

(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
2020年6月18日(18.06.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/121876 A1

(51) 国際特許分類:

H01Q 3/34 (2006.01) G02F 1/13 (2006.01)
H01Q 3/44 (2006.01) G02F 1/1339 (2006.01)
H01Q 13/22 (2006.01) H01L 29/786 (2006.01)

レイション (KYMETA CORPORATION) [US/US]; 98052 ワシントン州レッドモンド ワンハンドレッドアンドサティフォース コート ノースイースト 1 2 2 7 7 スイート 1 0 0 Washington (US).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2019/047072

(22) 国際出願日: 2019年12月2日(02.12.2019)

(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 2018-232634 2018年12月12日(12.12.2018) JP

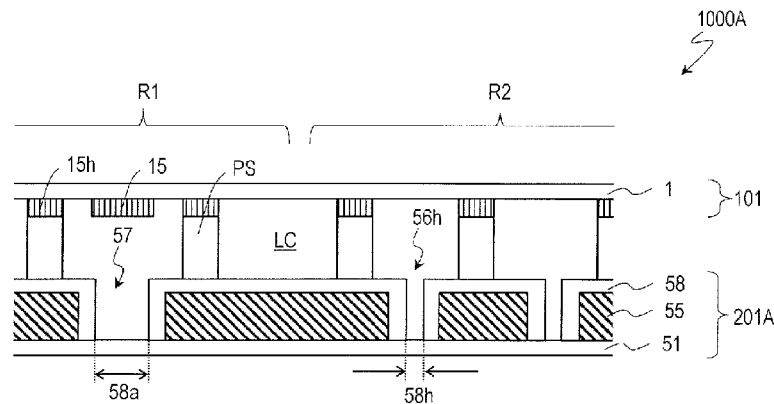
(71) 出願人: シャープ株式会社 (SHARP KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒5908522 大阪府堺市堺区匠町1番地 Osaka (JP). カイメタ コーポ

(72) 発明者: 紀藤 賢一 (KITOH, Kenichi). 原 猛 (HARA, Takeshi). 中野 晋 (NAKANO, Susumu). 田中 義規 (TANAKA, Yoshinori). スティーヴン ソン ライアン エイ. (STEVENSON, Ryan A.). リン スティーヴ (LINN, Steve). ヴァレル カグダス (VAREL, Cagdas). ショート コリン (SHORT, Colin). チェン フェリックス (CHEN, Felix).

(74) 代理人: 奥田 誠司 (OKUDA Seiji); 〒5410041 大阪府大阪市中心区北浜一丁目8番1

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

(54) 発明の名称: 走査アンテナおよび走査アンテナの製造方法



(57) Abstract: Provided is a scanning antenna comprising a transceiving region (R1) which includes a plurality of antenna units (U), and a non-transceiving region (R2) which is outside the transceiving region. The scanning antenna comprises a TFT substrate (101), a slot substrate (201A), a liquid-crystal layer (LC) disposed between the TFT substrate and the slot substrate, a seal part (73) disposed in the non-transceiving region and enclosing the liquid-crystal layer, and a reflecting conductive plate (65) positioned to face a second primary surface of a second dielectric substrate (51) with a dielectric layer (54) interposed therebetween. Slot electrodes (55) comprise aperture parts (56h) or depression parts (56d) which are formed in the non-transceiving region and in the region which is enclosed with the seal part.

(57) 要約: 走査アンテナは、複数のアンテナ単位 (U) を含む送受信領域 (R1) と、送受信領域外の非送受信領域 (R2) とを有する。走査アンテナは、TFT基板 (101) と、スロット基板 (201A) と、TFT基板とスロット基板との間に設けられた液晶層 (LC) と、非送受信領域に設けられた、液晶層を包囲するシール部 (73) と、第2誘電体基板 (51) の第2主面に誘電体層 (54) を介して対向するように配置された反射導電板 (65) とを有する。スロット電極 (55) は、非送受信領域内かつシール部で包囲された領域内に形成された開口部 (56h) または凹部 (56d) を有する。

6 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, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, 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), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：走査アンテナ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。）およびそのような走査アンテナの製造方法に関する。

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1～5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。

[0005] 本出願人は、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を開発している。本出願人による特許文献6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、そのような走査ア

ンテナに用いられるTF T基板ならびにそのような走査アンテナの製造方法および駆動方法を開示している。参考のために、特許文献6の開示内容の全てを本明細書に援用する。

先行技術文献

特許文献

- [0006] 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
特許文献5：国際公開第2015/126550号
特許文献6：国際公開第2017/061527号

非特許文献

- [0007] 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

- [0008] 本発明のある目的は、特許文献6に記載の走査アンテナの性能をさらに向上させることにある。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の実施形態によると、以下の項目に記載の解決手段が提供される。

[項目 1]

複数のアンテナ単位を含む送受信領域と、前記送受信領域外の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 T F T、複数のゲートバスライン、複数のソースバスラインおよび複数のパッチ電極とを有する 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 主面上に形成されたスロット電極であって、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する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、

前記非送受信領域に設けられた、前記液晶層を包囲するシール部と、

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を有し、

前記スロット電極は、前記非送受信領域内かつ前記シール部で包囲された領域内に形成された開口部または凹部を有する、走査アンテナ。

[項目 2]

前記開口部または前記凹部の面積円相当径は、0.05 mm 以上 2.0 mm 以下である、項目 1 に記載の走査アンテナ。

[項目 3]

前記凹部の深さは、前記スロット電極の厚さの 0.1 倍以上 1 倍未満である、項目 1 または 2 に記載の走査アンテナ。

[項目 4]

前記液晶層の温度が 25℃ のとき、前記液晶層は真空気泡を有し、前記液晶層の温度が 120℃ 以上のとき、前記液晶層は真空気泡を有しない、項目 1 から 3 のいずれかに記載の走査アンテナ。

[項目 5]

項目 1 から 4 のいずれかに記載の走査アンテナの製造方法であって、前記液晶層を形成する工程は、前記 T F T 基板と前記スロット基板との間、かつ、前記シール部で包囲された領域内に真空気泡を生じさせるように液晶材料を供給する工程を包含する、走査アンテナの製造方法。

[項目 6]

前記液晶層を形成する工程は、前記液晶材料を供給する工程の後に、前記液晶層の温度を 1 2 0℃以上に上昇させる工程をさらに包含する、項目 5 に記載の製造方法。

[項目 7]

前記液晶層が真空注入法を用いて形成される、項目 5 または 6 に記載の製造方法。

[項目 8]

前記液晶層が滴下注入法を用いて形成され、前記液晶層を形成する工程は、前記 T F T 基板と前記スロット基板との間、かつ、前記シール部で包囲された領域の体積よりも少ない液晶材料を滴下する工程を包含する、項目 5 または 6 に記載の製造方法。

発明の効果

[0010] 本発明のある実施形態によると、走査アンテナのアンテナ性能をさらに向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]走査アンテナ 1 0 0 0 の一部を模式的に示す断面図である。

[図2A]走査アンテナ 1 0 0 0 が備える T F T 基板 1 0 1 を示す模式的な平面図である。

[図2B]走査アンテナ 1 0 0 0 が備えるスロット基板 2 0 1 を示す模式的な平面図である。

[図3]走査アンテナ 1 0 0 0 の変形例の走査アンテナ 1 0 0 1 の模式的な平面図である。

[図4A]走査アンテナ1000のタイリング構造の例を示す図である。

[図4B]走査アンテナ1000のタイリング構造の例を示す図である。

[図5]走査アンテナ1000の、シール部73に包囲された領域の模式的な断面図である。

[図6]本発明の実施形態による走査アンテナ1000Aの、シール部73に包囲された領域の模式的な断面図である。

[図7]走査アンテナ1000Aの変形例の走査アンテナ1000Bの、シール部73に包囲された領域の模式的な断面図である。

[図8]TF T基板101のトランスファ端子部PTと、スロット基板201Aの端子部ITとを接続するトランスファ部を説明するための模式的な断面図である。

[図9]TF T基板101のアンテナ単位領域Uを示す模式的な平面図である。

[図10]TF T基板101のアンテナ単位領域Uを示す模式的な断面図である。

[図11A]TF T基板101の非送受信領域R2の模式的な断面図を示す。

[図11B]TF T基板101の非送受信領域R2の模式的な断面図を示す。

[図11C]TF T基板101の非送受信領域R2の模式的な断面図を示す。

発明を実施するための形態

[0012] 以下で、図面を参照しながら本発明の実施形態による走査アンテナ、走査アンテナの製造方法、および走査アンテナに用いられるTF T基板を説明する。なお、本発明は以下で例示する実施形態に限られない。また、本発明の実施形態は図面に限定されるものではない。例えば、断面図における層の厚さ、平面図における導電部および開口部のサイズ等は例示である。

[0013] <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

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。

[0014] なお、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。特許文献６に記載の走査アンテナ１０００を示す図１を参照して、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。特に、スロットおよび／またはアンテナ単位の配列について、特許文献５の全ての開示内容を参考のために本明細書に援用する。

[0015] 図１は、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２Ｂ参照）から半径方向に沿った断面の一部を模式的に示す。

[0016] 走査アンテナ１０００は、ＴＦＴ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、ＴＦＴ基板１０１側からマイクロ波を送受信する。

[0017] ＴＦＴ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ＴＦＴ１０とを有している。各パッチ電極１５は、対応するＴＦＴ１０に接続されている。各ＴＦＴ１０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。

[0018] 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。

[0019] 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。

[0020] 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１５とスロット電極５５とが液晶層ＬＣを介して対向する構造は、ＬＣＤパネルの画素電極と対向電極とが液晶層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１０００のアンテナ単位Ｕと、ＬＣＤパネルにおける画素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を有している点でもＬＣＤパネルにおける画素と似た構成を有している。しかしながら、走査アンテナ１０００は、ＬＣＤパネルと多くの相違点を有している。

[0021] まず、走査アンテナ１０００の誘電体基板１、５１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。

[0022] 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、51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 $\tan \delta_{\text{M}}$ 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、51の $\tan \delta_{\text{M}}$ 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 μm 以下であり、300 μm 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。

[0023] 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 $\tan \delta_{\text{M}}$ 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（-26dB）に減衰され、5倍であれば1/150（-43dB）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、10GHzのマイクロ波に対しては、厚さが3.3 μm 以上のCu層、および厚さが4.0 μm 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、

30GHzのマイクロ波に対しては、厚さが $1.9\mu\text{m}$ 以上のCu層、および厚さが $2.3\mu\text{m}$ 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を得られる。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、 $2\mu\text{m}$ 以上 $30\mu\text{m}$ 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 $5\mu\text{m}$ 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。

[0024] 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 $0.3\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下が好ましい。

[0025] 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、12GHz (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25mm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、6.25mm以下および/または5mm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。

[0026] 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。

[0027] 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380nm～830nm）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. Wittek 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19GHzの値）を好適に用いることができる。この他、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。

[0028] 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

。液晶層の厚さは、例えば、 $1\mu\text{m}\sim 500\mu\text{m}$ である。

[0029] 以下、走査アンテナの構造をより詳細に説明する。

[0030] まず、図1、図2Aおよび図2B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2Aおよび図2Bは、それぞれ、走査アンテナ1000が備えるTF T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。

[0031] 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 T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2Aおよび図2Bに示す様に、TF T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。

[0032] 図2Aは、走査アンテナ1000が備えるTF T基板101を示す模式的な平面図である。

[0033] 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 $200\text{mm}\sim 1500\text{mm}$ で、通信量などに応じて設定される。

[0034] 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。TFT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。

[0035] 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にはシール材が付与されている。シール材は、TFT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。

[0036] 非送受信領域R2のうちシール領域Rsによって包囲された領域の外側には、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。

[0037] 非送受信領域R2には、また、複数のトランスファー端子部PTが設けられている。トランスファー端子部PTは、スロット基板201のスロット電極55（図2B）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PTとスロット電極55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PT（トランスファー部）は、シール領域Rs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、TFT基板101とスロット基板201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PTとスロット基板201のスロット電極55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R2aおよび第2非送受信領域R2bの両方にトランスファー端子部PT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。

- [0038] なお、トランスファ－端子部 P T（トランスファ－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 以外の領域内に配置されていてもよい。トランスファ－部は、シール領域 R s 内およびシール領域 R s 以外の領域内の両方に配置されていてももちろんよい。
- [0039] 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。
- [0040] 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。
- [0041] 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。
- [0042] 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。
- [0043] 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。

[0044] 図2Aおよび図2Bでは、シール領域R_sは、送受信領域R₁を含む比較的狭い領域を包囲するように設けた例を示したが、これに限られない。図3に、走査アンテナ1000の変形例の走査アンテナ1001の模式的な平面図を示す。例えば図3に示す例のように、送受信領域R₁の外側に設けられるシール領域R_sは、送受信領域R₁から一定以上の距離を持つように、例えば、誘電体基板1および／または誘電体基板51の辺の近傍に設けてもよい。すなわち、図3に示す例では、シール領域R_sによって包囲された領域は、送受信領域R₁と、非送受信領域R₂の一部とを含む。もちろん、非送受信領域R₂に設けられる、例えば端子部や駆動回路（ゲートドライバGDおよびソースドライバSDを含む）は、シール領域R_sに包囲された領域の外側（すなわち、液晶層が存在しない側）に形成してもよい。一般的には、TF₁T基板101のうち、端子部や駆動回路（例えば、ゲートドライバGD、ソースドライバSD、ソース端子部STおよびゲート端子部GT）を有する部分は、スロット基板201と重ならずに露出されている。図3では、簡単のために、スロット基板201の端とシール領域R_s（シール部73）とを区別せずに示しているが、スロット基板201の端はシール領域R_s（シール部73）とTF₁T基板101の端との間にある。以降の図面でも簡単のために同様に示すことがある。送受信領域R₁から一定以上の離れた位置にシール領域R_sを形成することによって、シール材（特に、硬化性樹脂）に含まれている不純物（特にイオン性不純物）の影響を受けてアンテナ特性が低下することを抑制することができる。

[0045] 走査アンテナ1000は、例えば出願人による国際公開第2017/065088号に記載されているように、複数の走査アンテナ部分をタイリングすることによって作製されてもよい。例えば、走査アンテナの液晶パネルを分割して作製することができる。走査アンテナの液晶パネルは、それぞれ、TF₁T基板と、スロット基板と、これらの間に設けられた液晶層とを有している。空気層（あるいは他の誘電体層）54および反射導電板65は、複数

の走査アンテナ部分に対して共通に設けられていてもよい。

[0046] 図4 Aおよび図4 Bに、走査アンテナ1000が備える液晶パネルのタイリング構造の例を示す。例えば、走査アンテナ1000の液晶パネルは、図4 Aに示すように、4つの液晶パネル100a1～100a4をタイリングすることによって作製してもよいし、図4 Bに示すように、2つの液晶パネル100b1および100b2をタイリングすることによって作製してもよい。簡単のために、走査アンテナ部分が有する構成要素について、走査アンテナと同じ参照符号を付すことがある。

[0047] 走査アンテナが有する液晶パネルは、以下のように製造される。

[0048] まず、シール部73を次のようにして形成する。まず、スロット基板201およびTF T基板101の一方の基板上に、例えばディスペンサを用いて、注入口となる部分に開口を有するパターンをシール材で描画する。ディスペンサによるシール材の描画に代えて、例えば、スクリーン印刷によって、所定のパターンにシール材を付与してもよい。その後、他の方の基板と重ね合わせ、所定の温度で、所定の時間加熱することによって、シール材を硬化する。シール材には、セルギャップを制御するための粒状のスペーサ（例えば樹脂ビーズ）が混入されており、スロット基板201とTF T基板101との間に液晶層LCが形成されるギャップを保って、互いに接着、固定される。これにより、メインシール部が形成される。

[0049] その後、液晶層LCを形成する。注入口から、液晶材料を真空注入法で注入する。その後、注入口を塞ぐように例えば熱硬化型の封止材を付与し、所定の温度で、所定の時間加熱することによって、封止材が硬化され、エンドシール部が形成される。真空注入法を用いる場合、このように、メインシール部とエンドシール部とで、液晶層LCを包囲するシール部の全体が形成される。なお、滴下注入法を用いて液晶層LCを形成してもよい。滴下注入法を用いる場合、メインシール部が液晶層LCを包囲するように形成されるので、注入口およびエンドシール部は形成されない。

[0050] 上述したように、走査アンテナは、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。ところが、アンテナ単位の静電容量値が変動することがある。例えば走査アンテナの環境温度によって液晶材料の体積が変化し、それに起因して、液晶容量の静電容量値が変化することがある。その結果、アンテナ単位の液晶層がマイクロ波に与える位相差が所定の値からずれることになる。位相差が所定の値からずれると、アンテナ特性が低下する。このアンテナ特性の低下は、例えば、共振周波数のずれとして評価され得る。実際には、例えば、走査アンテナは予め決められた共振周波数でゲインが最大となるように設計されるので、アンテナ特性の低下は、例えば、ゲインの変化として現れる。あるいは、走査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と、例えば、通信衛星を正確に追尾できないことになる。

[0051] 走査アンテナ1000におけるアンテナ性能の低下の原因となり得る問題（問題1）を具体的に説明する。

[0052] 走査アンテナ1000の液晶層LCが形成された直後には、液晶層LCに真空気泡がほぼ発生していないことが一般的である。液晶層LCが形成されるとは、例えば、TF基板101およびスロット基板201の間、かつ、シール部73で包囲された領域内に液晶材料が注入されることをいう。液晶層は真空注入法で形成されてもよいし、滴下注入法で形成されてもよい。液晶層を形成する工程において、液晶材料の供給量が不足すると、局所的に液晶材料が不足する状態となり、その結果、気泡（「真空気泡」と呼ばれることがある。）が発生する場合がある。アンテナ単位Uの液晶層LCに真空気泡が発生すると、液晶容量の静電容量値が変化することによって、アンテナ特性の低下が生じ得る。従って、液晶層に真空気泡が発生することを避けるために、液晶層を形成する工程において、液晶材料の供給量が不足しないようにするのが一般的である。しかしながら、この場合、液晶層LCを形成した後に、液晶層LCを構成する液晶材料の体積が変化すると、TF基板101が有する誘電体基板1および／またはスロット基板201が有する誘電

体基板 5 1 のたわみによって液晶層 L C の厚さが変化する。誘電体基板 1 および 5 1 は例えばガラス基板である。液晶材料が熱膨張すると、液晶層 L C の厚さが大きくなり、液晶材料が熱収縮すると、液晶層 L C の厚さが小さくなる。液晶層 L C の厚さが変化する、液晶容量の静電容量値が変化し、その結果、アンテナ特性の低下の原因となり得る。

[0053] 走査アンテナ 1 0 0 0 におけるアンテナ性能の低下の原因となり得る他の問題（問題 2）について、図 5 を参照しながら説明する。図 5 は、走査アンテナ 1 0 0 0 の、シール部 7 3 に包囲された領域の模式的な断面図である。図 5 においては、反射導電板 6 5 および誘電体層 5 4（図 1）の図示を省略している。以後、走査アンテナの断面図において、反射導電板 6 5 および誘電体層 5 4（反射導電板 6 5 と誘電体基板 5 1 との間に設けられた誘電体層 5 4）の図示を省略することがある。ここで、シール部 7 3 は、図 3 に示した例のように、送受信領域 R 1 と非送受信領域 R 2 の一部とを包囲するように形成されている。非送受信領域 R 2 は、既に述べたように、送受信領域 R 1 以外の領域である。ここで、送受信領域 R 1 と非送受信領域 R 2 との境界線は、例えば、最も外側のアンテナ単位から 2 mm 以上離れた点を含む線とすることができる。

[0054] 図 5 に示すように、送受信領域 R 1 には、セルギャップを制御する柱状スペーサ（フォトスペーサ）P S が設けられている。すなわち、液晶層 L C の厚さを均一にするために、T F T 基板 1 0 1 およびスロット基板 2 0 1 の少なくとも一方に、紫外線硬化性樹脂を用いて形成された柱状のフォトスペーサが配置されている。図示するように、柱状スペーサ P S は、非送受信領域 R 2 にも設けられていてもよい。柱状スペーサ P S が設けられていると、温度が降下して液晶材料が熱収縮しても、柱状スペーサ P S によってセルギャップの変化が抑制される。すなわち、T F T 基板 1 0 1 および／またはスロット基板 2 0 1 がたわむことがある程度抑制されるので、液晶層 L C の厚さの変化が抑制される。しかしながら、熱収縮による液晶材料の体積の減少に柱状スペーサが追従しないことによって、低温において柱状スペーサの周辺

に真空気泡が生じることがある。このように生じる真空気泡は「低温気泡」と呼ばれることもある。特に送受信領域 R 1 の柱状スペーサ P S の周辺に真空気泡が生じると、液晶容量の静電容量値が変化し、その結果、アンテナ特性が低下する場合がある。

[0055] 本発明の実施形態による走査アンテナは、これらの問題の発生を抑制し、高温時から低温時までの広い温度範囲において、アンテナ性能の低下を抑制することができる。

[0056] 本発明の実施形態による走査アンテナ 1000 A を、図 6 を参照しながら説明する。図 6 は、走査アンテナ 1000 A の、シール部 73 に包囲された領域の模式的な断面図である。走査アンテナ 1000 と共通する構成には共通の参照符号を付し、説明を省略することがある。

[0057] 図 6 に示すように、走査アンテナ 1000 A が備えるスロット基板 201 A は、スロット電極 55 が、非送受信領域 R 2 内かつシール部 73 で包囲された領域内に形成された、開口部 56 h を有する点において、走査アンテナ 1000 が備えるスロット基板 201 と異なる。誘電体基板 1 または 51 の法線方向から見たとき、開口部 56 h と重なる領域において、T F T 基板 101 とスロット基板 201 A との間の距離は部分的に広い。

[0058] スロット電極 55 は、上述したように、アンテナ単位の液晶容量を構成するので、当然に送受信領域 R 1 内に形成されているが、非送受信領域 R 2 まで延設されている。スロット電極 55 は、誘電体基板 51 のほぼ全面に形成された金属層（典型的には銅層）から形成されており、非送受信領域 R 2 に延設された部分もスロット電極 55 ということがある。

[0059] 本発明の実施形態による走査アンテナ 1000 A においては、液晶層 L C を形成する工程において、意図的に液晶層 L C に真空気泡（真空領域）を発生させておくことによって、液晶材料の体積変化による液晶層 L C の厚さの変化を抑制する。液晶層 L C は、T F T 基板 101 とスロット基板 201 A との間、かつ、シール部 73 に包囲された領域をいう。液晶材料の体積変化を真空気泡が吸収することによって、液晶層 L C の厚さの変化が抑制される

。このとき、スロット電極 5 5 が非送受信領域 R 2 内かつシール部 7 3 で包囲された領域内に形成された開口部 5 6 h を有することによって、液晶層 L C を形成する工程において生じさせる真空気泡（真空領域）の位置を制御することができる。液晶層 L C を形成する工程において、真空気泡（真空領域）は、T F T 基板とスロット基板との間の距離が最も大きい領域に沿って形成され易い傾向にあるためである。これにより、真空気泡が開口部 5 6 h 周辺（すなわち非送受信領域 R 2）に形成されるので、真空気泡が送受信領域 R 1 に形成されることを抑制することができる。従って、例えば室温においては、真空気泡が送受信領域 R 1 に形成されることを抑制することによって、アンテナ性能の低下を抑制することができる。室温から液晶層の温度が変化したときは、液晶材料の体積変化を真空気泡が吸収することによって、液晶層の厚さの変化を抑制することにより、アンテナ性能の低下を抑制することができる。

[0060] 液晶層 L C を形成する工程において、液晶材料の供給量を調整することによって、液晶層 L C に真空気泡（真空領域）を形成することができる。これにより、液晶材料の体積変化を真空気泡が吸収することによって、液晶層 L C の厚さの変化が抑制される。つまり、T F T 基板 1 0 1 および／またはスロット基板 2 0 1 A が有する誘電体基板（例えばガラス基板）のたわみも抑制される。液晶材料が膨張した場合は、真空気泡の体積が小さくなり、液晶材料が収縮した場合は、真空気泡の体積が大きくなる。特に、液晶材料が熱膨張した場合は、真空気泡が残存している限り、T F T 基板 1 0 1 およびスロット基板 2 0 1 A の変形（たわみ）を回避することができるので、真空気泡が残存している限り液晶層 L C の厚さは変化しないと考えられる。

[0061] 走査アンテナ 1 0 0 0 A は、非送受信領域 R 2 内かつシール部 7 3 で包囲された領域内に開口部 5 6 h を有するスロット電極 5 5 を有することによって、以下の効果も得られる。液晶材料が熱収縮した場合、送受信領域 R 1 の柱状スペーサの周辺に真空気泡（低温気泡）が生じることを抑制することができる。これにより、真空気泡によるアンテナ性能の低下を抑制することが

できる。

[0062] 上述したように、送受信領域 R 1 内の液晶層 L C（なかでもパッチ電極 1 5 およびスロット 5 7 近傍の液晶層 L C）に真空気泡が発生すると、液晶容量の静電容量値の変化によりアンテナ性能に影響するおそれがある。液晶材料が熱収縮した場合、熱収縮による液晶材料の体積の減少に柱状スペーサが追従しないことによって、真空気泡（低温気泡）が柱状スペーサの周辺に生じることがある。温度降下時に低温気泡が最初に生じるのは、T F T 基板とスロット基板との間の距離が最も大きい領域である。走査アンテナ 1 0 0 0 A においては、スロット電極 5 5 が、非送受信領域 R 2 内かつシール部 7 3 で包囲された領域内に形成された開口部 5 6 h を有することによって、低温気泡を非送受信領域 R 2 に優先的に発生させ、送受信領域 R 1 の柱状スペーサの周辺に真空気泡が生じることを抑制することができる。これにより、アンテナ性能の低下が抑制される。

[0063] 液晶層は真空注入法で形成してもよいし、滴下注入法で形成してもよい。真空注入法を用いる場合は、例えば、T F T 基板とスロット基板との間、かつ、シール部に包囲された領域内に真空領域が存在する状態で、液晶材料の供給を止めればよい。滴下注入法を用いる場合は、例えば、シール部で包囲された領域の全てを満たすのに必要な体積よりも少ない量の液晶材料を滴下すればよい。滴下注入法を用いる場合は、送受信領域 R 1 に優先的に液晶材料を滴下してもよい。

[0064] 液晶層を形成する工程において、液晶材料を注入した後、液晶層の温度を例えば 1 2 0 °C 以上（または例えば T_{n i} 点以上）に上昇させ、その後降温することによって、液晶層に形成された真空気泡（真空領域）の位置を制御してもよい。この場合、真空気泡の位置をより高い精度で制御することができる。すなわち、液晶層を加熱すると、上述したように、液晶材料の体積が増加することによって、真空気泡（真空領域）の体積が小さくなる。例えば真空気泡（真空領域）が消える程度にまで液晶層の温度を上昇させ、その後降温すると、上述したように、最も大きいセルギャップを有する開口部 5 6

hの周辺から真空気泡が生じ始める。

[0065] 誘電体基板51の法線方向から見たとき、開口部56hの面積円相当径は、例えば0.05mm以上2.0mm以下である。上述したように、液晶層LCを形成する工程において生じる真空気泡や温度低下時に生じる真空気泡（低温気泡）は、TF T基板とスロット基板との間の距離が部分的に広い領域に形成され易く、特に、その領域の周りとの距離の差が急峻であると、その場所に真空気泡が留まり易い。すなわち、真空気泡の位置を高い精度で制御することができる。従って、例えば、面積円相当径が2.0mmを超える開口部56hを形成するよりも、面積円相当径が2.0mm以下である開口部56hを複数形成する方が、真空気泡の位置の制御の観点から好ましい。

[0066] ここでは、TF T基板101は、柱状スペーサPSと重なる凸部15hを有している。凸部15hは、例えばパッチ電極15と同じ導電膜から形成されている。凸部15hの上に柱状スペーサPSを形成すれば、柱状スペーサPSの高さを低減できる。凸部15hは、他の導電層から形成されていてもよいし、省略してもよい。

[0067] <変形例>

図7に本発明の実施形態の変形例による走査アンテナ1000Bを示す。図7は、走査アンテナ1000Bの、シール部73に包囲された領域の模式的な断面図である。

[0068] 図7に示すように、走査アンテナ1000Bが備えるスロット基板201Bは、スロット電極55が、非送受信領域R2内かつシール部73で包囲された領域内に形成された、凹部56dを有する点において、走査アンテナ1000Aが備えるスロット基板201Aと異なる。誘電体基板1または51の法線方向から見たとき、凹部56dと重なる領域において、TF T基板101とスロット基板201Bとの間の距離は部分的に広い。開口部56hは、スロット電極55を貫通する貫通孔であるのに対し、凹部56dは、スロット電極55の液晶層LC側の表面に形成された窪みである。

[0069] このような構造を有する走査アンテナ1000Bにおいても、走査アンテ

ナ 1 0 0 0 B と同様の効果を得ることができる。

[0070] 誘電体基板 5 1 の法線方向から見たとき、凹部 5 6 d の面積円相当径は、例えば 0. 0 5 m m 以上 2. 0 m m 以下である。凹部 5 6 d の深さは、例えば、スロット電極 5 5 の厚さの 0. 1 倍以上 1 倍未満である。凹部 5 6 d の側面のテーパ角は、例えば 3 0 ° 超 9 0 ° 未満である。真空気泡の位置の制御の観点からは、凹部 5 6 d の深さは大きいことが好ましく、凹部 5 6 d の側面のテーパ角は大きいことが好ましい。

[0071] <スロット基板の構造>

図 6 および図 8 を参照しながら、スロット基板 2 0 1 A の構造をより詳細に説明する。図 8 は、T F T 基板 1 0 1 のトランスファ端子部 P T と、スロット基板 2 0 1 A の端子部 I T とを接続するトランスファ部を説明するための模式的な断面図である。

[0072] スロット基板 2 0 1 A 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 6 5 (図 1 参照) は、誘電体基板 5 1 の裏面に誘電体層 (空気層) 5 4 を介して対向するように配置される。スロット電極 5 5 および反射導電板 6 5 が導波路 3 0 1 の壁として機能する。

[0073] 第 3 絶縁層 5 2 としては、例えば酸化珪素 (SiO_x) 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。なお、第 3 絶縁層 5 2 は、省略され得る。

[0074] スロット基板 2 0 1 A は、後述する T F T 基板 1 0 1 と同様に、第 3 絶縁層 5 2 よりも誘電体基板 5 1 側に、アライメントマーク (例えば金属層) と、アライメントマークを覆う下地絶縁層とをさらに有していてもよい。

[0075] 送受信領域 R 1 において、スロット電極 5 5 には複数のスロット 5 7 が形成されている。スロット 5 7 はスロット電極 5 5 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 5 7 が配置されている。

[0076] 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は、ここでは、スロット57内に第3絶縁層52（第3絶縁層52が省略された場合は誘電体基板51）に達する開口部58aを有する。第4絶縁層58は、開口部56h内に第3絶縁層52（第3絶縁層52が省略された場合は誘電体基板51）に達する開口部58hをさらに有する。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、アルミ箔を接着材により誘電体基板51に貼り付けることによってAl層を形成し、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。

[0077] スロット電極55は、Cu層、Al層などの主層を含む。スロット電極55は、主層と、それを挟むように配置された上層および／または下層とを含む積層構造を有していてもよい。主層の厚さは、材料に応じて表皮効果を考慮して設定され、例えば2μm以上30μm以下であってもよい。主層の厚さは、典型的には上層および下層の厚さよりも大きい。例えば、主層はCu層であり、上層および下層はTi層である。主層と第3絶縁層52との間に下層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、上層を設けることにより、主層（例えばCu層）の腐食を抑制できる。

[0078] 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。

[0079] 図8に示すように、スロット基板201Aの非送受信領域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に達する開口部58pを有している。上部接続部60は、開口部58p内でスロット電極55に接している。

[0080] 図8に示すように、トランスファ一部では、スロット基板201Aの端子部1Tの上部接続部60は、TF基板101のトランスファ端子部PTのトランスファ端子用上部接続部19pと電氣的に接続される。ここでは、上部接続部60とトランスファ端子用上部接続部19pとを、導電性ビーズ71を含む樹脂（例えばシール樹脂）78を介して接続する。

[0081] 上部接続部60および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および19pをも貫通し、下部接続部15pおよびスロット電極55に直接接していてもよい。

[0082] なお、シール領域Rs（シール部73）も、上記のトランスファ一部と同様の構造を有していてもよい。すなわち、シール領域Rs（シール部73）内に上記のトランスファ一部が配置されてもよい。

[0083] <スロット基板の製造方法>

スロット基板201Aは、例えば以下の方法で製造され得る。

[0084] まず、誘電体基板51上に第3絶縁層52（厚さ：例えば300nm～1500nm）を例えばCVD法により形成する。

[0085] 誘電体基板51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51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。

[0086] なお、誘電体基板として樹脂基板を用いる場合、TFE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。

[0087] 次に、第3絶縁層52の上に金属膜（例えばCu膜またはAl膜）を例えばスパッタ法により形成し、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と、非送受信領域R2に形成された複数の開口部56hとを有するスロット電極55を得る。金属膜として、例えば厚さが1000nm～4000nmのCu膜を用いてもよい。金属膜として、Ti（厚さ：例えば20nm～100nm）およびCu（厚さ：例えば1000nm～4000nm）をこの順で積層した積層膜（Cu/Ti）を形成してもよい。

[0088] この後、スロット電極55上、スロット57内、および開口部56h内に第4絶縁膜（厚さ：例えば50nm～400nm）を形成する。ここでは、第4絶縁膜として、例えば厚さ130nmの窒化珪素（Si_xN_y）膜を堆積する。

[0089] この後、公知のフォトリソグラフィプロセスによって第4絶縁膜のエッチングを行うことによって、第4絶縁層58を得る。具体的には、非送受信領域R2において、スロット電極55に達する開口部58pと、開口部56h内に形成された、第3絶縁層52に達する開口部58hとを形成する。

[0090] この後、第4絶縁層58上、開口部58p内、および開口部58h内に例えばスパッタ法により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58p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1Tを得ることができる。透明導電膜として、例えばITO（インジウム・錫酸化物）膜、IZO膜、ZnO膜（酸化亜鉛膜）などを用いることができる。透明導電膜は、Ti膜と、ITO膜、IZO膜、またはZnO膜とをこの順で有する積層構造を有していてもよい。ここでは、透明導電膜として、Ti（厚さ：例えば50nm）およびITO（厚さ：例えば70nm）をこの順で積層した積層膜（ITO/Ti）を用いる。

[0091] 次に、第4絶縁層58上および第4絶縁層58上に形成された透明導電層上に感光性樹脂膜を形成し、所定のパターンの開口部を有するフォトリソマスクを介して、感光性樹脂膜を露光、現像することによって、柱状スペーサPSを形成する。感光性樹脂は、ネガ型でもポジ型でもよい。ここでは、厚さ例えば2.7μmの感光性樹脂膜を用いる。

[0092] このようにして、スロット基板201Aが製造される。

[0093] なお、TF基板が柱状スペーサPSを有する場合には、後述する方法でTF基板101を製造した後、第2絶縁層17上および上部導電層19上に感光性樹脂膜を形成し、露光、現像することによって、柱状スペーサを形成すればよい。

[0094] ＜TF基板101の構造＞

図9および図10を参照して、TF基板101の構造を説明する。図9は、TF基板101のアンテナ単位領域Uを示す模式的な平面図であり、図10は、TF基板101のアンテナ単位領域Uを示す模式的な断面図である。図10は、図9中のA-A'線に沿った断面を示している。

[0095] なお、本発明の実施形態による走査アンテナが有するTF基板の構造は、例示するものに限られない。

[0096] 図9および図10に示すように、TF基板101は、誘電体基板1と、誘電体基板1上に配列された複数のアンテナ単位領域Uとを有する。複数の

アンテナ単位領域Uのそれぞれは、T F T 1 0と、T F T 1 0のドレイン電極7 Dに電氣的に接続されたパッチ電極1 5とを有する。

[0097] T F T 基板1 0 1は、誘電体基板1に支持されたゲートメタル層3と、ゲートメタル層3上に形成されたゲート絶縁層4と、ゲート絶縁層4上に形成されたソースメタル層7と、ソースメタル層7上に形成された第1絶縁層1 1と、第1絶縁層1 1上に形成されたパッチメタル層1 5と、パッチメタル層1 5上に形成された第2絶縁層1 7とを有する。ここでは、T F T 基板1 0 1は、後述する図1 1 A、図1 1 Bおよび図1 1 Cに非送受信領域R 2の構造を示すように、第2絶縁層1 7上に形成された上部導電層1 9をさらに有する。

[0098] 各アンテナ単位領域Uが有するT F T 1 0は、ゲート電極3 Gと、島状の半導体層5と、コンタクト層6 Sおよび6 Dと、ゲート電極3 Gと半導体層5との間に配置されたゲート絶縁層4と、ソース電極7 Sおよびドレイン電極7 Dとを備える。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。

[0099] ゲート電極3 G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 G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」と呼ぶことがあり、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。また、パッチ電極1 5を含む層を「パッチメタル層」と呼ぶことがある。

[0100] 半導体層5は、ゲート絶縁層4を介してゲート電極3 G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 のうちチャンネルが形成される領域（チャンネル領域）の両側に配置されている。この例では、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 ）層である。

[0101] 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。

[0102] 第 1 絶縁層 1 1 は、TFT 1 0 のドレイン電極 7 D から延設された部分に達する開口部 1 1 p を有している。

[0103] パッチ電極 1 5 は、第 1 絶縁層 1 1 上および開口部 1 1 p 内に設けられており、開口部 1 1 p 内で、ドレイン電極 7 D から延設された部分と接続されている。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 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 1 5 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 1 5 の厚さを小さくできる可能性がある。

[0104] ここでは、各アンテナ単位領域 U は、液晶容量と電氣的に並列に接続された補助容量を有している。補助容量は、例えば、ドレイン電極 7 D と電氣的に接続された上部補助容量電極 7 C と、ゲート絶縁層 4 と、ゲート絶縁層 4 を介して上部補助容量電極 7 C と対向する下部補助容量電極 3 C とによって構成される。例えば、下部補助容量電極 3 C はゲートメタル層 3 に含まれており、上部補助容量電極 7 C はソースメタル層 7 に含まれている。ゲートメタル層 3 は、下部補助容量電極 3 C に接続された CS バスライン（補助容量線）CL をさらに含んでもよい。

- [0105] 図11A、図11Bおよび図11Cに、TFT基板101の非送受信領域R2の模式的な断面図を示す。図11A、図11Bおよび図11C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を模式的に示している。なお、断面図では、簡単のために、無機絶縁層を平坦化層のように表している場合があるが、一般に、薄膜堆積法（例えばCVD法、スパッタ法、真空蒸着法）によって形成される層は、下地の段差を反映した表面を有する。
- [0106] 図11Aに示すように、ゲート端子部GTは、ゲートバスラインGLに電氣的に接続されたゲート端子用下部接続部3g（単に「下部接続部3g」ということがある。）と、ゲート絶縁層4、第1絶縁層11、および第2絶縁層17に形成されたコンタクトホールCH_gと、ゲート端子用上部接続部19g（単に「上部接続部19g」ということがある。）とを有する。
- [0107] 下部接続部3gは、この例では、ゲートメタル層3に含まれる。下部接続部3gは、例えばゲートバスラインGLと一体的に形成されてもよい。
- [0108] ゲート絶縁層4、第1絶縁層11、および第2絶縁層17に形成されたコンタクトホールCH_gは、下部接続部3gに達している。コンタクトホールCH_gは、ゲート絶縁層4に形成された開口部4g、第1絶縁層11に形成された開口部11g、および第2絶縁層17に形成された開口部17gを含む。
- [0109] 上部接続部19gは、上部導電層19に含まれる。上部接続部19gは、ゲート絶縁層4、第1絶縁層11、および第2絶縁層17に形成されたコンタクトホールCH_g内で、下部接続部3gと接続されている。
- [0110] 図11Bに示すように、ソース端子部STは、ソースバスラインに電氣的に接続されたソース端子用下部接続部7s（単に「下部接続部7s」ということがある。）と、第1絶縁層11および第2絶縁層17に形成されたコンタクトホールCH_sと、ソース端子用上部接続部19s（単に「上部接続部19s」ということがある。）とを有する。
- [0111] 下部接続部7sは、この例では、ソースメタル層7に含まれる。下部接続

部 7 s は、例えばソースバスライン S L と一体的に形成されてもよい。ただし、図示する例に限られず、ソース端子用下部接続部は、ゲートメタル層 3 から形成されていてもよい。この場合、ソース端子部の断面構造は、ゲート端子部 G T の断面構造と同様であり得る。

[0112] 第 1 絶縁層 1 1 および第 2 絶縁層 1 7 に形成されたコンタクトホール C H __ s は、下部接続部 7 s に達している。

[0113] 上部接続部 1 9 s は、上部導電層 1 9 に含まれる。上部接続部 1 9 s は、第 1 絶縁層 1 1 および第 2 絶縁層 1 7 に形成されたコンタクトホール C H __ s 内で、下部接続部 7 s と接続されている。

[0114] 図 1 1 C に示すように、トランスファア端子部 P T は、トランスファア端子用下部接続部 1 5 p (単に「下部接続部 1 5 p」ということがある。)と、第 2 絶縁層 1 7 に形成されたコンタクトホール C H __ p (開口部 1 7 p) と、トランスファア端子用上部接続部 1 9 p (単に「上部接続部 1 9 p」ということがある。)とを有する。

[0115] 下部接続部 1 5 p は、この例では、パッチメタル層 1 5 l に含まれる。

[0116] 第 2 絶縁層 1 7 に形成された開口部 1 7 p は、下部接続部 1 5 p に達している。開口部 1 7 p をコンタクトホール C H __ p ということがある。

[0117] 上部接続部 1 9 p は、上部導電層 1 9 に含まれる。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 __ p 内で、下部接続部 1 5 p と接続されている。

[0118] 図 1 1 A に示すように、T F T 基板 1 0 1 は、ゲートメタル層 3 よりも誘電体基板 1 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 を覆う下地絶縁層 2 とをさらに有していてもよい。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 T F T 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 枚のガラス基板から作製される T F T 基板の枚数 (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 お

よび下地絶縁層 2 は省略され得る。図 10 においては、アライメントマーク 21 および下地絶縁層 2 の図示を省略している。

[0119] なお、アライメントマークの形状および位置は、図示する例に限定されない。例えば、アライメントマークは、ゲートメタル層 3 から形成されていてもよい。この場合は、アライメントマークをゲートメタル層 3 よりも誘電体基板 1 側の金属層から形成する場合（例えば図 11 A 参照）に比べて、製造コスト（例えばフォトマスク数）を削減することができる。この場合、下地絶縁層 2 は省略され得る。

[0120] <TF T 基板 101 の製造方法>

TF T 基板 101 の製造方法を説明する。

[0121] まず、誘電体基板 1 上に、金属膜（例えば Ti 膜、Mo 膜、Ta 膜、Al 膜、Cu 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 21 を形成する。誘電体基板 1 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 21 を覆うように、下地絶縁層 2 を形成する。ここでは、下地絶縁層 2 として、例えば酸化珪素（ SiO_x ）または窒化珪素（ Si_xN_y ）膜を形成する。なお、アライメントマークをゲートメタル層 3 から形成する場合は、アライメントマーク 21 および下地絶縁層 2 を形成する工程は省略される。この場合は、以下で述べるゲート用導電膜をパターニングする工程において、アライメントマークを形成すればよい。

[0122] 続いて、誘電体基板 1 上に、スパッタ法などによって、ゲート用導電膜を形成する。ゲート用導電膜の材料は特に限定されず、例えば、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、ゲート用導電膜として、Al 膜（厚さ：例えば 150 nm）および MoN 膜（厚さ：例えば 100 nm）をこの順で積層した積層膜（MoN/Al）を形成する。あるいは、ゲート用導電膜として、Ti 膜（厚さ：例えば 20 nm）

およびCu膜（厚さ：例えば200nm）をこの順で積層した積層膜（Cu／Ti）を形成してもよい。

- [0123] 次いで、ゲート用導電膜をパターニングすることにより、ゲートメタル層3を形成する。具体的には、アンテナ単位形成領域に、TF T 1 0のゲート電極3Gと、ゲートバスラインGLと、下部補助容量電極3Cとを形成し、ゲート端子部形成領域に、下部接続部3gを形成する。ゲート用導電膜のパターニングは、例えばウェットエッチング（湿式エッチング）および／またはドライエッチング（乾式エッチング）によって行う。
- [0124] この後、ゲートメタル層3を覆うように、ゲート絶縁膜、真性アモルファスシリコン膜およびn⁺型アモルファスシリコン膜をこの順で形成する。ゲート絶縁膜は、CVD法等によって形成され得る。ゲート絶縁膜としては、酸化珪素（SiO_x）膜、窒化珪素（Si_xN_y）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、ゲート絶縁膜として、例えば厚さ350nmの窒化珪素（Si_xN_y）膜を堆積する。ゲート絶縁膜上に、例えば厚さ120nmの真性アモルファスシリコン膜および例えば厚さ30nmのn⁺型アモルファスシリコン膜を形成する。
- [0125] 次いで、真性アモルファスシリコン膜およびn⁺型アモルファスシリコン膜をパターニングすることにより、島状の半導体層5およびコンタクト部を得る。なお、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、ソース電極および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。
- [0126] 次いで、ゲート絶縁膜上、およびコンタクト部上に、スパッタ法などによってソース用導電膜を形成する。ソース用導電膜の材料は特に限定されず、例えば、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50nm）、Al（厚さ：例えば150nm）およびMoN（厚さ：例えば100nm）をこの順で積層した積層膜（MoN／Al／MoN）を形成する。あるいは、ソース用導電膜として、Ti（厚さ：例えば20nm）およびCu（厚さ：例えば200nm）をこの順で積層した積層膜（Cu／Ti）を形成してもよい。

[0127] 次いで、ソース用導電膜をパターニングすることによって、ソースメタル層7を形成する。このとき、コンタクト部もエッチングされ、互いに分離されたソースコンタクト層6Sとドレインコンタクト層6Dとが形成される。具体的には、アンテナ単位形成領域に、TF T 1 0のソース電極7Sおよびドレイン電極7Dと、ソースバスラインSLと、上部補助容量電極7Cとを形成し、ソース端子部形成領域に下部接続部7sを形成する。

[0128] ソース用導電膜のパターニングは、例えばウェットエッチング（湿式エッチング）および／またはドライエッチング（乾式エッチング）によって行う。例えば、ソース用導電膜としてMoN膜、Al膜およびMoN膜をこの順で積層した積層膜を形成した場合には、例えばウェットエッチングでMoN膜およびAl膜を同時にパターニングする。ソース用導電膜として、Ti膜およびCu膜をこの順で積層した積層膜を形成した場合には、例えばウェットエッチングでTi膜およびCu膜をパターニングすることができる。その後、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6Sおよびドレインコンタクト層6D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）。このようにして、TF T 1 0が得られる。

[0129] 次に、TF T 1 0およびソースメタル層7を覆うように、例えばCVD法によって、第1絶縁膜を形成する。第1絶縁膜としては、酸化珪素（SiO_x）膜、窒化珪素（Si_xN_y）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。この

例では、第1絶縁膜は、半導体層5のチャネル領域と接するように形成される。ここでは、第1絶縁膜として、例えば厚さ330nmの窒化珪素(Si_xN_y)膜を堆積する。

[0130] 続いて、公知のフォトリソグラフィプロセスによって、第1絶縁膜のエッチングを行うことによって、ドレイン電極から延設された部分に達する開口部11pを形成する。

[0131] 次いで、第1絶縁膜上および開口部11p内に、スパッタ法などによってパッチ用導電膜を形成する。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。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てもよい。これにより、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。ここでは、パッチ用導電膜として、Cu膜（厚さ：例えば200nm～1000nm）を用いる。パッチ用導電膜として、Ti膜（厚さ：例えば20nm～100nm）およびCu膜（厚さ：例えば200nm～1000nm）をこの順で積層した積層膜（Cu/Ti）を用いてもよい。

[0132] 次いで、パッチ用導電膜をパターニングすることによって、パッチメタル層15lを形成する。具体的には、アンテナ単位形成領域に、パッチ電極15を形成し、トランスファー端子部形成領域に下部接続部15pを形成する。パッチ用導電膜のパターニングは、例えばウェットエッチング（湿式エッチング）および／またはドライエッチング（乾式エッチング）によって行う。

[0133] 次に、パッチメタル層15l上および第1絶縁膜上に、例えばCVD法によって、第2絶縁膜を形成する。第2絶縁膜としては、酸化珪素(SiO_x)膜、窒化珪素(Si_xN_y)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絶縁膜として、例えば厚さ130nmの窒化珪素(Si_xN_y)膜を堆積する。

[0134] 続いて、公知のフォトリソグラフィプロセスによって、ゲート絶縁膜、第1絶縁膜、および第2絶縁膜のエッチングを行うことによって、ゲート絶縁層4、第1絶縁層11、および第2絶縁層17を形成する。具体的には、ゲート端子部形成領域の下部接続部3gに達するコンタクトホールCH_gをゲート絶縁膜、第1絶縁膜および第2絶縁膜に形成し、ソース端子部形成領域の下部接続部7sに達するコンタクトホールCH_sを第1絶縁膜および第2絶縁膜に形成し、トランスファー端子部形成領域の下部接続部15pに達するコンタクトホールCH_pを第2絶縁膜に形成する。ここでは、フッ素系ガスを用いたドライエッチングによって、ゲート絶縁膜、第1絶縁膜、および第2絶縁膜を一括してエッチングする。

[0135] 次いで、第2絶縁層17上、コンタクトホールCH_g内、コンタクトホールCH_s内、およびコンタクトホールCH_p内に、例えばスパッタ法により、透明導電膜を含む上部導電膜を形成する。透明導電膜として、例えばITO（インジウム・錫酸化物）膜、IZO膜、ZnO膜（酸化亜鉛膜）などを用いることができる。ここでは、上部導電膜として、Ti（厚さ：例えば50nm）およびITO（厚さ：例えば70nm）をこの順で積層した積層膜（ITO/Ti）を用いる。

[0136] 次いで、上部導電膜をパターニングすることにより、上部導電層19を形成する。具体的には、ゲート端子部形成領域の上部接続部19g、ソース端子部形成領域の上部接続部19sおよびトランスファー端子形成領域の上部接続部19pを形成する。

[0137] このようにして、TFT基板101が製造される。

[0138] <TFTの材料および構造>

本発明の実施形態では、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TFT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。

[0139] 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。

[0140] 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。

[0141] 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。

[0142] 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。

[0143] 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。

[0144] 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 2014-209727 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。

[0145] 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、 In-Ga-Zn-Sn-O 系半導体などを含んでいてもよい。

[0146] 上述した例では、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。

[0147] なお、各アンテナ単位が有するTFET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TFETであってもよい。エッチストップ型TFET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TFET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。

[0148] また、TFET10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、TFET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。

[0149] <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>

本発明の実施形態による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。

[0150] 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 $n \times$ 個（例えば620個）のアンテナ単位が接続されている。

[0151] 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 $n \times$ 個のアンテナ単位に接続されている $n \times$ 本のソースバスラインのうち、最も内側の円を構成するアンテナ単位にも接続されている 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、その他のソースバスラインに接続されているアンテナ単位の数 m よりも小さい。

[0152] 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。

[0153] 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。

[0154] 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、TF T基板 101 の誘電体基板 1 および／またはスロット基板 201 の誘電体基板 51 の側面から誘電体基板 1 および／または 51 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

[0155] 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製造に用いられる。

符号の説明

- [0156] 1 : 誘電体基板
2 : 下地絶縁層
3 : ゲートメタル層
3 C : 下部補助容量電極
3 G : ゲート電極
3 g : 下部接続部
4 : ゲート絶縁層
4 g : 開口部
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 : ソースメタル層
7 C : 上部補助容量電極
7 D : ドレイン電極
7 S : ソース電極
7 s : 下部接続部
1 1 : 第 1 絶縁層
1 1 g、1 1 p : 開口部
1 5 : パッチ電極
1 5 h : 凸部
1 5 l : パッチメタル層
1 5 p : 下部接続部
1 7 : 第 2 絶縁層

17 g、17 p : 開口部
19 : 上部導電層
19 g、19 p、19 s : 上部接続部
21 : アライメントマーク
51 : 誘電体基板
52 : 第3絶縁層
54 : 誘電体層（空気層）
55 : スロット電極
56 d : 凹部
56 h : 開口部
57 : スロット
58 : 第4絶縁層
58 a、58 h、58 p : 開口部
60 : 上部接続部
65 : 反射導電板
70 : 給電装置
71 : 導電性ビーズ
72 : 給電ピン
73 : シール部
100 a 1、100 b 1 : 液晶パネル
101 : TFT基板
201、201 A、201 B : スロット基板
301 : 導波路
1000、1000 A、1000 B、1001 : 走査アンテナ
CH__g、CH__p、CH__s : 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

I T	: 端子部
L C	: 液晶層
P S	: 柱状スペーサ
P T	: トランスファ－端子部
R 1	: 送受信領域
R 2	: 非送受信領域
R 2 a	: 第 1 非送受信領域
R 2 b	: 第 2 非送受信領域
R s	: シール領域
S D	: ソースドライバ
S L	: ソースバスライン
S T	: ソース端子部
U	: アンテナ単位、アンテナ単位領域

請求の範囲

- [請求項1] 複数のアンテナ単位を含む送受信領域と、前記送受信領域外の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TFT、複数のゲートバスライン、複数のソースバスラインおよび複数のパッチ電極とを有するTFT基板と、
- 第2誘電体基板と、前記第2誘電体基板の第1主面上に形成されたスロット電極であって、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する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、
- 前記非送受信領域に設けられた、前記液晶層を包囲するシール部と、
- 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を有し、
- 前記スロット電極は、前記非送受信領域内かつ前記シール部で包囲された領域内に形成された開口部または凹部を有する、走査アンテナ。
- [請求項2] 前記開口部または前記凹部の面積円相当径は、0.05mm以上2.0mm以下である、請求項1に記載の走査アンテナ。
- [請求項3] 前記凹部の深さは、前記スロット電極の厚さの0.1倍以上1倍未満である、請求項1または2に記載の走査アンテナ。
- [請求項4] 前記液晶層の温度が25℃のとき、前記液晶層は真空気泡を有し、前記液晶層の温度が120℃以上のとき、前記液晶層は真空気泡を有しない、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] 請求項1から4のいずれかに記載の走査アンテナの製造方法であって、前記液晶層を形成する工程は、前記TFT基板と前記スロット基板との間、かつ、前記シール部で包囲された領域内に真空気泡を生じ

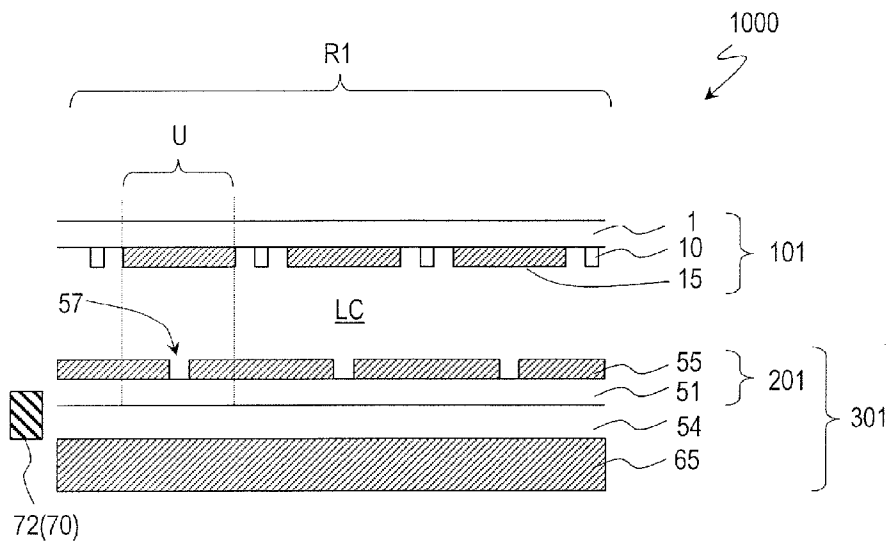
させるように液晶材料を供給する工程を包含する、走査アンテナの製造方法。

[請求項6] 前記液晶層を形成する工程は、前記液晶材料を供給する工程の後に、前記液晶層の温度を120℃以上に上昇させる工程をさらに包含する、請求項5に記載の製造方法。

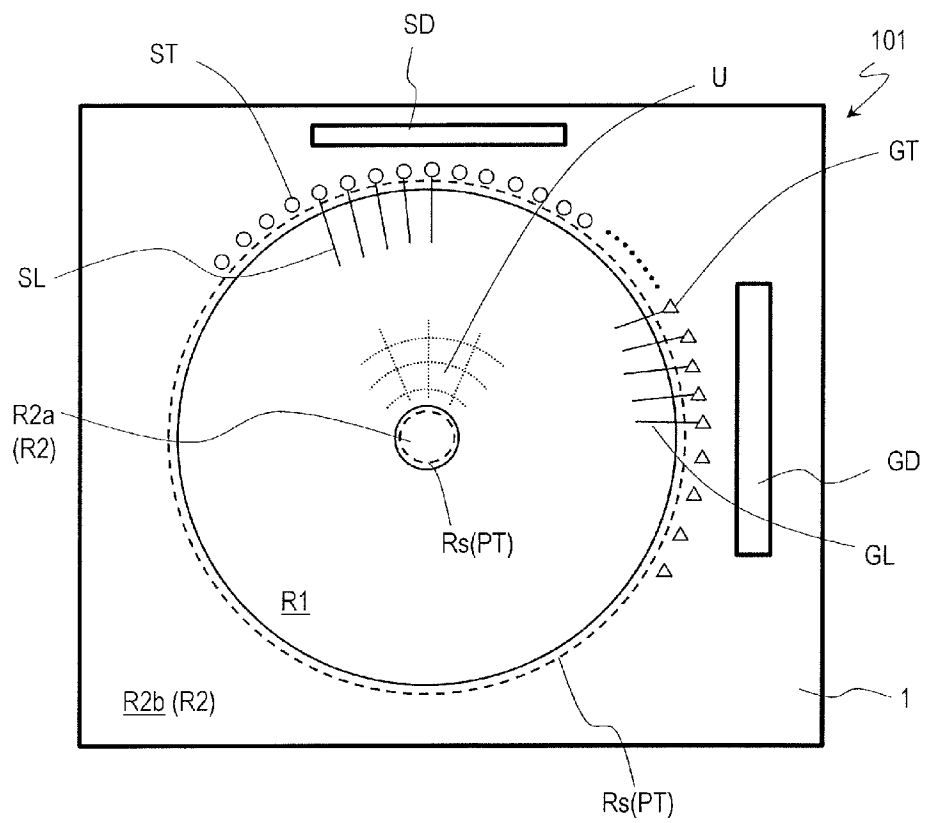
[請求項7] 前記液晶層が真空注入法を用いて形成される、請求項5または6に記載の製造方法。

[請求項8] 前記液晶層が滴下注入法を用いて形成され、前記液晶層を形成する工程は、前記TFT基板と前記スロット基板との間、かつ、前記シール部で包囲された領域の体積よりも少ない液晶材料を滴下する工程を包含する、請求項5または6に記載の製造方法。

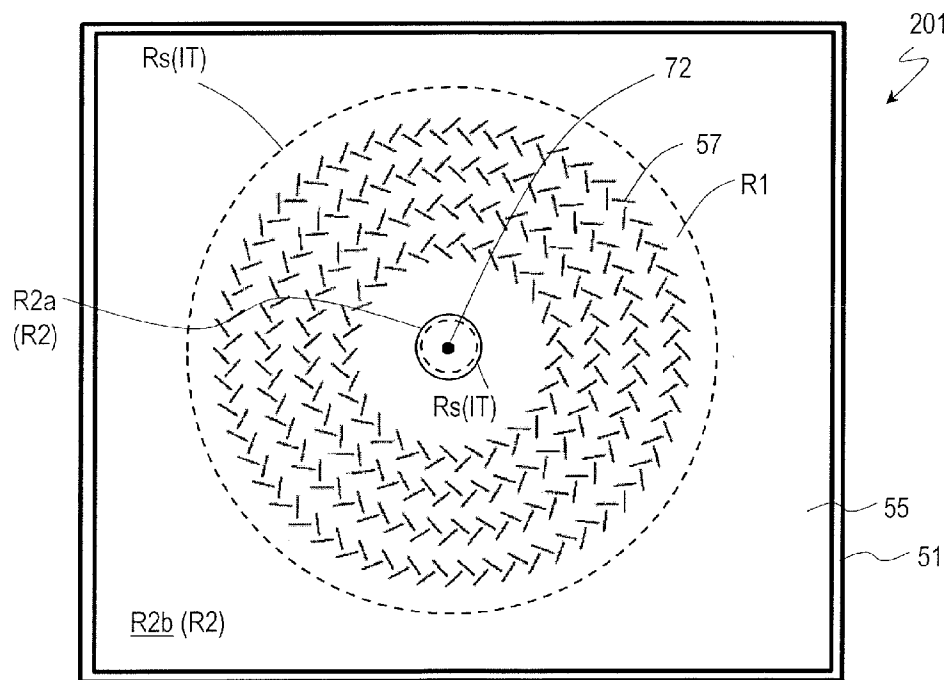
[図1]



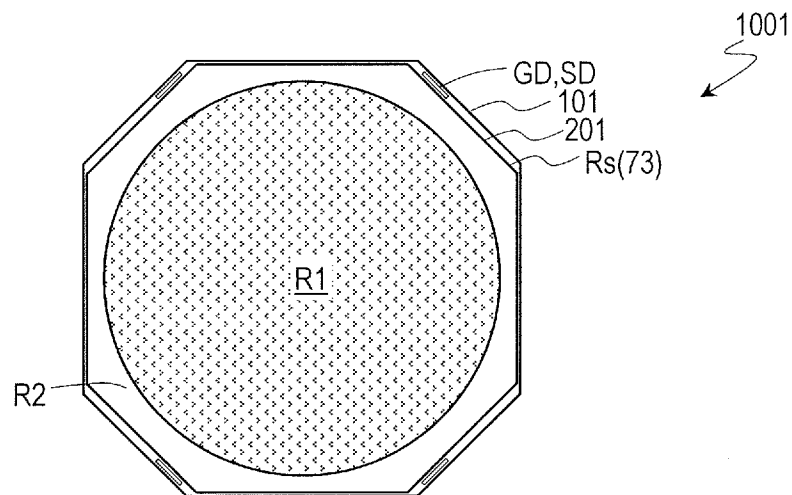
[図2A]



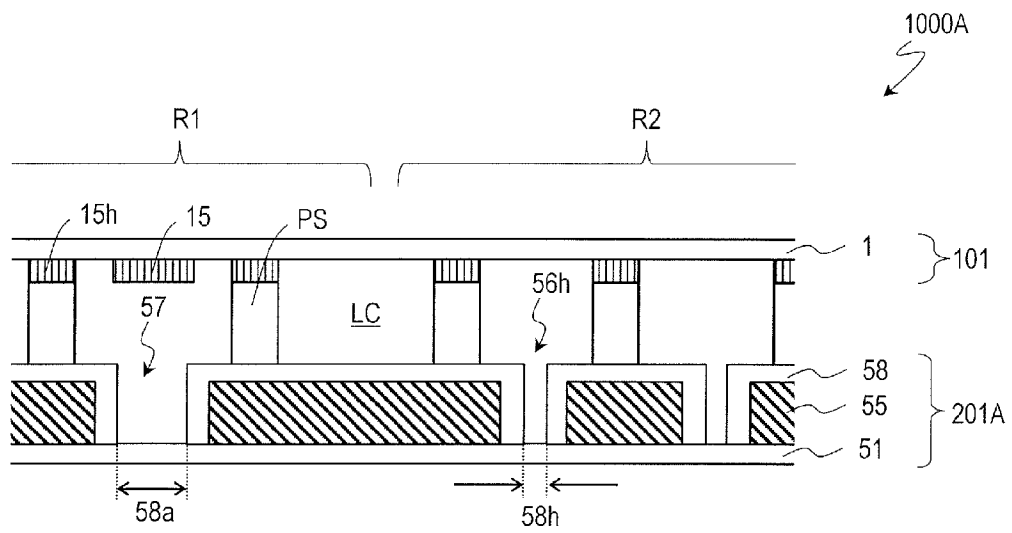
[図2B]



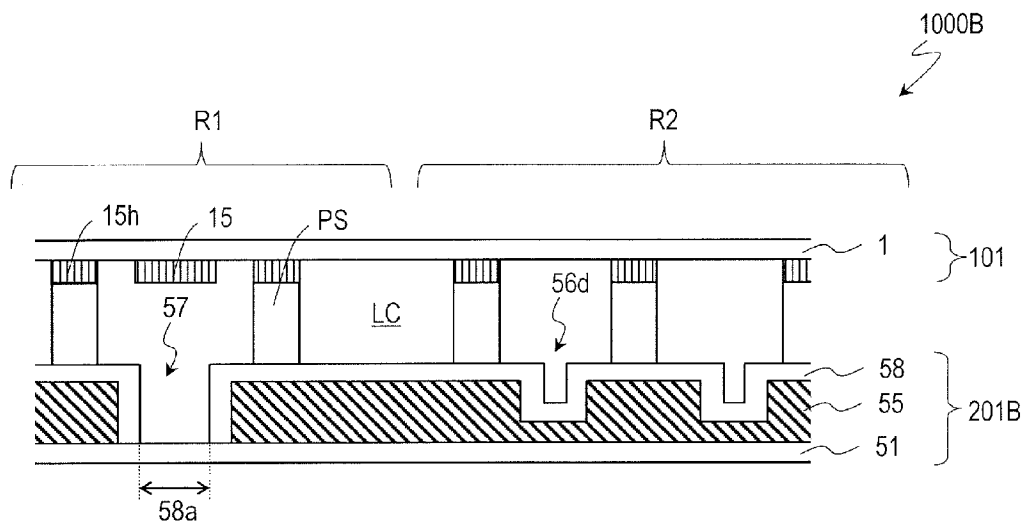
[図3]



[図6]



[図7]



101

PT

1

2

4

11

15p

17

19p

78

71

60

58

201A

IT

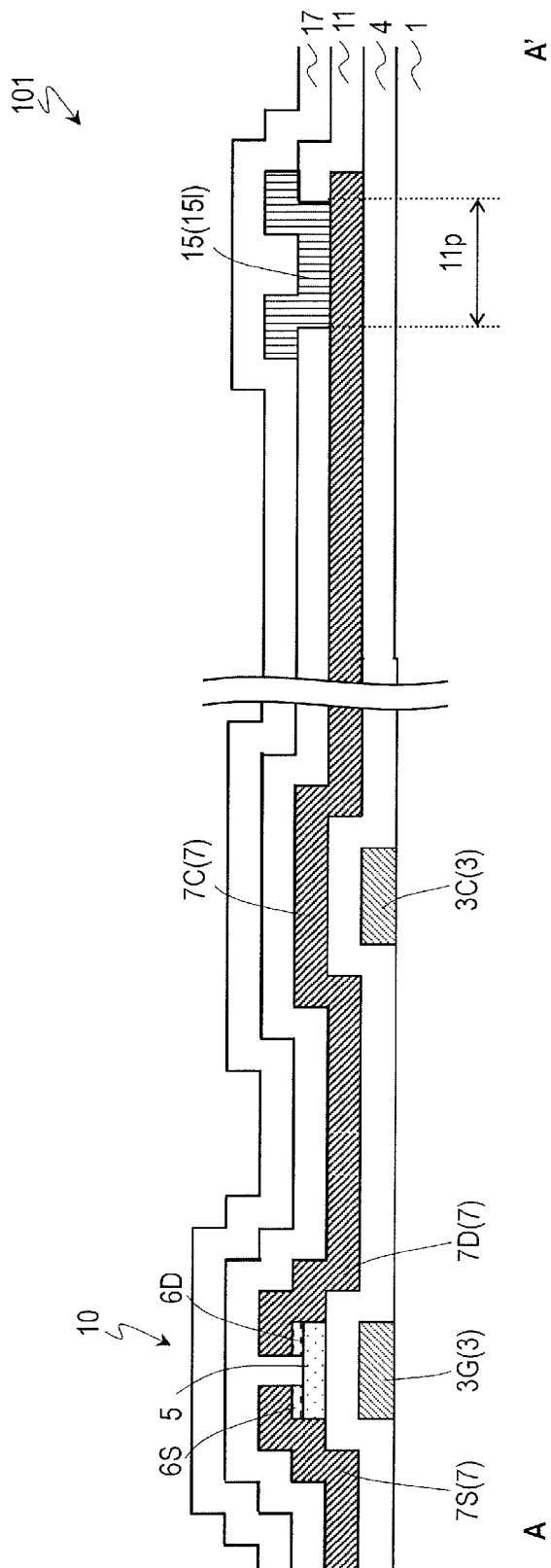
52

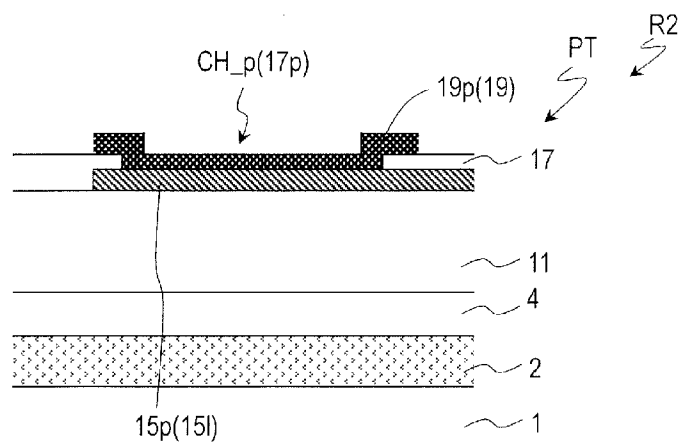
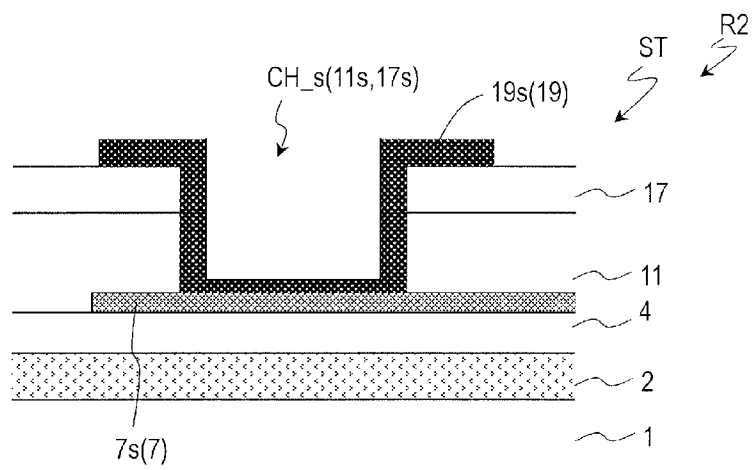
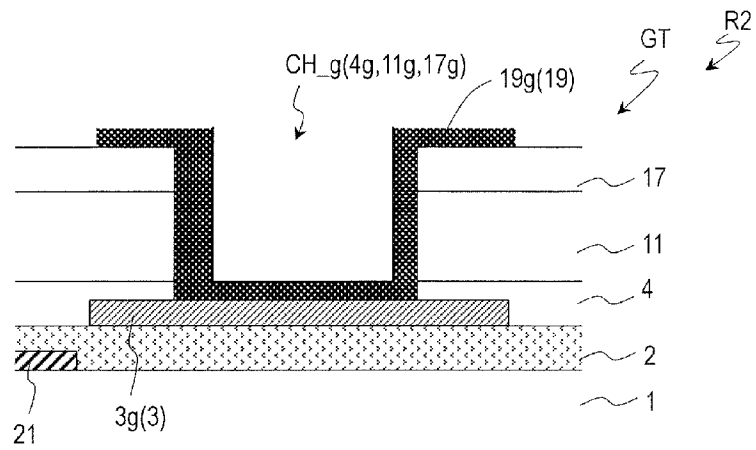
51

58p

[illegible]

[図10]





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/047072

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H01Q3/34 (2006.01) i, H01Q3/44 (2006.01) i, H01Q13/22 (2006.01) i,
G02F1/13 (2006.01) n, G02F1/1339 (2006.01) n, H01L29/786 (2006.01) n
FI: H01Q3/34, H01Q3/44, H01Q13/22, G02F1/13 505, H01L29/78 612Z, G02F1/1339 500

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)

Int. Cl. H01Q3/34, H01Q3/44, H01Q13/22, G02F1/13, G02F1/1339, H01L29/786

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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	WO 2018/173941 A1 (SHARP CORP.) 27 September 2018, paragraphs [0025]-[0133], fig. 1-10	1-8
A	WO 2018/012490 A1 (SHARP CORP.) 18 January 2018, paragraphs [0022]-[0123], fig. 1-7	1-8

☐ 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
30.01.2020

Date of mailing of the international search report
10.02.2020

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

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2019/047072

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2018/173941 A1	27.09.2018	(Family: none)	
WO 2018/012490 A1	18.01.2018	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01Q 3/34(2006.01)i; H01Q 3/44(2006.01)i; H01Q 13/22(2006.01)i; G02F 1/13(2006.01)n; G02F 1/1339(2006.01)n; H01L 29/786(2006.01)n FI: H01Q3/34; H01Q3/44; H01Q13/22; G02F1/13 505; H01L29/78 612Z; G02F1/1339 500		
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）） H01Q3/34; H01Q3/44; H01Q13/22; G02F1/13; G02F1/1339; H01L29/786 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 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020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	WO 2018/173941 A1 (シャープ株式会社) 27.09.2018 (2018-09-27) 段落[0025]-[0133], 図1-10	1-8
A	WO 2018/012490 A1 (シャープ株式会社) 18.01.2018 (2018-01-18) 段落[0022]-[0123], 図1-7	1-8
☐ 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、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 30.01.2020		国際調査報告の発送日 10.02.2020
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 岸田 伸太郎 5K 9183 電話番号 03-3581-1101 内線 3556

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2019/047072

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2018/173941	A1	27.09.2018	(ファミリーなし)	
WO	2018/012490	A1	18.01.2018	(ファミリーなし)	