例えば、通信衛星を正確に追尾できないことになる。これを防止するために、液晶容量 C_{lc} と電氣的に並列に補助容量 C_s を設け、補助容量 C_s の容量値 $C - C_{lc}$ を十分に大きくする。補助容量 C_s の容量値 $C - C_{lc}$ は、液晶容量 C_{lc} の電圧保持率が 90% 以上となるように適宜設定することが好ましい。
- [0229] また、比抵抗が低い液晶材料を用いると、界面分極および／または配向分極による電圧低下も起こる。これらの分極による電圧低下を防止するために、電圧降下分を見込んだ十分に高い電圧を印加することが考えられる。しかしながら、比抵抗が低い液晶層に高い電圧を印加すると、動的散乱効果（DS 効果）が起こる恐れがある。DS 効果は、液晶層中のイオン性不純物の対流に起因し、液晶層の誘電率 ϵ_m は平均値 $(\epsilon_{m\parallel} + 2\epsilon_{m\perp}) / 3$ に近づく。また、液晶層の誘電率 ϵ_m を多段階（多階調）で制御するためには、常に十分に高い電圧を印加することもできない。
- [0230] 上記の DS 効果および／または分極による電圧降下を抑制するためには、液晶層に印加する電圧の極性反転周期を十分に短くすればよい。よく知られているように、印加電圧の極性反転周期を短くすると DS 効果が起こるしきい値電圧が高くなる。したがって、液晶層に印加する電圧（絶対値）の最大値が、DS 効果が起こるしきい値電圧未満となるように、極性反転周波数を決めればよい。極性反転周波数が 300 Hz 以上であれば、例えば比抵抗が $1 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 、誘電異方性 $\Delta\epsilon$ (@ 1 kHz) が -0.6 程度の液晶層に絶対値が 10 V の電圧を印加しても、良好な動作を確保することができる。また、極性反転周波数（典型的にはフレーム周波数の 2 倍と同じ）が 300 Hz 以上であれば、上記の分極に起因する電圧降下も抑制される。極性反

転周期の上限は、消費電力などの観点から約 5 k H z 以下であることが好ましい。

[0231] 上述したように液晶材料の粘度は温度に依存するので、液晶層の温度は適宜制御されることが好ましい。ここで述べた液晶材料の物性および駆動条件は、液晶層の動作温度における値である。逆に言うと、上記の条件で駆動できるように、液晶層の温度を制御することが好ましい。

[0232] 図 1 8 (a) ~ (g) を参照して、走査アンテナの駆動に用いられる信号の波形の例を説明する。なお、図 1 8 (d) に、比較のために、LCD パネルのソースバスラインに供給される表示信号 V_s (LCD) の波形を示している。

[0233] 図 1 8 (a) はゲートバスライン G - L 1 に供給される走査信号 V_g の波形、図 1 8 (b) はゲートバスライン G - L 2 に供給される走査信号 V_g の波形、図 1 8 (c) はゲートバスライン G - L 3 に供給される走査信号 V_g の波形を示し、図 1 8 (e) はソースバスラインに供給されるデータ信号 V_{da} の波形を示し、図 1 8 (f) はスロット基板のスロット電極（スロット電極）に供給されるスロット電圧 V_{idc} の波形を示し、図 1 8 (g) はアンテナ単位の液晶層に印加される電圧の波形を示す。

[0234] 図 1 8 (a) ~ (c) に示す様に、ゲートバスラインに供給される走査信号 V_g の電圧が、順次、ローレベル (V_{gL}) からハイレベル (V_{gH}) に切替わる。 V_{gL} および V_{gH} は、T F T の特性に応じて適宜設定され得る。例えば、 $V_{gL} = -5 V \sim 0 V$ 、 $V_{gH} = +20 V$ である。また、 $V_{gL} = -20 V$ 、 $V_{gH} = +20 V$ としてもよい。あるゲートバスラインの走査信号 V_g の電圧がローレベル (V_{gL}) からハイレベル (V_{gH}) に切替わる時刻から、その次のゲートバスラインの電圧が V_{gL} から V_{gH} に切替わる時刻までの期間を 1 水平走査期間 (1 H) ということにする。また、各ゲートバスラインの電圧がハイレベル (V_{gH}) になっている期間を選択期間 P S という。この選択期間 P S において、各ゲートバスラインに接続された T F T がオン状態となり、ソースバスラインに供給されているデータ信号 V

d aのその時の電圧が、対応するパッチ電極に供給される。データ信号V d aは例えば $-15\text{ V} \sim +15\text{ V}$ （絶対値が 15 V ）であり、例えば、12階調、好ましくは16階調に対応する絶対値の異なるデータ信号V d aを用いる。

[0235] ここでは、全てのアンテナ単位にある中間電圧を印加している場合を例示する。すなわち、データ信号V d aの電圧は、全てのアンテナ単位（m本のゲートバスラインに接続されているとする。）に対して一定であるとする。これはLCDパネルにおいて全面である中間調を表示している場合に対応する。このとき、LCDパネルでは、ドット反転駆動が行われる。すなわち、各フレームにおいて、互いに隣接する画素（ドット）の極性が互いに逆になるように、表示信号電圧が供給される。

[0236] 図18（d）はドット反転駆動を行っているLCDパネルの表示信号の波形を示している。図18（d）に示したように、1H毎に V_s （LCD）の極性が反転している。この波形を有する V_s （LCD）が供給されているソースバスラインに隣接するソースバスラインに供給される V_s （LCD）の極性は、図18（d）に示す V_s （LCD）の極性と逆になっている。また、全ての画素に供給される表示信号の極性は、フレーム毎に反転する。LCDパネルでは、正極性と負極性とで、液晶層に印加される実効電圧の大きさを完全に一致させることが難しく、かつ、実効電圧の差が輝度の差となり、フリッカーとして観察される。このフリッカーを観察され難くするために、各フレームにおいて極性の異なる電圧が印加される画素（ドット）を空間的に分散させている。典型的には、ドット反転駆動を行うことによって、極性が異なる画素（ドット）を市松模様に配列させる。

[0237] これに対して、走査アンテナにおいては、フリッカー自体は問題とならない。すなわち、液晶容量の静電容量値が所望の値でありさえすればよく、各フレームにおける極性の空間的な分布は問題とならない。したがって、低消費電力等の観点から、ソースバスラインから供給されるデータ信号V d aの極性反転の回数を少なくする、すなわち、極性反転の周期を長くすることが

好ましい。例えば、図 18 (e) に示す様に、極性反転の周期を $10H$ ($5H$ 毎に極性反転) にすればよい。もちろん、各ソースバスラインに接続されているアンテナ単位の数 (典型的には、ゲートバスラインの本数に等しい。) を m 個とすると、データ信号 V_{da} の極性反転の周期を $2m \cdot H$ ($m \cdot H$ 毎に極性反転) としてもよい。データ信号 V_{da} の極性反転の周期は、2 フレーム (1 フレーム毎に極性反転) と等しくてもよい。

[0238] また、全てのソースバスラインから供給するデータ信号 V_{da} の極性を同じにしてもよい。したがって、例えば、あるフレームでは、全てのソースバスラインから正極性のデータ信号 V_{da} を供給し、次にフレームでは、全てのソースバスラインから負極性のデータ信号 V_{da} を供給してもよい。

[0239] あるいは、互いに隣接するソースバスラインから供給するデータ信号 V_{da} の極性を互いに逆極性にしてもよい。例えば、あるフレームでは、奇数列のソースバスラインからは正極性のデータ信号 V_{da} を供給し、偶数列のソースバスラインからは負極性のデータ信号 V_{da} を供給する。そして、次のフレームでは、奇数列のソースバスラインからは負極性のデータ信号 V_{da} を供給し、偶数列のソースバスラインからは正極性のデータ信号 V_{da} を供給する。このような駆動方法は、LCD パネルでは、ソースライン反転駆動と呼ばれる。隣接するソースバスラインから供給するデータ信号 V_{da} を逆極性にすると、フレーム間で供給するデータ信号 V_{da} の極性を反転させる前に、隣接するソースバスラインを互いに接続する (ショートさせる) ことによって、液晶容量に充電された電荷を隣接する列間でキャンセルさせることができる。したがって、各フレームにおいてソースバスラインから供給する電荷の量を少なくできるという利点を得られる。

[0240] スロット電極の電圧 V_{idc} は図 18 (f) に示す様に、例えば、DC 電圧であり、典型的にはグラウンド電位である。アンテナ単位の容量 (液晶容量および補助容量) の容量値は、LCD パネルの画素容量の容量値よりも大きい (例えば、20 型程度の LCD パネルと比較して約 30 倍) ので、TFT の寄生容量に起因する引込電圧の影響がなく、スロット電極の電圧 V_{idc}

をグラウンド電位として、データ信号 V_{da} をグラウンド電位を基準に正負対称な電圧としても、パッチ電極に供給される電圧は正負対称な電圧となる。LCD パネルにおいては、TFT の引込電圧を考慮して、対向電極の電圧（共通電圧）を調整することによって、画素電極に正負対称な電圧が印加されるようにしているが、走査アンテナのスロット電圧についてはその必要がなく、グラウンド電位であってよい。また、図 18 に図示しないが、CS バスラインには、スロット電圧 V_{idc} と同じ電圧が供給される。

[0241] アンテナ単位の液晶容量に印加される電圧は、スロット電極の電圧 V_{idc} （図 18（f））に対するパッチ電極の電圧（すなわち、図 18（e）に示したデータ信号 V_{da} の電圧）なので、スロット電圧 V_{idc} がグラウンド電位するとき、図 18（g）に示す様に、図 18（e）に示したデータ信号 V_{da} の波形と一致する。

[0242] 走査アンテナの駆動に用いられる信号の波形は、上記の例に限られない。例えば、図 19 および図 20 を参照して以下に説明するように、スロット電極の電圧として振動波形を有する V_{iac} を用いてもよい。

[0243] 例えば、図 19（a）～（e）に例示する様な信号を用いることができる。図 19 では、ゲートバスラインに供給される走査信号 V_g の波形を省略しているが、ここでも、図 18（a）～（c）を参照して説明した走査信号 V_g を用いる。

[0244] 図 19（a）に示す様に、図 18（e）に示したのと同様に、データ信号 V_{da} の波形が 10H 周期（5H 毎）で極性反転している場合を例示する。ここでは、データ信号 V_{da} として、振幅が最大値 $|V_{da_{max}}|$ の場合を示す。上述したように、データ信号 V_{da} の波形は、2 フレーム周期（1 フレーム毎）で極性反転させてもよい。

[0245] ここで、スロット電極の電圧 V_{iac} は、図 19（c）に示す様に、データ信号 V_{da} （ON）と極性が逆で、振動の周期は同じ、振動電圧とする。スロット電極の電圧 V_{iac} の振幅は、データ信号 V_{da} の振幅の最大値 $|V_{da_{max}}|$ と等しい。すなわち、スロット電圧 V_{iac} は、データ信号 V_{da}

(ON)と極性反転の周期は同じで、極性が逆(位相が 180° 異なる)で、 $-V_{da_max}$ と $+V_{da_max}$ との間を振動する電圧とする。

[0246] アンテナ単位の液晶容量に印加される電圧 V_{ic} は、スロット電極の電圧 V_{iac} (図19(c))に対するパッチ電極の電圧(すなわち、図19(a)に示したデータ信号 V_{da} (ON)の電圧)なので、データ信号 V_{da} の振幅が $\pm V_{da_max}$ で振動しているとき、液晶容量に印加される電圧は、図19(d)に示す様に、 V_{da_max} の2倍の振幅で振動する波形となる。したがって、液晶容量に印加される電圧 V_{ic} の最大振幅を $\pm V_{da_max}$ とするために必要なデータ信号 V_{da} の最大振幅は、 $\pm V_{da_max}/2$ となる。

[0247] このようなスロット電圧 V_{ic} を用いることによって、データ信号 V_{da} の最大振幅を半分にできるので、データ信号 V_{da} を出力するドライバ回路として、例えば、耐圧が20V以下の汎用のドライバICを用いることができるという利点を得られる。

[0248] なお、図19(e)に示す様に、アンテナ単位の液晶容量に印加される電圧 V_{ic} (OFF)をゼロとするために、図19(b)に示す様に、データ信号 V_{da} (OFF)をスロット電圧 V_{ic} と同じ波形にすればよい。

[0249] 例えば、液晶容量に印加される電圧 V_{ic} の最大振幅を $\pm 15V$ とする場合を考える。スロット電圧として、図18(f)に示した V_{idc} を用い、 $V_{idc}=0V$ とすると、図18(e)に示した V_{da} の最大振幅は、 $\pm 15V$ となる。これに対して、スロット電圧として、図19(c)に示した V_{iac} を用い、 V_{iac} の最大振幅を $\pm 7.5V$ とすると、図19(a)に示した V_{da} (ON)の最大振幅は、 $\pm 7.5V$ となる。

[0250] 液晶容量に印加される電圧 V_{ic} を0Vとする場合、図18(e)に示した V_{da} を0Vとすればよく、図19(b)に示した V_{da} (OFF)の最大振幅は $\pm 7.5V$ とすればよい。

[0251] 図19(c)に示した V_{iac} を用いる場合は、液晶容量に印加される電圧 V_{ic} の振幅は、 V_{da} の振幅とは異なるので、適宜変換する必要がある。

[0252] 図20(a)～(e)に例示する様な信号を用いることもできる。図20(a)～(e)に示す信号は、図19(a)～(e)に示した信号と同様に、スロット電極の電圧 V_{iac} を図20(c)に示す様に、データ信号 V_{da} (ON)と振動の位相が 180° ずれた振動電圧とする。ただし、図20(a)～(c)にそれぞれ示す様に、データ信号 V_{da} (ON)、 V_{da} (OFF)およびスロット電圧 V_{iac} をいずれも0Vと正の電圧との間で振動する電圧としている。スロット電極の電圧 V_{iac} の振幅は、データ信号 V_{da} の振幅の最大値 $|V_{da_{max}}|$ と等しい。

[0253] このような信号を用いると、駆動回路は正の電圧だけを出力すればよく、低コスト化に寄与する。このように0Vと正の電圧との間で振動する電圧を用いても、図20(d)に示すように、液晶容量に印加される電圧 V_{lc} (ON)は、極性反転する。図20(d)に示す電圧波形において、+ (正)は、パッチ電極の電圧がスロット電圧よりも高いことを示し、- (負)は、パッチ電極の電圧がスロット電圧よりも低いことを示している。すなわち、液晶層に印加される電界の向き(極性)は、他の例と同様に反転している。液晶容量に印加される電圧 V_{lc} (ON)の振幅は $V_{da_{max}}$ である。

[0254] なお、図20(e)に示す様に、アンテナ単位の液晶容量に印加される電圧 V_{lc} (OFF)をゼロとするとために、図20(b)に示す様に、データ信号 V_{da} (OFF)をスロット電圧 V_{iac} と同じ波形にすればよい。

[0255] 図19および図20を参照して説明したスロット電極の電圧 V_{iac} を振動させる(反転させる)駆動方法は、LCDパネルの駆動方法でいうと、対向電圧を反転させる駆動方法に対応する(「コモン反転駆動」といわれることがある。)。LCDパネルでは、フリッカーを十分に抑制できないことから、コモン反転駆動は採用されていない。これに対し、走査アンテナでは、フリッカーは問題とならないので、スロット電圧を反転させることができる。振動(反転)は、例えば、フレーム毎に行われる(図19および図20における5Hを1V(垂直走査期間またはフレーム)とする)。

[0256] 上記の説明では、スロット電極の電圧 V_{iac} は1つの電圧が印加される

例、すなわち、全てのパッチ電極に対して共通のスロット電極が設けられている例を説明したが、スロット電極を、パッチ電極の1行、または、2以上の行に対応して分割してもよい。ここで、行とは、1つのゲートバスラインにTFTを介して接続されたパッチ電極の集合を指す。このようにスロット電極を複数の行部分に分割すれば、スロット電極の各部分の電圧の極性を互いに独立にできる。例えば、任意のフレームにおいて、パッチ電極に印加される電圧の極性を、隣接するゲートバスラインに接続されたパッチ電極間で互いに逆にできる。このように、パッチ電極の1行毎に極性を反転させる行反転（1H反転）だけでなく、2以上の行毎に極性を反転させるm行反転（mH反転）を行うことができる。もちろん、行反転とフレーム反転とは組合せられる。

[0257] 駆動の単純さの観点からは、任意のフレームにおいて、パッチ電極に印加される電圧の極性を全て同じにし、フレーム毎に極性が反転する駆動が好ましい。

[0258] <アンテナ単位の配列、ゲートバスライン、ソースバスラインの接続の例>

本発明の実施形態の走査アンテナにおいて、アンテナ単位は例えば、同心円状に配列される。

[0259] 例えば、m個の同心円に配列されている場合、ゲートバスラインは例えば、各円に対して1本ずつ設けられ、合計m本のゲートバスラインが設けられる。送受信領域R1の外径を、例えば800mmとすると、mは例えば、200である。最も内側のゲートバスラインを1番目とすると、1番目のゲートバスラインには、n個（例えば30個）のアンテナ単位が接続され、m番目のゲートバスラインにはn×個（例えば620個）のアンテナ単位が接続されている。

[0260] このような配列では、各ゲートバスラインに接続されているアンテナ単位の数が異なる。また、最も外側の円を構成するn×個のアンテナ単位に接続されているn×本のソースバスラインには、m個のアンテナ単位が接続され

ているが、内側の円を構成するアンテナ単位に接続されているソースバスラインに接続されているアンテナ単位の数は m よりも小さくなる。

[0261] このように、走査アンテナにおけるアンテナ単位の配列は、LCDパネルにおける画素（ドット）の配列とは異なり、ゲートバスラインおよび／またはソースバスラインによって、接続されているアンテナ単位の数が異なる。したがって、全てのアンテナ単位の容量（液晶容量＋補助容量）を同じにすると、ゲートバスラインおよび／またはソースバスラインによって、接続されている電氣的な負荷が異なることになる。そうすると、アンテナ単位への電圧の書き込みにばらつきが生じるという問題がある。

[0262] そこで、これを防止するために、例えば、補助容量の容量値を調整することによって、あるいは、ゲートバスラインおよび／またはソースバスラインに接続するアンテナ単位の数を調整することによって、各ゲートバスラインおよび各ソースバスラインに接続されている電氣的な負荷を略同一にすることが好ましい。

[0263] [走査アンテナの検査方法]

続いて、走査アンテナの動作不良を検出する検査方法を説明する。

[0264] 上述してきたように、走査アンテナでは、アンテナ単位 U ごとに液晶層LCに印加する電圧を制御し、これによって、そのアンテナ単位 U の液晶配向を制御することでマイクロ波に対する誘電率 M を変化させる。例えば配線の短絡、断線などが生じていると、その配線に接続されたアンテナ単位 U の液晶配向が適切に制御されず、走査アンテナの指向性、感度などを低下させる要因となる。このため、走査アンテナの動作不良を検出する検査では、アンテナ単位 U ごとに液晶の配向状態を評価し、配向不良を検出することが好ましい。

[0265] 透過型のLCD900（図49）では、液晶層930を挟んで配置される画素電極914および対向電極924は透明である。このため、液晶層930の配向状態を、可視光を透過させるか否かによって直接観察することが可能である。しかしながら、本実施形態の走査アンテナ1000（図1）では

、液晶の配向を制御するパッチ電極 1 5 およびスロット電極 5 5 として、不透明な金属電極が用いられる。このため、液晶層 LC のうちパッチ電極 1 5 と、スロット電極 5 5 におけるスロット 5 7 以外の部分（以下、「ソリッド部」と称する）との間に位置する部分の配向状態を直接観察することが難しく、各アンテナ単位 U の配向制御の可否を容易に検出できないという問題がある。

[0266] これに対し、本発明者は、容易かつ効率的にアンテナ単位 U の液晶配向を検査する方法（以下、「配向検査方法」と略す）を見出した。

[0267] 本実施形態の配向検査方法では、パッチ電極 1 5 とソリッド部との間に生成される斜め電界による液晶分子の配向状態を観察することによって、あるいは、アンテナ単位 U に検査用の透明電極を配置し、透明電極とパッチ電極 1 5 またはソリッド部 5 6 との間の液晶分子の配向状態を観察することによって、アンテナ単位 U ごとに液晶配向の良否を検査する。以下、斜め電界を利用する配向検査方法を「配向検査 I」、検査用の透明電極を利用する配向検査方法を「配向検査 II」と称する。

[0268] <配向検査 I>

以下の説明では、パッチ電極 1 5 およびスロット電極 5 5 のソリッド部のうち、配向検査において観察側に位置する電極を「上部電極 UE」、その反対側の電極を「下部電極 LE」と呼ぶことがある。

[0269] 図 2 1 (a) は、走査アンテナ 1 0 0 0 におけるアンテナ単位の配向状態を模式的に示す断面図であり、図 2 1 (b) は、各アンテナ単位の配向状態を観察した結果を例示する平面図である。ここでは、スロット基板側から液晶配向を観察する例を説明する。

[0270] 走査アンテナ 1 0 0 0 は、複数のアンテナ単位を含んでいる。図 2 1 では、2 個のアンテナ単位 U 1、U 2 を例示している。アンテナ単位 U 1 は、液晶層 LC に電圧が印加され、液晶分子が良好に配向している例であり、アンテナ単位 U 2 は、何等かの原因で液晶層 LC に電圧が印加されておらず、液晶分子が所定の配向を有していない（配向不良を有する）例である。

[0271] 走査アンテナ1000は、図1を参照しながら前述したように、複数のTF T（不図示）、複数のパッチ電極15を含むTF T基板101と、表面（第1主面）にスロット電極55が形成されたスロット基板201と、TF T基板101とスロット基板201との間に設けられた液晶層LCと、スロット基板201の第2主面（裏面）側に配置された反射導電板（不図示）とを備える。複数のTF T、複数のパッチ電極15は、アンテナ単位に対応付けられている。スロット電極55は、複数のスロット（開口部）57と、金属膜から形成されているソリッド部（スロット57以外の部分）56とを有している。複数のスロット57は、パッチ電極15に対応して配置されている。

[0272] TF T基板101およびスロット基板201の法線方向から見たとき、アンテナ単位U1、U2のそれぞれでは、パッチ電極15は、スロット57を第1の方向xに横切るように配置され、かつ、スロット57の両側でソリッド部56と重なっている。なお、本明細書では、第1の方向xをスロット幅方向、第1の方向xに直交する第2の方向yをスロット長さ方向と呼ぶことがある。

[0273] この例では、スロット電極55として、厚さ $5\mu\text{m}$ のAl電極または厚さ $3\mu\text{m}$ のCu電極、パッチ電極15として、厚さ $2\mu\text{m}$ のAl電極を用いる。液晶層LCの厚さ（ここではパッチ電極15とスロット電極55との間のギャップ）は例えば $5\mu\text{m}$ である。また、アンテナ単位U1、U2のサイズを $3\text{mm}\times 4\text{mm}$ 、スロット57のサイズ（幅 $s_2\times$ 長さ s_1 ）を $380\mu\text{m}\times 3100\mu\text{m}$ 、パッチ電極15のサイズ（幅 $p_2\times$ 長さ p_1 ）を $318\mu\text{m}\times 584\mu\text{m}$ とする。あるいは、アンテナ単位Uのサイズを $3\text{mm}\times 4\text{mm}$ 、スロット57のサイズ（幅 $s_2\times$ 長さ s_1 ）を $458\mu\text{m}\times 3300\mu\text{m}$ 、パッチ電極15のサイズ（幅 $p_2\times$ 長さ p_1 ）を $508\mu\text{m}\times 660\mu\text{m}$ としてもよい。なお、各電極または液晶層の厚さ、サイズなどは上記に限定されず、対象とするマイクロ波の周波数等により適宜設定され得る。

[0274] アンテナ単位U1では、上部電極UEであるソリッド部56と下部電極L

Eであるパッチ電極15とによって液晶層LCに電圧が印加されている。液晶層LCに電圧が印加されると、液晶層LCのうち、ソリッド部56とパッチ電極15との間に位置する部分では、液晶分子は垂直方向（すなわち液晶層LCの厚さ方向）に配向する。上述したように、この配向状態は、透光性を有しない上部電極UE（ソリッド部56）で覆われているため、スロット基板201の上方から観察できない。

[0275] アンテナ単位U1では、また、ソリッド部56のエッジ56eとパッチ電極15との間に斜め電界が生じ得る。このため、液晶層LCのうち、ソリッド部56のエッジ56eとパッチ電極15との間に位置する部分は、斜め電界に平行に配向する。斜め電界がある程度大きいと、斜め電界による配向状態（液晶分子が斜めに配向している）を、スロット基板201側から観察することが可能である。

[0276] 一方、アンテナ単位U2では、液晶層LCに電圧が印加されておらず、ソリッド部56とパッチ電極15との間で液晶分子は略水平に配向している。液晶層LCのうちソリッド部56のエッジ56eとパッチ電極15との間では、斜め電界が生じていないので、液晶分子は概ね水平方向（液晶層の面内方向）に配向する。

[0277] 本明細書では、アンテナ単位のそれぞれにおいて、上部電極UEの上方から液晶配向を観察し得る領域を「観察領域Ur」と呼ぶ。配向検査Iでは、斜め電界によって液晶分子が配向し得る部分のうち、上部電極UE（ここではソリッド部56）で覆われていない領域が観察領域Urとなる。この例では、アンテナ単位U1は、スロット長さ方向yに延びる2つの観察領域Ur1を有する。アンテナ単位U2も同様に2つの観察領域Ur2を有する。観察領域Ur1、Ur2は、スロット57内において、ソリッド部56のエッジ近傍に位置し、かつ、パッチ電極15と重なる領域である。

[0278] これらのアンテナ単位U1、U2を落射型の顕微鏡で拡大観察したときの、観察領域Ur1、Ur2からの反射光の強度（または観察領域Ur1、Ur2の明暗）によって、そのアンテナ単位において液晶配向が制御されてい

るか否かを識別することができる。具体的には、図 2 1 (b) に例示するように、液晶分子が斜め方向に配向している観察領域 $U_r 1$ では、観察領域 $U_r 1$ からの反射光の強度は比較的大きい。すなわち、観察領域 $U_r 1$ は「明（または白）」状態となる。一方、液晶分子が水平方向に配向している観察領域 $U_r 2$ では、観察領域 $U_r 2$ からの反射光の強度は小さく、観察領域 $U_r 2$ は「暗（または黒）」状態となる。このように、観察領域 U_r からの反射光の強度（または観察領域 U_r の明暗）によって、そのアンテナ単位の液晶配向の状態が分かり、液晶層 LC に電圧が印加されているか否かを判別できる。液晶配向によって反射光の強度が変化する理由としては、液晶配向が変化すると、液晶層の屈折率が変わり、この結果、液晶層と下部電極との界面における反射率が変化するからと考えられる。

[0279] 観察領域 U_r の明暗は、目視または画像処理によって識別され得る。画像処理の場合には、液晶層に電圧を印加していない場合に取得される画像、または電圧が印加された場合に取得される画像を基準画像として用いて、配向検査で得られた画像と基準画像との差分を算出してもよい。アンテナ単位ごとに算出した差分値と閾値とを比較することによって、観察領域 U_r の明暗を識別することが可能である。あるいは、後述するように、アンテナ単位ごとに、ゲートバスラインおよびソースバスラインに電圧を印加した場合およびこれらのバスラインに電圧を印加しない場合の画像をそれぞれ取得し、これらの画像における観察領域 U_r の輝度の変化量を算出してもよい。アンテナ単位ごとに算出した輝度変化量と閾値とを比較することで観察領域 U_r の明暗を識別できる。

[0280] 液晶配向の観察は、TF T 基板 1 0 1 側から行ってもよい。図 2 2 (a) は、走査アンテナ 1 0 0 0 におけるアンテナ単位の配向状態を模式的に示す断面図であり、図 2 2 (b) は、各アンテナ単位の配向状態を観察した結果を例示する平面図である。TF T 基板 1 0 1 側から液晶配向を観察する点以外は、図 2 1 に示す例と同様である。

[0281] 図 2 2 に示す例では、パッチ電極 1 5 が上部電極 UE、ソリッド部 5 6 が

下部電極L Eである。上部電極U Eであるパッチ電極15のエッジ15 eと、下部電極L Eであるソリッド部56との間に生成される斜め電界による液晶配向の変化を、T F T基板101側から観察する。この場合、各アンテナ単位U 1、U 2における観察領域U r 1、U r 2は、それぞれ、T F T基板101の法線方向から見たとき、ソリッド部56のうちパッチ電極15で覆われていない部分上であり、かつ、パッチ電極15のエッジ15 e近傍に位置する領域になる。

[0282] アンテナ単位U 1、U 2を落射型の顕微鏡で観察すると、図22(b)に示すように、液晶層L Cに電圧が印加されているアンテナ単位U 1では、観察領域U r 1は「明」状態となり、液晶層L Cに電圧が印加されていないアンテナ単位U 2では、観察領域U r 2は「暗」状態となる。

[0283] (パッチ電極15およびスロット電極55の形状)

本実施形態の配向検査1では、斜め電界を大きくしたり、観察領域U rまたは斜め電界が生じる領域を拡大したりすることにより、斜め電界による液晶配向の変化をより容易に観察することが可能になる。

[0284] 以下、図面を参照しながら、斜め電界を利用した液晶配向の観察をより容易に行うことの可能な電極の形状を説明する。

[0285] 図21および図22を参照しながら前述したように、配向検査では、上部電極U EのエッジU E eと下部電極L Eとの間に生成される斜め電界による液晶配向を観察する。このとき、上部電極U Eが厚いほど、下部電極L Eと斜め電界を生成し得る上部電極U Eの側面の面積が大きくなるので、斜め電界を大きくすることが可能である。上部電極U Eの厚さD 1は、例えば2 μ m以上であることが好ましい。これにより、斜め電界を大きくできるので、斜め電界による液晶配向の変化が大きくなる。従って、斜め電界の有無による反射光強度の差が拡大するので、明暗の識別が容易になる。

[0286] 上部電極U Eおよび／または下部電極L Eは、各アンテナ単位Uにおける観察領域U rの面積を増加させるような平面形状を有していてもよい。観察領域U rのサイズを拡大することにより、検査装置に必要な倍率、解像度を

低く抑えることが可能になる。例えば、T F T基板またはスロット基板の法線方向（以下、「基板法線方向」または「第1誘電体基板の法線方向」という場合もある。）から見たとき、上部電極U Eおよび／または下部電極L Eの周縁は、段差（凹部または凸部）を有していてもよい。

[0287] 一例として、ソリッド部5 6が上部電極U Eである場合、基板法線方向から見たとき、ソリッド部5 6の周縁は、パッチ電極1 5と重なる部分に凹部（第1の凹部）を有していてもよい。パッチ電極1 5が上部電極U Eである場合、基板法線方向から見たとき、パッチ電極1 5の周縁は、ソリッド部5 6と重なる部分に凹部（第2の凹部）を有していてもよい。

[0288] 図2 3（a）は、本実施形態の電極形状を例示する平面図であり、図2 3（b）は図2 3（a）の一部を拡大した図である。図2 3（c）は、他の電極形状を例示する平面図である。

[0289] 図2 3（a）および（b）に示すように、基板法線方向から見たとき、上部電極U E（ここではソリッド部5 6）のエッジU E eのうち下部電極L E（ここではパッチ電極1 5）と重なる部分はスリット（第1の凹部）8 1を有していてもよい。これにより、上部電極U EのエッジU E eのうち下部電極L Eと重なる部分の長さが大きくなるので、液晶層L Cにおいて斜め電界を生成し得る領域が増加し、観察領域U rのサイズも拡大する。なお、ここでは、ソリッド部5 6の周縁は矩形であり、パッチ電極1 5を横切る2辺にそれぞれ凹部8 1が形成されているが、片方の辺のみに凹部8 1が形成されていてもよい。

[0290] スリット8 1のサイズは特に限定しない。この例において、スリット8 1形成によるアンテナ性能への影響を抑制する観点から、スリット8 1の幅8 1 wは、パッチ電極1 5のスロット長さ方向yの幅p 2の5 0%以下であり、スリット8 1の深さ8 1 dは、スロット5 7の幅s 2の5 %以下であってもよい。一方、スリット8 1の幅8 1 wは、パッチ電極1 5の幅p 2の1 0%以上であり、スリット8 1の深さ8 1 dは、スロット5 7の幅s 2の1 %以上であることが好ましい。これにより、観察領域U rをより効果的に拡大

できる。

[0291] パッチ電極 15 が上部電極 U E である場合でも同様である。例えば図 23 (c) に示すように、パッチ電極 15 のエッジ 15 e のうちソリッド部 56 と重なる部分にスリット (第 2 の凹部) 82 を設けてもよい。これにより、観察領域 U r を拡大できる。ここでは、パッチ電極 15 の周縁は矩形であり、スロット長さ方向 y に延びる 2 辺にそれぞれ凹部 82 が形成されているが、一方の辺のみに凹部 82 が形成されていてもよい。

[0292] 本実施形態における電極形状は、図 23 に示す例に限定されない。例えば、基板法線方向から見たとき、パッチ電極 15 の幅 (スロット長さ方向 y の幅) が部分的に大きくなるように、パッチ電極 15 の周縁に凸部を設けてもよい。一例として、パッチ電極 15 の幅が、パッチ電極 15 の少なくとも一方の端部で、他の部分よりも大きくなるように配置されてもよい。

[0293] 図 24 (a) は、本実施形態の他の電極形状を例示する平面図であり、図 24 (b) は図 24 (a) の一部を拡大した図である。図 24 (c) は、他の電極形状を例示する平面図である。

[0294] 図 24 (a) および (b) に示すように、スロット電極 55 のソリッド部 56 が上部電極 U E である場合、パッチ電極 15 は、その幅が上部電極 U E のエッジ近傍で他の部分よりも大きくなるような形状を有していてもよい。具体的には、パッチ電極 15 の周縁のうちスロット幅方向 x に延びる部分は、凸部 (第 1 の凸部) 83 を有している。凸部 83 は、ソリッド部 56 のエッジ 56 e の近傍に位置している。これにより、スロット 57 内において、パッチ電極 15 のうちソリッド部 56 のエッジ 56 e 近傍に位置する部分の幅 (最大幅) p3 は、他の部分の幅 p2 よりも大きくなる。この結果、基板法線方向から見たとき、ソリッド部 56 のエッジのうちパッチ電極 15 と重なる部分の長さを大きくできるので、観察領域 U r のサイズを拡大できる。すなわち、観察領域 U r の第 2 の方向の長さは、凸部 83 の高さの分だけ大きくなる (パッチ電極 15 の幅 p3 と等しくなる)。

[0295] パッチ電極 15 の幅を部分的に拡大することによるアンテナ性能への影響

を抑制する観点から、パッチ電極 15 の最大幅（エッジ U E e 近傍の幅） p_3 は、他の部分の幅 p_2 の 150% 以下であり、スロット 57 内において、幅 p_3 を有する部分のスロット 57 の幅方向の長さ s_3 は、スロット 57 の幅 s_2 の 5% 以下であってもよい。一方、パッチ電極 15 の最大幅 p_3 は、他の部分の幅 p_2 の 110% 以上であり、長さ s_3 は、スロット 57 の幅 s_2 の 1% 以上であれば、観察領域 U_r をより効果的に拡大できる。

[0296] パッチ電極 15 が上部電極 U E である場合には、例えば図 24 (c) に示すように、パッチ電極 15 の周縁のうちスロット幅方向 x に延びる部分は、パッチ電極 15 の幅がソリッド部 56 と重なる部分で他の部分よりも大きくなるように、凸部（第 1 の凸部）83 を有していてもよい。これにより、基板法線方向から見たとき、パッチ電極 15 のエッジ 15 e のうちソリッド部 56 と重なる部分の長さを大きくできるので、観察領域 U_r のサイズを拡大できる。すなわち、観察領域 U_r のスロット長さ方向 y の長さは、パッチ電極 15 の最大幅 p_3 と等しくなる。

[0297] なお、図 23 (a) および (c) では、スロット 57 の両側にスリット 81、82 を配置しているが、片側にのみ配置してもよい。また、スリット 81、82 の代わりに突出部（凸部）を配置してもよい。図 24 (a) および (c) では、パッチ電極 15 の両端部でその幅を拡大しているが、一方の端部のみで他の部分よりも幅を拡大してもよい。また、パッチ電極 15 の端部には、図 24 に示す平面図において、パッチ電極 15 の上辺から延びる凸部と、下辺から延びる凸部とが対向して設けられているが、いずれか一方の凸部のみが設けられていてもよい。さらに、本実施形態の電極は、図 23 および図 24 で説明した第 1 の凹部、第 2 の凹部および第 1 の凸部のうち 2 以上を有していてもよい。例えば、スロット電極 55 がスリット 81 を有し、かつ、パッチ電極 15 が凸部 83 を有していてもよい。

[0298] 図 23 および図 24 に示す電極形状は、走査アンテナを構成する全てのアンテナ単位 U に適用してもよいし、検査対象となり得る一部のアンテナ単位 U のみに適用してもよい。一部のアンテナ単位 U に選択的に適用することに

より、アンテナ性能への影響をさらに低減できる。

[0299] <配向検査ⅠⅠ>

配向検査ⅠⅠでは、パッチ電極およびスロット電極のうち観察者側に位置する電極（上部電極）と接するように透明電極（以下、「検査用透明電極」）を設けることにより、液晶配向を観察する。

[0300] 図25（a）および（b）は、それぞれ、検査用透明電極を有していない走査アンテナの模式的な断面図、および、アンテナ単位の液晶配向を観察した結果を示す模式的な上面図である。図26（a）および（b）は、それぞれ、検査用透明電極が設けられた走査アンテナ1000Aの模式的な断面図および上面図である。また、図26（c）は、アンテナ単位の液晶配向を観察した結果を示す模式的な上面図である。

[0301] 図25および図26では、スロット基板201側から観察する例を示している。また、複数のアンテナ単位のうち2個のアンテナ単位U1、U2を例示している。アンテナ単位U1は、液晶層LCに電圧が印加され、液晶分子が垂直方向（液晶層LCの厚さ方向）に良好に配向している例であり、アンテナ単位U2は、何等かの原因で液晶層LCに電圧が印加されておらず、液晶分子は水平方向（液晶層LCの面内方向）に配向している（配向不良）例である。

[0302] 図25（a）および（b）から分かるように、パッチ電極15およびスロット電極55はいずれの金属電極であるため、液晶層のうちこれらの電極の間に位置する部分の配向状態は、TF基板101側からもスロット基板201側からも観察できない。従って、例えば斜め電界による液晶配向の変化が小さい場合には、液晶層に電圧が印加されているか否かを判断することが困難である。

[0303] これに対し、図26（a）および（b）に示すように、走査アンテナ1000Aでは、観察側の基板（ここではスロット基板201）に、上部電極UE（ここではスロット電極55のソリッド部56）と接するように、上部電極UEよりも薄い検査用透明電極92が配置されている。

- [0304] 走査アンテナ1000Aでは、上部電極UEおよび下部電極LEによって液晶層LCに電圧を印加することにより、液晶層LCのうち、検査用透明電極92および上部電極UEと下部電極LEとによって挟まれた部分の配向状態を制御することができる。このうち、検査用透明電極92と下部電極LE（ここではパッチ電極15）との間に位置する部分の液晶配向を、アンテナ単位Uごとに検査用透明電極92越しに観察できる。
- [0305] 図示する例では、検査用透明電極92は、スロット基板201に、スロット電極55のソリッド部56と接するように配置されている。基板法線方向から見たとき、検査用透明電極92は、ソリッド部56のエッジからスロット57内に突出するように配置されている。基板法線方向から見たとき、検査用透明電極92は、上部電極UE（ここではソリッド部56）と重ならず、かつ、下部電極LE（ここではパッチ電極15）と重なる領域（配向制御領域ともいう。）を有している。アンテナ単位Uのうち、検査用透明電極92の配向制御領域で規定される領域が、液晶配向を観察し得る観察領域Urとなる。
- [0306] 配向検査では、走査アンテナ1000AのDC駆動または低周波駆動（例えば60Hz程度）を行う。これにより、比較的抵抗の高い検査用透明電極92でも液晶配向を制御することが可能である。走査アンテナ1000Aを駆動させると、アンテナ単位U1では、液晶層LCに電圧が印加され、ソリッド部56および検査用透明電極92とパッチ電極15との間の液晶分子が垂直方向（液晶層LCの厚さ方向）に配向する。一方、アンテナ単位U2では、液晶層LCに電圧が印加されず、ソリッド部56および検査用透明電極92とパッチ電極15との間の液晶分子も所定の配向方向を有しない。これらのアンテナ単位U1、U2を、配向検査Iと同様に、落射型の顕微鏡で観察すると、図26（c）に示すように、アンテナ単位U1では、観察領域Ur1からの反射光強度は比較的大きく、「明」状態となる。アンテナ単位U2では、観察領域Ur2からの反射光強度は小さく、「暗」状態となる。このように、検査用透明電極92を通して液晶配向を観察することにより、配

向制御の可否を確認できる。

- [0307] なお、後述するように、TF T基板101側から観察する場合、検査用透明電極92は、TF T基板101に、パッチ電極15と接するように配置される。基板法線方向から見たとき、検査用透明電極92は、パッチ電極15のエッジから、ソリッド部56と重なるように延びていてもよい。基板法線方向から見たとき、検査用透明電極92は、パッチ電極15と重ならず、かつ、ソリッド部56と重なる配向制御領域を有している。アンテナ単位Uのうち、検査用透明電極92の配向制御領域で規定される領域が、液晶配向を観察し得る観察領域 U_r となる。
- [0308] 検査用透明電極92の厚さは、表皮深さ未満であることが好ましい。これにより、送受信の対象となるマイクロ波が検査用透明電極92を透過するので、検査用透明電極92を設けることによるアンテナ性能の低下を抑制できる。検査用透明電極92の厚さは例えば100nm以下であってもよい。
- [0309] また、検査用透明電極92は、上部電極UEよりも高い電気抵抗を有することが好ましい。より好ましくは、検査用透明電極92の電気抵抗は上部電極よりも十分に高い。例えば上部電極UEとして、アルミニウム（電気抵抗： $2.65 \times 10^{-8} \Omega m$ ）、銅（電気抵抗： $1.68 \times 10^{-8} \Omega m$ ）、銀（電気抵抗： $1.59 \times 10^{-8} \Omega m$ ）などの低抵抗金属が使用される場合、検査用透明電極92の電気抵抗は、 $10^{-1} \Omega m$ であってもよい。
- [0310] 検査用透明電極92のサイズは、特に限定しない。検査用透明電極92がスロット基板201に設けられる場合には、検査用透明電極92のうちソリッド部56と重なっていない部分（スロット57内に位置する部分）のスロット長さ方向yの長さ 92_y は、パッチ電極の幅P2の0%超100%以下であってもよい。また、検査用透明電極92の上記部分のスロット幅方向xの長さ 92_x は、スロット57の幅s2の0%超の50%以下であってもよい。
- [0311] 検査用透明電極92の材料として、特に限定しないが、例えばITO、In-Ga-Zn-Oなどの金属酸化物を用いることができる。あるいは、ア

モルファスシリコンなどのSi系半導体を用いてもよい。また、液晶配向が観察可能な程度の可視光透過率を有していればよく、金属薄膜であっても構わない。TFT基板におけるTFTの活性層と同じ半導体膜（例えばIn-Ga-Zn-O系金属酸化物膜）を利用して検査用透明電極92を形成してもよい。また、TFT基板またはスロット基板の端子用の導電膜（例えばITO膜）を用いて検査用透明電極92を形成してもよい。

[0312] なお、図25および図26から分かるように、検査用透明電極92を設けても、液晶層LCのうちソリッド部56とパッチ電極15との交差部（以下、スロット部）における液晶層LCの誘電率の変化は変わらない。また、検査用透明電極92の配置によって、アンテナ単位Uのピッチも変わらない。さらに、走査アンテナ1000は高周波で駆動させる。従って、検査用透明電極92を配置しても、アンテナ性能にほとんど影響を与えないと考えられる。

[0313] 検査用透明電極92の配置は、図26に示す例に限定されない。検査用透明電極92をソリッド部56と電氣的に接続するためには、検査用透明電極92は、ソリッド部56の表面（側面および上面）の少なくとも一部と接していればよい。例えば図27に示すように、検査用透明電極92は、ソリッド部56のうち隣接する2つのスロット57の間に位置する部分全体を覆っていてもよい。検査用透明電極92がソリッド部56の側面のみでなく上面とも接していると、検査用透明電極92とソリッド部56とのコンタクト抵抗を低減できる。また、検査用透明電極92の剥離を抑制できる。

[0314] 図26および図27に示す例では、検査用透明電極92は、1つのスロット57の右側および左側のエッジに、それぞれ配置されており、1つのアンテナ単位に2つの検査用透明電極92が設けられている。これに対し、検査用透明電極92は、1つのアンテナ単位Uに1個のみ設けられていてもよい。

[0315] 図28（a）および（b）は、検査用透明電極92の他の配置例を示す断面図および上面図である。また、図28（c）は、液晶配向の観察結果を示

す上面図である。

[0316] 図28に示す走査アンテナ1000Bでは、スロット57の片側（ここでは右側）のエッジのみに検査用透明電極92が配置されている。1つのアンテナ単位Uに1個の検査用透明電極92が配置されている。その他の構成は、図26に示す構成と同様である。走査アンテナ1000Bでは、例えば図26および図27に例示する走査アンテナ1000Aと比べて、検査用透明電極92の配置によるアンテナ動作に対する影響をさらに低減できる。

[0317] 図26～図28は、検査用透明電極92をスロット基板201に設ける例を示したが、前述したように、TFT基板101に検査用透明電極92を設けて、TFT基板101側から液晶配向を観察してもよい。

[0318] 図29（a）および（b）は、検査用透明電極92のさらに他の配置例を示す断面図および上面図である。図29（c）は観察結果を示す上面図である。

[0319] 図29に示す走査アンテナ1000Cでは、TFT基板101側から液晶配向の観察を行う。従って、パッチ電極15が上部電極UE、スロット電極55のソリッド部56が下部電極LEとなる。検査用透明電極92は、パッチ電極15と接するように配置され、ソリッド部56と液晶層LCを介して重なるように延びている。

[0320] 検査用透明電極92は、パッチ電極15の長さ（スロット幅方向xの長さ） p_1 に影響を与えないように、パッチ電極15の周縁のうちスロット幅方向xに延びる部分から、スロット長さ方向yに延びていることが好ましい。これにより、アンテナ性能への影響を低減できる。

[0321] 走査アンテナ1000Cでも、基板法線方向から見たとき、検査用透明電極92は、パッチ電極15と重ならず、ソリッド部56と重なる領域（配向制御領域）を有している。アンテナ単位Uのうち、配向制御領域で規定される領域が観察領域Urとなる。検査用透明電極92は、スロット57とは重ならないように配置されることが好ましい。TFT基板101の上方から液晶配向を観察すると、図29（c）に示すように、液晶層LCに電圧が印加

されているアンテナ単位U1では、観察領域Ur1は「明」状態となり、液晶層LCに電圧が印加されていないアンテナ単位U2では、観察領域Ur2は「暗」状態となる。

[0322] この例のように、検査用透明電極92がTF基板101に設けられる場合には、検査用透明電極92のうちパッチ電極15と重なっていない部分のスロット長さ方向yの長さ92yは、スロット57の長さs1の0%超30%以下であってもよい。また、検査用透明電極92の上記部分のスロット幅方向xの長さ92xは、ソリッド部56の幅（すなわち隣接する2つのスロット57の間隔）の0%超30%以下であってもよい。

[0323] 図30(a)および(b)は、検査用透明電極92のさらに他の配置例を示す断面図であり、図30(c)は、他の配置例を示す平面図である。図30(a)および(b)は、それぞれ、図30(c)のB-B線およびC-C線に沿った断面を示している。図30(d)は、液晶配向の観察結果を示す上面図である。

[0324] 図30に示す走査アンテナ1000Dでは、検査用透明電極92は、パッチ電極15の周縁のうちスロット幅方向xに延びる2辺にそれぞれ配置されている。ここでも、検査用透明電極92は、パッチ電極15のエッジから、スロット長さ方向yに延びている。ただし、検査用透明電極92のスロット幅方向xの長さは、図29に示す例よりも小さい。このため、検査用透明電極92の略全体が、パッチ電極15のスロット長さ方向yに延びる辺を含む直線94とスロット57との間に位置している。従って、検査用透明電極92がパッチ電極15のスロット幅方向xの長さp1に与える影響がより抑えられるので、アンテナ性能への影響をさらに低減できる。

[0325] 図29および図30に示す例では、検査用透明電極92はパッチ電極15の下面と接しているが、パッチ電極15の側面または上面と接していても構わない。

[0326] 図31は、検査用透明電極92が配置されたスロット基板201のより具体的な構成を例示する模式的な断面図である。この例では、端子用の透明導

電膜（ITO膜）を用いて、上部接続部60および検査用透明電極92を形成している。検査用透明電極92を有する点以外は、図6に示すスロット基板201と同様の構成を有しているので、詳細な説明を省略する。

[0327] 図32は、検査用透明電極92が配置されたTF基板101のより具体的な構成を例示する模式的な断面図である。この例では、端子用の透明導電膜を用いて、ソース端子用上部接続部19s、ゲート端子用上部接続部19gおよび検査用透明電極92を形成している。検査用透明電極92を有する点以外は、図3に示すTF基板101と同様の構成を有しているので、詳細な説明を省略する。なお、図示していないが、共通の酸化物半導体膜を用いて、TF10の活性層および検査用透明電極92を形成してもよい。

[0328] <配向検査に使用する検査装置の構成>

続いて、配向検査I、IIで使用可能な検査装置を説明する。配向検査I、IIでは、落射型の顕微鏡を備えた同様の検査装置を用いることができる。

[0329] 図33は、配向検査に使用する検査装置401の模式的な斜視図である。

[0330] 検査装置401は、走査アンテナ1000を載置するステージ181と、ステージ181上の走査アンテナ1000を電源に接続するためのプロービング治具189と、ステージ181上の走査アンテナ1000の所定の領域を拡大観察する顕微鏡183とを備える。ステージ181は可動式のステージであり、面内の2方向（X方向、およびX方向に直交するY方向）に、顕微鏡183に対して相対的に移動可能である。代わりに、顕微鏡183のヘッドが可動式であり、X方向およびY方向に、ステージ181に対して相対的に移動可能であってもよい。

[0331] 走査アンテナ1000は、複数のアンテナ単位Uを含む送受信領域R1と、その周辺に位置する非送受信領域R2とを有している。図示していないが、非送受信領域R2には、基準位置マークであるマーカー190が設けられている。

[0332] ステージ181または顕微鏡183のヘッドが移動することにより、走査

アンテナ１０００に設けられた基準位置マークに基づいて、指定する座標にあるアンテナ単位を顕微鏡１８３の観察位置に配置できる。

[0333] 図３４は、他の検査装置４０２の模式的な斜視図である。

[0334] 検査装置４０２では、顕微鏡（同軸白色可視光顕微鏡）１８３にカメラシステム１８５が設けられている。このため、画像処理によって自動的に配向検査を行うことができる。ステージ１８１上に、走査アンテナ１０００を所定の位置に保持するためのガイドピン１８７を有していてもよい。図示していないが、検査装置４０２は、検査対象の走査アンテナ１０００を検査装置４０２に設置する／検査装置４０２から取出すためのローダー／アンローダーをさらに備えていてもよい。その他の構成は、検査装置４０１と同様である。

[0335] （基準位置マークの構成）

配向検査の際には、検査対象とするアンテナ単位の位置を座標で管理することが好ましい。座標は、走査アンテナ１０００の非送受信領域に設けられた基準位置マークに基づいて規定されていてもよい。

[0336] 図３５（ａ）および（ｂ）は、それぞれ、走査アンテナ１０００の基準位置マークを例示する平面図およびマーカの拡大上面図である。走査アンテナ１０００は、複数のアンテナ単位Ｕを含む送受信領域Ｒ１と、その周辺に位置する非送受信領域Ｒ２とを有している。非送受信領域Ｒ２には、基準位置マークである複数のマーカ１９０Ａ～１９０Ｃが設けられている。この例では、マーカ１９０Ａ～１９０Ｃは、それぞれ、非送受信領域Ｒ２の隅に配置されている。マーカ１９０Ａおよび１９０Ｂを通る直線１９１は、走査アンテナ１０００の外形の長辺と平行であり、マーカ１９０Ａおよび１９０Ｃを通る直線１９２は、走査アンテナ１０００の外形の短辺と平行である。マーカ１９０Ａの中央を原点とし、直線１９１をＸ軸、直線１９２をＹ軸とすることで、送受信領域Ｒ１内のアンテナ単位Ｕの位置を座標で表すことができる。

[0337] 各マーカ１９０Ａ～１９０Ｃは、図３５（ｂ）に示すように、例えば、

十字状のパターンを有していてもよい。この例では、十字状のパターンにおいて、交差する2本の線の幅 $m1$ は $100\mu m$ 、長さ $m2$ は $400\mu m$ である。マーカー190A~190Cは、例えば、TF T基板において、ゲート配線と同じ導電膜を用いて形成されていてもよい。

[0338] <配向検査のプロセスフロー>

次いで、配向検査1、11のプロセスフローを説明する。

[0339] 配向検査を行う際には、まず、走査アンテナを構成する複数のアンテナ単位のうち検査対象とするアンテナ単位を予め選択する。本明細書では、検査対象として選択された（典型的には複数の）アンテナ単位を「基本検査素子」と呼ぶ。例えば、複数のアンテナ単位を、それが接続されているソースバスラインまたはゲートバスラインに応じて複数のグループに分けて、各グループで1または複数のアンテナ単位を基本検査素子として予め選択していてもよい。これにより、配線の短絡、断線などのグループ単位で生じ得る動作不良を効率的に検出できる。なお、走査アンテナを構成する全てのアンテナ単位を検査対象としてもよい。

[0340] 配向検査では、まず、複数の基本検査素子のうちの1つ（「検査対象素子」と呼ぶ）を顕微鏡183の観察位置に配置して液晶配向の観察を行う。次いで、残りの基本検査素子の1つを顕微鏡183の観察位置に配置し、同様に液晶配向の観察を行う。このようにして、複数の基本検査素子の液晶配向を順次観察する。この後、観察結果に基づいて、アンテナ単位の不良率を算出する。

[0341] 図36を参照しながら、検査装置402（図34）を用いた配向検査方法1のプロセスフローの一例を説明する。

[0342] まず、検査対象となる走査アンテナ（以下、「パネル」と呼ぶ。）をステージ181上に載置する（工程S1）。パネルの載置は、手動で行ってもよいし、不図示のローダーを使用してもよい。次いで、ステージ181上のガイドピン187に沿ってパネルの位置を決定する（工程S2）。続いて、プロービング治具189を用いて、パネルのソースバスラインおよびゲートバ

スラインに電源を接続する（工程 S 3）。

[0343] 次いで、パネルに設けられたマーカー（図 3 5）を用いて、パネルの位置を確認する（工程 S 4）。この後、基本検査素子の 1 つを検査対象素子として選択し、検査対象素子に対応する座標（検査素子座標）に基づいて、パネルを顕微鏡 1 8 3 に対して相対的に移動させて、検査対象素子を顕微鏡 1 8 3 で観察される位置に配置する（工程 S 5）。

[0344] 続いて、ソースバスラインに電圧を印加する。ここでは、例えば、ソースバスラインに + 2 ~ 1 0 V 程度の電圧を印加する。スロット電極は基準電位（グランド）に接続される。この状態で、ゲート電圧のオンオフによる液晶配向の変化を観察する（工程 S 6）。ここでは、例えば、ゲート電圧オン時にゲートバスラインに + 1 8 V を印加する。

[0345] 液晶配向の観察は、例えば次のようにして行う。まず、白色可視光光源、白色 LD（l a s e r d i o d e）などの光源を用いて、検査対象素子に照射する可視光の量を調整する。続いて、検査対象素子に可視光を入射させて、観察領域（液晶配向を観察し得る領域）U r からの反射光の強度を計測する。予め設定した反射光の基準強度と、計測された反射光の強度とを比較することにより、斜め電界によって液晶分子が所定の方に配向しているか否かの判定を行う。具体的には、反射光の強度が基準強度以上（「明」状態）であれば、斜め電界が生じている、すなわち、検査対象素子の液晶層には所定の電圧が印加されていると判断する。一方、反射光の強度が基準強度未満（「暗」状態）であれば、斜め電界が生じていない、すなわち、検査対象素子の液晶層には所定の電圧が印加されておらず、液晶分子が所定の配向を有していない（配向不良）と判断する。「配向不良」の要因として、何等かの配線不良またはその検査対象素子単独の不良（単素子不良）が生じていると考えられる。

[0346] なお、反射光の強度を測定せず、目視または画像処理で「明」状態または「暗」状態の判別を行ってもよい。あるいは、自動検査を行うことも可能である。自動検査では、例えば、工程 S 6 において以下のようなプロセスが実

行され得る。まず、ゲート電圧ONおよびOFFのときの検査対象素子の画像をそれぞれ取得する。次いで、これらの画像を比較し、輝度の変化量が最大となる点の変化量を測定し、予め設定した輝度変化量の基準値に基づいて、配向不良の有無を判定する。例えば、測定した輝度変化量が予め設定した基準値未満であれば、検査対象素子に配向不良が生じていると判断される。

[0347] 続いて、基本検査素子のうち未だ配向状態を観察していない素子の1つを、新たな検査対象素子として選択し、同様に、工程S5～S6を行って液晶配向を観察する。このようにして、全ての基本検査素子の液晶配向を順次観察する。

[0348] この後、観察結果に基づいて、配向不良を有するアンテナ単位の割合（素子不良率）、あるいは、ライン欠陥（配線の断線等）の割合などを算出し、パネル全体としての動作不良（パネル不良）の有無を判定する。

[0349] なお、検査対象素子が配向不良を有すると判断された場合に、配向不良の原因を調べるために、基本検査素子以外のアンテナ単位を追加検査素子として選択し、追加検査素子の液晶配向の観察を行ってもよい。

[0350] 図37は、配向検査1の他のプロセスフローを説明する図である。工程S1～S6は、図36を参照しながら前述した工程と同様である。

[0351] この例では、工程S6における液晶配向の観察の結果、検査対象素子が所定の液晶配向を有していないと判定された場合に、さらなる検査を行って、不良の原因を調べる（工程S7）。

[0352] 例えば、配向不良と判定された検査対象素子（「配向不良素子」と呼ぶ）と共通のゲートバスラインに接続された他のアンテナ単位U_g、および、配向不良素子と共通のソースバスラインに接続された他のアンテナ単位U_sの液晶配向を、工程S5～S6と同様の方法で観察する。これにより、ソースバスラインまたはゲートバスラインに断線、短絡等が生じているか（ライン不良）、単独の素子不良（単素子不良）であるかを判定できる。具体的には、アンテナ単位U_gに配向不良が生じていれば、ゲートバスラインに断線等が生じており、アンテナ単位U_sに配向不良が生じていれば、ソースバスラ

インに断線等が生じていると判断する。また、アンテナ単位 U_g 、 U_s がいずれも所定の液晶配向を有していれば、配向不良素子自体に不良がある「単素子不良」と判断する。

[0353] この後、次の基本検査素子を検査対象素子として選択し、工程 $S_5 \sim S_6$ に沿って液晶配向の観察を行う。配向不良と判定された場合には、工程 S_7 を行い、配向不良の原因を特定する。このようにして、順次、他の基本検査素子についても同様の方法で配向検査を行い、配向不良の原因を調べる。

[0354] 続いて、観察結果に基づいて、パネルの単素子不良率およびライン欠陥数を求める。単素子不良率は、基本検査素子総数に対する単素子不良と判定された素子数の割合である。

[0355] この後、算出した単素子不良率およびライン欠陥数を、予め設定した単素子不良率およびライン欠陥数の上限値と比較し、パネル全体としての動作不良（パネル不良）の有無を判断する。予め設定した単素子不良率の上限値は例えば 10%、ライン欠陥率（ライン総数に対するライン欠陥数の割合）の上限値は例えば 1%であってもよい。

[0356] あるいは、観察結果から算出した単素子不良率およびライン欠陥数から、「素子不良率」を算出してもよい。ここでは、ライン欠陥による不良率は、そのラインに接続された全てのアンテナ単位に動作不良が生じているとして算出する。このライン欠陥による不良率と単素子不良率との合計の不良率を「素子不良率」とする。算出した素子不良率を、予め設定された素子不良率の上限値と比較して、パネル不良の有無を判断してもよい。予め設定した素子不良率の上限値は例えば 10%であってもよい。

[0357] 図 37 に示す検査方法によると、全てのアンテナ単位 U を検査しなくても、パネルの動作不良の有無だけでなく、その原因を調べることができる。従って、より効率的かつ確実に配向検査を行うことが可能である。

[0358] なお、図 36 および図 37 では、配向検査 I のプロセスフローを例示したが、検査用透明電極を用いて液晶配向を観察する場合（配向検査 II）でも、同様のプロセスフローが適用される。配向検査 I と配向検査 II とでは、

配向検査の際にパネルを駆動させる電圧が同じであってもよいし、異なってもよい。配向検査 11 では、液晶配向を観察する際に、例えば、ソースバスラインに +2 ~ 10 V、ゲートバスラインに +18 V、スロット電極に 0 V を印加する。

[0359] (基本検査素子の選択方法)

図 36 および図 37 に例示した配向検査では、走査アンテナを構成する複数のアンテナ単位の一部のみの液晶配向を検査することによって、検査時間および検査コストを抑えてスループットを高めることができる。以下、検査対象となるアンテナ単位（基本検査素子）を選択する方法の一例を説明する。

[0360] 図 38 は、走査アンテナ 1000 のアンテナ単位 U の一部を示す模式図である。

[0361] まず、複数のアンテナ単位のうち、同じ配線（ここではソースバスライン S）に接続された複数のアンテナ単位を 1 つのグループとみなしてグループ化する。

[0362] この例では、複数のソースバスライン S（1）～S（3）が行方向に延びている。各ソースバスラインは、複数のアンテナ単位のパッチ電極 15 と、TFT（不図示）を介して接続されている。

[0363] ソースバスライン S（1）には、行方向に配列された複数のアンテナ単位 U（1a）～U（1g）のパッチ電極 15 が接続されている。これらのアンテナ単位 U（1a）～U（1g）をグループ 1 とする。同様にして、パッチ電極 15 がソースバスライン S（2）に接続された複数のアンテナ単位 U（2a）～U（2g）をグループ 2、パッチ電極 15 がソースバスライン S（3）に接続された複数のアンテナ単位 U（3a）～U（3g）をグループ 3 とする。

[0364] 次いで、グループ毎に検査対象素子を設定する。例えば、アンテナ単位 U（1a）、（1d）、（1g）およびそれらと同じ列にあるアンテナ単位を基本検査素子として選択してもよい。基本検査素子の数、配列などは図示す

る例に限定されない。

[0365] 1つのグループに2以上の基本検査素子を設定することが好ましい。あるグループ内の全ての基本検査素子に配向不良が生じていれば、そのグループのアンテナ単位が接続されている配線に短絡、断線などの不良が生じていると判断できる。従って、そのグループ内の全てのアンテナ単位が動作不良を有すると考えられる（グループ欠陥）。

[0366] 図39は、本実施形態における検査対象素子の他の選択方法を説明するための図であり、走査アンテナ1000におけるTF T基板のアンテナ単位Uの一部を示している。

[0367] 複数のソースバスラインS(1)～S(3)が行方向に延び、複数のゲートバスラインG(1)～G(3)が列方向に延びている。また、複数のアンテナ単位が行方向および列方向に配列されている。同じ列にあるアンテナ単位のTF Tのゲート電極は同じゲートバスラインに接続され、同じ行にあるアンテナ単位のTF Tのソース電極は同じソースバスラインに接続されている。ここでは、ソースバスラインS(n)およびゲートバスラインG(m)に接続されたTF Tを有するアンテナ単位をU(n-m)とする。例えばアンテナ単位(1-1)のTF Tは、ソースバスラインS(1)およびゲートバスラインG(1)に接続されている。

[0368] この例では、アンテナ単位U(1-1)、U(2-2)およびU(3-3)を基本検査素子として設定する。これらのアンテナ単位は、互いに、共通の配線（ゲートバスラインおよびソースバスライン）に接続されていない。ある基本検査素子の液晶配向が正常であると判定されると、その基本検査素子に接続されたソースバスラインおよびゲートバスラインに不良が生じていないと判断する。この方法によると、全てのライン不良を調べるのに必要な基本検査素子の数を低減できるので、検査コストおよび検査時間をさらに低減できる。

[0369] また、ある基本検査素子に配向不良が生じていると判定された場合、例えば図37を参照しながら前述した工程S7を行ってもよい。すなわち、共通

の配線に接続された他のアンテナ単位の配向検査を行い、ソースバスラインまたはゲートバスラインに断線等が生じているか（ライン不良）、単独の素子不良であるかを判定してもよい。例えば、アンテナ単位 $U(2-2)$ が配向不良と判定されると、アンテナ単位 $U(2-2)$ と共通のゲートバスラインに接続された他のアンテナ単位 $U(1-2)$ 、 $U(3-2)$ 等の液晶配向を検査する。同様に、アンテナ単位 $U(2-2)$ と共通のソースバスラインに接続された他のアンテナ単位 $U(2-1)$ 、 $U(2-3)$ 等の液晶配向を検査する。これにより、ゲートバスライン不良またはソースバスライン不良の有無を判断できる。いずれのライン不良も生じていない場合には、アンテナ単位 $U(2-2)$ 自体に不良がある（単素子不良）と判断される。

[0370] （基本検査素子の構造）

基本検査素子の観察領域の液晶配向がより容易に観察できるように、基本検査素子の電極構造を、他のアンテナ単位の電極構造と異ならせてもよい。例えば、基本検査素子の上部電極および下部電極の少なくとも一方に凹部または凸部を設けて、観察領域 U_r を拡大してもよい（図 2 1～図 2 4 参照）。あるいは、基本検査素子の上部電極または下部電極と接するように検査用透明電極を形成してもよい（図 2 6～図 3 2 参照）。これにより、走査アンテナを構成する全てのアンテナ単位の電極構造を上記のように変更する場合と比べて、電極構造の変更がアンテナ性能に与える影響を抑制できる。

[0371] また、基本検査素子が配向不良と判断された場合に、配向検査の対象となる可能性のあるアンテナ単位（追加検査素子）を予め設定しておき、基本検査素子および追加検査素子の電極構造を上記のように変更し、他のアンテナ単位の電極構造と異ならせてもよい。

[0372] [走査アンテナの他の検査方法]

本実施形態の走査アンテナの他の配向検査方法（以下、「配向検査ⅠⅠⅠ」）を説明する。配向検査ⅠⅠⅠでは、走査アンテナの T F T 基板に、アンテナ単位と重ならないように検査用透明電極を配置し、検査用透明電極越しに液晶配向の観察を行う。

- [0373] 検査用透明電極は、送受信領域において、ソースバスラインにＴＦＴ（検査用ＴＦＴ）を介して接続される。例えばソースバスラインの終端部（ソース端子側と反対側の終端部、以下「第１終端部」と呼ぶ）近傍に接続されていてもよい。また、検査用透明電極は、液晶層を介してスロット基板上のスロット電極と対向するように配置される。
- [0374] 配向検査時には、検査用透明電極とスロット電極とによって液晶層に電圧を印加し、ＴＦＴ基板の裏面側から、検査用透明電極越しに液晶の配向状態を観察する。これにより、液晶配向の良否を検査することができる。
- [0375] 本明細書では、走査アンテナの送受信領域内に設けられた、検査用ＴＦＴ、検査用透明電極、および検査用透明電極に対向するように配置されたスロット電極を含む単位領域を「検査電極部」と呼ぶ。本実施形態の走査アンテナには、典型的には、複数の検査電極部が設けられる。検査電極部は、アンテナ単位と同様の構造を有し得るが、透光性を有しないパッチ電極の代わりに、可視光を透過し得る検査用透明電極が配置される。
- [0376] ＴＦＴ基板には、また、非送受信領域において、配向検査時にソースバスラインおよびゲートバスラインに外部から電圧を入力するためのパッド（以下、「検査用パッド」）が形成されていてもよい。ここでいう「外部から電圧を入力する」とは、外部の電源から、ソースドライバまたはゲートドライバを介さずに、ソースバスラインまたはゲートバスラインに電圧を入力することをいう。これにより、より簡便に配向検査を実施できる。検査用パッドは、１または複数のソースバスラインまたはゲートバスラインに対応して配置され得る。検査用パッドは、ソースバスラインまたはゲートバスラインの入力端子側の終端部（「第２終端部」と呼ぶ）の近傍にそれぞれ配置してもよい。
- [0377] ソースバスラインの第２終端部近傍に検査用パッドを配置し、かつ、第１終端部近傍に検査用透明電極を配置してもよい。これにより、当該ソースバスラインの断線などのライン欠陥の有無も調べることができる。
- [0378] 前述した配向検査１、１１（図２１～図３０）では、斜め電界によって生

じた液晶配向、またはアンテナ単位Uの内部に透明電極を設けることによって生じた液晶配向を、アンテナ単位Uごとに観察する。このため、走査アンテナの法線方向から液晶配向を観察可能な領域（観察領域） U_r のサイズ（面積）は小さく、液晶配向の良否を目視で判断することが難しい場合もある。これに対し、配向検査Ⅲでは、アンテナ単位Uの外部に検査用透明電極を配置するので、アンテナ単位Uのサイズにかかわらず、検査用透明電極を大きくすることが可能である。この結果、上述した配向検査Ⅰ、Ⅱよりも観察領域 U_r を大幅に拡大でき、液晶分子の配向状態をより容易に観察できる。液晶配向の良否（すなわち観察領域 U_r の明暗）を目視で判断することも可能になる。

[0379] <配向検査Ⅲに用いるTF T基板および走査アンテナの構造>

まず、図面を参照しながら、配向検査Ⅲに用いるTF T基板106の構造を説明する。

[0380] 図40（a）は、TF T基板106の一部を例示する模式的な拡大平面図であり、図40（b）は、TF T基板106の一例を示す模式的な平面図である。図40（a）および（b）では、簡単のため、TF T基板106における一部のソースバスラインSLのみを示し、ゲートバスライン、パッチ電極などの構成要素の図示を省略している。なお、以下の説明では、図1および図3等を参照しながら前述したTF T基板101の構成と異なる点を説明し、図1および図3と同様の構成については適宜説明を省略する。

[0381] 図40（a）に示すように、TF T基板106は、ソースバスラインSLと、配向検査時にソースバスラインSLに電圧を印加する検査用パッド（検査用ソースパッド）110と、検査用TF T120と、検査用透明電極130とを有している。ソースバスラインSLは、非送受信領域R2に配置されたソース端子部（不図示）から送受信領域R1に延びている。送受信領域R1において、ソースバスラインSLには、複数のアンテナ単位UのTF T（「第1のTF T」ともいう）10と、検査用TF T（「第2のTF T」ともいう）120とが電氣的に接続されている。検査用TF T120のソース電

極はソースバスラインSLに接続され、ドレイン電極は検査用透明電極130に接続されている。従って、検査用透明電極130は、検査用TF T 120を介してソースバスラインSLに電氣的に接続されている。

[0382] 本明細書では、TF T基板106における、走査アンテナの検査電極部に相当する領域REも「検査電極部」と称する。TF T基板106の検査電極部REは、ソースバスラインSLに対応して設けられ、検査用TF T 120および検査用透明電極130を含む。検査電極部REは、アンテナ単位Uと同様の構造を有し得るが、パッチ電極の代わりに検査用透明電極130が配置されている。検査用電極部REの検査用TF T 120は、アンテナ単位UのTF T 10と同様の構造を有していてもよい。

[0383] 検査用透明電極130は、後述するように、液晶層を介してスロット電極と対向している。配向検査時には、検査用透明電極130とスロット電極とによって液晶層に電圧が印加され、液晶配向が変化する。従って、検査用透明電極130越しに、液晶配向の良否を確認できる。液晶配向を観察可能な観察領域Urは、基板法線方向から見たとき、検査用透明電極130とスロット電極のソリッド部（スロットが設けられていない部分）とが重なる領域（配向制御領域）である。スロット電極のうち検査用透明電極130に対向する部分にスロット（開口部）が形成されていない場合には、図示するように、検査用透明電極130が配置された領域全体が観察領域Urになる。

[0384] 図40(a)に示す例では、検査電極部REは、ソースバスラインSLの第1終端部（ソース端子部と反対側の終端部）t1近傍に配置されている。また、検査用ソースパッド110は、ソースバスラインSLの第2終端部（ソース端子部側の終端部）t2近傍に配置されている。検査用ソースパッド110は、例えば、不図示のソース端子部に接続されていてもよい。あるいは、検査用ソースパッド110は、ソースバスラインSLにおける、ソース端子部と複数の第1のTF Tとの間に接続されていてもよい。

[0385] 検査用ソースパッド110は、ダイオード等の切替スイッチ116を介してソースバスラインSLと接続されていてもよい。切替スイッチ116を設

けることにより、配向検査時には検査用ソースパッド110とソースバスラインSLとを電氣的に接続し、通常のアンテナ動作時には検査用ソースパッド110とソースバスラインSLとを電氣的に分離することが可能になる。従って、検査用ソースパッド110によるアンテナ動作への影響を抑えることができる。

[0386] TFT基板106には、典型的には、複数の検査用電極部REが設けられる。例えば図40(b)に示すように、複数（ここでは2つ）のソースバスラインSLのそれぞれに検査用電極部REが接続されていてもよい。この例では、各ソースバスラインSLは、検査用ソースパッド110から送受信領域R1の周縁部に延びており、第1終端部近傍で検査用透明電極130に接続されている。検査用電極部REは、走査アンテナを構成する複数のソースバスラインSLの全てに配置されてもよいし、一部のソースバスラインSLのみに配置されてもよい。なお、図示していないが、TFT基板106には、配向検査時にゲートバスラインに電圧を印加するための検査用ゲートパッドがさらに設けられていてもよい。

[0387] 検査用ソースパッド110は、金属膜から形成されていてもよいし、金属酸化物膜から形成されていてもよい。検査用ソースパッド110は、パッチ電極またはソースバスラインSLと同じ導電膜を用いて形成され得る。あるいは、端子用の導電膜（透明導電膜）を用いて形成されていてもよい。検査用ソースパッド110は、例えば、パッチ電極と同じ導電膜（例えばMoN/AI/MoN膜、Ti/Cu/Ti膜など）から形成された下層と、端子用の導電膜（例えばITO膜）を用いて形成された上層とを含む積層構造を有していてもよい。

[0388] 検査用ソースパッド110のサイズおよび形状は特に限定しない。この例では、基板法線方向から見たとき、検査用ソースパッド110は矩形（例えば $400\mu\text{m} \times 400\mu\text{m}$ ）である。検査用ソースパッド110は、ソースバスラインSLごとに設けられてもよい。あるいは、複数のソースバスラインSLに対して1つの検査用ソースパッド110が設けられていてもよい。

- [0389] 検査用透明電極 130 は、前述した検査用透明電極 92 と同様の材料を用いて形成され得る。検査用透明電極 130 の材料として、例えば ITO、In-Ga-Zn-O などの金属酸化物を用いることができる。あるいは、アモルファスシリコンなどの Si 系半導体を用いてもよい。また、液晶配向が観察可能な程度の可視光透過率を有していればよく、金属薄膜であっても構わない。検査用透明電極 130 は、TFT 基板 106 の端子用の導電膜（例えば ITO 膜）を用いて形成されていてもよい。または、TFT 基板 106 における TFT の活性層と同じ半導体膜（例えば In-Ga-Zn-O 系金属酸化物膜）を利用して形成されていてもよい。
- [0390] 検査用透明電極 130 は、パッチ電極よりも高い電気抵抗を有していてもよい。なお、液晶配向をより確実に制御する観点から、検査用透明電極 130 のシート抵抗は例えば $5.0 \Omega/\square$ 以下であることが好ましい。
- [0391] 検査用透明電極 130 は、液晶配向を容易に観察可能なサイズを有することが好ましい。基板法線方向から見たとき、検査用透明電極 130 の面積は、パッチ電極の面積よりも大きく、好ましくはパッチ電極の面積の 2 倍以上、より好ましくは 4 倍以上であってもよい。検査用透明電極 130 の幅は、例えば 3 mm 以上、好ましくは 5 mm 以上であってもよい。一方、検査用透明電極 130 を設けることによるアンテナ性能の低下、送受信領域 R1 の面積の増大などを抑える観点から、検査用透明電極 130 の幅は 5 mm 以下であってもよい。互いに隣接する 2 つのソースバスライン SL にそれぞれ検査用透明電極 130 を設ける場合には、検査用透明電極 130 は、2 つのソースバスライン SL の間に配置可能なサイズおよび形状を有していてもよい。
- [0392] 検査用透明電極 130 の厚さは、表皮深さ未満であることが好ましい。これにより、送受信の対象となるマイクロ波が検査用透明電極 130 を透過するので、検査用透明電極 130 を設けることによるアンテナ性能の低下を抑制できる。検査用透明電極 130 の厚さは例えば 100 nm 以下であってもよい。ここでは、検査用透明電極 130 の厚さを例えば 70 nm とする。
- [0393] 次いで、配向検査 III に使用する走査アンテナ 1000E の構造を説明

する。

[0394] 図41(a)は、それぞれ、走査アンテナ1000Eを例示する模式的な平面図である。

[0395] 走査アンテナ1000Eは、TFT基板106と、スロット基板206と、これらの基板の間に配置された液晶層（不図示）とを備える。TFT基板106は、図40(a)および(b)を参照しながら前述した構成を有している。ここでは、2つの検査用電極部REのみが図示されているが、走査アンテナ1000Eは3以上の検査用電極部REを有していてもよい。

[0396] スロット基板206は、TFT基板106と対向する側の表面に、スロット電極55を有している。スロット電極55は、アンテナ単位Uごとにスロット57を有している。ただし、スロット電極55のうち、検査用電極部REに位置する部分、特に検査用透明電極130に対向する部分にはスロット57が設けられておらず、ソリッド部（スロット以外の部分）56のみで構成されていることが好ましい。これにより、配向検査時に、液晶層のうち検査用透明電極130全体と重なる部分の液晶配向が制御され、TFT基板106側から観察できるので、観察領域Urのサイズをより大きくできる。

[0397] また、本実施形態におけるTFT基板106の支持基板（第1誘電体基板）は、ソース端子部およびゲート端子部よりも外側（周縁側）に除去可能な基板領域を有し、この基板領域に検査用ソースパッド110等の検査用パッドが配置されていてもよい。この場合、図41(b)に例示するように、配向検査を終了した後、TFT基板106から上記基板領域を分離し、続いてソースドライバ、ゲートドライバを搭載したFPC（Flexible Printed Circuit）117をTFT基板106に実装してもよい。

[0398] <配向検査時の液晶の配向状態、液晶配向の観察方法および観察結果>
次いで、配向検査111のときの液晶の配向状態および液晶配向の観察結果を説明する。

[0399] 図42(a)は、走査アンテナ1000Eにおける検査電極部REの配向

状態を模式的に示す拡大断面図であり、図42(b)は、TF T基板106の上方から液晶配向を観察した結果を例示する拡大平面図である。

[0400] 走査アンテナ1000Eは、アンテナ単位Uとは別個に、検査用透明電極130を含む検査電極部REを有している。図42では、単一の検査用電極部REと、検査用電極部REに隣接する一部のアンテナ単位Uとを示している。TF T基板106およびスロット基板206の構造は、図40および図41を参照しながら前述した構造と同様である。

[0401] 配向検査時に、検査用電極部REにおいて、検査用透明電極130およびスロット電極55によって液晶層LCに電圧が印加されると、図42(a)に示すように、液晶層LCのうち検査用透明電極130とスロット電極55（ソリッド部56）との間に位置する部分では、液晶分子は垂直方向（すなわち液晶層LCの厚さ方向）に配向する。図42(b)に示すように、検査用電極部REの液晶配向は、TF T基板100Aの上方から、検査用透明電極130越しに観察され得る。観察領域Urのサイズは、検査用透明電極130のサイズと略同じである。

[0402] 配向検査時には、走査アンテナのDC駆動または低周波駆動（例えば60Hz程度）を行うことが好ましい。これにより、比較的抵抗の高い検査用透明電極130を用いた場合でも液晶配向を制御することが可能である。

[0403] 配向検査IIIでは、前述した配向検査I、IIと同様に、例えば、落射型の顕微鏡で拡大観察したときの、観察領域Urからの反射光の強度（または観察領域Urの明暗）によって、その観察領域Urにおいて液晶配向が制御されているか否かを識別することができる。具体的には、観察領域Urにおいて液晶分子が垂直方向（液晶層の厚さ方向）に配向していると、観察領域Urからの反射光の強度は比較的大きい。すなわち、観察領域Urは「明（または白）」状態となる。一方、液晶分子が水平方向に配向していると、観察領域Urからの反射光の強度は小さく、観察領域Urは「暗（または黒）」状態となる。このように、観察領域Urからの反射光の強度（または観察領域Urの明暗）によって、そのアンテナ単位の液晶配向の状態が分かり

、液晶層LCに電圧が印加されているか否かを判別できる。なお、配向検査ⅠⅠⅠでは、観察領域Urのサイズを比較的大きくできるので、観察領域Urの明暗を目視でも容易に識別され得る。ただし、前述の他の配向検査と同様に画像処理を用いてもよい。

[0404] 斜め電界を利用した配向検査Ⅰでは、21および図22を参照しながら説明したように、アンテナ単位Uの一部が、液晶配向を観察可能な観察領域Urとなるため、観察領域Urのサイズを大きくすることが難しい。図これに対し、配向検査ⅠⅠⅠでは、アンテナ単位Uとは別個に設けられた検査用透明電極130を利用して液晶配向を観察するので、検査用透明電極130のサイズ、形状、配置によって、観察領域Urのサイズ（面積）、形状、配置などを自由に変えることができる。従って、観察領域Urを目視で明暗を判断し得るサイズまで拡大することができ、より容易に配向検査を行うことが可能になる。さらに、TF T基板106に、配向検査時に使用する専用の検査用パッドを設けると、より簡便に検査を実施できる。

[0405] なお、必要に応じて、検査用電極部REを用いた配向検査ⅠⅠⅠと、斜め電界を利用した配向検査Ⅰとを併用してもよい。例えば、あるソースバスラインに接続された検査電極部REにおいて「暗」状態（配向不良）と判断された場合に、そのソースバスラインに接続されている各アンテナ単位について、斜め電界を利用した配向検査（図22参照）をさらに行ってもよい。

[0406] <TF T基板106、スロット基板206のより具体的な構造>

次いで、図43および図44を参照しながら、配向検査ⅠⅠⅠに使用するTF T基板106、スロット基板206のより具体的な構造を説明する。図43および図44では、図3に示すTF T基板101および図6に示すスロット基板201と同様の構成要素には同じ参照符号を付する。以下の説明では、簡単のため、図3、図6と異なる点のみを説明し、重複する説明を適宜省略する。

[0407] 図43は、TF T基板106のより具体的な構成を例示する模式的な断面図である。

[0408] T F T基板106は、送受信領域R1に配置された複数の検査用電極部REと、非送受信領域R2に配置された検査用ソースパッド110とを有している。

[0409] 検査電極部REには、検査用T F T120および検査用透明電極130が配置されている。検査用T F T120は、送受信領域R1の各アンテナ単位Uに配置されたT F T10と同様の構成を有している。検査用透明電極130は、第2絶縁層17上に形成されている。この例では、端子用の透明導電膜を用いて、ソース端子用上部接続部19s（図3）、ゲート端子用上部接続部19g（図3）および検査用透明電極130を形成している。検査用透明電極130は、第1絶縁層11および第2絶縁層17に設けられたコンタクトホール内で検査用T F T120のドレイン電極に接続されている。

[0410] 検査用ソースパッド110は、例えば、パッチ電極15と同じ導電膜を用いた下層110Lと、端子用の透明導電膜を用いた上層110Uとを含む積層構造を有している。下層110Lは、第1絶縁層11に形成された開口部内でソースバスラインSLと接している。上層110Uは、第2絶縁層17に形成された開口部内で下層110Lと接している。なお、図示していないが、検査用ゲートパッドも同様の積層構造を有していてもよい。ただし、検査用ゲートパッドは、第1絶縁層11およびゲート絶縁層4に形成された開口部内でゲートバスラインと接するように配置される。

[0411] 図44は、スロット基板206のより具体的な構成を例示する模式的な断面図である。スロット基板206は、複数のスロット57を有するスロット電極55と、スロット電極55を覆う絶縁層58とを備える。スロット電極55のうち検査電極部REに位置する部分（あるいは検査用透明電極130に対向する部分）にはスロット57が形成されていない。

[0412] <検査用駆動回路および信号波形>

図45は、配向検査111で使用する駆動回路（検査用駆動回路）を示す模式的な図である。

[0413] 検査用駆動回路は、検査用ソースパッド110、ソース端子部ST、検査

用ゲートパッド112、ゲート端子部GT、ソースバスラインSL、ゲートバスラインGLおよび検査電極部REを有している。ソースバスラインSLはソース端子部STから送受信領域R1に延び、ゲートバスラインGLはゲート端子部GTから送受信領域R1に延びている。

[0414] ソース端子部STには、ソース電圧VsをソースバスラインSLに入力するための検査用ソースパッド110が接続されている。ソース電圧Vsは、検査用ソースパッド110から、ソース端子部ST、およびソース端子部STに接続されたソースバスラインSLに入力される。同様に、ゲート端子部GTには、ゲート電圧VgをゲートバスラインGLに入力するための検査用ゲートパッド112が接続されている。ゲート電圧Vgは、検査用ゲートパッド112から、ゲート端子部GT、およびゲート端子部GTに接続されたゲートバスラインGLに入力される。検査用ソースパッド110とソース端子部STとの間、および、検査用ゲートパッド112とゲート端子部GTとの間に、ダイオードなどの切り替えスイッチ116が設けられていてもよい。

[0415] 検査用電極部REは、検査用TF T120、検査用透明電極130およびスロット電極55を含んでいる。検査用TF T120のゲート電極には検査用ゲートパッド112からの電圧Vgが印加され、ソース電極には検査用ソースパッド110からの電圧Vsが印加される。スロット電極55は、例えばコモン電位Vcomに設定されている。図示していないが、スロット電極55に電圧Vcomを印加する検査用コモンパッドがさらに設けられていてもよい。

[0416] 図46は、配向検査時の各信号の波形を例示する図である。配向検査時には、ゲート電圧Vgをハイレベルで一定とし、常時、各アンテナ単位のTF T10および検査用TF T120をオン状態で維持する。この状態で、ソース電圧Vsをコモン電位Vcomに対してプラス方向およびマイナス方向に変化させる。このとき、検査電極部REにおいて、ソース電圧Vsとコモン電位Vcomとの電位差によって、検査用透明電極130とスロット電極5

5との間に生じる液晶配向の変化を確認する。

[0417] 配向検査時の各電圧値は特に限定しないが、例えばゲート電圧 V_g を+18V、コモン電位 V_{com} を0Vに設定する。ソース電圧 V_s は0Vより大きい値 $V_s(H)$ と、0Vよりも小さい値 $V_s(L)$ との間で変化させる。例えば、 $V_s(H)$ を+2V以上+10V以下、 $V_s(L)$ を−10V以上−2V以下に設定してもよい。

[0418] 本実施形態では、配向検査時に、全てのソースバスラインSL、全てのゲートバスラインGLおよびスロット電極55に上記の所定の電圧を同時に印加し、全てのアンテナ単位Uおよび検査用電極部RE（ライン不良などの動作不良を有するものは除く）を駆動させてもよい。これにより、より短時間で、全検査用電極部REの液晶配向の良否を判断できる。

[0419] 図47は、走査アンテナ1000Eにおける検査用駆動回路および検査用電極部REの配置例を示す図である。

[0420] 走査アンテナ1000Eは、TFT基板100Aと、スロット基板206と、これらの間に配置された液晶層（不図示）とを有している。走査アンテナ1000Eは、また、マトリクス状に配列された複数のアンテナ単位Uを含む送受信領域R1と、送受信領域R1の周辺（この例では左側および上側）に配置された送受信領域R1を含んでいる。スロット基板206は、少なくとも送受信領域R1に配置されている。液晶材料は送受信領域R1を包囲するように形成されたシール部73によって送受信領域R1内に封止されている。

[0421] 非送受信領域R2において、TFT基板100Aには、検査用ソースパッド110、複数のソース端子部ST、検査用ゲートパッド112、複数のゲート端子部GT、検査用コモンパッド111が配置されている。

[0422] 複数のソースバスラインSL（ここではS(1)～S(6)）のそれぞれは対応するソース端子部STに接続されている。これらのソース端子部STは、それぞれ、接続配線を介して検査用ソースパッド110に接続されている。この例では、接続配線同士を電氣的に接続し、1つの検査用ソースパッド

ド１１０に接続している。同様に、複数のゲートバスラインＧＬ（ここではＧ（１）～Ｇ（７））のそれぞれは対応するゲート端子部ＧＴに接続されている。これらのゲート端子部ＧＴは、それぞれ、接続配線を介して検査用ゲートパッド１１２に接続されている。この例では、接続配線同士を電氣的に接続し、１つの検査用ゲートパッド１１２に接続している。検査用コモンパッド１１１は、スロット基板２０１のスロット電極５５に接続されている。検査用コモンパッド１１１から延びる接続配線とスロット電極５５とは、例えば銀ペーストなどの導電性を有する樹脂を介して接続されていてもよい。なお、ソース端子部ＳＴと検査用ソースパッド１１０との間に位置する領域１１９ｓは、ソースドライバが設置される領域であり、ゲート端子部ＧＴと検査用ゲートパッド１１２との間に位置する領域１１９ｇは、ゲートドライバが設置される領域である。ゲートドライバおよびソースドライバは、配向検査後に設置されてもよい。

[0423] 複数のソースバスラインＳＬのそれぞれは、ソース端子部ＳＴから送受信領域Ｒ１の周縁部近傍まで延び、検査用電極部ＲＥに接続されている。従って、送受信領域Ｒ１の周縁部近傍（配列されたアンテナ単位Ｕの右側）に、複数のソースバスラインＳＬに対応する複数の検査電極部ＲＥが配列されている。また、複数のゲートバスラインＧＬのうち検査用電極部ＲＥに近いゲートバスラインＧ（７）は、複数の検査用電極部ＲＥにおける検査用ＴＦＴ１２０に接続されている。

[0424] 図示していないが、ゲート端子部ＧＴと検査用ゲートパッド１１２との間、およびソース端子部ＳＴと検査用ソースパッド１１０との間に、切替スイッチとしてダイオードなどのスイッチング素子が設けられていてもよい。

[0425] 図示する例では、ソースバスラインＳＬは行方向に延び、ゲートバスラインＧＬは列方向に延び、複数の検査用電極部ＲＥは列方向に配列されているが、これらのバスラインおよび検査用電極部ＲＥの配置は、図示する例に限定されない。検査電極部ＲＥは、例えば、アンテナ単位Ｕが配列された領域を包囲するように配列されてもよい。また、この例では、全てのソースバス

ライン S L に検査電極部 R E を設けているが、一部のソースバスライン S L にのみ検査電極部 R E を設けてもよい。検査電極部 R E の数が増えると、送受信領域 R 1 に必要な面積が増大したり、アンテナ性能に影響を及ぼす可能性がある。検査電極部 R E は、例えばソースバスライン S L 5 ～ 10 本ごとに配置されてもよい。

[0426] また、前述したように、ソース端子部 S T およびゲート端子部 G T よりの外側（周縁側）に位置し、かつ、検査用の入力パッドである検査用ソースパッド 1 1 0、検査用ゲートパッド 1 1 2 および検査用コモンパッド 1 1 1 が形成された部分を、検査終了後に T F T 基板 1 0 6 から切り離すことも可能である。図 4 7 に示す破線 1 1 8 に沿って、検査用ソースパッド 1 1 0 とソースドライバ設置領域 1 1 9 s との間、および、検査用ゲートパッド 1 1 2 とゲートドライバ設置領域 1 1 9 g との間で基板を分断してもよい。

[0427] 配向検査は、ソースドライバおよびゲートドライバを T F T 基板 1 0 6 に実装する前に実施してもよい。これにより、ソース端子部およびゲート端子部を利用して、配向検査時に各バスラインに電圧を印加し易くなる。配向検査で「パネル不良無し」であることが確認された後、上述したように、検査用パッドを除去し、ソースドライバおよびゲートドライバを実装してもよい。

[0428] さらに、T F T 基板 1 0 6 に検査用の入力パッドを設けなくてもよい。この場合、配向検査時に、検査用電極部 R E が接続されたソースバスラインのソース端子部およびゲートバスラインのゲート端子部に直接、外部電源を接続して所定の電圧を印加すればよい。

[0429] <配向検査 I I I のプロセスフロー>

本配向検査でも、図 3 3 および図 3 4 に例示した検査装置 4 0 1、4 0 2 を用いることができる。まず、走査アンテナに配置された複数の検査電極部 R E のうちの 1 つ（「検査対象電極部」と呼ぶ）を顕微鏡 1 8 3 の観察位置に配置して液晶配向の観察を行う。観察時には、必要に応じて偏光板を使用してもよい。次いで、残りの検査電極部 R E の 1 つを顕微鏡 1 8 3 の観察位

置に配置し、同様に液晶配向の観察を行う。このようにして、複数の検査電極部 R E の液晶配向を順次観察する。この後、観察結果に基づいて、ライン欠陥などの不良率を算出する。

[0430] 図 4 8 を参照しながら、検査装置 4 0 2 (図 3 4) を用いた配向検査 I I I のプロセスフローの一例を説明する。

[0431] まず、検査対象となる走査アンテナ (以下、「パネル」と呼ぶ。) をステージ 1 8 1 上に載置する (工程 S 1 1)。パネルの載置は、手動で行ってもよいし、不図示のローダーを使用してもよい。次いで、ステージ 1 8 1 上のガイドピン 1 8 7 に沿ってパネルの位置を決定する (工程 S 1 2)。続いて、プロービング治具 1 8 9 を用いて、パネルの検査用ソースパッドおよび検査用ゲートパッドに電源を接続する (工程 S 1 3)。

[0432] 次いで、パネルに設けられたマーカー (図 3 5) を用いて、パネルの位置を確認する (工程 S 1 4)。この後、検査電極部 R E の 1 つを検査対象電極部として選択し、検査対象電極部に対応する座標に基づいて、パネルを顕微鏡 1 8 3 に対して相対的に移動させて、検査対象電極部を顕微鏡 1 8 3 で観察される位置に配置する (工程 S 1 5)。

[0433] 続いて、スロット電極を所定の共通電位 V_{com} に接続し、共通電位 V_{com} (ここでは 0 V) が変動しないように保った状態で、検査用ゲートパッドからゲートバスラインにゲート電圧 (ここでは +18 V) を入力し、全ての T F T (検査用 T F T を含む) をオン状態にする。続いて、検査用ソースパッドからソースバスラインにソース電圧 V_s を印加する。ここでは、例えば、ソース電圧 V_s をプラス方向およびマイナス方向に交互に変化させて、液晶配向の変化を観察する (工程 S 1 6)。

[0434] 液晶配向の観察は、図 3 6 を参照しながら前述した方法と同様の方法で行う。例えば、検査対象電極部に可視光を入射させて、観察領域 U_r (検査電極部 R E) からの反射光の強度を計測するか、あるいは、目視によって、観察領域 U_r が「明」状態か「暗」状態かを判別する。「明」状態であれば、検査対象電極部の液晶層には所定の電圧が印加されていると判断する。一方

、「暗」状態であれば、検査対象電極部の液晶層には所定の電圧が印加されておらず、液晶分子が所定の配向を有していない（配向不良）と判断する。

[0435] 続いて、検査電極部 R E のうち未だ配向状態を観察していない電極部の 1 つを、新たな検査対象電極部として選択し、同様に、工程 S 1 5 ～ S 1 6 を行って液晶配向を観察する。このようにして、全ての検査電極部 R E の液晶配向を順次観察する。

[0436] この後、観察結果に基づいて、配向不良を有するアンテナ単位の割合（素子不良率）、あるいは、ライン欠陥（配線の断線等）の割合などを算出し、パネル全体としての動作不良（パネル不良）の有無を判定してもよい。

[0437] 本発明の実施形態による走査アンテナは、必要に応じて、例えばプラスチック製の筐体に收容される。筐体にはマイクロ波の送受信に影響を与えない誘電率 ϵ_M が小さい材料を用いることが好ましい。また、筐体の送受信領域 R 1 に対応する部分には貫通孔を設けてもよい。さらに、液晶材料が光に曝されないように、遮光構造を設けてもよい。遮光構造は、例えば、T F T 基板 1 0 1 の誘電体基板 1 および／またはスロット基板 2 0 1 の誘電体基板 5 1 の側面から誘電体基板 1 および／または 5 1 内を伝播し、液晶層に入射する光を遮光するように設ける。誘電異方性 $\Delta \epsilon_M$ が大きな液晶材料は、光劣化しやすいものがあり、紫外線だけでなく、可視光の中でも短波長の青色光も遮光することが好ましい。遮光構造は、例えば、黒色の粘着テープなどの遮光性のテープを用いることによって、必要な個所に容易に形成できる。

産業上の利用可能性

[0438] 本発明による実施形態は、例えば、移動体（例えば、船舶、航空機、自動車）に搭載される衛星通信や衛星放送用の走査アンテナおよびその検査に用いられる。

符号の説明

[0439] 1 : 誘電体基板
2 : 下地絶縁膜
3 : ゲート電極

4	: ゲート絶縁層	
5	: 半導体層	
6 D	: ドレインコンタクト層	
6 S	: ソースコンタクト層	
7 D	: ドレイン電極	
7 S	: ソース電極	
7 p	: ソース接続配線	
1 1	: 第 1 絶縁層	
1 5	: パッチ電極	
1 5 e	: パッチ電極のエッジ	
1 5 p	: パッチ接続部	
1 7	: 第 2 絶縁層	
1 8 g、1 8 s、1 8 p	: 開口部	
1 9 g	: ゲート端子用上部接続部	
1 9 p	: トランスファァー端子用上部接続部	
1 9 s	: ソース端子用上部接続部	
2 1	: アライメントマーク	
2 3	: 保護導電層	
5 1	: 誘電体基板 5 2	: 第 3 絶縁層
5 4	: 誘電体層 (空気層)	
5 5	: スロット電極	
5 5 L	: 下層	
5 5 M	: 主層	
5 5 U	: 上層	
5 5 c	: コンタクト面	
5 6	: ソリッド部	
5 6 e	: ソリッド部のエッジ	
5 7	: スロット	

- 5 8 : 第4 絶縁層
- 6 0 : 上部接続部
- 6 5 : 反射導電板
- 6 8 : ヒーター用抵抗膜
- 7 0 : 給電装置
- 7 1 : 導電性ビーズ
- 7 2 : 給電ピン
- 7 3 : シール部
- 8 1、8 2 : スリット（凹部）
- 8 3 : 凸部
- 9 2 : 検査用透明電極
- 1 0 1、1 0 2、1 0 3、1 0 4、1 0 5、1 0 6 : T F T 基板
- 2 0 1、2 0 3、2 0 4、2 0 6 : スロット基板
- 1 1 0 : 検査用ソースパッド
- 1 1 1 : 検査用コモンパッド
- 1 1 2 : 検査用ゲートパッド
- 1 1 6 : 切替スイッチ
- 1 2 0 : 検査用 T F T
- 1 3 0 : 検査用透明電極
- 1 8 1 : ステージ
- 1 8 3 : 顕微鏡
- 1 8 5 : カメラシステム
- 1 8 7 : ガイドピン
- 1 8 9 : プロービング治具
- 1 9 0、1 9 0 A、1 9 0 B、1 9 0 C : マーカー
- 4 0 1、4 0 2 : 検査装置
- 1 0 0 0、1 0 0 0 A、1 0 0 0 B、1 0 0 0 C、1 0 0 0 D、1 0 0 0 E
: 走査アンテナ

CH 1、CH 2、CH 3、CH 4、CH 5、CH 6 : コンタクトホール

GD : ゲートドライバ

GL : ゲートバスライン

GT : ゲート端子部

SD : ソースドライバ

SL : ソースバスライン

ST : ソース端子部

PT : トランスファー端子部

IT : 端子部

LC : 液晶層

LE : 下部電極

UE : 上部電極

UE e : 上部電極のエッジ

R 1 : 送受信領域

R 2 : 非送受信領域

R s : シール領域

RE : 検査電極部

U、U 1、U 2 : アンテナ単位、アンテナ単位領域

U r、U r 1、U r 2 : 観察領域

請求の範囲

[請求項1]

複数のアンテナ単位が配列された送受信領域と、前記送受信領域以外の領域に位置する非送受信領域とを有する走査アンテナであって、

第1誘電体基板と、前記第1誘電体基板に支持された複数の第1のT F Tと、複数のパッチ電極と、複数のゲートバスラインと、複数のソースバスラインとを有するT F T基板であって、前記送受信領域において、前記複数の第1のT F Tおよび前記複数のパッチ電極は、それぞれ、前記複数のアンテナ単位に対応して配置され、前記非送受信領域において、前記複数のソースバスラインのそれぞれは、前記非送受信領域に配置されたソース端子部から前記送受信領域に延び、前記複数のゲートバスラインのそれぞれは、前記非送受信領域に配置されたゲート端子部から前記送受信領域に延びている、T F T基板と、

第2誘電体基板と、前記第2誘電体基板の第1主面に設けられたスロット電極とを有するスロット基板と、

前記T F T基板と前記スロット基板との間に設けられた液晶層と、

前記第2誘電体基板の前記第1主面と反対側の第2主面に誘電体層を介して対向するように配置された反射導電板と、

前記送受信領域において、前記第1誘電体基板の法線方向から見たとき、前記複数のアンテナ単位と重ならないように配置された複数の検査電極部と

を備え、

前記スロット電極は、前記複数のパッチ電極に対応して配置された複数のスロットを有し、

前記複数の検査電極部のそれぞれは、

前記T F T基板に支持され、かつ、ソース電極が前記複数のソースバスラインのうちの1つのソースバスラインに接続され、ゲート電極が前記複数のゲートバスラインのうちの1つのゲートバスラインに接続された第2のT F Tと、

前記 T F T 基板に支持され、かつ、前記第 2 の T F T のドレイン電極に接続された透明電極と、

前記液晶層を介して、前記透明電極と対向するように延設された前記スロット電極とを有する、走査アンテナ。

[請求項2] 前記透明電極は、前記 1 つのソースバスラインにおける前記ソース端子部側とは反対側の終端部の近傍に、前記第 2 の T F T を介して接続されている、請求項 1 に記載の走査アンテナ。

[請求項3] 前記第 1 誘電体基板の法線方向から見たとき、前記透明電極の面積は、前記パッチ電極の面積の 2 倍以上である、請求項 1 または 2 に記載の走査アンテナ。

[請求項4] 前記透明電極は前記パッチ電極よりも薄い、請求項 1 から 3 のいずれかに記載の走査アンテナ。

[請求項5] 前記スロット電極のうち前記液晶層を介して前記透明電極と対向する部分はスロットを有していない、請求項 1 から 4 のいずれかに記載の走査アンテナ。

[請求項6] 前記スロット電極および前記パッチ電極は、いずれも、透光性を有していない金属電極である、請求項 1 から 5 のいずれかに記載の走査アンテナ。

[請求項7] 前記非送受信領域において、前記 T F T 基板は、

前記 1 つのソースバスラインに外部から電圧を入力するソースパッドと、

前記 1 つのゲートバスラインに外部から電圧を入力するゲートパッドと

をさらに備える、請求項 1 から 6 のいずれかに記載の走査アンテナ。

[請求項8] 前記 1 つのソースバスラインは前記ソース端子部を介して前記ソースパッドに接続され、

前記 1 つのゲートバスラインは前記ゲート端子部を介して前記ゲートパッドに接続されている、請求項 7 に記載の走査アンテナ。

[請求項9] 前記ソースパッドと前記ソース端子部との間、および／または、前記ゲートパッドと前記ゲート端子部との間に、スイッチング素子をさらに有する、請求項8に記載の走査アンテナ。

[請求項10] 請求項1から9のいずれかに記載の走査アンテナの検査方法であって、

前記複数の検査電極部から、検査対象とする検査電極部を選択する工程（A）と、

前記スロット電極と、前記複数のソースバスラインおよび前記複数のゲートバスラインに、それぞれ、所定の電圧を印加した状態で、前記選択された検査電極部に可視光を入射させたときの反射光を、前記TFT基板の上方から前記透明電極越しに観察する工程（B）とを包含し、

前記工程（B）では、前記選択された検査電極部において、前記透明電極と前記スロット電極とが前記液晶層を介して重なる領域が、前記反射光の観察を行う観察領域となり、

前記観察領域からの前記反射光の強度の大きさによって、前記選択された検査電極部の良否を判断する、検査方法。

[請求項11] 前記走査アンテナの前記TFT基板は、前記複数のソースバスラインに接続されたソースパッドと、前記複数のゲートバスラインに接続されたゲートパッドとをさらに備え、

前記工程（B）において、前記ソースパッドおよび前記ゲートパッドから前記複数のソースバスラインおよび前記複数のゲートバスラインに前記所定の電圧を入力する、請求項10に記載の検査方法。

[請求項12] 前記工程（B）の後で、前記TFT基板のうち前記ソースパッドおよび前記ゲートパッドが形成された部分を前記TFT基板から分離する工程をさらに包含する、請求項11に記載の検査方法。

[請求項13] 複数のアンテナ単位領域を含む送受信領域と、前記送受信領域以外の領域に位置する非送受信領域とを含むTFT基板であって、第1誘

電体基板と、前記第1誘電体基板に支持された複数の第1のTFTと、複数のパッチ電極と、複数のゲートバスラインと、複数のソースバスラインとを有し、前記送受信領域において、前記複数の第1のTFTおよび前記複数のパッチ電極は、それぞれ、前記複数のアンテナ単位に対応して配置されており、前記複数のパッチ電極は透光性を有していない金属電極であり、

前記送受信領域において、前記第1誘電体基板の法線方向から見たとき、前記複数のアンテナ単位と重ならないように配置された複数の検査電極部をさらに備え、

前記複数の検査電極部のそれぞれは、

前記TFT基板に支持され、かつ、ソース電極が前記複数のソースバスラインのうちの1つのソースバスラインに接続され、ゲート電極が前記複数のゲートバスラインのうちの1つのゲートバスラインに接続された第2のTFTと、

前記TFT基板に支持され、かつ、前記第2のTFTのドレイン電極に接続された透明電極とを有する、TFT基板。

[請求項14]

走査アンテナを製造する方法であって、

検査用アンテナとして、請求項7に記載の走査アンテナを製造する工程(a)と、

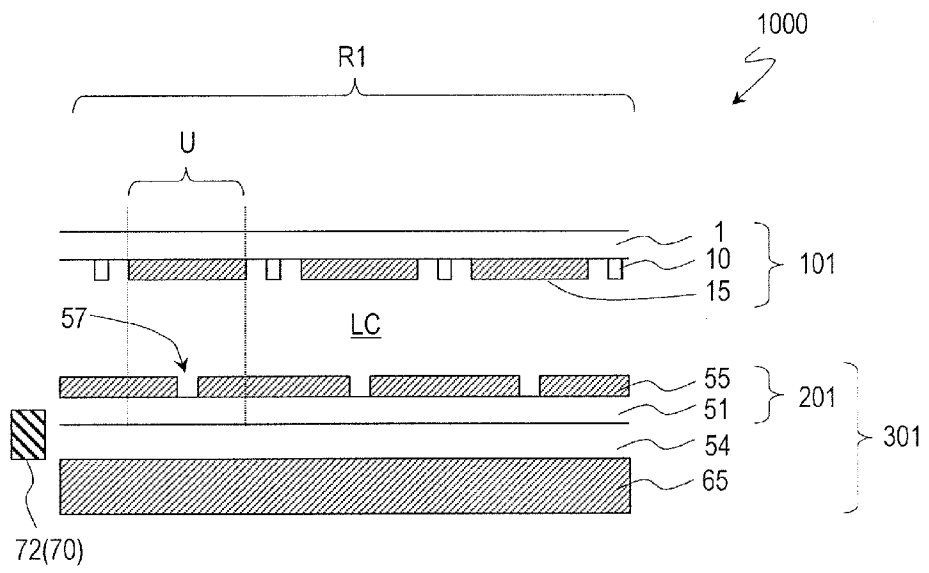
前記検査用アンテナの前記ソースパッドおよび前記ゲートパッドから所定の電圧を入力して、前記複数の検査電極部における液晶配向の良否を検査する工程(b)と、

前記工程(b)の後、前記TFT基板における前記ソースパッドおよび前記ゲートパッドが形成された領域を、前記TFT基板から分離させる工程(c)と、

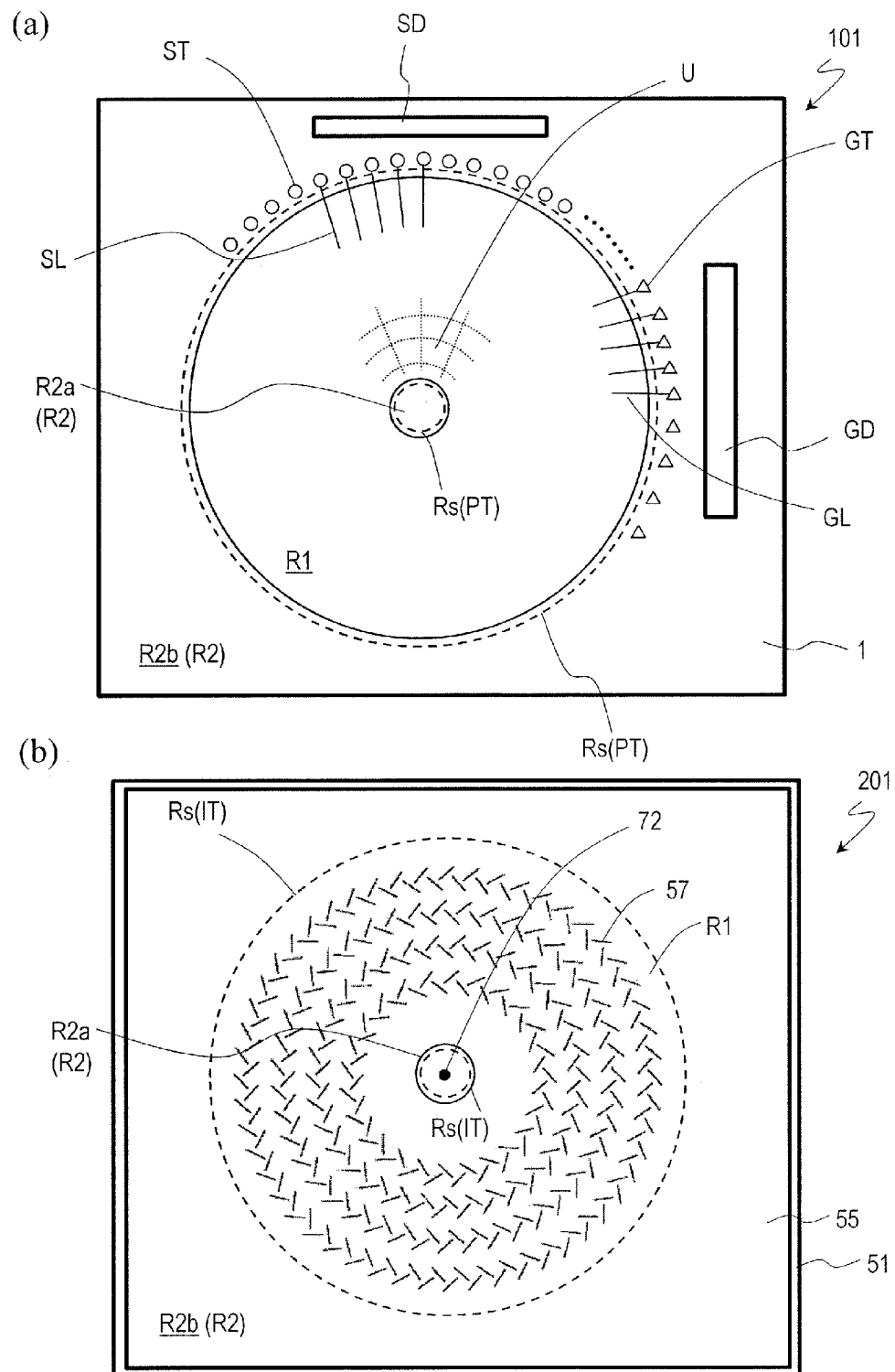
前記工程(c)の後、ソースドライバおよびゲートドライバを前記TFT基板に実装する工程(d)と

を包含する走査アンテナの製造方法。

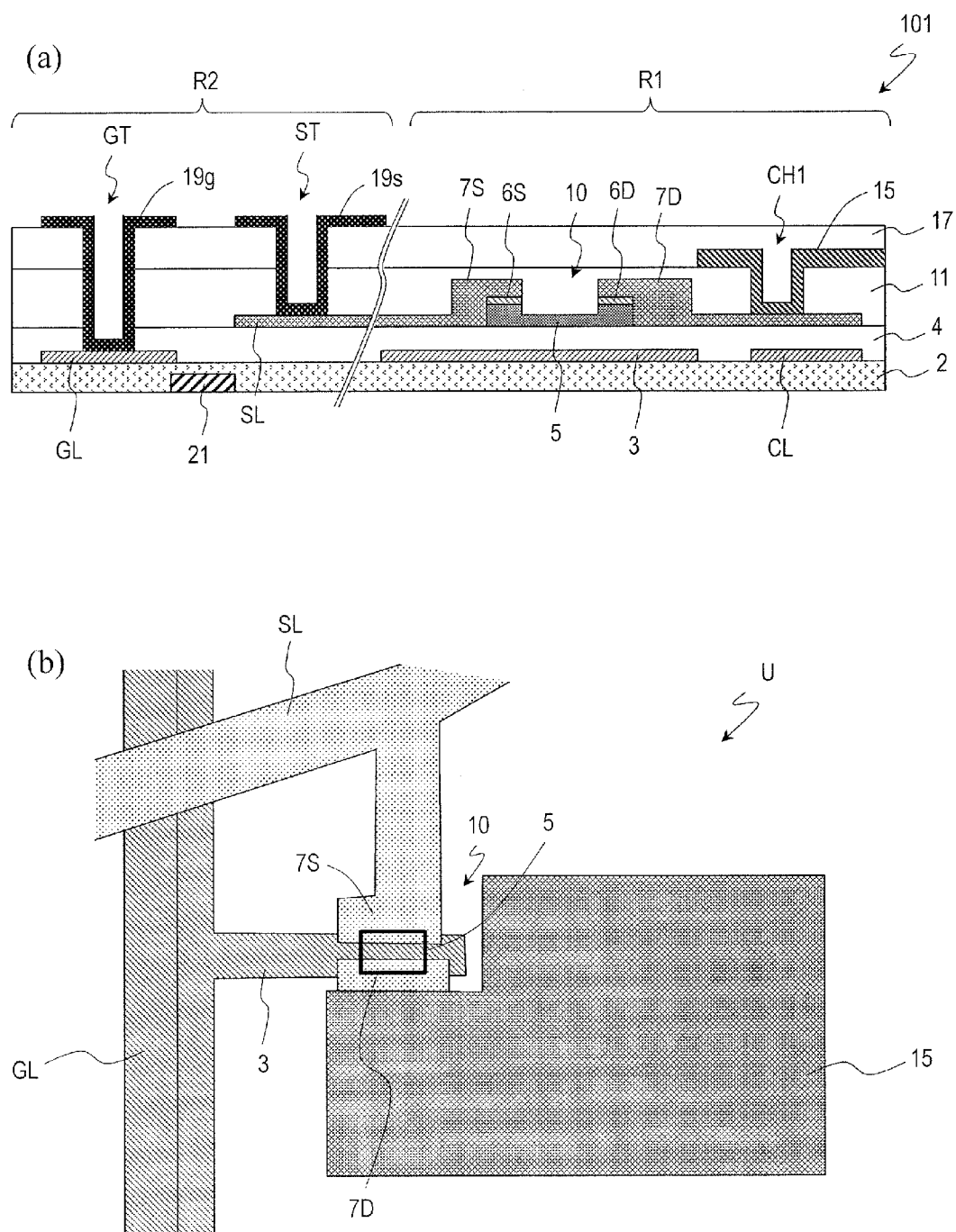
[図1]

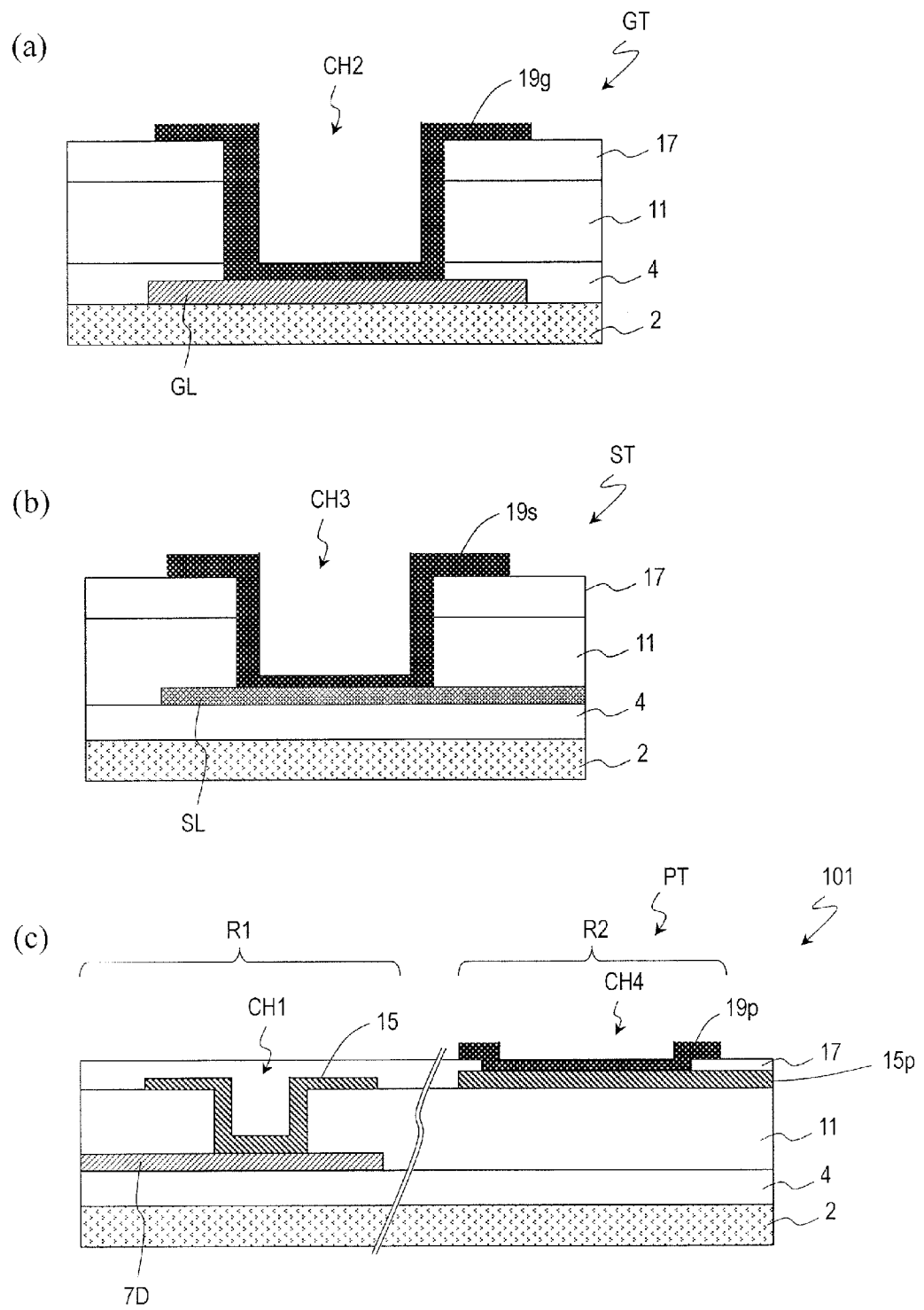


[図2]

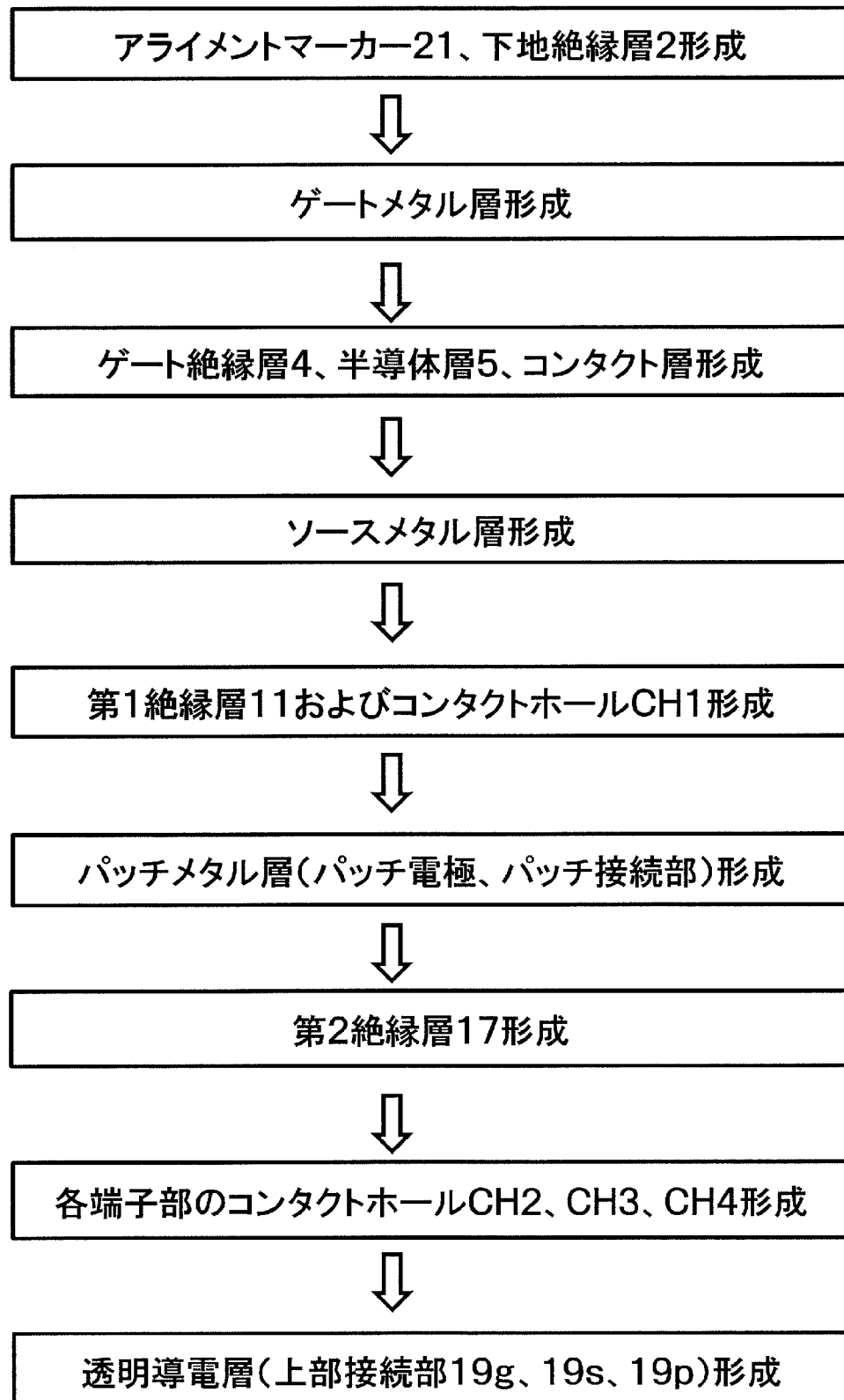


[図3]

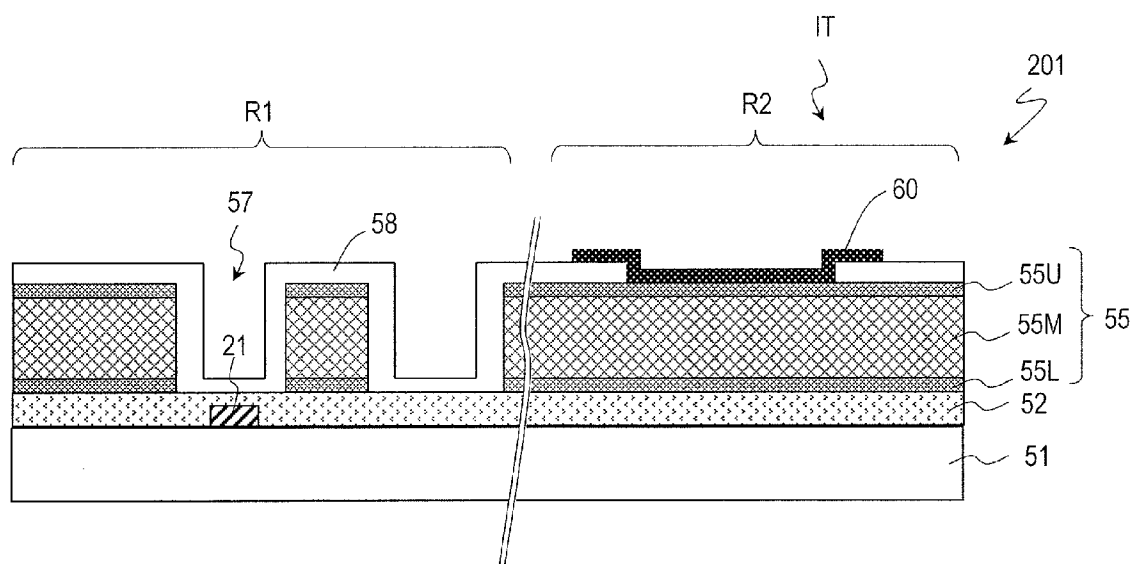




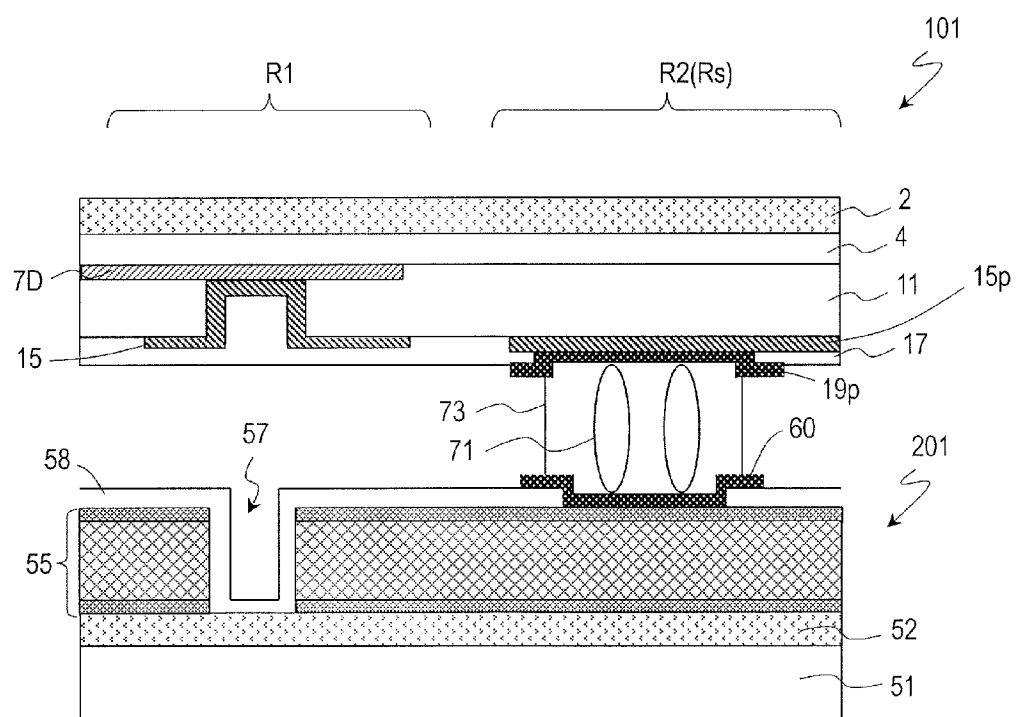
[図5]



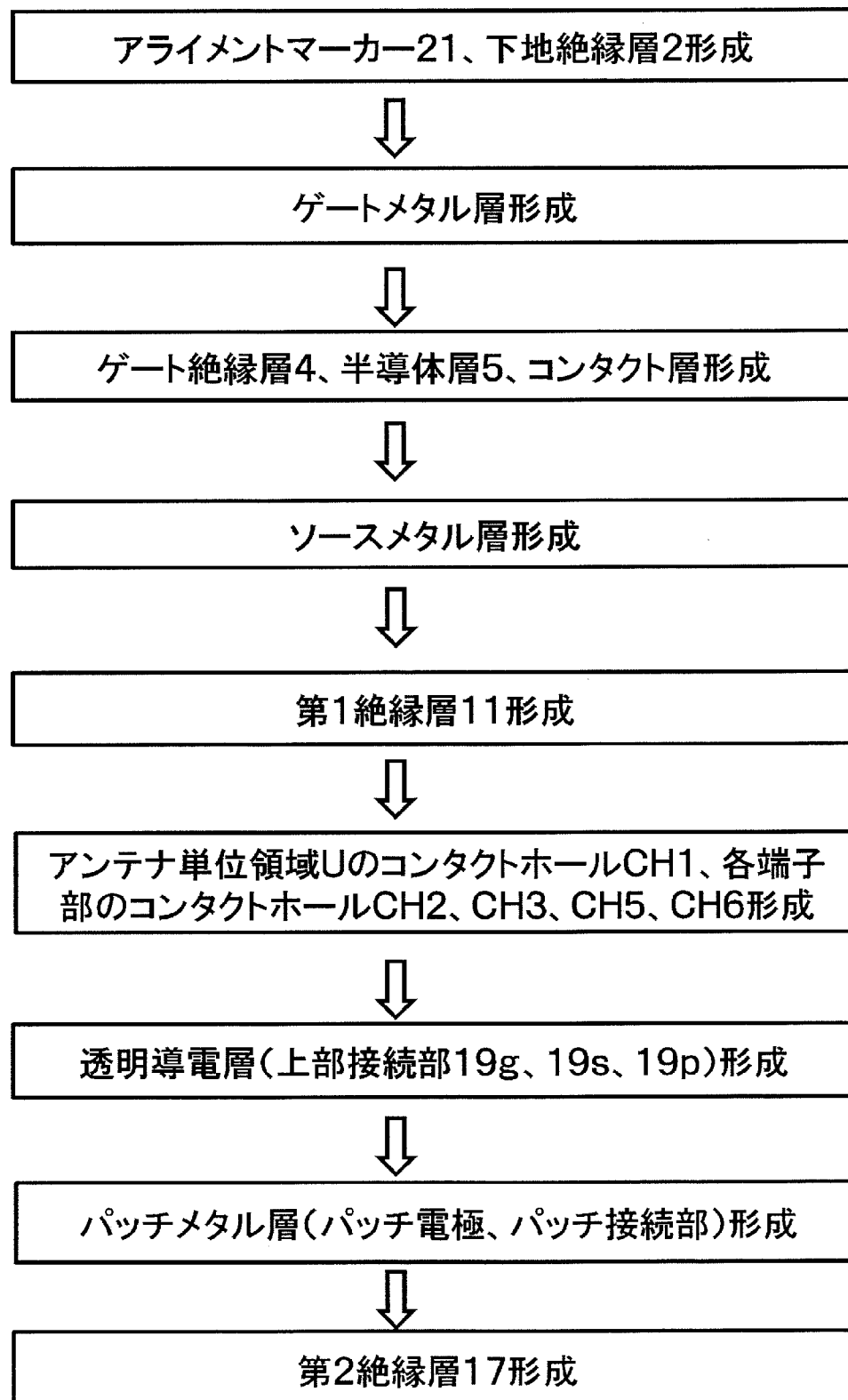
[図6]



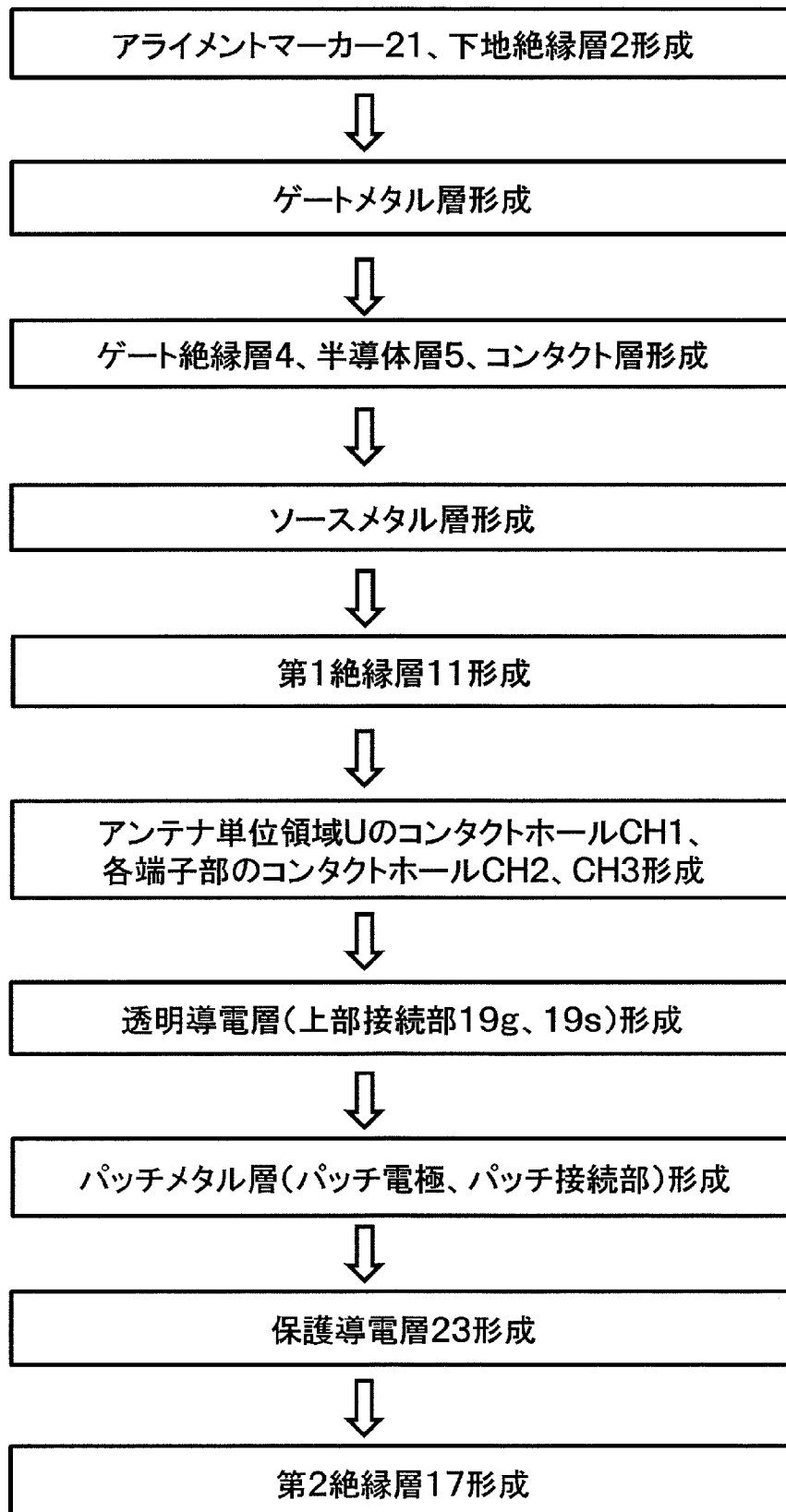
[図7]



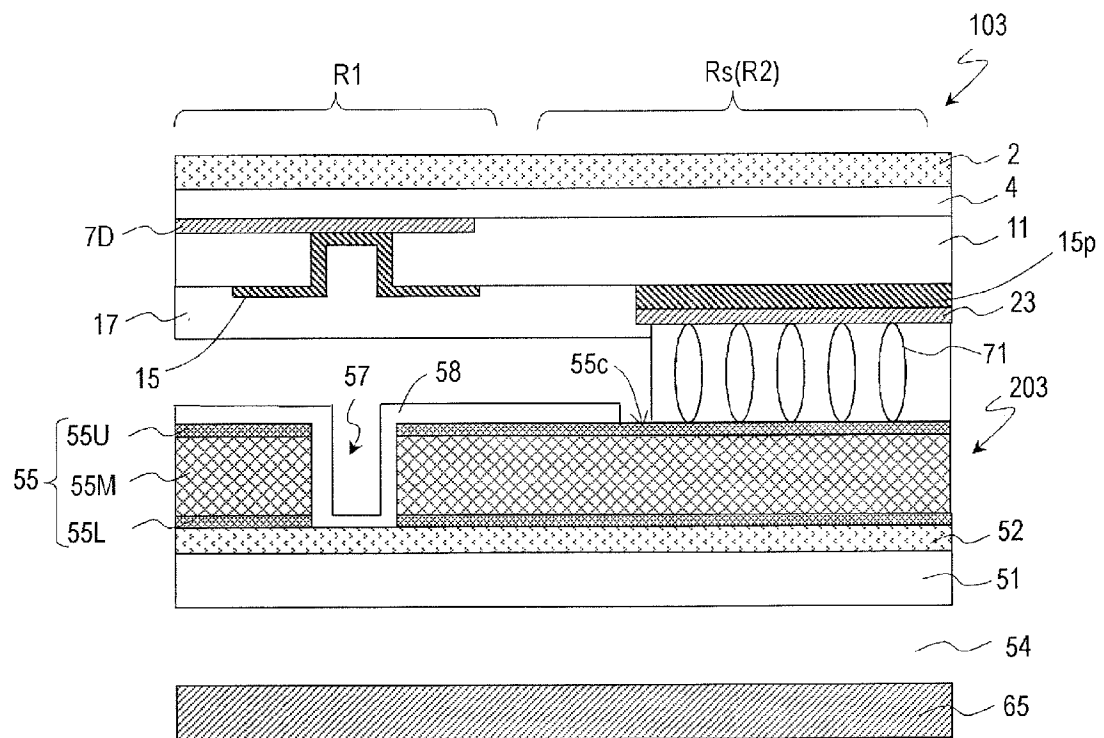
[図9]



[図11]

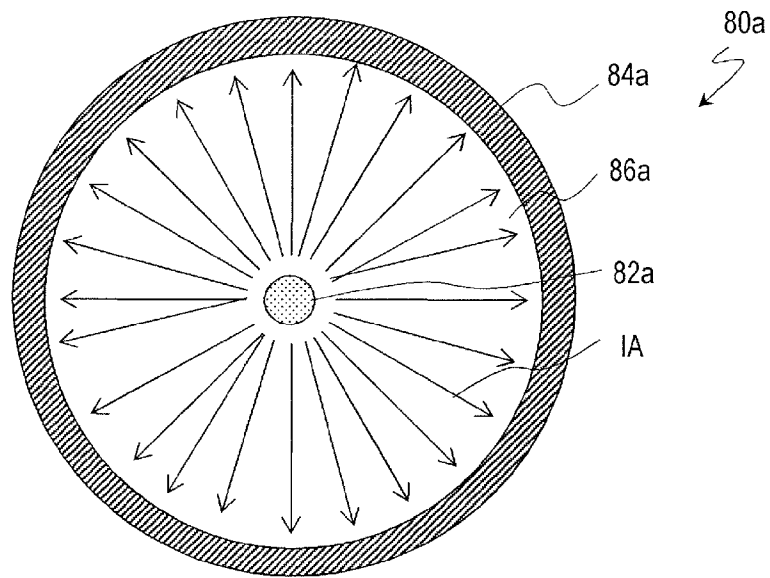


[図12]

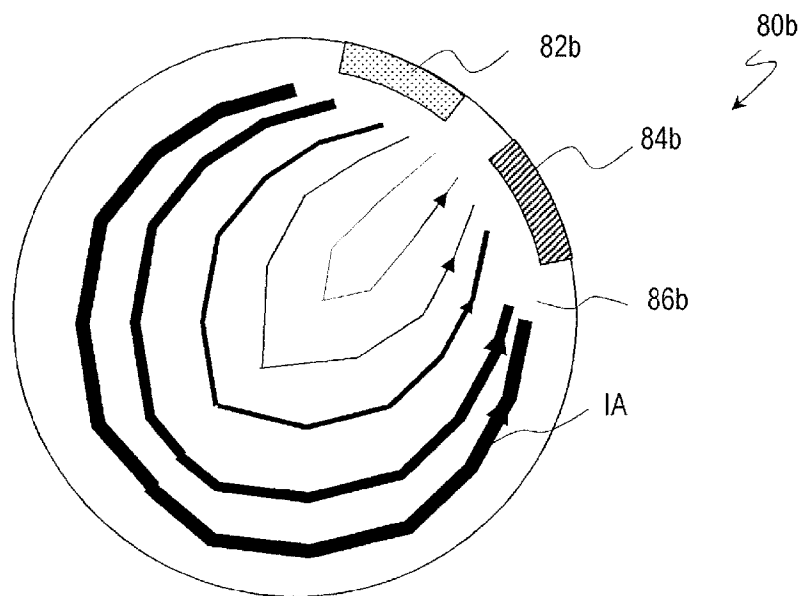


[図14]

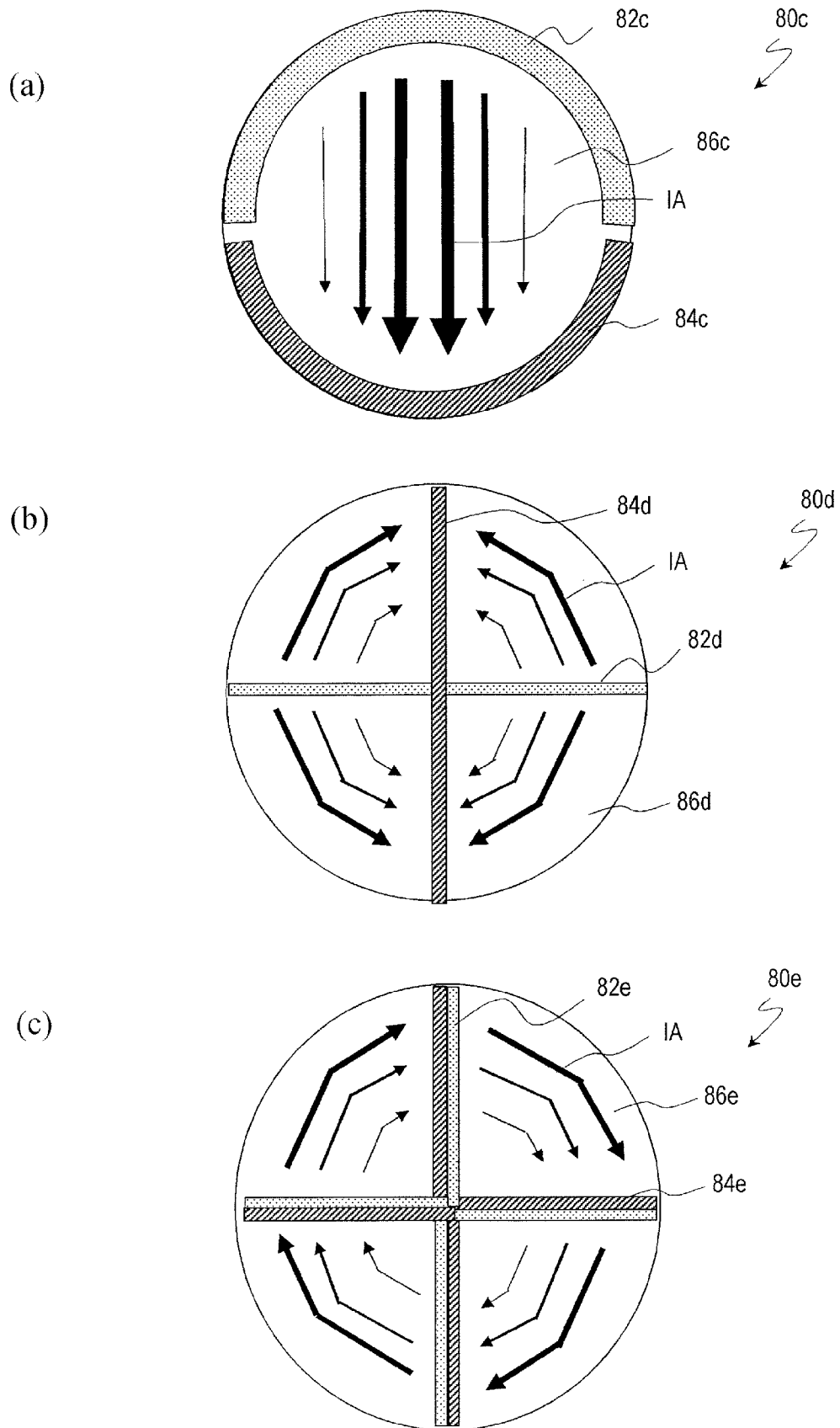
(a)



(b)

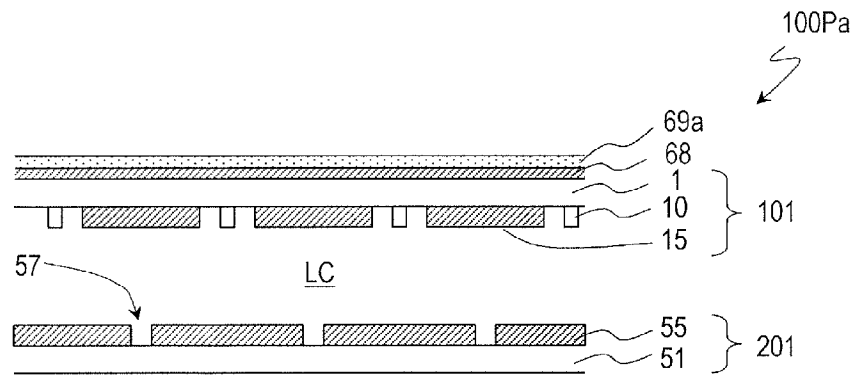


[図15]

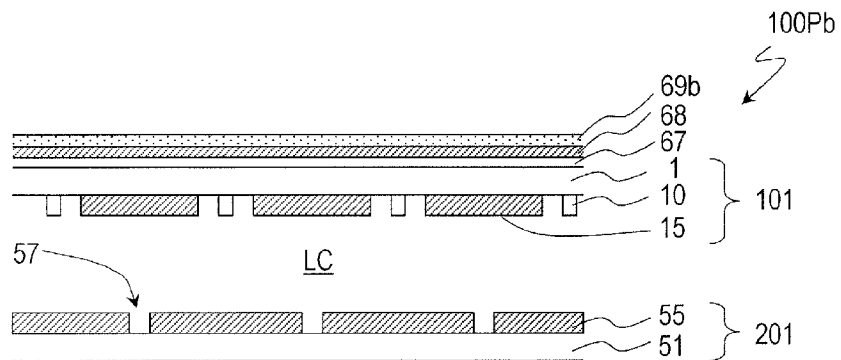


[図16]

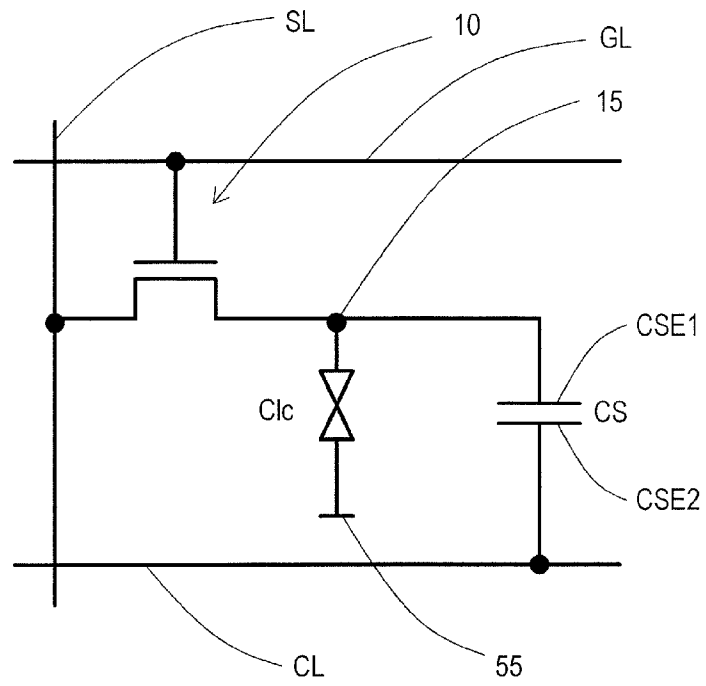
(a)



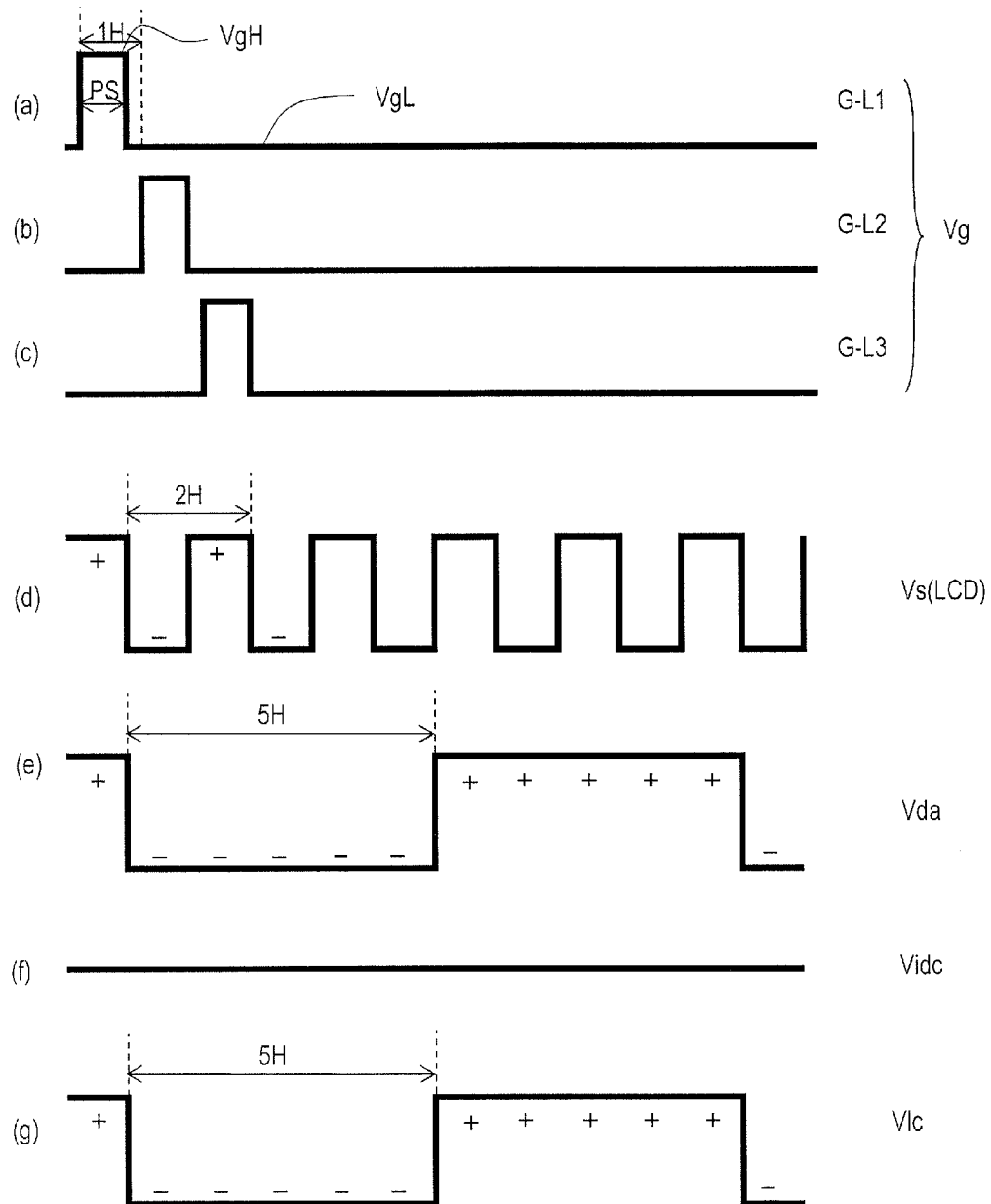
(b)



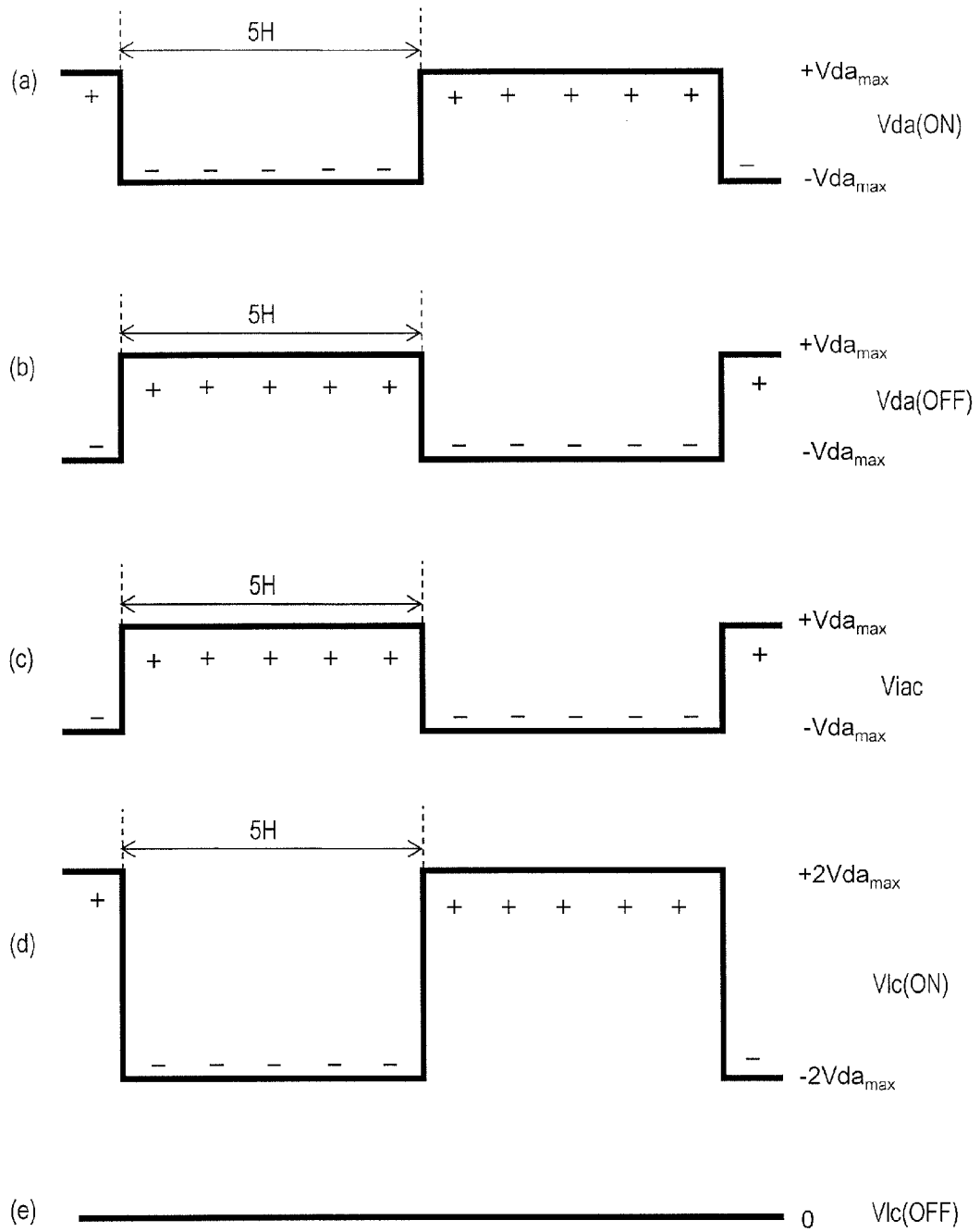
[図17]



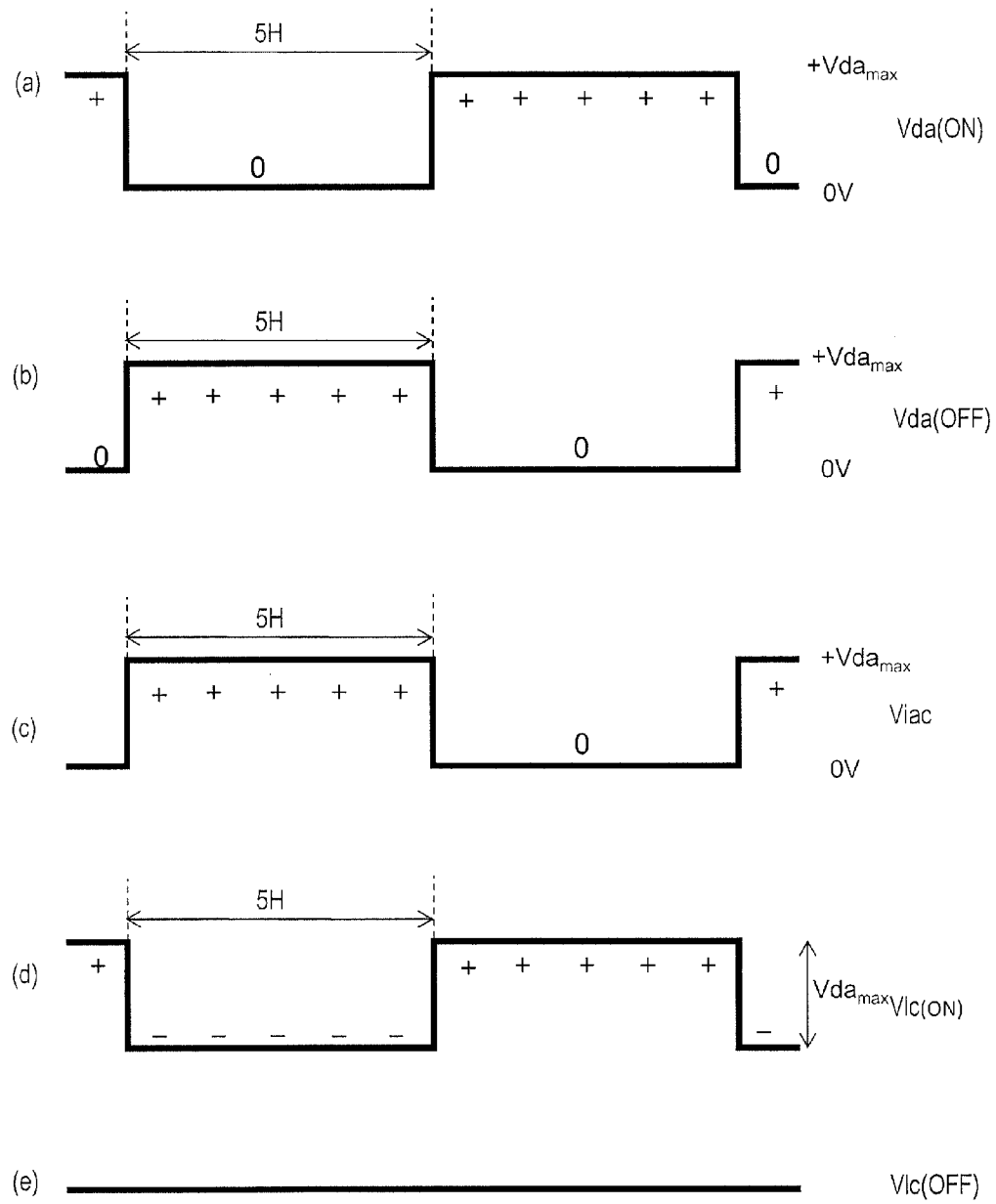
[図18]



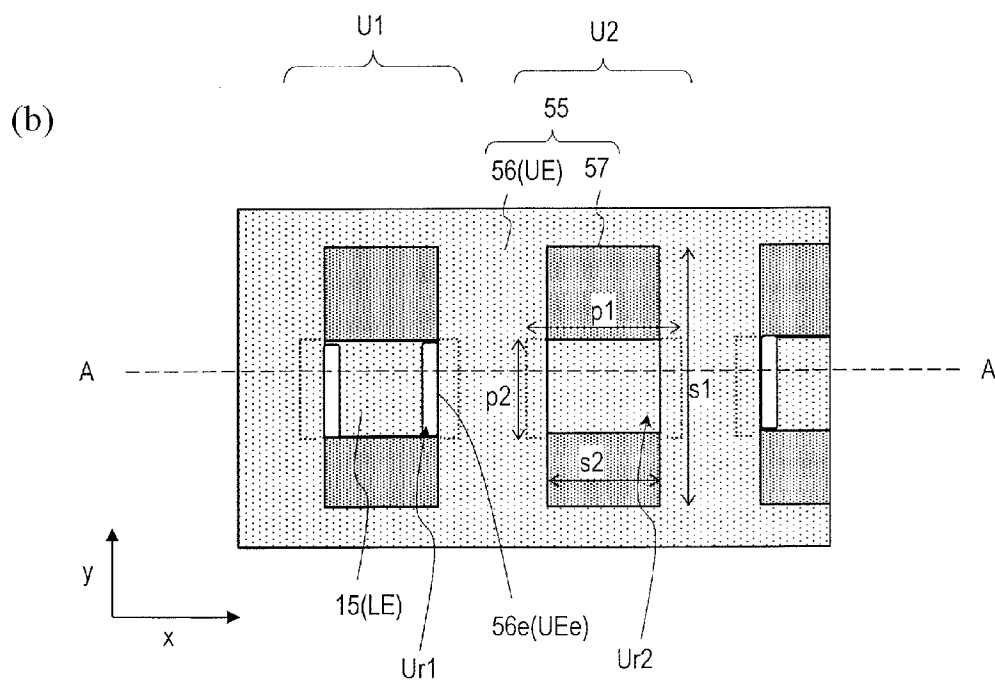
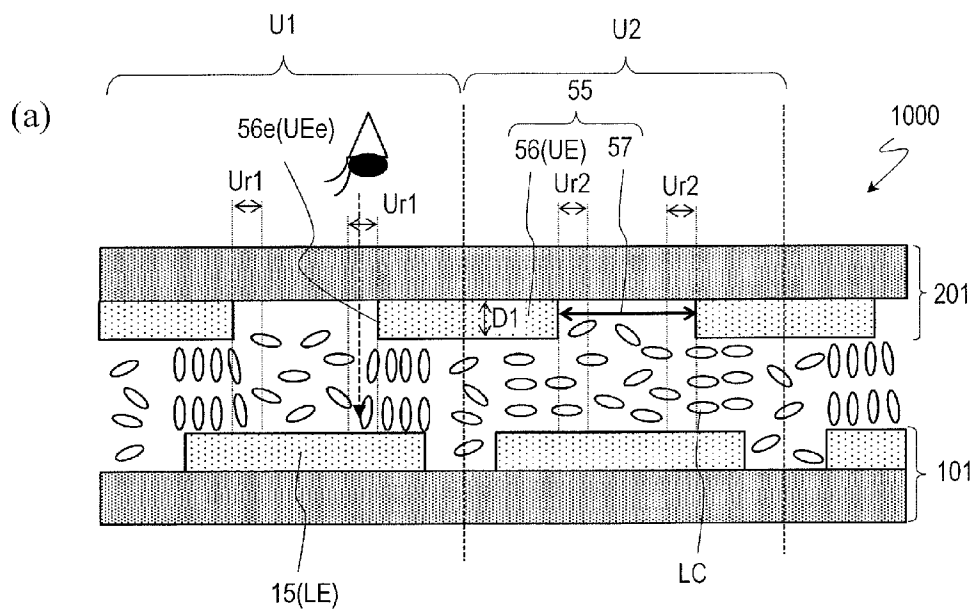
[図19]



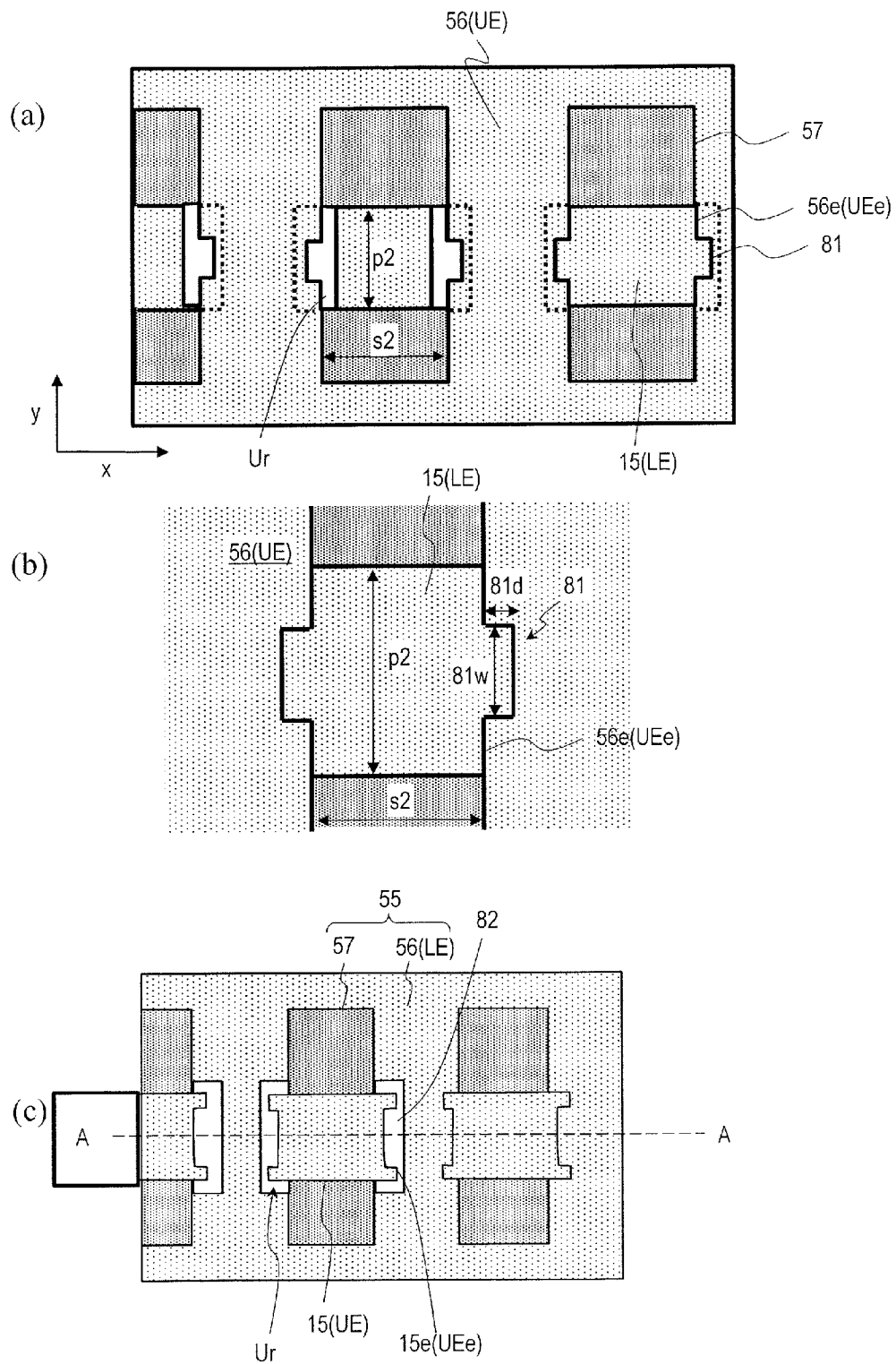
[図20]



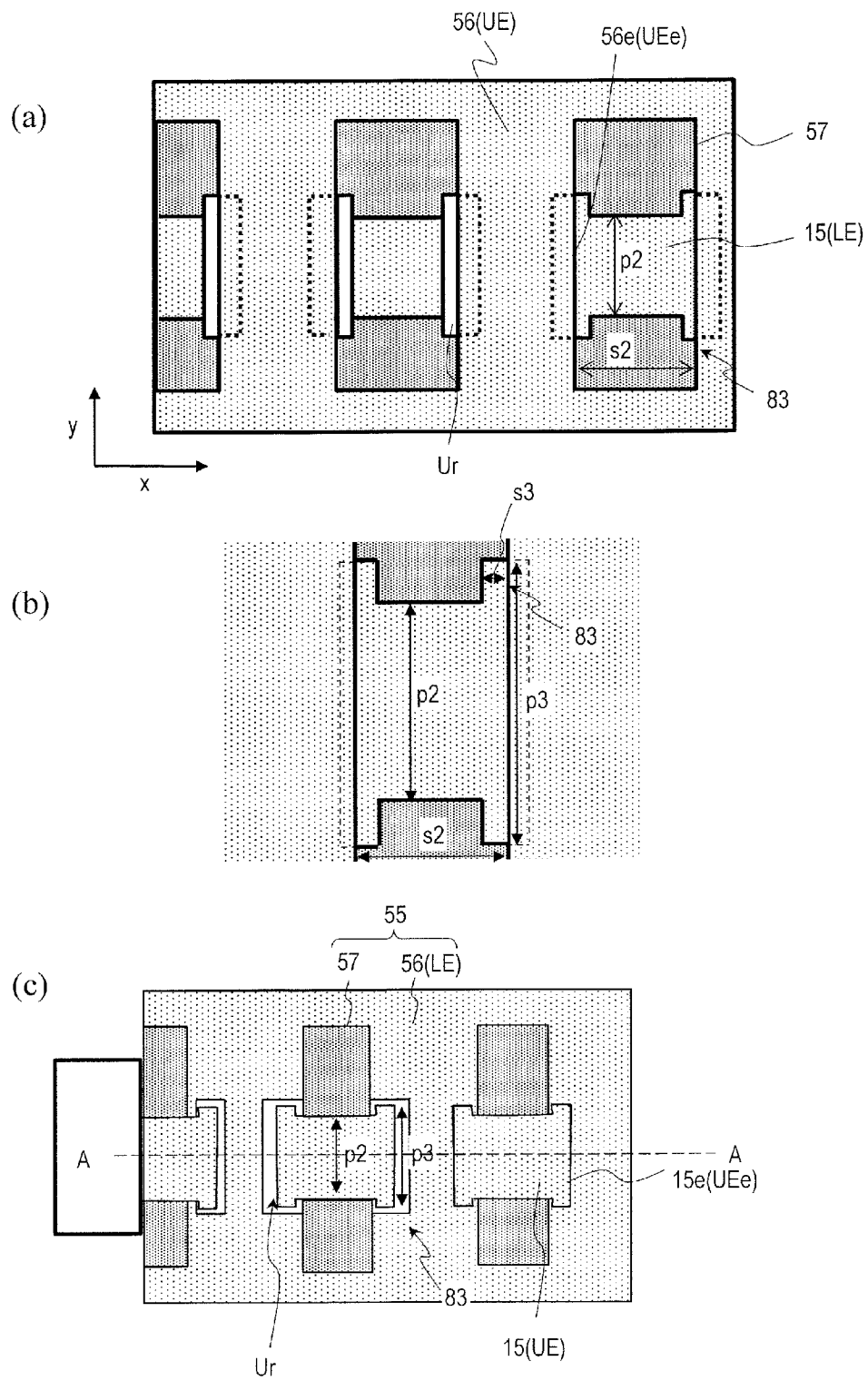
[図21]



[図23]



[図24]



[図25]

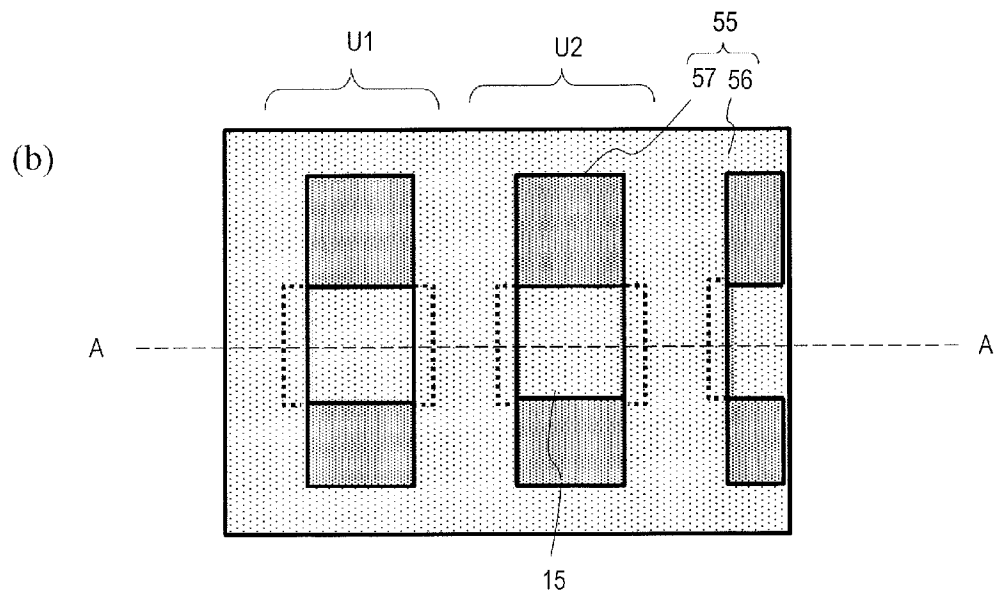
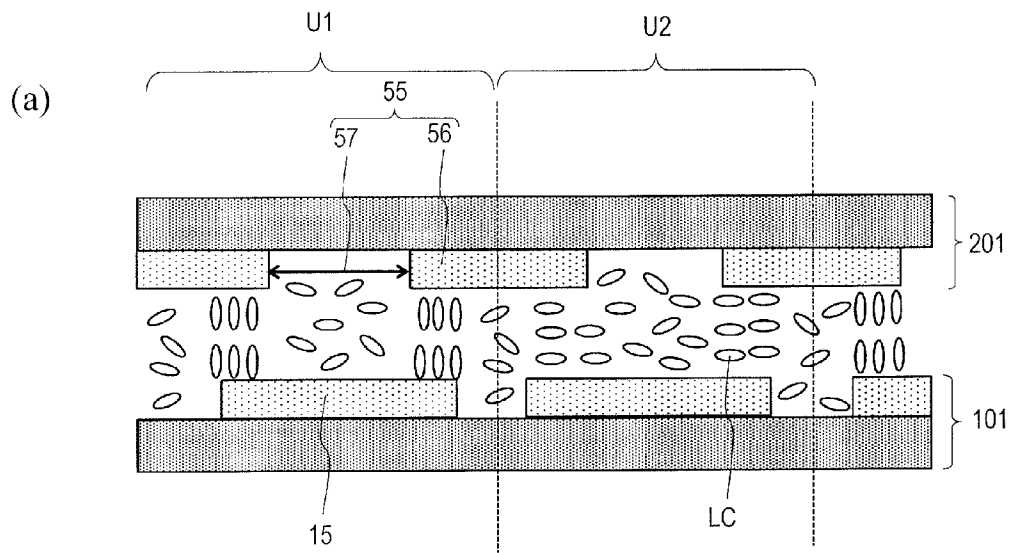


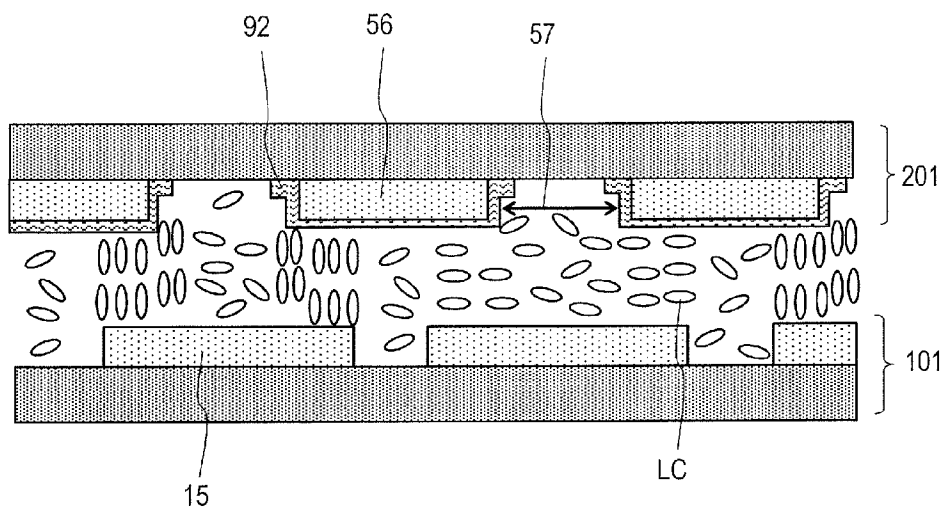
Figure 1 consists of three schematic diagrams labeled (a), (b), and (c).

(a) is a cross-sectional view of a liquid crystal display device. It shows a substrate 101 with a layer 15(LE) on top. A liquid crystal layer LC is between two glass plates 201. Electrodes U1 and U2 are on the top glass plate 201. Electrodes U1r and U2r are on the bottom glass plate 201. A light source 1000A is shown emitting light through the substrate 101. Dimensions 55, 56(UE), 57, and 92 are indicated.

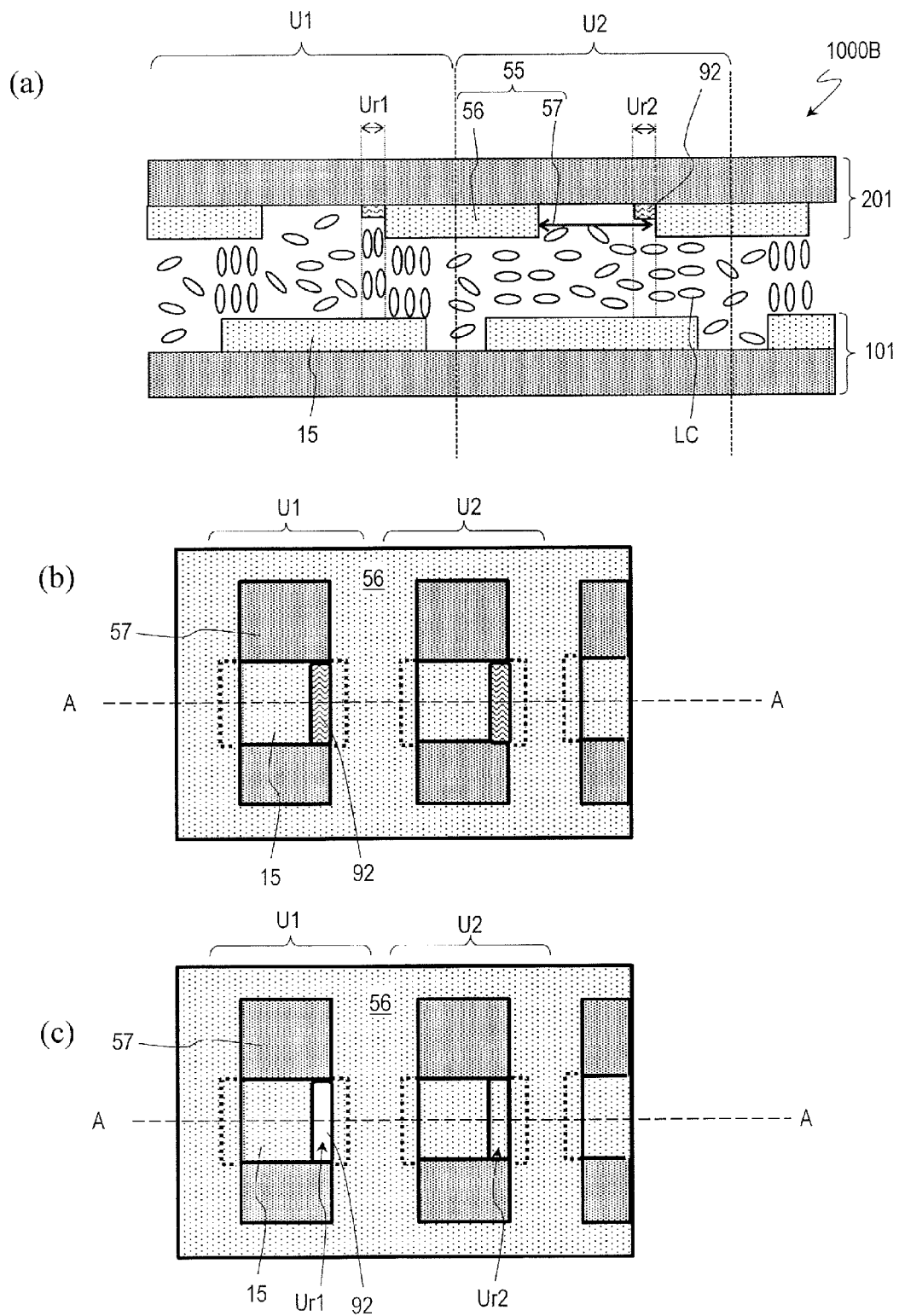
(b) is a plan view of the device. It shows the arrangement of electrodes 15, 56, 57, and 92. Dimensions p1, p2, s1, and s2 are indicated. A coordinate system with x and y axes is shown. A dashed line A-A is drawn across the device.

(c) is another plan view of the device, similar to (b), showing the arrangement of electrodes 15, 56, 57, and 92. Dimensions p1, p2, s1, and s2 are indicated. A coordinate system with x and y axes is shown. A dashed line A-A is drawn across the device.

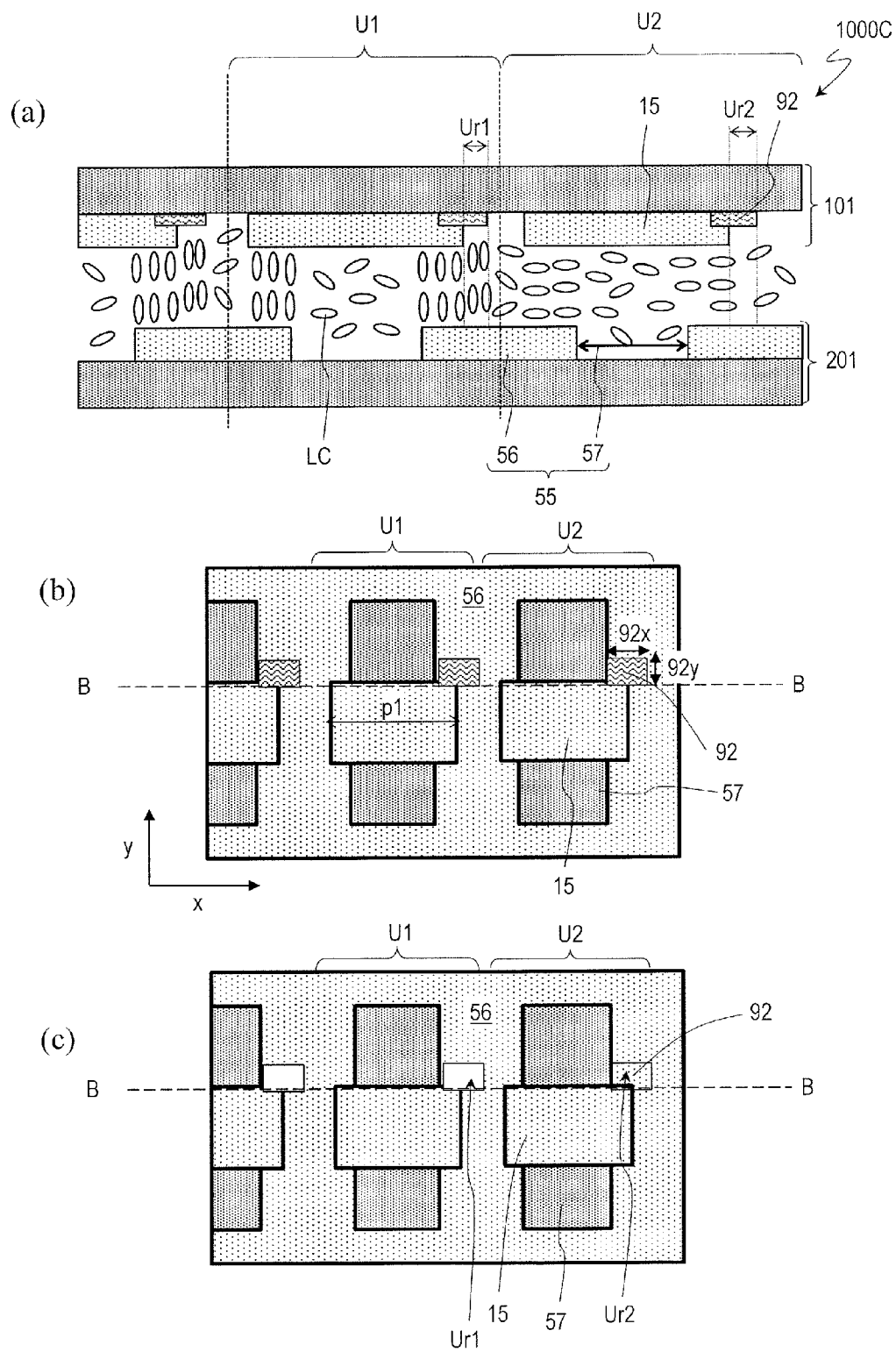
[図27]



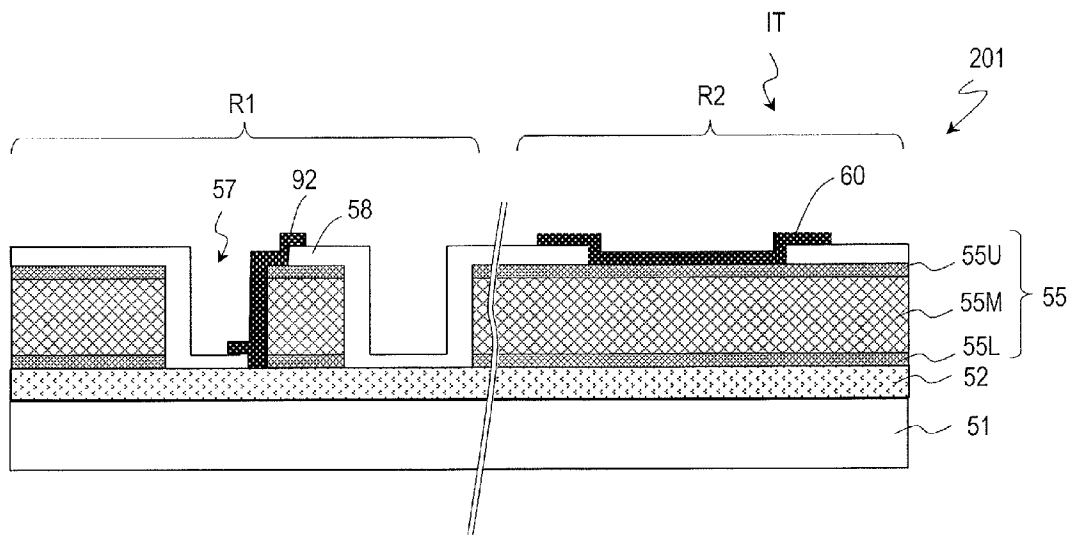
[図28]



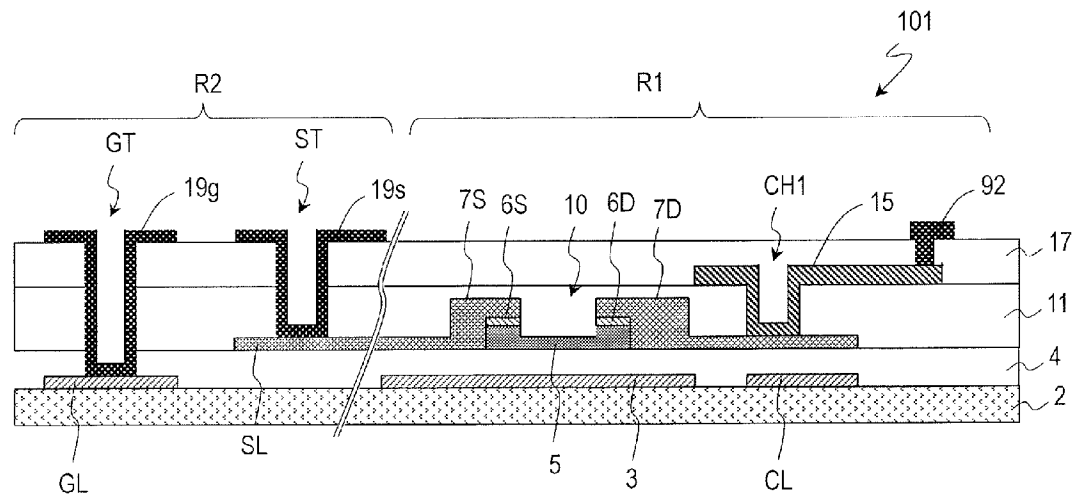
[図29]



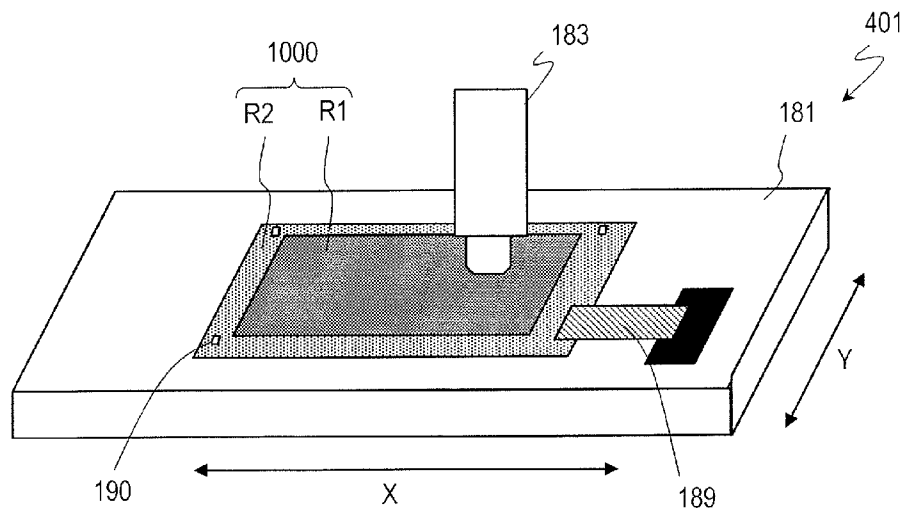
[図31]



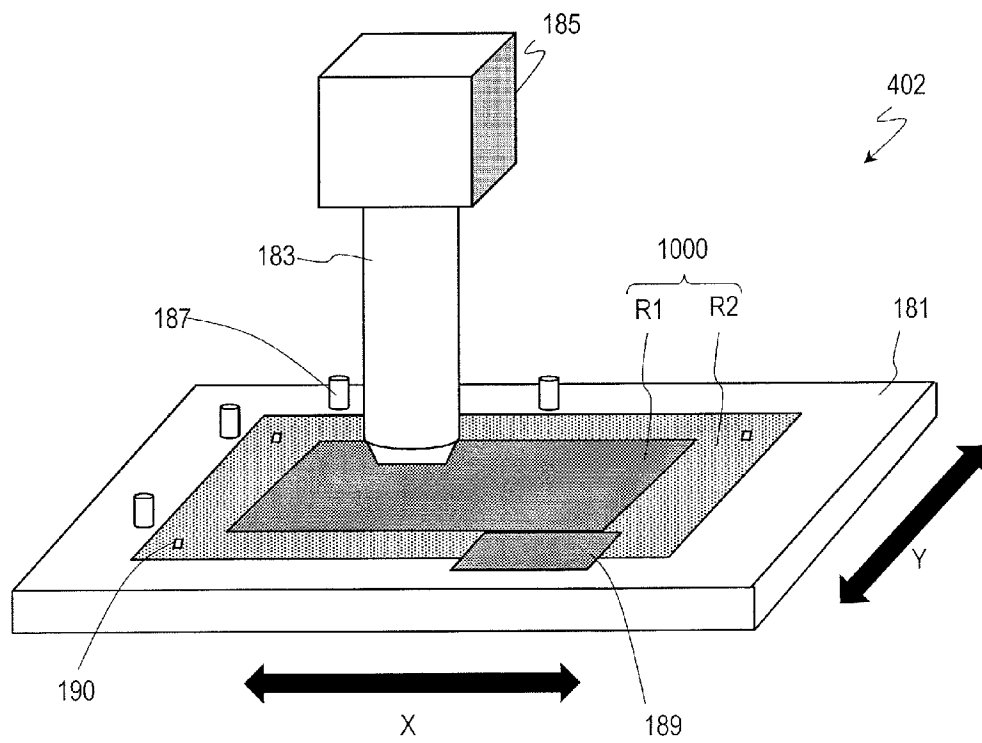
[図32]



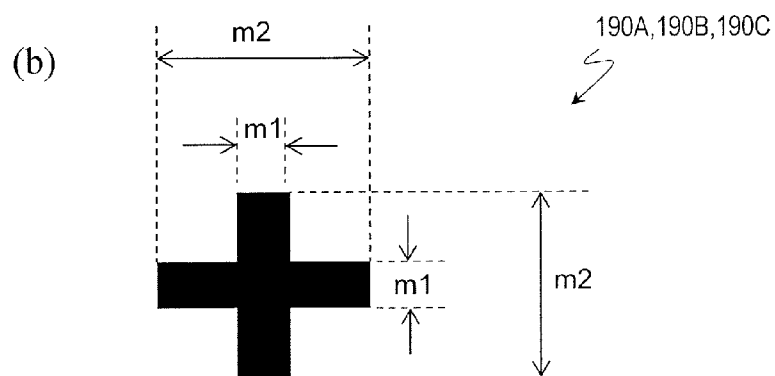
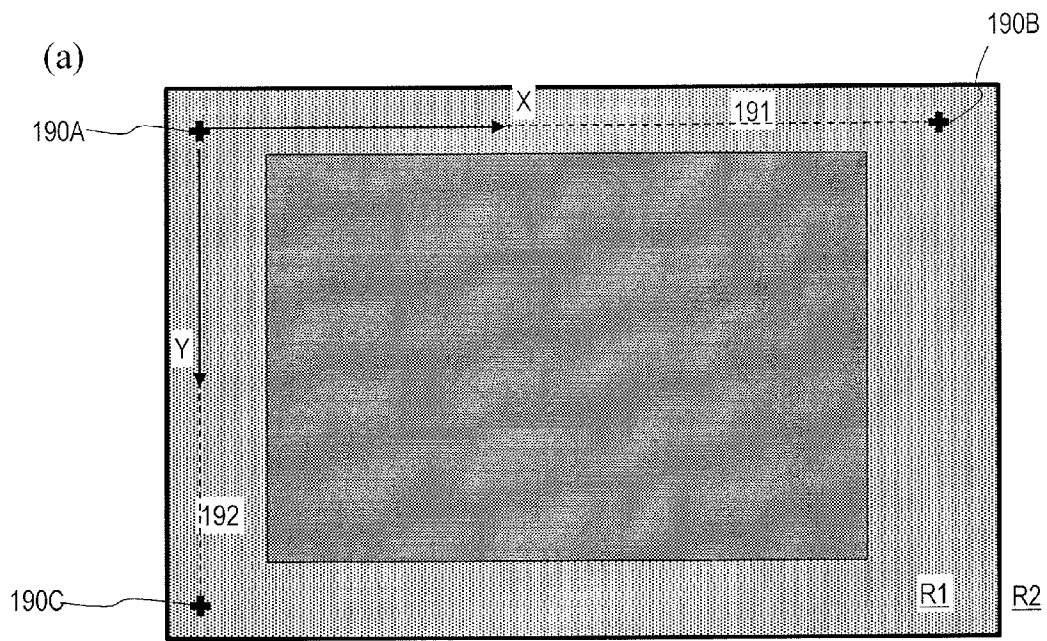
[図33]



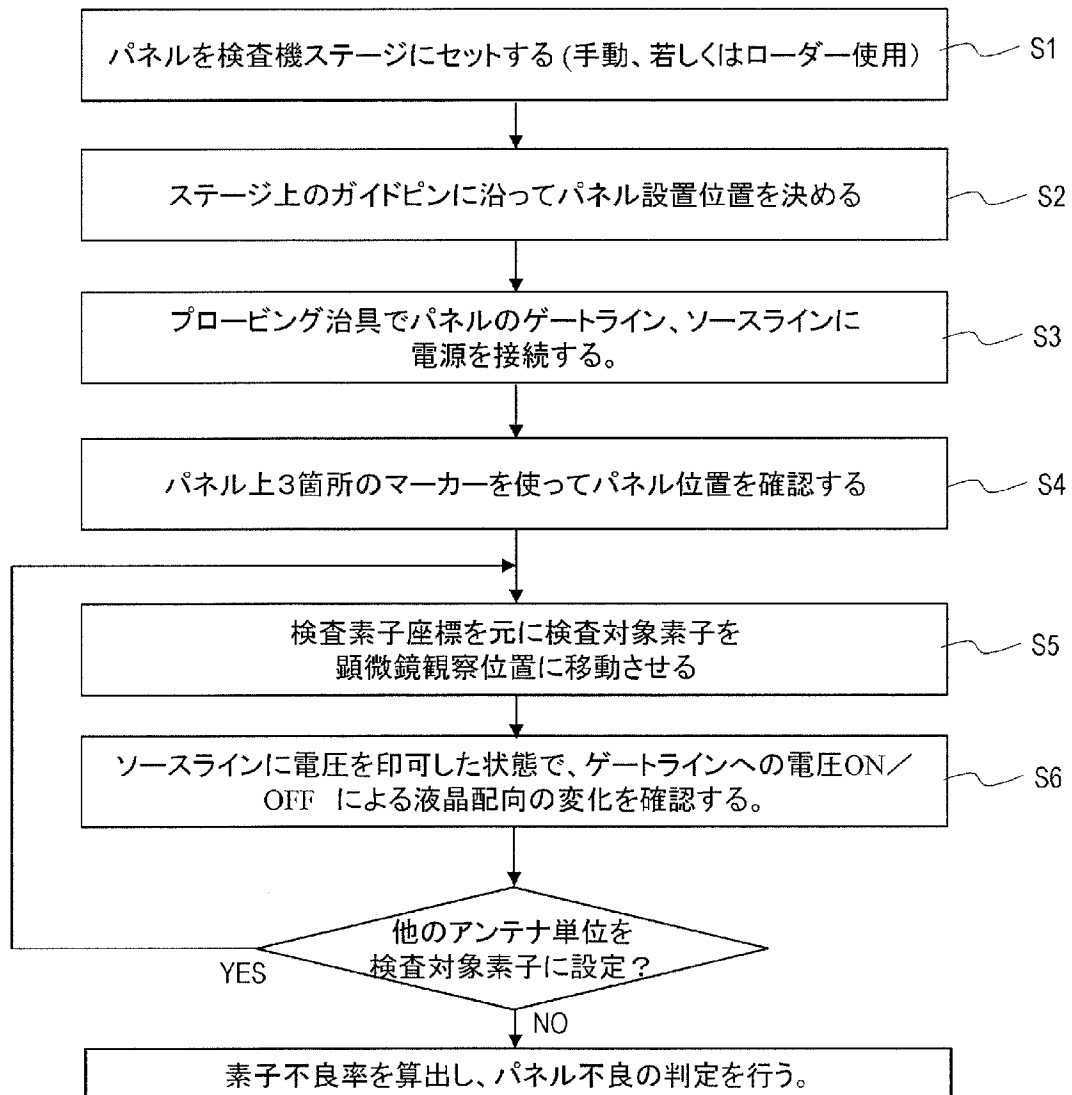
[図34]



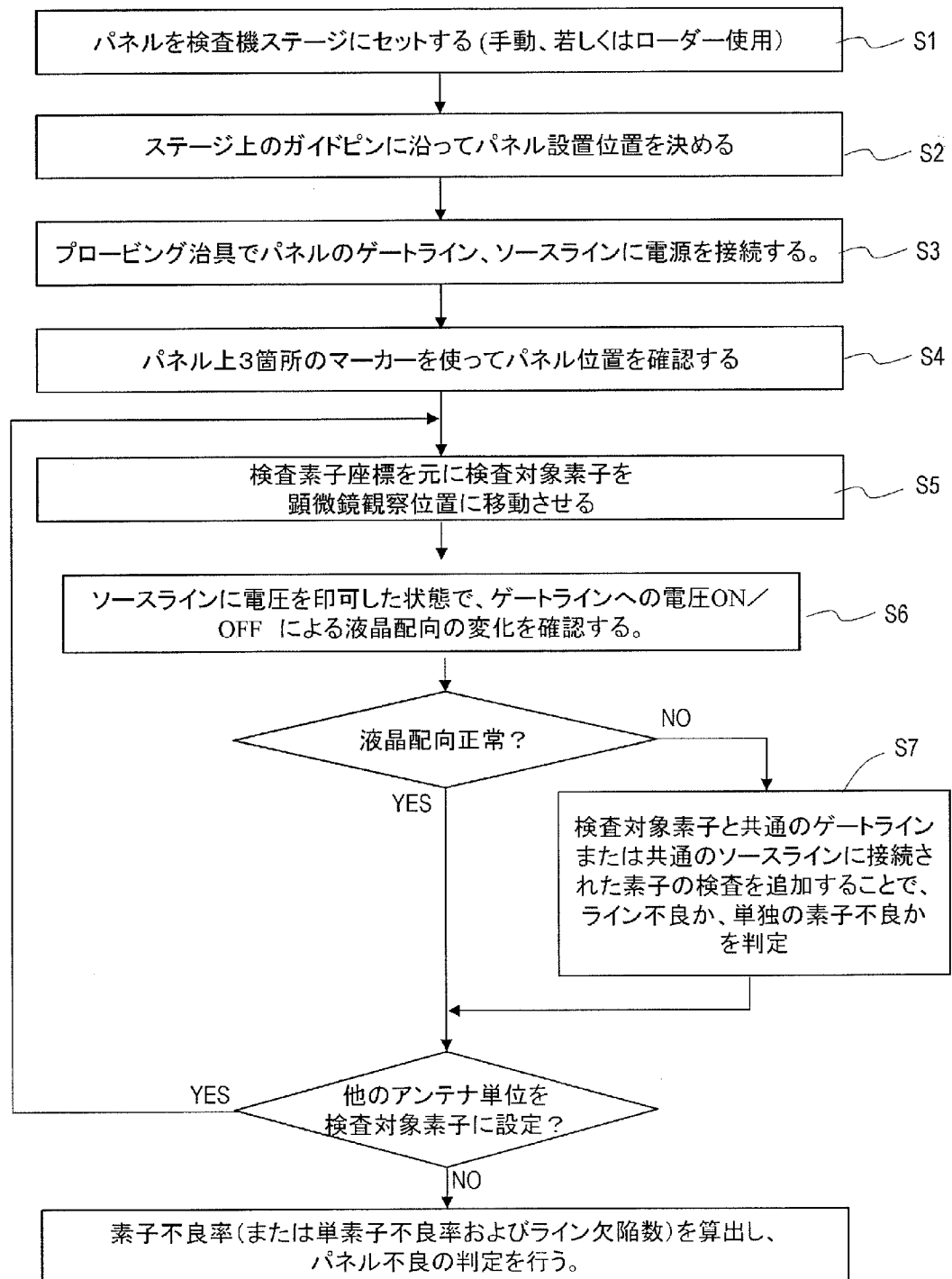
[図35]



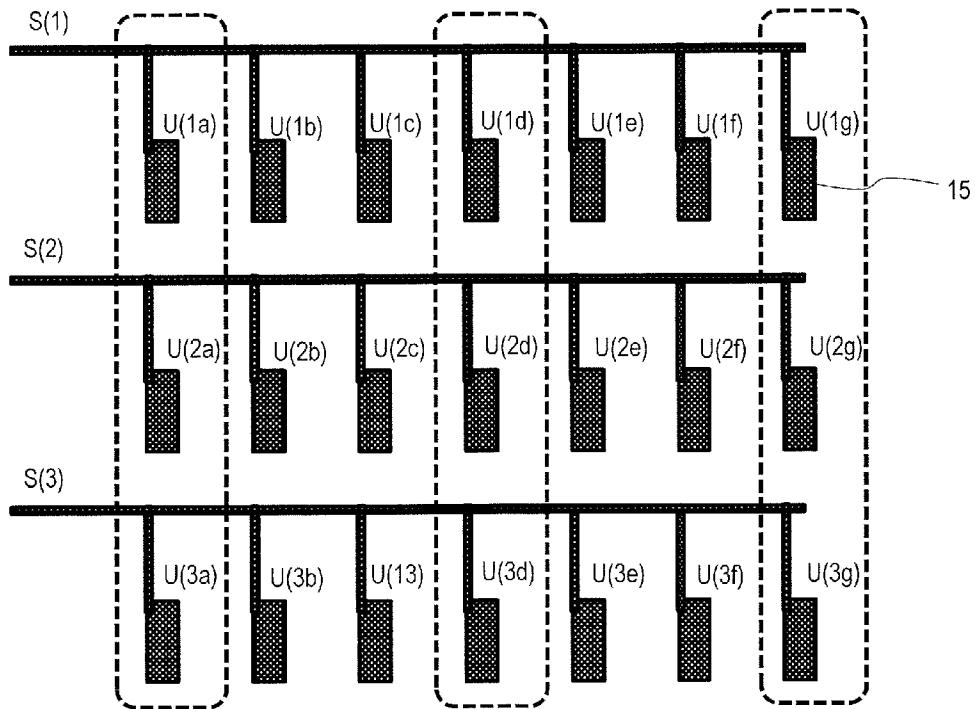
[図36]



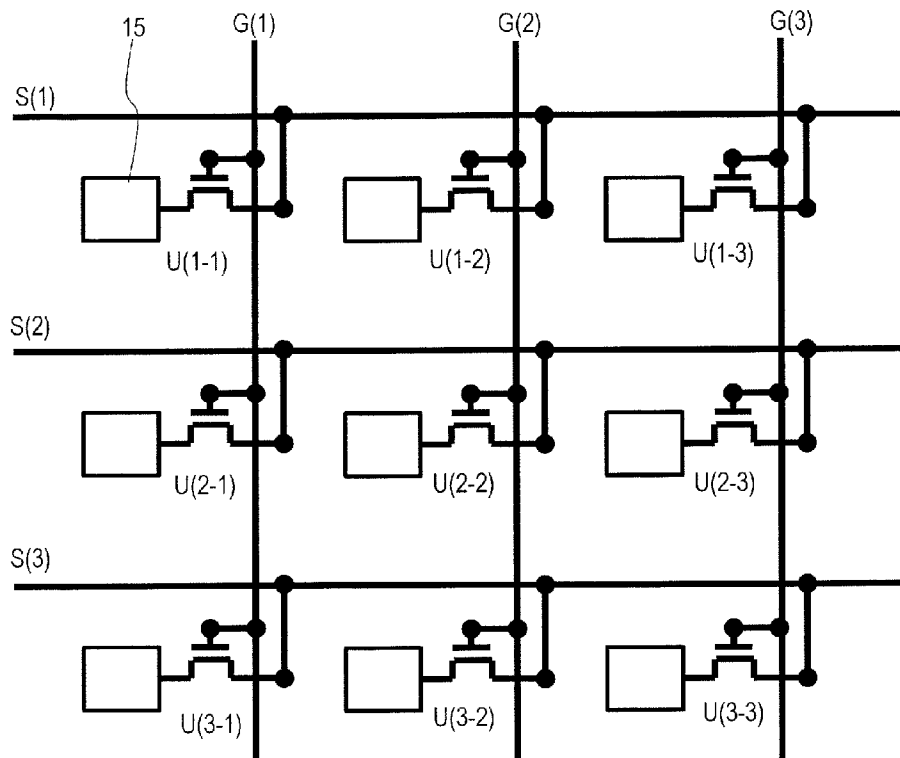
[図37]



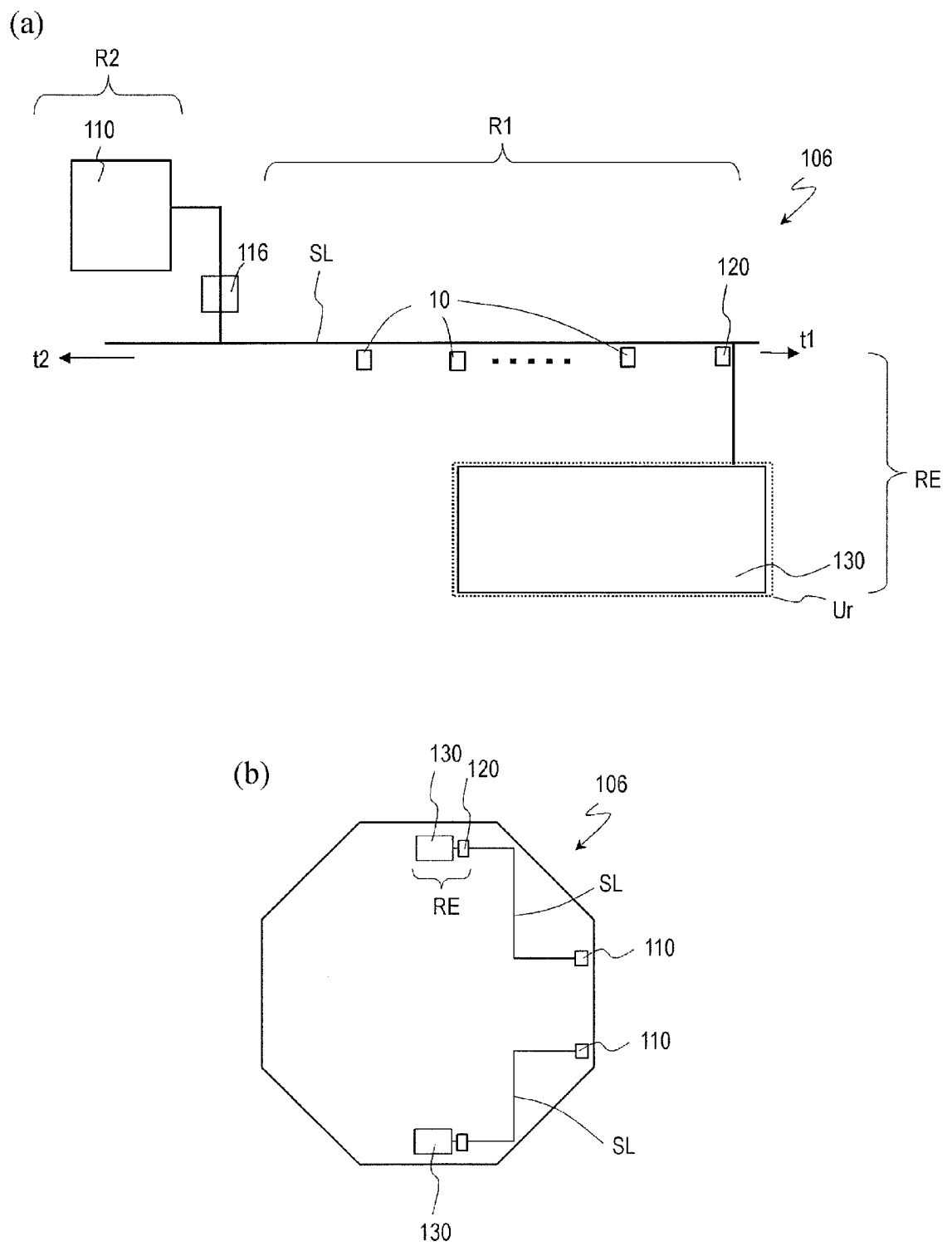
[図38]



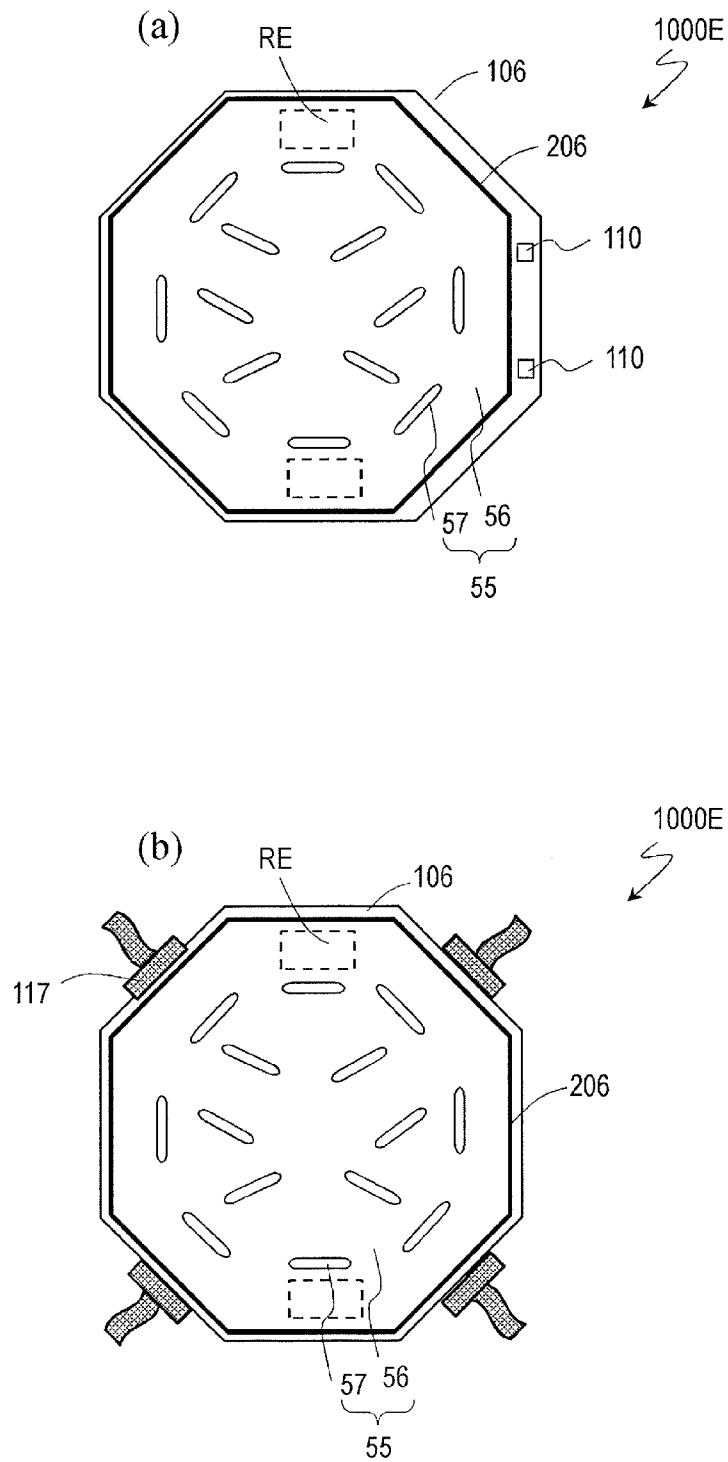
[図39]



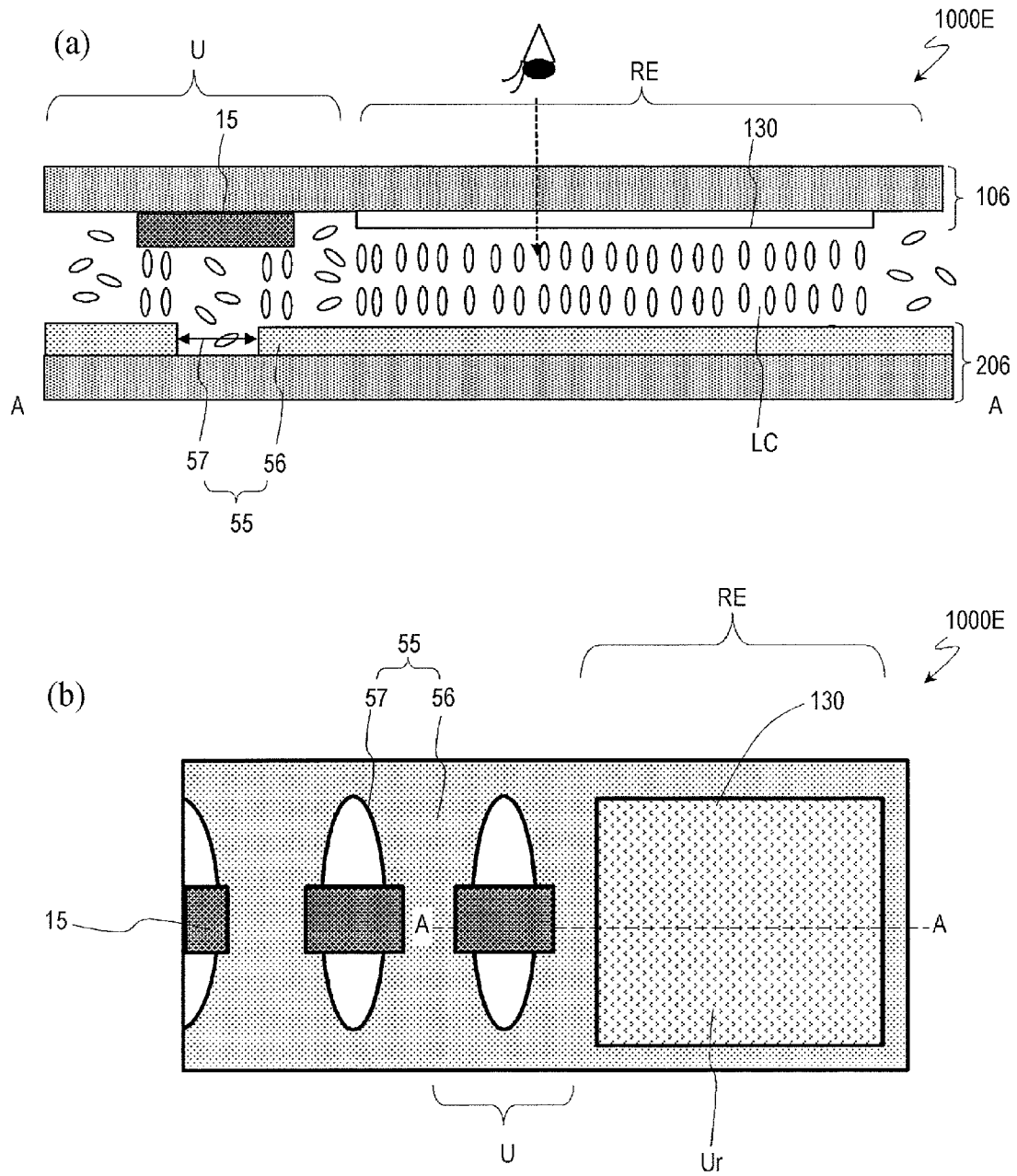
[図40]



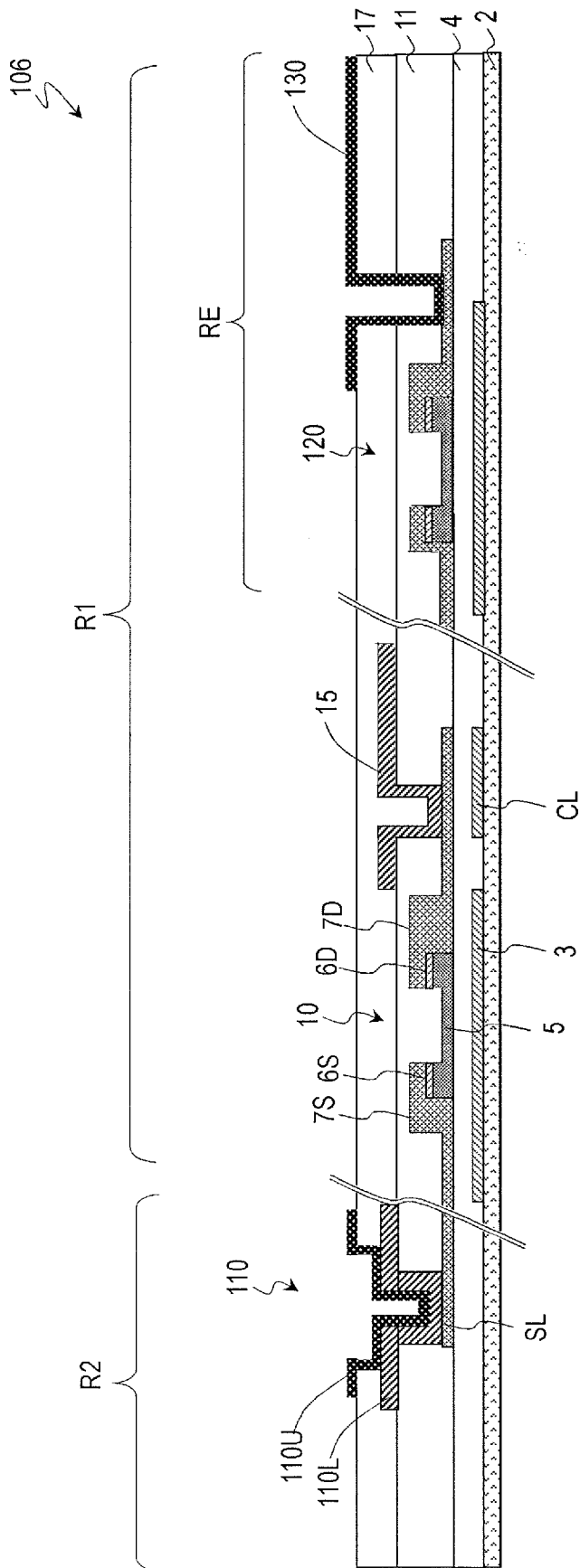
[図41]



[図42]



[図43]



[illegible]

The diagram illustrates a differential-mode signal processing circuit, divided into two main stages, R1 and R2, which are connected in series.

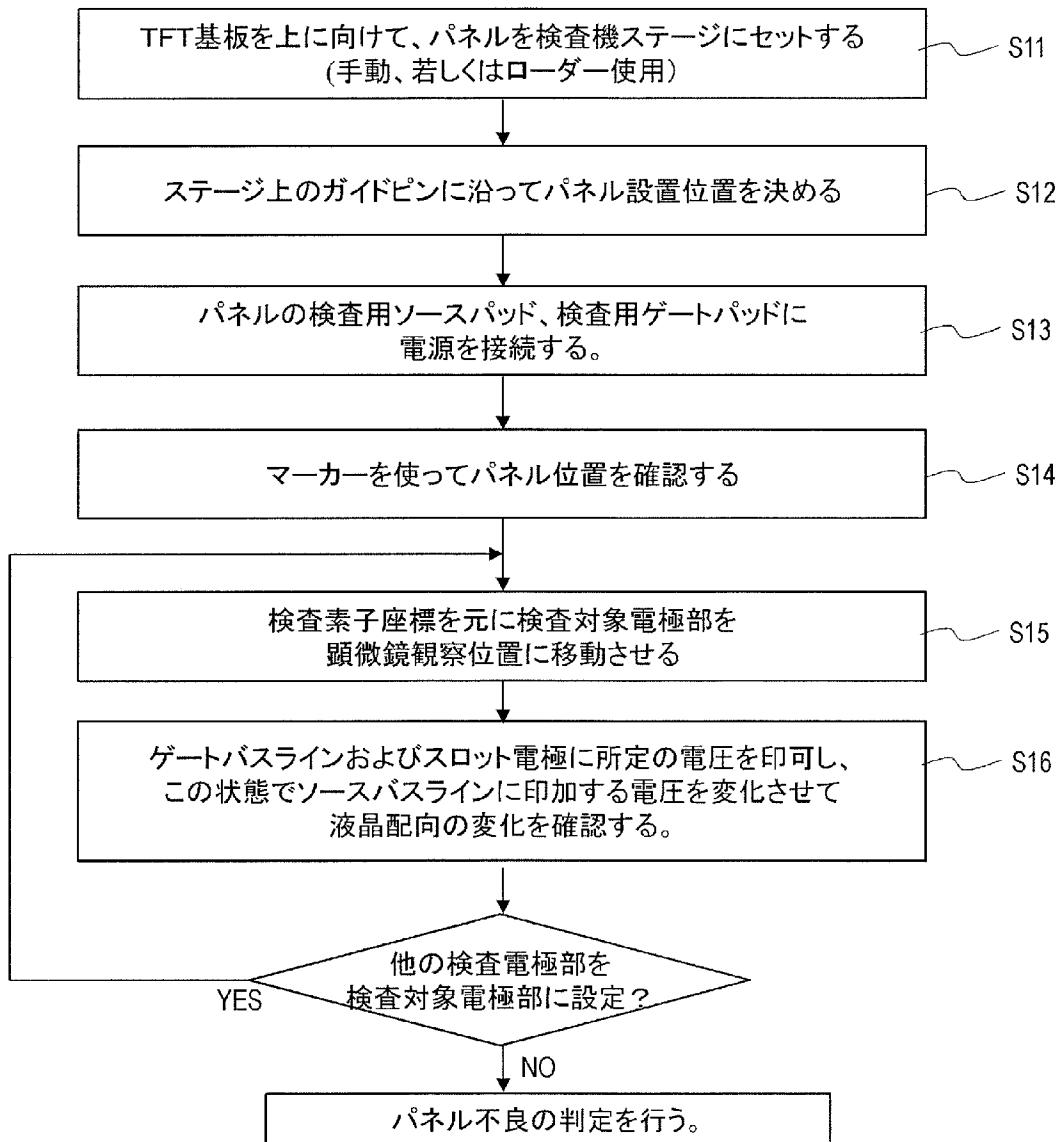
Stage R1: This stage is enclosed in a dashed box. It begins with an input signal V_{com} connected to a series combination of two capacitors, labeled 55 and 130. The output of capacitor 130 is connected to the input of a circular block labeled 120. A feedback path, labeled RE, connects the output of block 120 back to its input. The output of stage R1 is a signal labeled SL.

Stage R2: This stage follows stage R1 and is also enclosed in a dashed box. It starts with the signal SL connected to a series combination of two capacitors, labeled ST and 110. The output of capacitor 110 is connected to the input of a circular block labeled 116. A feedback path, labeled 112, connects the output of block 116 back to its input. The output of stage R2 is a signal labeled V_g .

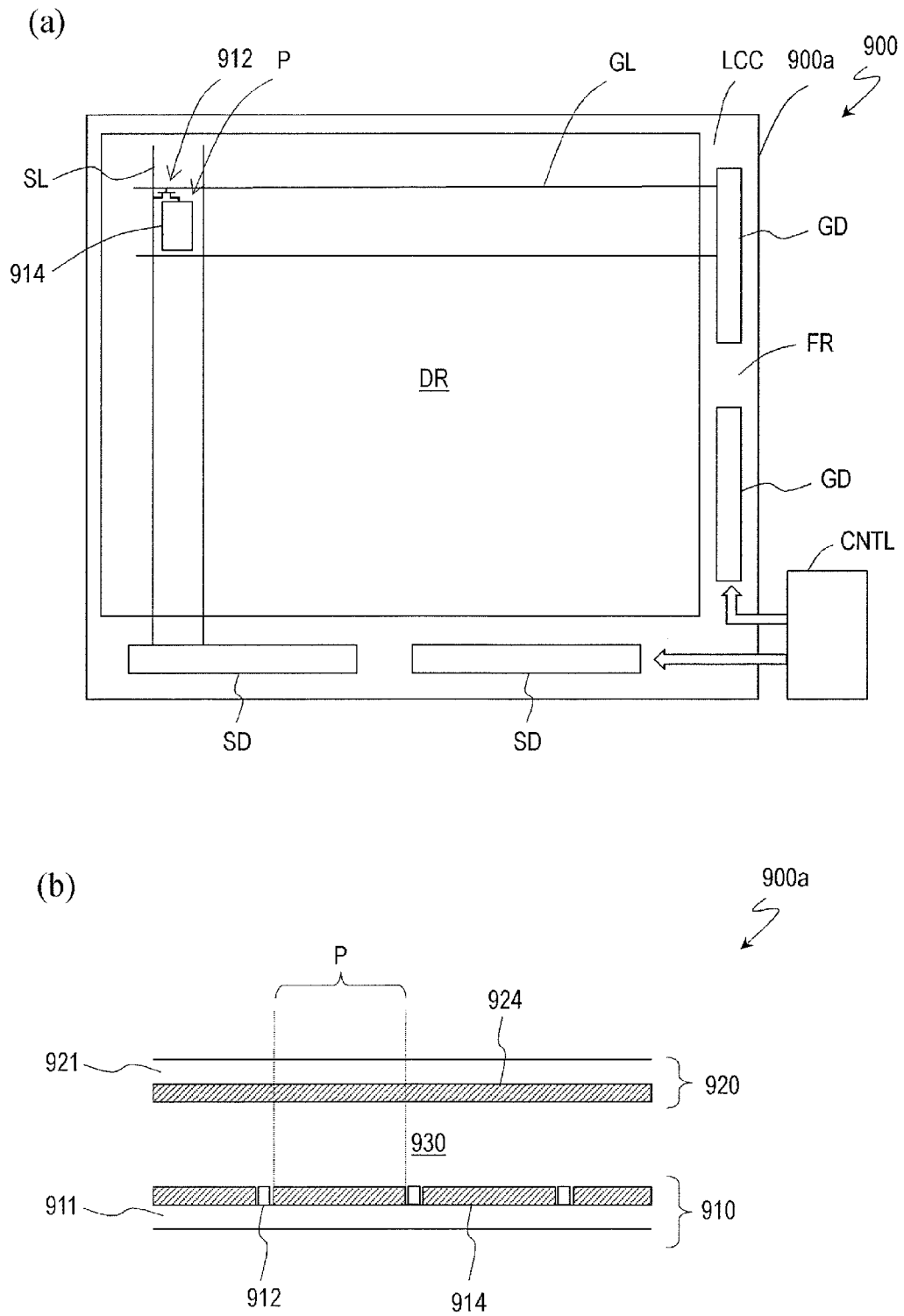
Labels 116 and 112 are also present near the output of stage R1, indicating a connection or feedback path between the two stages.

Timing diagram showing three signals: V_g , V_{com} , and V_s . V_g is a constant high signal. V_{com} is a square wave alternating between high and low. V_s is a constant low signal.

[図48]



[図49]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/011753

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01Q3/34(2006.01)i, G01R29/10(2006.01)i, H01Q3/44(2006.01)i, H01Q13/22(2006.01)i, H01Q21/06(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)

H01Q3/34, G01R29/10, H01Q3/44, H01Q13/22, H01Q21/06

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
A	JP 2004-005516 A (Toshiba Electronic Engineering Corp.), 08 January 2004 (08.01.2004), & JP 2006-197645 A & JP 2006-197646 A	1-14
A	JP 2005-277406 A (Semiconductor Energy Laboratory Co., Ltd.), 06 October 2005 (06.10.2005), & US 2007/0176234 A1 & US 2010/0187317 A1 & WO 2005/081303 A1 & CN 1922721 A	1-14
A	JP 04-234202 A (Hughes Aircraft Co.), 21 August 1992 (21.08.1992), & US 5194972 A & EP 472403 A2	1-14

☒ 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
08 May 2017 (08.05.17)

Date of mailing of the international search report
16 May 2017 (16.05.17)

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/011753

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 2009-538565 A (Wavebender, Inc.), 05 November 2009 (05.11.2009), & US 2007/0273599 A1 & WO 2007/139617 A2 & EP 2388859 A1	1-14
A	JP 2000-022428 A (Toshiba Corp.), 21 January 2000 (21.01.2000), (Family: none)	1-14

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01Q3/34(2006.01)i, G01R29/10(2006.01)i, H01Q3/44(2006.01)i, H01Q13/22(2006.01)i, H01Q21/06(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（IPC））

Int.Cl. H01Q3/34, G01R29/10, H01Q3/44, H01Q13/22, H01Q21/06

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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
A	JP 2004-005516 A（東芝電子エンジニアリング株式会社） 2004.01.08, & JP 2006-197645 A & JP 2006-197646 A	1-14
A	JP 2005-277406 A（株式会社半導体エネルギー研究所）2005.10.06, & US 2007/0176234 A1 & US 2010/0187317 A1 & WO 2005/081303 A1 & CN 1922721 A	1-14
A	JP 04-234202 A（ヒューズ・エアクラフト・カンパニー）1992.08.21, & US 5194972 A & EP 472403 A2	1-14

☑ 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

08.05.2017

国際調査報告の発送日

16.05.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/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）

米倉 秀明

5 K

4684

電話番号 03-3581-1101 内線 3556

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 2009-538565 A (ウェーブベンダー インコーポレーテッド) 2009.11.05, & US 2007/0273599 A1 & WO 2007/139617 A2 & EP 2388859 A1	1-14
A	JP 2000-022428 A (株式会社東芝) 2000.01.21, (ファミリーなし)	1-14